

보안과제( ), 일반과제(○)

KAERI/RR-3563/2012  
(PE-70300-RT-P101)

**양성자기반공학기술개발사업**  
Proton Engineering Frontier Project

**가속장치 응용 및 실용화**  
Industrial Applications of Accelerator Technologies

한국원자력연구원

교육과학기술부

# 제 출 문

교육과학기술부 장관 귀하

이 보고서를 "양성자기반공학기술개발사업" 과제 (세부과제 "가속장치 응용 및 실용화")의 보고서로 제출합니다.

2013 년 2 월 25 일

주관연구기관명 : 한국원자력연구원  
양성자기반공학기술개발사업단

주관연구책임자 : 이 재 상 / 박 재 원

연구원 : 이 찬 영      여 순 목  
         김 범 석      김 형 진  
         문 병 식      안 은 미  
         최 혁 준      김 용 기  
         이 일 영      정 영 신  
         박 세 훈

참 여 기 업 명 : (주)신기인터모빌    (주)인터테크  
                         (주)ISYS                (주)네스  
                         (주)위너테크         (주)유엔비오피씨

## 보고서 요약서

과제고유번호	B-3-2	해당 단계 연구 기간	2008.4.1~ 2012.12.31	단계 구분	(3단계)/(3단계)
연구 사업 명	중 사업 명	양성자기반공학기술개발사업			
	세부사업명	양성자기반공학기술개발사업			
연구 과제 명	대 과제 명	양성자기반공학기술개발사업			
	세부과제명	가속장치 응용 및 실용화			
연구 책임자	이 재 상	해당단계 참여 연구원수	총: 33명 내부: 4명 외부: 29명	해당단계 연구비	정부:1,195,000천원 기업:781,000천원 계:1,976,000천원
		총연구기간 참여 연구원수	총: 33명 내부: 4명 외부: 29명	총연구비	정부:1,195,000천원 기업:781,000천원 계:1,976,000천원
연구기관명 및 소속 부서 명	한국원자력연구원 양성자기반공학기술개발사업단 가속장치 응용연구팀			참여기업명 (주)인터테크, (주)ISYS, (주)네스, (주)위너테크, (주)신기인터모빌, (주)유엔비오피씨	
요약					보고서 면수
<p>양성자 기반공학 기술개발사업단에서는 1990년대 후반부터 가속장치기술에서 파생된 이온빔 기술, 가속관 기술 등을 활용하여 빔 이용서비스를 실시하고 있으며, 이러한 빔 서비스 경험을 통해 축적된 노하우를 바탕으로 애로기술을 가진 산업체와 빔서비스 컨설팅을 함으로서 시효성이 중요한 기술분야에 빠른 시간 내에 빔 이용기술을 접목하였다. 가속장치기술에 대한 파생기술로서 확보된 저에너지 이온가속기 장치 및 응용기술을 산업체의 요구와 접목시켜 직접 제품에 적용함으로써 제품의 성능 향상, 공정 개선, 신공정 개발, 신제품/물질 개발, 전용 장치의 개발 등을 이루어냄으로써 산업체의 기술 경쟁력을 강화하고 새로운 시장의 개척 및 시장 점유율 향상 등의 성과를 얻을 수 있을 것이다. “가속장치 응용 및 실용화”과제를 통하여 빔 기반 개발기술의 산업화 추진 전략 및 이온빔 이용자 관리 체계 및 이온빔 서비스 Data Base를 수립하였고 업체들과의 연구를 통하여 금속 휴대폰케이스 세라믹 채색 코팅 및 접합력 향상 이온빔 믹싱 공정 개발, 대면적 LCD 제작을 위한 무기박막 표면의 이온빔 액정배향 공정기술개발, Metal PCB 기판에 Cu 코팅층의 접합성 향상 기술개발, 플라스틱 사출금형 이온빔 연마기술 개발, 이온빔 표면개질을 이용한 차량내장용 고분자 고풍택 도금 대체기술개발, 이온주입기술을 응용한 초친수 표면 개질 개술개발, 유색보석 발색기술 개발 등 이온빔 공정에 의한 산업적 신소재 및 부품 기능향상 연구개발을 성공적으로 수행하였으며, 실용화 타당성을 타진하였다. 이러한 결과를 바탕으로 확립된 빔 기반 개발기술의 산업화 추진 전략체계와 이온빔 이용자 관리체계를 지속적으로 운영하여 이용자를 발굴하고 빔기반 산업 육성기반 조성에 활용할 것이다. 시제품 제작 단계까지 수행한 기술군중 특히 획득 기술에 대해 사업화 모색 및 이전 기업을 탐색하여 기술이전을 추진할 예정이다.</p>					
색인어 (각 5개 이상)	한글	이온가속기, 실용화, 밀착력 향상, 이온빔 믹싱, 초친수, 내광성, 액정배향, 이온빔 연마, 유색보석			
	영어	Ion Implanter, Industrial Application, Ion Beam Mixing, Ion Beam Sputtering, Adhesion, Hydrophilic, Liquid Crystal Alignment, Anti-UV, Gemstone			

# 요 약 문

## I. 제 목

가속장치 응용 및 실용화 (Industrial Applications of Accelerator Technologies)

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

양성자기반공학기술개발사업의 최종목표는 2002년부터 2012년까지 대용량 양성자가속장치를 개발하고 이를 이용한 빔 이용기술을 개발하는 것이다. 10년여에 걸친 연구개발 과정을 통해 사업목표의 달성과 더불어 가속장치기술에 대한 파생기술로서 저에너지 이온가속기 응용기술을 확보하게 될 것이다. 이들 저에너지 이온가속기 장치 및 응용기술을 산업체의 요구와 접목시켜 직접 제품에 적용함으로써 제품의 성능 향상, 공정 개선, 신공정 개발, 신제품/물질 개발, 전용 장치의 개발 등을 이루어냄으로써 산업체의 기술 경쟁력을 강화하고 새로운 시장의 개척 및 시장 점유율 향상 등의 성과를 얻을 수 있을 것이다. 또한, 양성자 기반공학 기술개발사업단에서는 1990년대 후반부터 가속장치기술에서 파생된 이온원 기술, 가속관 기술 등을 활용하여 빔 이용서비스를 실시하고 있으며, 이러한 빔 서비스 경험을 통해 축적된 노하우를 바탕으로 애로기술을 가진 산업체와 빔서비스 컨설팅을 함으로서 시효성이 중요한 기술분야에 빠른 시간 내에 빔 이용기술을 접목하는 것이 매우 중요하다. 따라서 사업진행 중에 발생하는 파생기술을 산업체와 직접 연결하여 실용화에 이르도록 하는 체계가 필요하며 이러한 체계를 통해 시효성이 중요한 산업현장에 바로 적용될 수 있도록 하여야 한다. 본 과제에서는 사업의 수행과정에서 발생한 저에너지 이온가속기 응용기술의 산업화 가능성을 검토하고 적용 가능한 제품 또는 산업 분야에 대한 조사와 기초적인 실증실험의 수행을 통해 실용화 대상 기술을 확정하고 산업체와 공동으로 기술을 개발하여 실용화할 것이다.

따라서, 선행연구를 통해 산업체와 그 적용성이 확인된 연구개발 아이템들에 대해 실용화를 목표로 하는 연구개발을 추진하였다.

## III. 연구개발의 내용 및 범위

1. 저에너지 빔 이용 기술을 활용 중소기업 애로기술 지원 시스템 구축 및 운영
  - 이온가속기 시설 운영, 빔서비스 및 이용자 지원
  - 이온빔 이용자 관리체계 및 이온빔 서비스 DB 구축
  - 산업체 애로기술 지원 및 기초연구 수행을 통한 과제도출 및 수행

2. 저에너지 이온 가속기 장치 응용 기술 개발로 산업적 신소재 및 부품 기능향상 연구개발
  - 금속 휴대폰케이스 세라믹 채색 코팅 및 접합력 향상 이온빔 믹싱 공정 개발
  - 대면적 LCD 제작을 위한 무기박막 표면의 이온빔 액정배향 공정기술개발
  - Metal PCB 기판에 Cu 코팅층의 접합성 향상 기술개발
  - 플라스틱 사출 금형 이온빔 연마기술 개발
  - 이온빔 표면개질을 이용한 차량내장용 고분자 고광택 도금 대체기술개발
  - 이온주입기술을 응용한 초친수 표면 개질 기술개발
  - 유색보석 발색기술 개발
  - 기타 이온빔 공정에 의한 산업적 신소재 및 부품 기능향상 연구개발
  
3. 기술이전 시 개발 품목별 전용 양산 빔 조사 장치 기술 개발로 기술실시업체 실용화 지원
  - 가속장치 응용 양산장치기술개발
  - 산업체 기술/장치 이전 및 실용화

#### IV. 연구개발결과

1. 저에너지 빔 이용 기술을 활용 중소기업 애로기술 지원 시스템 구축 및 운영
  - 빔 기반 개발기술의 산업화 추진 전략 수립 완료 (실용화 연구개발 선순환 사이클 구조)
  - 이온빔 이용자 관리체계 및 이온빔 서비스 DB 구축 완료
  - 기체이온가속기, 금속이온가속기, 듀얼이온가속기, 대전류이온가속기 4기 운영, 유지보수를 통한 산학연 이용자 지원
  - 이온빔 서비스 실적 : 산업체 2,059건, 대학 981건, 연구소 232건 등 총 공정수 3,271건 수행 (서비스 기간 : 2008. 1 - 2012. 12(4년 8개월))
  - 이용자 만족도 조사결과 : 92.2점(2010), 93.3점(2011), 92.1점(2012)
  - 현대자동차, 고려제강, 삼성전자, 삼성SDI, (주)신기인터모빌 등 30여개 기업 애로기술 지원 및 이온빔 서비스를 통한 기초연구수행의 결과로 6개 기업 양성자사업과제 기업참여 ((주)인터테크, (주)ISYS, (주)네스, (주)위너테크, (주)신기인터모빌, (주)유엔비오피씨)
  - 정부과제 및 기업수탁과제 6건 도출/연구수행, 기업수탁과제 2건 수행예정
  
2. 저에너지 이온 가속기 장치 응용 기술 개발로 산업적 신소재 및 부품 기능향상 연구개발
  - 1) 금속 휴대폰케이스 세라믹 채색 코팅 및 접합력 향상 이온빔 믹싱 공정 개발
    - 금속 휴대폰케이스재료로 사용되는 Mg 합금에 100nm의 두께로 세라믹 박막증착 후 70keV 질소이온빔 조사에 의한 박막 접합성 향상 이온빔 믹싱 공정 개발 완료

- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>코팅 혹은 SiC코팅층 두께조절을 통한 다양한 색상구현 성공 → 시제품 제작
- SiO<sub>2</sub> 추가코팅을 통한 내지문성 확보

## 2) 대면적 LCD제작을 위한 무기박막 표면의 이온빔 액정배향 공정기술개발

- 유기박막(Polyimide film/Glass)의 최적 이온빔 배향 공정조건 확립 → 아르곤빔, 3keV, 2.7×10<sup>15</sup>ions/cm<sup>2</sup>, 60도 각도 조사
- 무기박막(DLC film/Glass)의 최적 이온빔 배향 공정조건 확립 → 아르곤빔, 3keV, 3~5×10<sup>15</sup>ions/cm<sup>2</sup>, 60도 각도 조사
- Duo-PIGatron 이온원의 인출구 설계 : 5mm 직경 4홀 구조로 설계 → 3keV, 4mA(1.8 μA/cm<sup>2</sup>)의 조건으로 이온빔 조사한 경우 15인치에 대응
- 이온빔 배향 공정을 통한 5인치 LCD 시제품 제작 성공 및 구동시험 성공

## 3) Metal PCB 기판에 Cu 코팅 층의 접합성 향상 기술개발

- 이온빔 믹싱법에 의한 Cu seed layer의 밀착력 평가기준 통과 및 이온빔 믹싱/추가코팅/열처리를 통한 후막 Cu 도전막(30μm 두께) 밀착력 평가기준 통과 (ASTM D3359 tape test)
- Pull-off test 결과 : 3.02MPa로 기존대비 4배 향상
- Thermal Cycle test 신뢰성 기준 통과
- 기타 신뢰성 테스트 결과 : 열전도도 → 138W/m·K (기준:>50W/m·K), 고온박리특성 → 500℃(기준:>500℃), Breakdown Voltage → 1500VDC (기준:2300VDC)

## 4) 플라스틱 사출 금형 이온빔 연마기술 개발

- 제논빔, 10keV, 30도 각도 조사 → 이온빔 연마에 의한 표면거칠기 2배 감소
- 질소빔, 120keV, 1×10<sup>18</sup>ions/cm<sup>2</sup>, 수직 조사 → 이온빔 조사에 의한 표면마찰계수 감소 (금형 이형성 증가)

## 5) 이온빔 표면개질을 이용한 차량내장용 고분자 고풍택 도금대체 기술 개발

- 질소+헬륨빔, 90keV, 2×10<sup>17</sup>ions/cm<sup>2</sup>, → 표면거칠기 감소 확인 및 광택도 2배 향상
- 질소+헬륨빔, 70keV, 1×10<sup>15</sup>ions/cm<sup>2</sup>, → 표면경도 3.5GPa(강철경도) 이상 강화 및 내스크래치성 3H 이상 향상 (현대자동차 내장재 기준)
- 질소+헬륨빔, 90keV, 2×10<sup>17</sup>ions/cm<sup>2</sup> → 온도 89±3℃, 습도 50±5%, 및 UV light (340nm) 하에서 21 일간 유지 (128 MJ/m<sup>2</sup>) → 현대자동차 신뢰성 기준 통과
- 금형기술과 혼합하여 Metal like skin과 Dark Chrome skin 구현

6) 이온주입기술을 응용한 초친수 표면 개질 기술개발

- 질소빔, 40keV,  $5 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>, Al1100 → 초기 초친수특성, 30일 내구성시험 결과 접촉각 25도 이하 유지
- 질소빔, 40keV,  $5 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>, 100 $\mu$ A/cm<sup>2</sup> → Wet/dry cycle test 결과 접촉각 20도 이하 유지

7) 유색보석 발색기술 개발

- 양성자빔, 2MeV,  $1 \times 10^{16}$  ions/cm<sup>2</sup> → 녹색 다이아몬드 개발
- Mn 빔, 100keV,  $1 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>, 후열처리 → 갈색 사파이어 개발
- Co 빔, 90keV,  $1 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>, 후열처리 → 청색 사파이어 개발
- Fe 빔, 90keV,  $1.6 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>, 후열처리 → 주황색 사파이어 개발
- Cr 빔, 90keV,  $1 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>, 후열처리 → 녹색 사파이어 개발

8) 기타 이온빔 공정에 의한 산업적 신소재 및 부품 기능향상 연구개발

- 마이크로 스피커와 박막 스피커의 진동판 제작공정 개발
  - 이온빔 믹싱에 의한 SiC 코팅 → 고유진동수 부근의 음압상승효과 확인
- Sn 무전도 코팅공정 개발
  - 이온빔 믹싱에 의한 Sn 코팅 → 밀착력 30N 이상, 표면저항 1k $\Omega$ /cm

3. 전용 양산 빔 조사 장치 기술 개발로 기술실시 업체 실용화 지원

1) 이온가속기 생산허가 취득

- 국내 최초 (원자력 안전위원회, 2012.07.31, 허가번호 : 25-31-00)
- 빔 전류 8mA 이상, 5가지 유형 이온가속기 생산허가

2) 고속에칭용 이온원 개발

- 목적 : 아연도금 강판 대체 Zn-Mg 합금코팅 강판 계면 산화물 제거 및 계면 활성화를 위한 전처리 고속에칭 이온원 개발
- 20kV, 200mA, 4.5mA/cm<sup>2</sup> 버켓타입 이온원 개발
- 정적에칭율 (13.3nm/s), 동적에칭율 (12.2nm/s) 달성 (목표 : 22nm/s)

3) 자동차 내장재 내광성 향상 표면처리 준양산 장치 개발

- 자동차 내장재 내광성 향상 표면처리 준양산 장치 제작 및 설치 완료

- 최적 복합이온빔 처리조건 확립 → N<sub>2</sub>:H 가스유량비 1:3, 90keV, 4×10<sup>17</sup> ions/cm<sup>2</sup>
- 90kV, 50mA, 30×30cm 빔인출 및 조사 성공
- 경제성을 고려한 최적 양산공정조건 시험 중
- 대상제품 지그 설계 완료 및 연내 현대차 납품용 시제품 생산 예정
- 기술이전 협의서 합의

## V. 연구개발결과의 활용계획

확립된 빔 기반 개발기술의 산업화 추진 전략체계와 이온빔 이용자 관리체계를 지속적으로 운영하여 이용자를 발굴하고 빔기반 산업 육성기반 조성에 활용할 것이다. 시제품 제작 단계까지 수행한 기술군중 특히 획득 기술에 대해 사업화 모색 및 이전 기업을 탐색하여 기술이전을 추진한다.

- 1) 금속 휴대폰케이스 세라믹 채색 코팅 기술/접합력 향상 이온빔 믹싱 공정 개발 및 시제품 생산
  - 채색코팅과 내지문성 코팅에 적용된 이온빔 믹싱은 박막 접합성 향상에 획기적인 발명으로 반도체 코팅 등 buffer layer를 대체하는 신기술로 활용이 기대되며, 이전기업을 모색하여 실용화를 추진할 예정이다.
- 2) 대면적 LCD 제작을 위한 무기박막 표면의 이온빔 액정배향 공정기술개발
  - 이온빔 액정배향 기술은 활용분야가 다양함으로 추후 이전기업을 모색하여 실용화를 추진할 예정이다.
- 3) 플라스틱 사출 금형 이온빔 연마기술 개발
  - 사출금형 표면연마기술은 활용분야가 다양함으로 추후 이전기업을 모색하여 실용화를 추진할 예정이다.
- 4) Metal PCB 기판에 Cu 코팅층의 접합성 향상 기술개발
  - Metal PCB Cu 도전막 형성 기술은 핵심기술이 세계 최초로 개발된 만큼 참여기업에서 산화층 후막화 등 주변기술만 해결하면 기술이전을 실시할 의사가 있어 추후 기술이전을 추진할 예정이다.
- 5) 이온빔 표면개질을 이용한 차량내장용 고분자 고광택 도금 대체기술개발



- 차량 내장용 플라스틱 광택 향상 및 내구성 향상 기술은 기술이전 합의서를 보내와 참여 기업에서 제작된 준양산장치와 기술실시를 통해 제품 적용 기술 지원하여 제품을 생산하고 현대자동차에 납품할 예정이다.

6) 이온주입기술을 응용한 초친수 표면 개질 기술개발

- 양산성이 고려된 대전류 이온원 개발을 통해 양산성을 확인한 후 향후 사업화 추진할 계획이다.

7) 유색보석 발색기술 개발

- 보석 발색 기술은 주입 깊이 향상 및 이온주입량의 증가로 색상의 농도만 높이면 고 부가가치 산업 창출이 가능하므로 고에너지 금속이온가속기를 개발하여 상업화를 추진할 예정이다.

8) 200mpm대응 냉연 강판용 고속에칭 이온원 개발

- 고속에칭용 이온원(20keV, 1A)의 조사선폭을 1.5m로 증가시켜 2015년에 포스코 설비에 적용하여 상용화를 추진할 예정이다.

# S U M M A R Y

## I. Title : Industrial Applications of Accelerator Technologies

## II. Purpose and Necessity of Research & Development

PEFP(Proton Engineering Frontier Project) put its aim on development of high power linear proton accelerator and its beam applications. So, it has, since late 1990's, accumulated accelerator & ion source technologies, supplied beam utilization service to related industry.

As of now, right after 10 year long project(PEFP), many of its low energy beam technologies seem to be successfully utilized for industrial purpose to meet the market needs, especially in improvement of production process and manufacturing performances, new substance development, etc. In this context, it is high time to carry out in-depth industrialization development on PEFP's retained ion beam technology prowess: To help them diffused profitable markets as soon as possible.

So, in this work, through verification on the industrialization feasibility by experiments, it is going to get it started, with cooperation of participatory company, to enter into markets with developed technology and products.

## III. Contents and Range of R&D

1. To support, with low energy beam technology, mid&small sized firm of technical weakness
  - Operating ion beam accelerator facility & Technical support for Beam user
  - Ion beam user data base management & services system development
  - Support on mid&small sized firm's bottle neck technology
  - Taking R&D project initiative based on verification on the industrialization feasibility by experiments
  
2. Advanced material development & components improvement in functionality with low energy beam technology
  - Cohesiveness improvement of colored ceramic coating on metallic mobile phone case using ion beam mixing

- Process technology development of liquid crystal alignment using ion beam on inorganic surface for large sized LCD
- Cu coating cohesion improvement on Metal PCB
- Ion beam abrading technology for plastic injection molding machinery
- High glossy polymer surface modification technology for car interior using ion beam as an alternative technology of metal plating
- Ion implantation applied superhydrophilic surface modification technology development
- Ion beam based color formation of gemstone technology development
- Ion beam based advanced material development for industrial purposes and component performance enhancement

3. Technical support for technology transfer licensee with development of dedicated beam facilities for mass production

- Accelerator technology applied mass production facilities development
- Technology and facilities transfer and utilization

#### IV. Results and Utilization of the R&D

1. To support, with low energy beam technology, mid&small sized firm of technical weakness

- Industrialization strategy development completed for ion beam based application, which leads to positive feedback between R&D and industrialization
- Ion beam user data base management & services system development completed
- Operating 4 ion beam accelerator facilities(gas, metal, dual typed, and high current ion beam facilities) & Technical support for Beam user
- Ion beam service performance : 2,059 processes for industry, 981 for universities, 232 for research institutes, totally 3,271. \*Service period: Jan. 2008 - Dec. 2012(4 years 8months)
- User satisfaction : 92.2 point(year 2010), 93.3(year 2011), 92.1(year 2012)
- Support on mid&small sized firm's bottle neck technology: More than 30 company such as Hyundai Motor Company, Kiswire LTD, Samsung Electronics, Samsung SDI, Shinki Intermobile, etc.
- 6 companies involvement in PEFP's R&D projects: Intertech Inc., ISYS Inc., Ness Inc, WinnerTech Inc, Shinki Intermobile Inc, UNBOPC Inc)
- 6 governmental & company commissioned R&D project performed. 2 company

commissioned R&D project arranged

## 2. Advanced material development & components improvement in functionality with low energy beam technology

- Cohesiveness improvement of colored ceramic coating on metallic mobile phone case using ion beam mixing
  - Cohesiveness improvement using ion beam mixing process developed: 100nm thickness ceramic layer deposition on Mg alloy and subsequent irradiation of 70keV Nitrogen
  - Through thickness control of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coating or SiC coating layer, various coloring technology developed: Pilot product manufactured
  - Additional SiO<sub>2</sub> coating for anti-fingerprint property
- Process technology development of liquid crystal alignment using ion beam on inorganic surface for large sized LCD
  - Polyimide film/Glass's optimal condition, of ion beam used alignment process, successfully identified → Argon beam 3keV,  $2.7 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>, irradiation angle of 60 degree
  - DLC film/Glass's optimal condition, of ion beam used alignment process, successfully identified → Argon beam 3keV,  $3 \sim 5 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>, irradiation angle of 60 degree
  - Duo-PIGatron ion source outlet design : 5mm diameter, 4 hole structure design → 3keV, 4mA(1.8μA/cm<sup>2</sup>) irradiation for 15 inches LCD process
  - Using ion beam used alignment process, 5 inches LCD pilot product manufactured and operation successfully tested
- Cu coating cohesion improvement on Metal PCB
  - Cu seed layer by ion beam mixing method passed Cohesiveness test. Thick conductive film(30μm thickness) of Cu , with the combined treatment of ion beam mixing, additional coating, and heat treatment, passed cohesiveness test(ASTM D3359 tape test)
  - Pull-off test result : 3.02MPa, 4 times performances improved
  - Thermal Cycle test passed reliability standard
  - Other reliability test results : Thermal conduction → 138W/m · K (Standard: >50W/m · K), High temperature exfoliation property → 500°C(Standard: >500°C), Breakdown Voltage → 1500VDC (Standard: 2300VDC)
- Ion beam abrading technology for plastic injection molding machinery
  - Xenon beam, 10keV, irradiation angle of 30 degree → With ion beam abrasion, surface roughness 200% decreased

- Nitrogen beam, 120keV,  $1 \times 10^{18}$  ions/cm<sup>2</sup>, vertical irradiation → With ion beam abrasion, surface friction coefficient decreased (Mold releasing property improved)
- High glossy polymer surface modification technology for car interior using ion beam as an alternative technology of metal plating
  - Nitrogen with Helium beam, 90keV,  $2 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>, → Surface roughness decreased and glossiness 200% increased
  - Nitrogen with Helium beam, 70keV,  $1 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>, → Surface hardness 3.5GPa(as hard as steel) or more. anti-scratch property improved by 3H or more (equivalent of Hyundai Motor Company's requirement)
  - Nitrogen with Helium beam, 90keV,  $2 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup> → , 21 day exposition under the condition of Temperature  $89 \pm 3^\circ\text{C}$ , humidity  $50 \pm 5\%$ , UV light 340nm → Passed Hyundai Motor Company's reliability test standard
  - Mixed with molding technology, Metal like skin and Dark Chrome skin developed
- Ion implantation applied superhydrophilic surface modification technology development
  - Nitrogen beam, 40keV,  $5 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>, Al1100 → Initial superhydrophilic property, contact angle stayed in 25 degrees or less after 30 day durability test
  - Nitrogen beam, 40keV,  $5 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>,  $100 \mu\text{A/cm}^2$  → Wet/dry cycle test result shows contact angle staying in 20 degrees or less
- Ion beam based color formation of gemstone technology development
  - Proton beam, 2MeV,  $1 \times 10^{16}$  ions/cm<sup>2</sup> → Green diamond developed
  - Mn beam, 100keV,  $1 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>, post heat treatment → Brown sapphire developed
  - Co beam, 90keV,  $1 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>, post heat treatment → Blue sapphire developed
  - Fe beam,, 90keV,  $1.6 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>, post heat treatment → Orange sapphire developed
  - Cr beam, 90keV,  $1 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>, post heat treatment → Green sapphire developed
- Ion beam based advanced material development for industrial purposes and component performance enhancement
  - Manufacturing process development for diaphragm of micro speaker and think film speaker: SiC coating by ion beam mixing → Sound pressure enhanced around the natural frequency
  - Sn nonconductive coating process development: Sn coating by ion beam mixing

→ Cohesiveness more than 30N, Surface resistance  $1k\Omega/cm$

### 3. Technical support for technology transfer licensee with development of dedicated beam facilities for mass production

- Ion beam accelerator manufacturing license acquisition
  - The first acquisition in Korea (Nuclear Safety and Security Commission, July 31, 2012, License No. 25-31-00)
  - Beam current 8mA or more, and five types of ion beam accelerator manufacturing possible
- Dedicated ion source development for high speed etching
  - Purpose: Preprocessing purposed high speed ion source development for elimination of oxidized substance on the surface of steel sheets before Zn-Mg alloy coating process( Alternative technology on Zn plating on steel plates)
  - 20kV, 200mA,  $4.5mA/cm^2$  bucket typed ion source developed
  - Etching Performance: 13.3nm/s(Static), 12.2nm/s(Dynamic) performed, whereas Target Performance is 22nm/s
- Pilot facilities development of surface modification purposed ion beam facilities for high glossy car interior using ion beam
  - Pilot facilities developed and installed
  - Optimal condition of mixed ion beam irradiation →  $N_2:H$  gas flow ratio 1:3, 90keV,  $4 \times 10^{17}$  ions/ $cm^2$
  - 90kV, 50mA, 30×30cm beam extraction and irradiation succeeded
  - Optimal mass production condition test considering economic feasibility
  - Jig design completed and pilot product going to Hyundai Motor Company by the end of this year
  - Agreed on memorandum of understanding for technology transfer

## V. Utilization Plan of R&D Results

Making the best of competitive situation with the developed ion beam user management framework, beam user promotion, ion beam based technology development, technology transfer and ion beam industry foundation construction are subsequently expected.

- Cohesiveness improvement of colored ceramic coating on metallic mobile phone case using ion beam mixing
  - Ion beam mixing method, applied to coloring coating and anti fingerprint

- coating, is breakthrough technology to drastically enhance cohesiveness of thin film; So, for it is expected to be utilized as an alternative technology for the buffer layer based methods such as semiconductor coating, it is going into industrialization as soon as a suitable technology transfer company comes in
- Process technology development of liquid crystal alignment using ion beam on inorganic surface for large sized LCD
    - Liquid crystal alignment using ion beam technology is variously applicable to other fields; So, properly industrialized in the future as soon as a suitable technology transfer company comes in
  - Ion beam abrading technology for plastic injection molding machinery
    - Also, surface abrading technology for plastic injection molding machinery is variously applicable to other fields; So, properly industrialized in the future as soon as a suitable technology transfer company comes in
  - Cu coating cohesion improvement on Metal PCB
    - Core technology development of Metal PCB Cu conductive film formation was the first in the world; If its peripheral technologies are addressed such as making oxide layer thicker, its industrialization is going to be started in the future as soon as a suitable technology transfer company comes in
  - High glossy polymer surface modification technology for car interior using ion beam as an alternative technology of metal plating
    - For the participatory company has agreed on MOU of the technology transfer, commercialized products going to be made and going to Hyundai Motor Company
  - Ion implantation applied superhydrophilic surface modification technology development
    - Mass production was considered during its development, high current ion source is properly going to be commercialized as soon as its mass productivity secured
  - Ion beam based color formation of gemstone technology development
    - Color formation of gemstone technology has possibility to make high value-added application by adjusting color layer's thickness with depth and direction of implantation development and industrialization of high energy metal ion implanter
  - Dedicated ion source development for 200mpm high speed etching in cold rolled steel sheet manufacturing
    - For irradiation bandwidth of high speed etching ion source(20keV, 1A) increased to 1.5m, it is possibly going to be industrialized in POSCO's related

facilities in 2015.



# Contents

Chapter 1 Summary of R&D Project .....	1
Section 1. Objectives of R&D .....	1
Section 2. Necessity of R&D .....	1
Chapter 2 Internal and external situation for technical development .....	6
Section 1. Domestic development Status .....	6
Section 2. Foreign development Status .....	11
Section 3. Analysis and estimate results about R&D case .....	14
Section 4. Weak point of conventional technology .....	16
Section 5. Future prospect .....	17
Chapter 3 Contents and results of R&D Performance .....	19
Section 1. Methods for R&D .....	19
Section 2. Contents of R&D .....	20
Section 3. Results of R&D .....	211
Chapter 4 Achievement & contribution to relative fields .....	215
Section 1. Objective of R&D and viewpoint of estimate .....	215
Section 2. Achievement of project objectives .....	217
Chapter 5 Application plan of R&D Result .....	225
Chapter 6 Foreign scientific information during R&D period .....	227
Chapter 7 Status of R&D facilities .....	228
Chapter 8 Reference .....	230

# 목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 .....	1
제 1 절 연구개발 목표 .....	1
제 2 절 연구의 필요성 .....	1
제 2 장 국내외 기술개발현황 .....	6
제 1 절 국내 연구동향 .....	6
제 2 절 국외 연구동향 .....	11
제 3 절 조사한 연구개발사례에 대한 자체분석 및 평가결과 .....	14
제 4 절 현기술상태의 취약성 .....	16
제 5 절 앞으로의 전망 .....	17
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 .....	19
제 1 절 연구수행 방법 .....	19
제 2 절 연구수행 내용 .....	20
제 3 절 연구 결과 .....	211
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 .....	215
제 1 절 연구개발 목표의 달성도 .....	215
제 2 절 연구성과 .....	217
제 5 장 연구개발결과의 활용계획 .....	225
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....	227
제 7 장 연구시설·장비 현황 .....	228
제 8 장 참고문헌 .....	230

# 제1장 연구개발과제의 개요

## 제1절 연구개발 목표

- 저에너지 이온 가속기 장치 응용 기술 개발로 산업적 신소재 및 부품 기능향상 연구개발
- 기술이전 시 개발 품목별 전용 양산 빔 조사 장치 기술 개발로 기술실시 업체 실용화 지원
- 축적된 저에너지 빔 이용 기술을 활용 중소기업 애로기술 지원 시스템 구축 및 운영

## 제2절 연구의 필요성

- 양성자기반공학기술개발사업의 최종목표는 2002년부터 2012년까지 대용량 양성자가속장치를 개발하고 이를 이용한 빔 이용기술을 개발하는 것이다. 10년여에 걸친 연구개발 과정을 통해 사업목표의 달성과 더불어 가속장치기술에 대한 파생기술로서 저에너지 이온가속기 응용 기술을 확보하게 될 것이다. 이들 저에너지 이온가속기 장치 및 응용기술을 산업체의 요구와 접목시켜 직접 제품에 적용함으로써 제품의 성능 향상, 공정 개선, 신공정 개발, 신제품/물질 개발, 전용 장치의 개발 등을 이루어냄으로써 산업체의 기술 경쟁력을 강화하고 새로운 시장의 개척 및 시장 점유율 향상 등의 성과를 얻을 수 있을 것이다. 본 과제에서는 사업의 수행 과정에서 발생된 저에너지 이온가속기 응용기술의 산업화 가능성을 검토하고 적용 가능한 제품 또는 산업 분야에 대한 조사와 기초적인 실증실험의 수행을 통해 실용화 대상 기술을 확정하고 산업체와 공동으로 기술을 개발하여 실용화할 것이다.
- 양성자 기반공학 기술개발사업단에서는 1990년대 후반부터 가속장치기술에서 파생된 이온원 기술, 가속관 기술 등을 활용하여 빔 이용서비스를 실시하고 있으며, 이러한 빔 서비스 경험을 통해 축적된 노하우를 바탕으로 애로기술을 가진 산업체와 빔서비스 컨설팅을 함으로서 시효성이 중요한 기술분야에 빠른 시간 내에 빔 이용기술을 접목하는 것이 매우 중요하다. 따라서 사업진행 중에 발생하는 파생기술을 산업체와 직접 연결하여 실용화에 이르도록 할 필요가 있으며 사업의 탄력성 측면에서도 사업단 관리과제로 수행하여 양성자 기반 공학기술이 시효성이 중요한 산업현장에 바로 적용될 수 있도록 하여야 한다.
- 저에너지 이온가속기 응용기술이란 각종 입자빔 조사장치를 이용하여 수 keV ~ 수백 keV 로 이온을 가속하여 재료에 충돌시킴으로서 표면의 원자구조 및 분자구조와 미세형상을 변형시켜 물리, 화학적 상태를 변화시키는 원자단위의 조작(Process)기술이며, 이 기술은 빔 장치 기술과 빔 조사 기술을 기반으로 한다.

- 저에너지 이온가속기 응용기술은 재료 표면의 내마모성, 내식성, 내피로성, 마찰 특성 등 기계적 특성을 향상시키는데 좋은 효과를 나타내며, 또한 고분자의 전기적 특성이나 광학적 특성을 변화시키며 원자 단위의 가공에도 널리 활용되는 기술이다.
- 고부가가치 제품 표면처리 양산용 이온빔 장치기술의 실용화에 따른 양산장치 국산화기술 획득, 수입대체 및 기술경쟁력을 향상시킬 수 있다.
- 따라서, 선행연구를 통해 산업체와 그 적용성이 확인된 연구개발 아이템들에 대해 실용화를 목표로 하는 연구개발을 추진하였다. 각각의 연구개발 아이템은 다음과 같다.

### 1. 금속 휴대폰케이스 세라믹 채색 코팅 및 접합력 향상 이온빔 믹싱 공정 개발

마그네슘 합금으로 제조된 휴대용 기기용 외장 케이스는 강도가 높으며 가볍다는 장점 때문에 많은 관심을 끌고 있지만 소금물에 잘 부식되는 특성 때문에 사용에 많은 제약이 따른다. 또 금속질감을 유지하며 다양한 색상을 구현하는데 기술적 어려움이 있다. 세라믹 증착과 이온주입을 적용하면 마그네슘 표면에 다양한 색상을 얻고 박막의 접착력도 확보할 수 있어 이에 대한 연구가 필요하다.

### 2. 대면적 LCD 제작을 위한 무기박막 표면의 이온빔 액정배향 공정기술개발

액정배향막은 액정분자와 접하여 액정분자를 균일하게 배향시키는 역할을 담당하고 있다. 즉, 액정이 편광된 빛의 개폐 역할을 잘 수행할 수 있도록 액정을 한쪽 방향으로 균일하게 배향시켜 주는 액정 구동의 핵심재료이며, 액정배향막의 액정배향특성 및 박막으로서의 전기적 특성은 액정디스플레이의 표시 품질을 좌우한다. 액정디스플레이 제조 공정에서 배향막 코팅 및 배향처리는 공정상 최대의 난제로 지목되고 있으며 배향막 종류의 개선뿐 아니라 배향방법에 있어서도 적극적인 개선 노력이 진행되고 있다. 뿐만 아니라 최근 대형 화면 TFT-LCD를 TV로서 상용화하기 위한 중요한 요구 특성 중의 하나로서 광시야 각화가 요구되고 있다. 시야각을 확대하기 위한 방법으로 보상 필름에 대한 연구와 함께 광시야각용 구동방법에 대한 연구가 수행되고 있다. 대표적으로, 화소를 여러 영역으로 나눠 액정의 배향 방향을 달리하는 멀티도메인 모드(Multi-Domain Mode), 액정 배열 방향을 수직화하는 수직배향모드(VA : Vertical Alignment Mode), 및 하나의 평면에 두 전극을 위치시키는 IPS (In-Plane-Switching) 모드가 연구 개발되고 있으며 이의 성공적인 수행을 위해서는 신규 모드에 대응할 수 있는 신규 액정배향막의 개발이 매우 중요하다. 이에 non-rubbing 기술인 이온빔 기술을 이용한 액정배향을 연구하고자 한다.

### 3. 플라스틱 사출 금형 이온빔 연마기술 개발

플라스틱 사출기에서 사출물을 성형한 후 밀어내는 역할을 하는 사출 금형은 기계적 가공에 의해 만들어진다. 이때, 표면과 모서리 부분은 가공 직후 사출물의 흡착을 최소화하기 위해 연마하는 과정이 필요하다. 지금까지는 플라스틱 사출물의 크기가 커 사출금형의 연마를 모래 종이(sand paper) 등을 이용하여 수작업으로 수행하였다. 그러나 점차 제품이 소형화됨에 따라 플라스틱 사출물 부품의 크기가 작아졌으며, 이에 따라 사출 금형의 크기 또한 작아졌고, 모래 종이 등을 이용하여 수작업으로 연마하는 것이 불가능하게 되었다. 이 때문에 작아지는 사출 금형의 근접표면 연마 기술을 개발할 필요가 대두되고 있다.

#### 4. Metal PCB 기판에 Cu 코팅층의 접합성 향상 기술개발

Metal PCB는 기존의 플라스틱 PCB에 비해 우수한 열배출 특성을 보이기 때문에 고출력 LED등에 적합하지만 상용화된 Metal PCB의 구조는 열전도도가 낮은 에폭시를 전기 절연층으로 사용하기 금속기판의 우수한 열전도도를 최대한 활용하지 못하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 열전도도가 높은 새로운 구조의 Metal PCB의 개발할 필요가 있다.

#### 5. 이온빔 표면개질을 이용한 차량내장용 고분자 고풍택 도금 대체기술개발

지금까지의 표면 광택 향상 기술은 Durable metallic look을 painting 또는 plating 기술이 일반적으로 사용되어 왔으나 환경과 인체에 유해성이 지적되고 있다. 이온빔 조사에 의해서도 광택 및 금속 색상이 가능하고 환경 및 인체에 무해하며 Cr 코팅 기술에 비견되는 표면 금속광택을 낼 수 있는 반면 근접 표면만 개질되므로 환경에 따라 변색이 되어 이를 방지할 기술 개발이 필요하다.

#### 6. 이온주입기술을 응용한 초친수 표면 개질 기술개발

일반적으로, 열교환기는 에어컨이나 냉장고 등에 증발기 및 응축기 형태로 설치되어, 냉매의 순환 과정에서 열의 방출이나 흡수를 위해 외기와 열교환을 수행한다. 이러한 열교환기는 냉매가 흐르는 관에 외부와 열교환을 위한 냉각핀을 구비한다. 열교환기는 우수한 방열 또는 냉각 효과를 얻기 위해서 냉각핀간의 간격을 좁게 하고 외부와의 접촉면적을 넓힌다. 이때, 대기 중의 수분이 열교환기의 표면에 응집되면서 냉각핀간 간극이 막혀 통풍 저하를 일으키고 열교환 성능을 저하시키는 원인이 된다. 또한, 응집된 물방울이 냉각핀을 조성하는 금속제의 부식을 유발하고, 백색 분말의 산화물을 생성시키며, 열교환기의 표면이 젖은 상태로 지속될 경우 미생물의 번식이 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방편으로, 냉각핀을 제조하는 과정에서 알루미늄 또는 알루미늄 합금에 친수성을 부여하여, 냉각핀에 물방울이 응집될 경우 물방울이 맺히지 않고 퍼지게 하여 열교환 효율을 증가시

킨다. 종래 열교환기 냉각핀에 사용되는 1공계 알루미늄 합금의 경우 열전도도가 우수하여 냉각핀 재료로 사용되고 있으나 알루미늄 표면의 응축수접촉각이 90도 이상으로 큰 값을 가지고 있어 냉각효율 증대를 위해서는 친수표면처리가 필요하다.

#### 7. 200mpm대응 냉연 강판용 고속에칭 이온원 개발

산업이 발달에 따라 철강업계 등 많은 분야에서 코팅의 적용이 가속화 되고 있고 코팅을 적용하기 위해서 코팅전 밀착력 향상을 위하여 전처리로 에칭기술이 꼭 필요하다. 따라서 본 연구원에서는 기존에 이온빔을 활용하여 산업용 고속에칭 이온원을 연구를 진행하였다.

#### 8. 유색보석 발색기술 개발

구조적 결함이나 불순물은 함유한 보석은 보석으로서의 가치가 떨어져 상품성이 낮다. 이러한 하급 보석을 이온주입과 열처리를 통해 색상을 갖는 유색보석으로 변화 시키면 새로운 부가가치를 창출하며 사용할 수 있다.

#### 9. 마이크로스피커 진동판 음량 제어기술개발

휴대폰이나 휴대용 음향기기 등의 휴대기기가 널리 보급되며 마이크로 스피커가 내장된 이어폰이나 헤드폰의 이용자가 늘고 있고 다양한 제품이 만들어 지고 있다. 이러한 마이크로 스피커는 진동판의 크기와 재질, 구조 등의 여러 가지 요인으로 인해 풍부한 저음을 내는데 한계를 보인다. 이를 개선하여 저렴한 비용으로 저음역을 보강하여 고품질의 우수한 마이크로스피커 진동판을 제조할 수 있는 기술의 개발이 필요한 실정이다.

#### 10. Sn 무전도 코팅 공정기술개발

플라스틱 표면에 금속질감을 갖는 Sn을 코팅하면 고급스러운 외관을 갖출 수 있지만 박막의 접착력도 낮고 전자파 차폐기능도 없는 단점이 있다. 이를 개선 보완하기 위해 증착된 Sn 코팅표면에 이온주입기술을 적용하여 접착성 향상과 무전도 특성을 확보할 필요가 있다.

#### 11. 의료용 생체재료 이온빔 표면처리 기술개발

의료용 생체재료로는 인공관절, 인공치아, 스텐트 등을 대표로 들 수 있다. 인공관절의 경우, 특히 고관절 치환술 환자의 평균연령이 60대에서 40대로 감소추세에 있어, 현재 인공관절의 수명은 15년 내외이므로, 내구성향상(수명향상)을 위한 표면처리 방법이 최근에 크게 이슈화되고 있다.

의료용 생체재료에 적용되는 표면처리 기술은 외국의 경우, CaP 코팅이나, 콜라겐 표면처리, Drug Eluting, 이온빔 표면처리 등의 기술 등이 복합적으로 적용된 생체적합성 향상 표면처리 기술이 적용되고 있다. 국내에서는 CaP 코팅이나, 콜라겐 표면처리 등의 기초연구 및 일부 제품화가 되었으나, 이온빔 표면처리 기술을 의료용 생체재료 제품에 적용한 경우는 없다. 국내의 의과대학을 중심으로 항혈전성 의료용구 개발 및 스텐트 코팅재료, 인공치아 표면처리 등이 연구되고 있으나, 생체적합성 표면처리분야에서 산·학·연 중심의 체계적인 연구가 매우 부족한 실정이다.

## 제2장 국내외 기술개발현황

### 제1절 국내 연구동향

#### 1. 금속 휴대폰케이스 세라믹 채색 코팅 및 접합력 향상 이온빔 믹싱 공정 개발

- 일반적으로 사용되는 휴대폰케이스는 Polycarbonate 등 고분자재료를 사용하고 있으나, 전자파 차폐, 표면 스크래치 문제에 의해 지속적으로 금속 케이스 적용을 여러 연구자들이 시도하고 있다. 기본적으로 휴대폰케이스에는 가벼운 금속이 적용되어야 하며, 이를 위해 마그네슘, 알루미늄 케이스를 고려하고 있다. 이 밖에도 마그네슘이나 알루미늄은 스틸 소재의 프레스 성형과 달리 정밀주조 기법인 다이캐스팅을 통해 생산되고 있어, 복잡한 형상과 감각적인 디자인을 구현하기에도 유리하다. 이 중 마그네슘합금은 상대적으로 가볍고, 장식적으로 금속광택을 가지는 장점이 있으나, galvanic corrosion에 의한 부식에 약한 단점을 가지고 있다. 이러한 내부식성을 보완하기 위하여, 여러 연구자들이  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$  등의 여러 색상을 구현할 수 있는 세라믹코팅법을 개발하고 있으나, 이종물질간의 접합시 가장 문제시 되는 세라믹박막과 마그네슘 모재사이의 밀착력에 한계를 가지고 있는 실정이라 이에 대한 연구를 지속적으로 연구하고 있다.
- 삼성전자가 지난 2006년 9월 '초슬림 위성 DMB폰(SCH-B500)'에 국내 처음으로 마그네슘에 메탈 도금을 한 소재를 채택한 데 이어, LG전자도 기대작 '샤인(LG-SV420, LG-KV4200, LG-LV4200)'의 외장 전체를 스테인리스 스틸로 제작하는 등 휴대폰 업계에 '금속 소재 열풍'이 불고 있다.
- 컬러 마케팅에 있어 금속에 색상을 입히기 위해서는 소재의 종류와 코팅 층의 두께에 따라 색상이 다양하게 변할 수 있는 세라믹 소재 코팅이 고려될 수 있다. 이의 방법으로는 아노다이징 방법으로 산화층을 여러 가지 두께로 형성시켜 다른 색상을 내는 방법과 여러 가지 세라믹을 여러 가지 두께로 코팅하여 색상을 발현할 수 있는 방법이 국내에서 시도되고는 있으나 상업화는 아직 시작되지 않고 있다. 아노다이징 방법은 산화층의 두께를 조절하여 색상을 조절하는 방법으로 표면이 다소 거친 경향이 있다.
- 또한 금속 표면을 도금하는 방법이 있는데 바렐연마 공정 후 도금 공정을 적용할 수 있는데 도금 층의 균일성 및 약 0.1-0.5mm 크기의 곰보 형상으로 벗겨지는 단점이 알려지고 있다. 도금 공정은 유산동→니켈→크롬3가로 진행 되었고 세정 공정으로는 예비탈지-탈지-에칭-전해세정으로 진행 되는 걸로 알려지고 있는데 세정 과정에서의 문제점이 있는 것으로 고려되고 있다.



## 2. 대면적 LCD 제작을 위한 무기박막 표면의 이온빔 액정배향 공정기술개발

- 삼성전자의 광배향 기술, PVA (Patterned VA) 기술, 현대전자의 FFS(Fringe Field Switching) 기술 등 구동 모드에 있어서는 경쟁국인 일본을 앞서가는 수준에 다다르고 있다. LCD 제조용 소재의 개발 연구는 매우 미진한 상황이나, 최근 들어, 한국화학연구원과 공동연구를 통해 제일모직(주)에서 VA형 배향막의 생산을 개시하였다. 차세대 배향기술인 광배향 및 IPS 기술 개발을 위한 액정배향막 개발은 연구가 진행되고 있다. 현재까지 축적된 연구결과와 활용에 의해 향후 경쟁력을 가질 수 있을 것으로 사료되나, 아직도 소재 제조업체와 사용업체 간의 긴밀한 협조가 부족한 실정으로 상호간의 정보 교류 및 평가 업무 등의 원활한 수행이 요구되고 있다.
- 국내 TFT LCD 시장의 경우, 삼성전자 및 LG 필립스 LCD가 세계 제 1,2 위의 생산 업체로 부상하여, 전세계 생산량의 40%를 차지하고 있으며, 2005 년경에는 일본과 대등한 위치의 액정디스플레이 생산국으로 부상할 것으로 예상된다. 따라서, 액정디스플레이 제조의 핵심 소재인 액정배향막 시장도 크게 성장할 것으로 사료된다. 향후 MVA 방식의 rubbing-less 방식의 채용이 기대되며 그 결과 공정 단순화에 의한 가격저감화 및 대형 판넬에의 적용 가능성 등이 높아질 것이다. 즉, 대화면 모니터, 액정 TV 등으로의 용도가 확대될 전망이다. 반면 액정배향막 산업의 성장저해요인으로는 제휴전화, 노트북 PC 등 용도 제품의 수요 축소가 내다보이며, 특히 배향막을 사용하지 않는 소자 방식의 실용화 및 보급의 가능성이 높다는 점이다. 결론적으로, 액정배향막 시장은 적용제품의 수요의 확대에 비례하여 성장하며 이후 박형 액정 TV와 모니터 등 대형 판넬의 수요가 증가가 예측되기 때문에 액정배향막의 판매량도 증가할 것으로 예상된다. 도포방식도 현재의 러빙방식으로부터 러빙을 하지 않는 방식으로 서서히 이동될 것으로 예상된다. 또한 공정 중 소재의 손실의 저감과 공정의 간략화에 따른 가격 저감화 등의 추세도 예견되며, 소자기술개발에 대응할 수 있는 필수 개발 기술로는 대형 액정디스플레이에 대응할 수 있는 우수한 대면적 도포성을 가지는 배향 재료 개발이다.

## 3. 플라스틱 사출 금형 이온빔 연마기술 개발

- 핸드폰, 반도체 등 전자 부품의 정밀도가 수십 나노미터로 요구되고 있으나 플라스틱 전자 부품의 정밀도를 결정하는 플라스틱 사출 금형의 정밀도는 현재 수백  $\mu\text{m}$  정도이다. 플라스틱의 용착에 의한 이형불량은 이 정밀도에 기인한다. 따라서 이형성과 정밀도를 개선하기 위해 표면 거칠기를 제어하는 기술개발이 필요하다.

- 1mm이하의 선폭을 가지는 사출금형의 선폭 사이 옆면은 현재 수공으로 표면거칠기를 제어하고 있으며 또한 코팅 기술로는 금형 골 사이를 균일하게 코팅하는 것이 거의 불가능하며 열응력이 존재하는 사출공정의 특성상 코팅층의 박리가 발생하면 보다 심각한 문제를 야기할 수 있다.
- 양산 플라스틱 사출금형의 경우 금형 표면 거칠기가 클 경우 성형품의 광택불량, 금형의 Cracking, 성형품의 정도불량 등의 문제점이 발생하며 모두 사출 성형품의 불량률과 관계가 있으며, 심할 경우 금형의 파손이 유발되며 이 경우 사출성형기를 정지시키고 금형을 교체해야하므로 생산성에 영향을 미치며 그 만큼 경제적 손실을 가져온다.

#### 4. Metal PCB 기판에 Cu 코팅층의 접합성 향상 기술개발

- 핸드폰, 디스플레이 등의 PCB 기판에 사용되어온 플라스틱은 금속이나 세라믹에 비해 열전도가 낮아 금속이나 세라믹으로 대체하는 것이 추세이며, 세라믹의 경우는  $Al_2O_3$  및  $AlN$  등을 사용할 수 있으나 경제적인 문제로 금속 기판을 사용하고, 양극산화법을 이용하여 표면에 절연층을 형성시켜 사용하고 있다.
- 기존의 제품은 이 산화알루미늄 층 위에 Cu 도선(conductive path)을 도금하기 위해 수십  $\mu m$  두께의 epoxy resin을 입히고 도금하여 접합성을 향상시키고 있는데 이 기술의 단점은 epoxy층의 열전도도가 기존의 플라스틱 기판과 마찬가지로 좋지 않아, 도선에 전류가 흐를 때 발생하는 열로 인해 도선의 열팽창으로 인해 박리가 쉽게 발생하는 단점이 발생한다. 따라서, 알루미늄 표면의 산화층에 Cu 박막을 직접 입히는 것이 가장 바람직하나 산화알루미늄과 Cu 간의 접합성이 좋지 않아 이를 해결할 기술이 요구되고 있다.
- 국내에서는 산화알루미늄 표면을 레이저나 이온빔으로 개질한 후 코팅하면 강한 접합성이 얻어진다는 것인데 막의 두께가 두꺼우면 지지층이 너무 좁아 박리의 위험성이 높은 단점을 가지고 있다.

#### 5. 이온빔 표면개질을 이용한 차량내장용 고분자 고광택 도금 대체기술개발

- 국내 자동차 Maker에서는 청정 표면처리 기술 개발에 많은 관심과 기술 개발 의지를 가지고 있으나 이를 실행할 연구 개발 조직 및 전문 연구 인력이 부족하여 일부 연구기관에서는 건식 코팅 기술을 개발하고 있으나 3차원 제품에의 적용기술 및 신뢰성 확보 기술에 대한 연구가 필요하다.
- 자동차 내외장 부품 제조 기업의 경우 완성차 Maker로부터 청정 표면처리 기술에 대한 개발

요구를 받고 있으나 기술 개발 체제가 갖추어져 있지 못한 상태이다.

- 기존 습식크롬 도금 등이 산업현장에 자동차 내장재 장식용 코팅으로 적용되고 있으나 환경 및 단가문제가 점차 대두되고 있는 실정이다. 그러나 현재까지 습식크롬과 같은 기계적, 광학적 특성이 우수한 대체기술을 확보하지 못해 아직까지 환경유해 표면처리 방법인 습식 크롬 도금을 적용하고 있다.

#### 6. 이온주입기술을 응용한 초친수 표면 개질 기술개발

- 알루미늄 핀의 소재는 높은 열전도도를 가지고는 있지만, 80도 이상의 높은 접촉각 때문에 수분의 응결 응축을 발생시키는 요인이 된다. 이를 개선하고자 일반적인 방법으로 친수특성의 계면활성제를 이용하지만, 이는 물에 씻겨져 나가는 단점이 있고, 현재 에어컨 제작회사에서는 플라즈마 코팅이나, 나노 실리카 입자를 코팅시키는 방법으로 친수표면의 알루미늄 냉각핀을 개발하고 있다.
- 플라즈마 코팅은 고분자 코팅후 플라즈마 처리를 하는 것이라 Aging에 대한 단점을 노출시키고 있고, 나노 실리카 입자의 경우에는 미세먼지 같은 것이 입자 사이에 끼게 되면 구멍을 막아 응결된 물이 흘러내리지 못하게 하는 단점을 가지고 있다.
- 일반적인 폴리머 코팅 공정순서에서, 우선 알루미늄 고분자 피막처리를 한 후, 어닐링을 시켜 마지막으로 프레스를 찍어 알루미늄 핀을 제작하고 있으며, 이때, 산화물 제거나 린스, 하도코팅과 탑코팅을 거치게 되는데, 이온빔 기술을 이용했을 경우에는 여러 가지 공정을 대체할 수 있어 표면의 친수특성을 가지는 재료를 제작하는데 있어 여러 가지 장점이 있다.

#### 7. 200mpm대응 냉연 강판용 고속에칭 이온원 개발

- 일반적으로 이온빔 에너지 수 keV에서 수십 keV의 조건으로 소재에 조사하면 표면에서 이온빔 스퍼터링 현상이 일어나며, 이러한 현상을 이용하여 산업적으로는 나노가공, 에칭공정 등에 사용되어져 왔다. 그러나 기존의 국내연구는 이온원은 주로 코팅시 보조장치로서 사용되어 그 연구기반이 미미한 실정이다.
- 포스코에서는 기존의 코팅전 강판전처리 기술로는 Inverse Magnetron Sputtering법을 사용하여 왔으나, 폭변화와 강판두께변화가 어려운 단점을 가지고 있다. 따라서, 이러한 단점을 극복하기 위하여, 이온빔 에칭을 채용하고 있는 실정이다.
- 한국기계연구원 재료연구소에서는 대면적 이온빔 처리를 위한 300mm급 대전류 이온원을 개발하였으며, 추후 1550mm급 이온원을 개발할 예정이다. 그러나 개발된 이온원의 경우 Linear

Type 이온원이므로 이온에너지는 4~5keV정도에 불과하다. 이 경우, 강판에칭시, 최대 10nm/s(Si 기준)의 에칭율을 가지며, 이는 스퍼터링 일드에 한계가 있어 양산속도의 문제를 가지고 있다.

#### 8. 유색보석 발색기술 개발

- 국내에서는 High Pressure High Temperature (HPHT) 공법을 적용하여 유색보석에 색상이 없게 하는 기술이 개발 되고 있으며, 하나로 등 시험용 원자로 내에서 방사선 조사에 의해서 유색화한 사례도 있으나 상업생산까지는 미치지 못하고 있다. 블랙 다이아몬드는 아직 개발 되어 판매된 예가 없다.
- 국내의 몇 가지 연구개발 사례에서 나타난 결과는 시험용 원자로 내에서 생산된 유색 보석들이 시효현상이 있다는 것이다. 이것이 상업화 성공을 거두지 못한 결과로 평가 되고 있다. 이 시효현상은 조사 직후와 몇 년이 지난 후의 색상이 다르다는 것인데 원자의 위치만 변화시켜 일시적인 발색원 (color center)을 만들어 발색하게 되는 경우 흔히 예상되는 결과이다.

## 제2절 국외 연구동향

### 1. 금속 휴대폰케이스 세라믹 채색 코팅 및 접합력 향상 이온빔 믹싱 공정 개발

- 레이저공법을 이용하여 외관에 금속성 컨셉트를 도입했던 모토로라사가 메탈 소재 개발에 힘쓰고 있는 것으로 알려져 있으나 국내 기술 수준이 거의 세계적 수준인 것으로 조사되고 있다.

### 2. 대면적 LCD 제작을 위한 무기박막 표면의 이온빔 액정배향 공정기술개발

- 액정디스플레이는 일본의 기업에 의해 상업적으로 개발되었으며, 따라서, 액정디스플레이 관련 소재의 대부분을 일본 기업이 독점하고 있다. 액정배향막 시장도 마찬가지로 일본의 제조업체들이 중국, 한국, 아시아 시장을 점유하고 있다. 액정배향막 시장은 현재 일본 업체의 독점성이 강하며, 특히 폴리아믹산 용액의 고순도화 기술은 일본 업체만이 기술을 보유하고 있다. 중국, 동남아시아의 경우 TN용 배향막을 자체 생산하고 있으나, STN용의 경우에는 일본 업체의 의존성이 강하다. TN용 배향막을 대량 생산하는 중국의 경우, STN용 배향막의 개발 연구를 추진 중에 있으며, 현재는 Nissan chemical 사의 제품이 중국 및 아시아에서 사용되고 있다. 대부분의 액정디스플레이 소자에 있어서 액정의 배향은 고분자 배향막을 러빙처리함에 의해 이루어지는데, 러빙공정은 잘 알려진 바와 같이 분진, 정전기 발생 등의 문제를 내포하고 있다. 또, 패널 크기의 대형화에 따라 러빙방법은 패널의 표면에 균일한 배향제를 도포하기 어렵게 하며 고정세화에 악영향을 미친다. 최근 러빙공정을 행하지 않는 액정의 배향방법으로서 자외선 영역의 직선편광 조사에 의한 광배향법이 주목되고 있다. 광배향법은 액정디스플레이의 고정세화에 수반하는 화소의 미세화 및 광시야각화에 필요한 화소의 배향 분할이 가능하다. 광배향법으로는 입사직선 편광에 의해 야기되는 각종 광화학반응으로는 광이성화, 광분해 광이량화 등이 있다. 그러나 광이성화반응에는 역반응의 영향, 광분해반응에는 분해생성물에 의한 액정층의 오염 등의 단점이 있는 반면, 광이량화반응에 있어서는 초기 poly(vinyl cinnamate)가 검토되었으나, 사용하는 자외선의 파장이 짧기 때문에 범용 대형 노광장치가 사용되기 어려운 등의 대량화에 문제가 있다. 그리하여, 사용 자외선 파장을 장파장화 하기 위해 carcone계 고분자가 검토되고 있는데, carcone계 고분자에서는 poly(vinyl cinnamate)계에 비교하여, 흡수파장이 장파장이고, 장파장의 자외선 조사에 의해서도 광이량화 반응이 효율적임이 관찰되었다.
- 최근 Dinippon Ink 공업사는 홍콩과학기술대학과 공동으로 액정표시소자의 기반재료가 되는 액정광배향막의 개발에 성공하였다. DIC 사는 소재 및 제법에 관한 독자적인 기술을 보유하고

고 있으며 현재의 주류인 러빙형 배향막과 비교하여 볼 때 에너지 효율이 2배 이상으로 개선한 것으로 알려져 있다. 이 방법에 의하면 러빙공정을 거치지 않고도 액정분자를 균일한 상태로 제어할 수가 있고, 액정판넬의 대형화에 대응이 가능할 뿐만 아니라 휘도가 우수한 장점이 있다. 향후 실용화까지는 3~4년이 더 소요될 것으로 보인다.

- IBM은 2001년 무기박막인 DLC(Diamond like carbon)에 이온빔을 이용한 러빙을 하지 않는 (Non-rubbing)법으로 기술개발을 하였다. 액정배향에서 요구되는 필름 특성은 투명성, 저항성, 고착성 그리고 이온빔에 의한 불균형 표면의 형성 등이 거론된다. DLC 박막의 저항성은 높아 디스플레이 응용에도 충분한 것으로 알려져 있으며 박막의 구성 즉 C/H비는 이온입자에 의한 LC 배향을 충족시키는 넓은 영역을 가지고 있다. (Nature, Vol.411, p.56, 2001)

### 3. 플라스틱 사출 금형 이온빔 연마기술 개발

- 일본의 경우, 빔을 이용하여 표면거칠기를 제어한다고 하며 국산 제품과의 품질 격차를 보이고 있다. 그러나 어떤 빔을 사용하여 표면 거칠기를 제어하는지는 국내업체에 알려져 있지 않다.

### 4. Metal PCB 기판에 Cu 코팅층의 접합성 향상 기술개발

- 레이저 믹싱, 이온빔 믹싱, 이온빔 스퍼터 코팅 방법 등을 사용하여 이종물질간의 접합력 향상에 대한 연구는 꾸준히 발표되고 있으나, 레이저의 경우 기판 손상문제 등의 이유로 응용분야가 제한되어 있으며, 이온빔의 경우 고가의 설비비로 실제 산업화에 어려움을 안고 있다.

### 5. 이온빔 표면개질을 이용한 차량내장용 고분자 고광택 도금 대체기술개발

- 도요다, GM, BMW등 국외의 우수 자동차 Maker에서는 유해 물질 발생 표면처리 기술을 대체할 수 있는 기술 개발하여 왔으며 내장재뿐만 아니라 외장재(펌퍼, 외장 로고 등)에도 적용하고 있음은 물론 소비자 취향에 따라 화려한 칼라, 파스텔톤 칼라, 금속 칼라 등을 구현할 수 있는 기술을 확보하고 있다.

### 6. 이온주입기술을 응용한 초친수 표면 개질 기술개발

- 이온빔처리나 플라즈마 표면처리를 통해 유리나 고분자에 친수성을 부여하는 연구는 많은 연구자들이 수행하였으나, 아직까지 Aging문제 등의 문제점을 안고 있고 금속자체의 친수성을 부여하는 연구는 미미한 실정이다. 그러나, 이러한 표면 친수 연구는 김서림 방지 등의 응

용분야가 넓어 아직까지 여러 연구자들의 핫이슈 연구테마로서 연구가 활발히 진행되고 있다.

#### 7. 200mpm대응 냉연 강판용 고속에칭 이온원 개발

- 반도체 회로수정 및 나노가공을 위한 FIB(Focused Ion Beam) 장치 등이 일본 SI사 등이 개발하여 국내에 수입되고 있으며, 미국 GP사에서는 에칭용 이온원으로 Closed Drift 이온원을 개발하여 상용화에 성공하였다. 그러나 이러한 이온원 들은 대면적의 문제점 해결과 저에너지 대전류의 문제점을 안고 있어 지속적인 연구가 수행되고 있는 실정이다.

#### 8. 유색보석 발색기술 개발

- 다이아몬드의 경우 고에너지 입자충돌로서 pale yellow에서 fancy blue, green, brown, orange, very dark green, 그리고 yellow로 변화할 수 있다는 보고가 있으며, 이러한 고에너지 입자들은 전자, 중성자, 양성자, 감마선, 알파 입자등을 포함한다. 감마선(보통 60Co사용)에 노출시 blue & yellow color center 생성하며 brownish & brownish green color 외관을 나타내며, yellow color center는 열처리에 의해 쉽게 제거된다. 또한, 전자빔에 노출하는 경우가 있는데 이 경우 deep blue color(sky blue 라고도 함)를 생성하며, 후 열처리(냉각 또는 가열)를 하면 바람직하지 않은 잔여 yellow color가 제거된다. 원자로에서 고속중성자에 노출하여 blue color를 낸 경우가 있으며 보다 자세히는 medium 에서 dark grayish blue 색상을 내며 steely 또는 inky로 명명하기도 하는데 후 열처리가 없이도 색상이 그대로 유지된다는 보고가 있다.
- 갈색(brown 또는 pale brown)다이아몬드를 High Pressure High Temperature (HPHT) 공법을 적용하여 고압에서 가열하여 color center을 제거하거나 줄여서 무색 또는 pale pink 또는 pale blue로 되게 하여 판매한 경우가 있는데, 이 방법은 GE에서 개발하여 Pegasus Overseas Limited(POL)사에서 “GE POL”보석이라 명명하여 판매하고 있다.
- Saito 등은 코발트 이온을 사파이어에 주입하여 각각 800 °C와 1000 °C에서 열처리하여 각각 녹색과 옅은 청색을 발색하는 사파이어를 얻었다고 발표하였다[Nuclear Instrument and Methods in Physics Research b 218(2004)139-144]. 그러나, 이들이 사용한 이온에너지는 20 keV이기 때문에 이온의 침투 깊이는 매우 얇으며, 저 에너지로 인해 코발트가 사파이어의 구성원소인 알루미늄과 산소의 주입 직후에는 화학결합을 이루지 못하다가 열처리로 인해 에너지를 받으면서 화학결합에 의한 결과라고 할 수 있다.

- 또한, Alves 등은 티타늄 및 코발트를 사파이어에 주입 후, 열처리 과정에서 발생하는 현상에 대해 연구하였는데 이온주입 후 1000 °C까지는 티타늄 및 코발트가 알루미늄과 치환되어 안정된 상태를 유지한다고 발표하였다. 환원 분위기에서 열처리를 한 경우 및 다량의 이온을 주입하는 경우에는 주입 이온들 끼리 결합하여 금속 상태로 더 많이 존재한다고 보고하여 1회에 주입량이 이온주입방법에서 중요한 요소임을 발표하였다[Nuclear Instrument and Methods in Physics Research b 207 (2003) 55-62].

### 제3절 조사한 연구개발사례에 대한 자체분석 및 평가결과

1. 금속 휴대폰케이스 세라믹 채색 코팅 및 접합력 향상 이온빔 믹싱 공정 개발
  - 세라믹을 금속에 코팅하는 기술에 있어 문제점들은 세 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 색상의 안정적 구현 (공정 재현성), 둘째, 코팅 층 접합력 향상, 그리고 코팅층의 치밀성 등 이다. 이중 가장 어려운 기술은 접합성 향상일 수 있는데 이는 코팅 기술이 안고 있는 가장 일반적인 문제이기도 하다. 이 접합성 문제를 해결하기 위해 이온빔 믹싱 기술 적용을 기대할 수 있다.
2. 대면적 LCD 제작을 위한 무기박막 표면의 이온빔 액정배향 공정기술개발
  - 고분자물질을 대체하는 무기박막 표면에 이온빔을 조사하여 러빙법이 가지는 단점을 보완하고, 점차 대형화되어가고 있는 패널 크기에 맞추어 균일한 대면적의 이온빔을 가지는 공정기술개발 연구가 요구된다.
3. 플라스틱 사출 금형 이온빔 연마기술 개발
  - 국내에서는 물론 국외에서도 수십 나노의 평균 표면거칠기를 가지는 정밀기계가공기술을 가지고 있으나 정밀기계사용시 사용하는 고가의 공구 등으로 최종 후처리비가 높게 산정되어 상대적으로 제품의 단가를 상승시키는 요인으로 작용하고 있으며, 이온빔 조사로 수 나노단위의 평균 표면거칠기를 가지는 공정조건을 확립할 경우 금형시장에서의 기술우위를 점할 수 있으며 이로 인한 수출 증대와 수입대체를 기대할 수 있다.
4. Metal PCB 기판에 Cu 코팅층의 접합성 향상 기술개발
  - 산화알루미늄 표면을 레이저나 이온빔으로 개질한 후 코팅하면 강한 접합성이 얻어진다는 연구결과가 있으나 막의 두께가 두꺼우면 지지층이 너무 얇아 박리의 위험성이 높아지므로, 산화알루미늄 표면위에 구리층을 얇게 코팅 한 후 수십 KeV 이상의 이온빔을 조사하여 계면



을 혼합하는 ion beam mixing 기술을 적용하여 접합성 향상을 위한 seed layer를 형성시킨 후 후막을 증착하는 공정개발을 통해 문제점을 해결할 수 있다.

#### 5. 이온빔 표면개질을 이용한 차량내장용 고분자 고풍택 도금 대체기술개발

- 기존의 고분자 금속광택을 위한 코팅공정을 대체하기 위하여 친환경기술인 이온빔 표면처리를 통해 고분자 표면의 광택도를 부여하고, 금속질감의 표면을 얻을 수 있으며, 또한 부가적으로 내스크래치, 내광성 향상을 위한 표면처리 최적 공정조건을 확립할 필요가 있다.

#### 6. 이온주입기술을 응용한 초친수 표면 개질 기술개발

- 냉장고나 에어컨 열교환기에 사용되어지는 알루미늄 냉각관의 경우, 표면의 친수특성이 부여되면 실제 송풍량의 증가로 인해 에너지 절감효과를 가져올 수 있으며, 이에 따라 알루미늄 표면에 친수특성을 부여하는 이온빔 표면처리공정을 개발이 필요하며, 또한 기존의 Aging효과를 감소시킬 수 있는 새로운 표면처리 방법이 필요하다.

#### 7. 200mpm대응 냉연 강판용 고속에칭 이온원 개발

- 강판 양산 코팅공정시 강판표면의 오염물질이나 산화층을 제거하기 위한 전처리 공정시 빠른 속도로 진행하는 강판에 대응하기 위하여 수십 nm/s의 에칭속도를 가지는 대전류 대면적 이온원 개발이 필수적이다. 따라서, 수 nm/s를 가지는 기존의 에칭이온원보다 훨씬 높은 에칭속도를 가지는 이온원 개발이 필요하다.

#### 8. 유색보석 발색기술 개발

- 3 MeV이하의 양성자 빔 조사에 의한 녹색, 황색 다이아몬드도 방사선 방출이 수 시간 이내에 허용치 이하로 떨어지므로 안전하며 원래의 색상(갈색 또는 분균일 발색)에 관계없이 같은 발색을 하게 하므로 타 기술과 비교할 수는 없지만 시중 가격에 비교할 때 경제성 면에서 충분히 경쟁력이 있다. 또한 품질 측면에서도 웬만한 다이아몬드는 1 MeV 이상의 양성자 빔이면 투과를 하므로 모든 깊이에서 발색이 됨을 확인 할 수 있었다. 또한 녹색뿐만 아니라 이온량을 줄이면 청색 발색도 가능한 만큼 상업성을 기대할 수 있다.
- 일정범위의 에너지 및 이온량으로 금속이온들을 사파이어에 조사하고 내부로 이온이 주입되는 효과 및 산소분위기에서 적절한 열을 가해주면 이온주입 시 발생한 조사손상을 제거하면서도, 사파이어 내부까지 균일하게 주입원소가 확산되며 공정을 반복하면 색상의 농도를 점

진적으로 높아나가 표면층의 조사손상을 최소화함과 동시에, 사과이어 내부까지 균일하게 원소를 도핑 발색을 구현 방사선의 위험성이 없고 색상 발현이 우수하여 여타 방법과 구분된다.

#### 제4절 현기술상태의 취약성

핵심기술명	선진국 기술 수준	국내 기술 수준	선진국 100%대비 수준
휴대폰 케이스 채색코팅	세라믹 코팅 방법은 알려진바 없음	아노다이징 및 건식 코팅 시도 중	-
이온빔 액정배향 공정기술	무기박막에 이온빔 배향후 R&D용 노트북(13.3인치)에 적용	유기 및 무기박막에 이온빔 배향 R&D	30%
플라스틱 사출 금형 이온빔 연마기술	이온빔 표면연마 평균 거칠기 ~10nm	렌즈 금형 기준 평균거칠기 200nm	20%
코팅층의 접합성 향상 기술	밀착력 40N 이상	밀착력 30N 이하	70%
고분자 고풍택 도금 대체기술개발	PVD증착을 통한 도금기술	도장 및 습식크롬 도금기술	50%
초친수 표면처리기술	고분자 친수처리	고분자 친수처리 (Aging 문제 존재)	70%
고속에칭 이온원	에칭속도 수 nm/s (Si 기판)	에칭속도 수 nm/s (Si 기판)	90%
보석 발색기술	감마선 및 전자 빔 으로 발색 고온고압방법으로 다이아몬드 발색/탈색	양성자 및 전자 빔으로 발색 연구 중	80% (색상에 따라 특허 기술보유)

## 제5절 앞으로의 전망

1. 금속 휴대폰케이스 세라믹 채색 코팅 및 접합력 향상 이온빔 믹싱 공정 개발
  - 가벼운 금속 기판에 채색 코팅구현은 휴대폰 외장 케이스 외에도 디지털 카메라, 노트북 등 적용 분야가 매우 많음.
  - 휴대용 전자기기(휴대폰, 노트북, 디지털카메라 네비게이션 등)와 의료기기의 전자파 차폐규정이 강화되고 있어 연구개발에 따른 기술적 부가가치가 매우 클 것으로 전망.
  - 생산규모가 휴대폰의 경우 국내 생산규모가 7000만대 이상 대폭 증가함에 따라 플라스틱/금속코팅 소재시장도 따라서 증대되어 이온빔을 이용한 밀착력 향상 표면처리기술만 개발되면 국내 시장 뿐만 아니라 세계시장에서의 기술선점도 가능해짐.
  
2. 대면적 LCD 제작을 위한 무기박막 표면의 이온빔 액정배향 공정기술개발
  - 디스플레이 시장은 2010년 약 2.8억불에서, 2015년 약 59억불, 2017년 약 122억불의 시장을 형성할 것으로 판단되고, 신개념의 노트북, 모니터, TV 또는 이러한 기능들을 통합한 새로운 개념의 디자인과 기능을 가진 디스플레이 응용이 예측.
  - 액정배향막 시장은 적용제품의 수요의 확대에 비례하여 성장하며 박형 액정 TV와 모니터 등 대형 패널의 수요 증가가 예측되기 때문에 액정배향막의 판매량도 증가할 것으로 예상.
  - 향후 러빙 보다는 소재손실을 줄이고 공정 간소화에 유리한 비접촉식 방식으로 변화가 예상된다.
  
3. 플라스틱 사출 금형 이온빔 연마기술 개발
  - 양산 플라스틱 사출금형의 경우 금형 표면 거칠기가 클 경우 성형품의 광택불량, 금형의 Cracking, 성형품의 정도불량 등의 문제점이 발생하며 모두 사출 성형품의 불량률과 관계가 있으며, 심할 경우 금형의 파손이 유발되며 이 경우 사출성형기를 정지시키고 금형을 교체해야하므로 생산성에 영향을 미치며 그 만큼 경제적 손실을 가져옴.
  - 이온빔 표면처리 공정을 통해 금형의 표면 거칠기를 제어 할 수 있을 때 고정밀 패턴구현이 가능하며 불량률의 감소로 생산성 향상을 기대할 수 있음.
  - 정밀 가공기술이 향상되면 국내 산업적 경쟁력 또한 상승 수입대체 효과를 가져 올 수 있음.
  
4. Metal PCB 기판에 Cu 코팅층의 접합성 향상 기술개발

- 모바일 기기나 디스플레이 기기등이 점차 소형화되고, 고주파 소자를 많이 사용함에 따라 전자파 문제와 열발생 문제를 해결할 수 있게 기존의 플라스틱(배이크라이트) PCB 기판을 대체할 수 있는 금속 기판으로 점차 수요가 증가하고 있음.
- 본 기술이 개발되면 열발생에 의한 제품의 불량을 줄일 수 있어 신제품이 개발되어 시장 점유율 향상이 기대 됨.
- 본 기술 개발이 성공 할 경우 기타 이종물질간의 접합을 필요로 하는 여러 산업 분야에 파급 효과가 매우 클 것임.

#### 5. 이온빔 표면개질을 이용한 차량내장용 고분자 고광택 도금 대체기술개발

- 최근 들어 자동차, 반도체/디스플레이, 조선 산업등에 사용되고 있는 환경오염 발생 표면처리 기술에 대한 국제적 규제로 인해 이를 대체할 수 있는 청정 표면처리 기술 개발이 시급히 요구되고 있음.
- 자동차 산업의 경우 디자인이 소비 패턴을 크게 좌우함은 물론이고, 고급감성을 요구하는 취향을 만족시킬 수 있는 금속도금 대체 기술이 필요함.
- 이온빔을 이용한 자동차 내장재 금속도금 대체기술이 개발되면 그 파급효과 매우 클 것으로 기대됨.

#### 6. 이온주입기술을 응용한 초친수 표면 개질 개술개발

- 에어컨/냉장고의 열교환기 냉각핀에서의 초친수 표면처리 기술이 개발되면, 조선, 유통분야의 열교환기에의 적용이 가능하며, 이외에도 김서림 방지시장으로의 파급효과가 기대됨.

#### 7. 200mpm대응 냉연 강판용 고속에칭 이온원 개발

- 강판 고속에칭을 위한 대전류 대면적 이온원이 개발되면 이온빔 기반기술의 산업적인 적용 기반이 구축되고, 고부가가치 표면코팅산업에의 파급효과가 기대됨.
- 또한, 대전류 이온원을 활용하여 기존방식을 탈피한 이온빔 스퍼터 코팅법으로의 적용 등이 기대됨.

#### 8. 유색보석 발색기술 개발

- 양성자 빔 조사에 의한 녹색 다이아몬드의 상업화가 기대됨.
- 청색 사파이어 발색외의 발색 사파이어에 대한 상업화 기대됨.

# 제3장 연구개발수행 내용 및 결과

## 제1절 연구수행 방법

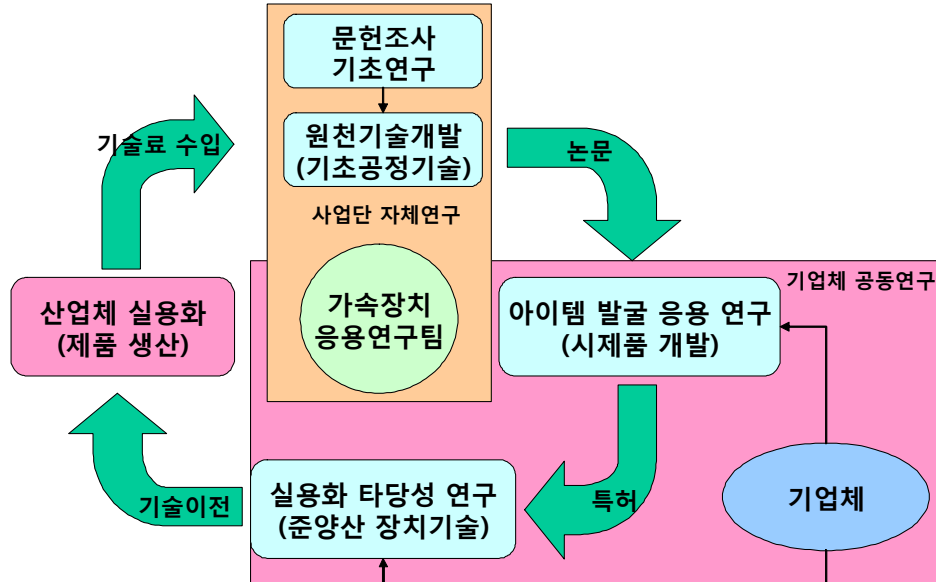
1. 저에너지 빔 이용 기술을 활용 중소기업 애로기술 지원 시스템 구축 및 운영
  - 이온가속기 시설 운영, 빔서비스 및 이용자 지원
  - 이온빔 이용자 관리체계 및 이온빔 서비스 DB 구축
  - 산업체 애로기술 지원 및 기초연구 수행을 통한 과제도출 및 수행
  
2. 저에너지 이온 가속기 장치 응용 기술 개발로 산업적 신소재 및 부품 기능향상 연구개발
  - 금속 휴대폰케이스 세라믹 채색 코팅 및 접합력 향상 이온빔 믹싱 공정 개발
  - 대면적 LCD 제작을 위한 무기박막 표면의 이온빔 액정배향 공정기술개발
  - Metal PCB 기판에 Cu 코팅층의 접합성 향상 기술개발
  - 플라스틱 사출 금형 이온빔 연마기술 개발
  - 이온빔 표면개질을 이용한 차량내장용 고분자 고광택 도금 대체기술개발
  - 이온주입기술을 응용한 초친수 표면 개질 기술개발
  - 유색보석 발색기술 개발
  - 기타 이온빔 공정에 의한 산업적 신소재 및 부품 기능향상 연구개발
  
3. 기술이전 시 개발 품목별 전용 양산 빔 조사 장치 기술 개발로 기술실사업체 실용화 지원
  - 가속장치 응용 양산장치기술개발
  - 산업체 기술/장치 이전 및 실용화
  
4. 연구개발 추진체계

목표	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
<b>애로기술 지원 시스템 구축/운영</b>	이온가속기 시설 운영, 이용자 지원, 기업체 애로기술 상담 및 기초연구 수행				
<b>산업적 신소재 및 부품 기능향상 연구개발</b>	세라믹 채색 코팅 기술/ 이온빔 믹싱 공정 개발			초친수표면개질 기술개발 (수탁)	
	LCD 기판 이온빔 액정배향 공정기술개발				
	마이크로스피커 음량제어기술 Sn 무전도 코팅공정기술	플라스틱 사출금형 표면연마기술		자동차 내장재 내광성 향상 표면처리 기술개발	
	유색보석 발색기술 개발		Metal PCB 접합성 향상 기술 개발	유색 보석 실용화 연구	
<b>전용 양산 빔 조사 장치 기술 개발</b>				초고속 예칭이온원 개발 (수탁)	자동차 내장재 내광성 향상 양산장치개발

## 제2절 연구수행 내용

### 1. 저에너지 빔 이용 기술을 활용 중소기업 애로기술 지원 시스템 구축 및 운영

저에너지 이온가속기를 활용한 빔 이용기술 산업화 추진전략은 <그림. 3.2.1>과 같이 중소기업과의 공동연구체제를 통해 선순환되는 사이클구조체제로 구축하였다.



<그림 3.2.1 실용화 연구개발 선순환 사이클 구조>

### 가. 이온가속기 시설 운영, 빔서비스 및 이용자 지원

저에너지 이온가속기로 서비스 가능한 이온종은 <그림3.2.2>에 나타내었다.

원소 주기율 표

1 1.008 hydrogen	2A																2 4.003 helium						
3 6.941 lithium	4 9.012 beryllium	변호 기호 원자량 영문이름																5 10.81 boron	6 12.01 carbon	7 14.01 nitrogen	8 16.00 oxygen	9 19.00 fluorine	10 20.18 neon
11 22.99 sodium	12 24.31 magnesium	<b>국내 유일 금속이온빔 제공</b>																13 26.98 aluminum	14 28.09 silicon	15 30.97 phosphorus	16 32.06 sulfur	17 35.45 chlorine	18 39.95 argon
19 39.10 potassium	20 40.08 calcium	21 44.96 scandium	22 47.90 titanium	23 50.94 vanadium	24 52.00 chromium	25 54.94 manganese	26 55.85 iron	27 58.93 cobalt	28 58.70 nickel	29 63.55 copper	30 65.38 zinc	31 68.72 gallium	32 72.59 germanium	33 74.92 arsenic	34 78.96 selenium	35 78.90 bromine	36 83.80 krypton						
37 85.47 rubidium	38 87.62 strontium	39 88.91 yttrium	40 91.22 zirconium	41 92.91 niobium	42 95.94 molybdenum	43 (98) technetium	44 101.1 ruthenium	45 102.9 rhodium	46 106.4 palladium	47 107.9 silver	48 112.4 cadmium	49 114.8 indium	50 118.7 tin	51 121.8 antimony	52 127.6 tellurium	53 126.9 iodine	54 131.3 xenon						
55 132.9 cesium	56 137.3 barium	57 138.9 lanthanum	72 178.5 hafnium	73 180.9 tantalum	74 183.9 tungsten	75 186.2 rhenium	76 190.2 osmium	77 192.2 iridium	78 195.1 platinum	79 197.0 gold	80 200.6 mercury	81 204.4 thallium	82 207.2 lead	83 208.0 bismuth	84 (209) polonium	85 (210) astatine	86 (222) radon						
87 (223) francium	88 226.0 radium	89 227.0 actinium																					
		58 140.1 cerium	59 140.9 praseodymium	60 144.2 neodymium	61 (145) promethium	62 150.4 europium	63 152.0 gadolinium	64 157.3 terbium	65 158.9 dysprosium	66 162.5 holmium	67 164.9 erbium	68 167.3 thulium	69 168.9 ytterbium	70 173.0 lutetium	71 175.0 hafnium								
		90 232.0 thorium	91 231.0 protactinium	92 238.0 uranium	93 237.0 neptunium	94 (244) plutonium	95 (243) americium	96 (247) curium	97 (247) berkelium	98 (251) californium	99 (252) einsteinium	100 (257) fermium	101 (268) mendeleevium	102 (259) nobelium	103 (260) lawrencium								

■ 빔 서비스 중인 이온  
■ 2011년도 신규 이온  
■ 2012년도 개발 이온

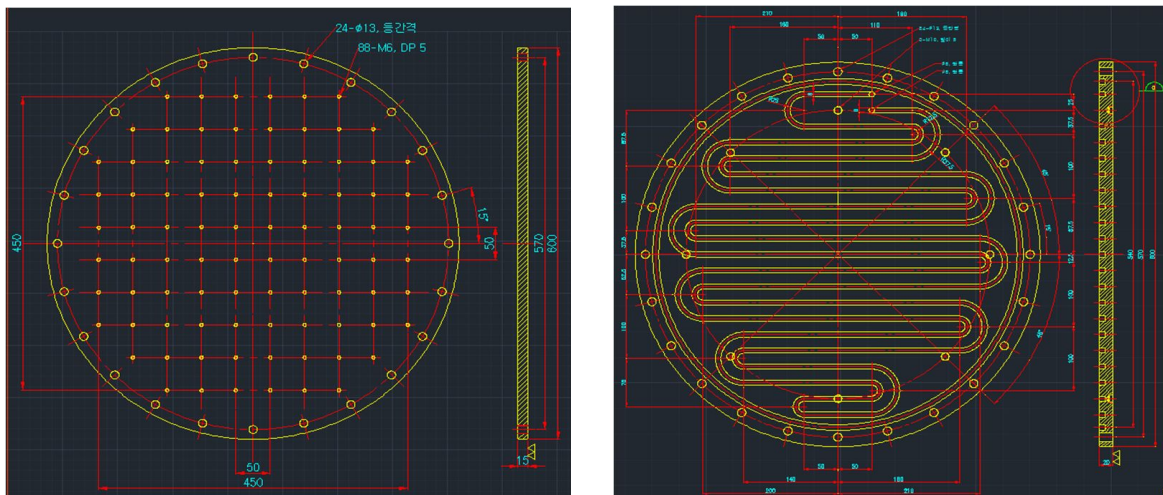
<그림 3.2.2 빔 서비스 제공 원소>

(1) 장치 성능향상

이온빔 활용에 있어, 각기 다른 빔 이용자의 이용목적 및 요구가 달라지고 있다. 그 중, 산업체에서는 이온빔을 생산제품에 적용할 시, 가장 문제시 되는 것이 경제성이었고, 이를 해결하기 위해, 대전류 및 대면적의 이온빔 시스템을 요구하고 있다. 이에, 대전류 이온빔에 초점을 맞추어 이온원의 전극을 수정하는 방안을 검토하였다. 그리고, 이에 앞서 대전류 이온빔 인출시, 이차전자원으로 사용되고 있는 필라멘트의 수명을 연장하는 연구를 계속적으로 해왔으며, 어느 정도의 결과를 도출하였다. 또한, 여러 가지 목적으로 이용하기 위해 수요가 증가하고 있는 금속이온의 인출을 계속적으로 시험하였다.

