Journal of the Korean Ceramic Society
Vol. 42, No. 3, pp. 178~181, 2005.

PECVD 법에 의해 제작된 저굴절률 차이 평판 SiON 광도파로

김용탁† · 윤석규 · 윤대호
성균관대학교 신소재공학과
(2004년 10월 15일 접수; 2004년 12월 30일 승인)

Low Index Contrast Planar SiON Waveguides Deposited by PECVD

Yong-Tak Kim,† Seok-Gyu Yoon, and Dae-Ho Yoon
Department of Advanced Materials Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea
(Received October 15, 2004; Accepted December 30, 2004)

초 록

Silicon oxynitride (SiON) 막은 플라즈마 화학기상증착법(PECVD)으로 SiH_4, N_2O와 N_2 가스를 사용하여 SiO_2/Si 위에 증착되었다. 증착 변수에 따라서 SiON 막의 굴절률은 prism coupler 를 사용하여 1552 nm 파장에서 1.4480~1.4958까지 변화하였다. 평판 광도파로 코어로 사용되는 SiON 막의 두께는 6 μm이고, buffer 막과의 굴절률 차이(Δn)는 0.36%이다. 또한 식각 공정으로 SiO_2 막 위에 증착된 SiON 막은 건식식각을 통해서 수행되었다. 광화이버에 1.55 μm 파장의 레이저를 입력단에 조사하였다. 결과적으로 저굴절률 차이 SiON 광도파로를 제작하였으며, 출력단에서 single-mode 형상을 확인하였다.

ABSTRACT

Silicon oxynitride (SiON) layers deposited upon a SiO_2/Si buffer layer placed upon silicon wafers have been obtained by using PECVD from SiH_4, N_2O, and N_2. It can be seen that the refractive index, measured by using a prism coupler, for the SiON films can be varied between 1.4480 and 1.4958 at a wavelength of 1552 nm by changing the process parameters. Optical planar waveguides with a thickness of 6 μm and a refractive index contrast (Δn) of 0.36% have been deposited. Also, etching experiments were performed using ICP dry etching equipment on thick SiON films grown onto Si substrates covered by a thick SiO_2 buffer layer. A polarization maintaining single-mode fiber was used for the input and a microscope objective for the output at 1.55 μm. As a result, a low index contrast SiON based waveguide is fabricated with easily adjustable refractive index of core layer. It illustrates that the output intensity mode is a waveguiding single-mode.

Key words : PECVD, Silicon oxynitride, Single-mode, Annealing

1. 서 론

고도의 정보화사회에서 고품질의 화상 서비스, 원격회의 및 실감영상 전달등의 차세대 서비스를 포함하는 대용량의 광통신, 정보기록과 정보처리의 초고속화를 실현하기 위해서는 현재의 전자기술만으로는 한계에 도달하였으며, 광소자 및 부품들의 성능이 거의 한계치에 달하였고, 생산가격도 매우 높은 편이다. 따라서, 광전자기술의 개발은 필연적일 것이고, 앞으로 초고속 정보통신사회를 빠른 시일 내에 실현 하려면 이러한 부품 물질의 한계를 극복하고, 더욱 향상시키기 위해 신소재의 개발이 시급히 요구되고 있는 실정이다.[1-3] 각종 광 도파로 기술 중에서 다양한 기능의 광소자 요구에 가장 적절하게 대응할 수 있는 기술은 실리카 유리 도파로 기술이다. 실리카를 이용한 광도파로 기술은 현존하는 도파로 기술 중에서 가장 저손실의 도파로 제조가 가능하며, 광섬유와 같은 재질의 도파로로 접손 손실의 최소화가 가능하고, 정확한 도파로 형상 설계로 도파로 특성의 제어가 용이하여 이를 이용한 각종 기능의 광소자 연구가 활발하게 진행되고 있다.[4-6]

실리카 광도파로 제조에 가장 많이 사용되고 있는 Silicon Oxynitride (SiON) 막의 특징은 비정질(결정질의 경우 복굴절의 생성여부와 식각시 방향성에 따른 식각 정도가 다름)이며, 굴절률(n)의 변화가 가능(n = 1.46~2.1)하며, 광섬유와 재질이 비슷하여 0.01 dB로 fresnel reflection이 작다. 또한 boron과 phosphorous와 같은 독성가스 대신 N_2를 사용함으로써 안전하다는 특징을 가지고 있다.[7-9] 한편, SiON 막에서 저손실 도파손실을 얻기 위한 방편으로 2가지의 손실을 제어해야만 한다. 첫째로, 산란 손실로써 결정, 입계, 두께와 굴절률의 불균일성, 후막 형성시 발생되는

