

소형 Magnetron Sputtering 방법에 의한 선글라스 렌즈용 Ti 박막의 특성연구

박문찬 · 정부영* · 이종근** · 주경복*** · 이화자****

신흥대학 안경광학과, *(주)인텍, **부천대학 디지털산업전자과,
초당대학교 안경광학과, *이화여자대학교 간호과학과
(2008년 1월 12일 받음, 2008년 2월 14일 수정본 받음)

목적: 소형 magnetron sputtering 장치를 이용하여 CR-39 안경렌즈와 glass위에 코팅한 선글라스 렌즈용 Ti 박막의 광학적 특성에 관한 연구이다. **방법:** SEM 단면 사진으로 Ti 코팅 박막의 두께를 측정하였고, spectrophotometer를 이용하여 Ti 박막의 투과율과 반사율을 측정하였다. Variable angle spectroscopic ellipsometry (VASE)를 이용하여 파장에 따라 Ti 박막의 굴절률과 소멸계수를 구하였다. **결과:** 두께가 60 nm, 120 nm, 140 nm인 시료에 대한 투과율은 가시광선 영역인 파장 400 nm에서 750 nm까지 변화가 크지 않았으며 모두 silver tone에 가까운 color를 보였다. 가까운 파장 400 nm 근처에서 약간 올라가는 경향을 보였고, He d선 (587.6 nm)을 기준으로 할 때 Ti 박막의 두께가 60 nm에서 투과율이 33%, 두께가 120 nm에서 투과율이 25%, 두께가 140 nm에서 투과율이 20%를 보였다. **결론:** Ti 박막의 경우 60~140 nm의 모든 두께에서 선글라스용으로 적합한 것을 알 수 있었다. Ti 박막에 대한 굴절률이 작게 나오는 것은 Ti 박막의 두께가 얇기 때문이라고 여겨진다.

주제어: 소형 sputtering 장치, Ti 코팅, 투과율, 굴절률, 소멸계수

서 론

안경사는 소비자들로부터 소비자들이 야외생활을 할 때 태양의 전자기파에 대해 자신의 눈을 보호하기 위하여 착색렌즈가 얼마나 짙어야 되는지 또는 미용적 측면에서 착색이 착용자의 시력에 나쁜 영향을 주지 않도록 하기 위해 어떤 착색렌즈를 사용해야 하는지에 대해 지속적으로 질문을 받는다. 일반적으로 선글라스 렌즈에 대한 정상적인 투과율은 15%에서 30% 사이이다. 30% 이상을 투과하는 선글라스 렌즈는 대낮 햇빛에서 대체적으로 착용자에게 도움을 줄 수 없으며, 15% 이하를 투과하는 선글라스 렌즈는 후면에서 반사된 빛으로 인해 시각장애를 일으킬 수 있다¹.

현재 선글라스 렌즈의 착색은 일반적으로 염료를 이용하는 염색 착색법을 사용하고 있다. 플라스틱 렌즈를 80~90°C 정도의 염색액속에서 일정시간 침지시키면 렌즈의 분자 간격이 넓어지게 되며, 이로 인해 염색제의 분자가 쉽게 침투하게 된다. 이 후 염색액의 온도를 내리면 분자 간의 간격이 좁혀져서 침투된 분자가 갇히게 되어 착색렌

즈를 제작할 수 있다. 착색유리 렌즈에 대해서는 비정질 규소(SiO₂)로 구성되는 투명한 유리에 Fe, Co, Ni, Cr, 또는 Cu 등 3d 전이원소를 첨가시키게 되면 유리는 색깔(color)를 띄게 되며, 이것을 우리는 일반적으로 이온에 의한 착색유리라고 부르는 되는 것이다². 또한 코팅을 이용하여 원하는 렌즈의 색상을 낼 수도 있다. 안경렌즈에 AR 코팅할 때와 마찬가지로 전자빔을 증착하고자 하는 물질에 조사하여 증발시켜 코팅하는 방법으로 이를 전자빔 증발법이라 하며, TiO₂/SiO₂ 또는 ZrO₂/SiO₂ 등의 물질을 교번으로 렌즈위에 5층 또는 6층 정도 코팅하여 원하는 색상의 mirror 코팅 또는 color 코팅을 하게 된다.

