

## MNA/PMMA 고분자박막의 복소굴절율 및 두께결정

김 상 열

아주대학교 물리학과, 수원 442-749

(1996년 7월 19일 받음)

스핀 코팅으로 제작한 MNA/PMMA 고분자박막의 두께 및 굴절율과 소광계수를 결정하였다. 타원해석 스펙트럼을 분석하여 박막의 두께 및 투과영역에서의 굴절율을 결정하고 광흡수 스펙트럼으로부터 흡수영역에서의 소광계수 스펙트럼을 역방계산하였다. 이 소광계수 스펙트럼을 가장 잘 나타내는 고전적 Lorentz 진동자 상수들과 양자역학적 진동자 상수들을 각각 구하고 이들 진동자에 의한 복소굴절율 스펙트럼들을 비교하였다. 이 방법은 대부분의 고분자박막의 두께 및 굴절율과 소광계수 스펙트럼을 구하는데 적용될 수 있으며 고분자박막의 광학적 특성을 규정짓는데 매우 유용하게 사용될 수 있겠다.

### I. 서 론

박막의 두께, 굴절율과 소광계수는 그 박막의 가장 기본적인 광학상수이지만 미지박막의 광학상수를 결정하는 것은 용이한 일이 아니며 이들에 관한 많은 연구가 행하여져 왔다. 대부분의 광학박막은 가시영역에서의 광흡수는 무시될 정도로 작기 때문에 박막의 굴절율이 주된 관심의 대상이 되며 투명한 박막의 굴절율을 측정하는 여러 가지 방법이 보고되어 왔다.<sup>[1-4]</sup> 분광타원 해석법(spectroscopic ellipsometry, SE)은 박막의 두께와 굴절율뿐만이 아니라 박막의 밀도분포까지도 비교적 정확하게 분석할 수 있으며 더구나 박막의 두께에 제한을 받지 않기 때문에 측정과장보다 아주 얇은 박막을 분석하는 데에도 성공적으로 사용되어 왔다.<sup>[5-8]</sup> 특히 최근에는 투명한 박막의 굴절율뿐만이 아니라 투명하지 않은 박막의 복소굴절율 즉 박막의 굴절율과 소광계수를 동시에 결정하는 새로운 광학적인 방법을 이용한 이산화티타늄박막의 굴절율 및 소광계수 스펙트럼이 분석, 보고 되고 있다.<sup>[9,10]</sup> 한편 MNA/PMMA (2-methyl-4-nitroaniline/polymethylmethacrylate) 고분자박막은 비선형 광학특성을 보여주는 대표적인 고분자박막으로서 복소굴절율과 두께는 이 고분자박막의 비선형 특성을 기술하기 위해 필요한 가장 기본적이며 중요한 광학상수들이다.<sup>[11]</sup> 본 연구에서는 SE와 광흡수 스펙트럼 및 고

전적인 진동자와 양자역학적 진동자의 분산관계식을 이용하여 MNA/PMMA 고분자박막의 굴절율 스펙트럼과 소광계수 스펙트럼, 그리고 두께를 결정하였다.

### II. 실험장치 및 방법

시료는 다음과 같이 준비하였다. PMMA와 MNA를 무게비로 5 : 1로 섞은 다음 약 5 배의 TCE(tetrachloroethane)용매 또는 THF(tetrahydrofuran)용매에 넣어 열판위에서 잘 섞어준다. 약 24 시간 후에 용액상태가 되면 아세톤 및 증류수로 세척한 비정질 실리카 기판 및 단결정 실리콘 웨이퍼 기판위에 각각 도포한 후 이를 회전코팅기 (spin coater)에 장착시켜 분당 3500 회전으로 1분간 회전시켜 얇게 퍼지게 한 다음 80°C에서 약 1시간동안 구워 용매를 제거한다. 광학적인 측정은 다음과 같이 하였다. 분광타원해석기(Jobin-Yvon UNISEL)를 사용하여 SE 측정을 하였으며 측정대역은 1.5~5.0 eV, 입사각은 70° 이었다. 또한 분광광도계(JASCO V550)의 기준빔(reference beam) 측에는 아무것도 두지 않고 시료빔(sample beam) 측에는 비정질 실리카위에 증착된 시료면을 광축에 수직으로 두어 190~900 nm의 과장대역에서 투과 스펙트럼을 측정하였다.