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

particles의 형성으로 인해 발생된다. 두번째로, absorption 손실로써 주된 요인으로 N-H, Si-H가 흡수를 일으키는데 이는 열처리를 통해서 제어가 가능하다.[10,11]

따라서, 본 연구에서는 실리카 광도파로의 코어 층으로 사용되는 SiON 후막을 N_2 가스를 도핑가스로 사용하여 PECVD법으로 산란 손실과 흡수 손실을 제어하여 저손실 실리카 광도파로를 제작하였다. 또한 제작된 광도파로의 특성을 IR camera 를 이용하여 single-mode 형상을 관찰하였다.

2. 실험 방법

SiON 막을 이용한 실리카 광도파로의 증착장비로 Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD)법을 이용하였으며, 본 장비는 증착을 위한 반응기와 시편 취조실인 load/unload chamber로 구성되어 있고(Fig. 1), 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 되어있으며, 13.56 MHz의 rf bias power를 시편에 인가하였다. 증착을 위한 시편으로 p-type Si(100) 웨이퍼가 사용되었으며, 증착하기 전에 N_2 플라즈마 전처리를 행하였다. 실험을 위한 증착조건은 rf power와 rf bias power 를 변수로 하고, 작업진공도와 기판온도 그리고 $SiH_4/(N_2O+N_2)$ 유량비는 각각 0.9 torr, 320°C, 0.25에서 수행하였다. 또한 증착된 시편의 손실의 원인이 되는 N-H, O-H 결합을 제거하기 위해 N_2 분위기에서 1000°C의 고온으로 2 h동안 열처리를 행하였다.

증착된 막의 분석방법으로 prism coupler (Metricon 2010)를 이용하여 1552 nm에서 증착률과 굴절률을 측정하였다. 최적의 증착 조건에서 증착 후, 식각한 후의 형상 (표면

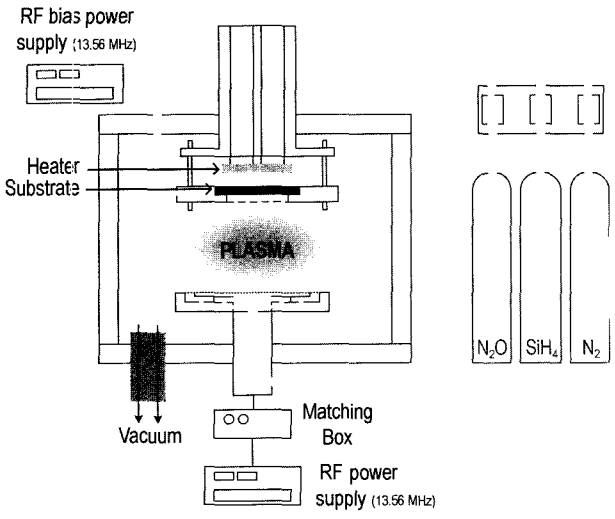

Fig. 1. A schematic diagram of the RF PECVD equipment.

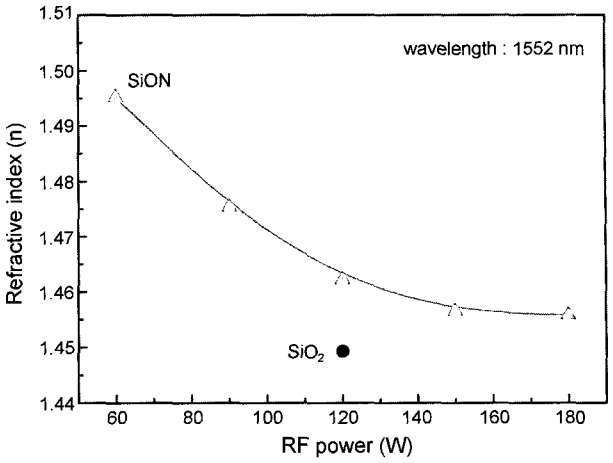

Fig. 2. Refractive index of SiON as a function of rf power.