최근에 (주)Satis Vacuum사와 (주)BOC Edwards사에서 소형 magnetron sputtering system을 이용한 SATIS SP-200과 PlasmaCoat 모델을 출시하여, 안경렌즈 코팅 막의 조밀도를 증가시켜 양질의 안경렌즈 코팅 막을 만들어 안경렌즈의 고급화를 이룰 뿐만 아니라 작은 batch를 이용하여 다품종 소량의 안경렌즈를 생산할 수 있게 하고 있다. 인도와 중동 일부국가의 중소형 안경광학회사와 초대형안경원에서는 이 제품을 이용하여 소비자의 취향에 맞게 현장

교신저자 연락처: 박문찬, 480-701 경기도 의정부시 호원동 117번지 신흥대학
TEL: 031-870-3523, FAX: 031-870-3529, E-mail: mcpark@mail.shc.ac.kr

*본 연구는 2007년도 경기도 중기청 산학연 협소사업 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

에서 바로 코팅하여 소비자에게 제공하고 있다. 코팅 시간이 약 15분 정도로 짧은 시간이기 때문에 빠른 시간에 고객을 만족시킬 수 있는 고품질 안경렌즈의 제조가 가능한 것이다^{3,4}.

본 연구에서는 앞으로의 Rx 주문형 안경렌즈코팅시장에 대한 대비 및 안경렌즈 연구용 장비 필요성에 의거하여 코팅 막과 모재사이의 부착력과 내마모성이 뛰어난 magnetron sputtering system 장비를 제작하였으며, 이 장비를 이용하여 CR-39 안경 렌즈와 glass위에 Ti를 증착하여 구조적 광학적 특성을 연구하였다.

먼저 Ti 코팅 막이 증착된 안경 렌즈가 선글라스용 렌즈로 사용할 수 있는지를 조사하기 위하여 안경렌즈위에 두께에 따라 Ti를 가시광선 파장보다 얇게 증착하였으며 Perkin Elmer사의 spectrophotometer(Lambda 19)를 이용하여 증착된 시료의 투과율과 반사율을 측정하였다. 또한 Ti 박막의 광학상수의 측정을 위해 J. A. Woollam사의 variable angle spectroscopic ellipsometry (VASE)를 이용하여 파장에 따른 굴절률과 소멸계수를 구했다.

1. 마그네트론 스퍼터링(magnetron sputtering)장치^{5,6}

스퍼터링(sputtering)현상은 1852년 처음으로 문헌에 보고되었고, 그 후 과학적, 상업적 관심으로 다양한 흥미를 끌어들였다. 현재 스퍼터링 공정은 박막의 높은 부착력, 열저항법이나 전자빔 증착법을 이용한 박막제작 방법에 비해 박막의 조성을 쉽게 제어할 수 있다는 장점 등으로 인해 여러 가지 박막의 형성에 광범위하게 사용되어지고 있다.

스퍼터링 공정은 강력한 투사입자들의 충격에 의한 고체 target으로부터 입자의 방출로서 정의될 수 있으며, 보통 스퍼터링에는 양이온이 많이 사용된다. 양이온이 사용되는 이유는 전기장(electric field)을 인가해 줌으로써 가속하기가 쉽고 또한 target에 충돌하기 직전 target에서 방출되는 Auger전자에 의해서 중성화되어 중성원자로 target에 충돌하기 때문이다. 지속적인 양이온의 생성을 위해 스퍼터링 증착공정 챔버(chamber) 내부는 플라즈마 상태를 유지하여야 한다.

DC 스퍼터링은 음극과 양극사이에 Ar 기체를 넣고 DC 전압을 걸어주면 음극에서 튀어나온 전자가 전기장에 의해 가속된다. 음극은 박막의 재료이고 투사이온의 표적이 되는 target이다. 이곳에는 양이온들이 포격을 하기 때문에 열이 발생하므로 음극인 target 내에 외부로부터 냉각수를 유입시켜 온도의 상승을 방지시킨다. 즉 진공관내에서 불꽃 방전(glow discharge)을 일으키는 2극 냉음극 방전관 구조이다. 이러한 구조에 마그네트론을 장착하여 플라즈마 효율을 상승시킨 스퍼터링 방법이 DC magnetron

