

실리카 광도파로용 SiON 후막 특성에서 RF Power와 SiH₄/(N₂O+N₂) Ratio가 미치는 영향

김용탁[†] · 조성민 · 서용곤* · 임영민* · 윤대호

성균관대학교 신소재공학과

*전자부품연구원 광부품연구센터

(2001년 10월 19일 접수; 2001년 11월 14일 승인)^{††}

The Effect of RF Power and SiH₄/(N₂O+N₂) Ratio in Properties of SiON Thick Film for Silica Optical Waveguide

Yong-Tak Kim[†], Sung-Min Cho, Yong-Gon Seo*, Young-Min Im* and Dae-Ho Yoon

Department of Advanced Materials Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

*Optical Telecommunication Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Pyungtaek 451-865, Korea

(Received October 19, 2001; Accepted November 14, 2001)^{††}

초 록

플라즈마 화학기상증착(PECVD)법을 이용하여 실리카 광도파로의 코어로 이용되는 규소질산화막(SiON)을 Si 웨이퍼 위에 SiH₄, N₂O, N₂ 가스를 혼합하여 저온(320°C)에서 증착하였다. Prism coupler 측정을 통해 SiON 굴절률 1.4663~1.5496을 얻었으며, SiH₄/(N₂O+N₂) 유량비와 rf power가 각각 0.33과 150 W에서 8.67 μm/h의 증착률을 나타내었다. 또한 SiH₄/(N₂O+N₂) 유량비가 감소함에 따라 SiON 막의 roughness는 41~6 Å까지 감소하였다.

ABSTRACT

Silicon oxynitride (SiON) thick films using the core layer of silica optical waveguide have been deposited on Si wafer by PECVD at low temperature (320°C) were obtained by decomposition of appropriate mixture of (SiH₄+N₂O+N₂) gaseous mixtures under RF power and SiH₄/(N₂O+N₂) ratio deposition condition. Prism coupler measurements show that the refractive indices of SiON layers range from 1.4663 to 1.5496. A high SiH₄/(N₂O+N₂) of 0.33 and deposition power of 150 W leads to deposition rates of up to 8.67 μm/h. With decreasing SiH₄/(N₂O+N₂) ratio, the SiON layer become smooth from 41 Å to 6 Å.

Key words : Silica waveguide, PECVD, Silicon oxynitride, Planar Lightwave Circuit(PLC)

1. 서 론

현대 사회의 기하급수적인 통신 기술의 발전은 가입자에 게까지 광통신 방식이 도입되고 있으며, 광통신망의 경제적 구성과 다양한 서비스를 수용할 수 있도록 망의 유연성을 실현할 수 있는 파장분할다중기(WDM), 커플러(coupler), 필터, 광스위치 등이 사용되고 있다.^{1,2)} 이처럼 다양한 종류의 소자 중에서 파장의 분파, 합파 및 새로운 파장의 가감(add/drop) 등의 기능을 할 수 있는 수동광 소자의 개발이 중요한 분야로 크게 대두되고 있는데, 이와 같은 수동광소자의 개발을 위해 소형화, 집적화, 다기능화 및 저가격화 면에서 장점을 갖는 실리카 평판광회로(PLC:Planar Lightwave Circuits)를 이용한 수동소자가 활발히 연구되고 있다.³⁾

실리콘 기판 위에 제작된 실리카 광도파로의 경우 반도체 레이저와의 결합이 용이하고 Si 집적회로 기술을 이용한다는 장점을 갖고 있으며,⁴⁾ 실리카 광도파로 제작법으로는 low pressure CVD,⁵⁾ plasma enhanced CVD⁶⁾와 microwave plasma CVD⁷⁾ 법등이 이용되고 있으며, 또한 flame hydrolysis deposition(FHD) 법을 이용하여 제작되고 있다.^{8,9)} FHD법의 경우 증착률이 빠른 장점이 있지만, 도펀트 및 화염의 온도 조절이 어렵고, 실리카 입자 증착 후 고온(~1300°C)에서 장시간 고밀화 공정이 필요하다는 단점이 있으며, CVD법의 경우 양질의 막을 얻을 수 있고 표면이 미려하다는 장점을 갖고 있지만 증착률이 느리다는 단점을 가지고 있다.