가. 대전류 이온빔 인출 시험

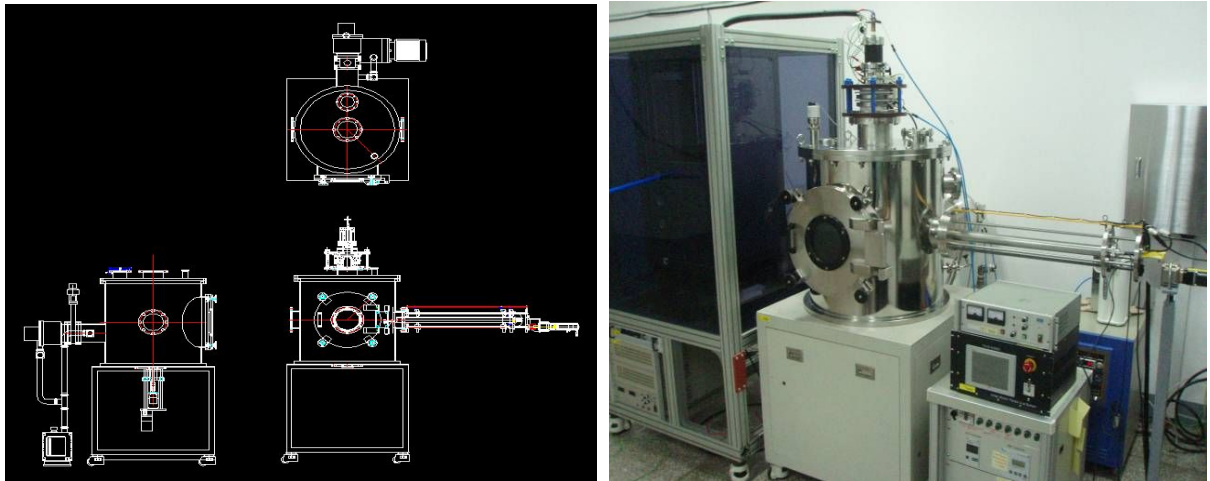
생산성과 경제성의 측면에서 대전류 및 대면적 이온원의 필요성이 점차적으로 높아지고 있다. 이에, 본 연구에서는 재료 표면의 에칭이나 얇은 층의 표면개질을 빠른 시간 내에 할 수 있는 저전압 대전류 이온원 연구를 수행하였다. 우선, 사업단에서 일반적으로 보유하고 있는 Duo-PIGatron 이온원의 전극거리와 전극의 홀 개수를 수정하여 대전류 이온빔을 인출할 수 있도록 설계하였다. 그리고, 대전류 이온빔의 인출 시험시, 이온빔의 높은 열에 의해 진공함이 손상되는 것을 방지하기 위하여 원통형 진공함 하부에 냉각판을 설치하였다. <그림 3.2.3>은 냉각판의 설계도면이며, 이온빔의 열을 충분히 흡수할 수 있도록 설계되었다.



<그림 3.2.3 냉각판 설계도면(상/하판)>

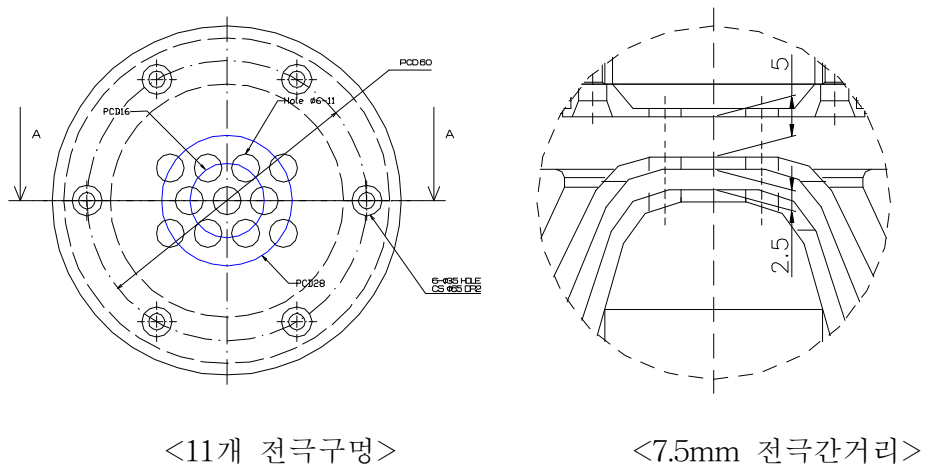
또한 이온빔의 단위면적당 전류(전류밀도)를 측정할 수 있는 페리데이컵을 제작하였으며, 이

차전자 방지를 하기 위해 전장형 형태로 설계되었고, 이온빔에 의한 페러데이컵 헤드의 열적 손상을 방지하기 위해, 헤드의 상판과 하판은 몰리브덴 재료를 이용하여 제작하였다. 제작된 페러데이컵과 이온원 등이 설치되어 대전류 이온빔을 인출할 수 있는 시험장치를 <그림 3.2.4>에 나타내었다.



<그림 3.2.4 대전류 이온원 인출 시험장치>

대전류 이온원을 인출하기 위해 일반적으로 기체이온빔장치나 듀얼이온빔장치에 적용되고 있는 이온원의 전극간 거리를 24mm에서 7.5mm로 줄였으며, 직경 6φ인 전극구멍의 개수를 4개에서 11개로 늘려 실험을 하였다. <그림 3.2.5>은 설계된 전극과 전극거리를 나타낸 것이다.



<11개 전극구멍>

<7.5mm 전극간거리>

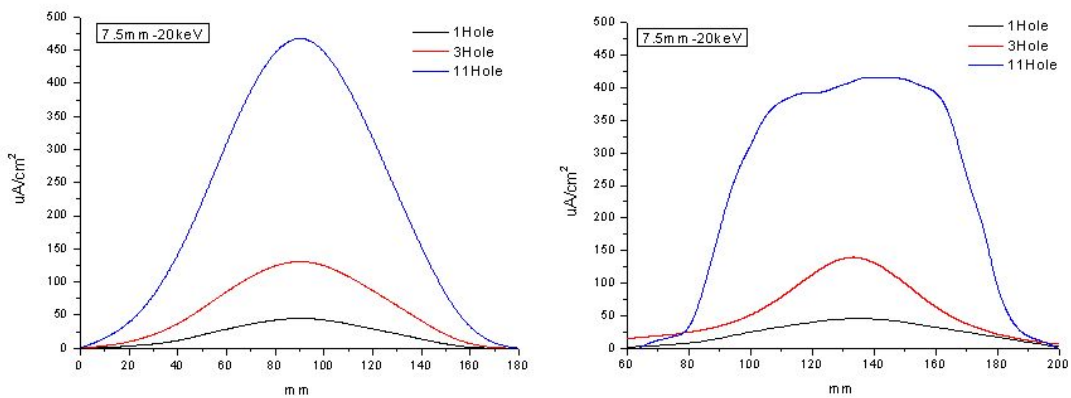
<그림 3.2.5 전극 형태 및 전극간 거리 설계도면>



이온빔의 인출 시험은 인출구 개수가 1개 / 3개 / 7개를 비교하였으며, 기본적인 인출조건은 다음과 같다.

- 전극간 거리 : 7.5mm
- 이온 : 아르곤(Ar)
- 인출 에너지 : 20keV

이온빔 인출시 이차전자 억제를 위해 전장형으로 제작된 페러데이컵에 -1kV~-2kV 정도의 부전압을 인가하여 이차전자가 나가는 것을 방지하였으며, 기본적으로 11개의 구멍에서 나올 수 있는 최대 빔 전류밀도 예상은 전극구멍 1개와 3개를 기초로 하였다. 실험결과, 11개의 구멍에서 약  $470\mu\text{A}/\text{cm}^2$  정도의 빔 전류밀도를 예상하였지만, 실제 측정치에서는  $415\mu\text{A}/\text{cm}^2$  정도로 이론치와 약 10~15% 정도 차이를 보이고 있다. <그림 3.2.6>는 이온빔 인출시 이론치와 측정치를 서로 비교한 것이며, 표 3.2.1은 인출구 개수 대비 최대인출전류 및 최대전류밀도를 나타낸 것이다. 결론적으로, 인출구 개수와 전극간거리를 조정함으로써, 대전류 이온빔의 인출이 가능하다는 것을 알 수 있었다.



<이론치>

<측정치>

<그림 3.2.6 이온빔 인출시 이론치와 측정치 비교>

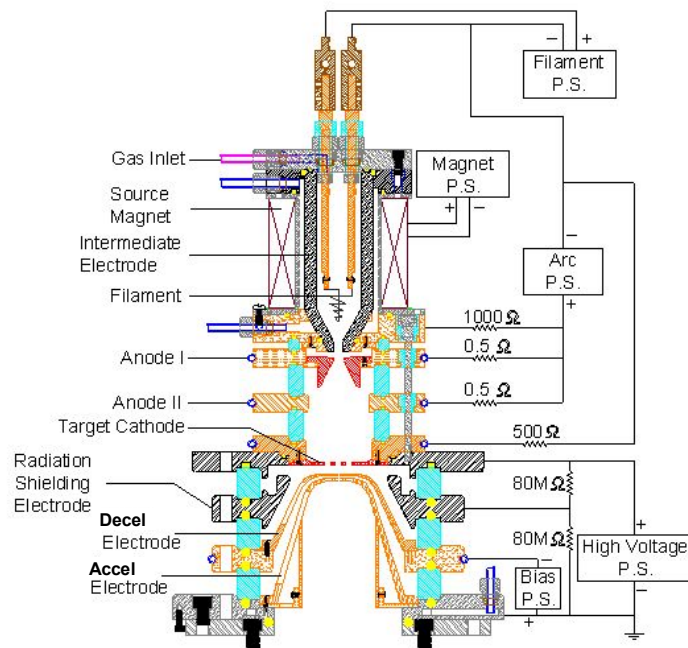
<표 3.2.1. 인출구 개수 대비 최대전류 및 최대전류밀도 비교>

전극간 거리	이온	에너지	인출구 개수 (직경 6 Φ)	최대인출전류	최대전류밀도 @F/C
7.5mm	Ar <sup>+</sup>	20keV	1	7.4mA	46 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
			3	11.5mA	140 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
			11	50 mA	416 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$

나. 전자원(필라멘트) 수명실험

양성자기반공학기술개발사업단 가속기 응용연구팀에서는 기체이온빔 장치, 듀얼이온빔 장치, 금속이온빔 장치를 운영하고 있으며, 기체이온빔 장치와 듀얼이온빔장치에서는 대표적인 대전류 이온원인 Duo-PIGatron 이온원을 사용하고 있다. 빔 이용자들의 수요가 점차 대전류 이온빔을 요구하고 있는데, 대전류 이온빔을 위해서는 Duo-PIGatron 이온원의 플라즈마 방전함부에 수 A급의 플라즈마 전류가 필요하다. 따라서 수 A급의 플라즈마 방전조건을 확립하고, 장치 유지보수 측면에서 이온원 부품의 수명시험 수행이 필요하다. 이에 따라, Duo-PIGatron 이온원에 대전류 플라즈마를 공정 진공도 :  $2E-5$ Torr, 아르곤 가스량 : 22.7sccm, 마그넷 전압/전류 : 9.6V/2.5A으로 발생시킨 후 이온원 수명시험을 실시하였다.

<그림 3.2.7>은 Duo-PIGatron 이온원 도면 및 전원연결도이다.



<그림 3.2.7 Duo-PIGatron 이온원 도면 및 전원연결도>

실험에는 기존 실험에 사용되었던 텅스텐 원반형 필라멘트 [W( $\Phi$ 1원반형)] 외 토륨 텅스텐 원뿔형 필라멘트[W-Th( $\Phi$ 1원뿔형)], 텅스텐 나선형 필라멘트 [W( $\Phi$ 1.5나선형)]을 추가하여 3가지 종류의 필라멘트를 사용하였다. <그림 3.2.8>은 3가지 종류의 필라멘트를 나타내었다.



W(Φ1원반형)



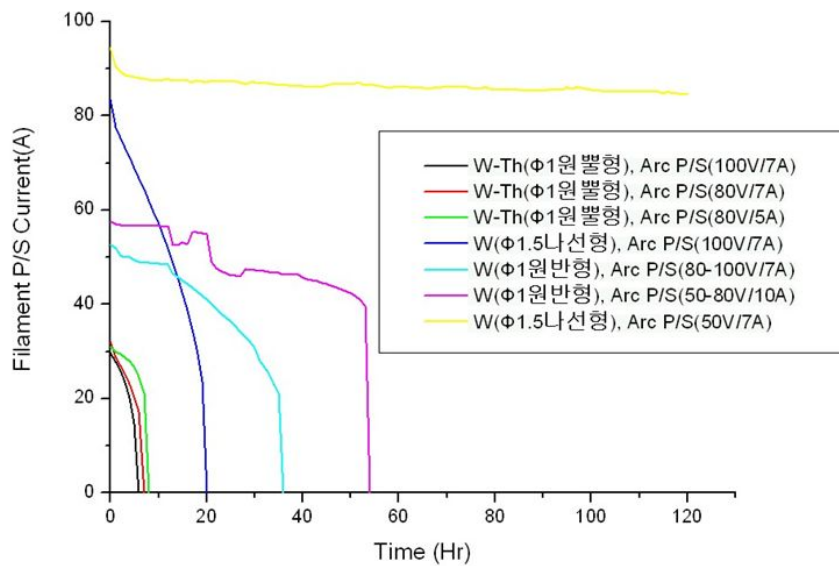
W-Th(Φ1원뿔형)



W(Φ1.5나선형)

<그림 3.2.8 필라멘트의 종류>

<그림 3.2.9>에 시간에 따른 필라멘트 전원의 전류 변화거동을 나타내었다. 토륨 텅스텐 필라멘트 W-Th(Φ1원뿔형) 실험의 경우 아크 전원 100V/7A에서 5시간 50분에 예상보다 빨리 끊어졌다. 고밀도 플라즈마 영역 아래에서의 영향 측면을 고려하여 아크 전원의 전압/전류를 80V/5A 으로 낮추어 실험을 하였지만 6시간 40분으로 효과는 미미하였다. 토륨 텅스텐 필라멘트는 수명에 영향이 미치지 않았다. 또한 필라멘트 굵기 변화를 준 텅스텐 나선형 필라멘트 W(Φ1.5나선형) 실험의 경우 아크 전원 100V/7A에서 54시간에 끊어졌다. 아크 전원의 전압/전류를 50V/7A 으로 낮추어 실험을 하였을 경우 120시간 이상 필라멘트의 사용이 가능하였다. 결과적으로 필라멘트의 수명은 아크 전압에 크게 의존을 한다는 것으로 확인 할 수 있었다.



<그림 3.2.9 시간에 따른 필라멘트 전원의 전류 변화거동>



W(Φ1원반형)



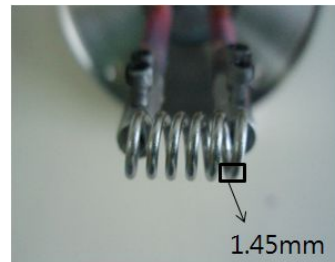
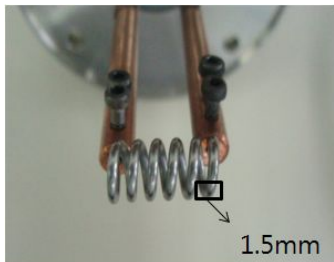
W-Th(Φ1원뿔형)



W(Φ1.5나선형)

<그림 3.2.10 이온원 수명 실험 후 필라멘트>

<그림 3.2.10>은 이온원 수명 실험 후 필라멘트의 단락이 일어남을 관찰할 수 있다. W(Φ1원반형) 필라멘트는 1mm선경에서 0.5-0.7mm로 감소한 후 상대적으로 전류가 많이 부가되는 (-)극에 가까운 영역에서 단락이 일어나며, W-Th(Φ1원뿔형) 필라멘트는 1mm선경에서 0.5-0.6mm로 감소한 후 가운데 부분에서 단락이 일어났으며, W(Φ1.5나선형) 필라멘트는 1.5mm선경에서 0.4-1.1mm로 감소한 후 가운데 부분에서 단락이 일어났다.



W(Φ1.5나선형) 실험전



W(Φ1.5나선형) 실험후

<그림 3.2.11 이온원 수명 실험 전후 이온원 부품사진>

W( $\Phi$ 1.5나선형) 필라멘트 120시간 수명 실험 후 이온원 부품의 이상 유무를 관찰하였다. <그림 3.2.11>은 W( $\Phi$ 1.5나선형) 실험의 전후 이온원 부품사진이다. 필라멘트의 경우 1.5mm 선경에서 1.45mm로 감소되었다. 다음극부의 경우 탄탈륨으로 교체하여 다음극부의 파괴를 억제할 수 있었고, 전극 수정설계를 하여 절연세라믹에 그림자 영역을 두어 절연파괴를 억제할 수 있었다. 추후 아크 전원 80V에서의 추가 실험과 W( $\Phi$ 2나선형) 필라멘트의 추가 실험을 통해 대전류 이온원 개발시 장시간 운전이 가능한 최적의 조건을 확립이 필요하다.

#### 다. 금속이온빔 인출시험

양성자기반공학기술개발사업단 경주연구분실에서는 2009년 6월부터 금속이온빔 장치를 설치하여 빔이용자에게 금속이온빔을 공급하고 있다. 보다 다양한 금속이온종을 공급하기 위하여 크루시블타입의 Burnas형 이온원에 금속염화물을 장입하여 evaporation 시켜 이온화한 후 빔 이용자에게 공급하고 있다. 2011년동안 총 74공정을 수행하였으며, Co, Fe, Cu, Mn, Na, Ti, Al, Ag 등의 이온빔 서비스를 수행하였다. 또한, Crucible 전원의 용량을 100A 급에서 150A급으로 교체설치하여  $\text{Na}^+$ (염화물 : NaCl)과 같은 evaporation 온도가 500℃ 이상인 이온종을 인출하였다. <표 3.2.2>는 각각의 이온빔 인출 및 조사조건을 나타낸 것이다. 추 후 빔 수요에 따라 Mg, Ca, Y, Ca 등의 이온빔을 추가로 인출할 계획이다.

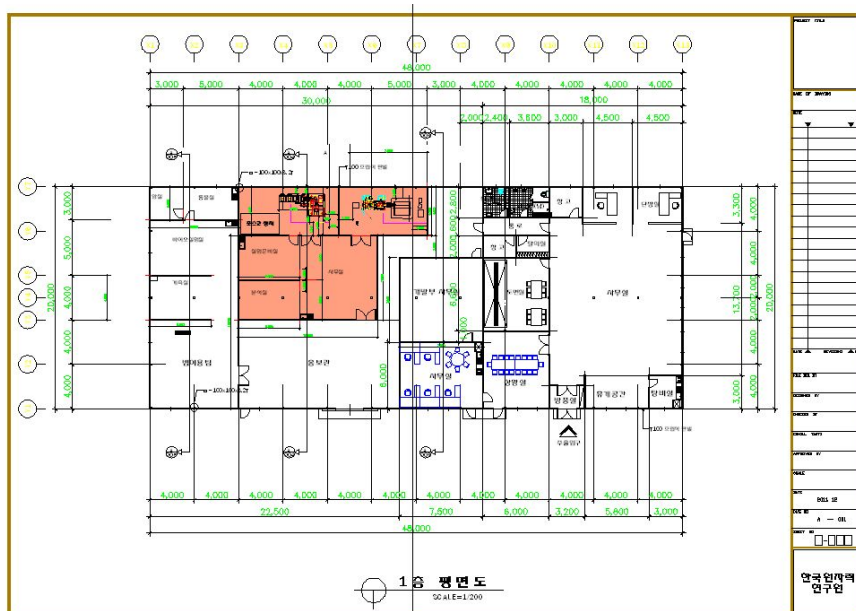
<표 3.2.2 금속이온빔 인출 및 조사조건>

이온빔 장치 Parameter	Mn <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ti <sup>+</sup>	Co <sup>+</sup>	Fe <sup>+</sup>	Cu <sup>+</sup>
Crucible current	90A	125A	25A	73A	70A	47.2A
Crucible Temperature	360℃	510℃	180℃	430℃	400℃	200℃
Arc voltage / current	110V /0.5-0.7A	150V /1.0-1.5A	180V /0.7A	150V /0.6-0.8A	150V /0.2-0.3A	180V /0.4-0.6A
Mass separation magnet	11.3A	7.3A	8.7A	11.8A	12.1A	9.0A
Extraction Voltage / current	9kV /5.0mA	9kV /7.0mA	9keV /10mA	9kV /6mA	10kV /3-4mA	9kV /4mA
Acceleration Voltage / current	91kV /0.7-1.0mA	91kV /1.2mA	91kV /0.5-1.0mA	91kV /0.6-1.0mA	90kV /0.6-0.8mA	91kV /0.6-0.8mA
MQ current	1.2A	0.8A	1.0A	1.2A	1.0A	1.2A
Scanner voltage	±3kV	±1.0kV	±3kV	±2.5kV	±2.5kV	±2.5kV
Scanner offset	+3.0kV	+1.0kV	+3.0kV	+2.5kV	+2.5kV	+2.5kV

(2) 경주사무소 이전

가. 경주연구분실 퇴실 및 경주사무소 이전

2007년 5월 경주연구분실 개설과 함께 이온빔 관련 연구 및 외부의뢰 빔서비스를 수행하여 왔으나, 임대기간 만료와 함께, 내부과제 및 연구개발의 효율성과 가속장치 및 빔 이용 전문가들의 대외협력 등의 상호간 협조를 극대화하기 위해 사업부지로 이전 확정되었으며, 2012년 2월 이전 완료되었다. 가속기 부품 창고로 이용되었던 경주사무소는 가속기 조립동의 완공과 함께 조립동으로 이전되었으며, 빈공간을 활용하여 이온빔 장치를 이전하였다. 이온빔 실험실은 금속이온주입장치실과 기체이온빔장치실, 분석실, 실험준비실, 그리고 사무실로 구성된다. 금속이온주입장치실에는 금속이온주입장치와 대전류/대면적 이온원 시험장치가 설치되어 3월경 정상적으로 운영될 예정이다. 이전시 한번에 이전하지 하고, 1차와 2차로 나누어 이전을 함으로써, 장치를 설치함에 있어 전기 및 건축공사와 겹치지 않도록 하였다. 1차에서는 장치와 관련된 물품, 2차에서는 사무용품을 이전하였다. <그림 3.2.12>은 이온빔 장치가 이전된 경주사무소 도면을 나타낸 것이며, 그림 <그림 3.2.13>는 경주사무소 내 벽체가 세워지기전 장치들만 우선 이전하여 설치하고 있는 모습을 나타낸 것이다.



<그림 3.2.12 경주사무소 이전 도면>



<그림 3.2.13 이온빔 장치 이전 및 설치 모습>

#### 나. 이온주입기 사용변경신고 제출

경주연구분실에서 경주사무소로 이전함에 있어, 방사선발생장치사용신고를 경주연구분실에서 경주사무소로 사용변경신고를 아래와 같이 제출하였다.

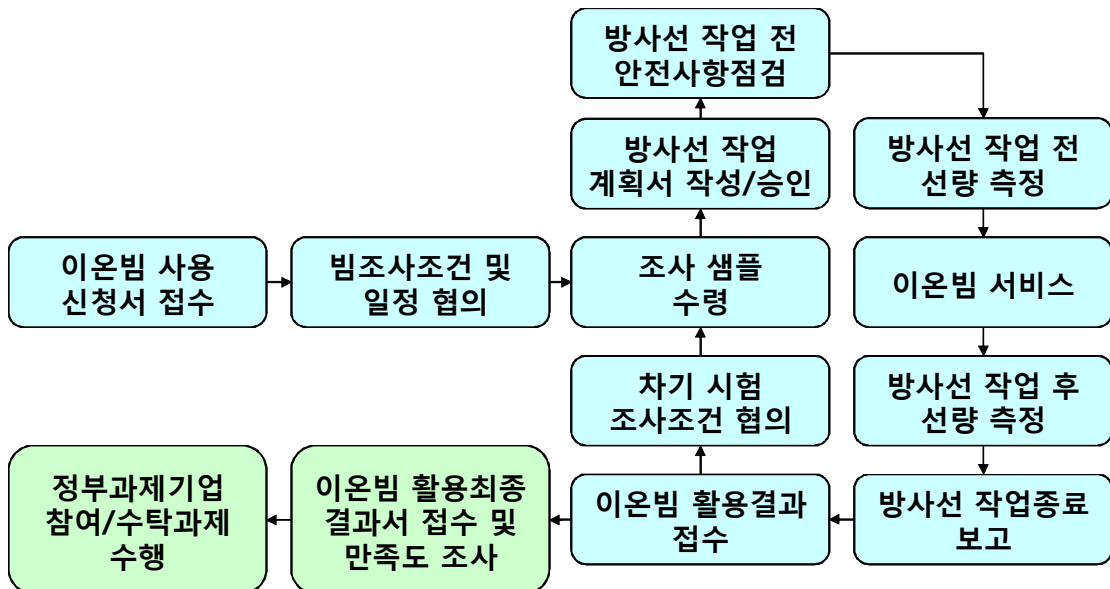
한국원자력연구원 양성자기반공학기술개발사업단은 경북 경주시 동국대학교 경주캠퍼스 한의학관 1층에 방사선발생장치의 사용을 위한 시설(경주연구분실)을 마련하고 기체이온주입기(150keV, 5mA) 및 반도체이온주입기(120kV, 5mA)를 사용해 오고 있었다. 위 사업장의 폐지를 계획하고 있는 바 위 사업장에서 소지 사용하고 있던 2기의 방사선발생장치를 경북 경주시 건천읍 화천리 226-1번지에 소재하고 있는 동일 기관 소속의 경주사무소(사용신고기관)로 이전하여 사용하고자 한다. 또, 신규 방사선발생장치 1기의 사용신고를 하고자 한다.

<표 3.2.3 변경 전 후 대조표(경주사무소)>

항목	변경 전	변경 후	변경사유
허가번호	제 22-11141-00호	-	-
방사선발생장치의 종류, 대수 및 성능	100keV, 3mA x 1 (듀얼빔이온주입기)	100keV, 3mA x 1 (듀얼빔이온주입기)	
		<u>150kVp 5mA x 1</u> ( <u>기체이온주입기</u> )	추가
		<u>120kVp 5mA x 1</u> ( <u>반도체이온주입기</u> )	추가
		<u>30kVp 1A x 1</u> ( <u>대면적 이온원 시험장치</u> )	추가

나. 이온빔 이용자 관리체계 및 이온빔 서비스 DB 구축

(1) 이온빔 이용자 관리체계 구축



<그림 3.2.14 이온빔 이용자 관리체계>



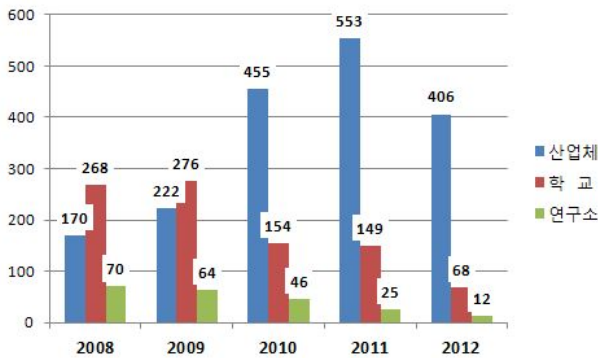
(2) 이온빔서비스 DB 구축 (저에너지 빔 이용 실적)

3단계 외부 빔서비스 제공에 사용된 장치는 기체이온가속기, 금속이온가속기, 듀얼이온가속기, 그리고 대전류 이온가속기이다. 총 공정수는 3,271건으로 산업체 2,059건, 대학 981건, 연구소 232건으로 분류되며, 이용자들의 만족도 조사 결과 매년 90점 이상의 결과치를 보였다. <그림 3.2.15>은 전체 이용실적을 도표로 나타낸 것이다.

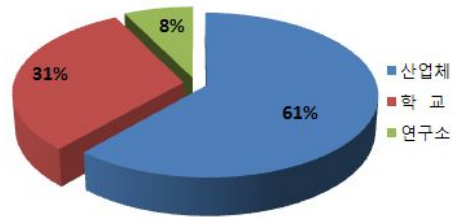
• 운영실적 (2008. 01 ~ 2012. 12. 31)

- 이온빔 서비스 장치 : 기체이온 가속기, 금속이온 가속기, 듀얼이온 가속기, 대전류이온가속기
- 공정수 : 총 3,271건 (산업체 2,059건, 대학 981건, 연구소 231건)
- 만족도 조사 결과 : 92.2점(2010), 93.3점(2011), 92.1점(2012)

○ 연차별 이용실적



○ 산학연 이용 분포

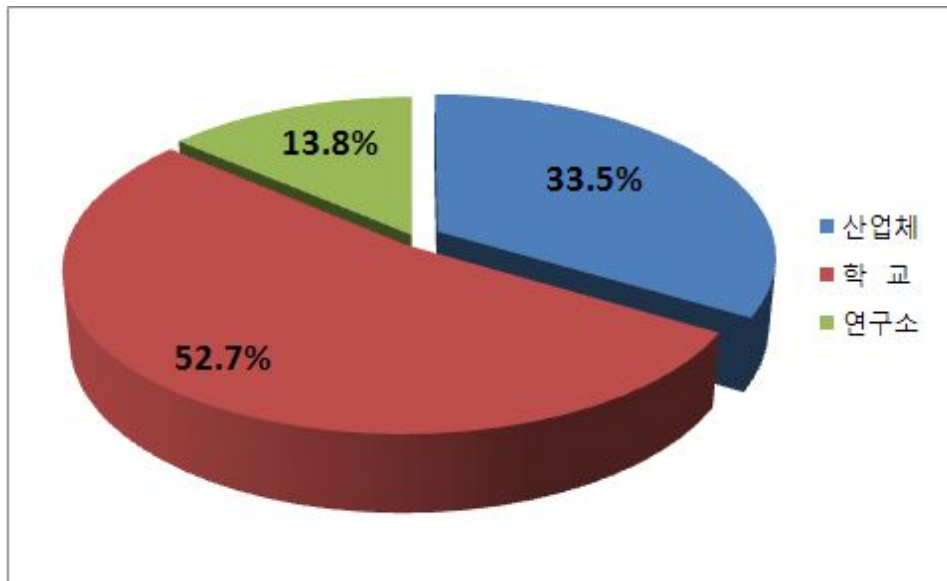
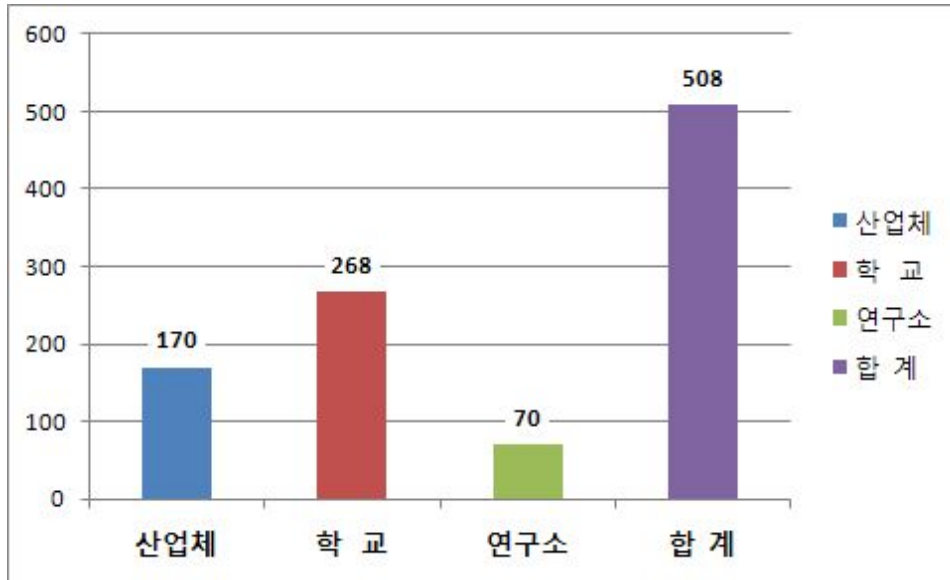


<그림 3.2.15 빔 이용실적>

가. 1차년도

저에너지 빔 조사시설인 기체 이온빔 장치와 듀얼 이온빔 장치의 1차년도 운영실적을 <그림 3.2.16>에 나타내었다. <그림 3.2.16>는 과제기간동안 이온빔 서비스 건수에 대한 것이며, 학교(52.7%), 산업체(33.5%), 연구소(13.8%) 순으로 대학교로부터의 의뢰가 타기관 보다 많았다. 이는 세부통계를 통해 알 수 있듯이 (표 1), 사업단의 이용자 프로그램에 속한 이용자의 연구를 비롯하여 여러 대학에서 R&D용으로 이온빔에 대한 요구가 많았는데, 이온빔을 이용하여 다양한 분야에 적용하기 위한 시도가 많이 이루어지고 있다. 반면, 산업체에 대한 빔 서비스 건수는 당해년도 내부과제를 수행하지 않았기 때문에 순수 외부에서 의뢰받은 서비스 건수만으로 통계를 낸 것이며, 이는 이전 년도의 산업체로부터 의뢰받은 빔 서비스 건

수를 상회한다.



< 그림 3.2.16 기관별 이온빔 서비스 건수 및 분포현황 >

<표 3.2.4 기관별 빔 서비스 실적>

구 분	의뢰 기관	시편 종류	실험목적	빔서비스 건수	비고*
산업체	삼성 SDI	Al & Ag / organic	에칭	11	일반
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	절연막	8	일반
		SiO <sub>2</sub> , AlOx	기체차단막	37	일반
	현대자동차	PC(폴리머)	전기전도성	6	일반
	Top 엔지니어링(주)	IC 칩	에칭	8	일반
	아이시스	용 커터날	내구성	8	일반
	IS 하이텍	금속	내구성	4	일반
	구름테크	BLU 금형	에칭	10	일반
	영진텍	폴리머	탄성계수	19	일반
	엘림	금속	부식성	4	일반
아바텍	금속	내구성	2	일반	
합 계				117	
대 학	고려대	웨이퍼	LED 점등강도	37	일반
	경북대	ITO/Glass	P3HT & F8BT 변화	9	일반
	대구카톨릭대	속성금형(QDM)	내마모성 향상	6	일반
	KAIST	polymeric물질 (D0)	전기 및 광 특성변화	18	일반
	동국대	PTFE	화학반응 변화	25	이용자
		YSZO(Yttria Stabilized Zirconium Oxide)	세라믹전해질 변화	43	이용자
		Metal Oxide(GDC)	연료전지 전해질 특성 개선	9	일반
	전북대	ZnO	물리적특성 변화	16	일반
		TiO <sub>2</sub>			
	위덕대	MOS 소자	특성변화 및 신뢰성개선	23	이용자
	금오공대	TiO <sub>2</sub>	가시광촉매 효율개선	6	일반
	포항공대	ZnO나노튜브	특성변화	8	일반
	국민대	GaN/Sapphire	특성변화	11	일반
	KIST	PCBM(폴리머)	특성변화	5	일반
	동서대	PET, 먼	발수특성변화	2	일반
경주대	세라믹분말	특성변화	8	이용자	
합 계				226	
연구소	한국원자력 연구원	Al foil	이온농도확인	33	일반
		PCB drill, 칼날	내구성	10	일반
	KAPRA	섬유, 톱밥	물성변화	15	일반
	한국광기술원	웨이퍼	특성변화	3	일반
합 계				61	

비고\* : 일반-일반외부의뢰실험, 내부-내부과제실험, 이용자-이용자프로그램과제실험

라 이온빔 외부이용자 연구 내용 및 결과

1) 산업체

가) 삼성 SDI

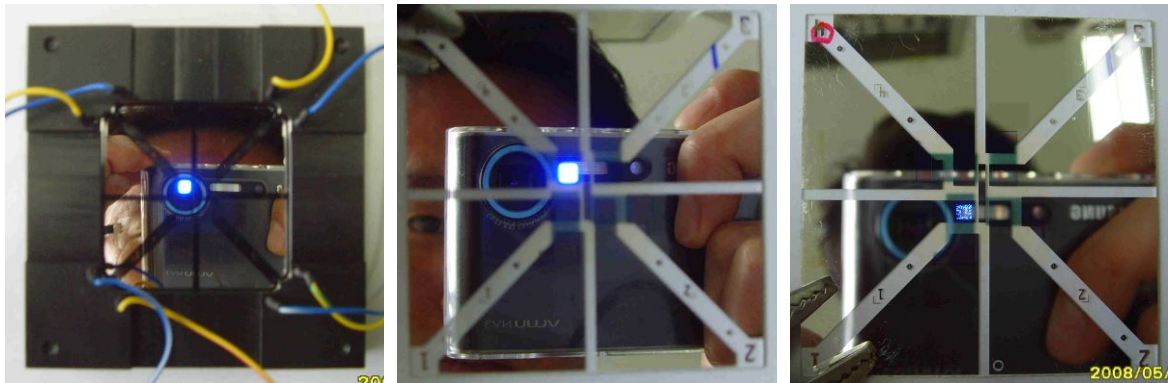
OLED 재료의 기체 차단막 형성

- 실험 목적

: OLED 기판에 들어가는 일부재료는 대기중에 노출되었을 때 산화되는 현상이 발생하는 데, 기존방법에서는 11가지 정도의 박막공정을 이용하여 이러한 문제점을 해결하고 있다. 이에 이온빔 조사를 통해 기체차단막을 형성함으로써 공정수(4가지)를 줄여 시간 및 관련 비용을 획기적으로 절감시킴으로써 OLED 기판제조의 경제성을 한층 높임.

- 실험 내용 및 결과

: 이온빔 조사 전·후의 모습을 나타내었다. 이온빔 조사 직후 OLED 재료에 전압을 가했을 때 조사전과 마찬가지로 점등이 되었지만 20시간 정도가 지난 후에 다시 테스트를 했을때에는 점등량이 감소됨을 알 수 있다. 하지만, 이온빔 조사를 통해 기존방법을 대체할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.



<Reference>

<Ion beam 조사직후>

<이온빔 조사후 20hr 후>

<기체 차단막 형성을 위한 이온빔 조사 실험 >

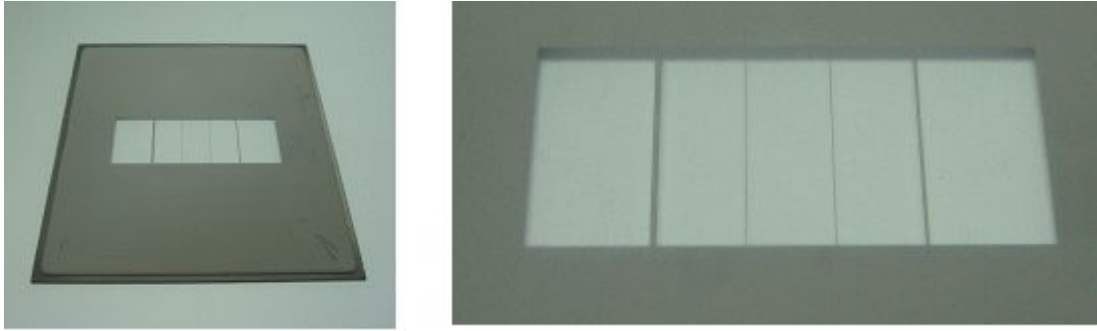
OLED 재료의 Ag 에칭법

- 실험 목적

OLED 기판 전극에서 wet etching 공정시 PR 잔유물로 인한 particle 문제와 dry etching 에서 생성된 부유물로 인한 re-deposition 문제를 해결하기 위해 이온빔 스퍼터링법을 이용하고자한다.

- 실험 내용 및 결과

스퍼터링 일드가 가장 좋은 제논 이온빔을 이용하여 여러 가지 조건하에서 빔 실험을 수행한 결과, 단시간 내에 원하고자 하는 Ag만 모두 에칭되는 만족스러운 결과를 확보하였다. Ag 500Å이 올라간 상태에서 이온빔 조사후 모두 에칭되어 없어진 것을 나타낸 것이다.



<이온빔 스퍼터링법에 의한 Ag(500Å) 에칭>

나) 현대 자동차

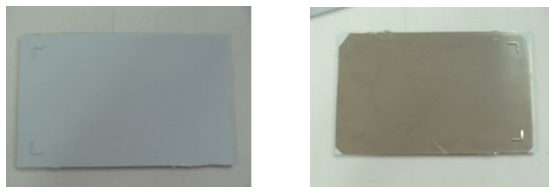
자동차 전장부품의 내마모성 및 내광성 향상

- 실험 목적

자동차 내부의 전장부품은 일반적으로 경량화를 위해 폴리머 계열의 플라스틱을 채택하고 있다. 하지만, 폴리머의 재료 특성상 외부적인 굽힘과 시간경과에 따른 재료표면의 노화가 일어나기 쉽다. 이를 극복하고자 이온빔을 이용하여 내광성 및 내마모성을 비롯하여 표면전기전도를 향상시키는 실험을 실시하였다.

- 실험 내용 및 결과

재료인 PC/ABS 폴리머의 표면전기전도도 측정에서는 이온빔 조사전 108MΩ을 나타내었지만 이온빔 조사후 103MΩ 정도를 표면의 전도성이 향상되었으며, 내마모성 테스트에서도 업체에서 요구하는 조건을 충족시켰지만, 내광성 시험 (84MJ/m<sup>2</sup> 조사)에서는 표면특성 향상에 추가적인 연구가 필요한 실정이다.



<이온빔 조사 전·후 표면변화>

## 2) 학 계

### 가) 국민대학교 (정우광교수)

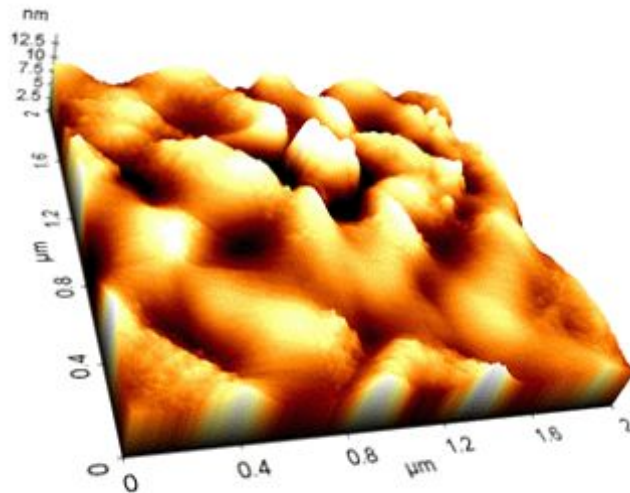
#### GaN 기판의 물성변화

##### - 실험 목적

이온빔 조사에 의한 GaN 기판의 물성변화를 정확히 파악하기 위한 예비실험.

##### - 실험 내용 및 결과

GaN/사파이어 기판에 Ion implanter를 이용하여 Ar, Kr, Xe 이온을  $10^{14} \sim 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>으로 주입하였으며 AES, Hall-measurement, PL, AFM 등을 이용하여 전기적, 광학적, 표면 분석을 진행하였다. 주입된 이온의 깊이를 알아보기 위하여 AES 분석을 실시하였으며, 이론상 계산결과인 20nm과 비슷한 주입 깊이를 확인 할 수 있었다. 전기적 특성을 측정한 Hall-measurement 결과 제대로 이온이 주입되지 않은 Xe을 제외한 나머지 원소들은  $10^{16}$  ions/cm<sup>2</sup>에서 비교적 낮은 mobility 및 carrier concentration과 높은 resistivity를 보였다



<이온빔 조사후 샘플 표면의 AFM 이미지(Kr,  $10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>)>

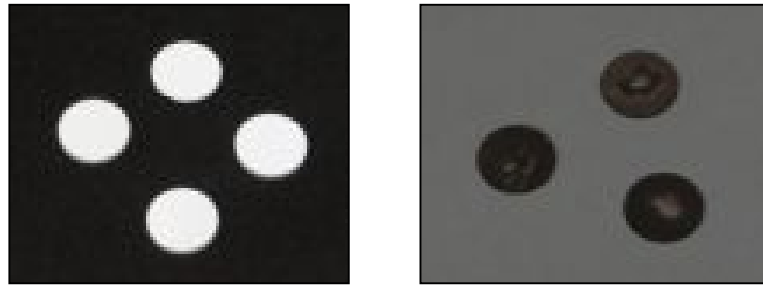
### 나) 동국대학교

이온 빔을 이용한 중·저온 작동 SOFC용 전해질 개발 및 특성 평가 (이인자 교수)

##### - 실험 목적

이온빔을 이용하여 고체산화물연료전지(SOFC) 재료의 전해질을 개발.

##### - 실험 내용 및 결과



<이온빔 조사 전·후 재료표면변화상태>

### 이온빔에 의한 Si 웨이퍼의 표면특성 변화 연구

#### - 실험 목적

본 결과요약에서 취급한 단결정 Silicon 박막 Silicon-on-Sapphire(SOS)는 SOI(Silicon on Insulator)의 하나의 분야로서 Sapphire( $Al_2O_3$ )는 기존 SOI 기판인  $SiO_2$ 보다 유전상수(9.39e o)가 크고, 상대적인 열전도도가 좋은( $0.46 Wcm^{-1}K^{-1}$ ) 특성을 갖고 있다. 또한, 기존의 Silicon보다 높은 강도와 방사선에 강한특성을 가지며, 소자 제작 시 소자간 절연을 위해 사용되는 latch-up 구조가 불필요함으로 소자의 집적도를 향상시킬 수 있고, 나노구조의 전자 소자 구성 시 vertical junction의 구조로 보다 얇게 박막화 할 수 있다. 이러한 특성 때문에 극한용도의 센서, 인공위성에서의 전자소자에 활용가능하고, 최근 GaAs p-HEMT를 대체하는 고속-고출력 rf 소자 등에 활용하고 있다. 또한, 사파이어 기판이 갖는 투명성의 특성을 이용해 투사형 액정디스플레이 소자나 광통신 소자에도 이용될 수 있다.

#### - 실험 내용 및 결과

그러나 이러한 우수한 특성에도 불구하고 고가의 기판가격 뿐 만 아니라, 기판과 Silicon사이에는 lattice mismatch가 약 12.5%이므로 성장이나 제작 시 Silicon 층의 많은 결함 특성에 영향을 주어 양질의 Si 단결정 박막을 얻기 힘들다. 그러나 본 연구팀은 성장된 결함성 단결정박막을 hydrogen(proton) plasma를 이용하여 공정한 후 결함이 적고 전기적 특성이 우수한 단결정 박막을 얻을 수 있었다. 이 결과는 2003년에 국제학술회의와 학술논문과 특허로 발표되어 공개하였다. 이러한 특성은 proton 이 결정구조와 고체결합에 영향을 준 것으로 판단되며, proton irradiation assisted 재결정화가 이루어 졌을 것으로 판단한다. 이러한 기존 결과를 바탕으로 더 에너지가 정확하고 조절가능한 양성자빔을 활용한다면 더욱 우수한 특성의 단결정 박막을 얻을 수 있을 것으로 확신한다. 또한 고화질 LCD나 태양전지용 다결정 박막도 같은 공정을 통하여 우수한 특성을 갖는 결과도 얻을 수 있었다. 이와 같은 결함성

박막을 결정화하는 데 양성자 빔이 활용될 수 있을 것으로 판단한다.



<성장된 결함성 단결정박막>

다) 고려대학교 (변동진 교수)

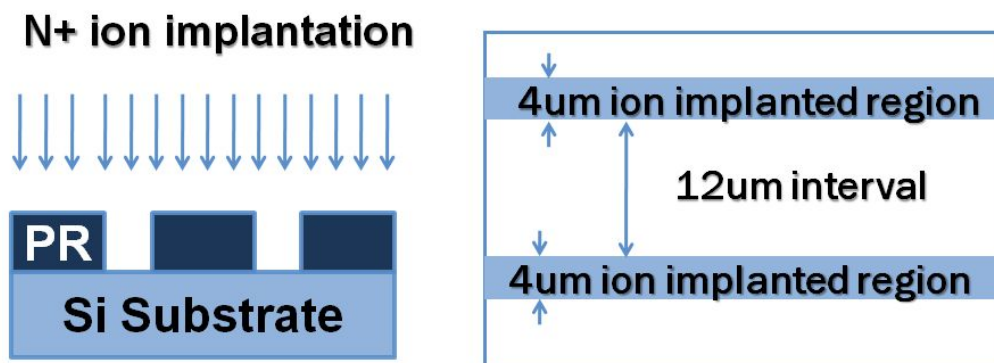
이온빔을 이용한 GaN 에피층 성장 및 물성연구

- 실험 목적

다양한 형태의 패턴에 이온주입이 된 실리콘 기판위에 성장시킨 GaN 에피층 성장 및 이에 미치는 영향과 물성연구

- 실험 내용 및 결과

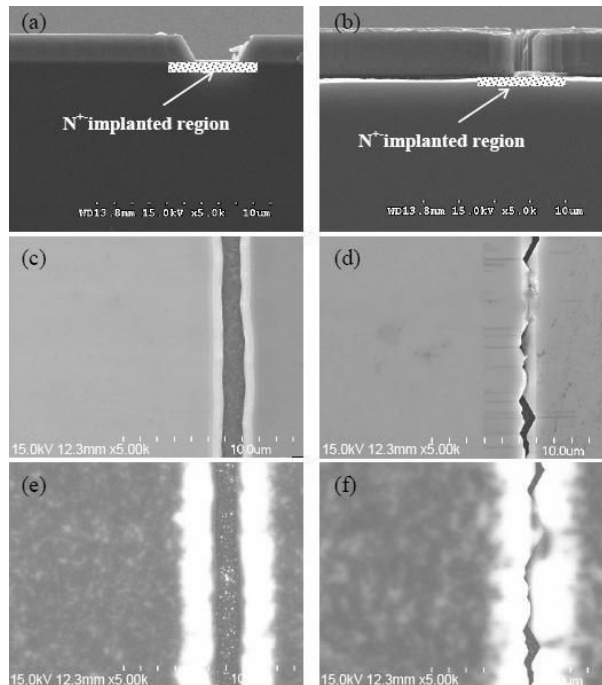
UV(Ultra Violet) LED 제조를 위한 보편적인 방법과 이온빔이 조사된 방법을 비교하였다. 그 결과, 100mA에서 이온빔이 조사된 LED의 광강도가 이온빔을 조사하지 않은 것보다 78% 향상되는 결과를 나타내었고, 이로 인해 LED의 광특성과 에피층의 질적 향상을 가져오리라 예상된다.



<Si (111) 기판 준비 과정>



MOCVD를 이용한 이온 주입된 (111) 실리콘 기판상 반복된 선형 패턴을 가지는 GaN이 선택적인 영역에 성장되었다. 2인치 실리콘 (111)상 식각 공정을 이용하여  $12\mu\text{m}$ 간격을 두고  $4\mu\text{m}$ 의 오픈 영역을 가지는 평행한 형태의 선형 패턴이 형성되었다. 이후 마스크를 통하여 37.5 KeV 의 에너지를 가지는 질소 이온이  $1\times 10^{16}\text{cm}^{-2}$ ,  $1\times 10^{17}\text{cm}^{-2}$  and  $5\times 10^{17}\text{cm}^{-2}$ 의 조사량을 가지고 이온 주입되었다. 이온 주입된 기판은  $12\mu\text{m}$ 두께의 이온 주입이 되지 않은 영역, 창 영역,  $4\mu\text{m}$  두께로 이온 주입된 질소 이온을 포함하고 있는 영역, 이온 주입된 선, 으로 이루어진다.



<질소 이온 주입된 실리콘 (111) 기판상 성장된 ELO GaN 의 단면 [(a), (b)], 표면 [(c), (d)], 및 CL [(e), (f)] 사진. (a), (c), (e) 및 (b), (d), (f) 의 성장시간은 각각 30분 및 80분>

고농도 질소 이온 주입된 부분에서는 에피택셜한 GaN 성장이 이루어지지 않았다. 반면에 이온 주입되지 않은 부분에서 성장한 에피택셜 GaN의 수평성장으로 인하여 성장속도가 증가할 시에 이온주입된 부분위에서 합쳐지는 것을 볼 수 있었다. CL 사진 및 DCXRD FWHM 값을 통하여 확인한 결과, 이온 주입된 부분위에서 합쳐진 GaN 은 응력완화의 이유로 이온주입되지 않은 영역에서 성장된 GaN보다 좋은 결정성을 가지고 있었다.

라) 경북대학교 (김영규 교수)

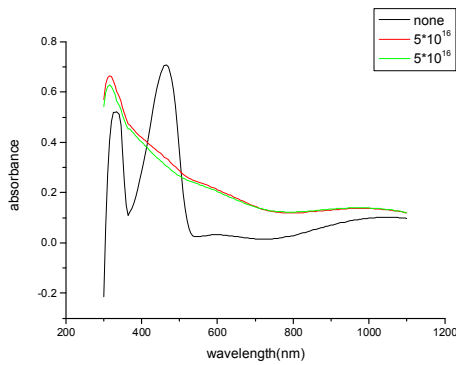
Glass/ITO & Glass/ITO/Polymer 박막의 흡광도 변화 측정

- 실험 목적

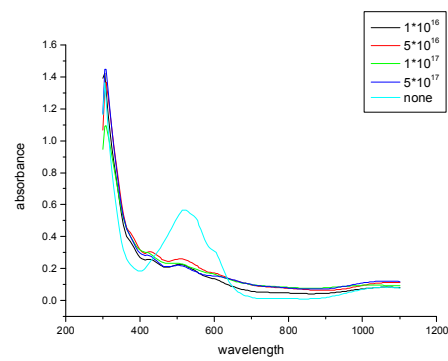
이온빔을 이용하여 glass 상층의 ITO 박막의 흡광도 변화를 측정.

- 실험 내용 및 결과

1. 두 가지 polymer에 대해서  $N^+, H^+, 5keV$ 로 이온조사량을 다르게 했을때 UV-visible 결과



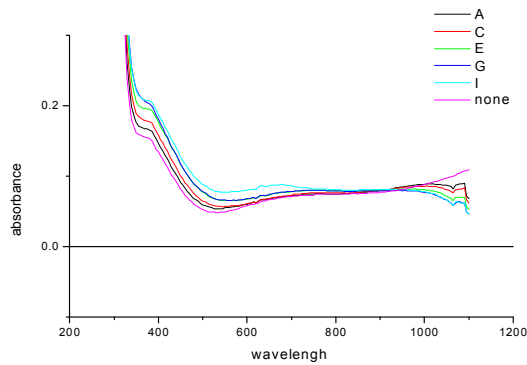
polymer1



polymer2

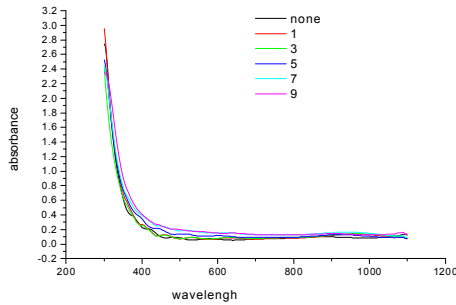
<이온빔 조사전과 조사후에 UV-Vis (H, N) 변화 측정결과>

2. glass/ITO 에  $N^+, 5keV$   $1*10^{14} \sim 1*10^{16}$  으로 조사 하였을때 UV-visible 결과



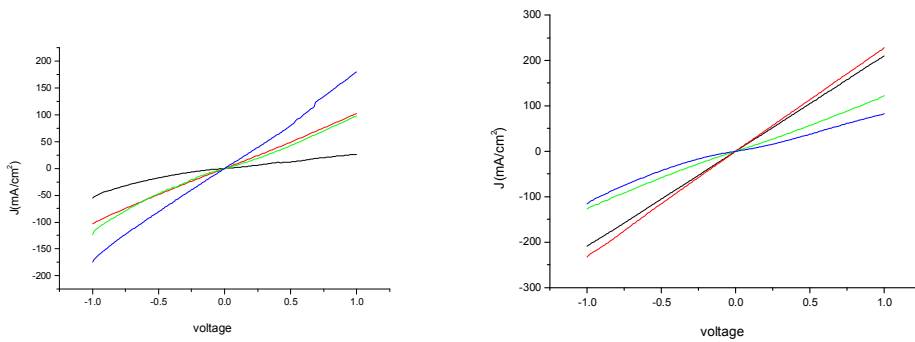
<이온빔 조사전과 조사후에 UV-Vis 변화 측정결과>

3. glass/ITO/polymer (약300~400nm)에 5keV  $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{16}$ 으로 조사 하였을 때 UV 결과



<이온빔 조사전과 조사후에 UV-Vis 변화 측정결과>

4. glass/ITO/polymer 에 N+ ,15keV,  $5 \times 10^{16}$ 으로 조사한 후 소자를 제작한 후 I-V 측정



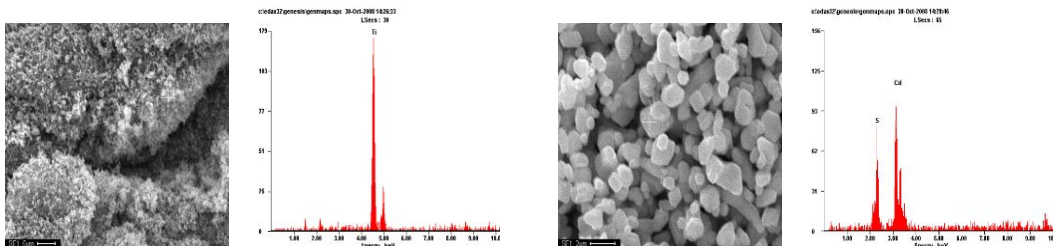
<이온빔 조사전과 조사후I-V 측정변화 측정결과>

마) 경주대학교 (김경호교수)

재료의 소결 전·후에 따른 표면, 성분 및 구조분석

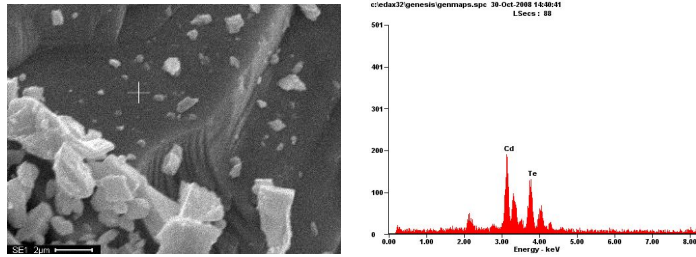
- 실험 목적 : 이온빔 조사후 CdTe, CdS, TiO<sub>2</sub>의 표면, 성분, 구조분석
- 실험 내용 및 결과

1. Phtography of SEM/EDS



(a) TiO<sub>2</sub>

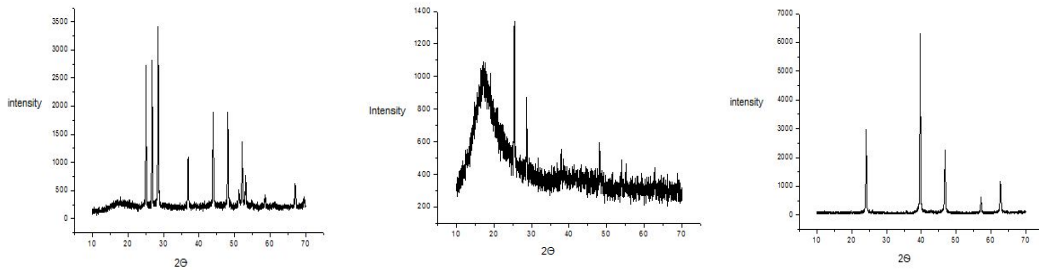
(b) CdS



(c) CdTe

<각 재료의 SEM/EDS의 분석 결과>

## 2. XRD pattern of CdS, TiO<sub>2</sub> and CdTe



(a) CdS

(b) TiO<sub>2</sub>

(c) CdTe

<각 재료의 XRD의 분석 결과>

바) 위덕대학교 ( 이재성 교수)

중수소를 MOSFET에 주입하여 소자의 전기적 열화 억제

- 실험 목적

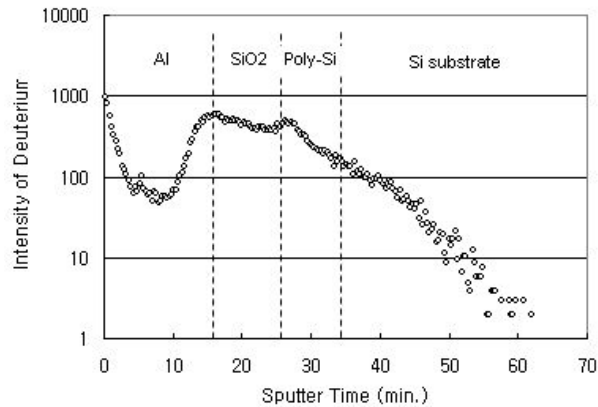
중수소를 MOSFET에 주입하여 소자의 전기적 열화를 억제.

- 실험 내용 및 결과

PMOSFET 및 NMOSFET를 사용했으며, 채널의 크기는 폭이 20  $\mu\text{m}$  이고 길이가 0.15 ~ 0.3  $\mu\text{m}$  이었다. 이들 소자는 게이트 산화막의 두께에 따라 그 용도가 디지털 및 아날로그용으로 나눌 수 있는데 본 연구에서는 이를 위해 게이트 산화막이 3 nm 및 7 nm 인 소자를 각각 사용하였다. 여러 조건에서 중수소를 주입한 후 후속 열처리를 질소 분위기에서 행한 후 각 소자의 열화 특성을 조사하였다. 이번 실험에서는 게이트 산화막이 3 nm 및 7 nm 인 PMOSFET에 대해 정전압 스트레스 인가 후에 나타나는 열화 정도를 비교 분석하였다.

PMOSFET 구조에서 중수소 주입에 따른 중수소의 분포를 보여준다. Al 층 보다는 SiO<sub>2</sub> 및

Poly-Si 층에 중수소가 많이 분포함을 알 수 있다.



<PMOSFET 구조에서 중수소 주입에 따른 중수소의 분포 측정결과>

중수소를 주입한 PMOSFET의 전기적 열화 특성에서 게이트 절연막의 절연파괴가 일어나기 전의 전기적 스트레스 범위에서 중수소의 효과가 나타나고 있음을 알 수 있었다. 즉, 분석된 PMOSFET의 ON 전류 및 문턱 전압 특성에서 적절한 조건에서 중수소를 주입한 소자가 일반적인 소자에 비해 그 변화율이 적게 나타남을 확인하였다. 이는 게이트 산화막내에 분포된 중수소 결합에 의해 전기적 열화가 억제되고 있음을 나타낸다.

사) 전북대학교

H<sup>+</sup> 이온의 주입에 따른 ZnO 나노막대의 성장에 관한 연구

- 실험 목적

ZnO 나노구조체에 H<sup>+</sup> 혹은 N<sup>+</sup> 이온을 주입하여 구조 및 광특성을 분석하였으며, H<sup>+</sup> 이온의 주입에 따른 ZnO 나노막대의 성장에 관한 연구도 병행하였다.

- 실험 내용 및 결과

이온 주입은 전반적으로 reasonable했으며, 재현성이 있었다.

H<sup>+</sup>와 N<sup>+</sup>의 양과 에너지를 달리하면서 실험을 실시했는데, 주입된 이온의 양이 많아질수록, 구조적인 무질서가 증가하면서 에너지 밴드 갭이 붕괴되는 것이 관찰되었다. 또한 N<sup>+</sup>의 에너지가 120 keV 이상일 때, 나노막대가 녹아내림이 관찰되었다. 주입된 에너지는 전반적으로 나노막대에 고르게 분포했으며, 10<sup>15</sup>/cm<sup>2</sup> 이하로 주입한 경우 밴드갭이 그대로 유지됨을 알 수 있었다. 분말 TiO<sub>2</sub>에 N<sup>+</sup>와 H<sup>+</sup>를 주입한 실험을 수행한 결과 주입된 이온으로 인하여 TiO<sub>2</sub>의 지역 구조에 무질서도가 증가한 것이 관측되었다. 이온주입 후 열처리를 한 시료에

대한 광특성 및 구조적 특성 분석에서 큰 변화는 관측되지 않았다.

아) 홍익대학교

Ga-Doped ZnO의 음이온 도핑

- 실험 목적

n형 ZnO박막의 p형 반도체로의 전환

- 실험 내용 및 결과

Ga (3 at.%) 도핑 된 ZnO (Ga-ZnO) 박막을 펄스 DC 마그네트론 스퍼터링 방법으로 유리기판 위에 증착시켰다. Ga-ZnO 박막의 증착 온도는 상온에서 500°C까지 변화를 주었다. 홀 측정 결과에서 n-type 반도체 특성을 보였고 300°C 샘플이 가장 좋은 전기적인 특성을 보였다. p-type 반도체 특성을 갖는 샘플을 만들기 위해서 300°C와 100°C 샘플을 양성자 가속기에서 질소를 주입하였다. 질소 주입량은 10E15, 10E17, 10E18 으로 변화를 주었다. 100°C 샘플의 경우에 질소를 1015 주입한 경우에 캐리어 밀도는 주입 전 ( $1.73E20 \text{ cm}^{-3}$ ) 보다  $5.27E19 \text{ cm}^{-3}$ 으로 감소하였다. 전기 비저항 또한 0.0476 ( $\Omega\text{cm}$ )으로 주입 전(0.00436  $\Omega\text{cm}$ ) 보다 감소하였으나 n-type 특성을 보였다. 이것은 질소 주입량이 부족한 것으로 판단된다. 1018 주입된 샘플의 경우에 과잉 도핑으로 인해 절연체 특성을 보였다. 300°C 샘플에서는 질소가 1017 도핑 된 경우에 캐리어 밀도는  $2.44E18 \text{ cm}^{-3}$ , 이동도  $1.24 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ , 전기비저항 2.072  $\Omega \text{ cm}$  보였고 n-type과 p-type 함께 나왔다. 이것은 주입된 질소가 불안정한 격자에 결합으로 인한 것으로 판단된다. 질소가  $10^{18}$  주입된 경우에 100 °C 샘플과 마찬가지로 절연체 특성을 보였다. 주입된 질소가 실제로 어느 정도 샘플에 주입되었는지 파악하기 위해서 EDS 분석을 하였다. 분석 결과 질소가 10E17과 10E18 도핑 된 샘플의 경우에 각각 7.14 at.%와 9.62 at.% 나왔다. 이러한 결과를 아래에 정리하였다.

<온도차이에 따른 이온빔 조사 전·후 결과>

시 료	100 °C			300 °C		
	n ( $\text{cm}^{-3}$ )	$\mu$ ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	$\rho$ ( $\Omega\text{cm}$ )	n ( $\text{cm}^{-3}$ )	$\mu$ ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	$\rho$ ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )
Before N <sub>2</sub> 도핑	1.73E20	8.42	0.00436	6.23E20	18.05	5.56E-4
10 <sup>15</sup>	5.27E19 (n-type)	2.43	4.76E-2			
10 <sup>17</sup>				2.44E18 (p,n-type)	1.243	2.072
10 <sup>18</sup>	절연체			절연체		

한편 질소 주입된 샘플을 RTA 500°C에서 10분 동안 열처리 하였다. 300°C 샘플의 경우에 질소 10<sup>18</sup>/cm<sup>2</sup> 주입했을 때 절연체 특성을 보였으나 열처리 후에는 p-type 특성을 보였다. 이것은 과잉으로 도핑 된 질소 중 일부 불안정한 격자에 결합된 질소가 휘발되어 날아갔고 안정적으로 격자 안에 결합된 질소로 인해 p-type 특성을 보인 것으로 판단된다. 질소 10<sup>17</sup>/cm<sup>2</sup> 주입한 경우에는 p-type과 n-type이 특성이 함께 보였으나 열처리 후에는 n-type 특성으로 돌아왔다. 주입된 질소가 휘발되어 날아간 것으로 판단되며 이 샘플의 경우에는 열처리 조건을 다시 찾아야 할 것으로 판단된다. 이러한 내용을 표3에 정리하였다.

본 실험을 통해서 Ga-ZnO 샘플에 질소를 주입하여 p-type 특성을 갖는 가능성을 확인하였고 안정된 p-type 특성을 얻도록 체계적인 연구가 필요한 것으로 생각된다. 차후 질소 주입 실험을 하는데 있어서 좋은 참고 자료로 활용될 것으로 본다.

<온도차이에 따른 이온빔 조사 전·후 결과>

홀 측정	300°C, 질소 10 <sup>18</sup>			300°C, 질소 10 <sup>17</sup>		
	n (cm <sup>-3</sup> )	μ (cm <sup>2</sup> /Vs)	ρ (Ωcm)	n (cm <sup>-3</sup> )	μ (cm <sup>2</sup> /Vs)	ρ (Ωcm)
질소 주입	절연체			2.44E18 (p, n-type)	1.243	2.072
열처리 후	2.62E17 (p-type)	1.999	17.39	1.99E19 (n-type)	4.322	7.31E-2

3) 연구계

가) 한국원자력연구원

고체 시료의 Kr, Xe 분석시 기준시편 활용 ( 최순달 책임연구원)

- 실험 목적

알루미늄 호일에 조사한 Kr, Xe의 이온농도를 RBS 분석기로 정량분석하여 Kr, Xe 주입 농도를 확인함으로써 원자력분야에 기준시편으로 활용.

- 실험 내용 및 결과

Kr, Xe을 약 70 mm 직경의 알루미늄 호일에 주입하였으며, 이온주입된 알루미늄 호일의 임의 위치에서 절단하고 그 시편을 용해하여 이때 추출된 Kr, Xe의 분석결과 사용한 Kr, Xe의 무게에 따른 Kr, Xe의 농도간에 좋은 상관성이 있음을 알 수 있다. 결론적으로 고체매질의 Kr, Xe 분석시 기준시편을 이온주입방법으로 제조 가능할 것으로 사료된다.

이온빔을 이용한 비정질재료의 특성변화 ( 박덕근 박사 )

- 실험 목적

비정질  $\text{Co}_{66}\text{Fe}_{4}\text{B}_{15}\text{Si}_{15}$ , with a size of 2 mm x 40 mm x 20 $\mu\text{m}$  에 이온조사하여 자기임피던스 및 투자율 변화를 측정

- 실험 내용 및 결과

측정결과는 이온조사결과 임피던스의 현저한 증가가 나타났으며 이는 이온조사에 의해 자기센서의 성능을 개선할 수 있는 가능성을 보여 주었다.

결과는 J. Appl. Phys. 2편 게재 및 관련학회에 발표하였음.

a. Effect of ion irradiation on a Co-based amorphous ribbon, J. appl. Phys. 101, 09N109 (2007)

b. The change of permeability spectra due to ion irradiation in the Co-based amorphous ribbon, Accepted in J. Appl. Phys. (2009)

c. Presented in the "Conference in Magnetism and Magnetic Materials" held at Texas Austin, 2008. 11. 17

나. 한국과학기술연구원

이온빔에 의한 전구체의 흡수도 및 P3HT 고분자의 홀전도체 특성변화연구( 김경곤박사 )

- 실험 목적

이온빔에 의한 전구체의 흡수도(UV-vis) 및 태양전지로의 P3HT 고분자의 홀전도체 특성변화

- 실험 내용 및 결과

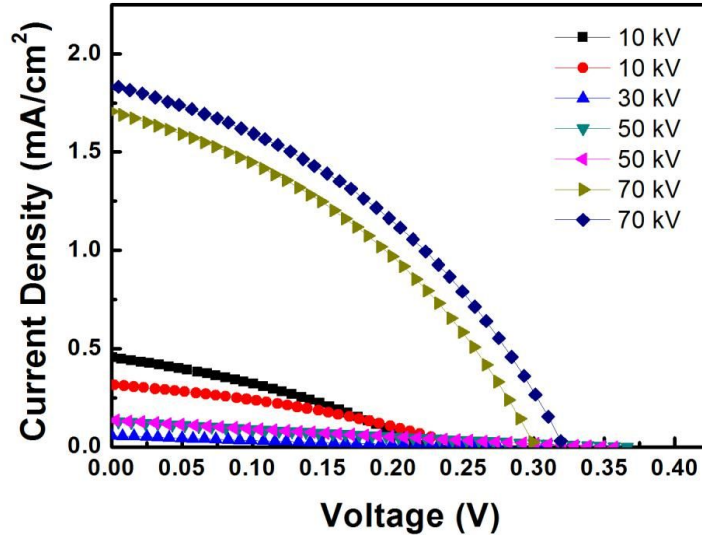
▷ 이온빔 조사한 샘플의 UV-vis 흡광 스펙트럼을 살펴본 결과 측정된 파장영역에서 어떠한 흡수가 관찰되지 않았으며, 필름의 표면을 조사한 결과 glass substrate 위에 전구체가 남아 있지 않은 것을 확인함

이온빔을 조사하기 위해 진공을 가하여 주었을 때 vapor pressure가 큰 전구체가 기화되어서 기판 표면에 남아 있지 않았음

▷ 이온빔 조사를 통한 P3HT 고분자의 홀전도체 이용하여 관찰하였고, 그 결과 이온빔의 에너지가 커질수록 P3HT의 전도도 증가와 조사된 P3HT 고분자를 태양전지의 홀전도체로 사용이 가능한 것을 관찰하였다. 그리고, 태양전지 특성이 높은 이온에너지를 조사한 P3HT가



가장 좋은 특성을 보임

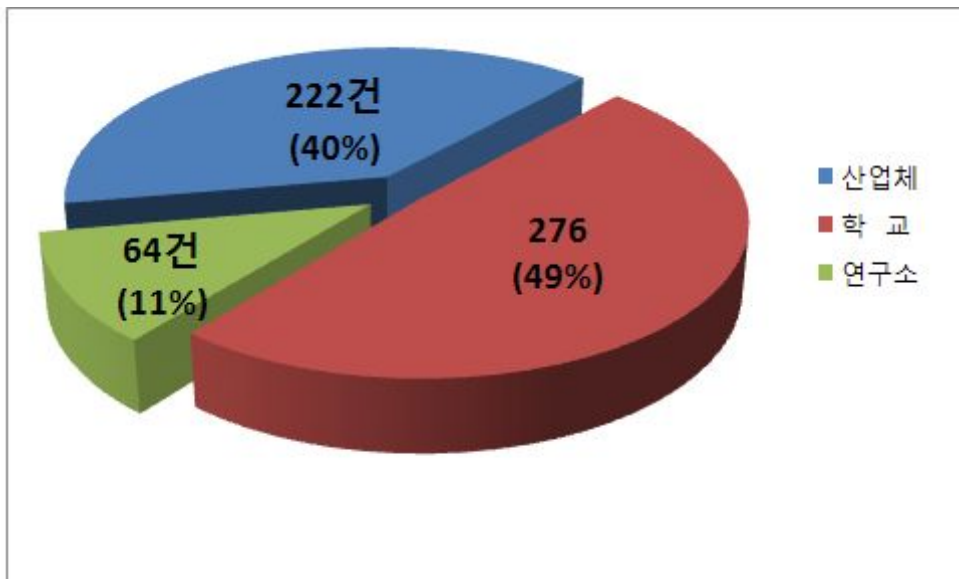
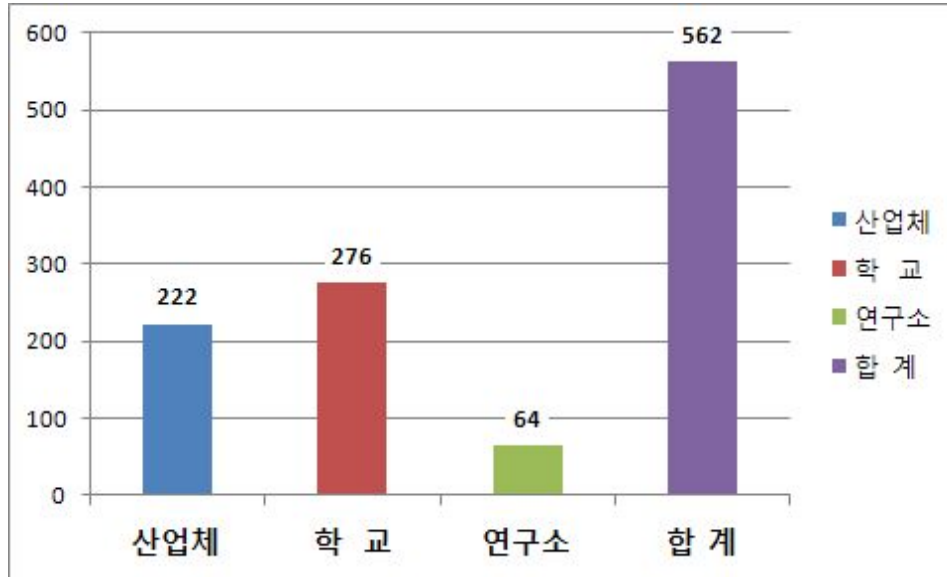


<이온 에너지에 따른 P3HT의 전기적 특성 평가>

#### 나. 2차년도

가속장치 응용실용화과제 시설인 기체 이온빔 장치와 듀얼 이온빔 장치의 2차년도 운영 실적을 <그림 3.2.17>에 나타내었다. 기관별 분포를 분석하면, 산업체(40%), 학교(49%), 연구소(11%) 순으로 1차년도와 비교하였을 경우, 연구소 기관에서 의뢰한 빔 서비스수는 비슷하나, 산업체와 학교에서 의뢰한 서비스 건수는 약간의 차이를 보이고 있다. 당해연도는 폴리머의 내광성 향상 실험 및, 산업체의 실용화 연구에 집중하였고, 이에 작년보다 108% 정도 향상 산업체 연구가 향상되었다. 전체 빔 서비스건수 측면에서는 작년과 비교하여 당해연도가 약 20% 정도 증가하였다. 세부통계(표 4)를 통해 각 기관에서 연구하는 테마들을 열거함으로써, 이온빔을 이용한 연구정도를 알 수 있다.

또한, 매년 이온빔 실험에 대한 연구정도가 증가하는 추세에 따라 빔 타임을 세분화 할 필요가 있어, 상반기와 하반기로 나누어 두번에 걸쳐 20여개 기관의 빔 이용자들(이용자 프로그램+전년도 일반 사용자)에게 빔 이용횟수를 요청하였고, 이를 기반으로 <3.2.18>과 같이 빔 타임을 배정하였다. 보고서 및 논문 작성시에는 Acknowledgement(This work was (partially) supported by the Proton Engineering Frontier Project of the Ministry of Education, Science and Technology of Korea)를 요구하였다.



<그림 3.2.17 기관별 이온빔 서비스 건수 및 분포현황>

<표 3.2.5 . 기관별 의뢰기관 및 의뢰 실험 목적>

구 분	의뢰 기관	시편 종류	실험목적
산업체	삼성 SDI	Al & Ag / organic	나노 에칭
	현대자동차	PC(폴리머)	전기전도성
	위너테크	금형	표면거칠기 향상
	신기인터모빌	차량 전장제품	내광성 향상
	네스(주)	폴리머	강도 향상
		진주	발색
호남석유	폴리머	접합성	
대 학	고려대	웨이퍼	박막성장변화
	경북대	ITO/Glass	광특성 변화
	울산대	웨이퍼	태양전지 관련연구
	금오공대	TiO2	고효율 가시광촉매
	동국대	SOFC 전해질 개발	표면 변화
		YSZO(Yittria Stabilized Zirconium Oxide)	세라믹전해질변화
		SOS 소자박막특성	소자 특성연구
	전북대	ZnO	발광소자 특성변화
		TiO2	
	위덕대	MOS 소자	특성변화 및 신뢰성개선
	서울대	금속	응력제어
	홍익대	고분자	전해질 영역제어
	동서대	PET, 면	발수특성변화
경주대	세라믹분말	특성변화	
연구소	한국원자력 연구원	Al foil	이온농도확인
	KIST	PCB drill, 칼날	내구성
	한국화학연구원	PCBM(폴리머)	특성변화
		금속	센서개발

2009년 12월

월요일	화요일	수요일	목요일	금요일	토요일	일요일
메모:	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
박차철(동서대) (2차)						
14	15	16	17	18	19	20
김영규(경북대) (2차)						
21	22	23	24	25	26	27
이재성(위덕대) (2차)						
28	29	30	31	메모:		
이철의(고려대) (1차)						

<그림 3.2.18 외부의뢰 빔 서비스 시간 배정표>

나. 이온빔 외부이용자 연구 내용 및 결과

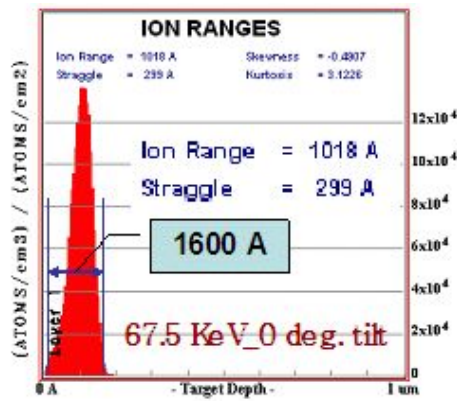
(1) 한국원자력연구원 / 박덕근 박사

비정질 Co66Fe4B15Si15, with a size of 2 mm x 40 mm x 20µm 에 이온조사하여 자기임피던스 및 투자율 변화를 측정하였음. 같은 조건에서도 상이한 결과가 나온 원인은 시료를 부착한 알루미늄 판과 관련된다는 것을 알았음. 현재 알루미늄판의 열전도도 차이에 의하여 시료의 온도가 영향을 받았을 것으로 추정됨. 이에 따라 추가적인 조사가 필요한 상황임. IEEE Trans- mag 1편 게재 및 2편 게재예정. 추가적으로 조사조건을 달리하여 실험하였으면 함.

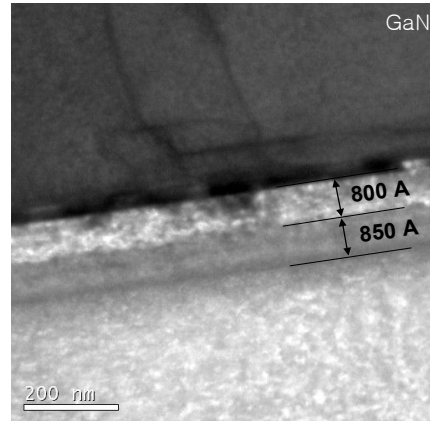
(2) 고려대 신소재공학과 / 변동진 교수

본 실험은 사파이어 기판상에 GaN물질을 단결정 성장함에 있어 기판에 이온주입에 따른 GaN층의 결정성 및 광특성에 미치는 효과에 관한 연구입니다. 분석결과 SRIM에서 계산한 결과와 거의 동일하게 이온주입되었습니다. 또한 이온주입된 사파이어기판 상에서 성장된 GaN층의 결정성 및 광특성이 향상된 결과를 얻었습니다. 이와 같은 결과는 이온주입을 통해 GaN층의 응력이 줄어들었기 때문으로 예상하고 있습니다. (추가 분석이 요구되는 항목입니다)

SRIM simulation result

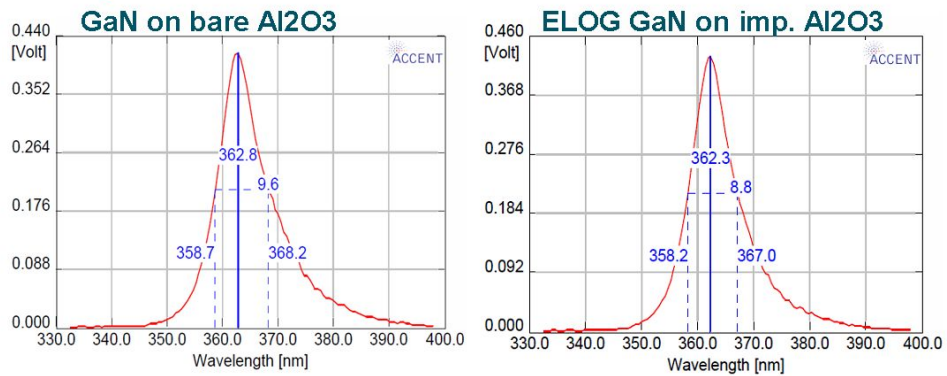


TEM result



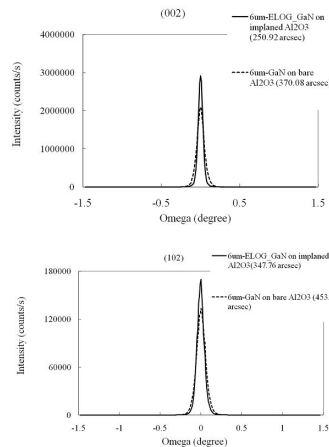
✓850 Å-thick-N<sup>+</sup>-implanted layer is formed at the position of 850 Å from the sapphire surface as calculated by SRIM.

**PL spectrum**



➤ PL FWHM decreases in the ELOG GaN on N<sup>+</sup>-implanted Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

**HR-XRD result**



➤ Lower values of XRD FWHM are obtained in the ELOG GaN on N<sup>+</sup>-implanted Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

(3) 고려대 화학공학과 / 이승수

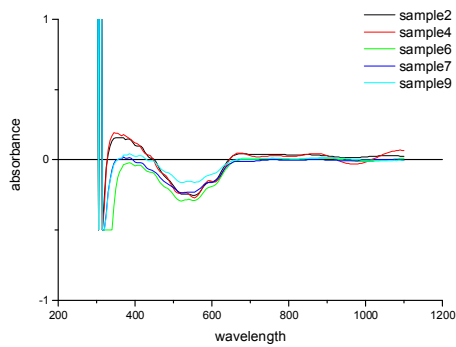
1. 1차조사(2009. 5. 13)

- sample : glass/ITO/polymer1(polyimide계,800nm)/polymer2(PET계,50nm)

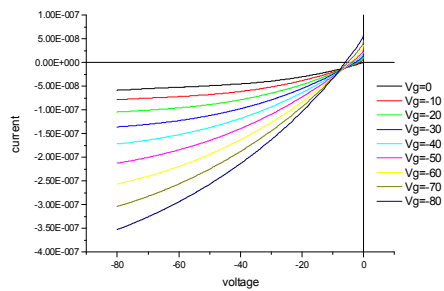
- 조사량

#1#2	N <sup>+</sup> 5kev	1 x 10 <sup>16</sup> ions/cm <sup>2</sup>
#3#4	N <sup>+</sup> 5kev	5 x 10 <sup>15</sup> ions/cm <sup>2</sup>
#5#6	N <sup>+</sup> 5kev	1 x 10 <sup>15</sup> ions/cm <sup>2</sup>
#7#8	N <sup>+</sup> 5kev	5 x 10 <sup>14</sup> ions/cm <sup>2</sup>
#9#10	N <sup>+</sup> 5kev	1 x 10 <sup>14</sup> ions/cm <sup>2</sup>
#11#12	none	none

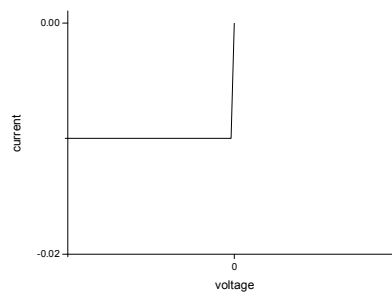
- UV-visible spectra



- Device characteristics



<No ion beam radiation>



<Ion beam radiation>

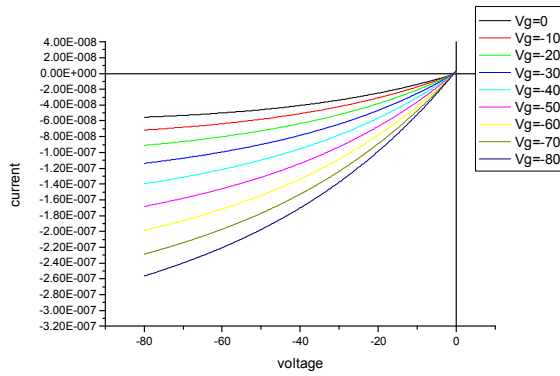
2. 2차조사(2009. 6. 18)

- sample : glass/ITO/polymer1(polyimide계,800nm)/polymer2(PET계,50nm)

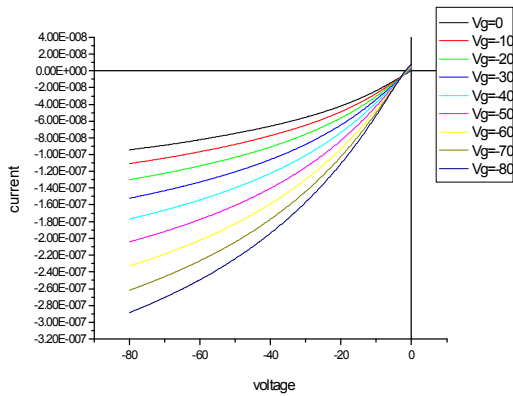
- 조사량

#1#2	none	none
#3#4	N <sup>+</sup> 3keV	1 x 10 <sup>13</sup> ions/cm <sup>2</sup>
#5#6	N <sup>+</sup> 3keV	5 x 10 <sup>13</sup> ions/cm <sup>2</sup>
#7#8	N <sup>+</sup> 3keV	1 x 10 <sup>14</sup> ions/cm <sup>2</sup>
#9#10	N <sup>+</sup> 3keV	5 x 10 <sup>14</sup> ions/cm <sup>2</sup>

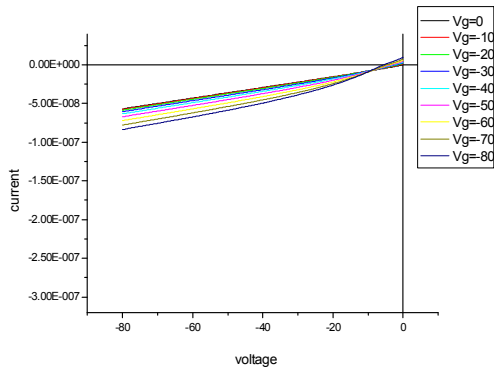
- Device characteristics



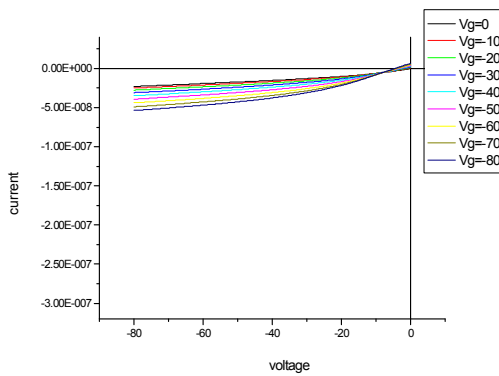
\*sample1: no ion beam treatment



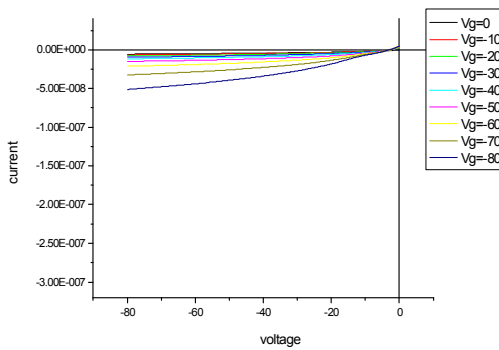
\*sample4: 1×10<sup>13</sup>ions/cm<sup>2</sup>



\*sample6:  $5 \times 10^{13}$  ions/cm<sup>2</sup>



\*sample8:  $1 \times 10^{14}$  ions/cm<sup>2</sup>



\*sample10:  $5 \times 10^{14}$  ions/cm<sup>2</sup>

#### (4) 동국대 물리학과 / 이연환 교수

1. 본 결과는 양성자 이온주입을 통한 고순도 다결정성 실리콘 박막의 제조방법에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 양성자 이온주입을 통한 고순도 다결정성 실리콘 박막의 제조방법은 실리콘 기판을 준비하는 단계와, 상기 실리콘 기판상에 다결정성 실리콘층을 형성하는 단계와, 상기 실리콘 기판과 상기 실리콘층의 계면을 향해 양성자 이온을 주입하는 단계와, 질소분위기에서 제 1 온도로 예비 어닐링하는 단계와, 질소분위기에서 제 1 온도보다 높은 제 2 온도로 본 어닐링하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.



