

# 비정질 $Se_{75}Ge_{25}$ 박막으로의 이온침투 현상 해석

논문  
7-5-4

## An Analysis of the Ion Penetration Phenomena in Amorphous $Se_{75}Ge_{25}$ Thin Film

이현용, 정홍배\*

(Hyun-Yong Lee, Hong-Bay Chung)

### Abstract

The bilayer film of Ag/a- $Se_{75}Ge_{25}$  and the monolayer film of a- $Se_{75}Ge_{25}$  act as a negative-type and a positive-type resist in focused ion beam lithography, respectively. Using a model which takes into account the ion stopping power, the ion projected range, the ion concentration implanted into resists and the ion transmission coefficient, etc., the ion resist parameters are calculated for a broad range of ion energies and implanted doses. Ion sources of  $Ar^+$ ,  $Si^{++}$  and  $Ga^+$  are used to expose resists.

As the calculated results, the energy loss per unit distance by  $Ga^+$  ion is about  $10^3$ [keV/ $\mu m$ ] and nearly constant for all energy range. Especially, the projected range and straggling for 80[keV]  $Ga^+$  ion energy are 0.0425[ $\mu m$ ] and 0.020[ $\mu m$ ], respectively and the resist thickness of a- $Se_{75}Ge_{25}$  to minimize the ion penetration rate into a substrate is 0.118[ $\mu m$ ].

**Key Words(중요용어)** : Focused Ion Beam Lithography(집속이온빔 리소그래피), Inorganic Ion Resist (무기질 이온 레지스트), Ion Range(이온범위), Winterbon Approximation (Winterbon근사), Stopping Power(정지력).

### I 서 론

초미세패턴 형성을 위한 이온빔의 이용성이 점차 현실화되고 있으며 차세대 256M급 소자의 개발에 대한 최선의 기구로서의 집속이온빔(focused ion beam) 리소그래피에 대한 관심이 집중되고 있다. 리소그래피 기술의 선두 주자인 광 리소그래피는 이미 분해능의 한계를 보이고 있으며 다중레지스트(multi-layer resist : MLR), excimer 레이저 리소그래피 및 PSM(phase shift masking) 등의 응용 기술을 통해 활로를 찾고 있으며, 소프트 x-선 리소그래피는 CSR(compact storage ring)에 의한 synchrotron radiation의 실용화와 더불어 관심이 높아지고 있다. maskless 공정이 가능한 전자빔 리소그래피와 집속 이온빔 리소그래피의 경우 전자빔에 비하여 이온빔의 이용은 1000Å 보다 훨씬 작은 근접효과(proximity effect)<sup>1)</sup>, 레지스트의

높은 감도(sensitivity) 그리고 이온경로(ion trajectory)에 대한 거의 일정한 에너지 흡수등의 장점<sup>2)</sup>이 있으며, 적절한 레지스트의 선택에 따라 분해능(resolution) 및 대비도(contrast)의 향상을 가져올 수 있다.

기존의 폴리머 계통의 유기질 레지스트에 비해 무기질 이온 레지스트로서의 비정질 칼코게나이드 박막은 광 이나 전자빔에 비해 이온빔에 대하여 감도가 우수할 뿐 아니라<sup>3,4,5)</sup> 패턴 형성시의 분해능 및 대비도의 값이 현저히 두드러진 특성을 보여 왔다.<sup>6,7)</sup>

그러나, 높은 에너지의 이온빔이 기관 위에 형성된 레지스트에 직접 노출되는 경우 기관으로의 이온투과에 의한 기관 훼손이 문제가 된다.<sup>8,9)</sup> 이를 최소화하는 방안으로 레지스트의 두께를 이온투사 범위 보다 크게하는 방안이 제시되었다.<sup>9)</sup> spin-coated 폴리머의 경우는 공정상 많은 휘발성 용매를 포함하기 때문에 진공상태의 공정한 전자빔 및 이온빔 리소그래피에 대하여 부적합한 특성을 보이는 반면 무기질 레지스트의 경우 특히 비정질 Se-Ge박막을 이용하는 경우 전자빔 이나 열에 의

\* : 광운대학교 공과대학 전자재료공학과

접수일자 : 1994년 2월 15일

심사완료 : 1994년 6월 16일

한 진공증착으로 형성하기 때문에 미세선폭조절이 용이하며 레지스트 변형온도인 유리질전이온도  $T_g$ 가  $220^\circ C$  정도로 높기 때문에 반도체 제조공정상의 열에 의한 열화를 제거할 수 있으며,<sup>12,13</sup> 고분해능을 얻기에 충분히 dense하고, 이온정지력이 비교적 크기 때문에 기관으로의 원하지 않은 이온 침투에 의한 기관 훼손을 줄일 수 있으며 높은 영상대비도(aspect ratio)를 얻기 위한 효율적인 방법인 얇은영상(shallow imaging)형성<sup>10</sup>이 가능하다.

