

# DC펄스 스퍼터링 공정 변수가 다층 박막의 광 반사율에 미치는 영향

정연길, 박현식\*

한경대학교 전기전자제어공학과,미래융합기술대학원,IT융합기술연구소

## Effect of process parameter of DC pulsed sputtering on optical reflectance of multi-layer thin films

Youn-Gil Chung, Hyun-Sik Park\*

Dept. of Electrical, Electronic and Control Engineering, Graduate School of Future Convergence  
Technology, Institute for information technology convergence, Hankyong National University

요 약 특정 광 파장 영역대역에서 광 반사율을 갖는 다층 박막을 DC펄스 스퍼터링 공정으로 제작하기 위하여 공정변수가 다층 박막의 광학 특성에 미치는 영향이 연구되었다. 다층 박막 필름을 제작하기 위한 시뮬레이션이 이루어졌으며, DC펄스 스퍼터링 공정을 이용한 저 굴절률의 SiO<sub>2</sub>와 고 굴절률의 TiO<sub>2</sub> 박막의 광학 특성에 미치는 공정 변수 파라미터가 연구되었다. DC펄스 스퍼터링 파워 2kW, 아르곤 가스 200sccm(standard cubic centimeter per minute)기준조건에서 산소가스 비율 12% 범위에서 제작한 SiO<sub>2</sub>박막은 굴절률 1.46이었고 산소가스 1% 비율에서 제작한 TiO<sub>2</sub>박막은 굴절률 2.27이었다. 이들 박막으로 구성된 고 굴절률 박막/저 굴절률 박막/고 굴절률 박막의 3층 다층 박막 구조의 광학설계 시뮬레이션 결과와 측정된 광 반사율 특성결과는 파장 대역에 걸쳐 유사한 경향이 있는 것으로 측정되었다. 근적외선 780nm에서 1200nm파장 대역 영역에서 광 반사율 45%이상의 성능을 갖는 다층 박막 필름을 제작할 수 있었고 근적외선 차단 기능 박막으로 사용될 것으로 기대된다.

Abstract The process parameters of DC pulsed sputtering to produce a multi-layer thin film with light reflectance at a specific wavelength region were studied. The optical simulation of multi-layer thin films of the silicon dioxide (SiO<sub>2</sub>) films with a low refractive index and the titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) films with a high refractive index was done. Under a DC pulsed sputtering power of 2kW and 200 sccm(standard cubic centimeter per minute) argon gas, the silicon dioxide films with a refractive index of 1.46 in the range of oxygen gas ratios of 12% and a titanium dioxide film with a refractive index of 2.27 in the range of oxygen gas ratios of 1% were produced. The multi-layer structure of high refractive index/low refractive index/high refractive index was designed and fabricated. The characteristics of the fabricated multi-layer thin film structure showed a reflectance of more than 45% in the range, 780 to 1200nm. This multi-layer structure is expected to be used to block the near infrared wavelength light.

**Keywords** : Sputtering, DC pulsed, thin film, refractive index, reflectance

### 1. 서론

광의 특정 파장 대역만을 투과 혹은 반사 목적으로 저

굴절률(refractive index) 박막과 고 굴절률 박막으로 구성된 광학 다층 박막 기술이 널리 사용되고 있다. 특히 근적외선(near-infrared)영역의 빛을 차단하기 위한 광

\*Corresponding Author : Hyun-Sik Park(Hankyong National Univ.)

Tel: +82-31-670-5193 email: hspark@hknu.ac.kr

Received July 19, 2016  
Accepted October 7, 2016

Revised (1st September 5, 2016, 2nd September 7, 2016, 3rd September 8, 2016, 4th  
October 4, 2016, 5th October 5, 2016)  
Published October 31, 2016