실리카 광도파로는 core 층과 cladding 층으로 구성되며, core 층을 제작하기 위해서는 nitrogen, fluorine, phosphorous와 germanium 등의 도펀트를 사용하는 용도에 따라 적절히 혼합하여 제조되고 있다. 이러한 core 층은 광의 전송

[†]Corresponding author : ytkim@mail.skku.ac.kr

^{††}This paper was accepted as an on-site paper at the submitted 2001 fall technical meeting of the Korean Ceramic Society.

Table 1. Deposition Condition of the Studied Samples

Sample	Temperature	Pressure	Variable parameter	
			SiH ₄ /(N ₂ O+N ₂) ratio	RF power (W)
SiON1	320°C	0.9 torr	0.05	150
SiON2			0.1	
SiON3			0.17	
SiON4			0.26	
SiON5			0.33	
SiON6			60	0.17
SiON7			90	
SiON8			120	
SiON9			150	
SiON10			180	

로 이용되므로 정확한 굴절률과 두께의 제어가 필요하며, 현재 사용되고 있는 core 층의 형태로는 SiON, Si₃N₄, SiO₂-TiO₂, SiO₂-GeO₂ 등이 이용되고 있다.¹⁰⁻¹²⁾ 그 중에서 SiON 층의 특성을 살펴보면 비정질 형태로서 결정질의 경우 유발되는 복굴절의 생성여부와 etching시 방향성에 따른 etching 정도의 차이를 극복할 수 있으며 변수에 따라 굴절률의 변화(1.46-2.1)가 용이하고, 광섬유와 재질이 비슷하여 0.01 dB로 fresnel reflection이 작다는 장점을 가지고 있다.¹³⁾

따라서, 본 연구에서는 실리카 광도파로의 core 층을 위한 SiON 후막을 PECVD 법을 이용하여 증착하였고, 기존의 CVD법에서 문제시 되었던 증착률을 향상 시켰으며, RF power 와 SiH₄/(N₂O+N₂) 유량비의 변화에 따른 특성변화를 고찰하였다.

2. 실험방법

Silicon oxynitride(SiON) 후막 증착장비로 플라즈마 화학 기상증착(PECVD) 법을 이용하였으며 증착 조건은 Table 1에 나타내었다. 본 장비는 증착을 위한 reaction chamber와 시편 취조실인 load/unload chamber로 구성되어 있다.¹⁴⁾ 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 depo-up 방식으로 되어 있다. 증착을 위한 시편으로 p-type Si(100) 웨이퍼가 사용되었으며, 증착하기 전에 N₂ 플라즈마 전처리를 행하였다. 전처리 압력은 0.3 torr를 유지하며 100 sccm이 주입되었고 전처리 시간은 10 분간 행하였다. Si 웨이퍼 기관의 세척은 황산용액으로 90°C에서 10분간 침전 후 D.I. water로 초음파 세정 후 HF(hydrofluoric acid)용액으로 자연산화막을 식각하였다.

증착된 SiON 후막의 분석방법으로 prism coupler를 이용

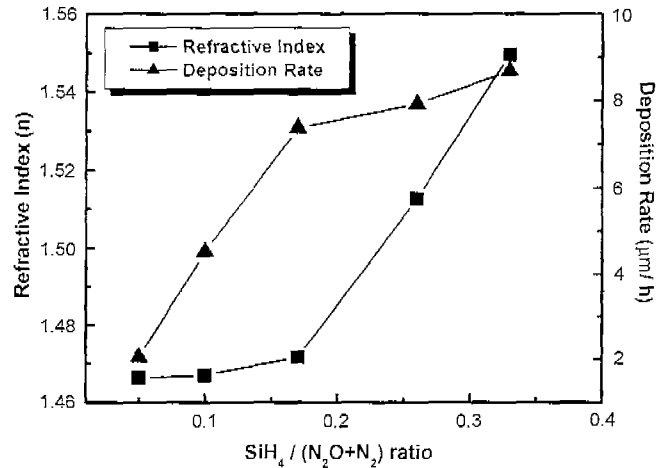


Fig. 1. Refractive index at λ=632.8 nm and deposition rate as a function of SiH₄/(N₂O+N₂) ratio.