또한, 일반 폴리머 레지스트의 경우 입사이온이 레지스트의 전체 두께를 노출하여야 하는 반면  $Ag/a-Se_{75}Ge_{25}$  무기질 레지스트의 경우 표면층인  $Ag$ 의 두께만의 노출로 실제 리소그라피 공정이 가능하므로<sup>14</sup> 저에너지 이온빔에 적합한 레지스트로 평가할 수 있다.

앞 선 논문에서 비정질  $Se_{100-x}Ge_x$  ( $10 \leq x \leq 30$ ) 박막 중에서 광학적인 구조 변형을 할 경우에 최대의 화학적 변화를 가지는<sup>11</sup>  $a-Se_{75}Ge_{25}$  와  $Ag/a-Se_{75}Ge_{25}$  박막을 선택하여 그의 기본적인 물성을 고찰하고 LMIS  $Ga^+$  이온빔 조사시 발생하는 박막의 이온유기변화를 고찰하여 FIB에의 이용 가능성을 타진한 바 있으며<sup>13</sup> 본 연구에서는,  $Ga^+$ ,  $Ar^+$  및  $Si^{++}$  이온빔 조사시 레지스트의 이온에너지 손실, 이온침투 범위, 이온농도 분포 및 이온투과율에 대한 모델을 설정하고, 컴퓨터 계산을 수행하여 이온 레지스트 매개변수를 추정하였다.

## II. MODEL 설정 및 해석

### II-1. 에너지 손실(ENERGY LOSS)

레지스트내에 입사한 이온은 전자충돌과 핵충돌의 서로 독립된 정지 작용에 의해 에너지를 잃고 정지하게 된다. 레지스트의 전자와 핵에 의한 단위 길이당 입사 이온의 에너지 손실은 target(레지스트)의 원자밀도를  $N$ 으로,  $S_E(E)$ 와  $S_N(E)$ 을 각각 전자와 핵에 대한 정지력(stopping power) 그리고 초기 입사에너지를  $E$ 로 나타내는 경우 식(1)로 표현된다.

$$-\frac{dE}{dx} = N[S_E(E) + S_N(E)] \quad (1)$$

레지스트내에 비교적 무거운 이온의 산란 과정은 2체(2-body)충돌 근사를 이용하고 고전적 탄성충돌모델을 기초로하여 구할 수 있다. 핵충돌 단면적  $\sigma_n$ 은 핵충돌에 의한 레지스트에 전달된 에너지  $T_N$ 의 적분항으로 표현되며, 1회 핵충돌에 의한 평균 전달에너지와 단위길이당 핵에너지손실은 다음

식으로 표현할 수 있다.

$$\sigma_N(E) = \int_{T_N} d\sigma_N(E, T_N) \quad (2)$$

$$\langle T_N \rangle = \frac{1}{\sigma_N(E)} \int_{T_N} T_N d\sigma_N(E, T_N) \quad (3)$$

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_N = \frac{\langle T_N \rangle}{L_N} = N \int_{T_N} T_N d\sigma_N(E, T_N) \quad (4)$$

여기서 (4)식 우항의 적분항이 핵정지력  $S_N(E)$ 의 일반적 표현식이며 이온의 평균자유행정을  $L_N$ 으로 나타내었다. 또한 (2)식의 핵충돌 단면적은 포텐셜의 함수로서 레지스트 구성 전자에 의한 screening effect를 고려할 경우에 일반 Coulomb potential은 적당한 screening function  $\Phi(r/a)$ 을 도입하여 수정되어야 한다.

$$V(r) = \frac{Z_1 Z_2 q^2}{r} \Phi(r/a) \quad (5)$$

$a$ 는 Bohr 반경( $a_0$ )과 연관되는 screening parameter로 입사이온( $Z_1$ )과 target( $Z_2$ )의 종류에 따라  $0.085a_0(Z_1^{3/2} + Z_2^{3/2})^{-1/2}$ 의 값을 갖는다.  $\Phi(r/a)$ 는 이차 미분방정식의 해를 구함으로써 얻을 수 있다.

LSS<sup>15</sup>는  $\Phi(r/a) = 1/s(a/r)^{s-1}$ 로 표현하고 high energy transfer의 경우는  $s=1$ , low energy transfer의 경우는  $s=2$ 로 해석하였으며, 정확한 수학적 표현식은 Moliere 근사식<sup>16</sup>을 이용한다. 또한, LSS는  $V(r)$ , 산란인자  $t^{1/2}$ 와 목록화된 일반산란함수  $f(t^{1/2})$ 를 이용하여 핵정지력에 대한 유효 미분산란 단면적 ( $d\sigma$ )을 계산해 내고, 무차원의 일반화된 energy( $\epsilon$ ), length( $\rho$ )를 제시하였다.