반사 목적의 기능성 박막이 요구되고 있다[1,2]. 특정한 파장대역의 빛을 차단하기 위한 광 반사 박막은 굴절률을 반영한 광학설계 결과를 토대로 제작되며 굴절률과 박막의 두께의 제어가 필요하다. 특정 파장 대역의 빛을 차단하기 위한 다층 박막구조는 저 굴절률 박막과 고 굴절률 박막의 다층 구조로 구성되며 본 연구에서는 저 굴절률 박막으로 SiO<sub>2</sub> 박막과 고 굴절률 박막으로 TiO<sub>2</sub> 박막을 선정하였다. 광 반사 목적의 SiO<sub>2</sub> 박막과 TiO<sub>2</sub> 박막은 스퍼터링(sputtering) 공정으로 일반적으로 제작된다. 스퍼터링 파워 종류에 따라서 RF 스퍼터링 공정 혹은 DC 펄스 스퍼터링 공정[3,4]의 방법으로 제작되고 있다. DC 펄스 스퍼터링 공정이 RF 스퍼터링 공정보다 설비 비용, 증착 속도 등이 우수한 것으로 보고[5,6]되고 있다. RF 스퍼터링 공정을 이용한 선행연구[7]에서도 SiO<sub>2</sub> 박막의 경우 0.01nm/sec로 성장 속도가 낮은 것으로 관찰되었다. 이에 본 연구에서는 성장속도를 개선할 수 있는 공정으로 DC 펄스 스퍼터링 공정을 적용하였다. DC 펄스 스퍼터링 공정은 주기적으로 비대칭 전압 파형을 전극에 인가하면서 스퍼터링 박막을 형성하는 공정이다.

Fig. 1은 본 연구 흐름도로서 광학 다층 박막 설계는 선행 연구[7]에서 적용된 Macleod 프로그램을 이용하여 고 굴절률 박막/저 굴절률 박막/고 굴절률 박막으로 구성된 다층 박막 구조로 설계하였고, Fig. 1의 DC 펄스 스퍼터링 공정장치로 다층 박막 구조시료를 제작하였고, 제작된 시료의 광 반사율을 측정하였다.

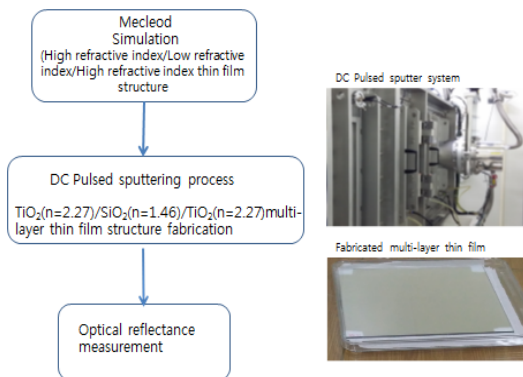


Fig. 1. Experimental procedure flowchart in this study.

Fig. 2는 Macleod 프로그램으로 시뮬레이션 된 결과로서 근적외선 파장 영역 780nm에서 1200nm 영역에서 광 반사율 45% 이상이 가능함을 확인하였다.

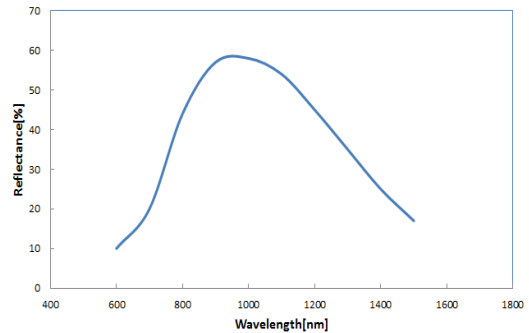


Fig. 2. Simulated results of reflectance with wavelength.

본 연구에서는 DC 펄스 스퍼터링 공정 조건에 따른 SiO<sub>2</sub> 박막과 TiO<sub>2</sub> 박막의 특성을 비교하였다. 이때 다층 박막 조건에 적용되기 위한 박막의 특성은 선행연구 결과[7]를 참고하여 SiO<sub>2</sub> 박막의 굴절률은 1.46 및 박막 두께는 165nm, TiO<sub>2</sub> 박막은 굴절률 2.27 및 박막 두께 105nm로 제작하였고 고 굴절률 박막/저 굴절률 박막/고 굴절률 박막으로 구성된 3층 구조의 다층박막을 제작하여 광 반사율을 측정하였다.

## 2. 본론

### 2.1 DC 펄스 스퍼터링 공정조건

DC 펄스 스퍼터링 공정은 임피던스 매칭 유닛 내장 파워 시스템을 사용하였고 비대칭 전압 파형의 펄스 파를 인가하였다. 진공도 10<sup>-6</sup>Torr 범위에서 제어 하면서 증착 박막 종류에 따라 PET기판 위에 200sccm(standard cubic centimeter per minute) 범위의 아르곤 가스와 산소 분압을 조절하면서 상온 증착하였다. DC 펄스 스퍼터링의 공정조건은 진공도, 산소 분압, 파워를 조건으로 시험하였다. 증착된 박막의 광학적 특성을 측정하기 위하여 투과도는 UV-Vis 스펙트럼 분광기를 사용하였고, 각 물질의 파장에 따른 굴절률 변화와 광학적 두께는 Ellipsometry를 사용하여 측정하였다.