이러한 본 발명의 구성에 따르면, 실리콘 기판상에 다결정성 실리콘층에 저온에서 신속하게 생성할 수 있으면서, 여러 종류의 결함을 억제할 수 있다.

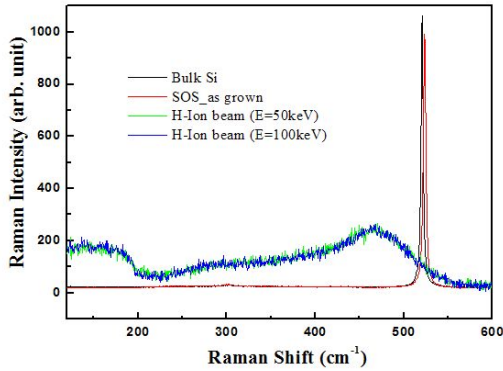


Fig. 1 양성자 조사후 급속열처리 후공정에 의한 결정화회복에 따른 Raman 신호변화

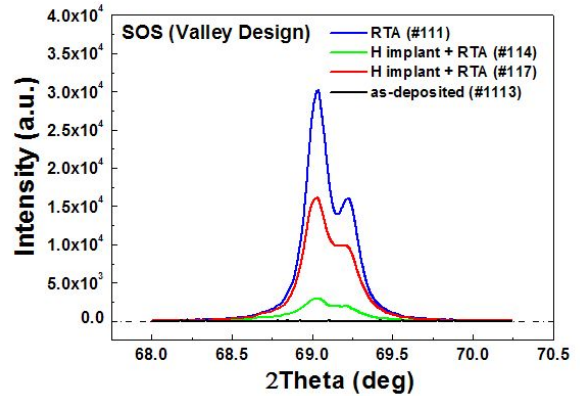
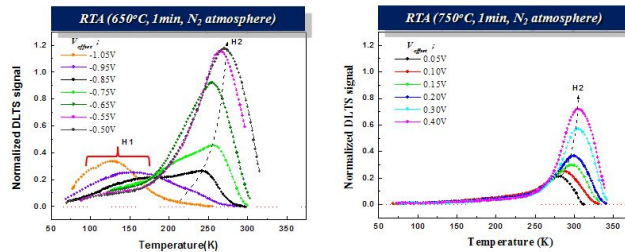


Fig. 2 양성자 조사후 급속열처리 후공정에 의한 결정화회복에 따른 XRD 신호변화

2. 본 결과는 양성자 이온주입을 통한 고순도 다결정성 실리콘 박막의 제조방법에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 양성자 이온주입을 통한 고순도 다결정성 실리콘 박막의 제조방법은 실리콘 기판을 준비하는 단계와, 상기 실리콘 기판상에 다결정성 실리콘층을 형성하는 단계와, 상기 실리콘 기판과 상기 실리콘층의 계면을 향해 양성자 이온을 주입하는 단계와, 질소분위기에서 제 1 온도로 예비 어닐링하는 단계와, 질소분위기에서 제 1 온도보다 높은 제 2 온도로 본 어닐링하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

이러한 본 발명의 구성에 따르면, 실리콘 기판상에 다결정성 실리콘층에 저온에서 신속하게 생성할 수 있으면서, 여러 종류의 결함을 억제할 수 있다.

### Deep Traps at the interface of HfO<sub>2</sub>/Si by DLTS

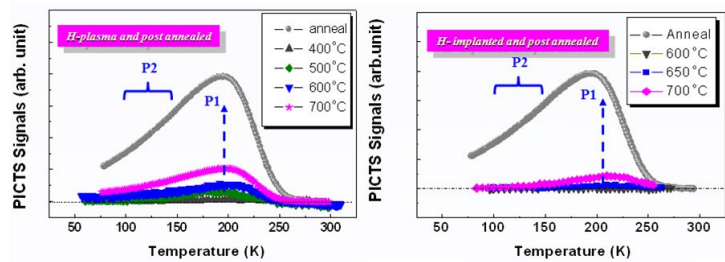


H1 - interface trap was observed to be located at 0.23eV above the valence band of Si and annealed out effectively above 700C, due to the SiO<sub>2</sub> formation.

3. The behavior of defect states in poly-Si films fabricated by Excimer laser annealing has been investigated using photo-induced current transient spectroscopy (PICTS). A

deep trap is observed to be located at 0.298 eV from the forbidden band edge of poly Si with the capture cross section of  $1.51 \times 10^{-15} \text{cm}^2$ . The carrier capture behavior of the deep trap was explained as Coulomb barrier model and attributed to the extended trap such as the Si-dangling bond or the grain boundary defect. We could suppress effectively the deep traps in poly-Si using a proton implantation or hydrogen plasma treatment.

**Hydrogen-effect with post-annealing temperatures on poly-Si**



(5) 워터대 / 이재성 교수

제조된 MOSFET의 전면에 중수소를 주입하여 열처리를 한 후 게이트 산화막 근처에 중수소가 분포하도록 하였다. 게이트 산화막의 물질적 특성이 MOSFET의 전기적 특성에 영향을 주므로, 중수소 이온 주입에 따른 게이트 산화막의 절연 특성을 조사하였다.

그림 1은 중수소 주입된 소자에서 정전압 스트레스를 받은 게이트 산화막의 누설 특성을 보여주고 있다. 누설 특성은 실리콘의 계면 특성과 관련이 있다. 에너지가 45 KeV이하 공정에서는 일반적 소자와 비슷한 특성을 보이고 있어 이온 주입으로 인한 실리콘 계면의 특성 변화는 거의 없는 것으로 판단된다. 그림 2는 중수소 주입된 소자의 time-dependent dielectric breakdown (TDDDB) 특성을 나타낸다. 에너지가 45 KeV이하 공정에서는 일반적 소자보다 절연 특성이 개선되는 것으로 나타난다. 에너지가 더욱 높으면 게이트 산화막의 절연특성이 저하되고 있다.

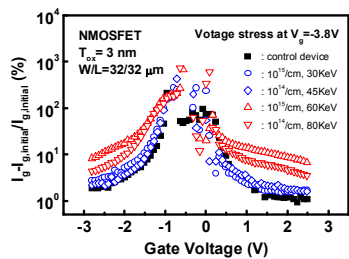


그림 1. 중수소 주입된 게이트 산화막의 누설 특성.

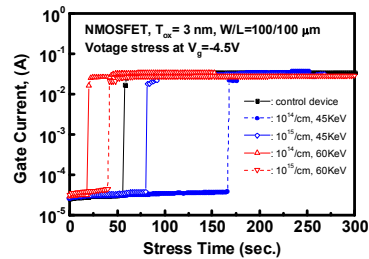


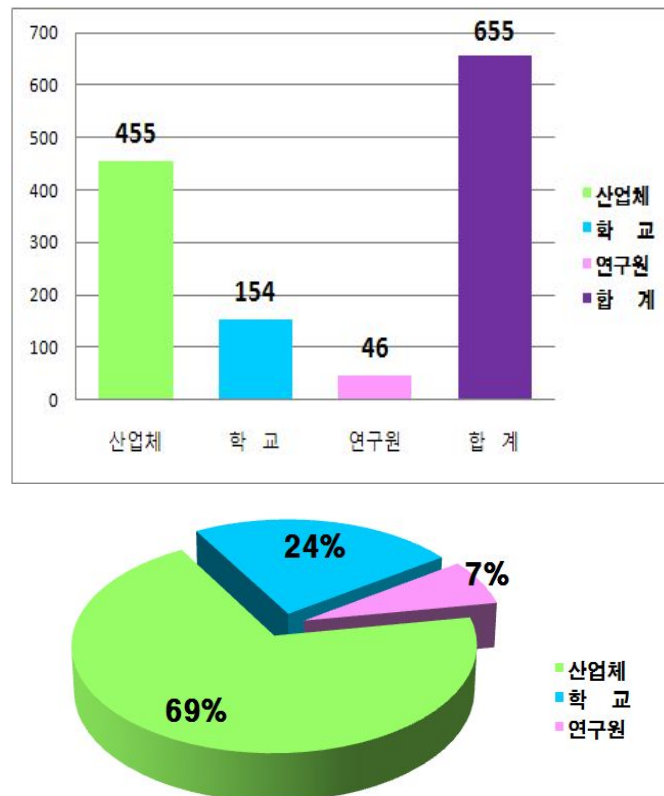
그림 2. 중수소 주입된 게이트 산화막의 절연파괴 특성.

## 다. 3차년도

### 가. 이온빔 서비스 현황

양성자기반공학기술개발사업단 경주연구분실에서는 금속 및 기체 그리고 듀얼 이온빔 조사장치 3기를 내부과제수행 및 외부 빔 서비스활용 등으로 운영중에 있다.

빔 서비스 의뢰기관은 산업체, 학교, 연구원으로 나뉘었으며, 분야는 NT(Nano Technology), ET(Energy Technology), IT(Information Technology)재료, 화학, 원자력 등 다양한 분야에 걸쳐 빔 조사가 이루어졌다. 당해연도 이온빔 서비스 건수는 목표대비(500건) 35%증가한 총 655건을 수행하였으며, 산업체(455건, 69%), 학교(154건, 24%), 연구원(46건, 7%) 순으로 산업체가 가장 높은 비중을 차지하였다. 이는 산업적으로 수요가 높은 재료의 표면개질을 통하여 표면의 특성을 원하고자 하는 방향으로 변화시켜 산업화에 적용시키기 위한 방법으로 이온빔을 이용하였다. 특히 당해 연도에는 한가지 이온으로 재료 표면특성을 변화시키기 위한 방법보다는 두가지 이상의 이온을 복합적으로 조사하여 특성변화를 관찰하는데 주로 이용되었다. <그림 3.2.18>은 의뢰기관별 이온빔 서비스 건수 및 분포 현황을 나타내고 있다.



<그림 3.2.18> 기관별 이온빔 서비스 건수 및 분포현황.

<표 3.2.6>은 의뢰기관별 시편종류와 실험목적은 나타낸 것이다.

<표 3.2.6 의뢰기관 및 의뢰실험 목적.>

구분	의뢰기관	시편종류	실험목적
산업체	삼성전자	AI	친소수 제어
	신기인터모빌	차량 전자제품	내광성 향상
	네스(주)	베어링	내구성 향상
	아이시스	PCB 본딩용 지르고니아	융착방지
	희성정밀	베어링	내마모성 향상
	덴토스	치아용 드릴	내구성 향상
	위너테크	금형	이온빔 스퍼터링
	S&S TECH	Cr 금속	멀티코팅
	아자젬스	보석	보석발색
대학	고려대	웨이퍼	박막성장변화
	경북대	PE	광특성변화
	울산대	웨이퍼	광 특성 향상
	동국대	웨이퍼	표면변화
		YSZO	세라믹전해질 변화
	위덕대	MOS 소자	특성변화
	서울대	폴리머 우레탄	표면개질
	국민대	GaN 웨이퍼	물성변화
	단국대	ZnO	특성변화
	포항공대	TiO <sub>2</sub>	도핑 기술개발
	홍익대	실리콘	실리콘막 결정화
	전북대	TiO <sub>2</sub>	격자특성연구
	경주대	세라믹분말	태양전지 소재개발
	금오공대	TiO <sub>2</sub>	가시광 촉매특성연구
연구원	한국 원자력 연구원	금속	조사선상 연구
		PCB 드릴	내구성
		보석	보석발색
	한국화학연구원	웨이퍼	이온도핑 연구
	표준연구원	분동	내구성 향상

그리고, 양성자기반공학기술개발사업단 경주연구분실에서 이온빔 서비스 후 빔 이용자를 대상으로 만족도 설문조사를 실시하였다. 2010년에 저에너지 빔이용시설을 활용한 연구자는

40명이었으며, 설문조사 응답자는 27명, 응답률은 67.5%이다. 만족도 조사시 이용일자별로 설문조사하였으며, 총 27명, 56건에 대하여 만족도 평균은 92.23%의 만족도결과를 얻었다. <표 3.2.7>은 빔(이온빔) 이용시설 만족도에 대한 결과표이다.

<표 3.2.7 빔 이용시설 만족도 조사결과>

	연구책임자	소속	이용시설	이용일자	만족도
1	김홍렬	고려대학교	경주연구분실	10.05.14	80
2	양찬오	서울대학교	경주연구분실	10.08.30	100
				10.09.28	100
3	박재원	양성자사업단	경주연구분실	10.06.08	75
				10.07.06	75
4	최대한	신기인터모빌	경주연구분실	10.09.07	90
				10.10.19	90
				10.11.18	90
				10.12.02	90
5	이경호	경주대학교	경주연구분실	10.01.12	95
6	김경균	(주)네스	경주연구분실	10.01.13	100
7	이병훈	신기인터모빌	경주연구분실	10.01.25	100
				10.02.09	100
				10.02.18	100
				10.03.05	100
				10.03.22	100
				10.04.10	100
				10.04.27	100
10.05.27	100				
8	이덕환	덴토스	경주연구분실	10.03.30	100
9	강석훈	한국원자력연구원	경주연구분실	10.02.27	80
10	박제근	서울대학교	경주연구분실	10.09.08	100
11	이연환	동국대학교	경주연구분실	10.03.11	100
				10.04.21	100
				10.04.26	100
				10.12.23	100
12	이인자	동국대학교	경주연구분실	10.01.22	100
				10.11.10	100
13	김영규	경북대학교	경주연구분실	10.01.21	70
14	변동진	고려대학교	경주연구분실	10.03.11	90

				10.06.14	90
				10.06.15	90
				10.11.19	90
15	이재성	위덕대학교	경주연구분실	10.06.22	80
16	박덕근	한국원자력연구원	경주연구분실	10.05.17	60
17	한상욱	전북대학교	경주연구분실	10.03.18	80
18	권순기	S&S TECH	경주연구분실	10.07.07	100
				10.09.28	100
19	황진하	홍익대학교	경주연구분실	10.04.15	85
20	한성홍	울산대학교	경주연구분실	10.01.12	80
				10.09.14	80
21	여순목	양성자사업단	경주연구분실	10.04.09	75
22	곽창하	포항공대	경주연구분실	10.11.02	70
23	이성준	한국표준연구원	경주연구분실	10.06.30	100
24	최시영	아이시스	경주연구분실	10.06.23	80
				10.09.14	80
25	김태형	동국대학교	경주연구분실	10.02.04	100
				10.05.11	100
				10.12.06	100
				10.12.18	100
26	김주소	삼성전자DMC 연구소	경주연구분실	10.09.01	100
				10.09.27	100
				10.10.15	100
				10.11.30	100
27	정우광	국민대학교	경주연구분실	10.01.27	100
				10.12.09	100
				56건	92.23

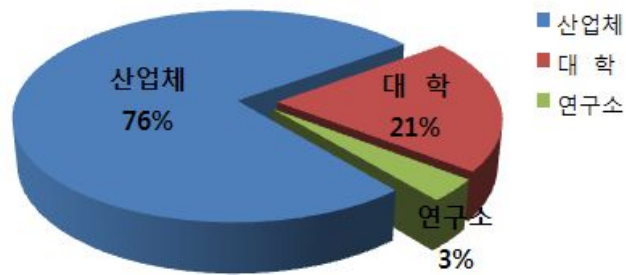
#### 라. 4차년도

당해연도에는 장치운영을 동국대 내 경주연구분실과 전년도에 경주사무소로 이전 설치된 이온빔 실험실 2곳에서 병행하여 운영되었다. 경주연구분실에서는 기존의 금속이온주입장치와 기체이온빔장치가 운영되었고, 2011년 8월 대전류 및 대면적의 이온원을 시험할 수 있는 대면적 이온원 시험장치를 설치하여 내부 R&D 및 과제수행으로 활용되었다. 또한 경주사무소에서는 듀얼이온빔장치를 이용하여 과제수행 및 외부 빔 서비스를 지원하였다. 외부 빔 서비스와 관련하여, 산업체에서는 (주)삼성전자, (주)삼성코닝, 신기인터모빌, 고려제강, 케프 등 여러 기관에서 이온빔을 이용한 재료표면물성변화와 관련하여 현재 생산하고 있는 제품에 적용가능성을 타진하기 위해 빔 서비스를 요청하였다. 그리고, 서울대학교, 고려대학교, 성균관대학교, 한양대학교, 금오공대 및 재료연구소, 한국원자력연구원 등의 학교 및 연구기관에서는 원재료 기능 향상 및 R&D 측면에서 빔 서비스를 의뢰하였다. 그 결과, 당해연도 이온빔 서비스 건수는 목표대비(500건) 약 46% 증가/전년도 대비(655건) 11% 증가한 총 727건을 수행하였으며, 산업체(553건, 76%), 대학(149건, 21%), 연구원(25건, 3%) 순으로 산업체가 가장 높은 비중을 차지하였다. 장치별 실험공정수는 금속이온주입장치 74건, 기체이온빔장치 439건 그리고, 듀얼이온빔장치 214건을 수행하였으며, 활용기관은 총 23개 기관으로 산업체 8개, 대학 13개, 연구소 2개로 나타내었다. 또한 이온빔을 활용하기 위해 경주사무소 혹은 경주연구분실에 방문한 방문자는 총 124명이었다.

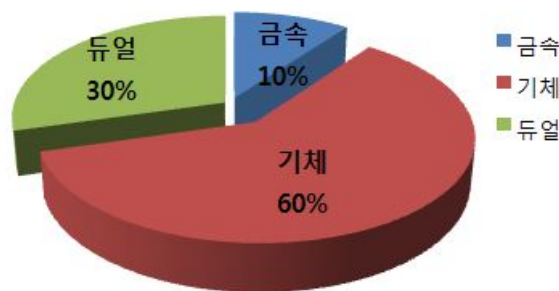
#### □ 2011년 이온빔장치 활용실적

- 총 공정수 : 727건
- 산·학·연별 공정수 : 산업체(553건), 대 학(149건), 연구원(25건)
- 장치별 공정수 : 금속(74건), 기체(439건), 듀얼(214건)
- 활용기관 : 총 23개 기관 (산업체 8개, 대학 13개, 연구소 2개)
- 이온빔 활용 관련 방문자 : 총 124명

<그림 3.3.150>은 의뢰기관별 이온빔 활용분포 및 장치별 이용분포 현황을 나타내고 있다.



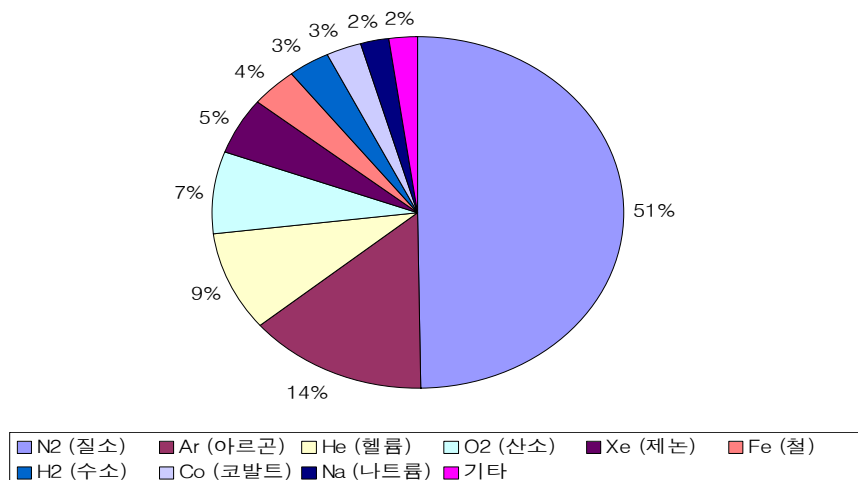
(a) 의뢰기관별 이온빔 활용분포



(b) 장치별 이용분포

<그림 3.2.19 기관별 이온빔 활용분포 및 장치별 이용분포현황>

<그림 3.2.20>는 당해연도 이온종별 활용분포를 나타낸 것으로, 대부분이 비활성기체인 질소, 아르곤 산소 제논이 활용되었으며, 그중 질소이온을 이용한 이온빔 서비스가 가장 많았다. 또한 Fe(철), Co(코발트), Na(나트륨)과 같은 금속이온을 이용한 표면 친수성 개발 및 내구성 향상에 대한 연구가 있었다.



<그림 3.2.20 당해연도 이온종별 활용분포>



<표 3.2.8 >은 당해 연도 의뢰기관별 시편종류와 실험목적을 나타낸 것이다.

<표 3.2.8 의뢰기관 및 의뢰실험 목적>

구분	의뢰기관	시편종류	실험목적
산업체	삼성전자	Al	친소수 제어
	삼성코닝	차량 전장제품	내광성 향상
	신기인터모빌	베어링	내구성 향상
	고려제강	PCB 본딩용 지르코니아	융착방지
	케프	베어링	내마모성 향상
	네스	치아용 드릴	내구성 향상
	UIP	금형	이온빔 스퍼터링
	아이시스	Cr 금속	멀티코팅
대학	금오공대	TiO <sub>2</sub>	가시광 촉매특성연구
	전북대	ZnO코팅드글라스	광특성연구
	동국대	세라믹	연료전지 재료 표면특성 연구
		웨이퍼	SOS소자 웨이퍼 박막 특성 향상
	홍익대	산화물 반도체	산화물 반도체 도핑
	고려대	웨이퍼	GaN 에피층의 물성연구
	국민대	웨이퍼	Au masking 유무에 따른 이온빔 조사 특성 연구
	단국대	탄소블럭	이온빔을 이용한 핵융합 재료손상 및 열부하 시험
	한양대	실리콘웨이퍼	저전력 고속 Si 이종접합 소자 연구
	부산대	Cu	구리표면의 이온빔 처리에 의한 응축현상 변화
	서울대	폴리머	폴리우레탄 필름의 세포적합성 실험
	성균관대	폴리머	표면 전기전도도/광투과도 변화
	울산대	TiO <sub>2</sub>	광촉매 실험
	위덕대	웨이퍼	바이오센서 중수소이온빔 표면처리
연구원	한국원자력연구원	Al foil	물성변화연구
	한국기계연구원	웨이퍼	표면에칭실험

그리고, 양성자기반공학기술개발사업단 경주연구분실에서는 이온빔 서비스 후 빔 이용자를 대상으로 만족도 설문조사를 실시하였다. 2010년에 저에너지 빔이용시설을 활용한 연구자는 29명이었으며, 설문조사 응답자는 21명, 응답률은 72.4%이다. 만족도 조사는 여러 실험의뢰

일자 중 몇 개의 이용일자만 추출하여 실시하였다. 총 응답자 21명이 의뢰한 실험 38건에 대한 만족도 평균은 93.27%의 만족도결과를 얻었으며, 목표로 했던 85%보다 높은 수치를 나타내었다. 7-1-3은 이온빔 시설을 이용한 이용자들에게 설문조사한 만족도 항목을 나타낸 것이며, 표 7-1-2는 이에 대한 만족도 결과표이다.

- 저에너지 이온빔 시설 이용 만족도 조사 양식

### 이온빔 시설 이용자 설문 조사

본 설문조사는 양성자기반공학기술개발사업단에서 2012년 원공을 목표로 현재 경주에 건설중인 100MeV 양성자가속기의 다양한 빔 이용시설(양성자빔/이온빔)의 구축과 향후 효과적인 이용자 지원체제 수립·운영을 위한 단·중기계획 수립의 일환으로 수행되고 있습니다. 설문조사 결과를 바탕으로 향후 양성자 빔 서비스와 과제지원을 보다 적극적으로 추진하고자 하오니, 편하신 마음으로 소중한 의견과 지도의 말씀을 주시면 계획 수립과 추진에 큰 길잡이로 삼겠습니다. 감사합니다.

#### 일 반 사 항

- 현재 귀하의 연구 분야는 무엇입니까?  
 ① 생명공학(BT)    ② 환경공학(ET)    ③ 의공학    ④ 나노공학(NT)  
 ⑤ 방사선공학(RT)    ⑥ 우주·항공(ST)    ⑦ 정보통신·반도체(IT)  
 ⑧ 기초과학(물리, 화학 등)    ⑨ 재료    ⑩ 기타 ( )
- 귀하께서는 현재 어느 기관에서 근무하고 계십니까?  
 ① 대학    ② 민간 연구소    ③ 국·공립연구소(정부출연 연구기관 포함)  
 ④ 산업체    ⑤ 기타 ( )
- 귀하께서는 양성자가속기 이용에 대해 어떻게 알게 되셨습니까?  
 ① 신문, TV 등의 보도매체를 통해    ② 인터넷을 통해  
 ③ 사업단 홈페이지를 통해    ④ 학술지, 논문, 학술발표 등을 통해  
 ⑤ 주변 이용자들의 권유로    ⑥ 기타 ( )
- 양성자사업단과의 협력하신 내용은 무엇입니까? (복수선택 가능)  
 ① 이용자프로그램 소파제 참여    ② 빔 이용 연구과제 수행(세부과제)  
 ③ 빔 조사시설 이용    ④ 기업참여    ⑤ 빔 조사 이용경험 없는 단순 관계자
- 어떤 종류의 빔(시설)을 이용하십니까? (복수선택 가능)  
 ① 기체 이온빔 장치(경주연구분실)    ② 금속 이온빔 장치(경주연구분실)  
 ③ 듀얼 이온빔 장치(경주사무소)    ④ 기타 ( )
- 5번 문항 선택에 해당하는 연평균 이용 횟수를 적어주세요.  
 ① \_\_\_\_\_ 회/년    ② \_\_\_\_\_ 회/년    ③ \_\_\_\_\_ 회/년

※ 향후 이온빔을 이용하여 실험(혹은 연구)을 수행하실 계획이시라면, 7-12번 질문에 응해주시기 바랍니다.

- 예상 또는 희망하시는 이용주기가 어떻게 됩니까?  
 ① 1-2회/년    ② 1-2회/6개월    ③ 1-2회/분기별  
 ④ 1-2회/월    ⑤ 1-2회/주    ⑥ 기타 ( )
- 1회 실험에 소요되는 시간은 대략 어떻게 예상하십니까?  
 \_\_\_\_\_ 시간
- 1회 실험에 사용 될 시료수는 대략 어떻게 됩니까?  
 \_\_\_\_\_ 개
- 빔 조사시 시료의 크기는 어느 정도입니까?  
 ① 2cm 이하    ② 2-5cm    ③ 5-10cm    ④ 10-20cm    ⑤ 20cm 이상

- 활용하시는 빔 에너지 영역은 어느 정도입니까?  
 ① 10 KeV 이하    ② 50 KeV 이하    ③ 100 KeV 이하  
 ④ 150KeV 이하
- 활용하시는 이온 조사량은 어느 정도입니까? (ions/cm<sup>2</sup>)  
 ① 10<sup>11</sup>-10<sup>13</sup>    ② 10<sup>13</sup>-10<sup>15</sup>    ③ 10<sup>15</sup>-10<sup>17</sup>    ④ 10<sup>17</sup>-10<sup>18</sup>

#### 개 선 사 항

- 금번 빔 조사실험/연구에 있어 애로점은 어떤 것이었습니까? (복수선택 가능)  
 ① 빔 조사시험 신청 및 접수까지의 소요 기간    ② 빔 조사 서비스의 질적 수준  
 ③ 기술적 사항    ④ 빔조사 일정(주기)    ⑤ 장치의 접근성(시설의 위치)  
 ⑥ 행정적 지원 사항    ⑦ 기타 ( )    ⑧ 없음

※ 13번 문항에서 애로점을 선택하신 경우 구체적으로 어떤 부분이 미흡했는지 그리고 어떠한 방향으로 개선되어야 할지 밝혀주시면 감사하겠습니다.

미흡한 부분:

제안하는 개선방향:

<그림 3.2.21 이온빔 시설 이용자 설문조사>

<표 3.2.9 이온빔 이용시설 만족도 조사결과>

	연구책임자	소속	이용시설	이용 일자	만족도
1	김홍렬	고려대학교	경주연구분실	04.13	80
2	양찬오	서울대학교	경주연구분실	07.26	85
				09.08	90
3	변동진	고려대학교	경주연구분실	02.18	100
				07.06	
4	최대한	신기인터모빌	경주연구분실	01.11	100
				03.17	100
				05.06	100
				08.23	100
				12.08	100
5	정우광	국민대학교	경주연구분실	02.08	95
				02.17	100
6	김희수	단국대학교	경주연구분실	04.21	100
7	이연환	동국대학교	경주연구분실	04.04	100
8	김유석	동국대학교	경주연구분실	12.06	100
9	이인자	동국대학교	경주연구분실	01.31	90
				02.07	95
10	정지환	부산대학교	경주연구분실	10.21	100
11	한선홍	울산대학교	경주연구분실	07.14	84
				08.01	92
				11.21	87
12	이재성	위덕대학교	경주연구분실	12.12	100
13	한전건	성균관대학교	경주연구분실	10.14	90
14	황진하	홍익대학교	경주연구분실	02.24	100
15	정진영	고려제강	경주연구분실	07.04	80
				09.26	85
16	조현수	네스	경주연구분실	09.01	90
				10.19	90
17	김주호	삼성전자	경주연구분실	03.25	90
				05.31	90
				08.08	90
				12.01	90
18	배준영	삼성코닝	경주연구분실	05.13	70
				06.16	
19	최시영	아이시스	경주연구분실	10.26	100
20	조창현	UIP	경주연구분실	02.10	100
				03.02	95
21	박순달	한국원자력연구원	경주연구분실	03.10	100
총 36건에 대한 평균 만족도 결과 : 93.27점					

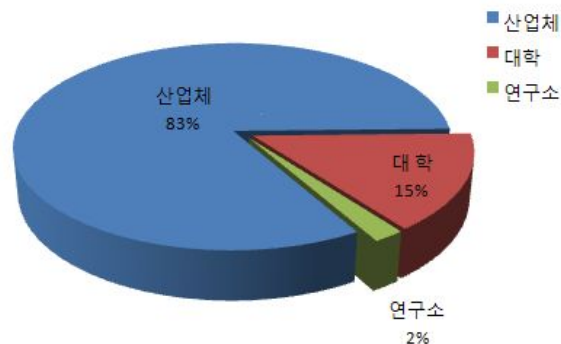
마. 5차년도

당해연도 가속장치응용연구팀에서는 이온가속기장치를 경주사무소로 이전 설치하여 이온가속기실험실 2곳과 산업용 이온가속기실험실에서 내부과제수행 및 외부 빔 서비스 활용 등으로 운영되었다. 이온가속기실험실 I에서는 기체이온가속기장치가 운영되었고, 이온가속기실험실Ⅱ 기존의 금속이온주입장치와 대전류 및 대면적의 시험할 수 있는 대전류 이온가속기를 설치하여 내부 R&D 및 과제수행으로 활용되었다. 또한 산업용 이온가속기실험실에서는 혼합가스를 이용한 자동차 내장재 표면처리 준양산 장치를 개발하였다. 외부 빔 서비스와 관련하여, 장치별 실험 공정수는 금속이온가속기 26건, 기체이온가속기 168건, 대전류 이온가속기 87건 그리고, 산업용 가속기 205건 총 486건을 수행하였으며, 활용기관은 18개 기관으로 산업체 8개, 대학 9개, 연구소 1개로 나타내었고, 산업체(406건, 83%), 대학(68건, 15%), 연구원(12건, 2%) 순으로 산업체가 가장 높은 비중을 차지하였다. 산업체에서 이온가속기장치 응용기술은 산업적 신소재 개발 및 부품 기능향상 연구에 이용되었다. 또한 이온가속기를 활용하기 위해 방문한 방문자는 총 94명이었다.

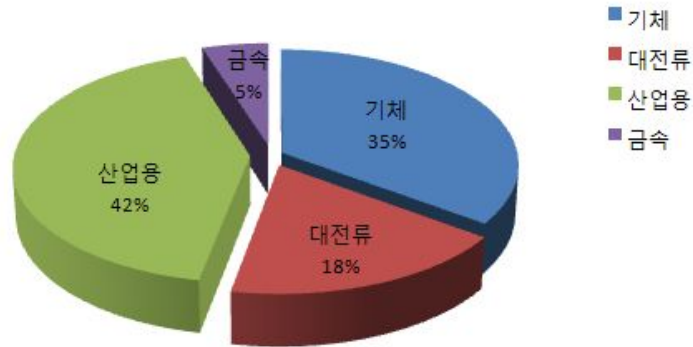
□ 2012년 이온빔장치 활용실적

- 총 공정수 : 486건
- 산·학·연별 공정수 : 산업체(406건), 대학(68건), 연구원(12건)
- 장치별 공정수 : 금속(26건), 기체(168건), 대전류(87건), 산업용(205건)
- 활용기관 : 총 18개 기관 (산업체 8개, 대학 9개, 연구소 1개)
- 이온빔 활용 관련 방문자 : 총 94명

<그림 3.2.22>는 의뢰기관별 이온빔 활용분포 및 장치별 이용분포 현황을 나타내고 있다.



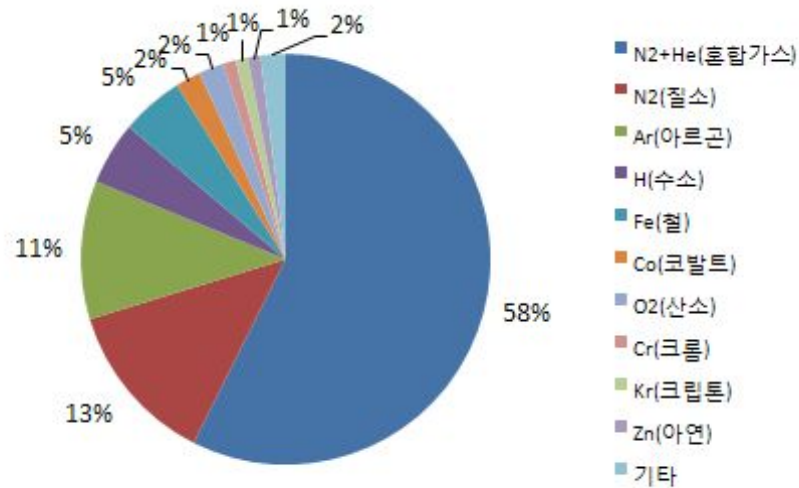
(a) 의뢰기관별 이온빔 활용분포.



(b) 장치별 이용분포.

<그림 3.2.22 기관별 이온빔 활용분포 및 장치별 이용분포현황>

<그림 3.2.23>는 당해연도 이온종별 활용분포를 나타낸 것으로, 자동차 내장재 내광성 향상을 위한 질소와 헬륨의 혼합가스를 이용한 이온빔 서비스가 가장 많았으며, 대부분이 비활성기체인 질소, 아르곤이 활용되었다. 대전류 이온가속기에서의 에칭 실험에 아르곤가스가 많이 활용되었다. 또한 Cr(크롬), Fe(철), Co(코발트) 같은 금속이온을 이용한 열전달계수를 향상 및 내구성 향상에 대한 연구가 있었다.



<3.2.23. 당해연도 이온종별 활용분포>

<표 3.2.10>은 당해 연도 의뢰기관별 시편종류와 실험목적에 나타낸 것이다.

<표 3.2.10 의뢰기관 및 의뢰실험 목적>

구분	의뢰기관	시편종류	실험목적
산업체	신기인터모빌	ABS, PC/ABS	폴리머 내스크레치 향상
	한국토요	연미기름	내구성 강화
	(주)지니아텍	탄소함유고분자	내스크레치 향상
	삼성전자	폴리머(금형시편)	내마모성 향상
	(주)태린	Hair line PET Film	밀착력 향상
	아이시스	Al	멀티코팅
	정스틸	실리콘 웨이퍼	에칭 테스트
대학	서울대	폴리우레탄 필름	세포적합성 실험
	전북대	ZnO코팅드글라스	광특성 연구
		6" solar cell wafer	태양전지의 selective emitter 요소기술 개발
	동국대	웨이퍼	SOS소자 웨이퍼 박막 특성
	금오공대	TiO <sub>2</sub>	가시광 촉매특성연구
	부산대	Al	Al 표면의 응축현상 변화 실험
	서울시립대	PZT 코팅 시편	강유전체 메모리소자 기술
	울산대	TiO <sub>2</sub> 웨이퍼	광촉매 실험
연구원	한국원자력연구원	FeODS sample	316L 스테인리스강의 이온손상연구

양성자기반공학기술개발사업단 가속장치응용연구팀에서는 이온빔 서비스 후 빔 이용자를 대상으로 만족도 설문조사를 실시하였다. 2012년에 이온가속기시설을 활용한 연구자는 18명이었으며, 설문조사 응답자는 16명, 응답률은 88.8%이다. 만족도 조사는 여러 실험의뢰일자 중 몇 개의 이용일자만 추출하여 실시하였다. 총 응답자 16명이 의뢰한 실험 29건에 대한만족도 평균은 92.1%의 만족도 결과를 얻었으며, 목표로 했던 85%보다 높은 수치를 나타내었

다. 표 3.2.11는 이온빔 시설을 이용한 이용자들에게 설문조사한 만족도 대한 결과표이다. 그림 3.2.24는 이온빔 시설 이용자 결과요약서이다.

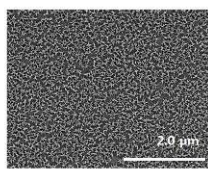
<표 3.2.11 이온빔 이용시설 만족도 조사결과>

	연구책임자	소속	이용시설	이용 일자	만족도
1	최시영	아이시스	기체이온가속기	01.03	100
2	양찬오	서울대학교	기체이온가속기	04.12	90
				05.15	100
				07.10	100
3	최대한	신기인터모빌	기체이온가속기	01.05	100
				04.25	90
				07.30	100
				08.29	100
				11.14	100
4	김근주	전북대학교	기체이온가속기	04.19	70
5	김해일	한국토요	기체이온가속기	05.04	100
6	정지환	부산대학교	기체이온가속기	05.14	90
				06.14	90
7	강석훈	한국원자력연구원	기체이온가속기 금속이온가속기	5.30	90
				5.29	90
8	윤봉환	(주)태린	기체이온가속기 금속이온가속기	06.18	80
				07.20	80
9	양비룡	금오공과대학교	기체이온가속기	07.12	80
10	한선홍	울산대학교	기체이온가속기	10.12	90
				10.19	90
11	이연환	동국대학교	기체이온가속기	09.25	100
12	김덕재	(주)지니아텍	기체이온가속기	10.23	90
13	정해원	정스틸	대면적이온가속기	10.30	100
14	황정호	삼성전자	대면적이온가속기 기체이온가속기	07.04	90
				07.24	90
15	박병은	서울시립대학교	금속이온가속기	05.15	80
				08.22	90
16	한상욱	전북대학교	금속이온가속기	09.26	100
				11.12	100
<b>총 29건에 대한 평균 만족도 결과 : 92.1점</b>					

이온빔 조사 실험 결과 요약

성명	이병훈	소속기관 직위	(주)시지인(비모뮬) 주임연구원
이전종류	폴리스타	이온빔 조사조건	이온종류: 질소, 질화 에너지: 70~90keV 이온량: $3 \times 10^{14} \sim 7 \times 10^{14}$
조사유저리		분석방법	내방성 평가
<p><b>결과</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>내방성 평가 결과                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시료: 폴리스타 계열 : ABS</li> <li>- 열대기아주분류 소재 기술 개발</li> <li>- 상세내용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 변색, 물감질, 발색적색 발생됨</li> <li>○ 투과성은 양호함</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> <p>* 그외 일부 등 추가 기술 필요시 별도의 표의자에 할 수 있음</p> <p>추가실험 시 요망 사항</p> <p>폴리스타 계열 변경 (ABS -&gt; PC/ABS)</p>			

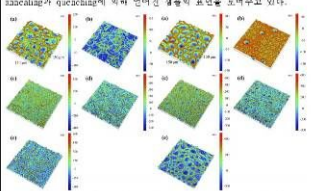
이온빔 조사 실험 결과 요약

성명	황성돈	소속기관 직위	울산대학교 대학원 석사 과정
이전종류	Titanium oxide on the silica water	이온빔 조사조건	이온종류: Ar <sup>+</sup> 에너지: 170 keV 이온량: $5 \times 10^{14}$ ions/cm <sup>2</sup>
조사유저리	해당사항 없음	분석방법	SEM
<p><b>결과</b></p>  <p>Titanium oxide 시편은 열처리 온도 증가를 허용하여 silica water 위에 60° 각도로 증착하고, 열처리하여 제작하였다. 11-100eV 에너지 170 keV, 이온량 <math>5 \times 10^{14}</math> ions/cm<sup>2</sup>으로 조사하였고, SEM 측정용 통해 표면의 구조 변화를 분석하였다.</p> <p>11-100eV 조사후 후 시편의 표면은 투입력이 증가된 것을 알 수 있으나, void ratio가 이전 것을 확인할 수 있다. 이걸 통해 11-100eV 에너지 170 keV, 이온량 <math>5 \times 10^{14}</math> ions/cm<sup>2</sup>으로 조사된 뒤의 경우 표면적이 증가된 것만으로도 표면의 구조의 요괴의 향상이 기대된다.</p> <p>* 그외 일부 등 추가 기술 필요시 별도의 표의자에 할 수 있음</p> <p>추가실험 시 요망 사항</p> <p>시편의 손실 및 손상은 방지하기 위해 시편의 두께가 적당히 조사 에너지 및 이온량의 조절이 필요할 것으로 판단된다.</p>			

이온빔 조사 실험 결과 요약

성명	김혜진	소속기관 직위	경스틸 대표
이전종류	실리콘 웨이퍼	이온빔 조사조건	Ar 에너지: 15keV 이온량: 2hr 47min
조사유저리		분석방법	선재형이정
<p><b>결과 : 기본값 (B-Mini) 참조바탕</b></p> <p><b>한국원자력연구원 공정결과</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시편: 실리콘웨이퍼 상의 SiO<sub>2</sub> 피막</li> <li>- 공정: Ion Etching (한국원자력연구원)</li> <li>- 결과: SU8은 Ion Etching 마스크로 적합한 물질이 아니어서 가량이 꽤 못해서 못함</li> <li>- 일부 공정: 가리움 SIS-8 (대한원자력) 교체, PAF을 Ion Etching 공정에 적용하여 AZ5260으로 변경하여 시편제작 및 다시 테스트</li> </ul>  <p>* 그외 일부 등 추가 기술 필요시 별도의 표의자에 할 수 있음</p> <p>추가실험 시 요망 사항</p>			

이온빔 조사 실험 결과 요약

성명	양 안오	소속기관 직위	서울대학교 장교연구관 박사
이전종류	폴리우레탄 필름	이온빔 조사조건	Ar <sup>+</sup> 에너지: 30 keV 이온량: $10^{14} \sim 10^{15}$ ions/cm <sup>2</sup>
조사유저리	표면분석을 위해 제작	분석방법	정밀 표면 topography 분석
<p>폴리우레탄 필름은 hard segment(경질 부분)와 soft domain(비경질 부분)으로 이루어져 있는데, 열처리 후에 의해 이 두 부분의 분포에 영향을 줄 수 있다. 비경질 부분은 유리전이온도가 상온보다 낮기 때문에, 분자운동성이 뛰어나다. 따라서 그로써에 열처리되고 annealing하는 공정의 표면에 계층으로 quenching되는 공정의 표면보다 5 배는 더 경질성 부분이 분포하게 된다. 이 비경질성 부분은 거칠음 사출하기 때문에, 이소량에 의한 영향을 줄 수 있게 된다. 본 실험에서 사용된 이온조사량은 <math>10^{14} \sim 10^{15}</math> ions/cm<sup>2</sup>는 고에너지 chias scission과 crosslinking이, 그 이상의 조사량에서는 carbonizing이 주로 일어났다는 것을 XPS분석에 의해 확인하였다. 아래 그림은 annealing과 quenching에 의해 얻어진 정밀 표면 분석을 보여주고 있다.</p>  <p>그림 1 Annealing 샘플 표면 사진    그림 2 Quenching 샘플 표면 사진</p> <p>과와의 열처리에 의해 분포는 표면 두께 및 분포의 분포가 달라진다. 이소량 처리의 양은(그림 1(a)) 샘플 표면과, 이소량 처리(그림 1(b)-(c)), 순서대로 10<sup>14</sup>, 10<sup>15</sup>, 10<sup>16</sup> ions/cm<sup>2</sup> 샘플 표면이 열처리에 의해 변화가 생긴 것을 확인할 수 있다. 이는 기초에서 취미한 quenching정도의 표면에 경질 부분이 상대적으로 많이 분포하여 이소량의 영향을 덜 받기 때문에 나타난 결과라 사료된다.</p> <p>추가실험 시 요망 사항</p>			



이온빔 조사 실험 결과 요약

성명	김근주	소속기관 직위	권북대학교 기계공학과 교수
시험종류	5 <sup>th</sup> solar cell water	이온빔 조사조건	이온종류: H 에너지: 100,90,60,30 keV 이온량: 10 <sup>15</sup>
조사유저리	solar cell 제작	분석방법	IV curve

**결과**

H 이온 Implant을 이용한 passivation을 확인하고 경향을 확인하고자 여러 종류의 에너지 폭을 시퀀스 조사하여 대향전기를 제작하였다. 다음 그림과 같은 시퀀스 대향전기의 IV 곡선을 분석하였다.

Efficiency (%)	Fill Factor (%)	Voc [V]	Isc [A]	Series resistance [ohm]	Shunt resistance [ohm]
60keV	2.0	0.520	3.140	0.123	0.2
100keV	15.0	0.533	8.287	0.007	7.0

이온 빔을 조사한 후 water의 양도가 양해함으로써 solar cell 제작에서 개선되는 경우가 다소 발생하여 같은 water를 주입해서 분석했으나 60keV 시퀀스 100keV 시퀀스인 특이한 차이를 알 수 있다. 100keV 시퀀스 또한 일반적인 Ref. 시퀀스보다 낮은 특성을 보이고 있으며, 특히 Voc의 값이 큰 편이므로 보이고 있다. 즉, 두 경우 SCLC, TRIL을 통하여 단면의 구조를 H 이온의 양에 따라 defect level을 감소하여 이온적인 부분을 보완하고 추가적인 안정성을 볼 수 있다.

추가설명 시: 두루 있음  
오답 사항: 없음

이온빔 조사 실험 결과 요약

성명	정지관	소속기관 직위	부산대학교 특수교수
시험종류	25 x 30 mm (1.1) 광방향 시 시퀀스 -H, Ar, Cr 조사조건	이온빔 조사조건	이온종류: H, Ar, Cr 에너지: 10-30 keV 이온량: 10 <sup>15-16</sup> cm <sup>-2</sup>
조사유저리	빛도 제어 없이 실험에 사용함	분석방법	물리 실험의 측정

**결과**

H+ ion implanted Al

Ar+ ion implanted Al

추가설명 시: 해당 사항 없음  
오답 사항: 없음

이온빔 조사 실험 결과 요약

성명	김연	소속기관 직위	국립중앙대학교 연구보조
시험종류	Solid (TiO <sub>2</sub> coated on FTO glass)	이온빔 조사조건	이온종류: N, Ar, Mg 에너지: 60keV 이온량: 1.0 x 10 <sup>16</sup> cm <sup>-2</sup>
조사유저리	Anodizing	분석방법	Cyclic Voltammetry

**결과**

이온빔 조사 전, 이온빔 조사 후, 어닐링된 이온빔 조사 시퀀스의 정전기적 특성 분석 (I-V Curve) 결과 비교한 결과, 조사 후 생성된 구조적인 결함(결정결정, 광학, 전자 등)에 의하여 측정된 전류와 용해 제형이 일치하지 않는 결과를 보였다. 이 결과, 이온 빔 조사 전에 비록 광소전 광전류 같은 특성을 확인할 수 있었다. 따라서 이온빔을 통해 조사되어 계가 바로 형성되는 계층된 구조의 특성을 관찰할 수 있다. 또한, 이온빔을 통해 조사되어 계가 바로 형성되는 계층된 구조의 특성을 관찰할 수 있다.

특히, 광소전 특성을 확인한 이후의 경우, 이온빔을 TiO<sub>2</sub>와 TiO<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub> 사이에 물분자를 나지 광학에 의해 생성된 계층된 구조의 특성을 관찰할 수 있다. 또한, 이온빔을 통해 조사되어 계가 바로 형성되는 계층된 구조의 특성을 관찰할 수 있다.

결론, 구조적 결함(결정결정, 광학, 전자 등)에 의해 생성된 전류와 용해 제형의 특성을 관찰할 수 있다.

하지만, 우리 결과 어닐링 전보다는 향상되었지만, 완전히 회복되지 않고 조사 전보다 높은 광소전 특성을 유지하지 않았다. 어닐링을 통해서 결함들이, 생성된 계층된 구조를, 조사된 이온빔에 의해 계층된 구조의 특성을 관찰할 수 있다. 또한, 이온빔을 통해 조사되어 계가 바로 형성되는 계층된 구조의 특성을 관찰할 수 있다.

\* 그림 일부 두 주가 같은 전압의 차이로 보일 수 있음

추가설명 시: 없음  
오답 사항: 없음

이온빔 조사 실험 결과 요약

성명	이연환	소속기관 직위	동북대학교 교수
시험종류	ZnO	이온빔 조사조건	이온종류: H, H 에너지: 50 keV 이온량: 1x10 <sup>16</sup>
조사유저리	금속화물리 (c500 C)	분석방법	전도성 및 광학적 특성실험

**결과**

저저대 IOD 기기를 위하여 동일계급과 동일 유휴지수를 가지는 것이 실제 세계적으로 어려운 것으로 보인다. 또한, 여러 ZnO 박막의 가장 우수한 특성을 나타내고 있는 것은 전도성이나 광학적 특성이 개선되어 있다.

따라서, 이 연구에서는 ZnO 박막의 전도성 및 광학적 특성을 조사하고, 이온빔을 조사하여 특성을 개선할 수 있는 방법을 연구하였다. 이온빔을 조사하여 ZnO 박막의 전도성 및 광학적 특성을 개선하였다.

H 이온빔 조사 후 금속화물리 (RT @ 500C) 중의 전도성 특성을 IV 곡선으로 그릴 수 있다. 그 결과, 전도성 특성이 H 이온빔을 조사한 시퀀스의 경우, 전도성이 증가하였다. 또한, 광학적 특성이 H 이온빔을 조사한 시퀀스의 경우, 전도성이 증가하였다. 또한, 광학적 특성이 H 이온빔을 조사한 시퀀스의 경우, 전도성이 증가하였다. 또한, 광학적 특성이 H 이온빔을 조사한 시퀀스의 경우, 전도성이 증가하였다.

이온빔 조사 후 ZnO 박막의 전도성 특성을 IV 곡선으로 그릴 수 있다. 그 결과, 전도성 특성이 H 이온빔을 조사한 시퀀스의 경우, 전도성이 증가하였다. 또한, 광학적 특성이 H 이온빔을 조사한 시퀀스의 경우, 전도성이 증가하였다. 또한, 광학적 특성이 H 이온빔을 조사한 시퀀스의 경우, 전도성이 증가하였다.

추가설명 시: low dose H/H 이온 조사  
오답 사항: 없음

<그림 3.2.24 이온빔 시설 이용자 결과요약서>

다. 애로기술 지원 및 기초연구 수행을 통한 과제도출 및 수행

총 30여개 기업 애로기술 지원을 하였고 그중 6개 기업은 양성자사업과제에 기업참여하여 연구를 진행하였다. 애로기술 지원 현황은 표<표 3.2.12> 과 같다.

<표 3.2.12 애로기술지원 현황>

기술명	업체명
LTCC기판 건식 에칭기술개발	(주)탑엔지니어링
핸드폰케이스 채색코팅	(주)인터테크
OLED 기판 나노에칭기술개발	(주)삼성SDI
고분자 탄성계수 제어	(주)영진텍
LCD 이온빔 액정배향	(주)네스, (주)ISYS
리니어베어링 내구성 향상	(주)삼익정공
롤러베어링 내구성 향상	(주)구름테크
유리커터 수명향상	(주)오성전자
플라스틱베어링 마찰계수 감소	현대자동차(주)
금속 휠커터 내구성 향상	(주)아바텍
OLED 기체투과막제어	(주)삼성SMD
식품용기 기체투과막제어	호남석유(주)
플라스틱사출금형 표면연마기술	(주)위너테크
고분자 내광성 향상 표면처리	(주)신기인터모빌
치과용 드릴 절삭성 향상	(주)덴토스
자동차용 볼베어링 내구성 향상	희성정밀(주)
IBS 코팅	(주)S&S Tech.
Metal PCB 접합성 향상 기술	(주)유엔비오피씨
보석발색	(주)아자캡스
AI 친수성 표면처리	삼성전자(주)
강판 표면에칭 기술개발	(주)포스코
Wire Guide 내구성 향상	고려제강(주)
와이퍼블레이드 마찰계수 감소	(주)케프
고분자/유리기판 열팽창계수제어	(주)삼성코닝
세라믹정미기 내구성 강화	한국토요
탄소함유고분자 내스크레치 향상	(주)지니아텍
고분자 밀착력 향상 표면처리	(주)태린
바이오센서 금형 에칭공정개발	정스틸
정밀 광학금형 이온빔 연마기술	삼성전자(주)
OLED 대전류 도핑	(주)HS

에로기술 지원과 기초연구를 통하여 정부과제 및 기업수탁과제 6건 도출 및 연구수행하였다. 또한 현재 기업수탁과제 2건 수행예정중에 있다. 정부과제 및 기업수탁과제 현황은 <표 3.2.13>에 나타나있다.

<표 3.2.13 정부과제 및 기업수탁과제 현황>

사업명	연구과제명	연구기간	역할	연구비 (백만원)	연구비 지급기관
민간수탁 사업	이온주입기술을 응용한 초친수 표면 개질 기술개발	2011/02/08~ 2011/11/30	과제 책임자	83	삼성전자(주)
WPM사업	Zn-Mg 및 Zn-free형 Al-Mg계 표면처리 강관소재	2011/04/01~ 2019/03/31	과제 책임자	4,175	지경부 (주)포스코
소재원천기 술개발사업	레이저 및 이온빔을 이용한 표면개질 기술개발	2009/06/01~ 2013/05/31	과제 책임자	759	지경부
원자력중장 기사업	초고온가스로 요소기술 개발	2009/03/01~ 2013/02/28	과제 참여	-	교과부
원자력기술 개발사업	신개념 핵연료 피복관 기술 개발	2012/03/01~ 2013/02/28	과제 참여	-	교과부
원자력기술 개발사업	화합물 반도체 방사선 센서 및 계측기 기술 개발	2012/07/01~ 2013/06/30	과제 참여	-	교과부
민간수탁 사업	정밀 광학금형 이온빔 연마기술 개발	2013년 예정	과제 책임자	-	삼성전자(주)
민간수탁사 업	OLED용 대전류 도핑장치 개발	2013년 예정	과제 책임자	-	(주)HS

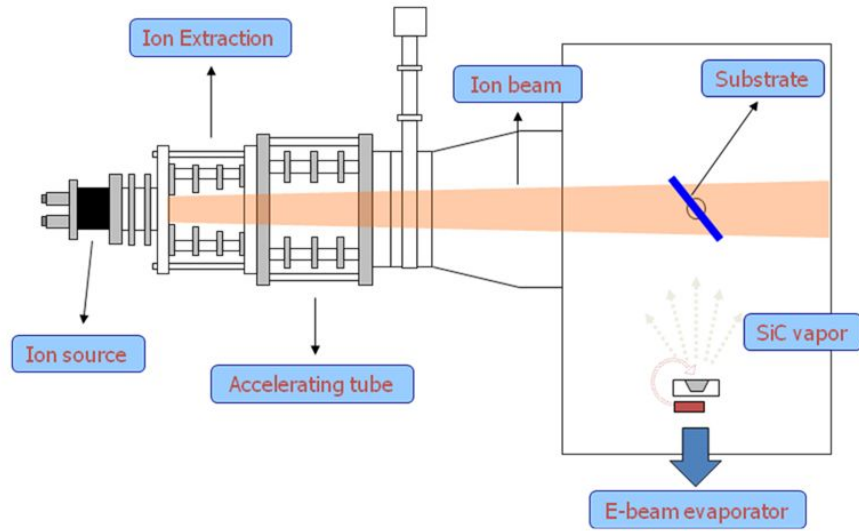
2. 저에너지 이온 가속기 장치 응용 기술 개발로 산업적 신소재 및 부품 기능향상 연구개발  
가. 금속 휴대폰케이스 세라믹 채색 코팅 및 접합력 향상 이온빔 믹싱 공정 개발

Mg 합금 표면위에 색상을 구현하기 위해 세라믹 박막의 증착을 연구하였다. Mg 합금은 최종 표면의 품질을 위하여 잘 연마하여 광택을 높였으며 증착 전에 에탄올에서 초음파

세척을 하였다. 준비된 시료를 이온빔 믹싱장치 chamber내의 증착용 Jig에 장착한 후 증착과 이온주입을 위해  $1.0 \times 10^{-5}$  Torr 이하의 진공상태에서 실험이 진행되었다. 박막 증착 준비단계로 먼저 10keV 정도의 전 에너지 질소이온으로 표면을 처리한 후 전자빔 증착장치로 세라믹 시료의 증착을 진행했다. 세라믹 재료는 SiC, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO 등의 물질이 사용되었으며 그중 SiC, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 색상구현 특성이 좋았으며 그중 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 두께조절이 잘 되어서 주로 사용되었다. <그림 3.2.25>은 이온빔 믹싱 장비의 개념도이다. 왼쪽의 이온주입기와 아래쪽의 전자빔 증착장치가 하나의 chamber내에 설치되어 이온주입과 증착을 동시에 할 수 있어 이온빔 믹싱 실험에 사용된다. 이온주입기는  $4.5 \times 10^{-5}$  Torr 정도의 진공에서 질소 가스를 이온으로 만들어 100keV 정도의 에너지로 가속할 수 있으며 2~3mA의 가속전류를 얻을 수 있다. 증착에 사용되는 전자빔 장치는 최대 10kV의 에너지를 갖는 전자를 증착물질의 표면에 충돌시켜 그 에너지로 가열, 증발시켜 증착이 이루어지고 이때의 진공은  $5.0 \times 10^{-6}$  Torr 정도이다.

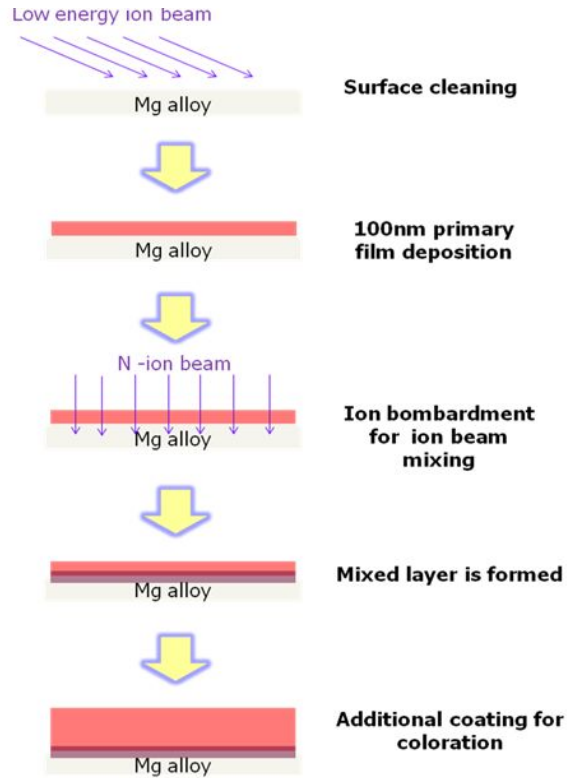
세라믹 박막 증착과 이온빔 믹싱과정은 <그림 3.2.26>와 같다. 세라믹 박막 증착 전에 Mg 합금 표면은 10keV 정도의 질소 이온으로 표면처리를 거친다. 박막의 최종 증착두께는 가시광선의 파장에 가까운 두께(수천 Å)가 되는데 70keV의 이온은 투과 깊이가 1,000Å가량 되어서 더 이상은 투과하지 못한다. 그래서 이온에 의한 계면에서의 혼합인 이온빔 믹싱이 이루어지질 않는다. 이온빔 믹싱을 위해서 먼저 1,000Å 정도의 박막을 Mg 합금 표면에 1Å/s 정도의 증착속도로 증착한 후 70keV의 질소 이온을 박막 위에 주입하게 되면 표면으로부터 깊이 1,000Å정도인 계면에서 주입된 이온의 운동에너지 전달로 효과적인 물질의 혼합이 이루어지며 결과적으로 박막의 접합성을 향상 시킨다. 이온빔 믹싱 후 원하는 색상을 얻기 위하여 박막을 추가로 증착하며 박막의 최종 두께가 색상을 결정하게 된다.

이와 같이 얻어진 채색코팅은 Mg 합금의 표면광도를 손상시키지 않고 색상을 구현하기 때문에 아름다운 외관을 갖게 되는 장점이 있지만 사람의 손이 접촉해서 지문 등이 묻게 되면 깨끗하지 지워지질 않는 단점을 보인다. 또 Mg 합금은 사람 몸의 땀 성분 즉 소금물에 의한 부식에 취약하여 표면에 구멍이 생기는 부식 (pitting corrosion)이 발생하기 쉽다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서 채색코팅 층 위에 추가적으로 SiO<sub>2</sub>를 1μm 가량을 이온빔 믹싱과정을 거쳐 증착하였으며 코팅 자체의 치밀도를 높이기 위해 Ion bombardment를 통해 코팅을 다져주는 작업도 행하였다.



<그림 3.2.25 이온빔 믹싱 실험장치. >

질소이온이 왼쪽 이온원에서 생성된 후 가속관에서 가속되어 substrate에 장착된 시료에 주입된다. 전자빔 증착장치는 chamber의 바닥에 설치되었으며 전자총에서 발생된 전자가 증착용 시료를 가열 증발시켜서 증착이 이루어진다.

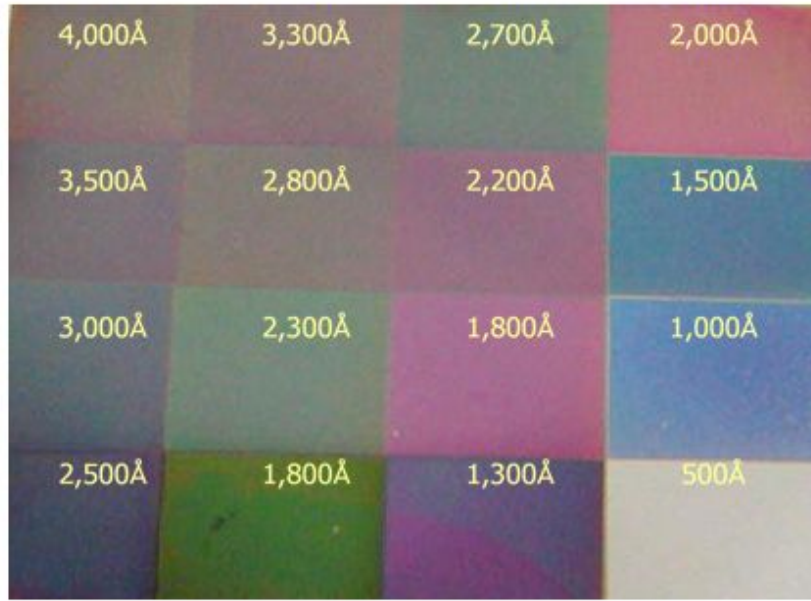


<그림 3.2.26 Mg 합금 표면에서의 채색코팅과 이온빔 믹싱 과정>

<그림 3.2.27>은 연마된 Mg 합금 표면위에 전자빔 증착으로 다양한 두께로 증착된 SiC 박막 들이다. 두께의 변화에 따라 다양한 색상이 구현됨을 알 수 있다. 박막에 입사된 빛은 일부분 박막의 표면에서 반사하고 일부는 투과후 Mg 합금의 표면에서 반사하며 이렇게 분리된 빛은 서로 다른 광학적 경로를 거쳐 표면에서 합쳐진다. 이때 광학적 경로차에 의해 대부분 파장의 빛은 상쇄되고 일부 보강간섭을 하는 파장의 빛들이 표면의 색상이 된다. 이를 박막의 광학이라 한다. 광학적 경로는 물질의 굴절률, 박막의 두께, 계면에서 반사가 일어날 때의 위상차등에 의해서 결정되며 같은 두께의 박막이 물질마다 다른 색상을 보이는 이유이기도 하다. <그림 3.2.28>에서  $Fe_2O_3$ 를 Mg 합금 표면에 증착하였을 두께에 따라 다양한 색상들이 구현됨을 볼 수 있으며 표면 광도가 높아 질감이 우수한 색상임을 알 수 있다.

Mg 합금표면의 세라믹 코팅은 그 접합력이 강하지 않아 시간이 흐르거나 접촉에 의해 쉽게 벗겨지는 결과를 보였다<그림 3.2.29> 이를 해결하기 위해 적용된 질소 이온주입에 의한 이온빔 믹싱은 효과적으로 접합력을 향상시켜 박막의 박리현상을 완전히 억제함을 알 수 있었다. 이온빔 믹싱의 계면에서의 효과를 확인하기 위하여 AES 원소 mapping 을 한 결과가 그림 3.2.30이다. 이온빔 믹싱 없이 코팅한 결과는 <그림 3.2.30(a)>처럼 두 물질 사이의 경계가 분명한데 비하여 이온빔 믹싱을 적용하여 얻은 SiC코팅은 그림 <3.2.30(b)>와 같이 그 경계가 분명하지 않고 넓어져 있음을 보인다. 이는 이온빔 믹싱이 두 물질사이에 새로운 혼합층을 만들고 있다는 증거가 된다.

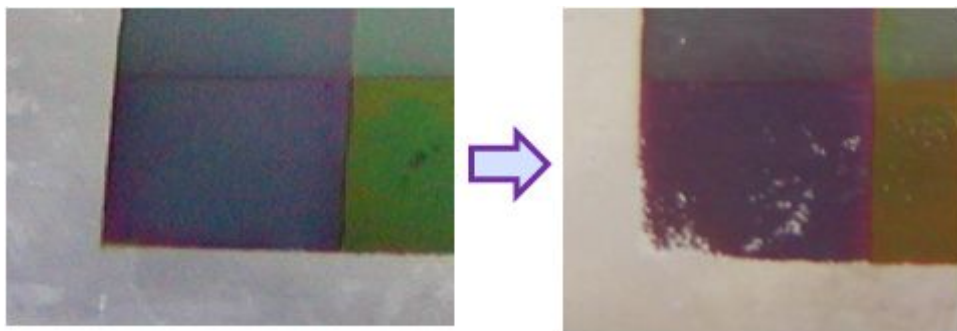
SiC 나  $Fe_2O_3$ 를 증착된 채색 코팅층은 지문이 문었을 때 쉽게 지워지지 않는 성질을 보이기 때문에 지문에 강한 내 지문성을 강화할 필요성이 있으며 Mg 합금의 취약한 소금물 즉 사람 몸의 땀에 의한 부식성 역시 극복해야할 단점이다. 이를 위해 채색코팅층 위로 투명한 보호층으로서  $SiO_2$  박막의 증착이 연구되었다. 증착된  $SiO_2$  박막은 투명하기 때문에 채색층의 색상을 그대로 보존하며 보통의 유리처럼 지문에 의한 오염도 쉽게 제거되는 특성을 보였다. 하지만  $SiO_2$  박막은 <그림 3.2.31>에서와 같이 쉽게 벗겨져서 손상되는 현상을 보였으며 이를 막기 위하여 채색층의 경우처럼 이온빔 믹싱을 적용하여 증착한 결과 박리현상을 막을 수 있었다.



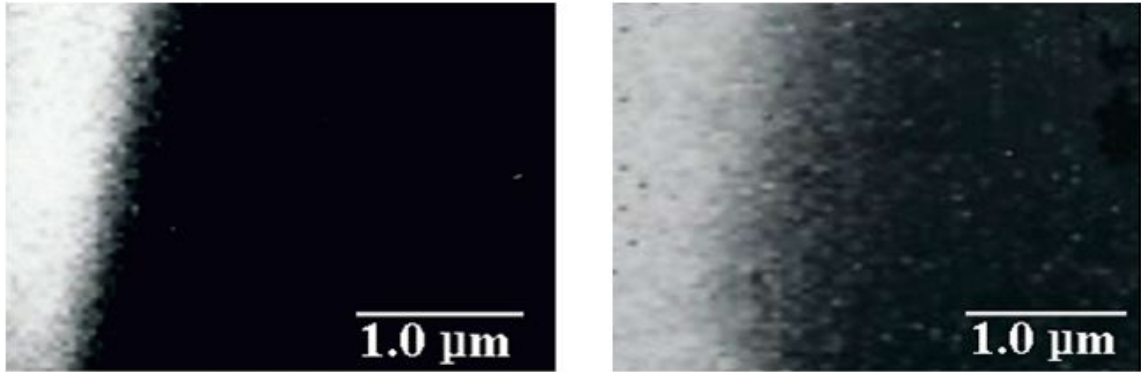
<그림 3.2.27 Mg 합금의 표면에 다양한 두께로 증착된 SiC 박막의 색상>



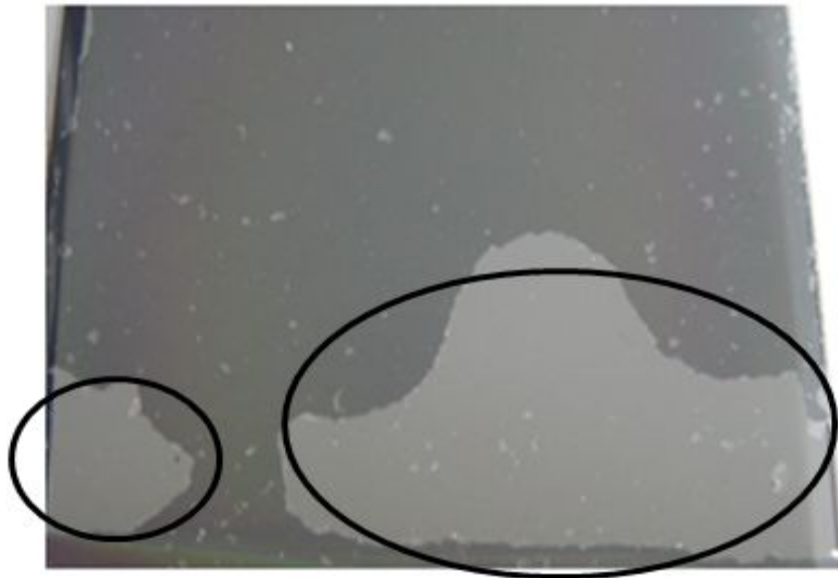
<그림 3.2.28 Mg 합금위에 증착된 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 두께에 따른 다양한 색상들>



<그림 3.2.29 Mg 합금 위에 증착된 SiC 박막의 (a)증착직후와 (b)시간이 경과한 후 벗겨지기는 현상이 발생한 결과>



<그림 3.2.30 AES 원소 mapping: (a) 이온빔 댁싱을 하지 않은 경우 와 (b) 이온빔 댁싱이 적용된 시료의 substrate와 SiC 코팅층의 경계면에서의 원소 분포>

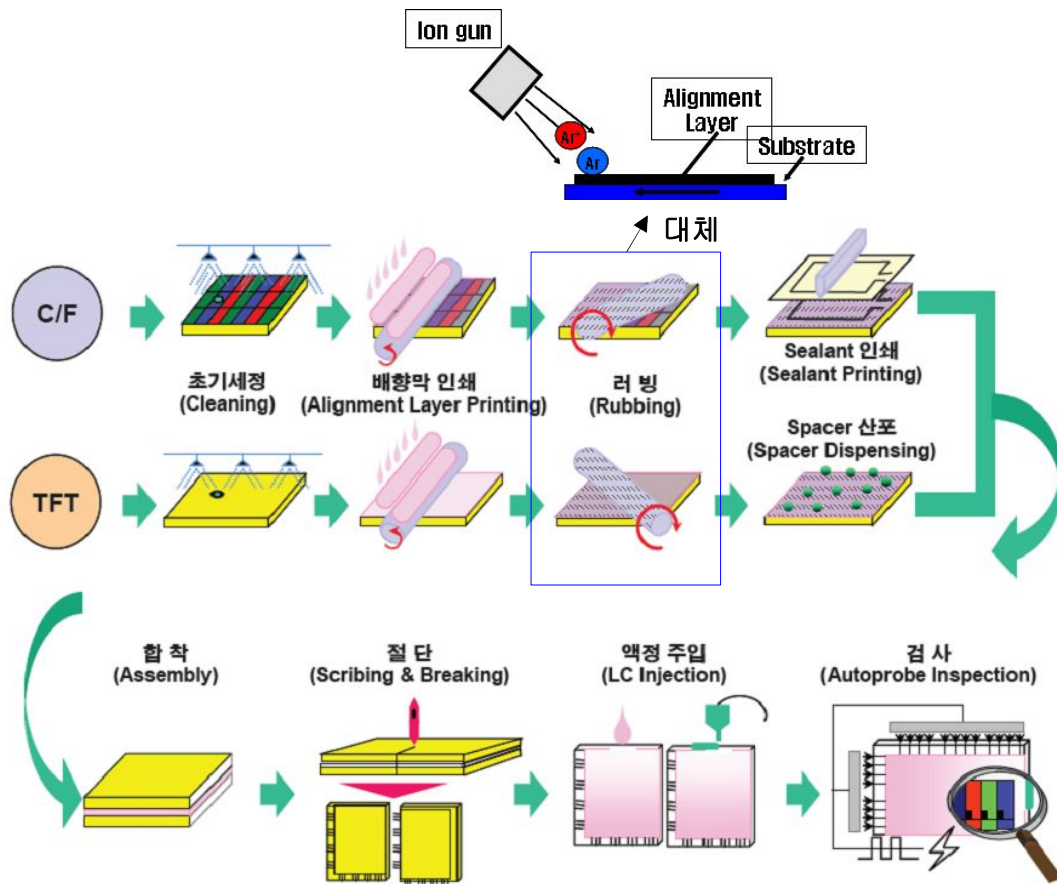


<그림 3.2.31 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅층 위에 SiO<sub>2</sub>가 코팅된 결과. 두 층간 접합력이 약하여 쉽게 벗겨지는 현상이 발생하였다. 원으로 표시된 부분이 SiO<sub>2</sub>가 벗겨진 영역>

나. 대면적 LCD 제작을 위한 무기박막 표면의 이온빔 액정배향 공정기술개발

Glass기판위에 PI(유기), DLC(무기) 증착을 한 후 러빙 debris와 정전기 문제, 그리고 display resolution에 한계가 있는 기존의 러빙방법을 대체하여 debris문제가 없고 resolution이 우수한 이온빔 조사 배향법을 통하여 액정배향특성을 연구하였다.





<그림 3.2.32 LCD 조립공정도>

유기박막의 경우, LINE PRINTING법을 통해 준비된 PI 증착(100nm 두께)된 Glass시료를 액정배향용 전용장치에 지그에 설치하여 45도의 각도로 아르곤 이온빔 조사를  $1.0 \times 10^{-5}$  Torr 이하의 진공상태에서 진행하였다.

이온빔 조사의 공정변수는 아르곤 이온빔을 사용하였으며, 이온빔 에너지 3~12keV, 이온조사량  $1 \times 10^{15} \sim 7 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>의 조건으로 각각의 배향특성을 관찰하였다.

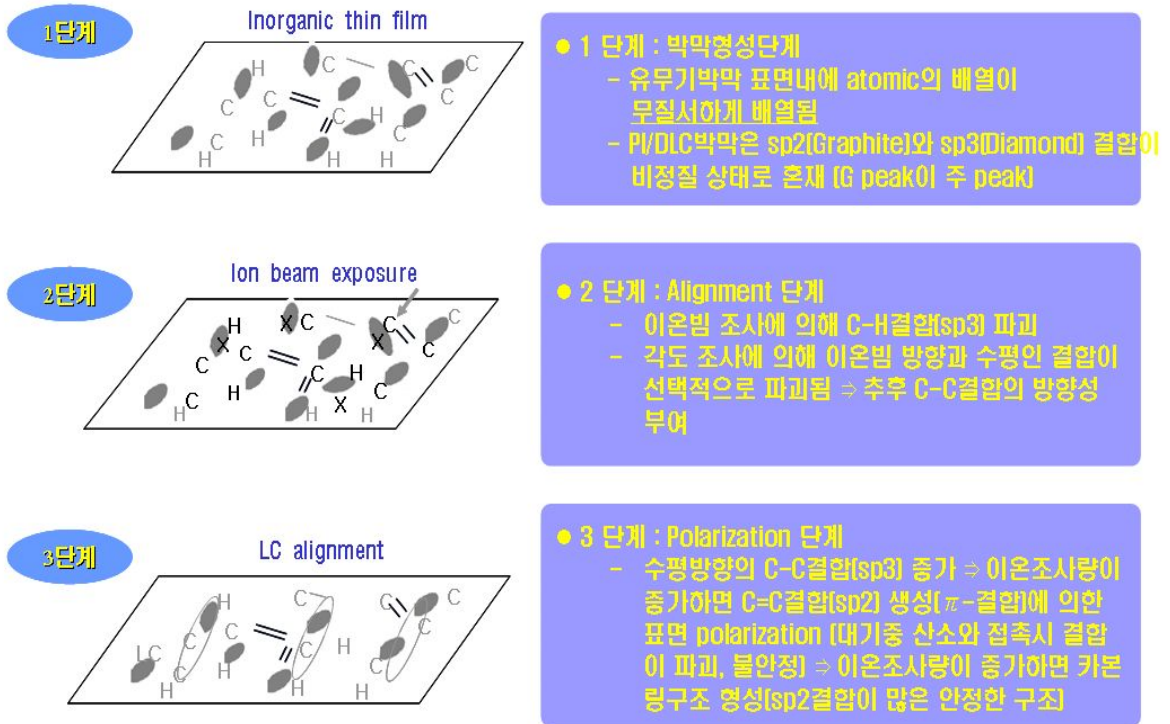
무기박막의 경우, MOCVD법을 통해 준비된 DLC 증착(20nm 두께)된 Glass시료를 액정배향용 전용장치에 지그에 설치하여 45도의 각도로 이온빔 조사를  $1.0 \times 10^{-5}$  Torr 이하의 진공상태에서 진행하였다.

이온빔 조사의 공정변수는 이온빔 에너지 3~5keV, 이온조사량  $1 \times 10^{15} \sim 7 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>의 조건으로 각각의 배향특성을 관찰하였다. 이온빔 조사에 사용된 장치는 기업체가 부담한 전용장치로 20keV, 5mA Duo-PIGatron 이온원이 설치되어 있으면 지그는 조사각도만 조정이 가능한 형태로 제작되었다. 빔 조사시 빔전류 및 에너지는 원격으로 자동 제어되는 시스템이 설치되어 있다. 사용된 장치는 <그림 3.2.32>에 나타내었다.



<그림 3.2.32 이온빔배향법에 사용된 이온빔장치>

또한 이온빔 조사에 의한 표면에서의 결합구조의 변화에 의한 액정배향 메카니즘은 <그림 3.2.33>에 나타내었다. 결합에너지가 다른 2가지 이상의 결합을 가지고 있는 유무기 박막의 경우, 이온빔 조사에 의해 선택적으로 결합이 파괴되어, 파괴된 결합다리의 재결합으로 표면에 전하의 패턴이 생겨나는 현상을 활용하여, 액정의 한 방향으로의 배열을 유도하고 그 전하 값에 따라 액정의 물리적인 들뜸현상(Pre-tilt각)이 발생하여 액정배향막 형성을 할 수 있다. 기존의 러빙법에 의한 액정의 배열이 수십 나노미터에 비해 수 나노미터의 액정배열을 유도할 수 있어 고해상도의 LCD 제품을 제조할 수 있는 방법이다.

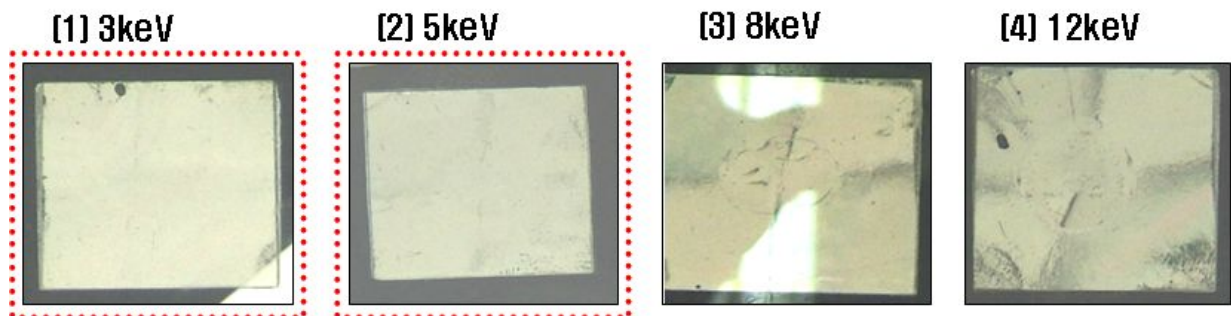


<그림 3.2.33 이온빔 조사에 의한 액정배향 메카니즘>

(1) 기초연구 결과

가. 유기박막 이온빔 배향

<그림 3.2.34>는 이온빔 에너지에 따른 배향특성을 나타낸 그림이다. 이온빔에너지가 8keV 이상에서는 배향막 결합구조의 선택적인 파괴를 넘어서 CROSS-LINKING 현상이 일어나 액정이 고르게 배향되지 못하는 현상을 나타내었다. 이것으로 보아 5keV 이하의 에너지에서 빔조사를 하여야 액정배향이 되는 것을 알 수 있다. 이 때 사용된 이온조사량과 빔전류밀도는 각각  $2.7 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>,  $1.8 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  이다.



<그림 3.2.34 아르곤 이온빔 에너지에 따른 액정배향 시험>

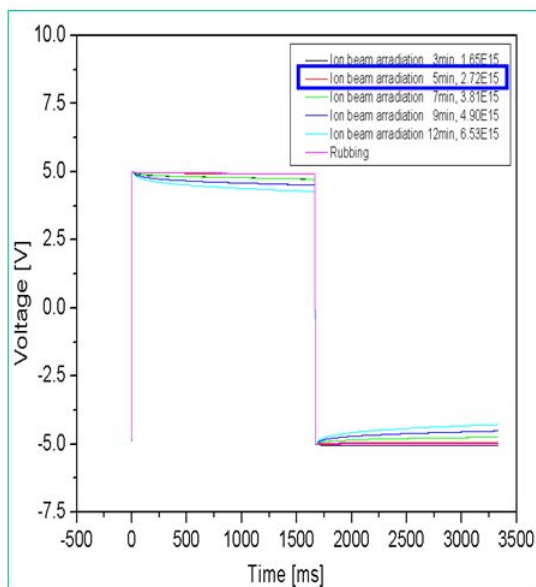
<그림 3.2.35>는 이온빔 조사량에 따른 배향특성을 나타낸 그림이다. 이온빔 조사량이  $1.6 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup> 이하에서는 배향막 결합구조의 선택적인 파괴가 완전하지 않아 액정이 고르게 배향되지 못하는 현상을 나타내었다. 이것으로 보아  $2.7 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup> 이상의 에너지에서 빔조사를 하여야 액정배향이 되는 것을 알 수 있다. 이 때 사용된 이온빔에너지와 빔전류 밀도는 각각 3keV,  $1.8 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  이다.



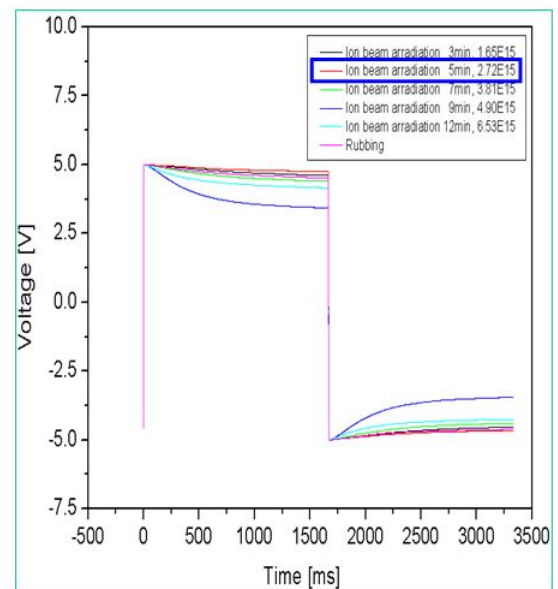
<그림 3.2.35 아르곤 이온빔 조사량에 따른 액정배향 시험>

<그림 3.2.36>은 이온빔 조사량을 변수로 배향된 LCD기판의 기본적인 전기적 특성을 측정하기 위해 기판에  $\pm 5\text{V}$  전압을 인가하여 시간에 따른 전압의 변화를 측정한 그래프이다. 기존의 러빙법과 비교하여, 상온과  $60^\circ\text{C}$  (LCD 동작 온도)에서 동일한 전기적 특성을 나타낸 이온빔 조사조건은  $3\text{keV}$ ,  $2.7 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup> 의 조건으로 한 경우이다.

### 상온에서의 VHR 특성

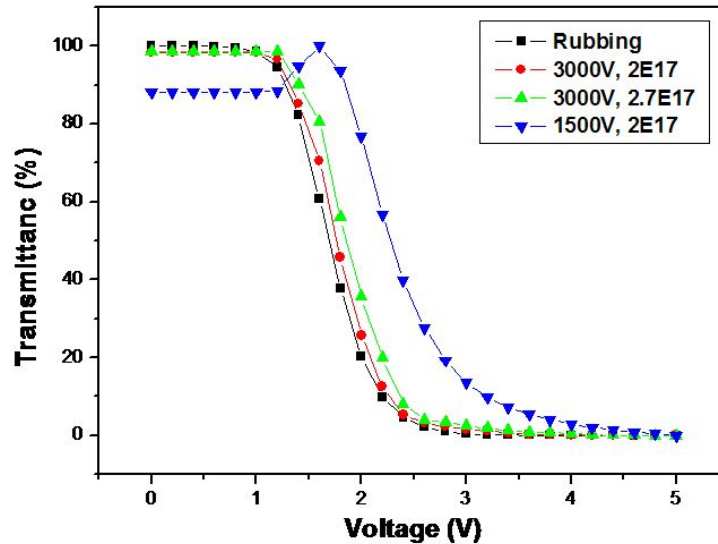


### 60°C에서의 VHR 특성



<그림 3.2.36 아르곤 이온빔 조사조건에 따른 VHR (Voltage Holding Ratio) 특성 평가>

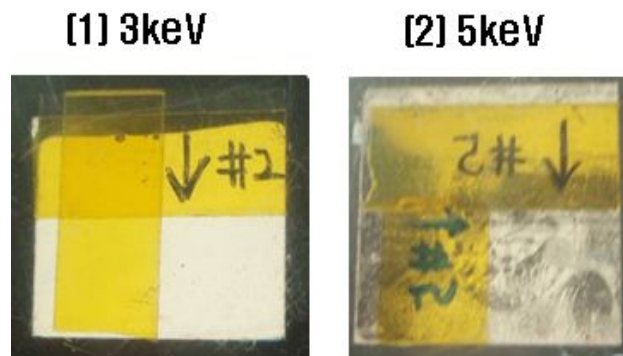
<그림 3.2.37>는 이온빔 조사량을 변수로 배향된 LCD기판의 전압대비 투과도의 변화를 측정한 그래프이다. 기존의 러빙법과 비교하여, 전압대비 유사한 투과 특성을 나타낸 이온빔 조사조건은 3keV,  $2.0\sim 2.7\times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup> 의 조건으로 한 경우이다. 또한,  $2.7\times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>의 경우 기울기가 기존의 러빙법과 비교하여 상대적으로 낮으므로 전압에 따른 해상도 향성을 기대할 수 있다.



