

## The Numerical Analysis of Ion Implantation in Amorphous Chalcogenide Thin Film

김민수, 이현용, 정홍배  
광운대학교 공과대학 전자재료공학과

### 서 론

microfabrication을 위한 집속 이온빔의 이용성이 점차 현실화되고 있으며 차세대 256M 급 소자의 개발에 대한 최선의 기구로 특히, 집속이온빔(focused ion beam:FIB) 리소그라피에 대한 관심이 집중되고 있다. 리소그라피 기술의 선두 주자인 광 리소그라피는 이미 분해능의 한계를 보이고 있으며 다중레지스트(multi-layer resist : MLR), eximer 레이저 리소그라피 및 PSM(phase shift mask) 등의 응용 기술을 통해 활로를 찾고 있으며, 소프트 x-선 리소그라피는 CSR(compact storage ring)에 의한 synchrotron radiation 의 실용화와 더불어 관심이 높아지고 있다. maskless 공정이 가능한 전자빔 리소그라피와 집속 이온빔 리소그라피에 있어서 전자빔에 비하여 이온빔의 이용은 1000Å 보다 훨씬 작은 근접효과(proximity effect), 레지스트의 높은 감도(sensitivity) 그리고 이온경로(ion trajectory)에 대한 거의 일정한 에너지 흡수등의 장점이 있으며, 적절한 레지스트의 선택에 따라 분해능(resolution) 및 대비도(contrast)의 향상을 가져올 수 있다. 그러나, 이온주입과 기본적 이론을 같이하는 이온빔 리소그라피 기술은 높은 에너지의 이온빔이 기관 위에 형성된 레지스트에 직접 노출되는 경우 기관으로의 이온투과에 의한 기관 훼손이 문제가된다. 이를 최소화하는 방안으로 레지스트의 두께를 이온투사범위보다 크게하는 방안등이 제시되었다.[1] 앞 선 논문에서 비정질 칼코게나이드  $Se_{100-x}Ge_x$  ( $10 \leq x \leq 30$ ) 박막 중에서 광학적인 구조 변형을 할 경우에 최대의 화학적 변화를 가지는  $a-Se_{75}Ge_{25}$  와 negative 레지스트 특성을 나타내는  $Ag/a-Se_{75}Ge_{25}$  박막을 선택하여 그의 기본적 물성을 고찰하고 LMIS Ga<sup>+</sup> 이온빔 조사시 발생하는 박막의 이온유기변화를 고찰하여 FIB에의 이용 가능성을 타진한 바 있으며[2], 본 연구에서는 Ar<sup>+</sup>, Si<sup>++</sup> 및 Ga<sup>+</sup> 을 이온원으로 하여 이온 정지력, 이온범위, 박막 안으로 주입된 이온 농도분포 및 이온투과계수 등을 설명할 수 있는 모델을 설정하고 여러 종류의 이온 에너지 범위와 입사 이온 dose의 함수로 이온 레지스트로서의 파라미터를 얻기위하여 컴퓨터 계산을 수행하였다.

### MODEL의 설정 및 결과

고체내에 입사된 이온은 전자충돌과 핵충돌의 서로 독립된 정지 작용에 의해 에너지를 잃고 정지하게 되며, 비교적 무거운 이온의 산란 과정은 2체(2-body)충돌 근사를 이용하고 고전적 탄성충돌 모델을 기초로하여 구할 수 있다. 핵산란단면적  $\sigma_N$ 은 핵충돌에 의한 고체에 전달된 에너지  $T_N$ 의 적분함으로 표현되며, 1회 핵충돌에 의한 평균 전달에너지와 단위길이당 핵에너지손실을 얻을 수 있다. 그림1은 Si<sup>++</sup>, Ar<sup>+</sup> 및 Ga<sup>+</sup> 이온빔 조사시의 입사 에너지 변화에 따른  $a-Se_{75}Ge_{25}$  박막내의 핵(N)에너지손실과 전자(e)에너지손실  $-(dE/dx)_{NE}$  -로서 입사이온의 질량 증가에 따라 핵정지 성분은 비례적특성을 보이지만 전자정지 성분은 단순관계를 갖지않으며 Si<sup>++</sup>, Ar<sup>+</sup> 및 Ga<sup>+</sup> 이온에 대하여 각각 80, 125, 500 [keV] 미만의 에너지에 대하여 핵정지성분이 우수한 특성을 갖는다. 또한, 전자와 핵 성분을 합한 total 에너지손실은 전체에너지 범위에 걸쳐 비교적 일정한 크기를 보이며 이러한 특성이 실제 리소그라피 특성에서 장점으로 작용하게된다.

입사 이온이 박막에 수직 입사되어 에너지를 전달하고 정지하는 경우, 정지된 입사이온의 위치는 수직방향에 대하여 어느정도 벗어난다. 이때 이온이 총 이동한 거리를 total range R로, 수직방향의 거리를 projected range Rp로, 수직 방향과 수평방향의 struggling을 각각  $\Delta R_p$  와  $\Delta R_s$  로 표현한다.  $R_p$ 와 R간의 관계는 핵정지력이 주가 되는 경우  $R/R_p = 1 + b \cdot M_2/M_1$  로 표현되는 Schiott의 실험식에 대하여  $b=1/3$ 을 만족하며 전자정지력이 주가되는 경우  $b$ 가  $1/3$  보다 작은 값을 갖는다.[3]

