〈연구논문〉 J. Korean Oph. Opt. Soc., Vol. 11, No. 2, pp. 115-119, April 2006

안경렌즈의 전자파 차폐 코팅에 관한 연구

김기홍, 박대진, 김인수
경운대학교 안경광학과
(2006년 1월 27일 받음, 2006년 3월 17일 수정본 받음)

전자파 차폐 기능을 가지고 있는 ITO 코팅층을 안경 유리 기판위에 마그네트론 스퍼터링 방법으로 제조하였다. 코팅된 ITO 층을 surface profiler, four-point probe, XRD, spectrophotometer 및 Auger electron spectroscopy를 사용하여 기판 온도가 코팅층의 특성 변화에 미치는 영향을 조사하였다. 기판의 온도가 높을수록 전자의 농도가 증가하였으며 가시영역에서 광투과율도 향상되었다.

주제어: 전자파 차폐, ITO 코팅, 마그네트론 스퍼터링, 안경렌즈

Ⅰ. 서 론

정보화 사회로의 급격한 다변화에 따른 컴퓨터, TV, DMB폰 등 디스플레이 기기를 사용하는 인구의 증대로 시기 이상자가 꾸준히 증가하고 있으며, 대한안경사협회가 조사한 '2005년도 안경 착용률 자료'에 따르면 안경이나 콘택트렌즈를 착용하는 비율은 44.7%, 초·중·고등학생의 경우 37.4%로 매년 안경장용인구가 증가하고 있다.[1] 따라서 소비자들의 안경에 대한 인식의 폭이 확대됨으로 인하여 자외선 차단, 항균기능 및 전자파 차폐와 같은 기능을 부여한 코팅 렌즈들이 출시되고 있으며, 이를 구매하는 비율 또한 증가하고 있다.[2]

유해 전자파는 흡수, 반사, 혹은 도전손실을 통해 차단할 수 있다. 따라서 안경렌즈에서의 전자파차폐 효과를 높이기 위하여서는 투명 전도막으로 표면저항 및 체적저항을 낮추면 되는데 이러한 수단으로 전도성 미립자를 이용하여 코팅물질을 제조한다. 투명전도성 물질을 형성시키는데 사용되는 전도성 미립자로는 ATO, ITO, AZO(antimony zinc oxide), RuO_2(ruthernium oxide), IrO2(iridium oxide)등의 금속산화물이나 금, 은, 팔라듐과 같은 금속나노입자가 사용된다.[3-4] 안경렌즈 등에 형성되는 코팅막은 광투과도가 높아 입사광의 반사율이 낮아야 전달되는 화상이 선명하고, 사용자가 느끼는 시각피로를 줄일 수 있다. 반사율을 낮추기 위해서는 두 층 이상의 다층막으로 구성된 반사방지막을 안경렌즈 표면에 형성시켜야 한다. 다층막 형성에 의하여 반사율이 낮아지는 이유는, 입사광이 다층막의 여러 경계면에서 반사되면서 반사광의 위상차가 발생하여 반사광 사이에 간섭소멸현상이 일어나기 때문이다.[5] 일반적으로 고굴절률을 가지는 코팅층 위에 저굴절률을 가지는 코팅층을 형성시키는 것이 바람직하다. 코팅층의 굴절률, 코팅두께, 빛의 파장은 "코팅층의 두께×코팅층의 굴절률=파장/4"의 관계에 따른다. 따라서 원하는 파장대에서 반사율을 낮추기 위해서는 형성되는 코팅층의 두께와 굴절률을 조절하여야 한다.[6] 반사방지막은 대전방지막과 함께 두층의 다층막을 형성하여 반사율을 저하시키는 역할을 할 뿐만 아니라 대전방지막을 보호하는 역할을 하기 때문에 높은 막강도와 내염수성 및 내화학성, 내오염성을 가지고 있어야 한다.

본 연구에서는 전자파차폐 코팅층으로 고굴절 물질인 ITO 층을 코팅 후 저굴절 물질인 SiO_2층을 코팅하여 다층막을 형성한 후 전자파차폐 효과 및 반사율 최소화에

주 저자 연락처: 김기홍. 경북 구미시 산동면 인덕리 55 경운대학교 안경광학과
TEL : 054-479-1335, E-mail : khkim@ikw.ac.kr

대하여 연구하고자 한다. 이러한 연구를 하기 위하여 코팅의 대량생산이 가능한 마그네트론 스파트링 방법으로 유해 전자파 차폐에 효과가 있는 ITO 층을 코팅하고, 두께측정, 면저항측정, 투과율 측정, X선 회절분석 및 코팅층의 성분분석 등을 통하여 ITO 박막의 특성을 조사 연구 하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

ITO 코팅층은 유리렌즈 위에 마그네트론 스퍼트링 방법으로 코팅하였다. 전자기장의 세기, 공정압력 및 기판과 타깃 사이의 거리는 고정하고, 코팅중의 기판온도를 변화시키면서 ITO 코팅층을 증착하였다. 코팅 전에 진공챔버 내부의 진공도는 1×10^{-5} Torr 이하로 유지하였다.