### III. 결과 및 분석

비정질 실리카위에 입혀진 MNA/PMMA 박막의 투과 스펙트럼 (그림 1)에서 알 수 있듯이 MNA/PMMA

MNA/PMMA 박막시료를 제작하여 주신 원 영희교수님께 감사사를 드립니다. 본 연구는 '96년도 교육부 학술연구조성비(BSRI-96-2429)의 지원을 받아 이루어졌습니다.

박막은 대략 430 nm 이상의 파장대역에서는 투명한 광학박막의 간섭에 의한 진동을 보여주고 있으며 약 371 nm를 중심으로 하여 하나의 커다란 흡수피크가 있고 255 nm와 200 nm 사이에 여러 개의 작은 흡수피크가 중첩되어 있다. 따라서 430 nm 이상의 파장대역(2.9 eV 이하의 광자에너지대역)에서는 이 박막은 투명한 유전체박막으로 간주하여 분석할 수 있으며 371 nm를 중심으로 하는 흡수피크는 하나의 진동자를 도입하여 분석할 수 있음을 알 수 있다. 유전체박막 또는 박막의 광흡수가 무시되는 파장대역에서는 분광타원해석법을 사용하여 박막의 굴절율과 두께를 그리고 박막의 조밀도 분포를 동시에 구하는 방법은 이미 잘 알려져 있다.<sup>[7,8]</sup>

그림 2와 같이 매질/박막/기층의 구조를 가진 3상계에서 타원해석상수  $\Delta$ 와  $\psi$ 는 식 1에서와 같이 매질의 굴절율  $n_m (=1, \text{공기매질의 경우})$ , 박막의 굴절율  $n$ , 박

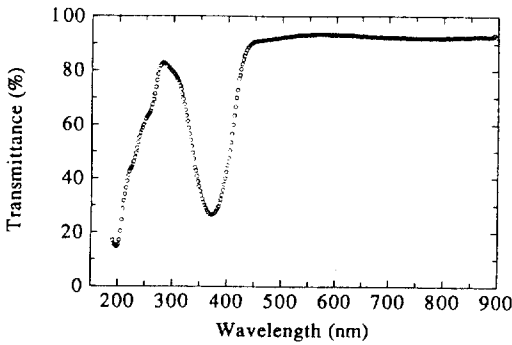


그림 1. 비정질 실리카위에 입혀진 MNA/PMMA 박막의 투과스펙트럼.

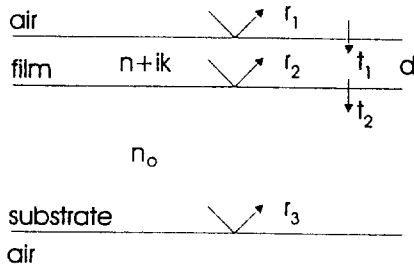


그림 2. 매질/박막/기층의 구조를 가진 3상계. 매질인 공기의 굴절율은 1.0으로 하였다.

막의 소광계수  $k$ , 박막의 두께  $d$ , 기층의 굴절율  $n_s$ , 그리고 입사각  $\phi$ 의 함수로 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \psi &= \psi(n_m, n, k, n_s, d, \phi) \\ \Delta &= \Delta(n_m, n, k, n_s, d, \phi) \end{aligned} \quad (1)$$

한편 광투과영역에서 박막의 굴절율은 아래의 식 2와 같이 Sellmeier형 분산관계식으로 나타낼 수 있으므로 이들 분산관계식의 계수인  $a, b, \lambda_0$ 를 구하면 박막의 굴절율을 결정할 수 있게 된다.

$$n^2(\lambda) = a + \frac{b\lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_0^2} \quad (2)$$

매질 및 기층의 굴절율 그리고 입사각은 대개 알려져 있으므로 미지박막의 광학상수들을 구하기 위해서는  $a, b, \lambda_0$ 와 박막의 두께  $d$ 를 결정하여야 한다. 측정된 타원해석 스펙트럼과 가장 가까운 타원해석 스펙트럼을 주는 미지상수의 값들을 결정하는 방법, 즉 식 3의  $\sigma$ 를 최소로 하는 회귀분석 모델링방법을<sup>[6,12]</sup> 적용하여 비정질 실리카위에 증착시킨 MNA/PMMA 박막상수 값들을 구하였다. 구해진 박막상수 값들은 표 1에 정리한 바와 같다.

