

Spectroscopic Ellipsometer를 이용한 삼원 SiO₂박막의 유전율특성

김 병인¹, 이 우선, 김 창석, 이 상일, 황 석영
 송원전문대학 전기과¹, 조선대학교 전기공학과, 단국대학교 전기공학과

The Dielectric Properties by Triple SiO₂ Thin Film using Spectroscopic Ellipsometer

Byeung-In Kim, Woo-Sun Lee, Chang-Suk Kim, Suang-Il Lee, Seuk-Yong Hwang
 Song Won College, Cho Sun Univ, Dan Kook Univ

Abstract

We fabricated the sample of M-I-M with the insulating layer SiO₂. Refractive index of wave length, photon energy, absorption rate of SiO₂ evaporation thin film are experimentally examined by spectroscopic Ellipsometer. The calculated equations of refractive index, absorption rate and permittivity of SiO₂ thin film are induced. Calculated values and experimental values are compared and then mutual validity is proved.

1. 서론

Si MOS LSI의 고집적화 및 초미세화가 진행됨에 따라 게이트 산화막이나 캐패시터 절연막의 두께는 대단히 얇게 되어가고 있다. SiO₂ 반도체에 광을 투사하면 광이 흡수되면서 감쇄하며 진행하는데 흡수된 광에너지는 다시 다른 에너지를 갖는 광으로서 복사되거나 무복사 과정을 거쳐 열로서 손실되어 간다. 이 열은 SiO₂박막 내부 온도를 올리고 더우기 전자와 정공의 운동을 활발하게 하는데, 이 열팽창은 입사 단속광의 주파수 성분을 갖고 있기 때문에 신호를 발생한다. 박막의 유전율을 측정하는 방법에는 간섭계의 방법⁽¹⁾ 가속전자에 의한 방법⁽²⁾ 등이 있는데, 본 연구에서는 SiO₂를 절연층으로 하는 삼원(M-I-M)박막의 시편을 제작하여 Spectroscopic Ellipsometer로 굴절율(n), 흡수율(k) 및 유전율(ε)을 실험적으로 구하고 계산식을 유도 하여 상호간의 타당성을 입증 하고자 한다.

2. 분광해석방정식

전자기 특성을 알아내는 분광해석법(Spectroscopic Ellipsometer)은 Maxwell 방정식으로 부터 다음과 같이 나타낸다.

$$\Delta^2 \mu + \mu \epsilon (W/C)^2 \mu = 0 \quad (1)$$

여기서 n을 물질의 굴절율이라 하고, 비자성체의 경우(μ=1)는 아래와 같이 정의된다.

$$n = \epsilon^{1/2} \quad (2)$$

반도체와 금속 같이 매질이 투명한 경우는 복소유전율로 나타내고, 이 경우는 실수이다.

$$n^* = \frac{c}{v} = c \left\{ \mu_0 \mu_s \left(\epsilon_0 \epsilon_s - \frac{i\sigma}{\omega} \right) \right\}^{1/2} \quad (3)$$

흡수계수를 k(extinction coefficient)라 하면 (3)식은

$$n + ik = (\epsilon_1 + i\epsilon_2)^{1/2} \quad (4)$$

로 표현된다. 유전매질중에서 전장 E와 유전분극 P와의 관계는 유전율 ε로 나타내진다.

$$D = \epsilon_0 E + P \\ = \epsilon_0 \epsilon_s E \quad (\epsilon_0 \text{는 진공 유전율}) \quad (5)$$

그리고 식 3)에서 복소유전율 ε₁ 과 ε₂ 는 다음식에 의해 서로 관계되어진다.

$$\epsilon_1 = n^2 - R^2 \quad (6)$$

$$\epsilon_2 = 2nR = \frac{\sigma}{W \epsilon_0} \quad (7)$$

3. 실험방법

기판 재료는 Corning 7059 Borosilicate Glass (미국 Corning사, 두께 0.5mm)로서 광학적 특성 조사를 편리하게 7.5cm × 2.5cm 크기의 기판을 사용했다. 초음파 세척기(일본 BRANSON 1200)를 이용하여 간섭세척을 30분간 실시 한 후 acetone, Distilled Water에서 각각 20분씩 세척하였다. 그리고 전열기로 건조시킨후 시료 통에 보관하고 실험시 사용하였다.

시료는 Fig.1에 나타낸것과 같이 Slide Glass M-I-M 순으로 3회의 진공증착(통상 10^{-6} Torr)에 의해 제작되었다. W-Boat 전극의 저항가열로 증착하였으며, 기판과 board와의 거리는 8cm로 일정하게 유지하였다.

