

이 현 용\*, 박 태 성\*, 김 중 빈\*, 이 영 중\*, 정 홍 배\*, 조 광 섭\*\*, 강 승 언\*\*, 황 호 정\*\*\*, 박 선 우\*\*\*\*  
 \* 광주대 전자재료공학과, \*\* 광주대 물리학과, \*\*\* 중앙대 전자공학과 \*\*\*\* 서울시립대 제어계측공학과

Hyun-Yong Lee\*, Tae-Sung Park\*, Jong-Bin Kim\*, Young-Jong Lee\*,  
 Hong-Bay Chung\*, Guang-Sup Cho\*\*, Seung-Oun Kang\*\*,  
 Ho-Jung Hwang\*\*\*, Sun Wo Park\*\*\*\*

\* Dep. of Electro. Mat. Eng., Kwang Woon Univ.

\*\* Dep. of Physics, Kwang Woon Univ.

\*\*\* Dep. of Electro. Eng., Chung Ang Univ.

\*\*\*\* Dep. of Control & Instrumentation, Seoul City Univ.

ABSTRACT

This thesis was investigated on optical-and ion-induced characteristics in positive(a- $Se_{75}Ge_{25}$ ) and negative (Ag/a- $Se_{75}Ge_{25}$ ) resists for focused-ion-beam microlithography. The a- $Se_{75}Ge_{25}$  inorganic thin film shows an increase in optical absorption after exposure to  $\sim 10^{16}$  dose(ions/cm<sup>2</sup>) of Ga ions. The observed shift in the absorption edge toward longer wavelengths is consistent with that in films exposed to band-gap photons( $\sim 10^{20}$  photons/cm<sup>2</sup>). But, ion induced shift is twice as much as that in film exposed to optical radiation. This result may be related with microstructural rearrangements with in the short range of SeGe network. Due to changes in the short range order, the chemical bonding may be affected, which results in increased chemical dissolution in ion-induced film. Also, this resist exhibits good thermal stability because of its high Tg( $\sim 220^{\circ}C$ ). The composition of deposited film measured by AES is consistent with that of bulk.

I. 서 론

1980년대 중반 이후 국내 반도체 산업은 ULSI시대로 접어들었고 16M급 이상인 sub-half micron의 미세 패턴을 전달하기 위해서 정확성과 비등방성식각(anisotropic etching)방법이 절실히 요구되고 있다. 또한 이때 사용되는 organic 레지스트는 이미 분해능의 한계를 나타내고 있어 새로운 레지스트 개발이 절실히 요구된다. 리소그라피 기술에는 optical(광)<sup>1)</sup>, X-ray<sup>2), 3)</sup>, maskless기술인 e-beam<sup>4), 5)</sup>, focused ion beam<sup>6), 7), 8)</sup>기술이 있다. 광리소그라피 분야에는 TLR, i-line, 액사이며 레이저 리소그라피 그리고 PSM기술에 집중되어 있으나 한계를 보이고 있으며, 현 X-ray 리소그라피는 CSR의 개발과 더불어 관심이 높아지고 있으나 아직 해결되어야 할 사항이 많이 남아 있으며, e-beam 리소그라피는 높은 분해능과 초고집적으로 패턴을 형성시킬 수 있는 능력을 가지고 있으나 레지스트층과 기판사이의 scattering이 일어 나기 때문에 고분해능의 패턴을 얻기에 어려움이 있으며, 이온빔을 해결하는 데에는 높은 aspect ratio를 필요로 한다. 이러한 기술에 비해 FIB 리소그라피 기술은 전자 빔을 사용할 경우 문제가되는 근접효과(proximity effect)를 제거할 뿐만 아니라 빠른 기록 속도를 가지고 있으며<sup>9), 10)</sup>, 빔 크기를 줄어 선포폭 줄이는 데 용이한 장점<sup>11)</sup>이 있다. 기존에 사용되어 온 유기질 레지스트에 비하여 본연구에 사용된 비정질 칼코게나이드 Se-Ge 박막은 전자빔 또는 열중화 방식으로 형성하기 때문에 균일한 박막을 얻을 수 있어 미세선폭의 제어가 용이하고, 흡수 계수가 유기질 레지스트 보다 높기 때문에 광학적

