

## 건식 열산화로 성장시킨 SiO<sub>2</sub> 박막의 이차전자 방출 특성

정태원 · 유세기 · 이정희 · 진성환 · 허정나 · 이휘건 · 전동렬\* · 김종민

삼성 종합기술원 전자 방출원 연구단, \*명지대 물리학과  
(2000년 6월 18일 접수)

### Secondary electron emission characteristics of a thermally grown SiO<sub>2</sub> thin layer

Taewon Jeong, SeGi Yu, Jeonghee Lee, S.H. Jin, Jungna Heo,  
Whikun Yi, D. Jeon,\* and J.M. Kim

NCRI, Samsung Advanced Institute of Technology, Korea

\*Department of Physics, Myong Ji University, Korea

(Received June 18, 2000)

**요 약** - 열산화시킨 SiO<sub>2</sub> 박막의 두께와 입사 전류의 양에 따라 이차전자 방출 계수를 측정하였다. 930°C에서 열산화시킨 SiO<sub>2</sub> 박막 두께는 5.8 nm, 19 nm, 43 nm, 79 nm, 95 nm, 114 nm였으며 이들의 이차전자의 방출 특성이 박막 두께와 전류량에 따라 변화하는 것을 확인하였다. 박막 두께 43 nm 이하의 얇은 박막에서는 대체적으로 universal curve의 형태를 따르지만 79 nm 이상의 두꺼운 박막에서는 이차전자 방출곡선이 최고점이 2개인 형태로 변하며 그 값도 전반적으로 낮아진다. 또 입사시키는 일차전자 전류의 증가에 대해서도 이차전자 방출곡선이 전체적으로 낮아진다. 이 실험에서 측정된 최대 이차전자 방출 계수는 박막 두께 19 nm, 일차 전자 에너지 300 eV, 일차 전류 0.97  $\mu$ A일 때 3.35를 갖는다. 이차전자 방출계수가 최대인 입사에너지에서 전자의 시료내 침투깊이와 탈출깊이와의 관계식을 통하여 박막 두께를 이론적으로 계산하였으며, 실험값과 비교적 일치하는 것을 확인하였다.

**Abstract** - The secondary electron emission (SEE) yields for the thermally grown SiO<sub>2</sub> thin layers were measured by varying the thickness of the SiO<sub>2</sub> layer and the primary current. SiO<sub>2</sub> thin layers were thermally grown in a furnace at 930°C, whose thickness varied to be 5.8 nm, 19 nm, 43 nm, 79 nm, 95 nm, and 114 nm. When the SiO<sub>2</sub> layers were thinner than 43 nm, it was found that SEE curves followed the universal curve. However, for samples with a SiO<sub>2</sub> layer thicker than 79 nm, the SEE curves exhibited two maxima and the values of SEE yields were reduced. Additionally, as the current of primary electrons increased, the SEE yields were reduced. In this experiment, the maximum value of the SEE yield for SiO<sub>2</sub> layers was obtained to be 3.35 when the thickness of SiO<sub>2</sub> layer was 19 nm, with the primary electron energy 300 eV and the primary electron current 0.97  $\mu$ A. The penetration and escape depth of an electron in the SiO<sub>2</sub> layers were calculated at the primary electron energy for the maximum value of the SEE yield and from these depths, it was calculated that the thickness of the SiO<sub>2</sub> layer.

## 1. 서 론

전자 증폭기는 이차전자의 방출을 유도하여 전자의 개수를 기하급수적으로 증가시켜서 10<sup>3</sup>~10<sup>7</sup>배 수준으로 증폭시켜주는 역할을 한다. 일반적인 전자 증폭기의 내부구조는 유리 구조물과 납유리의 전도층, SiO<sub>2</sub>의 이차전자 방출층으로 구성되어있다. 그러나 열적, 화학적

충격에 대해 취약하고 대면적으로 제작하는데 어려움이 따른다 [1]. 이에 대하여 세라믹 공정 및 액상 코팅 방법을 사용하여 면적에 대한 제약과 복잡한 공정 없이 전자 증폭기를 제작하는 방법을 개발하였다 [2]. 본 논문에서는 새로운 증폭기의 제작에서 가장 중요한 이차전자 방출층의 특성들을 규명하기 위해, 열산화시킨 SiO<sub>2</sub>의 두께 및 전류에 대한 이차전자 방출 특성 분석을 수행

하였다.