sputtering법이다. 마그네트론 스퍼터링 장치는 DC 스퍼터링 장치와 비슷하지만 음극(cathode)에 영구자석이 장착되어 target 표면과 평행한 방향으로 자장을 인가해준다. DC 스퍼터링 장치에서 target에 이온이 충돌해서 발생하는 2차 전자에 의해 glow discharge가 유지된다. 이러한 2차 전자들은 cathode에 수직인 방향의 경로를 통해서 anode로 접근한다. 마그네트론 스퍼터링에서는 자기장을 원형음극의 중심과 가장자리에 걸어주며, 자기장이 음극 면에 평행하도록 영구 자석의 극과 크기를 음극 밑에 배치한다. 따라서 전자의 운동은 Lorentz의 힘에 의하여 사이클로이드 운동을 한다. 이는 target 근처에서 전자를 벗어나지 못하게 하고 지속적으로 target 주변을 선회하도록 하기 때문에 플라즈마가 target 표면의 매우 가까운 곳에 유지되어 근처 지역에서 플라즈마 밀도가 높아지게 되므로 이온화율이 증가한다. 이온이 많이 생겨 discharge 전류가 증가하고 스퍼터링 속도가 향상한다. 따라서 기판에 대한 전자의 충돌이 줄어들고, 결국 증착속도가 향상되며 스퍼터 기능 압력도 낮출 수 있다. 박막의 증착속도는 약 50배 정도까지 향상될 수 있으며, 증착 압력도 1 mTorr까지 낮출 수 있다. 전형적인 자장의 세기는 200~500 G이다.

실험방법

Rotary pump와 turbo pump를 이용하여 base pressure를 9×10^{-5} torr로 하고, Ar 가스를 50 sccm로 주입한 후 working pressure가 2.2×10^{-3} torr가 되도록 조절하였으며, 이때 2인치 Ti target을 사용하였다. Pulsed DC power supply의 전압은 300 V이며, 전류는 1.0 A로 고정시켰으며, duty는 45, frequency는 82인 상태에서 플라즈마가 안정적으로 발생하였다. 곡면으로 되어있는 안경렌즈위에 하드 코팅막을 입혀서 광원의 반사를 측정하는 것은 불가능하기 때문에 제작된 박막의 반사율 측정을 위해서 CR-39 안경렌즈와 굴절률이 비슷한 slide glass($n=1.50$)를 이용하여 동시에 증착하였다. 이때 코팅박막의 균일성을 유지하기 위하여 시료를 33 rpm으로 회전시켜 증착하였다. 제작한 Ti 박막의 두께는 각각 약 60 nm, 120 nm, 140 nm 이었다. Spectrophotometer를 이용한 투과율 측정시에 CR-39 안경렌즈위에 Ti 박막이 코팅된 시료를 함께 이용하였다.

증착된 시료의 박막 두께를 측정하기 위하여 FE-SEM(field emission scanning electron microscope, Hitachi, S-4200)을 이용하였다. 시료를 절단한 후 단면을 백금으로 얇게 코팅한 후 박막의 두께를 측정하였다. 또한 코팅 막의 결정 상태를 조사하기 위해 XRD(X-ray diffractometer)를 사용하였으며, 시료의 코팅 막의 파장에 따른 굴절률을 측정하기 위해 가변입사각 분광 타원계(variable angle

spectroscopic ellipsometry; VASE, J. A. Woollam Co., Inc.)를 이용하였다. 입사각을 65°, 70°, 75°로 하고, 파장영역은 300 nm에서 1000 nm의 영역에서 Ψ 와 Δ 를 측정하고, Wvase32 곡선맞춤 프로그램에서 Tauc-Lorentz 분산식⁷을 적용하여 하드코팅막의 굴절률을 계산하였다.

결과 및 고찰

1. IV-1. Ti 코팅막의 SEM 사진

그림 1은 시료 단면에 대한 SEM 사진으로 배율은 $\times 100000$ 이다. 경계면의 아랫부분은 slide glass의 단면이며, 윗부분은 Ti 박막이며, 이로부터 Ti 박막의 두께는 약 120 nm임을 알 수 있었다. 그 밖의 다른 시료의 두께에 대해서도 SEM을 이용하였으며, SEM 영상의 판독결과로부터 Ti 박막의 두께가 각각 약 60 nm, 140 nm임을 알 수 있었다.

