

무반사 렌즈용 다층박막의 광학적 구조 및 광투과 특성*

김 상 열

아주대학교 물리학과

최 성 숙

동남보건전문대학 안경광학과

(1995년 10월 16일 받음)

국내 민수용으로 유통되고 있는 20여종의 무반사 안경렌즈들을 선정하여 광학적 특성을 분석하였다. 분광광도계를 사용하여 측정된 반사특성과 투과특성을 렌즈의 굴절력, 각 무반사층들 및 렌즈기층에 의한 영향과 연결시켜 분석하였다. 흡수단 근방에서의 겉보기 흡수스펙트럼은 기층물질에 따라 결정되며 400~700 nm의 파장대역에서 대부분의 시료들의 겉보기 흡수스펙트럼과 반사스펙트럼은 강한 양의 상관관계를 보여준다. 예외적으로 기층에 의한 흡수가 큰 렌즈들은 상관관계가 약해지며 이와 같은 기층에 의한 흡수는 무반사 특성에 부정적인 효과를 가진다. 또한 국내에서 제작되는 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2/\text{Cr}$ 다층박막층을 c-Si 기층위에 성장시키면서 각 단계별로 *ex-situ* 분광타원해석법으로 분석하여 TiO_2 박막과 ZrO_2 박막의 조밀도가 80% 정도에 불과하며 박막이 두꺼워짐에 따라 박막에 수직한 방향으로 균일하지 않음을 확인하였다. 마지막으로 실시간, *in-situ* 측정을 바탕으로하여 엄밀한 사양이 요구되는 다층박막, 초격자 박막 등을 재현성있게 성장시킬 수 있는 가능성에 대해 토의하였다.

I. 서 론

빛의 성질에 관한 이론이 발달하지 않았던 17세기 초에 비하여 오늘날 광학이론으로 간단히 설명되는 다층박막의 간섭현상의 분석으로부터 시작하여, 스피터링 성막법이나 진공 전자빔충착법을 포함하여 다양한 진공 코팅장비의 개발로 인하여, 1930년대에 접어들면서 현대 광학박막코팅의 창세기라 일컬을 만큼 박막성장기술은 진보하여왔다. 오늘날 광대역 무반사특성 등 다양한 광학적 요구에 따른 다층박막코팅의 설계와 제작, 그리고 성능평가와 더불어 박막의 응용에 관한 연구가 계속되는 가운데, 특히 컴퓨터의 발달에 힘입어 다층박막의 설계를 정확하게 할 수 있게 되었다.^[1] 그러나 다층박막의 설계는 연역적인 방법으로 박막구조를 결정할 수 없는 경우가 대부분이므로, 초기 설계의 결과를 기초로 하여 설정된 구조를 미세조정하고, 그러한 수정후의 구조에 대한 특성 평가의 계산을 재실행하는 과정을 반복함으로써, 컴퓨터를 이용한 귀납적인 설계가 이루어지게 된다. 이러한 반복과정은 컴퓨터가 실행하게 되지만, 설계

에 따라 구한 해를 실제 박막제작에 적용하려는 시도는 실제 제작상의 여러가지 현실적인 제약으로 인하여 정확한 설계에 따른 박막구조를 구현하지 못하는 한계에 부딪히게 된다.^[2]

이러한 배경하에서 본 연구에서는 현재 국내에서 시판되고 있는 20여종의 무반사 코팅렌즈의 반사특성과 투과특성을 조사하여 각 무반사층들에 의한 특성 및 기층에 의한 특성을 분리하여 분석하고 이들 중에서 하나의 다층막 구조를 선택하여 각 층의 광학적 구조를 분광타원해석법으로 분석하였다. 이러한 분석을 바탕으로 실시간, *in-situ* 측정이 이루어질 경우 성장중의 박막을 실시간으로 측정된 뒤 설계와의 차이를 추정하여 그 다음과정에서 보정을 하여 엄밀한 사양을 요구하는 다층박막, 초격자 박막 등을 재현성있게 성장시킬 수 있도록 하는 가능성에 관해 토의하였다.

II. 이론적 배경

박막을 구성하는 물질의 굴절율은 그 물질의 고유물성이기 때문에 자유로이 바꿀 수 있는 변수가 아니다. 또한 박막물질의 물리적, 화학적 내구성을 고려할 때 박막으로 사용되는 물질에는 제한이 있으며, 설계자는

*이 논문은 아주대학교 '95특별지원금에 의하여 쓰여진 것임.