이차전자 방출은 1950년대 이후로 다양한 이론적 접근법이 제시되었다. 초기에 Dekker [3]와 Hachenberg, Brauer [4]에 의해 논의되었으며 최근에는 Devooght [5]에 의해서 발전·요약되었다. 본 논문에서는 Shih [6]의 방법을 참조하였다. 이차전자가 방출되는 과정은 3단계로 구분하여 알아볼 수 있다. 첫째, 입사되는 일차전자의 충격에 의한 이차전자의 내부생성. 둘째, 내부 생성된 이차전자의 표면까지의 이동, 그리고 셋째로 고체표면과 진공이 접하는 면에서 전자가 이탈하는 단계이다 [6]. 입사되는 일차전자는 직선 경로로 이동하면서 고체 내부에서 전자나 원자와 충돌하여 이차전자를 생성함으로써 가지고 있던 에너지를 잃는다고 가정한다. 식 (1)은 고체에 입사되는 전자가 깊이에 따라 에너지를 잃는 미분방정식을 나타낸다.

$$\frac{dE}{dx} = \frac{A}{E^n} \quad (1)$$

여기서  $E$ 는 표면에서부터 깊이  $x$ 에 도달한 일차전자의 에너지이다.  $n$ 은 기존 실험을 통해 0.35로 알려져 있으며 [7]  $A$ 는 임의 상수이다.

식 (1)의 적분은 식 (2)와 같으며, 에너지에 대한 해는 식 (3)과 같다.

$$\int_{E_p}^E E^n dE = \int_0^x A dx \quad (2)$$

$$E = [E_p^{n+1} - A(n+1)x]^{\frac{1}{n+1}} \quad (3)$$

여기서  $E_p$ 는 초기 일차전자 에너지이다. 또 식 (2)에 고체내부 전자의 최종에너지를  $E=0$ 으로 놓으면 최대 침투깊이  $R$ 을 식 (4)와 같이 유도할 수 있다.

$$R = \frac{E_p^{n+1}}{(n+1)A} \quad (4)$$

깊이  $x$ 에서 두께가  $dx$ 인 층에서 생성된 이차전자의 개수  $N(x)$ 는 그 층에서의 에너지 손실  $dE$ 를 평균 여기 에너지  $B$ 로 나눈 값과 같다.

$$N(x)dx = -\frac{dE}{B} \quad (5)$$

식 (1)을 통해 식 (5)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N(x) = -\frac{A}{B} \frac{1}{E^n} \quad (6)$$

식 (3)과 식 (4)를 식 (6)에 대입하면 표면에서  $x$ 만큼

깊은 곳에서 생성된 이차전자의 개수를 얻을 수 있다 [8].

$$N(x) = \left( \frac{A}{(n+1)^n} \right)^{1/n+1} \frac{1}{B(R-x)^{n/n+1}} \quad (7)$$

식 (7)은 일차전자가 침투하는 고체 내부의 깊이  $x$ 에 따른 이차전자의 내부생성 개수를 보여준다. 일반적으로 이차전자는 입사된 일차전자가 고체 내에 최대 침투할 수 있는 깊이에서 가장 많이 생성된다고 알려져 있다. 이는 초기의 일차전자의 속도가 빠르기 때문에 전자의 파장이 작아 고체내의 전자와 상호작용이 거의 없어서 이차전자가 발생하지 않는다. 반면에 최대 침투깊이에 임박한 일차전자는 속도가 급격하게 감소하면서 주위 전자와의 상호작용 시간이 증가하여 이차전자의 발생이 많아지는 것이다 [6].

