

가변입사각 분광타원법을 이용한 유기 발광 박막의 광학상수 및 두께 결정

김상열 · 류장위[†]

아주대학교 분자과학기술학과

Ⓣ 442-749 수원시 팔달구 원천동 산5번지

김동현 · 정혜인

삼성 SNMD

Ⓣ 442-391 수원시 팔달구 신동 575번지

(2001년 7월 19일 받음, 2001년 9월 25일 수정본 받음)

가변입사각 분광타원법(Variable Angle Spectroscopic Ellipsometry)을 사용하여 유기발광소자(OLED)의 발광층인 유기박막의 광학상수와 두께를 결정하였다. 광투과영역에서 모델링분석으로 박막의 평균두께와 굴절률 분산식을 결정하고, 광흡수영역으로 확장하여 유기박막의 다층구조, 각 층의 두께와 밀도 그리고 각 파장에서의 복소굴절률을 결정하였다. 분광광도계를 사용하여 구한 투과율 스펙트럼을 가변입사각 분광타원법을 사용하여 결정된 다층구조 및 복소굴절률로 계산한 투과율 스펙트럼과 비교하여 분석의 정확성을 확인하였다.

분류코드 : OM.020, SM.020.

I. 서 론

유기발광소자는 높은 전류효율, 다양한 색상, 발광면에서의 넓은 시야각의 특성^[1]을 가지고 있어 새로운 영상표시법으로 각광을 받고 있다. 또한 고분자를 이용한 전자 소자는 쉬운 제조 공정과 그에 따른 낮은 생산 가격, 플라스틱과 같은 다양한 기판의 사용 가능성 등의 장점을 가지고 있다.^[2] 이 같이 유기발광소자를 이용한 영상표시법의 실용성이 각광을 받으면서 이 발광소자의 구조 및 광특성에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.

타원법은 빛이 시료의 표면에 반사되며 나타나는 빛의 편광상태의 변화를 이용하여 시료의 광물성 및 박막 구조를 얻어내는 측정방법이다.^[3,4] 타원법은 다른 측정 장비에서 볼 수 없는 몇 가지 장점으로 인하여 표면 및 박막 분석장비로써 유용하게 사용되고 있다. 첫 번째로 측정에 사용되는 빛이 매질에 따른 제약을 거의 받지 않고, 두 번째로 빛의 세기측정에 의존하는 다른 광학적인 장비에 비해 진폭과 위상의 두 개의 상수를 측정하며 세 번째로 컴퓨터의 발달과 더불어 장비의 자동화로 인하여 측정의 정밀도, 데이터의 획득속도가 탁월하게 향상된 분광능력을 갖추게 되었다. 따라서 많은 양의 정보를 사용하여 표면 및 다층박막에 관한 정량적인 분석이 이루어지고 있다. 이 같은 장점들로 인하여 타원법은 다층박막구조를 가진 다양한 시료들의 깊이온곽을 구하는 데 큰 도움을 주고 있다. 한편 가변입사각 타원법은 측정되는 타원상수(Ψ, Δ)가 입사각에 예민하게 반응하는 각도영역에서 보여주는 입사각 의존 특성을 이용한다. Masenelli등은 유기 반도체 중 높은 발광상

수를 가지는 Alq3의 광학상수를 결정하였고^[5] Debe는 가변입사각 분광타원법으로 이방성을 가지는 CuPc 시료의 복소유전율 이방성을 결정하였다.^[6] Roeseler와 Korte는 적외선 영역에서 분광타원법을 사용하여 유기박막의 두께와 굴절률을 구하였다.^[7] 그러나 이 결과들은 투과율 스펙트럼 같은 다른 광학적인 방법에 의한 결과와는 상당한 차이를 보여주며 이는 유기박막의 표면층을 포함한 다층구조의 해석에서 흡수영역에서의 복소굴절률을 결정할 때 동반되는 불확실성에서 기인하는 것으로 보인다. 본 연구에서는 가변입사각 분광타원법을 사용하여 광투과 영역에서의 데이터를 표면거칠기층의 영향을 고려하며 분석하여 얻은 박막 구조를 사용하여 흡수영역에서의 복소굴절률을 결정하는 방법을 적용함으로써 유기발광소자에 사용되는 유기박막의 광학상수인 복소굴절률과 구조를 결정하였다. 이 같이 결정된 유기박막의 구조 및 복소굴절률을 사용하여 계산한 투과율 스펙트럼이 분광광도계를 사용하여 측정된 투과율 스펙트럼과 일치함을 보임으로써 본 연구에서 제시된 방법의 타당성을 확인하였다.