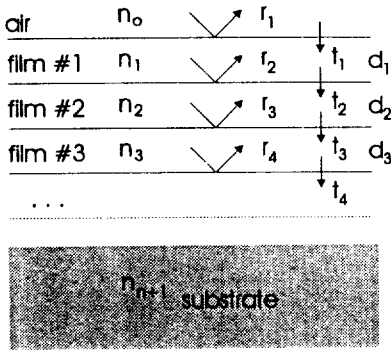


그림 1. 다층막 구조 및 반사율 계산에 사용된 박막상수들.

이용가능한 물질 중에서 고를 수 밖에 없게 되고 유한한 이들 물질로 다층구조를 다양하게 설계하여 성능을 향상시키게 된다. 무반사 박막을 위해서 바람직한 방법은, 서로 다른 굴절율을 가진 2종류 이상의 광학박막 물질을 사용하고 박막층수를 증가시키는 한편, 각 층의 박막상태에서의 실제 굴절율을 정확히 대입하고 이들 막두께를 변수로 하여, "0의 반사율"을 주는 구조를 찾는 것이다. 단층막을 사용할 경우, 이상적인 경우에도 하나의 파장에서만 "0의 반사"를 주며, 그나마 좁은 파장영역에서만 낮은 반사율이 얻어진다는 제약이 있다. 그러므로 넓은 파장영역에서 낮은 반사율을 얻으려면 층수를 증가시켜야 한다. 이 때 설계상 가능한 다층박막의 구조는 무한히 많다. 실제로는 몇개의 박막층만으로 가시영역에서의 낮은 반사율 특성을 구현하고 있으며, 이러한 경우 다층박막의 구조는 비교적 단순하게 된다.^[3] 한편 경우에 따라서는 넓은 파장영역보다 어느 특정의 파장에서만 "0의 반사율"을 갖는 반사방지막이 필요할 때도 있고, 가시영역과 레이저 특성파장의 적외파장의 반사를 동시에 감소시켜야 할 경우도 있으며, 가시영역에서 자외선 영역까지 확대하여 반사율을 최소화해야 할 경우도 있다. 이런 특이한 요구조건을 만족시키는 코팅의 설계는 다양하다. 때로는 사용할 수 있는 물질의 조합으로 입수 곤란한 물질의 굴절율을 대치하기도 하며, 실제의 물질이 갖는 광학상수의 분산을 고려하거나 대칭한 주기에 관련해서 생기는 결보기의 분산을 보정하는 등의 시행착오적 과정을 거치기도 한다.^[3] 이상과 같은 분석의 기초가 되는 다층박막체의 반사율 및 투과율의 계산에 관한 이론은 이미 널리 알려져 있으므로 결과만을 소개하도록 한다.^[4]

그림 1과 같은 다층막 구조에서 산란행렬은 다음과 같이 표현된다.

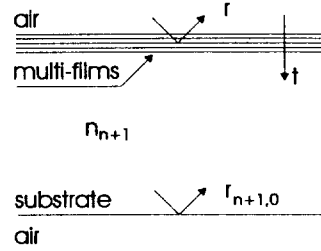


그림 2. 다층막이 투명한 기층위에 있을 때 공기중에서 투과율 계산에 사용된 상수들.

$$\vec{S} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} = \vec{I}_{01} \vec{L}_1 \vec{I}_{12} \vec{L}_2 \vec{I}_{23} \cdots \vec{I}_{n,n+1} \quad (1)$$

여기서 $\vec{I}_{i,i+1}$ 는 i 번째의 층과 $i+1$ 번째의 층과의 계면 작용을 나타내는 계면행렬이며 \vec{L}_i 는 i 번째의 층에 의한 총행렬이다. 여기서 매질은 0번째, 기층은 $n+1$ 번째로 각각 표현하고 있다. 계면행렬과 총행렬은 아래와 같다.

$$\vec{I}_{i,i+1} = \frac{1}{t_i} \begin{pmatrix} 1 & r_i \\ r_i & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\vec{L}_i = \begin{pmatrix} e^{i\beta_i} & 0 \\ 0 & e^{-i\beta_i} \end{pmatrix} \quad (3)$$

