

가변 입사각 타원 해석법을 사용한 유리기판위의 이산화규소박막의 굴절율 및 두께 측정*

방현용 · 김현종 · 김상열

아주대학교 물리학과

김 병 의

국립기술품질원 요업기술원 원료과

(1996년 9월 19일 받음)

나트륨 이온의 용출을 방지하기 위해 LCD용 유리기판위에 입혀진 SiO₂ 박막의 굴절율 및 두께를 측정하였다. 입사각을 고정하고 박막의 두께를 0 Å부터 주기 두께까지 20 Å씩 증가시키며 계산한 타원해석상수와 두께를 고정하고 입사각을 45°에서 70°까지 1°씩 증가시키며 계산한 타원해석상수를 이용하여 LCD용 유리기판위에 증착된 SiO₂ 박막의 굴절율 및 두께 측정에서의 최적 측정 조건을 구하였다. 최적 측정 조건에서 굴절율 및 두께의 변화에 따른 타원해석상수 Δ와 Ψ의 변화를 계산하여 Δ와 Ψ 측정 상의 오차와 비교하여 굴절율 및 두께 결정 시의 오차를 추정하였다. 최적 측정 조건인 Brewster 각 근방에서의 여러 입사각에서 LCD용 유리기판위에 입혀진 SiO₂ 박막의 타원해석상수 Δ와 Ψ를 측정하고, 이 측정값에 최적 맞추는 SiO₂ 박막의 굴절율 및 두께를 회귀분석방법을 사용하여 전산 계산하고 분광타원해석법에 의한 박막의 두께 및 굴절율과 비교하였다.

I. 서 론

타원해석법(ellipsometry)은 편광된 빛을 시료에 입사시킨 후 반사, 혹은 투과된 후의 편광 상태 변화를 측정하여 시료의 광학적, 구조적인 정보를 알아내는 실험방법으로 비파괴성, 비간섭성의 장점을 가지며, 빛의 파장보다도 얇은 다층박막의 두께와 굴절율을 측정하는데 가장 유력하다.^[1-4] 타원해석법은 silicon반도체 위의 산화막의 측정과 같이 반도체 또는 도체기판위의 유전체 박막을 분석하는데 많이 이용되어 왔다.^[2] 그에 반해서 유전체 박막이 유리나 같은 유전체 기판위에 있는 시료의 경우 간섭을 이용한 투과율이나 반사율의 측정과 같이 일반적인 광학적인 방법을 사용하여 박막의 굴절율이나 두께 등을 측정하여 왔다.^[5] 이 경우에도 타원해석법은 박막의 두께가 빛의 파장에 비해 얇아서 간섭곡선등이 관찰되지 않는 경우에도 비교적 잘 적용되어 왔다.^[6] 하지만 기층과 박막의 굴절율 대비에 따라 박막의 굴절율이 기층인 유리와 차이가 많이 나거나 박막이 두꺼운 시료들은 상대적으로 많이 취급되었으나, 굴절율의 차이가 거의 없는 유리위에 SiO₂ 박막이 있는 시료에 관한 연구는 보고되지 않고 있다. 기층과 박막의 굴절율의 차가 적기 때문에 일반적인 광학적인 방법을 사용하여 SiO₂ 층을 분석하기는 거의 불가능하며 타원해석법을 사용하여 분석한 예도 찾아보기 쉽지 않다.

* 시료 준비에 도움을 주신 요업기술원의 원료과 및 타원해석측정에 도움을 주신 표준과학연구원의 양자광학실에 감사를 드립니다. 본 연구는 통상산업부 전자소재 및 재료의 시험·평가기술개발 연구비 및 한국학술진흥재단 대학부설연구소 연구과제 연구비 (95년)의 지원을 받아 이루어졌습니다.

한편, 얇은 박판형태의 화면 표시 방식이 최근 관심을 많이 끌고 있고, 그 중의 한가지 대표적인 방식인 LCD를 이용하는 방식은 면적이 크지 않은 화면 표시에 많이 사용되고 있다. LCD용 화면으로 사용되는 유리기판의 경우, 전극에 전압을 가할 때 용출되는 나트륨 이온 등의 양을 줄이기 위해서 대개 유리기판위에 구조가 치밀하고 유리와 조성이 비슷한 SiO₂ 박막을 입히게 되는데 용출방지막으로써의 특성을 유지하며 경제성을 유지하는 박막성장 방법은 산업 현장에서 극히 중요한 관심의 대상이 된다.^[4] 따라서 이 SiO₂ 박막의 두께와 밀도 등을 분석하는 방법은 매우 중요한 반면 이미 언급한 바와 같이 이 SiO₂ 박막은 유리기판과 굴절율의 차이가 아주 적기 때문에 분석은 용이하지 않다. 본 연구에서는 LCD 유리 기판위에 성장된 용출방지용의 SiO₂ 박막의 두께 및 굴절율을 타원해석법(ellipsometry)을 사용하여 분석하는 방법을 제시하고 실제 시료에 적용하였다.