$$\rho = C_R R = 4\pi a^2 N \frac{M_1 M_2}{(M_1 + M_2)^2} R \quad (6)$$

$$\epsilon = C_E E = \frac{a M_2}{q^2 Z_1 Z_2 (M_1 + M_2)} E \quad (7)$$

$$t = \epsilon^2 \sin^2(\theta_c/2) \quad (8)$$

$$d\sigma = \pi a^2 t^{-1} f(t^{1/2}) dt^{1/2} \quad (9)$$

여기서,  $\theta_c$ 는 center-of-mass system에서의 산란각으로  $\theta_c = 180^\circ$ 인 경우에 전달에너지의 값이 최대값( $T_{max}$ )을 갖으며  $f(t^{1/2})$ 와  $t$ 의 관계는 Winte-

rbon 근사식<sup>17)</sup>을 이용하여 단순화하였다.

$$f(t^{1/2}) = \frac{\lambda t^{1/6}}{[1 + (2\lambda t^{1/3})^{3/2}]^{3/2}}, \lambda = 1.309 \quad (10)$$

위의 식들로부터 핵정지력  $S_N(E)$ 는 최종적으로 식(11)으로 표현될 수 있다.

$$S_N(E) = \int_0^{T_{max}} T_N d\sigma_N(E, T_N) \quad (11)$$

$$= \frac{C_R}{C_{EN}} \frac{1}{\epsilon} \int_0^\epsilon f(t^{1/2}) dt^{1/2}$$

식(11)중의 마지막 적분항  $\frac{1}{\epsilon} \int_0^\epsilon f(t^{1/2}) dt^{1/2}$  이 일반화된 핵정지력 ( $S_N(\epsilon)$ )이다.

전자에 의한 정지력은 매우 높은 에너지에서는 Bethe 이론을 만족하여 입자속도에 반비례적으로 감소하지만 리소그래피에 이용되는 비교적 저에너지 영역에서는 자유전자가 전자 gas를 형성하는 것으로 가정한 LSS 이론을 만족한다. 따라서 전자정지력  $S_E(E)$ 와 일반화된 전자정지력  $S_E(\epsilon)$ 는 각각 식(12)과 식(13)에서처럼 입사 이온의 속도에 비례하는 관계를 나타낸다.

$$S_E(E) = \frac{1}{N} \left( \frac{dE}{dx} \right)_E = K\sqrt{E} \quad (12)$$

$$\left( \frac{d\epsilon}{d\rho} \right)_E = k\sqrt{\epsilon} = S_E(E) \quad (13)$$

이때, K는  $\frac{kC_R}{\sqrt{C_{EN}}}$  이고 k는

$$Z_1^{1/6} \frac{0.0793\sqrt{Z_1}\sqrt{Z_2}(M_1+M_2)^{3/2}}{(Z_1^{2/3}+Z_2^{2/3})^{3/4}M_1^{3/2}M_2^{1/2}}$$

으로 표현되는

비례상수이다.

그림 1은 Si<sup>++</sup>, Ar<sup>++</sup> 및 Ga<sup>++</sup> 이온빔 조사시의 입사에너지변화에 따른 a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> 레지스트내의 핵에너지손실과 전자에너지손실, (dE/dx)<sub>N,E</sub>로서 입사이온의 질량 증가에 따라 핵정지성분은 비례적 특성을 나타내지만 전자정지성분은 단순관계를 갖지 않으며 Si<sup>++</sup>, Ar<sup>++</sup> 및 Ga<sup>++</sup> 이온에 대하여 각각 80, 125, 500[keV] 미만의 에너지범위에서는 핵정지성분이 우수한 특성을 갖는다.

또한, 전자와 핵 성분을 합한 전체 에너지손실은 전체 에너지범위에 걸쳐 비교적 일정한 크기를 보

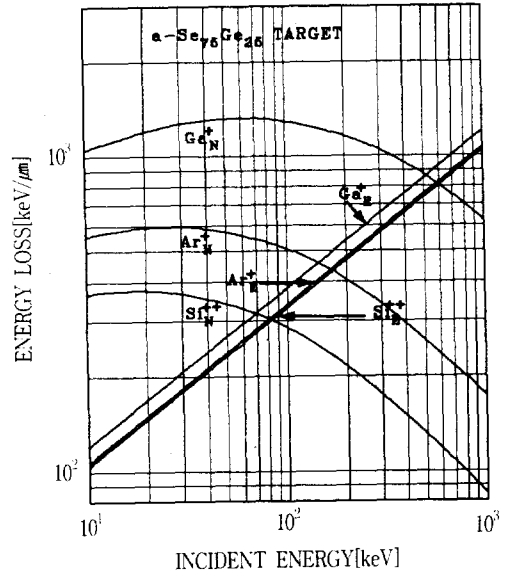


그림 1. Si<sup>++</sup>, Ar<sup>++</sup>, Ga<sup>++</sup> 이온에 대한 비정질 Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> 레지스트의 에너지손실(dE/dx)<sub>N,E</sub>

Fig. 1. The energy loss (dE/dx)<sub>N,E</sub> for Si<sup>++</sup>, Ar<sup>++</sup> and Ga<sup>++</sup> ions implanted in a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> resist.

이며 이러한 특성이 실제 리소그래피 공정중의 장점으로 작용하게 된다.