여기서 r_i 과 t_i 는 각각 $i, i+1$ 계면간의 복소 Fresnel 반사계수 및 복소 Fresnel 투과계수를 각각 나타내며, 위상상수는 $\beta_i = 2\pi d_i n_i \cos\phi_i / \lambda$ 와 같이 i 번째 박막의 두께 d_i , 복소굴절률 n_i , 복소굴절각 ϕ_i 등으로 표현된다. 복소굴절각은 Snell의 법칙에 따라 매질의 굴절율, 물질의 복소굴절율 그리고 입사각 (ϕ_i)으로 $n_0 \sin\phi_0 = n_i \sin\phi_i$ 와 같이 구해진다. 입사광선이 수직으로 입사하는 경우 굴절각은 0이다. 이 산란행렬의 성분으로 다층박막체에 의한 반사계수 및 투과계수는

$$r = \frac{S_{12}}{S_{11}} \quad (4)$$

$$t = \frac{1}{S_{11}} \quad (5)$$

와 같이 나타난다. 수직입사의 경우는 p 파와 s 파의 구별이 없이 동등한 표현이 되고 비스듬히 입사한 경우는 p 파와 s 파의 산란행렬을 \vec{S}_p 와 \vec{S}_s 로 각각 나타내면 타원 해석상수(ellipsometric constant)는 아래와 같다.

$$\rho = \tan\psi \exp(j\Delta) = \frac{r_p}{r_s} = \frac{(S_{21}/S_{11})_p}{(S_{21}/S_{11})_s} \quad (6)$$

표 1. 국내에서 유통되고 있는 코팅렌즈들중 측정에 사용된 시료의 총괄표.

번호	Name	제작국	sph(cy)	기층	지름	코팅색
1	SUPER ET	독	-3.00 디옵터	G	70 mm	B
2	-	일	-3.00	P	75.3	LV
3	HM-H	일	-3.00	P	70	LV
4	SUPER ET	독	-2.75	G	70	
5	MI GOLD	불/한국	-3.00	P	73	LV
7	SUPER ET	독	-3.00	G	70	B
8	-	불/한국	0.0(?)	G	70	LG
9	-	불/한국	0.0(?)	G	75.5/66	LB
11	STOLITE MIX	일	-3.00	P	75.3	
12	DIA-LITE 72HARD	일	-2.25	P	72	B
15	HIGHINDEX 1.61	일	-3.00	P	75.3	
16	VIOLETTA	이/한국	0.25(-0.5)	P	73	LV
17	-	-	+?	G	70	
18	-	-	-?	G	65	
19	-	-	-?	G	65	
20	-	한국	?	P	73	G
21	-	독	0.00	G	70	
22	-	독	-3.00	G	70	
23	HiLux	일	0.25	P	75	
24	ALPHA	한국	0.00	G	73	
25	-	한국	-0.50	G	65	

한편 이러한 다층박막이 그림 2와 같이 굴절율이 n_{n+1} 인 투명한 기층위에 있을 때 공기중에서 투과율은 아래와 같이 표현된다.^[5]

$$T_t = \frac{n_{n+1} |t|^2 (1 - r_{n+1,0}^2)}{(1 - |r_{n+1,0}|^2)} \quad (7)$$

렌즈로 사용되는 광학유리 기층이나 플라스틱 기층은 자외선 영역에서 빛을 흡수한다. 이 때는 기층의 두께가 수 mm 정도이기 때문에 기층에 의한 광흡수율은 거의 1.0에 도달하게 되며 그만큼 투과율은 감소하게 된다.

III. 실험장치 및 방법

시료로는 현재 국내에서 유통되고 있는 코팅렌즈들 중에서 굴절력이 -3.0 디옵터근방인 렌즈 10매와 굴절력이 0.0 디옵터근방인 렌즈 4매, 기타 6매 등을 선정한 묶음 (1)의 시료(표 1)와 이 시료들중 국내에서 제조되고 있는 한 제품을 선택하여 다층 코팅박막을 처음 층에서 마지막 층까지 차례로 입힌 묶음 (2)의 두 묶음의 시료를 사용하였다. 묶음 (1)의 시료들의 반사율 및 투과율을 측정하여 무반사코팅층 뿐만이 아니라 기층물질 그리고 렌즈의 굴절력 등에 의한 반사 및 투과특성을 전체적으로

알아 보았으며 묶음 (2)의 시료는 c-Si을 기판으로 하고 ZrO₂, SiO₂, TiO₂ 막을 단계별로 증착한 뒤 *ex-situ* 분광타원해석법(spectroscopic ellipsometry)으로 분석하여 각 층의 광학적 구조 및 굴절율 특성을 조사하였다.