하여 632.8 nm에서 굴절률과 증착률을 측정하였으며, Atomic Force Microscopy(AFM)을 이용하여 막의 표면형상과 표면조도를 관찰하였으며, 최적의 증착조건에서 Scanning Electron Microscopy(SEM)을 통하여 그 단면을 고찰하였다.

3. 결과 및 고찰

SiH₄/(N₂O+N₂) 유량비에 따른 굴절률과 증착률의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. SiH₄/(N₂O+N₂) 유량비가 0.05~0.33으로 증가할수록 SiON 막의 증착률은 2.1~8.6 µm/h로 증가하였다. 이때 사용된 증착조건은 power 150 W, 증착온도 320°C이고, 반응시 전체 압력을 0.9 torr로 유지하였다. SiH₄/(N₂O+N₂) 유량비가 0.17 이하에서는 유량비가 증가할수록 증착률의 증가폭이 증가하였지만, 0.17 이상에서는 증착률의 증가폭이 현저히 감소하였는데, 이것은 SiH₄ 라디칼들이 표면에 흡착되는 것이 제한되는 단계로 설명할 수 있다. 즉, SiH₄/(N₂O+N₂) 유량비가 증가함에 따라 SiH₄ 라디칼끼리 재결합할 확률이 높아지기 때문에 증착률의 증가폭이 감소한 것으로 사료된다. 굴절률의 경우 SiH₄/(N₂O+N₂) 유량비가 증가함에 따라 1.4663~1.5496으로 증가하였다. 유량비가 각각 0.05와 0.33인 경우 SiO₂(1.4663)와 SiON(1.5496) 막의 굴절률을 나타내었다. 이와 같이 유량비가 증가할수록 굴절률이 증가하는 현상은 oxygen 라디칼 개수 당 SiH₄ 라디칼들의 수가 증가하기 때문에 oxygen 라디칼과 결합하고 남은 여분의 SiH₄ 라디칼들이 nitrogen 원소와 반응하여 SiON 막을 형성시켰기 때문이다. Fig. 1의 결과로부터 8 µm/h 이상의 증착률을 나타내는 양질의 SiON 막의 단면을 SEM 분석을 통하여 Fig. 2에 나타내었다.

SiON 막의 특성을 좀 더 자세히 관찰하기 위하여 위에서 얻어진 조건을 활용하고 rf power에 따른 굴절률과 증착률

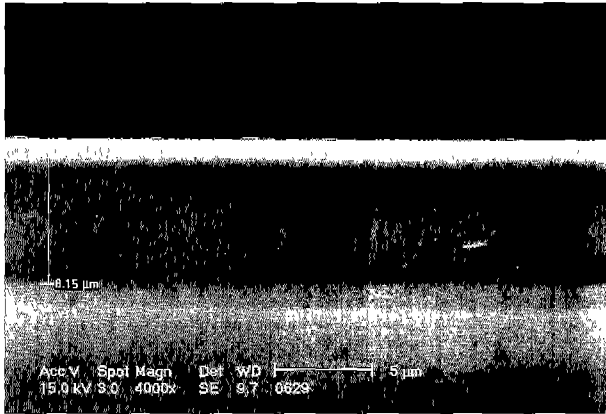


Fig. 2. SEM photograph for a SiON thick film.

의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. $\text{SiH}_4/(\text{N}_2\text{O}+\text{N}_2)$ 유량비를 0.17로 고정하였으며, 증착온도 320°C , 진체압력은 0.9 torr로 유지하였다. power가 60~180 W로 증가함에 따라 증착률은 4.4~6.7 $\mu\text{m}/\text{h}$ 로 증가하였다. rf power가 120 W 이상의 경우 증착률이 포화하는 구역(mass transport limited regime)이 관찰되는데 이와 같은 현상이 나타나는 이유는 SiON을 증착하기 위한 소스의 양이 한정되어 있기 때문에 rf power가 증가하여도 더 이상 증착률이 증가하지 않는 것으로 판단된다. 굴절률의 경우 rf power가 증가할수록 1.5092~1.4698로 감소한 이유는, O/N 비가 증가하였기 때문인데 이에 대한 성장기구 해석은 다음과 같다.



