

저손실 광도파로 제작을 위해 PECVD 법에 의해 증착된 SiON/SiO₂ 다층박막

김용탁[†] · 김동신 · 윤대호
성균관대학교 신소재공학과
(2003년 10월 17일 접수; 2004년 2월 21일 승인)

SiON/SiO₂ Multilayer Deposited by PECVD for Low-Loss Waveguides

Yong-Tak Kim,[†] Dong-Shin Kim, and Dae-Ho Yoon

Department of Advanced Materials Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea
(Received October 17, 2003; Accepted February 21, 2004)

초 록

플라즈마 화학기상증착(PECVD)법을 이용하여 Si(100) 웨이퍼에 silicon oxide (SiO₂)와 silicon oxynitride (SiON) 후막을 SiH₄, N₂O, N₂ 가스를 혼합하여 증착하였다. RF power와 rf bias power의 변화에 따른 SiO₂ 막과 SiON 막의 특성변화에 대하여 고찰하였다. RF power와 rf bias power가 증가함에 따라 굴절률은 감소하는 경향을 나타내었으며, 막의 굴절률은 1552 nm에서 1.4493 - 1.4952까지 변화하였다. 이와 같이 rf power가 증가함에 따라 굴절률이 감소하는 이유는 oxygen의 량이 증가하고 nitrogen의 량이 감소하여 즉, O/N 비가 증가하여 굴절률이 감소하는 경향을 나타내었다.

ABSTRACT

SiO₂ and SiON thick films were deposited by Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) technique on silicon wafer (100) using SiH₄ and N₂O as precursor gases. In this work, the influence of rf power, and rf bias power on the optical and physical properties of SiO₂ and SiON thick films is presented. The refractive index decreases with increasing rf power, and rf bias power. The refractive index of the films varied from 1.4493 to 1.4952 at wavelength at 1552 nm, with increasing rf power, the nitrogen content decreases while the oxygen content increases, in a manner that the O/N ratio increases approximately linearly.

Key words : PECVD, Silicon dioxide, Silicon oxynitride, Annealing

1. 서 론

초대용량 고속 광통신시스템의 구현을 위해서 여러 가지 광통신 시스템이 제안되었지만 그 중에서 파장의 분파, 합파 및 새로운 파장의 가감(add/drop)등의 기능을 할 수 있는 수동광소자의 개발이 중요한 분야로 크게 대두되고 있다. 이러한 수동광소자의 개발을 위해서 소형화, 집적화, 다기능화 및 저가격화 면에서 장점을 가지고 있는 평면형도파로를 이용한 수동소자가 주를 이루고 있다.¹⁾ 지금까지 연구된 광회로소자의 재료로는 LiNbO₃,²⁾ SiO₂/Si,³⁾ Polymer⁴⁾ 등을 들 수 있다. 이 재료들은 그 특성에 차이가 있으며, 응용 또한 다를 수 있다. 실리콘을 기판으로 한 high-silica 평판 광도파로는 광섬유와의 연결이 용이하고, 도파손실이 매우 적으므로 수동 광선로망에의 사용이 적합하며, 따라서 이에 관한 연구가 활발해지고 있다. 실리콘 도파로의 제조 방법으로는 FHD (Flame Hydroly-

sis Deposition),⁵⁾ CVD (Chemical Vapor Deposition),^{6,7)} Sputtering⁸⁾ 등에 의해 이루어지고 있다. FHD법의 경우 고속의 증착속도를 갖는 장점이 있는 반면, 박막과 기판으로 사용되는 실리콘 기판과의 열팽창계수 차이로 인해 실리콘 기판이 변형되거나 박막에 응력이 유기되어 복굴절을 야기시키며, 휘발성이 매우 높은 염화물만 사용이 가능하다는 제약을 받는다. 그리고, sputtering 법의 경우 저온(< 100°C) 합성이 가능하며 균질성과 생산효율의 향상등의 장점을 가지고 있지만, sputter yield가 다르고 또한 oxygen과의 결합시 stoichiometric SiO₂를 이루기 힘들다는 단점을 내포하고 있다. 한편, PECVD 법의 경우 증착된 막의 표면이 상당히 미려하며 변수제어에 따른 굴절률제어가 용이하며 thermal oxidation과 비교하여 저온(< 350°C) 공정이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 실리카 광도파로의 buffer와 core 층을 위한 SiO₂와 SiON 후막을 PECVD 법을 이용하여 N₂ 가스를 도핑가스로 사용하였으며, N-H 결합과 Hydrogen 기 등으로 인한 흡수손실을 최소화 하기 위하여 열처리를 수행하였으며, rf power와 rf bias power에 따른 특성변화를 고찰하였다.