반사스펙트럼은 분광광도계(spectrophotometer, PU 8700 UV/VIS)를 사용하여 측정하였다. 이 분광광도계의 파장대역은 190-900 nm, 분해능은 2 nm이다. 측정시간은 스펙트럼당 5분 정도이며 내장된 microprocessor에 의해 자동화되어 있다. 투과스펙트럼 역시 분광광도계(JASCO V550)를 사용하여 측정하였다. 투과스펙트럼 측정에 사용된 분광광도계도 반사스펙트럼측정에 사용된 것과 동일한 사양을 가지고 있다. 분광타원해석기(spectroscopic ellipsometer)는 본 실험실에서 제작한 회전편광자형으로 1.5~4.5 eV의 파장대역을 가진다. 이에 관한 자세한 설명은 이미 발표된 문헌을 참고하기를 바란다.^[6] 또한 분광타원해석법을 이용한 광학박막의 분석도 자세한 설명이 이미 이루어져 있으므로 더 이상의 설명은 생략하기로 하겠다.^[6] 박막코팅에 사용된 진공 전자빔증착기(electron beam evaporator)는 중간크기의 상업용 박막증착기(Leybold, A700Q)로써 유탄산펄프 및 폐회로 프래은 냉동장치를 갖추고 있다. 또한 기층으로 사용되는 광학유리나 플라스틱 등을 가열할 수 있으며 석영진동자로

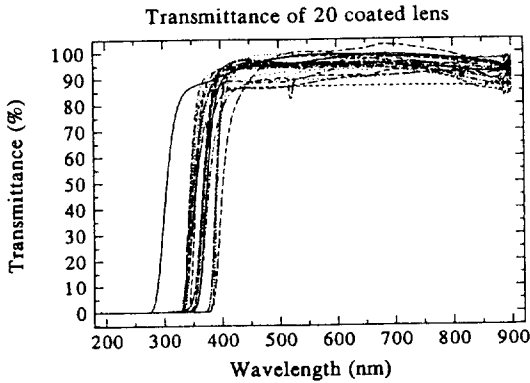


그림 3. 국내 유통되고 있는 코팅렌즈들의 투과율 곡선들.

감지한 두께를 입력받아 전체 코팅과정을 자동제어하는 체제를 갖추고 있다.

IV. 실험결과 및 토의

국내에서 유통되고 있는 처음 묶음의 시료들의 투과 특성은 그림 3에 보여진 바와 같다. 시료들에 따라 다양한 변화를 보여주고 있지만 전체적으로 400 nm보다 긴 파장에서는 투과율이 85%를 초과하며 자외선 영역에서는 투과율이 0으로 감소한다. 투과율이 급격하게 감소하기 시작하는 위치는 박막물질 또는 기층물질의 흡수단의 위치에 따라 대략 400 nm 부터 300 nm까지 변화폭을 보이며 투과영역에서의 최대 투과계수는 85%에서 99%까지 넓은 폭을 보이고 있다. 이들 중 유사한 특성이 서로 중복되어 나타나는 시료들을 제외하고 서로 대비되는 특성이 있는 시료들을 골라 그 투과특성 및 반사특성에 대한 논의를 하고자 한다. 우선 투과율에 로그를 취한 겉보기흡수율(apparent absorption, $Abs = 2.127 - 0.462 \ln T, T \text{ in } \%$)을 비교하여 보았다. 이 겉보기 흡수율(이하 간단히 흡수율이라 약칭함)은 투과율에 비해 스펙트럼의 변화를 예민하게 보여주며 반사율과의 관계를 알기 쉽게 보여주는 장점이 있다.

우선 2, 3, 4, 7, 12, 15, 21, 22, 23번의 9개의 시료에 대하여 250~400 nm 사이의 흡수율 그래프를 그림 4에 옮겨 놓았다. 흡수가 강한 이 자외선 영역에서의 흡수 곡선은 기층물질인 유리 또는 플라스틱 자체의 흡수특성에 크게 의존하므로 이 흡수스펙트럼을 분석하면 기층물질인 유리나 플라스틱 재료를 이해하는데 도움이 된다. 흡수가 일어나는 문지방에 해당하는 파장값은 크게 세개의 묶음으로 나눌 수 있다. 즉 대략 390 nm 근방에서

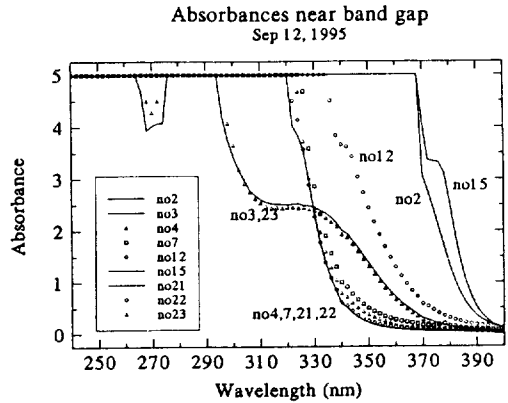


그림 4. 발체된 9개 시료의 흡수단에서의 흡수율 스펙트럼의 변화들.