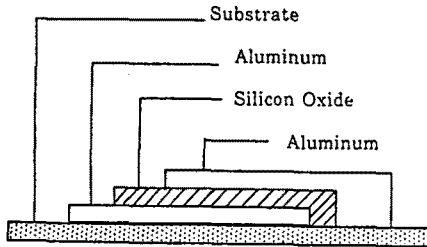


Fig. 1 Fabricated sample structure

Division	Sample		
Thin Film thickness(Å)	#1	#2	#3
Overlap layer region(mm ²)	180	150	120
SiO layer thickness(Å)	1100	1000	1050

Table 1 Deposition thickness and Area

4. 실험결과

상.하부의 Al증착은 Substrate Temperature를 80°C 상태에서 50A의 Power로 통상 30sec 동안 증착하였으며, 중간 절연층(SiO)은 Substrate Temperature를 80°C로 하고 60A Power로 증착 시간을 조정하여 Table 1과 같이 증착하였다. Fig.2는 시료 #1에 입사각을 70° 로 고정하고 파장 400~650nm로 증가함에 따른 굴절율과 흡수율을 비교 하여 측정한 것으로 시료에 입사된 빛의 파장이 455nm 이하에서는 반도체의 Energy band 구조에서 해석되어진 바와 같이 굴절과 흡수가 일어나지 않고, 단지 기초흡수 및 불순물에 의한 불안정한 굴절과 흡수가 일어났으며, 455nm이상 파장에서 자유전자가 속해 있는 Energy band 내에서의 전자의 거동에 기인된 굴절 및 전도흡수가 시작됨을 알 수 있다. 파장을 455nm에서 650nm로 증가 시키면 n 은 0.5941, k 는 1.9665 로 되어 파장이 증가함에 따라서 지수함수적인 증가를 보였다. 또한, 굴절율과 흡수를 관계에서 $n < k$ 이므로 SiO 박막의 광학적 성질이 절연체나 반도체와 비슷한 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig.3는 시료 각각에 파장을 증가시켰을 때 나

타나는 굴절을 변화 특성으로 450nm에서 굴절율은 각각 #1은 0.2381, #2는 0.2659, #3은 0.4030이고 파장이 증가하여 650nm에서는 각각 0.5941, 0.4641, 0.5950 으로 나타나 증착 두께가 두꺼울 수록 굴절을 값은 크게 나타나고 파장의 증가에 따라 선형적으로 증가됨을 보였다. 그 이유는 SiO 박막이 Amorphous 상태에서는 빛이 입사하므로써 반도체내의 에너지 장벽이 높아짐에 따라 반도체의 내부에너지가 증가하기 때문이다.

Fig.4는 시료 각각에 450~650nm의 광파장을 입사시켰을때의 흡수율 특성을 나타낸 것으로 이 광흡수는 박막의 중간층인 SiO(절연층)막이 #1은 1100Å, #2는 1000Å, #3은 1050Å 와 같이 두께가 얇을 수록 흡수율이 큰값을 나타내고 있는데 이것은 결정질에서의 광흡수는 반투광성을 갖기 때문으로 SiO층이 열평형 상태에서 빛을 받으면 전위장벽이 높아지기 때문에 투과성으로 설명된 광흡수가 크게 나타남을 알 수 있다. 이 광흡수는 유전율 허수부 ϵ_2 와 관계가 있다. 그리고 전도율이 높고 광파장이 증가함에 따라서 금속과 마찬가지로 반사율이 높아지고, 동시에 자유 carrier 흡수로 인해서 광파장의 영역의 흡수가 증가되는데 그것을 잘 나타내고 있다.

Fig.5는 유전율을 나타낸 것으로 파장을 450nm에서 650nm로 증가 하였을때 복소유전율 특성을 나타낸 것으로 ϵ_1 과 ϵ_2 는 SiO 증착막 두께가 증가함에 따라 복소유전율 값이 적게 되었고 파장이 증가함에 따라 비례적으로 증가함을 나타내고 있다. 여기서 파장 650nm에서 유전율 실수부 ϵ_1 의 값 #2는 2.8이고 #1은 2.3으로 각각 나타나 그 편차가 0.5 값을 나타내고 있으며 허수부 ϵ_2 값 역시 같은 광파장 650nm에서 #2가 9.3이고 #1은 3.5로 각각 나타나 그 편차가 5.8로 나타나고 있는데 그 이유는 SiO 박막에 빛이 통과 되면 빛은 박막의 물질과의 상호작용에 의해 흡수되어 파장의 증가에 따라 점차 증가 되는데 이것은 박막내를 진행한 후의 빛의 강도 $I(x) = I_0 \exp(-\alpha x)$ 식을 만족 한다. 그리고 같은 파장에서 복소 유전율의 크기를 조사 해 보면 허수부 ϵ_2 가 큰값을 갖고 박막 두께에 따라 편차도 크게 나타나는데 그 이유는 시료에

입사된 빛 에너지에 의해 전도대의 전자와 가 전자대의 정공사이에 작용하는 쿨롱력의 작용에 의해 금지대의 밀도는 SiO층 두께가 두꺼울수록 단위밀도가 낮기 때문에 광흡수가 증가한다. SiO 박막의 기초적인 저흡수단에서 복소 유전율의 허수부 ϵ_2 에 대한 전체효과를 고려하면 ϵ_2 는 기초 흡수대에서는 직접 흡수계수인 α (a)에 관계함을 알 수 있다.