II. 시료 준비 및 실험 방법

1. 시료 준비

사용된 LCD기판 및 LCD기판위에 SiO₂가 코팅된 시료는 모두 시판되고 있는 일본 Asahi glass사 제품으로 LCD기판은 소다염유리(soda-lime glass)로 두께가 1.07 mm이며 알칼리 용출을 막기 위해 이 기판위에 입혀진 SiO₂ 박막은 dip & firing 방법으로 코팅되었다.

2. 측정 기기 및 방법

측정에 사용한 분광타원해석기(UVISEL, Jobin-Yvon)는

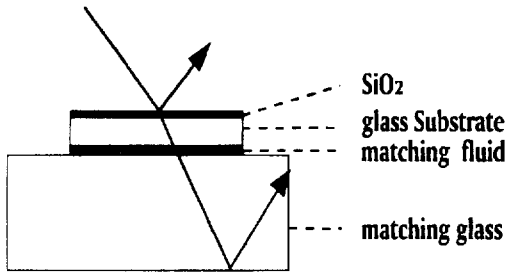


그림 1. 얇은 LCD 유리기관의 후면 반사 제거 방법.

위상 변조 방식(phase-modulation type)으로 작동한다. 광원은 75 W Xe 방전 램프(Xenon arc lamp)이며 편광자와 검광자는 모두 Glan prism 형으로 PEM(photoelastic modulator)과 각각 0°, 45° 각도를 유지하고 있다. 검광자와 단색화 장치(monochromater)를 통과한 빛은 PMT(photomultiplier tube) 및 고전압원으로 이루어진 검출기(detector)에 감지되어 컴퓨터에서 신호 처리 과정을 거쳐 타원해석상수 Δ와 Ψ를 준다.

측정은 다음과 같이 하였다. 대개의 산업체에서 보유하고 있는 타원해석기는 He-Ne 레이저를 광원으로 하는 단색광 타원해석기이기 때문에 이들 단색광 타원해석기를 사용하여 분석할 때와 비슷한 조건이 되도록 파장을 1.5 eV, 2.0 eV, 2.5 eV 그리고 3.0 eV에 각각 고정하고 입사각을 50°, 55°, 60°로 바꾸어 Δ와 Ψ를 측정하였다. 또한 박막의 밀도와 두께 등을 분광타원해석법(Spectroscopic Ellipsometry, SE)를 사용하여 별도로 측정하기 위하여 입사각을 60°로 고정시켜서 Δ와 Ψ 스펙트럼을 1.5 eV~5.0 eV의 영역에서 구하였다.

모든 타원해석기는 나름대로의 측정오차를 가지고 있다. 이러한 오차는 3상계를 역방계산할 때 박막의 두께 및 굴절율의 오차로 바로 전파되며 유리기관위의 SiO₂ 시료와 같이 박막과 기관의 굴절율 대비가 아주 작은 시료의 경우 그 전파된 오차는 매우 커진다. 따라서 한 입사각에 대한 Δ와 Ψ만을 측정할 경우, 역방계산을 통하여 계산된 굴절율과 두께의 오차는 매우 커질 수 있게 된다. 한편 여러 입사각에서의 측정치들에 최적 맞춤 하여 박막의 두께 및 굴절율을 over-estimation하면 측정에서의 오차가 미치는 영향을 많이 줄일 수 있다. 이는 가변 입사각 타원해석법(the variable angle ellipsometry, VAE)이 가지는 장점이라 하겠다. 한편 입사각은 타원해석기의 이점인 위상 측정 능력을 최대한 이용하기 위해서 반사에 따른 p파와 s파의 위상 변화의 차이가 90° 근방이 되는 Brewster 각도를 포함한 3개의 입사각을 선정하였다.^[7]

측정하는 시료의 기관이 얇아서(LCD 유리기관의 두께는 1.07 mm) 후면 반사가 측정치에 영향을 줄 수 있으므로, 이 후면 반사의 영향을 제거하기 위해 그림 1과 같이 기관물질인 유리와 동일한 굴절율을 가지는 두꺼운 유리를 놓고 시료와 두꺼운 유리사이에 마찬가지로 같은 굴절율을 가지는 matching fluid(침액)를 스며들게 하면 각 계면에서의 반사를 줄일 수 있다. 이같이 하여 후면 반사를 제거하여 주었다.