## II-2. 이온 범위(ION RANGE)

입사이온이 레지스트에 수직입사되어 에너지를 전달하고 레지스트내에서 정지되는 경우, 입사이온의 위치는 수직방향에 대하여 어느정도 벗어난다. 이때 이온이 총 이동한 거리를 total range R로, 수직방향의 거리를 projected range Rp로, 수직 방향과 수평방향의 straggling을 각각 ΔRp와 ΔR<sub>⊥</sub>로 표현한다. R은 입사이온이 레지스트내 평균자유행정(L<sub>N</sub>)을 가지고 이동하는 동안의 에너지손실을 감안할 때 (1)식에 의하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R(E) = \frac{1}{N} \int_0^E \frac{dE}{S_N(E) + S_E(E)} \quad (14)$$

식(14)에서 Rp와 R간의 관계는 핵정지력이 추가되는 경우 R/Rp = 1 + b · M<sub>2</sub>/M<sub>1</sub>로 표현되는 Schiott의 실험식에 대하여 b=1/3을 만족하며, 전자정지력이 추가되는 경우 b가 1/3 보다 작은 값을 갖는다<sup>18)</sup>. 또한, 전자정지력이 미약한 경우 2.5 ΔR<sub>⊥}=1.1R<sub>⊥}= 2(M<sub>1</sub>M<sub>2</sub>)<sup>1/2</sup>/(M<sub>1</sub>+M<sub>2</sub>)의 관계<sup>19)</sup>를 만족</sub></sub>

하며,  $\Delta R_p$ 와  $\Delta R_-$ 의 관계는 Furukawa<sup>20</sup>등의 실험결과를  $M_2/M_1$ 의 값에 따른 값으로 전환하여 추정 가능하다. a- $Se_{75}Ge_{25}$ 와 같이 레지스트의 조성이  $A_mB_n$ 인 레지스트에 대하여 분자당 산란단면적은 (15)식으로 표현되고, 만약 식(7)의 전환인자  $C_E$ 가 서로 유사한 경우 두 구성원자에 대한 정지력은 같은 의존성을 보이므로 R은 (16)식으로 표현된다.

$$\sigma^{AmBn} = m\sigma^A + n\sigma^B \quad (15)$$

$$R = R_A R_B (X_A R_B + X_B R_A)^{-1} \quad (16)$$

$Si^{++}$ ,  $Ar^+$ ,  $Ga^+$  입사 이온 에너지 변화에 따른 a- $Se_{75}Ge_{25}$  레지스트의  $R_p$ 와  $\Delta R_p$ 를 그림 2에 보였으며, 표 1에  $\Delta R_-$ 를 포함첨가하여 나타내었다.

표 1에서 보는 바와 같이 30[keV] 이하의 저에

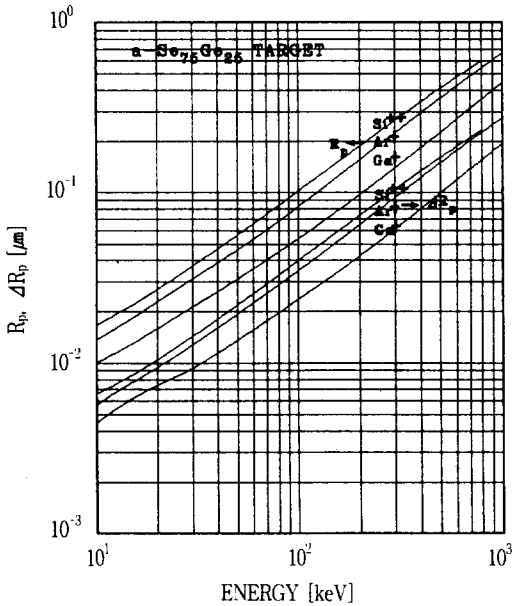


그림 2.  $Si^{++}$ ,  $Ar^+$ ,  $Ga^+$  이온에 대한 비정질  $Se_{75}Ge_{25}$  레지스트의  $R_p$ 와  $\Delta R_p$

Fig. 2.  $R_p$  and  $\Delta R_p$  for  $Si^{++}$ ,  $Ar^+$  and  $Ga^+$  ions implanted in a- $Se_{75}Ge_{25}$  resist.

너지 및  $Ga^+$  이온과 같이 레지스트 구성 원자의 질량과 유사한 경우는  $\Delta R_p$ 와  $\Delta R_-$ 의 값이 비교적 유사한 값을 갖는다.

그림 3은 negative-type Ag/a- $Se_{75}Ge_{25}$  이온레지스트를 고려하여 계산된 Ag 박막의 이온범위 파라미터이다.