[†]Corresponding author : Yong-Tak Kim
E-mail : ytkim@skku.edu
Tel : +82-31-290-7388 Fax : +82-31-290-7371

2. 실험방법

SiON/SiO₂ 다층박막 증착장비로 Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) 법을 이용하였으며, 본 장비는 증착을 위한 reaction chamber와 시편 취조실인 load/unload chamber로 구성되어 있다.⁹⁾ 13.56 MHz의 rf power source를 사용하였으며 평행 평판형 전극구조로 막을 균일하게 성장시키기 위하여 마주보는 전극으로부터 샤워 형태로 원료 기체를 분사하였다. 또한 막 부착면이 아래를 향한 deposition-up 방식으로 되어 있으며 13.56 MHz의 rf bias power를 시편에 인가하였다. 증착을 위한 시편으로 p-type Si(100) 웨이퍼가 사용되었으며, 증착하기 전에 N₂ 플라즈마 전처리를 행하였다. 실험을 위한 증착조건은 rf power와 rf bias power를 변수로 하고, 작업진공도와 substrate 온도, 그리고 SiH₄/(N₂O + N₂) 유량비는 각각 0.9 torr, 320°C, 0.25에서 수행하였다. 또한 증착된 시편은 loss의 원인이 되는 N-H, O-H 결합을 제거하기 위해 N₂ 분위기에서 900°C의 고온으로 2h 동안 열처리를 행하였다.

증착된 막의 분석방법으로 prism coupler (Metricon 2010)를 이용하여 1552 nm에서 굴절률과 증착률을 측정하였으며, X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS, Perkin-Elmer PHI 5700 surface analysis)를 이용하여 막의 결합구조를 고찰하였으며, 최적의 증착 조건에서 Scanning Electron Microscopy (SEM, Leica SEM 360)와 Atomic Force Microscopy (AFM, Thermo Microscope proscan 1.6)을 통하여 cross-section과 surface roughness를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

SiO₂와 SiON 막에서 rf power의 증가에 따른 굴절률(n)의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. SiO₂ 막의 굴절률은 rf

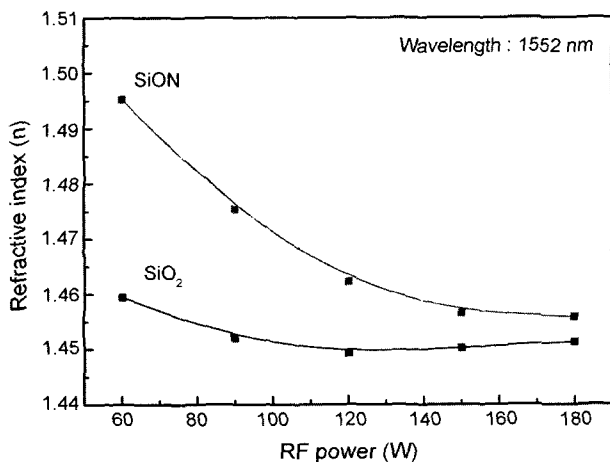


Fig. 1. Refractive index at $\lambda=1552$ nm of SiO₂ and SiON as a function of rf power.