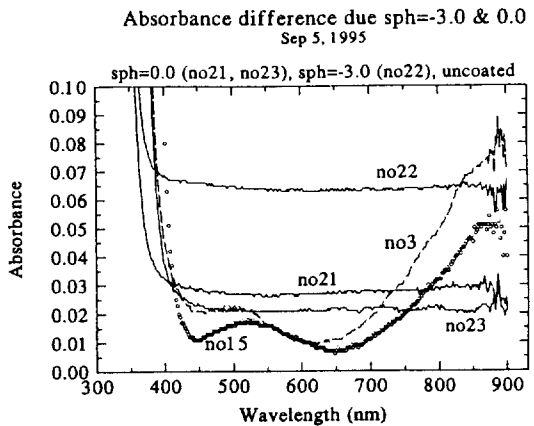


그림 5. 굴절력의 차이에 의한 흡수율 차이 및 무반사코팅의 유무에 의한 차이를 보여주는 흡수율 그래프들.

흡수곡선이 상승하기 시작하는 하나의 묶음(2, 15)과 375 nm 근방에서 상승하기 시작하는 묶음(3, 12, 23) 그리고 350 nm 근방에서 상승하기 시작하는 묶음(4, 7, 21, 22)이 있다. 이들 묶음에 공통적으로 나타나는 특징으로는 플라스틱 기층(2, 3, 12, 15, 23번)은 흡수가 상대적으로 장파장에서 일어나며 기층이 유리인 물질(4, 7, 21, 22번)은 흡수가 단파장에서 일어난다. 이들중 3번과 23번은 동일한 기층물질으로써 330-310 nm 사이에서 증가를 멈추고 평평하다가 310 nm 이하에서 다시 증가하는 독특한 변화양상을 보인다. 또한 270 nm 근방에서 똑같이 약간 꺼지는 모양을 보이고 있음도 동일한 기층물질임을 보여주고 있다.

이에 반하여 투과영역에서의 흡수스펙트럼은 다른 양상을 보인다. 3, 15, 21, 22, 23번의 흡수율을 나타낸 그림

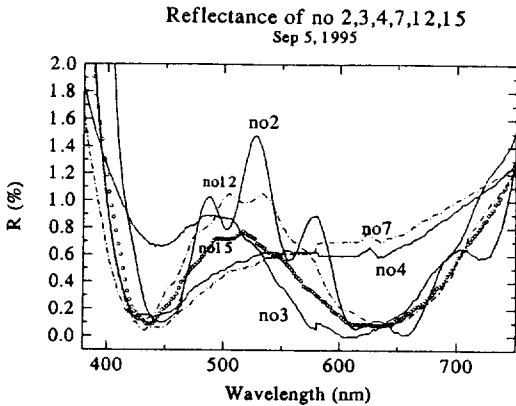


그림 6. 발췌된 시료들의 가시영역에서의 반사율 그래프들.

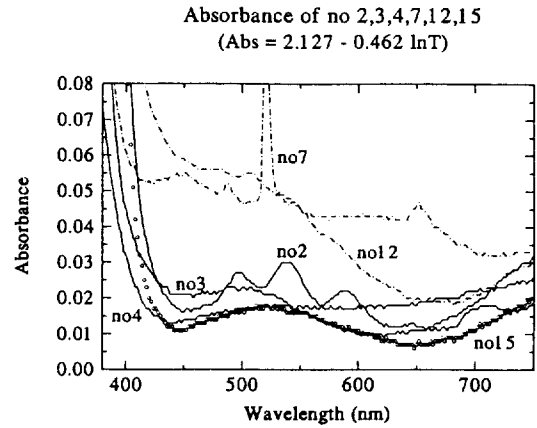


그림 7. 그림 6과 대응되는 흡수율 그래프들.

5에서 3번과 23번은 기층물질이 동일함에도 불구하고 이들의 무반사 코팅층이 서로 다르기 때문에 서로 다른 흡수스펙트럼 모양을 보인다. 즉 3번 시료는 반사율 스펙트럼이 W자형인 것으로부터 짐작할 수 있듯이 3개 이상의 여러층으로 코팅되어 있는 데 반하여 23번은 무반사코팅이 되어있지 않음을 나타낸다. 21번과 22번은 전혀 코팅이 되어있지 않다. 21, 22 그리고 23번은 아무런 특징이 없는 평평한 흡수스펙트럼을 보여주며 전체적으로 이들 렌즈의 굴절력(sph)의 차이에 의한 흡수율의 차이만을 보여주고 있다. 즉 굴절력이 -3.0인 22번의 흡수율이 굴절력이 0.0인 21번보다 0.04 정도 더 큰 것을 알 수 있다. 23번은 굴절력이 0.25이지만 22보다 흡수율이 약간 작게 관찰되었으며 이는 hard easy tint coating으로 인한 것으로 생각된다. 굴절력이 -3.0이며 무반사코팅이 제대로 된 시료인 15번 시료의 흡수율과 비교해 보면 굴절력에 의한 효과를 짐작할 수 있겠다.