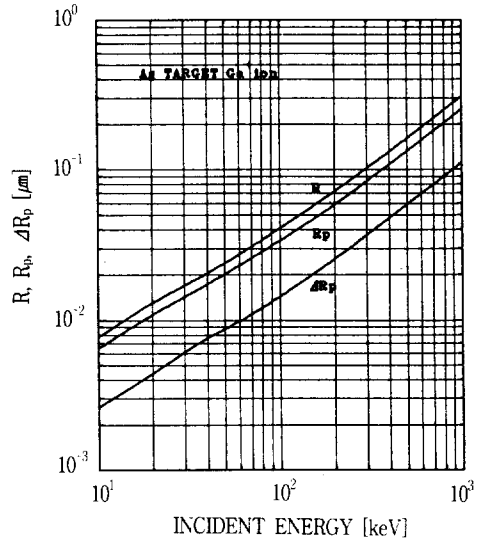


그림 3.  $Ga^+$  이온에 대한 Ag 박막의  $R$ ,  $R_p$ ,  $\Delta R_p$   
Fig. 3.  $R$ ,  $R_p$  and  $\Delta R_p$  for  $Ga^+$  ions implanted in Ag thin film.

$As^+$  이온빔에 대한 Yoshikawa<sup>21)</sup>등이 실험으로부터 얻은 수치와 본 논문의 이론값을 비교하여 표 2에 나타내었다. 이온의 질량이 유사한 것을 고려할 때 적은 오차범위내에서 일치함을 알 수 있다.

### II-3. 이온 농도 분포와 이온 투과율

레지스트 내로 주입된 이온농도 분포에 대한 근사식은 대칭적 Gaussian 근사(SGA)와 비대칭 Peason 근사 (APA)로 대별되며, 레지스트 구성원자와 입사이온의 질량이 유사한 경우는 SGA와 APA의 profiles이 일치한다. SGA를 고려할 때, 만약 back-scattered ion을 고려하지 않으면 레지스트 두께(x)에 따른 주입이온농도  $N(x)$ 는 dose양  $\Phi$ 와  $R_p$  및  $\Delta R_p$ 의 함수로 나타내어 (17)식과 같이 단순화시킬 수 있다.

$$N(x) = \frac{2\Phi}{\sqrt{2\pi} \Delta R_p [1 + \text{erf}(R_p/\sqrt{2} \Delta R_p)]} \exp\left[-\frac{(x-R_p)^2}{2\Delta R_p^2}\right] \quad (17)$$

이때, back-scattered 이온 수는 잃반 수치해석 방법으로는 얻기 곤란하며 Monte-Carlo 계산에 의해 얻을 수 있고, 현재 이에 대한 연구가 진행중이다.

표 1. a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> 박막의 Si<sup>++</sup>, Ar<sup>+</sup>, Ga<sup>+</sup> 이온에 대한 R<sub>p</sub>, ΔR<sub>p</sub>, ΔR<sub>L</sub>의 계산값.

Table 1. Values of R<sub>p</sub>, ΔR<sub>p</sub> and ΔR<sub>L</sub> for Si<sup>++</sup>, Ar<sup>+</sup> and Ga<sup>+</sup> in a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub>

ION	Si <sup>++</sup>			Ar <sup>+</sup>			Ga <sup>+</sup>		
	R <sub>p</sub> [×10 <sup>-2</sup> μm]	ΔR <sub>p</sub> [×10 <sup>-2</sup> μm]	ΔR <sub>L</sub> [×10 <sup>-2</sup> μm]	R <sub>p</sub> [×10 <sup>-2</sup> μm]	ΔR <sub>p</sub> [×10 <sup>-2</sup> μm]	ΔR <sub>L</sub> [×10 <sup>-2</sup> μm]	R <sub>p</sub> [×10 <sup>-2</sup> μm]	ΔR <sub>p</sub> [×10 <sup>-2</sup> μm]	ΔR <sub>L</sub> [×10 <sup>-2</sup> μm]
10	1.70	0.65	0.66	1.33	0.58	0.54	1.01	0.43	0.36
30	3.70	1.37	1.68	3.09	1.30	1.38	2.10	0.93	0.82
50	5.40	2.09	2.61	4.80	1.98	2.13	3.05	1.30	1.16
80	8.37	3.15	4.03	7.00	2.98	3.27	4.43	2.00	1.80
100	10.10	4.00	5.23	8.20	3.38	3.75	5.30	2.32	2.11
150	14.00	6.00	8.22	13.00	5.00	5.68	7.81	3.30	3.07
200	19.10	7.20	10.14	15.00	6.50	7.65	9.92	4.11	3.90

표 2. a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> 레지스트의 주입이온에 따른 R<sub>p</sub>와 ΔR<sub>p</sub>

Table 2. R<sub>p</sub> and ΔR<sub>p</sub> for ions implanted in a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> resist.

resist/ion	E[keV]	R <sub>p</sub> [Å]	ΔR <sub>p</sub> [Å]	
a-Se <sub>75</sub> Ge <sub>25</sub> / As <sup>+</sup> (Exp.)	100	570	250	from Yoshikawa
	200	1040	440	
a-Se <sub>75</sub> Ge <sub>25</sub> / Ga <sup>+</sup> (Cal.)	100	530	232	our result
	200	992	411	

그림 4는 a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> 레지스트에 입사에너지변화에 따른 이온농도분포 이고, 그림 5는 80[keV] 입사에너지, 0.1[μm] 유효빔 반경 및 1×10<sup>15</sup>[cm<sup>-2</sup>] dose의 Ga<sup>+</sup> 이온에 대한 비정질 Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> 레지스트 내로 주입된 3차원 농도 분포이다.