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-p-1} \left[ (\alpha_{exp} - \alpha_{cal})^2 + (\beta_{exp} - \beta_{cal})^2 \right] \quad (3)$$

여기서  $\alpha_{exp}$ 와  $\beta_{exp}$ 는 각각 빛의 세기를 회전검광자의 각도로 나타낼 때의 Fourier 계수들의 측정값,  $\alpha_{cal}$ 과  $\beta_{cal}$ 은 각각 계산된 Fourier 계수들이며  $N$ 과  $p$ 는 각각 측정된 데이터의 갯수 및 미지상수의 갯수이다. 이들 Fourier 계수들은 타원해석상수인  $\psi$ 와  $\Delta$ 로써 간단하게 나타낼 수 있다.<sup>[6,13]</sup>

Haga 등에 의하면 MNA/PMMA 박막의 굴절율은 가시영역에서 1.50~1.52의 값을 가진다.<sup>[14]</sup> 이 값은 표 1의 상수들을 식 2에 대입하여 구한 광투과영역에서 굴절율과 서로 잘 일치함을 알 수 있다. 예를 들어 632 nm에서 계산된 굴절율은 1.511이다.

한편 광흡수영역에서는 MNA/PMMA의 굴절률이 식 2에 의한 것과 같이 급격히 증가하지 않으며 동시에 소광계수도 0이 아니다. 광흡수영역에서 MNA/PMMA

표 1. 비정질실리카 기판위에 제작된 MNA/PMMA 박막시료의 투과영역의 타원해석 스펙트럼에 최적맞춤하여 구한 Sellmeier 분산관계상수 및 박막상수값

$a$	$b$	$\lambda_0(\text{nm})$	$d(\text{nm})$	$\sigma$
$2.126 \pm 0.141$	$0.109 \pm 0.110$	$351.2 \pm 50.5$	$379.2 \pm 3.4$	0.0131

박막의 굴절율과 소광계수는 아직까지 보고된 바 없으며 본 연구에서는 다음과 같이 결정하였다. 투과율이 측정되어 있을 때 MMA/PMMA 박막의 소광계수를 되먹임 관계식을 사용하여 아래의 식 3과 같이 쓸 수 있다.<sup>[9]</sup>

$$k(\lambda) = -\frac{\lambda}{4\pi d} \left[ \ln(T/n_o) + \ln(1 - |r_{2r_3}|^2) / (1 - r_3^2) + \ln|(1 + r_1 r_2 e^{2i\delta}) / t_1 t_2|^2 \right] \quad (4)$$

여기서 기층의 두께는 4.35 mm로 박막의 두께나 빛의 간섭길보다 매우 크므로 이 기층내에서 빛의 간섭에 의한 효과를 무시하였다.  $T$ 는 광투과율,  $t_1, t_2$ 는 공기매질과 박막간의 계면과 박막과 기층간의 계면에서의 Fresnel 투과계수, 그리고  $r_1, r_2$ 는 동일한 계면들에서의 Fresnel 반사계수이다.  $r_3$ 는 기층과 공기매질에서의 Fresnel 반사계수이며  $\delta = 2\pi n d(n + ik)/\lambda$ 이다.  $k$ 의 값을 3식의 우측에 되먹임을 하면 소광계수는 매우 빨리 수렴하며 소광계수의 수렴성 등은 식 3의 우측항에 내포되어 있는

