

PECVD방법으로 성장시킨 DLC 박막의 복소굴절을 및 성장조건에 따른 박막상수 변화*

김상준 · 방현용 · 김상열

아주대학교 물리학과

김 성 화

한국광학기술개발

이상현 · 김성영

한국생산기술연구원

(1997년 4월 7일 받음)

광학소자나 전자소자의 코팅에 많이 이용되고 있는 Diamond-like Carbon(DLC) 박막의 복소굴절을 광학적 방법을 사용하여 구하였다. PECVD (Plasma enhanced CVD)법에 의해 Si(100) 기판과 비정질실리카 기판위에 각각 성장시킨 DLC 박막을 분광타원해석기와 분광광도계를 이용하여 타원해석 스펙트럼과 광투과율 스펙트럼을 측정하고, Sellmeier 분산관계식과 양자역학적 진동자 모델을 이용하여 분석하였다. 비정질실리카 위에 증착된 DLC 박막의 광투과영역에서 분광타원해석분석으로 굴절률 및 박막의 유효두께를 구하고 광흡수영역에서 투과스펙트럼을 역방계산하여 소광계수를 구한 뒤, 이 소광계수 스펙트럼에 최적근사하는 양자역학적 분산식의 계수들을 회귀분석법으로 결정하여 복소굴절을 구하였다. 그리고 모델링방법을 타원해석 스펙트럼에 적용하여 Si기판과 비정질이산화규소 기판위에 증착된 DLC 박막의 조밀도, 표면거칠기 등 박막상수를 박막의 성장조건에 따라 분석하였다.

I. 서 론

Diamond-like Carbon(DLC) 박막은 비정질탄소(amorphous carbon)화합물로, 높은 경도와 산이나 염기에 대한 화학적인 안정성, 그리고 높은 전기저항도를^[1] 가지고 있다. 그리고 적외선(IR)영역에서의 투과도가 높기 때문에 광학소자나 전자소자의 코팅에 이용되고 있다. DLC 박막은 Aisenberg와 Chabot에 의해 1971년 처음으로 증착된 이래 RF 플라즈마 보조(plasma-assisted) CVD, 스퍼터링, 이온빔 증착(ion beam deposition) 등 등 여러가지 성장방법이 개발되었고 연구되고 있다.^[2]

한편, 박막의 두께와 굴절률, 그리고 소광계수는 박막의 광학적 특성을 결정하는 가장 중요한 상수들이다. 이 상수들을 결정하는 방법은 여러가지가 있지만, 그 중에 분광타원해석법(Spectroscopic Ellipsometry, SE)은 비파괴적, 비간섭적, 비접촉 방식으로 박막의 두께에 거의 제한없이 박막의 두께와 굴절률뿐만 아니라, 박막의 밀도 분포까지도 비교적 정확하게 측정, 분석하게 한다.^[3-5] 미지박막의 경우 투명박막이어야 하는 제한도 최근 박막물질의 띠틈격(band gap)보다 낮은 영역의 타원해석 스펙트럼과 광흡수영역의 광투과 스펙트럼을 각각 Sellmeier 분산관계식을 이용한 모델링분석방법과 양자역학적 진동자 모델을 이용한 회귀분석 복소굴절을 결정방법

을 적용하여, 띠틈격이 3.4 eV근방인 TiO₂박막의 두께 및 복소굴절을 등을 결정하는 방법이 보고된 바와 같이 투명하지 않은 박막의 다층구조 분석도 이루어지게 되었다.^[3]

본 연구에서는 타원해석 스펙트럼과 광투과 스펙트럼 데이터에 Sellmeier 분산관계식과 양자역학적진동자 모델을 이용하여 미지 광흡수박막의 굴절률과 소광계수, 그리고 두께를 결정하는 방법을 DLC 박막에 적용하여 DLC 박막의 복소굴절을 결정하고 이를 기준데이터로 삼아 모델링방법으로 분광타원해석을 함으로서 제작방법에 따르는 DLC 박막의 조밀도와 표면거칠기 등의 변화를 조사하였다.