그림 4에서 최대농도의 e<sup>-1/2</sup>배되는 지점의 폭이 2ΔR<sub>p</sub>에 해당되며 그림 5의 최대농도는 N(R<sub>p</sub>)로서 약 1.9×10<sup>20</sup>[cm<sup>-3</sup>]이다.

또한, SGA profile 에서의 이온투과율 T는 레지스트의 두께 (d)에 따라 식 (18)로 표현된다.

$$T = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{d-R_p}{\sqrt{2}\Delta R_p}\right) \quad (18)$$

이때, erfc 함수를 근사시키는 경우, 입사이온의 99.99[%]이상을 흡수(T < 10<sup>-4</sup>에 해당)하기 위한 최

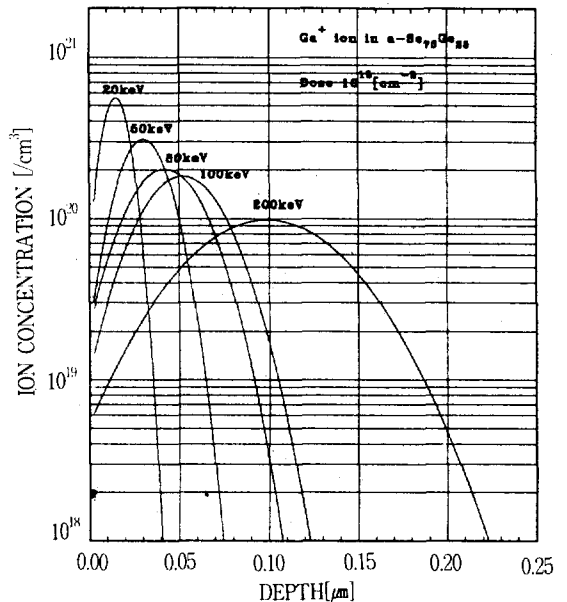


그림 4. 에너지 변화에 따른 비정질 Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> 레지스트내로 주입된 Ga<sup>+</sup>이온 농도 분포

Fig. 4. The concentration distribution for Ga<sup>+</sup> ion implanted into a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> resist with the various energies.

소두께조건은 d<sub>min</sub> = R<sub>p</sub> + 4ΔR<sub>p</sub>로 주어진다. positive-type a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub>의 경우, 기관으로의 원하지 않는 이온의 주입을 최소로하기 위한 조건으로 레지스트 두께를 d<sub>min</sub> 이상으로 하는 것이 바람직하며 80 [keV]의 Ga<sup>+</sup> 이온에 대해 a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub>의 경우 d<sub>min</sub>은 0.118[μm] 이었다.

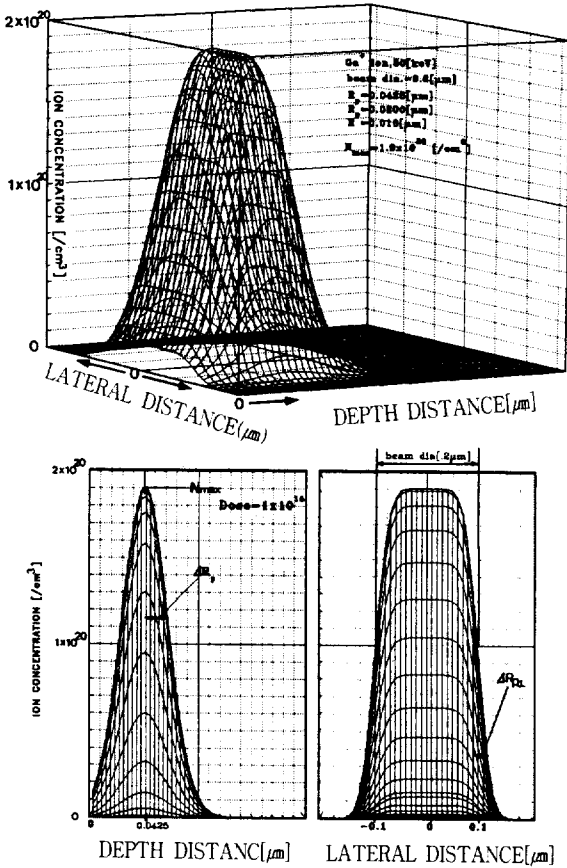


그림 5. 80[keV] 입사에너지, 0.1[μm] 유효빔 반경 및 1×10<sup>15</sup>[cm<sup>-2</sup>] dose의 Ga<sup>+</sup>이온에 대한 비정질  $Se_{75}Ge_{25}$  레지스트 내로 주입된 3차원 농도 분포

Fig. 5. The 3-Dim. concentration distribution for Ga<sup>+</sup> ion implanted into a- $Se_{75}Ge_{25}$  resist at an incident energy(80[keV]), an effective beam radius (0.1[μm]) and a fixed dose(1×10<sup>15</sup>[cm<sup>-2</sup>]).

negative-type Ag/a- $Se_{75}Ge_{25}$  레지스트의 경우 표면층인 Ag의 두께만의 노출로 실제 리소그래피 공정이 가능하므로<sup>14)</sup> 저에너지 이온빔에 적합한 특성을 갖는다. 80[keV] Ga<sup>+</sup> 이온이 Ag 금속층에 조사되는 경우를 가정할 때 d<sub>min</sub>에 해당하는 0.081[μm] 이하의 두께로 Ag박막을 형성할 수 있다.