Fig. 3은 10<sup>-6</sup>Torr 범위의 진공도에 따른 SiO<sub>2</sub> 박막의 굴절률 변화를 632.8nm 파장에서 측정한 결과로서 압력 7x10<sup>-6</sup>Torr 이상에서는 SiO<sub>2</sub> 박막의 굴절률은 1.46으로 관찰되었다. 이에 따라 SiO<sub>2</sub> 박막의 공정 압력은 7x10<sup>-6</sup>Torr로 설정하였다.

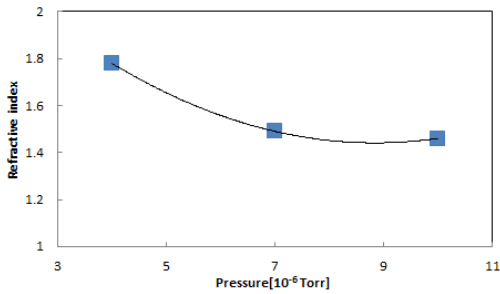


Fig. 3. Variation of refractive index of SiO<sub>2</sub> thin film with pressure.

Fig. 4는 DC펄스 스퍼터링 파워에 따른 SiO<sub>2</sub> 박막의 굴절률 변화를 632.8nm 파장에서 측정한 결과로서 산소 비율을 12%에서 스퍼터링 파워에 따른 SiO<sub>2</sub>박막의 굴절률 값을 균일하였다.

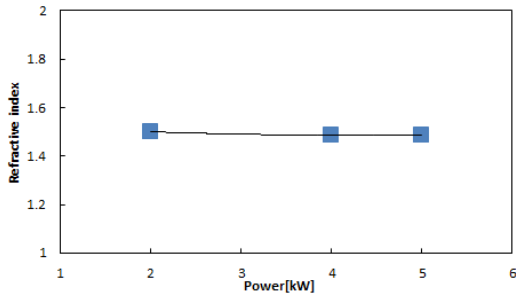


Fig. 4. Variation of refractive index of SiO<sub>2</sub> thin film with power.

Fig. 5는 10<sup>-6</sup>Torr범위의 진공도에 따른 TiO<sub>2</sub>박막의 굴절률 변화를 632.8nm 파장에서 측정한 결과로서 압력 10<sup>-5</sup>Torr보다 작을 때 굴절률은 2.27로 측정되었다.

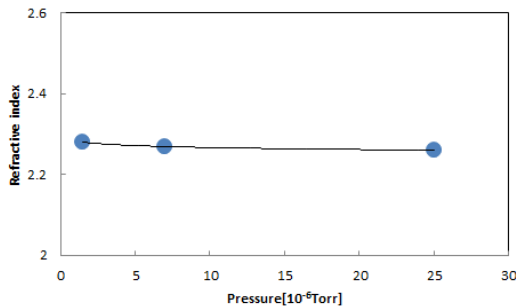


Fig. 5. Variation of refractive index of TiO<sub>2</sub> thin film with pressure.

Fig. 6은 산소 비율에 따른 결과로서 파워 2kW, 산소 비율 1%에서 굴절률 2.27의 TiO<sub>2</sub>박막을 제작할 수 있었다. 따라서 DC펄스 공정 조건으로 파워 2kW, 진공도 7x10<sup>-6</sup>Torr, 증착시간 220sec, 아르곤 가스 200sccm, 산소 비율 12%에서 굴절률 1.46의 SiO<sub>2</sub>박막을 제작하였고 산소 비율 1%에서 굴절률 2.27의 TiO<sub>2</sub>박막을 제작하였다.

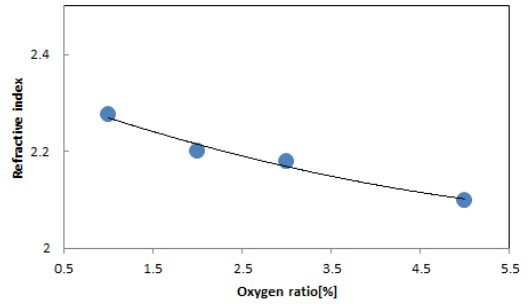


Fig. 6. Variation of refractive index of TiO<sub>2</sub> thin film with Oxygen ratio.