식각 형상과 단면)을 Scanning Electron Microscopy (SEM, Leica SEM 360)를 통하여 관찰하였으며, 1.55 μm laser를 조사한 후 IR camera를 통하여 single mode 형상을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

실리카 광도파로는 코어 와 클래딩 막으로 구성되어 있으며, 코어 막의 굴절률이 클래딩 막보다 높으며, 굴절률이 높은 정도에 따라 저굴절률 차이(0.35 – 0.75%)와 고굴절률 차이(1.0 – 3.5%)로 구분이 된다. 이런 굴절률 차이에 따라 빛이 도파되는데 필요한 core 막의 두께 및 폭이 결정된다.

저굴절률 차이 실리카 광도파로 제작에서 가장 많이 쓰이고 있는 SiON 막의 rf power 증가에 따른 굴절률의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. PECVD 법으로 성장시킨 SiO_2 막의 굴절률은 rf power가 120 W에서 1.4493으로 thermal oxidation으로 성장시킨 SiO_2(1.4443)의 굴절률 보다 조금 높은 값을 나타내었다. SiON의 경우 rf power가 증가함에 따라 굴절률이 1.4558 – 1.4952로 감소하는 경향을 나타내었다. 이와 같이 rf power가 증가함에 따라 굴절률이 감소하는 이유는 N_2O gas가 SiH_4 gas보다 결합에너지가 낮아서 먼저 해리되며, 또한 rf power가 증가함에 따라 oxygen 생성 확률이 증가함으로 인해서 O/N gas ratio가 증가하여 굴절률이 감소하는 경향을 나타낸다고 보고된 바 있으며,[12] 본 연구에서도 같은 경향의 연구 결과를 나타내었다.

Fig. 3은 rf bias power의 변화에 따른 SiON 막의 굴절률의 변화를 나타내었다. Fig. 2와 유사하게 rf bias power 가 증가함에 따라 굴절률이 감소하는 경향을 나타내었으며, SiO_2 막의 경우 rf bias power 75 W에서 thermal oxidation SiO_2 (1.4443) 막과 동일한 굴절률인 1.4443를 나타내었는

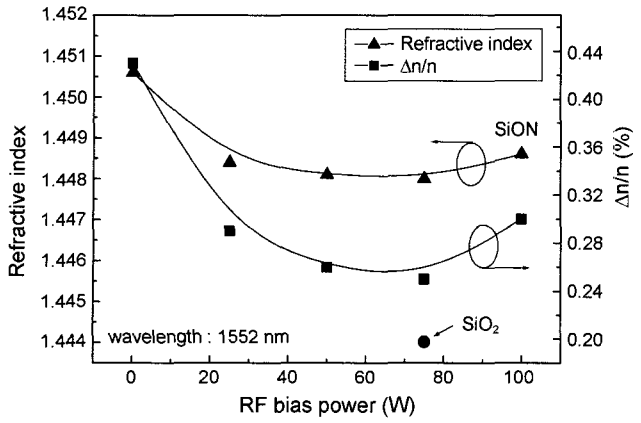

Fig. 3. Refractive index and Δn/n of SiON as a function of rf bias power.

데, rf bias power를 인가함에 따라 기존에 rf power로 인해 생성된 라디칼들이 좀 더 원활히 해리되어 oxygen의 량이 증가함으로써 굴절률이 감소한 것으로 사료되며, 이는 화학양론 SiO_2를 형성하였음을 확인할 수 있었다. SiON의 경우, 75 W까지 막의 굴절률이 감소하는 경향을 보이다가 100 W에서 굴절률이 다시 증가하는 현상을 보이는데, 이와 같은 현상은 초기(< 75 W) rf bias power에서 생성된 oxygen과 nitrogen 중에서 oxygen의 전기음성도가 커서 우선적으로 silicon과 결합을 하게 된다. RF bias power가 증가함에 N_2O의 해리가 더 활발히 이루어지고 SiH_4 라디칼과 반응할 oxygen 라디칼이 모두 소비되고 nitrogen이 SiH_4 라디칼이 solid phase에서 Si-N, Si-H, N-H 결합을 형성하였기 때문에 굴절률이 증가한 것이라 사료된다. 기존의 rf power에서 rf bias power를 추가로 인가한 결과 굴절률 차이(Δn/n) 값이 0.25 – 0.43%로 저굴절률 차이 광도파로 제작에 적합한 결과를 산출하였다.

