

비정질 Se-Ge 박막으로의 LMIS Ga⁺ 이온 침투현상

이 현 용*, 정 흥 배
(광운대학교 전자재료공학과)

The penetration phenomena of LMIS Ga ion into amorphous Se-Ge thin film.

Hyun-Yong Lee, Hong-Bay Chung
(Dept. of Electronic Materials Eng. KwangWoon Univ.)

Abstract

An amorphous $Se_{75}Ge_{25}$ thin film as inorganic resist for the focused ion beam lithography(FIBL) is investigated. This film offers an attractive potential alternative to polymer resists because of a number of advantages, such as the possibility of preparing physically uniform films of thickness as small as 200Å and obtaining both positive and negative resist action in the same material, compatibility with dry processing, the sensitivity on optical, e-beam and ion beam exposure, the high-temperature stability, etc. In previous paper, the defocused ion beam-induced characteristics in a- $Se_{75}Ge_{25}$ film has been propose. Practically it is necessary to know the relation with resist and source ions. For the purpose, the ion stopping power, the ion projected range and ion transmission efficiency are studied.

In this paper, the theoretically calculated values of parameters are presented and compared with theory.

1. 서 론

1980년대 중반 이후 국내 반도체 산업은 ULSI 시대로 접어들었고 16M급 이상인 sub-half micron의 미세 패턴을 전달하기 위해서 정확성과 비등방성식각(anisotropic etching) 방법이 절실이 요구되고 있다. 특히, FIB를 이용한 Sub-micrometer 반도체 응용기술에 대한 관심이 높아지고, 256M 및 1G DRAM급 소자 개발의 유일한 수단으로서의 FIB를 이용한 리토그래피 기술의 중요성은 매우 크다. 이에 우리는 다년간 연구한 비정질 칼코게나이드 박막중 광,전자빔 및 이온빔에 우수한 감도를 보이고 건식 식각공정에 대해 우수한 특성을 가지는 Se-Ge박막을 FIB resist로 이용하기 위하여 defocused 이온빔 조사시의 레지스트의 기본적 이온빔 유기 특성을 발표한 바 있다[1].

Se-Ge계 박막은 그 조성이 $Se_{75}Ge_{25}$ 인 경우 입사 에너지에 대하여 반응성이 가장 우수한 posi-type 레지스트 특성을 보이는 반면 Ag를 도포시킨 $Ag/Se_{75}Ge_{25}$ 의 이중층의

경우는 에너지 유기현상에 의하여 nega-type 레지스트 특성을 보인다[2]. 본 논문에서는 비정질 Se-Ge 이온 레지스트의 FIB조사에 따른 이론적 해석에 목적을 두었다.

적합한 모델들을 설정하고 computer calculation을 통하여 여러 종류의 LMIS Ga 이온 가속에너지 및 dose변화에 대한 $Se_{75}Ge_{25}$ 및 $Ag/Se_{75}Ge_{25}$ 레지스트의 이온 정지력, ion range, straggling, implanted ion concentration 및 ion transmission 계수등을 추정, 실제 공정상의 여러 문제점들을 제거할 수 있는 레지스트 parameter를 구하였다. 또한 이러한 조건들을 종합하면 임계 dose와 비교하여 리토그래피 패턴을 예상할 수 있다.

2. 모델 설정 및 결과

Ga⁺ LMIS로 부터 가속되어진 집속이온빔은 레지스트의 핵 및 전자들에 자신의 에너지를 전달하고 정지하게 된다. 이때 정지력은 Coulomb potential $V(r)$ 의 함수로 전자에 의한 screen effect를 고려하여 screening 함수 $\phi(x)$ 를 도입 수정하여야 하며, $\phi(x)$ 는 이차 미분 방정식의 해를 구하여 얻을 수 있으며 정확한 수학적인 식은 Moliere approximation을 이용하였다. LSS[3]는 $V(r)$, scattering parameter $t^{1/2}$ 와 목록화된 universal scattering 함수 $f(t^{1/2})$ 를 이용 핵 정지력에 대한 미분유효 cross-section($d\sigma$)을 계산하여 일반화 시킨 energy(ϵ), length(ρ)를 제시하였다. 이에 $f(t^{1/2})$ 와 $t^{1/2}$ 의 관계는 Winterbon 근사식[4]을 이용하여 단순화시켰다. 또한 전자에 의한 정지력은 매우 높은 에너지에서는 Bethe theory를 만족하여 입사 속도에 반비례하지만 lithography에 이용되는 에너지 영역에서는 자유 전자가 전자가스를 형성하는 것으로 가정된 LSS이론을 만족한다. 그림 1에는 순수 비정질 Se과 Ge을 target으로 하고 Ga이온을 조사한 경우의 입사 에너지에 따른 핵정지력 $Sn(E)$, 전자정지력 $Se(E)$ 및 총 에너지손실 $S(E)$ 를 보였다. R_p 와 total range(R)과의 관계 및 R_p 와 ΔR_p 와의 관계는 Schiott의 실험식등을 이용하여 다음과 같이 표현된다. 또한 이온 빔이 수직입사되고, M1과 M2가 유사한 경우 $\Delta R_{p_2} = \Delta R_{p_1}$ 의 관계를 갖는다.

