Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 16, No. 6 pp. 4121-4124, 2015

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.6.4121
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

근적외선 반사 박막 특성 연구

정연길[1], 박현식[1*]
[1]한경대학교 전기전자제어공학과, 미래융합기술대학원, IT융합기술연구소

Study on characteristics of thin films for reflection of near infrared light

Youn-Gil Chung[1], Hyun-Sik Park[1*]
[1]Dept. of Electrical, Electronic and Control Engineering, Graduate School of Future Convergence Technology, Institute for information technology convergence, Hankyong National University

요 약 에너지 절감 유리창에서는 근적외선 차단 기능이 요구되고 있다. 본 연구에서는 근적외선 반사를 위한 광학 박막의 설계, 제작 및 광학적 특성이 연구 되었다. 광학 박막은 저굴절률막과 고굴절률막의 적층 박막 구조로 설계하였다. 설계구조에 따라 RF 스퍼터링 방법을 이용한 SiO_2 와 TiO_2 박막의 증착 실험이 수행되었고 파워에 따른 증착 조건 파라미터에 따라서 제작된 스퍼터링 박막의 특성이 분광타원기, 원자현미경, 분광기로 분석되었다. 적층박막 구조의 설계는 SiO_2와 TiO_2의 고굴절률 박막/저굴절률 박막/고굴절률 박막의 적층 구조로서 근적외선 차단 다층막이 설계되었고 시뮬레이션 되었다. 시뮬레이션 결과 파장대역 930nm에서 1682nm의 범위에서 반사율30%이상이 관찰되었다. 시뮬레이션 결과를 토대로 제작된 삼층 구조의 박막은 파장 대역이 930nm에서 1525nm범위 대역에서 반값 전폭의 반사율 33%이상을 구현할 수 있었다.

Abstract Near infrared blocking function in energy saving window glass is required. The design, deposition and characteristics of optical thin films for reflection of near-infrared light were studied. The optical thin film is designed as laminated film structure with low refractive index film and high index film. Deposition experiments of SiO_2 and TiO_2 thin films with designed structure using the RF sputtering method were carried out. The characteristics of the thin film with deposition conditions were analyzed. High-refractive-index thin film of TiO_2/low refractive-index thin film of SiO_2 and high-refractive-index thin film of TiO_2 structure for reflection of near-infrared light was designed to be simulated. Results of simulation showed reflectance of 30% or more in the range from 930nm to 1682nm. Triple layer thin films fabricated with simulated results showed wavelength bands from 930nm to 1525nm for the reflectance of 33% or more.

Key Words : Near infrared, Reflection, Thin film

1. 서론

태양광 스펙트럼 중 근적외선(NIR;near infrared) 파장 대역의 빛은 건축물 등의 창문을 통과하여 여름철 냉방 부하의 증가를 가져오고 있어 가시광(visible light) 영역대역의 파장은 투과하고 에너지 절감 목적의 근적외선 차단 기능이 요구되고 있다[1,2,3,4,5]. 이를 위하여 전기변색(electrochromic), 액정(liquid crystals) 전기영동(electrophoretic) 등의 다양한 방법을 이용한 기술들이 적용된 스마트윈도우 시스템 구현이 시도되고 있다[6]. 특히 이들 시스템 가운데 전기 에너지 공급이 필요한 능동형 보다는 별도의 전기 에너지 공급이 없이 특정 대역

본 연구는 한경대학교 2014년도 학술연구조성비의 지원에 의한 것임
(This work was supported by a research grant from Hankyong National University in the year of 2014.)
*Corresponding Author : Hyun-Sik Park(Hankyong National Univ.)
Tel: +82-31-670-5193 email: hspark@hknu.ac.kr
Received January 27, 2015 Revised (1st May 12, 2015, 2nd May 28, 2015, 3rd June 2, 2015)
Accepted June 11, 2015 Published June 30, 2015

의 빛을 차단하는 수동형 방식이 에너지 절감 목적으로 주목받고 있다. 수동형 방식의 구현을 위해서는 무반사 코팅(anti-reflection coating) 및 광학 필터(optical filter)에 주로 사용되는 광학 박막의 기술에 의한 근적외선 반사 기술이 유력시 되고 있다. 특정 파장 대역을 선택적 투과 및 반사를 위해서는 굴절률(refractive index)차이가 필요한 박막들이 교차하는 구조의 설계가 필요하다. 최근까지 실리콘 산화막(SiO_2;silicon dioxide)과 티탄산화막(TiO_2;titanium dioxide)은 화학적 안정성 및 상호간의 높은 굴절률 차이의 성능으로 광학 필터(optical filter)와 무반사 코팅(antireflection)분야에 널리 이용되고 있다[7,8]. 또한 SiO_2와 TiO_2박막은 스퍼터링(sputtering) 방법으로 널리 제작되고 있다[9].