간섭효과를 줄일 수 있어 패턴 전달의 정확성을 높일 수 있다<sup>12), 13)</sup>. 또한 무기질 polymer에 비해 유리질 천이 온도(glass transition temperature; Tg)가 비교적 높기 때문에 반도체 제조 공정상에서 발생하는 열에 대한 안정성이 크며,<sup>14)</sup> Se-Ge박막이 광, 전자빔, 및 이온빔 등에 positive-type 레지스트 특성을 보이나, Se-Ge 박막위에 얇은 Ag층을 도포함으로 negative-type 레지스트로 역할을 하는 이중성이 있으며, Ag/Se-Ge negative 레지스트는 O<sub>2</sub>에 대한 저항성이 크기 때문에 전식 식각에 이용시 마스크로서의 역할을 할 수 있다.<sup>15)</sup> 이러한 배경하에서 본 연구에서는 집속이온빔 레지스트로 이용될 비정질 Se-Ge박막과 Ag가 도포된 Ag/SeGe 이중층 구조 박막의 물성측정 및 고찰이 추가된다. 시료의 선택은 1985년부터 본 연구실에서 연구하여 온 비정질  $Se_{100-x}Ge_x$  ( $10 \leq x \leq 30$ )박막 중에서 광학적 구조 변형에 대해 최대치의 화학적 변화를 주는<sup>16)</sup> a- $Se_{75}Ge_{25}$  과 Ag/ $Se_{75}Ge_{25}$ 를 선택하여 그의 기본적인 물성 특성인 유리질 천이 온도 Tg를 분석하였으며, 시료의 bulk상 조성이 박막으로의 전달된 정도를 고찰하기 위해 박막의 조성분석 및 광학적 특성을 조사하였다. 또한, 이온 빔을 조사시 발생하는 박막의 물리적변화를 자외선 광에 의한 변화와 비교, 고찰하였다.

II. 실험 방법

본 실험에서는  $x = 25$  at. %일 때 흡수계수가 최대를 나타내며,  $x = 20 \sim 30$ 의 조성 범위에서 최대의 광유기 현상이 일어나는 비정질  $Se_{100-x}Ge_x$ 계 중에서 a- $Se_{75}Ge_{25}$ 를 선택하였다. bulk 제조를 위하여 순도가 5N(YAMANAKA Chem. Industries)인 Se, Ge를 원자량비(atomic weight %)로 Se:Ge=75:25로 하였다. 시료층 Ge은 진공증 표면의 산화층을 제거한 후 전자천평(ALSEP EU-198A)으로 0.1 mg까지 평탄하였다. 준비된 시료는 10mm 석영관에서  $\sim 10^{-5}$ Torr로 진공봉입 후 전기로에서 1000( $^{\circ}C$ )로 가열하여 24시간 유지하면서 균일한 혼합을 위해 30분 간격으로 흔들어 주었으며, 대기중에서 냉각하였다. 제작된 bulk의 유리질 천이 온도 Tg의 측정은 DTA로 분석하였으며, DSC 측정으로 확인 하였다. 박막제작을 위해 사용한 기판은 corning glass(7059, 밀도 2.76 g/cm<sup>3</sup>, 50 x 50 x 1.2mm)와 Si 웨이퍼이며, glass의 경우 NaOH, 초순수, TCE, 아세톤, 메틸알콜 순으로 초음파 세척 후 진공건조 시켰고, Si 웨이퍼는 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>에서 유기물을 제거하였고, NH<sub>4</sub>OH + HCl + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>용액으로 무기물을 제거한 후 사용하였다.  $Se_{75}Ge_{25}$ 과 Ag 박막은 Mo 보우트를 사용하여 열중화방법에 의해  $\sim 10^{-5}$ Torr에서 형성하였고, 그때의  $Se_{75}Ge_{25}$  박막의 두께는 200nm이었다. 제작된 박막은 X-선 회절 측정으로 비정질임을 확인하였다. 제작된 박막의 조성변화를 AES(RIBER Model OPC-105)로 측정하였고, 400~900nm의 파장 범위에서 UV-Visible Spectrophotometer(SHIMADZU UV-240)

로 부피도를 측정하여 흡수계수와 흡수단을 조사하였다.