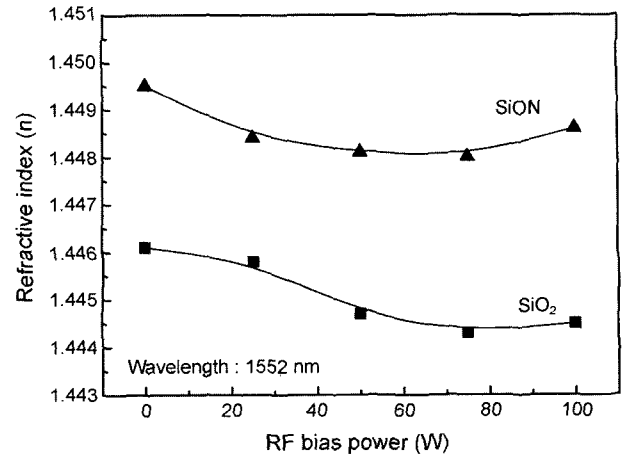


Fig. 2. Refractive index at $\lambda=1552$ nm of SiO₂ and SiON as a function of rf bias power.

power가 증가함에 따라 1.4493–1.4594의 변화를 나타내었으며, 120 W에서 thermal oxidation의 굴절률과 거의 비슷한 1.4493 값을 나타내었다. SiON의 경우 1.4558–1.4952까지의 변화를 나타내었다. 이와 같이 rf power가 증가함에 따라 굴절률이 감소하는 이유는 O/N 비가 증가하여 굴절률이 감소하는 경향을 나타낸다고 보고된 바 있으며,¹⁰⁾ 본 연구에서도 같은 경향의 연구 결과를 나타내었다.

Fig. 2는 rf bias power의 변화에 따른 SiO₂와 SiON 막의 굴절률의 변화를 나타내었다. Fig. 1과 유사하게 power가 증가함에 따라 굴절률이 감소하는 경향을 나타내었으며, SiO₂ 막의 경우 rf bias power 75 W에서 thermal oxidation 막과 동일한 굴절률인 1.4445를 나타내었으며, 이는 stoichiometric SiO₂를 형성하였음을 확인할 수 있었다. SiON의 경우, 75 W까지 막의 굴절률이 감소하는 경향을 보이다가 100 W에서 굴절률이 다시 증가하는 현상을 보이는데, 이와 같은 현상은 power가 증가함에 따라 N₂O의 해리가 더 활발히 이루어지며, 이에 따라 SiH₄ 라디칼과 반응할 oxygen 라디칼이 모두 소비되어 SiH₄ 라디칼이 solid phase에서 Si-N, Si-H, N-H 결합을 형성하였기 때문에 굴절률이 증가한 것이라 사료된다. 또한, 100 W에서 1.4488로 SiO₂와의 굴절률 차이($\Delta n/n$)값이 0.30%로 직선 광도파로 형성이 적합한 조건임을 확인하였다.

Fig. 3에는 rf bias power 75 W에서 증착된 SiO₂ 막의 정성분석을 위해 XPS 분석을 통하여 narrow scan 결과를 나타내었다. 분석전에 표면의 산화막을 제거하기 위해 Ar sputter를 통하여 30 min 동안 수행한 후 분석을 행하였다. 모든 시편에 silicon (Si_{2p})과 oxygen (O_{1s}) peak는 확연히 구분되었다. 실리카에 존재하는 Si_{2p}와 O_{1s}의 경우 각각 103과 532 eV에서 peak의 위치가 확인되며,¹¹⁾ 결과값 또한 유사한 값을 나타내었다. 이와 같은 결과로서 SiO₂가 막 형성시에 시편에 인가된 rf bias power가 막의 stoichio-