5. 결론

알루미늄 전극을 사용한 SiO 박막의 두께와 면적을 다르게 시편을 제작하여 Spectroscopic Ellipsometer를 이용하여 실험적으로 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) SiO 박막에 입사광 파장을 증가 시키면 저 파장에서는 기초흡수 및 불순물 흡수가 일어났다.
- (2) SiO 박막 증착두께가 두꺼울수록 굴절률값은 크게 나타났다.
- (3) 절연층 SiO막 두께가 얇으면 흡수율이 크게 나타났다.

참고문헌

[1].J.M white and P.F.Heidrich, "Optical waveguide refractive index profiles determined from measurement of mode indices a simple analysis", Appl. Optics, vol.15, pp.151-155, 1976.
 [2].Makoto Minakata, shoichi stito, Masashi shibata, and shintaro Miyazawa "precise determination of refractive-index changes in Ti-diffused LiNbO₃ optical waveguids", Jour. of Appl. phys. vol.49, pp.4677, 1978.

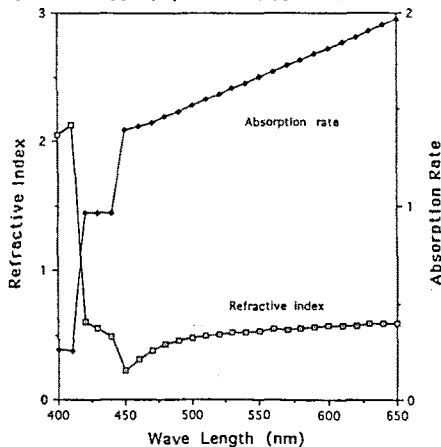


Fig. 2 Relationship of refractive index and absorption rate according to the increase of wavelength

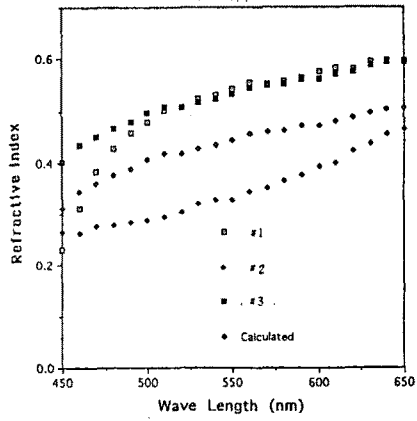


Fig. 4 Relationship of absorption rate according to the increase of wavelength

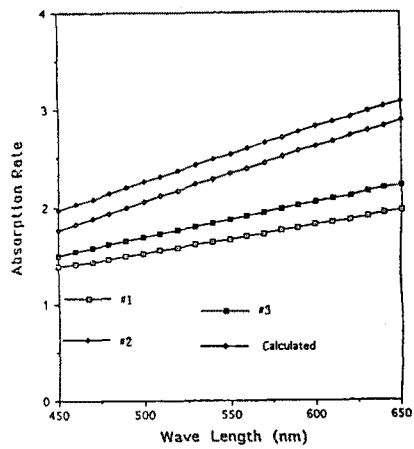


Fig. 3 Relationship of refractive index according to the increase of wavelength

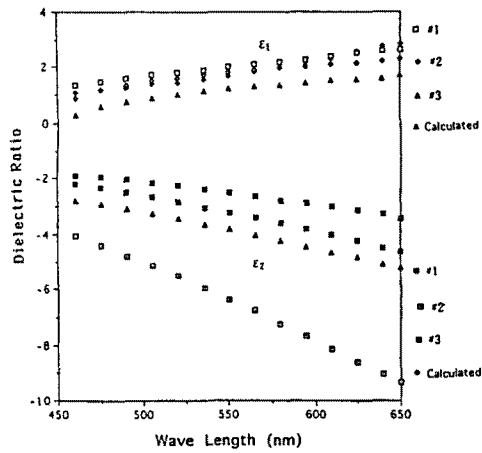


Fig. 5 Relationship of ϵ_1 and ϵ_2 according to the increase of wavelength