제작된  $Se_{75}Ge_{25}$  박막과  $Ag / Se_{75}Ge_{25}$  이중층 레지스트 재료의 광노출은 수은등(400W)를 사용하였으며, 박막 표면의 출력력을 광전력미터(optical power meter)로 측정할 결과  $16mW/cm^2$  였으며, 노출시간은 SeGe 박막의 경우 충분한 유기 효과를 얻기 위해 150min.,  $Ag/SeGe$  는 2min. 으로 하였다. defocused 이온빔 조사는 9keV의  $Ca^+$  이온의 dose 양을 변화시키면서 조사하였으며, LMIS(Liquid Metal Ion Source)와 의 박막의 간격을 2cm로 하였다. 본 실험에서 사용된 dose 는  $1.8 \times 10^{15}$  과  $9.3 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup> 였다.

## II 결과 및 고찰

### 1. glass transition temperature(Tg)의 측정

Tg를 측정하는 일반적인 방법에는 온도에 따른 부피의 변화를 측정하는 단순 팽창계와 empty reference pan에 대한 열량차이를 측정하는 DSC방법과, 발열(Exothermic)반응-흡열(Endothermic)반응의 정도로 측정하는 DTA방법으로 대별된다. 액체로 부터 냉각되어 고체가 형성되는 과정에서 온도 변화에 따른 열역학적 Gibbs 자유에너지의 1차 미분 변수인 부피(V), 엔탈피(H)나 엔트로피(S)등이 melting point(Tm) 온도 - 결정질 천이온도 - 에서 불연속적인 특성을 보이는 반면, Tg에서는 연속성을 보이므로 결정질의 생성은 1st order phase transition에 의한 것이고, 그림 2에서 보는 바와 같이 자유에너지의 2차 미분 변수인 열용량(Cp)의 온도 변화가 Tg에서 불연속성을 보이는 것으로 부터 유리질 천이는 열역학적 2nd order phase transition임을 알 수가 있다. 이상을 관계식으로하면 다음과 같으며, 여기서 G는 Gibbs의 자유 에너지, T는 온도며, U는 내부에너지이다.

$$G = H - TS = U + PV - TS$$

$$dG = VdP - SdT$$

$$V = \left( \frac{\partial G}{\partial P} \right)_T$$

: Tm에서 부피 변화 불연속 특성

$$C_p = T \left( \frac{\partial S}{\partial T} \right)_P = -T \left( \frac{\partial^2 G}{\partial T^2} \right)_P$$

: Tg에서 Cp변화 불연속

그림 1은 비정질  $Se_{75}Ge_{25}$  칼코게나이드 박막의 DTA 곡선으로 220 °C 부근에서 곡선의 굴곡이 생기는 데 이때의 온도가 Tg로, 물질 점도의 급격한 변화가 예상된다. 계속적인 온도 상승에 따라 발열 peak와 흡열 peak가 존재하게 되는 데 이때의 온도가 각각 결정화 온도와 용점이 된다. 본 실험에서의 heating rates는 5oK / min.이였으며 Tg가 물질의 thermal history에 의존하므로 heating rate의 증가에 따라 Tg의 감소를 예견할 수 있다. Tg의 값을 확인, 결정하기 위해 DSC방법으로 측정할 결과를 그림2에 나타내었으며 값이 일치함을 알 수 있다. 이와 같이 a- $Se_{75}Ge_{25}$ 의 Tg는 220oC 부근으로 일반 레지스트 재료인 유기질 polymer에 비해 상당히 높은 값으로 이를 레지스트로 이용시, 반도체 공정상에서 발생하는 열에 대한 안정성을 증가시킬 수 있다.

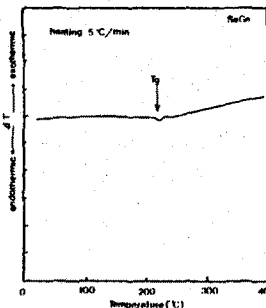


그림 1 : DTA 측정 결과

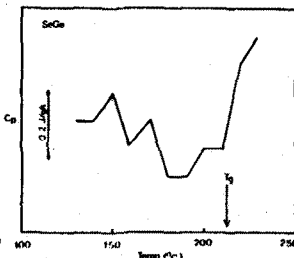


그림 2 : DSC 측정 결과

### 2. 증착된 a- $Se_{75}Ge_{25}$ 박막의 조성 분석

열 증착법에 의해 형성된 a- $Se_{75}Ge_{25}$  박막의 조성을 AES 로 측정하여 그림 3에 나타내었다.