2. Ti 코팅막의 투과율과 반사율

그림 2(a)는 spectrophotometer를 이용하여 Ti 박막 두께가 각각 60 nm, 120 nm, 140 nm인 시료에 대한 투과율을 측정한 그래프이다. 세 곡선 모두 투과율은 가시광선 파장 영역인 400 nm에서 750 nm까지 변화가 크지 않았으나 400 nm 근처에서 약간 올라가는 경향을 가지고 있다. 350 nm 이하의 영역에서는 또한 투과율이 급격히 떨어지는데 이는 기관의 흡수에 의해 투과율이 급격히 떨어지는 것이다. 측정된 투과율은 He d선을 기준으로 할 때, Ti 박막의 두께가 60 nm에서 33%, 120 nm에서 25%, 140 nm에서 20%로 Ti 박막두께가 증가함에 따라 투과율이 감소함을 알 수 있다. 일반적으로 선글라스용 렌즈의 투과율은 15~30%가 적당하므로, 선글라스용 Ti 박막 두께는 60 nm보다 약간 두꺼운 두께에서 140 nm보다 약간 두꺼운 두께까지 적당할 것으로 판단된다. 반면 Ti 박막의 반사율은 He d선을 기준으로 할 때 Ti 박막의 두께가 60 nm에서

20%, 120 nm에서 27%, 140 nm에서 32%로 두께가 두꺼워 질수록 커지는 것을 그림 2(b)로부터 알 수 있다. 20~32%의 적당한 반사율을 보임에 따라 반미러 선글라스로도 활용이 가능한 것을 알 수 있다.

투과율 스펙트럼을 이용하여 CIE 1931년 좌표계를 계산해 보았다. 광원 C에 대한 CIE 좌표계는 (0.310, 0.316)이며, 이때 60 nm 시료의 CIE 좌표값은 (0.305, 0.312)로 거의 white 광원의 좌표값과 유사하였다. 또한 120 nm와 140 nm의 두 시료에 대한 1931년 CIE 좌표값은 각각 (0.310, 0.316), (0.304, 0.309)이었다. 세 가지 시료 모두 white 광원의 CIE 좌표값과 유사한 것을 알 수 있다. 이와 같은 광학적 특성으로 인해 Ti 박막이 증착된 선글라스 렌즈를 착용하여 사물을 볼 때 투과율만 감소할 뿐 사물의

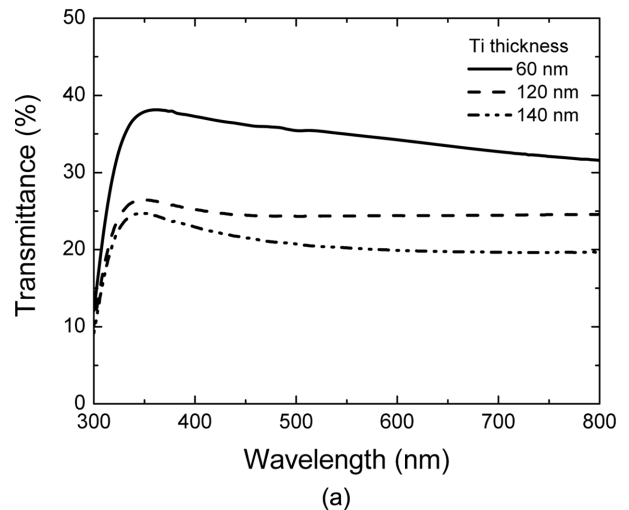


Fig. 2(a). Transmittances of Ti thin films using spectrophotometer (a) red-140 nm (b) black-120 nm (c) green-60 nm.

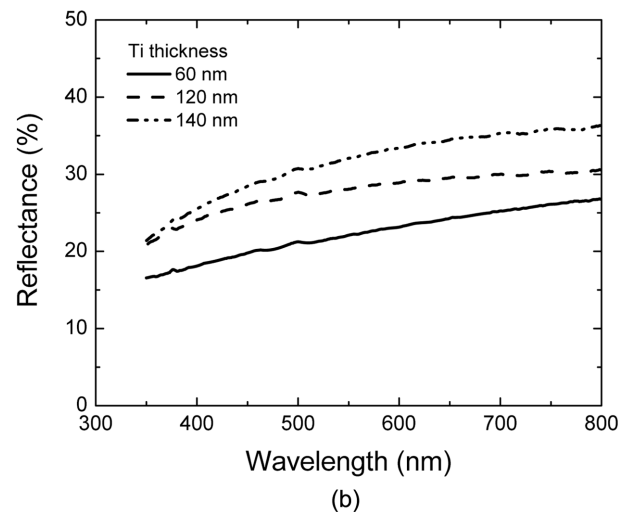


Fig. 2(b). Reflectances of Ti thin films using spectrophotometer (a) red-140 nm (b) black-120 nm (c) green-60 nm.