II. 가변입사각 분광타원법

타원법은 입사하는 빛이 반사 또는 투과할 때 보여주는 빛의 편광상태의 변화를 이용하여 박막에 대한 정보를 얻어내는 광학적 방법이다. 반사형으로 사용되는 타원법의 수학적 이론은 다층막 물질의 경계에서 입사광의 프레넬(Fresnel) 반사계수와 프레넬 투과계수를 기초로 하여 다층막내에서의 다중반사에 의한 효과를 고려하여 구한다. 즉, 입사광과 반사광으로 만들어지는 입사면에 대해 수직으로 진동하는 파를 s 파, 입사면과 나란하게 진동하는 파를 p 파라 하면 p 파와 s 파의 반사계

[†]E-mail: jangwisi@ajou.ac.kr

수를 각각 r_p, r_s 라고 둘 때 타원상수 (Ψ, Δ)는 이들 반사계수의 비로써 다음과 같이 정의된다.

$$\rho = \frac{r_p}{r_s} = \tan \Psi e^{i\Delta} \quad (1)$$

기층과 공기로 이루어진 2상계의 경우 식 (1)으로부터 기층의 유전상수를 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\epsilon = (n + ik)^2 = \sin^2 \phi \left[1 + \tan^2 \phi \left(\frac{1 - \rho}{1 + \rho} \right)^2 \right] \quad (2)$$

여기서 ϵ 은 기층의 유전상수, n 과 k 는 각각 기층의 굴절률과 소광계수 그리고 ϕ 는 입사각을 나타낸다. 박막이 있는 시료의 경우에는 식 (2)는 박막의 효과를 포함한 가유전상수(pseudo-dielectric constant) 또는 가굴절률(pseudo-refractive index)을 구하는 표현이 된다.

타원법은 위상값에 해당하는 Δ 를 측정하기 때문에 매우 얇은 막의 존재에 민감하고, 분광을 사용하기 때문에 다층막 구조분석을 가능하게 한다. 여러 입사각을 사용하게 되는 경우 사용자가 필요로 하는 입사각에서 측정할 수 있으므로 단일 파장 측정에서도 장점을 갖게 되지만 변수들간의 강한 상관관계에 의해서 상수들이 유일하게 결정되지 않는 경우도 있다.^[8] 가변입사각 분광타원법에서는 여러 파장 및 여러 입사각에서의 측정치들에 최적맞춤하여 박막의 두께 및 복소굴절률을 과학적으로 추정함으로써 측정에서의 오차가 미치는 영향을 크게 줄일 수 있다. 입사각은 타원계의 장점인 위상측정능력을 최대한 이용하기 위해서 반사에 따른 p파와 s파의 위상변화의 차이가 90° 근방이 되는 브루스터각을 포함한 여러 개의 입사각을 선정하게 된다.^[3,9]

III. 시료 준비, 실험 장치 및 방법

시료는 단결정규소(c-Si)와 판유리(soda-lime glass)를 각각 기층으로 하여 유기발광소자에 쓰이는 대표적인 유기물질인 tri-hydroxyquinoline-aluminum(Alq3), copper phthalocyanine (CuPc) 그리고 benzidine with naphthyl substituents(NPB) 박막을 열증착법으로 성장시켰다. Alq3는 25, 50, 75 nm의 세가지 서로 다른 두께를 갖는 시료들을, CuPc는 70 nm의 두께를 갖는 시료를, 그리고 NPB는 50, 100, 150 nm의 서로 다른 두께를 갖는 시료들을 준비하였다. 측정에 사용된 가변입사각 분광타원계는 위상변조방식(Spectroscopic Phase Modulated Ellipsometer, Jobin-Yvon, UVISSEL)으로 입사각은 45도 부터 85도 까지 0.02도의 정확도를 가지고 조절할 수 있다. 실제 측정에서는 시료에 따라 다음과 같이 입사각을 선택하였다. 기층의 브루스터각을 고려하여 판유리계열 기층일 경우 56°를 전후로 c-Si 기층일 경우 75°를 전후로 하여 측정하였다. 측정 파장영역은 0.74~4.5 eV이며, 노이즈가 있는 영역은 필터링하여 분석하였다. 투과율 스펙트럼은 분광광도계(UV/VIS Spectrometer, Perkin Elmer)를 사용하여 구하였다. 한편 유기 박막들의 광투과영역을 결정하기 위하여 비정질실리카(fused silica) 기층만에 의한 투과율 스펙트럼과 비정질실리카 기층

위에 유기박막을 성장시킨 시료의 투과율 스펙트럼을 비교하여 유기박막 시료 자체에 의한 흡수대역을 구하였다.

IV. 결과 및 분석

비정질실리카 기층에 성장된 유기박막 시료로부터 구한 유기박막 자체에 의한 흡수 효과만을 반영하는 투과율 스펙트럼은 그림 1과 같다. 투과영역에서 투과율은 대략 90%를 상회한다. 그림 1의 투과율 스펙트럼으로부터 각 유기박막의 광투과대역을 다음과 같이 정리할 수 있다. Alq3는 2.7 eV 이하에서, NPB는 3.0 eV 이하에서 그리고 CuPc의 경우는 1.5 eV 이하의 영역과 2.3~2.7 eV의 영역에서 각각 투명박막으로 근사할 수 있다.