II. 실험장치 및 시료

시료는 기판물질에 따라 단결정규소인 c-Si(100) 위에 증착된 박막과 비정질이산화규소 기판위에 증착된 박막의 두가지로 나누어진다. 먼저 기판을 아세톤으로 초음파 세척한 후, self-bias 전압 700 V, 30 mTorr의 압력에서 약 15분간 아르곤(Ar)으로 전처리를 한 후 DLC 박막을 증착하였다. 증착은 플라즈마 강화(plasma enhanced) CVD법을 이용하며, 증착시에 사용된 반응가스는 99.99%의 고순도 메탄(CH₄)이다. 증착변수로는 c-Si기판에 증착시킬 때는 self-bias 전압을 각각 300 V, 500 V, 700 V, 900 V 그리고 메탄분압은 30 mTorr, 60 mTorr, 85 mTorr으로 변화시켰다. 그리고 비정질이산화규소 기판위에 증착되는 박막은 self-bias 전압을 700 V와 900 V,

*본 연구는 '97년도 교육부 학술연구조성비(BSRI-97-2429)의 지원을 받아 이루어졌음.

메탄분압을 20 mTorr와 60 mTorr로 하였다.

측정은 광투과율 스펙트럼을 위한 분광광도계(JASCO V 550) 측정과 타원해석상수 스펙트럼을 위한 SE 측정을 하였다. 분광광도계 측정은 비정질이산화규소를 기판으로 하는 DLC 박막에 대하여 행하였다. 비정질이산화규소위에 증착된 시료면을 광축에 수직하게 두고 측정 파장대역은 190 nm~900 nm(1.37 eV~6.5 eV)로 하였다. 측정중 기준빔(reference beam)측에는 아무것도 두지않고 측정함으로써 공기에 대한 시료의 광투과율을 측정하였다.

분광타원해석을 위해서는 기판물질이 비정질이산화규소인 시료에는 SOPRA사의 분광타원해석기(ESVG)를 사용하여 입사각 70°, 측정대역 0.7 eV~6.0 eV구간에서 측정하였으며, 기판물질이 c-Si인 시료는 Jobin-Yvon사의 분광타원해석기(UNISEL)를 사용하여 입사각 70°, 측정대역 1.5 eV~5.0 eV 구간에서 타원해석상수 스펙트럼을 측정하였다.

III. 이 론

비정질 이산화규소위에 증착된 DLC 박막의 광투과율 스펙트럼 (그림 1)에서 알 수 있듯이 약 350 nm 이하의 단파장에서는 투과광의 세기가 0으로 측정되는 것을 볼 수 있다. 350 nm 이상의 장파장 영역에서는 투과율이 점차 증가하며 이와 더불어 광학박막의 간섭에 의한 약한 진동이 실려 있음도 알 수 있다. 그리고 전체적으로 하나의 큰 흡수피크를 형성하고 있는 것을 확인할 수 있으며, 투과영역의 광투과특성은 하나의 진동자를 도입하여 분석할 수 있음을 의미한다.

박막이 균일하다고 가정하면 시료는 (그림 2)와 같이 매질/박막/기판의 구조를 가진 3상계구조로 근사하여 분석할 수 있고, 이 때 타원해석상수 Ψ 와 Δ 는 매질의 굴절율 $n_m (=1)$ 과, 박막의 굴절율 n , 박막의 소광계수 k , 박막의 두께 d , 기판의 굴절율 n_0 , 그리고 입사각 ϕ 의 함수로 식 (1)과 같이 쓸 수 있다.

$$\Psi = \Psi(n_m, n, k, n_0, d, \phi)$$

$$\Delta = \Delta(n_m, n, k, n_0, d, \phi) \quad (1)$$

Sellmeier 분산관계식을 사용하면 광투과영역에서의 박막의 굴절율을 아래 식 (2)와 같이 나타낼 수 있으므로 이 분산식의^[5]

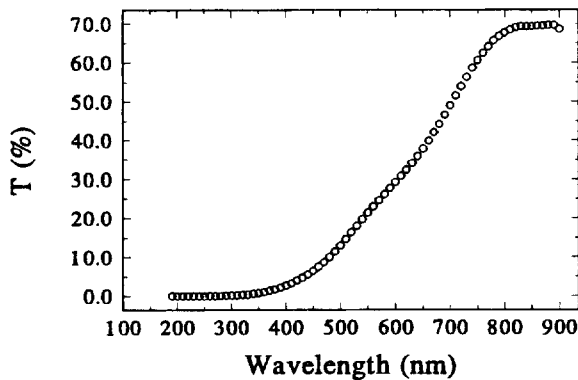


그림 1. 비정질 이산화규소위에 증착된 DLC 박막을 분광광도계를 사용하여 190 nm~900 nm 구간에서 측정한 광투과율 스펙트럼.

