

碩士學位論文

이온빔 補助 蒸着法을 利用한
薄膜 形成 研究

濟州大學校 大學院

에너지工學科



1995年 12月

이온빔 補助 蒸着法을 利用한 薄膜 形成 研究

指導教授 李 憲 周

張 度 鉉

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

1995年 12月

張度鉉의 工學碩士學位 論文을 認准함

審査委員長

이헌주



委 員

이재영



委 員

이희주



濟州大學校 大學院

1995年 12月

**A Study on the Thin Film Formation by
Ion Beam Assisted Deposition Method**

Do-Hyeon Jang

(Supervised by professor Heon-Ju Lee)

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER
OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF NUCLEAR AND ENERGY
ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY**

1995. 12.

목 차

Summary	1
I. 서 론	2
II. 이론 및 방법	4
1. 이온 보조 증착	4
2. 이온과 표면과의 반응	6
1) 스퍼터링	6
2) 이온반사	7
3) 이온주입	8
3. 이온 보조 증착법을 위한 장치의 구조와 특징	12
1) Kaufman형 이온 원	12
(1) 이온원의 전원장치	16
(2) 필라멘트	18
(3) 자기회로	19
(4) 이온원의 인출특성	23

2) 중발원	27
3) 진공장치	30
4) 두께 측정기	32
5) 회전식 시료 장착장치	33
4. 시료 제작	39
1) 시편 전처리 과정	40
III. 결과 및 고찰	41
1. 부식 검사	42
2. 접착력 검사	46
3. 표면 검사(SEM)	49
4. RBS 검사	52
5. 결정구조	57
IV. 결 론	59
V. 참고문헌	61

Summary

The thin films formed by conventional methods have a lot of problems, since they have intrinsic microscopic columnar structures. Contrary to conventional ones, the IAD (Ion Assisted Deposition) method in which the film is formed by the ion bombardment, shows significant improvements.

The objectives of this study are to form the thin films and to analyze various properties of thin films prepared by the IAD method. The ion beam energy generated from the Kaufman type ion source can vary from 100 to 3000 eV. To minimize the deterioration of films by sputtering, the ion beam energy is maintained up to 500 eV. The SiO₂ is deposited on the glass surface or silicon wafer substrate by the resistance evaporator. To investigate the properties of thin films, various test methods such as scotch tape test, pull-off test (for adhesion test), 3% NaCl test (for corrosion test), SEM test (for the inspection of surface), XRD test (for the understanding of crystal structures) and RBS test (for the examination of density) have been carried out. From the results of these tests, it is found that the films made by IAD method are superior to those made by conventional methods.

I. 서론

최근 산업이 급격히 발전함에 따라 고품질 기능성 소재의 필요성이 대두되고 있는데, 광학 부품에 있어서도 고품질의 특성을 갖는 것이 요구되고 있다. 그러나 기존의 증착 기술로서는 부착력, 굴절률, 내식성 등 기계 및 광학적 특성에 문제점이 많았다. 따라서 이를 극복하기 위한 방법으로 박막 증착시에 이온 빔을 첨가하는 방식이 급속히 발전하였다. 예를 들어 스퍼터 증착 (sputter deposition), 이온 보조 증착 (Ion-Assisted Deposition : IAD), 이온 주입 (ion implantation) 등이 그 방법이다.

스퍼터 증착인 경우에 스퍼터링(sputtering) 과정은 가속된 입자가 표적 물질의 표면에 충돌할 때 운동량 전달을 이용하여 이를 수 있다. 이 때 표적 물질의 표면에 있는 원자 혹은 분자는 이러한 운동량 전달에 의해 분출된다. 분출된 원자 혹은 분자들은 표적 물질의 표면으로부터 주위 가스 상태 안으로 이동하게 되며 기판(substrate)에 증착되기 전까지 다른 입자들과 충돌할 수도 있다. 이 과정은 기본적으로 원자와 원자 사이의 운동량 전달 과정이므로, 물질에 직접적인 가열도 없고 증발 처리 기술과 같은 증발원(evaporant)이나 도가니(crucible)도 필요없이 이들과의 직접적인 반응도 없다. 따라서 장치의 형태는 어떠한 방향에서도 제한 받지 않는다(Brown, 1989).

이온 주입은 증착 원자를 이온화시키고 가속시켜 표면에 조사함으로써 증착되는 방법이다. 이 때 증착 에너지(deposition energy)는 기판에 걸려 있는 인가

전압에 의해 조절된다(Keller, 1987).

이온 보조 증착은 증착 원자를 증발 처리 기술로 증발시킴과 동시에 이온빔을 조사하여 증착 원자의 운동도를 높여 표면에 증착시키는 기술이다(Hubler, 1989). 이 과정에서 이온빔이 물질의 표면에 조사될 경우 표면과 이온과의 반응을 유도하여 부차적인 이득을 볼 수도 있다.

실제 이온빔 첨가시 단순 진공 증착법에 의한 것보다 형성된 박막이 광학 및 기계적 특성에 있어서 우수하다고 밝혀지고 있다(Sakai, 1991). 본 실험에서는 IAD 방법을 응용하여 박막을 증착(형성)하는 실험을 하였다. 일반적으로 이러한 과정은 진공 챔버내에서 이루어지며 증착 물질을 증발시키는 방법에는 열 저항법과 전자총에 의한 방법이 있는데 본 실험에서는 열 저항법을 사용하고 있으며 이온원으로는 Kaufman형 이온원을 사용하고 있다. 이 이온원의 설계상 인출 에너지는 100 - 3000 eV 이다. 증착 물질로서는 SiO를 사용하였으며 박막 증착용 기판으로서는 유리와 실리콘 웨이퍼를 사용하였고 증착 방법에 따라 일반 진공 증착법, IBC 방법, IAD 방법으로 나누어 박막을 형성하였다.

제작된 박막의 특성을 파악하는 방법으로는 스코치 테이프 검사와 pull-off 검사로 접착력을 검사하였으며 3% NaCl 용액 검사에 의해 내식성을 비교, 평가하였다. 그리고 SEM에 의해 표면의 구조 검사를 실시 하였으며 RBS 방법을 사용하여 성분 조사 및 밀도를 검사하였고 X선 회절법을 이용하여 결정 구조를 파악하였다.

II. 이론 및 방법

1. 이온 보조 증착(Ion Assisted Deposition (IAD))

이온 보조 증착법은 성장하는 경계층의 미세구조에 영향과 표면에서의 코팅 입자의 접착력의 증가에 의해 필름의 성질을 증진시키기 위한 하나의 기술이다.

단순한 진공 증착법으로는 높은 질의 필름을 얻을 수 없다. 진공 증착법은 증착 입자의 낮은 운동도 때문에 국부적인 기둥구조(columnar microstructure)를 가지며 이것은 필름 성질에서 결점의 원인이 된다. 즉 기둥(column)사이의 공간에 습분이 흡수되어 광학적 성질과 기계적 성질의 불안정을 유발시키며 낮은 증착 밀도(packing density)와 경도(hardness)의 감소는 접착력, 내식성 감소의 원인이 된다. 최근 이러한 결점을 보완하고 보다 높은 양질의 박막을 얻기 위해 이온빔 보조 증착법이 개발되었다 (Wolf, 1990). 필름의 미세구조는 필름이 성장하는 동안 제어하는 것이 가장 중요하다.

이온 보조 증착법은 필름이 성장하는 동안 에너지를 가진 이온 빔을 조사하여 증착 입자들의 운동도를 증가시켜 기둥 구조를 감소시키고 빈 공간을 증착 입자들로 채워 줌으로서 조밀도를 증가시킨다. 즉 이온 보조 증착법은 성장하는 필름 층의 미세 구조와 물질에서의 접착력의 증대로 필름의 성질을 증진시키기 위한 하나의 기술이다.

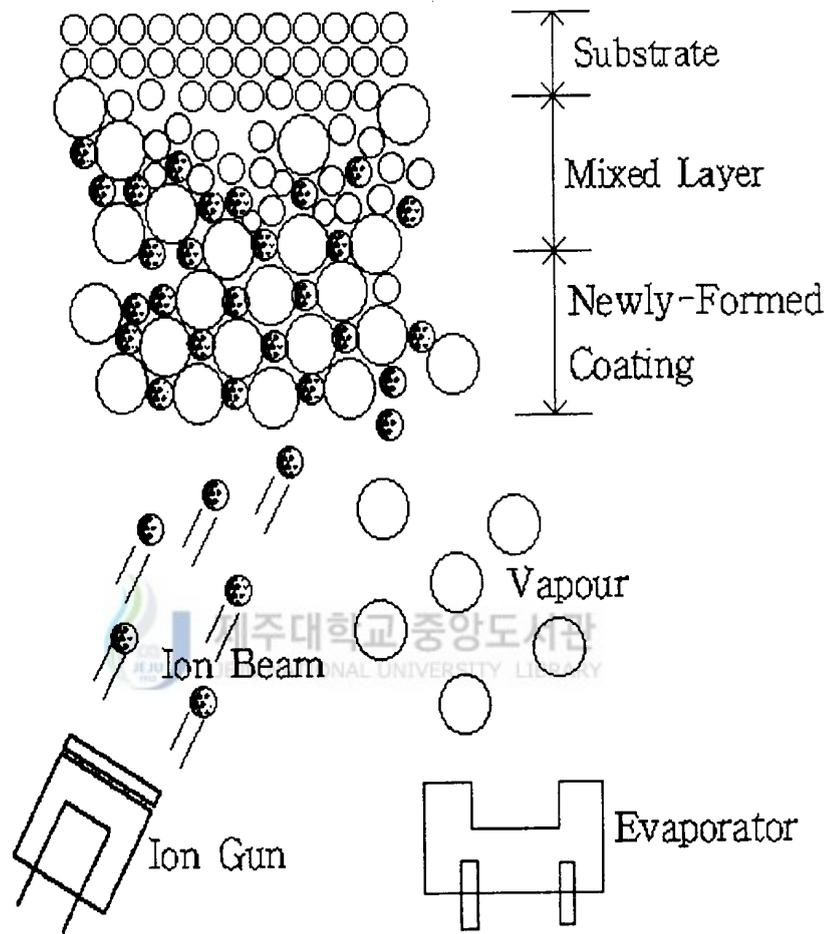


Fig. 1. Schematics of IAD method

Fig. 1은 전형적인 이온 보조 증착법의 개념을 보여 준다. 증발원에서 증착물질이 증발되어 증착될 때 동시에 이온빔을 조사하여 증착입자와 기판, 입자와 입자 사이의 공간에 이온들이 침투함으로써 조밀도가 증가되는 과정을 보인다.

2. 이온과 표면과의 반응

증착중의 이온과 표면과의 반응은 도입된 증착과정에 의존한다. 설정된 에너지로 가속되어 증착면에 도입된 이온들은 그들의 에너지, 운동량, 전하를 증착 원자와 표면에 전달한다. 이러한 과정에서 나타나는 이온과 표면과의 반응은 다음과 같다(Francombe, 1994, Ogata, 1988).

1) 스퍼터링(Sputtering)

이온 입자들은 표적 원자와 연속적인 탄성, 비탄성 충돌에 의해 에너지를 잃는다. 이 에너지는 표적 원자에 전달되어 그들의 결합 에너지보다 높은 에너지 상태로 되어 들뜬 표적 원자들이 표면으로부터 인출(ejection) 혹은 튀어나오는 현상을 스퍼터링이라 한다. 낮은 에너지 영역(1keV) 이하에서의 스퍼터링 수율(sputtering yield)은 다음식과 같이 주어진다.

$$Y(E) = 6.4 \times 10^{-3} \gamma^{4/3} E_0^{1/4} \left(\frac{1}{E^*} \right)^{7/2} \quad (1)$$

위 식에서 $E^* = E_0/E_{th}$ 이고 E_{th} 는 스퍼터링의 문턱에너지 이며 E_0 는 이온의 에너지 이다. $\gamma = 4M_i M / (M_i + M)^2$ 이며 M_i, M 은 각각 이온과 표적 원자의 질량이다(Francombe, 1994).

스퍼터링은 이온의 에너지, 질량, 표적 원자의 결합 에너지(binding energy)에 의존한다. 스퍼터링하는 동안 휘발성을 가진 원자(예를 들어 산소와 같은 물질들)들이 우선적으로 스퍼터되어 표면에서 이탈한다. 따라서 산화(oxide) 필름을 형성하기 위해서는 이러한 현상은 고려해야만 한다. 또한 표면의 변화를 이끌 수도 있으며 또한 결정 구조의 변화를 이룰 수도 있다.

이러한 스퍼터링 현상을 이용하여 증착하는 방법을 스퍼터링 증착법이라하며 증착시키고자 하는 물질에 이온빔을 조사하여 증착원자의 스퍼터링 효과를 발생시켜 인출되는 원자 혹은 분자를 기판에 증착시키는 방법이다.

2) 이온 반사(Ion reflection) 제주대학교 중앙도서관 NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

이온과 표면의 원자 혹은 분자와의 충돌에 의해 이온들이 표적 물질의 표면으로부터 산란되어 나오는 현상을 이온 반사라 한다. 낮은 에너지를 가진 가벼운 이온들이 무거운 표적 원자들과의 충돌에 의해 후방산란(backscattering) 될 수 있다. 주어진 표적 원자의 질량 M_2 와 산란각 θ 로 부터 구할 수 있는 후방산란된 이온의 질량 M_1 의 에너지는 다음의 2차 충돌 이론식에 의해 구할 수 있다.

$$E/E_0 = \left[\frac{\sin \theta \pm (\mu^2 - \sin^2 \theta)^{1/2}}{1 + \mu} \right]^2 \quad (2)$$

위 식에서 $\mu = M_2/M_1$, 그리고 $\theta = \text{scattering angle}$ 이다.

위 식은 산란되는 이온의 에너지를 탄성 충돌이라는 가정 하에서 근사시킨 것이다. 이러한 충돌 과정은 입자의 에너지를 감소시킨다. 그리고 산란(scattering)을 겪는 낮은 에너지의 이온들은 표면의 원자와 더불어 전하교환(charge exchange)을 일으킬 확률이 매우 높다.

3) 이온 주입(Ion Implantation)

이온화한 후 적절한 에너지로 가속된 이온이 표면에 조사될 경우 이러한 이온들은 표면에 투입될 확률을 가진다. 만일 이온들이 표면에 주입될 경우 그 표면의 조성, 결합상태, 그리고 결정구조 등을 변화시켜 화학적, 기계적, 광학적, 전기적인 물성을 변화시킬 수 있다. 이온들의 침투 깊이는 이온의 에너지, 질량, 그리고 표면 원자의 질량에 크게 의존한다. 무거운 입자인 경우 단위 길이당 잃을 수 있는 에너지는 보어(Bohr)의 입자와 외각 전자의 충돌식에 의해 구할 수 있다.