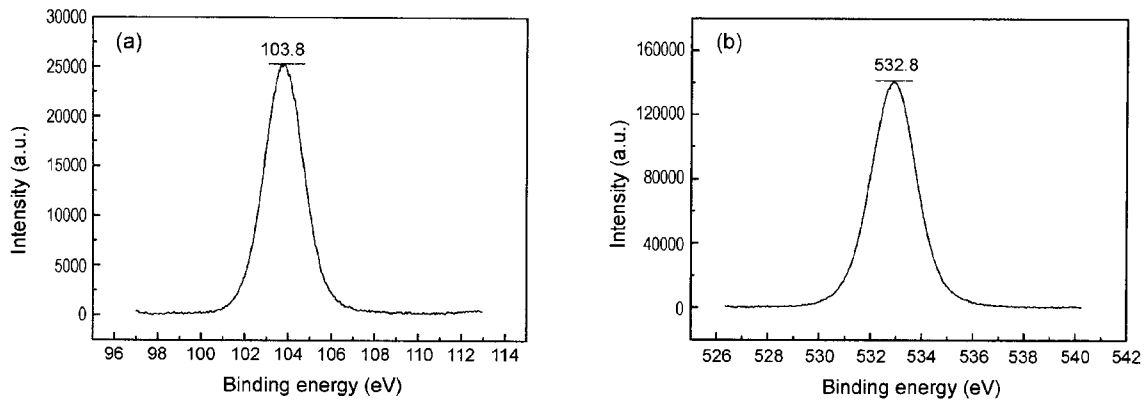


Fig. 3. XPS spectra (a) Si_{2p} and (b) O_{1s} peak of SiO₂ film with rf bias power of 75 W.

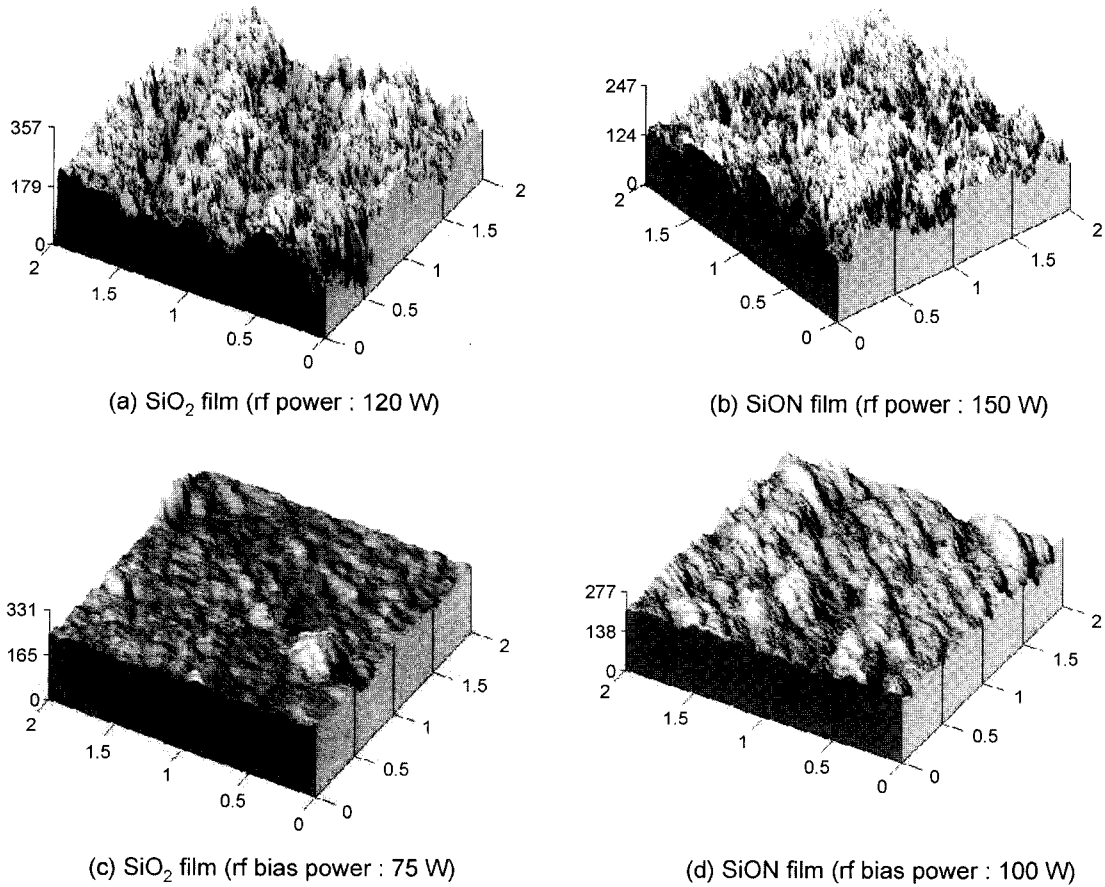


Fig. 4. AFM images of the SiO₂ and SiON films.

metry 형성에 영향을 끼친 것으로 사료된다.

