



A Study on the Reflectance Characteristics of Spectacle Multilayer with Mixed Coherence and Incoherence

Moon Chan Park^{1,a,*} and Il Suk Park^{2,b}

¹The Faculty of Beauty Health Sciences, Major in Ophthalmic Optics, Shinhan University, Professor, Uijeongbu 11644, Korea

²Interojo Co. Ltd, Researcher, Pyeogtaek 17744, Korea

(Received November 6, 2019; Revised November 27, 2019; Accepted December 13, 2019)

Purpose: The reflectance characteristics of a spectacle multilayer with mixed coherence and incoherence were studied. **Methods:** Spectacle multilayers with mixed coherence and incoherence were designed in an optical design program using the optical constants of SiO₂, ZrO₂ and hard-coating films, and the reflectance due to the difference in refractive index between the hard material and the spectacle lens and the reflectance according to incident angle were observed. **Results:** The reflectance of the spectacle substrate and hard film was caused by some periodic oscillation due to the partial coherence of the hard coating layer. The reflectance of the spectacle lens with mixed coherence and incoherence was slightly smaller than twice the reflectance designed only on one side. As the difference in refractive index between the hard material and the spectacle substrate increased, the reflectance increased. The phenomenon of reflectance in TM mode was closely related to the Brewster angle, and the reflectance of non-polarized light took the average value of the reflectance of TM mode and TE mode. **Conclusions:** The spectacle multilayer should be considered on both sides, and the with mixed coherence and incoherence should be used to calculate the correct reflectance of the spectacle lens.

Key words: Antireflective coating, Coherence, Incoherence, Multilayer, Reflectance

서 론

반사방지막은 기관 위에 얇은 유전체 막을 코팅하여 막에서 반사되는 빛의 간섭현상 중 소멸간섭을 이용하여 반사를 방지한다. 반사방지막은 기관위에 증착되는 코팅물질의 굴절률 및 두께를 제어하여 반사율을 제어하므로 코팅물질의 굴절률과 두께는 가장 중요한 요소이며, 일반적으로 넓은 파장대에 걸쳐서 낮은 반사율을 얻기 위해서는 다층의 반사방지막 구조를 적용한다.

반사방지막의 응용으로서 태양 전지를 제작함에 있어 반사율을 줄여 가급적 많은 태양열을 흡수하기 위해 맨 위층에 반사방지 코팅을 하게 되며,^[1] 안경렌즈에서 투과율을 증가시켜 Ghost 이미지를 줄이기 위해서 하드코팅위에 반사방지막 코팅을 하며,^[2] 광 필터를 제작 시 일반적으로 한 면은 원하는 대역에서 원하는 투과율과 반사율로 설계하며 다른 한 면은 반사를 줄이기 위해 반사방지막 코팅을 한다.^[3]

특히 플라스틱 안경렌즈에 있어서는 유리 안경렌즈에 비해 흡집이 잘 나기 때문에 반드시 플라스틱 안경렌즈 위에 하드코팅을 해야 하며, 렌즈가 열경화성 렌즈인 경우

는 열경화 하드코팅 법을 사용하여 하드 막을 안경모재 양면에 코팅하는데, 이 때 하드코팅 막의 두께는 1.5~3 μm이다.^[4] 그 위에 안경렌즈의 투과율을 증가시키기 위해 반사방지 다층막인 SiO₂/ZrO₂/SiO₂/ZrO₂ 코팅을 하며, 다층막의 한 층의 두께는 대부분 100 nm 이하로 코팅을 한다. 이때 일반적으로 하드 코팅막 위에 반사방지막 코팅 설계는 안경렌즈 한쪽 면만 반사율을 계산한 후 두 배를 해 전체반사율을 구하는 근사 방법을 이용한다.

안경렌즈의 반사율이나 투과율을 정확히 설계하기 위해서는 안경렌즈 양면을 고려해야 할 뿐 아니라 렌즈나 막의 두께에 따른 가간섭성과 비가간섭성을 고려해야 한다. 이는 안경렌즈인 경우 광원은 낮에는 주로 태양광으로 가간섭(coherence) 특성도 갖기 때문에 이를 고려해야 한다. 파장에 따라 약간 다르지만 대략적인 태양의 가간섭성 거리는 약 1 μm 정도로 매우 짧은 것으로 알려져 있다.^[5] 안경렌즈 코팅막 두께가 약 1 μm 이상인 경우는 비가간섭성으로, 이하의 가간섭성으로 고려하여 설계하여야 한다. 그러므로 일반적으로 안경모재와 하드코팅막은 비가간섭성으로, 반사방지막 다층막은 가간섭성으로 설계해야 한다.