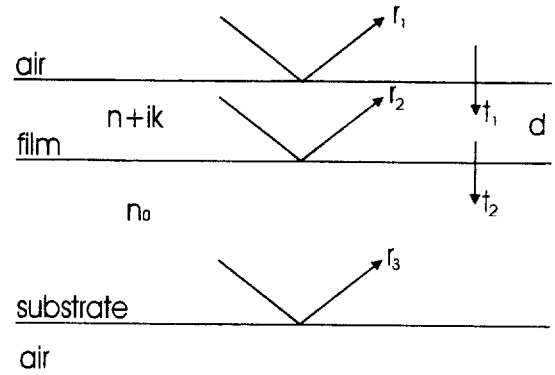


그림 2. 매질/박막/기판의 구조를 갖는 3상계.

계수를 결정하면 광투과영역에서의 박막의 굴절율을 구할 수 있다. (그림 1)에서와 같이 단일진동자 만으로 광흡수를 설명할 수 있을 때에는, 단일 Sellmeier 진동자에 의한 굴절율을

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

으로 나타낸다. 여기서 λ_0 는 Sellmeier 진동자의 고유파장이 다. 식 (2)의 계수 a, b, λ_0 를 결정하는 것이 광투과영역의 굴절율을 결정하는 것이 된다.

한편, 매질의 굴절율과 기판의 굴절율, 그리고 입사각은 대개의 경우 알고 있기 때문에 박막의 미지 광학상수를 결정하기 위해서는 a, b, λ_0 와 두께 d 를 결정하여야 한다. 이 a, b, λ_0 와 두께 d 의 결정은 측정된 타원해석상수 스펙트럼에 가장 가까운 타원해석상수 스펙트럼을 주는 a, b, λ_0 와 두께 d 를 회귀분석 모델링방법을 이용하여 결정한다. 이와 같이 결정된 비정질이산화규소 기판위에 증착된 DLC 박막의 미지 박막상수들은 표 1과 같다.

모델링과정에 사용된 오차함수는 (α, β) 를 기초로 한 오차함수를 사용하였으며 unbiased estimator σ^2 은 아래와 같다.^[5,6]

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

여기서 m 과 p 는 각각 측정된 데이터의 개수 및 미지상수의 개수이며, α_{exp} 와 β_{exp} , α_{cal} 는 각각 측정된 푸리에계수와 계산된 푸리에계수이다.

또한, 그림 2와 같은 3상계에서 상대적으로 두꺼운 기층내에서의 수직으로 입사한 빛의 투과율은

$$T = \frac{n_0 |E_t|^2 (1-r_3^2)}{(1-|r_2 r_3|^2)} \quad (4)$$

표 1. 비정질이산화규소 기판위에 증착된 DLC 시료를 3상계모형에 따라 투과영역에서의 타원해석 스펙트럼에 최적맞춤하여 구한 Sellmeier 분산관계상수 및 유효두께

a	b	λ_0 (nm)	d (nm)	σ
2.43	1.50	359	487	0.038

단,

$$E_t = \frac{t_1 t_2 \exp(i \delta)}{1 + r_1 r_2 \exp(2i \delta)}$$

로 나타난다. 여기서 r_1, r_2, r_3 는 각각 공기와 박막, 박막과 기판, 기판과 공기의 경계면에서의 Fresnel 반사계수들이고, t_1, t_2 는 공기와 박막, 박막과 기판의 경계면에서의 Fresnel 투과계수들이다. 위상변화 $\delta = 2\pi(n+ik)/\lambda$ 이고 d 는 박막의 유효두께이다.^[3] 박막의 투과율이 알려져 있는 경우 투과율에 관한 식 (4)를 역방계산하여 박막의 소광계수 k 를 구한다. 이 때, 소광계수 k 에 대한 되먹임관계식은 식 (5)와 같다. 여기에 앞에서 구한 박막의 유효두께 d 를 대입하여, 박막의 소광계수를 구하게 된다.^[3]

$$k(\lambda) = -\frac{\lambda}{4\pi d} \left[\ln \left(\frac{T}{n_0} \right) + \ln \frac{(1 - |r_2 r_3|^2)}{(1 - r_3^2)} + \ln \left| \frac{1 + r_1 r_2 e^{2i\delta}}{t_1 t_2} \right|^2 \right] \quad (5)$$

되먹임에 따른 식 (5)의 k 값의 점근성 여부에 관한 논의^[3]는 이미 이루어진 바 있으므로 여기서는 자세한 설명을 생략하기로 한다. DLC 박막의 경우는 2~3회의 되먹임을 행한 후 k 값이 안정하여짐을 확인할 수 있었다.