SiON 후막을 core 층으로 사용하여 낮은 손실을 갖는 waveguide를 제조하는데 있어서 두가지 문제점이 제안되고 있다. 첫번째로는 scattering loss이다. 이러한 scattering loss의 원인은 waveguide를 구성하는 buffer 층과 core 층 사이의 경계면에서 발생하는 계면조도와 후막증착시 생성되는 particles과 결정의 성장 그리고 증착된 막의 두께

와 굴절률의 불균일성에 있다. 두번째는 absorption loss이다. 이러한 loss는 증착된 막 속에 잔재하는 N-H, Si-H, hydrogen기 때문이다. Fig. 4(a)와 (b)는 각각 rf bias power가 인가되지 않은 SiO₂ 막과 SiON 막으로써 rms roughness는 각각 28.5 Å과 43.2 Å를 나타내었다. 그러나, Fig. 4(c)와 (d)의 경우 rf bias power를 인가한 SiO₂ 막과 SiON 막의 rms roughness는 각각 11.8 Å과 16.7 Å를 나타내었다.

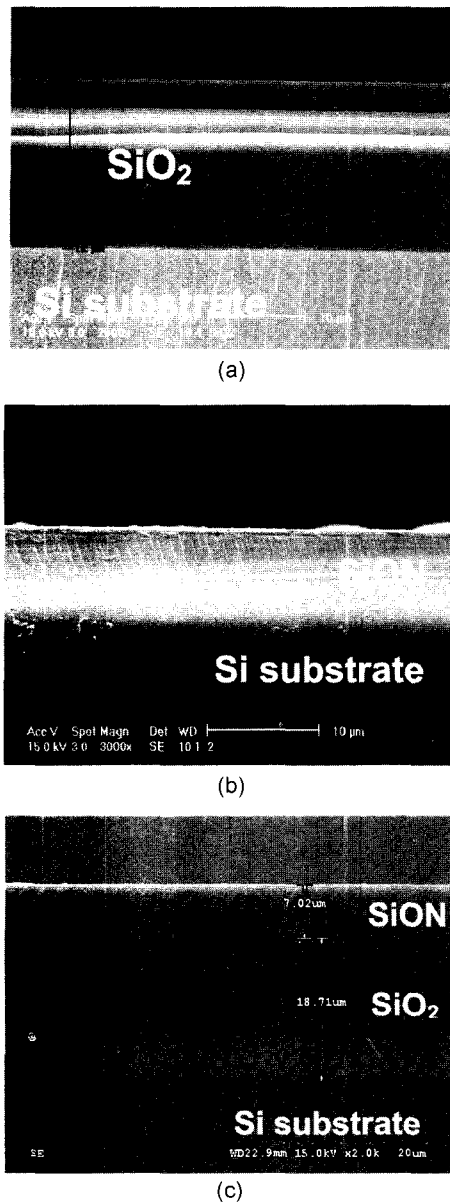


Fig. 5. SEM cross-section image of (a) SiO₂, (b) SiON, and (c) SiON/SiO₂ multilayer.

rf bias power를 증가한 경우 더 높은 rms roughness를 나타낼 것으로 예상했으나, 제한된 유량에서 rf bias power가 증가됨에 따라 더 높은 표면이동도를 갖는 활성화된 라디칼들이 생성되며 이렇게 활성화된 라디칼들이 막표면에서 더 낮은 부분까지 이동이 가능하여 거친 막표면을 감소시키는데 기여하여 결국 성장된 막의 표면조도가 rf bias power를 증가하지 않은 막보다 표면조도가 감소한 것으로 사료된다.

Fig. 5는 위의 증착 조건 중 SiO₂의 경우 rf bias power 75 W에서 1.4445를 나타내며, 두께 18 μm를 갖는 고품질의 막(Fig. 5(a))과 SiON의 경우 rf bias power 100 W에

