

<연구논문>

스퍼터링 챔버에 설치한 *in-situ* 타원해석기의 성능평가

박광범 · 신용환 · 구교근 · 이순일 · 김상열 · 오수기

아주대학교 물리학과
(1994년 3월 31일 접수)

Evaluation of the *in-situ* Ellipsometer Mounted on a Sputtering Chamber

K. B. Park, Y. H. Shin, K. K. Koo, S. Lee, S. Y. Kim and S. G. Oh

Department of Physics, Ajou University, Suwon 441-749, Korea
(Received March 31, 1994)

요 약 - 박막이 성장하는 동안 박막성장 상태를 관찰하기 위한 *in-situ* 타원해석기를 제작하였다. 이 타원해석기는 He-Ne 레이저를 광원으로 사용하며 회전검광자형으로 광량측정방식을 채택하였다. 이 타원해석기는 편광자 모듈과 검광자 모듈 및 제어부로 구성되어 있으며 이들 모듈은 각각 스퍼터링 챔버에 부착되었다. c-Si 기판 위에 열산화 과정으로 성장시킨 SiO₂ 박막을 표준시료로 사용하여 보정 및 성능평가를 하였다. 또한 RF 스퍼터링으로 c-Si 기판 위에 SiO₂ 박막을 성장시키면서 타원해석상수 ψ , Δ 를 측정하고 근사적 모델에 의한 ψ , Δ 의 전산모의 성장곡선과 비교해 보았다.

Abstract - An *in-situ* ellipsometer has been fabricated to monitor the film growth during each stage of film growth. This is a photometric type which measures the intensity modulation *vs.* the rotating analyzer, and consists of the polarizer module, the analyzer module and the control part with a He-Ne laser light source. The polarizer and the analyzer modules are mounted on a sputtering chamber. The calibration procedure has been carried out using the samples with thermally grown oxide on c-Si substrate. Also the ellipsometric constants of ψ and Δ were measured while the SiO₂ were sputter-grown. The data are compared to the growth curve generated by the simulation program based on the optical model of SiO₂ on c-Si.

1. 서 론

스퍼터링은 여러가지 이점들 때문에 오늘날 박막 성장, 식각 등에 폭 넓게 이용되고 있으나, 만들어지는 시료의 특성들은 제작 조건에 따라서 크게 달라질 수 있다. 박막이나 표면의 분석을 위해 현재 널리 쓰이는 방법들 중 대표적인 것들로 AES, XPS, RBS, SIMS, TEM 등을 들 수 있는데, 이와 같은 분석방법들은 완성된 시료나, 초고진공에서 이루어지는 MBE에 의한 박막 성장이나 식각과정 중의 박막 혹은 표면상태의 분석에는 적합하나, 스퍼터링, CVD, ECR 플라

즈마 식각과 같이 저진공에서 이루어지는 박막 성장이나 식각과정 중의 박막 표면상태를 측정 분석하는데는 많은 문제점들을 갖고 있다. 그러나 편광된 빛이 시료면에서 반사될 때 반사광의 편광상태가 시료 표면의 얇은 막에 예민하게 반응한다는 사실[1, 2]을 이용한 타원해석기는 시료에 대한 분석이 반사된 반사광의 편광상태를 측정하여 이루어지기 때문에, 초고진공 상태에서부터 대기압 상태까지의 모든 조건에서 측정이 가능하다. 특히 타원해석기를 *in-situ*로 사용하면 저진공하에서도 박막의 성장 및 식각과정 동안 박막 표면 상태의 정보를 얻을 수 있으므로, 진공도에

구애없이 박막 형성 및 표면 식각과정 단계를 이해 하는데 필요한 도구로 쓸 수 있으며, 또한 *in-situ* 타원해석기와 박막제작장비, 식각장비와의 되먹임을 통해 박막 성장, 식각과정 등을 조절할 수 있는 가능성이 있다[3-6].

본 연구에서는 *in-situ* 타원해석기를 스퍼터링 챔버에 설치하고 열산화과정으로 성장시킨 SiO₂/c-Si를 표준시료로 사용하여 성능을 평가하였다. 그리고, 스퍼터링으로 c-Si 기판 위에 SiO₂ 박막을 제작하는 동안 박막 성장곡선을 측정하여 보았다.