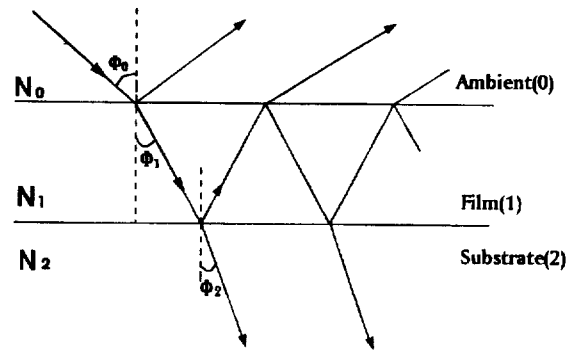


그림 2. 매질/박막/기층으로 구성된 3상계에서의 빛의 입사와 굴절, 반사.

III. 이론 및 분석

1. 3상계에서의 순방계산 및 타원해석상수 계산

매질/박막/기층으로 구성된 3상계 모델을 사용하여 타원해석 측정치들을 분석하였다.

그림 2와 같이 두께가 d₁인 박막(1번)이 매질(0번)과 기층(2번)사이에 있을 때, 각각의 복소굴절율을 N₁, N₀, N₂라 두자. 여기서 복소굴절율은 실수 부분인 굴절율(refractive index) n과 허수 부분인 소광계수(extinction coefficient) k로써 N_i=n_i-ik_i와 같이 표현한다. p파 및 s파에 대해서 각각의 경우에 박막내에서 빛의 다중 반사를 고려하여 resultant refractive wave의 반사계수를 각 계면간의 Fresnel 반사 계수인 r_{ij}(예를 들어, r₀₁은 0에서 1로의 입사파의 반사 계수이고, r₁₂는 1에서 2로의 입사파의 반사 계수임)를 사용하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$r = \frac{r_{01} + r_{12} e^{-2i\beta}}{1 + r_{01} r_{12} e^{-2i\beta}} \quad (1)$$

이때 β는 박막의 위상 두께(film phase thickness)이다.

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} N_1 d_1 \cos \Phi_1 \quad (2)$$

타원해석상수들은 반사에 따르는 p파와 s파의 반사 계수의 비로써 아래식과 같이 정의된다.

$$\rho = \tan \Psi \exp(i\Delta) = \frac{r_p}{r_s} \quad (3)$$

이때 Δ는 0°~360°, Ψ는 0°~90°의 범위를 갖는 실수각으로서, Δ는 반사에 따른 p파와 s파의 위상 변화의 차이를 의미하고, tan Ψ는 반사에 따른 p파와 s파의 진폭의 비를 의미한다.^[6]

SiO₂와 같이 박막이 투명한 경우 한 주기두께(period thickness), $D_{\phi_0} = \lambda / (2\sqrt{N_1^2 - N_0^2 \sin^2 \phi_0})$ 내에서 박막의 두께를 증가시키며 계산한 타원해석상수(Δ, Ψ) 평면상에 작위로 나타내면 하나의 폐곡선을 그린다. 이 폐곡선의 면적은 입사각에 따라 달라지며 주어진 역방계산시 타원해석 측정 오차로부터 전파되는 박막의 굴절율 및 두께의 오차는 이 폐곡선의 면적이 클 수록 작아지므로 최적 입사각을 구하기 위해 여러 입사각에 대한 타원해석상수 폐곡선들을 계산하였다. 파장은

6328 Å로 고정하고, 이 과정에 해당하는 각 물질의 복소굴절율 N_2, N_1, N_0 를 사용하여 입사각을 45°부터 70°까지 5° 간격으로 증가시키면서 각각의 입사각에서 박막의 두께를 0 Å부터 주기두께까지 20 Å씩 증가시키며 타원해석상수 Δ 와 Ψ 를 구하였다. 또한 박막의 두께를 실제 시료의 두께의 근사값인 1000 Å로 고정시키고 입사각을 45°부터 70°까지 1°씩 증가시키면서 타원해석상수 Δ 와 Ψ 의 변화를 조사하였다.