그림 6은 80 keV의 입사에너지를 갖는 Ga<sup>+</sup>이온을 (a) 0.118[μm] a- $Se_{75}Ge_{25}$ /Si 기판 구조와 (b) 0.01[μm] Ag/0.118[μm] a- $Se_{75}Ge_{25}$ /Si 기판 구조의 target에 조사시키는 경우의 단위 면적당 투과이온 수 변화를 나타내고 있다.

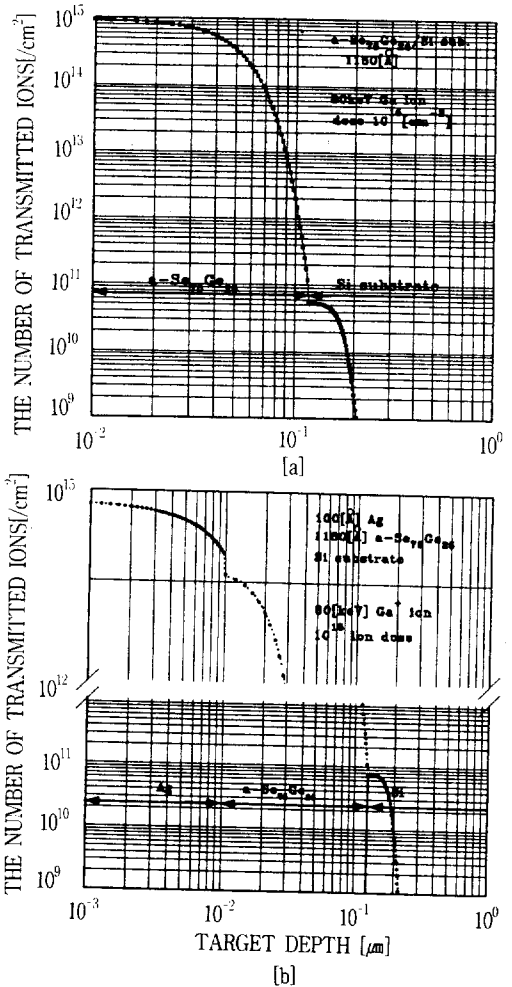


그림 6. 80[keV] 입사에너지, 1×10<sup>15</sup>[cm<sup>-2</sup>] dose의 Ga<sup>+</sup>이온에 대한 투과이온수 변화 (a) 0.118[μm] a- $Se_{75}Ge_{25}$ /Si 기판 구조 (b) 0.01[μm] Ag/0.118[μm] a- $Se_{75}Ge_{25}$ /Si 기판 구조

Fig. 6. A variation on the number of transmitted Ga<sup>+</sup> ions at an incident energy(80[keV]) and a fixed dose(1×10<sup>15</sup>[cm<sup>-2</sup>]) (a) 0.118[μm] a- $Se_{75}Ge_{25}$ /Si substrate (b) 0.01[μm] Ag/0.118[μm] a- $Se_{75}Ge_{25}$ /Si substrate.

그림에서 보는바와 같은 두께 조건에 대하여 Ga<sup>+</sup> 이온의 투과율은 10<sup>-4</sup> 이하이므로 Si 기판으로의 원하지 않는 이온의 침투는 무시할 수 있다.

### III. 결 론

본 연구는 Ga<sup>+</sup>, Ar<sup>+</sup> 및 Si<sup>++</sup> 이온빔 조사시 a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> 및 Ag/a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> 레지스트의 이온에너지손실, 이온침투 범위, 이온농도 분포 및 이온투과율에 대한 모델을 설정하고, 컴퓨터 계산을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Ga<sup>+</sup>, Ar<sup>+</sup> 및 Si<sup>++</sup>, 이온빔에 대하여 각각 80, 125, 500[keV]미만의 에너지범위에서는 핵에 의한 정지성분이 우수하였으며, 전체 에너지손실은 전체 에너지범위에 걸쳐 비교적 일정하였다.
2. 30[keV] 이하의 저에너지 및 Ga<sup>+</sup> 이온과 같이 레지스트 구성원자의 질량과 유사한 경우는  $\Delta R_p$ 와  $\Delta R_L$ 의 값이 비교적 일치하였으며, 80[keV]에 대해 각각 0.020[ $\mu$ m]과 0.018[ $\mu$ m]를 얻었다.
3. a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> 레지스트에 입사에너지 80[keV]의 Ga<sup>+</sup> 이온 ( $\Phi=1 \times 10^{13}$ [cm<sup>2</sup>])이 조사된 경우 최대농도 N(R<sub>p</sub>)는 약  $1.9 \times 10^{20}$ [cm<sup>3</sup>]이다.
4. 레지스트내로 입사이온의 99.99[%]이상을 흡수 (T < 10<sup>-4</sup>에 해당)하기 위한 최소두께조건 d<sub>min</sub> 이상으로 레지스트 두께파라미터를 조절하므로써 positive-type a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub>의 경우 기관으로의 원하지 않는 이온의 주입을 최소화할 수 있다. 80[keV]의 Ga<sup>+</sup> 이온에 대해 d<sub>min</sub>은 0.118[ $\mu$ m]이었다. 저에너지 이온빔에 적합한 특성을 갖는 negative-type Ag/a-Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> 레지스트의 경우, 표면층인 Ag의 두께만의 노출로 실제 리소그라피 공정이 가능하므로 80[keV] Ga<sup>+</sup> 이온이 Ag 금속층에 조사 되는 경우를 가정하면 d<sub>min</sub>에 해당하는 0.081[ $\mu$ m]이하의 두께로 Ag 박막을 형성시킬 수 있다.