코팅된 ITO 층의 두께는 에칭용액을 이용하여 습식에칭 후에 수분을 제거한 다음 surface profiler로 측정하였다. 면저항은 four-point probe를 사용하여 측정하였다. 그리고 광투과율 측정은 UV-VIS 분광계를 사용하여 가시광선 영역에서 측정하였다. 코팅층의 결정성 분석은 X선 회절장치(Rigaku사)를 사용하였다. X선원은 Cu의 $K\alpha$ (1.5405 Å)를 사용하였다. 그리고 코팅층 내부에 존재하는 원소와 불순물 등에 대한 정보는 Auger Electron spectroscopy(Perkin-Elmer PHI 610)를 사용하였다. 분석시 진공도는 10^{-9} Torr 이하로 유지하였으며, 전자빔의 가속전압 및 전류는 5 kV, 0.5μ A로 조정하였다. 조성비의 경우는 깊이 측면(depth profile) 방법을 이용하여 성분분포를 조사한 후 Auger 신호의 강도를 비교하여 산출하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

전자파 차폐막으로 사용되는 ITO 코팅층의 두께에 따라서 면저항과 광투과율 등의 특성이 크게 차이가 난다. ITO박막은 금속성분을 함유한 전도성 박막으로서 두께가 커지면 금속성분이 많아지게 되어, 면저항은 감소하여 전도성이 더 좋아지며, 두께가 얇아지면 상대적으로 면저항이 증가한다.

그림 1과 그림 2는 각각 마그네트론 스퍼터링 방법으로 제작한 ITO 코팅층의 두께에 따른 면저항의 특성과 광투과율의 변화를 나타낸 것이다. 박막의 두께가 증가할수록 면저항과 광투과율은 감소하였다.

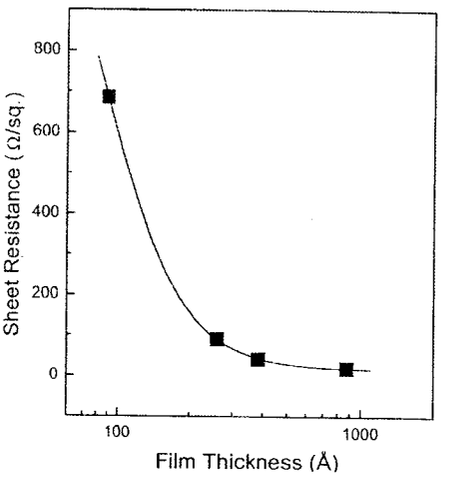

그림 1. 증착된 ITO 코팅층의 두께와 면저항과의 관계

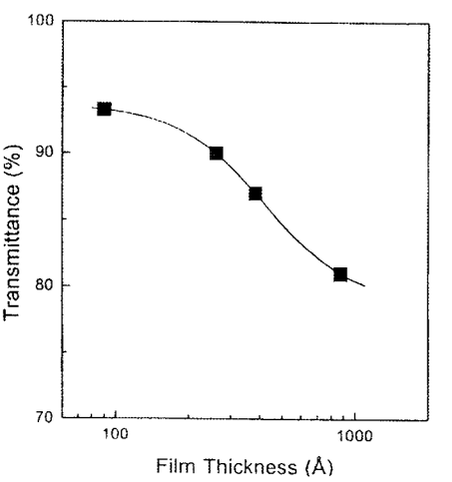

그림 2. ITO 코팅층 두께에 따른 광투과율 변화

그림 3은 ITO 코팅층의 두께에 따른 X선 회절 분석에 의한 코팅층의 결정성을 나타낸 것이다. ITO 코팅층은 제작 방법에 따라서 결정성의 차이가 있으며, 그 결정성에 의해서 코팅층의 표면거칠기 차이가 발생되고, 이것은 ITO 코팅층 평가에서 면저항에 크게 영향을 미친다. 두께가 얇은 경우에 결정성 피크가 없는 것은 X선 회절 분석기가 가지는 특성 때문이며, 두께가 380 Å 이상의 경우에는 X선 회절 분석에 의한 결정성 피크를 뚜렷하게 관측할 수 있다. 본 연구에서는 마그네트론 스퍼터링 방법으로 제작한 ITO 코팅층은 (400)방향의 결정성이 아주 우세하며, 이것은 마그네트론 스퍼트링 방법으로 제작한 ITO 코팅층의 전형적인 결정성 방향으로 잘 성장되었음을 알 수가 있었다.