따라서 본 연구에서는 근적외선 차단하기 위하여 광학 박막으로 저굴절률(L)의 SiO_2 박막과 고굴절률(H)의 TiO_2 박막으로 구성된 다층 박막구조의 반사를 위한 박막 특성 연구를 수행하였다. 다층박막의 구조는 적층되는 박막 수를 최소화한 고굴절률(H)/저굴절률(L)/고굴절률(H)의 삼층(triple layer) 구조로 설계하였다. 이를 위하여 스퍼터링 공정에서 SiO_2 박막과 TiO_2 박막 각각의 두께 및 굴절률 제어를 위한 스퍼터링 공정 조건, 다층 광학 박막 설계, 시뮬레이션, 그리고 시뮬레이션 결과를 토대로 다층 박막 제작 및 광 특성 평가를 수행하였다.

2. 본론

2.1 박막 제작 및 반사 설계

2.1.1 박막 제작

다층 박막 제작을 위하여 SiO_2 와 TiO_2 박막을 스퍼터링(sputtering) 공정을 이용하여 표면 세척된 유리기판 위에 아르곤가스 기반에 RF 스퍼터링 공정에 의한 박막 증착이 수행되었다. 스퍼터링 공정 조건에 따른 박막의 증착 특성은 Ellipso Technology 사의 분광 타원기(ellipsometer)를 이용하여 분석하였으며, AFM(atomic force microscope)으로 RMS(root mean square)를 관찰하였다. 또한 증착된 박막의 광학적 특성은 Perkin Elmer사의 분광기(spectrophotometer)로 측정하였다.

Fig. 1은 RF 파워 100, 200, 300, 400W에 따른 SiO_2 성장 속도 측정 결과로서 200W에서는 0.01nm/sec로 측정되었으며 파워 증가에 따라 증착 속도가 증가경향을 나타냈고 400W 이상에서는 증착 속도가 0.026nm/sec로 관찰되었다. 증착 된 막의 200W 파워에서 측정한 결과 가시광 550nm 파장에서의 굴절률 값이 1.46이었으며 굴절률은 측정 파장에 따라 감소하는 경향을 나타내었고 측정된 굴절률 값은 보고[12]된 값과 유사하였다.

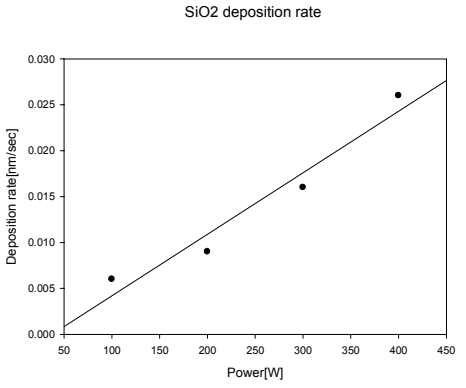

Fig. 1. Deposition rate of SiO_2 thin film with power

Fig. 2는 RF 파워 100, 200, 300, 400W에 따른 TiO_2 박막의 성장 속도 측정결과로서 200W에서는 0.107nm/sec에서 파워 증가에 따라 증착 속도가 증가하는 경향을 나타냈고 400W에서는 0.229nm/sec로 관찰되었고 TiO_2 굴절률도 측정 파장에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

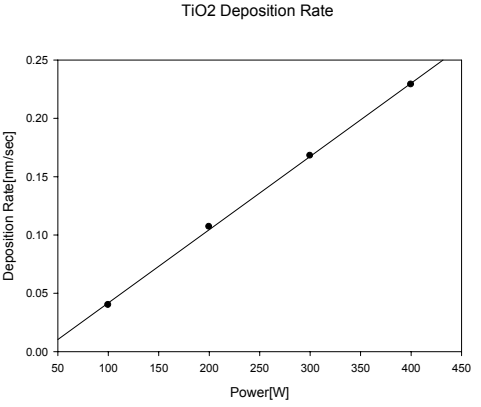

Fig. 2. Deposition rate of TiO_2 thin film with power

Fig. 3은 파워에 따른 증착 박막의 RMS를 측정한 결과로서 100에서 300W 범위에서는 0.335에서 0.337 nm 수준이었으나 400W 에서는 0.665nm로 크게 증가하여 거친 표면 상태로 파워가 높은 상태에서는 성장함을 확인할 수 있었다. 이에 본 연구에서는 스퍼터링 증착 조건을 400W 이하로 설정하고 Fig.1과 Fig.2의 성장 속도를 근거로 원하는 두께의 다층 박막을 제작하였다.