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi z_1^2 q^4 N Z_2}{m_e \nu^2} \left[\ln \frac{1.123 M_1 m_e \nu^3}{\omega Z_1 q^2 (M_1 + M_e)} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right] \quad (3)$$

위 식에서 z_1 과 ν 는 전하수와 이온 속도이며 Z_2 와 N 은 표적 원자의 원자번호와 원자밀도이다. ω 는 $\ln \omega = \sum f_i \ln \omega_i$ 에 의해 결정되고 f_i 와 ω_i 는 i 번째 전자의 진동세기와 주파수이다. $\beta = \nu/c_0$ 이며 c_0 는 빛의 속도이다.

위 식에서 가속된 입자가 표면에 침투할 때 거리에 따른 에너지 변화를 구할 수 있으며 또한 침투 깊이도 구할 수 있다.

이러한 효과를 이용하여 증착시키는 방법을 이온 주입법이라 한다. 즉 이온을 가속시켜 물리적으로 표면에 주입시키는 방법으로서 종래의 상 평형 원리에 기초를 둔 화학적 방법으로 얻을 수 없었던 새로운 물질을 형성할 수도 있어 신소재 개발에 크게 기여할 수 있다.

만일 충돌 입자가 표면을 관통할 수 있는 충분한 에너지를 가지고 있으면 고체 안에서 덫치기(trapping) 효과도 발생할 수 있다. 특히 이러한 현상은 격자(lattice) 사이의 빈공간(vacancies)이 클수록 매우 크게 발생한다. 고체안에서의 이온의 비정(range)은 이온의 에너지에 강하게 의존한다. Ar, Kr 이온인 경우 덫치기 될 확률(η)은 Carter와 Armour의 식(Ogata, 1988)에서

에너지 범위가 100 eV - 1 keV 일때

$$0.1 < \eta(E) < 1.0$$

에너지 범위가 100 eV 보다 작을 경우

$$\eta(E) < 0.1$$

으로 표시될 수 있다.

따라서 에너지를 가진 이온들이 표적 물질의 표면과 충돌하면 앞서 서술한 여러 가지 효과에 의해 표면의 불순물을 제거할 수 있으며 운동량을 전달하여 응축된 입자들을 압축할 수도 있다. 또한 구조변형을 일으켜 새로운 물질을 생성할 수도 있으며 물질 고유의 성질을 변화시킬 수도 있다. 또한 박막 구성시 이온의

에너지 전달에 의한 증착입자의 운동도 증가현상, 표면의 공간 감소효과를 얻을 수 있다. 빔이 표적 물질의 표면에 조사될 경우 일어날 수 있는 부가적인 효과는 다음과 같다.

- 운동도 전달에 기인된 응축 입자(condensing particle)의 압축 효과.
 - o 패킹 밀도(packing density)의 증가.
 - o 접착력의 강화.
- 인장응력(tensile stress) 감소 효과.
- 구조 변형(structure modification) 효과.
- 표면 세척(surface cleaning) 효과.

이러한 효과에 의해 필름의 특성을 개선할 수 있다.

Fig. 2는 이온과 표면과의 반응에서의 일반적인 과정이다. 이 그림에서 앞서 서술한 여러 가지 효과들을 보여준다.



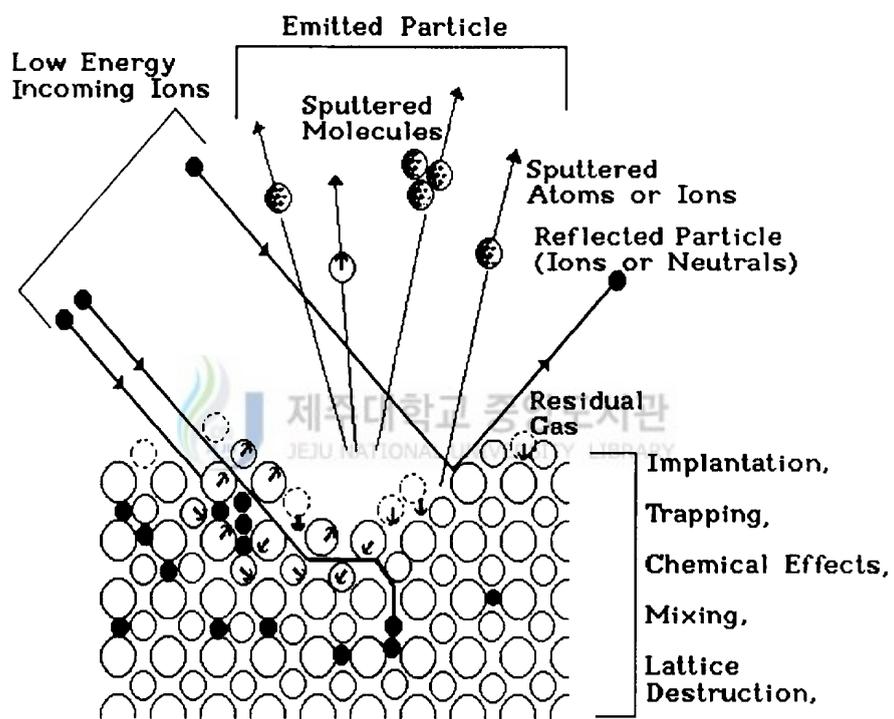


Fig. 2. Schematics of ion-surface interaction processes

3. Ion Assisted Deposition(IAD) System의 구조와 특성

본 실험 장치에는 다음과 같은 구성을 가지고 있으며 전체적인 장치의 배치를 Fig. 3에 보인다.

- 1) Kaufman type ion source
- 2) 열 저항을 이용한 증발원(evaporator) (2ea)
- 3) 회전식 시료 장착기(rotary specimen holder)
- 4) 두께 측정기(thickness monitor)
- 5) 진공 장치(vacuum system)

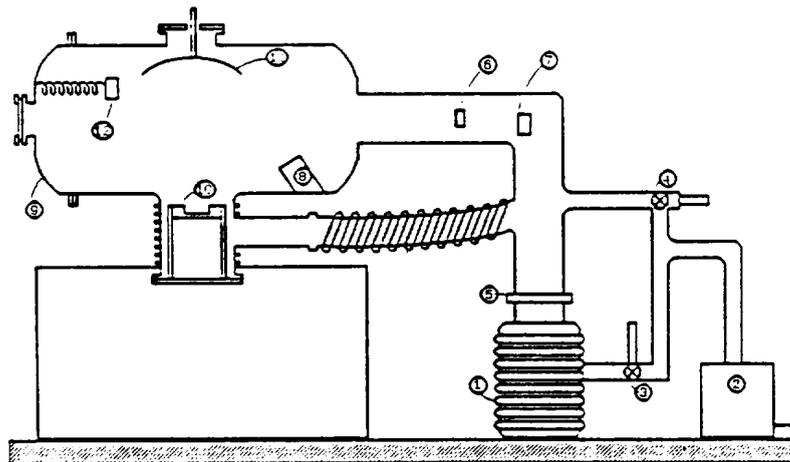
1) Kaufman Type Ion Source

본 실험에서 사용된 이온 건으로서 이온 보조 증착법에 널리 사용되고 있는 형태 중의 하나이다. 플라즈마 경계면에서 양질의 이온빔을 인출하기 위해서는 전극의 기하학적 구조가 매우 중요하다.

이론적으로 빔을 인출할 수 있는 최대 이온 전류는 이온의 공간 전하에 의해 결정되며 Child - Langmuir 법칙에 의해 구할 수 있다(Humphries, 1990).

$$j = 1.72(\xi/A)^{1/2} U^{3/2} / d^2 \quad (4)$$

여기서 j 는 전하 밀도(current density : mA/cm²)이며 ξ 는 이온의 전하 상태



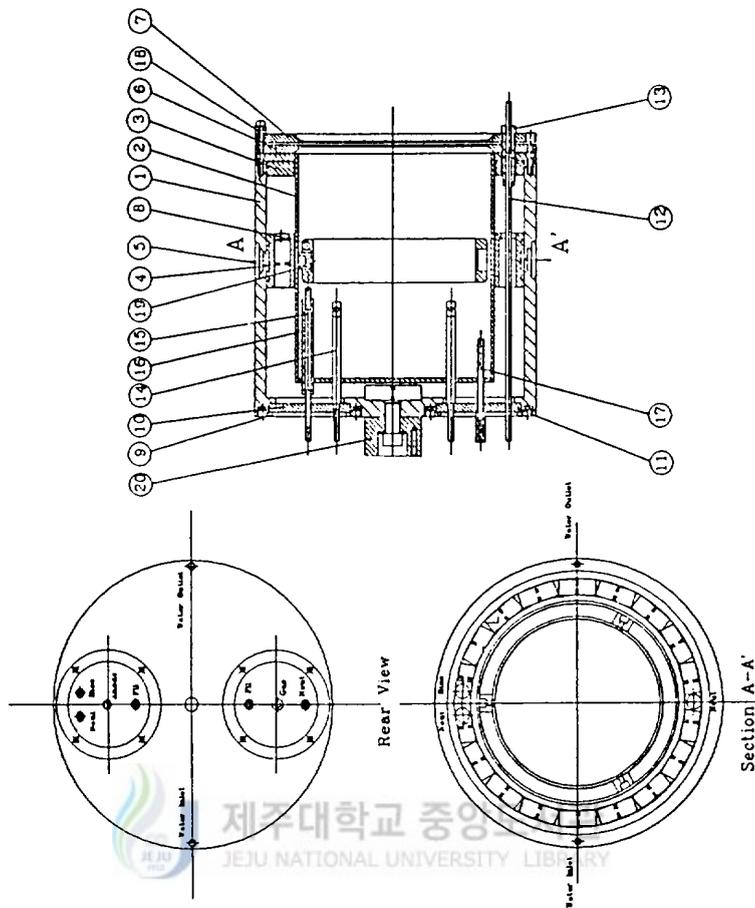
- | | |
|----------------------|----------------------|
| ① Diffusion pump. | ⑦ 진공 게이지 II (pirani) |
| ② Rotary pump. | ⑧ Ion gun. |
| ③ Fore line valve. | ⑨ 진공 챔버 |
| ④ Rough line valve. | ⑩ Boat |
| ⑤ Butterfly valve | ⑪ Dome |
| ⑥ 진공 게이지 I (penning) | ⑫ Thickness Monitor. |

Fig. 3. Lay out of IAD system

(ion charge state)이다. U 는 가속 전압(extraction voltage : kV) 이며 d 는 가속전극 간의 간격(extraction gap width : cm) 이다.

위 식에서 알 수 있듯이 최대 이온 전류는 인출 전압의 $3/2$ 승에 비례한다. 따라서 인출 전압을 높일수록 많은 전류를 인출할 수 있지만 반면 인출 전압이 작동 압력에서의 절연파괴 값을 넘으면 빔 인출계 부근에서 방전이 일어나 빔 인출이 불안정해지고 극단적으로는 인출 불가능 현상이 발생하게 된다. 또한 이온은 전하를 가진 입자이고 질량이 전자에 비해 매우 크기 때문에 공간 전하의 영향이 매우 크다. 이러한 공간 전하는 이온빔의 인출을 제한하는 최대의 원인이다. 따라서 공간 전하에 의한 전류 제한을 억제하기 위해서 다공 인출계(multi-aperture extraction system) 와 공간 전하 중화(space charge neutralization)를 이용한 이온빔 인출 방식을 사용하고 있다(Ensinger, 1992).

본 이온원에는 인출계로서 플라즈마 그리드(plasma grid)와 인출 그리드(extraction grid)를 갖는 다공 인출방식을 택하고 있다. 이온원의 외형은 직경 19.6 cm, 길이 17.3 cm의 실린더 형태로 제작했고 재질은 연강을 사용하였다. 또한 이동시, 장착시 편리를 위하여 하부 중앙부위에 콘넥터를 설치하여 챔버내에 어느 곳에서도 연결 콘넥터를 설치하여 장착할 수 있게 제작하였다. 실제 방전을 일으켜 이온화를 시키는 곳은 아크 챔버(arc chamber)이다. 아크 챔버는 열에 강한 스테인레스 스틸로 제작하였고 직경 14.8 cm, 길이 15.5 cm 이다. 플라즈마 그리드와 인출 그리드는 모두 구리로 제작하였으며 직경 19.6 cm, 두께 0.6 cm 의 원판의 형태이며 내부 면적중 직경이 130mm 까지 육각형의 배열로 2mm 의 구멍을 가지고 있다. 또한 생성된 전자를 효율적으로 이용하기 위하여 자석을 배치하여 자장을 형성하였고 이 때 자석의 배치를 위해 연강과 알루미늄을



1	housing	11	insulate plate 2
2	arc chamber	12	electrode
3	magnetic pole	13	insulate 1
4	magnetic current	14	electrode
5	magnetic circuit	15	electrode
6	plasma gride	16	insulate 2
7	extraction grid	17	gas feeder
8	anode	18	extraction insulate
9	flange 1	19	anode insulate
10	insulate plate 1	20	source insulate

Fig 4. Detailed drawing the Kaufman type of ion gun

사용하여 자석 배치함을 내경 140 mm, 외경 180 mm, 높이 37 mm로 제작하였다. Fig. 4에 이온원의 형태를 보인다.

(1) 이온 원의 전원장치

고 에너지의 이온빔이 성장하는 박막에 조사될 경우 박막의 표면에 상해를 주거나 증착된 원자를 스퍼터링하여 증착율이 낮을 수도 있다. 이러한 점을 고려하여 본 전원에서는 공간적으로 균일한 이온빔을 생산하기 위하여 다음과 같은 전원을 갖는다. 각 전원의 회로도를 부록에 첨가하였다.

1. filament p.s. : dc 30V, 30A, ripple 10%, 1 set
2. arc p.s. : dc 150V, 10A, ripple 10%, 1 set
3. extraction p.s. : dc 3kV, 1A, ripple 1%, 1 set
4. bias p.s. : dc 500V, 0.2A, ripple 1%, 1 set
5. neutralizer p.s. : dc 15V, 30A, ripple 10%, 1 set

위 전원의 연결 회로도를 Fig. 5에 보이며 이러한 이온원 가동방법은 다음과 같다.

1. 진공 챔버내의 압력을 $1-2 \times 10^{-5}$ torr로 유지한 다음 이온화시킬 가스를 주입하되 가스량을 조절하기 위하여 챔버내의 압력이 $1-2 \times 10^{-4}$ torr가 될 때까지 주입한다.
2. 가스 유입이 안정되면 먼저 arc 전극에 전원을 인가한다.