광투과영역에서의 타원해석 스펙트럼과 Sellmeier 분산관계식을 회귀분석하여 박막의 두께와 굴절율을 얻을 수 있고, 투과율을 이용하여 소광계수를 구할 수 있지만, 이렇게 구하여진 두께와 굴절율, 그리고 소광계수는 실제의 박막구조 대신 그림 2에서처럼 균일한 단일층으로 박막구조를 단순화하여 구한 것이기 때문에 실제박막구조가 정확하게 반영되지 않고 박막모형의 불완전성이 굴절율이나 소광계수의 오차로 전가되는 위험이 있다. 한편 광투과 스펙트럼은 박막의 미세구조보다는 박막의 유효두께와 박막물질의 소광계수에 크게 좌우되므로 식 (5)를 이용하여 구한 소광계수를 다시 양자역학적 진동자 모델에 따른 분산식에 최적맞춤하여 분산식의

계수들을 구하여 양자역학적 진동자 모델^[3]에 따르는 복소굴절율을 식 (6)과 같이 구한다. 즉 식 (5)에 의해 각

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

과장에서 구한 소광계수를 식 (6)에 최적맞춤하여 구한 E_g, A, B 그리고 C 를 이용하여 복소굴절율의 실수부분인 굴절율을 다음과 같이 계산한다.

$$n(E) = n_\infty + \frac{B'E + C'}{E^2 - BE + C} \quad (7)$$

단

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

$$C' = \frac{A[B(E_g^2 + C) - 4E_g C]}{\sqrt{4C - B^2}} \quad (8)$$

여기서 n_∞ 는 굴절율의 장파장 극한값으로 Sellmeier 분산관계식에서 구한 1.57 eV에서의 굴절율과 식 (7)에 의한 $n(1.5 \text{ eV})$ 가 일치하도록 조정한다.

IV. 분석 및 결과

이상과 같은 과정을 거쳐 Sellmeier 분산식과 양자역학 분산식에 최적맞춤하여 얻은 복소굴절율을 DLC 덩어리 물질의 기준데이터 굴절율로 사용하여 측정된 DLC 시료의 타원해석 스펙트럼들을 그림 4와 같은 3박막모델을 이용하여 모델링방법으로 박막상수들을 결정하였다. 이같이 결정된 박막상수 및 unbiased estimator들을 표 2와 표 3에 정리하였으며, 이들 표에서 unbiased estimator 값이 비교적 작은 것으로 보아 3박막모델의 타당성을 확인할 수 있다.

단결정 Si기판에 메탄분압을 30 mTorr로 고정하고, self-bias 전압을 각각 300 V, 500 V, 700 V, 900 V로 바꾸어가며 제작한 DLC 시료의 타원해석상수 스펙트럼 Ψ 의 그래프(그림 5)에서 각 시료들의 유효 DLC 박막의 두께는 약 450 nm~510 nm 사이에 분포하며, DLC 박막의 덩어리 유효소광계수는 self-bias전압에 따라 달라짐을 알 수 있다. 전체적으로 광자에너지가 높아질수록 DLC에 의한 광흡수가 증가하기 때

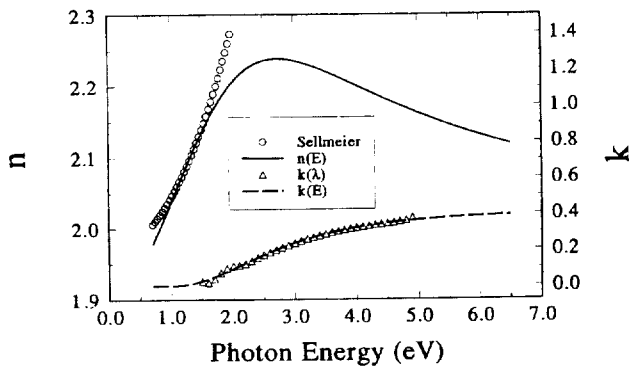


그림 3. DLC박막의 굴절율과 소광계수. Sellmeier 분산식에 의한 굴절율(○)과 양자역학적 분산식에 의한 굴절율(실선)을 1.5 eV에서 일치되도록 n_∞ 를 조절하였다. 투과율을 역방계산하여 계산한 소광계수(△)에 최적근사하는 양자역학 분산식에 의한 소광계수(실선)도 함께 그렸다.