$$R/R_p = 1 + b M_2/M_1 ; b = 1/3 \text{ ----- (1)}$$

$$\frac{R_p}{\Delta R_p} \cdot \frac{M_1 + M_2}{2(M_1 M_2)^{1/2}} = 0.40 \text{ ----- (2)}$$

조성이 $AmBn$ 인 비정질 레지스트에 대하여 분자당의 정지력은 Bragg's rule에 의해 $\epsilon^{AmBn} = m\epsilon^A + n\epsilon^B$ 로 표현 할 수 있으며 Se과 Ge의 경우는 각각의 두 원자에 대한 정지력이 유사한 특성을 나타내기 때문에 total range는 다음식으로 근사 시킬 수 있다.

$$R = R_A R_B (X_A R_B + X_B R_A)^{-1} \text{ ----- (3)}$$

그림2는 a-Se₇₅Ge₂₅ 과 Ag/Se₇₅Ge₂₅ 레지스트의 이온 범 위등의 추정값이다.

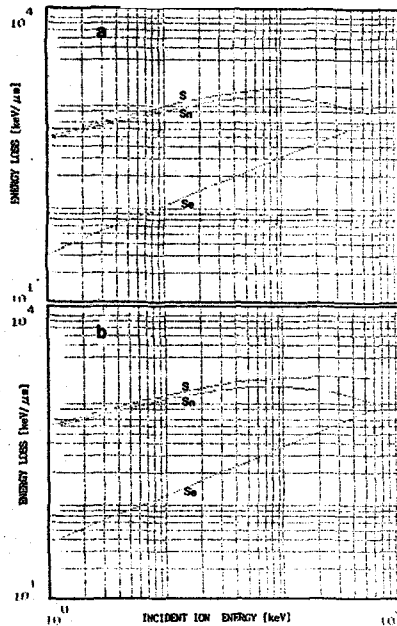


Fig.1 The energy loss for the amorphous a)Se and b)Ge targets
a) Se density ----- 4.25 (g/cm³)
b) Ge density ----- 4.85 (g/cm³)

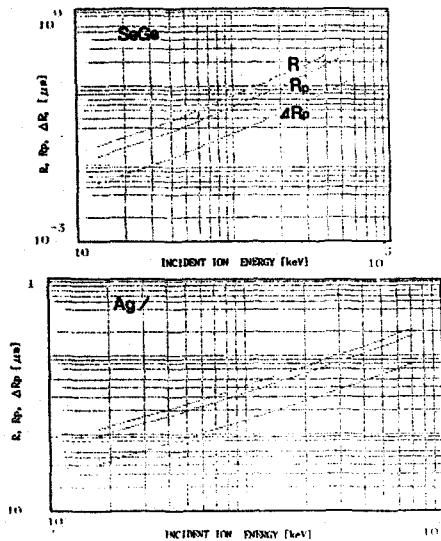


Fig.2 The calculated total range(R),ion range(Rp) and ion straggling(ΔRp) for silver target and amorphous Se-Ge resist

레지스트 내로의 주입된 이온농도 분포에 대한 근사식은 대칭적 가우시안근사(SGA: Symmetrical Gaussian Approximation :2-moments)와 Peason 분포인 비대칭근사(PAA:4-moments)로 대별되며, Target과 입사 이온 mass가 유사한 경우 SGA와 PAA의 profile이 유사한 특성을 보인다.