그림 1에서 보는 것과 같이 각각 유기박막의 흡수영역은 박막에 따라 다르며 특히 CuPc의 경우는 1.5 eV 이하의 영역을 제외한 대부분의 측정 파장대역에서 빛을 흡수한다. 광투과영역에서 박막의 소광계수는 0이므로 박막의 굴절률은 파장의 함수인 분산관계식을 이용하여 나타낼 수 있다. 대표적인 분산관계식의 하나인 식 (3)과 같은 Sellmeier 분산관계식을 사용하고 이 식의 계수인 a, b, λ_0 를 구하면 박막의 굴절률 n 을 결정할 수 있다. 분광타원법에서 식 (3)과 같은 분산관계식의 계수와 박막의 두께 등 구조상수를 동시에 결정하는 모델링방법 즉 투명한 미지박막의 분산계수 a, b, λ_0 와 박막의 두께 d 를 동시에 결정하는 분석방법은 이미 잘 알려져 있다.^[3,10] 이미 살펴본 바와 같이 Alq3는 2.7 eV 이하의 영역에서, NPB는 3.0 eV 이하의 영역에서 그리고 CuPc의 경우는 1.5 eV 이하의 영역에서 투명박막으로 근사할 수 있으므로 각각 광투과영역에서 Sellmeier 분산관계식을 이용하여 박막의 두께와 굴절률 분산계수를 결정하였다. 유기박막이 있는 시료를 나타내는 기본적인 광학모델은 공기/박막/기층으로 된 3상계 모델이다. 그림 2에서는 3상계 모델에서 박막내에서 빛의 다중반사를 개략적으로 보여주고 있다.

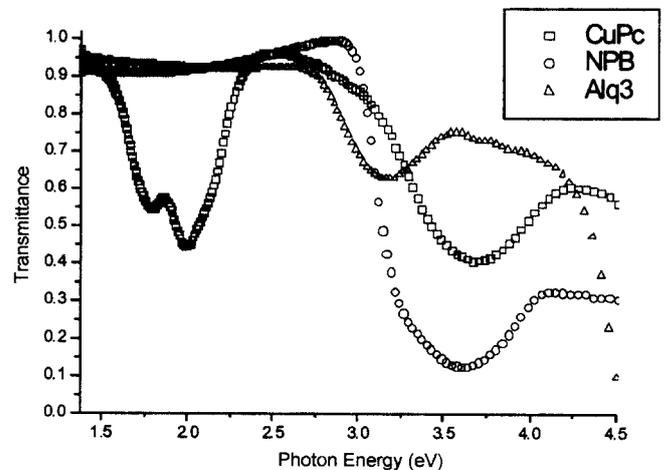


그림 1. 몇 가지 유기박막에 의한 투과율 스펙트럼. Alq3는 2.7 eV 이하에서, NPB는 3.0 eV 이하에서 그리고 CuPc의 경우는 1.5 eV 이하의 영역과 2.3~2.7 eV의 영역에서 광흡수를 무시할 수 있음을 알 수 있다.

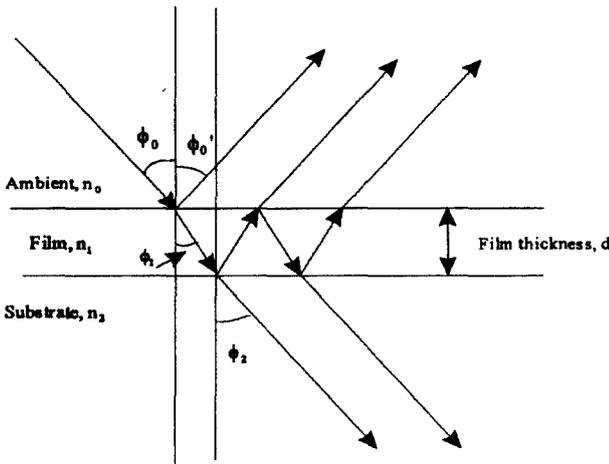


그림 2. 공기막/기층의 3상계 구조를 갖는 시료에서 박막내의 다중반사를 나타낸 그림.

$$n^2 = a + \frac{b\lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_0^2}, \quad k=0 \quad (3)$$

분광타원 측정치를 계산치와 비교하기 위해 사용된 오차함수는 식 (4)와 같다. 여기서 \$N\$은 측정된 데이터의 수, \$M\$은 맞춤에 사용되는 변수의 개수, \$\sigma_{\Delta_i}\$, \$\sigma_{\Psi_i}\$는 각각 \$i\$번째 \$\Delta\$, \$\Psi\$ 데이터의 표준편차이다. 분석에 사용된 프로그램은 WVASE32 (J.A. Woollam Co.)으로 Levenberg-Marquardt 알고리즘을 기초한 것으로 최소 오차함수 값으로의 접근성이 뛰어나다.^[11]

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{2N-M} \sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{\Psi_i^{cal} - \Psi_i^{exp}}{\sigma_{\Psi_i}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta_i^{cal} - \Delta_i^{exp}}{\sigma_{\Delta_i}} \right)^2 \right]} \quad (4)$$

광투과영역에서 70도의 입사각에서 측정된 c-Si 기층 위에 성장된 Alq3, CuPc, NPB 유기박막의 분광타원 데이터를 식 (3)의 분산관계식을 이용하여 분석한 굴절률 분산식과 박막 두께를 사용하여 계산한 분광타원 결과를 측정된 스펙트럼과 비교하여 그림 3에 나타내었고, 표 1에 그 상수들을 정리하였다. 이 그림에서 계산으로 구한 스펙트럼은 광투과영역에서 측정된 스펙트럼과 잘 일치함을 확인할 수 있다.