2. 이 론

본 실험실에서 제작한 *in-situ* 타원해석기는 검광자가 회전하는 회전검광자형이며 시료에서 반사하는 광의 세기의 변화를 측정하는 광광측정형으로서 측정 원리는 다음과 같다.

그림 1과 같이 편광자-시료-검광자의 계에서, 광원에서 나온 빛이 구성 광학 소자들을 통과했을 때 나타나는 편광상태는 다음과 같은 Jones의 행렬로 표현된다[7].

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos A & \sin A \\ -\sin A & \cos A \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} r_p & 0 \\ 0 & r_s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos P & -\sin P \\ \sin P & \cos P \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} E_o \quad (1)$$

여기서 r_p 와 r_s 는 시료의 표면에서 반사되는 p 파와 s 파의 반사계수, P 와 A 는 입사면에 대한 편광자와 검광자의 방위각으로 $P=0$ 이면 입사파는 전기장의 진동방향이 입사면과 나란한 p 파가 된다. 타원해석법(el-

lipsometry)에서는 빛이 시료표면에서 반사될 때 야기되는 편광상태의 변화를 p 파의 반사계수 r_p 와 s 파의 반사계수 r_s 의 비 ρ 로 나타내며, 그 크기와 위상차로부터 타원해석상수 ψ 와 Δ 를 다음과 같이 정의한다.

$$\rho = \frac{r_p}{r_s} = \tan \psi e^{i\Delta} \quad (2)$$

광다이오드에서 측정되는 광의 세기 I 는 회전하는 검광자의 각도 A 의 함수로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I = |E|^2 = I_0(1 + \alpha \cos 2A + \beta \sin 2A) \quad (3)$$

여기에서 타원해석상수인 ψ 와 Δ 는 빛의 세기 I 의 검광자각도 A 에 대한 푸리에 계수인 α 와 β 의 함수로 아래와 같이 주어진다.

$$\tan \psi = \tan P \sqrt{\frac{1 + \alpha}{1 - \alpha}} \quad (4)$$

$$\cos \Delta = \frac{\beta}{\sqrt{1 - \alpha^2}} \quad (5)$$

일반적으로 다층박막구조를 가진 시료의 타원해석상수 ψ 와 Δ 는

$$\psi = \tan^{-1}(|\rho(N_0, N_1, \dots, N_m, d_0, d_1, \dots, d_m, \theta_0, \lambda)|) \quad (6)$$

$$\Delta = \arg(\rho(N_0, N_1, \dots, N_m, d_0, d_1, \dots, d_m, \theta_0, \lambda)) \quad (7)$$

와 같이 박막의 복소굴절률 N_m , 두께 d_m , 입사각 θ_0 , 파장 λ 의 함수로 주어지므로, 박막성장에 따르는 ψ , Δ 의 변화를 알면 박막의 굴절률 및 두께 등의 정보를 얻을 수 있다[8].

3. 실험장치

실험장치는 박막을 만드는 스퍼터링 장비에 박막을 분석하기 위한 *in-situ* 타원해석기를 설치하여 구성하였다. 스퍼터링 장비는 유화산 펌프와 RF와 DC를 겸용할 수 있는 마그네트론 스퍼터링 장치, 20 sccm의 유량조절기 및 시료의 온도조절 장치 등으로 이루어져 있다. *In-situ* 타원해석기는 그림 2와 같이 챔버의

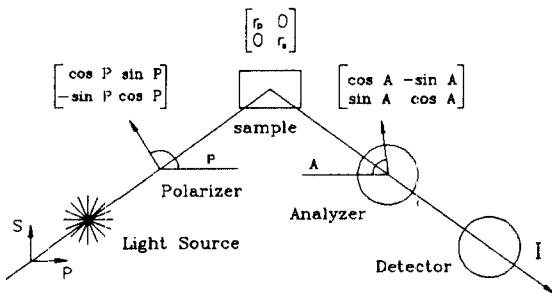


그림 1. 편광자-시료-검광자의 계에서 각 광학소자에서의 빛의 편광상태.

시창에 부착되어 있으며 레이저 광이 한쪽 시창을 지나 시료면에서 반사한 후 다른 시창을 거쳐 검광자로 입사하도록 광원, 편광자, 시료, 회전검광자 및 광측정 장치를 배열하였다. 진공챔버 안의 시료대는 챔버의 시창을 통해 들어온 빛이 시료에 반사한 후 다시 시창을 통해 외부로 나갈 수 있도록 미세각 조절이 가능하다.