전자의 침투깊이  $R$ 과 내부 이차전자의 탈출깊이  $X$ 를 이용하면 이차전자 방출계수 곡선의 형태를 쉽게 설명할 수 있다 [8]. 일차전자 에너지  $E_p$ 가 매우 낮을 때는  $R \ll X$ 이므로, 이차전자 생성이 작게 발생하지만 생성된 내부 이차전자는 충분히 탈출한다. 이 구간에서는 일차전자 에너지가 증가할수록 내부 이차전자 생성도 증가하므로 이차전자 방출계수도 증가한다. 일차전자 에너지가 매우 높을 때는  $R \gg X$ 이므로, 생성된 이차전자는 주로 고체 내부 깊은 곳에서 생성되며 표면까지 이르는 중 다른 전자와의 충돌에 의해 에너지를 잃고 소멸되는 확률이 높기 때문에 탈출하는 내부 이차전자의 수가 감소한다. 즉,  $R \ll X$ 일 경우, 일차전자 에너지가 증가할수록 이차전자 방출계수는 감소한다.  $R$ 이  $X$ 와 비슷한 경우에는 생성된 이차전자가 대부분 표면으로 탈출하여, 이때 일차전자 에너지 값에서 이차전자 방출계수는 최대값을 갖는다. 결과적으로 에너지에 따른 이차전자 방출계수 곡선은 대부분의 물질에서 공통적으로 소위 universal curve라고 불리는 변형된 종 모양을 나타낸다 [9]. 침투깊이  $R$ 과 탈출깊이  $X$ 에 근거하면 고체의 표면에 대해 입사하는 일차전자의 각도에 대한 이차전자 방출계수의 의존성도 다음과 같이 설명된다. 일차전자가 시료표면의 수직선에 대해  $\theta$ 의 각도로 입사할 때 최대 침투깊이  $R$ 은 표면에 대해  $\cos\theta$ 로 감소한다. 즉, 입사한 거리는 같지만 표면에 대한 깊이는 짧아지므로 탈출할 수 있는 이차전자가 증가하게 된다 [10]. 내부 이차전자가 에너지를 잃는 과정은 금속과 절연체에서 큰 차이를 나타낸다. 금속 내에서는 생성된 이차

전자가 많은 자유전자와 충돌하여 에너지를 소멸할 확률이 매우 높으며 진공으로 방출되기 위한 최소 에너지가 약 10 eV 정도로 높기 때문에 이차전자의 방출계수가 낮다. 반면 절연체에서는 전도대에 전자가 거의 없기 때문에 충돌에 의한 에너지 손실도 적고 이차전자의 방출을 위한 최소 에너지도 수 eV이다. 따라서 절연체의 이차전자 방출 계수가 금속보다 매우 높다 [3].

### 2. 실험 방법

일차전자의 운동에너지 E<sub>p</sub>에 따른 이차전자 방출계수 δ를 측정하기 위해서 그림 1과 같이 측정 장치를 구성하였다. 일차전자의 전류 I<sub>p</sub>는 페러데이 컵에 +100V를 인가하여 미리 측정하였으며, 전자총(Kimball Physics, EFG-7)에서 에너지 값을 변화시키면서 일차전자를 입사시켰고 방출된 이차전자의 양을 전류계(Keithley-2000)로부터 측정하여 이차전자 방출계수를 계산하였다. 일반적으로 방출된 이차전자는 10 eV 미만의 운동에너지를 갖는다. 따라서 이차전자의 재입사를 방지하기 위하여 시료에 -45 V를 인가하였다. 시료는 Si(100 Sb doped n-type) 기판을 930°C에서 5분, 10분, 60분, 240분, 300분, 360분 동안 공기 중에서 열산화시켜 비정질의 SiO<sub>2</sub> 박막을 얻었으며, ellipso-meter(L116B)로 측정된 두께는 5.8 nm, 19 nm, 43 nm, 79 nm, 95 nm, 114 nm이다.

일차전자의 운동에너지는 50 eV~4000 eV 범위에서 단계적으로 증가시켰고, 일차전자 전류는 전자총의 방출 전류를 조절하여 변화시켰다. 일차전자 전류 I<sub>p</sub>는

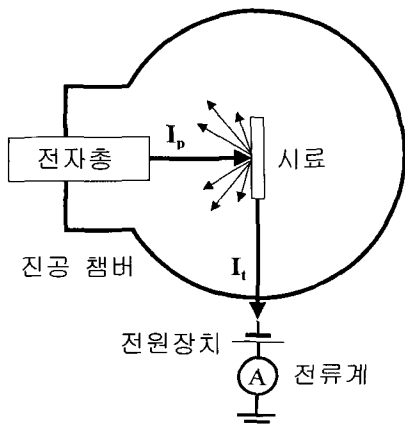


그림 1. 이차전자 방출계수 측정 장치.