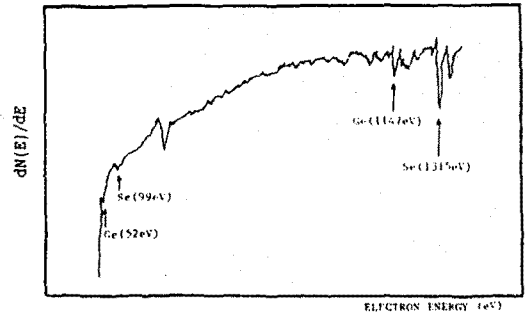


그림 3 : 증착된 a- $Se_{75}Ge_{25}$  박막의 조성 분석

그림3에서 보는 바와 같이 Ge의 low energy peak는 52 (eV)에서 나타나며, 이것은 MN transition에 의한 것이다. high energy peak는 1147 (eV)에서 LMN transition에 의해 나타난다. 또한, Se의 low energy peak는 99 (eV)에서 나타나며, 이것은 MN transition에 의한 것이고 high energy peak는 1315(eV)에서 LMN transition에 의해 나타난다. 여기서 I / S ( I = relative intensity, S = relative sensitivity ) 비는 Ge이 390 이며 , Se이 1267.86이다. 이것을 환산하면, 박막의 조성비는 Se : Ge = 76 : 24임을 확인할 수 있다. 이러한 AES 조성 분석 결과 실험상의 다소 오차는 있기는 하지만 증착된 박막은 Se : Ge ≈ 75 : 25의 조성 비율을 갖는 것으로 보아 bulk상의 조성비율이 박막상으로 변화없이 전달됨을 알 수 있다.

### 3. 광 유기 효과와 이온빔 유기 효과

#### a) 비정질 칼코게나이드의 흡수 특성

비정질 칼코게나이드 물질들은 optical band gap이하의 낮은 에너지에 대해 지수함수적인 흡수 꼬리(absorption tail)인 Urbach Tail을 보이며 더 높은 에너지에 대해서는  $(\alpha h\nu)$ 가  $(h\nu - E_{g0})^2$ 에 비례하는 특성을 보인다. 이 Urbach Tail의 Slope는 binary  $A_{1-x}B_x$  system의 glass forming을 할 수 있는 조성에 대해 강한 조성의존성을 갖는 데, SeGe system은  $x=0.25$ 인  $Se_{75}Ge_{25}$ 의 조성에서 가장 낮은 값을 갖는다. 이러한 기울기는 구조적인 무질서도에 의한 electron-phonon coupling과 관련되며, 무질서도의 증가(polaron의 증가)에 따라 기울기는 감소하는 특성을 보이므로  $Se_{75}Ge_{25}$  박막은 광, 전자빔 그리고 이온빔의 에너지에 대해서 구조적 변화에 대한 가능성이 높게 된다.

# Urbach tail 부근에서의 흡수는 일반적으로 다음 식으로 정의 된다.

$$\alpha = \alpha_0 \exp [ ( h\nu - E_{g0} ) / F ] \dots (1)$$

where,  $\alpha$  = optical absorption coefficient

$\alpha_0$  = constant

$E_{g0}$  = optical band gap

F = Urbach tail slope

#  $E_{g0}$  여상의 band내의 흡수는 다음식으로 표현되며, 칼코게나이드계인 경우  $n=2$ 인 값을 갖는다.

$$\alpha h\nu = \text{const.} \cdot ( h\nu - E_{g0} )^n \dots (2)$$

따라서, photon 에너지에 대한  $(\alpha h\nu)^{1/2}$ 의 그래프를 의상하여 광흡수 band gap,  $E_{g0}$ 를 얻을 수 있다.

# 흡수 계수를 구하는 방법에는 여러가지가 있으나 가장 간단하게 구할 수 있는 방법이 다음과같은 부피도 특성을 이용하여 구하는 방법이다.

$E_{g0}$ 이상의 에너지를 갖는 광 속(flux)이 측정할 시료를 통과할 때 흡수된 광의 양은 flux intensity에 비례한다. 따라서 미소 거리  $\Delta x$ 내에 흡수된 광자의 수는  $\alpha \psi(x) \Delta x$