한편, 박막의 굴절율 변화(δn)와 두께 변화(δd)에 따른 타원해석상수 Δ 와 Ψ 의 변화를 계산하여 굴절율과 두께의 오차 범위를 예측하여 보았다. 즉 굴절율을 +0.02 변화시킬 때와 두께를 65 Å 변화시킬 때의 Δ, Ψ 의 변화를 계산하여 굴절율 및 두께 편차의 영향을 조사하였다.

2. 3상계에서의 역방계산

3상계에서 주어진 박막의 굴절율과 두께에 대응하는 Δ 와 Ψ 를 계산하는 것이 순방계산이라면, 타원해석상수 Δ 와 Ψ 로부터 박막의 굴절율과 두께를 계산하는 것이 역방계산이다. 하나의 (Δ, Ψ)쌍으로부터 하나의 (n,d)쌍을 구하는 역방계산식은 이미 잘 알려져 있다.^[7,9] 그러나 이 역방계산식은 단결정규소표면에 성장된 수백 내지 수천 Å의 산화규소의 두께 및 굴절율을 구하는데 많이 사용되어 온 반면 이산화규소의 두께가 수십 Å정도로 아주 얇거나 박막과 기층의 굴절율 차이가 아주 적을 때는 측정 오차가 미치는 영향으로 인하여 계산된 굴절율 및 두께 값이 신뢰할 수 없는 경우가 대부분이다. 본 연구에서는 측정 오차의 영향을 최소화하기 위해 여러 (Δ, Ψ)쌍으로부터 하나의 (n,d)를 구하는 방법을 도입하였다. 이 방법은 타원해석법에서 박막들의 관련된 미지의 상수들을 정량적으로 결정하는 모델링과정과 동일한 방법으로 추정된 (n,d)에 의한 타원해석상수를 각각의 입사각에서 계산하여 식 (4)의 σ 를 최소화하는 과정에서 (n,d)를 결정하는 방법이다.

$$\sigma = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N \{ |\cos \Delta_{exp} - \cos \Delta_{cal}| + |\tan \Psi_{exp} - \tan \Psi_{cal}| \}^2 \right] \quad (4)$$

여기서 N은 실험 데이터의 갯수이다.

역방계산을 통하여 구해진 박막의 굴절율은 박막의 조밀도와 밀접한 관계를 가진다. Bruggeman 유효매질이론등을 이용하여 박막의 굴절율로부터 식 (5)와 같이 박막의 조밀도 (Packing Density, PD)를 구할 수 있다.

$$PD = \frac{(1 - n_f^2)(n_{SiO_2}^2 + 2n_f^2)}{3n_f^2(1 - n_{SiO_2}^2)} \quad (5)$$

여기서 n_f 는 역방계산을 통하여 구해진 박막의 굴절율이고, n_{SiO_2} 는 조밀도가 100%인 SiO₂ 박막의 굴절율이다.^[8]

3. 모델링(Modelling)과정

모델링과정이란, 분광타원해석 데이터를 분석하여 박막의 미지 상수들, 즉 박막의 두께, 박막의 각 성분비 등을 정량적으로 결정하는 일련의 과정을 말한다. 이러한 모델링과정은

다중박막의 두께, 구성 성분의 조성비 등을 미리 추정하고, 그 추정된 박막상수들에 의한 타원해석상수를 계산하여 실험으로 구해진 타원해석상수와 비교하면서 아래 식과 같이 정의된 오차 함수 σ_{SE} 를 최소화하는 과정에서 구해진다.^[7]

$$\sigma_{SE} = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N \{ |\cos \Delta_{exp} - \cos \Delta_{cal}| + |\tan \Psi_{exp} - \tan \Psi_{cal}| \}^2 \right] \quad (6)$$

여기서 N은 실험 데이터의 갯수이다. 타원해석 관련 식들은 고도로 비선형이어서 이들을 처리할 수 있는 독보적인 수학적 방법은 존재하지 않는다. 모델링과정에서는 먼저 지정한 범위 내에서 오차 함수가 최소가 되는 격자점을 구하고 이 격자점에서 선형회귀분석법(linear regressional analysis)을 적용하여 박막의 미지 변수들을 결정하였다.