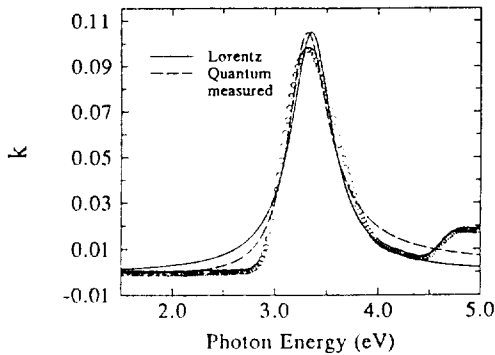


그림 3. 빛의 투과율을 역방 되먹임 관계식에 적용시켜 구한 MNA/PMMA 박막의 소광계수 스펙트럼과 3.34 eV주위의 주된 소광계수피크를 고전적인 Lorentz 진동자 모델과 양자역학적 진동자 모델로써 각각 최적맞춤한 스펙트럼들. 고전적인 진동자에 의한 스펙트럼(패선)은 중심피크에 대해 대칭성을 보이지만 양자역학적 진동자에 의한 스펙트럼(실선)은 비대칭성을 보인다. 실측된 스펙트럼(원)은 낮은 에너지 영역에서는 양자역학적 진동자와 가까우나 높은 에너지 영역에서는 고전적인 진동자와 가까운 경향을 보인다.

굴절율의 초기값 설정에 영향을 거의 받지 않음에 관해서는 다른 논문을 통하여 자세히 논의한 바 있으므로<sup>[9,10]</sup> 식 3에 의한 결과를 더 이상의 논의없이 사용하겠다. 이렇게 구해진 소광계수 스펙트럼은 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서 볼 수 있는 3.34 eV(371 nm) 주위의 가장 큰 피크외에도 4.8 eV, 5.5 eV 그리고 6.2 eV를 정점으로 하는 3개의 작은 흡수피크가 중첩하여 나타나지만 여기서는 4.5 eV 이하의 파장대역에 해당하는 주 흡수피크만을 분석하였다.

광투과영역에서의 타원해석 스펙트럼을 분석하여 박막의 두께를 구하고 식 3에 따라 박막의 소광계수를 구한 다음 이들을 사용하여 광흡수영역에서 타원해석 측정치를 역방계산하여 박막의 굴절율을 구할 수 있지만 이 경우 역방계산에 사용된 3상계 박막모형이 실제의 박막 구조를 정확하게 나타내지 못하는 박막모형의 불완전성으로 인하여 측정치의 오차 및 박막모형의 불완전성에 따른 오차가 모두 박막의 굴절율로 전가되는 위험이 따른다. 마찬가지로 박막의 두께를 고정하고 측정된  $(\Delta, \Psi)$ 로부터  $(n, k)$ 를 각각의 파장에서 역방계산하여 결정하는 방법도 안전하지 못하다. 따라서 본 연구에서는 측정데이터 갯수를 미지상수의 갯수보다 훨씬 많도록 설정하고(약 10배) 최적 미지상수값을 과도하게 결정하는 (over-estimate) 방법을 택하였다. 몇개의 미지상수로써 광흡수영역의 복소굴절율을 결정하는 보편적인 방법은 적당한 진동자모델을 사용하여 분산관계식으로 나타내는 것이다. 이 진동자모델상수가 결정할 미지상수이며 여기서는 고전적인 Lorentz 진동자와 양자역학적인 진동자의 각각의 경우에 대해 분석하였다. 먼저 이 소광계수 피크를 고전적인 Lorentz 진동자 모델로써 맞춤하여 진동자 상수들을 결정하였다. Lorentz 진동자에 의한 복소유전함수의 표현은 식 4와 같다.<sup>[15]</sup> 이 복소유전함수의 계급근인 복소굴절율의 실수부 및 허수부가 각각 굴절율과 소광계수이다.

$$\epsilon = \epsilon_\infty + \frac{AE_\infty^2}{E_\infty^2 - E^2 + i\Gamma E} \quad (5)$$

여기서  $\epsilon_\infty$ 는 장파장 극한에서의 유전율값,  $A$ 는 진동자 세기에 비례하는 상수,  $E_\infty$ 는 진동자의 고유진동수에 해