(1)의 경우 rf power가 낮을 때 N_2O 분자에서 oxygen

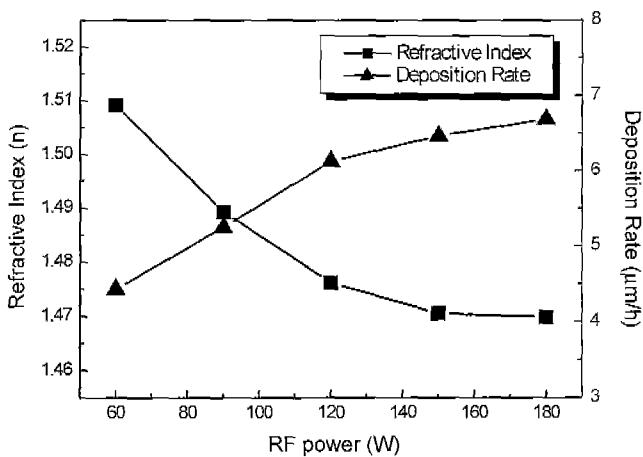


Fig. 3. Refractive index at ($\lambda=632.8$ nm and deposition rate as a function of RF power.

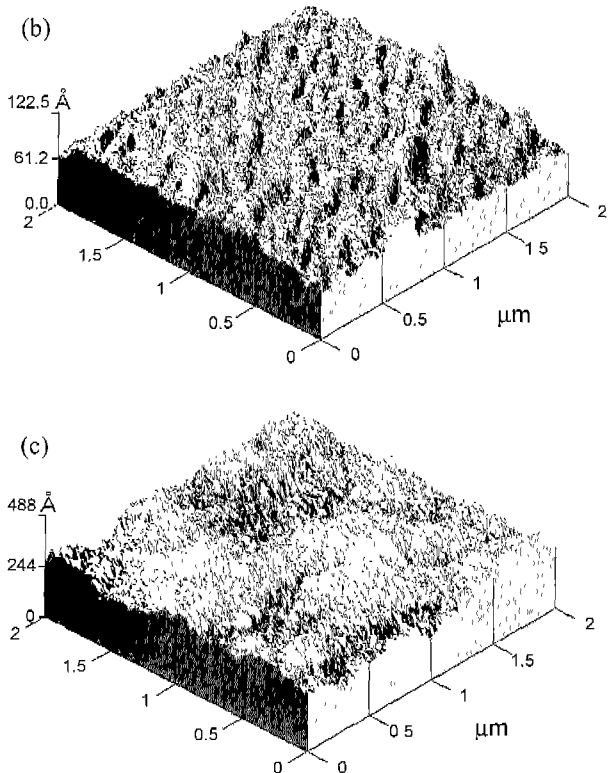
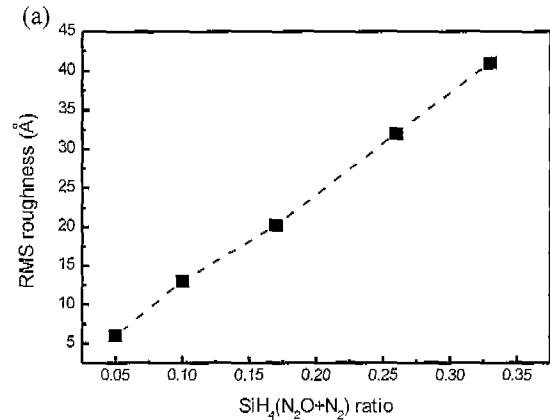


Fig. 4. RMS surface (a) roughness of the SiON films as a function of $\text{SiH}_4/(\text{N}_2\text{O}+\text{N}_2)$ ratio and AFM images of the SiON film deposited at $\text{SiH}_4/(\text{N}_2\text{O}+\text{N}_2)$ ratio of (b) 0.05 and (c) 0.33.

원자를 분리하는 과정에 해당하며, 이때 분리되어 생성된 oxygen 원자는 막을 형성하는데 사용되거나 (2)의 경우와 같이 N_2O 분자와 결합하여 NO 라디칼을 생성시키는데 사용된다. rf power가 높을 경우 N_2O 분자에서 oxygen 원자의 생성률이 증가하여 결국에는 NO 라디칼과 결합하여 NO_2 라디칼을 생성하게 된다. 즉, rf power가 증가함에 따라 O/N 비가 증가하기 때문에 굴절률이 감소하는 것으로 사료된다.