*Corresponding author: Moon Chan Park, TEL: +82-31-870-3432, E-mail: mcpark@shinhan.ac.kr

Authors ORCID: ^a<https://orcid.org/0000-0001-9212-0162>, ^b<https://orcid.org/0000-0003-0420-6551>

반사방지막의 반사율을 좀 더 분석하기 위해서 안경모재의 빛이 비 편광 시 각에 따른 가시광선 영역에서 투과율스펙트럼과 평균투과율을 분석하고, 빛이 편광 시 가시광선영역에서 각에 따른 TM모드와 TE모드 반사스펙트럼과 평균투과율을 분석해야 한다.^[6]

따라서 본 연구는 가간섭성과 비가간섭성^[7,8]이 혼합되어진 안경렌즈에 대해 설계 후 반사율을 관찰하고, 이를 하드코팅 막과 안경모재의 굴절률 차이에 따른 반사율의 변화와 입사각에 따른 반사율의 변화를 연구하고자 한다.

대상 및 방법

1. 광학상수 측정

ZrO₂ 박막, SiO₂ 박막의 광학상수(n & k)를 측정하기 위해 전자 빔 증착 장치(electron beam evaporation, 1200φ, 새한, 대한민국)를 사용하여 BK7 glass 위에 두꺼운 박막을 제작하였고, 분광광도계를 이용하여 BK7 기판의 투과율과 두꺼운 박막의 투과율을 구한 후 포락선 방법^[9]을 이용하여 Essential Macleod program에 입력하여 ZrO₂ 박막과 SiO₂박막의 파장에 따른 광학상수를 구하였다.

하드 코팅막의 파장에 따른 굴절률을 측정하기 위해 Si wafer를 하드 코팅액 중에 침지시키고 경화시켰다. 그 후 가변입사각 분광 타원계(variable angle spectroscopic ellipsometer; VASE, J. A. Woollam Co.,USA)를 이용하여 65° 70°, 75°로 빛을 입사하여 타원상수 Ψ와 Δ를 얻은 후 곡선맞춤으로 하드 코팅 박막의 광학상수를 구했다.

2. 박막설계

ZrO₂ 박막, SiO₂ 박막, 하드 코팅막의 광학 상수를 이용해 4층 반사방지막의 최적치를 구하였고, 이를 근거로 광학 박막 설계프로그램인 CROWM에서 가간섭성과 비가간섭성이 혼합된 안경렌즈 다층막을 설계하였다. 가간섭성과 비 가간섭성이 혼합된 안경렌즈 다층 박막은 Fig. 1과 같이

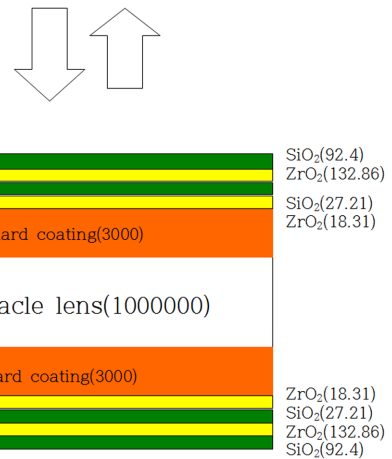


Fig. 1. Schematic diagram of coherence-incoherence of an antireflective optical layer and hard and hard coating layer on spectacle lens. The number unit in parentheses is nm.

[air/SiO₂(92.4)/ZrO₂(132.86)/SiO₂(27.21)/ZrO₂(18.31)/hard coating(3000)/spectacle lens(1000000)/hard coating(3000)/ZrO₂(18.31)/SiO₂(27.21) /ZrO₂(132.86)/SiO₂(92.4)/air]로 설계하였다. 여기서 안경모재와 하드 코팅막은 비가간섭성으로, 반사방지막 다층막은 가간섭성으로 실행하였으며, 안경렌즈와 다층막 옆에 괄호안의 숫자는 렌즈 또는 막의 두께이며 단위는 nm이다. 안경모재의 굴절률은 1.56을 사용하였다.