### 참 고 문 헌

- 1). R. Speidel and V. Behringer, Proceedings of Microcircuit Engineering, RWTH Aachen, Germany(1979).
- 2). H. Rysel, Adv. Electron. Phys., 58, p191, (1982).
- 3). K. Balasubramanyam, L. Karapiperis and C. A. Lee, "An Inorganic Resist for Ion Beam Microfabrication", J. Vac. Sci. & Technol., 19, p18, (1981).
- 4). A. Yoshikawa, O. Ochi, H. Nagai and Y. Mizushima, "A Novel Inorganic Photoresist Utilizing Ag Photodoping in Se-Ge Glass Film", Appl. Phys. Lett., 29, p667 (1976).
- 5). T. Venkatesan, "The Chemical Reactivity and Lithographic Sensitivity of GeSe Films used as Low Energy Ion Energy Ion Beam Resists", Appl. Phys. Lett., 31, p161 (1977).
- 6). N. Koshida, K. Yoshida and M. Komura, "50-nm Metal Line Fabrication by Focused Ion Beam and Oxide Resists", Japanese J. of Appl. Phys., 30, 11B, p3246 (1991).
- 7). S. Takahashi, M. Ohash and R. Ito, "Sub-100nm Pattern Formation using a Novel Lithography with SiN<sub>x</sub> Resist by Focused Ion Beam Exposure and Dry-Etching Development", J. Vac. Sci. Technol., B11(2), p268 (1993).
- 8). M. A. Gesley, F. J. Hohn and A. D. Wilson, J. Vac. Sci. Technol., B6, p2014 (1988).
- 9). J. S. Huh, M. I. Shepard and J. Melngailis, "Focused Ion Beam Lithography", J. Vac. Sci. Technol., B9(1), JAN/FEB, p173 (1991).
- 10). W. M. Moreau, "Semiconductor Lithography", Plenum, New York (1988).
- 11). 유희관, 허훈, 김영호, 정홍배, "A Study on the Photoinduced Optical Effects of a-SeGe Thin Films", 대한전기학회지, 36(2), p50 (1987).
- 12). A. Yoshikwa, Electron Lett., 15, p449 (1979).
- 13). 이현용, 모연환, 정홍배, "The Optical Characteristics of Amorphous Se<sub>75</sub>Ge<sub>25</sub> Thin Film by the Low-Energy Ion Beam Exposure", 전기전자재료학회지 Vol. 7, No.2, March (1994).
- 14). A. Wagner, D. Barr and R. G. Vadimsky, "Germanium Selenide : A Resist for Low-Energy Ion Beam Lithography", J. Vac. Sci. Technol, 19(4), NOV/DEC, p1363 (1981).
- 15). J. Lidhard, M. Scharff and Schiott, "Range Concepts and Heavy Ion Ranges", Mat. Fys. Medd. Dan. Vidensk. Selsk. 33, 1 (1963).
- 16). C. Leonard, "Fundamental of Surface and Thin Film Analysis" Elsevier Science Publishing Co., p96 (1988).
- 17). K. B. Winterbon and J. B. Sanders, Mat. Fys. Medd. Dan. Vidensk. Selsk., 37(14) (1970).
- 18). P. Jespersgard and J. A. Davis, Can. J. Phys., 45, p2983 (1967).
- 19). H. E. Schiott, Can. J. Phys., 46, p449 (1968).

- 20). S. Furukawa et. al, "Ion Implantation in Semiconductors", JSPS, Kyoto, p73 (1972).  
21). A. Yoshikawa, T. Tamama, Y. Mizushima

and K. Kumo, "Properties of Se-Ge Inorganic Photoresist as An Ion Implantation Mask", Electron. Lett 15, p499 (1979).

저자소개

**이현용**

1964년 3월 14일생. 1987년 광운대 공대 전자재료공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자재료공학과 박사과정.



**정홍배**

1951년 1월 19일생. 1973년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1976년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1983년 미국 M.I.T. 객원교수. 현재 광운대 공대 전자재료공학과 교수.