IV. 결과 및 토의

입사각을 45°부터 70°까지 5° 간격으로 증가시키면서 각각의 입사각에서 박막의 두께를 0 Å부터 주기두께까지 20 Å씩 증가시키며 구한 타원해석상수 Δ 와 Ψ 의 변화 곡선인 그림 3에서 다음과 같은 사실을 관찰할 수 있다. 유리기관과 SiO₂ 박막의 굴절율의 차이가 적기 때문에 대부분의 입사각에서는 폐곡선의 크기가 작지만 입사각이 55° 일 때는 Δ 가 가장 넓은 영역인 최대 변역(0°~360°)에 걸쳐 변하고 있음을 알 수 있다. 이것은 타원해석기의 기기 오차가 입사각의 변화에 대해 예민하게 변하지 않는다고 가정할 때, 타원해석상수의 측정 오차가 박막의 두께 및 굴절율의 역방계산에 미치는 영향이 유리기관의 Brewster 각 근방인 55°에서는 가장 작다는 것을 보여준다. 유리기관의 Brewster 각 근방인 53°부터 57°까지 1° 간격으로 위와 동일한 계산을 한 결과에서도 유사한 결과를 확인할 수 있었다. 또한 박막의 두께를 1000 Å로 고정시키고 입사각을 45°부터 70°까지 1°씩 증가시키면서 계산한 타원해석상수 Δ 와 Ψ 의 변화 곡선은 그림 4에 나타난 바와 같다. 여기서도 입사각이 55°근방일 때 (Δ, Ψ) 평면상에서 이웃하는 점까지의 간격이 최대이며, 따라서 측정 오차가 (n,d)의 결정에 미치는 영향이 가장 작은 입사각이 55° 근방임을 확인할 수 있다.

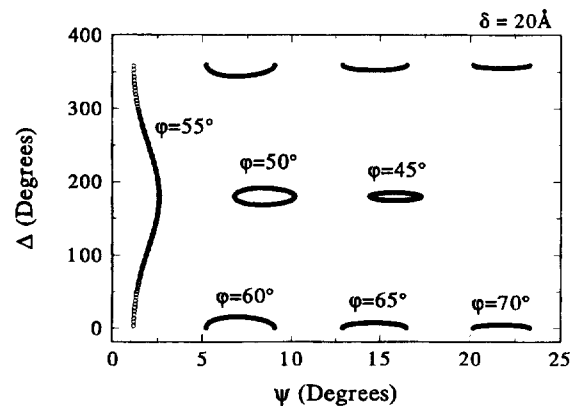


그림 3. 여러 입사각에서의 LCD 유리기관위의 SiO₂ 박막의 Δ, Ψ 성장곡선.

SE 데이터를 모델링과정으로 분석하여 SiO₂ 박막의 두께 및 조밀도를 결정하였다. 박막의 두께 및 조밀도는 표 1에 나타난 바와 같으며, 이 조밀도가 100%에 이르지 못하는 것은 상업적인 목적으로 인하여 이 박막이 저가, 대량생산 방식에 따라 성장되었기 때문인 것으로 판단된다. 측정된 조밀도에 해당하는

SiO₂ 박막의 굴절율은 표 1에 보여진 바와 같이 1.436~1.451의 값을 가진다. 구해진 바와 같이 두께가 1169 Å, 조밀도가 96.3%인 SiO₂ 박막이 유리기층위에 있는 시료의 타원해석상수 Δ와 Ψ의 변화 곡선을 입사각을 45°부터 65°까지 1°씩 증가시키면서 계산하여 그림 5에 나타내었다. 또한 박막의 두께는 1169 Å로 유지하고 굴절율을 1.440에서 1.460으로 0.02만큼 증가시켰을 때와 박막의 굴절율을 1.440으로 유지하고 두께를 1100 Å로 69 Å만큼 감소시켰을 때(λ=6328 Å)의 타원해석상수 Δ와 Ψ의 값을 같은 그래프에 그렸다. 이들 그래프로부터 두께 또는 굴절율 중 하나가 결정되어 있을 때 다른 하나만을 결정할 때 오차는 각각 0.02, 69 Å보다 훨씬 작을 것임을 확인할 수 있다. 두께와 굴절율을 동시에 결정할 때는 이들이 강한 음의 상관관계를 가지고 있으므로 실제 두께 및 굴절율을 결정할 때의 오차는 훨씬 커질 것이며 측정치를 분석할 때는 이를 고려하여야 한다.