또한 안경모재와 하드 코팅 막의 굴절률 차이에 의한 반사율을 분석하기 위해서 안경모재의 굴절률을 1.50, 1.60, 1.65, 1.7로 변화시켜 반사율을 구했으며, 그 후 각에 따른 가시광선영역에서의 반사율을 분석하기 위해 비 편광모드, TM모드, TE모드에서의 반사율을 구했다.

결과 및 고찰

1. 코팅막의 광학상수

Fig. 2A는 파장 300~900 nm 영역에서의 ZrO₂, SiO₂, 하

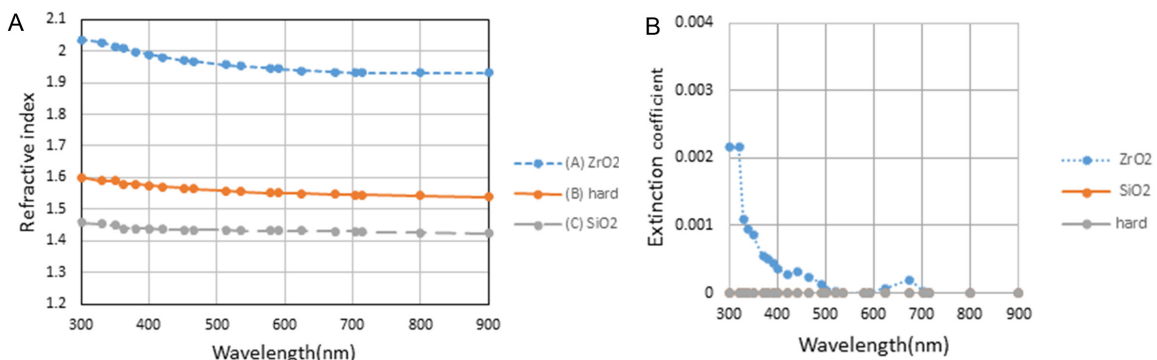


Fig. 2. The refractive index (A) and extinction coefficient (B) of ZrO₂, SiO₂, and the hard coating on spectacle lens with wavelength of 300~900 nm.

드 코팅막의 굴절률이다.^[10,11] (A)그래프는 ZrO₂의 굴절률로 파장 300 nm에서 2.034로 시작하여 점점 줄어들어 파장 900 nm에서는 1.930이며, d선에서 굴절률은 1.949이다. (B)그래프는 하드 코팅막의 굴절률로 1.600로 시작하고 파장 900 nm에서는 1.542이며, d선에서 굴절률은 1.553이며, (C)그래프는 SiO₂의 굴절률로 1.458로 시작하고 파장 900 nm에서는 1.425이며, d선에서 굴절률은 1.428이다.

Fig. 2B는 파장 300~900 nm 영역에서의 ZrO₂, SiO₂, 하드 코팅막의 소멸계수이다. SiO₂, 하드 코팅막의 소멸계수는 0으로 그래프에서 바닥에 겹쳐있으며, ZrO₂막은 파장 300 nm에서 0.002로 시작해서 점점 줄어들어 파장 500 nm에서는 거의 0이 되고 다시 파장 600 nm에서 700 nm까지 조금 증가 후 0으로 간다.

2. 가간섭성과 비가간섭성이 혼합된 안경렌즈 다층막의 반사율

안경렌즈의 가간섭성과 비가간섭성 박막이 혼합된 [air/SiO₂/ZrO₂/SiO₂/ZrO₂/hard coating/spectacle lens/hard coating/ZrO₂/SiO₂/ZrO₂/SiO₂/air] 박막 구조의 반사율에서 반사방지막의 효과를 관찰하기 위해 먼저 안경모재 양면 위에 하드 코팅막을 코팅한 [air/hard coating(3000)/spectacle lens(1000000)/hard coating(3000)/air] 박막 구조에서의 반사율을 구해 가간섭성과 비가간섭성이 혼합된 안경렌즈 박막 구조의 반사율과 비교하였다. 이 후 하드 코팅막 위에 반사방지막이 놓인 한 면만으로 설계한 [air/SiO₂/ZrO₂/SiO₂/ZrO₂/hard coating/spectacle lens]박막 구조의 반사율 스펙트럼을 두 배로 적용한 반사율을 구해 양면 혼합된 안경렌즈 박막구조의 반사율과 비교하였다.