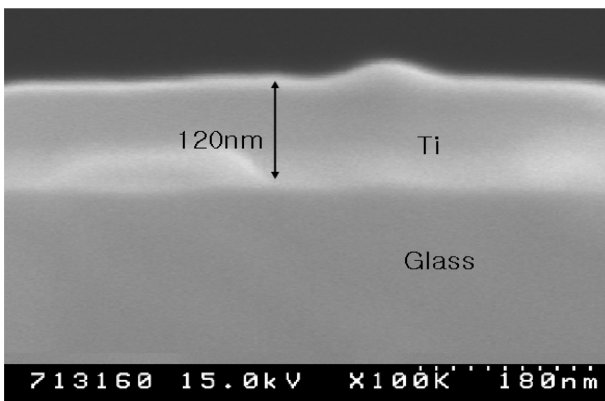


Fig. 1. SEM photograph of Ti thin film with 120 nm.

색상에 대한 왜곡 없이 자연색상 그대로 볼 수 있게 되는 장점이 있다. 또한 선글라스로 사용할 경우 선글라스에 반사된 색상에 대해 조사하기 위하여 반사에 대한 1931년 CIE 좌표값을 계산해 보았다. 60 nm, 120 nm, 140 nm 세 가지 시료에 대한 반사된 스펙트럼의 CIE 좌표값은 각각 (0.325, 0.329), (0.319, 0.325), (0.324, 0.330)이였으며, 이때 광원은 광원 C였다. 참고로 광원 C를 이용할 때 Ag의 CIE 좌표값은 (0.311, 0.318)임을 상기해 볼 때 Ag쪽에 가까운 반사 색상을 소비자들은 볼 수 있을 것이다. 이와 같은 결과로부터 Ti 박막을 선글라스용 박막으로 사용하는 데 적합하다는 것을 알 수 있었다.

3. Ti 박막의 광학상수

그림 3(a)은 VASE를 이용하여 측정한 세 개의 시료에 대한 굴절률과 Essential Macleod thinfilm design software에 있는 Ti 박막에 대한 굴절률을 동시에 비교한 그래프이다. VASE를 이용하여 Ψ 와 Δ 를 측정할 때 반사계수의 비로 Ψ 와 Δ 가 정의되기 때문에 반사계수의 차이가 가장 크게 발생하는 brewster angle 근처에서 측정하게 된다. 따라서 Ti 박막을 측정할 때 VASE의 입사각은 각각 65°, 70°, 75°로 변화시켰으며, 측정된 Ψ 와 Δ 를 맞추할 때 J. A. Woollam사에서 제공하는 Wvase32 program을 이용하였다. 이때 Wvase32 program에서 제공하는 Tauc-Lorentz 분산식을 적용하여 전산시능을 실시하였다. 정확한 굴절률을 측정하기 위하여 측정값과 전산시능한 결과가 거의 일치하도록 하였다. 곡선맞춤 결과로부터 세 개의 Ti 박막에 대한 파장에 따른 굴절률을 결정할 수 있었고, 파장에 따른 분산 특성을 고려하기 위하여 Essential Macleod program에 있는 Ti 박막의 굴절률(Macleod index)도 함께 고려하였다. 세 개의 파장에 따른 굴절률의 분산 결과가 대체적으로 Macleod index와 경향이 비슷하나 He d선을 기준으로 Ti 박막의 굴절률이 0.2에서 0.5정도 낮아지는 것은 Ti 박막의 두께가 60 nm에서 140 nm로 빛의 파장에 비해 얇을 뿐만 아니라 Ti 박막의 높은 산소 친화력이 주요 원인으로 판단된다. 즉 챔버에 잔존하는 산소와 Ti가 스퍼터되면서 일부 결합하면서 완벽하게 Ti 박막이 조성되지 않은 것으로 사료된다. 만약 Ti 두께를 가시광선 파장의 두께보다 두껍게 증착한다면 더욱 더 Ti에 대한 macleod index와 비슷하게 나오리라 사료된다.