가변 입사각 타원해석 데이터에 최적맞춤하도록 박막의 굴절율과 두께를 역방계산하기 위한 전산 프로그램은 IMSL library를 이용하며 박막의 굴절율과 두께의 초기 입력 값이 정확한 값이 아니더라도 회귀분석방법에 의해 정확한 값을 스스로 찾아가도록 되어 있다. 그러나 타원해석상수값들이 굴절율과 두께에 지나치게 비선형적이기 때문에 프로그램이 민감하여 많은 경우에 실제 찾고자 하는 굴절율과 동떨어진 값을 입력하게 되면 입력치와 가까운 곳에서의 상대 최소 영역에 갇히게 되고, 박막의 실제 굴절율과 실제 두께가 아닌 실행자가 입력한 굴절율과 두께 근처에서의 오차가 상대적으로 가장 작은 굴절율과 두께를 찾게 된다. 그러므로 (n,d) 값을 정확하게 얻기 위해서 가능한 한 박막의 실제 굴절율 및 두께 값에 가까운 값들을 입력하도록 하였다. 1.5 eV, 2.0 eV, 2.5 eV 그리고 3.0 eV에서 각각 SiO₂ 박막의 굴절율 및 두께 값을 구하여 표 1에 정리하였다. SiO₂ 박막의 굴절율이 덩어리 물질인 Vitreous silica의 굴절율보다 작은 이유는 앞에서 논의한 바와 같이 이 박막의 조밀도가 떨어지기 때문이며 각각의 굴절율값으로부터 조밀도를 계산하였다. 가변 입사각 타원해석법으로 구한 굴절율과 두께를 가진 SiO₂ 박막을 유리기층위에 두고 여러 입사각 범위에서 예상되는 (Δ,Ψ)값을 계산하여 그린 그래프(실선)와 실제 타원해석 측정치(원)를 비교한 그림 6에서 이들

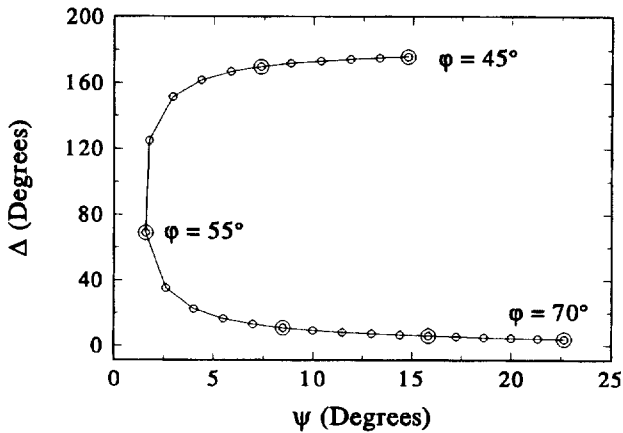


그림 4. 두께 1000 Å에서 입사각을 45°부터 70°까지 1°씩 증가시키면서 계산한 LCD 유리기판위의 SiO₂ 박막의 Δ, Ψ 변화 곡선.

표 1. VAE 분석과 SE 분석을 사용한 SiO₂ 박막의 굴절율과 두께 그리고 조밀도의 결정

	n _s	n	d (Å)	조밀도 (%)	σ, σ _{SE}	
VAE 분석	1.5 eV	1.5166	1.434	1137	95.9	0.0015
	2.0 eV	1.5221	1.440	1155	96.3	0.0022
	2.5 eV	1.5283	1.441	1197	95.3	0.0048
	3.0 eV	1.5357	1.434	1252	92.9	0.0067
	평균			1185	95.1	
SE 분석*	1.5 eV	1.5166	1.436			
	2.0 eV	1.5221	1.440	1169	96.3	0.0047
	2.5 eV	1.5283	1.445			~0.00253
	3.0 eV	1.5357	1.451			

*SE 측정은 1.5 eV~5.0 eV, 분석은 1.5 eV~2.7 eV의 파장 영역에 대해 이루어졌지만 VAE의 결과와 비교하기 위해 표 시된 파장에 의한 결과만 명시하였음.