<그림 3.2.37 아르곤 이온빔 조사조건에 따른 V-T (Voltage - Transmittance) 특성 평가>

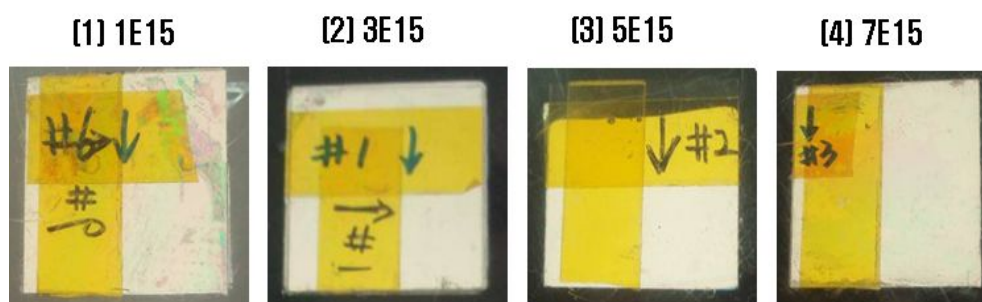
나. 무기박막 이온빔 배향 (DLC film/Glass)

<그림 3.2.38>는 이온빔 에너지에 따른 배향특성을 나타낸 것이다. 이온빔에너지가 5keV에서는 배향막 결합구조의 선택적인 파괴를 넘어서 CROSS-LINKING 현상이 일어나 액정이 고르게 배향되지 못하는 현상을 나타내었다. 이것으로 보아 3keV 에너지에서 빔조사를 하여야 액정배향이 되는 것을 알 수 있다. 이 때 사용된 이온조사량과 빔전류밀도는 각각  $5\times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>,  $1.8\mu\text{A}/\text{cm}^2$  이다.



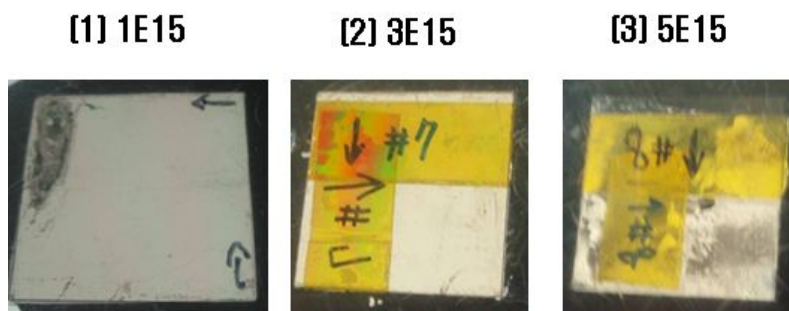
<그림 3.2.38 아르곤 이온빔 에너지에 따른 액정배향 시험>

<그림 3.2.39>은 이온빔 조사량에 따른 배향특성을 나타낸 것이다. 이온빔 조사량이  $1 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>에서는 배향막 결합구조의 선택적인 파괴가 완전하지 않아 액정이 고르게 배향되지 못하는 현상을 나타내었다. 또한  $7 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>에서는 배향막 결합구조의 선택적인 파괴를 넘어서 CROSS-LINKING 현상이 일어나 액정이 고르게 배향되지 못하여 얼룩이 지는 현상을 나타내었다. 이것으로 보아  $3 \sim 5 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup> 이상의 에너지에서 빔조사를 하여야 액정 배향이 균일하게 되는 것을 알 수 있다. 이 때 사용된 이온빔에너지와 빔전류밀도는 각각 3keV,  $1.8 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  이다.



<그림 3.2.39>아르곤 이온빔 조사량에 따른 액정배향 시험

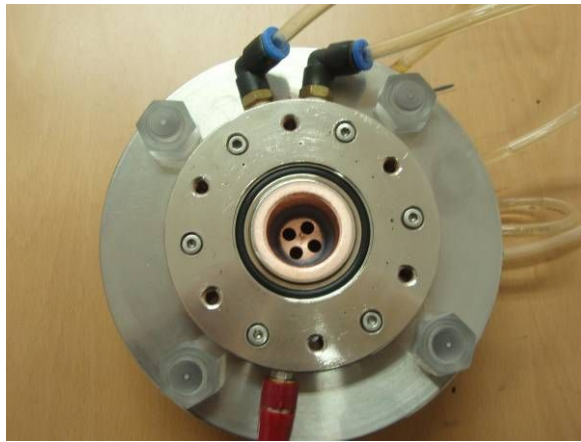
<그림 3.2.40>은 보다 가벼운 이온인 헬륨이온조사를 통해 이온빔 조사량에 따른 배향특성을 나타낸 것이다. 이온빔 조사량이  $1 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>에서는 배향막 결합구조의 선택적인 파괴가 완전하지 않아 액정이 고르게 배향되지 못하는 현상을 나타내었다. 또한  $5 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>에서는 배향막 결합구조의 선택적인 파괴를 넘어서 CROSS-LINKING 현상이 일어나 액정이 고르게 배향되지 못하여 얼룩이 지는 현상을 나타내었다. 이것으로 보아 아르곤 이온조사와 비교 하여 보다 좁은 영역인  $3 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>의 에너지에서 빔조사를 하여야 액정배향이 균일하게 되는 것을 알 수 있다. 이 때 사용된 이온빔에너지와 빔전류밀도는 각각 3keV,  $1.6 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  이다.



<그림 3.2.40 헬륨 이온빔 조사량에 따른 액정배향 시험>

다. 대면적 이온빔 조사 (15인치 대응)

이온빔 조사에 의한 액정배향막 제조기술을 실용화하기 위해서 대면적 이온빔 조사가 필수이다. 따라서 15인치에 대응되는 균일한 이온빔 조사공정을 확립할 필요가 있다. 본 연구에서는 Duo-PIGatron 이온원의 인출구 설계를 <그림 3.2.41>과 같이 5mm 직경 4홀 구조로 설계하였으면 이렇게 제작된 이온원을 사용하여 3keV, 4mA( $1.8\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )의 조건으로 이온빔 조사한 경우 15인치에 대응하는 이온빔 프로파일을 얻을 수 있었다. <그림 3.2.42>

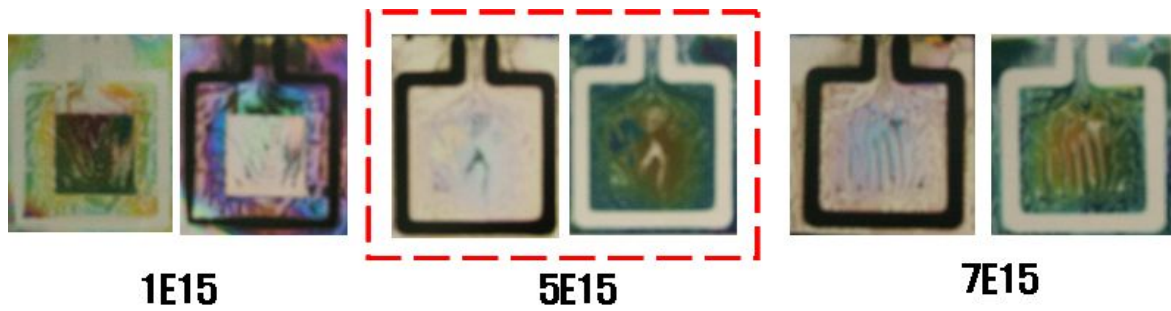


<그림 3.2.41 이온원 인출구 설계>



<그림 3.2.42 아르곤이온빔 프로파일 (3keV, 4mA( $1.8\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ))>

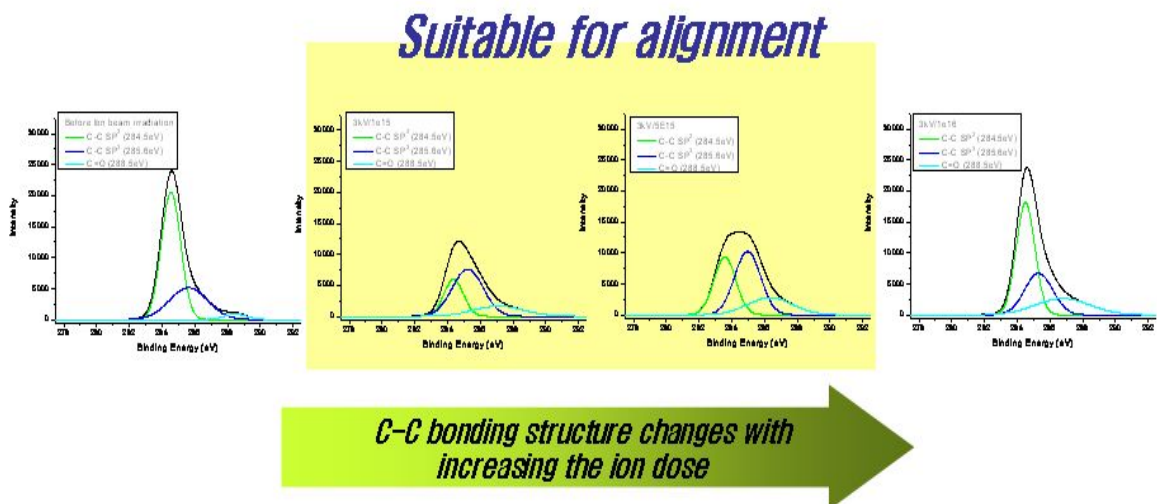
본과제의 목표인 시제품 제작에 앞서, 다시 한 번 시험시편을 이용하여, 1차년도 실험을 재현후, 시제품을 제작하기로 하였고, 시험시편을 통한 배향결과를 <그림 3.2.43>에 나타내었다. 이를 통해 알 수 있듯이, DLC증착의 두께 정도는 15~20nm정도이며, 이온빔의 에너지는 3keV, 이온조사량은  $5 \times 10^{15}$  ions/ $\text{cm}^2$ 이 최적의 공정조건임을 알 수 있다.



<그림 3.2.43 이온조사량에 따른 실험 시편의 배향결과>

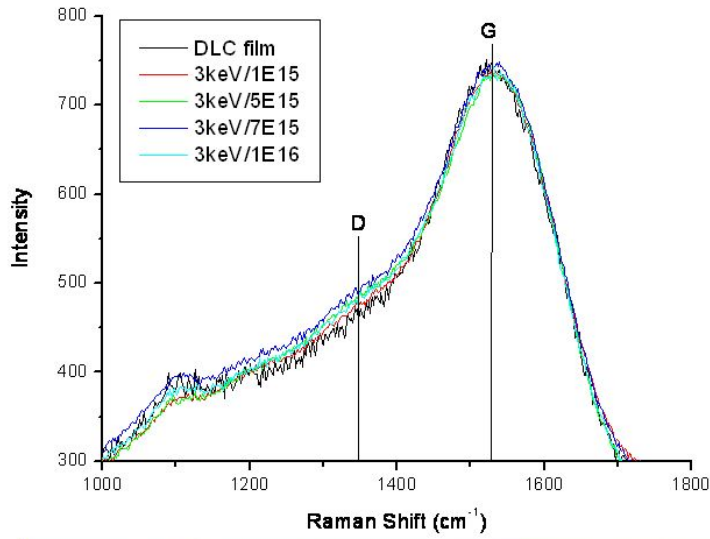
(2) 표면 분석

표면의 물성 및 화학적 변화를 알아보기 위해 XPS(X-ray photoelectron spectroscopy) 및 Raman, 그리고 AFM(Atomic Force Measurement)를 분석하였다. 3keV의 이온빔 에너지하에서  $1 \times 10^{15}$ ,  $5 \times 10^{15}$ ,  $1 \times 10^{16}$  ions/cm<sup>2</sup>의 이온조사량으로 실험된 시편의 XPS 분석에서는 <그림 3.2.44>에서 보는 바와 같이 이온조사량이 증가할수록 C-C(sp<sup>2</sup>, sp<sup>3</sup>) 결합이 증가됨을 알 수 있고, 이러한 결과는 추후 액정배향특성결과와 비교하였을 경우 어느 특정 조건에서 최적공정 조건을 찾을 수 있다. 이와 같은 결과는 <그림 3.2.45>에서의 Raman 분석에서도 동일한 결과를 얻을 수가 있는데, 이온빔 조사후 무기박막의 경우, C-H 결합이 깨지면서 C-C(sp<sup>3</sup>)결합은 이온조사량과 함께 증가하여 결국 D-peak이 증가하는 것을 분수가 있다. 표면의 형상학적 변화, 즉 거칠기의 변화에 따라서도 최적의 공정조건이 존재할 수 있다는 것을 확인하기 위해 AFM을 분석한 결과 <그림 3.2.46>과 같이 일정 이온조사량하에서 Ra(평균거칠기 값)이 포화되는 것을 알 수 있다.



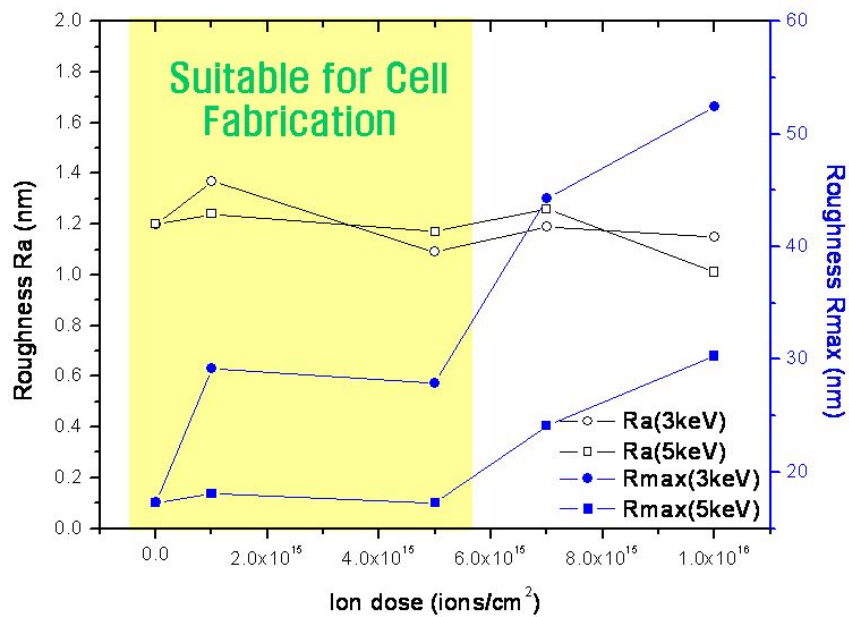
<그림 3.2.44 XPS 분석 결과에 따른 최적공정조건>





**D peak increased with increasing the ion dose due to C-H bonding scission & increase of C-C bonding (SP<sup>3</sup>)**

<그림 3.2.45 Raman 분석결과에 따른 D-peak의 증가>

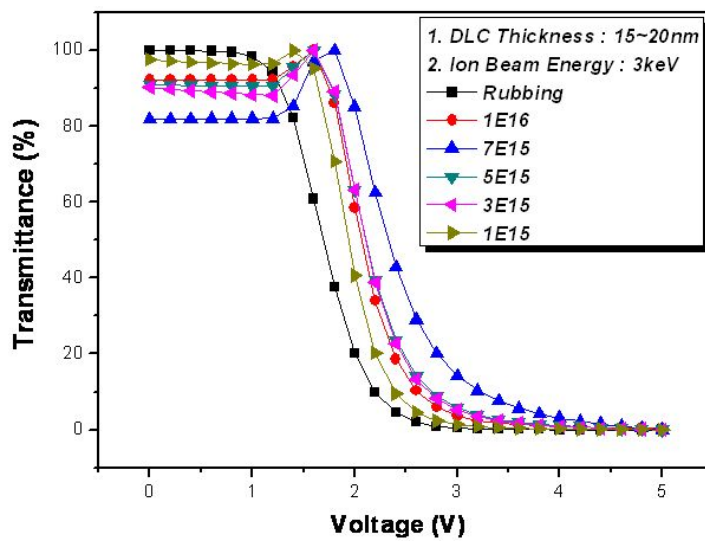


<그림 3.2.46 AFM 분석에 따른 최적공정조건>

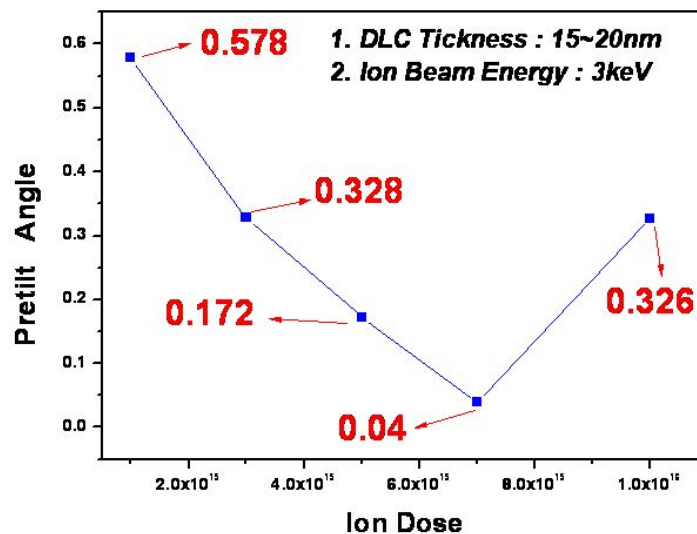
(3) 액정배향 특성 분석

배향 특성 분석은 주변의 환경에 아주 민감하므로 액정주입과 같은 셀 제작은 항상 클린룸에서 행해지며, 주로 VHR(Voltage-hold ratio) 및, V-T(voltage-Transmittance)와

pre-tilt 측정 등이 이루어진다. VHR은 0~5V 인가시 전압이 얼마만큼 일정전압을 유지해주는가가 중요한 포인트이고, V-T 특성의 경우는 전압 인가시 transmittance의 변화가 얼마인지 알려주는 특성으로, 휘도와 연관되어 있는 특성분석이다. <그림 3.2.47>은 DLC 증착은 15~20nm 정도로 3keV 에너지하에서  $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup> 이온조사량의 변화에 따른 V-T 특성결과를 나타낸 것이다. 이온조사량이 증가할수록 transmittance의 정도는 떨어지며, 육안으로 확인했을 경우에도 어둡다는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 낮은 이온조사량하에서 최적공정상태를 확인해야 한다. <그림 3.2.48>은 이온조사량의 변화에 따른 액정의 들뜬 상태를 보여주는 프리틸트 각도 측정을 한 것이며, 0.2도~0.6도 사이의 프리틸트를 가지는 조건이 최적의 공정조건임을 확인하였다.



<그림 3.2.47 이온조사량 변화에 따른 V-T 특성곡선>



<그림 3.2.48 이온조사량 변화에 따른 프리틸트 각도 측정>

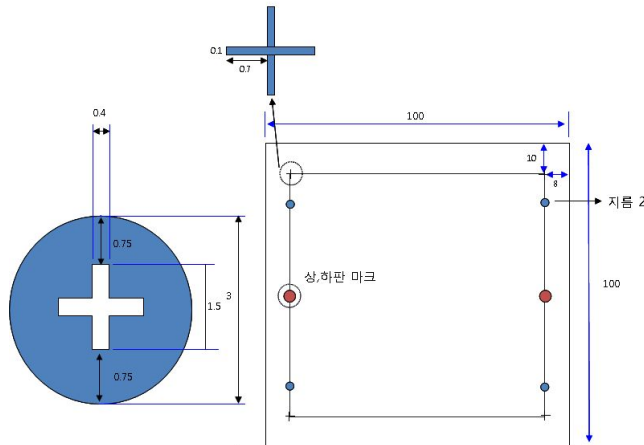
#### (4) 마스킹

최적공적조건을 확립한 후 실제 시제품을 제작하기 위한 첫 번째 단계로, 마스킹을 통한 도안이 이루어져야 한다. 이 과제에 참여한 업체인 (주)네스 와 사업단 로고를 함께 한 도안 준비가 아래 <그림 3.2.49>와 같이 설계되었다. Glass는 상판과 하판으로 나뉘어 마스킹 후 합착이 되는데, 이때 Align을 잡지 않고 합착을 한다면 설계치대로 디스플레이가 되지 않기 때문에 항상 마스킹 작업시에는 Align을 잡은 후에 설계에 들어간다. <그림 3.2.49(C)>는 실제 사업단과 네스의 로고와 이름이 들어간 설계도이며, 화살표는 빔의 방향 즉 배향방향을 표시한 것이다. 이때, 회로의 선폭은 0.5mm로 설계되었으며, 구동회로에 따라 6가지로 구분되어 동작할 수 있을 뿐만 아니라, 전체적으로 ON-OFF가 되도록 설계되어 있다.

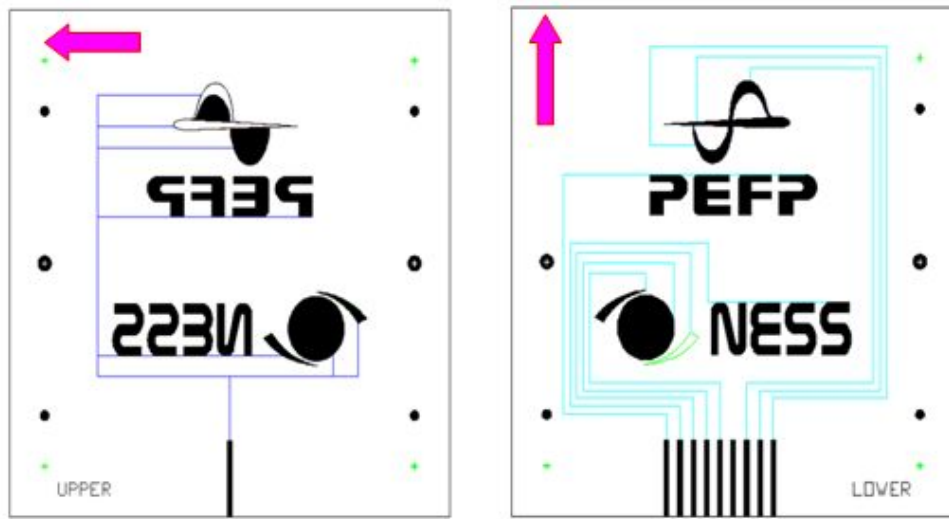


(a) 실제 적용한 도안 로고

단위 : mm



(b) 마킹 Align

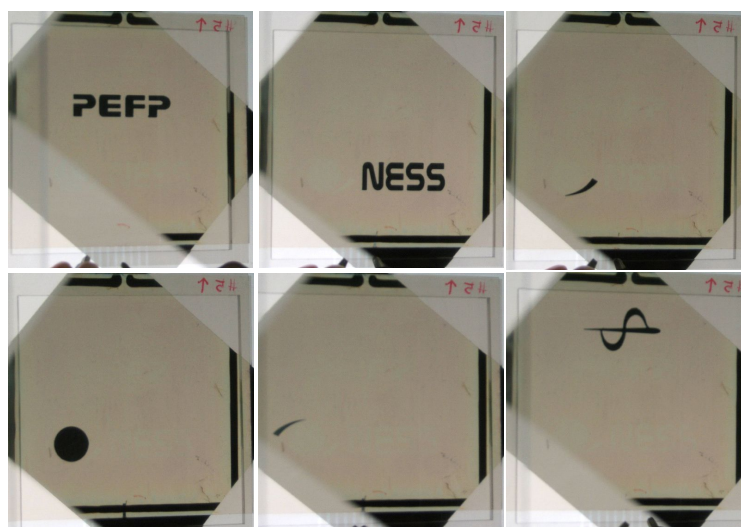


(c) 도안 설계

<그림 3.2.49 마스크 설계>

(5) 시제품 제작

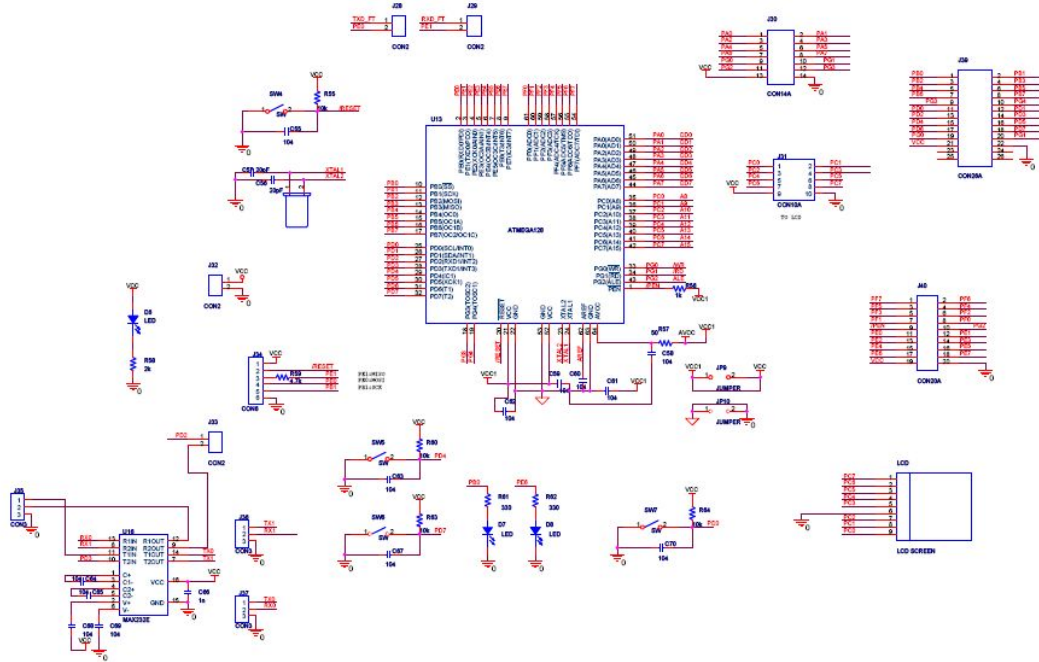
위와 같이 5인치용 glass 위에 마스크를 제작한 후, 15~20nm정도의 DLC를 증착하였다. 45도 경사를 가지는 지그위에 시편을 놓고, 이온빔 에너지 3keV, 이온조사량  $3 \times 10^{15} / 5 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>으로 시제품에 들어갈 샘플에 이온빔을 조사하였다. 그리고, 마스크설계에 따라 각각의 동작을 확인하기 위해 각각의 회로에 전압을 인가하였고 그 결과 <그림 3.2.50>과 같이 6단계로 나타내어졌다. 또한 이렇게 제작된 시편을 동작하기 위한 구동회로를 제작하기 위해, <그림 3.2.51>와 같이 구동회로를 설계하였으며, <그림 3.2.52>과 같이 구동회로를 통하여 시제품 제작을 완성하였다.



<그림 3.2.50 시제품의 각 단계별 동작 모습>



<그림 3.2.51 구동회로를 통한 전체화면 동작>



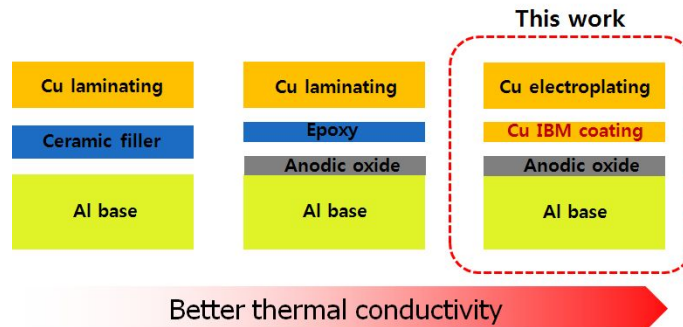
<그림 3.2.52 구동회로 설계 및 제작>

다. Metal PCB 기판에 Cu 코팅층의 접합성 향상 기술개발

(1) 개요

Metal PCB는 기존의 플라스틱 PCB에 비해 우수한 열배출 특성을 보이기 때문에 고휘력의 LED등에 활용되고 있지만 구조상 필수요소인 전기절연층으로 주로 에폭시를 사용하므로 금속의 우수한 열전도도를 최대한 활용하지 못하는 단점을 보인다. 본 연구에서는 금속(알루미늄)표면을 산화시켜 절연층으로 이용하고 여기에 구리층을 직접 증착하는 방법을 시도 하였다<그림 3.2.53>. 이러한 방법은 높은 열배출 특성을 얻을 수 있는데 반해 산화

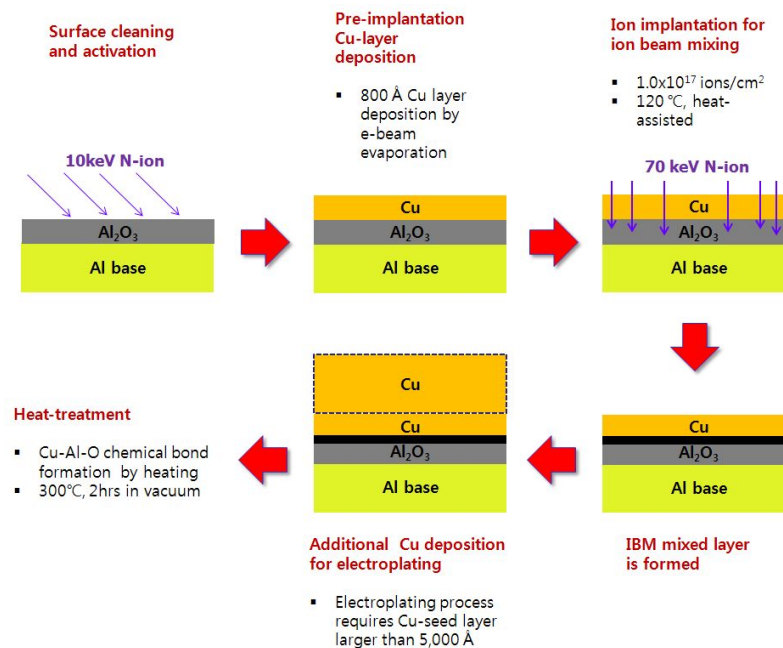
층과 금속층간의 약한 접합력으로 인해 쉽게 벗겨지는 단점을 보인다. 이러한 단점을 극복하기 위해 알루미늄 산화층위에 구리층을 직접 증착하여 이를 Metal PCB 기판으로 활용하기위하여 이온빔 믹싱기술을 적용하는 연구를 실시하였다.



<그림 3.2.53 Metal PCB의 기본구조 및 본 연구에서 시도된 구조>

## (2) 실험

본 연구에서 적용된 이온빔 믹싱을 이용한 구리막 증착방법은 <그림 3.2.54>에 나타내었다. 먼저 알루미늄 표면을 양극산화법으로 산화처리 하여 50 $\mu\text{m}$ 두께의 절연층을 형성하고 그 표면을 10keV 정도의 에너지를 갖는 질소이온으로 45° 각도로 조사하여 표면 거칠기를 감소시키고 표면에 형성 가능한 불순물 들을 제거 하였다. 다음 과정으로 100nm 내외의 구리층을 증착하였는데 이는 이온빔 믹싱을 위한 준비단계로 그 두께는 조사이온의 종류와 에너지에 의해 결정되며 증착방법은 전자빔 증착법 (e-beam evaporation)을 사용하였다.

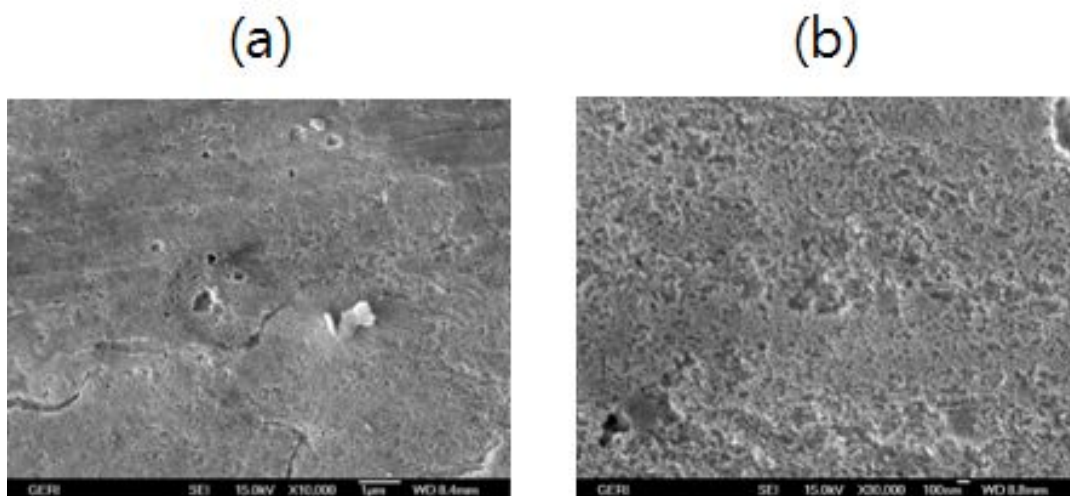


<그림 3.2.54 Ion-beam mixing 기술을 이용하여 알루미늄 산화막 위에 접합력이 향상된 구리 전도층을 형성하는 과정>

증착된 구리층위에 70keV의 질소이온을 약  $1.0 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup> 정도 조사하여 구리/산화층 계면에서 구리 원자와 알루미늄 산화막 원자들의 혼합층 형성이 되도록 유도 하였다. 이때 혼합층에서 원자들 간의 결합을 더욱 안정화시키기 위하여 약 200℃ 정도의 열을 가하였다. 그 위에 다시 500nm 정도의 구리층을 추가로 증착하였는데 이는 Metal PCB 전체구조에서 최종 형성될 두꺼운 구리 전기 전도층의 형성방법인 전기도금법을 위한 밑 바닥층 (seed layer)의 최소 요구사항이다. 위와 같이 이온빔 믹싱과 열처리를 통해 형성된 구리 밑바닥 층은 충분한 접합력을 갖게 되어 에폭시를 이용하지 않는 Metal PCB 구조의 형성이 가능토록 하였다.

### (3) 기초연구 결과

본 연구에서 사용된 알루미늄 기판은 A3003과 A5052로 이를 아노다이징 처리하여 약 50 $\mu$ m 전도의 산화층을 형성하였다. 이렇게 형성된 산화층은 절연특성이 우수하여 2,300VDC이상의 절연파괴전압을 보였다. 산화층 표면의 SEM 사진이 <그림 3.2.55> 에 표시되었다.



<그림 3.2.55 아노다이징 처리된 알루미늄 표면의 SEM 사진들>

- 열전도도: 본 연구에서 형성된 에폭시를 사용하지 않는 Metal PCB 구조의 열전도도를 측정된 결과 (~150W/m·K) 기존의 플라스틱 PCB (~ 0.1W/m·K)와 Epoxy를 사용한 Metal PCB(~ 50W/m·K)에 비해 월등히 높은 열전도 특성을 보였으며 이는 고출력의 많은 열을 발생하는 LED의 기판으로 적합한 특성을 보였다.
- 열에 의한 박리현상: 기존의 에폭시를 사용하는 PCB의 경우 300℃ 정도의 고온에서 에폭

시가 녹기 시작해 30분 이상 견디지 못하는 특성을 보였으며 열에 강한 에폭시는 가격이 비싸다는 단점이 있었다. 본 연구에서 얻은 이온빔 믹싱에 의한 구리막의 경우 500℃ 이상의 온도에서도 벗겨짐이 발생하지 않아 고온환경에서 장시간 작동이 가능하다는 특성을 보였다.

#### (4) 접합력 테스트 결과

알루미늄 산화층위에 형성된 구리막의 접합력을 확인하기 위하여 ASTM D3359 tape test와 ASTM D4541 Pull-off test를 실시하였다.

- ASTM D3359 tape test는 2mm 간격의 교차선을 가로 세로 각각 10개 가량 그어서 박막을 절단하고 여기에 실험방법에 명시된 접착테이프를 충분히 밀착되도록 붙인 후 테이프를 당겨서 박막의 벗겨짐 유무로 접합력을 확인하는 방법으로 그 결과는 <그림 3.2.56>과 같다. 이온빔 믹싱 없이 증착된 구리층 <그림 3.2.56(a)> 은 대부분의 영역에서 벗겨짐이 발생하였으며 이는 구리막과 산화층간의 접합 특성이 우수하지 못함을 보여준다. 이에 반해 이온빔 믹싱을 적용한 구리층 <그림 3.2.56(b)> 은 전혀 벗겨짐이 발생하지 않아 접합력이 현저히 향상되었음을 알 수 있다.
- ASTM D4541 Pull-off test는 일정한 크기의 밑면을 갖는 금속 추를 에폭시를 이용하여 테스트할 표면에 접착한 후 접착면의 수직방향으로 힘을 증가시키며 접착면이 파괴되는 시점의 힘을 읽어서 접착강도를 계산하는 방법이다.

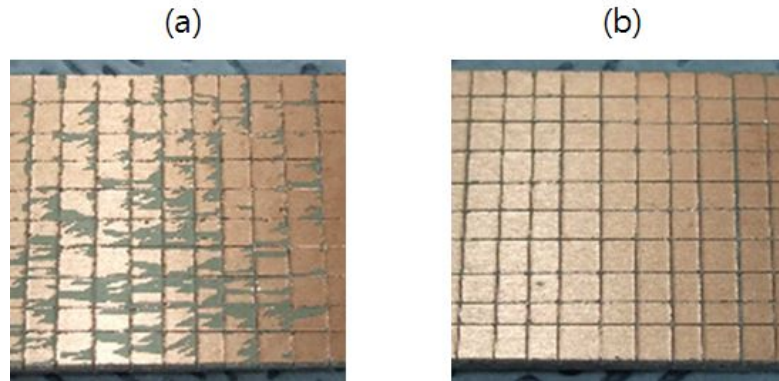
표 3.3.1 과 같이 이온빔 믹싱과 열처리를 적용할 경우 접착력은 아무런 처리 없이 증착만 한 구리막의 경우에 비해 약 4배 가량 향상됨을 알 수 있다.

<표 3.2.14> 절연층과 구리층의 접착력 Pull-off test 결과

시편	접착력 (MPa)
이온빔 믹싱을 하지 않은 경우	0.68
이온빔 믹싱만 적용한 경우	1.38
이온빔 믹싱과 열처리를 적용한 경우	3.02

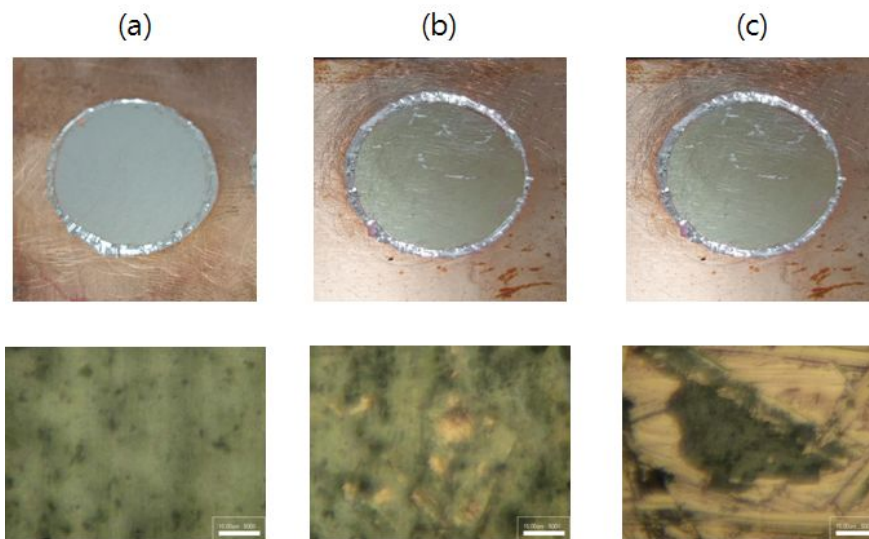
Pull-off test 결과로 얻는 접착력만큼 의미 있는 결과가 바로 접합이 파괴될 때의 계면





<그림 3.256 ASTM D3359 tape test 결과: (a) 이온빔 믹싱 없이 증착된 구리층,  
(b) 이온빔 믹싱을 적용하고 열처리된 구리층>

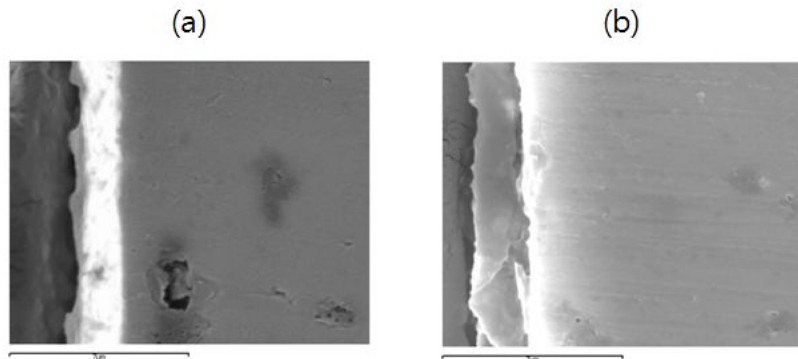
분석으로 접합파괴가 계면에서 발생했는지 (adhesive) 또는 구리층이나 산화층 내에서 발생했는지(cohesive)를 확인하는 방법이다. Pull-off test 후 노출된 박리면의 확대 관찰된 결과가 <그림 3.257>에 나타나 있다. 그림 3.257 (a), -(b), -(c)는 각각 이온빔 믹싱을 안 한 경우, 이온빔 믹싱만 한 경우, 이온빔 믹싱과 열처리를 모두 적용한 경우로 먼저 이온빔 믹싱이 없는 경우의 박리면을 살펴보면 산화막 표면이 그대로 노출됨을 알 수 있다. 이는 구리막과 산화막의 박리가 정확히 계면에서 발생하였음을 알려주는 결과로 접합력이 매우 약하다는 증거이기도 한다. 이에 반해 이온빔 믹싱과 열처리를 적용한 경우 [그림 3.3.32 (c)], 구리막이나 산화막의 표면 아래층이 드러남을 확인 하였다. 이는 접합의 파괴가 계면이 아닌 구리막이나 산화층 자체에서 일어난다는 의미로 계면의 접합력의 강도가 구리막이나 산화층의 파괴 강도보다 높다는 결과를 보여준다. 이온빔 믹싱후 열처리를 하지 않는 경우 [그림 3.3.32 (b)]는 이러한 효과가 상대적으로 적게 나타났다.



<그림 3.257 Pull-off test 후 표면의 확대 사진>

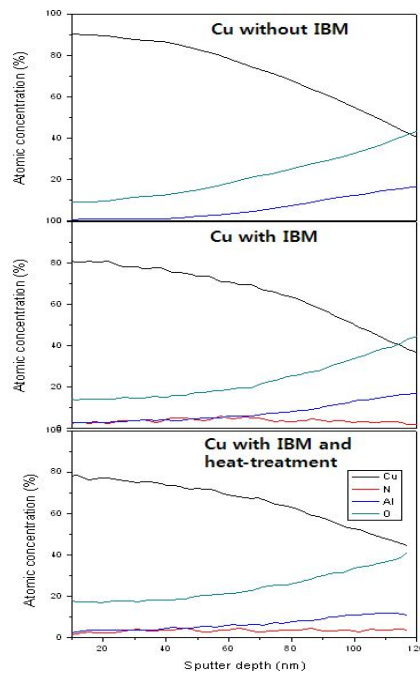
(5) Ion-beam mixing 계면 분석 결과

- SEM 단면사진: <그림 3.2.58>는 이온빔 믹싱 미적용[(a)], 적용[(b)] 구리막/산화층 계면을 SEM으로 관찰한 결과다. 먼저 이온빔 믹싱을 적용하지 않은 경우 계면 양측의 색상 차이가 뚜렷하여 원자들의 혼합이 이루어지지 않았음을 보여준다. 이에 반해 이온빔 믹싱을 적용하여 구리층을 증착한 경우 계면부근의 명도가 비슷해짐을 알 수 있는데 이는 계면에서 혼합이 많이 발생하였다는 증거다.



<그림 3.2.58 구리층과 산화층계면의 SEM 단면사진>

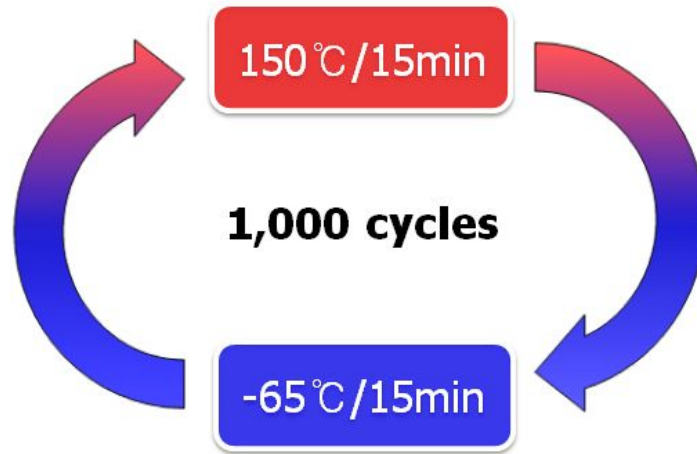
- Auger depth profiling: 구리막/산화층 계면에서의 구리, 알루미늄, 산소원자의 혼합정도를 살펴보기 위해서 깊이 따른 Auger 성분분석을 실시한 결과가 <그림 3.2.59>에 나타나 있다. 이에 따르면 이온빔 믹싱과 열처리를 적용함으로써 계면 양단간 원자들의 혼합이 증가하였음을 알 수 있다.



<그림 3.2.59 구리층과 산화층계면의 Auger depth profiling 결과>

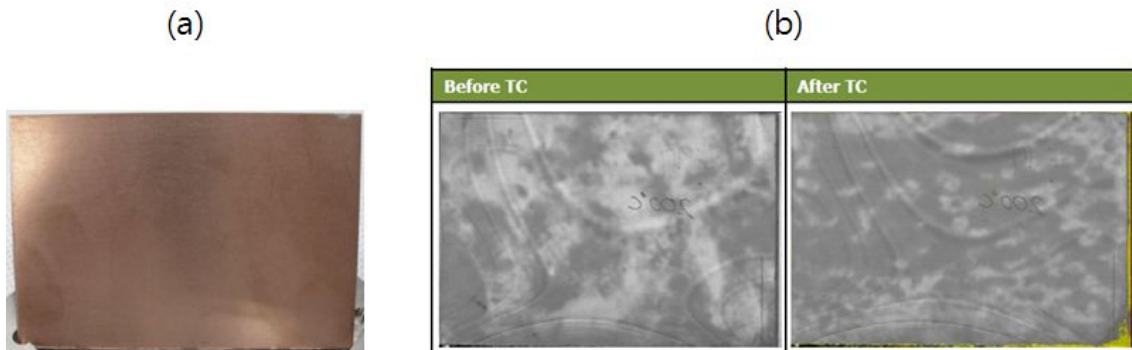
(6) 신뢰성 테스트

- Temperature Cycling Test: 실제 PCB의 작동환경과 유사한 환경에서의 신뢰성을 확인하기 위하여 <그림 3.2.60>과 같은 조건으로 실험을 실시하였다. 이는 반도체 소자에 실시되는 실험중 매우 가혹한 환경 테스트로 고온, 저온을 반복하여 적용시켜 소자의 신뢰도를 확인하는 방법이다.



<그림 3.2.60 본 연구에서 실시된 temperature cycling test 과정>

<그림 3.2.61>는 이온빔 믹싱을 적용하고 200°C로 열처리한 구리막 시편의 Temperature cycling test 결과로 육안 관측시 구리막에 아무런 변화가 생기지 않음을 알 수 있다 [그림 3.2.61(a)]. 그림 3.2.61(b)는 test 전후 시편을 초음파 이미지로 관측한 결과도 큰 변화가 발생하지 않았음을 알 수 있다. 이와 같은 시험의 결과로 이온빔 믹싱을 적용하여 증착한 구리막의 경우 에폭시를 이용하지 않기 때문에 열에 매우 강한 특성을 보임을 알 수 있었다.



<그림 3.3.36 (a) T/C 후 구리막의 표면사진과 (b) T/C 전후 구리막의 초음파 이미지>

## 라. 플라스틱 사출 금형 이온빔 연마기술 개발

### (1) 개요

플라스틱 사출기에서 사출물을 성형한 후 밀어내는 역할을 하는 사출 금형은 기계적 가공에 의해 만들어진다. 이때, 표면과 모서리 부분은 가공 직후 사출물의 흡착을 최소화하기 위해 연마하는 과정이 필요하다. 지금까지는 플라스틱 사출물의 크기가 커 사출금형의 연마를 모래 종이(sand paper) 등을 이용하여 수작업으로 수행하였다. 그러나 점차 제품이 소형화됨에 따라 플라스틱 사출물 부품의 크기가 작아졌으며, 이에 따라 사출 금형의 크기 또한 작아졌고, 모래 종이 등을 이용하여 수작업으로 연마하는 것이 불가능하게 되었다. 최근에는 더욱 근접한 표면만 개질 시킬 수 있는 전자빔, 레이저 빔, 플라즈마/이온빔 등을 이용한 방법이 효과가 우수한 것으로 입증되어, 점차 그 응용범위가 늘어나고 있다.

이온빔 조사 표면연마기술은 원자 또는 분자를 이온화한 후 수 내지 수십 keV의 에너지로 가속시키고 소재표면으로 조사하여 원자간 결합을 파괴하여 떼어냄으로서 표면거칠기를 감소시키는 표면개질 기술이다. 이온빔 조사 방법은 표면 거칠기가  $\mu\text{m}$ 이하의 정밀도가 필요한 정밀 제품의 표면연마에 적용될 수 있으며, 이미 일본 등 선진국에서는 산업기술에 적용하고 있다. 이온이 피처리재료의 표면에 충돌하게 되면 이온이 피 처리 재료의 내부로 주입(Implantation)되는 현상 및 표면의 원자 또는 분자가 분리되어 나오는 스퍼터링(sputtering) 현상이 발생한다. 주입(Implantation) 현상 및 스퍼터링(sputtering) 현상은 이온빔이 조사되는 각도와 밀접한 관계가 있다. 즉, 이온빔이 조사되는 방향과 피처리재료 표면이 이루는 각도가 직각에 가까울수록 주입(Implantation) 현상이 두드러지고, 경사진 각도로 이온빔이 조사될수록 스퍼터링(sputtering) 현상이 두드러진다. 이온빔 조사 표면연마기술은 스퍼터링 현상을 이용하는 것으로서, 이때, 연마되는 정도를 결정하는 요인에는 이온빔의 조사 각도, 이온의 종류, 이온에너지, 이온량 (dose) 및 단위시간당 이온 조사량(flux) 등이 있다. 스퍼터링 현상이 발생하게 되면 표면에 물리적 또는 화학적으로 흡착되어있는 이물질들의 탈착, 표면에 덧붙여 있는 원자들의 운동성 증가로 인하여 표면의 원자 또는 입자덩어리가 분리되어 나오는 현상 등을 이용하여 표면 연마가 된다. 이온빔이 장시간 연속적으로 조사되면 소재 표면으로부터 발생된 열이 빠져나가지 못하고 축적되어 과열로 인한 상변태가 발생할 수 있다. 상기 상변태는 특히 금속소재의 침단 부분에서 두드러지게 나타나며, 공구강 금속소재의 경우 침단 부분이 마르텐사이트로 상변태되고 경도상승으로 인하여 작은 충격에도 파단될 수 있는 문제가 있다. 이 문제점을 극복하기 위하여 이온빔을 조사하되, 단속적으로 이온빔을 조사하여 열 축적을 방지하는 방법을 고안 하였다.

### (2) 실험

실험조건은 표 3.2.15 에 나타 내었다.

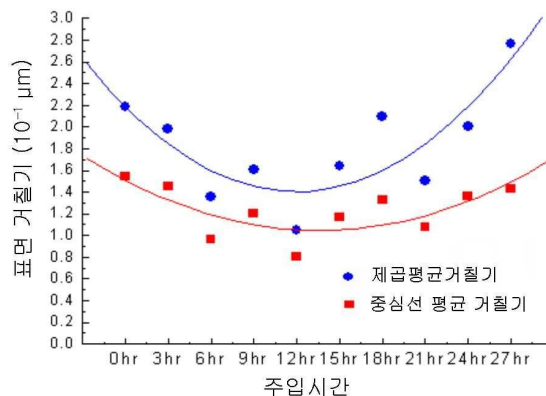
<표 3.2.15> 플라스틱 표면연마 위한 이온빔 조사 조건

조사시간	이온에너지 (keV)	이온주입량 (이온수/cm <sup>2</sup> )	조사각도 (°)
30 분 (단속적조사)	0.5	$5 \times 10^{16}$	10
45 분 (단속적조사)	10	$1 \times 10^{17}$	30
60 분 (단속적조사)	20	$1 \times 10^{18}$	45
18 시간 (연속조사)	0.5	$5 \times 10^{16}$	10
21 시간 (연속조사)	10	$1 \times 10^{17}$	30
24 시간 (연속조사)	20	$1 \times 10^{18}$	45

표면거칠기 변화 측정, ball-on-disc 마모실험, SEM/EDS로 표면 미세 조직 및 화학 분석을 실시하여 이온빔 조사 후 특성을 분석하였다.

### (3) 표면 특성 분석

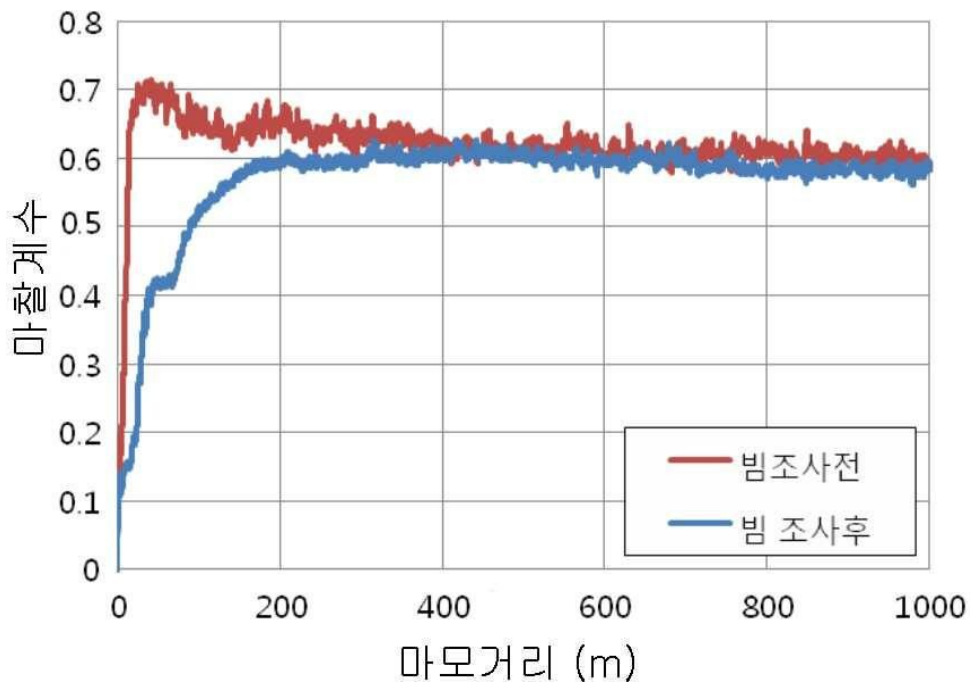
<그림 3.2.62>에 나타낸 바와 같이, 이온빔을 조사함으로써 표면거칠기가 낮아지는 것을 관찰할 수 있다. 제곱평균거칠기의 경우 이온빔이 조사하기 전 약  $2.2 \times 10^{-1} \mu\text{m}$ 였지만, 이온빔의 조사시간이 증가할수록 점차 표면거칠기가 낮아져 이온빔이 12시간 조사하였을 때 표면거칠기는 약  $1.0 \times 10^{-1} \mu\text{m}$ 를 나타내었다. 하지만 이온빔의 조사가 12 시간을 초과하는 경우 표면거칠기가 오히려 증가하는 것을 알 수 있으며 이온빔이 27시간 동안 조사되는 경우 이온빔이 조사되기 전보다 오히려 표면거칠기 값이 더 높은 것을 알 수 있다. 또한 중심선 평균거칠기의 경우 이온빔이 조사되기 전에는 표면거칠기가  $1.6 \times 10^{-1} \mu\text{m}$ 이었지만, 이온빔이 12시간 조사되었을 때에는 표면거칠기가 약  $0.8 \times 10^{-1} \mu\text{m}$ 로 낮아진 것을 알 수 있다. 하지만 이온빔이 12 시간을 초과하여 조사되는 경우 표면거칠기가 오히려 증가하는 것을 알 수 있다. 이를 통하여, 이온빔 조사를 통하여 소재 표면의 거칠기가 낮아지는 것을 알 수 있으며, 장시간 이온빔이 조사되는 경우 오히려 표면거칠기가 증가하여 연마효과가 상실되는 것을 알 수 있다.



<그림 3.2.62 이온주입 시간에 따른 표면거칠기 변화>

#### (4) 마찰계수 변화 측정

이온빔을 이용한 금속소재표면의 연마방법에서 이온빔 조사에 따른 마찰계수 변화를 측정하고, 그 결과를 <그림 3.2.63>에 나타내었다. 이온빔의 조사는 질소(N)이온을 사용하여 20 keV 의 이온 에너지,  $1 \times 10^{18}$  ions/cm<sup>2</sup> 의 이온주입량의 조건으로 플라스틱 사출 금형에 조사되었고, ball-on-disc 마모 실험을 통해 이온빔 조사 전후의 표면 마찰계수 변화를 측정하였다. 이때, 상기 ball-on-disc 마모 실험은 선속도 0.37 m/s, 하중 0.1kgf, 마모거리 1 km 및 상대재 AISI52100 스틸 볼의 조건으로 수행되었다.

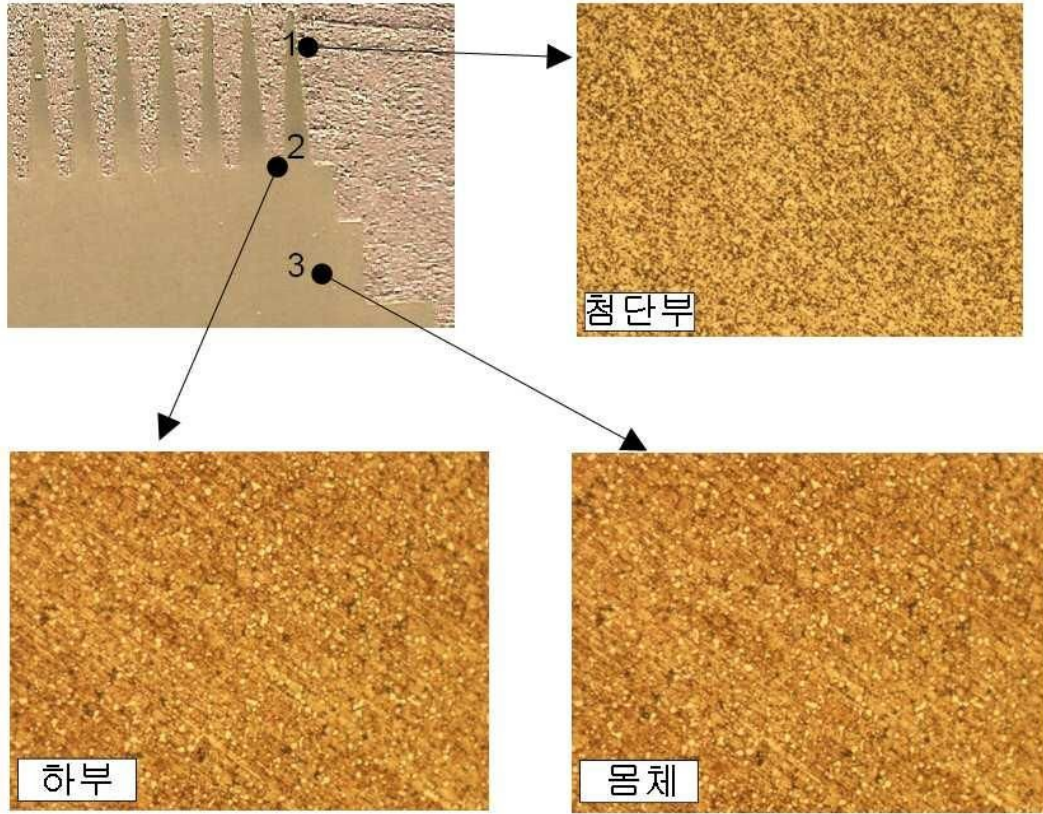


<그림 3.2.63 Ball-on-disc 마모실험 결과>

<그림 3.2.63>에서 보인 바와 같이 이온빔을 조사함으로써 사출 금형 표면의 마찰계수가 감소하는 것을 알 수 있다. 이를 통하여, 이온빔의 조사를 통해 내마모성이 향상되는 것을 알 수 있다. 또한 상기 마찰계수의 감소는 표면거칠기의 감소를 나타내는 지표로써 이온빔 조사를 통해 표면거칠기가 감소되는 것을 확인하였다.

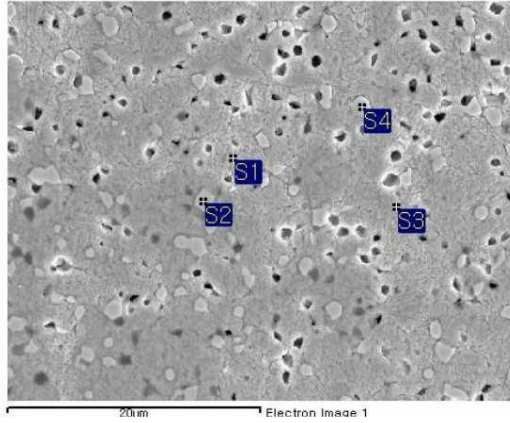
#### (5) 주사전자현미경/에너지 분산형 분석기(SEM/EDS)를 통한 표면 분석

사출 금형에 이온빔을  $1 \times 10^{18}$  ions/cm<sup>2</sup>의 이온조사량이 되게 6시간 동안 연속적으로 조사한 후, 사출 금형의 첨단 부분, 하부 및 몸체 부분을 주사전자현미경 및 에너지 분산형 분석기를 통하여 분석하고, 그 결과는 <그림 3.2.64> 및 <그림 3.2.65>에 나타내었다.



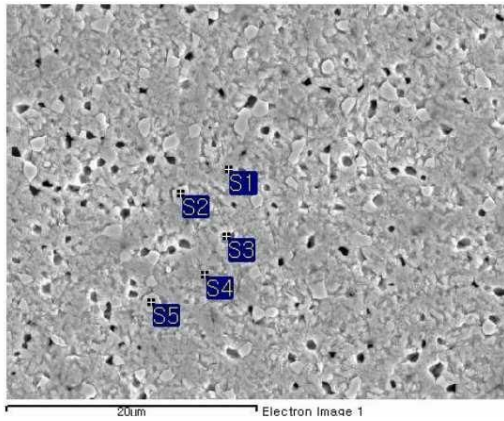
<그림 3.2.64 사출 금형으로 이온빔을  $1 \times 10^{18}$  ions/cm<sup>2</sup>의 이온조사량이 되게 6시간 동안 연속적으로 조사한 후, 사출 금형의 첨단 부분, 하부 및 몸체의 SEM 사진>

(a) 첨단부



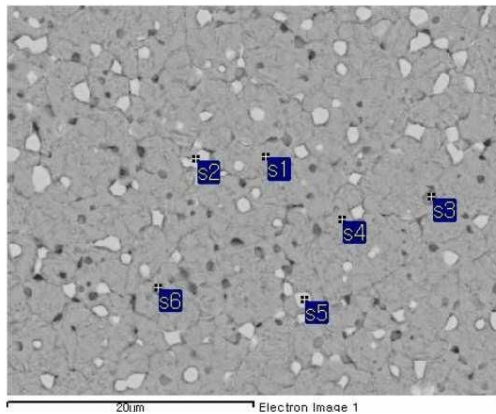
	Cr	Fe	Co	Mo	W
S1	4,88	70,62	7,73		12,94
S2	3,44	30,01	3,73	22,55	37,48
S3	4,31	82,11	9,07		3,92
S4	3,29	32,37	3,89	21,64	36,23

(b) 하부



	Cr	Mn	Fe	Co	Mo	W
s1	4,17	0,53	82,33	9,22		3,03
s2	3,37		31,96	3,65	21,45	36,91
s3	3,72	0,57	85,92	8,88		0,34
s4	4,21		82,46	9,04		3,47
s5	4,65		38,08	4,40		49,56
s6	4,39		84,66	9,12		1,13

(c) 몸체



	Cr	Mn	Fe	Co	Mo	W
S1	4,12	0,60	83,02	9,28		2,52
S2	3,46		30,92	3,41	22,57	37,10
S3	4,25		83,89	9,46		1,88
S4	4,22	0,53	82,82	9,17		2,76
S5	3,53		30,31	3,62	22,57	37,11

<그림 3.2.65 연속 이온빔 조사 후 미세조직의 EDS 분석 결과-흰색 반점으로 나타나는 부분은 몰리브덴(Mo)이 함유>

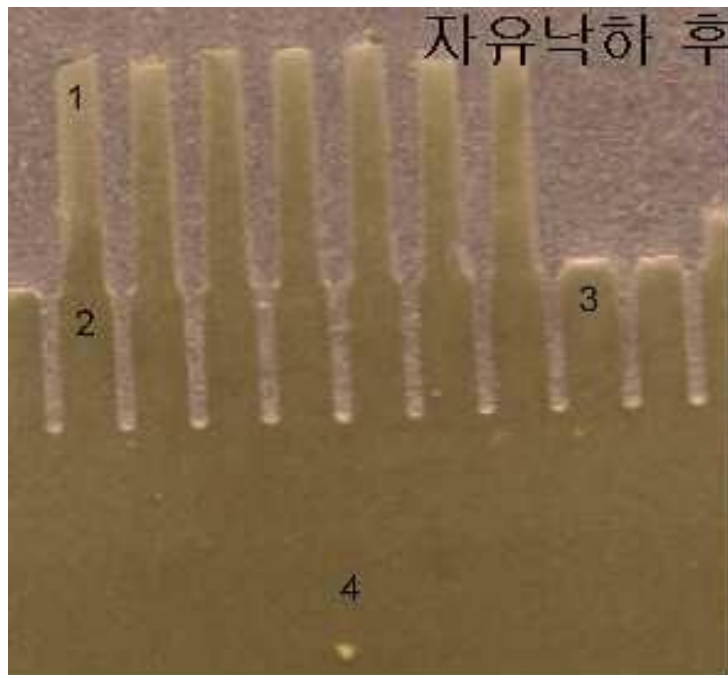


<그림 3.2.64>에 나타난 바와 같이, 사출 금형의 침단 부분은 하부 및 몸체 부분에서 관찰되는 흰색 반점이 검은색 반점으로 변화되어 있는 것을 알 수 있으며, 이는 마르텐사이트로의 상변태로 인하여 나타나는 현상이다.

또한, <그림 3.2.65>에 나타난 바와 같이, 흰색 반점으로 나타나는 부분은 몰리브덴(Mo)이 함유되어 있는 것을 알 수 있다. 하지만 사출 금형의 침단 부분에서는 몰리브덴이 함유된 흰색 반점 대신 몰리브덴이 함유되지 않는 검은색 반점이 다수 분포되어 있는 것을 알 수 있다. 이는 상변태로 인하여 표면 조직이 취화되어 있는 것을 의미하며, 사출 금형의 침단 부분에서 상변태가 더욱 쉽게 발생하는 것을 알 수 있다.

#### (6) 이온빔 연속조사에 의한 파단 측정

사출 금형으로 이온빔을  $1 \times 10^{18}$  ions/cm<sup>2</sup>의 이온조사량이 되게 6시간 동안 연속적으로 조사한 후, 사출 금형이 파단되는 정도를 측정하기 위하여 1.5m 높이에서 자유낙하시킨 후 파단되는 정도를 관찰하였고, 결과를 <그림 3.2.66>에 나타내었다.



<그림 3.2.66 연속 빔 조사 후 자유낙하 시 파단 현상 사진>

<그림 3.2.66>에 나타난 바와 같이, 작은 충격에도 사출 금형이 파단되는 것을 알 수 있다. 이는 이온빔이 장시간 연속적으로 조사됨으로써 침단 부분의 열 축적으로 인한 과열로 상변태 등으로 기계적 특성 변화가 발생, 즉 침단 부위의 취성이 크게 되었기 때문이다.

## (7) 요약 및 결론

이온빔을 이용한 끝이 뾰족한 금형 날의 연마방법에 있어 이온빔을 사용하여 비 접촉식으로 사출 금형의 표면을 연마하되, 이온빔 조사를 30 내지 60 분 동안 연속적으로 수행한 후 10분 내지 1시간 동안 조사를 중지하고 이온빔을 30 내지 60분 동안 연속적으로 조사하는 공정을 반복적으로 수행하니 상변태로 인한 취성이 방지되었다. 이온빔 표면 연마 방법은 금형의 기계적 특성을 유지하면서 표면만 연마할 수 있으므로, 금속소재표면의 연마에 유용하게 사용할 수 있다.

## 마. 이온빔 표면개질을 이용한 차량내장용 고분자 고광택 도금 대체기술개발

### (1) 개요

- 주로 차량용 플라스틱으로 사용되는 Engineering thermoplastic에 속하는 PC/ABS(Poly Carbonate/ Acrylonitrile Butadiene Styrene) blends (70/30)를 개발 대상으로 함.
- 지금까지의 표면 광택 향상 기술은 Durable metallic look을 Painting 또는 plating 기술이 일반적으로 사용되어 왔으나, 환경/인체 유해성이 지적되어 옴.
- 이온빔 조사에 의해서도 광택 및 금속 색상이 가능하여 대체 기술로 주목되어 옴. 이는 이온빔 표면처리 기술은 환경 및 인체에 무해하며 Cr 코팅 기술에 비견되는 표면 금속 광택을 낼 수 있는 반면 근접 표면만 개질되므로 환경에 따라 변색이 되어 이를 방지할 기술 개발이 필요하였음.
- 문제 점 해결로 질량이 큰 이온과 작은 이온을 조사하여 완만한 계면 (functionally graded interface) 형성 기술 개발이 필요함.

### (2) 실험

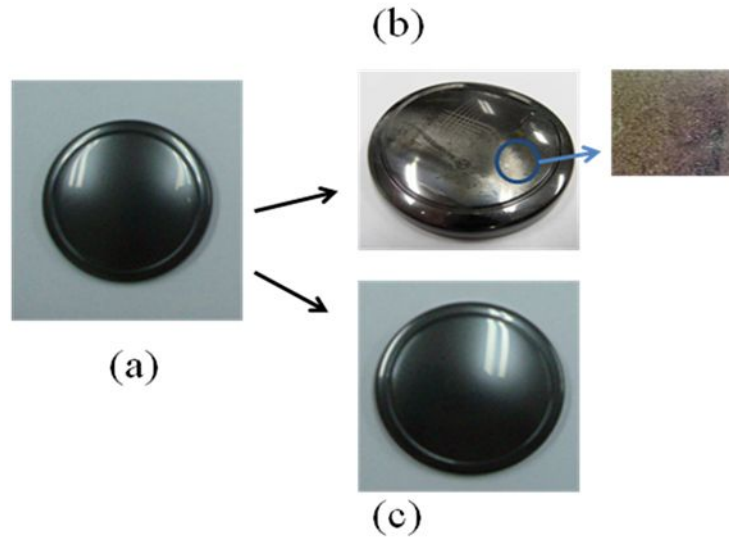
- 질량수가 달라 같은 에너지에서 침투 깊이가 다른 He 및 N 이온을 에너지 100keV 이하에서  $3 \times 10^{16} - 1 \times 10^{17}$  이온수/cm<sup>2</sup>로 주입
- 특성 분석은 SEM으로 표면 morphology 변화 및 개질 깊이를 액체 질소 내에서 판단된 시편의 단면을 관찰하였으며, haze gloss meter로 광택도 변화 측정, UV하에서 21일간 내광성 평가, 표면 연필경도, 및 부착성 실험 등을 수행함.

### (3) 내광성 향상 최적공정조건 확립

#### • 내광성 실험 결과

온도 89±3℃, 습도 50±5%, 및 84 MJ/m<sup>2</sup> UV light (340nm) 하에서 21 일간 유지 한 결

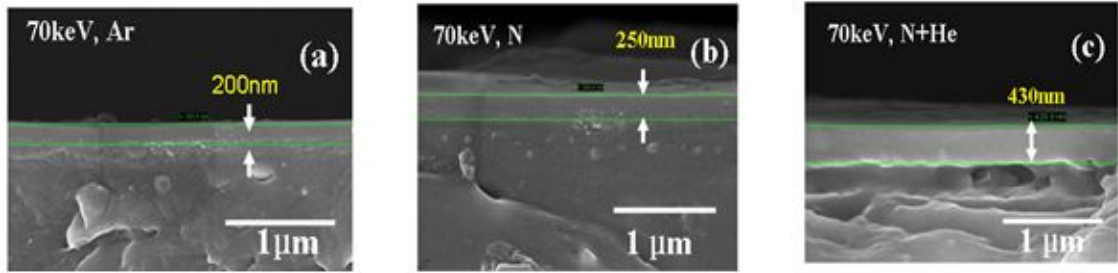
과 단일 이온, 저에너지 (<50 keV), 저 이온조사량 내광성에서는 표면 박리 및 변색이 발생하였으나, 70 keV 이상, 이온조사량  $1 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>, N 및 He 이온 동시 주입 후 내광성 실험 결과, 표면 변색 및 박리 현상 없음.



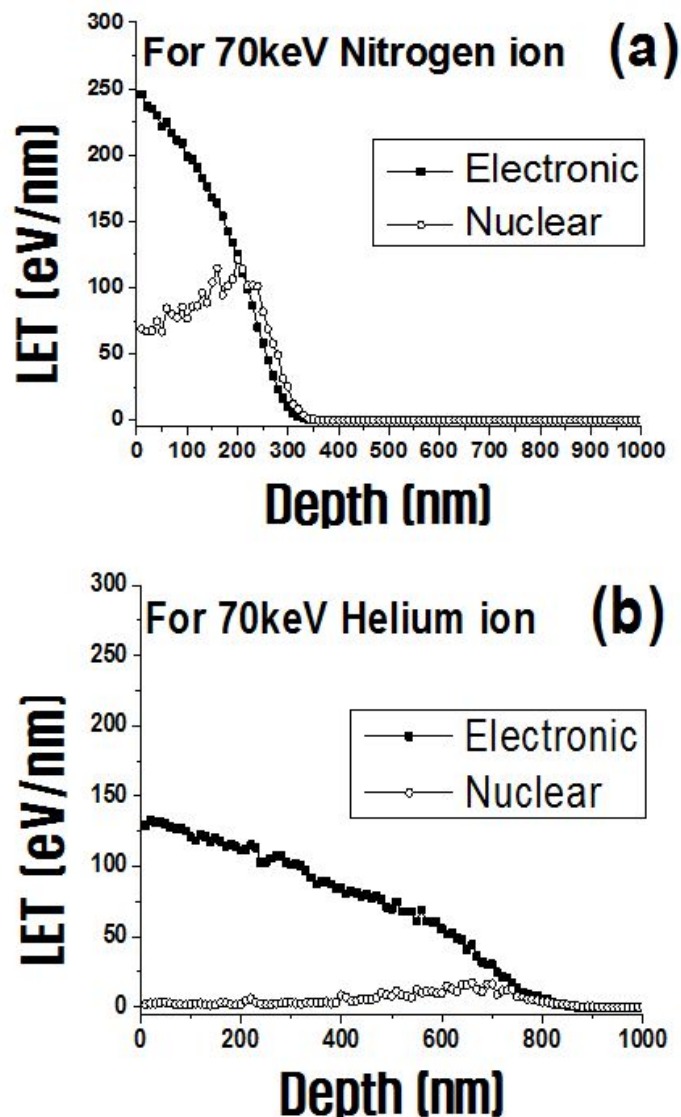
<그림 3.2.67 이온 빔 처리한 시편의 내광성 실험 결과>

• 내광성 향상 기구

<그림 3.2.68>는 이온빔 조사 후 액체 질소 내에서 파단한 PC/ABS의 단면 morphology 의 FE-SEM 관찰 사진이다. 단면 사진에서 보듯 이온빔 조사 영역 및 pristine 영역이 뚜렷이 구분되며 이온빔 조사 영역에서 brittle fracture, 이온빔 조사의 영향을 받지 않은 영역은 ductile cleavage를 보인다. 파단된 표면에서 보듯이 개질된 깊이는 70 keV N은 ~250 nm인데 70 keV Ar은 ~200 nm로 이온의 질량에 따라 같은 에너지에서 조사하였을 경우 개질 깊이가 다르다. 이는 <그림 3.2.69>에서 나타낸 SRIM계산 결과와도 일치 한다. 흥미롭게도 70 keV N 및 70 keV He dual ion beam 조사한 PC/ABS 시편은 개질 깊이가 brittle fracture가 발생한 면을 볼 때 ~430 nm 이다. 즉 70 keV N개질된 깨끗하게 파단된 250 nm 계면은 He 이 개질된 약간 wavy 계면을 보이면서 ~430 nm 깊이로 이동한 것이다. 이 wavy 계면은 He 및 N이온 개질한 SRIM energy depth profiles에서 보이듯 70 keV He 개질한 ~800 nm인 것으로도 짐작된다.

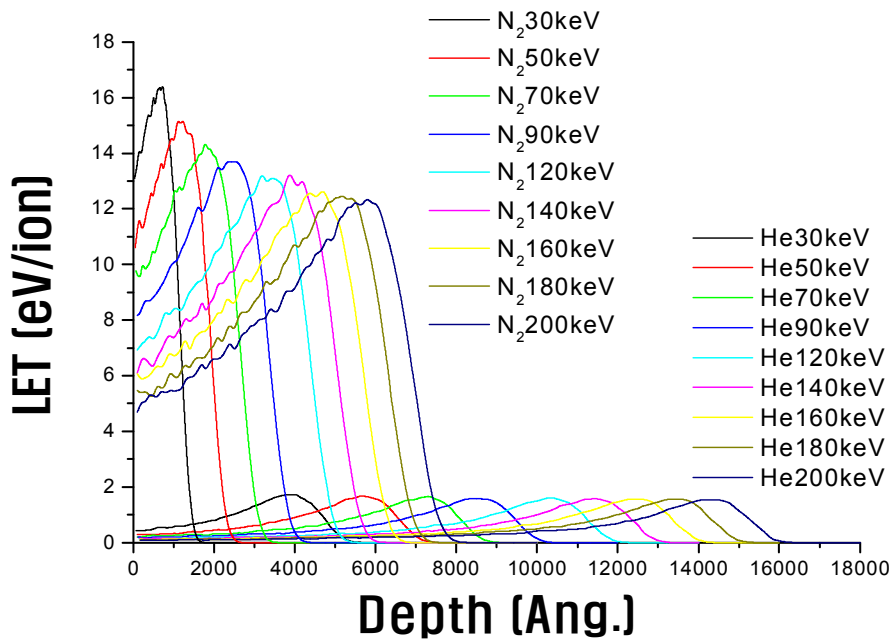


<그림 3.2.68 Ar, N, He 이온을 단독 또는 혼합하여 이온 주입한 PC/ABS 시편을 액체 질소 내에서 파단 후 FE-SEM으로 단면 morphology 관찰 사진>



<그림 3.2.69 Electronic and nuclear LET vs. ion penetration depth for  
(a) 70 keV N-ion and  
(b) 70 keV He-ion by SRIM calculation>

<그림 3.2.70>는 여러 가지 이온 에너지에 대한 LET의 SRIM 계산 결과이다. 표에서 보듯이 이온 에너지는 2배 상승할 경우 이온의 침투 깊이는 약 2배 상승하는 반면 N를 He으로 대체 할 경우의 침투깊이가 3배 가량 상승하여 질량 변화가 개질 깊이 상승을 위해 보다 효과적임을 알 수 있다. 또한 N과 He을 조사할 경우 계면의 완화 효과도 있으니 그 효율성은 보다 더 커진다.



<그림 3.2.70 SRIM LET profile: He의 침투 깊이는 N보다 2.5배 가량 크다>

<표 3.2.15. SRIM code 시뮬레이션 결과>

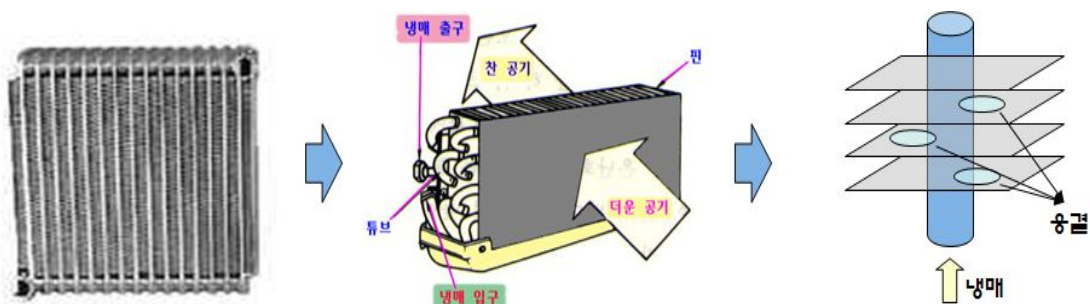
Ion specie	Stopping range according to SRIM	
	100keV	200keV
N	Rp: ~295nm	Rp: ~533nm
	Rmax: ~390nm	Rmax: ~660nm
He	Rp: ~860nm	-
	Rmax: ~990nm	-

• 요약

- 이온빔 조사는 금속 코팅에 비견할 수 있을 정도로 금속광택을 보임.
- 이 금속광택의 기구는 이온빔 조사에 의해 2중 및 3중 bonds 내의 느슨하게 결합된  $\pi$ -electrons 때문으로 사료됨.
- 이온빔의 극 표면 개질 특성으로 태양광하에서 표면의 변색 및 박리 현상은 질량이 큰 이온 및 작은 이온을 동시에 주입함으로 방지가 될 수 있음. 이의 원인은 N 이온 단독 조사에 의해 형성된 계면이 He 이온 조사에 의해 보다 완만하게 되기 때문임.

바. 이온주입기술을 응용한 초친수 표면 개질 개술개발

친수성을 부여하는 방법은 알루미늄 표면에 고분자 도포후 친수처리를 하거나 친수성 세라믹을 증착하는 방법이 주로 사용되었다. 고분자 도포방법은 spin coater나 도장방식을 사용하고 있으면 이후 친수처리는 친수성 고분자를 함유시키는 방법이나 플라즈마처리를 통해 친수성을 부여하는 방법을 사용하고 있다. 또한 세라믹 코팅방법은 주로 친수성 세라믹을 습식방법으로 도포하는 방식을 취하고 있다. 종래 기술 중 열교환기 냉각핀에 고분자를 도포한 후 친수 플라즈마처리한 경우 온습도의 차이에 따른 표면 박리 현상이 발생되며, 이에 의해 친수층이 손실되는 문제점이 있다. 또한, 또한 친수 세라믹코팅시 코팅 초기의 접촉각은 친수성을 나타내지만 시간이 경과함에 따라 친수성이 사라지는 경향을 보이는 문제점이 있다. 고분자 도포나 세라믹코팅의 경우 열손실을 줄이기 위한 냉각핀과 냉매관 사이의 블레이징 공법을 사용할 경우 기존의 친수성 부여를 위한 코팅층이 박리되는 문제점이 발생한다. 코팅층 박리가 일어나는 박막층을 형성하는 방법이 아닌 재료자체의 물성이나 구조를 변화시키는 이온빔을 이용한 표면 처리 방법으로 친수성을 부여하여, 시간의 경과에 따르는 친수성의 소실을 억제하여 열교환기 냉각핀 재료로 사용되는 1공계 알루미늄의 초친수 처리방법을 제공하고자 한다.



<그림 3.2.71 열 교환기 냉각핀에서의 응결현상>

이온빔을 이용한 알루미늄 표면의 친수화 연구에서의 개발목표는 이온빔 조사후 초기 접촉각 10° 이하를 유지할 뿐만 아니라, 고온/고습과 고온/저습의 환경에서 500cycle 내구성 시험 후 25°를 유지하는 것을 목적으로 한다. 그 외 본 연구를 통해 기대되는 효과와 활용계획을 <그림 3.2.72>에 나타내었다.

과제명	이온주입기술을 응용한 초친수 표면개질 기술개발
개발목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 열교환기 냉각핀 기초 소재(AI Al100) 표면개질 기술 확보</li> <li>. 초기 접촉각 : 10° 이하</li> <li>. 내구성 : 고온, 고습 분위기 ↔ 고온, 저습 분위기 (500 Cycle) 이후 25° 이하</li> <li>- Process 기초기술 확보</li> <li>. 경시효과를 억제하는 표면 안정화 기술 개발</li> </ul>
기대효과 및 활용 계획	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 열교환기 냉각핀의 친수성능향상을 통한 표면 오염 방지</li> <li>- 친수 지속성 향상을 통한 표면 특성 유지</li> <li>- 표면 특성 개선을 통한 냉각 효율 향상 및 효율 저하 방지</li> </ul>

<그림 3.2.72 과제 개발목표 및 기대효과 그리고 활용계획>

(1) 개요

- 에어컨 열교환기는 알루미늄 냉각핀과 냉매가 순환할 수 있는 copper 튜브로 간단하게 구성이 되어 있음. 하지만, 냉풍시 더운 공기가 들어가서 냉매를 통해 찬 공기가 바깥으로 나오게 되는데 이때 알루미늄 핀의 온도가 대기 중의 이슬점 온도보다 낮게 되면 수분이 응축 응결현상 발생.
- 이로 인해 냉각효율이 저하되고, 수분제거를 위해 강제 송풍을 발생시킴으로써 해서 여분의 히팅과 노이즈를 발생시키는 문제 발생.
- 이온빔 기술을 적용하여, 일반적인 알루미늄 핀 제작 공정 단계를 줄이고, 친수 내구성을 확보하고자 함.

(2) 실험

- 다양한 이온빔 실험을 통해 최적의 친수내구성을 유지하는 조건을 도출
- 20~40keV/10~20mA급 에너지,  $1 \times 10^{17} \sim 2 \times 10^{18}$  ions/cm<sup>2</sup> 이온조사량
- 접촉각 측정을 통해 표면경시변화 확인
- XPS, SEM 특성분석을 통해 표면친수성에 영향을 주는 인자 확인 후 메커니즘 규명

### (3) 이온빔 장치

본 실험에 이용된 장치는 <그림 3.2.73>에 나타난 듀얼 이온빔 장치로써, 이온원/가속관/진공함/빔 전류밀도 측정장치로 구성되어진다. 이온원의 에너지는 50keV/50mA이며, 가속관의 에너지는 50keV/50mA이다. 본 연구에서는 20~50keV/5~20mA급 에너지를 이용하여 다양한 이온과 조사량을 변화시키면서 실험을 수행하였다.

#### - 실험 조건

에너지 : 20~50keV / 5~20mA

이 온 : N, Ar, O, Xe

조사량 :  $1 \times 10^{17} \sim 2 \times 10^{18}$  ions/cm<sup>2</sup>

챔버 환경 : 일반 진공, 분위기 실험



<그림 3.2.73 이온빔 장치>

### (4) 선행연구결과

본 연구에 앞서 이온빔에 의한 알루미늄 표면의 친수 결과와 이론적 배경을 연구수행하였다. 낮은 표면에너지를 가지는 금속의 산업적 응용의 한계를 극복하고자 표면의 친·소수성 개선 혹은 접착성의 개선을 목적으로 현재까지 다양한 연구가 이루어지고 있지만, 금속의 종류와 실험조건, 대기중에서의 aging effect 등 때문에 뚜렷한 메커니즘은 규명되



지 않고 있지만 몇 가지 가설은 제시되고 있다. 첫째는 이온들의 표면충돌로 인하여 스퍼터링 효과가 유발되고 그로 인하여 표면거칠기가 증가하여 결국 접착되는 면적이 증가한다는 기계적 이론과 표면에 흡착되어 있던 오염물들이 떨어져 나가 표면이 깨끗해져 화학적 결합을 할 수 있는 장소가 증가하여 친수현상이 증가한다는 화학적 이론이 제시되고 있다. 이러한 친수현상을 뒷받침하는 중요한 현상중의 하나는 액체와 고체 계면에서의 젖음(wetting)이다. 액체와 고체 사이의 접촉각이  $0^\circ$ 이거나  $0^\circ$ 에 가까운 값을 가지게 되면 친수현상으로써 표면에 액체가 쉽게 퍼지고,  $90^\circ$  이상의 값을 가지는 비젖음의 경우는 소수현상으로써 액체가 방울 형태로 맺힌다. 이런 젖음의 형태에는 액체 방울이 고체에 부착되는 부착젖음(adhesional wetting)과 각막-콘택트렌즈의 틈을 액체가 침투해가는 침투(immersional)젖음, 그리고 하나의 액체가 고체 표면에 확장되는 확장(spreading)젖음 등이 있다. 젖기 전에는 기체·고체의 표면장력( $\gamma$ )이 존재하고 젖은 후에는 계면이 되므로 계면장력( $\gamma_{LS}$ )이 존재하게 된다. 여기서 표면장력(단위 면적당 표면에너지)은 액체의 자유표면에서 표면을 작게 하려고 하는 작용으로 나타난다. 비누방울이나 액체속의 기포·물방울 등이 구 모양이 되는 것은 이 힘이 액면에 작용하기 때문이며, 용기의 가장자리에 액체가 넘쳐 올라간 모양이 되어 쏟아지지 않는 것도 액체 표면에 장력이 작용하기 때문이다. 일반적으로 액체와 고체의 표면장력은 작은 불순물에도 영향을 받으며, 액체 내부와는 관계 없이 표면 장력의 크기에 기인하는 표면의 독자적인 운동이 나타난다. 따라서, sputtering으로 인한 표면의 오염 제거에 의해서도 표면장력이 증가하기도 한다. 고분자 표면의 젖음 특성은 접착이나 도장을 비롯하여, 분리기능막의 가공, 의복류의 방수가공 등의 분야에 있어서 필수가 되는 기능이며, 고체표면의 기체, 액체를 함유한 어떤 물체에 의해 젖기 쉬움은 고체의 임계표면장력  $\gamma_C$ 를 척도로 하여 정량화 시키고 있다. 이 고체의 임계표면 장력이 이것과 접하는 액체의 표면장력보다도 작을 때에는, 그 액체는 <그림 3.3.112>에서 보이는 것처럼 고체와의 계면에 물방울을 형성한다. 이 때, 측면에서 보는 물방울의 바깥둘레와 고체표면과의 계면에서 만들어진 각도  $\theta$ 를 접촉각(contact angle)이라 부른다.