그림 3(b)는 세 가지 시료에 대한 Ti 박막의 소멸계수를 나타낸 것이다. Essential Macleod program에 있는 Ti 박막의 소멸계수 곡선과 경향이 비슷하나 역시 굴절률의 경향과 유사하게 He d선을 기준으로 할 때 작은 값이 나오는 것을 알 수 있다. Essential Macleod program에 있는 Ti 박막의 소멸계수가 He d선에서 3.42이지만 TiO₂ 박막으로

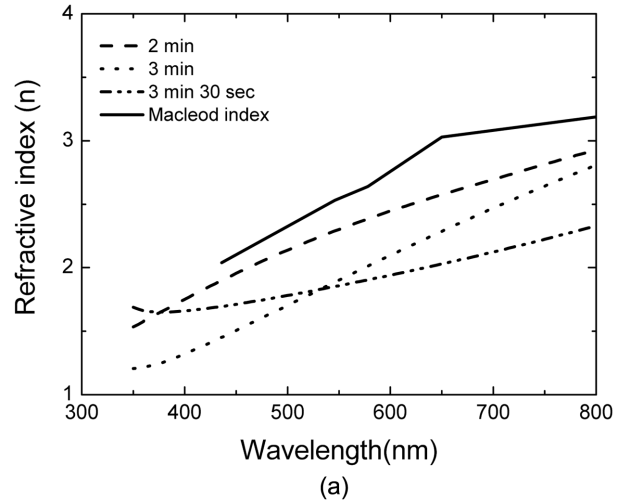


Fig. 3(a). The refractive indexes of Ti thin films using spectrophotometer and from Macleod program.

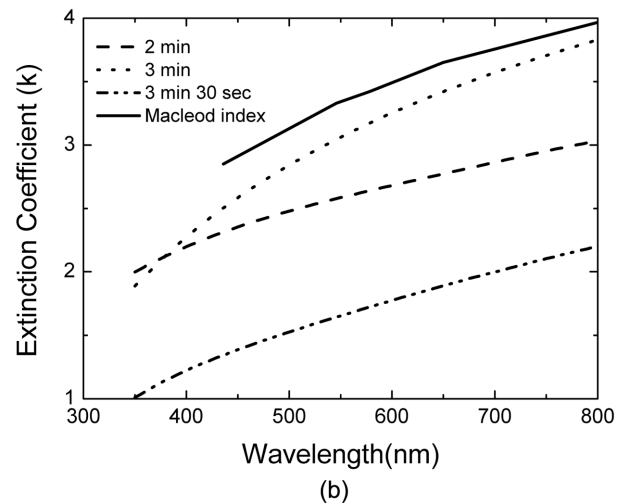


Fig. 3(b). The extinction coefficients of Ti thin films using spectrophotometer and from Macleod program.

가면 거의 0에 가까운 값을 보임을 상기할 때 제작된 시료의 소멸계수가 작은 값을 보여 상당부분 산화가 된 것으로 사료된다. 이는 XPS를 통해 확인해 볼 수 있으나 향후 연구를 통해 규명하고자 한다. 또한 두께에 따른 Ti 박막의 굴절률과 소멸계수곡선을 구하는 것은 Ti를 포함한 다층박막을 설계하는 데 있어서 가장 중요하기에 이에 관한 연구가 더욱 더 필요하다고 여겨진다.

결론

소형 magnetron sputtering 장치를 이용하여 slide glass와 CR-39 안경렌즈위에 Ti 박막을 증착하여 구조적 광학적 특성을 조사하였다. Ti 코팅 박막의 단면에 대한 SEM 사진으로부터 Ti 박막 코팅 막의 두께가 각각 60 nm, 120 nm, 140 nm임을 알 수 있었다. Spectrophotometer를 이용