0.26 μA, 0.97 μA, 1.64 μA, 5.7 μA 범위에서 사용하였으며 각각에 대하여 이차전자 방출계수를 측정하였다. 전자 beam은 초점을 맞추어 크기를 2 mm로 일정하게 하였다.

이차전자 방출계수의 계산과정은 간략히 다음과 같다. 편의상 전자의 흐름을 양의 값이라고 고려하고 이차전자 방출계수를 계산하였다 [11]. I<sub>p</sub> = I<sub>s</sub> + I<sub>t</sub> 식을 이용하면 이차전자 방출계수 δ는 식 (8)로 나타난다.

$$\delta = \frac{I_s}{I_p} = \frac{I_p - I_t}{I_p} = 1 - \frac{I_t}{I_p} \tag{8}$$

I<sub>s</sub>는 이차전자 전류, I<sub>p</sub>는 일차전자 전류이다. 그리고 I<sub>t</sub>는 시료를 통한 전류이다.

이 실험에서는 식 (8)을 이용하여 이차전자 방출계수를 계산하였으며 SiO<sub>2</sub> 박막의 두께와 일차전자의 전류량에 따른 이차전자 방출계수의 변화를 알아보았다.

### 3. 결과 및 논의

그림 2는 이차전자 방출 계수 δ가 가장 큰 값을 갖는 일차전자 전류 I<sub>p</sub>를 0.97 μA로 고정하고(그림 3참조) 여러 두께의 SiO<sub>2</sub>에 대해 일차전자 운동에너지 E<sub>p</sub>의 변화에 대한 이차전자 방출 곡선을 나타낸 것이다. 이차전자 방출 곡선은 전자의 에너지가 증가함에 따라 완만히 증가하다가 최고점에 도달한 후 계속 감소하는 단순한 형태를 취한다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 43 nm 이하의 얇은 박막에서는 대체적으로 universal curve의 형태를 따른다 [9]. 그러나 79 nm 이상의 박막에서는 이차전자 방출곡선이 최고점 2개를 갖는 형태로 변하며 그 수치도 전반적으로 낮아진다. 또한 두 번째

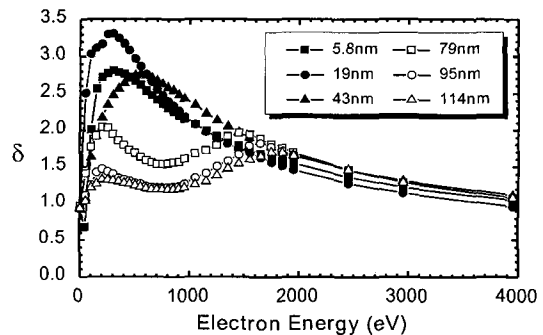


그림 2. 일차전자 전류 I<sub>p</sub> = 0.97 μA에서 SiO<sub>2</sub> 박막 두께에 대한 이차전자 방출계수 그래프.

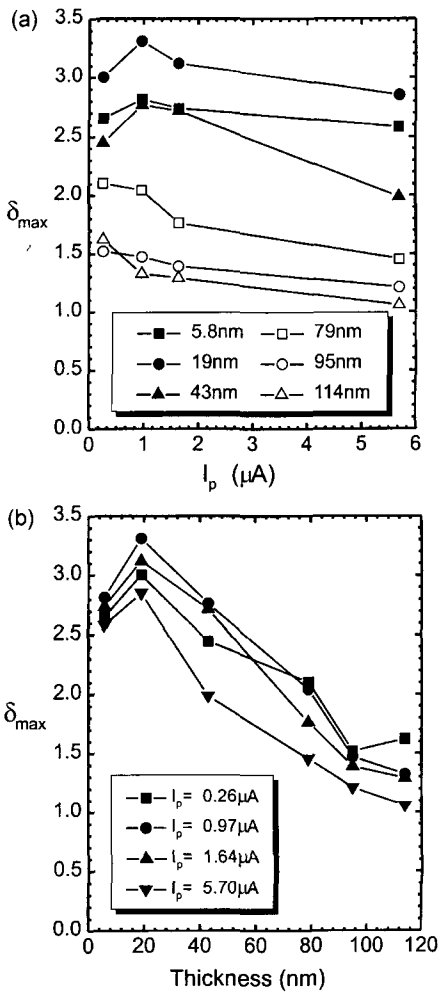


그림 3. 이차전자 방출계수 최대값의 그래프. (a) 일차전자 전류에 대한 이차전자 방출계수 최대값의 그래프, (b) SiO<sub>2</sub> 박막 두께에 대한 이차전자 방출계수 최대값의 그래프.