이상과 같이 광투과영역에서 분광타원 데이터를 분석하여 3상계 구조에 따르는 박막의 평균 두께와 굴절률 분산계수들을 구하였다. 다음 단계인 광흡수영역에서 복소굴절률을 구하는 한가지 방법으로 3상계를 가정하고 박막의 두께는 광투과 영역에서 구한 값을 적용하여 분광타원 데이터를 각 측정파장에서 수치해석 역방계산하는 방법이 있지만 이 방법은 박막의 구조를 정확하게 반영하지 못할 경우 구조오차가 복소굴절률 오차로 전이되는 위험이 따른다. 한편 동일한 유기물질을 사용하여 성장시킨 박막도 기층에 따라 그 밀도나 조성이 달라질 수 있다. 동일한 기층 위에 성장된 유기박막의 경우 복소굴절률이 같은 물질로 간주하여 분석을 할 수 있지만 박막의 복소굴절률은 박막 구성물질은 물론 박막의 밀도나 조성에 따라서도 달라지므로 다른 기층 위에 성장된 유기박막의 경우

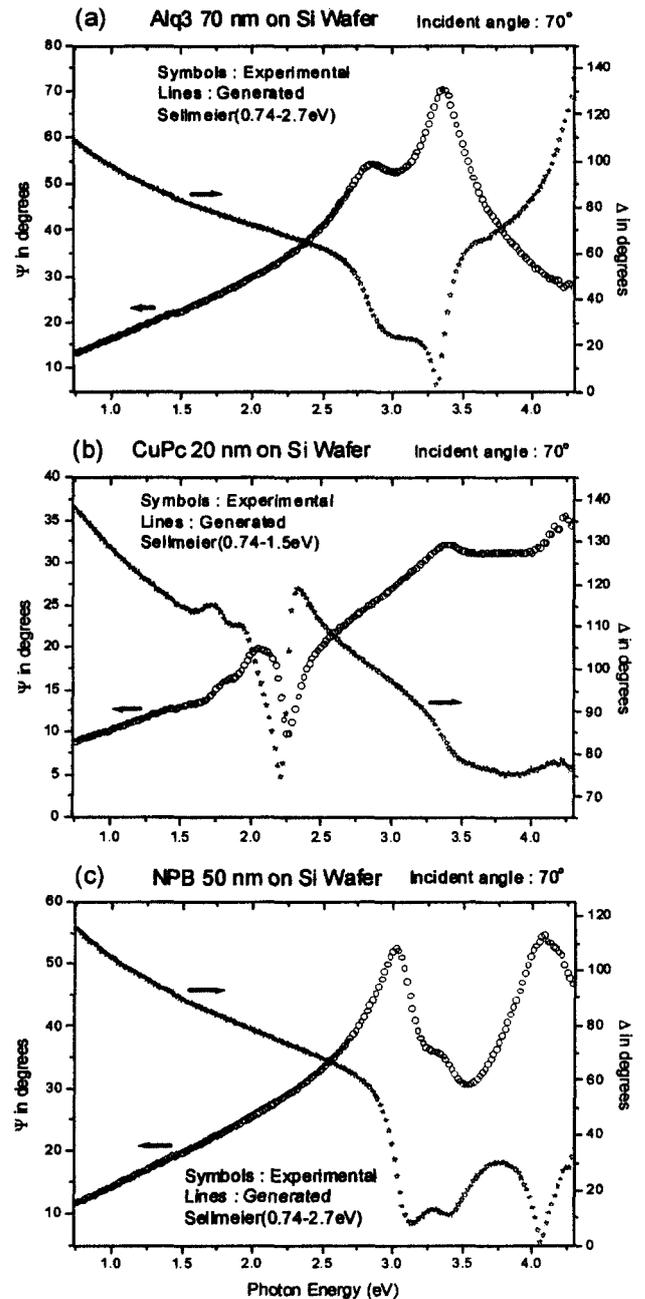


그림 3. Sellmeier 분산관계식을 사용하여 광투과영역에서 분석된 Alq3(a), CuPc(b), NPB(c) 시료들의 분광타원 계산 결과. 입사각은 70°로 고정되었고, 모두 c-Si 기층 위에 성장된 시료이다. 광투과영역에서 유기 박막 물질의 굴절률과 두께를 사용하여 계산한 분광타원 결과들(실선)이 측정된 스펙트럼들(○, ☆)과 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

같은 물질을 성장시켰더라도 밀도나 조성의 변화를 감안하면 다른 복소굴절률을 가지는 것으로 분석하는 것이 정당할 것이다. 유기박막의 복소굴절률과 박막구조를 분석하는 보다 신뢰할 수 있는 방법으로 동일한 기층 위에 성장된 여러 두께의 유기박막을 여러 입사각에서 측정을 하여 이들을 한꺼번에 분석하는 방법이 있다. 본 연구에서는 두께가 다른 박막들의 기본구조로는 표면거칠기층을 반영하기 위하여 공기/박막+void/

표 1. 광투과영역의 분광타원 데이터를 분석하여 구한 Alq3, CuPc, NPB 시료들의 Sellmeier 분산 상수들

시료명	유기막 두께(nm)		a	b	λ_0 (nm)	σ
	설계치	측정치				
Alq3-70Si	70.0	63.7	2.742	0.1509	399.5	0.011
CuPc-20Si	20.0	28.7	2.105	0.6186	585.1	0.006
NPB-50Si	50.0	51.6	2.838	0.1712	396.9	0.011