Fig. 4(a)는 $\text{SiH}_4/(\text{N}_2\text{O}+\text{N}_2)$ 유량비에 따른 표면조도의 변

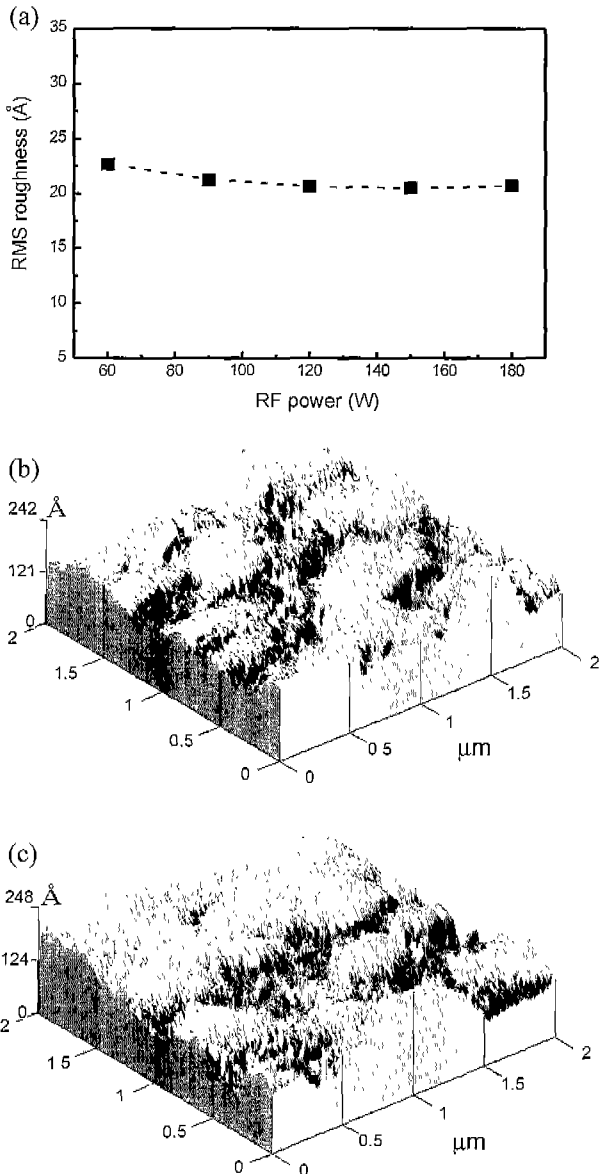


Fig. 5. RMS surface (a) roughness of the SiON films as a function of RF power and AFM images of the SiON film deposited at (b) 60 W and (c) 180 W.

화를 나타낸 것인데, 플라즈마 내로 유입되는 SiH₄/(N₂O+N₂) 유량비가 증가함에 따라 표면조도도 급격히 증가함을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 과잉의 SiH₄ 라디칼들이 nitrogen과 homogeneous reaction을 이루어 막내에 증착되어 표면조도가 급상승한 것으로 사료된다. Fig. 4(b,c)는 SiH₄/(N₂O+N₂) 유량비가 각각 0.05(RMS roughness : 6 Å)와 0.33(RMS roughness : 41 Å)에서의 표면 형상을 나타낸 것으로 유량비가 증가함에 따라 표면조도의 차이가 현저히 나타남을 확인할 수 있었다.