- 접촉각 (contact angle)

고체 표면 위에 떨어진 액체는 퍼짐의 정도에 따라서 각도를 가지는데 이 각을 평형 접촉각(equilibrium contact angle)이라고 부르며 액체-고체 접촉에서 특성적인 값이다. 접촉각은 고체표면의 젖음성(wettability)를 나타내는 척도로서, 이상적인 면을 가지는 고체에서 액체와 기체사이의 관계는 다음의 식으로 정의가 가능하다.

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos\theta \text{ (Young's equation)}$$

$\gamma_{SV}$  : 고체와 액체사이의 표면장력

$\gamma_{LV}$  : 액체와 기체사이의 표면장력

$\gamma_{SL}$  : 고체와 기체사이의 표면장력

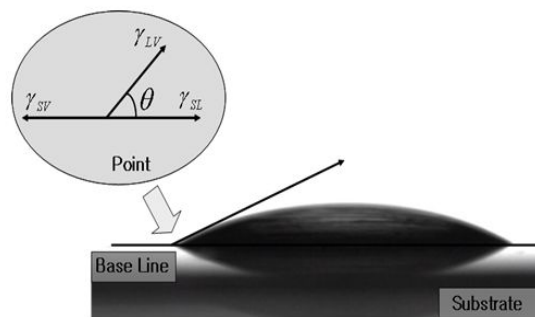
$\theta$  : 고체-액체-기체 경계면에서의 접촉각

낮은 접촉각은 높은 젖음성(친수성, hydrophilic)과 높은 표면 에너지를 나타내고, 높은 접촉각은 낮은 젖음성(소수성, hydrophobic)과 낮은 표면 에너지를 나타낸다.

● Young's equation

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos\theta$$

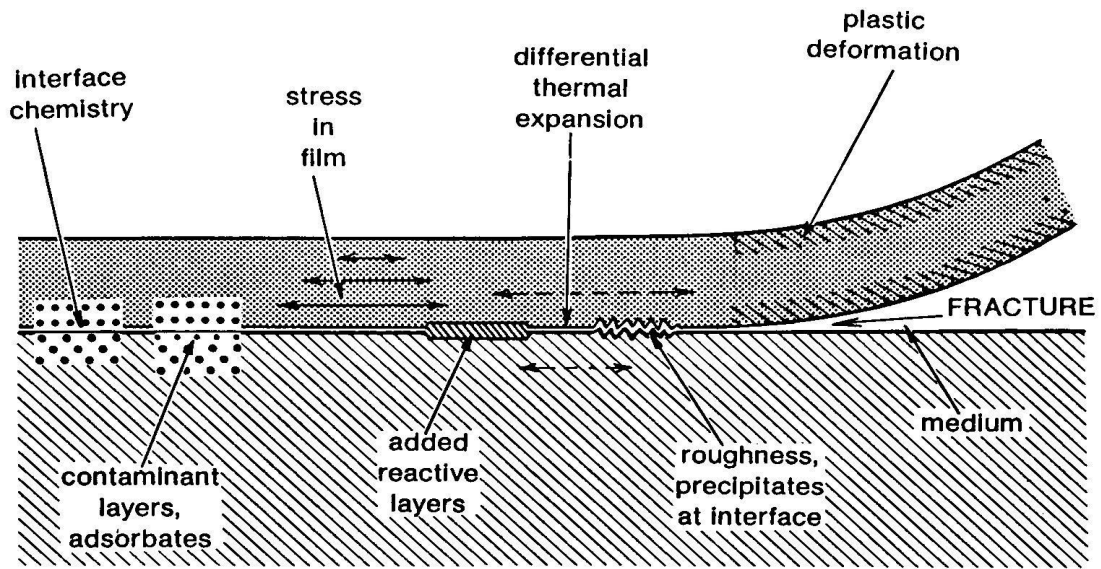
$\gamma_{sv}$  : 고체/기체 표면장력  
 $\gamma_{lv}$  : 액체/기체 표면장력  
 $\gamma_{sl}$  : 고체/액체 표면장력  
 $\theta$  : 접촉각



- $\gamma_{LV}$  값이 고정이면,  $\gamma_{SL}$  값이 감소할수록 친수, 증가할수록 소수
- 고체표면이 압축용력을 가지는 표면에너지가 증가하면 친수

<그림 3.2.74 계면에서의 표면장력>

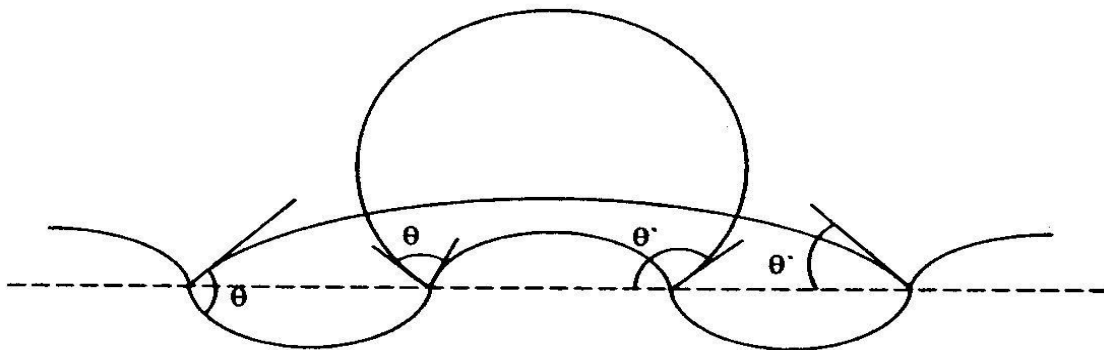
이러한 접촉각의 변화에 영향을 주는 인자들에는 액체와 고체의 화학 조성 및 구조, 강한 반응성을 가지는 radical, 표면거칠기, 모세관 현상 등과 같은 내부 인자와 하중, 온도, 습도, 부식환경 등의 외부인자가 있는데, 이들을 어떻게 조절하는지에 따라 접촉각이 변하게 된다. <그림 3.2.75>는 이와 같이 표면의 친수현상에 영향을 주어 접착력을 변화시키는 인자들을 보이고 있다.



<그림 3.2.75 친수현상에 영향을 미치는 여러 가지 인자>

- 표면거칠기(surface roughness)

거친(roughness) 표면을 갖는 재료에 액체가 형성될 경우, 표면의 불규칙한 요철에 액체가 스며들어 기계적으로 고착되기 때문에 접촉각이 감소하는 현상을 가져온다. 이 때, 접촉각의 감소는 고분자 표면의 거친 정도 및 모양(morphology)에 따라 변화하며 <그림 3.2.76>에 도시하였다. 분자간의 결합에는 Van der Waals force 와 같은 약한 결합력이 주(主)가 되므로 젖음성이 약할 경우, 표면의 거칠기를 증가시키면 접촉각의 감소를 도모할 수 있다. 또한 물리적인 거칠기 뿐만 아니라 화학적인 불 균질성이나 표면에 존재하는 grease 등의 오염물질 제거에 따른 weak boundary layer의 제거효과, 접촉 면적을 증가시키는 효과, wetting 열역학 및 운동 역학의 촉진에 의해서도 접촉각의 변화를 가져온다.



<그림 3.2.76 표면거칠기에 따른 접촉각의 변화>

- 반응성 radical

고분자 표면에 반응성이 강한 radical(OH, CO)의 형성에 의해 접촉각의 변화를 가져온다.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 분자 속의 기 중에서 물 분자와의 사이에 결합을 만들기 쉬운 것</li> <li>• 산소, 질소, 황 등의 원자를 품는 기</li> <li>• 산화알루미늄 등의 세라믹 막</li> <li>• 예 : OH COOH NH<sub>2</sub> CO SO<sub>3</sub>H</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 분자 속의 기로서 물 분자 사이에 결합을 만들기 어려운 것</li> <li>• 벤젠, 파라핀유</li> <li>• 예 : C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub> C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> 탄화수소의 기</li> </ul>
--	--

<그림 3.2.77 친수성기와 소수성기의 특성>

- 온도

접촉각 측정시 외부환경 온도가 올라감에 따라 접촉각은 증가하거나 감소할 수 있다.

- 시간

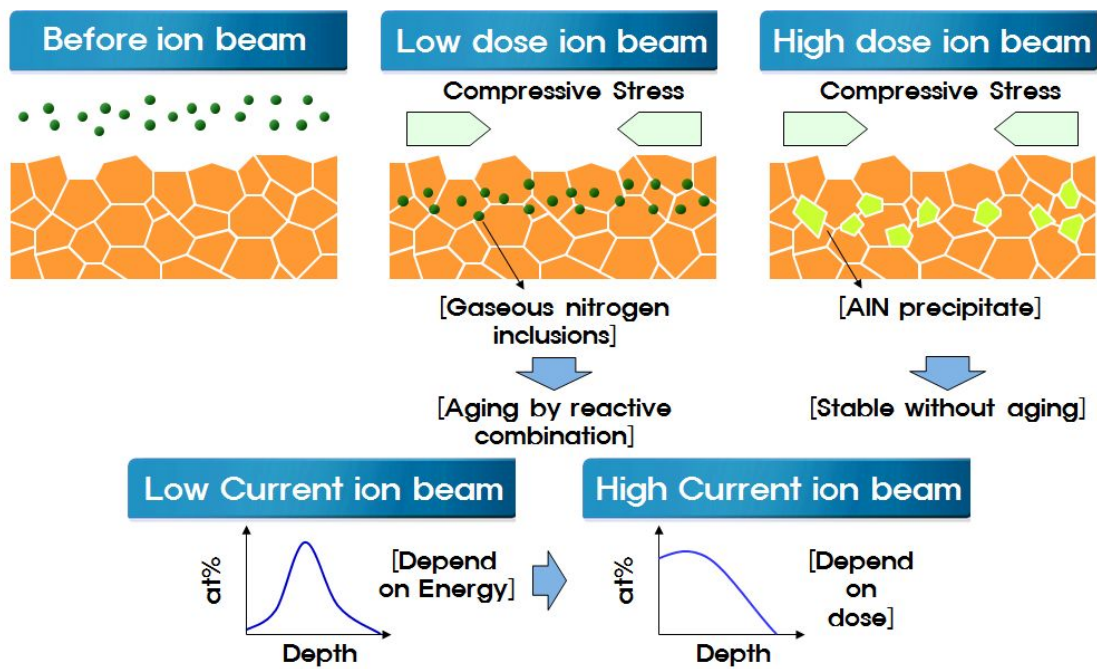
액체의 증발, 액체와 표면 사이의 힘의 변화 혹은 표면에서 용액의 흡수 등이 원인이 되어 접촉시간이 길어질수록 접촉각은 변화한다. 따라서 일정한 시간(수 sec) 이내에 측정하는 것이 바람직하다.

- 물방울 크기

접촉하는 물방울의 크기는 접촉각에 영향을 주는 중요한 매개변수로 작용하고 있다. 물방울의 지름이 작을수록 중력의 영향은 작아지게 된다. 실제 측정에는 일정량의 물방울을 사용하여 균일한 지름의 물방울을 얻어야 한다. 이외에도 고분자 표면의 종류와 형태, 습도 등도 접촉각의 변화에 많은 영향을 끼친다.

- 표면 미세조직 변화

질소 이온이 금속 표면에 조사될 때, 낮은 조사량으로 주입이 될 경우 질소이온은 가스 형태로써 존재하지만 높은 조사량으로 주입이 될 경우에는 주변 알루미늄과 반응하여 AlN 석출물이 형성이 된다. 이때, 낮은 조사량의 경우에는 가스이온 형태로써 존재하여 Aging 현상이 발생하지만, AlN 석출물의 형태로써 존재할 때에는 시간이 지남에도 안정적으로 그 현상을 유지하고 있다. 또한 낮은 전류의 이온빔은 에너지에 의존하여 일정깊이에 많은 이온들이 존재하는 반면 높은 전류의 이온빔을 금속 표면에 조사할 경우 조사량에 의존하여 표면에 많은 이온들이 존재한다. 이러한 현상들이 표면의 친수성에 영향을 줄 것으로 예상된다.

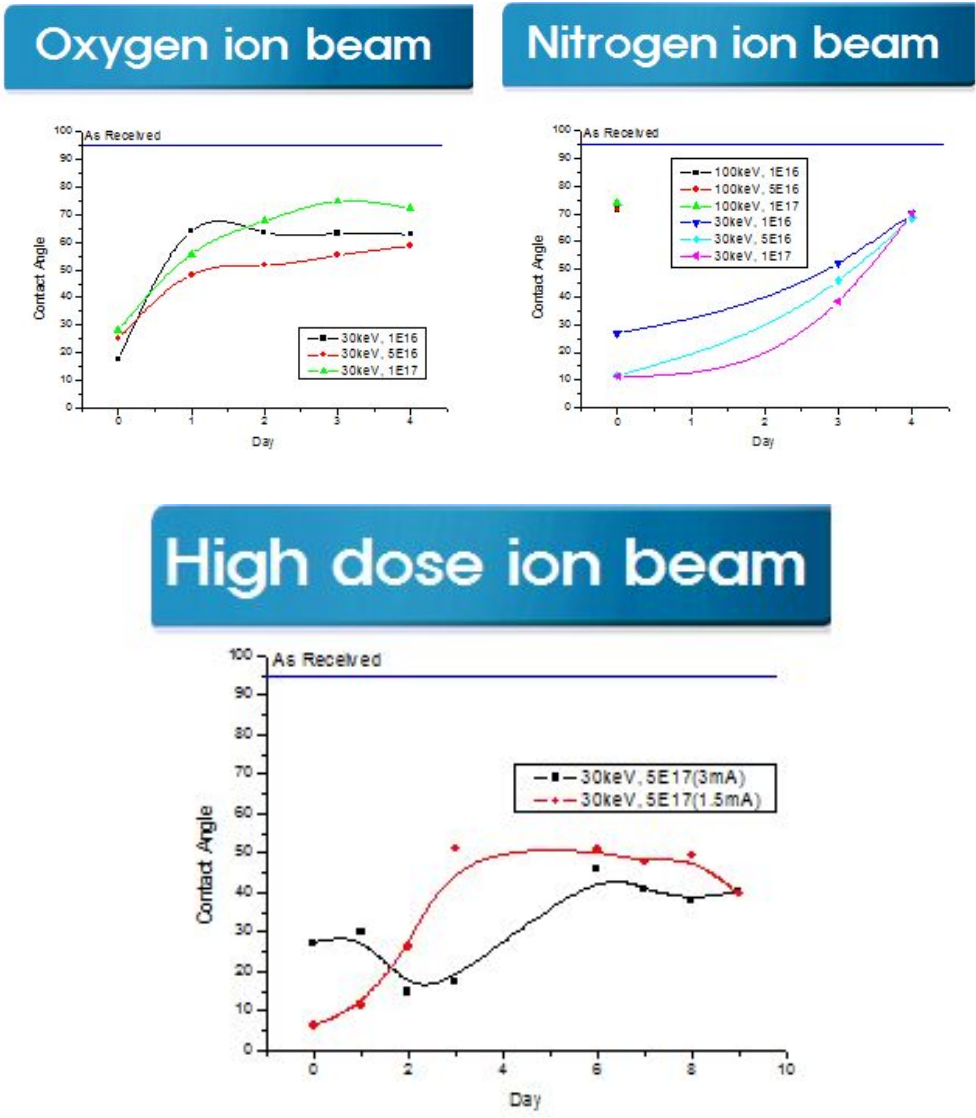


<그림 3.2.78 표면 미세조직의 변화가 친수에 미치는 영향>

- 예비 실험

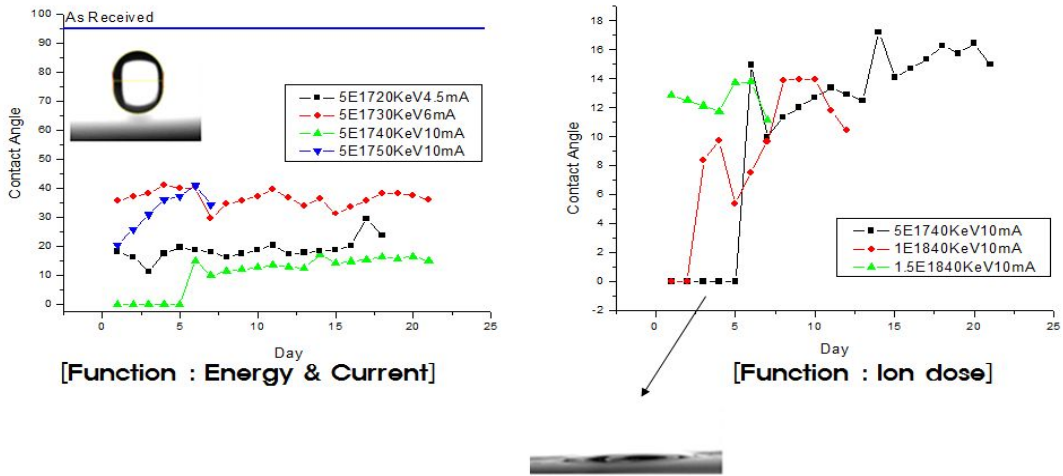
예비실험에서는 산소와 질소 이온빔을 이용한 표면처리를 하였고, 높은 조사량에서의 내구성 변화를 측정하였다<그림 3.2.79>. 실험 직후 접촉각 측정에서는 낮은 접촉각을 보이지만, 시간이 지남에 따라 Aging 현상이 발생하여 서서히 접촉각이 높아지는 것을 알 수 있다. 산소이온주입의 경우에는 주입된 산소이온이 대기중 산소분자와 반응하여 초기접촉각이 질소보다 약간 높다. 또한 질소이온주입의 경우에는 30keV 에너지로 조사할 경우에는 낮은 초기접촉각을 보이지만 100keV 에너지로 조사한 경우에는 높은 초기접촉각을 보이고 있다. 이는 금속 표면에서의 이온분포가 접촉각에 큰 영향을 미치고 있다는 것을 보여주고

있는 것이며, 비교적 높은 조사량으로 이온빔 처리를 한 경우에는 친수 내구성이 낮은 조사량보다 비교적 크다는 것을 알 수 있다. 또한 <그림 3.2.80>과 같이 대전류 이온빔을 이용하여 표면처리를 한 후, 대기중에 노출한 상태에서 내구성 시험을 했을 경우에는 초기접촉각이 거의 0°이고, 에이징 효과도 다른 실험에 비해 좋은 결과를 나타내었다. 선행연구에서 나타난 최적 공정조건은 질소이온/40keV/5×10<sup>17</sup>~1×10<sup>18</sup>ions/cm<sup>2</sup>의 조건으로 10mA 이상 대전류 이온빔을 조사했을 때 가장 좋은 결과를 나타내었고 이를 토대로 해서 본 연구 과제를 수행하고자 한다.



<그림 3.2.79 선행연구결과 I >

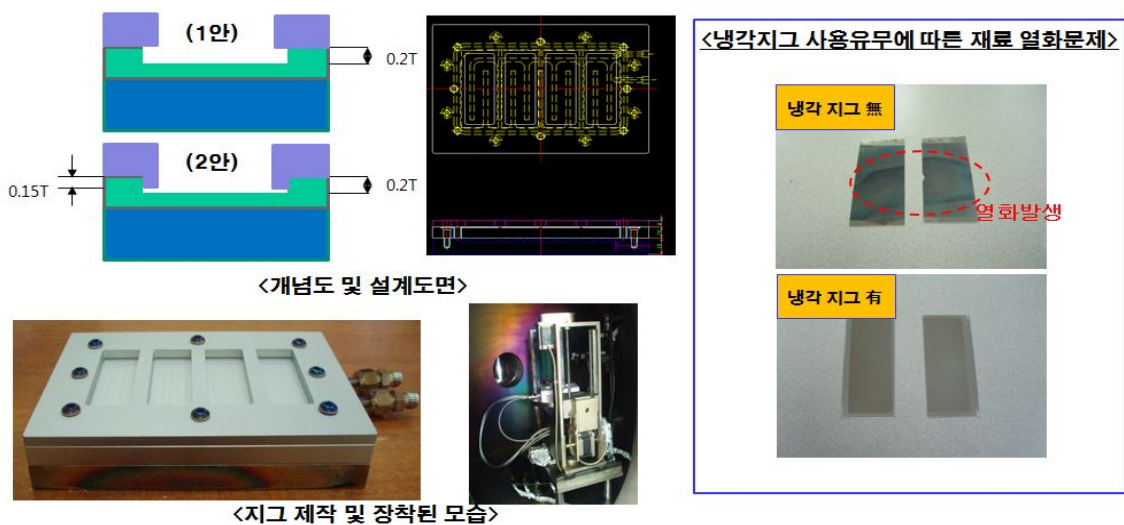
## High Current ion beam



<그림 3.2.80 선행연구결과 II>

### (5) 냉각지그 제작

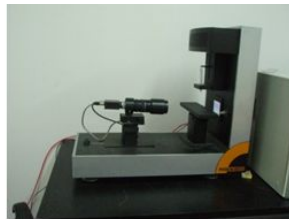
대전류 이온빔을 조사함으로써 인해 재료표면의 열화문제가 발생하였고 이를 해결하고자 냉각지그를 <그림 3.2.81>과 같이 설계 제작하였다. 냉각지그 사용유무에 따라 재료의 열화 상태를 비교하였다. 하지만, 냉각지그를 사용한 후 초기 접촉각은 20°이하 결과를 얻었지만, 내구성 평가에서는 냉각지그를 사용하지 않은 시편보다 에이징이 심한 편이다. 이는 Irradiation Enhanced Diffusion효과를 얻지 못하기 때문이라 예상된다.



<그림 3.2.81 냉각지그 제작>

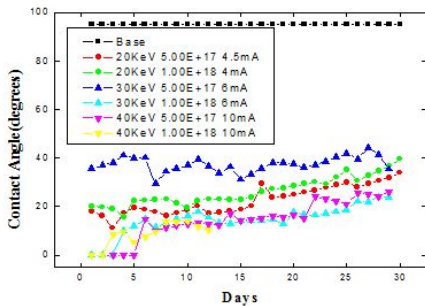
(6) 접촉각 측정

여러 가지 공정조건을 변화시키면서 이온빔 실험을 수행한 후, 접촉각을 측정하였다. 접촉각 측정에 있어서 5회 횡수의 평균값을 결과값으로 하고 한 개의 샘플당 30일을 대기중에서 측정하였다. 이와 관련된 결과값을 <그림 3.2.82>에 나타내었다.

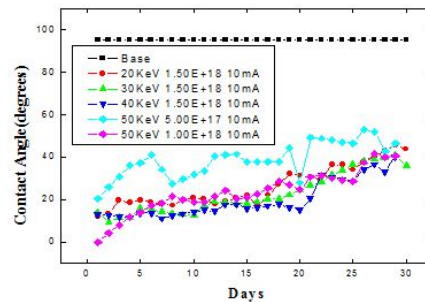


**접촉각 측정**

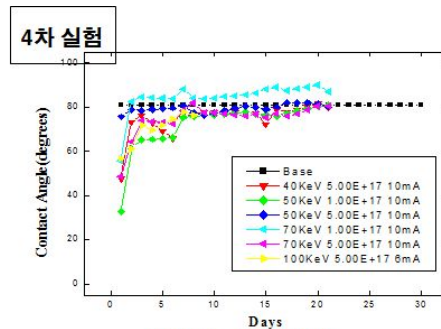
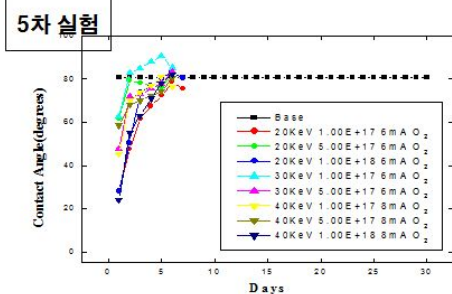
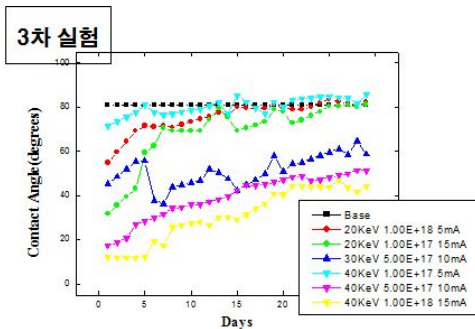
- Needle : 27gauge(0.4064mm, 0.01cc)
- 5회 횡수의 평균값
- 30일 측정 / 샘플



- 1차 실험**
- 20keV / 4.5mA / 5E17 / 1E18
  - 30keV / 6.0mA / 5E17 / 1E18
  - 40keV / 10 mA / 5E17 / 1E18



- 2차 실험**
- 20keV / 10mA / 1.5E18
  - 30keV / 10mA / 1.5E18
  - 40keV / 10mA / 1.5E18
  - 50keV / 10mA / 5E17 / 1E18



- 3차 실험**
- 20keV / 5mA / 1E18
  - 30keV / 10mA / 5E17
  - 40keV / 5mA / 1E17
  - 10mA / 5E17
  - 15mA / 1E18
- 4차 실험**
- 40keV / 10mA / 5E17
  - 50keV / 10mA / 1E17 / 5E17
  - 70keV / 10mA / 1E17 / 5E17
  - 100keV / 6mA / 5E17 / 1E18
- 5차 실험**
- 20keV / 5 mA / 1E17 / 5E17 / 1E18
  - 30keV / 10 mA / 1E17 / 5E17 / 1E18
  - 40keV / 10 mA / 1E17 / 5E17 / 1E18
  - 100keV / 6 mA / 5E16
  - 50keV / 20keV / 5E16 (polymer 코팅) / Xe

<그림 3.2.82 접촉각 측정결과>



(7) XPS 분석

질소 이온빔 처리된 알루미늄 표면의 친수특성을 확인하기 위해 XPS를 분석하였다. <그림 3.2.83>은 논문에 게재된 대표적인 AlN 형성시의 peak를 나타낸 것으로 Al/AlN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 3가지 peak가 나타난다. 여러 가지 조건으로 수행된 질소 이온빔 처리된 샘플의 XPS분석 결과를 <그림 3.2.83~3.2.85>에 나타내었고, <그림 3.2.83>는 초기접촉각이 초친수 경향을 보이는 것이고, <그림 3.2.84>과 <그림 3.2.85>는 약친수 경향을 보이는 샘플을 분석한 결과이다. 이때, 초친수를 보이는 샘플의 AlN 두께를 계산해보면 약 1.2 $\mu$ m/cm<sup>2</sup>이고 약친수를 보이는 샘플의 AlN 두께는 약 240~300nm정도를 보이고 있다. 이러한 결과를 통해 질소 이온빔 처리된 알루미늄 표면의 친수특성에 영향을 주는 것은 AlN 석출물의 형성이라 예상할 수 있다. 또한 AlN이 어떻게 물과 반응하여 젖음성을 좋게 만드는지는 <그림 3.2.86>에 나타낸 가수분해 반응으로 설명이 가능하다.

◆ Surface and Coating Technology 102(1998) 168-174

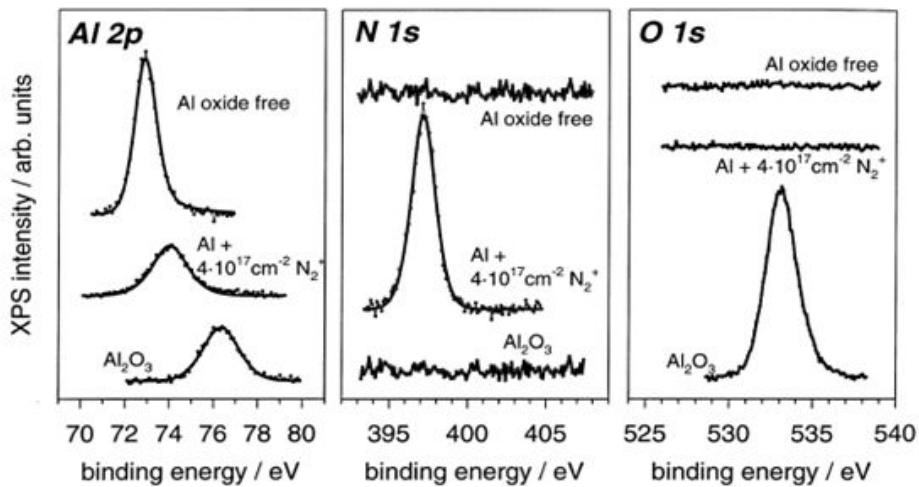
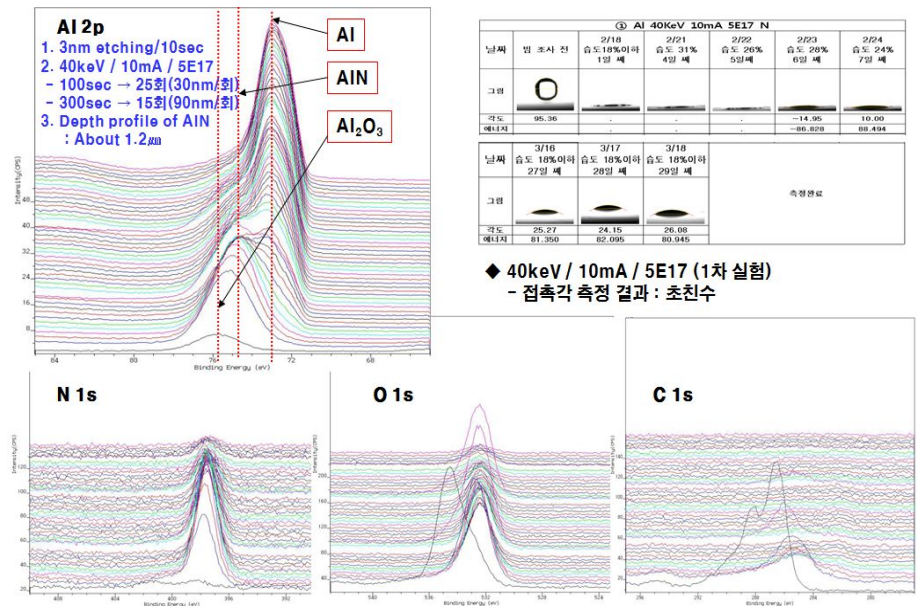


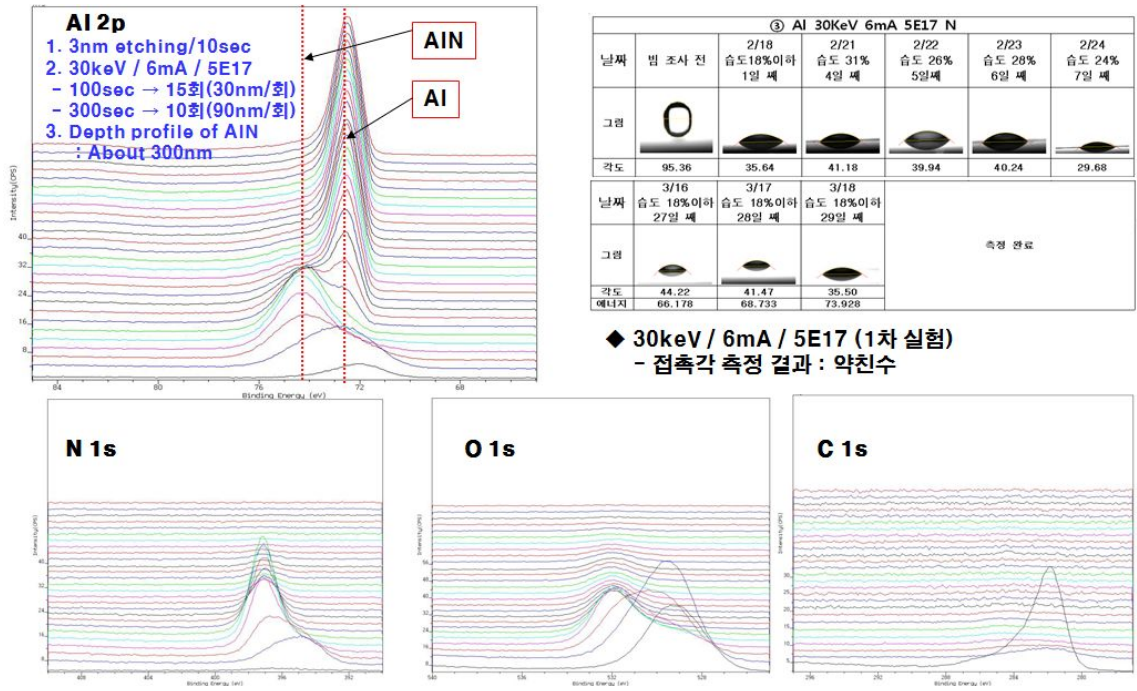
Fig. 1. Al2p, N1s and O1s XPS detail spectra of different aluminium compounds.

1. Al 2p : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(76eV) → Al+N<sub>2</sub><sup>+</sup>(74eV) → Al oxide free(73eV)

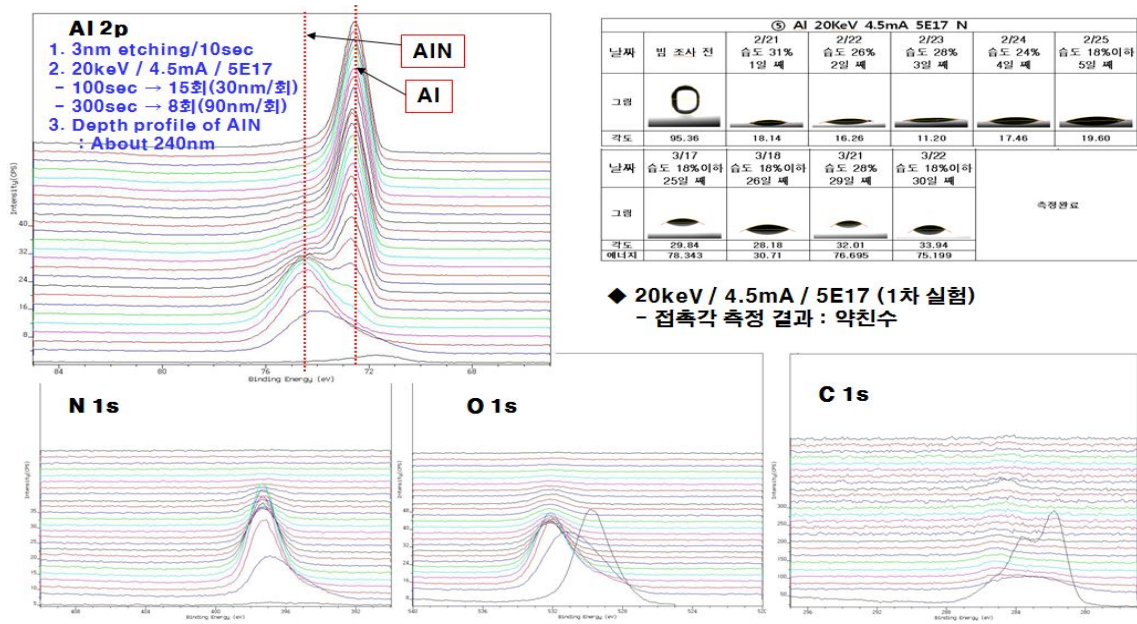
<그림 3.2.83 XPS 분석 Reference>



<그림 3.284. 초친수 특성 샘플의 XPS 분석>



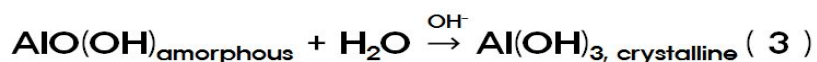
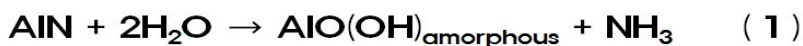
<그림 3.285 약친수 특성 샘플의 XPS 분석>



<그림 3.2.86 약친수 특성 샘플의 XPS 분석>

(1)식에 의해 표면에 형성된 AlN층이 대기중의 습기와 만나게 되면 Bohemite (AlO(OH), amorphous)가 형성이 되고 이때 생성된 암모니아에 의해 암모늄이온과 OH기를 생성하게 된다 ((2)식). (2)식에 의해 생성된 OH기가 촉매작용을 하여 Bohemite와 습기가 만나는 환경에서 Bayerite(Al(OH)<sub>3</sub>, crystalline)를 형성하게 된다. (참고문헌 : J. Am. Ceram. Soc., 83 [1] 41 (2000)) 이러한 반응에 의해 생성되는 Bohemite는 초친수물질이며, Bayerite 또한 친수물질이다.

### Mechanism and kinetics of the hydrolysis reaction of AlN

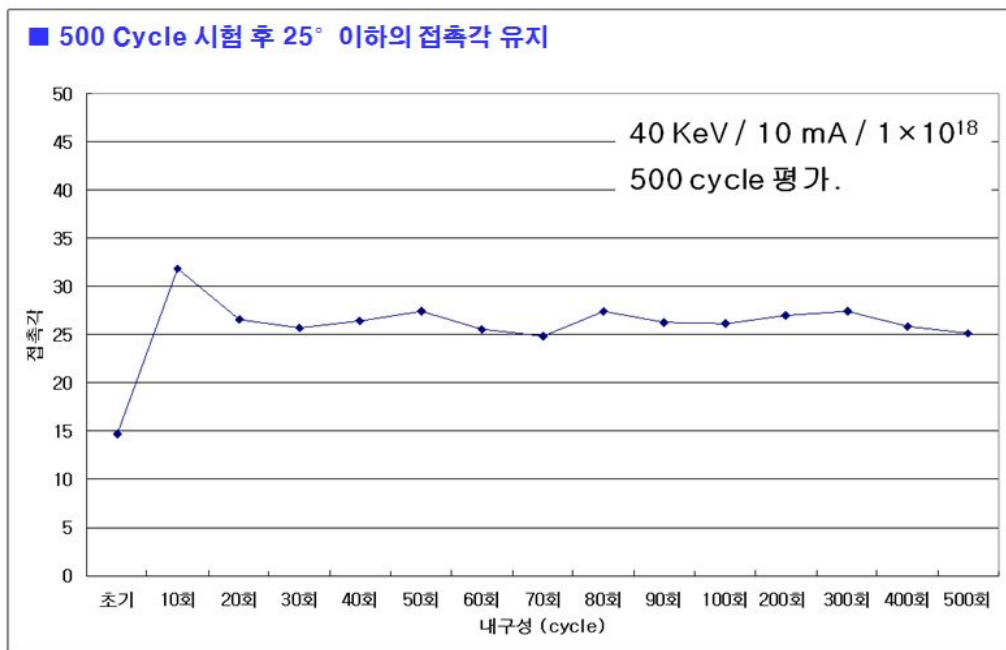


<그림 3.2.87 AlN의 가수분해 반응>

(8) 내구성 시험

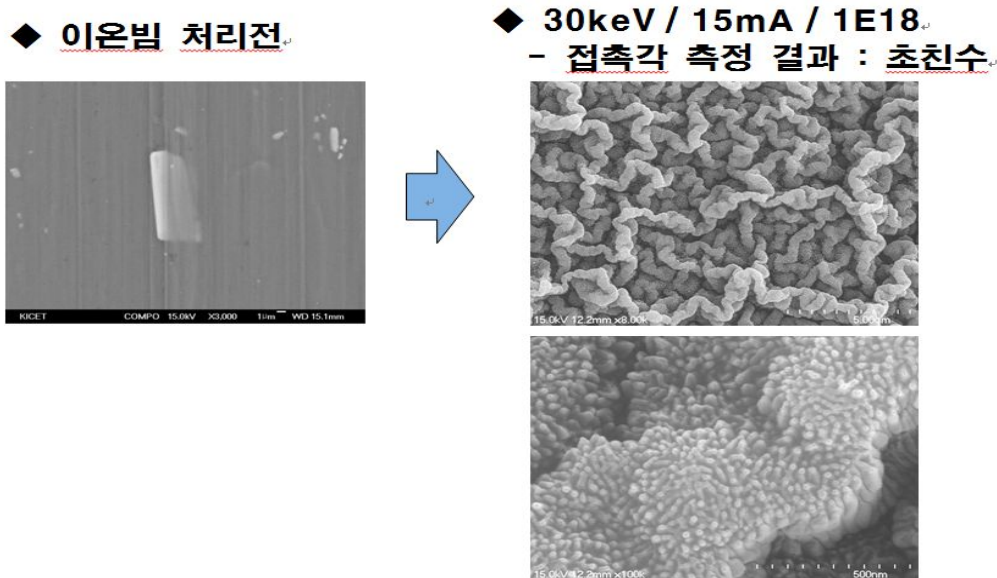
실험실에서 이루어지는 접촉각 측정은 대기 조건하에서 시간의 흐름에 따라 친수성이 얼마나 유지되는지를 확인해보는 것 이지만, 매우 장시간이 소요되며 에어컨이나 필터등과 같이 열악한 환경과는 많은 차이를 보인다. 이에, 고온다습/고온저습 한 환경을 지속적으로 변화시키면서 친수 내구성을 확인해볼 필요가 있다. 이에 초친수 경향을 지니는 샘플을 내구성 시험을 통해 어떻게 변화하는지 확인하였고, <그림 3.2.88>에 나타내었다. 그 결과 빔 조사후 초기 접촉각이 15°정도를 지니는 샘플은 내구성 시험을 완료한 후 접촉각을 재측정한 결과 25° 정도를 유지하였고, 이때 샘플을 처리한 이온빔의 조건은 40keV/10mA/1×10<sup>18</sup>ions/cm<sup>2</sup> 이다. 이온빔 조사전 표면접촉각은 80도를 나타내고 있으나 이온빔 처리시, 1×10<sup>18</sup>ions/cm<sup>2</sup>에서는 초친수 특성을 나타내고 있으며, 30keV의 경우, 시간에 따라 표면경시현상이 일어나 약 40도까지 접촉각이 증가하는 현상을 보였다. 이러한 현상은 오랫동안 대기중 방치에 의해 초친수 물질인 Bohemite가 친수물질(접촉각 30-40도)인 Bayerite로 변화하여 접촉각이 증가한 것으로 보인다. 이에 비해 40keV의 경우 초친수값을 계속 유지하고 있다. 이러한 이유는 에너지가 높아짐에 따라 표면 melting에 의한 나노 Fabric구조가 안정하게 형성됨으로서 초친수 특성을 유지하고 있는 것으로 보인다.

또한, 열교환기에 사용하기 위한 환경분위기에서 친수지속성 시험을 수행하였다. 친수지속성 시험은 처리된 냉각판을 냉각판(10℃)에 고정하고 가습조건은 40℃, 70%, 제습조건은 30℃, 20%로 하여 1cycle을 10분으로 하여 500cycle까지 시험하여, cycle 변화에 따른 접촉각의 변화거동을 관찰하였다.



<그림 3.2.88 내구성 시험결과>

열교환기 냉각핀 재료인 알루미늄에 20keV 이상의 에너지로 또한,  $5 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup> 이상의 고 이온조사량으로 질소이온빔 처리를 할 경우 표면에서의 fabric 형태의 나노구조가 형성되는 것을 관찰하였다.



<그림 3.2.89 이온빔 조사시 표면 나노구조 형성 (SEM)>

이러한 표면 나노구조의 형성은 고이온량 질소이온빔 처리시 Al 표면의 melting으로, molten Al이 형성된 후 조사되는 질소이온에 의해 극표면에 AlN층이 형성되고 모재인 Al과 초기 형성된 AlN층과의 응력차이에 의해 표면crack이 발생되며 발생된 crack 자리에 dense한 columnar AlN이 성장하게 된다. 그 후 안정한 columnar AlN층이 성장한 후 Ion bombarding 또는 stress에 의해 porous한 granular AlN층이 형성된다.(관련문헌 : Surface and Coatings Technology 86-87 (1996) 622) 이러한 나노구조의 생성은 표면의 모세관현상을 유발하여 알루미늄 표면의 초친수성을 부여할 수 있다. 관련문헌의 경우, 낮은 에너지 (300eV)에너지로 질소 이온빔으로 처리한 경우 생성된 AlN층은 dense한 columnar, porous한 granular로 구성된 2층 구조를 나타내게 된다. 그러나 본 기술에서는 에너지가 20keV 이상이므로 Ion bombarding 또는 stress가 더 커, porous한 granular AlN층이 더 많이 생겼을 가능성이 있다. 또한 이러한 친수효과를 주는 모세관현상과 AlN층을 형성하는 표면을 가정할 경우, 일정한 거칠기를 가지는 친수표면에서의 거시적 친수향상효과는 Wenzel 모델로 설명할 수 있다. 즉 친수표면을 가지는 평면 접촉각이 90도보다 작으면 겉보기 접촉각은 더 작아지게 된다. 따라서, 열교환기 냉각핀재료에 사용되는 알루미늄에 질소이온빔 조

사에 의한 초친수 표면형성 메커니즘은 AlN층 형성에 의한 초친수물질인 Bohemite와 Bayerite 형성, 표면 나노 Fabric구조 형성에 의한 모세관 효과, 일정거칠기를 가지는 친수 표면에서의 결보기 접촉각 감소 현상(wenzel 모델)이 복합적으로 발생하여 초친수 표면을 구현할 수 있다.

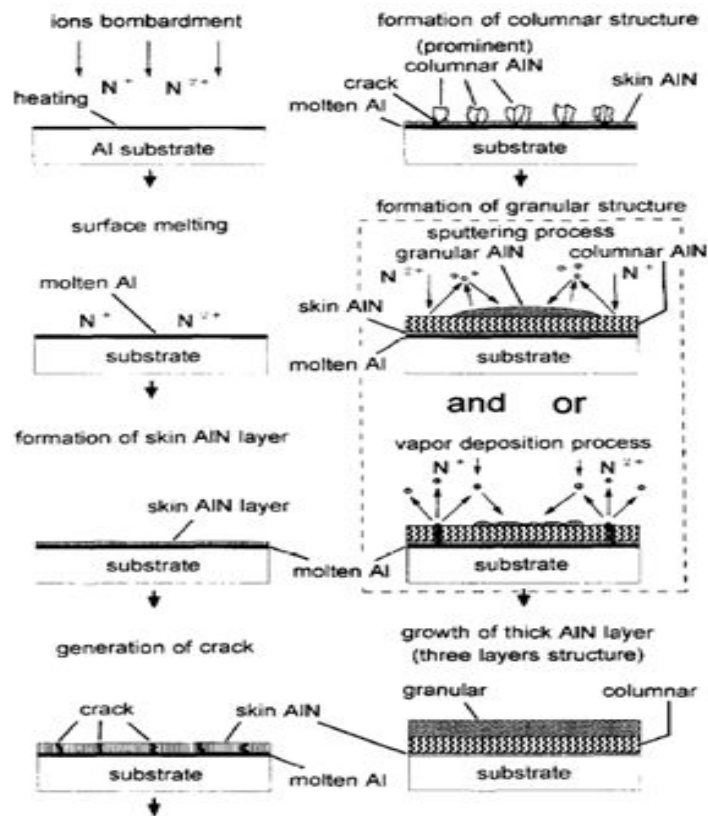


Fig. 8. Suggested formation mechanism of the AlN layer using the ECR plasma process.

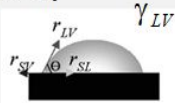


### Nitrogen plasma에 의한 AlN 형성 메커니즘을 추론

1. Al 표면의 melting으로, molten Al 형성 후 극표면에 AlN형성
2. Al과의 응력 차이로 인한 crack 발생되며 dense한 columnar AlN 성장
3. Ion bombarding 또는 stress에 의해, porous한 granular AlN 성장

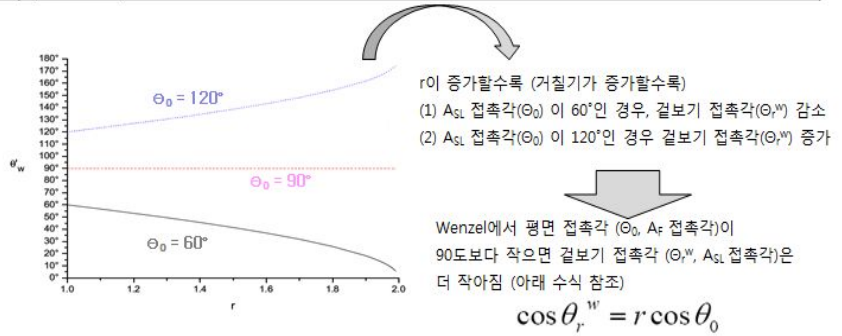
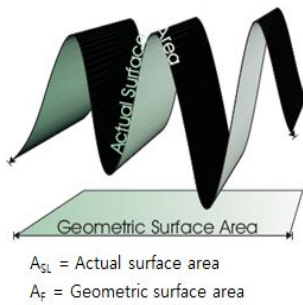
결론

- Plasma에 의한 AlN은, dense한 columnar, porous한 granular 2층 구조임
- Ion bombarding 또는 stress가 더 큰 이온빔의 경우, porous한 granular AlN 이 더 많이 생겼을 가능성이 있음

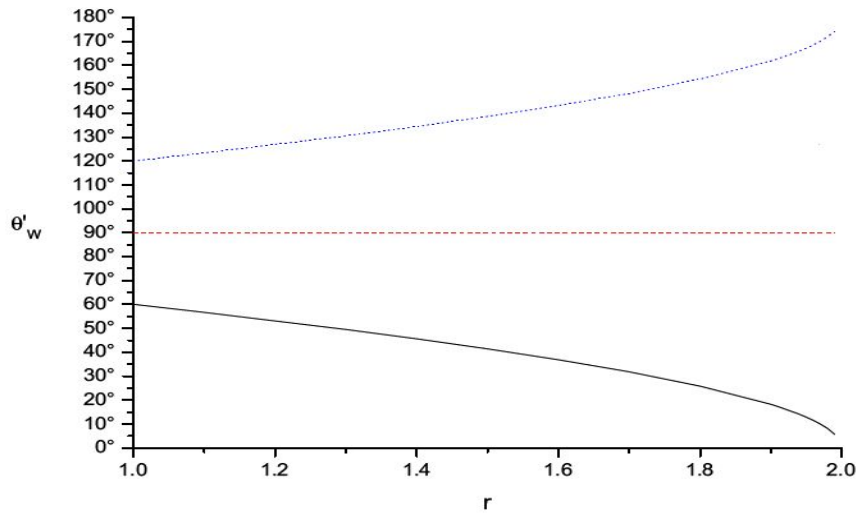
<그림 3.2.90 이온빔 조사시 표면 나노구조 형성 메커니즘>

Plat surface	Micro/nano-roughness	
Young's equation $\cos \theta_0 = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LV}}$ 	 Wenzel : wet	$\cos \theta_r^w = r \cos \theta_0$ $r = \frac{A_{SL}}{A_F}$
	 Cassie : non wet	$\cos \theta_r^c = f_s(1 + \cos \theta_0) - 1$ $f_s = \frac{A_{SL}}{A_C}$

**\* Wenzel model**



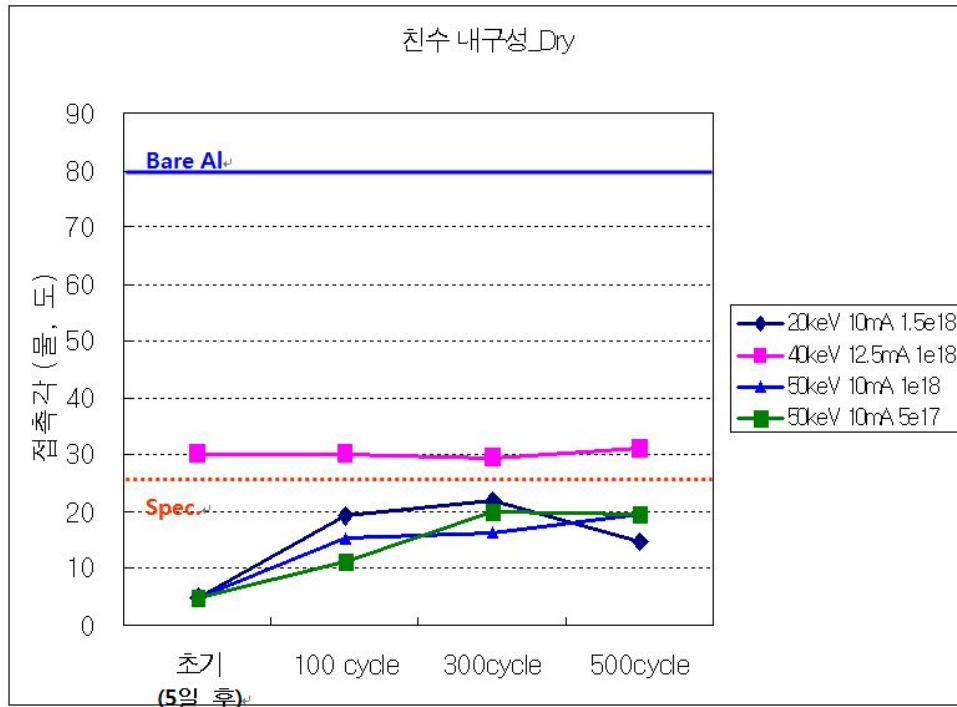
<그림 3.2.91 표면 거칠기에 따른 친수 메커니즘>



<그림 3.2.92 평면접촉각이 90도 이상/이하인 경우 표면거칠기의 증가에 따른 결보기 접촉각의 변화>

또한, 질소이온빔 처리후, 산소+아르곤 플라즈마를 5분 동안 처리한 후, 친수 지속성을 관찰한 결과, 20도 이하의 접촉각을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는, 산소 플라즈마에 의해 표면에서의 Bohemite의 형성이 용이하여 표면친수성을 부여하는 것으로

판단된다. 이러한 초친수 표면처리 결과를 바탕으로 열교환기 냉각핀에 적용함으로써, 표면에 박막층을 형성하지 않아 표면 박리에 기인한 친수성 상실을 방지하고, 시간의 경과에도 접촉각의 변화를 최소화하여 시간 경과에 따른 친수성 소실을 억제하며, 냉장고 및 에어컨 열교환기 냉각핀의 친수성을 부여하여 실내공기의 열교환을 원활히 함으로써 장시간 사용에도 냉각능과 에너지 효율을 향상시킨 열교환기를 개발할 수 있다.



<그림 3.2.93 질소이온빔 조사+산소플라즈마 처리에 의한 친수지속성 시험>

사. 유색보석 발색기술 개발

(1) 양성자 조사

Tandem 가속기를 이용하여 2 MeV 양성자 빔을  $1 \times 10^{16} \sim 5 \times 10^{16}$  ions/cm<sup>2</sup>로 다이아몬드에 조사 한 결과 녹색 색상으로 발색되었으나 주입된 이온 량이 낮아질수록 색상의 농도가 묽어져서 보다 상업성은 있음이 확인되었다. 그러나 CCTV를 통해 초기 조사시에 보였듯이 청색 다이아몬드는 이번 실험에서는 얻어지지 않았다. 향후 이 부분에 대한 연구는 더 낮은 이온조사량으로 조사하여 진행할 필요가 있다.

(2) 금속이온 조사

금속이온빔 장치를 이용하여 90keV Fe<sup>+</sup> 빔을  $1.6 \times 10^{17}$ /cm<sup>2</sup>로 사파이어에 조사 후 열처리 전후 발색 변화 관찰하였다. 이때 사용된 금속이온빔 장치의 Fe 이온빔 인출 및 조사조건



은 다음과 같다.

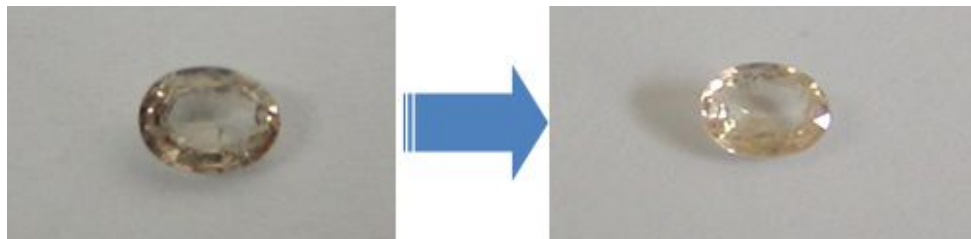
- Fe compound :  $\text{FeCl}_2$  (99.9%, powder)
- Crucible Current/Temp. : 70A/400°C
- Arc P/S Voltage/Current : 150V/0.3-0.4A
- Mass separation magnet Current : 11.6~12.1A (~2600Gauss)
- Extraction Voltage/Current : 9~10kV/4~6mA
- Acceleration Voltage/Current : 80~81kV/0.5~0.8mA
- MQD(x-axis) Current : 1~1.2A
- Electrostatic Scanner Condition : 1kHz 삼각파,  $\pm 3\text{kV}$

위의 Fe 이온빔 조사조건으로 15시간 처리한 후 ( $1.6 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ ), 950°C에서 공기 중에서 5시간 열처리한 결과 균일한 주황색으로 발색되는 것을 <그림 3.2.94>에 나타내었다. 또한 주황색 사파이어는 태국 유색보석시장에서 시장성 조사를 한 결과, 상업성이 있는 것으로 조사되었다.



<그림 3.2.94 90keV  $\text{Fe}^+$  을  $1.6 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ 로 사파이어에 조사 후 열처리 전후 발색 변화>

<그림 3.2.95>는 100keV Mn 을  $1 \times 10^{17}$ ions/ $\text{cm}^2$ 로 사파이어에 조사 후 열처리 전후 발색 변화를 관찰한 것이다. Mn은 다른 이온과는 달리 약간 진한 갈색을 보였으나 950°C에서 공기중 5시간 열처리를 한 결과 색상이 옅어 졌으며 보다 균일하게 변하고 있다.



<그림 3.2.95 100keV Mn 을  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ 로 사파이어에 조사 후 열처리 전후 발색 변화>

<그림 3.2.96>는 90keV  $\text{Co}^+$  이온빔을  $1.6 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ 로 사파이어에 조사 후 열처리한 결과

에 대한 사진이다. 사진에서 보듯이 인조사파이어 이온빔 조사에 의한 발색 거동은 천연 사파이어와 크게 다르지 않다.



인조 2.8 ct

인조 2.8 ct

천연 1.1 ct

<그림 3.2.96 90 keV Co<sup>+</sup>을 이온조사량 1.6×10<sup>17</sup>ions/cm<sup>2</sup>로 사파이어에 조사 후 열처리한 발색사진>

아. 기타 이온빔 공정에 의한 산업적 신소재 및 부품 기능향상 연구개발

(1) 마이크로스피커 진동판 음량 제어기술개발

가. 진동판에 이온빔 믹싱을 이용한 코팅

진동판 전체의 텐션을 강화할 목적으로 코팅할 물질도 세라믹이나 메탈같이 기존 폴리머 진동판보다 훨씬 Stiffness가 강한 물질을 사용하였다. 본 과제에 사용된 코팅 물질은 SiC와 구리이며 폴리머는 Polyimide와 Polypropylene Sulfide이다. 사용된 폴리머 진동판의 두께는 Polyimide의 경우 20, 25, 30 마이크로미터이고 Polypropylene Sulfide의 경우 20마이크로와 25 마이크로미터이었다. SRIM코드를 통해 질소이온의 에너지에 따른 투과깊이를 예측하고 그에 따라 코팅의 두께를 조절함으로써 코팅물질과 폴리머 표면에 접합력을 향상시켰다. SiC의 경우 질소의 에너지가 70 keV 일 경우 약 120 nm의 투과 깊이를 가졌고 100 nm씩 코팅과 이온빔 주입을 반복함으로써 1 마이크로 두께까지 접합력에 아무 문제가 없음을 알아냈다. 접합력 테스트는 강력한 접착테이프를 코팅표면에 강하게 밀착시킨 후 인위적으로 탈착함으로 행해졌다. 테스트 결과 테이프에 코팅물질이 묻어나지 않았다. 하지만 이온빔믹싱을 하지 않았을 경우 코팅물질은 폴리머 표면에 잘 붙어있지 않음을 확인 할 수 있었다.

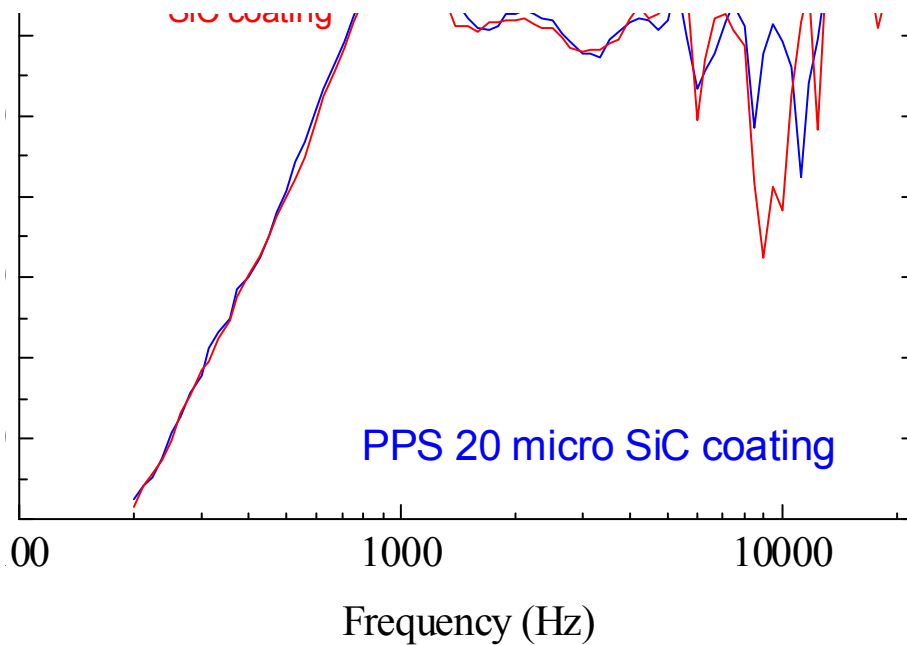
구리의 경우도 SiC의 경우와 같이 먼저 SRIM코드를 통해 질소이온의 에너지에 따른 투과깊이를 예측한 후 코팅을 실시하였으며 0.5 마이크로의 두께까지 강한 접합력을 가지는 코팅을 만들 수 있었다.

### 나. 진동판에 이온빔 주입

질소 이온을 폴리머 표면에 직접 주입함으로써 폴리머의 Stiffness를 변화시킬 수 있었다. 사용한 장비는 정읍방사선 연구소에 있는 200 keV 질소 이온빔 조사 장치였다. 주입한 이온조사량은  $5 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup> 와  $1 \times 10^{18}$  ions/cm<sup>2</sup> 이었다. 원자력연구원에 있는 20 MeV 양성자 가속기를 이용해 양성자를 진동판에 투과시킴으로 진동판에 특성을 변화시켰다. 입사된 에너지는 15.8 MeV 이고 주입한 양성자의 양은  $3.13 \times 10^{13}$ /cm<sup>2</sup> 이다.

### 다. 진동판에 이온빔 믹싱을 이용한 코팅

<그림 3.2.97>은 Polypropylene Sulfide 20 micro 두께의 진동판에 SiC를 1 micro로 ion beam mixing을 통해 코팅한 진동판과 아무처리도 하지 않은 진동판을 비교한 것이다.

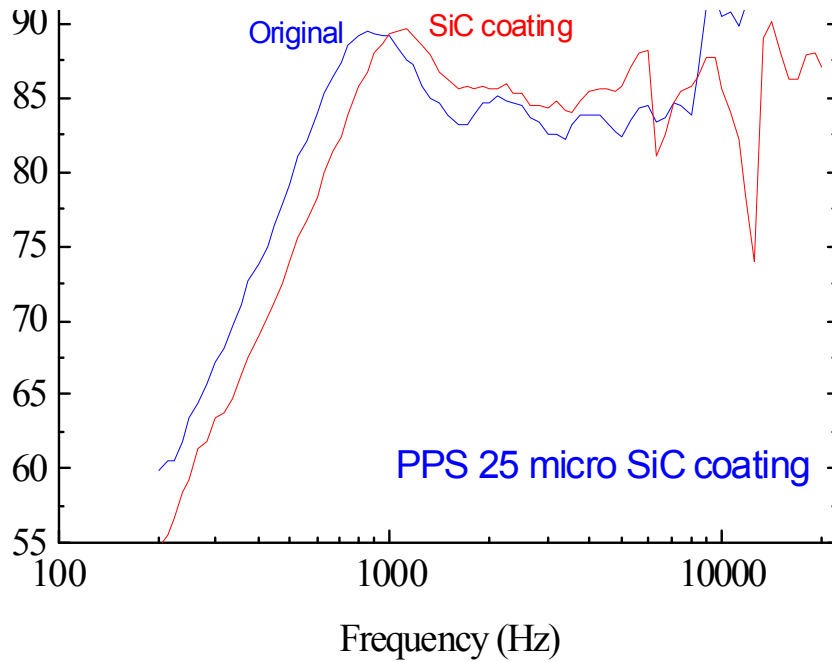


<그림 3.2.97 SiC를 PPS 20 micrometer 두께의 진동판에 증착한 후 음압테스트 결과>

붉은 색은 SiC 코팅을 한 진동판에 대한 음압이며 파란색은 아무처리도 하지 않은 진동판에 대한 음압이다. 1000 Hz 미만의 저음역대에서는 아무처리도 하지 않은 진동판과 비슷한 음압보이고 있으나 10 kHz 근방의 고음역대서 원래 진동판에서 생기던 deep이 조금 저음역대로 이동하였으며 deep의 크기도 더 깊어진 것을 볼 수 있다.

Polypropylene Sulfide 25 micro 두께의 진동판에 SiC를 1 micro로 이온빔 믹싱을 통해

코팅했을 경우에 대한 음압의 변화는 <그림 3.2.98>에 나와 있다.

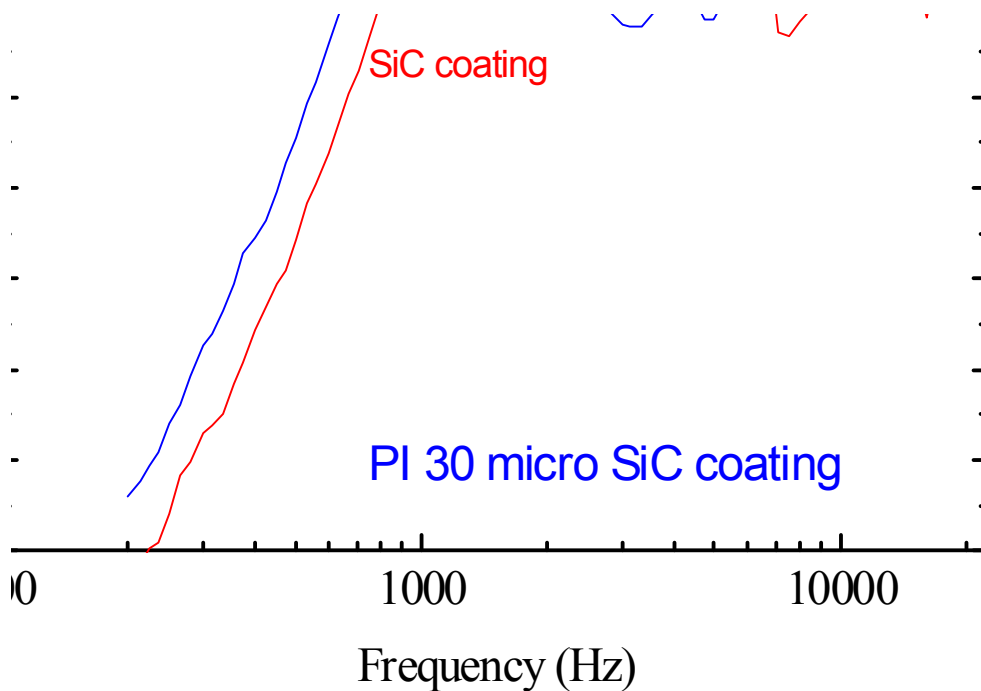


<그림 3.2.98 PPS 25 micrometer 두께의 진동판에 SiC를 약 1 micrometer 정도증착한 후 음압테스트 결과>

마찬가지로 원래의 진동판에 대한 음압은 파란색, SiC 코팅한 진동판에 대한 음압은 붉은 색으로 표시 되었다. Polypropylene Sulfide 20 micro 두께의 진동판에 SiC를 1 micro로 코팅했던 경우와는 달리 고유진동수가 고음역대로 이동한 것을 볼 수 있으며 결과적으로 저음역대에 음압이 낮아지게 됨을 알 수 가 있다. 그리고 10 kHz 이상에서 deep이 생김을 관찰할 수 있었다. 이것은 현재의 개발방향과는 정반대로 악화된 모습을 나타낸다.

Polypropylene Sulfide와 다른 재질인 Polyimide계열에 대한 진동판에 SiC 코팅을 해서 음압을 측정한 데이터를 보았을 때 Polypropylene Sulfide 25 micro 두께의 진동판과 유사하게 진동판의 고유진동수가 고음역대로 이동한 것을 볼 수 있다<그림 3.2.99>.

진동판의 두께는 Polyimide 30 micrometer였으며 10 kHz 근방에 큰 deep은 발견되지 않았다. 하지만 진동판의 고유진동수가 고음역대로 이동함으로써 저음역대의 음압상승효과는 달성할 수 없었다. 그러나 고유진동수 부근의 음압은 약간 상승됨을 볼 수 가있었고 10 kHz 미만의 고음역대에서는 음압이 약간 상승됨을 볼 수 가 있었다.



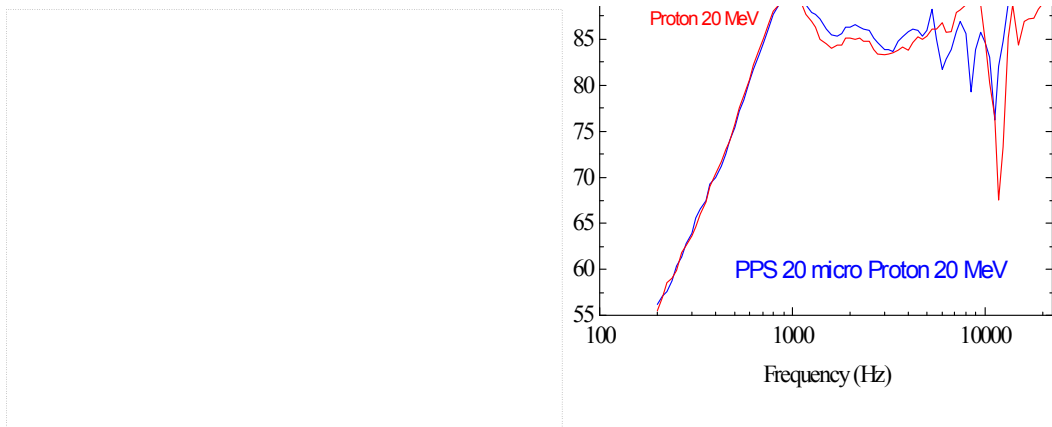
<그림 3.2.99 Polyimide 재질로 된 30 micrometer의 두께의 진동판에 SiC를 코팅한 후 음압실험을 한 결과>

#### 라. 진동판에 이온빔 주입

Polypropylene Sulfide 20 micrometer 두께로 만들어진 진동판에 200 keV 질소이온을  $1 \times 10^{18}$  ions/cm<sup>2</sup> 와  $5 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>로 주입하였다. 흥미롭게도  $1 \times 10^{18}$  ions/cm<sup>2</sup>의 이온조사량으로 주입된 진동판은 원래 진동판보다 음압이 공명진동수의 변화 없이 약 0.6 dB 정도 상승됨을 <그림 3.2.100 (a)>에서 볼 수 있다. 하지만  $5 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>로 주입했을 경우 공명진동수는 오히려 고음역대로 이동하여 저음역대에 음압은 감소함을 볼 수가 있다. 공명진동수와 이온 량과의 상관관계에 대한 연구는 현재 잘 연구되고 있지 않은 분야이다.

또한 양성자를 약 20 MeV의 에너지로 가속하여 진동판에 입사하여 마이크로 스피커를 만든 다음 음압시험을 해보았다. <그림 3.2.100 (b)>의 음압실험에 사용된 진동판은 Polypropylene Sulfide 20 micrometer 두께로 만들어진 진동판이다. 사용된 양성자 빔은 원자력연구원에 있는 20 MeV 양성자 빔이며 실제 진동판에 입사한 빔 에너지는 15.8 MeV이다. 양성자 빔은 펄스로 입사되며 펄스의 너비는 약 50 micro-second 이며 1 Hz로 계속 입사된다. 평균 빔 current는 350nA이며 단위 펄스당 양성자의 이온조사량은  $1.74 \times 10^{11}$  ions/cm<sup>2</sup>/unit pulse 이다. 이런 양성자빔을 약 30분간 조사하여 얻은 양성자의 이온조사량은 약  $3.13 \times 10^{14}$  ions/cm<sup>2</sup> 이다. 15.8 MeV의 빔 에너지는 20 micrometer의 진동판을 뚫고 지나가

면서 많은 defect를 남길 수 있다. 이런 defect들이 진동판의 특성, 특히 음압에 미치는 영향을 <그림 3.2.100>에서 볼 수 있다. 고유진동수는 크게 변화가 없고 고음역대에 음압이 낮아졌으며 10 kHz 근방에 deep은 좀 더 크게 됨을 알 수 가 있다.



<그림 3.2.100 Polypropylene Sulfide 20 micrometer 두께로 만들어진 진동판에 200 keV 질소 이온을 주입한 후 음압측정결과(a). Polypropylene Sulfide 20 micrometer 두께로 만들어진 진동판에 15.8 MeV의 양성자빔을 조사한 후 음압 실험을 한 결과(b)>

## (2) Sn 무전도 코팅 공정기술개발

플라스틱 고분자 시편 표면에 Sn을 e-beam evaporative 방식으로 증착 또는 이온빔 믹싱 및 코팅층에 질소 이온 빔을 충돌 시킨 후 두 점 저항 측정기로 거리 별 표면저항 측정 및 3M tape로 밀착력 측정

플라스틱 고분자 시편 표면에 Sn을 e-beam evaporative 방식으로 증착 한 후 <그림 3.2.101> 두 점 저항 측정기로 거리 별 표면저항 측정을 한 결과, 표면저항이 1cm 간에는 30K-ohm, 2cm 간에는 5M-ohm을 얻었다. 이는 초기 코팅층은 film island를 형성하여 불연속 코팅층을 형성하였음을 알게 한다. 이온빔 믹싱 및 코팅층에 질소 이온 빔을 충돌 시킨 후 두 점 저항 측정기로 거리 별 표면저항 측정을 한 결과 1cm: 0.8~0.9 kΩ, 2cm: ~ 1.0kΩ, 3cm: ~1.2kΩ 및 4cm: ~1.4kΩ의 결과를 얻었으며 이는 공정 조건에 따라 제어 가능하였으며 실험이 진행 중이다. 밀착력 측정을 측정한 결과 증착만 시편은 3M tape로도 수회 반복 실험하니 쉽게 떨어져 나왔으나 이온빔 처리한 시편은 매우 단단히 접착이 되어 30N 이상의 접합력을 얻었다.



(a)코팅전                      (b) 코팅 후                      (c) 이온빔조사 + 코팅

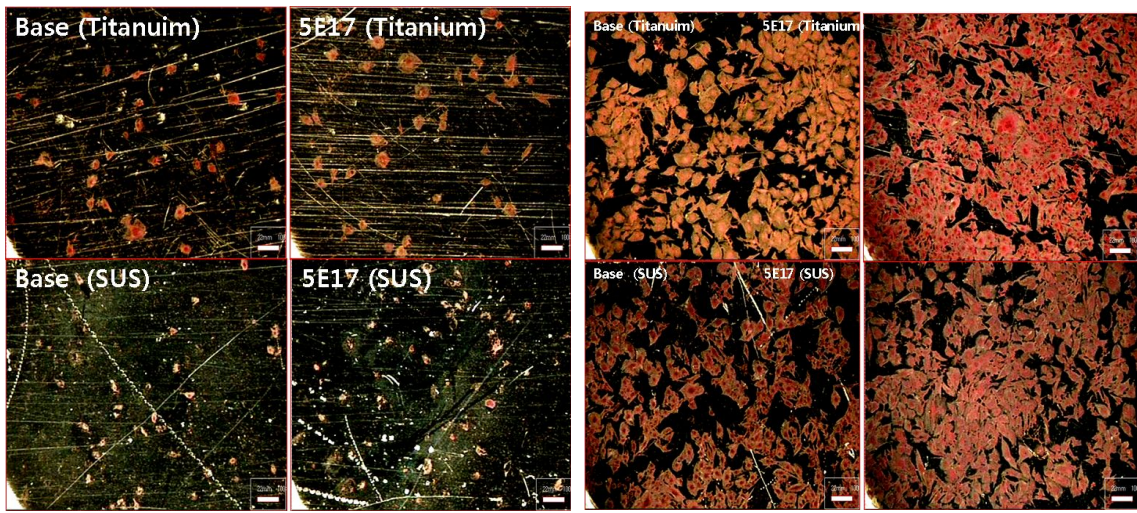
<그림 3.2.101 플라스틱 소재위에 코팅된 Sn 박막>

### (3) 의료용 생체재료 이온빔 표면처리

양성자 기반공학 기술개발 사업단 경주 연구분실에서는 자체적으로 개발한 다양한 이온빔 장치들을 활용하여 다양한 제품의 표면처리 기술을 개발하고 사업화한 경험을 보유하고 있다. 양성자사업단의 이온빔 장치, 기술과 경험을 활용하여 의료용 생체재료인 인공관절의 주재료로 사용되는 Ti-6Al-4V합금과 경제성은 양호하나, 생체적합성과 부식성에 문제점을 안고 있어 표면처리를 필요한 SUS304합금에 이온빔 처리를 통한 골세포 접합성을 관찰하였다.

<그림 3.2.102 (a)>는 질소 이온빔 조사조건에 따른 Ti-6Al-4V합금과 SUS304합금의 세포접합성을 측정된 결과이다. 이온빔 조사조건은 이온에너지 100keV, 이온조사량  $1 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>의 조건으로 공정을 수행하였다. 세포접합성 시험에 사용된 세포는 인체관절 세포인 Osteoblast-like cell(조골세포)을 사용하였으며, 저밀도( $1 \times 10^4$  ea/cm<sup>2</sup>)와 고밀도( $7 \times 10^4$  ea/cm<sup>2</sup>)에서 각각 세포접합성을 관찰하였다. 또한, 저밀도와 고밀도에서 접합된 세포수를 측정하여 티타늄 base를 1.0으로 두고 대비 각 그룹별 계수한 결과를 <그림 3.2.103 (b)>에 나타내었다. 실험결과, 저밀도 세포 환경에서는 SUS304합금이 Ti-6Al-4V합금보다 세포 접합성이 떨어지며(1:0.67), Ti-6Al-4V합금, SUS304합금 모두 이온빔 처리시 세포 접합성이 10~20% 향상되었으나, 이온 주입량에 비례하여 세포접합성이 향상되지는 않았다. 이에 비해, 고밀도 세포 환경에서는 SUS304합금과 Ti-6Al-4V합금 사이에서의 세포 접합성의 차이

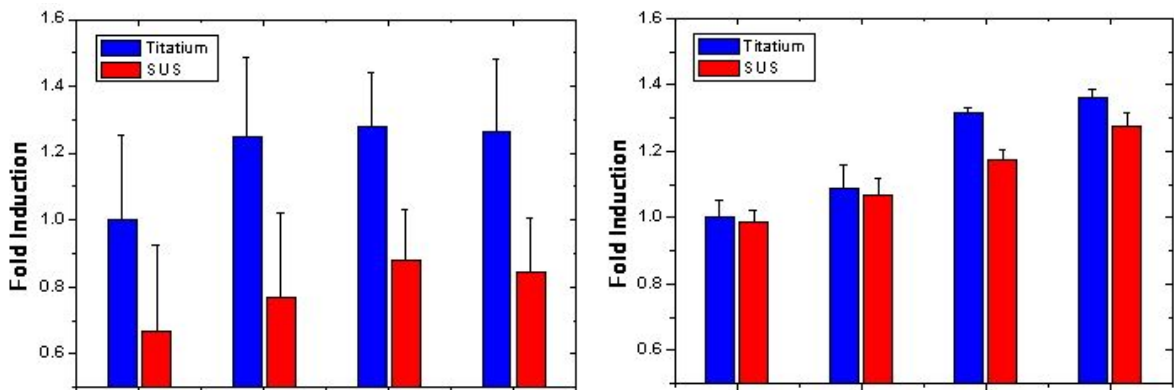
는 미미하였으며(1:0.98), SUS304합금, Ti-6Al-4V합금 모두 이온빔 처리에 의해 세포 접합성이 20~30% 향상되었다. 또한, 저밀도 세포환경과는 다르게 고밀도 세포환경에서는 이온주입량에 비례하여 세포접합성이 증가하였으며, Ti-6Al-4V합금이 SUS304합금보다 이온빔 처리에 의한 세포접합성 향상정도가 우수한 것으로 관찰되었다. 이러한 이온빔 처리에 의한 세포접합성 향상결과는 향후 생체재료 표면처리 공정개발시 기초자료로 활용될 수 있다.



(a) 저밀도 세포환경

(b) 고밀도 세포환경

<그림 3.2.102 이온빔 조사조건에 따른 Ti-6Al-4V합금과 SUS304합금의 세포접합성 변화>



(a) 저밀도 세포환경

(b) 고밀도 세포환경

<그림 3.2.103 이온빔 조사조건에 따른 Ti-6Al-4V합금과 SUS304합금의 세포접합성 계수비교>



3. 기술이전 시 개발 품목별 전용 양산 빔 조사 장치 기술 개발로 기술실시업체 실용화 지원

가. 이온가속기생산허가 취득

- 국내 최초 대전류 이온가속기 생산허가시설 취득(2012.07.31.)

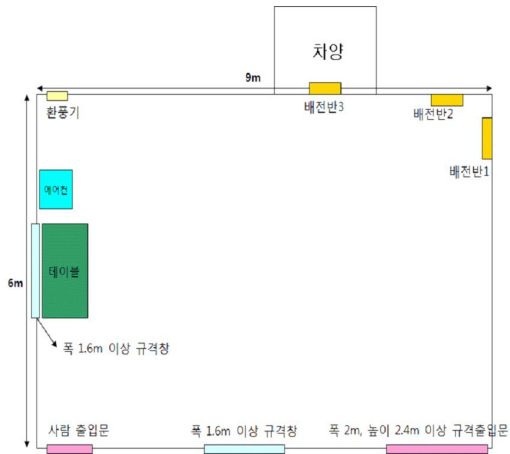
사업단에서는 방사선 발생장치인 이온가속기의 기술실시업체로의 판매 및 양도를 위하여 생산허가를 국내최초로 취득함으로써 이온가속기의 실용화 기반을 확립하였다. 생산허가는 빔 전류 8mA 이상, 4가지 유형 이온가속기에 대한 생산허가를 취득하였으며, 년 5기의 대전류 이온가속기를 생산할 수 있도록 원자력안전위원회로부터 허가를 득하였다. <그림 3.2.104>은 원자력안전위원회로부터 허가받은 방사선발생장치 생산허가증을 나타낸 것이다. (원자력 안전위원회, 2012.07.31, 허가번호 : 25-31-00) <그림 3.2.105>와 <그림 3.2.106>는 허가받은 이온가속기 유형과 생산허가 시설 및 장소를 나타낸 것이다.



<그림 3.2.104 방사선발생장치 생산허가증>

사용목적	구성안	방사선원 용량
일반적인 반도체 도핑	구성 1안 이온원 — 질량분리 전자석 — 가속관 — 사극 전자석 — 스캐너 — 빔 측정장치 — 진공함	300keV / ~10mA
저에너지 반도체 도핑	구성 2안 이온원 — 질량분리 전자석 — 빔 측정장치 — 진공함	50keV / ~150mA
비반도체 표면처리	구성 3안 이온원 — 가속관 — 빔 측정장치 — 진공함	200keV / ~100mA
저에너지 비 반도체 표면 처리/에칭	구성 4안 이온원 — 빔 측정장치 — 진공함	50keV / ~1A

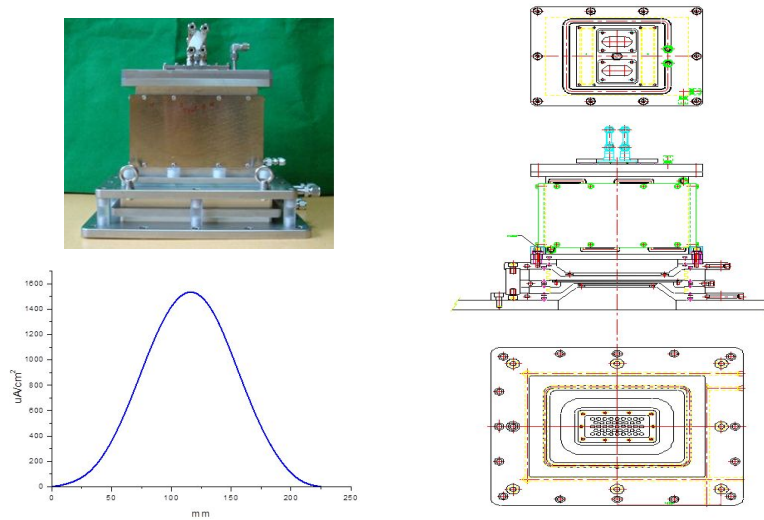
<그림 3.2.105 생산될 이온가속기 구성안>



<그림 3.2.106 생산허가 시설 평면도 및 장소>

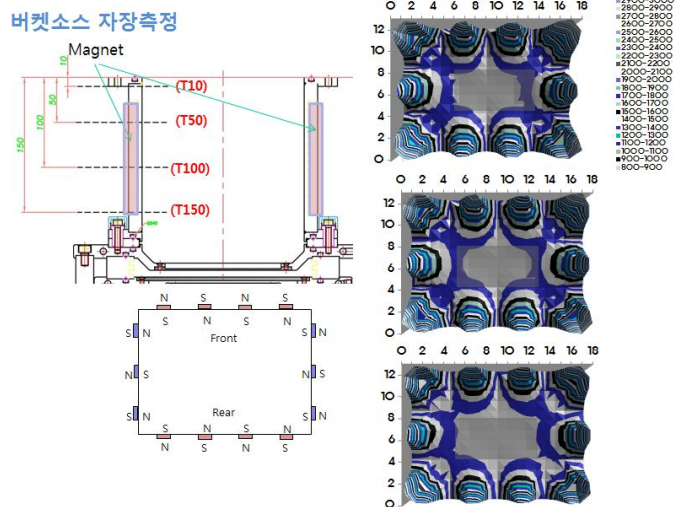
나. 200mpm대응 냉연 강판용 고속에칭 이온원 개발

- 실제 산업에 실용화를 위하여 <그림 3.2.107>과 같은 대전류 버켓소스를 설계하여 연구를 진행.
- 설계 최대전류는 이론적으로 20kV에서 525mA이고 인출구 최대 전류 밀도는 이론적으로 43.2mA/cm<sup>2</sup> 설계.
- 빔 균일 구간은 15-20cm 정도이고 최적 균일한 빔전류 밀도는 1.4mA/cm<sup>2</sup> 에 로 설계.



<그림 3.2.107 20kV급 산업용 에칭 전용 버켓소스>

<그림 3.2.108> 은 본 연구에서 개발된 버켓 소스의 내부 자장 측정 결과이다. 내부벽면의 경우 최대 3000gauss까지 나오고 실제 빔이 인출되는 가운데 부분은 원하는 데로 자장의 영향은 받지 않는 결과이다.

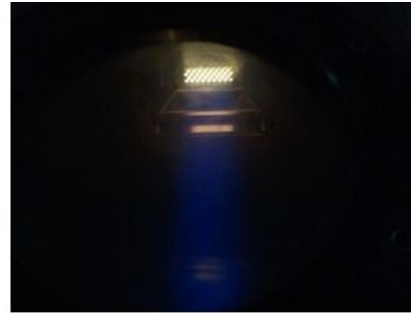


<그림 3.2.108 버켓소스의 내부 자장 측정>

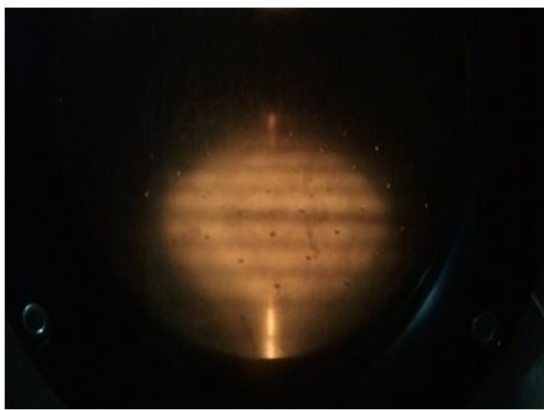
<그림 3.2.109>는 본 연구원에서 개발된 버켓소스에서 플라즈마를 방전하고 실제 빔을 인출하는 사진이다. 특성상 플라즈마만 떠있을 경우 노란빛이 나오고 빔을 인출하는 경우는 파란색의 빔이 나오는 것을 관찰할 수 있었다.