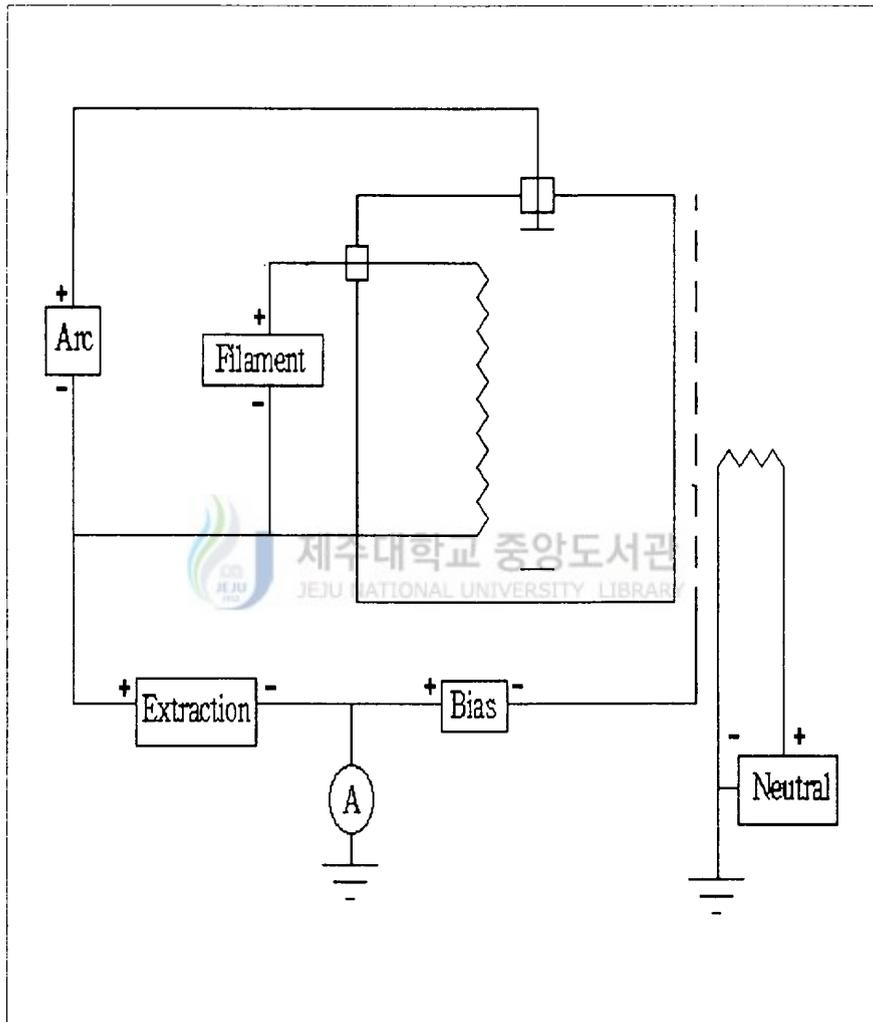


Fig. 5. Power circuit of ion gun

3. 필라멘트 전극에 전원을 인가하여 필라멘트를 가열시킨다. 이 때 가열된 필라멘트에서 열 전자들이 방출하여 주위 gas와 충돌, gas를 이온화시킬 것이며 이 때 아크 전극에 전류가 흐르게 된다.

4. bias 전원을 인가하여 이온화된 gas에서 이온들을 negative bias 전압이 걸려 있는 방향으로 이동시킨다.

5. 인출(extraction) 전원을 인가하여 이동한 이온을 가속시켜 밖으로 인출시킨다. 이 전극의 역할은 단순히 방전 영역에서 이온들을 인출시킬 뿐 아니라 외부의 전자가 방전 영역으로 들어가는 것도 막아내는 역할이다.

6. 외부에 걸려있는 중성화기(neutralizer) 전극에 전원을 인가하여 중성화기 필라멘트를 가열시킨다. 이 때 생성된 열전자는 이온빔이 퍼지는 것을 줄여 일정한 방향성을 갖게 한다.

(2) 필라멘트

필라멘트로 사용되는 재료는 그 특성상 낮은 사용 온도에서 높은 방출 전류 밀도를 가지며 긴 수명이 요구된다. 이온원에 사용한 필라멘트는 텅스텐이며 두께는 0.7 mm 이고 코일 길이는 80 mm로 감아주었다. 텅스텐의 운전온도는 약 1900℃ 이고 열전자 방출 밀도는 단위 면적당 약 10 kA이다. 보통 필라멘트의 수명은 열전자 방출 면적이 1/10으로 감소될 때까지의 시간을 말하며 텅스텐의 수명은 약 100시간 정도이다.

이 때 산소 gas가 유입될 경우 그 수명은 단축된다. 필라멘트를 제작하는 방법을 Fig. 6에 보인다. 이 때 neutral 필라멘트는 이 전원의 특성상 중앙 부분을

좀더 조밀하게 감아준다. 아크 전극(anode)은 연강으로 제작하였으며 원형 실린더의 모양을 가지고 있으며 아크챔버 내부에 설치되어 있다. 아크 전극의 형태를 Fig. 7에 보인다.

(3) 자기 회로

이온원에서 필라멘트에서 발생한 열 전자의 효율적 이용과 경제성 측면에서의 자기 회로는 매우 중요하다. 열 전자가 방출되어 벽까지 도달하는 거리가 길수록 주위 gas와 충돌 확률이 커지며 이온화율도 증가하게 된다. 따라서 자장을 걸어주면 자장에 의한 전자의 회전운동으로 인하여 그 거리가 길어지는 효과를 얻을 수 있다(Brown, 1989). 이온원 가동시 이온원의 온도는 매우 증가하고 그 결과 사용된 자석의 성질이 상실되는 결과가 생긴다. 따라서 이온원에 냉각 라인의 구성이 필요하고 자석은 큐리 온도가 높은 자석이 적합하다. 이러한 점을 고려하여 사용된 자석은 형태가 15 mm × 15 mm 네오디움 영구 자석이며 그 배치는 Fig. 4의 하단에 보이며 이러한 배치 하에서 형성되는 자장의 형태는 single cusp 형태이다. Fig. 8의 (a)에는 형성된 자장의 세기를 수평거리에 따라 측정한 결과이며 (b)에는 수직 거리에 따라 측정한 결과이다.

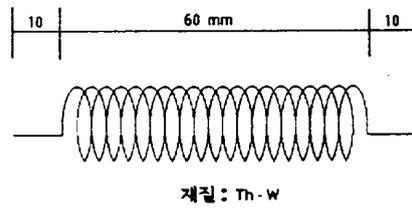


Fig. 6. Filament

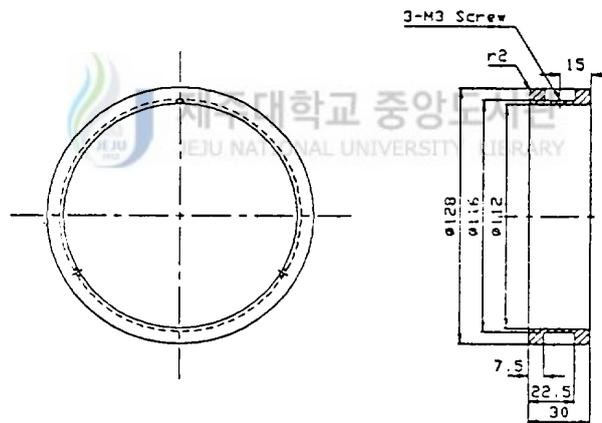
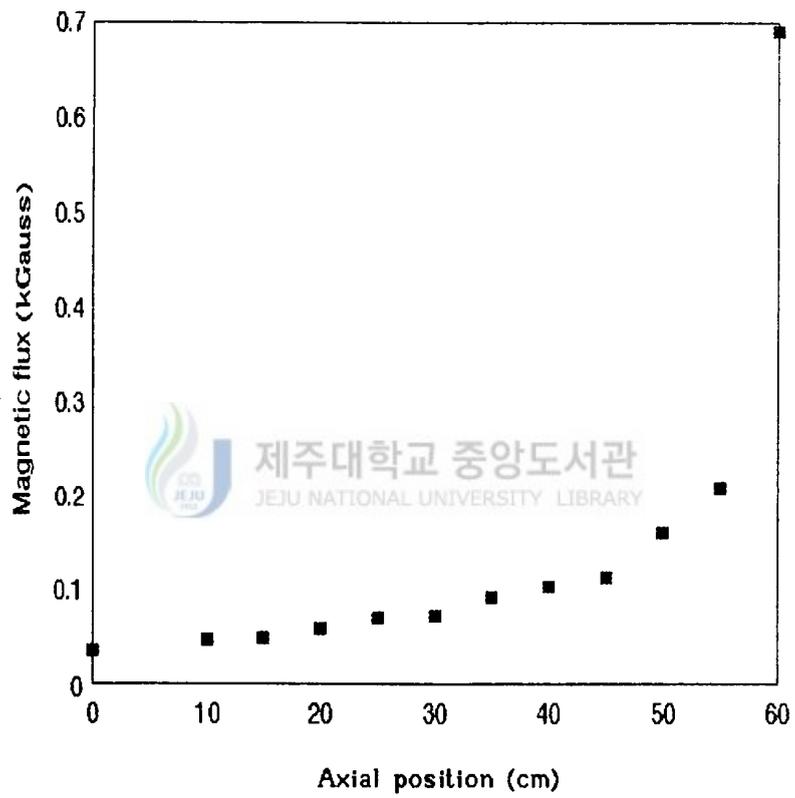
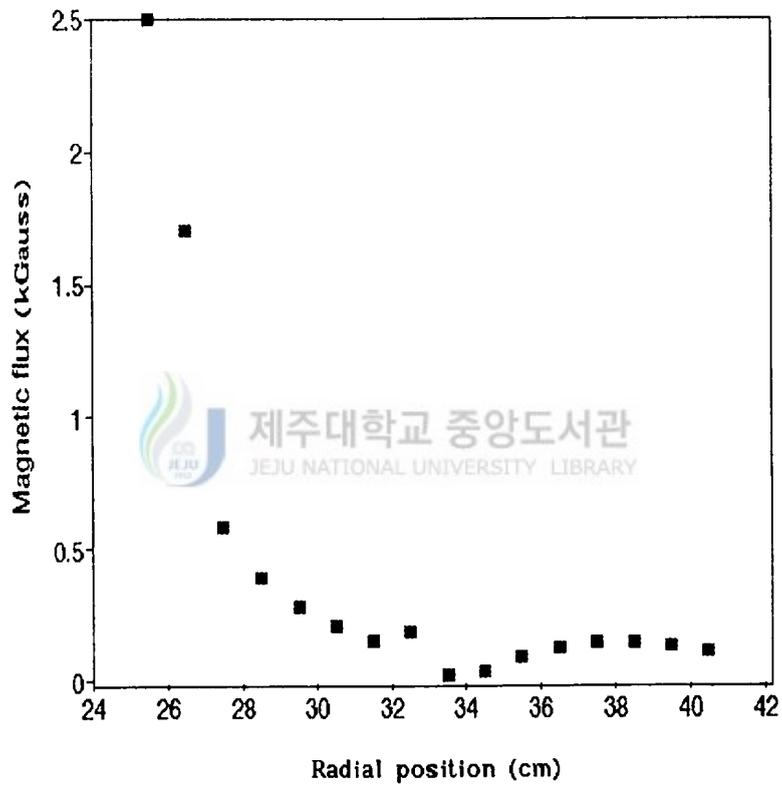


Fig. 7. Arc electrode(anode)



(a)

Fig. 8. Magnetic flux along the axial position



(b)

Fig. 8. Magnetic flux along the radial position(continued)

(4) 이온원의 인출 특성

이러한 방법으로 제작된 이온원은 이용 가능한 에너지는 100 - 3000 eV 까지이며 이 때 최대 이온 전류는 75 mA이다. 그러나 기판에 너무 높은 에너지의 빔이 조사될 경우 기판 표면이 손상될 우려가 발생하거나 증착된 필름 입자를 스퍼터링하여 증착율이 낮을 수도 있으므로 100 - 500 eV 까지만 사용하고 있다.

이러한 이온원의 인출 특성중 인출 전압에 따른 빔 전류를 Fig. 9에 보인다. 압력을 변화시키고 아크 전류 5 mA, 역전압 200 V 로 고정한 상태에서 측정하였다. 인출전압이 증가함에 따라 빔 전류가 증가함을 볼 수 있다. Fig. 10에는 아크 전류에 따른 빔 전류의 변화를 페러데이 컵을 이용하여 측정한 결과이며 이 때 가속 전압은 500 eV로 고정하였다. 이 결과에서 아크전류가 증가하면 빔이 집중됨을 알 수 있다. 그러나 실제 실험에 사용되는 빔은 공간적으로 균일한 빔을 필요로 하기 때문에 아크 전류를 5 mA - 6 mA 로 제한했다. Fig. 11에는 거리에 따른 빔의 공간적 분포를 측정하여 얻은 결과를 나타낸다. 이 결과에서 거리는 페러데이 컵과 이온원의 표면과의 거리를 나타내며 아크전류는 5 mA 에서 측정하였다. 실험에서 시편과 이온원과의 거리는 38 cm 이며 이 실험 결과에서 빔이 시편에 조사될 때 에는 넓은 면적에 공간적으로 균일한 빔이 조사되고 있음을 확인 하였다.