한편 흡수율 그래프가 모두 5.0에서 잘리는 이유는 투과율이 측정가능한 최소값에 도달하였기 때문이다. 즉 계기의 측정오차를 감안한 측정가능한 최소 투과율에 해당하는 흡수율은 5.0이다.

가시영역이자 투과영역인 400~700 nm에서 2, 3, 4, 7, 12, 15번 시료들의 반사율과 흡수율을 그림 6과 그림 7에 각각 나타내었다. 전체적으로 400~700 nm에서 반사율이 1.5% 이내임을 볼 수 있고 대체적으로 W자형 반사모양을 보인다. 즉 이 시료들이 광대역 무반사특성을 대체로 잘 만족시키고 있음을 보여준다. 한편 이들 시료가 전체적으로는 유사한 특성을 보여주고 있지만 각 시료별로 서로 대비되는 특징들을 가지고 있음을 알 수 있다. 즉 2번은 아주 잔 진동으로 보아 전체층의 두께가 다른 시료들에 비해 3-4배 이상임을 알 수 있고 12번은

진동의 폭이 작아서 두드러지지는 않지만 진동주기가 더 작아서 이보다 더 두꺼울 것으로 판단된다. 15번은 가장 이상적인 W모양을 가지고 있으며 3번은 단파장쪽이 올라가 있고 4번과 7번은 장파장 쪽이 올라가 있다. 한편 이 시료들의 흡수스펙트럼을 반사스펙트럼과 비교해 보면 전체적으로 흡수율 그래프가 반사율 그래프와 비슷한 모양을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 특히 2, 3, 4, 15번들은 거의 닮은 꼴을 나타내고 있어서 반사율과 흡수율이 강한 상관관계를 가지고 있음을 보여준다. 그러나 7번과 12번은 반사율과 흡수율이 전혀 다른 꼴을 보여주고 있다. 이것은 반사율은 기층에 맞추어 설계된 무반사코팅막에 의해 그 특성이 결정되는데 비해 투과율은 무반사코팅막의 반사율과 기층자체의 흡수율에 의해 그 특성이 결정되기 때문이다. 즉 7번이 4번과 다르며 12번이 2번과 다른 이유는 렌즈물질인 기층의 흡수에 의한 것이다. 다른 기층은 가시영역에서 흡수가 관찰되지 않고 있으나 7번과 12번은 기층에 의한 흡수율의 증가로 인하여, 전체 흡수율이 크게 증가하고 있으며, 이러한 기층에 의한 부정적인 효과는 기층물질을 교체하여야 제거할 수 있겠다.

시료들 중 국내에서 제작이 되고 있는 5번 시료의 무반사다층막은 4개의 무반사박막층 및 1개의 접착층으로 구성되어 있다. 이들 박막층들과 접착층을 렌즈용 기층대신 c-Si기층 위에 단계별로 증착시킨 시료들의 타원해석 스펙트럼은 그림 8과 같다. 여기서 단층은 접착층인 크롬층만 입힌 것이고, 2층은 그위에 ZrO₂층을, 3층은 다시 그위에 SiO₂층을, 4층은 그위에 TiO₂층을, 그리고 5층은 그위에 다시 SiO₂층을 입힌 시료를 각각 말한다. 단층의 경우 크롬의 두께가 극히 얇으며 ZrO₂나 SiO₂ 등의 보호층으로 공기와 차단되어 있지 않을 경우