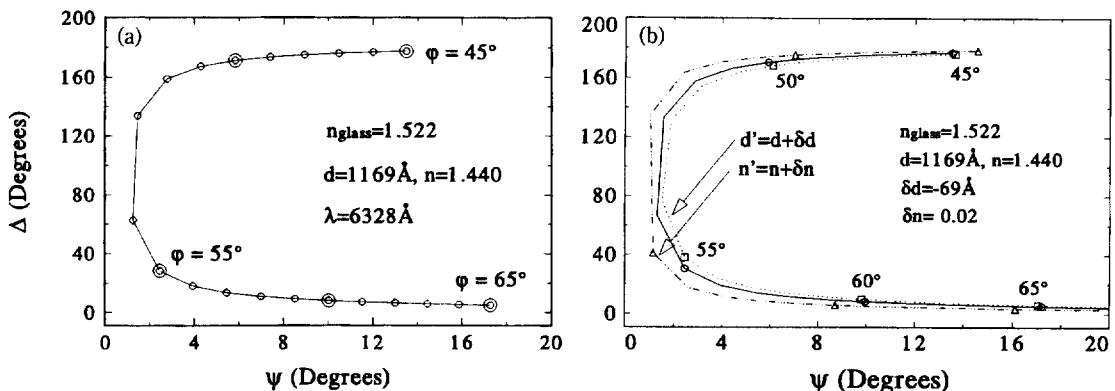


그림 5. 두께가 1169 Å, 조밀도가 96.3%인 SiO₂ 박막이 유리기층위에 있을 때 (a)입사각을 45°~65°까지 1°씩 변화시키면서 계산한 Δ, Ψ 변화 곡선과 (b)굴절율과 두께를 각각 +0.02, -69 Å 변화시켰을 때의 Δ, Ψ 변화 곡선.

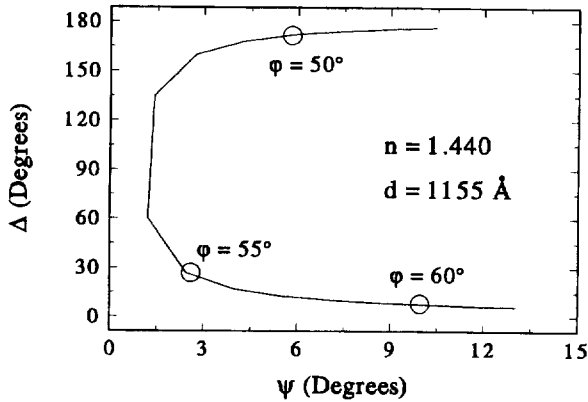


그림 6. 2.0 eV에서 측정된 Δ , Ψ (원)과 전산 계산으로 얻은 굴절율과 두께를 이용하여 계산한 Δ , Ψ (실선)의 비교.

표 2. 유리기관의 최적 굴절율(ns)에 해당하는 SiO₂ 박막의 굴절율과 두께 그리고 조밀도

eV (nm)	n_s	n	d (Å)	조밀도	σ
1.5 (827)	1.5248	1.440	1165	97.2	0.0013
2.0 (620)	1.5356	1.447	1157	97.7	0.0021
2.5 (496)	1.5523	1.454	1164	98.1	0.0042
3.0 (413)	1.5666	1.458	1169	97.7	0.0037
평균			1164	97.7	

이 오차범위내에서 잘 일치함을 볼 수 있다.

3.0 eV의 경우 두께 및 굴절율 모두 비교적 큰 오차를 보이는데 이는 실제 시료와 계산에 사용한 기층 물질인 유리의 굴절율 및 소광계수값의 오차가 유리기층의 흡수영역에 가까이 갈수록 커지기 때문으로 생각된다. 유리기층의 굴절율을 변화시키면서 식 (4)에 의한 σ 를 최소로 하는 결과를 표 2에 정리하였다. 3.0 eV를 포함하여 전 파장 영역에서 두께의 변화 폭이 많이 줄어들었고 조밀도의 값도 다른 영역과 비슷한 결과를 나타냄을 볼 수 있다. 이상과 같은 결과로부터 계산에 사용한 유리기층의 굴절율을 소수점 이하 3자리 정도까지 정확하게 입력하는 것이 박막의 굴절율과 두께 그리고 조밀도의 값의 결정에 있어서 오차를 줄이는데 필수적임을 알 수 있었다. 한편 두께 및 굴절율 결정에서의 오차를 줄이기 위해서는 유리기관의 굴절율과 자외선 영역에서의 소광계수값에 대한 정확한 자료는 물론, 유리기층의 Brewster 각 근방의 여러 입사각에서 타원해석측정을 하는 것과 더불어 타원해석상수 측정치 자체의 정확도를 향상시키는 것이 중요함은 두 말할 필요가 없다.

SiO₂ 박막은 나트륨 이온의 용출방지를 위한 것이므로 이 박막의 조밀도는 용출방지 특성과 밀접한 관계가 있다. 측정된 SiO₂ 박막의 조밀도가 100%에 이르지 못하는 것은 그만큼 용출방지 특성이 좋지 못함을 암시한다. 본 연구는 조밀도를 향상시키기 위해 새로운 박막성장방법이 시도될 때 또는 품질관리 측면 등에서 기존의 방법에 의해 제작되고 있는 유리

기관의 SiO₂ 박막의 조밀도를 측정하는데 유용하게 사용될 수 있다. Vitreous silica는 치밀한 구조를 가지고 있는 부동화층을 이루기 때문에 박막의 조밀도가 항상이면 이에 따라 박막의 두께도 얇아질 수 있을 것이다.