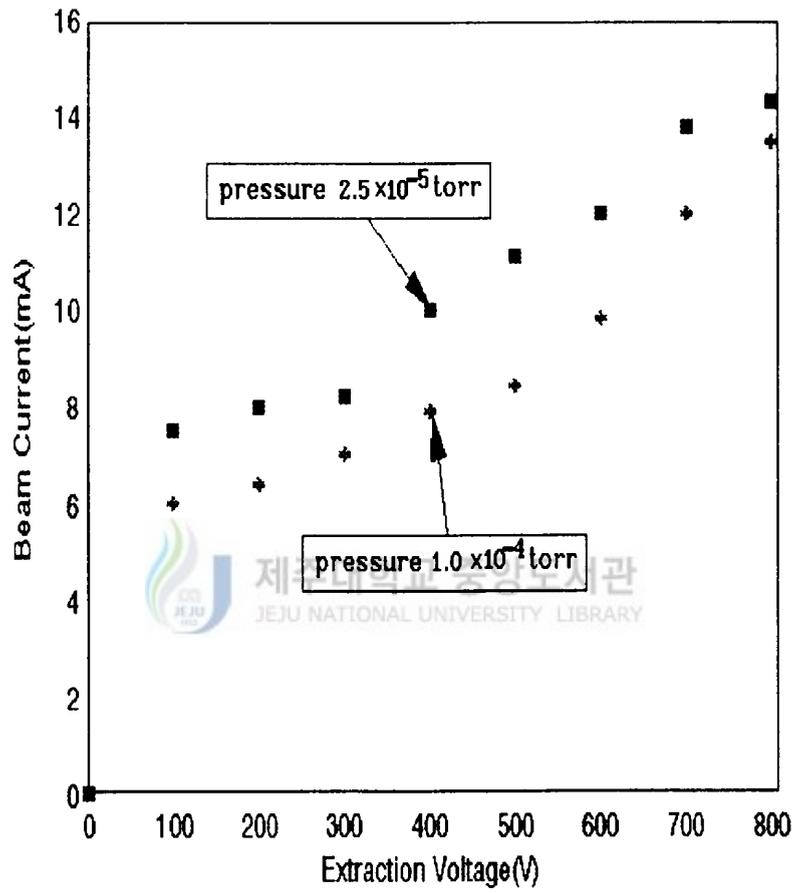


Fig. 9. Beam current as a function of extraction voltage

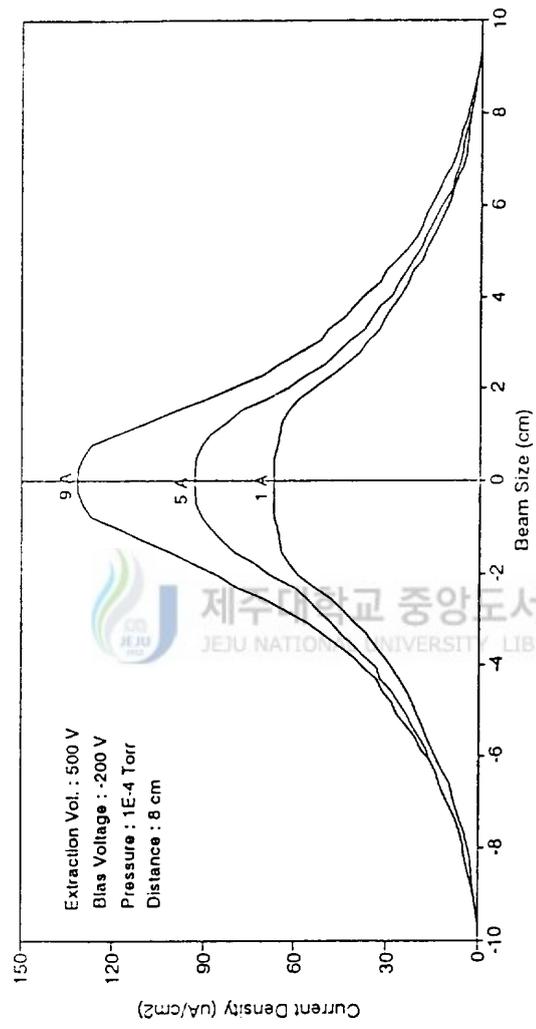


Fig. 10. Spatial current density profile of ion beam with different arc current

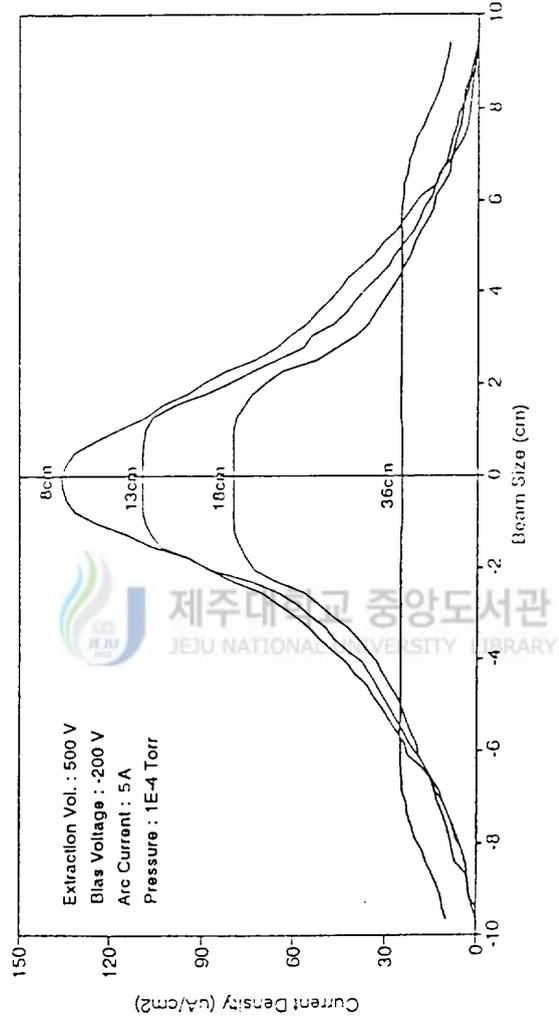


Fig.11. Spatial distribution of ion beam (with distance parameter)

2) 증발원(evaporator)

증착물질을 증발시키기 위한 방법으로는 저항 가열 방식에 의해 증착물질을 고온으로 가열하여 증발시키는 열 저항법과 전자빔에 의해 증착물질을 증발시키는 전자총법(electron gun method) 등이 있다(Martin, 1986). 본 장치에 설치된 증발원은 열저항법으로서 널리 사용되고 있는 방법이며 보트의 재료로서는 Mo, Ta, W, C를 사용하거나 혹은 세라믹을 사용하기도 한다. 다량의 증착물질을 처리할 수 있도록 장방형의 보트(boat)형으로 제작했으며 그 형태는 Fig. 12에 보인다. 재료는 보트가 증발 물질과의 화학적 결합과 습윤(wetting), 용융(melting)이 되지않는 재료를 고려하여 SiO를 증발할 경우는 흑연(graphite), TiO를 증발할 경우는 Boron Nitride(BN)를 사용하고 있다.

전원장치는 SCR switching 회로를 채용, 설계하였고 전력 제어(power control) 방식으로 제어하며 최대 300V, 100A의 전력을 공급한다. 전극은 구리봉으로 제작하였으며 전극봉 내부에 냉각 라인을 설치하여 보트에서 발생된 열을 제거하도록 하였다. 보트의 위치는 증착시 증착 물질의 공간적 균일성을 위해 보트와 피착물의 거리, 증발속도, 진공도 등을 고려하여 dome 아래 부분에 설치하였고 다층 박막 구성을 위해 두개의 보트를 장착하였다. 또한 증착물질을 선택적으로 증착시키기 위해 제한기(limiter)를 증착 물질이 증발될 때의 확산 각도를 고려하여 설치하였다. 또한 증발원의 차등진공계를 구성하여 증발 원자의 손실을 최소화 하였으며 이러한 장치하에서 증착속도는 2 - 10 A/sec 에서 증착하였다.

이러한 보트의 특성중 전압과 전류에 따른 온도 변화를 측정하여 Table 1에 보인다.

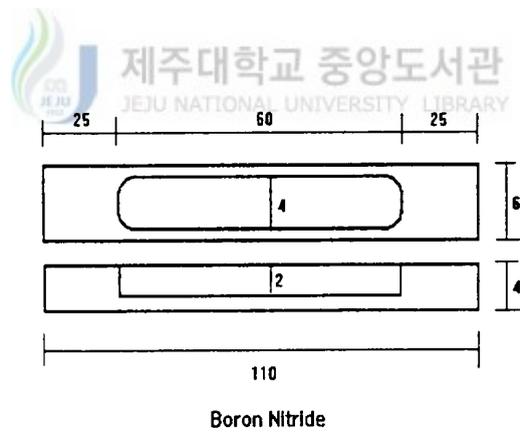
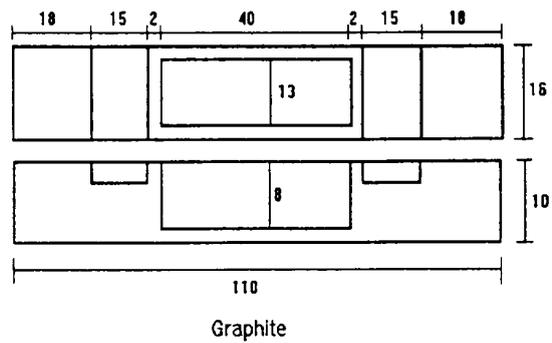


Fig. 12. Dimensional lay out of a boat

Table 1. Boat temperature measured at different voltage and current

A BOAT : Graphite

B BOAT : Boron Nitride

A BOAT TEST			B BOAT TEST		
전압(V)	전류(A)	온도(℃)	전압(V)	전류(A)	온도(℃)
20	8		70	12	1107
40	20		80	15	1286
50	24	988	90	17	1549
60	28	1120	100	20	1673
70	30	1220	110	22	1789
80	32	1710	120	23	1985
90	38	1880	130	26	2012
100	39.5	1940	140	28	2114
110	40	2020	150	30	2226

3) 진공 장치(Vacuum System)

진공 장치로는 진공 챔버와 진공 펌프로 이루어져 있으며 진공도 측정을 위한 게이지가 장치되어 있다. 진공 배기 속도를 빠르게 하기 위하여 대용량 진공 배기계를 채용하였고 보트 부분은 차등 진공계를 설치하였으며 원격조종이 가능하도록 하였다.

- 진공함

스테인레스 스틸로 제작하였으며 사용되는 이온원 뿐만 아니라 스퍼터용 이온원, 전자빔원, 스퍼터 표적등이 장착이 가능하도록 설계되어 있다. 냉각 방식은 외부에 냉각 라인을 설치한 외부 냉각식을 채택하였고 크기는 내경이 780 mm, 길이 1050 mm 이다.

- 펌프(pump) 및 밸브(valve)

펌프로서는 용량이 7000 l/sec 인 유확산 펌프(diffusion pump)와 용량이 1200 l/sec 인 회전 펌프(rotary pump)를 채택하였고 밸브(valve)로서는 foreline valve, roughline valve 그리고 main valve인 butterfly형 밸브를 가지고 있으며 모두 원격 조정이 가능하도록 하였다. 초기 진공은 회전 펌프로서 달성하고 유확산 펌프인 경우 1.0×10^{-2} torr 이하에서 최대의 효과를 얻을 수 있기 때문에 1.0×10^{-2} torr 에서 main valve 를 개방한다. 참고로 각종 펌프의 압력 범위를 Fig. 13에 보인다(Roth, 1976).

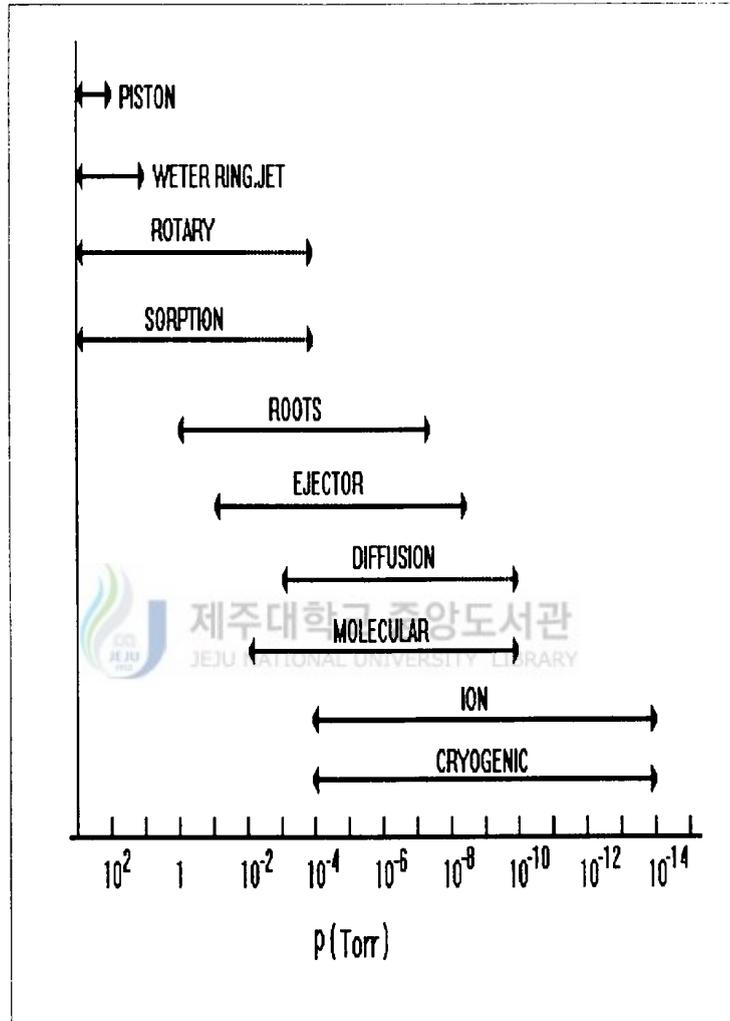


Fig. 13. Operating pressure range of vacuum pumps

- . 게이지

저 진공시에는 thermocouple gauge 를 사용하여 진공도를 측정하고 있으며 고 진공시에는 penning gauge 를 사용하여 측정하고 있다. 저 진공에서 고 진공으로 이동시 제어장치에 미리 설정해 놓은 값에 의해 자동 변환되며 그 수치는 6.0×10^{-3} torr 이다.

4) 두께 측정기(Thickness Monitor)

이 두께 측정기는 증착되는 동안 증착율과 필름의 두께를 측정할 수 있는 장치이다. 이 측정기는 직경 1.40 cm, 두께 0.28 cm 원형판 형태의 quartz crystal을 주된 구성으로 사용하고 있다. 이 crystal은 약 6 MHz의 고유 진동수를 가지고 있으며 외부의 오실레이터에서 기계적 운동으로 변환된다. 증착입자들이 crystal 표면에 증착되면 표면의 조건에 따라 crystal의 고유 진동수가 변하게 되며 이 변화에 의해 필름의 두께를 측정한다. 필름의 두께는 다음 식에 의해 구해진다.



$$TK_f = \frac{N_g P_g}{P_f \rho} (f_g - f) \quad (5)$$

여기서 N_g : frequency constant

P_g : density of quartz

f_g : resonant freq. of the uncoated crystal

f : resonant freq. of the coated crystal

TK_f : film thickness P_f : density of the film 이다.

5) 회전식 시료 장착기(Rotary specimen holder)

본 홀더는 이온빔이 기관에 조사될 경우 빔의 면적의 제한으로 장착된 기관 전체를 조사할 수가 없다는 점과 증착물질이 증착될 때 거리에 따른 비 균일 증착을 막기 위하여 홀더를 회전함으로서 장착된 기관 전체에 균일한 빔의 조사와 균일한 증착율을 달성하는 방식을 채택하였다. 증착속도 및 증착시간에 따라 회전속도를 변할 수 있게 제작하였으며 회전에는 직류 구동 모터를 사용하였다. 이 모터의 가변 범위는 0.5 - 10 rpm 이다. 피증착물의 균일한 증착을 위하여 곡률반경을 적용하여 설계하였다. 재료는 스테인레스 스틸로 제작하였고 시료를 장착하기 위하여 직경 70 mm 의 구멍을 18개를 만들었다. 또한 시료의 장착의 편리를 위하여 고정 지그를 만들었다. 지그의 크기는 여러 종류의 시편을 위하여 각기 다르게 제작하였다.

Fig. 14에 챔버의 모습을 보이며 Fig. 15에는 로타리 펌프와 유확산 펌프의 모습, Fig. 16에는 챔버의 내부 그리고 Fig. 17에는 장착된 이원온의 모습을 보인다. Fig. 18에는 시료를 장착할 수 있는 홀더의 모습을 보이며 Fig. 19에는 이온빔의 특성을 파악하는데 사용한 빔 스캐너를 보인다. Fig. 20에는 이온원의 각종 부품을 보이고 Fig. 21에는 전원장치의 제어 콘솔(power console)을 보인다.