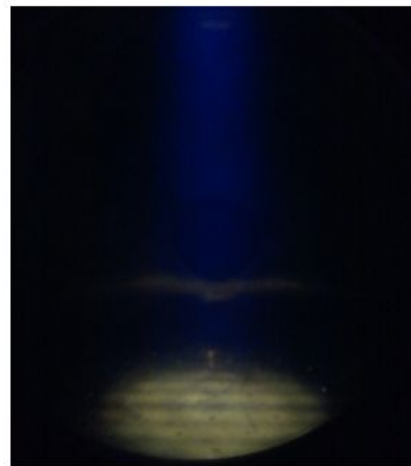
**Grid 부**



**Grid 부**



**빔덤프**



**빔덤프**

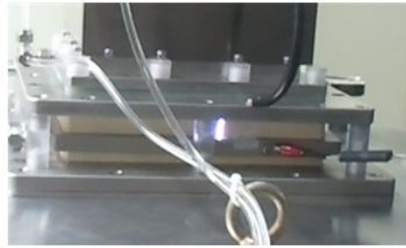
**<플라즈마 방전시>**

**<빔 인출시>**

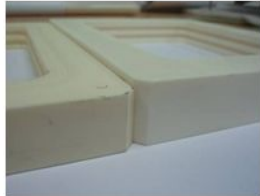
<그림 3.2.109 버켓소스의 플라즈마 방전 및 빔 인출>

버켓소스 개발후 내구성과 버켓소스의 내부 부품의 개선을 실시하였다. 인출전압을 증가시키기 위해서 대음극부와 바이어스부의 절연 세라믹의 두께를 증가시켜 이론계산치상 30kV까지 사용 가능하게 만들었고 플라즈마 방전부 절연체를 G10에서 세라믹으로 재질을 변경하여 내구성을 확보하였다.

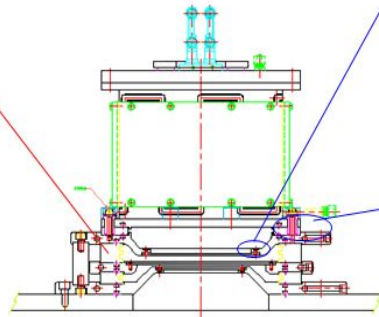
- bias 1kV
- 인출 15kV 버켓소스 뒤쪽에서 ARC 발생
- 대음극부와 Bias부 사이



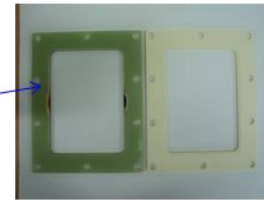
Grid 부 스페이서(4mm) 장착  
(내부 간격은 기존과 동일)



- 대음극부와 Bias부 사이 세라믹의 두께
- 기존 25mm (절연계산치 22keV) 에서 29mm (절연계산치 30keV) 증가시켜 제작 및 설치 완료



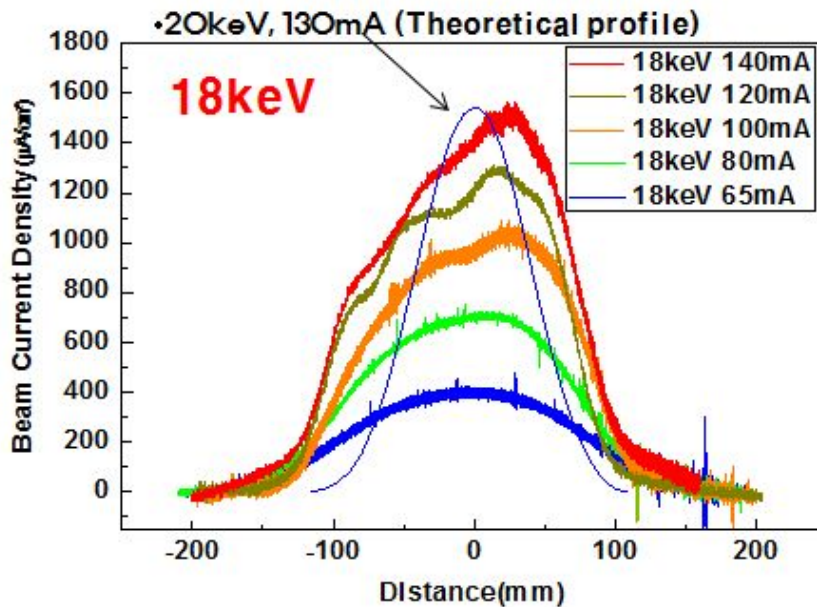
\* 현재 20keV까지 사용가능\*



G10 → 세라믹으로 재질 변경  
(열손상 고려)

<그림 3.2.110 버켓소스의 내부 부품 개선>

개발된 버켓소스를 사용하여 인출한 빔 프로파일을 <그림 3.2.111>에 나타내었다. 18kV의 경우 빔 전류가 증가함에 따라 인출 빔 전류를 증가하였고 140mA의 경우 최대 전류밀도 1.5mA/cm<sup>2</sup> 정도를 나타냈고 이론적으로 계산한 20keV, 130mA의 빔프로파일과 유사한 최대 전류밀도를 나타내었다.



<그림 3.2.111 버켓소스의 빔 프로파일>

현재 연구원측의 연구를 통하여 20kV, 180mA 이상의 인출을 진행하여 추가 연구 중에 있다.



<그림 3.2.112 20kV 180mA 빔인출 조건>

다. 자동차 내장재 내광성 향상 표면처리 준양산장치 개발

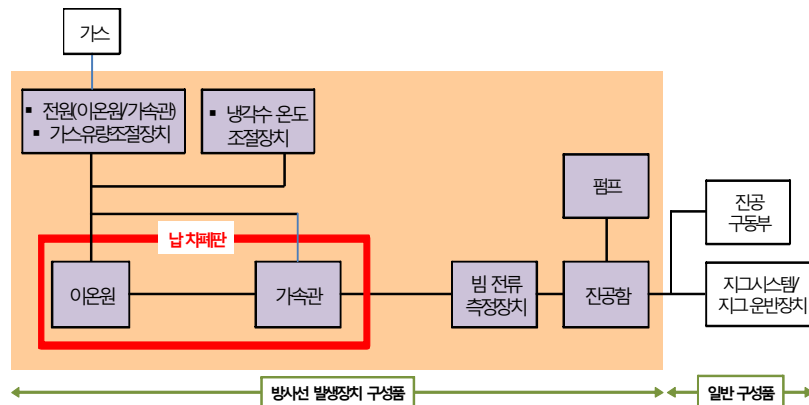
3단계 1~2차년도에 수행한 자동차 내장재 내광성 향상 표면처리 기술을 바탕으로 (주) 신기인터모빌과 공동으로 현대/기아 자동차 초기 소량물품 납품 및 샘플 대응을 위해 준양산 장치를 제작하고자 한다. 이에 개발된 45keV / 45mA급 준 양산장치를 이용하여 90keV / 50mA급으로 확장하여 샘플을 대응함에 있어 아래와 같은 주요업무를 수행하였다. <표 3.2.16>, <그림 3.2.113>과 <그림 3.2.114>를 통해 장치 전체의 주요 제원을 나타내었다.

• 장치 주요 특성

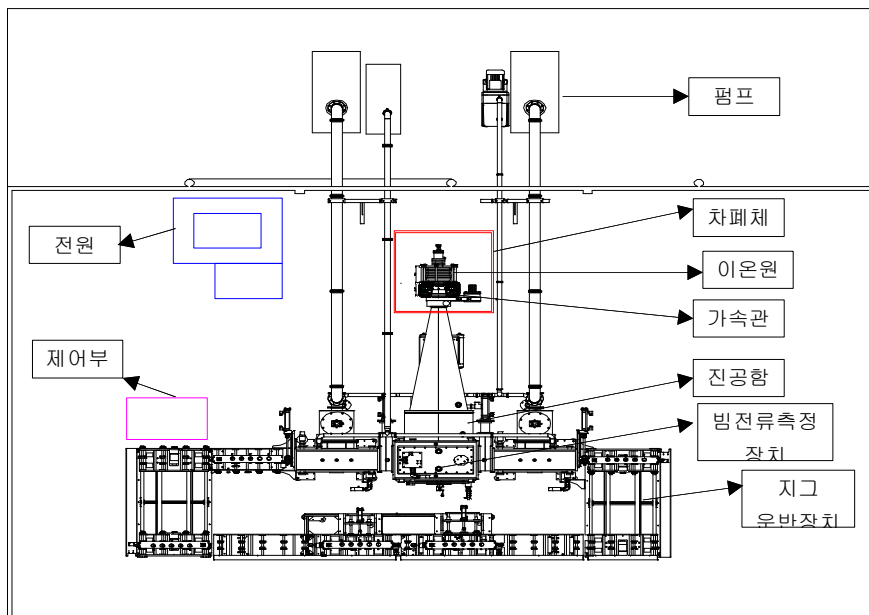
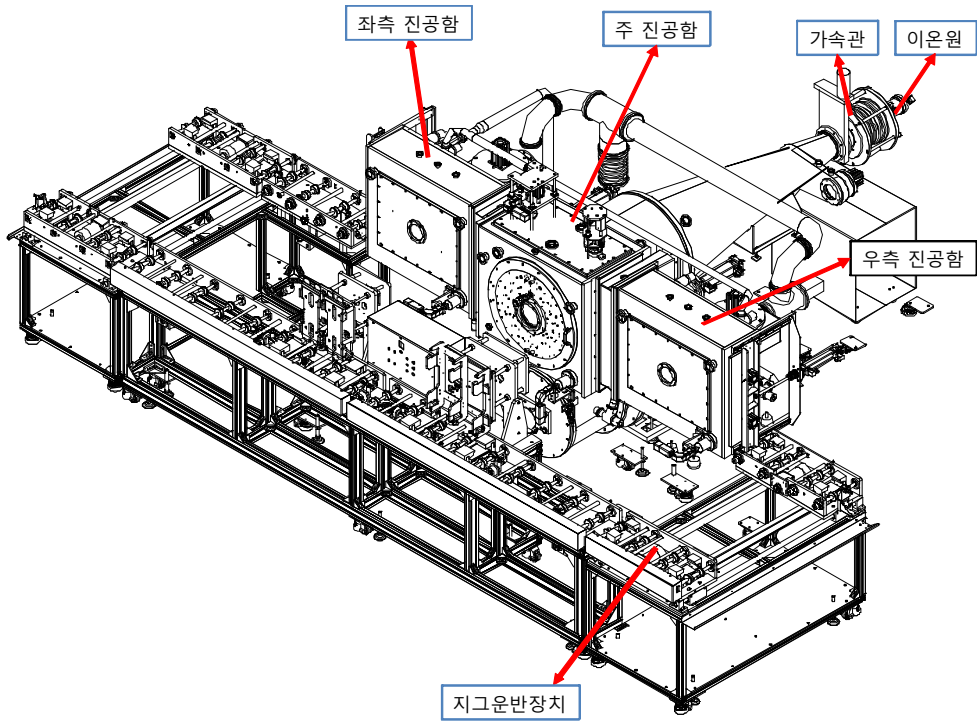
- 전체 크기 : 5700(W) x 7120(L) x 2100(H) mm<sup>3</sup>
- 구성 : ①이온원 ②가속관 ③빔전류 측정장치 ④진공함(주진공함/좌측 진공함/우측 진공함) ⑤전원 ⑥펌프 ⑦차폐체 ⑧펌프 ⑨제어부 ⑩절연변압기 ⑪칠러 ⑫기타(가스/진공 구동부/지그 시스템/지그 운반장치 등)
- 방사선 발생원 : 이온원/가속관
- 방사선 차폐 : 납(Pb) 4mm(스테인레스 스틸(STS) 1mm 케이스)
- 사용 이온 : 질소+헬륨 이온
- 조사면적 및 전류 밀도 40cm×40cm, 30-60μA/cm<sup>2</sup>

<표 3.2.16 90keV/50mA급 준양산장치 제원>

특 성	
이온원 에너지	45 keV
가속관 에너지	45 keV
빔 전류	>30mA [질소이온 기준]
빔 조사면적	400mm × 400mm
사용 이온	헬륨(He), 질소(N)



<그림 3.2.113 가속이온주입기 준양산장치 구성 개념도>







<그림 3.2.114 장치 전체 Lay-out 및 설치완료>

#### (1) 준양산장치 장치기술 개발

##### 가. 50keV / 50mA급 가속관 설계·제작 및 설치

기존의 50keV / 50mA에서 더 높은 에너지로 이온을 가속하기 위해서 가속관을 설계 제작 하였다. 가속관을 설계하는 기준은 다음과 같다.

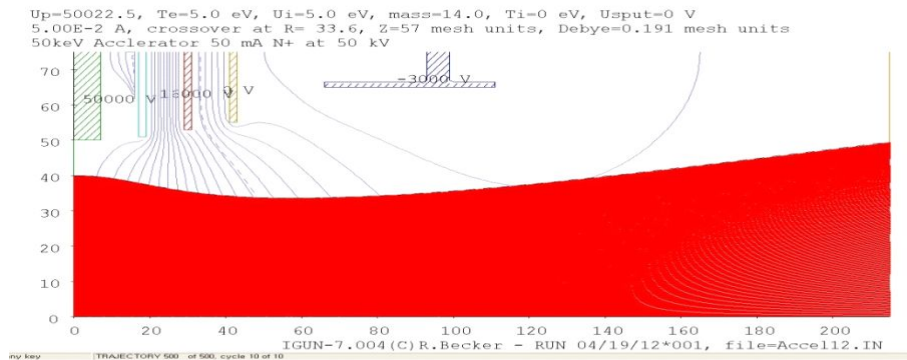
- 가속관은 내절연도를 50kV로 하여야 하며, 전극을 4 전극계로 설계하여 각 전극마다 저항을 두어 차등 전압을 인가함으로써 이온 광학특성 조종이 가능토록 설계한다.
- 이온이 가속시 접지단의 재료와 충돌하여 발생하는 이차전자가 역류하여 역방향으로 가속되어 전극에 충돌하여 발생하는 X-선을 차폐하도록 하는 원통형의 이차전자 억제전극(감속 전극)을 설치하도록 설계한다.
- 가속관 설계시 빔의 발산과 빔 궤적을 확인하기 위해 시뮬레이션 코드(IGUN code)를 수행토록 한다.
- 이온원으로부터 인출되는 이온빔을 공간전하에 의하여 발산되기 전에 가속하기 위하여 이온원 다음에 가속관을 바로 설치한다.
- 전기적 절연내력 시험을 위해, 제작 후 인출 전원 45kV 인가 시 3시간 유지토록 한다.

시뮬레이션 프로그램인 IGUN code를 수행하여 가속관 끝단에서의 빔의 발산정도를 확인할 수 있다. 코드 수행에 필요한 기초입력자료는 다음과 같다. 이온종류는 질소이온이며, 이온전류 30mA, 입사 에너지 45keV, 이온빔 직경 40mm로 하고 전류밀도는 균일하다고

가정한다.

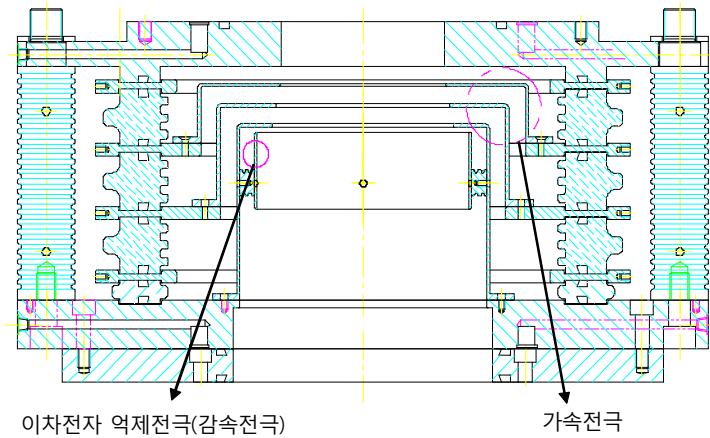
- 각 전극 사이 거리 외부 30mm, 내부 10mm, 전극두께 2mm
- 가속관 입구 직경 100mm, 입구 직경 160mm
- 가속관 내부 가속전극 수 5개(전자억제전극 포함), 전극당 약 16.7kV의 전압강하 발생
- $1 \times 10^{-4}$  torr 이하 전극간 방전개시 전압(진공부)
  - : 60kV(이론치), 36kV(실험치)
- $1 \times 10^{-4}$  torr 이상 전극간 방전개시 전압(외부)
  - : 83kV(이론치), 33kV(실험치)

전극 모양은 절연체 통한 방전 방지 위해 절연체 가리는 구조



<그림 3.2.115 IGUN code 시뮬레이션 결과>

가속관은 이온원에서 인출된 빔을 더 높은 에너지로 가속시키기 위한 장치로써, 이온원에서 인출되는 대전류 이온빔이 공간전하에 의하여 발산되기 전에 가속관에 입사되도록 이온원 뒷단에 바로 설치되었다. 가속관 접지측에서 이온빔과 잔류기체 또는 벽면과의 충돌에 의하여 발생된 전자가 가속관을 따라서 이온빔과 반대방향으로 가속되어 이온원 인출계 전극들과 충돌하면서 다량의 X-선을 발생하게 되는데, 가속관 후단에 원통형 전극을 설치하고, 이곳에 (-) 전압을 인가함으로써 전자의 역류를 최소화하였다. <그림 3.2.116>은 가속관의 설계도면을 나타낸 것으로 총 3개의 가속전극과 1개의 이차전자 억제용 바이어스 전극(감속전극)이 설계되었다.



<그림 3.2.116 가속관 설계도면>

설계를 통해 제작이 완료된 후, 가속관을 장치에 설치하기 전후 모습과 이온원까지 설치된 모습을 <그림 3.2.117>에 나타내었다.



(가속관 설치 전·후 모습)

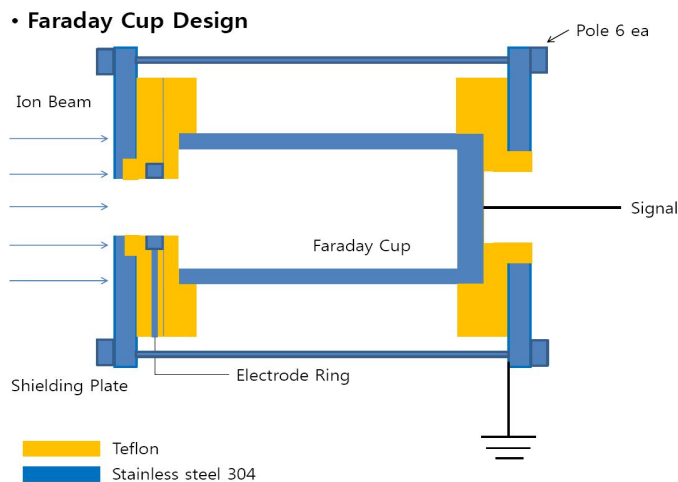


(이온원 + 가속관 설치모습)

<그림 3.2.117 가속관 및 이온원 설치 모습>

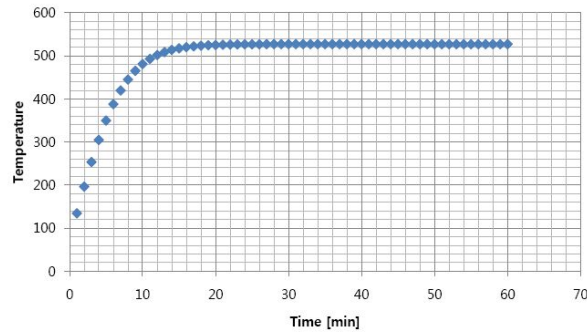
나. 빔 전류밀도 측정용 페러데이컵 설계·제작 및 설치

페러데이컵(Faraday Cup)은 이차전자를 포획함으로써 이온빔의 공간적인 밀도분포를 측정하는 것으로, 일정 바이어스 전압을 인가하여 이차전자를 포획하는 형태로 제작되어 진공함부 상부에 설치되어있다. 페러데이컵의 재질은 스테인레스 스틸과 전압이 인가되는 부분의 절연을 위해 테프론으로 구성되어 있으며, 설계시, 이차전자가 외부로 나가는 것을 방지하기 위해 (-)전압을 인가하기 위한 바이어스 전극과 신호선이 전기적으로 절연되도록 한다. 신호의 노이즈 감쇄를 위해 신호선 및 (-)전압 인가용 전선은 절연물질로 shielding하도록 한다. 페러데이컵의 구경은 8mm로 하였으며, 페러데이컵 신호선과 오실로스코프 사이에 100kΩ을 걸었을 때 단위면적당 빔 전류밀도는  $5.971\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 이다. 페러데이컵의 구동은 4cm/sec의 속도로 80cm를 1회 왕복하므로 실제로 빔에 노출되는 시간은 40초 정도이다. 이때, 90keV / 50mA 빔 인출시 스테인레스 스틸이 받는 열을 계산하였을 때, 150°C 미만 이므로 cooling 라인을 따로 설치할 필요는 없다. <그림 3.2.118>와 <그림 3.2.119>는 페러데이컵의 설계도면과 90keV / 50mA 빔 인출시 스테인레스 스틸이 받는 열을 계산한 것이다.



<그림 3.2.118 페러데이컵 설계 개념도 및 설치모습>

• Shielding Plate Thermal Consideration(@Stainless Steel)



• Consideration on only radiation cooling

Beam Voltage [kV]	90	Energy [W]	70.31
Beam Current [mA]	50	Mass [g]	78.54
Beam Diameter [cm]	40	specific heat[J/g°C]	0.50
Beam Energy [kW]	4.50	emissivity	0.50
Beam Energy/cm <sup>2</sup> [W]	3.58	increasing Temp./min.	73.71
Faraday Cup diameter [cm]	0.80	Surround Temp. [°C]	20
Induced Energy of F/C [W]	1.80		
Shielding Plate diameter [cm]	5		
Shielding Plate Thickness [cm]	0.50		
Shielding Plate Area [cm <sup>2</sup> ]	19.63		
Induced Energy of S/P [W]	70.31		

<그림 3.2.119 90keV / 50mA 빔 인출시 페리데이컵 재료의 열계산>

다. 전압/전류 확장을 위한 고전압 전원 교체 및 추가설치

빔 인출 에너지를 확장하기 위해 기존의 전원을 교체하고 추가하는 작업을 수행하였다. 기존의 이온원 인출 전원은 50kV/60mA, 바이어스 전원은 -10kV/-20mA로써 빔 인출 에너지 확장시 용량이 적은 관계로 인출전원은 60kV / 100mA, 바이어스 전원은 -10kV / -50mA로 교체 하였다. 그리고, 가속관 설치에 따라 가속전원과 바이어스 전원도 추가적으로 설치하였으며, 용량은 60kV / 100mA, -20keV / -50mA이다.

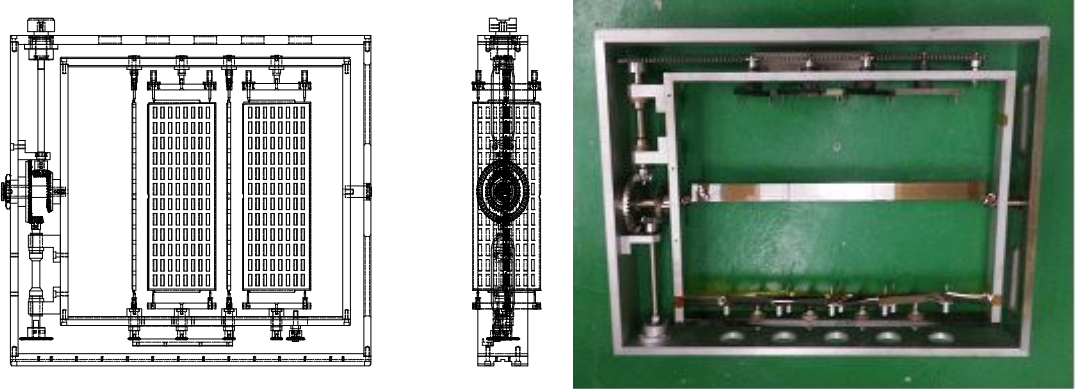
<표 3.2.17 전원 교체 및 추가 사양>

		기존	현재
이온원 관련	인출 전원 (교체)	50kV/60mA	60kV / 100mA
	바이어스 전원 (교체)	-10kV/-20mA	-10kV / -50mA
가속관 관련	가속 전원 (추가)		60kV / 100mA
	바이어스 전원 (추가)		-20keV / -50mA

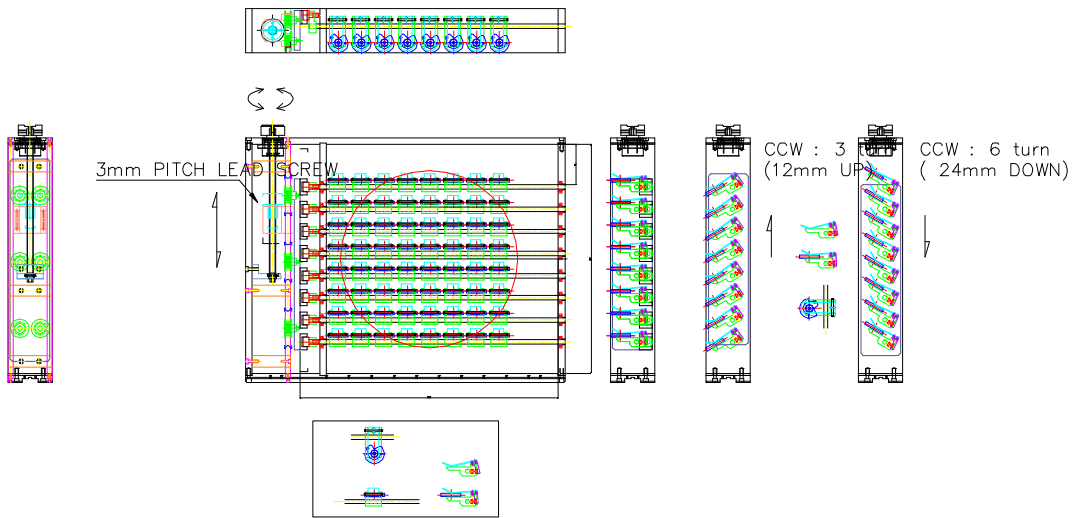
라. 시제품 대응을 위한 전용 지그 설계·제작 및 설치

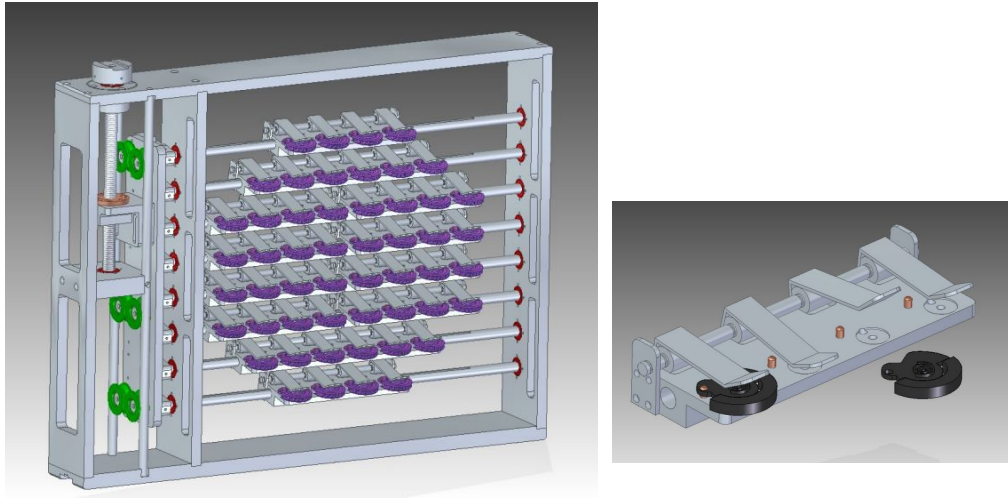
기존의 제품은 정전기 방지용 IC tray를 위한 지그였지만, 현재는 자동차 내장재 부품

으로 변경됨에 따라 지그도 새로이 설계 제작 할 필요성이 있다. 이에, 자동차 내장재에 들어가는 하나의 부품을 선정하고, 지그 이동시 혹은 빔 조사시에 제품이 지그에서 탈락되는 것을 방지하기 위하여 금속재질로 일정 tension을 가하여 눌러주는 방식으로 제품을 장착 하도록 하였다. 그리고 빔의 직진성으로 인해 샘플 측면에는 빔 조사가 되지 않는 것을 지그에 기어를 장착하여 회전할수 있도록 설계하였다. <그림 3.2.120>은 기존 IC tray용 지그이며, <그림 3.2.121>은 새롭게 설계된 지그의 도면과 지그 클램프(Clamp)의 모습이다.



<그림 3.2.120 기존 지그 설계도면 및 제작완료>





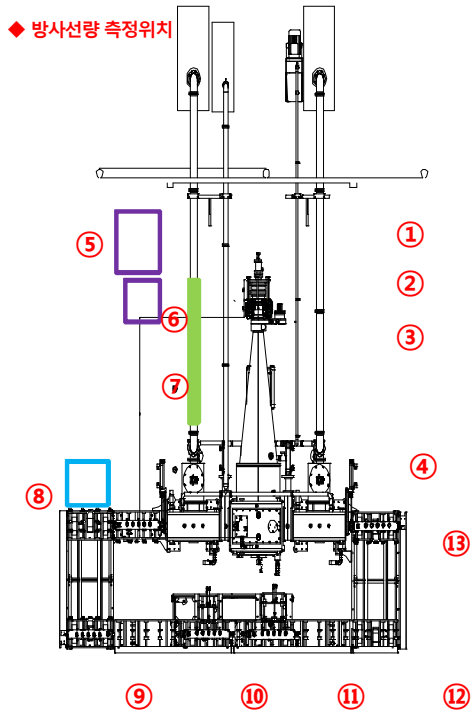
<그림 3.2.121 새로 제작된 지그 및 지그 클램프 설계도면>

마. 방사선 차폐를 위한 납 차폐함 설치

사각형 형태를 지니면서 이온원과 가속관을 완전 밀봉시키는 자체방호형 납 차폐체를 설계하였다. 다른 가속이온주입장치에서 사용 중인 납 차폐판 혹은 납판을 이용하여 방사선 방출량을 측정하였고, 또 다른 방법으로는 육면체로 제작된 납 차폐함(두께 3mm)속에 서베이메터를 넣어 기기 주변 방사선량을 측정하였다. 두 가지 방법을 이용하여 대기중에서 얼마나 다시 공기 분자와 X-선이 충돌하는지를 가늠할 수 있는 척도가 되었다. 결과적으로 기존 납 차폐체를 이용하였을 경우에는 최대 285 $\mu$ Sv/hr 정도가 방출되었지만 납 차폐함을 이용하였을 경우에는 수백 nSv/hr정도가 측정되었다.

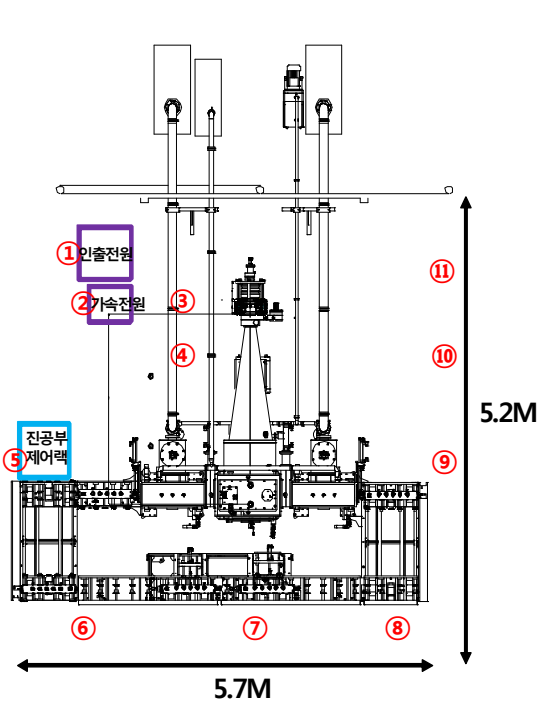


<그림 3.2.122 기존 납 차폐체>



빔 인출조건에 따른 X-ray 발생량				
	측정거리	90keV/10mA	90keV/20mA	90keV/30mA
#1	3M	4 μSv/h	6.7 μSv/h	13.5 μSv/h
#2	3M	50 μSv/h	113 μSv/h	285 μSv/h
#3	3M	2.3 μSv/h	4.2 μSv/h	14.1 μSv/h
#4	5M	1.7 μSv/h	1.15 μSv/h	7.2 μSv/h
#5	3M	600~700 nSv/h	1.5 μSv/h	19.1 μSv/h
#6	10cm	600~700 nSv/h	820 nSv/h	4.1 μSv/h
#7	10cm	600~700 nSv/h	700 nSv/h	1.4 μSv/h
#8	5M	400~500 nSv/h	260 nSv/h	2.1 μSv/h
#9	6M	200~250 nSv/h	260 nSv/h	630 nSv/h
#10	6M	200 nSv/h	250 nSv/h	540~590 nSv/h
#11	6M	200 nSv/h	265 nSv/h	500 nSv/h
#12	7M	220 nSv/h	290 nSv/h	1.67 μSv/h
#13	5M	700~800 nSv/h	1.5 μSv/h	2.7 μSv/h

<그림 3.2.123 기존 납 차폐체를 이용한 방사선 발생량 측정>



방사선 측정결과				
①	(3M*)	93.5 nSv/hr	140 nSv/hr	109 nSv/hr
③	(0.7M*)	99.3 nSv/hr	115 nSv/hr	110 nSv/hr
⑤	(4M*)	88.3 nSv/hr	117 nSv/hr	115 nSv/hr
⑦	(4.5M*)	88.3 nSv/hr	116 nSv/hr	110 nSv/hr
⑨	(3.5M*)	97 nSv/hr	125 nSv/hr	110 nSv/hr
⑪	(2.5M*)	93.7 nSv/hr	122 nSv/hr	119 nSv/hr

\* 이온원과 측정위치 사이의 거리



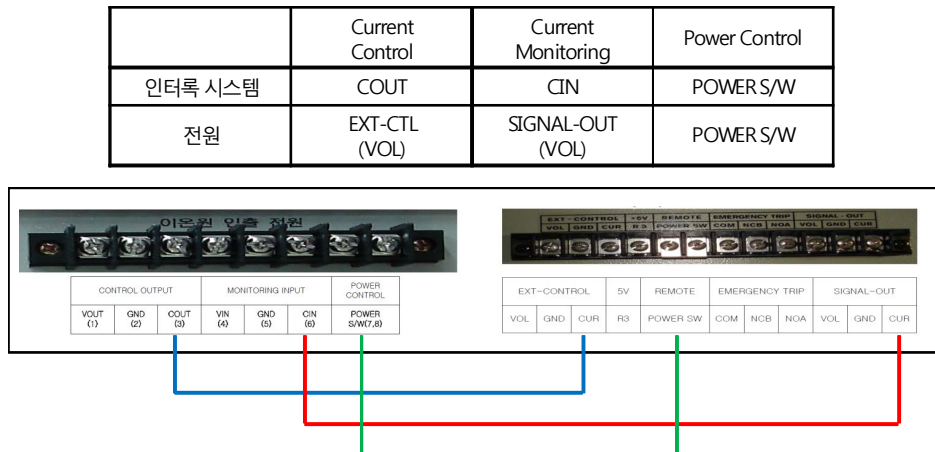
<그림 3.2.124 납 차폐함을 이용한 방사선량 측정결과>

바. 운전자 안전을 위한 인터록 시스템 설치

인터록 시스템의 설계는 장치 운전중 이상신호에 의해 비정상적으로 과전류 발생시, 인출전원과 가속전원을 차단하는 것을 목적으로 한다. 인터록 시스템의 설계기준은 아래와 같다.

- 장치 운전중 이상 현상으로 인해 과전류 발생시, 방사선 피폭을 방지하기 위해 인출전원과 가속전원을 차단하는 인터록 시스템 설계한다.
- 각 전원의 접점 단자대(5V 제어)에서 일정값 이상의 전압값이 인터록 시스템을 통해 읽혀지면 전원의 입력을 차단하는 방식으로 설계한다.
- Rack 케이스 타입으로 설계한다.

이에 릴레이와 DC-AC 컨버터 등을 설치한 인터록 시스템을 전원 뒷단에 위치한 접점단자대에 연결하여 이상전압 신호가 들어올 때 전원을 차단하도록 설계되었다. <그림 3.2.125>는 인터록 시스템과 제어대상인 전원의 접점 연결부위의 개념도를 나타낸 것이다.



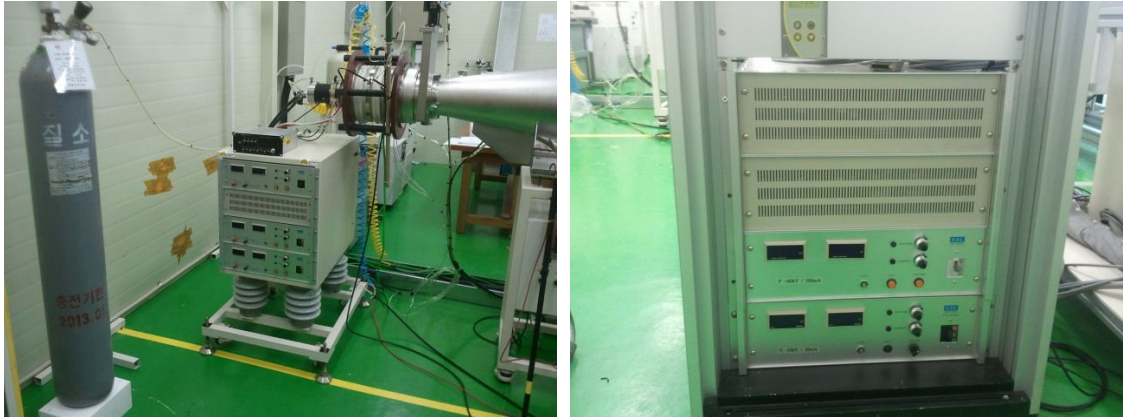
<그림 3.2.125 인터록 시스템과 전원의 접점 연결 개념도>

(2) 준양산 공정기술 개발

가. 45keV / 45mA 빔 인출 및 유지실험

장치의 내구성을 확인하기 위해, 이온원만 설치한 상태에서 45keV/45mA 빔 인출을 한 후 3시간동안 유지하는 실험을 수행하였다. <그림 3.2.126>은 장치에 이온원을 설치하고 바로 밑단에 플라즈마 발생부 Rack을 설치하여 전원의 출력라인이 이온원과 연결된 상태

를 보이고 있고, 진공함 제어부에 설치된 인출전원 및 바이어스 전원에서 전압을 인가하였다. 빔 인출을 유지하는 동안 아크 방전이나 냉각수 누수 저항 파손 등 결함은 나타나지 않았다.



<그림 3.2.126 45keV/45mA 빔 인출시험>

나. 90keV / 50mA 빔 인출 및 빔 프로파일 측정

이온원과 가속관 설치후, 무부하 시험을 통하여 전기적 절연능의 안전성을 확보하였다. 그리고, 이온원과 가속관에 각 전원의 출력라인과 MFC 등을 연결하여 빔 실험을 수행하였다. 최종 목표인 90keV / 50mA 빔을 인출하는데 있어, 전극 구멍의 크기 및 구멍과 구멍 사이 간격별 빔 프로파일 측정을 수행하였다. 빔 프로파일 측정과 관련한 사항은 아래와 같으며, 이온원에서 45kV/36mA, 가속관에서 45kV/51mA를 인출함으로써 최종목표 90keV/50mA를 수행 완료하였다.

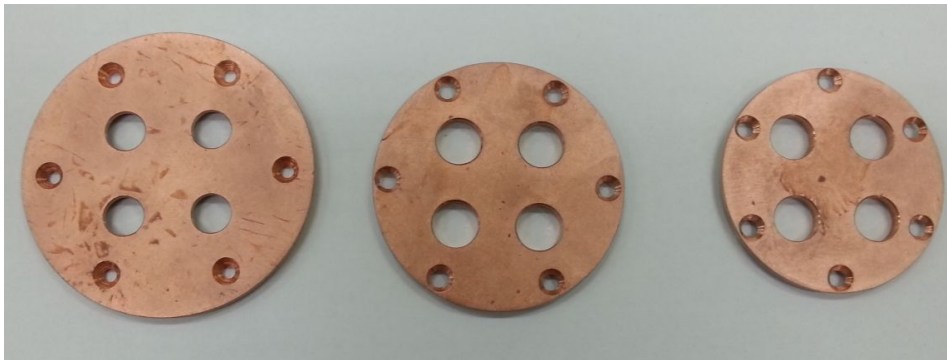


<그림 3.2.127 90kV/50mA 빔 인출>

• 페러데이컵 측정관련

- F/C 홀 직경 : 8mm
- F/C 이동속도 : 510mm/21sec  $\approx$  24mm/sec
- 오실로스코프 setting값 및 저항 : 300mV/div, 100k $\Omega$
- 전류밀도 : 5.971 $\mu$ A/cm<sup>2</sup>

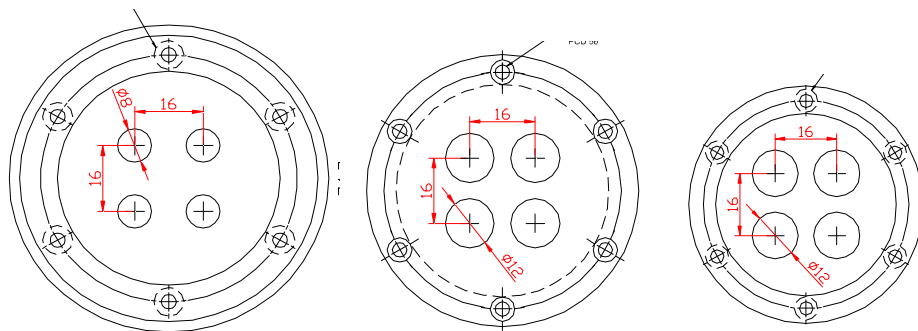
전극 형태별 빔 프로파일 측정에서 전극의 일반적인 형태는 <그림 3.2.128>과 같이 Cu 재료를 사용하였으며, 좌측부터 음극전극, 감속전극, 가속전극으로 나열된다. 각 전극별 형태와 빔 프로파일은 아래와 같이 측정되었다.



<그림 3.2.129 이온원의 음극전극/감속전극/가속전극>

• 전극 형태별 빔 프로파일 측정

- 음극-감속-가속전극(8mm-12mm-12mm / 구멍 중심간거리 16mm)



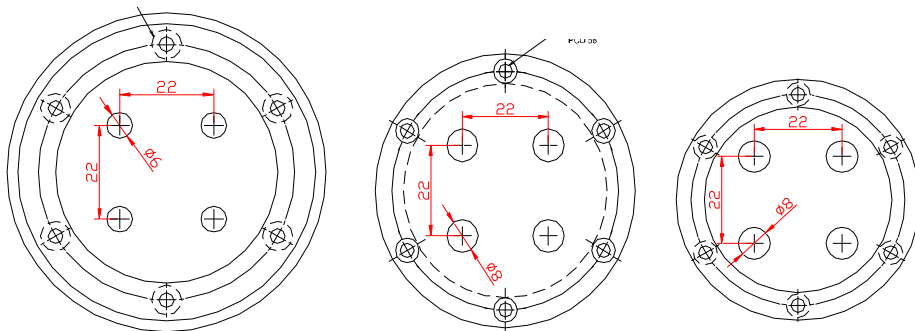
<그림 3.2.130 음극-감속-가속전극 설계>



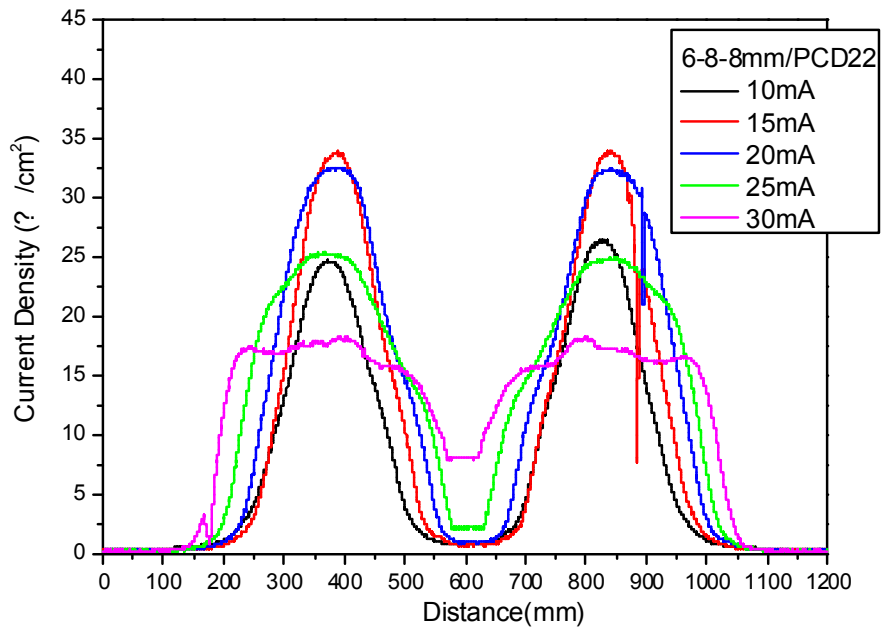
<그림 3.2.131 빔 프로파일 측정결과>

음극-감속-가속전극(8mm-12mm-12mm / 구멍 중심 간거리 16mm)에서 90keV/50mA 까지 인출이 되며, 최대 빔 전류밀도는 35mA에서  $27\mu\text{A}/\text{cm}^2$  가 측정되었고, 35mA 이상에서 빔이 약간씩 퍼지기 시작하였다. 최대 빔 폭은 50mA에서 500mm정도이다.

- 음극-감속-가속전극(6mm-8mm-8mm / 구멍 중심간 거리 22mm)



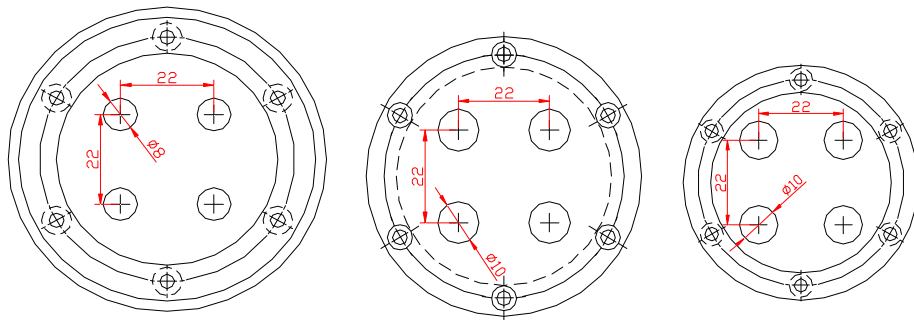
<그림 3.2.132 음극-감속-가속전극 설계>



<그림 3.2.133 빔 프로파일 측정결과>

음극-감속-가속전극(6mm-8mm-8mm / 구멍 중심간 거리 22mm)에서 90keV/30mA까지 인출이 되며, 최대 빔 전류밀도는 15mA에서  $33\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 가 측정되었고, 15mA 이상에서 빔이 약간씩 퍼지기 시작하였다. 최대 빔 폭은 30mA에서 400mm 정도이다.

- 음극-감속-가속전극(8mm-10mm-10mm / 구멍 중심간 거리 22mm)

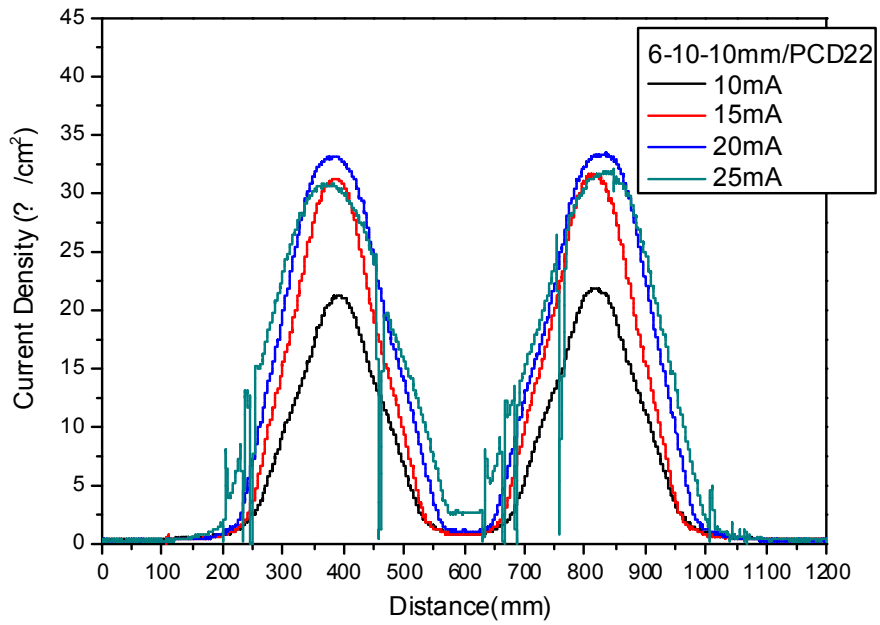


<그림 3.2.134 음극-감속-가속전극 설계>



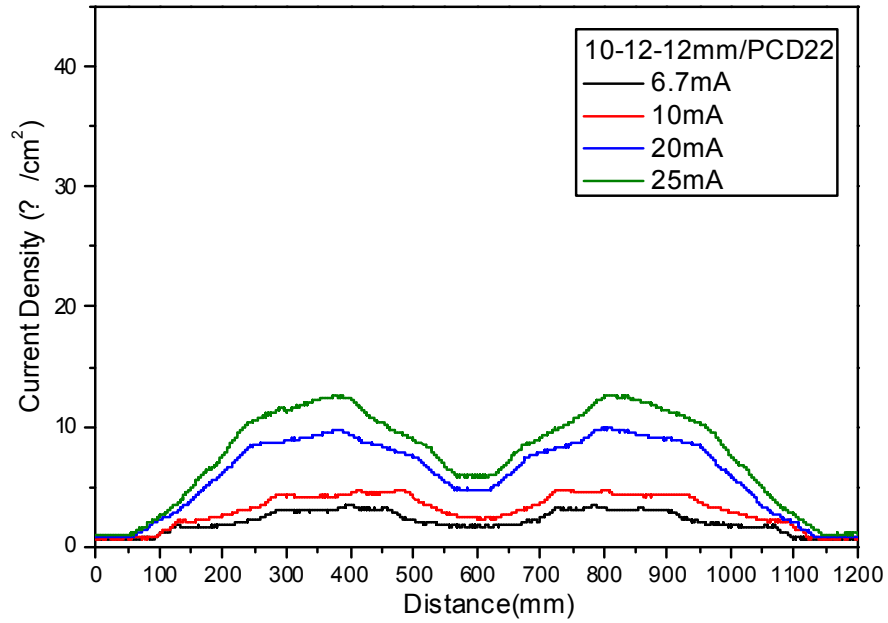
<그림 3.2.135 빔 프로파일 측정결과>

- 음극-감속-가속전극(6mm-10mm-10mm / 구멍 중심간 거리 22mm)



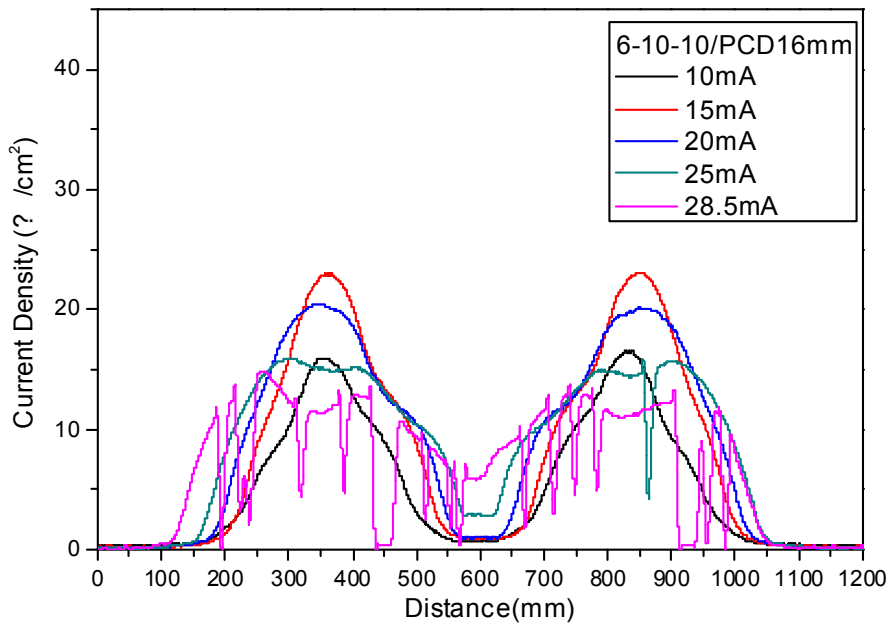
<그림 3.2.136 빔 프로파일 측정결과>

- 음극-감속-가속전극(10mm-12mm-12mm / 구멍 중심간 거리 22mm)



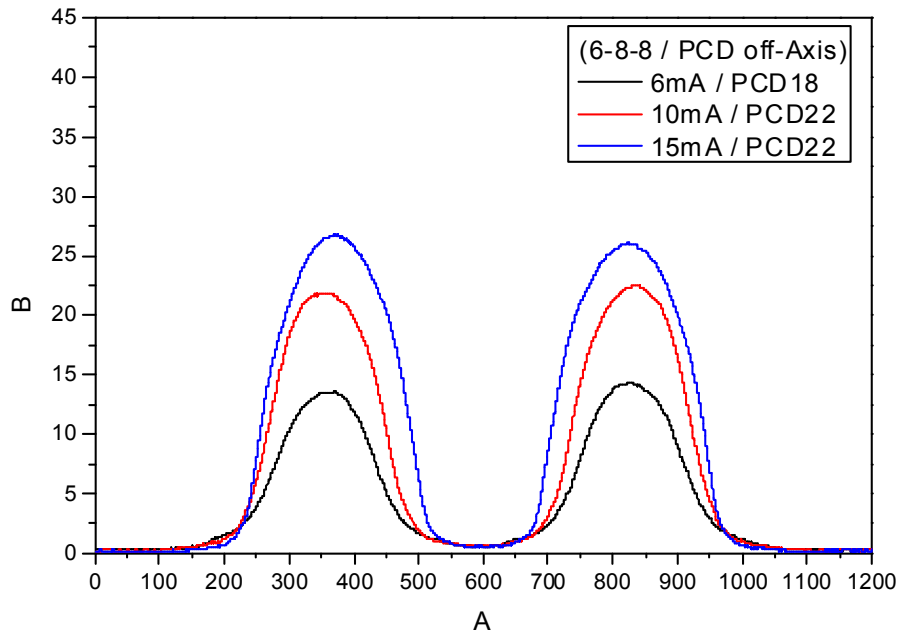
<그림 3.2.137 빔 프로파일 측정결과>

- 음극-감속-가속전극(6mm-10mm-10mm / 구멍 중심간 거리 16mm)



<그림 3.2.138 빔 프로파일 측정결과>

- 음극-감속-가속전극(6mm@구멍 중심간 거리 8mm-8mm@구멍 중심간 거리 22mm)



<그림 3.2.139 빔 프로파일 측정결과>

### (3) 준양산장치 제반시설 구축

#### 가. 준 양산장치 전용 장치실 구축 및 전체 전력증가 작업

장치의 특성 및 크기 등을 고려하여 기존 이온빔 실험실을 개조하여 전용 장치실을 구축하였으며, 펌프 및 장치용량을 고려하여 전력용량을 증가하였으며, 전용 분전반을 설치하여 장치 운전이 가능토록 하였다. 기존 전력용량 3 $\phi$ 380V/30kW에서 50kW를 추가적으로 설치하여 장치운전을 용이토록 하였다.

#### 나. 장치운전을 위한 전력증가 및 전용 분전반 설치

기존 실험실에서 장치에 사용되는 전력은 3 $\phi$ 380V/30kW 급으로써 준양산장치를 구성하는 여러 대의 펌프와 지그운반장치, 그리고 에너지 증가로 인해 전력소모량이 커짐에 따라 3 $\phi$ 380V/50kW를 추가적으로 증설하였다.

#### 다. 대용량 칠러 및 펌프 차양 설치

준양산장치는 히터를 이용하여 챔버를 고진공 상태로 만드는 오일확산펌프가 설치되어 있고, 빔조사시 챔버의 열 손상을 방지하기 냉각수를 흘려 일정온도를 유지하여야 한다. 이에 대용량 칠러를 외부에 설치하여 냉각수 온도를 유지하였고 <그림 3.2.140>에 설치된 칠



리를 나타내었다. 그리고 <그림 3.2.141>에 보듯이, 여러대의 펌프가 양산장치에 연결되어 진공을 유지하는데, 소음 및 진동방지를 위해 외부에 설치를 하였고 먼지나 비 등의 외부 환경을 고려하여 차양을 설치하여 펌프를 보호하였다.



<그림 3.2.140 대용량 칠러 및 펌프 차양 설치>

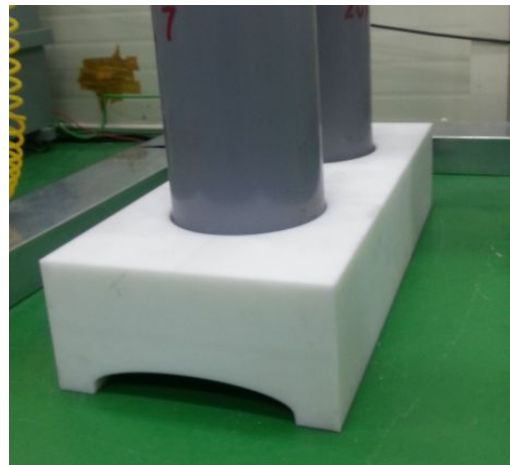
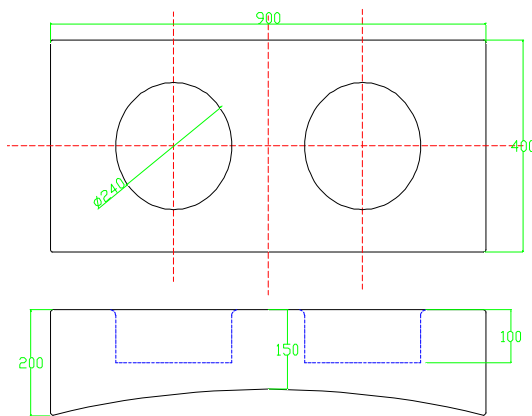


<그림 3.2.141 차양내에 설치된 펌프>

라. 고전압 전위에 설치되는 가스받침대 설계·제작 및 설치

질소 및 헬륨 가스가 이온원 Feedthrough를 통하여 인입되어 플라즈마 발생에 기여한다. 일반적으로 준양산장치는 인가전압에 따라 첫째, 이온원 플라즈마부 전위(90kV) 둘째, 이온원 인출전위(45~90kV) 셋째, 가속관 가속전위(0~45kV) 넷째 접지부(0kV)로 나뉘어진

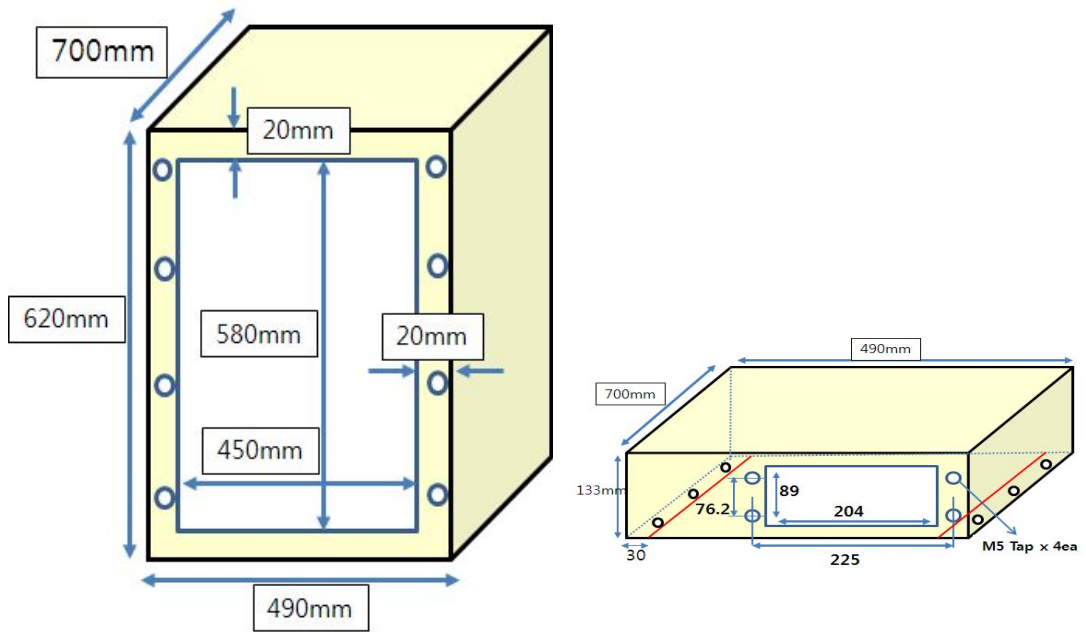
다. 이때, 가스는 이온원 플라즈마부 전위로써 가장 높은 전위를 가진다. 하지만, 양산장치라는 특수성으로 인해 가스용기는 용량이 최대한 커야하기 때문에 접지부 바닥에 설치해야 하는 공간적 제약이 따른다. 이에 전기적 절연을 하기 위해 절연능이 우수한 테프론 재질을 이용하여 가스용기 받침대 설계 제작하여 설치하였고, 무부하 시험을 통해 전기적 절연 시험을 수행하였다. 바닥과 받침대 사이에 습기가 발생하지 않도록 라운드 형태를 유지하였으며, 전체 크기는 900 x 400 x 200mm<sup>3</sup> 이다. <그림 3.2.142>은 가스용기 받침대의 설계도면과 제작 설치된 모습을 보여주고 있다.



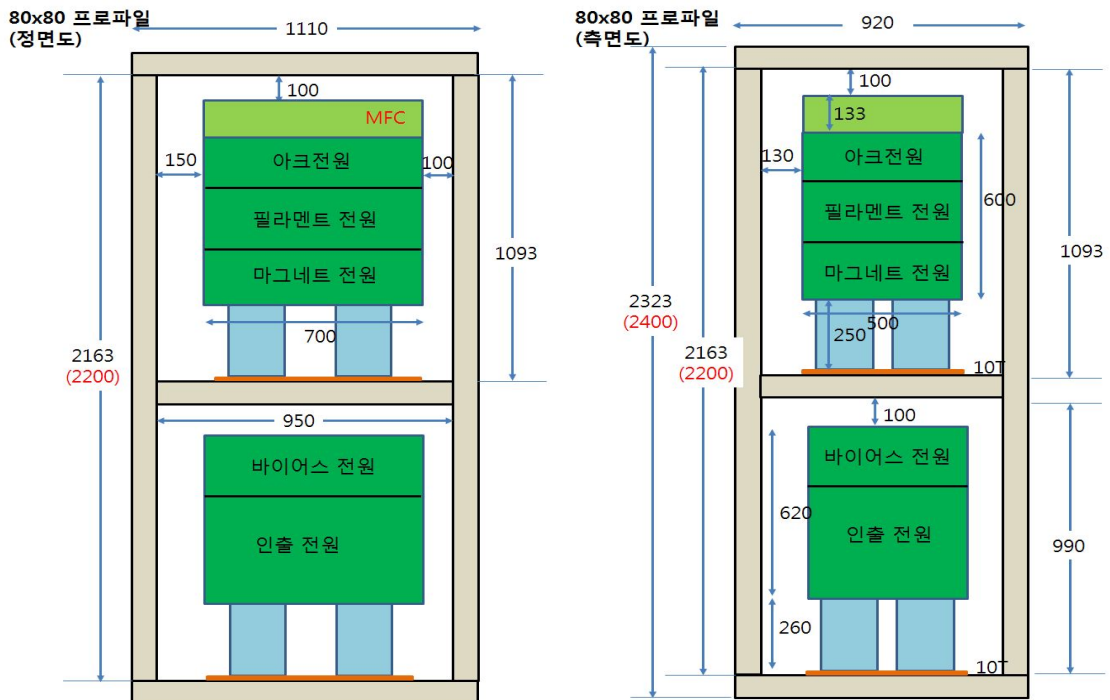
<그림 3.2.142 가스 용기 받침대 설계도면 및 설치모습>

마. 전원 Rack 및 알루미늄 프로파일 설계·제작 및 설치

전압인가에 따른 전위차이 때문에 각각의 전원설치도 전기적 절연을 고려하여 구성하여야 한다. 기존의 플라즈마 발생부에 해당하는 전원(필라멘트/마그네트/아크)은 하나의 Rack안에 설치되어 45kV전위가 인가되고 접지부에 해당하는 전원(인출전원/바이어스전원)은 바닥에 노출된 채로 설치가 되었다. 하지만, 가속관의 설치로 인해 에너지가 증가되기 때문에 인출 전원 Rack을 추가 제작<그림 3.2.143> 한 후 공간 활용을 위해 알루미늄 프로파일을 이용하여 플라즈마 발생부 Rack와 인출전원 Rack를 다단으로 <그림 3.2.144>과 같이 설치하였다. 또한 MFC(Mass Flow Controller)도 플라즈마 발생부 전위와 동일하기 때문에 Rack을 추가 제작하여 플라즈마 발생부 Rack상부에 설치하였고, 가속관의 가속전원 및 바이어스 전원 Rack도 추가 설치하였다. 전기적 절연을 위해 애자를 Rack 하부에 설치하였으며, 각 Rack의 모서리 부분은 코로나 방전 방지를 위해 Toroid 형태의 원형을 만들어 설치하였다. 이러한 과정을 통해서 제작 완료된 전원 Rack과 알루미늄 프로파일의 모습을 <그림 3.2.145>에 나타내었다.



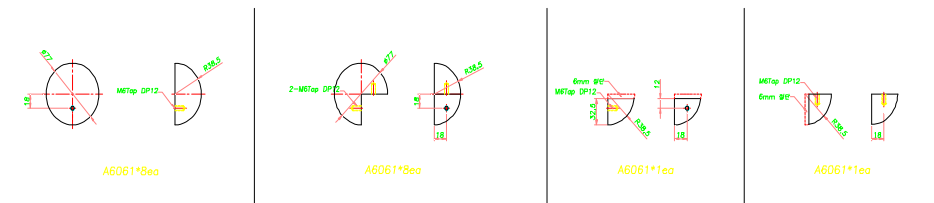
<그림 3.2.143 인출전원 Rack 및 MFC Rack 설계도면>



<그림 3.2.144 각 전원의 위치 및 알루미늄 프로파일 제작>



<그림 3.2.145 설치 완료된 전원 Rack 및 알루미늄 플로파일>

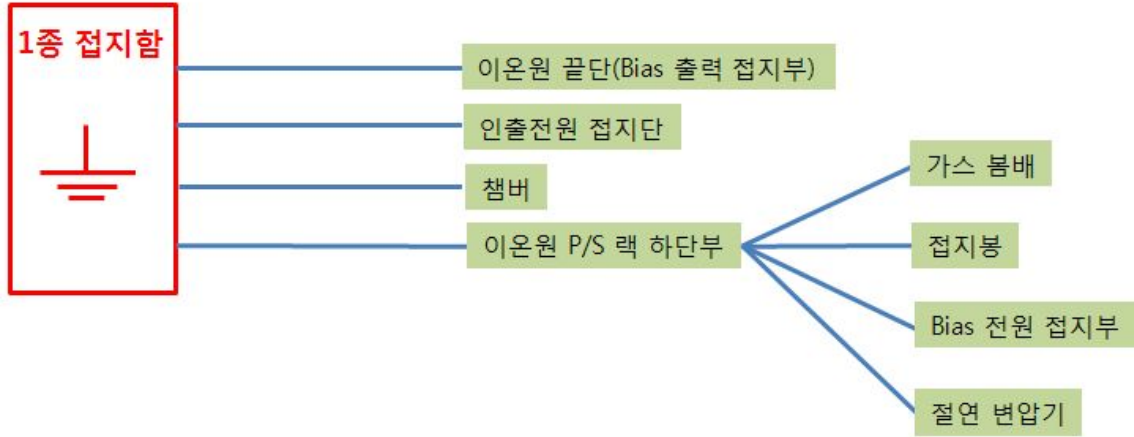


<그림 3.2.146 코로나 방지를 위한 구 제작>

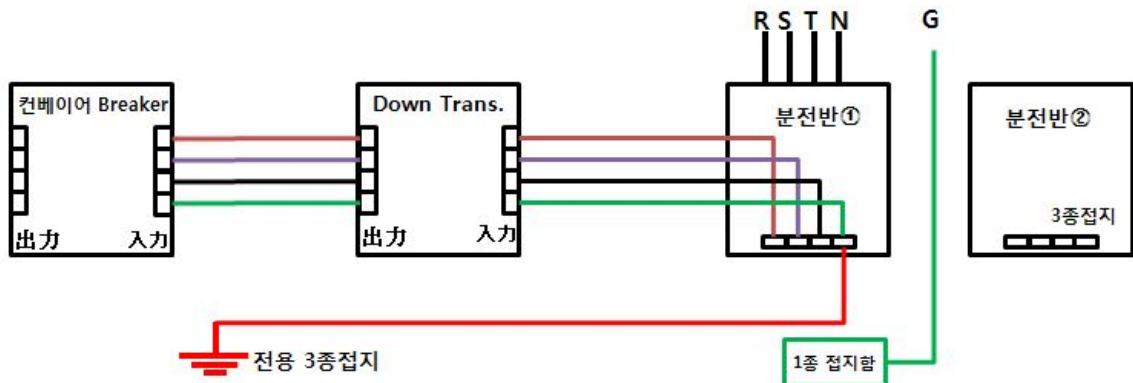
바. 1종 전용 접지 구축 및 1/3종 접지 분리

이온가속기는 고전압을 이용하기 때문에 빔 인출과 관련된 구성품은 1종 접지에 연결하여야 하며, 기타 제어부 혹은 지그운반장치, 펌프는 3종 접지를 하여야 한다. 이에 1종 접지를 신설하여 <그림 3.2.147>와 같이 1종 및 3종 접지를 분리하였다.

## 1종 접지 작업내역



## 3종 접지 작업내역



<그림 3.2.147 1/3종 접지 작업>

#### (4) 준양산장치 설계승인

- 방사선 발생장치 설계 승인 신청 및 시설검사 신청

KINS(한국원자력안전기술원)로부터 승인된 생산허가증을 바탕으로 추후 준양산장치를 (주)신기인터모빌 업체에 양도시에 필요한 사용허가의 전단계인 설계승인서류를 작성하였으며, 현재 KINS측에서 서류심사 중에 있다. 설계승인 준비서류는 장치의 설계기준을 포함하고 있는 설계자료, 장치의 안전성을 보여주는 안전성분석보고서, QA활동을 통한 품질보증 계획서 그리고, 세부 장치와 관련한 도면 등이 있다.

#### 가. 설계자료

##### ㉠ 설계의 개요 및 설명

##### 개요

현재 이온주입기술의 적용성은 반도체 분야 뿐만 아니라 비반도체 분야인 금속, 세라믹, 폴리머 등으로 점차 확대되고 있고 산업체에서 요구하는 표면의 특성변화도 다양화되고 있다. 이에, 본 산업용 가속이온주입기(MP03-01)는 이러한 비반도체분야 재료 표면에 기능성을 부여하는 것을 목적으로 하여 설계되었으며, 이온원과 가속관을 통한 최대 가속에너지는 90keV/30mA이다. 그리고, 시제품 생산성을 높이기 위해 진공함과 지그운반장치는 인라인 시스템(In-line system)으로 구성된다.

##### 방사선 응용원리

고분자에 이온을 주입하면 고분자 표면에서 이온이 에너지를 잃고 원자들이 여기 되거나 분자결합이 분리되면서 구조에 변형을 일으켜 물리적, 화학적, 기계적 특성변화가 일어난다. 이온주입한 고분자의 표면특성변화는 선형으로 구성된 분자사슬이 고에너지로 주입된 이온들과의 충돌로 에너지를 전이 받아 끊어지고(scission) 서로 다시 3차원적으로 random하게 결합하여 그물모양의 분자사슬(crosslink)과 unsaturated bond등을 형성하게 된다. 이와 같은 이유로 고분자 표면의 전기전도도가 향상된다. 그리고 질량이 서로 다른 이온을 주입함으로써, 금속질감의 광택을 가지면서 자외선 노출환경에 있어서도 내광성이 우수한 결과를 가져올 수 있다.

##### 설치 및 운영현황

경주 건천에 위치한 양성자가속기센터 내 방사선발생장치 사용허가시설로 인가받은 이온가

속기 실험실 I, II, III에서 현재 가속이온주입장치 3기가 가동 중에 있으며, 본 장치는 이온 가속기 실험실 III에 설치되어 진공과 관련한 기초적인 시험을 수행 중이다.

#### ㉔ 설계표준 및 기준요건

##### 이온원

이온원은 필라멘트, 중간전극, 이온원 전자석, 2개의 양극 1개의 표적음극 그리고 인출전극 계로 구성된다. 필라멘트는 낮은 일함수를 가지면서 높은 방출전류 밀도를 가지는 텅스텐(W) 혹은 토륨-텅스텐(Th-W) 재질을 사용하여야 하며, 중간전극과는 전기적으로 절연되어야 한다. 이온원 전자석과 중간전극은 전자를 증배시키는 역할 및 중간전극과 양극 사이에 강한 자장을 형성하여 중간전극 구멍 근처에서 전자들을 고밀도로 집속하는 역할을 한다. 이에 중간전극은 투자율이 큰 연강(Mild steel)을 사용하여야 하며, 고밀도의 전자들을 집속하기 위해 기하학적 형태의 구조로 설계되어야 한다. 이에 중간전극 끝부분의 각도는 60°, 구멍의 직경은 6.5mm로 설계되었다. 그리고 이온원 전자석은 중간전극을 자극(Magnetic pole)으로 해서 방전영역에 비균일 자장을 형성하여야 하므로 전자석 설계를 하기 위해 시뮬레이션 코드(POISSON code)를 수행하도록 한다. 또한 중간전극과 전자석 제작시 검사자의 입회하여 전극내 자장값을 측정 검사를 수행토록 한다. 예상되는 이온빔 최대인출전류를 계산하기 위해, 전극간거리, 인출전극 구멍의 반경, 사용하고자 하는 이온의 질량, 전자온도 및 플라즈마 밀도 등의 값을 구하고, 전극과 전극사이의 방전개시전압을 계산한다. 이를 기초로 하여 시뮬레이션 코드(IGUN code) 수행하고 이온원에서의 빔 궤적과 발산정도를 예상한다.

빔 인출시 스퍼터링에 의해 전극 표면 손상 발생의 우려가 있으므로 스퍼터링 일드(yield)가 큰 탄탈늄(Ta) 재료를 사용토록 한다. 전기적 절연내력 시험을 위해, 제작 후 인출 전원 45kV 인가 시 3시간 유지

##### 가속관

가속관은 내절연도를 50kV로 하여야 하며, 전극을 4 전극계로 설계하여 각 전극마다 저항을 두어 차등 전압을 인가함으로써 이온 광학특성 조종이 가능토록 설계한다. 이온이 가속시 접지단의 재료와 충돌하여 발생하는 이차전자가 역류하여 역방향으로 가속되어 전극에 충돌하여 발생하는 X-선을 차폐하도록 하는 원통형의 이차전자 억제전극(감속 전극)을 설치하도록 설계한다. 가속관 설계시 빔의 발산과 빔 궤적을 확인하기 위해 시뮬레이션 코드(IGUN

code)를 수행토록 한다. 이온원으로부터 인출되는 이온빔을 공간전하에 의하여 발산되기 전에 가속하기 위하여 이온원 다음에 가속관을 바로 설치한다. 전기적 절연내력 시험을 위해, 제작 후 인출 전원 45kV 인가 시 3시간 유지

### 납 차폐체

기기 표면방사선량률 : 0.4 $\mu$ Sv/hr 이하 @90keV/30mA

납 두께 4mm를 중심으로 두께 1mm인 스테인레스 스틸을 양쪽에 설치하여 차폐 설계한다. 이온원과 가속관을 완전 밀봉시키는 자체방호형 차폐형태로 설계한다.

### 인터록 시스템

장치 운전중 이상 현상으로 인해 과전류 발생시, 방사선 피폭을 방지하기 위해 인출전원과 가속전원을 차단하는 인터록 시스템 설계한다. 각 전원의 접점 단자대(5V 제어)에서 일정값 이상의 전압값이 인터록 시스템을 통해 읽혀지면 전원의 입력을 차단하는 방식으로 설계한다.

Rack 케이스 타입으로 설계한다.

### 빔 전류측정장치 및 진공함

빔 전류측정 장치 설계시, 이차전자가 외부로 나가는 것을 방지하기 위해 (-)전압을 인가하기 위한 바이어스 전극과 신호선이 전기적으로 절연되도록 한다. 신호의 노이즈 감쇄를 위해 신호선 및 (-)전압 인가용 전선은 절연물질로 shielding하도록 한다. 진공함은 제품 생산의 효율성을 높이기 위해 인라인(In-line)시스템으로 구성한다. 권장되는 진공함의 기본진공도는  $1 \times 10^{-5}$  Torr 이하이다. 기기의 열적 손상을 방지하기 위해 냉각수 온도 조절장치를 이용하여 권장 온도는 18~23 $^{\circ}$ C 이다. 기계적 강도 및 내부식성 그리고 취성이 용이한 재질인 스테인레스 스틸 혹은 알루미늄 등을 이용하여 제작하여야 한다.

### ㊤ 안전관련 품목 및 기능의 종류

### 이온원

본 장치에 사용된 Duo-PIGatron 이온원은 DuoPlasmatron 이온원과 PIG(Penning Ion Gauge)이온원의 방전원리를 결합한 형태로, 플라즈마 발생과 빔 인출 기능을 수행.



## 가속관

이온원에서 인출된 빔을 더 높은 에너지로 가속하기 위한 장치로써, 내절연도를 50kV로 설계하였으며, 전극을 4전극계(가속전극 3개, 감속전극 1개)로 설계하여 각 전극마다 차등 전압을 인가함으로써 이온 광학특성 조종이 가능하다.

## 차폐체

납판(Pb) 두께 4mm를 중심으로 양면에 스테인레스스틸(STS)판 두께 1mm씩 설치하는 형태로 설계되었으며, 방사선방호구조 형태는 자체방호형으로 하여 이온원과 가속관을 완전 밀폐시키는 형태로 설계한다.

## 인터록 시스템

운전중 이상 현상 발생시, 인출전원과 가속전원을 차단하는 시스템.

## 빔 전류측정장치

인출된 이온빔의 전류밀도와 빔의 형태를 측정하는 기구.

## 진공함

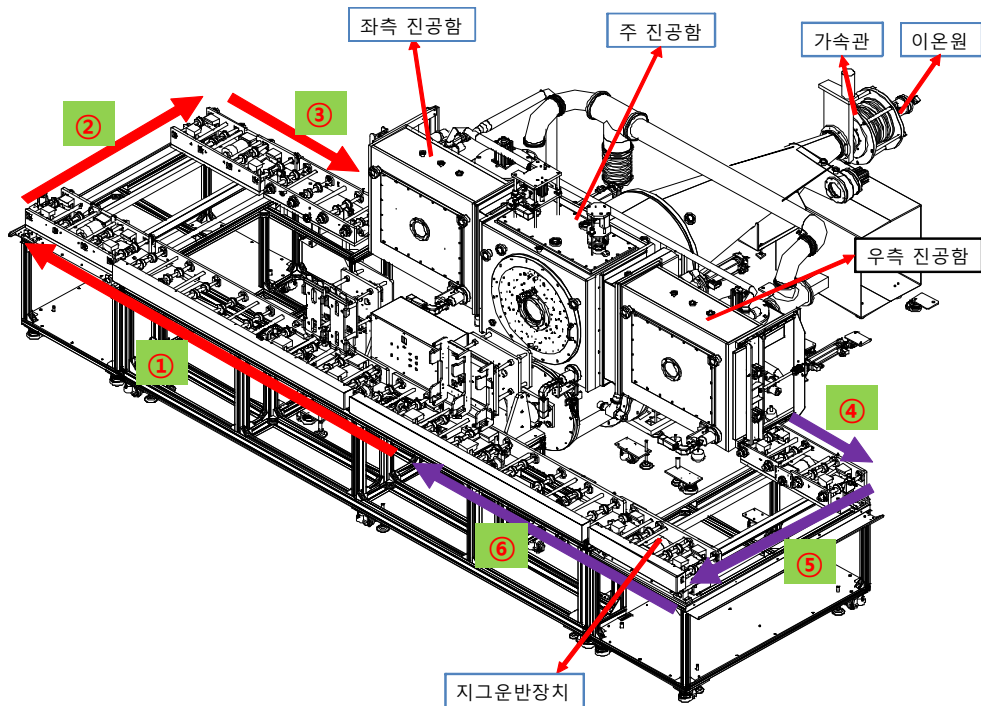
이온빔 조사에 의해 시제품이 생산되는 공간.

## ㉔ 설명

### 방사선기기 전체 관점에서의 작동원리 또는 절차 및 제한사항

산업용 가속이온주입기는 이온원/가속관/진공함/빔전류 측정장치/지그 운반장치/펌프/차폐체/전원/제어부 등으로 구성되어진다. 장치의 작동원리는 다음과 같다. 이온빔 조사전 진공함과 관련된 각종 펌프 및 밸브를 ON/OFF하여 진공함 내부를 진공상태로 유지한다. 그리고 가스가 이온원으로 인입된 상태에서 이온원과 가속관 각 전원을 setting하여 이온빔이 인출되도록 한다. 진공부 장치에서 샘플의 이동순서를 <그림 3.2.148>에 나타내었다. 빔 조사를 하고자 하는 샘플을 샘플지그에 장착한 후 지그 운반장치를 통해 좌측 진공함으로 들어가서 (①-②-③순) 첫 번째 진공작업을 하게 되고, 일정 진공도가 되면 주 진공함으로 이송이 된다. 이때, 주 진공함은  $3 \times 10^{-6}$ Torr을 유지하고 있으며, 이송된 샘플지그에 부착된 샘플에 빔

조사를 수행하며, 빔 조사 완료 후 오른쪽 진공함으로 이송된다. 이때 오른쪽 진공함은  $5 \times 10^{-5} \text{Torr}$  이하의 진공도를 유지하여야만 빔이 안정하게 유지될 수 있다. 오른쪽 챔버에서 나온 샘플 지그는 지그 운반장치에 의해 다시 원점으로 운반하게 된다(④-⑤-⑥순). 이때, 유의해야 할 사항은 이온원과 가속관, 그리고 Diffusion Pump에는 열이 발생하기 때문에 실험 전 냉각수가 가동이 될 수 있도록 하여야 하며, 진공함과 지그 운반장치에는 많은 위치센서들을 포함하고 있기 때문에 예상치 못한 에러 사항들이 발생할 수 있다. 이에, 장치운전 매뉴얼을 숙지한 후 장치를 운전하도록 한다.



<그림 3.2.148 산업용 가속이온주입기의 지그 시스템 작동순서>

안전관련 품목 관점의 작동원리 또는 절차 및 제한사항

이온원에서 전자와 가스간의 충돌로 인해 플라즈마가 발생하고 가속-감속전극에 전압을 인가함으로써 이온빔이 인출된다. 이때, 이온과 잔류기체와 충돌 등에 의해 발생된 전자가 이온과 반대방향으로 가속되어 표적음극 전극에 충돌하면 X-선이 발생하므로, X-선 차폐용 등전위 전극을 설치하여 X-선 방출을 최소화하였다. 가속관은 설계된 전극에 저항을 설치하여 가속시키는 정전형방식이고, 접지단에서 발생한 이차전자가 역방향으로 가속되어 발생하는 X-선을 최소화하기 위해 전극을 원통형으로 설계하였다. 빔 인출시 과전류 방지용 인터록 시스템을 설치함으로써 납 차폐판과 함께 이중으로 방사선 피폭을 방지하였다. 장시간 빔

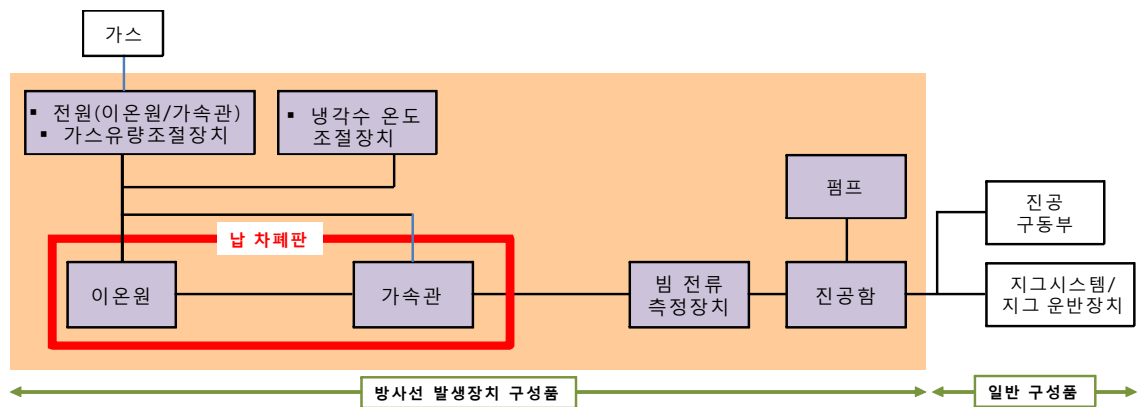
운전시 전극표면에 스퍼터링이 발생하여 빔의 광학특성이 유지되기 어려운 경우가 발생할 수 있으므로 정기적으로 전극부위를 점검하고 실험 중에는 항상 서베이메타를 두어 방사선 발생정도를 확인한다.

나. 안정성분석보고서

㉔ 방사선기기의 개요 및 제원

개요

방사선 발생장치로 분류되는 산업용 가속이온주입기(IMP03-01)는 방사선발생과 관련하여 기본적으로 이온원 및 이온원 관련기기, 가속관 및 가속관 관련기기, 빔 전류측정장치 그리고 진공함으로 구성된다. 그 외, 제품 형태와 사용목적에 따라 설계를 변경하더라도 방사선발생에 영향을 미치지 않는 진공구동부와 지그 관련기기와 같은 일반품목으로 구분된다. <그림 3.2.149> 과 <표 3.2.150>은 본 장치를 구성하는 기기와 장치제원을 나타낸 것이다.