Fig. 5(a)는 SiH₄/(N₂O+N₂) 유량비를 0.17로 고정하고 rf power가 증가함에 따라 표면조도값은 초기에 감소하다가 거

의 일정한 값을 나타내고 있다. 일반적으로 박막의 두께가 증가할수록 표면조도가 증가하는데 이러한 측면에서 고려해 보면 위의 결과를 설명할 수가 없다. 이것은 제한된 유량에서 rf power가 증가함에 따라 더 높은 표면이동도를 갖는 활성화된 라디칼들이 생성되며 이렇게 활성화된 라디칼들이 막표면에서 더 낮은 부분까지 이동이 가능하여 거친 막표면을 감소시키는데 기여하여 결국 성장된 막의 표면조도를 감소시킨 것으로 사료된다. Fig. 5(b,c)는 rf power가 각각 60 W(RMS roughness : 22.7 Å)와 180 W(RMS roughness : 20.7 Å)에서의 표면 형상을 나타낸 것으로 rf power가 증가함에 따라 표면조도가 감소함을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 PECVD법으로 굴절률을 조절하여 평면도파로의 core층에 이용될 수 있는 SiON 막을 제작하였다. RF power와 SiH₄/(N₂O+N₂) 유량비를 변수로 하여 최고 8.67 μm/h의 증착률을 나타내었으며, 굴절률의 경우 1.4663~1.5496까지 얻을 수 있었다. 또한 SiH₄/(N₂O+N₂) 유량비가 0.05일 경우 6 Å의 상당히 미려한 표면조도를 얻을 수 있었다. 이상과 같이 제작된 SiON 막의 굴절률 값은 1.46에서부터 약 1.55까지, SiH₄/(N₂O+N₂) 유량비나 rf power를 변화시키면서 자유 자재로 얻을 수 있는 특징을 가지고 있다. 따라서, 평면도파로 설계 및 제작시 중요시되는 변수중의 하나인 굴절률 제어가 용이하며, 기존의 CVD법에서 문제시되는 증착률을 8 μm/h 이상으로 향상시켰다. 또한 homogeneous reaction을 배제하고 heterogeneous reaction을 최적화하여 표면조도를 향상시킴으로써 core 층에서 문제시되는 roughness에 의한 scattering loss를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. M. Kawachi, "Silica Waveguides on Silicon and their Application to Integrated-optic Components," *optical and Quantum Electronics*, **22**, 391-416 (1990).
2. A. K. Chu, *et al.*, "Multilayer Dielectric Materials of SiO_x/Ta₂O₅/SiO₂ for Temperature Stable Diode Lasers," *Materials Chemistry and Physics*, **42**, 214-216 (1995).
3. M. H. Kibel, *et al.*, "X-ray Photoelectron Spectroscopy Study of Optical Waveguide Glasses," *Surface and Interface Analysis*, **24**, 605-610 (1996).
4. C. H. Henry, *et al.*, "Low loss Si₃N₄-SiO₂ Optical Waveguides on Si," *Applied optics*, **26**(13), 2621-2624 (1987).
5. K. Wörhoff, *et al.*, "Optimization of LPCVD Silicon Oxynitride to Large Refractive Index Homogeneity and Layer Thickness Uniformity." *Proc. SPIE*, 257-268 (1997).
6. T. Storgaard-larsen, *et al.*, "Nitrogen Doped Germania Glasses with Enhanced Optical and Mechanical Properties," *J. Electrochem. Soc.*, **144**(6), 2137-2142 (1997).

7. S. Kashimura, *et al.*, "Refractive-index-adjustment of SiO₂-GeO₂ Films Deposited by Radio Frequency Magnetron Sputtering," *Applied Surface Science*, **142**, 58-62 (1999).
8. N. Takato, *et al.*, "Silica-based Single-mode Waveguides on Silicon and their Application to Guided-wave Optical Interferometers," *J. of Lightwave Tech.*, **6**(6), 1003-1010 (1988).
9. J. K. Sim, *et al.*, "Fabrication of Low Loss Silica Waveguide by Flame Hydrolysis Deposition," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **37**(6), 524-529 (2000).
10. M. Kawachi, *et al.*, "Fabrication of SiO₂-TiO₂ Glass Planar Optical Waveguide by Flame Hydrolysis Deposition," *Electronics Letters*, **19**(15), 583-584 (1983).
11. T. Miya, "Silica-based Planar Lightwave Circuit : Passive and Thermally Active Devices," *IEEE Quantum Electronics*, **6**(1), 38-45 (2000).
12. C. H. Henry, *et al.*, "Low loss Si₃N₄-SiO₂ Optical Waveguide on Si," *Applied Optics*, **26**(13), 2621-2624 (1987).
13. F. Bruno, *et al.*, "Plasma-enhanced Chemical Vapor Deposition of Low-loss SiON Optical Waveguides at 1.5 Wavelength," *Applied Optics*, **30**(31), 4560-4564 (1991).
14. Y. T. Kim, *et al.*, "Surface Analysis of a-SiC:H Deposited by RF Plasma-enhanced CVD," *J. Kor. Asso. Crystal Growth*, **10**(1), 1-4 (2000).