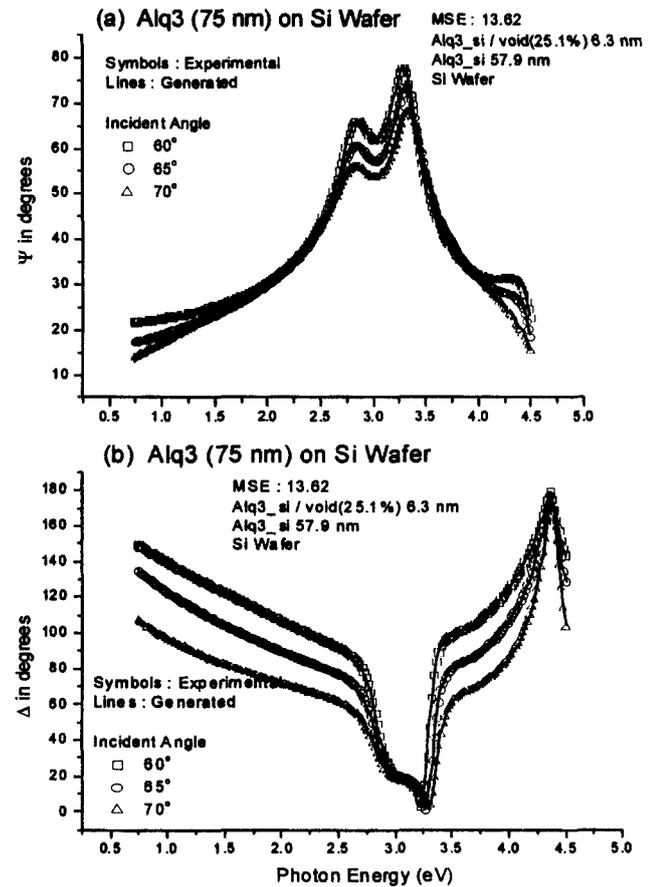


그림 4. c-Si 기층 위에 성장된 Alq3-75Si 박막의 분광타원상수 (Ψ (a)와 Δ (b))와 분석 결과(실선). 공기/박막+void/박막/c-Si의 4상계 모델을 사용했다. 입사각은 60°(□), 65°(○), 70°(△)를 사용했고, 분석 결과 6.3 nm(void, 25.1%)의 거칠기를 갖는 57.9 nm의 유기박막으로 나타났다. 이것은 같은 조건에서 성장시킨 공기/박막+void/박막/Soda Lime Glass(시료명 Alq3-75G)의 유효두께와 0.6 nm내에서 일치한다.

박막/기층의 4상계 모델을 이용하였으며 각 표면층의 두께와 박막층의 두께 그리고 표면층의 조밀도로 나타나는 박막구조 변수들을 결정하였다. 동시에 광흡수영역 내의 각 파장에서 유기박막물질의 복소굴절률도 변화시키며 식 (4)의 오차함수를 최소로 하는 박막구조변수 및 복소굴절률을 구하였다.

이상과 같은 공기/박막+void/박막/기층의 4상계 모델을 사용하여 c-Si 기층 위에 성장된 Alq3-75Si 박막의 60°, 65°, 70°의 입사각에서 측정된 분광타원 데이터를 분석한 결과를 그림 4에 나타내었다. Alq3-75Si 유기박막은 조밀도가 74.9%이며

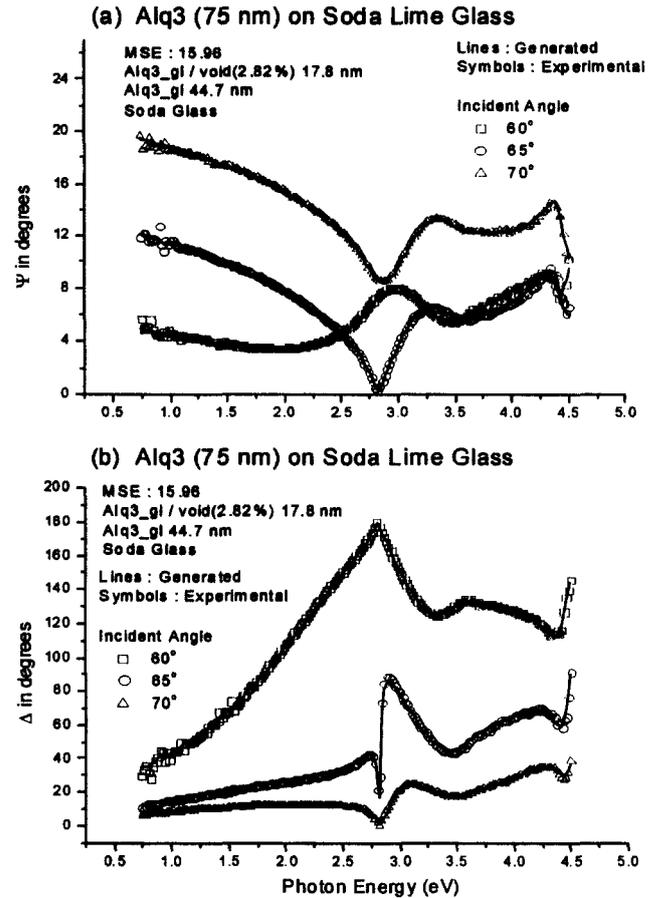


그림 5. 유리 기층 위에 성장된 Alq3-75G 박막의 분광타원상수 (Ψ (a)와 Δ (b))와 분석 결과(실선). 공기/박막+void/박막/Soda Lime Glass의 4상계 모델을 사용했다. 입사각은 60°(□), 65°(○), 70°(△)를 사용했고, Alq3 유기박막은 17.8 nm(void, 2.8%)의 표면거칠기를 갖는 두께 44.7 nm의 박막으로 같은 조건에서 성장시킨 c-Si 기층 위의 Alq3-75Si 박막과 유효두께 0.6 nm이내에서 일치한다.