<그림 3.2.149 IMP03-01 장치구성>

장치 주요 제원

- 전체 크기 : 5700(W) x 7120(L) x 2100(H) mm<sup>3</sup>
- 구성 : ①이온원 ②가속관 ③빔전류 측정장치 ④진공함(주진공함 /좌측진공함/우측 진공함) ⑤전원 ⑥펌프 ⑦차폐체 ⑧펌프 ⑨제어부 ⑩절연변압기 ⑪냉각수 온도 조절장치 ⑫기타(가스/진공 구동부/지그 시스템/지그 운반장치 등)

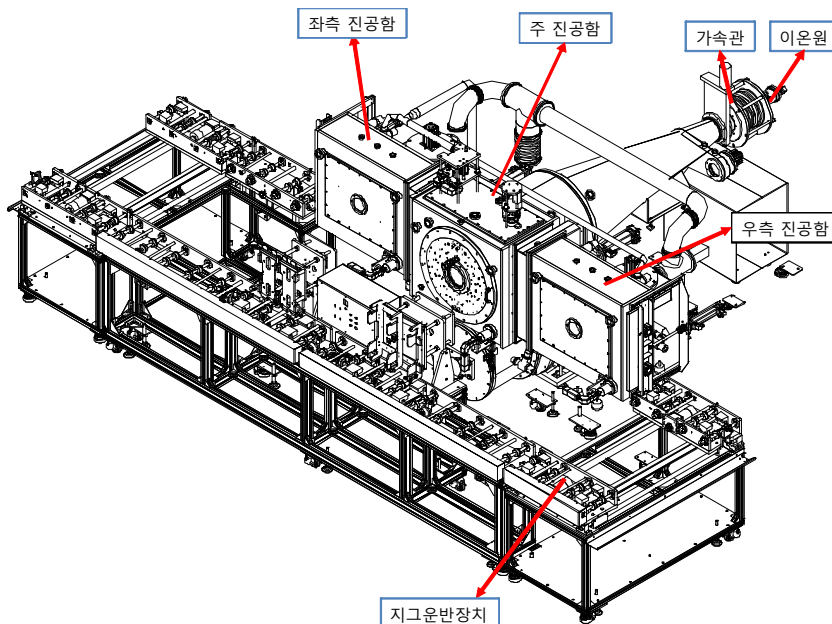
방사선 발생원 : 이온원/가속관

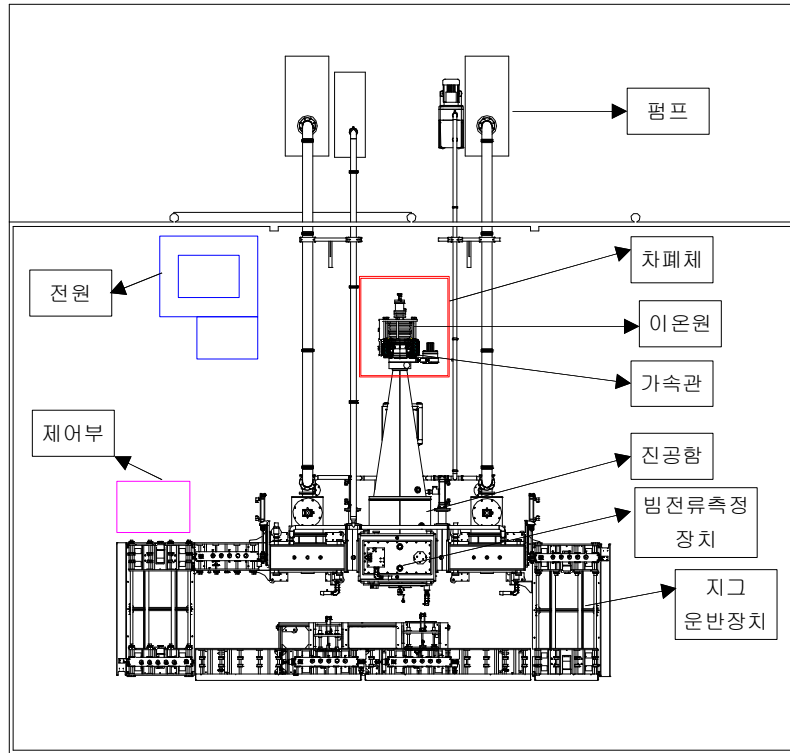
방사선 차폐 : 납(Pb) 4mm(스테인레스 스틸(STS) 1mm 케이스)

사용 이온 : 헬륨 및 질소를 비롯한 비활성기체가스

<표 3.2.18 산업용 이온주입가속기 제원>

	특 성
이온원 에너지	45 keV
가속관 에너지	45 keV
빔 전류	>30mA [질소이온 기준]
빔 조사면적	400mm × 400mm
사용 이온	헬륨(He), 질소(N)



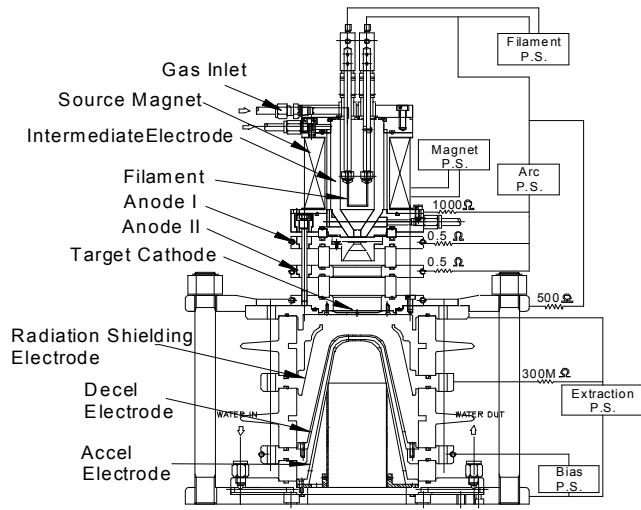


<그림 3.2.150 IMP03-01 전체 Lay-out 및 평면도>

㉞ 방사선 방출량 및 방사선의 품질 또는 방향에 영향을 미치는 부품

### 이온원

Duo-PIGatron 이온원에서 빔 인출시 역류전자가 전극에 충돌하여 X-선 이 발생하며, 이로 인해 세라믹 절연체를 통해 방전을 일으키는 원인이 되기도 한다. 이러한 이차전자 발생을 최대한 억제하기 위한 방법은 전극에서의 이온빔 누설 감소, 인출전극부의 진공도 향상, 그리고 이차전자 발생율이 낮은 전극재료를 선택하는 것이다. <그림 3.2.151>은 이온원 전체도면을 나타낸 것이며, 이온원에서 인출 가능한 최대에너지는 45keV/30mA이다.



<그림 3.2.151 Duo-PIGatron 이온원 전체 Lay-out>

- 크기 : 410(W) X 410(L) x 530(H)mm<sup>3</sup>
- 구성 : ① 필라멘트 ② 전자석/중간전극 ③ 양극 I / 양극 II  
④ 타겟 음극/감속 전극/가속 전극 ⑤ 방사선 차폐전극

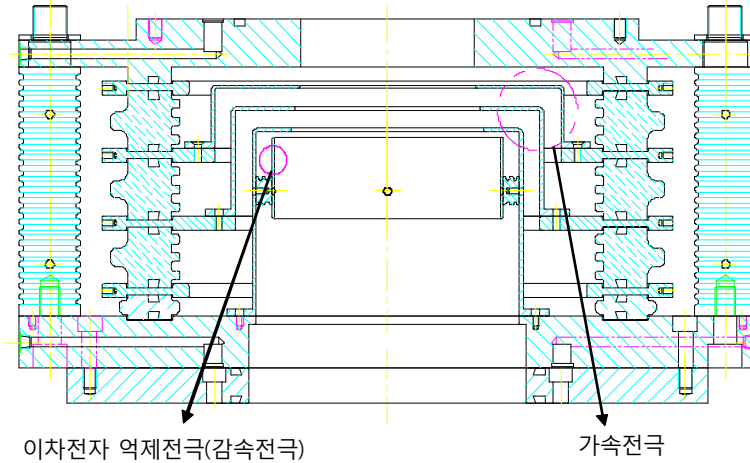
<표 3.2.19 Duo-PIGatron 이온원 제원>

시스템 항목	요구성능
인출 전압	45kV
빔 에너지	45keV
빔 전류	>30mA (질소이온 기준)
이온 종류	헬륨, 질소
운전 진공도(압력)	< 1.2x10 <sup>-5</sup> Torr
가스 유량	~10sccm(질소이온 기준)
빔 균일도	±20%

### 가속관

가속관은 이온원에서 인출된 빔을 더 높은 에너지로 가속시키기 위한 장치로써, 이온원에서 인출되는 대전류 이온빔이 공간전하에 의하여 발산되기 전에 가속관에 입사되도록 이온원 뒷단에 바로 설치되었다. 가속관 접지측에서 이온빔과 잔류기체 또는 벽면과의 충돌에 의하여 발생된 전자가 가속관을 따라서 이온빔과 반대방향으로 가속되어 이온원 인출계 전극들과 충돌하면서 다량의 X-선을 발생하게 되는데, 가속관 후단에 원통형 전극을 설치하고, 이곳에 (-)

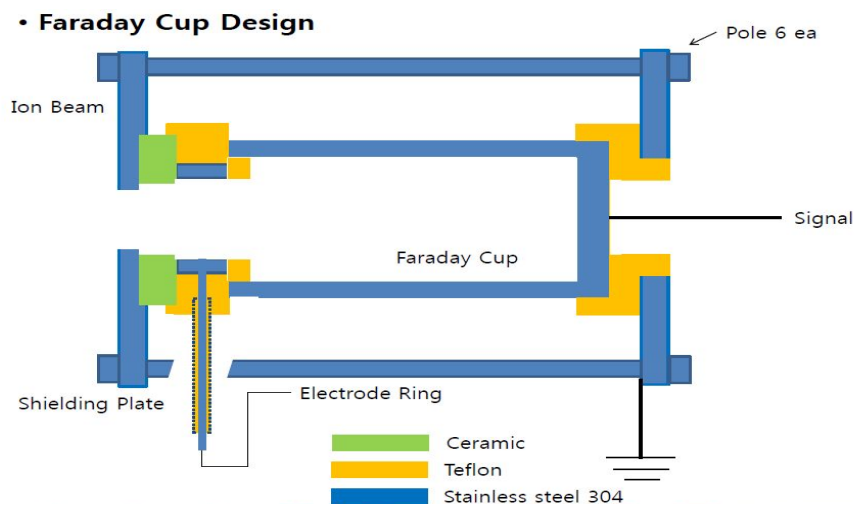
전압을 인가함으로써 전자의 역류를 최소화하였다. <그림 3.2.152>은 가속관의 설계도면을 나타낸 것으로 총 3개의 가속전극과 1개의 이차전자 억제용 바이어스 전극(감속전극)이 설계되었다.



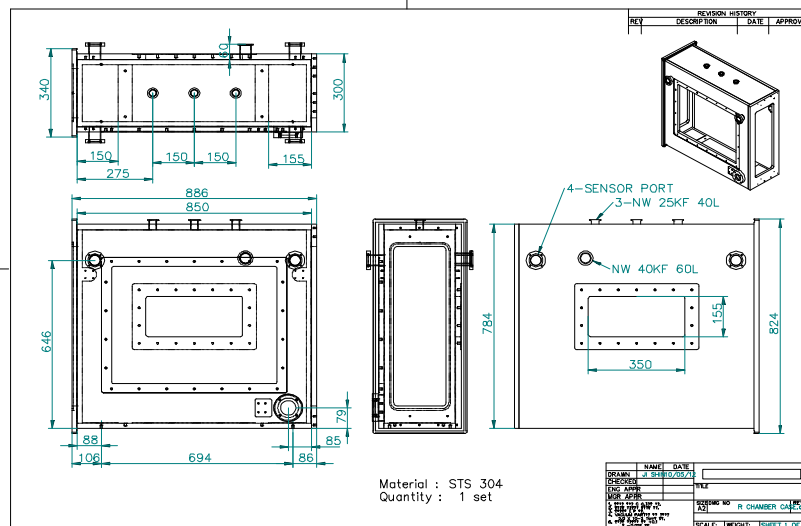
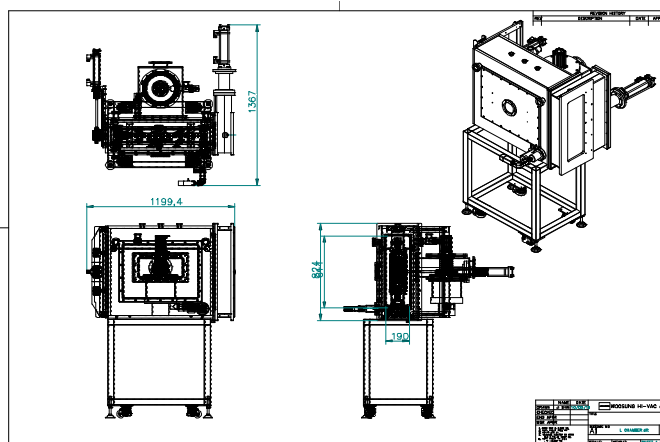
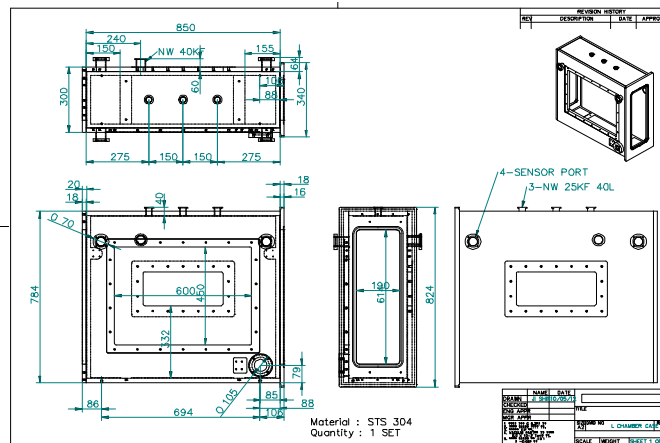
<그림 3.2.152 가속관 설계도면>

빔 전류측정장치 및 진공함

빔 전류측정장치(Faraday Cup)는 이차전자를 포획함으로써 이온빔의 공간적인 밀도분포를 측정하는 것으로, 일정 바이어스 전압을 인가하여 이차전자를 포획하는 형태로 제작되어 진공함부 상부에 설치되어있다. 페러데이컵의 재질은 스테인레스 스틸과 전압이 인가되는 부분의 절연을 위해 테프론으로 구성되어 있다. 그리고 진공함은 효율적인 제품 생산을 위해 인라인 시스템 구조로써 좌측, 우측 및 주 진공함으로 구성된다. 직사각형 형태로서 일반적인 스테인레스 스틸 재질로 이루어져 있다.



<그림 3.2.153 페러데이컵의 Lay-out>



<그림 3.2.154 진공함(좌측/주/우측)의 설계도면>



## 사용환경의 조건

### 온도 및 습도

- 장치실 온/습도 : (20 ~ 25)℃ / 습도 35% 유지 권장.
- 이온원 및 펌프의 칠러 냉각수 온도 : 18~20℃ 유지 권장.

압력 : (7~8) kPa 유지 권장.

기타 : 진동 및 누수 등이 발생하지 않는 곳에 장치 설치 권장.

## 사용 제한사항

서베이메터를 지참하고 장치 운전 중 주변의 방사선발생량을 확인.

작업자는 장치주변에서 발생 가능한 냉각수 누수나 펌프의 이상 소음 등을 확인 후 장치운전토록 하며, 이상 발생시 자가 정비 후 운전 혹은 운전메뉴얼에 따라 업체에 보수신청.

### ㉔ 제원

본 장치의 전체적인 제원은 앞에서 설명한 장치 개요부분과 <그림 3.3.84>에 나타낸 것처럼, 방사선원인 이온원과 가속관을 비롯하여 빔 전류 측정장치, 진공함 및 차폐체 그리고 각종 전원 등 방사선발생과 관련한 기기와 지그 운반장치와 지그 시스템 등의 일반부품으로 구성된다. 그리고 이온원과 가속관에서는 고전압저항을 이용하여 인가된 전압을 분배시켜 빔을 가속시키는 정전형 가속방식을 채택하고 있다.

## 설치형식

사용처에 따라 방사선 발생에 영향이 없는 지그 시스템과 지그 운반장치 등이 달라지며, 장치만 독립적으로 설치.

### 제어기에서 제어 가능한 항목현황

이온원과 가속관의 전원제어부와 진공함과 관련한 각종 밸브, 지그운반장치, 빔 전류측정장치 등의 진공제어부로 구성되어 있으며, 빔 인출 중 과전류 발생시 인출전원과 가속전원을 차단하는 인터록을 설치함으로써, 비정상적인 방사선 발생을 방지하고 진공함과 관련한 각종 밸브, 지그운반장치, 빔 전류측정장치 등은 진공제어부에서 PLC(Program Logic Controller)로 제어.

### 가속입자의 종류 및 공급방식

가속시키는 이온은 주로 헬륨과 질소이며, 가스봄베와 가스유량조절기(Mass Flow Controller)를 통해 이온원 내부로 인입후, 아크전압을 인가하여 플라즈마를 발생시켜 이온을 가속.

### 발생가능한 방사선

X-선.

### 목적하는 방사선(목적하는 입자)

헬륨, 질소.

### 고전압 유도방식

고전압 전원을 이온원과 가속관에 연결하여 전압을 인가한다. 이때, 이온원과 가속관에는 고전압 저항이 각 전극마다 설치되어 있어 저항을 통한 전압분배가 이루어지는 정전형가속방식.

### 최대유도전압

90kV(이온원 45kV/가속관 45kV).

### 가속된 입자의 최대 빔 에너지

90keV(이온원 45keV/가속관 45keV).

### 가속된 입자의 최대 빔 전류

30mA.

### 빔 방출의 형태

진공하에서 연속빔.

### 연속 가동시간과 대비한 실제 방사선방출시간의 비율

IMP03-01은 3개월 주기로 유지보수 기간(권장사항)을 가진다. 따라서 최대 연속 가동 가능한 시간은 유지보수 전까지인 2160시간 이며 이때 연속해서 빔을 인출 할 수 있는 시간은 최대

100시간 정도로 0.05의 비율을 가진다.

방사선기기의 재질, 구조 및 안전성 평가

#### ㉮ 재질

방사선원인 이온원과 가속관 그리고 납차폐체를 제외한 나머지 부품은 전체적으로 취성과 가공성이 용이한 스테인레스 스틸(Stainless steel)과 알루미늄(Al) 그리고 플라스틱 등의 재질로 제작된다. 또한 방사선차폐와 관련하여 자체방호형 구조로 납 차폐체를 방사선원 주위에 설치하였으며, 장치의 최대 가동조건에서 표면방사선량이 방사선발생장치 기준인 시간당 10마이크로시버트( $\mu\text{Sv}$ )를 초과하지 않도록 설계되었다.

#### 이온원

이온원은 플라즈마 발생영역과 인출영역으로 구분되며, 플라즈마 영역에는 필라멘트, 중간전극, 이온원 전자석, 2개의 양극, 1개의 표적음극으로 구성되며, 인출영역은 음극전극과 인출전극으로 구성된다.

#### 필라멘트

필라멘트의 재질은 낮은 사용온도에서 높은 방출 전류밀도를 가지고 긴 수명이 요구되는 특성을 가져야 하므로, 일반적으로 토륨이 약 1~2% 함유된 토륨-텅스텐을 사용한다. 토륨-텅스텐의 일함수는 2.36eV로 텅스텐보다 낮아 운전온도가 1900℃이며, 장시간 사용을 위해 직경 1~2mm를 사용한다.

#### 이온원 전자석/중간전극

이온원 전자석과 중간전극은 필라멘트에서 방출된 열전자와 가스유량조절장치를 통해 인입된 기체가스와의 충돌에서 전자를 증배시키는 역할을 할 뿐만 아니라, 중간전극과 양극 사이에 강한 자장을 형성하여 중간전극 구멍 근처에서 전자들을 고밀도로 집속하는 역할을 한다. 이에 중간전극은 투자율이 큰 연강(Mild steel)을 사용하여야 하며, 고밀도의 전자들을 집속하기 위해 기하학적 형태의 구조로 설계되어야 한다. 이에 중간전극 끝부분의 각도는 60°, 구멍의 직경은 6.5mm로 설계되었다.

#### 양극

양극에 사용되는 재질은 동 보다 표면성질이 좋아 균일한 플라즈마를 발생시킬 수 있는 무산

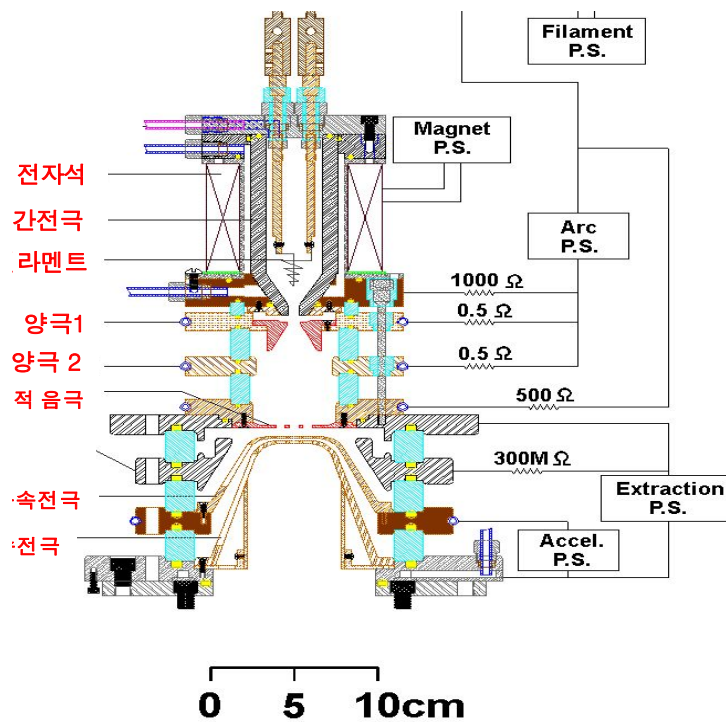
소동(Oxygen Free Copper)을 사용하였다.

표적음극

표적음극은 양극에 대하여 음전위를 인가함으로써, 기체의 전리효율을 증가시켜 고밀도의 PIG(Penning Ionization Gauge) 플라즈마를 형성시키는 역할을 한다. 표적음극에는 빔의 면적과 균일도를 고려하여 음극 중심에 여러 개의 구멍을 배열하도록 한다. 플라즈마 발생시 높은 열과 입자들의 운동에너지에 의해 음극표면이 스퍼터링(Sputtering)되어 손상을 가져올 수 있으므로, 스퍼터링 일드(Sputtering yield)값이 낮은 탄탈늄(Ta) 재질을 사용한다.

가속-감속 전극

방전 개시전압과 최대 인출전류 등 인출되는 이온빔의 이온광학적 특성을 고려하여 전극 구멍의 직경과 두께가 설계된다. 빔 인출시, 이온빔이 인출전극에 충돌함으로써 발생하는 인출전극의 열소산문제와 표면의 스퍼터링 문제를 해결하기 위해 무산소동과 탄탈늄 재질을 사용한다. 그리고 두 전극사이에는 전압인가에 따른 전기적 절연을 위해 기계적 강도 및 전기적 절연내력이 우수한 세라믹 재질을 사용한다.



<그림 3.2.155 이온원 Lay-out>

## 가속관

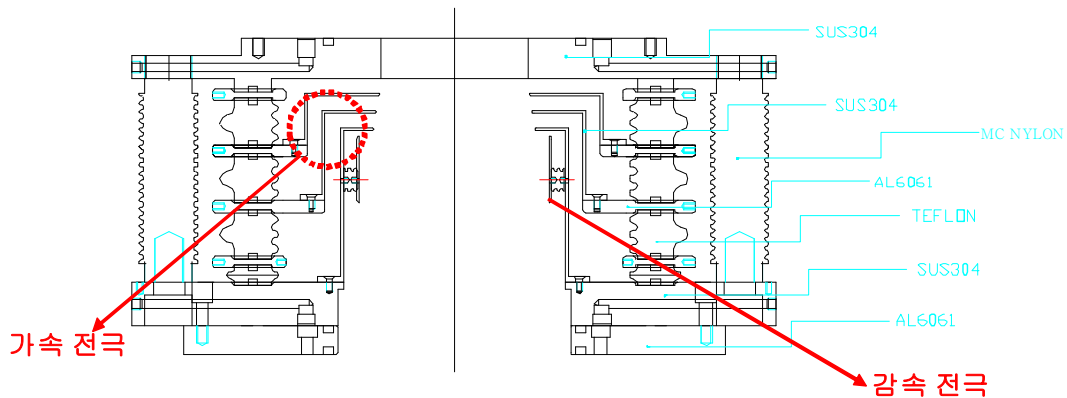
이온원에서 인출된 이온빔을 높은 에너지로 가속시키기 위해 3개의 가속전극과 1개의 감속전극 그리고, 인가되는 전위가 다른 각 전극 사이에 들어가는 절연체로 구성된다.

### 가속-감속 전극

전극재료로는 X-선 발생을 최소화하기 위해 원자번호가 비교적 크면서 공학재료로 널리 사용되고 있고 가공성 및 냉각능력이 우수한 스테인레스 스틸(STS 304)을 사용하였다.

### 절연체

각 전극간은 3개의 저항에 의하여 전압이 균등하게 분할되며, 전극 사이에는 절연능이 우수하면서 가공성이 좋은 테프론(Teflon) 재질을 사용하여 절연을 하였다. 또한, 4조의 절연체와 전극 사이에는 내유성, 내열성, 내마모성이 우수한 불소계 수지인 O-링을 사용하여 가속관을 체결 하였다.

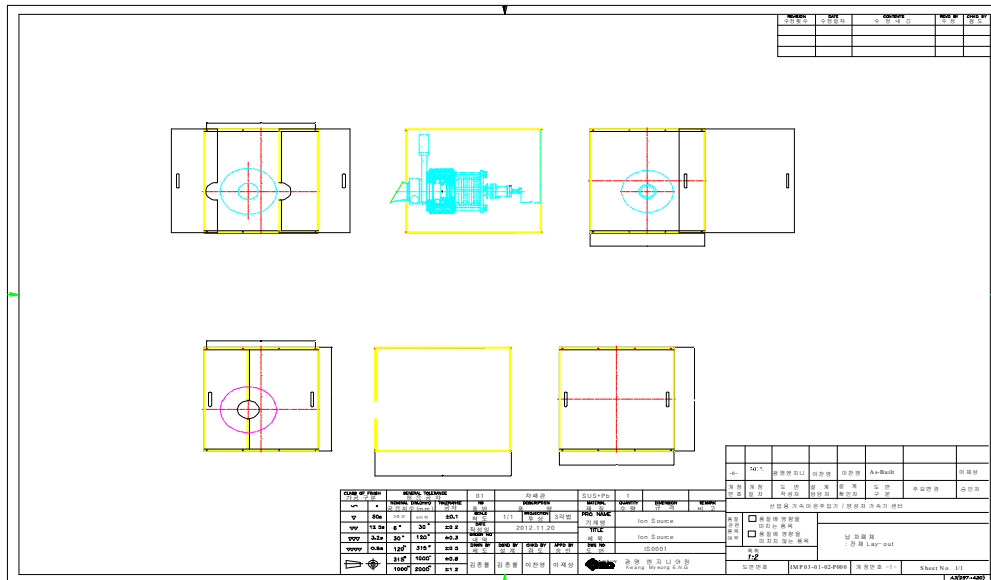


<그림 3.2.156 가속관 단면도>

## 납 차폐체

90keV X선의 10가층은 0.88mm 이며, 차폐체를 설계·제작하기 전에 IMP03-01 에서 방출되는 표면방사선량(X-선)을 확인하기 위해 납 두께 3mm로 둘러싸인 육면체 케이스를 제작하고 그 속에 서베이미터를 넣어 방사선량을 측정하였다. 이러한 실측방법을 통해 방사선 차폐정도를 예상하고 이를 기준으로 실제 기기에 적용될 차폐체를 설계하였다. 차폐체는 이온원과 가속관을 완전 밀폐시키는 자체방호형으로 설계하였으며, 기기자체의 구조물 형태와 방사선원인 이온원과 가속관의 정기적인 정비시 취급이 용이하도록 차폐체 지지대에 레일을 설치하여 차폐체를 이동시킬 수 있도록 하였다. 차폐체를 구성하는 물질은 납(Pb)두께 4mm를 중심으로 양면에

1mm씩 스테인레스 스틸(STS)을 설치하는 형태이며, 이러한 형태와 구성을 <그림 3.2.157>에 나타내었다.



<그림 3.2.157 납 차폐체 설계도면>

제어부의 인터록 시스템

본 장치의 제어부는 인출전원과 가속전원의 인터록 시스템과 진공부 동작과 관련된 제어부로 구성된다. 인터록 시스템은 사각 케이스 내부에 PCB board와 릴레이, 컨버터 등이 설치되어 제어접점과 연결되어 있고, 진공 제어부는 철재로 된 랙(Rack) 케이스 내부에 설치된 PLC로 제어된다.

㉸ 구조

안전관련품목의 제작방법

일반적인 기계 가공에서, 각 세부 부품들은 일반적으로 외주 제작토록 하며 이때, 설계 및 제작절차, 시험공정 등이 기재된 제작 시방서에 준하도록 한다. 그리고 각 주요 공정은 제품 제작 품질보증계획에 따라 공장입회검사를 수행하도록 한다.

이온원 및 가속관 부품 제작

## 기계가공

이온원 및 가속관의 전극은 고전압 인가 및 이온빔 인출시 이차전자의 역류를 억제함으로써 X-선 발생을 방지하는 관점에서, 치수공차 및 성형결점이 없도록 전극 끝단의 라운딩 작업에 주의하여 제작토록 한다. 또한 내부식성을 높이기 위해 최종 제작단계에서 전해연마 공정이 포함되는데, 이때, 작업 전 먼지, 녹, 기름기 등을 완전 제거 후 작업토록 한다. 그리고 냉각수 라인이 포함되는 부품은 관통부 부위를 TIG Welding을 하여야 하며, 제작 완료시 검사자 입회하에 진공 시험 (유입량  $1.5 \times 10^{-9}$  torr · l/sec)과 공압시험 (압력 6Kgf/cm<sup>2</sup>에서 10분간 미 누설)을 검사토록 한다.

## 자장 측정

이온원전자석 제작시, 자장 시뮬레이션 결과값에 준하여 코일 turn수를 정하고, 코일외부는 에폭시로 열처리를 한다. 이후, 검사자 입회하에 자장값 측정기인 Hall probe를 이용하여, 일정전압을 인가하였을 때 나타나는 자장값을 확인한다.

## 진공 및 냉각수 누수 시험

이온원 및 가속관을 각각 조립 후, 진공시험에서는  $1 \times 10^{-5}$  Torr 이하의 진공도를 유지하여야 하며, 냉각수 누수 시험에서는 8kPa 정도의 압력이 걸렸을 때 냉각수 누수가 없어야 한다.

## 납 차폐체 부품 제작

두께 1mm 스테인레스 스틸 케이스 내에 두께 4mm의 납판을 넣은 형태로써, 이온원과 가속관을 밀봉하는 육면체 형태이다. 이온원 및 가속관에 걸리는 전압과 차폐체에 걸리는 전압은 서로 다르므로 전기적으로 절연이 되어야 하며, 차폐체 외부 모서리 부근에서 코로나(Corona) 방전이 발생할 수 있으므로 모서리는 둥근 형태를 가져야 한다. 외주제작에 있어 납판 설치 시 납판 두께와 설치형태를 검사자 입회하에 검사토록 한다.

## 인터록 시스템 제작

인출전원 및 가속전원의 인터록 구성은 각 전원의 후단에 있는 5V 제어용 단자대에서 전류부분의 전압 신호값을 받아들이고, 장치 운전중 고압 서지(Surge)나 진공도 저하에 따라 비정상적으로 전원에 과전류 발생시, 각 전원을 차단하도록 되어 있다. 그리고 진공부 동작과 관련한 제어부의 각종 밸브 및 실린더 그리고, 펌프의 On/Off를 제어할 수 있도록 하며, 일정 진공

도 이상에서는 펌프의 안전성을 고려하여 밸브가 작동하지 않도록 제어된다.

#### 선원부위의 조립방법

일반적인 기계조립 공정순서로써, 진공누수가 발생하지 않도록 각 구성별 O-링과 볼트 너트를 확인하면서 조립토록 하며, 이온원과 가속관의 위치별 전극 구멍을 일치시켜 조립하도록 한다. 또한 조립후 전극과 전극사이 그리고, 필라멘트와 이온원 전자석 사이의 전기적 절연이 유지되어야 하므로 저항테스트기로 절연상태를 확인한다. 그리고, 빔 전류측정장치를 조립할 경우에는 바이어스 혹은 신호선이 단락될 수 있는 위험이 있기 때문에 주의하여 조립하도록 한다.

#### 정상적인 조립상태

진공함부 앞단에 가속관 설치후 이온원 및 고전압저항을 설치한다. 기계적인 조립이 완료된 후 납 차폐체로 이온원과 가속관을 밀봉하며, 이온원과 가속관에 연결되는 전원계통의 전기배선과 냉각수 라인을 연결하도록 한다. 이때, 특정 전원계통의 출력라인은 서로 다른 전위를 가지므로 겹치지 않도록 주의해서 연결하도록 한다.

#### ㉞ 안전성평가

##### 안전관련 품목의 제작기준

#### 이온원과 가속관

- 제작시방서의 요건에 준하는 주요 부품의 치수공차와 형태, 부품의 재질 선정.
- 냉각수 누수시험 : 8kPa 이상의 압력에서 냉각수 누수 없어야 함.
- 진공시험 :  $1 \times 10^{-5}$  Torr 이하의 진공도를 유지.
- 이온원 전자석의 자속밀도 측정시험 : 시뮬레이션 결과 값 충족 (오차  $\pm 10\%$ ).
- 무부하시험을 통한 전기적 절연시험 : 50kV 인가 후 30분 유지.



### 인출 및 가속전원의 인터록 시스템

- 회로도 및 구성부품이 설계기준에 적합.
- 전원과 인터록 시스템 상호간의 접점신호들의 정상적 동작 여부 확인.

### 납 차폐체

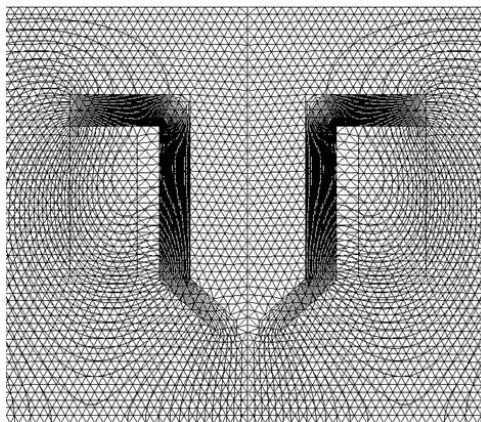
- 표면처리 및 각 부품들의 두께와 크기가 설계기준에 적합.

### 제작 기준에 따른 시험 또는 측정의 적용방법

### 설계 과정

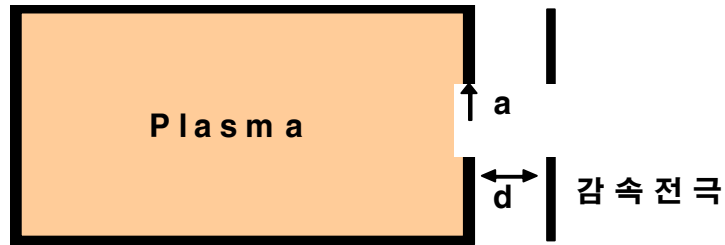
#### 이온원

45keV/30mA 제원의 이온원 설계에서는 우선 이온원 전자석의 자장값을 예상할 수 있는 시뮬레이션 코드인 Poison code를 수행하여 그 결과를 가지고 이온원 전자석을 설계한다. <그림 3.2.158>는 Poison code를 이용한 자속밀도 시뮬레이션 결과치를 보여주고 있다. 시뮬레이션 수행 결과, 이온원 전자석의 코일은 950턴수를 지녀야 하며, 중간전극의 구멍근처 자속밀도 값은 950가우스(Gauss), 그리고 200W(25A)용량을 가지는 전자석 전원이 구비되어야 한다. 그리고 <그림 3.2.159>에 나타낸 것처럼 예상되는 이온빔 최대인출전류를 계산하기 위해, 전극간 거리, 인출전극 구멍의 반경, 사용하고자 하는 이온의 질량, 전자온도 및 플라즈마 밀도 등의 값을 구한다. 더불어 대기 및 진공 중 방전전압을 계산하여 각 전극간의 절연체 두께를 결정한다. 이를 기초로 하여 <그림 3.2.160>와 같이 이온빔의 발산정도를 예상할 수 있는 시뮬레이션 코드인 IGUN code를 수행하고 그 결과값을 통해 원하는 이온원의 설계가 가능하다.



<그림 3.2.158 이온원전자석의 자속밀도 시뮬레이션 코드 결과>

<그림 3.2.159>에는 위에서 언급한 최대인출전류 및 방전개시전압과 관련한 계산식을 나타낸 것이다.

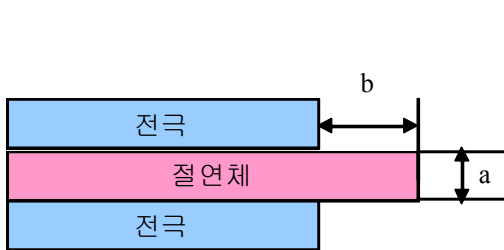


- a : 음극 구멍의 반지름
- d : 전극간 거리

▶ Space Charge Limit Current

$$j = \frac{4 \cdot \epsilon_0}{9} \sqrt{\frac{2 \cdot q}{m}} \cdot \frac{U^{\frac{3}{2}}}{d^2}$$

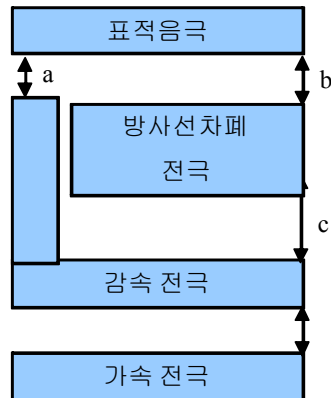
(a) 최대인출전류 계산식



$$V_b = 2440d + 61\sqrt{d}$$

$V_b$  : 방전 전압 (V)  
d : 전극간 거리 (cm)

(b) 대기중 방전개시전압

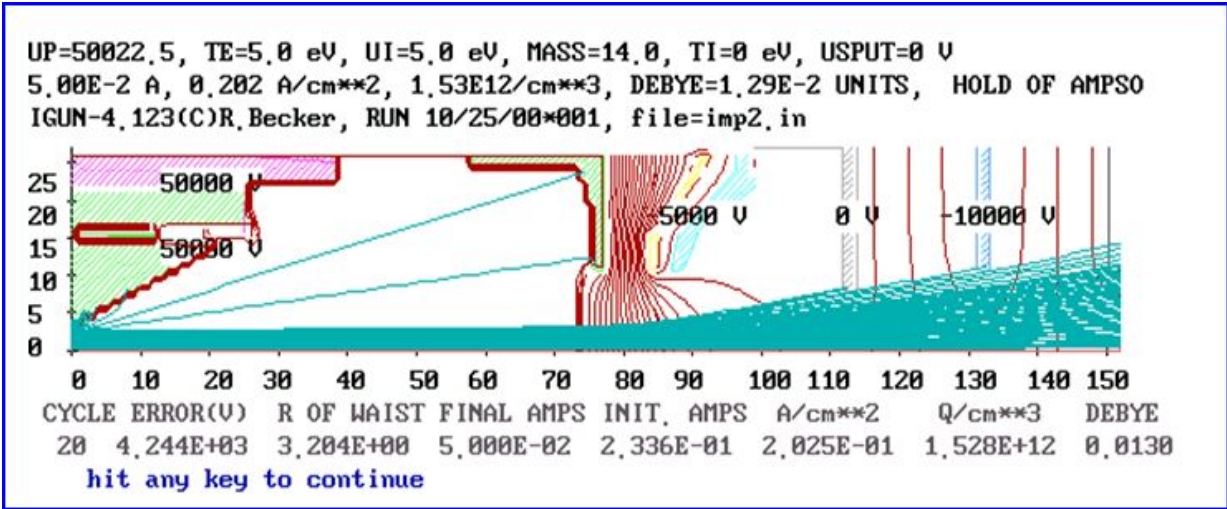


$$V_b = 60000\sqrt{d}$$

$V_b$  : 방전 전압 (kV)  
d : 전극간 거리 (m)

(c) 진공중 방전개시전압

<그림 3.2.159 이온원 설계시 관련 계산식>



<그림 3.2.160 이온원에서 빔 발산 시뮬레이션 결과>

### 가속관

이러한 이온원의 시뮬레이션 결과값은 가속관 설계의 기초 입력 자료로 사용이 되며, 가속관에서도 이온원과 마찬가지로 IGUN code를 수행하여 가속관 끝단에서의 빔의 발산정도를 확인할 수 있다. 코드 수행에 필요한 기초입력자료는 다음과 같다. 이온종류는 질소이온이며, 이온 전류 30mA, 입사 에너지 45keV, 이온빔 직경 40mm로 하고 전류밀도는 균일하다고 가정.

각 전극 사이 거리 외부 30mm, 내부 10mm, 전극두께 2mm

가속관 입구 직경 100mm, 입구 직경 160mm

가속관 내부 가속전극 수 5개(전자억제전극 포함), 전극당 약 16.7kV의 전압강하 발생

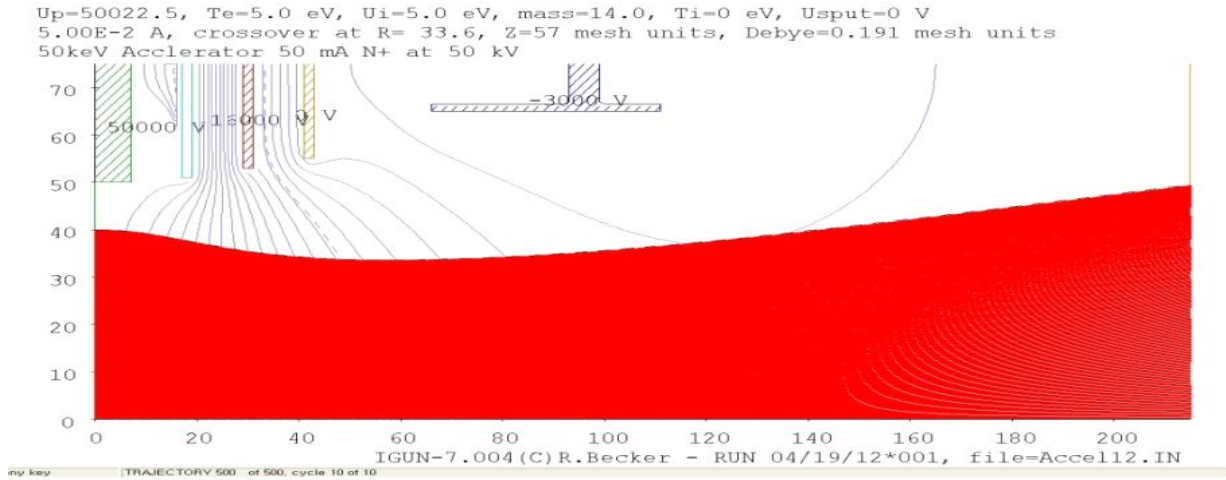
$1 \times 10^{-4}$  torr 이하 전극간 방전개시 전압(진공부)

: 60kV(이론치), 36kV(실험치)

$1 \times 10^{-4}$  torr 이상 전극간 방전개시 전압(외부)

: 83kV(이론치), 33kV(실험치)

전극 모양은 절연체 통한 방전 방지 위해 절연체 가리는 구조

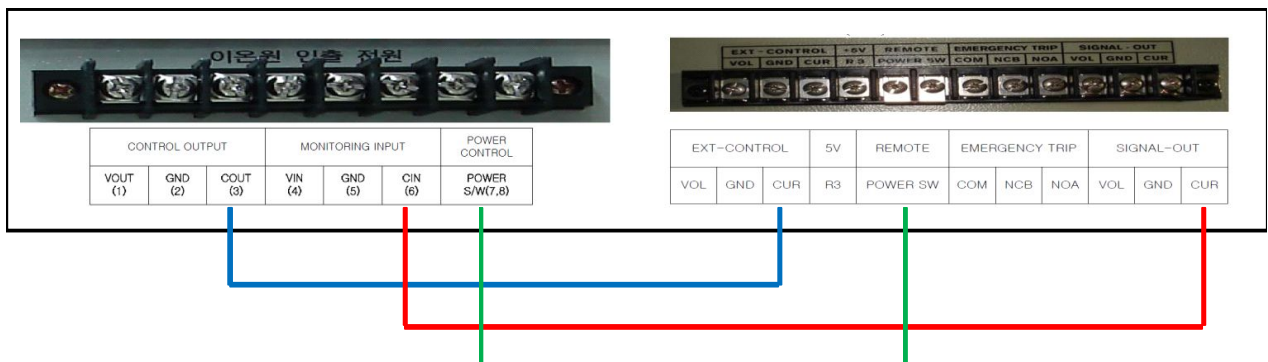


<그림 3.2.161 가속관에서의 빔 발산 시뮬레이션 결과>

### 인터록 시스템

인터록 시스템의 설계는 장치 운전중 이상신호에 의해 비정상적으로 과전류 발생시, 인출전원과 가속전원을 차단하는 것을 목적으로 한다. 이에 릴레이와 DC-AC 컨버터 등을 설치한 인터록 시스템을 전원 뒷단에 위치한 접점단자대에 연결하여 이상전압 신호가 들어올 때 전원을 차단하도록 설계되었다. <그림 3.2.162>는 인터록 시스템과 제어대상인 전원의 접점 연결부위의 개념도를 나타낸 것이다.

	Current Control	Current Monitoring	Power Control
인터록 시스템	COUT	CIN	POWER S/W
전원	EXT-CTL (VOL)	SIGNAL-OUT (VOL)	POWER S/W



<그림 3.2.162 인터록 시스템과 전원의 접점 연결 개념도>

## 납 차폐체

납 차폐체는 이온원과 가속관에서 발생하는 X-선을 차폐하기 위한 용도로 설계되었으며, 납 판 4mm와 스테인레스 스틸 2mm로 제작되어 방사선발생장치 허용기준치인 10 마이크로시버트( $\mu\text{Sv}$ )를 초과하지 않도록 한다.

## 제작 과정

제품제작과 관련한 제반사항이 기재된 양성자가속기센터 품질보증계획에 따라 외부제작을 하며, 주요 제작공정에 있어 검사자의 입회하에 검사를 해야 하는 품목은 냉각수 누수 시험, 진공 시험, 자속밀도 측정시험 등이 있다. 빔 인출과 방사선 발생 억제와 관련된 전극 제작을 비롯하여 고전압이 인가되는 부품 제작시에는 표면의 성형결점이 생기지 않도록 표면을 깨끗이 하고, 내부식성의 우려가 있는 경우에는 전해연마, 니켈도금과 같은 표면처리를 하도록 한다.

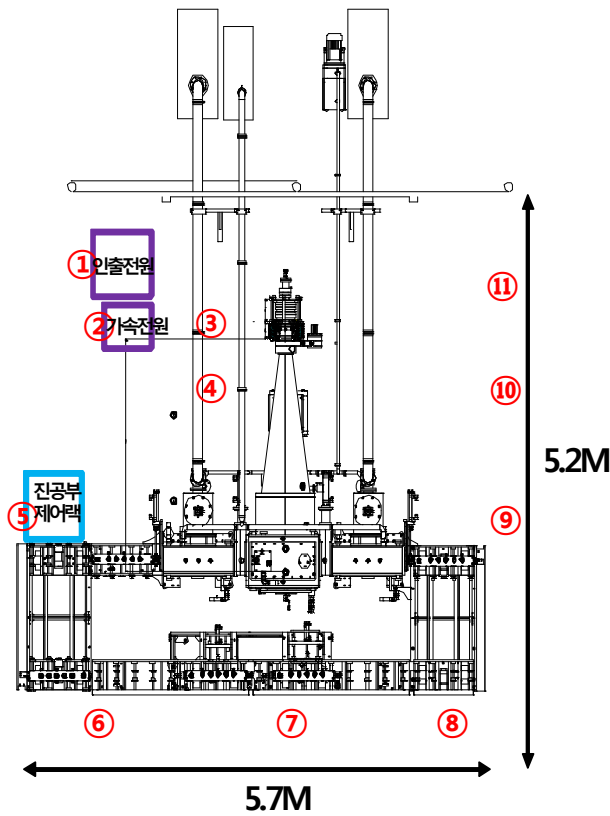
## 조립과정

제작 완료된 각 부품은 육안검사 및 치수검수를 통해 기계조립이 이루어진다. 기계조립시, 각 부품의 조립이 용이하게 되는지 부품간의 체결상태를 확인토록 하며, 조립 완료 후 전체적인 진공시험 및 냉각수 시험을 수행하여, 제작부품이 이상이 없는지 확인하도록 한다. 기계적인 조립 완료후, 각 부품에 전원계통을 연결하여 전기적인 안전검사를 수행한다.

## ㉔ 방사선량 평가자료

### 측정조건

빔 운전 조건은 90keV/10mA, 90keV/20mA, 90keV/30mA하에서 육면체로 제작된 납 차폐함(두께 3mm)속에 서베이미터를 넣어 기기 주변 방사선량 측정하였고, 이온원원으로부터 각 위치별 방사선량에 대한 결과를 <그림 3.2.163>에 나타내었다.



방사선 측정결과			
① (3M*)	93.5 nSv/hr	140 nSv/hr	109 nSv/hr
③ (0.7M*)	99.3 nSv/hr	115 nSv/hr	110 nSv/hr
⑤ (4M*)	88.3 nSv/hr	117 nSv/hr	115 nSv/hr
⑦ (4.5M*)	88.3 nSv/hr	116 nSv/hr	110 nSv/hr
⑨ (3.5M*)	97 nSv/hr	125 nSv/hr	110 nSv/hr
⑪ (2.5M*)	93.7 nSv/hr	122 nSv/hr	119 nSv/hr

\* 이온원과 측정위치 사이의 거리

<그림 3.2.163 빔 인출조건에 따른 방사선량 측정결과>

측정방사선의 종류

X-선

측정위치

<그림 3.3.92> 참조.

측정장비의 사양

기기명 : 감마서베이메타

제조사 : THERMO

모 델 : FH40G-L

Dose rate equivalent Hx: 10 nSv/h to 100 mSv/h.

Exposure rate: 1 μR/h to 10 R/h.

Energy Range: 36 keV - 1.3 MeV.

교정의 유효성 유지여부

교정유효일자 : 2013.1.17. (교정기관 : KAERI)

측정일자

2012.10.16.

측정자 및 측정 방법

측정자는 한국원자력연구원 소속으로 방사선작업종사자 교육을 이수한자이며, 측정시 방사선량 값이 안정화되는 값을 선택 후 기록 한다.



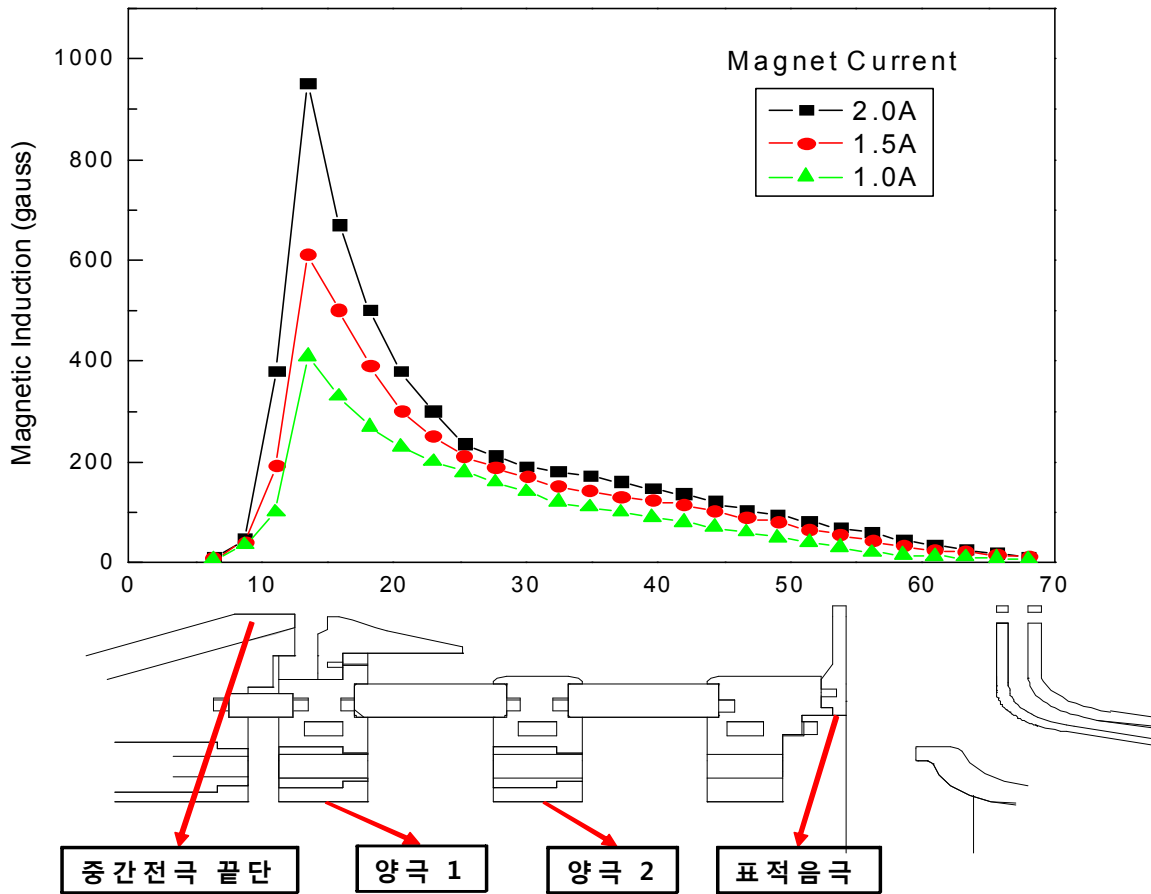
<그림 3.2.164 서메이메터 교정성적서>



㉞ 시제품의 평가 결과

이온원 전자석 내부 자속밀도 측정 결과

- 전자석 전류 2A에서 중간전극과 양극 사이에는 약 950 Gauss 측정.
- 표적음극 부분에서는 약 40 Gauss 측정.
- 측정된 자속밀도는 방전함부에만 기여할 뿐, 인출전극 영역에서는 거의 영향을 주지 않으므로 설계기준 만족.



<그림 3.2.165 이온원 전자석의 자속밀도 측정결과>

이온원과 가속관의 무부하 시험

- 저항이 연결되지 않은 무부하에서 전압 인가 후 전기적 절연내력 시험.
- 이온원 45kV, 가속관 45kV 인가 후, 아크방전 없이 3시간 유지완료.
- 전기적 절연내력 시험 설계기준 만족.

## 진공함

- 진공함의 기본진공도는 설계기준 이하인  $5 \times 10^{-6}$  Torr 이하 유지완료.

## 차폐체

- 기기 주변의 방사선량 측정결과 최대 125nSv/hr로 설계기준 만족.

### ㉔ 방사선기기 외부 방사선량 제시

육면체의 납 차폐함(두께 3mm)을 제작하여 실제 장치의 최대 가동조건 하에서 발생하는 X-ray를 측정하였다. 빔 운전 조건은 90 keV/10~30 mA 이며, 각 위치별 표면방사선량은 87 ~140 nSv/hr 정도이다.

### ㉕ 예상 피폭방사선량 제시

본 방사선발생장치를 사용함에 있어서 작업자가 접근 가능하거나 체류할 가능성이 있는 위치에서의 선량율은 최대 0.4 uSv/hr 이하로 설계할 예정이다. 따라서 방사선발생장치에서 연간 2000시간 동안 빔인출을 하고 작업자가 계속해서 체류하여 피폭을 받는다 하여도 0.8 mSv 로 일반인의 선량한도를 초과하지 않는다.

### ㉖ 방사선기기의 설치 및 운영절차

## 개요

고전압과 방사선이 발생하는 IMP03-01 장치를 운영함에 있어, 안전사고를 사전에 방지하기 위하여 설치 및 운영절차에 대하여 기술한다. 본 절차서는IMP03-01 장치의 운전 및 관리 시, 주의사항 및 절차에 대하여 설명한다.

## 정의

### 운전원

운전원은 이온주입장치의 운전에 필요한 이론, 동작, 운전절차서 등을 완전히 숙지한 자로 이온주입장치를 안전하고 효율적으로 운전할 수 있는 자격을 갖추고 있는 자를 말한다.

### 이온주입장치

이온주입장치는 한국원자력연구원 양성자기반공학기술개발사업단에서 설계, 제작 및 설치한

90keV/30mA급의 이온주입장치를 의미한다.

#### 정상운전

정상운전은 고장이나 비정상 상태가 아닌 정상상태에서의 운전을 말한다.

#### 비상 정지

비상정지는 고전압이나 방사선 등의 이유에 의해 장치가 정지하는 것을 말한다.

#### 운전 조건

접지봉, 운전 경고등, 출입문 닫힘 상태를 확인 한 후 운전하여야 한다. 장치 운전시 2인 1조로 운전하는 것을 권장한다.

#### 안전 관리

##### ■ 운전원 확인 사항

- ✓ 운전원은 장치를 점검 또는 가동하기 위하여 장치실에 출입할 때는 아래 사항들을 확인 및 통제하여 안전사고를 방지하여야 한다.
- ✓ 점검 및 가동 전 확인사항
- ✓ 장치실의 현재 상황을 파악한다.
- ✓ 장치 주변에 사람의 존재 여부를 확인한다.
- ✓ 실험 진행 중에는 각종 안전장치를 모두 가동한다.
- ✓ 운전원은 산업용 IMP03-01 장치의 가속관의 빔 가속에 앞서, 운전 절차서에 따라 안전시설 등의 작동상태를 확인한다.
- ✓ 운전 상황등, 경광등의 확인
- ✓ 장치실 출입문 개폐상태
- ✓ 경보등 상태 확인
- ✓ 고전압 및 빔 조사 실험 진행 중에는 관계자 외에는 출입을 제한한다.
- ✓ 고전압 및 빔 조사 실험 진행 중에는 장치실의 출입과 모든 상황을 통제, 장치실 내의 모든 인원은 통제에 따라야 한다.
- ✓ 안전점검 check list를 확인하고 근무일지를 작성한다.
- ✓ 장치실 내부에 설치된 배전반의 전원 차단기에는 반드시 용도표기를 하여야 한다.
- ✓ 운전은 2인 1조로 구성하여, 운전하여야 한다.
- ✓ 부득이한 경우 과제책임자 또는 실험책임자의 승인을 득한 후, 단독 실험을 할 수 있다.

■ 실험에 사용하는 가스의 반입 및 사용

- ✓ 가스는 해당 실험 담당자의 책임 하에 필요한 조치를 취한 후 사용한다.
- ✓ 사용 표지판에 종류, 충전기한 등을 기입한 후 가스통에 부착하여 사용한다.
- ✓ 가스통은 장치실 여건과 실험 목적에 따라 안전밸브를 장착하여 사용하고 전도 방지 받침대, 또는 기둥 등에 체인으로 결박하여 전도로 인한 안전사고에 대비하여야 한다.
- ✓ 가스통의 밸브는 안전밸브 장착 없이 메인 밸브를 열어 가스의 잔존여부를 확인하는 행위일체를 금한다.
- ✓ 수소가스와 같은 폭발 가능성이 있는 가스는 취급에 만전을 기하며, 사용 담당자의 지시에 따라 밸브 조작 및 이동, 설치, 사용하여야 한다.
- ✓ 용도 폐기된 빈 가스통은 신속히 반출 불용 처리한다.

■ 실험장비용 냉각수의 사용

- ✓ 냉각수 공급시 실험장비로 입력되는 관로에 공기 배기 밸브의 작동여부를 파악하고 관로 이상으로 인한 누수 현상 여부를 파악하여 기록하고 담당자에게 통보하여야 한다.
- ✓ 냉각수 공급에 이상이 발생하면, 즉시 주변 사람들에게 통보하고 가장 근접된 공급 밸브부터 순차적으로 차단하여야 한다.
- ✓ 실험 담당자는 냉각수 원격 조절 패널의 지시계를 관심있게 관찰하여야 하며, 이상이 감지될 경우 냉각수의 공급을 중지하고 담당자에게 연락하여 상황에 대처 하도록 한다.

■ 압축공기의 사용

- ✓ 압축공기 생성장치(컴프레샤)를 이용하여 실험기기에 압축공기를 공급한다.

■ 비상상황 등 조치

- ✓ 비상상황 발생 시 연락할 수 있는 비상연락망을 제어실 및 장치실에 비치하여 신속히 조치한다.
- ✓ 장치실에 소화기를 비치한다.
- ✓ 장치실 최종 퇴실자는 각종 보안 점검을 실시한 후 소등, 시건 장치를 확인한다.
- ✓ 장치실은 항상 정리되고 청결 상태를 유지하여야 한다.

■ 물품 반입

- ✓ 모든 구매 물품의 반입은 담당자 허락과 입회하에 반입을 한다.
- ✓ 반입된 물품의 성능 시험은 담당자의 허락과 입회하에 시험한다.

㉔ 가속이온주입기 실험안전지침

고전압 전원 사용 시, 주의사항

- ✓ 전원의 공급은 운전원이 수행하여야 한다.
- ✓ 장치실 출입 시, 운전원에게 반드시 사전 허락을 받아야 한다.
- ✓ 장치실 출입문에 적색 경고등이 켜져 있으면 원칙적으로 출입은 금지되며, 부득이 출입하고자 할 때에는 반드시 운전원 또는 방사선 안전담당자의 사전 허락을 받은 후 장치실 내에 출입한다.
- ✓ 고전압 전원을 사용 시, 운전원은 전원 주변의 냉각수 누수여부를 검사하여 냉각수에 의한 고전압 통전 상황을 방지하여야 한다.
- ✓ 건물벽의 분전반이나 배전반에서 전원을 사용 시에는 기존 사용자나 전기 담당자에게 사전 통보하여야 한다.
- ✓ 건물벽에서 사용되는 모든 분전반이나 배전반의 차단기나 스위치에 타인이 그 용도를 인지할 수 있도록 명기하여야 한다.
- ✓ 전기기계기구, 공구 등의 설치상황, 절연피복상태, 검전기의 성능, 절연용 보호구, 절연용 방호구, 절연작업용 기구 등의 성능을 매일 사용 전에 점검한다.
- ✓ 고전압이 인가된 영역에 접근할 경우, 운전절차서에 따라 접지봉 위치를 확인한다.
- ✓ 접지용구를 설치하거나 철거할 때에는 접지도선이 자신이나 타인의 신체는 물론 전선, 기기 등에 접촉하지 않도록 주의한다.
- ✓ 접지용구의 취급은 작업책임자의 책임하에 수행하여야 한다.
- ✓ 접지용구의 설치 및 철거
- ✓ 접지 설치 전에 관계 개폐기에 개방을 확인하고 검전기 기타 방법으로 충전 여부를 확인하여야 한다.
- ✓ 접지 설치순서는 먼저 접지축 금구에 접지선을 접속하고 전선금구를 기기 또는 전선에 확실하게 부착한다.
- ✓ 접지용구의 철거는 설치의 역순으로 한다.

냉각수 사용 시, 주의사항

- ✓ 이온원 발생부의 전극에서 다량의 열이 발생하는데 이를 냉각시키기 위해서는 냉각수가 필요하며, 전극에 고전압이 인가되므로 냉각수는 일정 값 이상의 비저항(18.2M $\Omega$ )을 유지하여야 한다.
- ✓ 이온원 냉각수의 비저항 값은 정기적으로 측정하여야 한다.

- ✓ 일반 냉각수에는 이물질이 일부 포함되어 유입되거나 혹은 냉각수관의 노후로 스케일이 발생될 수 있으므로, 이러한 이물질들을 여과해주는 필터가 부착되어야 하고, 정기적인 교체가 필요하다.
- ✓ 장치의 냉각성능을 알기 위하여 냉각수의 온도와 압력은 정기적으로 측정되어야 한다.
- ✓ 겨울철에는 냉각수의 냉각으로 냉각수관의 동파의 위험이 있으므로 약간의 냉각수를 지속적으로 흘리도록 한다.

#### 진공펌프 사용시 주의사항

- ✓ 진공펌프 동작은 실험담당자가 수행하여야 하며 정해진 절차를 따라야 한다.
- ✓ 진공펌프 동작 전에 전원연결 상태 및 밸브 개폐상태를 확인하여 진공사고가 발생하지 않도록 한다.
- ✓ 냉각수를 필요로 하는 진공펌프는 동작 전에 냉각수의 온도 및 압력, 누수여부를 확인하여야 한다.
- ✓ 진공케이지는 동작가능 진공도 영역에서 작동시켜야 한다.

#### 고압가스 사용 시, 주의사항

- ✓ 고압가스 사용 시에는 반드시 용기에 표기된 담당자의 허락을 받은 후 사용하여야 한다.
- ✓ 사용자는 반드시 충전기한을 확인하고, 기한이 지난 용기는 사용하지 말아야 한다.
- ✓ 안전밸브가 없는 용기의 주밸브를 열어보는 행동을 금한다.
- ✓ 용기의 내압을 고려하지 않은 무리한 가압을 금한다.
- ✓ 고압 가스용기의 운반 시에는 가능한 2인 이상이 참여하여야 한다.
- ✓ 고압 가스용기는 항상 고정하여 사용하고, 사용 후에는 반드시 밸브를 닫는다.

#### 장치 운전시 방사선 관련 주의사항

- ✓ 장치실 입회 시, 입회자는 TLD 뱃지를 반드시 착용하여야 한다.
- ✓ 장치실 출입 시, 가속관 전압상태를 확인하여 인가전압이 0 kV 임을 확인한다.
- ✓ 장치실에 휴대용 survey meter를 상시 구비하여 방사선량을 확인한다.
- ✓ 이온원에서 발생한 높은 전류의 이온빔은 가속되어 표적에 조사될 때, 방사선을 발생한다. 발생된 방사선은 인체에 치명적인 해를 가할 수 있으므로 적절히 차폐를 하여야 한다.
- ✓ 작업자가 위치한 장치 외부에서의 방사선량은 원자력법시행령 제2조 5호에서 규정하는 규

정치 이하로 유지되어야 한다. (방사선중사자 구역: 유효선량 12.5uSv/h 이하)

㉔ 방사선기기의 시험, 유지 및 보수절차

개요

한국원자력연구원 양성자기반공학기술개발사업단의 IMP03-01 장치를 안전하고 효율적으로 운영하여야 한다. 따라서, 고전압과 방사선이 발생하는 기기를 운영함에 있어, 유지 및 보수에 대한 절차를 기술한다. 본 절차서는 산업용 가속이온주입장치의 단위장치별 유지 보수 절차에 대하여 설명한다.

정의

운전원

운전원은 이온주입장치의 운전에 필요한 이론, 동작, 운전절차서 등을 완전히 숙지한 자로 이온주입장치를 안전하고 효율적으로 운전할 수 있는 자격을 갖추고 있는 자를 말한다.

이온주입장치

이온주입장치는 한국원자력연구원 양성자기반공학기술개발사업단에서 설계, 제작 및 설치한 90keV/30mA의 이온주입장치를 의미한다.

정상운전

정상운전은 고장이나 비정상 상태가 아닌 정상상태에서의 운전을 말한다.

비상 정지

비상정지는 고전압이나 방사선 등의 이유에 의해 장치가 정지하는 것을 말한다.

운전 조건

접지봉, 경고등, 제어실과 장치실 사이의 출입문 상태, 복도와 장치실 사이의 차폐문의 닫힘 상태를 확인 한 후 운전하여야 한다. 이온주입장치는 2인 1조로 운전하여야 한다.

유지 보수

이온원 (Ion source)

필라멘트는 50~200시간 사용 후 교체한다. 필라멘트 전원의 전압을 6V 인가했을 때, 전류가 20A 이하이면 필라멘트를 교체한다. (태원과학 02-747-7354)

플라즈마발생부의 세라믹 교체는 3~6개월에 1번씩 한다. 아크전원의 전압을 증가시키고 플라즈마 발생 시, 아크전원의 전류가 증가하지 않으면 세라믹을 교체한다. ((주)네스 055-755-8784)

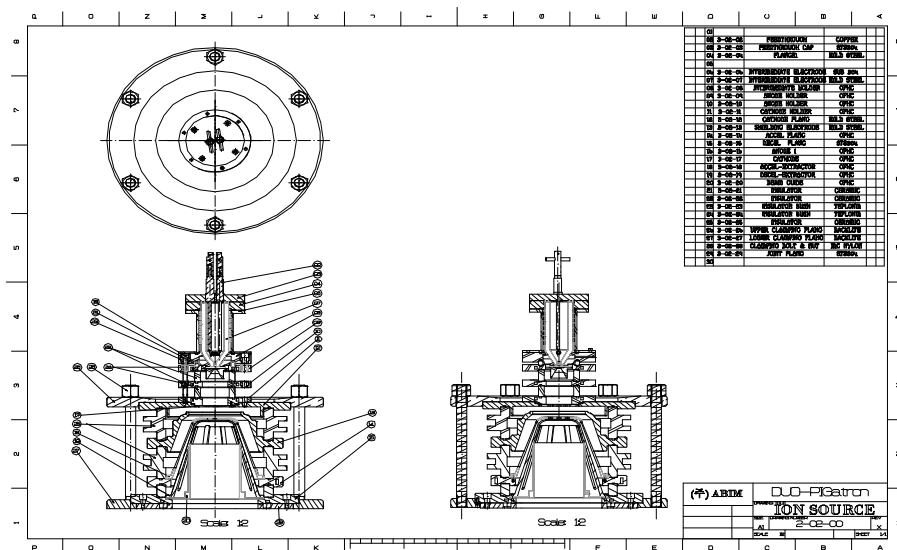
MFC에 유량을 설정해도 유량이 읽히지 않으면 가스 용기를 교체한다.

MFC의 유량설정값과 실제유량값 사이에 차이가 발생하면 MFC를 수리한다. (SD엔지니어링 031-304-5190)

이온원 마그넷 전원의 전압을 인가했을 때, 전류가 읽히지 않으면 이온원 마그넷 연결부위를 점검하고 마그넷 양끝단의 저항을 측정하여 단선이면 이온원 마그넷을 수리한다. ((주)네스 055-755-8784)

이온원 인출 바이어스 전원의 경우, 전압 인가 시 전류가 0.00mA이면 부하단의 저항을 측정한 후, 단선일 경우 저항을 교체한다. (중앙통상 011-9716-6142)

이온원 관련 전원의 경우, 전압 인가 시 전압이 증가하지 않으면 전원을 수리한다. (한국스위칭 02-2267-1582)



<그림 3.2.166 이온원 도면>

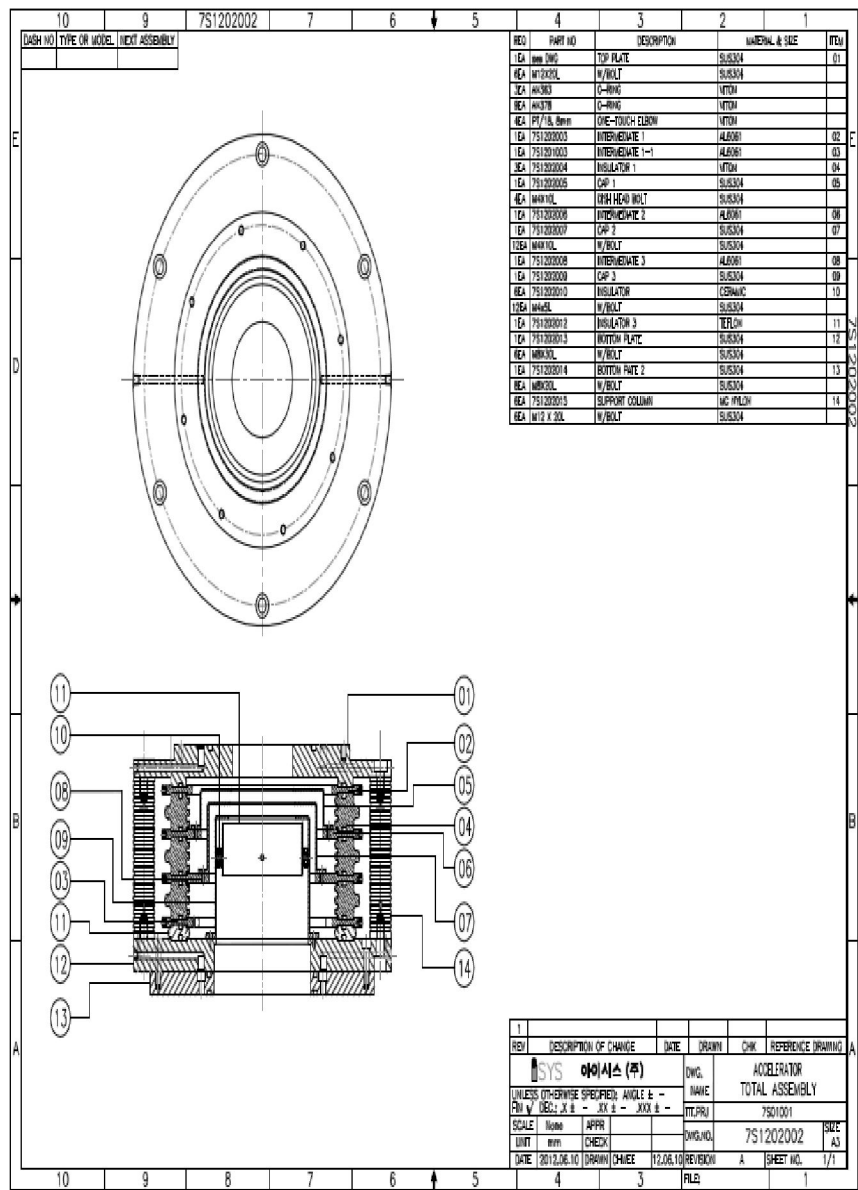


가속관

고전압전원에서 전압 인가 시, 90keV 이하에서 가속관 표면에 Surge가 발생하면 가속관 분전 저항을 점검한다. 각각의 저항이 00MΩ에서 ±10%정도의 저항값을 가지면 문제가 없으나 다른 값이면 교체한다. (중앙통상 011-9716-6142)

가속관 절연단의 흰색 테프론 표면을 2개월에 1회씩 알콜로 세척한다.

Surge 발생으로 인하여 ‘가속관 고전압전원’의 램프가 오작동하거나, 전압 인가시 인가전압의 오류가 발생하면 ‘가속관 고전압전원’ 제어 판넬 내부의 IC를 제작업체에 문의후 교체한다. (한국스위칭 02-2267-1582)

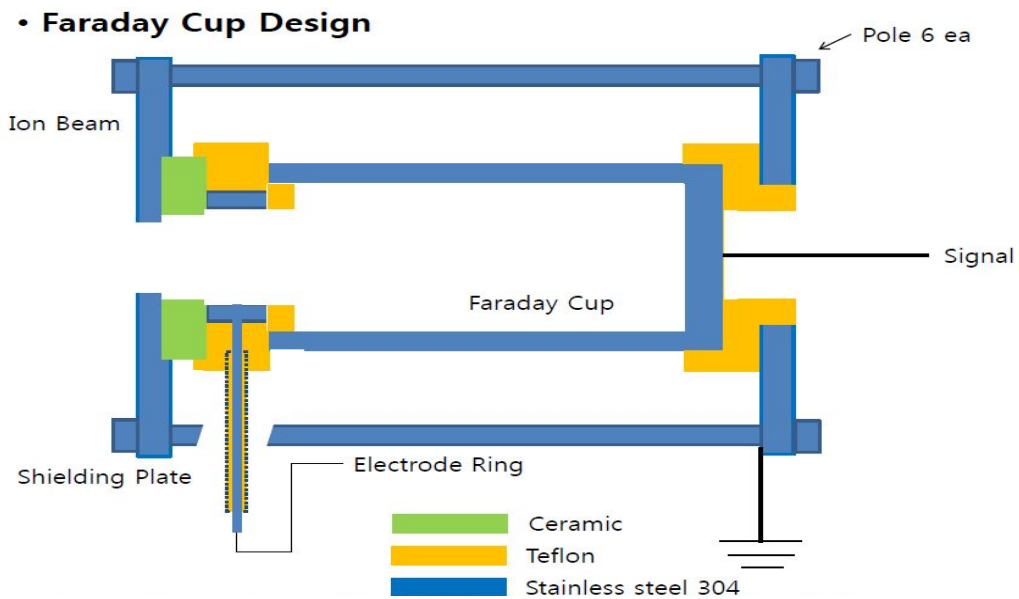


<그림 3.2.167 가속관 설치 및 전체도면>

빔 전류 측정장치

페러데이컵 구동시 일반적으로 바이어스 전원을 인가하여 이차전자를 포획한다. 이때, 바이어스 전원의 전류값이 전혀 움직임이 없으면 바이어스 단자가 페러데이컵 헤드로부터 단선이 되었기 때문이다. 이에 진공함을 열어 페러데이컵을 확인하고 다시 재연결하도록 한다.

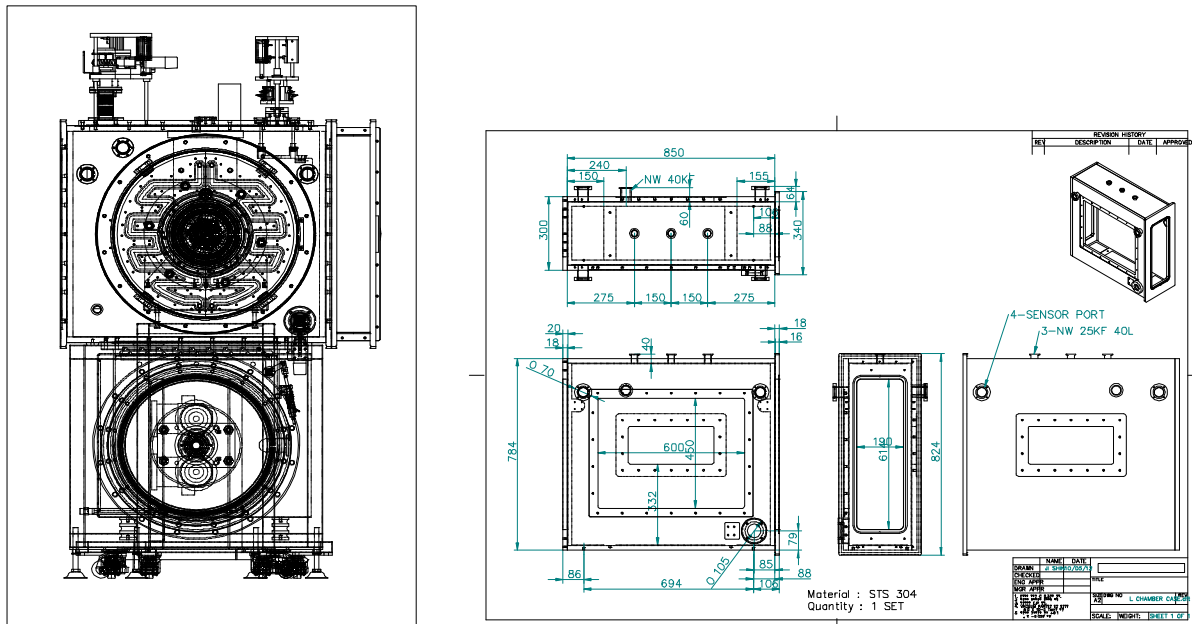
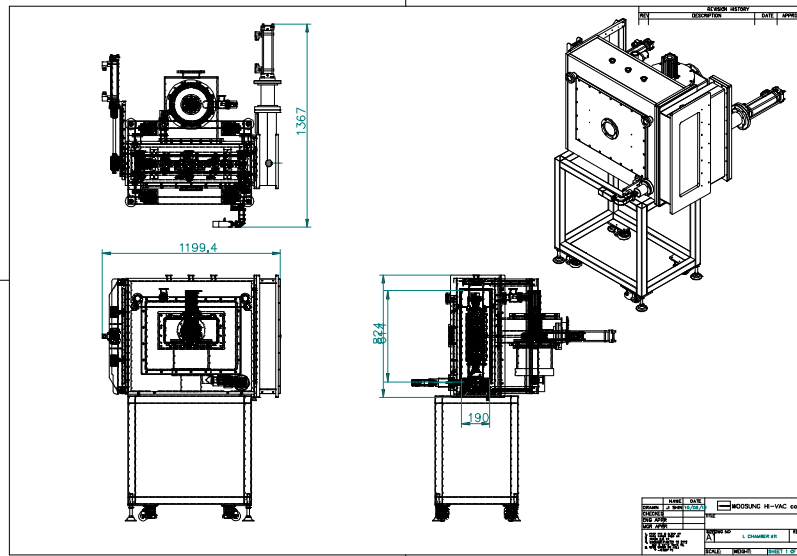
Faraday Cup의 구동과 관련하여 오류가 발생할 경우, 제조업체에 연락하여 수리한다. (우성하이백 042-933-9491)



<그림 3.2.168 빔 전류 측정장치 Lay-out>

진공함

진공함부와 관련된 부품문제, 지그 구동시 문제 및 터치스크린 작동 관련 오류 발생시에는 제조업체에 연락하여 수리한다. (우성하이백 042-933-9491)



<그림 3.2.169 진공함 도면>

무전해수 발생장치 및 이온원 칠러

이온원 및 가속관에 들어가는 냉각수를 담당하는 장치이다.

이온원 칠러는 18℃를 유지하도록 setting하며 칠러에서 나오는 냉각수는 무전해수 발생장치쪽으로 들어간다.

6개월에 1회씩 칠러안의 증류수를 확인 및 교체토록 한다.

칠러와 무전해수 발생장치에서 이상 현상 발생시 담당업체에 수리신청하여 점검받도록 한다.

(우성하이백 042-933-9491)



<그림 3.2.170 무전해수 발생장치/이온원 칠러/장치칠러>

### 진공 펌프

본 장치의 펌프 구성은 로터리 펌프, 부스터 펌프, 크라이오 펌프, 터보펌프, 확산오일펌프로 이루어진다.

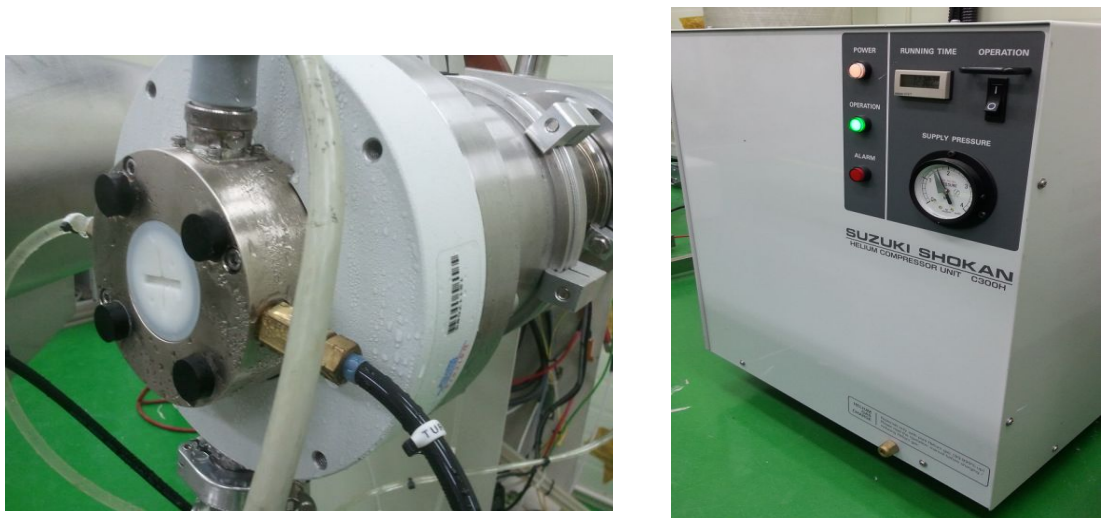
로터리펌프 오일은 3개월에 1회씩 교체한다. 로터리펌프 옆면의 오일상태를 점검하여 짙은 갈

색을 띠면 교체한다. (우성하이백 042-933-9491)

크라이오 펌프는 가능한한 24시간 가동토록 하며, 가동중지 후 재가동 할 경우에는 아래 매뉴얼을 숙지한 상태에서 운전하도록 한다. 터보펌프 가동 시, RPM이 Full speed가 되지 않거나 이상 소음이 발생하거나 컨트롤러에 error가 나타나면b 제어용 전원을 끄고 제조업체에 연락한다. (우성하이백 042-933-9491)

진공게이지 헤드는 6개월에 1회씩 세척한다.

(우성하이백 042-933-9491)



<그림 3.2.171 터보 펌프 및 크라이오 펌프>



<그림 3.2.172 로타리 펌프 및 부스터 펌프>

㉔ 장치 관련 운전 매뉴얼

장치가 완전히 Shut-down 된 상태에서 제일 먼저 확인해야 하는 것은 외부칠러와 컴프레샤를 On 하는 것이다. 그리고, 크라이오 펌프 전원을 재가동(Regeneration) 해야 하는데, 제어부에서 제어가 가능하므로 아래와 같은 운전순서와 방법을 따르도록 한다.

## Cryo Pump REGEN. 순서

- 기본적 Check 사항
  - : 1. (외부)냉각수 칠러 18°C setting
  - : 2. (외부)Air Compressor 하부 물 배수 작업

- REGEN 순서
  - : (제어반) Power ON → (좌측하단) MANUAL 클릭 → Stage\_Main Chamber 클릭



→ Main Chamber 2 클릭 → CRYO PUMP REGEN ON → N2 가스 밸브 OPEN →



→ CRYO PUMP 온도계 300K 이상 도달 → CRYO PUMP REGEN OFF →



<장시간 CRYO PUMP OFF상태일 경우에 305K까지 도달하도록 유지 / 펄스가 PURGING 되는 소리가 나지만 일정온도가 지나면 소리 작아짐>

→ N2 가스 밸브 CLOSE → MANUAL 화면 → CRYO & DP ROTARY PUMP ON



<PUMP ON 후 5분동안 예비운전>

→ Stage\_Main Chamber 클릭 → Main Chamber 2 클릭 → CRYO ROUGH VALVE7 OPEN



→ 일반적으로 CYRO 온도계가 150K까지 내려가면 CRYO ROTARY PUMP와 VALVE를 CLOSE 시키고, CRYO PUMP를 ON 시켜야 한다.  
(정상 운전 : → CRYO ROUGH VALVE7 CLOSE → CRYO & DP ROTARY PUMP OFF → CRYO PUMP ON)

150K미만 도달

→ 하지만, 장시간 CRYO PUMP가 OFF되어 있었을 경우에는, 150K까지 도달하려면 매우 오랫동안 (24시간 이상) PUMPING을 해야한다.

→ 이에, CRYO 펌프에 무리가 가지 않는 한도내에서 운전이 가능하다.  
방법은 CRYO 온도계가 300K미만으로 내려갔을때, CRYO ROTARY PUMP & CRYO ROUGH VALVE7를 ON 한 상태에서 CRYO PUMP를 ON한다.  
(시간단축 운전 : CRYO & DP ROTARY PUMP ON → CRYO ROUGH VALVE7 OPEN → CRYO PUMP ON)

300K미만 도달



→ CRYO 온도계가 이전과는 다르게 빠르게 내려감 → 200K 미만이 되었을때, CRYO ROTARY PUMP & CRYO ROUGH VALVE7을 CLOSE한다.  
(→ CRYO ROUGH VALVE7 CLOSE → CRYO & DP ROTARY PUMP OFF : CRYO PUMP ON 상태 유지)

200K미만 도달

→ 정상적으로 REGEN했을 경우, CRYO 온도는 10~12K를 유지한다.

### <그림 3.2.173 크라이오 펌프 재생 순서 및 유의사항>

크라이오 펌프 REGEN. 작업을 완료한 후에는, 일반적인 진공펌프 동작을 위해 진공함부의 각 밸브와 펌프를 순서대로 동작해야 한다. 일반적인 진공함의 진공작업 순서와 방법은 아래의 운전순서를 따르도록 한다.