표 2. 장파장 극한에서의 굴절율 및 흡수영역의 소광계수 스펙트럼에 최적맞춤하여 구한 고전적인 Lorentz 진동자 상수들  $\sigma_L$ 는 소광계수의 평균 최적맞춤오차를 가리킨다

$\epsilon_\infty$	$E_\infty$ (eV)	$\Gamma$ (eV)	$A$	$\sigma_L$
2.2024	3.355 ± 0.009	0.481 ± 0.025	0.0448 ± 0.0035	0.0069

당하는 빛의 에너지,  $E$ 는 입사광의 에너지, 그리고  $\Gamma$ 는 감쇠상수이다. 1.5 eV의 장파장에서는 식 2 및 표 1의 Sellmeier 분산식에 의한 굴절률값이 최적맞춤하며 동시에 2.6 eV부터 4.5 eV까지의 파장대역에서는 그림 3의 소광계수 스펙트럼에 최적맞춤하여 Lorentz 진동자 상수값들을 회귀분석방법으로 결정하고 표 2에 정리하였다. 한편 양자역학적인 진동자 모델을 사용하여 2.6 eV부터 4.5 eV까지의 파장대역에 있는 이 소광계수 피크를 전산시뮬할 수 있는데 고전적인 Lorentz 진동자의 모델상수를 구한 것과 마찬가지로 이 영역에서의 소광계수 스펙트럼에 최적맞춤하여 진동자 상수들을 회귀분석법으로 구하여 표 3에 나타내었다. 양자역학적 진동자 모델에 의한 소광계수 분산식은 식 5와 같다.<sup>[16]</sup>

$$k(E) = \frac{A(E - E_k)^2}{E^2 - BE + C} \quad (6)$$

여기서  $E_k$ 는 기본 천이에너지이며  $A$ ,  $B$  그리고  $C$ 는 진동자의 특성에 관계되는 상수들이다. 이 소광계수는  $E = E_k'$ 일 때 극대값을 가지며 양자역학적 진동자 에너지  $E_k'$ 은 식 6과 같이 쓸 수 있다.

$$E_k' = \frac{2C - BE_k}{B - 2E_k} \quad (7)$$

진동자 상수들이 결정되면 흡수영역에서의 굴절률은 바로 계산된다. Lorentz 진동자에 의한 유전율(식 2)의 제곱근을 구하면 복소굴절률이 구해지며 이 복소굴절율의 실수부분이 굴절률이 됨은 이미 논의한 바와 같다. 한편 양자역학적 진동자에 의한 굴절률은 식 7에 따라 구한다.<sup>[15]</sup>

$$n(E) = n_x + \frac{B'E + C'}{E^2 - BE + C} \quad (8)$$

단

$$B' = \frac{A(-B^2 + 2E_k B - 2E_k^2 + 2C)}{\sqrt{4C - B^2}} \quad (9)$$

$$C' = \frac{A[B(E_k^2 + C) - 4E_k C]}{\sqrt{4C - B^2}} \quad (10)$$

여기서  $n_x$ 는 장파장 극한에서의 굴절률이다. 식 2의 Sellmeier 분산식에 따라 이미 구한 1.5 eV에서의 굴절율과 식 7에 의한 1.5 eV에서의 굴절율이 일치하도록  $n_x$ 를 결정하였다.

이상과 같이 구한 소광계수 스펙트럼들을 그림 3에

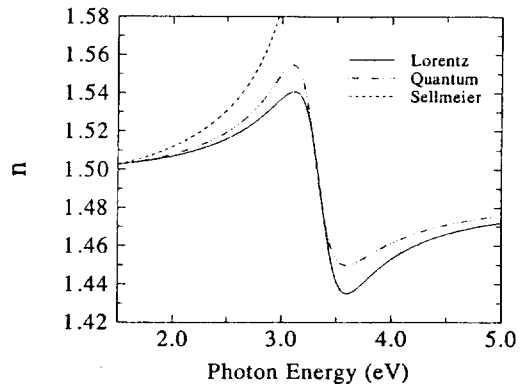


그림 4. 비정질실리카 기판위에 제작된 MNA/PMMA 박막의 굴절률 스펙트럼들. Sellmeier 분산식에 의한 굴절률 스펙트럼(점선)은 투과영역에서 다른 스펙트럼들과 잘 일치하지만 흡수영역에서는 크게 차이가 나는 것을 알 수 있다. 고전적인 진동자에 의한 스펙트럼(패선)은 양자역학적인 진동자에 의한 스펙트럼(실선)과 서로 비교적 잘 일치한다.