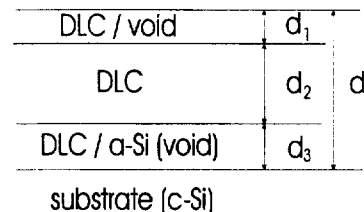


그림 4. 분광타원해석 스펙트럼을 모델링방법으로 회귀분석할 때 사용된 3박막모델의 개략구조. 각 층의 두께 및 표면층의 조밀도 그리고 계면층의 조성비가 최적맞춤으로 결정하는 박막상수들이다.

표 2. 메탄분압, self-bias전압을 달리하며 PECVD방법으로 c-Si기판에 증착시킨 DLC박막을 3박막모델을 사용하고 모델링방법으로 분광타원해석 분석하여 결정한 박막상수들.

시료 번호	Bias Voltage (V)	메탄 분압 (mTorr)	표면층		박막 d(nm)	계면층		unbiased estimator σ
			d(nm)	void(%)		d(nm)	a-Si(%)	
1	300	30	20.19	13.66	347.64	89.71	6.46*	0.0364
2		60	18.59	15.43	344.33	95.09	5.33*	0.0333
3		85	20.82	14.99	302.58	103.07	13.00*	0.0297
4	500	30	15.87	19.58	414.96	27.09	43.08	0.0284
5		60	14.06	26.09	532.84	34.37	42.27	0.0220
6		85	13.94	27.34	527.06	34.75		0.0213
7	700	30	15.33	27.48	453.87	43.24	40.85	0.0168
8		60	14.83	30.61	518.60	37.66	37.95	0.0302
9		85	15.67	26.88	426.95	41.76	40.57	0.0163
10	900	30	17.43	30.10	476.86	52.38	39.66	0.0210
11		60	18.33	30.75	462.72	55.41	39.39	0.0259
12		85	18.48	31.44	446.41	51.19	39.10	0.0197

표 3. 메탄분압, self-bias전압을 달리하며 PECVD방법으로 비정질이산화규소 기판위에 증착시킨 DLC박막을 3박막모델을 사용하고 모델링방법으로 분광타원해석 분석하여 결정한 박막상수들.

시료 번호	Bias Voltage (V)	메탄 분압 (mTorr)	표면층		박막 d(nm)	계면층		오차합수 σ
			d(nm)	void(%)		d(nm)	void(%)	
1	700	20	15.04	28.24	420.43	131.57	45.12	0.0315
2	900		15.04	28.02	511.67	122.43	42.34	0.0390
3	700	60	14.48	31.79	364.76	116.31	45.09	0.0361
4	900		15.12	34.32	446.64	115.83	41.29	0.0364

문에 Ψ 의 진폭이 작아지며, DLC 박막의 두께차이에 기인한 Ψ 의 진동주기 및 진동위치의 변화를 볼 수 있다. DLC박막의 두께가 두꺼울수록 Ψ 의 진동은 잦아지며 동시에 장파장 쪽으로 이동한다. 한편 Self-bias 전압이 300 V에서 900 V로 증가하면 타원해석상수 스펙트럼 Ψ 는 낮은 광자에너지 영역에서 진동폭이 줄어든다. 이것은 다시 논의가 되겠지만 광흡수가 증가할수록 진폭이 작아지는 사실과 관련되어 DLC 박막의 유효소광계수가 self-bias 전압증가에 따라 증가하는 것을 나타낸다. Self-bias 전압에 의한 DLC 박막의 소광계수의 이러한 경향은 메탄분압이 60 mTorr, 85 mTorr인 경우에도 마찬가지로 관찰되었다.

Self-bias전압을 300 V로 고정하고 메탄분압을 30 mTorr, 60 mTorr, 85 mTorr으로 변화시켜가며 증착한 DLC 박막시료들의 그림 6에서 Ψ 의 극대점과 극소점의 거동은 전체적으로 그림 5와 유사한 형태를 보여주고 있으나, 박막의 두께차이에 의한 전체진동의 위치이동 외에 진폭의 변화는 관찰되지 않는다. 다시 말하면, 곡선의 일차미분값이 0인 점들을 지나는 포락곡선(envelope curve)을 그렸을 때 이 포락곡선은 메탄분압변화에 관계없이 일정하다. 이것은 DLC 박막의 유효소광계수가 증착시의 메탄분압의 차이에는 거의 영향이 없음을 의미하는 것으로 이 같은 경향은 self-bias 전압이 500 V, 700 V, 900 V인 경우에도 동일하게 관찰되었다.