로 정의 된다. 그림 4는 시료를 통과하는 flux의 지수함수적 흡수 특성이다

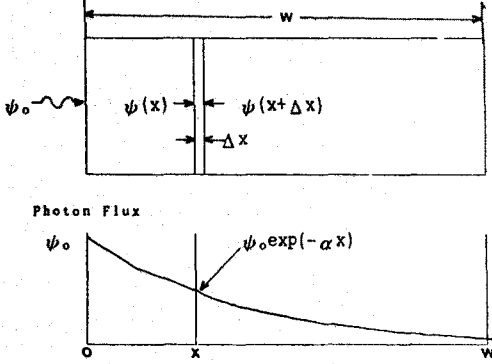


그림 4 : 광 flux의 지수함수적 흡수 특성 flux의 연속성으로부터 식 (3)과 (4)를 얻을 수 있다.

$$\psi(x + \Delta x) - \psi(x) = \Delta x \cdot d\psi(x)/dx = -\alpha \psi(x) \Delta x \dots (3)$$

$$d\psi(x) / dx = -\alpha \psi(x) \dots (4)$$

boundary condition  $\psi(x) = \psi_0$  at  $x = 0$  을 이용 (4)식의 해를 구하면 식(5)와 같으며, 두께 d인 박막에 대해 파장에 따른 흡수계수는 식(7)과 같다.

$$\psi(x) = \psi_0 \exp(-\alpha x) \dots (5)$$

$$T = \psi(d) / \psi_0 = \exp(-\alpha d) \dots (6)$$

$$\alpha(\lambda) = -\ln T(\lambda) / d \dots (7)$$

b)  $Se_{75}Ge_{25}$ 의 이온빔 유기 효과  
 a- $Se_{75}Ge_{25}$  박막의 증착 직후와  $Ga^{+}$ 이온 빔의 dose양을 변화시켰을 때의 부과도 곡선을 그림 5에 나타내었다. 노출 dose양이 증가함에 따라 부과도는 감소하였고, as-deposited 박막에 비해 이온빔이 조사된 박막의 부과도가 약 15%의 급격한 감소를 보였다.

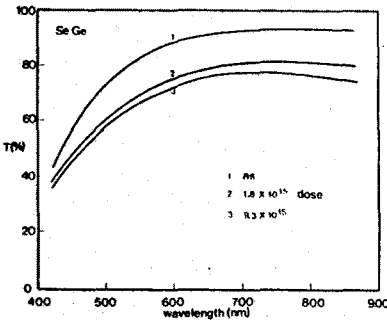


그림 5: 이온빔 조사에 따른  $Se_{75}Ge_{25}$  박막의 부과도 특성

그림 6은 흡수계수  $\alpha$ 를 식(7)을 이용하여 그린 곡선으로 빔이 조사된 박막의 경우 특히 비정질 물질의 무질서도에 의해 나타나는 흡수단 부근의 Urbach tail의 기울기 변화가 거의 없는 특성을 보였다. 이는 이온빔의 조사로 구조적인 무질서가 증가된 것으로 사료된다. 그림 7은 negative-type ion resist로 이용될  $Ag / Se_{75}Ge_{25}$  이중층 구조 박막의 이온빔 조사 (dose =  $9.3 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>) 전후의 흡수계수로 이온빔이 조사된 경우 흡수계수의 증가를 보였으며 이는 그림 6의 positive-type ion resist의 경우에 비해 전체적으로 높은 값이다.

그림 8은 식(7)에 의해 구해진  $Se_{75}Ge_{25}$  박막의 흡수계수를 식(2)에 대입하여 그린 그림으로 광흡수단 Ego를 외삽으로 구할 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 as 상태의  $Se_{75}Ge_{25}$  박막의 Ego가 약 1.9eV의 값을 보였고  $9.3 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup> (이것은 13.4 J/cm<sup>2</sup>에 대응)의 dose를 조사한 박막의 경우 약 0.3 eV정도 장파장으로 이동한 흑화(DARKENING) 효과를 보였는데 이는 K.L.Chopra등(17)이 유기 효과를 높이기 위해 80%도 증착한  $Se_{75}Ge_{25}$  박막을 50keV,  $2 \times 10^{15}$

$He^{+}$ 이온으로 조사(16 J/cm<sup>2</sup>)했을 때 얻은 변화 값(0.2 eV)보다 큰 값이다. 이러한 흡수단의 변화는 Se-Ge의 미세구조의 재배열 (Microstructural Rearrangement)과 관련된 더 단거리 질서 (Short Range Order) 내의 변화는 화학적 결합에 영향을 미치고 이것이 노출된 영역의 화학적 용해(Dissolution)에 관련되어 선택적 식각을 가능하게 한다.