나타내었다. 전체적으로 1.5 eV부터 4.5 eV까지의 영역에서는 측정된 소광계수와 잘 일치하고 있음을 알 수 있으며 4.5 eV 이상의 영역에서는 새로운 진동자들에 의한 영향이 고려되어야 함을 알 수 있다. 구체적으로는 고전적인 진동자에 의한 소광계수 스펙트럼(패선)은 중심피크에 대해 좌우 대칭성을 보이지만 양자역학적 진동자에 의한 소광계수 스펙트럼(실선)은 좌우 비대칭성을 보인다. 실측된 스펙트럼(흰)은 낮은 에너지영역에서는 양자역학적 진동자에 의한 스펙트럼과 가까우나 높은 에너지영역에서는 고전적인 진동자에 의한 것과 가까운 경향을 보인다. 또한 굴절률 스펙트럼을 비교한 그림 4에서 1.5 eV의 장파장영역에서는 Sellmeier 분산식에 의한 굴절률은 진동자 모델에 의한 굴절률들과 잘 일치하는 것을 알 수 있다. Sellmeier 분산식에 의한 장파장 극한에서의  $n^2$ 은  $a + b$ 로써 2.234인데 비해 Lorentz 진동자에 의한 장파장 극한에서의 대응되는 값은  $\epsilon_\infty + A$ 로써 2.247으로 약간 크게 나타난다. 반면 양자역학적 진동자에 의한  $n^2$ 은 2.217으로 약간 작은 값을 보여준다. 한편 3.34 eV를 중심으로하는 흡수영역에서는 고전적인 진동자에 의한 스펙트럼(패선)이나 양자역학적인 진동자에 의한 스펙트럼(실선)모두에서 감쇠가 있을 때의 공명주위의 분산곡선을 보여주며 이들이 실제 MNA/PMMA 박막의 복소굴절율과 가까울 것으로 판단된다. 두 진동자에 의한 굴절률 스펙트럼들은 전체적으로는 비슷한

표 3. 흡수영역의 소광계수 스펙트럼에 최적맞춤하여 구한 양자역학적 진동자 상수들  $\sigma_{QM}$ 은 소광계수의 평균 최적맞춤오차를 가리킨다.

A	B(eV)	C(eV <sup>2</sup> )	$E_k$ (eV)	$n_x$	$\sigma_{QM}$
0.0017 ± 0.0006	6.569 ± 0.027	10.844 ± 0.091	1.44 ± 0.38	1.489	0.0063

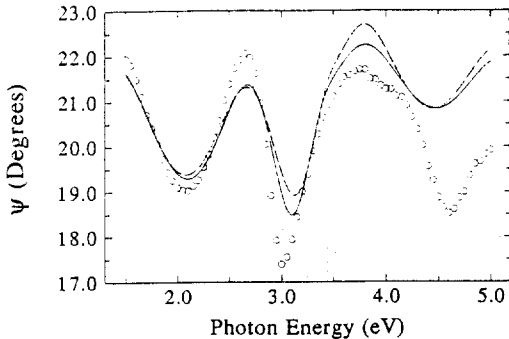


그림 5. MNA/PMMA 박막시료의 타원해석 스펙트럼(원)과 Lorentz 진동자 모형(패선) 및 양자역학적 진동자 모형(실선)에 의한 타원해석 스펙트럼들.  $\psi$ 의 타원해석 스펙트럼은 4.0 eV 이상의 영역에서는 차이가 비교적 많다. Sellmeier 분산식에 의한 스펙트럼(점선)은 3.0 eV 이하의 영역에서는 가장 잘 일치하지만 흡수피크가 있는 3.35 eV 주위에서는 아주 불규칙하며 또한 차이도 매우 크다.