광원은 선편광된 He-Ne 레이저광을 사용하였고, $\lambda/4$ 지연판을 부착하여 원편광을 얻었다. 편광자와 검광자는 판형 편광자를 사용하였고, 편광자는 회전축이 튜브로된 스테핑 모터의 축에 장착하여 회전각을 제어하였다. 편광자를 통과한 선편광된 레이저광은 시료에서 반사되고 반사로 인하여 타원편광된 레이저광은 회전하는 검광자로 들어온다. 검광자는 회전축 중심에 구멍이 있는 DC 모터의 축에 부착되어 10 Hz의 속도로 회전하며, 검광자의 각도는 동일축상의 엔코더 신호로 측정된다. 검광자를 통과한 빛의 세기를 검출하는 광다이오드는 프리앰프가 부착된 광기전형 실리콘 다이오드이다. 편광자와 검광자의 위치 신호 및 광다이오드의 전기신호는 컴퓨터에 입력되어 처리된다. 본 실험에서는 AT 컴퓨터와 10 K 샘플링 속도의 A/D 변환기가 사용되었다. 검광자의 일회전을 125개의 점으로 나누어 각 점에서 빛의 세기를 읽어들이고 5회전 동안 측정된 값을 기억하였다가 5 측정치를 평균하여 푸리에 계수의 계산에 사용하였다. 검광자의 5회전 동안 측정치의 입력과 측정치의 평균, 푸리에 계수 및 타원해석상수를 계산한 다음 적당한 시간지연을 주어 타원해석상수가 매초마다 기록되도록 컴퓨터의 제어프로그램을 완성하였다.

4. 보정과정

타원해석상수 ψ , Δ 는 시료의 구조 및 광학적 특성에 따라 결정된다. 이를 측정하는 타원해석기는 여러 광학소자들로 구성되어 있기 때문에 각각의 광학소자들의 특성과 이들의 배치 등의 영향을 받으므로 이러한 영향을 보정하는 과정이 필요하다. 본 실험에서 고려한 보정항은 배경 DC 수준, 편광자와 검광자의 입사면에 대한 방위각의 영점위치 즉 P_s , A_s , 그리고 감쇄인자 η 및 위상지연 A_j 이다. 사용된 레이저는 초기 출력이 불안정하여 안정된 출력이 나올 때까지 기다린 후 측정을 시작하였다. 시료대의 경사조절 나사로 시

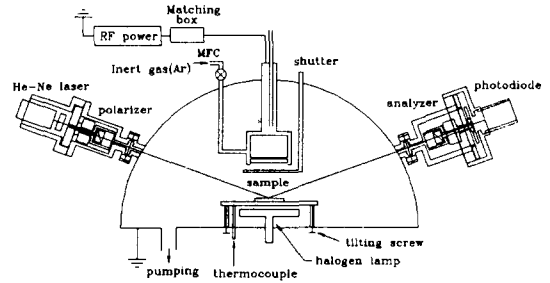


그림 2. 스퍼터링 장비와 *in-situ* 타원해석기의 개략도.

료의 기울기 및 수평이동거리를 조정하여 레이저빔을 정렬하였다. 다음에 셔터를 사용해서 레이저빔을 차단하고 RF 플라즈마를 발생시킨 후 플라즈마의 발생에 따른 배경 DC 수준을 측정하였다. 플라즈마에 의한 배경 DC 수준이 일정하다고 가정하면, 빛의 세기 I 는

$$I = I_0(1 + \alpha \cos 2A + \beta \sin 2A) + I_{BD} \\ = I_0'(1 + \alpha' \cos 2A + \beta' \sin 2A) \quad (8)$$

로 나타낼 수 있다. 따라서 I_{BD} 를 정확히 보정해 주지 않으면 이는 측정된 빛의 세기 I 의 푸리에 계수 α , β 의 오차를 증가시키게 되며 이것은 결국 ψ , Δ 의 오차로 전파된다. 본 실험에서는 박막성장곡선을 측정하기 전에 플라즈마 빛에 의한 I_{BD} 를 정확히 측정하여 보정하였다. 이 I_{BD} 는 박막성장 진행 중에 안정된 값을 유지한 것으로 가정하였다. 실제 광다이오드에서 검출되는 빛의 세기와 A/D 변환기를 통해 측정되는 전기신호 사이에는 신호처리 회로의 특성으로 인하여 다음과 같은 관계가 성립된다.