또한, 전자정지력이 미약한 경우  $2.5 \Delta R_p = 1.1 R_p \cdot 2(M_1 M_2)^{1/2} / (M_1 + M_2)$ 의 관계를 만족하고,  $\Delta R_p$ 와  $\Delta R_s$ 의 관계는 Furukawa등의 실험결과를  $M_2/M_1$ 의 값에 따른 값으로 전환하여 추정이 가능하다.  $a-Se_{75}Ge_{25}$ 와 같이 박막의 조성이  $A_m B_n$ 인 이고 에너지전환인자  $C_E$ 가 서로 유사한 경우 두 구성원자에 대한 정지력은 같은 의존성을 보이므로 분자당 산란단면적 및, R은 쉽게 얻을 수 있다.[4]

그림2는 Si, Ar 및 Ga 이온 입사 에너지 변화에 따른  $a-Se_{75}Ge_{25}$  이온 레지스트에 대한 Rp 및  $\Delta R_p$ 의 계산값이다. 그림에서 보는 바와 같이 80keV Ga<sup>+</sup>에 대해  $R_p$ 는 0.0425 [ $\mu m$ ]이고  $\Delta R_p$  은 0.020 [ $\mu m$ ]이다.

주입된 이온에 대한 레지스트 내에서의 농도 분포는 대칭 가우시안 근사 (SGA : 2-moments) 와

비대칭 Peason 근사 (APA : 4-moments) 로 대별되며, 레지스트 구성 원자와 입사 이온의 질량이 유사한 경우는 SGA와 PAA의 profiles이 유사한 특성을 보인다. 그림 3(a)는 Ga<sup>+</sup> 이온 (Dose =  $1 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ )이 조사된 경우의 a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> 레지스트 깊이에 따른 이온 농도 분포이고 그림3(b)는 a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> /Si 구조안으로 주입된 Ga이온의 농도 분포로 이때의 a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> 두께는 0.118μm이며 이온투과율이 10<sup>-4</sup>에 대응된다.

### 참고 문헌

- [1] J.S.Huh et al, J.Vac.Sci.Technol., B9(1),JAN/FEB. p173 (1991)
- [2] 정홍배의 6인, 대한전기학회 학술발표논문개요집, (1992/8)
- [3] P.Jespersgard and J.A.Davis , Can.J.Phys.,45,p2983, (1967)
- [4] S.Furukawa et al, "Ion Implantation in Semiconductor", JSPS,Kyoto,1972,p73

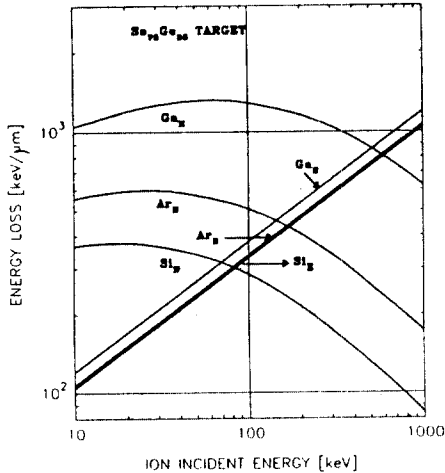


그림1. Si<sup>++</sup>, Ar<sup>+</sup> 및 Ga<sup>+</sup> 이온빔 조사시의 입사 에너지 변화에 따른 a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> 박막내의 에너지손실

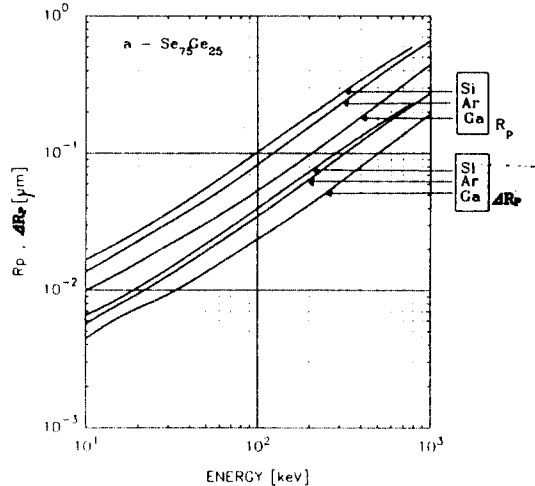


그림2. Si<sup>++</sup>, Ar<sup>+</sup> 및 Ga<sup>+</sup> 이온 에너지 변화에 따른 a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> 박막의 Rp 및 ΔRp의 계산값

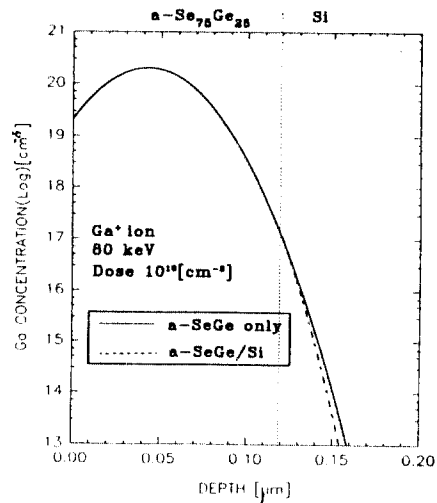
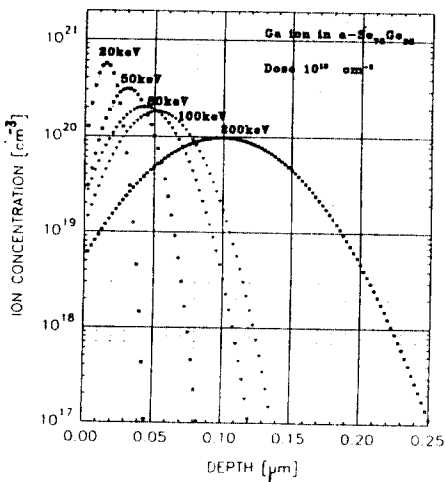


그림3. Ga<sup>+</sup> 이온 (Dose =  $1 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ )이 조사된 경우의 (a) a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> 와 (b) a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> /Si 구조에서의 이온 농도 분포