크기와 형태를 보이고 있다. 다만 3.34 eV 이하의 영역에서는 양자역학적 진동자의 의한 굴절율이 더 빨리 증가하며 3.34 eV 이상의 영역에서는 고전적인 진동자에 의한 굴절율이 더 큰 진동폭을 가짐을 알 수 있다. 이는 소광계수의 반치폭이 3.34 eV 이하의 영역에서는 양자역학적 진동자에 의한 것이 더 작는데 반해 3.34 eV 이상의 영역에서는 고전적 진동자에 의한 것이 더 작은 비대칭성과 대응된다. 그럼에도 불구하고 두 진동자 모델에 의한 굴절율의 차이는 전 파장대역에 걸쳐 최대 0.015를 초과하지 않으며 대부분의 파장대역에서는 서로 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다. 한편 진동자에너지와 관계되는 최소투과율 파장은 371 nm(=3.34 eV)이다. 이는 Sellmeier 분산식의  $\lambda_c$ 인 351.2 nm(=3.532 eV), Lorentz 진동자의  $E_k$ 인 3.355 eV, 그리고 양자역학적 진동자의  $E_k'$ 인 3.315 eV 등으로 표현되고 있다.

마지막으로 각각의 진동자 모형에 따라 복소굴절율을 구하고 이 복소굴절율을 가지는 물질을 비정질 실리카 기판위에 379 nm만큼 입힌 시료의 타원해석 스펙트럼을 계산하여 실제 MNA/PMMA 박막시료의 타원해석 스펙

트럼과 비교하였다. 그림 5에서 알 수 있듯이  $\psi$ 의 타원해석 스펙트럼은 서로 비교적 잘 일치하지만 4.0 eV 이상의 영역에서는 차이가 비교적 많음을 알 수 있다. 또한 Sellmeier 분산식에 의한 굴절율식을 사용하여 계산한 스펙트럼(점)은 실측된 스펙트럼과 3.0 eV 이하의 영역에서는 가장 잘 일치하지만 흡수피크가 있는 3.35 eV 주위에서는 아주 불규칙하며 또한 차이도 매우 큼을 확인할 수 있다. 전체적으로는 양자역학적 진동자에 의한 스펙트럼이 실측치와 가장 가까운 결과를 보여주는 것으로 판단되었다.

#### IV. 결 론

MNA/PMMA 고분자박막을 스핀 코팅으로 비정질 실리카 기판과 단결정 실리콘 웨이퍼 위에 각각 제작하였다. 분광타원해석 스펙트럼을 사용하여 박막의 두께 ( $d=379$  nm) 및 투과영역에서의 굴절율을 결정하였다. 투과율 스펙트럼을 역방계산하여 구한 소광계수 스펙트럼을 고전적 Lorentz 진동자 및 양자역학적 진동자로서 맞춤하여 진동자 상수들을 결정하고 표 2와 표 3에 정리하였다. 진동자세기, 진동자에너지 그리고 분광타원 스펙트럼 등의 비교를 통하여 각 진동자 모형을 논하였다. 이 방법은 미지의 고분자박막이나 유기박막의 두께 및 굴절율과 소광계수 스펙트럼을 구하며 박막의 광학적 특성을 규정짓는데 매우 유용하게 사용될 수 있겠다.

#### References

- [1] E. Pelletier, "Methods for Determining Optical Parameters of Thin Films", in Handbook of Optical Constants of Solids II, Edward D. Palik, ed., (Academic Press, Inc., Toronto, 1991) chap.3.
- [2] F. Abeles, "Methods for determining optical parameters of thin films," in Progress in Optics, E. Wolf, ed., vol.II, (North-Holland Company, Amsterdam, 1963) chap.VI.
- [3] Jean M. Bennett, Emile Pelletier, G. Albrand, J.P. Borgogno, B. Lazarides, Charles K. Carniglia, R.A. Schmall, Thomas H. Allen, Trudy Tuttle-Hart,