최고점의 위치도 두께가 두꺼워질수록 높은 에너지 쪽으로 이동한다. 위의 양상은 일차전자 전류 I<sub>p</sub>=0.26 μA, 1.64 μA, 5.70 μA일 때도 같은 방식으로 나타났다.

그림 3은 일차전자 전류별, 열산화시킨 SiO<sub>2</sub>의 두께별 이차전자 방출계수 최대값(δ<sub>max</sub>)의 그래프이다. 그림 3(a)의 그래프를 통해 알 수 있듯이 두께 19 nm일 때 이차전자 방출계수 최대값 δ<sub>max</sub>가 가장 높으며 Ip에 대한 δ<sub>max</sub> 그래프에서는(그림 3(b)) I<sub>p</sub>=0.97 μA일 때 가장 높은 값을 나타낸다. 즉, 이차전자 방출계수 최대값 δ<sub>max</sub>를 나타내는 적정 두께 및 적정 전류가 존재함을 의미한다.

일차전자 운동에너지 E<sub>p</sub> 및 이차전자 방출곡선

(universal curve의 경우)으로부터 최대침투깊이 R과 시료내부 이차전자 탈출깊이 X를 계산할 수 있다 [7, 12].

$$R = \frac{1.15 \times 10^2}{\sigma} E_p^{n+1} \tag{9}$$

$$X = \frac{50.4}{\sigma} E_{pm}^{n+1} \tag{10}$$

여기서 E<sub>p</sub>은 일차전자 에너지(keV), E<sub>pm</sub>은 최대 이차전자를 방출할 때 일차전자 에너지(keV), n은 기존에 발표된 실험값 0.35를 사용한다. σ는 물질의 밀도로써 비정질 SiO<sub>2</sub>의 경우 2.2(g/cm<sup>3</sup>)이다 [13]. 일반적으로 bulk 구조일 경우 이차전자 방출이 최대인 일차전자의 에너지에 따른 침투깊이는 R = 5X로 알려져 있다 [14]. 하지만 박막일 경우 R ≤ 3X로 보고 되었으며 이때 이차전자 방출계수 δ가 가장 높다 [12]. 따라서 E<sub>p</sub>가 E<sub>pm</sub>보다 작은 구간에서 이차전자는 R이 3X보다 작게되므로 E<sub>p</sub>가 증가함에 따라 δ도 증가한다. 또, E<sub>p</sub>가 E<sub>pm</sub>보다 큰 구간에서 이차전자는 R이 3X보다 크게되므로 E<sub>p</sub>가 증가함에 따라 δ는 감소한다. 이를 이용하면 이차전자 방출계수가 가장 높을 때의 입사에너지를 이용하여 R과 3X를 계산할 수 있다. 따라서 δ가 가장 높은 경우의 박막 두께(d)는 식 (11)과 같이 범위에 놓이게 된다.

$$R \leq d \leq 3X \tag{11}$$

식 (11)을 이용하여 계산한 δ가 가장 높은 경우의 예상 박막 두께와 ellipsometer로 측정된 SiO<sub>2</sub> 두께(d<sub>e</sub>)를 표 1에 비교하였다. SiO<sub>2</sub> 박막의 두께가 79 nm 이상인 시료의 경우 2차 최고점을 기준으로 계산 하였으며 다소 차이는 있으나 계산식과 측정값이 비슷한 경향을 갖는 것을 알 수 있다.