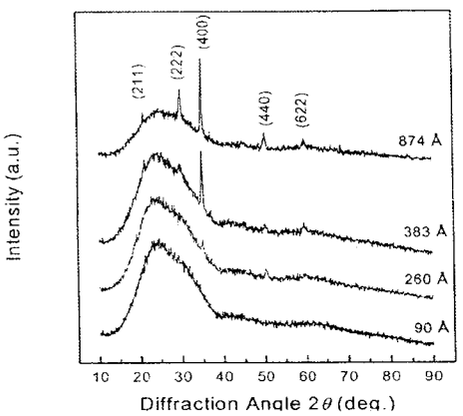

그림 3. ITO 코팅층의 두께에 따른 결정성

그림 4는 코팅층의 증착 과정에서 기판온도에 따른 코팅층의 면저항 변화를 각각 나타낸 것이다. 기판온도가 증가할수록 ITO 코팅층의 면저항이 감소하는 것은 기판의 온도가 낮으면 확산속도가 늦어 비정질 내지 입자가 상당히 미세한 결정입자로 존재하던 부분이 기판의 온도를 높게 하면 원자들의 확산이 용이해져 결정화와 더불어 결정입자의 성장이 이루어졌기 때문이다.[7] 그리고 기판온도가 증가할수록, 코팅층의 두께도 조금 감소하였다. 이 이유도 역시 기판온도의 증가함에 따라 미세조직이 결정화가 진행되는 방향으로 변화하였기 때문이다.[8]

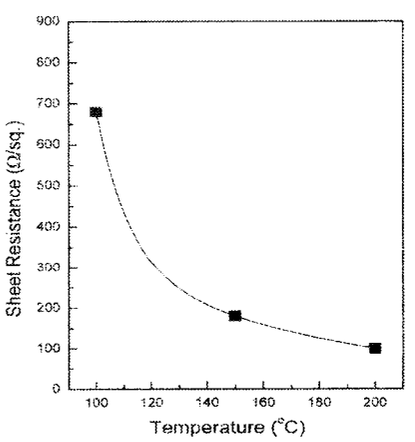

그림 4. 기판온도에 따른 ITO 두께와 면저항의 관계

그림 5는 기판온도에 따른 광투과율의 변화를 나타낸 것이다. 가시역역에서의 광투과도는 기판의 온도에 상관없이 모든 시료에서 85% 이상 높게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 그리고 기판온도가 높아질수록 가시영역에서 광투과도가 높아진다는 것과 자외선 영역에서 optical edge가 짧은 파장쪽으로 이동하고 있음을 볼수 있는 것이다. 이렇게 기판의 온도가 높아질수록 가시영역에서 광투과도가 향상되는 이유는 ITO 코팅층의 격자결함이 줄어들고 결정화가 진행되어 grain size가 커짐으로서 빛의 산란이 감소되기 때문이라고 생각된다.[9] 그리고 optical edge가 짧은 파장쪽으로 이동한 이유는 기판의 온도가 높아질수록 전자의 농도가 높아져서 일어난 현상으로 생각되며, Bustein과 Moss의 이론[10]과 잘 일치하는 현상이다.

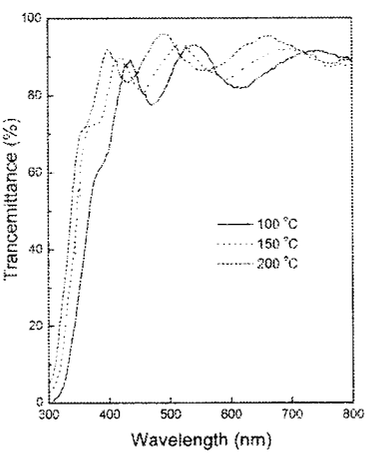

그림 5. 기판 온도에 따른 광투과율의 변화

그림 4와 그림 5에서 기판의 온도가 상승할수록 면저항이 감소하게 되고 투과율이 증가하여 ITO의 특성으로는 바람직하지만, 최근 고분자를 이용한 안경렌즈의 증착온도가 저온화 되어야 할 필요가 있다[11]. 이러한 점을 고려하여 150oC 이하에서 마그네트론 스퍼터링 방법으로 박막을 형성하여 그 특성을 연구하였다.