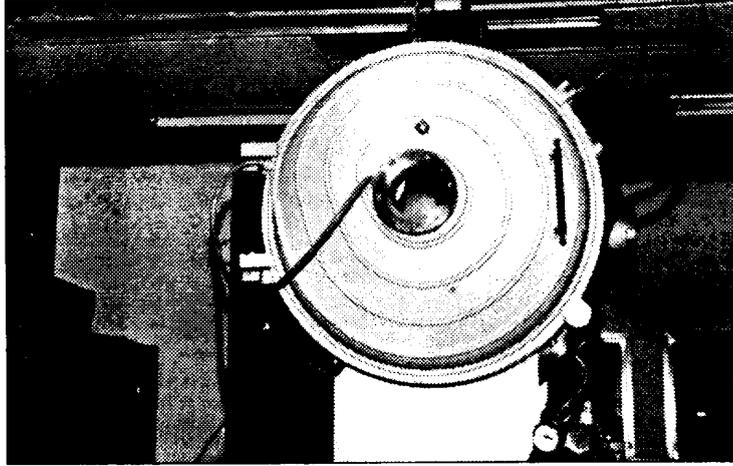


Fig. 14. Vacuum chamber

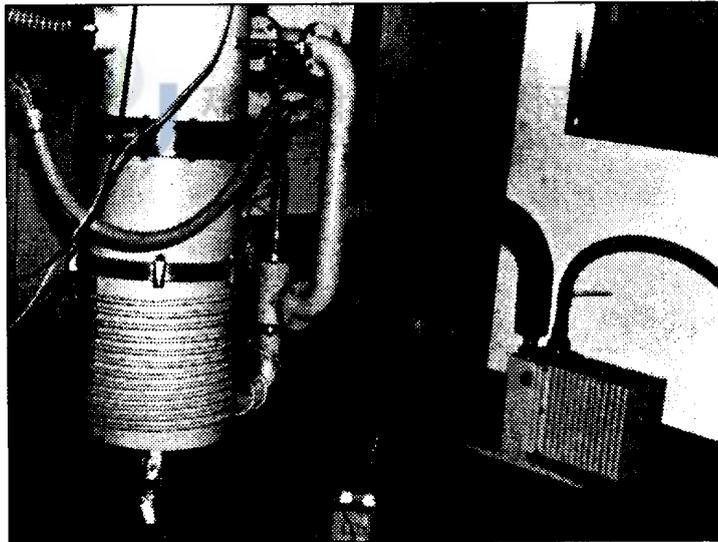


Fig. 15. Vacuum pump(diffusion and rotary pump)

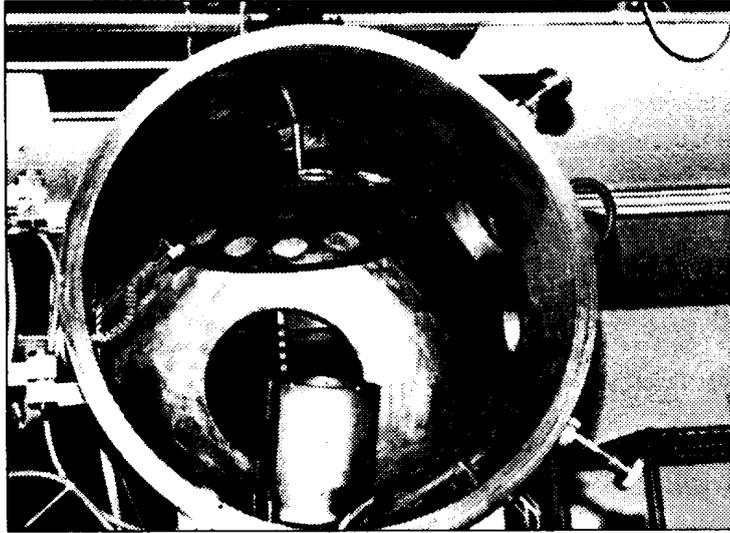


Fig. 16. Inside of vacuum chamber

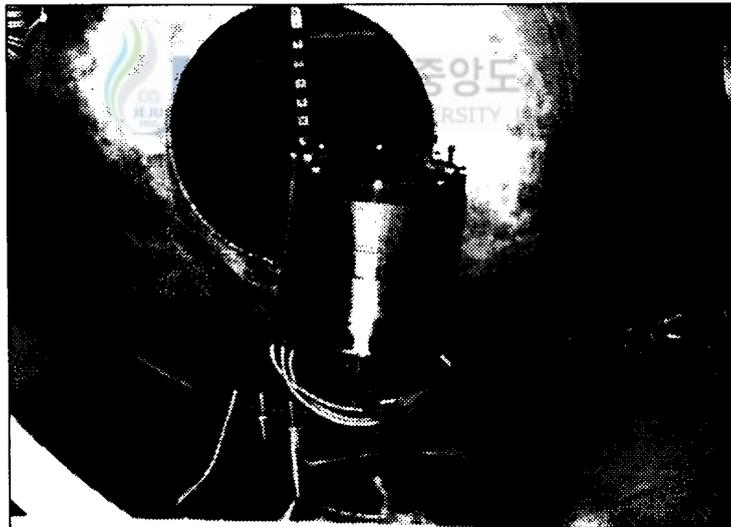


Fig. 17. Ion gun

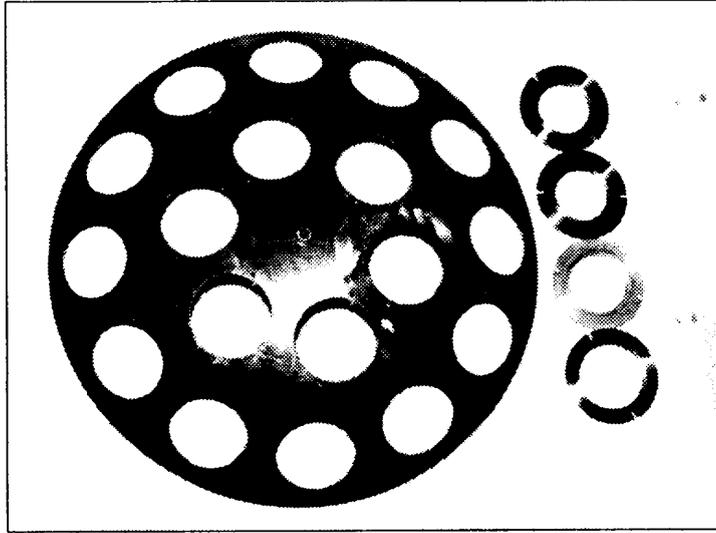


Fig. 18. Substrate holder

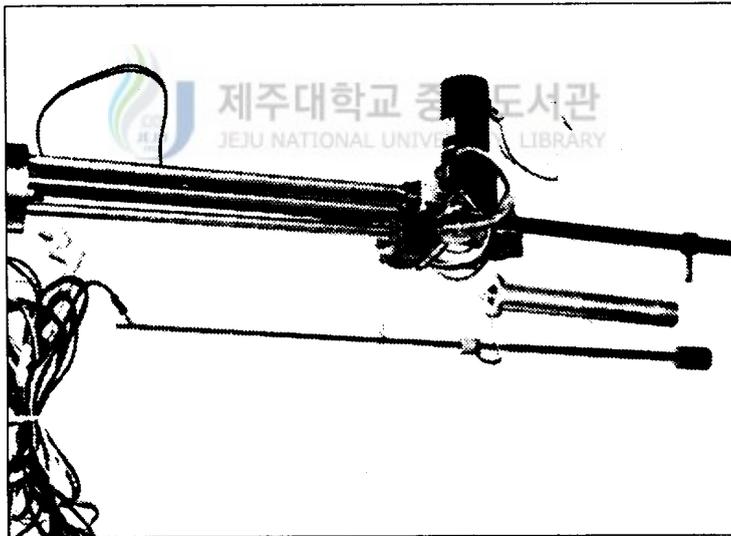
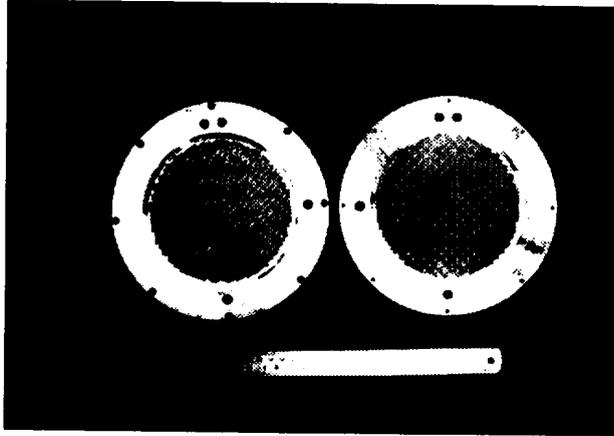
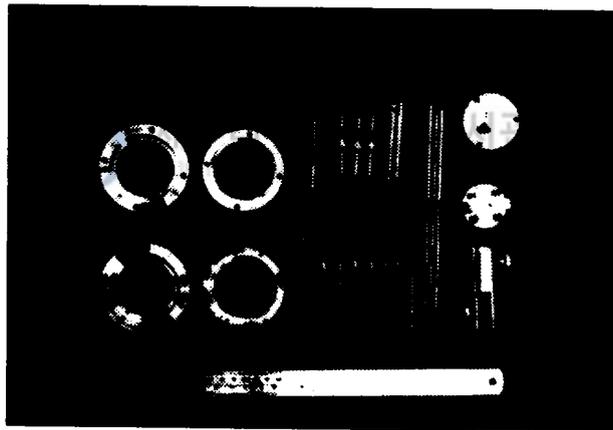


Fig. 19. Beam scanner



a) 이온 인출전극



b) 각종전극, Feedthrough

Fig. 20. Parts of ion gun

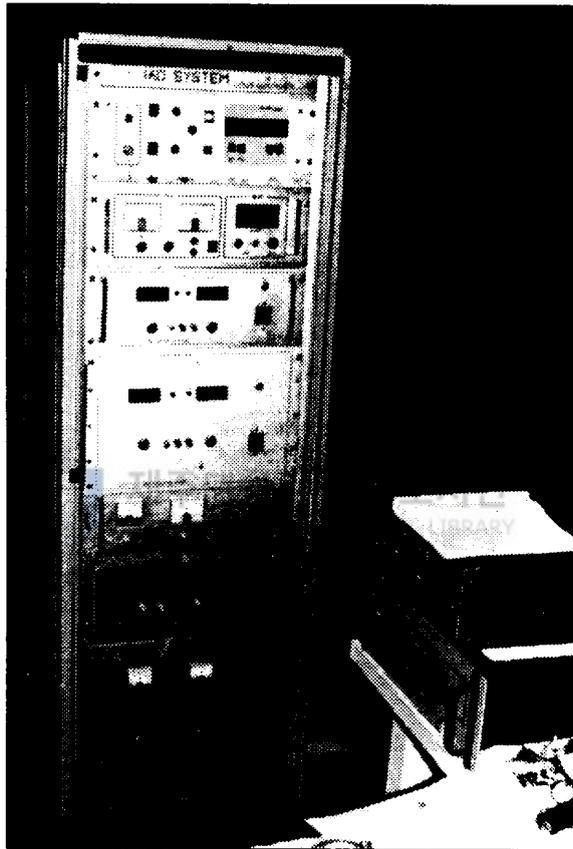


Fig. 21. Power console

4. 시료 제작

IAD 공정 및 결과를 비교 분석하기 위하여 코팅 물질로는 SiO, TiO를 사용하였으며 피 코팅 물질로는 유리, 실리콘 웨이퍼를 사용하였다.

SiO

- TiO₂ 와 결합하여 multi layer coating을 위해 자주 사용
- film composition : SiO₂
- 녹는점 : 1250 °C - 1350 °C
- reflective index : 550 nm 에서 1.45 - 1.46
- transmittance range : 0.2 - 9 (μm)
- 증착 방법 : 저항 가열(R), E-beam
- 성 질 : hard, resistant



TiO

- 녹는점 : 2000 °C - 2200 °C
- film composition : TiO₂
- reflective index : 550 nm 에서 2.3 - 2.46
- transmittance range : 0.4 - 3 (μm)
- 증착 방법 : 저항 가열(R), E-beam

녹는점이 비교적 높고 보트 물질과 화학적 반응이 심하여 전자 총

증착법이 적합하다

- 성 질 : hard, resistant, tensile stress

1) 시편 전처리 과정

시편의 증착과정에서 충분히 좋은 시편을 제작하고 광학적 성질을 증진시키기 위해 표면의 청결도는 매우 중요한 인자이다. 따라서 표면의 청결도를 높이기 위해 세척 과정은 중요하다. 세척 방법은 용매(solvent)를 사용한 화학적 방법과 고 진공에서 입자의 충돌에 의한 불순물 제거 방법이 있다(Pulker, 1984). 또한 도달 진공에 도달되기까지의 과정에서 어느 정도의 불순물을 제거할 수도 있으므로 이 또한 청결도를 높이는 한 방법이다. 본 실험에서는 용매를 사용한 화학적 방법을 실시하였으며 10^{-4} torr 정도에서 이온빔을 조사하여 두번째 방법도 겸하여 실시하였다. 또한 초기 도달 진공 10^{-5} torr 까지의 과정에서 불순물을 어느 정도 제거되었을 것으로 판단된다.

유리인 경우 다음과 같은 세척 과정을 거친 다음 챔버에 장착되었다.

중류수 (5분) --> 중류수 + 초음파 세척기 (10분) --> 60 %의 질산용액 (1분)
--> 중류수 세척 --> 아세톤 + 초음파 세척기 (10분) --> 중류수 세척 -->
중류수 + 초음파 세척(10분)

실리콘 웨이퍼는 제작된 박막 검사중 SEM (Scanning Electron Microscopy), RBS (Rutherford Backscattering Spectrometry) test를 위해 사용하였으며 이 경우 세척은 아세톤으로 표면을 닦아주어 바로 장착하였다. 이와 같은 세척 방법은 다량의 세척물을 세척하기에는 부적합하지만 오염 물질을 배출하지 않는다는 점에서 의의가 있다.

III. 결과 및 고찰

장착한 시편은 이온 빔 조사 유무에 따라 다음 세 가지로 나누어 실시하였다.

- 1) 보통박막 : 세척 과정을 거친 후 진공도가 10^{-5} torr 정도에서 이온빔 없이 증착하여 필름을 형성한 박막.
- 2) IBC 박막 : 세척 과정을 거친 후 이온빔($50 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 조사하여 표면을 세척 후 진공도가 10^{-5} torr 정도에서 이온빔 없이 박막구성.
- 3) IAD 박막 : 세척 과정을 거친 후 이온빔($50 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 조사하여 표면을 세척 후 진공도가 10^{-4} torr 정도에서 이온빔($10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) 첨가하여 박막구성.

위 세 종류의 박막은 모두 $\lambda/4$ 코팅을 위해 두께를 1.5 kÅ으로 증착하였다.

이러한 방법으로 박막을 증착한 이유는 이온빔이 초기에 기판에 조사될 때 빔에 의한 기판의 세척 효과에 의해 기판에 증착되는 증착율 및 그 밖의 타 효과를 비교 분석할 수 있기 때문이며 또한 빔이 성장하는 필름층에 주는 효과를 구분할 수 있기 때문이다. 제작된 필름의 특성을 파악하기 위하여 NaCl 용액을 사용하여 부식에 대한 저항력을 검사하였고 스코치 테이프와 pull-off 검사기를 사용하여 접착력을 검사하였다. 또한 표면의 상태를 파악하기 위하여 SEM 을 사용하여 검사하였으며 성분 및 두께를 RBS 방법을 이용하여 검사하였고 X선 회절을 이용하여 결정 구조를 분석하였다.