$$I = I_0(1 + \alpha \cos 2A + \beta \sin 2A) \\ = kV_0(1 + \eta a_2 \cos 2(A - A_s - A_j) \\ + \eta b_2 \sin 2(A - A_s - A_j)) \quad (9)$$

여기서 k 는 비례상수, V_0 는 광다이오드에서 측정되는 평균 전위, η 와 A_j 는 신호처리 회로에 의한 감쇄인자 및 위상지연이며 P_s 와 A_s 는 편광자와 검광자의 입사면에 대한 방위각의 영점위치이다. ηa_2 , ηb_2 는 검광자의 각도 $A_j (= A - A_s - A_j)$ 에 대한 빛의 세기 I_j 의 푸리에변환

$$\eta(a_2 + ib_2) = 2 \left(\frac{\sum_{j=1}^n I_j e^{i2A_j}}{\sum_{j=1}^n I_j} \right) \quad (10)$$

의 푸리에 계수이다. 여기서 $A_j = 2\pi j/n$ 이며 n 은 검광자의 1회전당 엔코더의 스텝수이다. ηa_2 , ηb_2 와 α , β 의 관계는

$$a = \eta(a_2 \cos 2(A_s + A_j) - b_2 \sin 2(A_s + A_j)) \quad (11)$$

$$b = \eta(a_2 \sin 2(A_s + A_j) + b_2 \cos 2(A_s + A_j)) \quad (12)$$

로 나타내어진다. 편광자의 입사면에 대한 방위각의 영점위치 P_s 는

$$r(P) = 1 - (\eta a_2)^2 - (\eta b_2)^2 \quad (13)$$

로 정의되는 잉여값(residual) r 로부터 결정하였다. 편광자를 회전시키면서 잉여값 $r(P)$ 를 측정하면 $P \cong P_s$ 되는 위치에서 최소가 된다. 최소값 부근에서는 잉여값 r 이 편광자 각도 P 의 함수로

$$r(P) = C_2 P^2 + C_1 P + C_0 \quad (14)$$

과 같은 2차함수 형태를 가지므로, 최소자승 근사법에 의해서 P_s 를 찾아낼 수 있고, 감쇄인자 η 는

$$\frac{1}{\eta} = \sqrt{1 - C_0 + (C_1^2/4C_2)} \quad (15)$$

로 표현된다. 검광자의 영점위치 A_s 는 편광자의 위치가 $P = P_s$ 일 때의 푸리에 계수로부터

$$A_s + A_j = -\frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{b_2}{a_2} \right) \quad (16)$$

의 식에서 결정된다. $(-1/2) \tan^{-1}(b_2/a_2)$ 는 $P \cong P_s$ 에서 편광자의 각도 P 의 선형함수로 변화되므로 선형근사법을 사용하여 정확한 $A_s + A_j$ 를 찾아낼 수 있다. 잉여값의 최소위치로부터 찾아낸 P_s , $A_s + A_j$ 는 일단 시료면에 정렬된 후에는 일정한 값을 가진다. 이점을 고려하여 플라즈마에 의한 발광의 불안정과 플라즈마의 발생 중 스퍼터링에 의한 영향 등을 피하기 위하여 플라즈마 발생전에 P_s , $A_s + A_j$ 를 구하였다. 실험에서 사용한 *in-situ* 타원해석기의 각 광학부품의 다른 미소결합들은 상대적으로 그 영향이 미미한 것으로 가정하였다. 이상의 보정과정을 적용하기 위하여 열산화과정으로 성장시킨 산화층 두께 500~6000 Å의 SiO₂/c-Si를 표준시료로 사용하였다. 그림 3은 2440 Å의 SiO₂/c-Si 시료에 대한 보정과정에서 편광자의

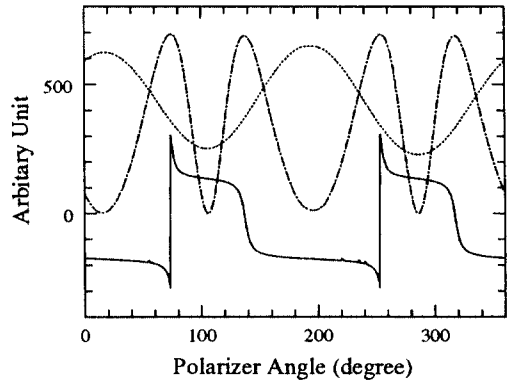


그림 3. 편광자각 변화에 따른 빛의 세기, 잉여값 및 $(-1/2) \tan^{-1}(b_2/a_2)$ 변화 측정. (.....) 빛의 세기, (.....) 잉여값, (----) $(-1/2) \tan^{-1}(b_2/a_2)$.