두께가 6.3 nm으로 표현되는 표면거칠기층을 가지는 57.9 nm의 박막으로 나타났으며 이 결과는 같은 조건에서 유리기판 위에 성장시킨 Alq3-75G 박막의 결과인 17.8 nm(void, 2.82%)의 표면거칠기 및 44.7 nm의 박막두께와 비교하여 보면 c-Si 기층 위의 Alq3 박막은 표면층의 조밀도가 떨어지는 반면 유리 기층 위의 Alq3는 상대적으로 균일하다. 한편 이들 Alq3 층의 유효두께는 기층에 영향을 받지 않고 0.5 nm 내에서 서로 일치한다. Alq3-75G 박막시료의 가변입사각 분광타원 데이터와 분석결과는 그림 5에 나타내었다. Alq3-25Si, Alq3-25G, Alq3-50Si 그리고 Alq3-50G 시료의 경우도 비슷한 결과를 보여주는 것을 표 2에서 확인할 수 있다.

가변입사각 분광타원법으로 박막의 구조 변수들과 동시에 결정된 Alq3의 복소굴절률을 그림 6에 나타내었다. 광투과 영역인 3.0 eV 이하에서 소광계수값은 0에 가까운 작은 값을 보여주고 있다. 소광계수가 작은 값이지만 0이 아닌 것은 측정에서의 오차 및 박막 구조에서의 오차가 반영된 것으로 해석된다. 3.2 eV를 중심으로 한 큰 흡수 피크는 그림 1의 투과율 스펙트

표 2. Alq3 박막시료의 가변입사각 분광타원 분석결과

기층	시료명	유기막 두께 (nm)		표면저질기층		유기막 유효두께 (nm)	MSE
		설계치	측정치	두께(nm)	밀도(%)		
Si	Alq3-25Si	25.0	20.6	2.7	39.9	21.7	13.6
	Alq3-50Si	50.0	41.4	2.0	22.7	41.9	
	Alq3-75Si	75.0	57.9	6.3	74.9	62.6	
Soda-Lime Glass	Alq3-25G	25.0	19.4	9.6	5.4	20.0	16.0
	Alq3-50G	50.0	32.8	8.7	92.4	40.8	
	Alq3-75G	75.0	44.7	17.8	97.2	62.0	

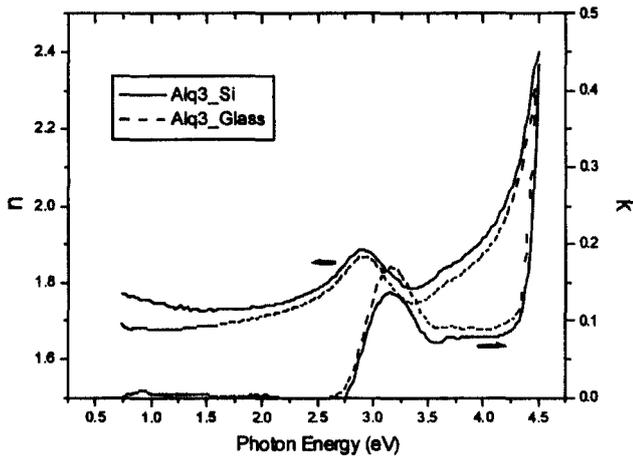


그림 6. 가변입사각 분광타원법으로 결정된 유리 기층 위에 성장된 Alq3 박막과 c-Si 기층 위에 성장된 Alq3 박막의 복소굴절률 스펙트럼들. 그림 1의 투과율 스펙트럼에서 예상된 바와 같이 3.2 eV를 중심으로 한 흡수 피크들을 볼 수 있다. 같은 조건아래에서 성장된 Alq3 박막의 기층에 의한 차이를 동시에 관찰할 수 있다.

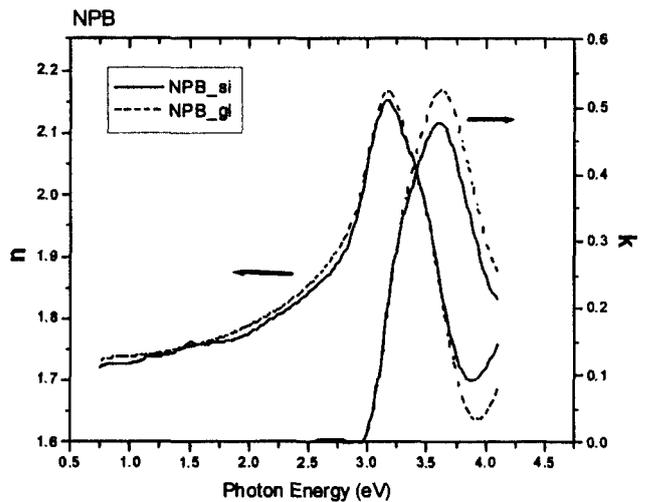
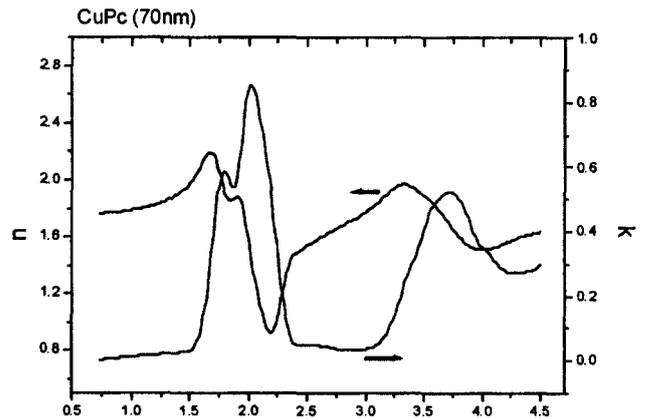