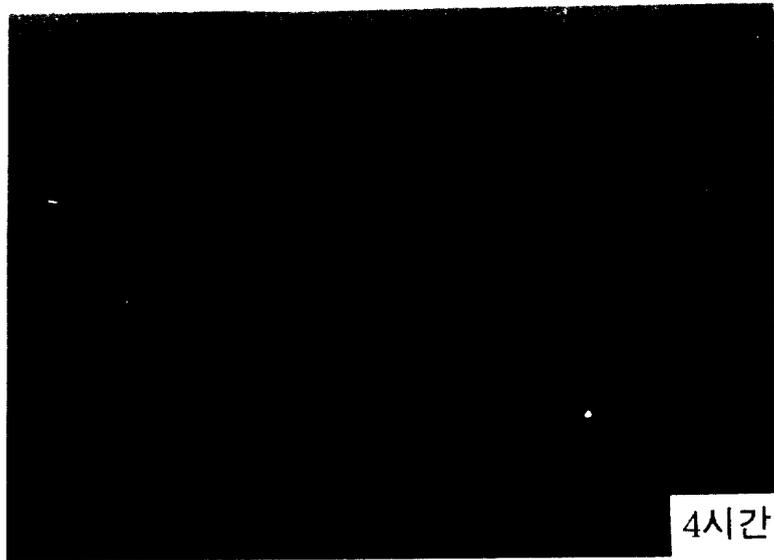
1. 부식 검사

제작된 필름의 특성중 부식(corrosion)에 대한 특성을 파악하기 위하여 3% NaCl 수용액을 사용하였다. 각기 다른 방법으로 제작된 필름을 이 용액에 넣은 후 4, 6시간 경과후 박막의 상태를 SEM으로 관찰하였다. 그 결과 단순 진공 증착 방법에 의해 제작된 박막에서는 4시간 후 표면 전체적으로 부식된 흔적이 보이고 있으며 6시간 경과 후 박막에서는 부식된 흔적이 현저하게 나타났다. IBC 방법에서 제작된 박막에서는 초기에는 부식된 흔적이 거의 보이지 않았으나 6시간 경과 후 부식된 흔적이 조금 보이고 있다. 그 반면 IAD 방법에 의해 제작된 박막에서는 6시간 경과 후에도 표면에서 부식 흔적이 거의 나타나고 있지 않았다. Fig. 22에 관찰된 표면을 보인다. 이러한 효과는 상대적으로 에너지가 큰 빔이 응축되는 증착입자에 운동도를 전달하여 입자의 운동도가 증가되고 증착된 막의 패킹밀도를 증가시키며 기둥구조를 감소시켜 기둥구조의 간극을 통한 미세한 물방울의 침투를 억제한 결과라고 볼 수 있다. 또한 IBC 박막에서는 초기 기판에 조사된 빔에 의해 표면의 청결도가 증가되어 접착력의 향상되었음을 알 수 있다. Fig. 22에서 (a)는 단순 진공 증착법에 의해 제작된 필름을 검사한 사진이다. 필름 전체적으로 퍼져있는 부식의 흔적을 볼 수 있다. (b)는 IBC 방법으로 제작된 필름이며 부식의 흔적은 미세하게 보이고 있다. (c)는 IAD 방법으로 제작한 필름을 검사한 사진이며 여기에서는 거의 부식의 흔적을 볼 수 없다.



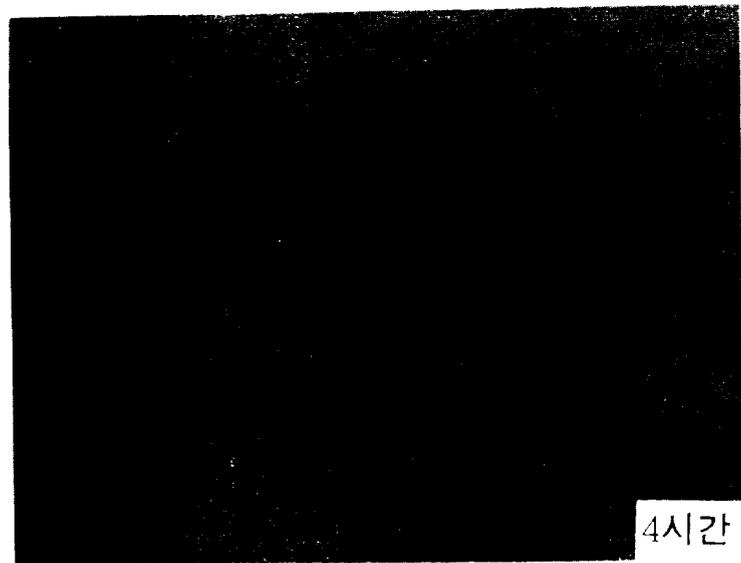
(a) Conventional film

Fig. 22. Corrosion test in 3% NaCl solution



(b) IBC film

Fig. 22. Corrosion test in 3% NaCl solution(continued)



(c) IAD film

Fig. 22. Corrosion test in 3% NaCl solution(continued)

2. 접착력 검사

스코치 테이프를 제작된 각각의 필름에 부착을 시킨 다음 3분 경과후 테이프를 제거하고 표면을 검사하였다. Fig. 23에 결과를 보인다. (a)는 단순 증착법에 의한 필름이며 (b)는 IBC, (c)는 IAD에 의해 증착된 필름의 검사 결과이다. 그 결과 단순 증착법에 의한 필름에서는 육안으로 필름이 일부 박리 현상을 관찰할 수 있었다. 이것은 기판의 청결도와 증착입자의 운동도가 모두 낮은 상태에서 증착되어 기판과 증착물질간의 계면에 불순물 등이 존재하여 결합도가 낮은 박막이 형성된 결과이다. 또 국부적인 기둥구조가 형성되어 그 공간을 타 물질이나 기포가 차지함으로써 발생하는 접착력의 감소로서 설명될 수 있다. IBC 방법으로 제작된 박막에서는 약간의 박리 흔적이 관찰되었다. 이는 빔에 의한 초기 기판의 세척 효과에 의한 것으로 판단된다. IAD 방법으로 제작된 필름에서는 박리 흔적이 전혀 나타나지 않았다. 이는 초기 기판의 청결도가 증가하는 것과 더불어 증착입자의 운동도가 증가하여 기둥구조를 감소시킴과 동시에 공간을 증착입자 혹은 이온들로 채움으로서 접착력이 증가된 것으로 판단된다. 또 에너지가 높은 이온의 충돌에 의하여 기판과 박막구성 입자들이 부분적인 혼합(mixing)을 이룰 가능성도 존재한다. pull-off시험에 있어서도 동일한 결과를 보였다. 형성된 박막을 아크릴 판에 접착하여 양쪽 방향으로 동일한 힘을 가한 결과 보통 박막인 경우 380 kg/mm^2 에서 파단현상을 보였으나 IAD 박막인 경우에는 420 kg/mm^2 이상에서 파단되었다. 이러한 결과는 앞서 서술한 스코치 테이프 검사와 같은 원인에 기인한 것으로 판단된다.

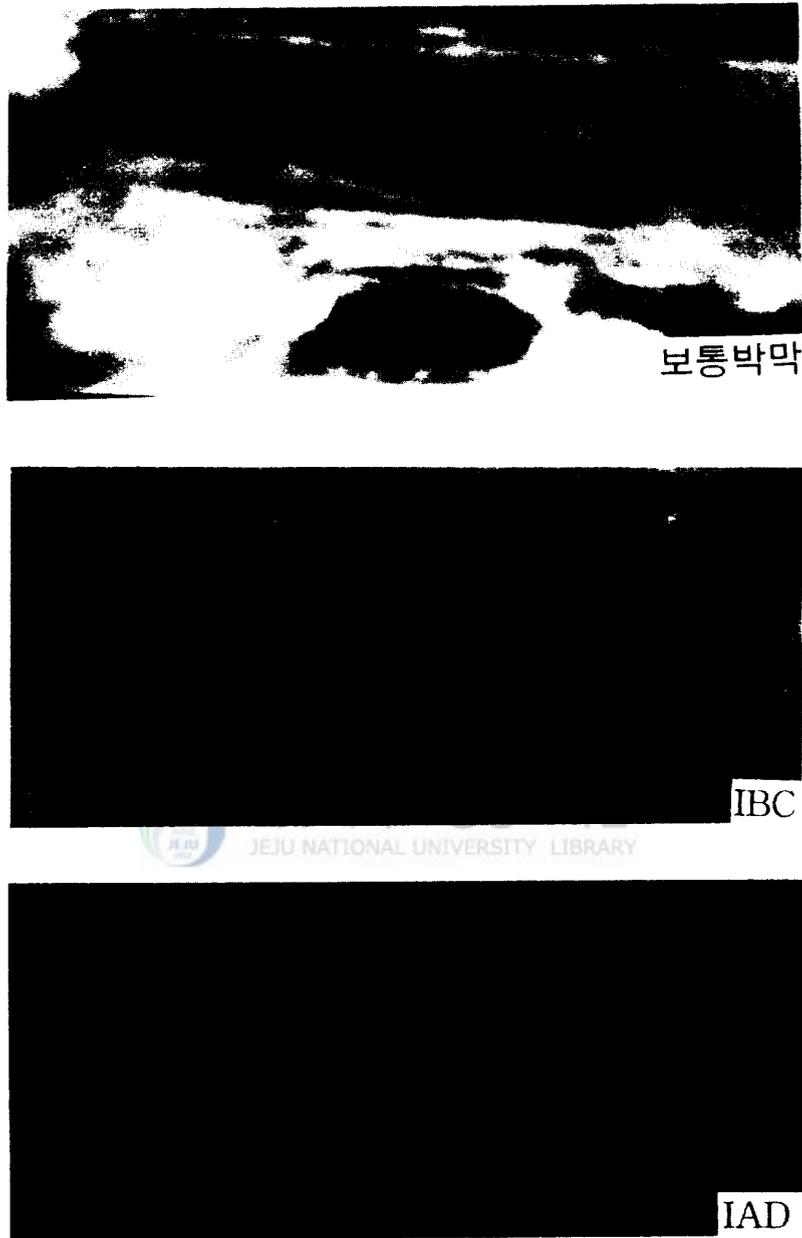


Fig. 23. Adhesive characteristics of three different films by Scotch tape test

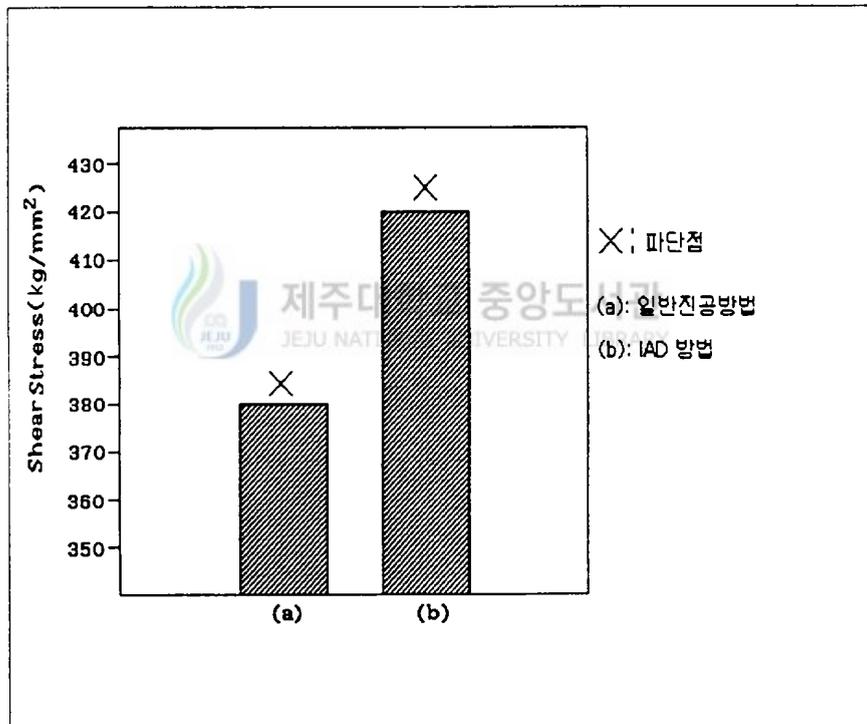
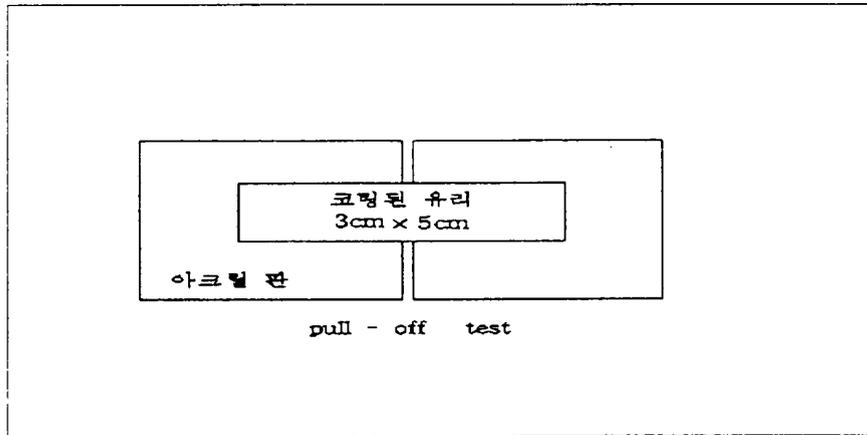


Fig. 24. Pull-off test

3. 표면 검사(SEM)

표면의 상태를 관찰하기 위하여 표준 과학 연구소에서 SEM을 이용하여 표면을 관찰하였다. 그 결과 일반 증착법보다는 이온빔을 첨가하여 제작된 필름의 표면 상태가 매우 양호하였다. Fig. 25의 (a)에 일반 증착법에 의해 제작된 필름의 표면을 (b)에는 IBC에 의해 제작된 필름의 표면, 그리고 (c)에는 IAD에 의해 제작된 필름의 표면 사진을 보인다. (a)에서는 표면의 상태가 매우 불량함을 볼 수 있으며 기둥구조가 전체적으로 확산되어 있음을 알 수 있다. 반면 (b)에서는 기둥구조는 볼 수 없고 표면의 상태 또한 대체로 양호한 상태를 관찰할 수 있다. (c)에서도 (b)와 동일한 결과를 보이고 있으나 그 정도가 보다 양호하게 관찰된다. 사진은 20kV의 에너지를 가진 전자에 의해 10.2만배 확대된 사진이다.