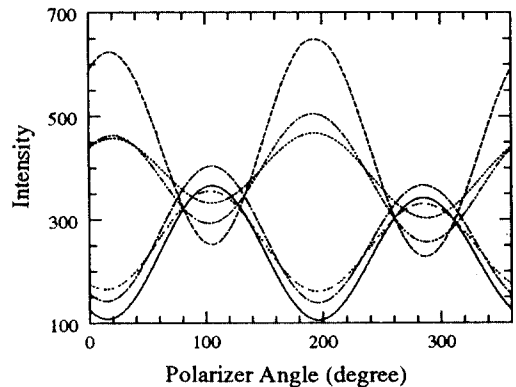


그림 4. 두께가 다른 표준시료들을 사용하여 편광자각 변화에 대해 측정된 빛의 세기 변화. (----) 1000, (.....) 1200, (.....) 1400, (—) 1800, (.....) 2000, (.....) 3800.

각도에 대해 빛의 세기, 잉여값 및 $(-1/2) \tan^{-1}(b_2/a_2)$ 를 나타낸 것이다. $P \cong P_s$ 에서 빛의 세기의 최대값과 최소값이 시료에 따라서 반전될 수 있으나(그림 4), 잉여값은 $P \cong P_s$ 에서 시료와 관계없이 항상 최소값을 가지며 단지 곡선의 모양이 뾰족하거나 무디어지는 차이만을 볼 수 있다(그림 5).

표준시료들을 사용하여 잉여값 최소점의 $-7 \sim +7^\circ$ 범위에서 편광자를 회전시키면서 측정된 잉여값으로부터 구한 P_s 와 $A_s + A_j$ 의 값들을 표 1에 정리하였으며 이로부터 $P_s = 105.87 \pm 0.58^\circ$, $A_s + A_j = 39.56 \pm 1.44^\circ$ 을 얻었다.

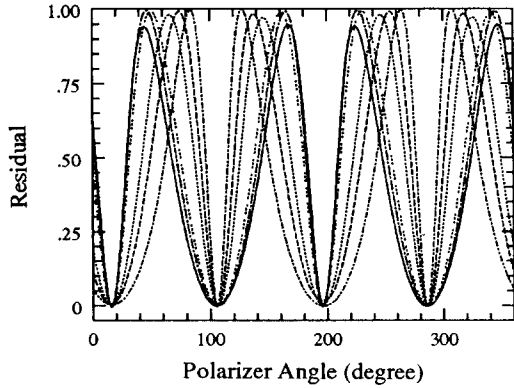


그림 5. 두께가 다른 표준시료들을 사용하여 편광각각 변화에 대해 측정된 잉여값. (----) 1000, (.....) 1200, (.....) 1400, (—) 1800, (.....) 2000, (·····) 3800.

표 1. SiO₂-c-Si 표준시료를 사용한 P_s, A_s+A_f 측정

시료명	1차 측정		2차 측정	
	P _s	A _s +A _f	P _s	A _s +A _f
500	105.48	37.06	105.38	39.44
1000	105.93	38.37	106.78	38.84
1200	106.06	38.57	107.08	39.01
1400	106.27	38.99	107.13	39.38
1600	105.06	39.36		
1800	105.07	39.81	105.55	40.33
2000	105.28	40.63	105.26	40.87
2500	105.57	41.04	105.49	42.96
3400	105.87	38.44	105.88	38.10
3800	106.14	39.00	106.58	38.72
4000			105.83	39.30
4500	105.25	41.25		
5000	105.92	42.84		
6000	105.90	39.03	105.80	38.02
평균	105.68	39.57	106.07	39.54

5. 성능평가 및 토의

입사각을 90°로 하여 편광자와 검광자 사이에 시료를 놓지 않고 측정하는 Straight Through Operation (STO)에서는 p파와 s파의 반사계수는 동일하다. 따라서 $\tan \psi = 1.0$, $\cos \Delta = 1.0$ 이 예상되나, 실제 측정값은 $\tan \psi = 1.058 \pm 0.025$, $\cos \Delta = 0.9989 \pm 0.0003$ 으로 각각 나타났는데, 이같은 차이는 실험에 사용된 각 부품들의 결함 및 광축의 정렬오차, 보정상수들의 오차에 기인하는 것으로 보다 정확한 측정과 분석을