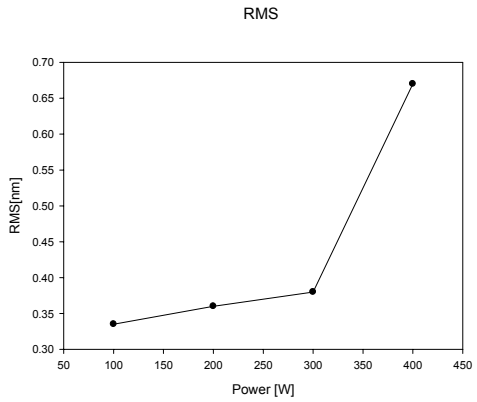

Fig. 3. RMS of thin film with power

2.1.2 반사 설계

근적외선 차단을 위한 다층 광학 박막의 반사 설계는 550~2400nm 파장 대역에서 Macleod 프로그램을 사용하여 설계 하였다[10,11]. 굴절률n인 기판 위에 굴절률 n_1,n_2,n_3의 광학 박막을 형성하고 각 박막에 특성행렬(characteristic matrix)을 적용하였으며 고굴절률(H)/저굴절률(L)/고굴절률(H)의 최소의 삼층 구조의 배열로 설계하였다.

Fig. 4는 삼층 구조의 다층 박막 구조로서 유리기판위에 고굴절률 박막(n_1)/저굴절률 박막(n_2)/ 고굴절률(n_3)의 구조로 설계하였고 고굴절률 박막은 TiO_2, 저굴절률 박막은 SiO_2를 이용하였다. 박막의 두께(d)는 파장(λ)을 4(굴절률)로 나눈 값으로 Fig. 4에서 d_1은 150, d_2는 165, d_3는 150nm로 각각 설정하여 Macleod 프로그램으로 시뮬레이션하였다.

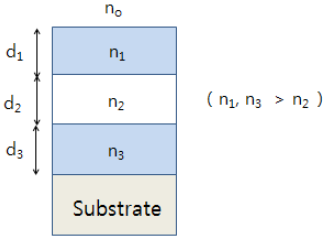

Fig. 4. Designed parameters of triple layer thin films

2.2 반사 특성

Fig. 5는 시뮬레이션 결과로서 반사율은 1175nm 파장에서 59.5% 로 나타났으며 반값 전폭(full width at half maximum)에 해당되는 반사율 30%이상 부근의 파장 대역은 930nm에서 1682nm범위 대역으로 관찰되었다.

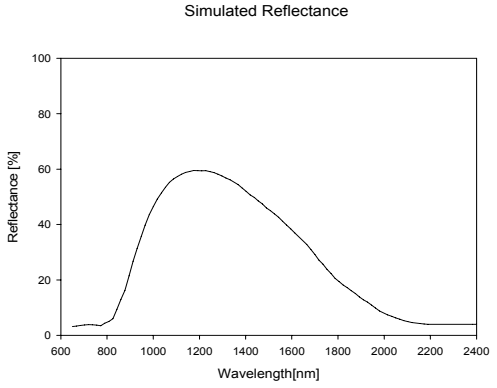

Fig. 5. Simulated reflectance of triple layer structure with wavelength

Fig. 6은 시뮬레이션 결과를 토대로 제작된 삼층 구조의 박막의 반사 특성 측정 결과이다. 시뮬레이션 결과에 비하여 최대 반사율이 적게 나타났으며 근적외선 파장 대역 1157nm 부근에서 51.4 %로 반사율은 최대로 나타났다. 반가 전폭에 해당되는 반사율 33%이상의 반사율을 나타내는 근적외선 파장 대역은 930~1525nm의 범위로 관찰되었다. 다층 박막 층의 적층된 수를 최소화한 삼층 구조로 적층된 고굴절률 TiO_2막과 저굴절률 SiO_2의 고굴절률(H)/저굴절률(L)/고굴절률(H)의 배열로 930~1525nm 대역에서 반값 전폭 반사율 33%이상을 구현할 수 있었다. 광학 박막 특성의 향상을 위해서는 삼층 이상으로 적층된 다층 박막 구조의 연구가 필요하다고 사료되었다.