SiO<sub>2</sub> 박막 두께 79 nm 이상인 시료에서 일차전자의 입사 에너지가 낮을 경우 이차전자는 대부분 시료 표면을 통해 쉽게 진공중으로 방출하게 되며 방출된 이차전

표 1. SiO<sub>2</sub> 박막 두께의 ellipsometry 측정값과 계산값의 비교

d <sub>e</sub> (nm)	E <sub>pm</sub> (keV)	R <sub>pm</sub> (nm)	3X (nm)
5.8	0.3	10	13
19	0.3	10	13
43	0.55	22	31
79	1.45	86	113
95	1.65	103	135
114	1.75	111	146

자에 의해 표면 전위가 부분적으로 변하게 된다. 이차 전자 방출계수  $\delta$ 가 1보다 큰 구간에서 일차전자가 입사된 부분은 Si를 통한 전하의 공급이 원활치 못해 양전하로 대전이 된다. 그 결과로써 표면에서 방출된 이차전자의 일부가 시료로 재 입사된다 [11]. 따라서 측정되는  $\delta$ 값도 감소하게 된다. 시료의 박막 두께가 두꺼워질수록 Si를 통한 전자 공급이 어려워져 SiO<sub>2</sub> 표면은 더욱 양전하로 대전되며  $\delta$ 값도 더욱 감소하게 된다.

SiO<sub>2</sub> 박막 두께가 79 nm 이상인 경우 E<sub>p</sub>의 증가에 따라 두번째 이차전자 방출 최고점이 나타나게 되며 위치는 오른쪽으로 이동하는 것을 알 수 있다. 이는 입사 에너지의 증가에 따라 일차전자가 Si와 SiO<sub>2</sub> 경계면 근처로 더 가까이 침투하게 되고 이차전자의 발생도 그 깊이에서 가장 많아지며 Si 기판으로부터 전하의 공급이 원활하게 되며 이차전자 방출곡선이 다시 증가하는 것으로 생각된다. 실험 결과를 보면 일차전자가 Si와 SiO<sub>2</sub> 박막 접면에 이르러서 최고점을 갖게 되며 그 이상 입사 에너지가 증가하면 Si 기판으로 일차전자가 더 깊이 입사되어 앞서 식 (9)와 식 (10)에서 알 수 있듯이 경계면 밖으로 이차전자의 방출이 줄어들어  $\delta$ 가 감

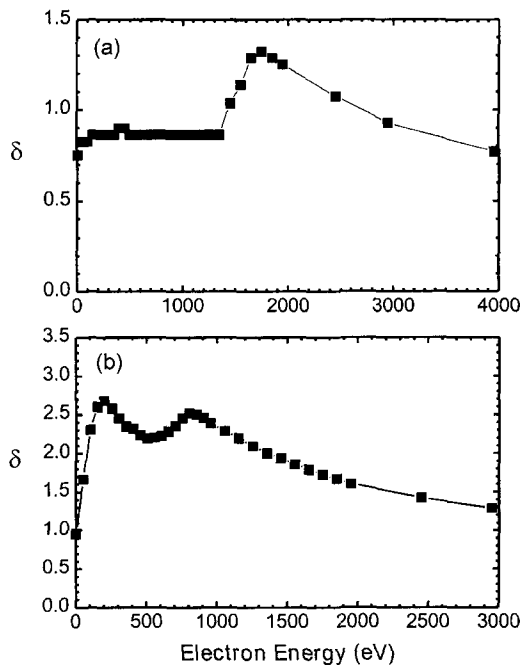


그림 4. 두꺼운 SiO<sub>2</sub> 박막의 에너지에 따른 이차전자 방출 곡선. (a) Sputter로 100 nm 증착한 SiO<sub>2</sub> 박막, I<sub>p</sub>=0.26  $\mu$ A, (b) Boron 도핑된 Si 기판을 60분 열산화시킨(두께 약 40 nm) SiO<sub>2</sub> 박막, I<sub>p</sub>=0.26  $\mu$ A.

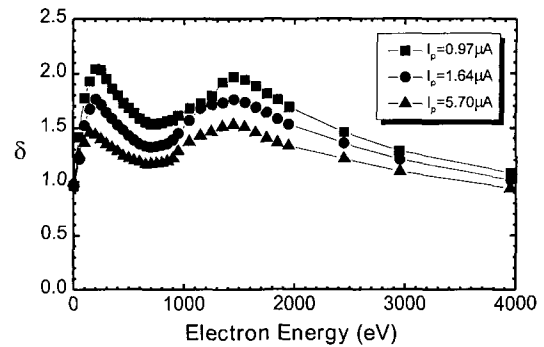


그림 5. SiO<sub>2</sub> 박막 두께 79 nm에서 일차전자 전류에 따른 이차전자 방출 곡선.