## 2.2 광 반사율 특성 측정 결과

DC펄스 스퍼터링 공법으로 제작한 저 굴절률 1.46의 SiO<sub>2</sub>박막과 고 굴절률 2.27의 TiO<sub>2</sub>박막을 이용하여 두께 105nm의 고 굴절률 박막/두께 165nm 저 굴절률 박막/두께 105nm의 고 굴절률 박막의 3층 다층 구조로 시뮬레이션하고 제작된 시료의 광 반사율을 측정 비교하였다. Fig. 7은 제작된 3층 구조의 다층박막의 측정 결과로서 시뮬레이션 결과(점선)와 제작한 시료의 측정결과(실선)가 유사한 경향을 나타냈다. 광 반사율은 1000nm 부근에서 최대의 반사율을 나타냈고 근적외선 파장 영역 780에서 1200nm 범위에서 광 반사율 45% 이상의 기능을 갖는 다층박막을 제작할 수 있었고 근적외선 차단 기능 박막으로 사용될 것으로 기대된다.

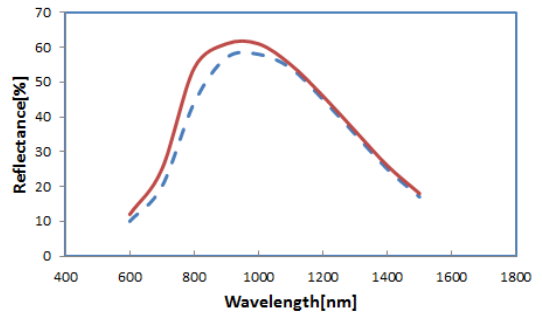


Fig. 7. Results of reflectance of fabricated multi-layer structure with wavelength.

### 3. 결론

근적외선 파장 대역을 차단하기 위한 저 굴절률의 SiO<sub>2</sub> 박막과 고 굴절률의 TiO<sub>2</sub> 박막으로 구성된 고 굴절률 박막/저 굴절률 박막/고 굴절률 박막의 3층 다층 구조에 대한 Macleod 프로그램으로 시뮬레이션한 결과와 DC 펄스 스퍼터링 공정을 이용하여 제작한 시료의 광 반사율 측정결과는 유사한 경향이 관찰되었다.

저 굴절률 박막과 고 굴절률 박막을 제작하기 위한 DC 펄스 스퍼터링 공정조건은 파워 2kW, 아르곤 가스 200sccm 기준 산소가스 비율 12% 에서 저 굴절률 1.46 의 SiO<sub>2</sub> 박막 및 산소가스 비율 1% 비율에서 고 굴절률 2.27의 TiO<sub>2</sub> 박막을 제작하였고, 고 굴절률 박막/저 굴절률 박막/고 굴절률 박막의 3층 다층 박막구조로 구성된 시료는 근적외선 780nm에서 1200nm 파장 영역에서 45% 이상의 광 반사율 특성을 나타내어 근적외선 차단 기능의 박막으로 사용될 것으로 기대된다.

### References

- [1] 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>
- [2] Jitka Mohelnikova, "Materials for reflective coatings of window glass applications", *Construction and Building Materials*, 23, pp. 1993-1998, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.08.033>
- [3] D.Carter, H. Walde, G. McDonough, and G. Roche, "Parameter Optimization in Pulsed DC Reactive Sputter Deposition of Aluminum Oxide", *2002 Society of Vacuum Coaters, 45th Annual Technical Conference Proceedings*, pp. 570-577, 2002.
- [4] D.R. Pellemounter, D.J.Christie, B.D.Fries, "Pulsed DC power for magnetron sputtering", *57th annual technical conference proceeding*, pp. 183-18, 2014.
- [5] A.Belkind, A.Ahao, etc., "Pulsed DC reactive sputtering of Dielectric". *43rd Annual technical conference proceeding*, 4, pp. 86-90, 2000.
- [6] Stephan Barth , Hagen Bartzsch, Daniel Glos, Peter Frach, Matthias Gittner, Rainer Labitzke, "Adjustment of plasma properties in magnetron sputtering by pulsed powering in unipolar/bipolar hybrid pulse mode", *Surface & Coatings Technology*, 290, pp. 73 - 76, 2016.
- [7] Y.G.Chung, H.S.Park, "Study on characteristics of thin films for reflection of near infrared light", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 16, No. 6, pp. 4124-4124, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.6.4121>

#### 정연길(Youn-Gil Chung)

[정회원]



- 2006년 2월 : 한경대학교전자공학  
과(공학사)
- 2008년 8월 : 한경대학교대학원 전  
자공학전공(공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한경대학교  
미래융합기술대학원 박사학위취득

<관심분야>

박막공정, 반도체, 디스플레이, 이차전지제조장치, 자동차

#### 박현식(Hyun-Sik, Park)

[종신회원]



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

<관심분야>

반도체, 디스플레이, 전자부품, 기술경영