Fig. 3에서 (A)그래프는 안경모재 양면 위에 하드 코팅막을 코팅한 [air/hard coating(3000)/spectacle lens(1000000)/hard coating(3000)/air] 박막 구조에서의 반사율 스펙트럼

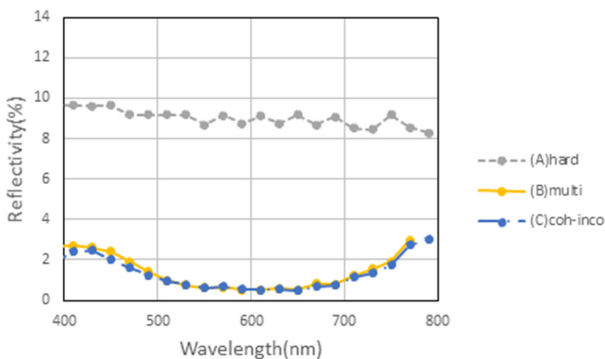


Fig. 3. Reflection spectra of [air/hard coating/spectacle lens/hard coating/air], [air/SiO₂/ZrO₂/SiO₂/ZrO₂/hard coating/spectacle lens/hard coating/ZrO₂/SiO₂/ZrO₂/SiO₂/air], and [air/SiO₂/ZrO₂/SiO₂/ZrO₂/spectacle lens] with wavelength of 400~800 nm.

이다. 여기에서 괄호안의 숫자는 막의 두께를 나타내며, 단위는 nm이다. 안경모재의 두께는 수 mm로 다층막에 비해 두껍고 하드 코팅 막도 1.5~3 μm로 비교적 크기 때문에 광학 설계프로그램에서 비가간섭성으로 실행하였다. 파장영역 400 nm에서 800 nm까지의 평균반사율은 9.03%로 하드 코팅 막에서 반사율과 비슷하나, 파장영역 550 nm에서 780 nm까지의 반사율이 약간의 주기적인 진동이 있었다. 이는 하드코팅막이 3 μm로 1 μm보다는 크지만 비교적 작은 값으로 하드 코팅 막에서 부분 가간섭성(partial coherence)이 나타나기 때문이라고 여겨진다.

(B)그래프는 하드 코팅 막 위에 반사방지막이 놓인 한 면만으로 반사율이 최소가 되는 최적조건으로 설계한 [air/SiO₂(92.4)/ZrO₂(132.86)/SiO₂(27.21)/ZrO₂(18.31)/hard coating(3000)/spectacle lens(1000000)] 박막 구조의 반사율 스펙트럼을 두 배로 하여 얻은 값으로, 안경모재를 기준으로 양쪽이 대칭으로 되어있으므로 반사율을 두 배로 계산하였다. 파장 550 nm 이상에서는 하드 코팅 막보다 진동 폭은 적지만 반사율의 증가와 감소가 주기적으로 일어나는데, 이는 하드 코팅 막처럼 하드코팅에서 부분 가간섭성이 일어나 주기적인 진동이 일어남을 알 수 있었다.

(C)그래프는 아래 두 개의 곡선 중 아래 곡선은 안경렌즈의 가간섭성과 비가간섭성 박막이 혼합된 있는 [air/SiO₂(92.4)/ZrO₂(132.86)/SiO₂(27.21)/ZrO₂(18.31)/hard coating(3000)/spectacle lens(1000000)/hard coating(3000)/ZrO₂(18.31)/SiO₂(27.21)/ZrO₂(132.86)/SiO₂(92.4)/air] 박막 구조를 실행하여 얻은 반사율 스펙트럼이다. 아래 두곡선의 반사율은 파장영역 500~700 nm에서는 거의 같고 평균반사율의 차이도 0.05%로 큰 차이는 없으나 파장영역 400~500 nm와 750~800 nm에서 약 0.5%의 차이가 발생하는 것을 알 수 있었다. 안경렌즈의 가간섭성과 비가간섭성을 혼합한 박막의 반사율이 한 면만을 가간섭성으로 설계한 반사율의 두 배보다 일부영역에서 작은 것은 한 면으로 입사하는 광선의 일부분이 반사하기 때문이다. 이 때 다른 면에서는 입사하는 광선은 100%보다 작은 값이기 때문에 가간섭성과 비가간섭성을 혼합한 전체 전체 반사율은 한 면만을 가간섭성으로 설계한 반사율의 두 배보다 작은 것으로 여겨진다.