그림 8. 가변입사각 분광타원법으로 결정된 유리 기층 또는 c-Si 기층 위에 성장된 CuPc 박막과 NPB 박막의 복소굴절률 스펙트럼들. 그림 1의 투과율 스펙트럼에서 예상된 바와 같은 위치에서 흡수 피크들이 나타난다. NPB의 경우는 Alq3와 마찬가지로 동일한 조건에서 성장된 시료들의 기층에 의한 복소굴절률의 차이를 보여준다.

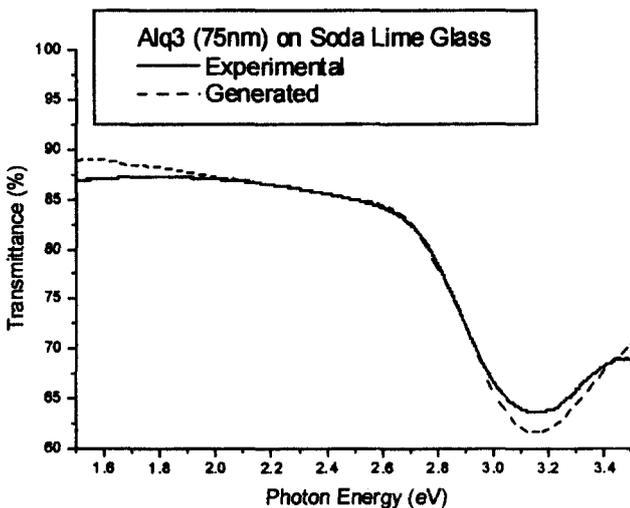


그림 7. Alq3-75G 박막의 투과율 스펙트럼. 가변입사각 분광타원법으로 결정된 박막구조 및 복소굴절률을 이용하여 계산한 투과율 스펙트럼과 2% 내에서 서로 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

럼이 감소하는 모양에서 예상된 바와 같다. 한편 기층이 유리 기층에서 c-Si 기층으로 바뀔 때 Alq3의 굴절률은 전체 파장대역에 걸쳐 약간 증가하며 소광계수는 약간 감소한다.

가변입사각 분광타원법을 사용하여 구한 박막구조 및 Alq3의 복소굴절률을 이용하면 유리기층 위의 유기박막 시료에 대한 투과율 스펙트럼을 계산할 수 있다. 분광광도계를 사용하여 측정된 투과율 스펙트럼을 계산으로 구한 투과율 스펙트럼과 비교한 그래프를 그림 7에 보여주고 있다. 전체 파장영역에 걸쳐 최대 2%내에서 이들이 서로 일치하는 것을 확인할 수 있으며 이로부터 결정된 유기박막의 구조와 복소굴절률의 타당성을 확인할 수 있다. 그림 8은 Alq3를 분석한 방법과

표 3. Alq3, CuPc, NPB 박막들의 두께 및 밀도 분석결과

유기막	기층	시료명	박막층의 두께 (nm)	표면거칠기층	
				두께(nm)	밀도(%)
Alq3	c-Si	Alq3-25Si	20.6±0.75	2.7±0.87	39.9± 16
		Alq3-50Si	41.4±0.45	2.0±0.79	22.7±0.51
		Alq3-75Si	57.9±0.47	6.3±0.45	74.9±0.17
	Soda-Lime Glass	Alq3-25G	19.4±0.06	9.6±0.82	5.4±1.7
		Alq3-50G	32.8±0.32	8.7±0.38	92.4±0.24
		Alq3-75G	44.7±0.11	17.8±0.1	97.2±0.24
NPB	c-Si	NPB-50Si	39.2±1.0	13.7±0.8	88.7±0.3
		NPB-100Si	66.6±1.0	36.3±0.9	101 ±0.34
		NPB-150Si	148.8±0.9	6.8±0.6	64.4±0.3
	Soda-Lime Glass	NPB-50G	49.4±0.96	1.6±0.77	67.5±7.2
		NPB-100G	81.7±0.59	18.6±0.53	97.4±0.2
		NPB-150G	148.8±0.3	2.6±0.2	80.6±0.55
CuPc	c-Si	CuPc-70Si	75.2±0.5	27.5±0.43	50±0.47
	Soda-Lime Glass	CuPc-70G	66.5±0.04	27±0.69	68.3±0.9

같은 동일한 방법으로 분석한 CuPc, NPB의 복소굴절률 스펙트럼들이다. 단 CuPc는 70 nm의 시료만 준비되어 있어, 기층이 다르더라도 박막의 복소굴절률은 동일한 것으로 간주하여 분석하였다. 그림 1의 투과율 스펙트럼에서 예상된 바와 같이 CuPc의 경우 1.7 eV 2.0 eV 그리고 3.75 eV를 중심으로, NPB의 경우 3.65 eV를 중심으로한 흡수 피크들을 볼 수 있다.