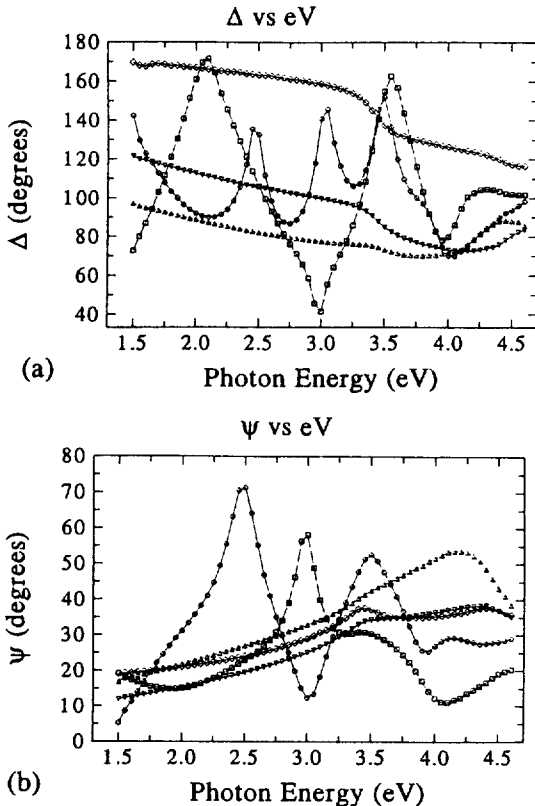


그림 8. 집착층인 Cr(마름모꼴)과 ZrO_2 (역삼각형), SiO_2 (삼각형), TiO_2 (사각형) 그리고 SiO_2 (원)을 c-Si 기층 위에 단계별로 증착시킨 시료들의 타원해석 스펙트럼 Δ(a)와 ψ(b).

산화막으로 변하므로 ex-situ 분광타원해석으로는 산화막이 있는 c-Si의 경우와 비슷한 스펙트럼을 보인다. 2층의 타원해석 스펙트럼을 분석하여 ZrO_2 층의 두께와 밀도 등을 결정하고 그위에 SiO_2 가 입혀진 3층을 분석하여 SiO_2 의 광학구조를 결정하고 다시 그 위에 TiO_2 가 입혀진 4층을 분석하는 과정을 단계적으로 수행하여 이 무반사다중층의 구조를 분광타원해석법으로 결정한 결과를 표 2에 요약하였다. 분광타원해석법으로 무반사코팅층의 각 층의 광학구조 및 박막상수들을 결정하는 자세한 과정은 별도의 기회에 논의하고자 한다. 여기서 관찰된 한가지 중요한 사실은 상대적으로 두꺼운 광학 박막층은 박막면에 수직인 방향으로 막의 물성이 균일하지 않다는 점이다. 즉 박막의 밀도는 박막의 두께에 따라 변하며 깊이에 따른 박막밀도의 변화형태는 박막 물질에 따라 다르다는 점이다. 이와 같은 불균일성은 TiO_2 박막의 경우 특히 심하다. 또한 ZrO_2 나 TiO_2 박막의 평균밀도는 그 덩어리형태로 존재할 때에 비하여 80% 정

표 2. 국내 제작이 되고 있는 무반사층들의 각층의 광학구조 및 박막상수들을 분광타원해석법으로 분석한 결과 요약

층	박막+void	두께	deviation ^[6]
제 2층	ZrO_2 +void (20.8%)	18.0 nm	$\sigma_{\alpha,\beta}=0.043$
제 3층	SiO_2	25.1 nm	$\sigma_{\alpha,\beta}=0.039$
제 4층	TiO_2 +void (30.3%)	31.4 nm	$\sigma_{\alpha,\beta}=0.157$
	TiO_2 +void (8.7%)	51.9 nm	
	TiO_2 +void (33.9%)	13.1 nm	
제 5층	SiO_2 +void (10.2%)	17.5 nm	$\sigma_{\alpha,\beta}=0.023$
	SiO_2 +void (1.1%)	15.5 nm	
	SiO_2 +void (2.1%)	52.2 nm	

도의 조밀도(packing density)를 보여주는 점도 주목할 만하다. 이 같이 박막의 형태이기 때문에 덩어리물질과 다른 물성을 보여주는 것은, 원하는 광학박막의 설계 및 제작에 정확을 기하기 위해, 박막의 광특성을 정확히 측정하는 것이 극히 중요하다는 점을 다시한번 상기시킨다고 하겠다. 한편 광대역무반사 특성을 이루기 위한 다층박막의 구조는 상당히 예민하여 광대역무반사 특성을 유지하기 위한 허용 오차폭이 매우 좁다. 따라서 박막제작시 요구된 박막조건에서 조그마한 이탈도 때로는 치명적일 수 있다. 반면 다층구조를 가지고 있기 때문에 박막변수들 상호간의 상관관계는 아주 강하다. 예를 들면 제 3층의 두께의 증가가 W형 반사의 중심최대반사 파장위치에 미치는 영향은 제 5층의 두께의 증가가 미치는 영향과 강한 음의 상관관계를 가지는 것 등이다. 이와 같은 상관관계를 심분 이용하면 실제 박막제작시 앞 단계에서 박막조건에 예상 못한 변화에 의한 부정적인 영향을 그 다음 단계에서 보정할 수 있는 처방이 가능해진다. 이같은 방법은 산업 현장에서는 수율향상을 통한 경비절감 및 생산성 향상에 큰 도움을 줄 것으로 예상된다. 다만 실제 현장에 적용하기 위해서는 실시간, in-situ 측정을 가능하게 하는 장비가 필요하며 이러한 장비에서 측정된 결과를 분석하고 각 박막변수들의 상관관계를 조사하여 처방을 내리는 프로그램이 개발되어야 할 것이다.