3. 하드 코팅막과 모재 굴절률 차이의 의한 반사율

Fig. 4는 박막구조 [air/SiO₂(92.4)/ZrO₂(132.86)/SiO₂(27.21)/ZrO₂(18.31)/hard coating(3000)/spectacle lens(1000000)/hard coating(3000)/ZrO₂(18.31)/SiO₂(27.21)/ZrO₂(132.86)/SiO₂(92.4)/air]에서 하드코팅과 안경모재의 굴절률에 따른 반사율 차이를 알아보기 위해 안경모재의 굴절률을 변화시켜 안경렌즈 다층막의 반사율을 측정된 곡선이다.

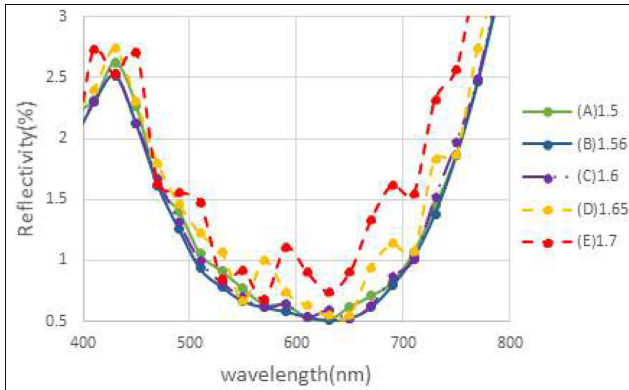


Fig. 4. Reflection spectra of [air/SiO₂/ZrO₂/SiO₂/ZrO₂/hard coating/spectacle lens/hard coating/ZrO₂/SiO₂ /ZrO₂ /SiO₂ /air] for change of refractive index of the spectacle lens index with wavelength of 400~800 nm.

(B)그래프는 안경모재의 굴절률이 1.56이고 하드코팅의 굴절률이 1.553일 때의 안경렌즈 다층막에서의 반사율이다. 이 곡선은 파장 400 nm에서 반사율이 2.15%이고 파장 420 nm에서 2.5%로 증가하다가 파장 640 nm에서 반사율이 최소로 약 0.5%까지 감소한 후 가파르게 증가하며, 평균반사율은 Table 1과 같이 1.35%이다. (C)그래프는 안경모재의 굴절률을 1.60으로 평균반사율이 1.39%, (A)그래프는 안경모재의 굴절률이 1.50이고 평균반사율이 1.42%, (D)그래프는 안경모재의 굴절률이 1.65이고 평균반사율이 1.54%, (E)그래프는 안경모재의 굴절률이 1.70이고 평균반사율이 1.76%가 되는 곡선이다. 안경모재의 굴절률이 1.56과 1.70에서의 평균반사율의 차이는 0.34%임을 알 수 있었다.

반사율이 가장 낮은 안경모재의 굴절률이 1.56인 것은 하드 코팅막의 굴절률 1.553과 굴절률 차이가 가장 적기 때문이다. 그 이후 하드 코팅막과 안경모재의 굴절률의 차이가 많은 순서대로 평균반사율이 커짐을 알 수 있었다. Fig. 4에 나타난 것처럼 안경모재의 굴절률이 1.65와 1.7에서는 반사율의 주기적인 진동이 큼을 알 수 있으며, 하드 코팅막과 안경모재 사이의 굴절률 차이가 더 큰 안경모재 굴절률 1.7에서 주기적인 진동이 더 크게 나타남을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 Fig. 2에서 설명한 하드 코팅막에서 부분 가간섭성에 기인한 것으로 여겨지며, 이에 관한 자세한 논의는 추 후 연구를 통해서 진행 할 계획이다.