표 3은 Alq3, CuPc, NPB 유기박막들의 두께 및 밀도등을 분석한 결과를 정리한 것으로 표면층과 박막층의 두께등을 보여주고 있다. 이 표에서 표면층과 박막층의 두께 결정오차는 최대 1.0 nm를 넘지 않음을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 가변입사각 분광타원법을 사용하여 Alq3, CuPc 그리고 NPB 등 대표적인 유기발광 박막의 광학상수와 다층구조를 결정하였다. 유기박막의 복소굴절률은 유기물질에 의해 크게 결정되지만 기층이 유기박막의 복소굴절률에 미치는 영향도 무시하지 못함을 확인할 수 있었다. 박막물질에 따라 그리고 기층 물질에 따라 표면거칠기는 2~30 nm의 큰 편차를 보여주고 있으며 표면층의 밀도는 67~75%의 변화폭을 보여주지만 유효박막층의 두께는 기층에 의한 차이를 보여 주지 않았다. 표면층과 박막층의 두께결정 오차는 최대 1.0 nm를 넘지 않는다. 계산된 투과율 스펙트럼과 측정치의 차이는 최대 2% 이내로써 본 가변입사각 분광타원법에 의한 유기 발광 소자의 광학상수와 구조 결정의 정확도를 확인하여 주었다. 타원법은 재현성 있고, 안정성 있는 유기발광소자를 개발하는데 큰 도움을 줄 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(98-0702-03-01-3)의 연구비 일부지원으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] S. A. Van Slyke, C. H. Chen, and C. W. Tang, "Organic electroluminescent devices with improved stability," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 69, no. 15, pp. 2160-2162, 1996.
- [2] 이창희, "전도성 고분자의 전기적, 광학적 특성," 물리학과 첨단기술, 제 9권 9호, pp. 7-14, 2000.
- [3] 김상열, 타원법(아주대학교 출판부, 경기, 2000), Chapter 4.
- [4] R. M. A. Azzam and N. M. Bashara, *Ellipsometry and Polarized Light* (Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands, 1999), Chap. 4.
- [5] B. Masenelli, S. Callard, A. Gagnaire, and J. Joseph, "Fabrication and characterization of organic semiconductor-based microcavities," *Thin Solid Films*, vol. 364, no. 1-2, pp. 264-268, 2000.
- [6] M. K. Debe, "Variable angle spectroscopic ellipsometry studies of oriented phthalocyanine films. II. Copper phthalocyanine," *J. Vac. Sci. Technol. A*, vol. 10, no. 4, 2816-2821, 1992.
- [7] A. Röseler, and E-H. Korte, "Infrared ellipsometric analysis of organic film-on-substrate samples," *Thin Solid Films*, vol. 313-314, pp. 708-712, 1998.
- [8] J. A. Woollam, B. Johs, C. M. Herzinger, J. N. Hilfiker, R. Synowicki, and C. Bungay, "Overview of variable angle spectroscopic ellipsometry (VASE), part I: basic theory and typical applications," in *Optical Metrology*, SPIE Proceedings 96, SPIE, Denver, USA, 1999, CR72, pp. 3-28, 1999.
- [9] C. M. Herzinger, P. G. Snyder, B. Johs, and J. A. Woollam, "InP optical constants between 0.75 and 5.0 eV determined by variable-angle spectroscopic ellipsometry," *J. Appl. Phys.* vol. 77, no. 4, pp. 1715-1724, 1995.
- [10] 김상열, "MNA/PMMA 고분자박막의 복소굴절률 및 두께 결정," 한국광학회지, vol. 7, no. 4, pp. 357-362, 1996.
- [11] S. A. Alterovitz and B. Johs, "Multiple minima in the ellipsometric error function," *Thin Solid Films*, vol. 313-314, pp. 124-127, 1998.

Determination of optical constants and thickness of organic electroluminescence thin films using variable angle spectroscopic ellipsometry

Sang Youl Kim and Jang Wi Ryu[†]

Dept. of Molecular Science & Technology, Ajou University, Suwon 442-749, KOREA

[†]E-mail: jangwisi@ajou.ac.kr

Dong Hyun Kim and Hay In Jeong

Samsung SNMD, Suwon 442-391, KOREA

(Received July 19, 2001 ; revised manuscript received September 25, 2001)

We determined the optical constants and thickness of organic electroluminescence thin films using variable angle spectroscopic ellipsometry. Using the measured transmittance spectra and the spectroscopic ellipsometry data of the organic films on glass substrates in the optically transparent region, we determined the effective thickness and the refractive indices of organic thin films. Then by applying a numerical inversion method to variable angle spectro-ellipsometry data, we determined the complex refractive index at each wavelength including the optically absorbing region, as well as the thickness and surface micro-roughness of the organic thin films. The calculated transmittance spectra showed a tight agreement with the measured ones, confirming the validity of the present model analysis.

Classification codes : OM.020, SM.020.