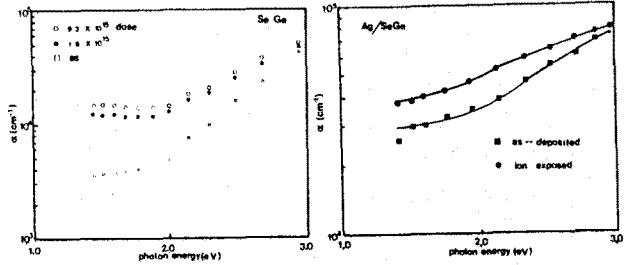


그림 6 :  $Se_{75}Ge_{25}$  박막의 이온빔 조사에 따른 흡수 계수  
 그림 7 :  $Ag/Se_{75}Ge_{25}$  이중층 박막의 이온빔 조사에 따른 흡수 계수

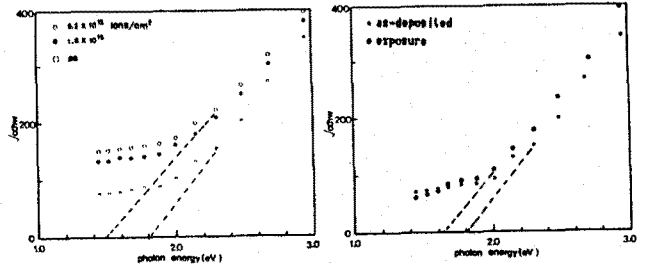


그림 8 : 이온 유기된  $Se_{75}Ge_{25}$  박막의 photon 에너지에 따른  $(\alpha h\nu)^{1/2}$   
 그림 9 : 광 유기된  $Se_{75}Ge_{25}$  박막의 photon 에너지에 따른  $(\alpha h\nu)^{1/2}$

c)  $Se_{75}Ge_{25}$ 의 광 유기 효과

그림 9는  $Se_{75}Ge_{25}$ 에 대한 광노출(16mW/cm<sup>2</sup>) 전 후의 흡수계수를 식(2)에 대입하여 그린 그림으로 노출 시간은 positive의 경우 150분으로 하였으며 이는 144 J/cm<sup>2</sup> ( $4.5 \times 10^{20}$  photons/cm<sup>2</sup>)의 입사 에너지에 대응되는 값이다. 그림에서 보는 바와 같이 광노출 후의 흡수단이 장파장으로 이동(약 0.15 eV)하는 광흑화 (PHOTODARKENING) 현상이 발생함을 알 수 있는데, 이 흡수단의 이동은 이온빔 조사에 의한 값의 반에 해당하는 값으로, 이온빔 조사에 의한 물질의 물리적변화의 정도가 더 큰 에너지를 갖는 광조사에 의한 변화정도 보다 더 큰 값을 보인다. 따라서, 비정질  $Se_{75}Ge_{25}$  박막은 광에 대하여 민감한 특성을 갖지만 그 보다 이온빔 조사에 더욱 민감한 특성을 보임을 알 수 있다.

#### 4. $Se_{75}Ge_{25}$ 박막의 x-선 회절 (XRD)

그림 10은 열 증착으로 제작한  $Se_{75}Ge_{25}$  박막의 이온빔 조사 전 후의 x-선 회절 패턴으로 as 상태는 비정질 상태임을 확인 할 수 있으며, 이온 빔 조사 후, 어떠한 peak도 관찰할 수 없으며 단지 약간의 세기만이 변화됨을 볼 수 있다 따라서 앞에서 고찰한 바와 같이  $Ga^{+}$ 이온은 박막의 어떠한 결정력으로써의 역할을 하지 못하며 오히려 무질서도를 증가시키는 역할을 하는 것으로 사료되며  $Ga^{+}$  이온빔 조사에 의한 구조적 변화에 대한 Mechanism 해석을 위해 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

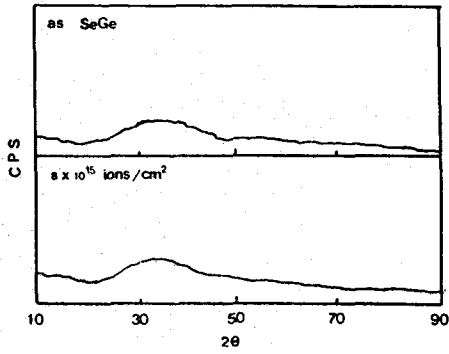


그림 10:  $\text{Se}_{75}\text{Ge}_{25}$  박막의 이온빔 조사 전 후의 XRD 패턴.

