

SiON 박막의 광학적 특성에 대한 연구

The study of SiON thin film for optical properties.

김도형, 임기주, 김기현, 김현석, 김상식, 성만영
(D.H Kim, K.J IM, K.H Kim, H.S Kim, S. Kim, M.Y Sung)

Abstract

We studied optical properties of SiON thin-film in the applications of optical waveguide. SiON thin-film was grown in 300°C by PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition) system. The change of SiON thin-film composition and refractive Index was studied as a function of varying NH₃ gas flow rate. As NH₃ gas flow rate was increased, Quantity of N and refractive index were increased at the same time. By the results, we could form the SiON thin-film to use of a waveguide with refractive index of 1.6. We analyzed the conditions of the thin-film with FTIR(fourier transform infrared) and OES(optical emission spectroscopy).

N-H bonding(3390cm⁻¹) can be removed by thermal annealing. And we could observe the SiH bonding state and quantity by OES analysis in SiH₄

Key Words : SiON, FTIR(fourier transform infrared), AES(Auger electron spectroscopy), refractive index, PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition), OES(optical emission spectroscopy)

1. 서 론¹⁾

두꺼운 실리콘 질산화막(SiON)과 산화막(SiO₂)은 절연층, 기판의 격리, 광통신용 소자 등과 같은 여러 분야에 사용되어지고 있다.

지금까지 반도체 박막 형성에는 CVD (chemical vapor deposition)에 의한 방법이 많이 사용되어 왔다. 일반적으로 소자 개발을 위해 산화막 생성 시 낮은 형성온도가 요구되기 때문에 PECVD에 의한 산화막이나 질화막이 주로 적용되고 있다. [1][2]

통신의 발달로 인하여 고주파 광대역 광통신이 요구됨에 따라 이러한 데이터를 신뢰할 수 있는 고품질의 광통신 소자 개발이 절실히 됐다. 광통신용 소자는 낮은 입력손실, 효율적인 fiber pigtailed,

고집적도 등의 특성을 가지고 있어야 한다. 도핑된 실리콘이나 LiNbO₃를 이용한 시스템에서는 fiber-chip coupling 효율성이 뛰어나지만 집적화를 위해 큰 bend radii가 필요하다는 단점이 있다. 반면 III-V를 이용한 시스템은 이런 단점을 극복할 수 있지만 fiber-chip coupling 효율성이 떨어진다.[3]

이러한 문제점은 실리콘 질산화막(SiON)과 산화막(SiO₂)을 통해 광학 소자와 미세전자 소자(microelectronics device)의 집적화를 통해 해결할 수 있게 되었다. 미세소자 성분을 실리콘 기판 위에 집적시킨 평판 광 도파로는 집적화된 센서, 미세장치, 광통신용으로 사용되어질 수 있다.

최근 수년간 실리콘 질산화막은 열광학적(thermo-optical) 혹은 광학적인 능동 소자를 구현하는데 선택성이 좋고 가시광선 파장영역과 적외선 파장영역에서 낮은 흡수 손실과 같은 뛰어난 광학 특성을 가지고 있는 것으로 연구되어졌고 이를 집적 광소자에 응용하고 있다. 더욱이 굴절률을

고려대학교 전기공학과
(서울시 안암동 5가 1번지,
E-mail : sangsig@korea.ac.kr)

1.45(SiO₂)~2.0(Si₃N₄)사이의 큰 범위에서 [O]/[N]의 비율에 의해 쉽게 조절할 수 있는 장점을 가진다. 또 다른 측면에서는 기본적인 실리콘 기판을 사용하여 집적화된 광소자를 제작할 수 있으며 지금까지 연구되어진 실리콘 소자 성분과 같은 실리콘 기판에 형성하여 시스템의 집적화 및 시스템의 대규모 생산을 용이하게 할 수 있다.[4]

2. 실험

본 실험에서는 p형 Si(100) 시편을 사용하였다. 반응기 기판(substrate)의 직경은 6 inch이며 rf 발생기의 주파수는 13.56 MHz 이고, 부하는 parallel type 용량형이다. 기판을 회전시키므로 생성된 라디칼들이 기판 표면에 고르게 증착되어질 수 있도록 하였다. 공정 시 반응기 내부 압력은 580~700 mTorr 였으며 반응 가스들로는 SiH₄, N₂O, NH₃를 사용하였다. SiH₄ 가스에 Ar 5 %를 희석하여 사용하였다. 표 1은 본 실험에서 SiON 막의 형성을 위한 가스 비에 따른 공정조건을 나타낸 것이다.