하여 Ti 박막 두께가 60 nm, 120 nm, 140 nm인 시료에 대한 투과율은 가시광선 영역인 400 nm에서 750 nm까지 변화가 크지 않았으며 400 nm 근처에서 약간 올라가는 광학적 특성을 보였다. 소비자가 Ti가 증착된 선글라스를 착용하고 실제 사물을 볼 때 사물의 색상에 대한 왜곡 정도를 알아보기 위해 투과율 스펙트럼을 이용하여 CIE 1931년 좌표계를 계산해 보았다. 60 nm, 120 nm, 140 nm의 세 가지 시료에 대한 CIE 좌표값은 (0.305, 0.312), (0.310, 0.316), (0.304, 0.309)이었다. 광원 C에 대한 CIE 좌표계는 (0.310, 0.316)이기 때문에 계산된 좌표값이 거의 white 광원의 좌표값과 유사한 것을 알 수 있다. 따라서 Ti 박막을 증착한 선글라스용 렌즈는 He d선을 기준으로 할 때 140 nm에서 20%, 120 nm에서 25%, 60 nm에서 33%로 낮은 투과율을 보일뿐만 아니라 사물에 대한 색상은 자연 색상 그대로 볼 수 있다는 장점이 있기 때문에 선글라스용으로 적합한 것을 알 수 있다.

또한 VASE를 이용하여 측정된 굴절률을 Essential Macleod thin film design software에 있는 Ti 박막에 대한 굴절률과 비교하였으며, 대체적으로 Macleod index와 분산 경향이 비슷한 것을 알 수 있었다. He d선을 기준으로 Ti 박막의 굴절률이 0.2에서 0.5 정도 약간 낮은 결과를 측정하였다. Ti 박막의 소멸계수도 파장에 따른 소멸계수 곡

선의 경향은 비슷하나 He d선을 기준으로 할 때 약간 작은 값이 측정되었다. 이로 인해 챔버에 잔존하는 산소와 결합하여 Ti 박막의 조성비가 변화된 것으로 사료된다. 또한 두께에 따른 Ti 박막의 광학상수곡선을 구하는 것은 Ti를 포함한 다층박막을 설계하는 데 있어서 가장 중요하기에 조건에 따른 Ti 박막의 조성비에 대한 연구와 더불어 두께에 따른 Ti 박막의 광학상수에 대한 연구가 더욱 더 필요하다고 여겨진다.

참고문헌

1. 최혜정, 진가현, 박문찬, 차정원, 최경서, “안경 가공·조정학”, 초판, 대학서림, 서울, pp. 385-386(2004).
2. 강현식, “안경재료학”, 초판, 신광출판사, 서울, pp. 272-316(2001).
3. Satis Vaccum, “SATIS SP-200 model manuel”.
4. BOC Edwards, “PlasmaCoat model manuel”.
5. 김선규, “표면공학”, 초판, 두양사, 서울, pp. 237-293(2003).
6. 황보창권, “박막광학”, 초판, 다성출판사, 서울, pp. 229-250(2000).
7. Jellison Jr. G. E. and Modine F. A., “Parameterization of the optical functions of amorphous materials in the interband region”, Appl. Phys. Lett., 69:371-373(1996).

The Study of the Characteristic of Ti Thin Film Using Small Magnetron Sputtering Method for Sunglass Lens

Moonchan Park, Boo Young Jung*, Jong Geun Lee**, Kyung Bok Joo*** and Wha Ja Lee****

Department of Ophthalmic Opics, Shinheung College, *(Inc.)Intec,

**Department of Digital Industrial Electric, Bucheon College,

Department of Ophthalmic Opics, Chodang University, *Department of Nursing Science, Ewha University

(Received January 12, 2008; Revised manuscript received February 14, 2008)

Purpose: Ti thin films were deposited on slide glass and CR-39 lenses using small magnetron sputtering apparatus to of Ti thin films. **Methods:** The thickness of Ti thin films were measured by cross section SEM, the transmittance and reflectance of them were obtained using spectrophotometer, the refractive index and extinction of them were obtained from VASE data. **Results:** The transmittances of Ti thin films with 60 nm, 120 nm, 140 nm thickness were a little change within the visual region from 400 nm to 750 nm, but were increased a little amount at near 400 nm. The transmittance of 60 nm, 120 nm, 140 nm Ti thickness in d-line was 30%, 25%, 20%, respectively. Also, it was shown that the refractive indices and extinction coefficients of the Ti thin films obtained from VASE were similar to those of Ti thin film offered macleod program. **Conclusions:** Ti films on CR-39 with these transmittances were available for sunglass lens. It was indicated that the refractive indices and extinction coefficients of the Ti thin films were decreased with the thickness of Ti thin film, for the thickness of Ti thin films was due to very thin.

Key words: small sputtering apparatus, Ti coating, transmittance refractive index, extinction coefficient