결 론

국내에서 유통되고있는 많은 무반사코팅층들은 가시영역의 투과곡선이 대체적으로는 비슷한 모양을 보이지만 투과율은 85-98%까지의 다양한 변화를 보이고 있다. 흡수단 근방에서의 흡수율 그래프를 분석함으로써 기층물질의 차이를 파악하고 강한 양의

상관관계를 보여주고 있는 반사율 그래프와 겹보기 흡수율 그래프를 비교 분석하여 일부 기층에 의한 흡수율의 바람직하지 않은 영향을 식별할 수 있었다. 기층에 의한 흡수는 기층물질 자체를 대체함으로써 제거될 수 있겠다. c-Si 기층위에 단계별로 증착시킨 무반사층을 분광타원해석법으로 분석하여 ZrO₂ 박막과 TiO₂ 박막의 평균 조밀도가 80% 정도임을 보이고 동시에 두꺼운 박막이 박막성장방향으로 가지는 불균일한 정도를 정량적으로 밝혔다. 실시간 *in-situ* 측정을 바탕으로 재현성있는 박막성장을 이루는 방법에 관하여 논의하였다.

감사의 글

국내에서 유통하는 무반사코팅된 렌즈들을 제공하여 주신 안경사들에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] Multilayer Calculation Program distributed by

Myung Sung Lighting Co., Ltd. 998-8 Doksan-1 Dong, Kuro-Gu, Seoul 152-011.
 [2] J. M. Bennett, E. Pelletier, G. Albrand, J. P. Borgogno, B. Lazarides, C. K. Carniglia, R. A. Schmall, T. H. Allen, T. Tuttle-Hart, K. H. Guenther, and A. Saxer, "Comparison of the properties of titanium dioxide films prepared by various techniques," *Appl. Opt.*, **28**(15), 3303 (1989).
 [3] H. A. Macleod, *Thin Film Optical Filters* (Adam Hilger Ltd, Bristol, 1969) chap. 3.
 [4] R. M. A. Azzam and N. M. Bashara, *Ellipsometry and Polarized Light* (North-Holland, New York, 1987) chap. 4.
 [5] S. Y. Kim, "Simultaneous Determination of refractive index, extinction coefficient and void distribution of titanium oxide thin film using optical methods," *Appl. Opt.* (to be published, 1996).
 [6] 김상열, "Spectroscopic Ellipsometry를 이용한 표면 및 박막의 분석," *한국광학회지*, **1**(1), 73-86 (1990); 김 상열, "회전검광자형 분광타원해석기의 제작 및 불화박막의 분석", *한국광학회지*, **3**(2), 92-100 (1992).

Optical Structures of Multilayer Coatings of Antireflection Lenses and their Transmission Characteristics

Sang Youl Kim

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

Sung Suk Choi

Department of Optic Science, Dong Nam Health junior College, 440-714, Korea

(Received: October 16, 1995)

Antireflection coatings on optical lenses commercially available in domestic market are optically analyzed. Transmission spectra and reflection spectra are collected using spectrophotometers. The apparent absorption spectra around the absorption band edge are dominated by the substrate absorption. The reflection spectra and the apparent absorption spectra at visible region between 400nm and 700nm show very strong correlation to each other except a couple samples. The discrepancy observed in the latters are due to an increased absorption in visible region by the substrate, which is negative effect of these samples. An antireflection coating consisted of SiO₂/TiO₂/SiO₂/ZrO₂/Cr is made on c-Si substrate for spectroscopic ellipsometry analysis. A film-by-film coating is accomplished and between each film deposition, *ex-situ* spectroscopic ellipsometry measurements are made. The analysis of the spectroscopic ellipsometry data reveals that the average film densities of ZrO₂ and TiO₂ reach only 80% of their respective packing densities and thick films are inhomogeneous along film growth direction. Discussions are made toward *in-situ*, real-time monitoring of the film growth so that a real-time feedback is possible to achieve a post-correction to minor deviations occurred in the previous step.