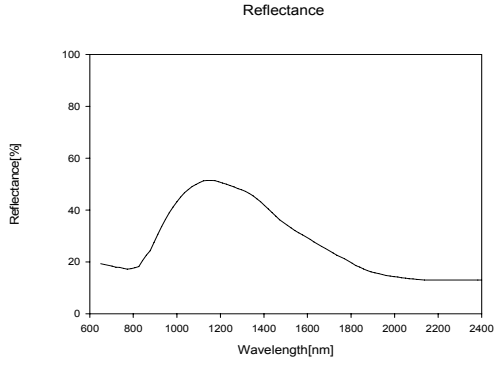

Fig. 6. Measured reflectance of triple layer structure with wavelength

3. 결론

근적외선 차단을 위한 SiO_2와 TiO_2 박막으로 구성된 반사 다층 박막을 설계하고 스퍼터링 방법으로 제작하여

다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. SiO_2와 TiO_2 박막의 스퍼터링 공정 조건을 파워에 따라 분석한 결과 파워 증가에 따라 증착 속도는 증가 하였다. 측정된 증착 속도로부터 원하는 두께 제어를 통하여 SiO_2와 TiO_2의 고굴절률(H)/저굴절률(L)/고굴절률(H)의 최소화된 적층구조인 삼층 구조로 설계하였다. 시뮬레이션 결과를 토대로 제작된 삼층 구조의 박막은 930nm에서 1525nm범위에서 반값 전폭(full width at half maximum) 반사율 33% 이상을 구현할 수 있었다.

References

[1] Hong Ye, Xianchun Meng, Bin Xu, "Theoretical discussions of perfect window, ideal near infrared solar spectrum regulating window and current thermochromic window", Energy and Buildings 49, pp.164 - 172, 2012.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.011

[2] Jitka Mohelnikova,"Materials for reflective coatings of window glass applications," Construction and Building Materials, 23, PP.1993 - 1998, 2009.

[3] M. Laamanen, M. Blomberg, R.L. Puurunen, A. Miranto, H. Kattelus, "Thin film absorbers for visible, near-infrared, and short-wavelength infrared spectra," Sensors and Actuators A162, pp.210-214, 2010.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.sna.2010.02.015

[4] B.S. Richards,"Single-material TiO_2 double-layer antireflection coatings," Solar Energy Materials & Solar Cells 79, pp.369 - 390, 2003.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/S0927-0248(02)00473-7

[5] C.G. Granqvist, P.C.Lansaker, N.R.Mlyuka, G.A.Niklasson, E.Avendano," Progress in chromogenics", Solar Energy Materials & SolarCells, 93, pp.2032 - 2039, 2009.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2009.02.026

[6] Kamalisarvestani, R.Saidur, S.Mekhilef, F.S.Javadi, "Performance,materials and coating technologies of thermochromic thin films on smartwindows," Renewable and Sustainable Energy Reviews, 26, pp.353 - 364, 2013.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.038

[7] L. Liljeholm , T. Nyberg, T. Kubart, A. Roos b, S. Berg, "Reactive sputtering of SiO_2eTiO$_2$ thin film from composite Six/TiO_2 targets", Vacuum, 85, pp.317-321, 2010.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.vacuum.2010.07.003

[8] M. VergoÈhl,, N. Malkomes, T. Staedler, T. MattheÂe, U. Richter, "Ex situ and in situ spectroscopic ellipsometry of MF and DC-sputtered TiO_2 and SiO_2 films for process control," Thin Solid Films, 351, pp.42-47, 1999.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/S0040-6090(99)00152-2

[9] Sang-Hun Jeonga, Jae-Keun Kimb, Bong-Soo Kima, Seok-Ho Shima, Byung-Teak Lee, "Characterization of SiO_2 and TiO_2 films prepared using rf magnetron sputtering and their application to anti-reflection coating," Vacuum, 76, pp.507-515, 2004.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.vacuum.2004.06.003

[10] H. A. Macleod, "Thin film narrow band optical filters," Thin Solid Films 34, pp.335-342, 1976.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/0040-6090(76)90482-X

[11] H. A. Macleod, "Thin-Film Optical Filters," 2nd. Chap.8, pp.334-34 London, 1986.
DOI: http://dx.doi.org/10.1887/0750306882

[12] Xinrong Wang, Hiroshi Masumoto, Yoshihiro So meno, Lidong Chen, and Toshio Hirai, "Stepwise graded refractive-index profiles for design of a narrow-band pass filter," Applied Optics.,Vol.40, No.22 pp3746-pp3752, 2001.
DOI: http://dx.doi.org/10.1364/AO.40.003746

정 연 길(Youn-Gil Chung) **[정회원]**

- 2006년 2월 : 한경대학교 전자공학과 (공학사)
- 2008년 8월 : 한경대학교 대학원 전자공학전공 (공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한경대학교 미래융합기술대학원 박사과정 재학중

<관심분야>
박막공정, 반도체, 디스플레이, 이차전지 제조장치,자동화

박 현 식(Hyun-Sik, Park) **[정회원]**

- 1990년 2월 : 서울대학교 대학원 (공학박사)
- 1992년 1월 ~ 1996년 8월 : 전자부품연구원 개발팀장
- 1996년 8월 ~ 현재 : 한경대학교 교수

<관심분야>
반도체, 디스플레이, 전자부품