실리카 광도파로 제작에 사용된 SiO_2/SiON/SiO_2/Si 층의 mode profile을 측정하기 위한 장치 계략도를 Fig. 4에 도시하였다. 1.55 μm 레이저를 광화이버를 통해 input 단에 주입시키고 제작된 광도파로에 coupling 시킨 후 반대편인 output 단자에서 IR camera를 통해 모드의 형상을 관찰하였다.

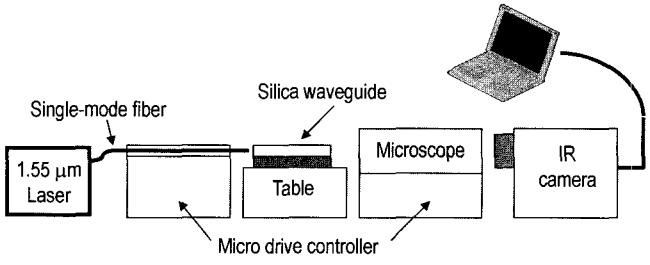

Fig. 4. Schematic setup for silica waveguiding measurements.

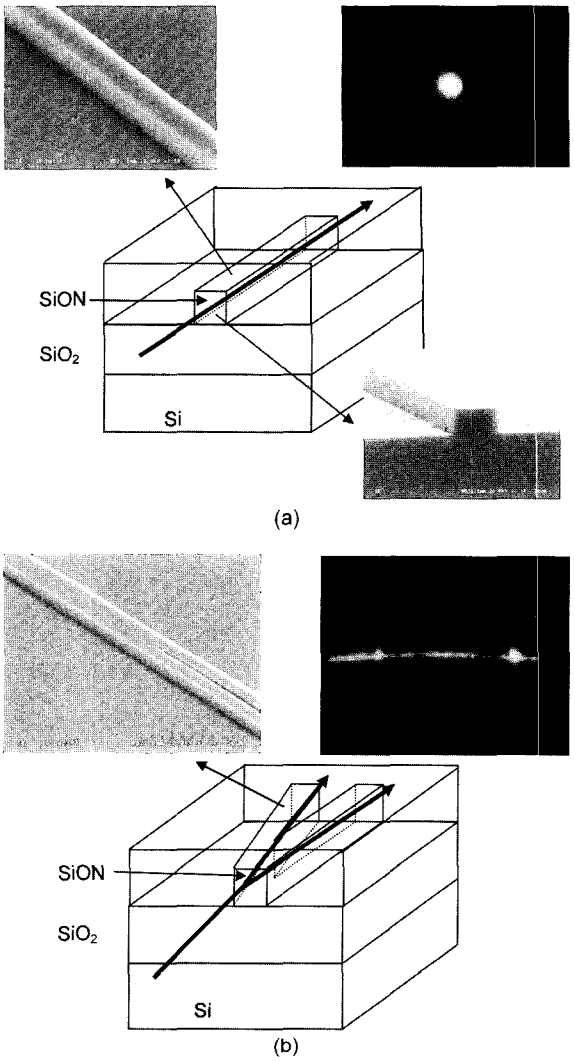

Fig. 5. The input near-field output pattern taken by the display monitor of an IR camera. (a) mode image of straight waveguide and (b) mode image of Y-branch waveguide.

Fig. 5는 PECVD 법으로 제작된 실리카 광도파로를 각각의 형태에 따라 (a) straight waveguide와 (b) Y-branch waveguide로 구분하여 나타내었다. 또한, core 막의 단면 사진과 에칭된 표면의 형태, 그리고 core 막을 도파한 후의 mode 형상을 각각 나타내었다. 단면과 표면의 에칭된 형태는 직사각형 형태로 수직 profile을 확인하였으며, 평판 광도파로 코어의 두께는 6 μm, buffer 막 (SiO_2)과의 굴절률 차이(Δn)는 0.36%이고, 모드의 형상 또한 single mode임을 확인할 수 있었다. Fig. 5(b)의 모드의 경우 두 개로 갈라진 Y-branch 형태의 모드를 확인할 수 있었다. 한편, 양쪽 모두의 경우 에칭된 표면의 사진에서 hole이 생성된 모습을 확인할 수 있었는데, 이와 같은 hole의 생성 원인은 표면에 ions이나 dopant들이 집중되어 있어서 표면 에칭시 과에칭된 것으로 사료된다.