#### IV. 결 론

\*  $\alpha\text{-Se}_{75}\text{Ge}_{25}$  무기질 박막을 FIB 리소그래피 레지스트로 이용하는 경우, 유리질 천이온도  $T_g$ 를 DSC와 DTA로 분석한 결과 약  $220^\circ\text{C}$ 로 높기 때문에 반도체 제조 공정상 발생하는 열에 대한 효과를 무시할 수 있으며, 열중착된 박막의 AES를 통한 조성 분석 결과 bulk의 조성이 거의 박막 상태로 전달되는 특성을 얻었다. 또한 열중착이나 전자빔, Sputtering으로 제작되므로 Spinner로 제작되는 일반 레지스트에 비해 균일한 박막을 얻을 수 있다.

\* 이온빔 조사에 의한 흡수단의 변화( $0.3\text{eV}$ )가 광조사에 의한 변화( $1.5\text{eV}$ ) 보다 약 2배 정도 큰 값을 얻었으며, Chopra 등의 결과( $2.0\text{eV}$ ) 보다 크므로 이에 상응하는 구조적 변화가 발생함을 고려할때, 높은 화학적 Etch Selectivity를 가질 것으로 사료 된다. 흡수단 부근의 Urbach Tail의 기울기와 XRD 분석 결과를 종합해 보면 이온빔 조사는 박막의 무질서도의 증가와 관련된 것으로 평가할 수 있다.

\*  $\text{Ag} / \text{Se}_{75}\text{Ge}_{25}$  구조 박막은 광에 대한 높은 흡수 계수를 나타내었으며 이온빔 조사에 의해 더욱 높은 값을 얻을 수 있다. 이온빔 조사에 의한 광 흡수 계수의 증가는 Ag의 SeGe층으로의 doping에 의한 것으로 예견할 수 있는 데 이에 대한 구체적인 Mechanism 연구가 진행 중이며, 또한 FIB lithography는 maskless기술이기 때문에 기관으로의 implantation이 문제가 된다. 이 문제를 해결하는 하나의 방법이 레지스트의 두께를 이온의 침투 범위보다 크게 형성시키는 것으로 이에 대한 조사가 현재 진행되고 있다.

#### 참 고 문 헌

- 1) G.R.Fuller, Solid State Tech.,3,p113,1987
- 2) F.J.Hohn, J.Vac.Sci.Tecnol.,B7(6),p1405,1989
- 3) B.Singh et al, Appl.Phys.lett.,41(10),p1002,1982
- 4) K.D.Kolwicz et al,J.Electrochem.Soc,127,p135,1980
- 5) SPIE's 1988 Santa Clara Symposium on microlithography, x-ray, Feb.1988
- 6) R.L.Kubena, J.Vac.Sci.Tecnol.,B7(6),p1798,1989
- 7) N.Koshida et al,Jap.J.of Appl.Phys,29(10),p2299,1990
- 8) K.Balasubramanyam et al, J. Vac. Sci. Technol., 19(1), p18, 1981
- 9) W.Chu et al, J.Vac.Sci.Technol.,B(7),p1583,1989
- 10) M.A.Gesley, J.Vac.Sci.Tecnol.,B(6),p2014,1988
- 11) K.Kurihara, J.Vac.Sci.Technol.,B3(1),p41, 1985
- 12) H.Nagai et al, Appl.Phys.Lett., 28(3),p145,1976
- 13) D.J.Elliott,"Microlithography Processes Technol.for IC Fabrication",McGraw-Hill Book Co.,pp.157-158,1986
- 14) A.Yoshikawa et al, Electron.Lett.,15,p449,1979
- 15) B.Singh, Solid State Comm.,29,p167,1979
- 16) 정홍배, 대한전기학회 논문지,36(2),p50,1987
- 17) K.L.Chopra et al,Appl.Phys.Lett.,40(5),1,p426,1982
- 18) L.E.Davis et al,"Handbook of Auger Electron Spectroscopy" Physical Electronics Division, Perkin-Elmer Co.,pp 107-115,1978