소하는 것이라고 추측된다.

위 현상이 도핑 물질이나 박막의 제작조건에 의해 어떤 영향을 받는지 알아보기 위하여 Boron이(p-type) 도핑된 Si 기판을 열산화 시킨 SiO<sub>2</sub>와 sputter로 증착한 SiO<sub>2</sub> 박막의 이차전자 방출 특성도 조사하였다. 그림 4를 보면 세부적으로 시료마다 조금씩은 다르지만, 박막두께가 일정 두께 이상일 경우 2개의 최고점이 나타나는 현상은 공통적으로 나타났다. 따라서 도핑 물질이나 박막의 제작조건에 의한 영향보다는 SiO<sub>2</sub> 박막 두께가 가장 중요한 역할을 하는 것으로 추측된다.

그림 5는 열산화에 의해 제작된 79 nm SiO<sub>2</sub> 박막의 일차전자 전류 I<sub>p</sub>=0.26  $\mu$ A, 0.97  $\mu$ A, 1.64  $\mu$ A, 5.7  $\mu$ A에 대한 이차전자 방출 곡선을 나타낸 것이다. 일차전자의 전류가 증가하여 이차전자의 생성이 증가할 때 SiO<sub>2</sub> 박막 내에 양전하의 양이 많아지게 되어 표면으로부터의 이차전자 방출을 더 억제하게 된다 [11]. 따라서 이차전자 방출 곡선도 전체적으로 낮아진다. 또 그

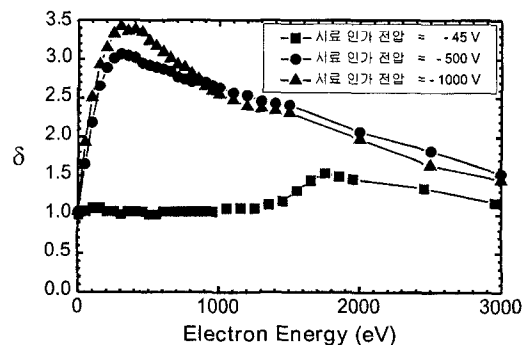


그림 6. I<sub>p</sub>=0.26  $\mu$ A, SiO<sub>2</sub> 박막 두께 95 nm 시료에 인가한 전압에 따른 이차전자 방출 곡선.

림 5를 통해 알 수 있는 것은 두 번째 최고점의 에너지 값은 일차전자 전류의 변화에 거의 영향을 받지 않는다. 즉, 입사에너지에 의한 일차전자의 침투깊이가 전류량에 상관없이 일정함을 알 수 있다.

그림 6은 SiO<sub>2</sub> 박막 두께 95 nm 시료에 일차전자 전류 I<sub>p</sub>=0.26 μA를 입사시킬 경우, 시료에 인가하는 전압에 따른 일차전자 방출 곡선을 나타낸 것이다. 일반적으로 방출된 일차전자의 에너지는 약 10 eV 미만으로 알려져 있다. 그러나 50 eV 이하 에너지를 갖는 것을 통칭하여 일차전자라고 부르고 있다 [10, 15] 대개의 실험에서는, SiO<sub>2</sub>에 의해 생성된 일차전자를 모두 방출할 수 있도록 -45 V를 시료에 인가한다. 하지만 실제로 SiO<sub>2</sub> 표면에 양전하의 축적과 SiO<sub>2</sub> 자체 저항에 의한 전압강하로 전압이 인가되지 않아 방출된 일차전자 재 입사되는 것으로 생각된다. 따라서 시료에 -500 V, -1000 V를 인가하여 일정 두께이상의 SiO<sub>2</sub>에서도 소위 universal curve [9]라고 불리는 일반적인 일차전자 방출 곡선이 나타나는 것을 확인하였으며(그림 6 참조) -500 V, -1000 V를 인가한 곡선이 -45 V를 인가한 일차전자 방출 곡선보다 높게 나오는 것도 확인하였다.