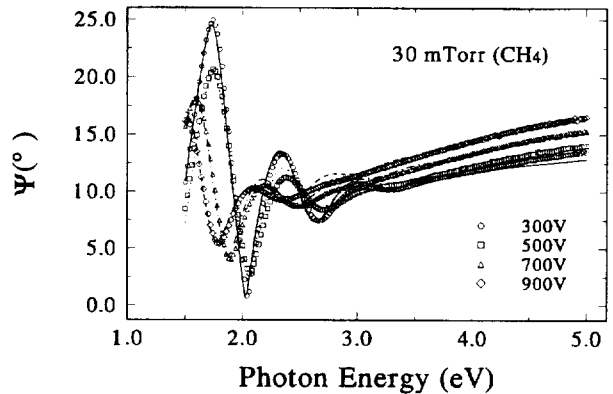


그림 5. 메탄분압을 30 mTorr으로 고정하고, self-bias 전압을 300 V(○), 500 V(□), 700 V(△), 900 V(◇)으로 바꾸어가며 제작한 DLC시료의 타원해석상수 Ψ 의 그래프(실선)와 최적맞춤계산으로 구한 스펙트럼(점선)들. 전압이 증가함에 따라 낮은 광자에너지 영역에서의 진동폭이 작아짐을 볼 수 있다.

위의 그림 5와 그림 6에서의 결과를 볼 때 DLC 박막의 증착시 메탄분압보다는 self-bias 전압에 따라 유효소광계수가 변화한다는 것을 알 수 있다. 한편, 그림 5와 그림 6에 나타나있는 실선(-)은 모델링과정에 따라 결정한 최적박막상수를 가지는 3박막구조시료의 계산된 타원해석상수 Ψ 로 측정된 스펙트럼과 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.

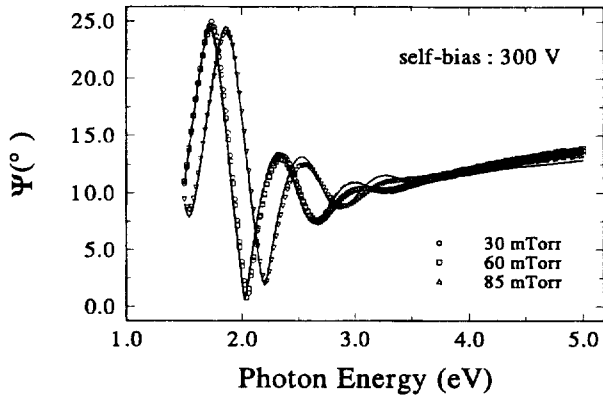


그림 6. Self-bias 전압을 300 V로 고정하고, 메탄분압을 30(○), 60(□), 85(△) mTorr로 변화시키면서 제작한 DLC 박막의 타원해석상수 Ψ 의 스펙트럼들과 최적맞춤계산한 스펙트럼들(실선). DLC 박막의 두께변화에 의한 전체 스펙트럼의 평행이동외에는 메탄분압에 의한 변화는 뚜렷하지 않다.

분석에 사용된 3박막모델은 미시거칠기층인 표면층과 DLC 박막층, 그리고 DLC 박막과 기판사이의 계면층으로 구성되어 있다. 이 계면층은 DLC와 기판물질인 c-Si이 비정질규소인 a-Si의 형태로 섞여있는 층 또는 초기 성장단계의 저밀도 DLC 층으로 분석되었다. 전자는 self-bias 전압이 900 V, 700 V일 때 두드러지게 나타났으며, 후자는 self-bias 전압이 300 V인 경우에 메탄분압의 압력에 상관없이 관찰되었다.

그림 5에서 관찰된 self-bias 전압이 증가함에 따라 광흡수가 증가하는 현상을 계면층에 존재하는 a-Si의 양이 증가하는 것으로 간주하여 a-Si의 양을 계산하면 그림 7과 같다. 여기서 세로축은 계면층내의 a-Si를 하나의 층으로 하였을 때의 질량두께(mass thickness)를 가리키는 양으로 광흡수 증가에 따라, 이 두께가 증가하고 있음을 보여준다.