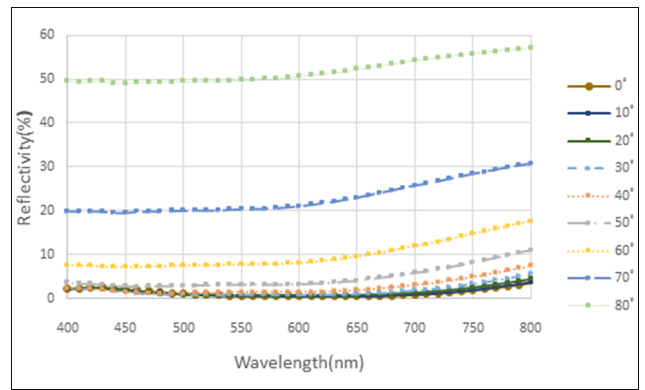


Fig. 5. Transmittance spectrum of [air/SiO₂/ZrO₂/SiO₂/ZrO₂/hard coating/ spectacle lens/hard coating/ZrO₂/SiO₂ /ZrO₂ /SiO₂ /air] for non-polarization with respect to incident angle with wavelength of 400~800 nm.

4. 입사각에 따른 반사율

Fig. 5는 파장영역 400~800 nm까지 비 편광된 빛의 입사각에 따른 반사율 스펙트럼이다. 입사각이 0°인 가간섭성과 비가간섭성을 혼합한 안경렌즈 다층막에서의 반사율 스펙트럼은 파장 400~600 nm에서는 반사율이 거의 비슷하고 600 nm 이상에서는 파장이 클수록 반사율이 증가하는 추세이다. 반사율은 입사각이 커질수록 장파장에서 증가하였는데, 이는 입사각에 따른 평균반사율이 증가하기 때문에 장파장에서의 반사율의 증가폭이 커진 것이라 여겨진다.

입사각이 0°, 10°, 20°, 30°에서의 평균반사율은 Table 1과 같이 1.93%, 1.89%, 1.82%, 1.91%로 비슷하다가 40°, 50°, 60°, 70°, 80°에서는 2.56%, 4.43%, 9.55%, 22.47%,

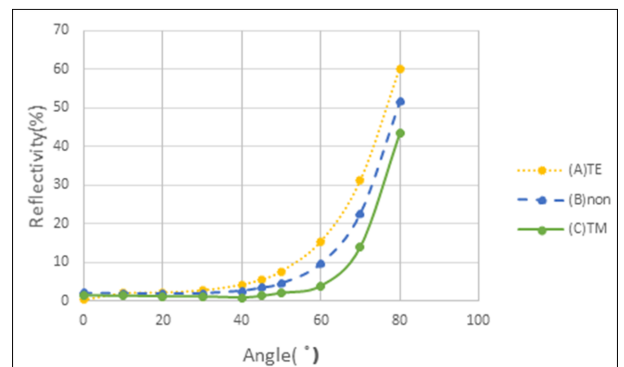


Fig. 6. Average transmittance of [air/SiO₂/ZrO₂/SiO₂/ZrO₂/hard coating/spectacle lens/hard coating/ZrO₂/SiO₂/ZrO₂/SiO₂ /air] for non-polarization, TM, and TE mode with respect to incident angle.

Table 1. Average reflectivity of [air/SiO₂/ZrO₂/SiO₂/ZrO₂/hard coating/spectacle lens/hard coating/ZrO₂/SiO₂ /ZrO₂ /SiO₂ /air] for change of refractive index of the spectacle lens index with wavelength of 400~800 nm

Refractive index of spectacle lens	1.5	1.56	1.6	1.65	1.7
Average reflectivity (%)	1.42	1.35	1.39	1.54	1.76

Table 2. The Reflectivity of [air/SiO₂/ZrO₂/SiO₂/ZrO₂/hard coating/spectacle lens/hard coating/ZrO₂/SiO₂/ZrO₂/SiO₂/air] for non-polarization and TM, TE mode with respect to incident angle

Angle (°)	Reflectivity (%)		
	TM	TE	Non-pola
0	1.35	0.21	1.94
10	1.29	1.98	1.89
20	1.14	2.17	1.82
30	1.09	2.73	1.91
40	0.83	4.19	2.56
45	1.25	5.56	3.35
50	2.01	7.65	4.43
60	3.79	15.31	9.55
70	13.85	31.10	22.47
80	43.44	60.19	51.50

51.50%로 각이 클수록 반사율이 가파르게 증가함을 알 수 있었다. 이를 좀 더 자세히 알기 위해 편광모드인 TM모드와 TE모드에 대해 입사각에 따른 평균반사율을 측정하였다.