실제 FIB가 레지스트에 조사되는 경우(Dose=1x10¹⁵, 80keV), 이온농도 N(x,y)는 식(4)로 표현될 수 있다.

$$N(x,y) = \frac{N(x)}{2} \text{Erfc} \frac{y-a}{2^{1/2} \Delta R} - \text{Erfc} \frac{y+a}{2^{1/2} \Delta R} \text{ --- (4)}$$

빔 반경을 0.1 μm로 가정한 경우 a-Se₇₅Ge₂₅ 레지스트 내의 이온 분포를 그림3에 나타내었으며, 입사 이온 빔의 대부분을 흡수하고 기관으로의 원하지 않는 이온의 주입을 최소로 하기위해 이온 투과율 T가 10⁻⁴되는 두께를 레지스트의 최소 두께로 정하였다.

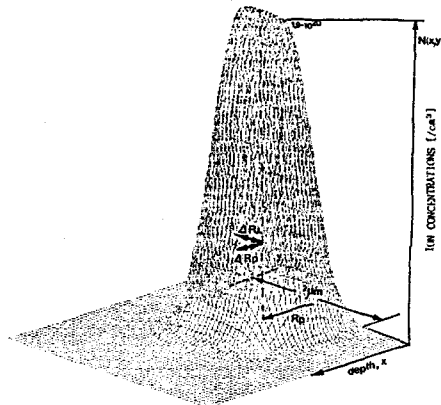


Fig.3 The theoretical 3-Dim ion concentration distribution in a-Se₇₅Ge₂₅ resist (density = 4.4)
----- for 80 keV acceleration energy
R=0.047 (μm), Rp=0.0221 (μm)

그림4는 a-Se₇₅Ge₂₅ 과 Ag/Se₇₅Ge₂₅ 레지스트의 단위 면적당 이온 투과를 나타내었다.

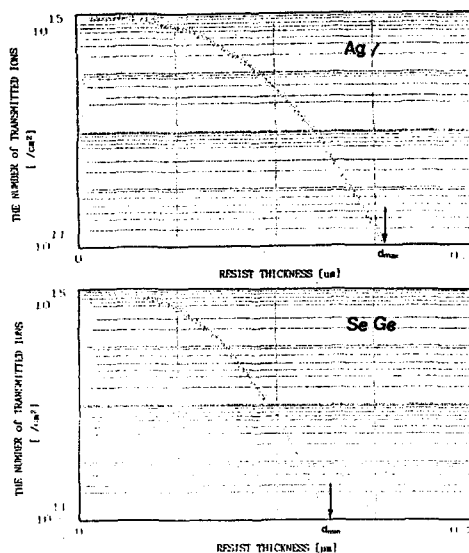


Fig.4 The total number of transmitted ions per unit area against a-Se₇₅Ge₂₅ Ag thickness (80 keV, Dose=10¹⁵)

3. 결 론

a-Se₇₅Ge₂₅ 레지스트 내의 Ga이온이 조사된 경우의 Rp 및 ΔRp는 다음 표와 같다.

표 1. a-Se₇₅Ge₂₅ 레지스트내의 Ga 이온 (Dose = 1 x 10¹⁶) 이 조사된 경우의 Rp와 ΔRp.

ENERGY[keV]	Rp[um]	ΔRp[um]
50	0.031	0.0139
70	0.047	0.021
100	0.057	0.025
150	0.080	0.036
200	0.1	0.045

FIB 리토그래피 기술은 높은 에너지의 이온빔 조사로 인한 기판으로의 원하지 않는 이온의 주입이 문제가 되기 때문에 a-Se₇₅Ge₂₅에 대하여 T=10⁻⁴를 만족하는 두께 조건(Rp + 4ΔRp)을 레지스트의 최소 두께로 선택할 경우 이 문제를 해결할 수 있을 것으로 사료되며, Ag/Se₇₅Ge₂₅ 레지스트에서 Ag는 마이그레이션이 우수한 물질로 Ag가 충분한 이온빔을 흡수하는 경우 즉 T=10⁻⁴되는 두께를 최대 두께로 선택하였다. development이 일어나는 임계 이온 농도를 구하고 실제의 Rp 및 ΔRp와 이온농도분포함수를 비교하므로써 리토그래피 패턴의 예상이 가능하다.

참고문헌

- [1] 정홍배,이영중,이현용,박태성, 대한전기학회 학술발표논문지,1992(8)
- [2] B.Singh, Solid State Communication, 29,p167,1979
- [3] L. Lindhard, M. Scharff and H. E. Schiott, Mat.Fys.Medd.Dan.Vid.Selsk,Vol.33,No.14,1,1963
- [4] K.B.Winterbon, Mat.Fys.Medd.Dan.Vid.Selsk, Vol.37, No.14(1970)