표 2. 분광타원해석기와 *in-situ* 타원해석기를 사용한 표준시료의 두께 측정 비교

시료명	분광타원해석기 (Å)	<i>in-situ</i> 타원해석기 (Å)
500-1	490	495
500-2	343	350
1000	776	755
1200	974	1020
1400	1198	1235
1600	1423	1420
1800	1623	1660
2000	1923	1950
2500	2440	2470
6000	5348	5355

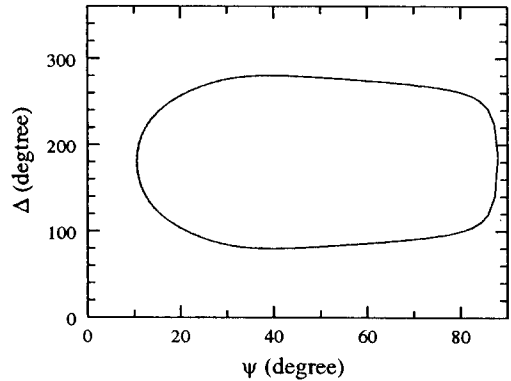


그림 6. 입사각 70°, λ=6328 Å일 때 c-Si 기판 위에서의 SiO₂ 박막성장 전산모의 성장곡선.

위하여 앞으로 이들 오차를 줄여나가야 할 것이다. 편광각의 각도 변화에 대해서는 $\tan \psi$ 와 $\cos \Delta$ 의 값은 10~70° 범위에서 안정된 값을 보였으며, *in-situ* 타원해석기의 측정 재현성을 알아보기 위하여 2440 Å의 SiO₂/c-Si 표준시료를 200회 반복하여 측정된 결과 ψ 의 값은 $18.73 \pm 0.33^\circ$ 로, Δ 의 값은 $97.57 \pm 0.18^\circ$ 로 나타나 데이터들의 재현성이 양호함을 알 수 있었다. 또한 표준시료들을 분광타원해석기와 *in-situ* 타원해석기로 각각 산화층의 두께를 측정하고 그 결과를 표 2에 비교하였다. 두 방법에 의한 측정값의 차이는 ~40 Å 이하의 값을 가지는 것으로 이들이 서로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

In-situ 타원해석기를 이용하여 박막의 성장상태를 해석하는 하나의 방법은 박막을 성장시키는 동안 기록된 타원해석상수 ψ , Δ 의 성장곡선과, 박막의 두께,

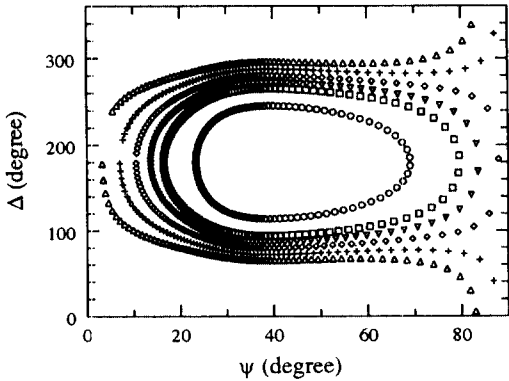


그림 7. 20 Å 간격으로 2800 Å까지 성장시킨 SiO₂/c-Si의 입사각 변화에 따른 성장곡선 변화 전산모의 계산. (Δ) 74°, (+) 72°, (◇) 70°, (▽) 68°, (□) 66°, (○) 65°.

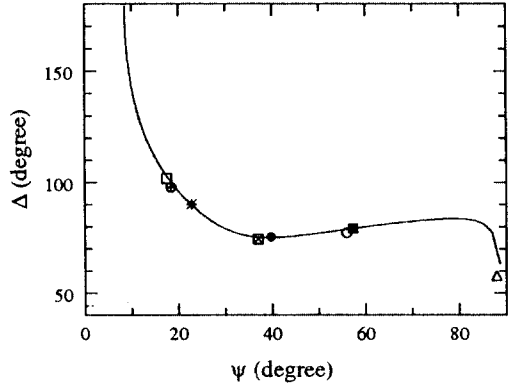


그림 9. 표준시료들에 대한 전산모의 계산에 의한 성장곡선과 *in-situ* 타원해석기를 사용하여 측정된 ψ와 Δ의 비교 —는 입사각 71.21°, λ=6328 Å의 전산모의 계산. (□) 500-1, (*) 500-2, (●) 1200, (■) 1400, (△) 1600, (○) 1800, (⊗) 2000, (⊕) 2440.