Fig. 6은 비 편광된 빛, 편광 TM모드와 TE모드에서 입사각에 따른 빛의 평균 반사율을 나타낸 것이다. (B)그래프는 비 편광된 빛에서의 반사율을 나타내며, (A)그래프는 TE모드에서의 입사각에 따른 빛의 반사율이며, (C)그래프는 TE모드에서의 입사각에 따른 빛의 반사율이다. TM모드에서 빛의 반사율이 0°에서 감소하여 40°에서 최소가 되다가 45°부터 증가되는 결과는 Brewster각과 밀접한 관계가 있다고 여겨진다. TM모드에서 반사율에 가장 많이 관여하는 것은 안경렌즈 다층막의 맨 위 SiO₂층이라고 여겨지는데, 맨 위 박막에서의 Brewster각($\theta = \tan^{-1}\left(\frac{1.43}{1}\right)$)은 55°로 안경렌즈 다층막에서 반사율과 약 10° 이상으로 차이가 난다. 이 차이에 많은 부분은 안경렌즈 다층막에서의 간섭에 기인하고, 적게는 하드 코팅막의 부분 간섭도 영향을 주리라 여겨진다.

비 편광 빛에서의 반사율은 Table 2와 같이 0°에서 반사율을 제외하고는 나머지 모든 각에서 TM모드와 TE모드의 반사율의 평균값과 비슷한 것을 알 수 있으며, 일반적인 반사현상에서 일어나는 현상과 같음을 알 수 있었다.

결 론

본 연구는 가간섭성과 비가간섭성이 혼합되어진 안경렌즈에 대해 반사율을 관찰하고, 이를 입사각에 따른 반사율의 변화를 연구하고자 한다.

분광광도계를 이용하여 BK7 기판의 투과율과 두꺼운 박

막의 투과율을 구한 후 포락선 방법을 이용하여 ZrO₂ 박막과 SiO₂박막의 파장에 따른 광학상수를 구하였고, 가변입사각 분광 타원계를 이용하여 하드 코팅 박막의 광학상수를 구했다.

SiO₂와 ZrO₂막(반사방지다층막의 재료), 하드 코팅막의 광학상수를 이용하여 CROWM 프로그램을 사용하여 가간섭성과 비가간섭성이 혼합된 안경렌즈 다층막 [air/SiO₂(92.4)/ZrO₂(132.86)/SiO₂(27.21)/ZrO₂(18.31)/hard coating(3000)/spectacle lens(1000000)/hard coating(3000)/ZrO₂(18.31)/SiO₂(27.21)/ZrO₂(132.86)/SiO₂(92.4)/air]을 설계하고, 안경모재의 굴절률의 변화와 입사각에 따른 안경렌즈 투과율의 변화를 관찰하였다.

ZrO₂, SiO₂, 하드 코팅막의 d선에서의 굴절률은 1.949, 1.428, 1.553이다. 안경모재와 하드 코팅막, 안경모재와 하드 코팅막과 다층막의 반사율은 약간의 주기적인 진동을 하는데, 이는 하드 코팅막에서 부분 가간섭성(partial coherence)이 나타나기 때문이라고 여겨진다. 안경렌즈의 가간섭성과 비가간섭성을 혼합한 박막의 반사율이 한 면만을 가간섭성으로 설계한 반사율의 두 배보다 작게 나오는 것은 한 면으로 입사하는 광선의 일부분이 반사하기 때문에 다른 면에서는 입사하는 광선은 100%보다 약간 작은 값이기 때문이라고 여겨진다.

하드 코팅막과 안경모재의 굴절률이 비슷한 경우가 가장 낮은 반사율을 나타내며, 하드 코팅막과 안경모재의 굴절률 차이가 커짐에 따라 반사율이 커짐을 알 수 있었다.

TM모드에서 빛의 반사율이 0°에서 내려가다가 40°에서 최소가 되다가 45°부터 올라가고 현상은 Brewster각과 밀접한 관계가 있으며, 비 편광 빛에서의 반사율은 TM모드와 TE모드의 반사율의 평균값을 취하는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2017학년도 신한대학교 교수연구년연수제도에 의하여 연구된 논문입니다.