V. 결 론

LCD용 유리기관위에 증착된 나트륨 이온 용출방지용 SiO₂ 박막은 그 기관인 유리와 굴절율의 차이가 거의 없어 일반적인 광학적 방법을 사용한 측정 및 분석이 매우 어렵다. 본 연구에서는 전산 모의 계산을 통하여 최적 타원해석 측정 조건을 구하고 오차를 추정하였다. Brewster 각 근방에서의 여러 입사각에서 타원해석상수인 Δ 와 Ψ 값들을 측정된 뒤 회귀분석방법에 기초한 전산 프로그램을 사용하여 SiO₂ 박막의 굴절율 및 두께를 최적 맞춤으로 구하였다. 2.0 eV에서의 굴절율과 두께는 각각 1.440, 1155 Å이었다. 굴절율값으로부터 조밀도가 대략 96.3 %임을 알아내었고, 이들은 분광타원해석법으로 구한 값들과 잘 일치함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김상열, "Spectroscopic ellipsometry를 이용한 표면 및 박막의 분석", 한국광학회지, 제1권 제1호, 73 (1990).
- [2] D. E. Aspnes and J. B. Theeten, "Optical Properties of the Interface between Si and Its Thermally Grown Oxide", Phys. Rev. Lett., Vol.43, No.14, 1046 (1979).
- [3] K. J. Hebert, S. Zafar and E. A. Irene, "Measurement of the refractive index of thin SiO₂ film using tunneling current oscillations and ellipsometry", App. Phys. Lett, Vol.68, No.2, 266 (1996).
- [4] S. Trolrier-Mckinstry, P. Chindaudom and K. Vedam, "Characterization of Optical Thin Films by Spectroscopic Ellipsometry", J. Am. Ceram. Soc., Vol.78, No.9, 2412 (1995).
- [5] H. A. Macleod, *Thin-film optical filters* (Adam Hilger Ltd., Bristol, 1986).
- [6] E. Ogino, M. Matsumoto, H. Nakai and T. Tsuno, "High rate deposition of SiO₂ on large-scale glass by dc arc plasma enhanced CVD", J. Non-Cryst. Solids, Vol.178, 215 (1994).
- [7] R. M. A. Azzam and N. M. Bashara, *Ellipsometry and Polarized Light*, chap.4, (North-Holland, Amsterdam, 1977).
- [8] G. E. Jellison Jr, "Data analysis for spectroscopic ellipsometry", Thin Solid Films, Vol.234, 416 (1993).
- [9] F. L. McCrackin, E. Passaglia, R. R. Stromberg and H. L. Steinberg, "Measurement of the Thickness and Refractive Index of Very Thin Films and the Optical Properties of Surfaces by Ellipsometry", J. Research. Nat. Bureau, Vol.67A, No.4, 363 (1963).

Measurement of a Refractive Index and Thickness of Silicon-Dioxide Thin Film on LCD Glass Substrate Using a Variable Angle Ellipsometry

H. Y. Pang, H. J. Kim and S. Y. Kim
Department of Physics, Ajou University, Suwon 442-749, Korea

B. I. Kim
Materials Division, Institute of Ceramic Technology, NITQ, Seoul 152-023, Korea

(Received: September 19, 1996)

We measured refractive indices and thicknesses of SiO₂ thin films that have been plated on LCD glass substrate for the purpose of preventing the out-diffusion of sodium ions. The best experimental condition to determine refractive index and thickness of SiO₂ thin film by using ellipsometry is searched for, where i) the film thickness is increased uniformly by 20 Å from 0 Å to the period thickness while the angle of incidence is fixed and ii) the angle of incidence is increased uniformly by 1° from 45° to 70° while the film thickness is fixed. We estimated the errors in determining the refractive index and thickness by comparing the measurement error of Δ and Ψ with the calculated one. The ellipsometric constants of SiO₂ thin film on LCD glass substrate are measured at several angle of incidence around the Brewster angle, which is the best angle if the experimental error of ellipsometer is not sensitive to the incident angle. Also the best fit refractive index and thickness of SiO₂ thin film to these ellipsometric constants measured at several angle of incidence as well as the best fit ones to the SE data are obtained using regression analysis.