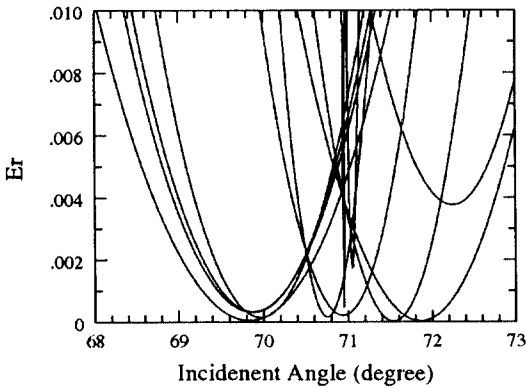


그림 8. 산화층의 두께가 다른 여러 시료에 대하여 입사각 θ의 함수로 나타낸 Er 함수의 변화.

굴절율 등을 가정한 근사모델을 따라 이론적으로 계산된 ψ, Δ 변화곡선을 비교하는 것이다. 실험에서 얻은 성장곡선이 근사적인 모델로 계산된 곡선과 잘 일치하면 근사모델에 사용되었던 두께, 굴절율, 틸트 등의 비율 등으로 박막이 성장한 것으로 추정한다. 그림 6은 c-Si 위에 SiO₂ 박막을 10 Å씩 증가시켰을 때의 전산모의 성장곡선이다. SiO₂ 박막에서는 입사광의 흡수가 일어나지 않기 때문에 성장곡선은 두께증가에 따라서 주기성을 갖는다. 만일 입사광이 막을 투과해 가는 동안 흡수되는 경우에는 수렴하는 모양의 성장곡선이 된다.

그림 7은 SiO₂/c-Si의 성장곡선을 입사각의 변화에 대해서 나타낸 것으로 전산모의 계산과 실험측정치를

비교하여 입사각을 결정할 수 있음을 보여준다. 본 실험에서는 다음과 같은 방법으로 입사각을 결정하였다. SiO₂/c-Si 시료의 두께를 분광타원해석기를 사용하여 측정하여 이 SiO₂의 두께가 정확한 값이라고 가정하고,

$$Er = |\psi_{meas} - \psi(\theta)|^2 + |\Delta_{meas} - \Delta(\theta)|^2 \quad (17)$$

으로 정의한 오차함수 *Er*이 최소가 되는 각도인 θ₀를 입사각으로 하였다. 여기서 ψ_{meas}, Δ_{meas}는 *in-situ* 타원해석기에서 측정된 타원해석상수값이고, ψ(θ), Δ(θ)는 주어진 두께의 산화층을 가지고 있는 SiO₂/c-Si 시료의 입사각 변화에 따른 타원해석상수값이다. 산화층의 두께가 다른 여러 시료에 대하여 오차함수 *Er*을 입사각의 함수로 그림 8에 나타내었다. 이들 오차함수 *Er*이 최소가 되게 하는 입사각 값들을 각각의 시료에 대하여 평균하여 레이저빔의 입사각을 θ₀ = 70.86 ± 0.34°으로 결정하였다.

In-situ 타원해석기로 측정된 표준시료들의 ψ, Δ 값과 전산모의 계산에 의한 SiO₂/c-Si의 SiO₂ 두께변화에 따른 성장곡선을 비교하여 그림 9에 나타내었다. 측정값들이 성장곡선에 잘 놓여 있음을 확인할 수 있었고, 이로부터 본 실험실에서 제작한 *in-situ* 타원해석기를 사용하여 산화막의 두께가 증가하는 박막성장과정의 성장곡선을 측정할 수 있음을 확인하였다.