서 굴절률 1.4488과 두께 5 μm를 갖는 막(Fig. 5(b))의 단면 사진을 SEM 분석을 통하여 나타내었다. 이렇게 증착된 막은 두께 3% 이하, 굴절률의 경우 10⁻³ 이하의 균일성을 나타내며, Si wafer 위에 SiON/SiO₂/Si 다층박막을 증착한 결과를 Fig. 5(c)에 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 PECVD 법으로 SiO₂와 SiON 증착후 고온 열처리를 통하여 silica optical waveguide에 이용될 수 있는 고품질의 후막을 제작하였다. RF bias power의 변화에 따라 두께변화는 13 - 18 μm까지 변화하였으며, 최고 18 μm와 thermal oxidation과 동일한 값을 갖는 1.4445의 굴절률을 나타내는 SiO₂ 막과 0.3%의 굴절률 차이를 갖는 1.4488과 두께 7 μm의 SiON 막을 제작하였다. 변수에 따라 굴절률을 제어함으로써 waveguide 제조시 필요한 용도에 따른 core 층의 구현이 가능하게 되었다. 또한, XPS 분석을 통하여 Si_{2p}와 O_{1s}의 위치로 stoichiometry SiO₂ 막이 형성되었음을 확인하였으며, AFM 분석을 통하여 11.6 Å의 상당히 미려한 rms roughness를 얻을 수 있었다. 이렇게 증착된 각각의 막들을 Si wafer 위에 SiON/SiO₂ 다층박막을 형성하였으며, 1.5 μm에서 낮은 손실을 갖는 waveguide 제조시 문제시 되었던 굴절률의 제어와 roughness로 인한 scattering loss를 rf bias power를 통하여 제어함으로써 낮은 손실을 갖는 core 층의 최적 조건을 확립하였다.

REFERENCES

1. M. Kawachi, "Silica Waveguides on Silicon and their Application to Integrated-Optic Components," *Optical and Quantum Electronics*, **22** 391-416 (1990).
2. X. H. Zhen, H. T. Li, L. C. Zhao, and Y. H. Xu, "Structure and Optical Damage Resistance of Zn:Er:LiNbO₃ Waveguide," *Mater. Sci. and Eng.*, **B103** 135-39 (2003).
3. Y. T. Kim, S. M. Sung, S. G. Yoon, Y. G. Seo, Y. M. Im, and D. H. Yoon, "Refractive Index Control of Silicon Oxynitride Thick Films on Core Layer of Silica Optical Waveguide," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **39** 594-97 (2002).
4. W. Shi, Y. J. Ding, C. Fang, Q. Pan, and Q. Gu, "Single-Mode Rib Polymer Waveguides and Electro-Optic Polymer Waveguide Switches," *Optics and Lasers in Engineering*, **38** 361-71 (2002).
5. Y. T. Kim, Y. G. Seo, H. D. Yoon, Y. M. Im, and D. H. Yoon, "Refractive Index Control by Dopant for Thick Silica Film Deposited by FHD," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **40** 589-93 (2003).
6. T. Valette and J. P. Jadot, "Si-Based Integrated Optics Technologies," *Solid State Tech.*, **2** 69-75 (1989).
7. H. Verbeek and C. H. Henry, "Integrated Four Channel Mach-Zender Multi/Demultiplexer Fabricated with Phos-

- phorous Doped SiO₂ Waveguides on Si," *J. Lightwave Tech.*, **6** [6] 1011-15 (1988).
8. S. Kashimura, M. R. Islam, M. Takeuchi, A. Hongo, K. Ohira, K. Imoto, and S. Kuma, "Refractive Index Adjustment of SiO₂-GeO₂ Films Deposited by Radio Frequency Magnetron Sputtering," *Appl. Surf. Sci.*, **142** 58-62 (1999).
 9. Y. T. Kim, W. S. Yang, H. Lee, B. Hong, and D. H. Yoon, "Surface Analysis of a-SiC:H Deposited by RF Plasma-Enhanced CVD," *J. Kor. Asso. Cryst. Growth*, **10** [1] 1-4 (2000).
 10. K. Kapsler, C. Wagner, and P. P. Deimdt, "Rapid Deposition of High-Quality Silicon Oxinitrides," *IEEE Transactions Photonics Tech. Lett.*, **3** 1096-98 (1991).
 11. M. H. Kibel and P. W. Leech, "X-Ray Photoelectron Spectroscopy Study of Optical Waveguide Glasses," *Surface and Interface Analysis*, **24** 605-10 (1996).