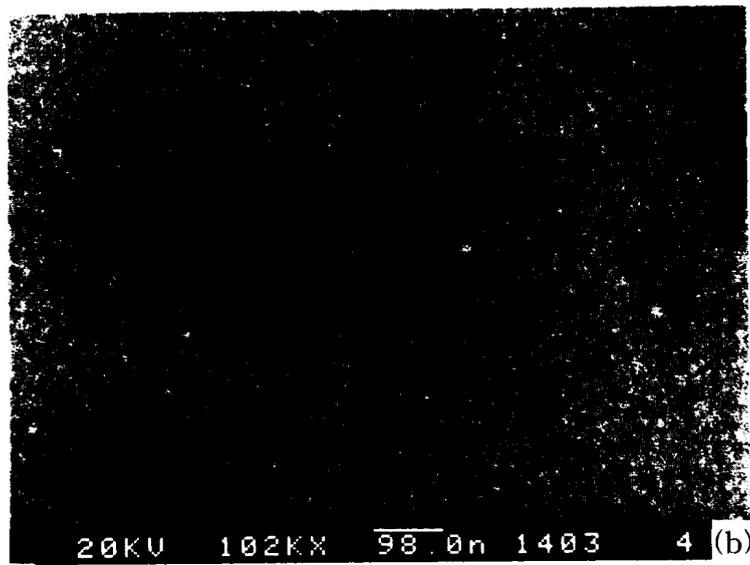
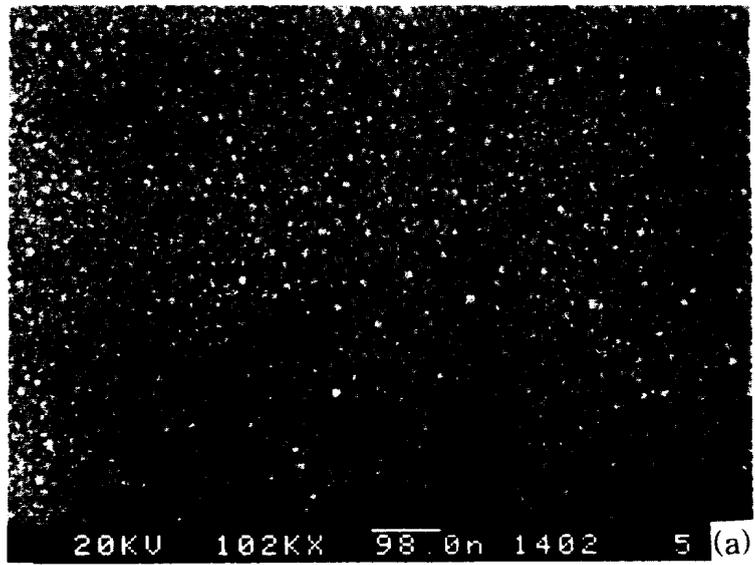


Fig. 25. Surface structure of three different films with SEM test

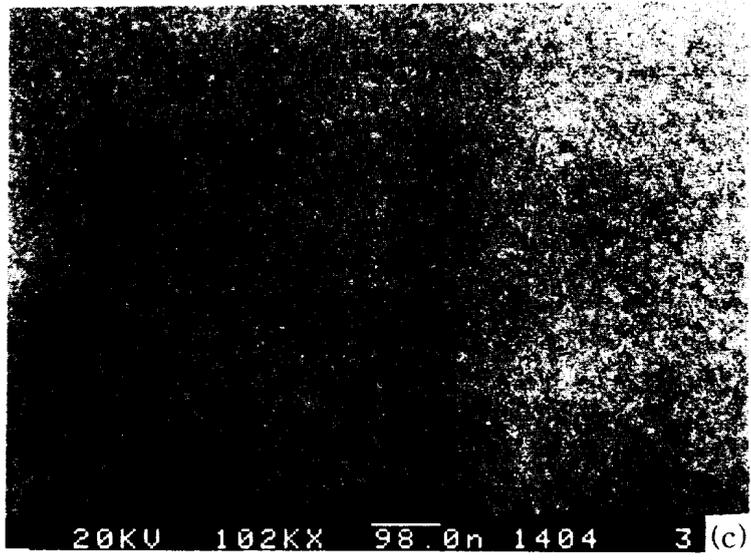


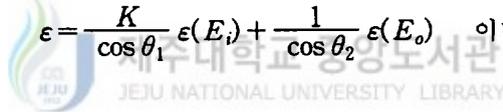
Fig. 25. Surface structure of three different films with SEM test(continued)

4. 러더포드 후방산란 스펙트럼(RBS) 검사

증착된 필름의 조성과 밀도를 검사하기 위하여 RBS 검사를 동력자원 연구소에 의뢰하여 실시하였다. 이 방법은 이온빔을 이용하여 구성 원소의 성분 및 두께를 측정할 수 있는 절대 측정법이며 입사 이온의 종류와 에너지 그리고 표적물질의 종류에 따라 수십 $\mu\text{m}/\text{cm}^2$ 까지도 측정이 가능하다. 이 방법에 의해 시료의 두께 $Nt(\text{atoms}/\text{cm}^2)$ 는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$Nt = \frac{\Delta E}{\epsilon} \quad (5)$$

여기서

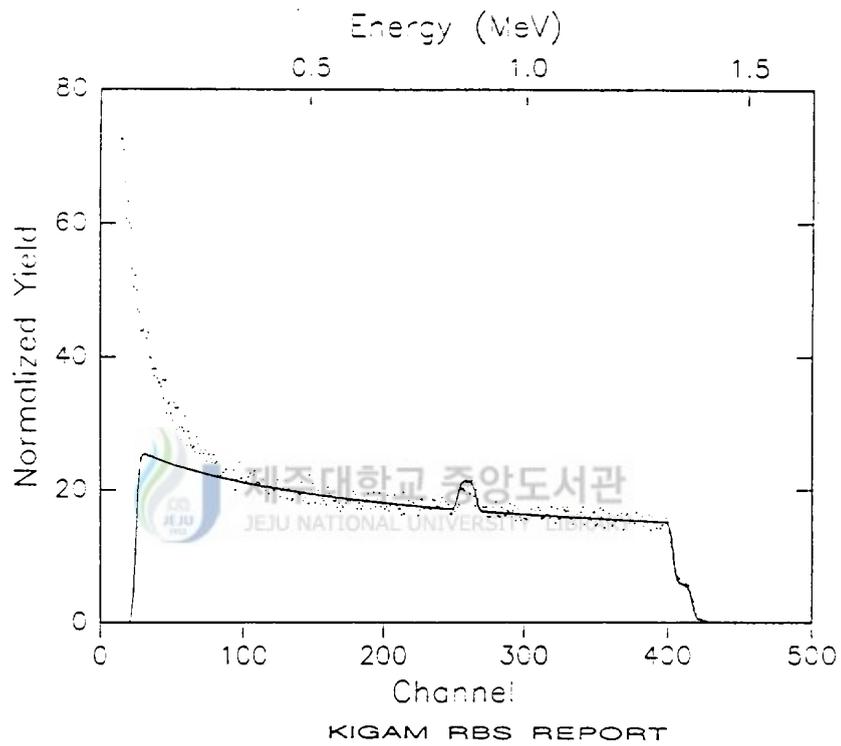

$$\epsilon = \frac{K}{\cos \theta_1} \epsilon(E_i) + \frac{1}{\cos \theta_2} \epsilon(E_o) \quad \text{이다.}$$

위 식에서 ϵ 는 저지 단면적 인자이며 E_i , E_o 는 입사 및 탈출시의 평균 에너지이며 θ_1 , θ_2 는 입사각과 탈출각을 말한다. ΔE 는 스펙트럼의 에너지 폭을 의미한다.

기판은 실리콘 웨이퍼를 사용하였으며 각 방법에 따라 분석하기 위하여 3개의 시료를 제작하였으며 증착물질로는 SiO를 사용하였다. 또한 SiO₂ 필름을 제작하기 위하여 증착 과정중에 챔버내에 산소 가스를 투입하였다. 산소 가스는 진공도의 변화에 의해 그 양이 조절되었으며 진공도가 기존의 진공도에 1.0×10^{-4}

torr가 변할 때까지 투입되었으며 이 때의 밀도는 이상 기체 상태 방정식에 의해 약 $2.988 \times 10^{12} \text{ mol/cm}^3$ 정도이다. 각 시료의 검사 결과를 Fig. 26에 보인다. (a)에는 시료 1로서 단순 진공 증착법에 의해 두께 1.5 kÅ 정도 증착한 필름의 검사 자료이다. 그 결과 조성에 있어서 실리콘(Si)과 산소(O)의 비율이 1 : 2.8이었으며 밀도는 $3.84 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$ 이었다. (b)에는 시료 2로서 IBC 방법에 의해 증착한 필름을 검사한 자료이다. 그 결과 실리콘과 산소(O)의 조성비는 1 : 2.5이었으며 밀도는 $4.174 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$ 이었다. (c)에는 시료 3으로서 IAD 방법으로 증착된 필름의 특성을 보이고 있다. 그 결과 실리콘과 산소(O)의 조성비율이 1 : 2.0이었으며 밀도는 $4.87 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$ 이었다. 시료 1의 결과에서 필름의 성분 조성중 산소의 비율이 높아진 것은 주입된 산소 가스에 기인한 것으로 판단된다. 시료 2에서는 초기 이온빔에 의해 기판의 청결도가 증가하고 그 결과 증착율 및 조밀도가 증가하여 주위 산소 가스가 필름안에 차지할 수 있는 공간이 시료 1보다 줄어든 것으로 판단된다. 시료 3에서는 목적으로 한 SiO_2 필름이 형성되었음을 보인다. 이는 증착 과정중에도 이온빔을 첨가함으로써 필름이 형성될 때 증착 입자의 운동도를 증가시켜 국부적인 기동구조가 감소됨으로서 빈 공간이 줄었거나 혹은 그 공간을 증착 입자와 이온들로 채워 줌으로서 주위 산소 가스가 과다하게 유입되는 것을 방지했다고 판단된다. 밀도측정 결과에서도 단순 진공증착법에 의한 박막보다는 IBC 박막은 8.7 % 증가되었으며 IAD 박막은 26.8%가 증가되어 가장 조밀한 것으로 판명되었다.

EXPERIMENTAL CONDITION
DATE : 1995. 10.
SAMPLE : SiC2 #3 .ENERGY : 2.43 MeV .TILTING : -60 deg.
.FILE NAME : #72,SC3B.RBS .CHARGE : 2.40 uC .CURRENT : 3 nA

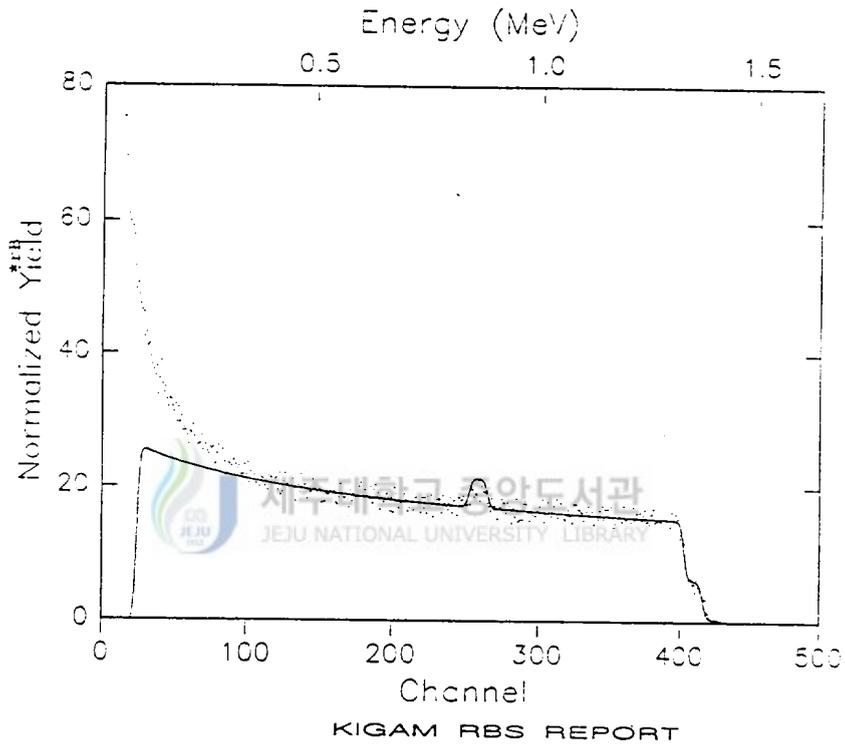


(a) Conventional film

Fig. 26. Comparison of three films' response through RBS test

EXPERIMENTAL CONDITION

.DATE : 1995. 10.
.SAMPLE : SiC2 #1 .ENERGY : 2.43 MeV .TILTING : -60 deg.
.FILE NAME : #72.S013.RBS .CHARGE : 2.40 uC .CURRENT : 3 nA

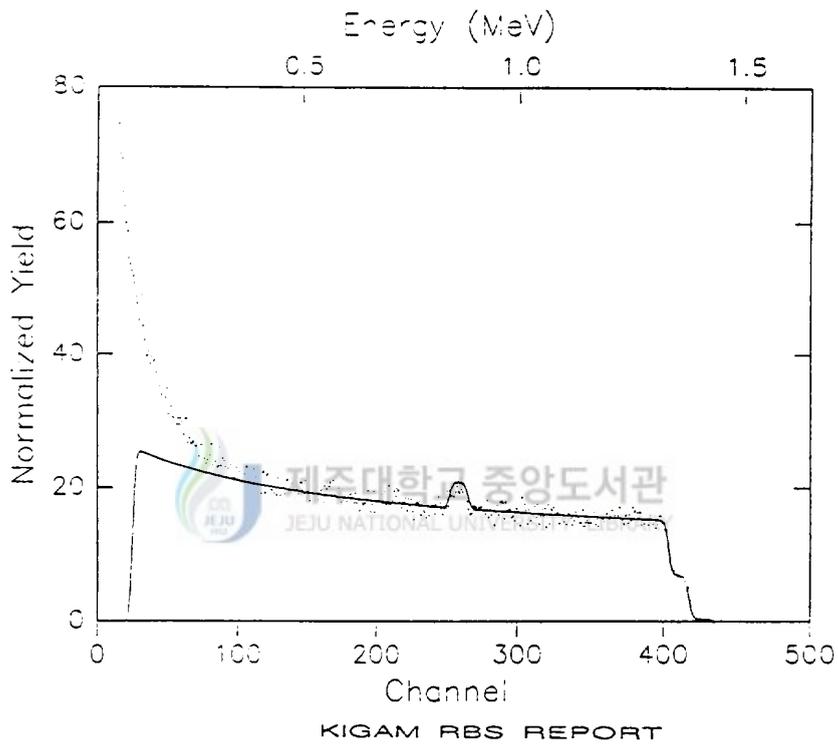


(b) IBC film

Fig. 26. Comparison of three films' response through RBS test(continued)

EXPERIMENTAL CONDITION

DATE : 1995. 10.
.SAMPLE : SIC2 #2 .ENERGY : 2.43 MeV .TILTING : -60 deg.
.FILE NAME : #72.SIC2B.RBS .CHARGE : 2.40 uC .CURRENT : 3 nA



(c) IAD film

Fig. 26. Comparison of three films' response through RBS test(continued)

5. 결정구조

형성된 박막의 결정 구조를 분석하기 위하여 성균관 대학교에 의뢰하여 X선 회절 방법(X-Ray Diffraction : XRD)에 의해 분석하였다. 시편은 이온빔 조사 여부에 따라 세 종류로 제작하였으며 이온빔의 세기는 앞서 제작한 시편과 동일하다. 증착물질은 SiO를 사용하였다. Fig. 27에는 두께 1.5 kÅ으로 SiO를 증착한 박막을 검사한 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 보통박막에서는 (112) 방향의 육방구조(hexagonal)와 (221) 방향의 정방구조(tetragonal)가 혼합된 다결정 구조를 나타내고 있으나 IBC박막과 IAD 박막에서는 빔이 첨가되면서 (221) 방향의 정방구조가 선택적으로 증가하여 큰 비중을 나타냈으며 (112) 방향의 육방구조는 변화가 없으며 그 밖의 경우에는 무시할 수 있을 정도로 작게 나타났다.