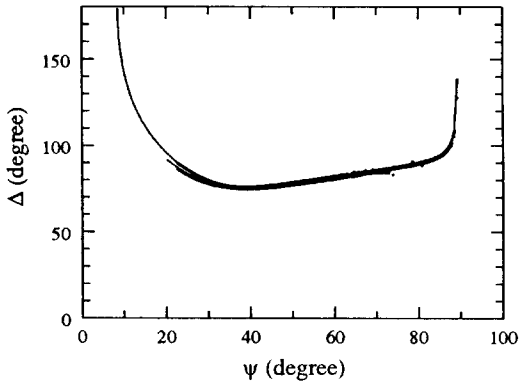


그림 10. 스퍼터링으로 성장시킨 SiO₂의 성장곡선과 전산모의 계산의 비교. —은 입사각 71.21°, λ = 6328 Å에서 처음 1000 Å은 굴절율 1.445, 다음 875 Å은 굴절율 1.448로 자란 경우 전산모의 계산.

RF 마그네트론 스퍼터링으로 490 Å의 표면산화층을 갖는 Si 기판 위에 SiO₂ 박막을 성장온도 70°, RF 출력 100 W로 30분 동안 성장시키며 *in-situ* 타원해석기로 측정된 ψ , Δ 값들을 전산모의 성장곡선과 함께 그림 10에 나타내었다. 전산모의 계산에서 ψ , Δ 의 계산 범위는 각각 0~90°, 0~360°이지만 실험에서는 Δ 가 0~180°로써 측정되므로 비교시 전산모의 계산에서 얻은 Δ 의 범위를 180°에서 반전시켜 주었다. 실선은 처음 1000 Å 동안에는 굴절율 1.445의 SiO₂ 박막이 다음 875 Å 동안에는 굴절율 1.448의 SiO₂ 박막이 자랐다고 가정한 근사적 모델을 사용한 전산모의 성장곡선으로 측정 성장곡선과 잘 일치하여 박막 성장의 분석가능성을 보여주고 있다.

6. 결 론

In-situ 타원해석기를 스퍼터링 챔버에 설치하고 성능을 평가하였다. 타원해석상수 ψ , Δ 는 각각의 광학소자들의 특성 및 정렬상태 등 실험환경에 따라서 달라질 수 있으므로 이들에 의한 변화요인을 보정과정을 통하여 최소화하였다. 본 실험에서 보정한 값은

배경 DC 수준, 편광자 및 검광자의 영점위치 그리고 위상 지연 및 감쇄인자들이며, 표준시료들을 사용하여 $P_s = 105.87^\circ$, $A_s + A_r = 39.56^\circ$ 로 결정하였다. 편광자와 검광자 사이에 시료를 놓지 않고 직접 빛을 보내는 Straight Through Operation(STO)에서 $\tan \psi = 1.058$, $\cos \Delta = 0.9989$ 로 측정되어 기기자체의 정확도를 향상시킬 여지가 있음을 알았다. c-Si 기판 위에 열산화과정으로 성장시킨 SiO₂ 박막 표준시료들을 분광타원해석기와 *in-situ* 타원해석기로 각각 두께를 측정된 결과 두 방법에 의한 측정값이 대체적으로 잘 일치하였으며, c-Si 기판 위에 SiO₂ 박막을 성장시켜 가며 *in-situ* 타원해석기로 측정된 ψ , Δ 값과 전산모의 계산된 곡선이 잘 일치하여 박막 성장의 분석가능성을 보여주었다.

감사의 글

이 연구는 아주대학교 기초과학연구소를 통한 교육부의 학술조성연구비(BSRI-93-224) 지원에 의해 이루어졌음을 밝히고 아울러 감사드립니다. 또한 *in-situ* 타원해석기의 장비제작에 지원을 하여 주신 전자통신연구소에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. P. Drude, *Ann. Phys. (Leipzig)* **32**, 584 (1887).
2. W. Budde, *Appl. Opt.* **1**, 201 (1962).
3. M. C. Flowers, R. Greef, C. M. K. Starbuck, P. Southworth and D. J. Thomas, *Vacuum* **40**, 483 (1990).
4. Y. M. Li, I. An, H. V. Nguyen, C. R. Wronski and R. W. Collins, *J. Non-Crystal Sol.* **137**, 787 (1991).
5. R. P. Netterfield, P. J. Martin, W. G. Sainty, R. M. Duffy and C. G. Pacey, *Rev. Sci. Instrum.* **56**, 1995 (1985).
6. F. Ferriem and J. H. Lecat, *J. Electrochem. Soc.* **137**, 2203 (1990).
7. D. E. Aspnes, *J. Opt. Soc. Am.* **64**, 812 (1974).
8. R. E. A. Azzam and N. M. Bashara, *Ellipsometry and Polarized light*, (North-Holland, New York, 1977).