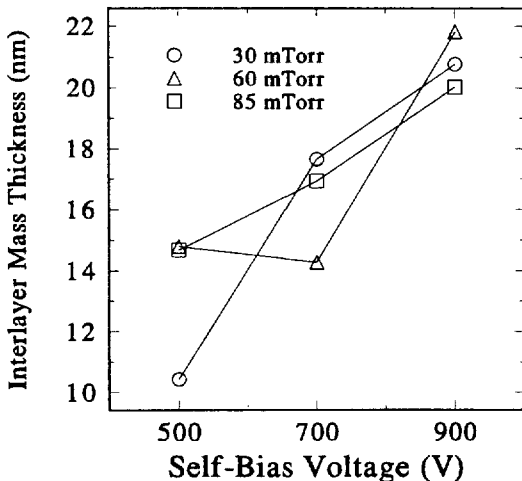


그림 7. 비정질규소와 박막물질의 혼합층으로하여 분석한 DLC 박막 계면층의 질량두께를 메탄분압 및 self-bias 전압변화에 따라 나타내었다. 기층은 c-Si이다. 환산두께는 self-bias 전압이 증가함에 따라 증가함을 보여주고 있다.

표면거칠기층은 DLC와 공기의 혼합물층으로 모델링하였다. 표 2에서와 같이 이 표면거칠기층의 두께 및 DLC의 체적비를 구한 다음, 두께와 체적비를 곱하여 표면거칠기층의 유효질량두께(effective mass thickness)를 구하였다. Self-bias 전압이 증가함에 따라 표면거칠기층의 유효질량두께가 점점 증가하는 것을 그림 8에서 볼 수 있다.

한편 400 nm의 두께를 가지는 3박막모델의 계면층내의 a-Si 총량의 변화에 따른 타원해석상수 Ψ 의 변화를 전산시뮬한 그림 9에서 a-Si의 총량이 증가함에 따라 Ψ 의 진폭이 감소함을 알 수 있다. 이것을 그림 5 및 그림 7과 비교하여 볼 때 self-bias 전압의 증가에 따라 관측된 타원해석상수 Ψ 의 진폭의 감소는 DLC 박막의 광흡수증가에 기인하며, 이는 계면층에 존재하는 a-Si 양의 증가에 의한 효과와 유사하다. 실제 DLC 박막과 c-Si 기층사이에 비정질규소층으로 구성된 전이

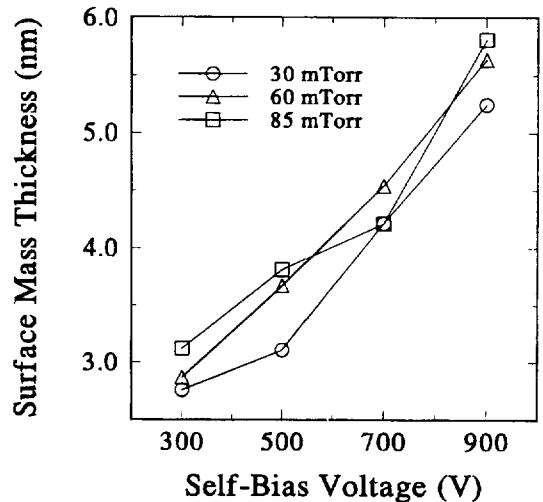


그림 8. DLC 박막의 미시거칠기층인 DLC 박막 표면층의 유효 질량두께를 self-bias 전압의 변화에 따라 그린 그림. Self-bias 전압이 증가함에 따라 표면층이 증가하는 경향을 볼 수 있다.

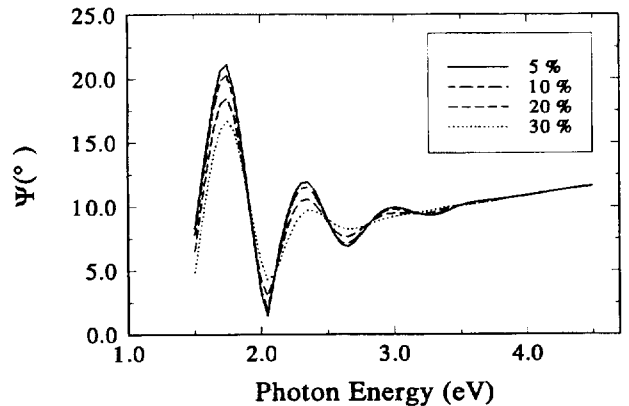


그림 9. 3박막모델을 사용하고 박막의 전체두께를 400 nm, 계면층의 두께를 40 nm로 하며 계면층에 광흡수 물질인 비정질규소의 조성비를 증가시키며 전산시뮬계산한 타원해석상수 Ψ 의 스펙트럼들. 이 스펙트럼으로부터 광흡수가 증가하면 Ψ 스펙트럼의 진동의 폭이 감소함을 알 수 있다.