#### 4. 결 론

SiO<sub>2</sub> 박막의 두께 별로 일차전자 방출 특성을 알아본 결과 박막 두께 19 nm일 때 일차전자 방출계수 δ가 가장 높았다. 일차전자 전류에 따른 SiO<sub>2</sub> 박막의 일차전자 방출 특성은 5.8 nm~43 nm 두께에서는 I<sub>p</sub>=0.97 μA일 때 δ가 가장 높은 값을 나타냈다. 그러나 79 nm~114 nm 두께의 SiO<sub>2</sub> 박막에서는 I<sub>p</sub>가 증가할수록 전반적으로 δ값이 감소함을 알 수 있었다. 최대의 일차전자 방출계수를 나타내는 일차전자 전류, SiO<sub>2</sub> 박막의 두께는 각각 0.97 μA, 19 nm이며, 이때의 일차전자 방출계수 δ<sub>max</sub>=3.31이다.

SiO<sub>2</sub> 박막의 두께 43 nm 이하의 얇은 박막에서는 대체적으로 universal curve [9]의 형태를 따르나 79 nm 이상의 두꺼운 박막에서는 일차전자 방출곡선이 2개의 최고점을 갖는 형태로 변하며 그 값도 전반적으로 낮아진다.

일반적으로 일차전자 방출계수 δ가 1보다 큰 구간에서 일차전자가 입사된 부분은 박막 두께가 두꺼워질수

록 기관 Si로부터 SiO<sub>2</sub>로의 전자 공급이 더욱 부족하여 양전하로 대전되고 그 결과 표면에서 방출된 일차전자의 일부가 시료로 재입사되어 δ값은 감소한다. 입사 에너지가 증가할수록 일차전자는 Si와 SiO<sub>2</sub> 박막 계면 근처로 침투하게 되고 일차전자의 발생도 그 깊이에서 가장 많아져 생성된 일차전자에 의한 양전하의 축적으로 전기장이 증가하면서 Si 기판으로부터 전자의 공급이 원활하게 되어 일차전자 방출곡선이 다시 증가하여 최고점을 갖는 것으로 생각된다. 입사 에너지가 더 증가하게 되면 Si 기판 내로 일차전자가 침투하여 접면 밖으로의 일차전자 방출이 감소하여 δ곡선이 낮아지는 것이라고 추측된다.

#### 참고문헌

- [1] J. R. Horthon, G. W. Tasker, and J. J. Fijol, Proc. SPIE **1306**, 169 (1990).
- [2] W. K. Yi, Sunghwan Jin, Taewon Jeong, Junghee Lee, SeGi Yu, Yongsoo Choi, and J. M. Kim, App. Phys. Lett. Submitted.
- [3] A. J. Dekker, in Solid State Physics, Advances in Research and Applications, edited by F. Seitz and D. Turnbull (Academic Press, New York, 1958) p. 251.
- [4] O. Hachenberg and W. Brauer, in Advances in Electronics and Electron Physics, edited by L. Marlon (Academic Press, New York, 1959) p. 413.
- [5] J. Devooght, A. Dubus, and J. C. Dehaes, Phys. Rev. B **36**, 5093 (1987).
- [6] A. Shih, J. Yater, C. Hor, and R. Abrams, Appl. Surf. Sci. **111**, 251 (1997).
- [7] J. R. Young, J. Appl. Phys. **28**, 524 (1957).
- [8] R. O. Jenkins and W. G. Trodden, in Electron and Ion Emission (Dover, New York, 1965) p. 54.
- [9] G. F. Dionne, J. Appl. Phys. **46**, 3347 (1975).
- [10] A. Shih and C. Hor, IEEE Tran. Electron Devices **40**, 824 (1993).
- [11] J. J. Scholtz, R. W. A. Schmitz, B. H. W. Hendriks, and S. T. de Zwart, Appl. Surf. Sci. **111**, 259 (1997).
- [12] J. J. Fijol, A. M. Then, G. W. Tasker, and R. J. Soave, Appl. Surf. Sci. **48/49**, 464 (1991).
- [13] A. C. Adams, in VLSI Technology, edited by S. M. Sze (Mc-Grow-Hill, New York, 1988) p. 233.
- [14] H. Selier, J. Appl. Phys. **54**, R1 (1983).
- [15] A. Modinos, in Field, Thermionic, and Secondary Electron Emission Spectroscopy (Plenum Press, New York, 1984), p. 327.