그림 6은 Auger electron spectroscopy에 의한 기판온도와 ITO 코팅층의 두께에 따른 깊이 방향의 성분분석을 분석하였다. 깊이방향 성분분석은 기판온도와 ITO 코팅층의 두께에 따라서 차이가 없었으며, 코팅층 내부에서는 In, Sn 및 O의 성분만이 관측되었는데, O의 성분이 가장 많고 다음으로 In, Sn의 성분 순으로 나타났다 이것은 ITO 박막 내부가 다른 오염원이 거의 없고, 세 가지 성분만으로 구성이 되어 있으며, 그 성분비도 일정함을 보여주었다.

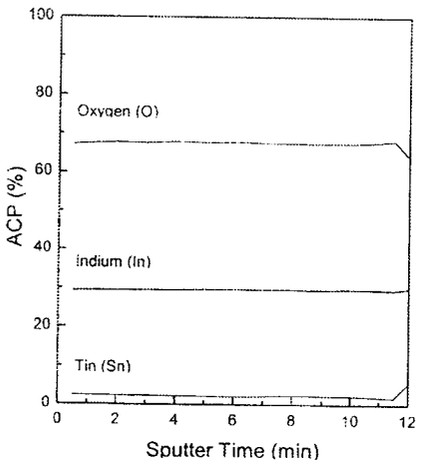

그림 6. AES에 의한 ITO 코팅층의 깊이 방향 조성 분석

Ⅳ. 결 론

전자파 차폐렌즈에 사용되는 ITO 투명 코팅층을 마그네트론 스퍼터링 방법으로 제조 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. ITO 코팅 두께가 증가할수록 면저항과 광투과도가 감소하였다.
2. 기판의 온도가 증가할수록 면저항은 줄어들고, 광투과도가 증가하였다. 이는 기판의 온도가 높아질수록 미세조직의 결정화가 증대되어 전자농도가 높아졌기 때문이다.

감사의 글

이 논문은 교육인적자원부 지방대학 혁신역량강화 사업인 안경전문인력양성사업단(04-아-C-25)의 지원에 의해 연구되었음.

참고문헌

[1] 대한안경사협회, 월간안경계 9월호(246호): 97-116 (2005).

[2] Huang J. L., Yau B. S., Chen C. Y., Lo W. T., and Lii D. F., "The electromagnetic shieding effectiveness of indium tin oxide films", Ceramics International, 27:363-365(2001).

[3] Chopra K.L., Major S. and Pandya K.,"Transparent conductors—A status review", Thin Solid Films, 102(1):1-46(1983).

[4] Zhang L.M., Gong Y.S., Wang C.B., Shen Q. and Xia M.X., "Substrate temperature dependent morphology and resistivity of pulsed laser deposited iridium oxide thin films",Thin Solid Films, 496(2):371-375(2006).

[5] Kl ppel A., Meyer B. and Trube J., "Influence of substrate temperature and sputtering atmosphere on electrical and optical properties of double silver layer systems", Thin Solid Films, 392(2): 311-314(2001).

[6] Mouchart J.,"Thin film optical coatings. 6: Design method for two given wavelength anti-reflection" Appl. Optics 17(9):1458-1465 (1978).

[7] Shin Y.W., Kim S.W., and Yoon K.H., "The characterization of electromagnetic shielding of SiO_2/ITO nano films with transition metal ions", J. Korean Ceramic Society 38(1):15-21(2001).

[8] Ohhata Y., Shinoki F., and Yoshida S., "Optical properties of r.f. reactive sputtered tin-doped In_2O_3 films" Thin Solid Films, Volume 59(2):255-261(1979).

[9] S. Yamanaka and T. Oohashi, "Preparation of SnO_2 Films by D. C. Glow Discharge Sputtering" Jpn. J. Appl. Phys. 8:1058(1969).

[10] E. Bustein, "Anomalous Optical Absorption Limit in InSb", Phys. Rev. 93: 632-637(1954).

[11] Sreenivas K. and Mansingh A., "The growth and structure of RF sputtered indium tin oxide thin films" Applications of Surface Science, 22-23(2):670-680(1985).

A Study on Electromagnetic Shield Coating of Ocular Lens

Ki-Hong Kim, Dae-Jin Park, and In-Su Kim

Dept. of Visual Optics Kyungwoon University

(Received January 27, 2006 : Revised manuscript received March 17, 2006)

Electromagnetic shielding, transparent ITO coating layers have deposited on ocular lens substrate by magnetron sputtering. We investigated the effect induced by the substrate temperature on coating layer. The characteristics of the coating layers were analyzed using surface profiler, four-point probe, XRD, spectrophotometer and Auger Electron spectroscopy. As substrate temperature became higher, carrier concentration was increased and transmittance in the visible region was increased, too.

Key words: Electromagnetic shield, Indium-Tin-Oxide(ITO), Magnetron sputtering Ocular lens