# 진공 작업 순서

- 기본적 Check 사항  
: TMP 냉각라인 확인

## <MANUAL 화면>

1차 Rough Rotary Pump ON → CRYO & DP Rotary Pump ON  
→ L.B.P Rotary Pump ON → R.B.P Rotary Pump ON → (30초 후)  
→ L Booster Pump ON → R Booster Pump ON

## <Stage Left Chamber 1 화면>

L-FV OPEN → L-DP ON

## <Stage Right Chamber 1 화면>

R-FV OPEN → R-DP ON

## <Stage Main Chamber 2 화면>

Ion TMP BAC RP Run → ION TMP START → (@TMP 파워서플라이) **I** 버튼 누른후  
RPM상승확인 → ION TMP MV OPEN → ION rough Valve 5 OPEN

## <Stage Right Chamber 1 화면>

Gate CYL 2 UNCLAMP → Gate Valve 2 OPEN → Rough Valve 2 ON

## <Stage Left Chamber 화면>

Rough Valve 1 OPEN → 진공도 10-1 Torr에서 → Rough Valve 1 CLOSE  
→ Rough Valve 3 OPEN

## <Stage Right Chamber 1 화면>

Rough Valve 2 OFF → Rough Valve4 OPEN → 1시간후 (DP 예열후) →  
→ Rough Valve 4 CLOSE → Main Valve 3 OPEN

## <Stage Left Chamber 화면>

Rough Valve 3 CLOSE → Main Valve 1 OPEN

## <(@5x10<sup>-5</sup> Torr) Stage Main Chamber 2>

Ion Gate Valve 3 OPEN

## <(@Low E-5Torr) Stage Right Chamber 1>

Gate Valve 2 CLOSE → Gate CYL 2 CLAMP

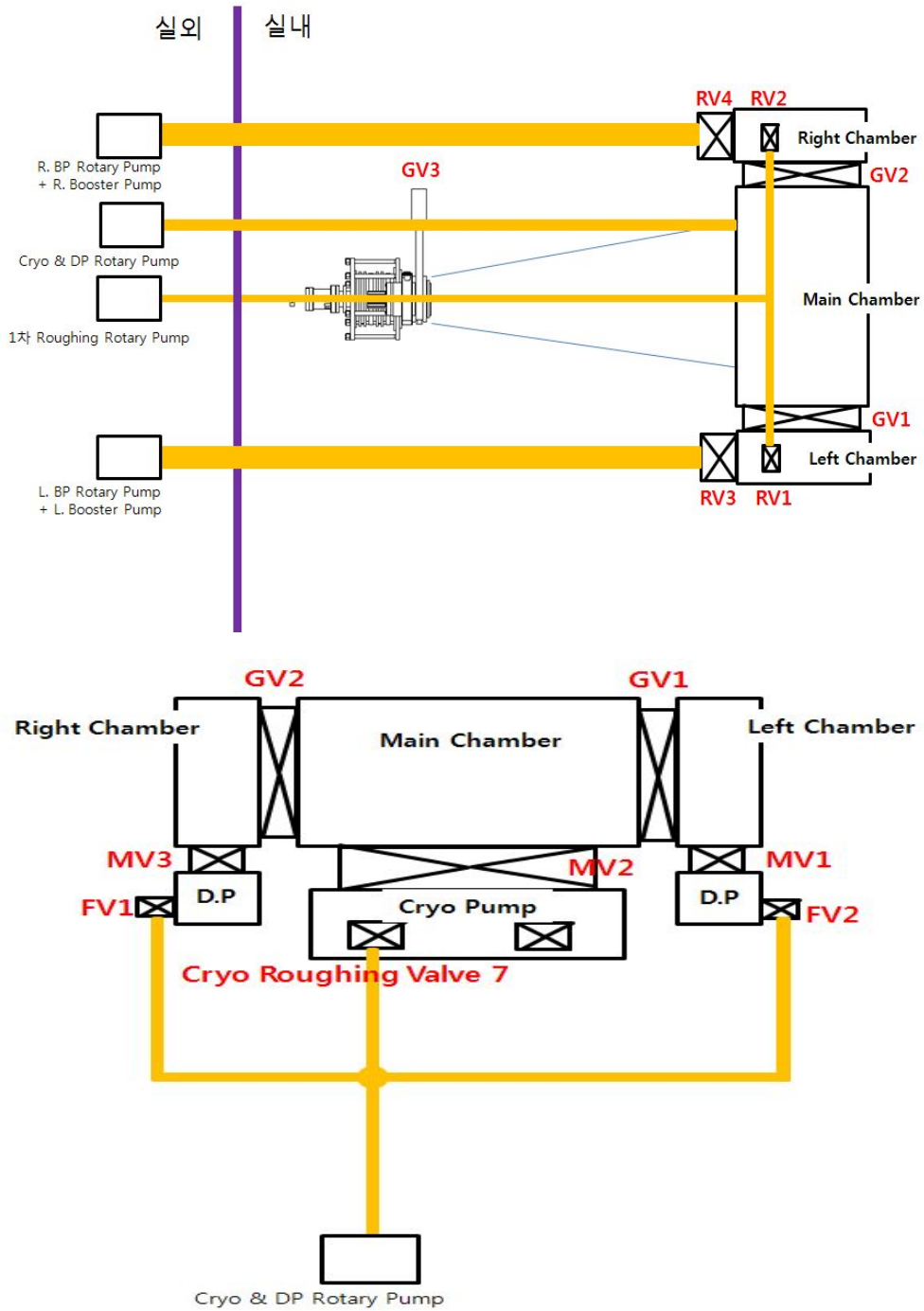
## <Stage Main Chamber 2>

Main Valve 2 OPEN

<그림 3.2.174 진공 배기 작업순서>

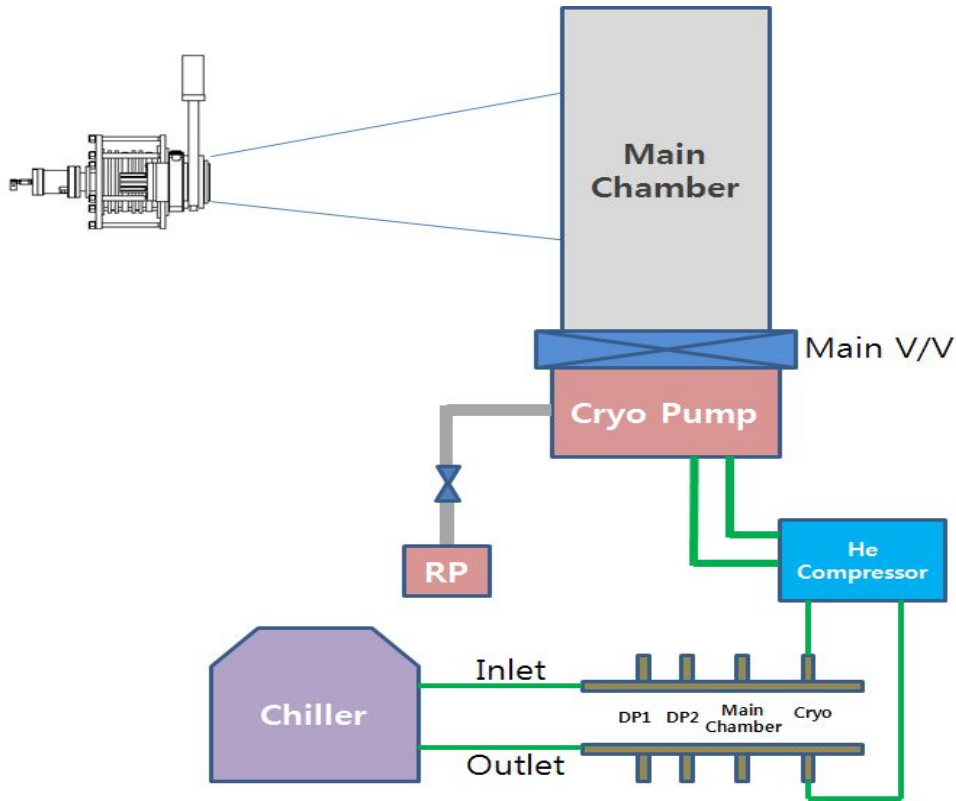


본 장치의 진공작업을 위해서는 기본적인 장치의 밸브와 펌프의 구성을 숙지할 필요가 있다. 아래 그림은 각종 밸브의 연결라인을 개념도로 나타낸 것이며, 이를 숙지한 후에 장치를 운전 하도록 한다.



<그림 3.2.175 장치의 밸브와 배기라인 개념도>

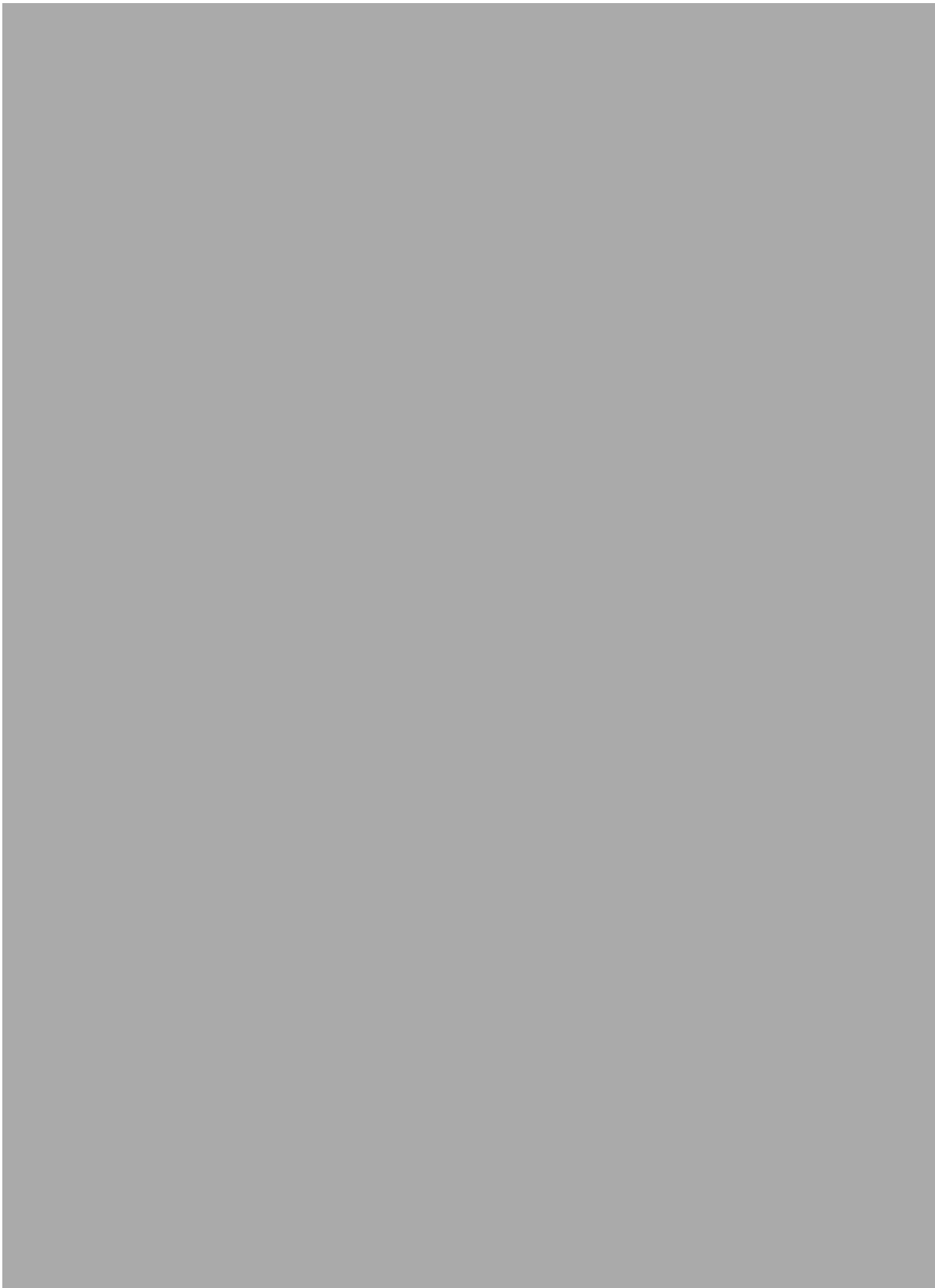
본 장치에서 고가의 장비로써, 24시간 가동이 필요한 크라이오 펌프의 경우 헬륨 컴프레샤를 이용하여 일정온도 이하로 유지시켜야 하기 때문에 헬륨 컴프레샤로의 냉각수의 유입이 필요하다. 이에 크라이오 펌프와 관련부품의 냉각라인 개념도를 아래와 같이 나타내었다.



<그림 3.2.176 크라이오 펌프의 냉각라인 개념도>

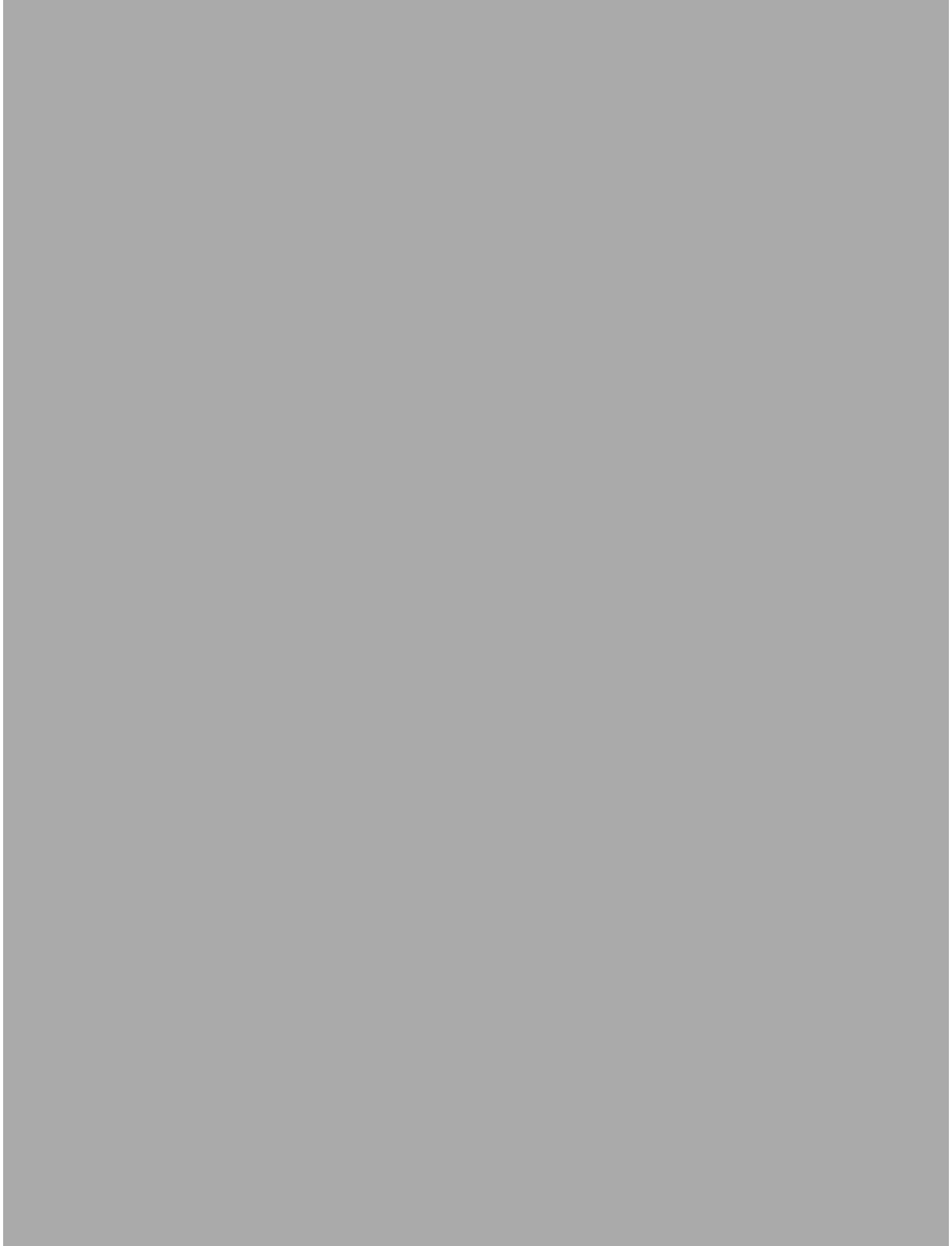
다. 설계승인 승인서

서류준비와 관련하여 KINS에 송부후 설계승인을 승인받았으며, 2012년2월26일 KINS측으로부터 기기제작검사를 받음으로써 장치의 설계승인 합격을 구두로 통보받았으며, 보완사항 처리 후 합격통지서를 받을 예정이다.



<그림 3.2.177 설계승인 승인서>

(5) 기술이전 합의서



<그림 3.2.178 기술이전 합의서>

## 제3절 연구 결과

### 1. 저에너지 빔 이용 기술을 활용 중소기업 애로기술 지원 시스템 구축 및 운영

- 빔 기반 개발기술의 산업화 추진 전략 수립 완료 (실용화 연구개발 선순환 사이클 구조)
- 이온빔 이용자 관리체계 및 이온빔 서비스 DB 구축 완료
- 기체이온가속기, 금속이온가속기, 듀얼이온가속기, 대전류이온가속기 4기 운영, 유지보수를 통한 산학연 이용자 지원
- 이온빔 서비스 실적 : 산업체 2,059건, 대학 981건, 연구소 232건 등 총 공정수 3,271건 수행 (서비스 기간 : 2008. 1 - 2012. 12(4년 8개월))
- 이용자 만족도 조사결과 : 92.2점(2010), 93.3점(2011), 92.1점(2012)
- 현대자동차, 고려제강, 삼성전자, 삼성SDI, (주)신기인터모빌 등 30여개 기업 애로기술 지원 및 이온빔 서비스를 통한 기초연구수행의 결과로 6개 기업 양성자사업과제 기업참여((주)인터테크, (주)ISYS, (주)네스, (주)위너테크, (주)신기인터모빌, (주)유엔비오피씨)
- 정부과제 및 기업수탁과제 6건 도출/연구수행, 기업수탁과제 2건 수행예정

### 2. 저에너지 이온 가속기 장치 응용 기술 개발로 산업적 신소재 및 부품 기능향상 연구개발

가. 금속 휴대폰케이스 세라믹 채색 코팅 기술/접합력 향상 이온빔 믹싱 공정 개발

- 금속 휴대폰케이스재료로 사용되는 Mg 합금에 100nm의 두께로 세라믹 박막증착 후 70keV 질소이온빔 조사에 의한 박막 접합성 향상 이온빔 믹싱 공정 개발 완료
- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>코팅 혹은 SiC코팅층 두께조절을 통한 다양한 색상구현 성공 → 시제품 제작
- SiO<sub>2</sub> 추가코팅을 통한 내지문성 확보

나. 대면적 LCD제작을 위한 무기박막 표면의 이온빔 액정배향 공정기술개발

- 유기박막(Polyimide film/Glass)의 최적 이온빔 배향 공정조건 확립 → 아르곤빔, 3keV,  $2.7 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>, 60도 각도 조사
- 무기박막(DLC film/Glass)의 최적 이온빔 배향 공정조건 확립 → 아르곤빔, 3keV,  $3 \sim 5 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>, 60도 각도 조사
- Duo-PIGatron 이온원의 인출구 설계 : 5mm 직경 4홀 구조로 설계 → 3keV, 4mA(1.8 $\mu$ A/cm<sup>2</sup>)의 조건으로 이온빔 조사한 경우 15인치에 대응

- 이온빔 배향 공정을 통한 5인치 LCD 시제품 제작 성공 및 구동시험 성공

다. Metal PCB 기판에 Cu 코팅 층의 접합성 향상 기술개발

- 이온빔 믹싱법에 의한 Cu seed layer의 밀착력 평가기준 통과 및 이온빔 믹싱/추가코팅/열처리를 통한 후막 Cu 도전막(30 $\mu$ m 두께) 밀착력 평가기준 통과 (ASTM D3359 tape test)
- Pull-off test 결과 : 3.02MPa로 기존대비 4배 향상
- Thermal Cycle test 신뢰성 기준 통과
- 기타 신뢰성 테스트 결과 : 열전도도  $\rightarrow$  138W/m $\cdot$ K (기준:>50W/m $\cdot$ K), 고온박리특성  $\rightarrow$  500 $^{\circ}$ C(기준:>500 $^{\circ}$ C), Breakdown Voltage  $\rightarrow$  1500VDC (기준:2300VDC)

라. 플라스틱 사출 금형 이온빔 연마기술 개발

- 제논빔, 10keV, 30도 각도 조사  $\rightarrow$  이온빔 연마에 의한 표면거칠기 2배 감소
- 질소빔, 120keV,  $1 \times 10^{18}$  ions/cm $^2$ , 수직 조사  $\rightarrow$  이온빔 조사에 의한 표면마찰계수 감소 (금형 이형성 증가)

마. 이온빔 표면개질을 이용한 차량내장용 고분자 고풍택 도금대체 기술 개발

- 질소+헬륨빔, 90keV,  $2 \times 10^{17}$  ions/cm $^2$ ,  $\rightarrow$  표면거칠기 감소 확인 및 광택도 2배 향상
- 질소+헬륨빔, 70keV,  $1 \times 10^{15}$  ions/cm $^2$ ,  $\rightarrow$  표면경도 3.5GPa(강철경도) 이상 강화 및 내스크래치성 3H 이상 향상 (현대자동차 내장재 기준)
- 질소+헬륨빔, 90keV,  $2 \times 10^{17}$  ions/cm $^2$   $\rightarrow$  온도 89 $\pm$ 3 $^{\circ}$ C, 습도 50 $\pm$ 5%, 및 UV light (340nm) 하에서 21 일간 유지 (128 MJ/m $^2$ )  $\rightarrow$  현대자동차 신뢰성 기준 통과
- 금형기술과 혼합하여 Metal like skin과 Dark Chrome skin 구현

바. 이온주입기술을 응용한 초친수 표면 개질 기술개발

- 질소빔, 40keV,  $5 \times 10^{17}$  ions/cm $^2$ , Al1100  $\rightarrow$  초기 초친수특성, 30일 내구성시험 결과 접촉각 25도 이하 유지
- 질소빔, 40keV,  $5 \times 10^{17}$  ions/cm $^2$ , 100 $\mu$ A/cm $^2$   $\rightarrow$  Wet / dry cycle test 결과 접촉각 20도 이하 유지

사. 유색보석 발색기술 개발

- 사파이어 및 다이아몬드 발색 연구

- 양성자빔, 2MeV,  $1 \times 10^{16}$  ions/cm<sup>2</sup> → 녹색 다이아몬드 개발
- Mn 빔, 100keV,  $1 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>, 후열처리 → 갈색 사파이어 개발
- Co 빔, 90keV,  $1 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>, 후열처리 → 청색 사파이어 개발
- Fe 빔, 90keV,  $1.6 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>, 후열처리 → 주황색 사파이어 개발
- Cr 빔, 90keV,  $1 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>, 후열처리 → 녹색 사파이어 개발

아. 기타 이온빔 공정에 의한 산업적 신소재 및 부품 기능향상 연구개발

- 마이크로 스피커와 박막 스피커의 진동판 제작공정 개발

- 이온빔 믹싱에 의한 SiC 코팅 → 고유진동수 부근의 음압상승효과 확인

- Sn 무전도 코팅공정 개발

- 이온빔 믹싱에 의한 Sn 코팅 → 밀착력 30N 이상, 표면저항 1kΩ/cm

- 의료용 생체재료 이온빔 표면처리

- Ti-6Al-4V합금, SUS304합금 모두 이온빔 처리 → 저밀도 세포 환경에서 세포 접합성 10~20% 향상, 고밀도 세포 환경에서 포 접합성 20~30% 향상

### 3. 전용 양산 빔 조사 장치 기술 개발로 기술실시 업체 실용화 지원

가. 이온가속기 생산허가 취득

- 국내 최초 (원자력 안전위원회, 2012.07.31, 허가번호 : 25-31-00)
- 빔 전류 8mA 이상, 5가지 유형 이온가속기 생산허가

나. 고속에칭용 이온원 개발

- 목적 : 아연도금 강판 대체 Zn-Mg 합금코팅 강판 계면 산화물 제거 및 계면 활성화를 위한 전처리 고속에칭 이온원 개발
- 20kV, 200mA, 4.5mA/cm<sup>2</sup> 버켓타입 이온원 개발
- 정적에칭율 (13.3nm/s), 동적에칭율 (12.2nm/s) 달성 (목표 : 22nm/s)

다. 자동차 내장재 내광성 향상 표면처리 준양산 장치 개발

- 자동차 내장재 내광성 향상 표면처리 준양산 장치 제작 및 설치 완료
- 최적 복합이온빔 처리조건 확립 → N<sub>2</sub>:H 가스유량비 1:3, 90keV,  $4 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup>

- 90kV, 50mA, 30×30cm 빔인출 및 조사 성공
- 준양산장치 설계승인 완료
- 기술이전 합의서 합의
- 대상제품 지그 설계 완료 및 연내 현대차 납품용 시제품 생산 예정



## 제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제1절 연구개발 목표의 달성도

구분	연구개발 목표	추진실적(연구결과)	달성도 (%)
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 금속 휴대폰케이스 세라믹 채색 코팅 기술/접합력 향상 이온빔 믹싱 공정 개발 및 시제품 생산</li> <li>- 대면적 LCD제작을 위한 무기박막 표면의 이온빔 액정배향 공정기술개발</li> <li>- 마이크로 스피커와 박막 스피커의 진동판 제작공정개발</li> <li>- 사파이어 및 다이아몬드 발색 연구</li> <li>- Sn 무전도 코팅공정 연구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>코팅을 통한 다양한 색상구현 성공 및 이온빔 믹싱법에 의한 세라믹 코팅층의 밀착력 개선 → 시제품 제작</li> <li>- 내지문 코팅공정 확립</li> <li>- 유/무기박막의 최적 이온빔 배향 공정조건 확립 및 15인치 균일 이온빔 조사시험 성공</li> <li>- 이온빔에 의한 진동판의 고유진동수 제어 기초공정개발 → 이온빔 믹싱법을 통한 진동판 제작</li> <li>- 갈색 사파이어 개발 및 녹색 다이아몬드 개발 완료</li> <li>- Sn 코팅 밀착력 30N 이상 구현 → 시제품 제작</li> </ul>	92
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대면적 LCD제작을 위한 무기박막 표면의 이온빔 액정배향 시제품 생산</li> <li>- 플라스틱 사출 금형 이온빔 연마기술 개발</li> <li>- 이온빔 표면재질을 이용한 고분자 고광택 도금대체 기술 개발</li> <li>- 이온빔 이용자 서비스</li> <li>- 개발 기술의 산업화 방안 연구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 이온빔 배향 공정을 통한 LCD 시제품 제작 성공 및 구동시험 성공</li> <li>- 이온빔 연마에 의한 표면거칠기 2배 감소</li> <li>- 이온빔 조사에 의한 표면마찰계수 감소 (금형 이형성 증가)</li> <li>- 이온빔 조사에 의한 고분자 표면 내스크래치성 3H 이상</li> <li>- 고분자 내광성 향상 복합이온빔 공정조건 확립 (128MJ/m<sup>2</sup>)</li> <li>- 480건/년 이온빔 서비스 수행 (산업체(51%), 학교(37%), 연구소(12%))</li> <li>- 기술이전 준비 중</li> </ul>	95
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 차량 내장용 플라스틱 표면처리 기술의 실용화</li> <li>- 금속 PCB 기판위에 직접 코팅된 Cu 층의 접합성 향상</li> <li>- 발색 보석의 다양성</li> <li>- 개발기술의 보완 및 실용화 추진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현대자동차의 성능평가 21항목 통과 및 최적공정 조건 확립 성공</li> <li>- 이온빔 믹싱법에 의한 1-2<math>\mu</math>m 두께의 Cu seed layer의 밀착력 평가기준 통과</li> <li>- Fe 주입에 의한 오렌지사파이어 시장성 확인</li> <li>- 플라스틱 사출 금형 표면 연마조건 확립</li> <li>- 가시광선 감응 광촉매 이온주입 효과 확인 및 추가 실험 중</li> <li>- LCD액정, Mg 합금 채색 코팅 기술 개발 완료 및 실용화 검토 중</li> </ul>	99

<p><b>4차년도</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 개발된 차량 내장재 용 플라스틱 표면처리 기술 보완</li> <li>- Metal PCB 기판에 Cu 코팅 층의 집합성 향상 기술개발의 완성</li> <li>- 플라스틱 사출 금형 이온빔 연마 기술 보완</li> <li>- 이온빔 조사에 의한 다양한 유색보석 개발 및 실용화 방안 탐색</li> <li>- 기 개발기술의 보완 및 기술 수요 조사 및 기술이전 추진</li> <li>- 이온빔 활용 산업 연계 과제 도출 및 산업화 아이템의 지속적 발굴</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 업체에서 인정하는 공정 개발 완료</li> <li>- 기술 이전 의향서 접수</li> <li>- 30<math>\mu</math>m 두께의 Cu 후막 밀착력 평가기준 통과</li> <li>- 기타 신뢰성 평가 100% 달성</li> <li>- 1차 현장 평가 결과 문제점 해결</li> <li>- 업체 사정으로 2차 현장 평가 지연으로 최종 공정 조건 도출 미비</li> <li>- 인조사파이어에 대해서도 천연 같은 이온빔 발색효과 확인</li> <li>- 고에너지 대전류 양산 금속이온빔 미비로 상업화 지연</li> <li>- 참여기업 방문을 통한 기술이전 의사타진</li> <li>- POSCO 및 삼성전자 수탁과제 수주</li> </ul>	<p>87</p>
<p><b>5차년도</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 이온가속기 운영 및 빔 서비스</li> <li>- 가속장치 응용연구 개발</li> <li>- 본원 과제 지원 및 외부 수탁과제 지원</li> <li>- 기 개발된 기술 실용화 보완 연구</li> <li>- 자동차 내장재 내광성 향상 표면처리 준양산 장치 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 264건/7개월 이온빔 서비스 수행 (산업체(75%), 학교(23%), 연구소(2%))</li> <li>- 특허등록 2건, 논문투고 2편</li> <li>- 20kV, 200mA 에칭용 이온원 개발완료</li> <li>- 지경부과제 세라믹코팅 내마모성 목표 달성 및 내식성/접합력 평가 중</li> <li>- 이온가속기 생산허가 취득</li> <li>- 차량 내장재용 플라스틱 표면처리 기술 기술이전 협의 및 연내 기술이전 실시</li> <li>- 최적 양산 공정조건 확립 및 준양산장치 제작 완료</li> </ul>	<p>100</p>
<p><b>3단계 (종합)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 저에너지 이온 가속기 장치 응용 기술 개발로 산업적 신소재 및 부품 기능향상 연구개발</li> <li>- 기술이전 시 개발 품목별 전용 양산 빔 조사 장치 기술 개발로 기술실시 업체 실용화 지원</li> <li>- 축적된 저에너지 빔 이용 기술을 활용 중소기업 애로기술 지원 시스템 구축 및 운영</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 이온빔서비스 이용자 지원 (2,716건/4년7개월, 산업체(59%), 학교(33%), 연구소(8%))</li> <li>- 논문투고 21편, 특허출원/등록 12/14건, 기술이전 1건예정('12.12), 기술료 수입 72,648천원</li> <li>- 8개 기술 시제품제작, 1개 기술 양산장치 제작</li> <li>- 30개 기업 애로기술 지원, 6개기업 사업 참여</li> <li>- 정부과제 및 기업수탁과제 6건 도출 및 연구수행</li> </ul>	<p>93</p>

## 제2절 연구성과

### 1. 총괄표

- 3단계 5년간에 걸친 연구성과를 살펴보면, 총 21편의 논문게재, 52편의 학술대회 발표, 12건의 특허 출원, 14건의 특허 등록의 성과를 배출하였다.

(단위 : 건수)

논문 게재		학술발표		특허 출원		특허 등록	
국내	국외	국내	국외	국내	국외	국내	국외
11	10	26	26	8	4	8	6
21		52		12		14	

### 2. 년차별 연구성과물

구 분	전문학술지 논문게재				학술대회 논문발표		지식재산권				기술실시		초청 강연 실적	수상 실적
	국내논문		국외논문		국내	국제	출원		등록		건수	기술료 수입 (천원)		
	SCI	비SCI	SCI	비SCI			국내	국외	국내	국외				
1차년도	1	2	4	1	5	7	1	3	4	1		12,648	2	
2차년도	5				3	4				4			2	
3차년도	1				7	5	4	1	1	0		20,000	2	
4차년도	1		4		8	6	3		1	1		20,000	3	1
5차년도	1		1		3	4			2	0	(1)	20,000		
계	9	2	9	1	26	26	8	4	8	6	(1)	72,648	8	

#### 가. 전문학술지 논문게재

구분	게재연월	논문제목	저자명	학술지명	권(호)	쪽	SCI 여부	비고
1차년도	08/01	The fabrication of a process heat exchanger for a SO <sub>3</sub> decomposer using surface modified Hastelloy X	박재원, 김형진, 김용완	Nuclear Engineering and Technology	40(3)	233~238	비SCI	국내
	08/02	Hydrophilic property by contact angle change of ion implanted polycarbonate	이찬영, 길재근	Review of Scientific Instruments	79(2)	02C508	SCI	국외
	08/02	The Change of Atomic Distribution and Hardness by Nitrogen Implantation into	정재필, 이재상	Review of Scientific	79(2)	02C509	SCI	국외

		Aluminum Alloy	김계령, 최병호	Instruments					
	08/03	Development and Utilization of 300keV Ion Implanter	이재상, 조용섭, 김준연, 최병호	Journal of the Korean Physical Society	52(3)	731~736	SCI	국내	
	08/04	Effects of patterned ion implanted sapphire substrate for LED	진정근, 백종협, 이재상	Physica status solidi. PSS,C, Conferences and critical reviews	5(6)	2213~2215	비SCI	국외	
	08/06	Radiation Shielding Design for 300keV Ion Implanter	민의섭, 이재상, 문경준, 조진삼, 김준연	Journal of Nuclear Science and Technology	Supplement 5	108~111	SCI	국외	
	08/10	Enhancement of Life Time for PCB (Printed Circuit Board) Drill Bit by Nitrogen Ion Implantation	이찬영, 이재상, 김범석	Transactions on Electrical and Electronic Materials	9(5)	206~208	비SCI	국내	
	08/11	Effect of Patterned Ion-Implanted Sapphire on Ultraviolet Light-Emitting Diodes	최재홍, 진정근, 양승도, 백종협, 이재상, 변동진	Japanese Journal of Applied Physics	47(11)	8265~8268	SCI	국외	
2차년도	09/05	Effect of substrate temperature on the mechanical properties of Chromium steel after nitrogen implantation	김범석, 이재상, 이상율	Journal of the Korean Physical Society	54(5)	2041~2045	SCI	국내	
	09/05	Stiffness enhancement of polymeric materials through an ion beam implantation	여순목, 김범석, 이재상, 박재원	Journal of the Korean Physical Society	54(5)	2115~2118	SCI	국내	
	09/05	Interactions between Ion-beam-modified SiC films on a Ni-based superalloy with intermediate maxthal layers	Zuhair Khan, 박재원, 김형진, 김용완	Journal of the Korean Physical Society	54(5)	2119~2123	SCI	국내	
	09/05	Enhanced interfacial reaction of SiC films deposited onto Hastelloy X substrate by ion beam mixing	박재원, Zuhair Khan, 김형진, 김용완	Journal of the Korean Physical Society	54(5)	2124~2128	SCI	국내	
3차년도	10/06	Modulation of the Sound Press Level by the Treatment of Polymer diaphragms through ion implantation methods	여순목, 박재원, 이호재	Journal of the Korean Physical Society	56(6)	2046~2049	SCI	국내	
4차년도	11/03	Enhanced corrosion resistance of WC-Co with an ion beam mixed silicon carbide coating.	여순목, 박재원, 김동진	International Journal of Refractory Metals and Hard Materials	29	582~585	SCI	국외	

	11/04	Alignment properties of liquid crystal on DLC film using ion beam	이재상, 이찬영, 김범석	Surface & Coatings Technology	206	986~989	SCI	국외
	11/07	Optical properties of the black diamond produced by ion implantation	박재원, 김형진, 김영출	Journal of materials research	26(13)	1572~1576	SCI	국외
	11/08	Surface roughness changes in Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> induced by Nd:YAG laser irradiation	여순목, 박재원	Journal of the Korean Physical Society	59(2)	666~669	SCI	국내
	12/01	Study of residual stress and surface morphology changes in Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> induced by Nd:YAG laser irradiation,	여순목, 홍성기, 이성준, 임창환, 박재원	Journal of Materials Engineering & Performance	21(1)	137~142	SCI	국외
5차년도	12/04	Dual ion beam irradiation of polymeric materials for the modification of optical properties with improved adhesion	박재원, 이일형, 이재상, 이병훈, 김민규, 이찬영, 김형진, 최병호	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B	281	51~55	SCI	국외
	12/07	Study of the Aluminum Surface Characteristics by Using the Radiation-enhanced Diffusion Effect during High-flux Ion-beam Irradiation	이찬영, 이재상, 최혁준, 송지연	Journal of the Korean Physical Society	61(2)	254~257	SCI	국내

나. 학술대회 논문발표

구분	발표연도	논문명	저자명	학술회의명	국내외 구분
1차년도	2008	Ion-beam etching of Ti/Pd/Cu thin film on Ceramic substrate	이재상, 안은미, 이재인	The 12th International Workshop on Accelerator & Beam Utilization	국내
	2008	Alignment properties of liquid crystal on polyimide using ion beam with large dimensions	이찬영, 이재상, 김경균	The 12th International Workshop on Accelerator & Beam Utilization	국내
	2008	Liquid Crystal Alignment of Ion Beam Treatment	이찬영, 이재상	한국원자력학회 추계 학술발표회	국내
	2008	The change of surface properties of nitrogen implanted chromium steel in high temperature environment	이찬영, 김범석	Review of scientific instruments	국내
	2008	Development of a Coupling Process Heat Exchanger Between a VHTR and a Sulfuric_Iodine Hydrogen Production System	김용완, 박재원, 홍성덕, 김찬수, 이원재	4th international Tropical meeting on High Temperature Reactor Technology 2008	국외
	2008	A Surface Modification of Hastelloy X by a SiC Coating and an Ion Beam Irradiation for a	박재원	2008 MRS Fall Meeting	국외

		Potential use for Iodine-Sulfur Cycle in Nuclear Hydrogen Production System	김형진 김용완		
	2008	하스텔로이 X 소재에 코팅 및 이온빔 혼합된 SiC 막의 계면 반응거동	박재원 김형진 Z.S. Khan 김용완	2008 한국원자력학회 추계학술발표회	국내
	2008	Development of an Innovative High Temperature Compact Heat Exchanger for the Coupling of VHTR and Hydrogen Production System	김용완 장중화, 이원재, 홍성덕, 박재원	한국원자력학회 2008 추계학술발표회	국내
	2008	Hastelloy X 에 SiC 코팅 및 이온빔 미싱 후 계면 반응 거동	박재원 Z.S. Khan 김형진 김용완	The 12th International Workshop on Accelerators and Beam Utilization	국내
2차년도	2009	Alignment properties of liquid crystal on DLC film using ion beam	이재상 이찬영, 김범석	16th International Conference on Surface Modification of Materials by Ion Beams	국외
	2009	Stiffness enhancement of polymeric materials through an ion beam implantation	여순목 박재원	Korean Physical Society	국내
	2009	Corrosion-protective coating of Hastelloy X by a SiC Coating combined with an Ion Beam Irradiation for a Potential use for Iodine-Sulfur Cycle in Nuclear Hydrogen Production System.	박재원 김형진, 김용완	e-MRS (European-Materials Research Society)	국외
	2009	Materials Development by a Surface Modification for the Sulfuric Acid Decomposer in Iodine-Sulfur(IS)cycle for Nuclear Hydrogen Production System	박재원 김형진, 김용완	MRS (Materials Research Society)	국외
3차년도	2010	산화알루미늄 위에 증착된 구리박막의 이온빔믹싱에 의한 접합력 향상	김형진	2010 KAPRA	국내
	2010	Enhanced Adhesion of Aluminum oxide and Copper thin film by Ion-Beam Mixing	김형진	Asia Pacific conference for plasma science and Technology	국내
	2010	Optical reactivity modification of TiO <sub>2</sub> coatings on ceramic filters by Nitrogen ion implantation	김형진	한국진공학회 하계학술대회	국내
	2010	Ion-Beam Mixing and Heat treatment of Copper thin film deposited on Aluminum oxide for Metal-PCB application	김형진	The 14th International Conference on Accelerator and Beam Utilization	국내
	2010	Enhanced Adhesion of Copper Thin Film on Aluminum Oxide by Ion-Beam Mixing	김형진	2010 추계 한국원자력학회	국내

	2010	modulation of the sound press level by the treatments of polymer diaphragms through ion implantation methods	여순목	2010 춘계 한국물리학회	국내
	2010	The Enhancement of Corrosion Resistance for WC-Co by Ion Beam Mixed Silicon Carbide Coating	여순목	2010 KAPRA	국내
	2010	The Enhancement of Corrosion Resistance for WC-Co by Ion Beam Mixed Silicon Carbide Coating	여순목	Asia Pacific conference for plasma science and Technology	국내
	2010	Residual stress changes in Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> induced by Nd:YAG laser irradiation	여순목	한국진공학회	국내
	2010	Modifications of optical properties of PC/ABS by dual ions beam irradiation	박재원	9th meeting of the ionizing radiation and polymers symposium-University of Maryland, College park, USA	국외
4차년도	2011	Surface roughness changes in Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> induced by Nd:YAG laser irradiation.	여순목	40회 진공학회	국내
	2011	Corrosion resistance enhancement of WC-Co hardmetal in NaOH solution	여순목	2011 춘계 원자력학회	국내
	2011	Corrosion resistance enhancement of WC-Co hardmetal in NaOH solution	여순목	2011 KAPRA&KPS/DPD conference	국내
	2011	The Enhancement of Corrosion Resistance for WC-Co by Ion Beam Mixed Silicon Carbide Coating	여순목	41회 진공학회	국내
	2011	Corrosion Resistance Changes by SiC Coating Thickness in WC-Co	여순목	15회 ICABU	국내
	2011	Temperature Cycling Test of Copper Films on anodized Aluminum substrate for Metal-PCB Application	김형진	2011 동계 진공학회	국내
	2011	이온빔 믹싱 방법에 의한 코팅 층 접합력 강화: 금속 PCB에의 적용	김형진	2011 KAPRA&KPS/DPD conference	국내
	2011	Enhanced Adhesion of Cu coating on the aluminum oxide by using an ion-beam-mixed Al seed layer	김형진	15회 ICABU	국내
	2011	Enhanced adhesion of coating layers by Ion Beam Mixing: Applications for nuclear hydrogen production and microelectronics	박재원	2011 MRS spring meeting-San Francisco	국외
	2011	Enhanced adhesion of copper film on the anodized aluminum substrate by ion beam mixing	김형진	2011 SMMIB	국외

5차년도	2012	Effect of wetting durability on Al surface by high current ion beam treatment	이찬영	한국원자력학회 춘계 학술대회	국내
	2012	Water contact angle of Poly(dimethylsiloxane) by ion beam irradiation	최혁준	한국원자력학회 춘계 학술대회	국내
	2012	전극형상 변화에 대한 빔 프로파일 변화	김범석	한국표면공학회 춘계 학술대회	국내
	2012	The study of wettability characteristics on aluminum surface by high current ion beam irradiation	이찬영	7th International Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials.	국외
	2012	Wear resistance enhancement of tungsten carbide by ion implantation	이재상	15th International conference on Accelerators and Beam Utilizations	국내
	2012	Study on Factors Affecting Wetting Durability of High Current Ion-beam Treated Aluminum Surface	이찬영	15th International conference on Accelerators and Beam Utilizations	국내
	2012	The study on the physical properties of ABS by N-He gas mixed ion beam	김용기	15th International conference on Accelerators and Beam Utilizations	국내

다. 지식재산권

구분	출원 /등록 일자	출원/등록번호	출원/등록명	출원/등록인	발명자명	출원/등록 국	비고
1차년도	08/02/29	06-179	이온빔 믹싱을 이용한 금속모재 표면에 세라믹층의 코팅방법	한국원자력(연)	박재원 외 3인	대한민국	등록
	08/08/27	0856527	발색조절된 사파이어 제조방법	한국원자력(연)	박재원 외 3인	PCT	등록
	08/11/21	849462	고온 내 부식성 향상을 위한 세라믹 코팅 및 이온빔 믹싱 장치 및 이를 이용한 박막의 계면을 개질하는 방법	한국원자력(연)	박재원 외 4인	영국	등록
	08/11/21	856109	고온 내 부식성 향상을 위한 세라믹 코팅 및 이온빔 믹싱 장치 및 이를 이용한 박막의 계면을 개질하는 방법	한국원자력(연)	박재원 외 4인	미국	등록
	08/06/18	ZL200510053155.2	원자로 구조재 부품의 표면처리방법	한국원자력(연)	박재원 외 3인	대한민국	등록
	08/07/24	PCT/KR2008/003268	전기 도금을 통한 이온원 전극의 복원 방법	한국원자력(연)	이찬영 외 2인	대한민국	출원
	08/08/27	2008-19027	발색조절된 사파이어 제조방법	한국원자력(연)	박재원 외 4인	대한민국	출원
	08/08/28	821415.7	대전류 수소음이온 인출장치 및 그 방법	한국원자력(연)	이재상 외 4인	대한민국	출원



	08/10/08	12/301,907	이온주입과 열처리에 의한 발색된 다이아몬드의 제조방법	한국원자력(연)	박재원 외 3인	중국	출원
2차년도	09/03/12	1360329	이온주입과 열처리에 의한 발색된 다이아몬드 제조방법	한국원자력(연)	박재원 외 3인	이태리	등록
	09/04/03	4285636	이온조사에 의한 이용기 날의 표면처리 방법	한국원자력(연)	박재원 외 3인	일본	등록
	09/10/20	7604846	이온주입과 열처리에 의한 발색된 다이아몬드 제조방법	한국원자력(연)	박재원 외 3인	미국	등록
	09/11/27	4413157	이온주입과 열처리에 의한 발색된 다이아몬드 제조방법	한국원자력(연)	박재원 외 3인	일본	등록
3차년도	10/04/12	10-2010-0033292	이온빔 전면 조사에 의한 유무기 박막의 균일 미세 표면전하 형성 방법	한국원자력(연)	이재상 외 2인	대한민국	출원
	10/04/20	10-2010-0036337	내구성 향상을 위한 마이크로드릴의 표면처리방법 및 표면처리장치	한국원자력(연)	이재상 외 4인	대한민국	출원
	10/12/13	200880129778.5	발색조절된 사파이어 제조방법	한국원자력(연)	박재원 외 4인	중국	출원
	10/12/30	10-2010-0139011	이온빔을 이용한 금속소재표면의 연마 방법	한국원자력(연)	박재원 외 3인	대한민국	출원
	10/12/30	10-2010-0139012	고분자 소재의 내광성 향상방법	한국원자력(연)	이재상 외 4인	대한민국	출원
	10/05/06	10-0957803	이온빔 조사에 의한 마이크로스피커 또는 박막스피커용 폴리머 소재 진동판 및 그 제조방법	한국원자력(연)	이재상 외 3인	대한민국	등록
4차년도	11/04/04	10-2011-0146695	이온빔믹싱법이 적용된 알루미늄 박막을 이용한 금속 인쇄회로 기판구조 형성기술	한국원자력(연)	김형진 외 3인	대한민국	출원
	11/05/18	10-2011-0046807	이온빔을 이용한 알루미늄 초친수 처리 방법 및 장치	한국원자력(연) 삼성전자(주)	이재상 외 5인	대한민국	출원
	11/12/30	10-2011-0030731	이온빔 믹싱층을 포함하는 금속 인쇄 배선 회로기판 및 이의제조방법	한국원자력(연)	김형진 외 3인	대한민국	출원
	11/07/20	10-1052036	고온 내 부식성 향상을 위한 세라믹 코팅 및 이온빔 믹싱 장치 및 이를 이용한 박막의 계면을 개질하는 방법	한국원자력(연)	박재원 외 3인	대한민국	등록
	11/11/09	GB2452182	고온 내 부식성 향상을 위한 세라믹 코팅 및 이온빔 믹싱 장치 및 이를 이용한 박막의 계면을 개질하는 방법	한국원자력(연)	박재원 외 4인	영국	등록
5차년도	12/07/04	10-1164521	이온빔 전면 조사에 의한 유무기 박막의 균일 미세 표면전하 형성 방법	한국원자력(연)	이재상 외 2인	대한민국	등록
	12/10/11	10-1192405	내구성 향상을 위한 마이크로드릴의 표면처리방법 및 표면처리장치	한국원자력(연)	이재상 외 4인	대한민국	등록

라. 기술실시

구분	실시계약일	실시기관	선급실시료(천원)	경상기술료(천원)	기술료 징수액(천원)	징수일자
1차년도	05/01/17	하성전자(주)			7,600	2008년
1차년도	07/12/26	(주)그린파워캡토			5,048	2008년
3차년도	06/12/06	아이시스(주)			20,000	2010년
4차년도	06/12/06	아이시스(주)			20,000	2011년
5차년도	06/12/06	아이시스(주)			20,000	2012년
5차년도	12/12/00	(주)신기인터보빌				2012년

마. 기타 성과

구분	일자	세부내용
1차년도	08/09/03	양성자사업단 경주연구분실 개소 1주년 기념 양성자사업단-동국대학교 Joint Workshop 개최
1차년도	08/10/08	일본 TIARA 방문 및 이온가속기를 이용한 빔이용 연구 수행 (일본 다카사키)
1차년도	08/11/19	대구테크노파크 초청세미나 강연 (이재상)
1차년도	08/11/26	경주시 에너지산업 육성전략 워크샵 초청강연 (박재원)
1차년도	08/12/01	“이용 시설 보강 및 활용” 과제 수행을 통한 금속이온주입기 경주이전 및 설치 금속이온빔 서비스 개시
2차년도	09/04/21	세계화장품미용박람회 원자력연구원 홍보부스 설치 및 기술홍보 (베트남 호치민)
2차년도	09/05/07	전북대학교 융합과학연구소 주최 “융합과학학술발표대회” 초청강연 (이재상)
2차년도	09/05/29	포스코 기술세미나 초청강연 (이재상)
2차년도	09/07/31	2009동북아첨단기술박람회 부스설치 및 홍보 (중국 심양)
2차년도	09/10/29	한국산업기술진흥원 주관 “한일 기술이전 상담회” 참석, 부스설치 및 홍보 (일본 동경)
2차년도	09/11/11	대전방지용 IC Tray 이온빔 처리 양산장치 기술지원 및 운전교육
3차년도	10/08/17	경주 미래천년포럼 초청 발표 (이재상)
3차년도	10/10/20	2010년 추계원자력학회 이온원 워크샵 초청발표 (이재상)
3차년도	10/10/29	듀얼이온가속기 경주사무소 이전설치 및 빔서비스 재개
3차년도	11/01/11	태국 치앙마이대와 국제협력방안 도출 및 태국 발색보석시장 현황 파악 (태국 방콕)
4차년도	11/11/18	(주)비즈오션 주관 “자동차 부품 건식표면처리 기술교류 세미나” 강연 (이재상)
4차년도	11/11/22	산학연협력유공자 교과부 장관상 표창 (이재상)
4차년도	11/12/21	동국대학교 입자 가속기 교육 프로그램 초청강연 (이재상)
4차년도	12/03/23	(주)비즈오션 주관 “2012 자동차 부품 첨단 표면처리기술 연계 동향 및 사업화 전략 세미나” 강연 (이재상)
5차년도	12/04/12	기체이온가속기/금속이온가속기 경주사무소 이전설치 및 빔서비스 재개

## 제5장 연구개발결과의 활용계획

- 확립된 빔 기반 개발기술의 산업화 추진 전략체계와 이온빔 이용자 관리체계를 지속적으로 운영하여 이용자를 발굴하고 빔기반 산업 육성기반 조성에 활용할 것이다.
- 시제품 제작 단계까지 수행한 기술군중 특허 획득 기술에 대해 사업화 모색 및 이전 기업을 탐색하여 기술이전을 추진한다.

### 1. 금속 휴대폰케이스 세라믹 채색 코팅 및 접합력 향상 이온빔 믹싱 공정 개발

채색코팅과 내지문성 코팅에 적용된 이온빔 믹싱은 박막 접합성 향상에 획기적인 발명으로 반도체 코팅 등 buffer layer를 대체하는 신기술로 활용이 기대되며, 이전기업을 모색하여 실용화를 추진할 예정이다.

### 2. 대면적 LCD 제작을 위한 무기박막 표면의 이온빔 액정배향 공정기술개발

이온빔 액정배향 기술은 활용분야가 다양함으로 추후 이전기업을 모색하여 실용화를 추진할 예정이다.

### 3. 플라스틱 사출 금형 이온빔 연마기술 개발

사출금형 표면연마기술은 활용분야가 다양함으로 추후 이전기업을 모색하여 실용화를 추진할 예정이다.

### 4. Metal PCB 기판에 Cu 코팅층의 접합성 향상 기술개발

Metal PCB Cu 도전막 형성 기술은 핵심기술이 세계 최초로 개발된 만큼 참여기업에서 산화층 후막화 등 주변기술만 해결하면 기술이전을 실시할 의사가 있어 추후 기술이전을 추진할 예정이다.

### 5. 이온빔 표면개질을 이용한 차량내장용 고분자 고풍택 도금 대체기술개발

차량 내장용 플라스틱 광택 향상 및 내구성 향상 기술은 기술이전 협의서를 보내와 참여기업에서 제작된 준양산장치와 기술실시를 통해 제품 적용 기술 지원하여 제품을 생산하고 현대자동차에 납품할 예정이다.

6. 이온주입기술을 응용한 초친수 표면 개질 개술개발

양산성이 고려된 대전류 이온원 개발을 통해 양산성을 확인한 후 향후 사업화 추진할 계획이다.

7. 200mpm대응 냉연 강판용 고속에칭 이온원 개발

고속에칭용 이온원(20keV, 1A)의 조사선폭을 1.5m로 증가시켜 2015년에 포스코 설비에 적용하여 상용화를 추진할 예정이다.

8. 유색보석 발색기술 개발

보석 발색 기술은 주입 깊이 향상 및 이온주입량의 증가로 색상의 농도만 높이면 고 부가가치 산업 창출이 가능하므로 고에너지 금속이온가속기를 개발하여 사업화를 추진할 예정이다.

## 제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

- 일본 JAEA Takasaki 연구소 Annual Report (2006년)
- 제3회 Takasaki 이온 응용연구 심포지엄 초록집 (2008)
- 제 16 회 SMMIB(Surface Modification of Materials by Ion Beam) 학회 초록집 (2009, 일본)
- 제 17 회 SMMIB(Surface Modification of Materials by Ion Beam) 학회 초록집 (2011, 중국)
- 7th International Conference on Surfaces, Coatings, and Nanostructured Materials 학회 초록집 (2012, 체코)
- Center for Ion Beam Applications (National University of Singapore) 연구현황 발표자료 (2012)

## 제7장 연구시설·장비 현황

### - 사업단 보유 이온가속기 현황

장치 이미지	세부 내용
	<p>□ 기체 이온 가속기</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 개요 : 수소, 질소, 산소 등의 기체를 이온화시켜 일정에너지로 가속하여 시편이나 제품에 조사하는 표면처리 장치</li> <li>○ 에너지/전류 : 20~120keV/~5mA</li> <li>○ 이온 : H, He, N, O, Ar, Kr, Xe 등 기체 이온</li> <li>○ 최대 조사면적: 직경 15cm</li> <li>○ 활용분야: 금속 및 고분자 표면개질</li> <li>○ 활용제품 : 자동차 내장재, 고출력 마이크로스피커 진동판 기술개발, 마이크로 드릴, OLED기판 기체 등</li> <li>○ 빔 이용실적 : 1,869건/5년</li> </ul>
	<p>□ 금속 이온 가속기</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 개요 : Co, Fe, Cu, Mn 등의 금속을 이온화시켜 일정에너지로 가속하여 시편이나 제품에 조사하는 표면처리 장치</li> <li>○ 에너지/전류 : 20~100keV/~2mA</li> <li>○ 이온 : Co, Fe, Cu, Mn, Zn 등 금속 이온</li> <li>○ 최대 조사면적: 10cm x 10cm</li> <li>○ 활용분야 : 의료, 환경, 에너지 등</li> <li>○ 활용제품 : 인공관절, 인공치아, 사파이어 발색, 반도체 도핑 등</li> <li>○ 빔 이용실적: 259건/3년</li> </ul>
	<p>□ 듀얼 이온 가속기</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 개요 : 두 가지 이상의 이온종을 각각 일정에너지로 가속하여 수직으로 시편이나 제품에 동시에 조사하는 표면처리 장치</li> <li>○ 에너지/전류 : ~70keV/~10mA &amp; ~20keV/~10mA</li> <li>○ 이온 : H, He, N, O, Ar, Kr, Xe 등 기체 이온</li> <li>○ 최대 조사면적: 직경 30cm</li> <li>○ 활용분야 : 이온빔 에칭 및 산업용 표면처리, 복합이온빔 표면처리</li> <li>○ 활용제품 : 초친수 표면개질, 다이아몬드 발색, LCD 액정배향, 사출금형 연마 등</li> <li>○ 빔 이용실적: 452건/5년</li> </ul>
	<p>□ 대전류 이온 가속기</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 개요 : 산업적인 활용도를 제고하기 위해 50mA이상의 대전류 기체 이온빔을 일정에너지로 가속하여 수직으로 시편이나 제품에 조사하는 표면처리 장치</li> <li>○ 에너지/전류 : ~25keV/~600mA</li> <li>○ 이온 : H, He, N, O, Ar, Kr, Xe 등 기체 이온</li> <li>○ 최대 조사면적: 선폭 30cm</li> <li>○ 활용분야 : 이온빔 고속에칭, 산업용 대전류 이온빔 표면개질</li> <li>○ 활용제품 : 강판 고속 에칭, 나노소자 이온빔 초정밀 에칭, 기계부품 등</li> <li>○ 빔 이용실적: 210건/1년</li> </ul>



□ 산업용 이온 가속기

- 개요 : 산업체에서 이온빔 기술을 응용한 시제품 생산 및 판매를 할수 있도록 한국원자력안전기술원으로부터 장치 설계·제작 및 방사선안전을 승인받은 이온가속기
- 에너지/전류 : ~90keV/~30mA
- 이온 : He, N 등 기체 이온
- 최대 조사면적: 직경 45cm
- 활용분야 : 산업용 대전류 이온빔 표면개질
- 활용제품 : 자동차 내장재 부품
- 빔 이용실적: 신규

## 제8장 참고문헌

- [1] J. K. Hirvonen, A. A. Carosella and G. K. Hubler. Nucl. Instrum. Methods 189, 103 (1981).
- [2] Z. Tonghe, J. Chengzhou, S. Jinghua and C. Jun, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B 67, 458 (1992).
- [3] K. T. Hong and R. L. Webb, J. Heat Transfer 127, 1018 (1999).
- [4] B. Liu, Q. M. Fu, K. M. Wu and C. Liu, J. Korean Phys. Soc. 52, S17 (2008).
- [5] J. S. Lee, Y. S. Cho, J. Y. Kim and B. H. Choi, J. Korean Phys. Soc. 52, 3727 (2008).
- [6] C. Y. Lee and J. S. Lee, J. Korean Phys. Soc. 59, 699 (2011).
- [7] J. A. Taylor and J. W. Rabalais, J. Chem. Phys. 75, 1735 (1981).
- [8] S. Nagai, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B 59, 936 (1991).
- [9] B. Rauschenbach, K. Breuer and G. Leonhardt, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B 47, 396 (1990).
- [10] R. Schork, P. Pichler, A. Kluge and H. Ryssel, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B 59, 499 (1991).
- [11] Y. Hara, T. Yamanishi, K. Azuma, H. Uchida and M. Yatsuzuka, Sur. Coat. Technol. 156, 166 (2002).
- [12] S. G. Kim, Y. K. Cho, W. S. Jang, S. W. Kim, S. Magahiro and O. Takai, J. Korean Phys. Soc. 54, 2009 (2008).
- [13] I. Yamada, Nucl. Instr. and Meth. B 148 (1999) 1.
- [14] T. Shima, N. Inoue, J. Jpn. Soc. Prec. Eng. 12 (3) (1990) 157.
- [15] J. Wilk, Z.W. Kowalski, Nukleonika 44 (2) (1999) 265.
- [16] J.H. Ha, Y.K. Kim, J.S. Lee, Y.S. Cho, T.Y. Song, J.M. Han, K.U. Youm, B.H. Choi, J. Korean Phys. Soc. 39 (2001) 803.
- [17] J.S. Lee, B.Y. Kim, J.H. Lee, J. KIEE 18 (5) (2005) 407.
- [18] J.W. Park, J.H. Lee, J.S. Lee, D.U. Jang, B.H. Choi, J.H. Han, J. Korean Vac. Soc. 10 (2) (2001) 241.
- [19] J.W. Park, K.W. Lee, J.H. Lee, B.H. Choi, J. Korean Vac. Soc. 8 (4B) (1999) 514.
- [20] J.S. Lee, J.H. Lee, Surf. Coat. Technol. 196 (2005) 358.
- [21] M. J. Shenton and G. C. Stevens, J. Phys. D: Appl. Phys. 34, 2761 (2001).
- [22] A. Nakao, Y. Suzuki and M. Iwaki, J. Colloid Interface Sci. 197, 257 (1998).
- [23] G. Suchanek, B. Wolf, M. Guenther and G. Gerlach, Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 725, 4.12 (2002).
- [24] S. Yeo, B.S. Kim, J.S. Lee and J.W. Park, J. Korean Phys. Soc. 54, 2115 (2009).
- [25] HJ. Kwon, CH. Jung, DK. Kim and YM. Lim, J. Korean Phys. Soc. 52, 819 (2008).
- [26] L. Guzman, B. Y. Man, A. Miotello, M. Adami and P. M. Ossi, Thin Solid Film 420, 565 (2002).
- [27] J. W. Park and J. H. Cho, J. Korean Phys. Soc. 48, 815 (2006).
- [28] Y. T. Cheng, Mater. Sci. Rep. 5, 45 (1990).
- [29] J.-H. Kwon, S.-M. Hwang and K.-S. Kim, IEEE Trans. Magn. 43, 2704 (2007).
- [30] GY. Hwang, HG. Kim, SM. Hwang and BS. Kang. IEEE Trans. Magn. 38, 5 (2002).
- [31] SM. Hwang, HJ. Lee, JH. Kim, GY. Hwang, WY. Lee and BS. Kang, IEEE Trans. Magn. 39, 5 (2003).
- [32] N. Sakamoto, K. Satoh, K. Satoh and N. Atoji, Proc. AES 64th Convention (New York, 1979).
- [33] S. R. Kim, J. Appl. Polym. Sci. 77, 1913 (2000).
- [34] CA. Chang, CJ. Chan and F. Jones, Appl. Phys. Lett. 59, 1069 (1991).
- [35] CA. Chang, J. E. E. Baglin, A. G. Schrott and K. C. Lin, Appl. Phys. Lett. 51, 103 (1987).



- [36] M. Suzuki, A. Kishida, H. Iwata, and Y. Ikada, *Macromolecules* 19, 1804 (1996).
- [37] C. Gagnadre, J. L. Decossas, and J. C. Vareille, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 73, 48 (1993).
- [38] J. S. Cho and S. K. Koh, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 175 - 177, 505 (2001).
- [39] Guochun Xu, Yutaka Hibino, Yasuo Suzuki, and Yoshiaki Suzuki, *Colloids Surf., B* 19, 237 (2000).
- [40] J. W. Park and J. H. Cho, "Properties of polymeric, metallic, and ceramic materials surface-modified with low energy accelerating beam bombardment", *J. Korean Phys. Soc.*, Vol. 48, No. 4, p. 815, (2006).
- [41] C. A. Straede, "Application of ion implantation in tooling industry", *Nucl. Inst. Meth. B*, Vol. 113, Issue1-4, p. 161, (1993).
- [42] J. H. Lee, C. H. Lee, and J. K. Kil, "Optical transmittance property of polycarbonate film at UV range by ion implantation", *J. of KIEEME(in Korean)*, Vol. 16, No. 12, p. 1091, (2003).
- [43] Dearnaley and G. Nul, "Ion implantation part II: Ion implantation in nonelectronic materials", *Nucl. Inst. Meth. B.*, Vol. 24, p. 506, (1987).
- [44] C. B. Choi and H. D. Kang, "High current deuterium ion extraction with low emittance", *New Korean. Phy. Soc.*, Vol. 26, No. 6, p. 563, (1986).
- [45] J. H. Lee, J. W. Park, J. S. Lee, C. W. Sohn, and J. K. Kil, "Studies of N-ion-implanted stainless steels oriented for industrial applications", *Surface & Coatings Tech.*, Vol. 196, p. 353, (2005).
- [46] P.D. Townsend, R. Brooks, D.E. Hole, Z. Wu, A. Turkler, N. Can, A. Suarez-Garcia, J. Gonzalo, "Luminescence from copper nanoparticles", *Appl. Phys.*, B 73, 345 (2001).
- [47] G. De, M. Gusso, L. Tapfer, M. Catalano, F. Gonella, G. Mattei, P. Mazzoldi, G. Battaglin, "Annealing behavior of silver, copper, and silver-copper nanoclusters in a silica matrix synthesized by the sol-gel technique", *J. Appl. Phys.* 80 (12), 6734 (1996).
- [48] Y.Z Wan, G.Y. Xiong, "Modification of medical metals by ion implantation of copper", *Applied Surface Science*, 253, 9426 (2007).
- [49] T. V. Kulevoy, R. P. Kuibeda, S. V. Petrenko, V. A. Batalin, "ITEP Bernas ion source with additional electron beam", *Review of Scientific instruments* 77, 03C110 (2006).
- [50] Thomas N. Horsky, "Indirectly heated cathode arc discharge source for ion implantation of semiconductors", *Review of Scientific instruments*, 69, 1688 (1998).
- [51] Ian G. Brown, *The physics and technology of ion source*, 2ed, p 138 (2004), WILEY-VCH Verlag GmbH & Co, Weinheim 714
- [52] J. E. Gary and B. Luan, *J. Alloys Compd.* 336, 83 (2002).
- [53] G. L. Song and A. Atrens, *Adv. Eng. Mater.* 1, 11 (1999).
- [54] G. L. Song, B. Johannesson, S. Hapugoda and D. Stjohn, *Corros. Sci.* 46, 955 (2004).
- [55] P. Kurze and W. Kyrsmann, *Cryst. Res. Technol.* 21, 1603 (1986).
- [56] S. Robert, C. Alivait, *Electrochem. Soc.* 135, 2685 (1977).
- [57] K. H. Dittrich, W. Kyrsmann and P. Kurze, *Cryst. Res. Tech.* 19(1), 93 (1984).
- [58] W. J. Lee, Y. B. Kim, K. K. Jee and W. Y. Lee, *J. Korean Phys. Soc.* 52, 1673 (2008).
- [59] B. M. Paine and R. S. Averback, *Nucl. Instrum. Meth. B* 7/8, 666 (1985).
- [60] F. W. Saris, *Structure-Property Relationships in Surface-Modied Ceramics*, edited by C. J. McHargue, R. Kossowsky and W. O. Hofer (Kluwer Academic, Dordrecht, 1989), p. 103.
- [61] Y. T. Cheng, *Mater Sci. Rep.* 5, 45 (1990).
- [62] A. Gras-Marti and U. Littmark, *Materials Modication by High-Fluence Ion Beams*, edited by R. Kelly and M. F. da Silva (Kluwer Academic, Dordrecht, 1987), p. 257.
- [63] J. W. Park and J. H. Cho, *J. Korean Phys. Soc.* 48, 815 (2006).

- [64] Y. J. Choi, M. S. Kim and I. S. Hoh, *J. Korean Phys. Soc.* 50, 1579 (2007).
- [65] H. J. Woo, G. D. Kim, J. K. Kim, H. W. Choi, W. Hong, J. H. Park and K. J. Kim, *J. Korean Phys. Soc.* 52, 743 (2008).
- [66] J. F. Ziegler, J. P. Biersack and U. Littmark, *The Stopping Range of Ion in Solids* (Pergamon, New York, 1985).
- [67] M. Ahmad, J. I. Akhter, M. Akhtar, M. Iqbal, E. Ahmed and M. A. Choudhry, *J. Alloys Comp.* 390, 88 (2005).
- [68] J.-W. Park, Y.-J. Chun and J.-H. Chang, *J. Nucl. Mat.* 362, 268 (2007).
- [69] J.-H. Chang, Y.-W. Kim, K.-Y. Lee, Y.-W. Lee, W.-J. Lee, J.-M. Noh, M.-H. Kim, H.-S. Lim, Y.-J. Shin, K.-K. Bae and K.-D. Jung, *Nucl. Engin. Tech.* 39, 111 (2007).
- [70] H. Nakajima, M. Sakurai, K. Ikenoya, G. J. Hwang, K. Onuki and S. Shimizu, *Proc. of 7th Int. Conf. Nuclear Engineering* (Tokyo, 1999).
- [71] J.-W. Park and J.-H. Cho, *J. Korean Phys. Soc.* 48, 815 (2006).
- [72] S. H. Park, S. H. Kim and S. W. Han, *J. Korean Phys. Soc.* 50, 1557 (2007).
- [73] Y. J. Choi, M. S. Kim and I. Noh, *J. Korean Phys. Soc.* 50, 1579 (2007).
- [74] M. W. Barsoum and T. El-Raghy, *American Scientist* 89, 336 (2001).
- [75] M. W. Barsoum, *Encyclopedia of Materials Science and Technology* (Elsevier, New York, 2008), p. 1.
- [76] J. Frodelius, Licentiate thesis, Linköping Studies in Science and Technology, Linköping University, (2008).
- [77] M. Ohring, *The Materials Science of Thin Films* (Academic Press, New York, 1992).
- [78] J. K. Hirvonen, C. A. Carosella and G. K. Hubler, *Nucl. Inst. Meth.* 189, 103 (1981).
- [79] H. Loh, R. W. Oliver and P. Sioshansi, *Nucl. Inst. Meth. B* 34, 337 (1988).
- [80] F. M. Kusras, M. S. Misra and W. T. Kock, *Master Sci. Eng.* 90, 407 (1987).
- [81] Y. Sugizak, *Surf. Coat. Technol.* 83, 167 (1996).
- [82] B. Y. Tang, K. Y. Gan, P. Yang, X. F. Wang, L. P. Wang, S. Y. Wang and P. K. Chu, *Thin Solid Films.* 402, 211 (2002).
- [83] L. R. Shen, *Surf. Coat. Technol.* 196, 349 (2005).
- [84] H. J. Kwon, C. H. Jung, D. K. Kim, Y. M. Lim and H. K. Kim, *J. Korean Phys. Soc.* 52, 819 (2008).
- [85] S. Mandl, J. W. Gerlach and B. Rauschencach, *Surf. Coat. Technol.* 200, 584 (2005).
- [86] S. Mandl, D. Manova, H. Neumann, M. T. Pham, E. Richter and B. Rauschencach, *Surf. Coat. Technol.* 200, 104 (2005).
- [87] K. Santhakumar, C. R. Lee, P. Jayavel, Y. Hayalawa, T. Soga and K. Asokan, *J. Korean Phys. Soc.* 51, 581 (2007).
- [88] J. H. Hahn, K. R. Lee, K. S. Kim and S. Y. Lee, *J. Korean Soc. Precision Engineering* 19, 19 (2002).
- [89] H. J. Woo, G. D. Kim, J. K. Kim, H. W. Choi, W. Hong, J. H. Park and K. J. Kim, *J. Korean Phys. Soc.* 52, 743 (2008).
- [90] J. S. Lee, B. Y. Kim and J. H. Lee, *J. Korean Phys. Soc.* 47, 79 (2005).
- [91] S. M. Kim, B. S. Kim, G. S. Kim, S. Y. Lee and B. Y. Lee, *Surf. Coat. Technol.* 202, 5521 (2008).
- [92] A. Usui, H. Sunakawa, A. Sakai, and A. Yamaguchi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 36, L899, (1997).
- [93] H. Kazumasa, *J. Phys. Condens. Matter*, 13, 6961, (2001).
- [94] B. Beaumont, Ph. Vennéguès, and P. Gibart, *Phys. Status Solidi B*, 227, 1, (2001).
- [95] O. H. Nam, M. D. Bremser, T. S. Zheleva, and R. F. Davis, *Appl. Phys. Lett.*, 71, 2638, (1997).
- [96] R. D. Dupuis, J. Park, P. A. Grudowski, C. J. Eiting, and Z. Liliental-Weber, *J. Cryst. Growth*, 195, 340, (1998).
- [97] J. A. Smart, E. M. Chumbes, A. T. Schremer, and J. R. Shealy, *Appl. Phys. Lett.*, 75, 3820, (1999).

- [98] A. Strittmatter, S. Rodt, L. Reißmann, D. Bimberg, H. Schröder, E. Obermeier, T. Riemann, J. Christen, and A. Krost, *Appl. Phys. Lett.*, **78**, 727 (2001).
- [99] B. Kim, K. Lee, S. Jang, J. Jhin, S. Lee, J. Baek, Y. Yu, J. Lee, and D. Byun, *Chem. Vap. Deposition*, **16**, 80 (2010).
- [100] H. Kim, G. Kim, D. Kum, and D. Byun, *J. Appl. Phys.*, **87** 7940 (2000).
- [101] Y. Cho, E. Koh, Y. Park, D. Koh, E. Kim, Y. Moon, S. Leem, G. Kim, and D. Byun, *J. Cryst. Growth*, **236**, 538 (2002).
- [102] Y. Kato, S. Kitamura, K. Hiramatsu, and N. Sawaki, *J. Cryst. Growth*, **144**, 133 (1994).
- [103] H. Marchand, J. P. Ibbetson, P. T. Fini, S. Keller, S. P. DenBaars, J. S. Speck, and U. K. Mishra, *J. Cryst. Growth*, **195**, 328 (1998).
- [104] O. H. Nam, T. S. Zheleva, M. D. Bremser, and R. F. Davis, *J. Electron. Mater.*, **27**, 233 (1998).
- [105] J. Park, P. A. Grudowski, C. J. Eiting, and R. D. Dupuis, *Appl. Phys. Lett.*, **73**, 333 (1998).
- [106] K. Hiramatsu, K. Nishiyama, A. Motogaito, H. Miyake, Y. Iyechika, and T. Maeda, *Phys. Status Solidi A*, **176**, 535 (1999).
- [107] K. Saarinen, T. Laine, S. Kuisma, J. Nissilä, P. Hautojärvi, L. Dobrzynski, J. M. Baranowski, K. Pakula, R. Stepniewski, M. Wojdak, et al., *Phys. Rev. Lett.*, **79**, 3030 (1997).
- [108] A. Krost, A. Dadgar, *Mater. Sci. Eng. B*, **93**, 77. (2002).
- [109] S.-H. Jang, C.-R. Lee, *J. Cryst. Growth*, **253**, 64. (2003).
- [110] S. Zamir, B. Meyler, J. Salzman, *J. Cryst. Growth*, **243**, 375. (2002).
- [111] E. Feltin, B. Beaumont, P. Venneues, M. Vaille, P. Gibart, T. Riemann, J. Christen, L. Dobos, B. Pe'cz, *J. Appl. Phys.*, **93**, 182. (2003).
- [112] N. P. Kobayashi, J. T. Kobayashi, X. Zhang, P. D. Dapkus, D. H. Rich, *Appl. Phys. Lett.*, **74**, 2836. (1999).
- [113] J. A. Smart, E. M. Chumbes, A. T. Schremer, J. R. Shealy, *Appl. Phys. Lett.*, **75**, 3820. (1999).
- [114] A. Strittmatter, S. Rodt, L. Reißmann, D. Bimberg, H. Schro' der, E. Obermeier, T. Riemann, J. Christen, A. Krost, *Appl. Phys. Lett.*, **78**, 727. (2001).
- [115] E. Koh, Y. Park, E. Kim, C. Park, S. Lee, J. Lee, S. Choh, *J. Cryst. Growth*, **218**, 214. (2000).
- [116] M. Jamil, J. R. Grandusky, V. Jindal, F. Shahedipour-Sandvik, S. Guha, M. Arif, *J. Appl. Phys.*, **87**, 082103. (2005).
- [117] H. Marchand, J. P. Ibbetson, P. T. Fini, S. Keller, S. P. DenBaars, J. S. Speck, U. K. Mishra, *J. Cryst. Growth*, **195**, 328. (1998).
- [118] K. Hiramatsu, *J. Phys. :Condens. Matter.*, **13**, 6961. (2001).
- [119] R. D. Dupuis, J. Park, P. A. Grudowski, C. J. Eiting, Z. Liliental-Weber, *J. Cryst. Growth*, **195**, 340. (1998).
- [120] O.-H. Nam, T. S. Zheleva, M. D. Bremser, R. F. Davis, *J. Electron. Mater.*, **27**, 233. (1998).
- [121] J. Park, P. A. Grudowski, C. J. Eiting, R. D. Dupuis, *Appl. Phys. Lett.*, **73**, 333. (1998).
- [122] K. Hiramatsu, K. Nishiyama, A. Motogaito, H. Miyake, Y. Iyechika, T. Maeda, *Phys. Status Solidi (A)*, **176**, 535. (1999).
- [123] M. Jamil, J. R. Grandusky, V. Jindal, N. Tripathi, F. Shahedipour-Sandvika, *J. Appl. Phys.*, **102**, 023701-1. (2007).
- [124] L. Barbadillo, M. J. Hernandez, M. Cervera, P. Rodriguez, J. Piqueras, S. I. Molina, F. M. Morales, D. Araujo, *Nucl. Instrum. Meth. B*, **184**, 361. (2001).
- [125] B. Willems, K. De Corte, and G. Van Tendeloo: Why does polycrystalline natural diamond turn black after annealing. *Phys. Status Solidi A* **201**, 2486 (2004).
- [126] Y. Mita: Change of absorption spectra in type-Ib diamond with heavy neutron irradiation. *Phys. Rev. B* **53**(17), 11360 (1996).
- [127] C. Chaiwong, L.D. Yu, K. Schinarakis, and T. Vilaithong: Optical properly

- modification of ruby and sapphire by N-ion implantation. *Suif, Coat. Tech.* 196, 108 (2005).
- [128] C.J. McHargue, G.c. Farlow, M.B. Lewis, J.M. Williams: Implantation of gases into sapphire. *NIIcl. II/strum. Methods, Phys. Res., Sect. B 19120*, 809 (1987).
- [129] M.A. Prelas, G. Popovici, and L.K. Bigelow: *Handbook of Industrial Diamonds and Diamond Films* (Marcel Dekker, New York, 1998), Ch.7, p. 232.
- [130] A.T. Collins: The color of diamond and How it may be changed *J. Cemmol.* 27(6), 341 (2001).
- [131] J. Jagielski, N. Moncoffre, P. Delichere, and G. Marest On the possibility of p-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> carbon nitride synthesis by C and N implantation into Cu. *J. Mater. Sci.* 34, 2949 (1999).
- [132] J.M. Ripalda, N. Diaz, E. Roman, L. Galan, I. Montero, A. Goldoni, A. Baraldi, S. Lizzit, G. Comelli, and G. Paolucci : Chemical shift resolved photoionization cross sections of amorphous carbon nitrides. *Phys. Rev. Lett.* 85( 1 0), 2132 (2000).
- [133] P.M. Raole, S. Mukherjee, and P. I. John: X-ray photoelectron spectroscopic study of plasma source nitrogen ion implantation in single crystalline natural diamond. *Diam. Relat. Mater.* 14, 482 (2005).
- [134] J. Birrell, J. Gerbi, O. Auciello, J. M. Gibson, D. M. Gruen, and J.A. Carlisle: Bonding structure in nitrogen doped ultrananocrystalline diamond. *J. Appl. Phys.* 93, 5606 (2003).
- [135] E.H. Lee, D.M. Hembree Jr., G.R. Rao, and L.K. Mansur: Raman scattering from ion-implanted diamond, graphite, and polymers. *Phys. Rev. B* 48(21), 48 (1993).
- [136] D.P. Hickey, K.S. Jones, and R.G. Elliman: Amorphization and graphitization of single-crystal diamond—A transmission electron microscopy study. *Diam. Relat. Mater.* 18, 1353 (2009).
- [137] S. Praver: Ion implantation into diamond and diamond films. *Diam. Relatf. Mater.* 4, 862 (1995).
- [138] M.H. Grimsditch and A.K. Ramdas: Brillouin scattering in diamond. *Phys. Rev. B* II, 3139 (1975).
- [139] X. Chen, J.P. Sullivan, T.A. Friedmann, and J.M. Gibson: Fluctuation microscopy studies of medium-range ordering in amorphous diamond-like carbon films. *Appl. Phys. Lett.* 84, 2823 (2004).
- [140] Human AM, Exner HE. The relationship between electrochemical behavior and inservice corrosion of WC based cemented carbides. *Int J Refract Met Hard Mater*, 15, 65 (1997).
- [141] Tomlinson WJ, Linzell CR. Corrosion, erosion - corrosion, and the flexural strength of WC-Co hardmetals. *J Mater Sci*, 26, 1605 (1998).
- [142] Scholl H, Hofman B, Rauscher A. Anodic polarization of cemented carbides of the type [(WC, M): M=Fe, Ni, or Co] in sulphuric acid solution. *Electrochem Acta*, 37, 447 (1992).
- [143] Kellner FJJ, Hildebrand H, Virtanen S. Effect of WC grain size on the corrosion behavior of WC-Co based hardmetals in alkaline solutions. *Int J Refract Met Hard Mater*, 27, 806 (2009).
- [144] Park JW, Chun Y, Chang J. Effects of ion beam mixing of silicon carbide film deposited onto metallic materials for application to nuclear hydrogen production. *J Nucl Mater*, 362, 268 (2007).
- [145] Ensinger W, Wolf GK. Ion-beam-assisted coatings for corrosion protection studies. *Mater Sci Eng A*, 116, 1, (1989).
- [146] Baba K, Hatada R, Emmerich R, Enders B, Wolf GK. Synthesis and corrosion properties of silicon nitride films by ion beam assisted deposition. *Nucl Instrum Methods B*, 106, 106 (1995).
- [147] Motjima S, Iwamori N, Hattori T, Kurosawa K. Deposition and microhardness of SiC from the Si<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub> - C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> - H<sub>2</sub> - Ar system. *J Mater Sci*, 21, 1363 (1986).
- [148] Riviere JP, Delafond J, Misaelides P, Noli F. Corrosion protection of an

- AISI 321 stainless steel by SiC coatings. *Surf Coat Technol*, 100, 243 (1998).
- [149] Myoshi K, Buckley DA. Anisotropic tribological properties of SiC. *Wear*, 75, 253 (1982).
- [150] Kong HS, Glass JT, Davis RF. Epitaxial growth of  $\beta$ -SiC thin films on 6H  $\alpha$ -SiC substrates via chemical vapor deposition. *Appl Phys Lett*, 49, 1074 (1986).
- [151] Bozzini B, De Gaudenzi GP, Fanigliulo A, Mele C. Anodic behavior of WC-Co type hardmetal. *Mater Corros*, 54, 295 (2003).
- [152] Badawy WA, Al-Kharafi FM, Al-Ajmi JR. Electrochemical behavior of cobalt in aqueous solution of different pH. *J Appl Electrochem*, 30, 693 (2000).
- [153] Wang L, Angert N, Trautmann C, Vetter J. Effect of ion irradiation and heat treatment on adhesion in the Cu/Teflon system. *J Adhes Sci Technol*, 9, 1523 (1995).
- [154] Park JW, Khan ZS, Kim HJ, Kim YW. A surface modification of Hastelloy x by a SiC coating and an ion beam irradiation for a potential use for iodine-sulfur cycle in nuclear hydrogen production system. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc*, 65 (2009).
- [155] Natsai M, Johnson HH, Mayer JW, Williams JM. Stability and formation of NiAl<sub>3</sub> under ion irradiation. *J Mater Res*, 1, 268 (1986).
- [156] Hochstrasser-Kurz S, Reiss D, Suter T, Latkozy C, Günther D, Virtanen S, et al. ICPMS, SKPFM, XPS, and microcapillary investigation of the local corrosion mechanism of WC-Co hardmetal. *J Electrochem Soc*, 155 C415 (2008).
- [157] J. Ienuing, *Appl. Phys. Lett.* 21, 173 (1982).
- [158] M. O'Neil, S.M. Kelly, *J. Phys.* D33, 67 (2000).
- [159] T.J. Scheffer, J. Nehering, *J. Appl. Phys.* 48, 1783 (1977).
- [160] H. Nakazawa, Y. Yamagata, M. Suemitsu, M. Mashita, *Thin Solid Films* 467, 98 (2004).
- [161] P. Merel, M. Tannal, M. Chaker, S. Moisa, J. Margot, *Appl. Surf. Sci.* 136, 105, (1998).
- [162] A. Das, S. Bera, S. Dhara, A. Patnaik, *Nucl. Instrum. Meth.* B134, 377, (1998).
- [163] S. Souto, M. Pickholz, M.C. dos Santos, F. Alvarez, *Phys. Rev. B* 57 (4), 2 (January 1998)
- [164] T. Opera, J.W. Baran, J. Zmija, *Cryst. Res. Technol.* 23, 1073 (1988).
- [165] K.W. Lee, A. Lien, J.H. Stathis, S.H. Paek, *Jpn. J. Appl. Phys.* 36 (6A) 3591 Part 1 (1997).
- [166] S.-H. Park, Y.-B. Lee, C.-H. Kwak, S.-Y. Seo, S.-H. Kim, Y. D. Choi and S.-W. Han, *J. Korean Phys. Soc.* 52, 954 (2008).
- [167] Y. J. Choi, M.-S. Kim and I. Noh, *J. Korean Phys. Soc.* 50, 1579 (2007).
- [168] H.-J. Kwon, C.-H. Jung, D.-K. Kim and Y.-M. Lim, *J. Korean Phys. Soc.* 52, 819 (2008)
- [169] D. Briggs, C. R. Kendall, A. R. Blythe and A. B. Wotton, *Polymer* 24, 47 (1983).
- [170] M. J. Shenton and G. C. Stevens, *J. Phys. d: Appl. Phys.* 34, 2761 (2001).
- [171] J. S. Lee, B. Y. Kim and H. Lee, *J. Korean Phys. Soc.* 47, 79 (2005).
- [172] L. Guzman, B. Y. Man, A. Miotello, M. Adami and P. M. Dssi, *Thin Solid Films* 420-421, 565 (2002).
- [173] A. Nakao, Y. Suzuki and M. Iwaki, *J. Colloid Interface Sci.* 197, 257 (1998).
- [174] G. Suchaneck, B. Wolf, M. Guenther and G. Gerlacher, *Mat. Res, Soc, Symp. Proc.* 725, P4. 12. 1 (2002).
- [175] M. S. Kim, G. Khang, J. H. Lee and H. B. Lee, *Biomaterials Res.* 10, 125 (2006).
- [176] S.-M. Hwang, H.-J. Lee, J.-H. Kim, G.-Y. Hwang, W.-Y. Lee and B.-S. Kang, *IEEE Trans. Magnetics* 39, 5 (2003).
- [177] G.-Y. Hwang, H.-G. Kim, S.-M. Hwang and B.-S. Kang. *IEEE Trans.*

- Magnetics 38, 5 (2002).
- [178] N. Sakamoto, K. Satoh and N. Atoji, Proc. AES 64<sup>th</sup> Convention, 263 (1979).

서 지 정 보 양 식

<b>수행기관보고서번호</b>		위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드	
KAERI/RR-3563/2012					
제목 / 부제		가속장치 응용 및 실용화			
연구책임자 및 부서명		이재상 (한국원자력연구원 양성자기반공학기술개발사업단)			
연구자 및 부서명		박재원, 이찬영, 여순목, 김범석, 김형진, 문병식, 안은미, 최혁준, 김용기, 이일영, 정영신, 박세훈 (한국원자력연구원 양성자기반공학기술개발사업단)			
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구원	발행년	2013
페이지	253p.	도표	있음(○), 없음( )	크기	21×29.7 cm
참고사항					
공개여부	공개(○), 비공개( )		보고서종류	최종연구보고서	
비밀여부	대외비( ), _ 급비밀				
연구위탁기관	교육과학기술부		계약번호		
초록 (15-20줄내외)		<p>양성자 기반공학 기술개발사업단에서는 1990년대 후반부터 가속장치기술에서 파생된 이온빔 기술, 가속관 기술 등을 활용하여 빔 이용서비스를 실시하고 있으며, 이러한 빔 서비스 경험을 통해 축적된 노하우를 바탕으로 애로기술을 가진 산업체와 빔서비스 컨설팅을 함으로서 시효성이 중요한 기술분야에 빠른 시간 내에 빔 이용기술을 접목하였다. 가속장치기술에 대한 파생기술로서 확보된 저에너지 이온가속기 장치 및 응용기술을 산업체의 요구와 접목시켜 직접 제품에 적용함으로써 제품의 성능 향상, 공정 개선, 신공정 개발, 신제품/물질 개발, 전용 장치의 개발 등을 이루어냄으로써 산업체의 기술 경쟁력을 강화하고 새로운 시장의 개척 및 시장 점유율 향상 등의 성과를 얻을 수 있을 것이다. “가속장치 응용 및 실용화”과제를 통하여 빔 기반 개발기술의 산업화 추진 전략 및 이온빔 이용자 관리체계 및 이온빔 서비스 Data Base를 수립하였고 업체들과의 연구를 통하여 금속 휴대폰케이스 세라믹 채색 코팅 및 접합력 향상 이온빔 믹싱 공정 개발, 대면적 LCD 제작을 위한 무기박막 표면의 이온빔 액정배향 공정기술개발, Metal PCB 기판에 Cu 코팅층의 접합성 향상 기술개발, 플라스틱 사출 금형 이온빔 연마기술 개발, 이온빔 표면개질을 이용한 차량내장용 고분자 고광택 도금 대체기술개발, 이온주입기술을 응용한 초친수 표면 개질 기술개발, 유색 보석 발색기술 개발 등 이온빔 공정에 의한 산업적 신소재 및 부품 기능향상 연구개발을 성공적으로 수행하였으며, 실용화 타당성을 타진하였다. 이러한 결과를 바탕으로 확립된 빔 기반 개발기술의 산업화 추진 전략체계와 이온빔 이용자 관리체계를 지속적으로 운영하여 이용자를 발굴하고 빔 기반 산업 육성기반 조성에 활용할 것이다. 시제품 제작 단계까지 수행한 기술군중 특허 획득 기술에 대해 사업화 모색 및 이전 기업을 탐색하여 기술이전을 추진할 예정이다.</p>			
주제명키워드 (10단어내외)		이온가속기, 실용화, 밀착력 향상, 이온빔 믹싱, 초친수, 내광성, 액정 배향, 이온빔 연마, 유색보석			

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.		INIS Subject Code	
KAERI/RR-3563/2012							
Title / Subtitle		Industrial Applications of Accelerator Technologies					
Project Manager and Department		Jae-Sang Lee (Korea Atomic Energy Research Institute, Proton Engineering Frontier Project)					
Researcher and Department		Jae-Won Park, Chan-Young Lee, Sun-Mock Yeo, Beom-Seok Kim, Hyung-Jin Kim, Byung-Sik Moon, Eun-Mi Ahn, Heok-Jun Choi, Young-Ki Kim, Eal-Young Lee, Young-Sin Jung, Se-Hoon Park (Korea Atomic Energy Research Institute, Proton Engineering Frontier Project)					
Publication Place	Daejeon	Publisher	KAERI		Publication Date	2013. 3.	
Page	253p.	Ill. & Tab.	Yes(O), No ( )		Size	21×29.7 cm	
Note							
Open	Open(O), Closed( )			Report Type	Final Research Report		
Classified	Restricted( ), ___Class Document						
Sponsoring Org.	Ministry of Education, Science and Technology			Contract No.			
Abstract (15-20 Lines)		<p>PEFP(Proton Engineering Frontier Project) put its aim on development of high power linear proton accelerator and its beam applications. So, it has, since late 1990's, accumulated accelerator &amp; ion source technologies, supplied beam utilization service to related industry. As of now, right after 10 year long project(PEFP), many of its low energy beam technologies seem to be successfully utilized for industrial purpose to meet the market needs, especially in improvement of production process and manufacturing performances, new substance development, etc. In this context, it is high time to carry out in-depth industrialization development on PEFP's retained ion beam technology prowess: To help them diffused profitable markets as soon as possible.</p> <p>So, in this work, through verification on the industrialization feasibility by experiments, it is going to get it started, with cooperation of participatory company, to enter into markets with developed technology and products.</p>					
Subject Keywords (About 10 words)		Ion Implanter, Industrial Application, Ion Beam Mixing, Ion Beam Sputtering, Adhesion, Hydrophilic, Liquid Crystal Alignment, Anti-UV, Gemstone					



## 주 의

1. 이 보고서는 교육과학기술부에서 시행한 양성자기반공학기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 교육과학기술부에서 시행한 양성자기반공학기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표하거나 공개하여서는 아니됩니다.