4. 결 론

PECVD법으로 Silicon Oxynitride (SiON) 막을 이용하여 core 막의 굴절률 제어를 통해 저굴절률 차이를 갖는 실리카 광도파로를 제작하였다. RF power가 증가함에 따라 굴절률이 1.4558 – 1.4952 로 감소하였고, 이는 N_2O gas가 SiH_4 gas보다 결합 에너지가 낮아서 먼저 해리되며, 또한 rf power가 증가함에 따라 oxygen 생성 확률이 증가함으로써 굴절률이 감소하는 경향을 나타내었다. 또한, rf bias power가 증가한 경우, 초기에 생성된 oxygen으로 인해 굴절률이 감소하는 현상을 보이다가 SiH_4 라디칼과 반응할 oxygen 라디칼이 모두 소비되고 nitrogen이 SiH_4 라디칼이 solid phase에서 Si-N, Si-H, N-H 결합을 형성하였기 때문에 굴절률이 증가한 것이라 사료된다. RF power와 rf bias power로 굴절률을 제어하여 저굴절률 차이 광도파로를 straight와 Y-branch 형태로 각각 제작하였으며, SEM 결과를 통해 에칭된 형태가 수직 profile을 갖고 side wall의 표면조도가 문제시 되지 않음을 확인하였다. 이와 같이 제작된 저굴절률 차이를 갖는 실리카 광도파로는 빠른 시간에 PECVD 법으로만 cladding과 core 막을 순차적으로 바로 증착한 후 도파로를 제작하여 시간을 단축하였으며 특성 또한 mode 사진을 통해 single mode임을 각각 확인하였다.

REFERENCES

1. M. Huang, "Stress Effects on the Performance of Optical Waveguides," *International J. Solids and Structures*, **40** 1615-32 (2003).
2. S. T. Hanic, J. D. Love, and R. B. Charters, "Cut-Off Wavelength and Transient Effects in Asymmetrically Clad Single-mode Buried-Channel Waveguides," *IEEE Proc.-Optoelectron*, **149** [2] 51-7 (2002).
3. C. R. Doerr, L. W. Stulz, R. Pafchek, K. Dreyer, and L. Zhang, "Potentially Low-Cost Widely Tunable Laser Consisting of a Semiconductor Optical Amplifier Connected Directly to a Silica Waveguide Grating Router," *IEEE Photonics Tech. Lett.*, **15** [10] 1446-48 (2003).
4. J. Zhang, Z. Ren, R. Liang, Y. Sui, and W. Liu, "Planar Optical Waveguide Thin Films Grown by Microwave ECR PECVD," *Surf. & Coat. Tech.*, **131** 116-20 (2000).
5. C. Gorecki, "Optimization of Plasma-Deposited Silicon Oxinitride Films for Optical Channel Waveguides," *Opt. and Lasers in Eng.*, **33** 15-20 (2000).
6. 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** [6] 589-93 (2003).
7. C. H. Henry, R. F. Kazarinov, H. J. Lee, K. J. Orlowsky, and L. E. Katz, "Low Loss Si_3N_4-SiO_2 Optical Waveguides on Si," *Appl. Opt.*, **26** 2621-24 (1987).
8. D. E. Bossi, J. M. Hammer, and J. M. Shaw, "Optical Properties of Silicon Oxynitride Dielectric Waveguides," *Appl. Opt.*, **26** 609-11 (1987).
9. T. S. Eriksson and C. G. Granqvist, "Infrared Optical Properties of Silicon Oxynitride Films : Experimental Data and Theoretical Interpretation," *J. Appl. Phys.*, **60** 2081-91 (1986).
10. R. Chow, W. A. Landford, W. Ke-Ming, and R. S. Rosler, "Hydrogen Content of a Variety of Plasma Deposited Silicon Nitrides," *J. Appl. Phys.*, **53** 5630-33 (1982).
11. A. E. T. Kuiper, M. F. C. Willemsen, and L. J. van Ijzendoorn, "Hydrogen Incorporation in Silicon (Oxy)Nitride Thin Films," *Appl. Phys. Lett.*, **53** 2149-51 (1988).
12. K. Kapser, C. Wagner, and P. P. Deimd, "Rapid Deposition of High-Quality Silicon Oxinitrides," *IEEE Transactions Photonics Tech. Lett.*, **3** 1096-98 (1991).