- Karl H. Guenther, and Andreas Saxer, "Comparison of the properties of titanium dioxide films prepared by various techniques", *Applied Optics*, **28**, 3303 (1989).
- [4] J.P. Borgogno, B. Lazarides and E. Pelletier, "Automatic determination of the optical constants of inhomogeneous films", *Applied Optics*, **21**, 4020 (1982).
- [5] D.E. Aspnes, "Optical characterization by ellipsometry -A perspective", *J. de Physique*, **C10**, 3 (1983).
- [6] 김상열, "Spectroscopic ellipsometry를 이용한 표면 및 박막의 분석", *한국광학회지*, 제1권, 제1호, 73 (1990).
- [7] K. Vedam and S.Y. Kim, "Simultaneous determination of refractive index, its dispersion and depth-profile of magnesium oxide thin film by spectroscopic ellipsometry", *Applied Optics*, **28**, 2691 (1989).
- [8] S.Y. Kim and K. Vedam, "Simultaneous determination of dispersion relation and depth profile of thorium fluoride thin film by spectroscopic ellipsometry", *Thin Solid Films*, **166**, 325 (1988).
- [9] S.Y. Kim, "Simultaneous determination of refractive index, extinction coefficient and void distribution of titanium dioxide thin film using optical methods", *Applied Optics*, **35** (in press, 1996).
- [10] S.Y. Kim, H.J. Kim, H.M. Cho and Y.W. Lee, "Determination of micro-structure related optical constants of titanium dioxide thin films using optical methods", *SPIE*, **2873**, 234, (1996).
- [11] K.D. Singer, M.G. Kuzyk, and J.E. Sohn, "Orientationally ordered electro-optic materials", in *Nonlinear Optical and Electroactive Polymers*, edited by Paras N. Prasad and Donald R. Ulrich (Plenum Press, New York, 1988) pp.189-204.
- [12] S.Y. Kim and K. Vedam, "Proper Choice of the Error Function in Modelling Spectroellipsometry data", *Applied Optics*, **25**, 2013 (1986).
- [13] From the technical manual of SOPRA S.A., 26 rue Pierre Joigneaux, F-92270 Bois-Colombes, FRANCE.
- [14] H. Haga와 S. Yamamoto의 비공식 보고에 의하면 532 nm, 633 nm 그리고 1064 nm에서 MNA/PMMA의 굴절률은 각각 1.52, 1.51, 1.50이다.
- [15] 단일 Lorentz 진동자에 의한 복소유전율은

$$\epsilon - \epsilon_\infty = \frac{4\pi Ne^2}{m} \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 + i\lambda\omega}$$

와 같이 쓰여진다. 여기서는  $AE_0^2 = (\hbar\omega_0/2\pi)^2$ ,  $E_0 = \hbar\omega_0/2\pi$ ,  $E = \hbar\omega/2\pi$ , 그리고  $\Gamma = \hbar\lambda/2\pi$ (단  $\omega_0^2 = 4\pi Ne^2/m$ )와 같이 변수를 사용하였다.

- [16] A.R. Forouhi and I. Bloomer, "Calculation of Optical Constants,  $n$  and  $k$ , in the Interband Region", in *Handbook of Optical constants of Solids II*, Edward D. Palik, ed., (Academic Press, Inc., Toronto 1991) chap.7.

### Determination of the Complex Refractive Index and Thickness of MNA/PMMA Thin Film

Sang Youl Kim

Department of Physics, Ajou University, Suwon, Korea 442-749

(Received: July 19, 1996)

The thickness and the spectrum of the complex refractive index in the region 1.5~4.5 eV, of an MNA/PMMA thin film fabricated by spin casting are determined. The film thickness and the refractive index in its transparent region is calculated by modelling the spectroscopic ellipsometry data. The extinction coefficient spectrum is obtained from the absorption spectrum in its non-transparent region. The best fit oscillator parameters of the classical Lorentz oscillator and a quantum mechanical oscillator are found. The complex refractive index spectrum by these oscillators are compared. The present technique can be applied to get the thickness and the complex refractive index of unknown polymer films and thus it will be useful in optical characterization of those films.