층이 존재하는지의 여부와 이 전이층의 두께 및 조성비등은 매우 흥미있는 과제가 될 것이다. 이에 관한 연구는 기층물질을 바꾸는 등의 방법으로 계속 연구중이며 다음 기회에 그 연구결과를 발표할 수 있도록 노력하고있다.

V. 요 약

PECVD법으로 c-Si(100)기판 및 비정질 이산화규소 기판위에 증착한 DLC 박막의 분광타원해석측정 및 광투과율 측정을 하고, Sellmeier 분산관계식과 양자역학적 진동자 모델을 상호보완적으로 이용하여 0.7 eV~6.5 eV구간에서의 덩어리 DLC의 굴절율과 소광계수를 구하였다. 이를 기준데이터로 이용하여 박막성장 변수인 메탄분압 및 self-bias 전압의 변화에 따른 박막상수 변화를 분석하여, DLC 박막은 증착시 self-bias 전압이 증가할수록 비정질규소의 증가로 표현할 수 있는 박막의 유효소광계수가 증가하는 것을 알 수가 있었다. 표면층에서는 미시거칠기가 증가함을 관찰하였다. 반면에 메탄분압의 영향은 관찰되지 않았다.

참 고 문 헌

- [1] H. -J. Scheibe, B. Schultrich, "DLC film deposition by Laser-Arc and study of properties," *Thin Solid Films*, **246**, 92 (1994).
- [2] K. E. Spear, J. P. Dismukes, *Synthetic Diamond : Emerging CVD Science and Technology*, 91 (John Wiley & Sons, Inc., 1994).
- [3] S. Y. Kim, "Simultaneous determination of refractive index extinction coefficient and void distribution of titanium dioxide thin film by optical methods," *Appl. Opt.* **35**(34), 6703 (1996).
- [4] 김상열, "MNA/PMMA 고분자 박막의 복소굴절율 및 두께결정," *J. Opt. Soc. Kor.*, **7**(4), 357 (1996).
- [5] S. Y. Kim, K. Vedam, "Simultaneous Determination of Dispersion Relation and Depth Profile of Thorium Fluoride Thin Film by Spectroscopic Ellipsometry," *Thin Solid Films*, **166**, 325 (1988).
- [6] 김 상열, "Spectroscopic Ellipsometry를 이용한 표면 및 박막의 분석," *한국광학회지*, **1**(1), 73 (1990).

Complex refractive index of PECVD grown DLC thin films and density variation versus growth condition

S.J. Kim, H.Y. Pang and S.Y. Kim

Dept. of Physics, Ajou University, Suwon 442-749, Korea

S.H. Kim

Optechs Korea, Inc., Incheon 404-250, Korea

S.H. Lee and S.Y. Kim

Korea Testing Laboratory for Industrial Technology, Chonan 330-820, Korea

(Received : April 7, 1997)

The complex refractive index of Diamond-like Carbon (DLC) thin films, which can be applied to optical devices or electrical devices, have been determined using optical methods. DLC thin films are grown on Si(100) substrates and vitreous silica substrates respectively, using the technique of plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD). The spectroscopic ellipsometry data (Ψ , Δ) and the transmission spectra of these DLC films are obtained. These optical spectra are analyzed with the help of the Sellmeier dispersion relation and a quantum mechanically derived dispersion relation. Using spectroscopic ellipsometry data at their transparent region, the refractive index and the effective thickness of DLC films on vitreous silica are model calculated. Then the transmission spectra are inverted to yield the extinction coefficient spectra $k(\lambda)$ at absorbing region. These spectra are fit to the quantum mechanical dispersion relation and the best fit dispersion constants are determined. The complex refractive indices are easily calculated with these constants. The spectroscopic ellipsometry data at the absorbing region is model calculated to give the packing densities and the degrees of surface microroughness of DLC films. Discussions are made in correlation with the growth condition of DLC films.