REFERENCES

- [1] Kim CB. The study on the improvement of antireflection coating efficiency according to the angle of incidence. J Korea Acad Industr Coop Soc. 2015;16(6): 4131-4136. DOI:https://doi.org/10.5762/kais.2015.16.6.4131
- [2] Brooks CW, Borish IM. System for ophthalmic dispensing, 3rd Ed. Missouri: Butterworth-Heinemann, 2007;541-547. DOI:https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-7480-5.x5001-1
- [3] Park MC, Ko KC, Lee WJ. The fabrication and characteristic for narrow-band pass color-filter deposited by Ti₂O₃/SiO₂ multilayer. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2011;16(4):

- 357-362.
- [4] Kang HS. Glasses materials, 7th Ed. Seoul: Shinkwang Pub, 2015;245-247.
- [5] Lee WY. Study on the numerical method considering coherence length and the effect of coherence length in photovoltaic devices. MS Thesis. Seoul National University, Seoul. 2013;5-6.
- [6] Hecht E. Optics, 4th Ed. San Francisco: Addison Wesley, 2002;111-122.
- [7] Abass A, Trompoukis C, Leyre S, et al. Modeling combined coherent and incoherent scattering structures for light trapping in solar cells. J Appl Phys. 2103;114(3): 033101. DOI:https://doi.org/10.1063/1.4813102
- [8] Kim SY. Expressions for ellipsometric constants of samples covered with two thick incoherent films. Korean J Opt Photon 2013;24(2):92-98. DOI:https://doi.org/10.3807/kjop.2013.24.2.092
- [9] Hwangbo CK, Jin KH, Park DY, et al. Determination of optical constants and thickness of weakly absorbing thin films using an envelope method. Korean J Opt Photon 1992;3(1):1-10.
- [10] Park MC. Study for transmittance changes with the Thicknesses of ITO and water-repellent films of ophthalmic lens. Korean J Vis Sci. 2017;19(2):139-147. DOI:https://doi.org/10.17337/jmbi.2017.19.2.139
- [11] Park MC, Jung BY, Joo KB, et al. A study of the optical constants of the hard-coating films by the ellipsometer. Korean J Vis Sci. 2006;8(2):37-44.

가간섭성과 비가간섭성이 혼합된 안경렌즈 다층막에서 반사율 특성 연구

박문찬^{1,*}, 박일석²

¹신한대학교 뷰티헬스사이언스학부 안경광학전공, 교수, 의정부 11644

²주인터로즈, 연구원, 평택 17744

투고일(2019년 11월 6일), 수정일(2019년 11월 27일), 게재확정일(2019년 12월 13일)

목적: Coherent-incoherent 안경렌즈 다층막에서 반사율 특성을 연구하고자 한다. **방법:** SiO₂와 ZrO₂막, 하드 코팅막의 광학 상수를 이용하여 광학설계 프로그램에서 coherent-incoherent 안경렌즈 다층막을 설계하고, 이를 안경모재와 하드 코팅막의 굴절률 차이에 의한 반사율과 입사각에 따른 반사율을 관찰하였다. **결과:** 안경모재와 하드 코팅막의 반사율은 약간의 주기적인 진동을 하는데, 이는 하드막에서 부분 가간섭성(partial coherence)이 나타나기 때문이라고 여겨진다. 안경렌즈의 가간섭성과 비가간섭성을 혼합한 박막에 의한 반사율이 한 면만을 설계한 반사율의 두 배보다 조금 작게 나오며, 하드 코팅막과 안경모재의 굴절률 차이가 커짐에 따라 반사율이 커짐을 알 수 있었다. TM모드에서 빛의 반사율의 현상은 Brewster각과 밀접한 관계가 있으며, 비 편광된 빛에서의 반사율은 TM모드와 TE모드의 반사율의 평균값을 취하는 것을 알 수 있었다. **결론:** 안경렌즈의 정확한 반사율을 계산하기 위해 안경렌즈 다층막을 양면으로 고려해야 하며 가간섭성과 비가간섭성을 혼합한 다층막으로 고려해 설계하여야 한다.

주제어: 반사방지막 코팅, 가간섭성, 비가간섭성, 다층막, 반사율