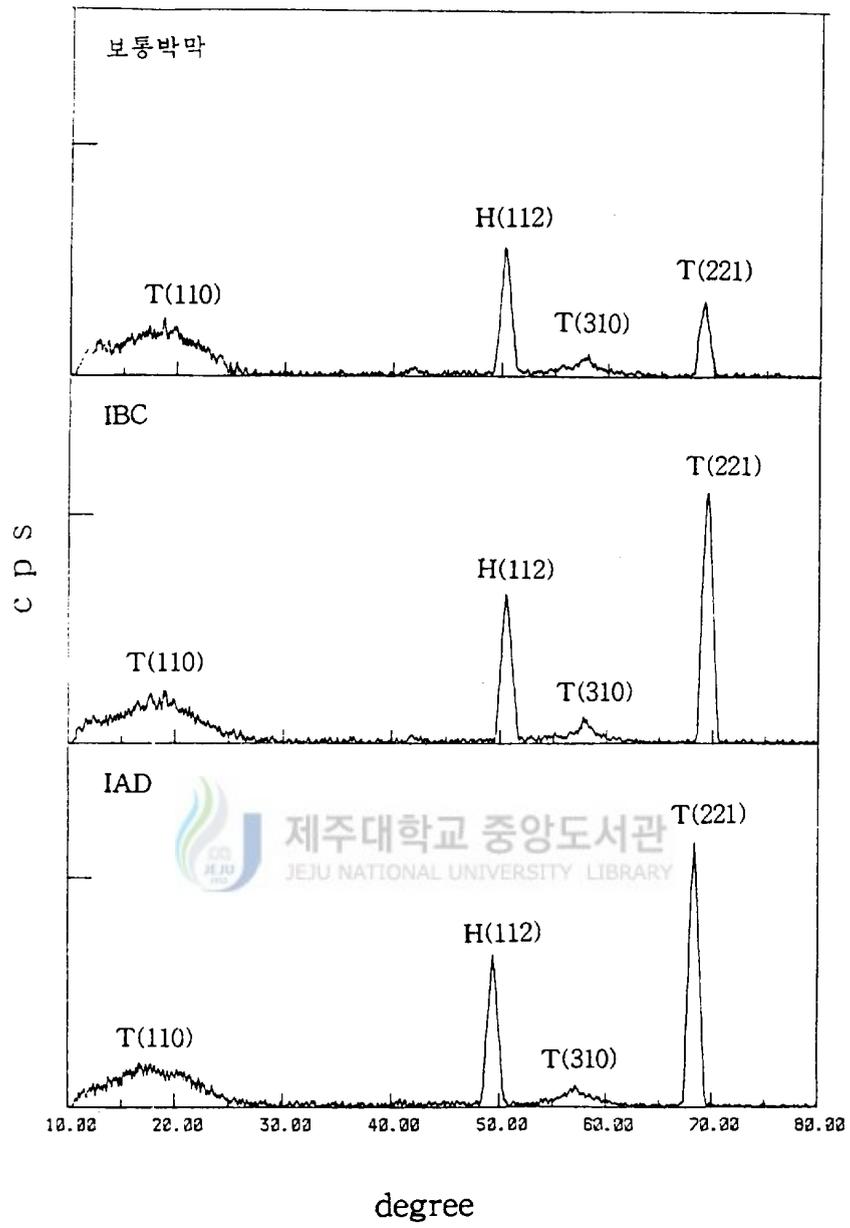


Fig. 27. Comparison of three different films with XRD test

IV. 결 론

필름의 광학적 특성을 증가시키기 위한 방법의 하나로 널리 연구 개발중인 이온 보조 증착법을 응용하여 박막을 제작하는 실험을 수행하였다. Kaufman 형 이온원을 사용하여 이온빔을 생성하였다. 박막 구성 물질로 SiO 물질을 사용하여 형성된 필름의 결과를 비교하였다. 또한 빔의 효과와 필름의 광학적 특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 빔의 조사 여부에 따라 세 가지 방법으로 나누어 필름을 제작하였다.

조사된 이온빔의 세기는 IBC 방법에서는 기판의 세척 효과를 기대하여 500 eV 에서 $50 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 의 이온빔을 조사하였으며 IAD 방법에서는 스퍼터링 효과를 줄이기 위해 증착 과정시에는 이온빔의 세기를 200 eV 로 감소시키고 조사되는 전하밀도는 $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 로 줄여서 조사하였다. 3% NaCl 용액의 부식 검사에서 빔을 조사하지 않은 보통 박막보다는 빔을 조사한 IBC, IAD 박막이 개선되었음을 확인하였다. 특히 증착 과정 전과 과정 중에 빔을 조사한 IAD 박막이 가장 우수하였다. 그리고 스코치 테이프와 pull-off 검사 결과에서도 IAD박막이 우수하였고, SEM 검사 결과에서도 동일한 결과를 얻었다. RBS 검사 결과에서도 IAD 방법에 의해 형성된 박막이 $4.87 \times 10^{-6} \text{g}/\text{cm}^3$ 밀도로 가장 조밀한 것으로 판명되었으며 X선 회절에 의한 결정 구조 분석에서도 이온빔의 첨가되면서 결정 구조에 있어서 (221) 방향의 정방구조가 선택적으로 증가함을 볼 수 있었다. 이러한 결과에서 이온빔이 초기에 기판을 세척하는 효과가 있으며 또한 증착 과정

에서의 이온빔의 조사 여부는 필름의 광학적 성질을 개선하는데 큰 영향을 주는 것으로 판명되었다. 녹는점이 매우 높은 물질(TiO)인 경우 저항 가열 방식으로 증착 과정이 불안정하여 실험을 수행하지 못했다. 이러한 물질인 경우에는 전자빔 증착법이 보다 효율적이므로 차후 전자빔 증착법을 이용하여 증착과정을 수행하고자 한다.

이상의 실험 결과는 단층 박막의 특성을 조사한 것이다. 이러한 결과는 다층 박막의 구성, 특성 연구에 기초가 될 것이며 기계적, 광학적 특성이 우수한 고품질의 비 반사 박막, 전 반사 박막 형성에 많은 도움이 될 것이다.



V. 참고 문헌

- Brown, I. G., 1989, The physics and technology of ion source, John Wiley & Sons, 429 pp.
- Ensinger, W., 1992, Ion sources for ion beam assisted thin-film deposition, *Rev. Sci. Instrum.*, 63(11), 5217-5233
- Francombe, M. H., 1994, Physics of thin films, Academic Press, pp. 5-50.
- Hubler, G. K., 1989, Fundamentals of ion beam assisted deposition: Technique and film properties, *Materials Science and Engineering*, 90, 181-192.
- Keller, J. H. and Robinson, J. W., 1987, Ion source and implantation system, *Materials Science and Engineering*, 90, 423-432.
- Macleod, H. A., 1986, Thin - film optical filters, Macmillan, U.S.A, pp. 11-186.
- Martin, P. J., 1986, Ion-based methods for optical thin film deposition, Chapman and Hall Ltd., pp. 1-23.
- Ogata, K., Andoh. Y., and Kamijo, E., 1988, Crystallization of carbon films by ion beam assist technology, *Nuclear Instruments and Method in Physics Research*, B33, 685-688.
- Pulker, H. K., 1984, Coatings on glass, Elsevier, New York, pp. 52 - 63.
- Roth, A., 1976, Vacuum Technology, North - Holland., 496 pp.

- Sakai. S., Ogata, K. and Andoh, Y., 1991, Crystal structure of aluminum films prepared by ion beam assisted technology, *Nuclear Instruments and Method in Physics Research*, B59/60, 288-291.
- Humphries, S. Jr., 1990, Charged particle beams, John Wiley & Sons, pp. 1-132.
- Wolf, G. K., 1990, Modification of mechanical and chemical properties of thin films by ion bombardment, *Surface and Coatings Technology*, 43/44, 920 - 935.



감사의 글

본 논문이 이루어지기까지 정성으로 지도해 주시고 사랑과 격려속에 용기를 주신 이현주 교수님께 감사드립니다. 공부의 바른 길을 인도해 주시고 항상 조언을 아낌없이 주신 이윤준 교수님, 조경호 교수님, 박재우 교수님, 이재영 교수님, 천원기 교수님께 감사드립니다.

연구비를 지원해 주신 동립산업의 이현구 사장님과 실험 장치 구성에 도움을 주신 에너지연구소의 최병호 박사님께 감사드립니다. 그리고 시편의 분석을 위해 도움을 주신 표준연구소의 신동주 님, 자원연구소의 우형주 박사님, 김준관 님 그리고 성균관대학교의 한전건 교수님께 감사드립니다.

장치제작과 실험에 동고동락을 같이한 김수훈, 임근효 학우에게 감사드리며 귀중한 자료와 조언을 보내준 나원우, 김정훈 선배님, 그리고 바쁜 중에도 조언을 해주신 김석영 선배님, 강건호 선배님, 오원선 선배님, 임재훈 선배님, 김경현 선배님, 김병선 선배님과 그의 84 학번 선배님께 감사드립니다. 바쁜 중에도 부품 구입과 격려를 보내준 박진홍, 고상기, 김휴찬, 김은숙 그리고 모든 동기들에게 감사드립니다.

오랜 세월의 어려움을 참아주시고 물심양면으로 뒷바라지해 주신 아버님, 어머님, 누님, 형수님 그리고 형님에게 감사드립니다.

끝으로 본 논문이 이루어지기까지 지원을 아끼지 않은 친구들과 음양으로 도움이 되어 주신 많은 분들께 감사드립니다.

부 록

1. Filament 전원 회로도

2. Arc 전원 회로도

3. Bias 전원 회로도

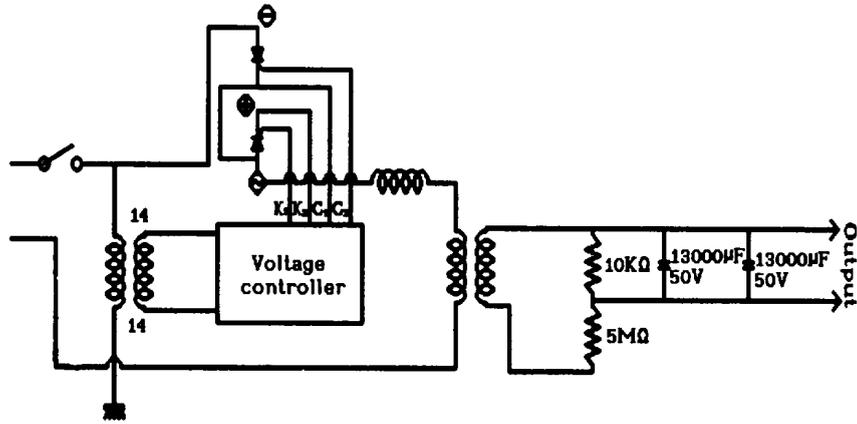
4. Neutral 전원 회로도



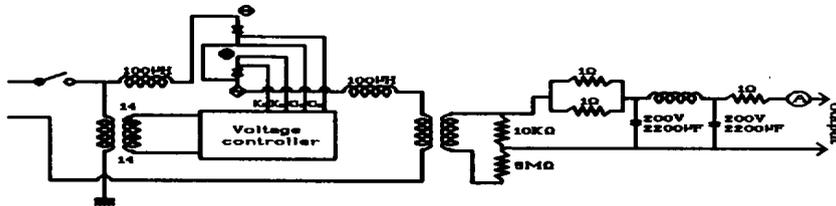
5. Extraction 전원 회로도
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

6. Voltage controller 회로도

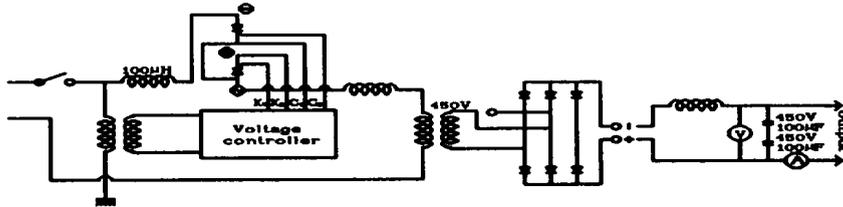
1. Filament 전원 회로도



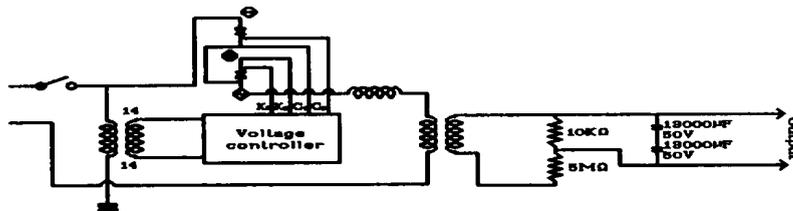
2. Arc 전원 회로도



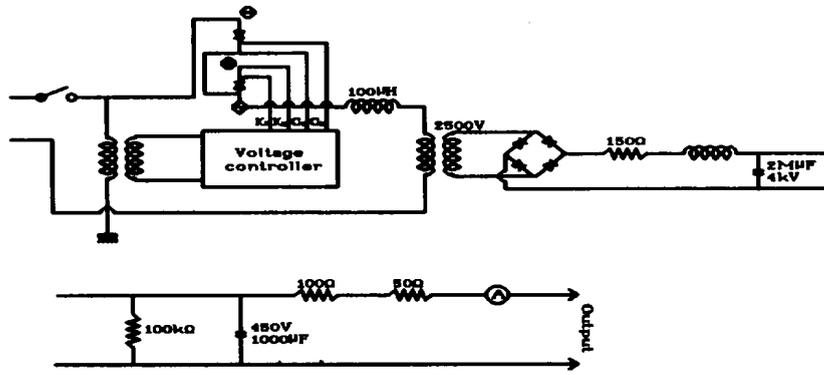
3. Bias 전원 회로도



4. Neutral 전원 회로도



5. Extraction 전원 회로도



6. Voltage controller 회로도