표 1. SiON막들의 공정 조건.

Table 1. Deposition condition of SiON films.

Sample	SiH ₄	N ₂ O	NH ₃	N ₂ O /N ₂ O+NH ₃
SiON 1	10sccm	12.8sccm	15.1sccm	0.46
SiON 2	10sccm	12.8sccm	25.2sccm	0.34
SiON 3	10sccm	12.8sccm	35.3sccm	0.27

표 1과 같이 가스량을 변화시켜 주면서 SiON막을 형성한 후 박막의 굴절률을 측정하기 위해 n&k 박막 특성 분석기(NKT 1200)를 이용하였다. 또한 SiON막의 표면과 계면에서의 원소의 성분 분석과 depth profile은 AES로 분석하였으며 박막에서 각 분자간의 결합구조를 규명하기 위해 FTIR 분석을 하였다. 마지막으로 SiON 박막 형성에서 SiH₄으로 인한 영향을 알아보기 위해 OES 분석을 하였다. SiH₄ 단일 가스를 반응기 내부에 10 sccm 주입하고 플라즈마를 생성한 후 spectrometer(Triax 320)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 암모니아 flow rate에 따른 AES depth profile을 보여준다. 암모니아 가스의 비율을 증가시킬수록 SiON 박막에 포함된 질소의 양이 조금씩 증가하였고 또한 이에 따라 산소의 양이 조금씩 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 암모니아 가스량의 증가가 N-H bond의 증가에 영향을 미치고 있음을 보여준다. 이는 그림 3에서의 N-H의 결합이 증가하면서 3390 cm⁻¹의 피크가 감소하는 것으로 확인 할 수 있다.

그림 2는 암모니아 flow rate에 따른 파장별 굴절률의 변화를 보여준다. n&k 박막 특성 분석기를 통해 얻어진 굴절률을 보면 SiON 박막내의 질소가 증가하고 산소가 감소하면 SiON 박막의 굴절률은 증가하고 밴드갭 에너지는 점차 작아지는 것을 볼 수 있었다. 이는 SiON에서 N의 주 공급원인 암모니아 양이 증가하기 때문이다. 암모니아 양이 증가하면 플라즈마에 의해 깨어져 나오는 라디칼들의 밀도가 달라지면서 NH 라디칼이 차지하는 비율이 높아지게 된다.

그림 3은 SiON 막을 FTIR로 분석한 데이터이다. 여기에서는 AES에서 검출되지 않는 H의 존재를 확인할 수 있다. H의 존재는 SiON waveguide에서 1.54 μm파장의 광학적 손실을 발생시킨다. 이는 주로 N-H 결합 형태로 나타나게 된다. 그림 3에서 보면 Si-O 요동(rocking)과 신축(stretching) 진동이 각각 450과 1065 cm⁻¹에서 관찰되고 Si-H 굽힘(bending)과 신축 진동이 각각 2350과 815 cm⁻¹, N-H 신축 진동은 3390 cm⁻¹, O-H 신축 진동은 3620 cm⁻¹에서 각각 관찰되었다.[5] 이는 암모니아 가스량이 증가하면서 박막 내 N-H 결합이 증가하고 O-H 결합이 감소함을 그림 3으로부터 알 수 있다. NH₃의 양을 증가시키면 waveguide에 적합한 굴절률을 얻을 수 있지만, N-H의 결합을 증가시켜 광학적 손실을 야기시킬 수 있다. 이는 고온에서 열처리를 통해 제거할 수 있다.

비록 미량이지만 박막 구성 원소와 결합구조가 변하면서 굴절률에 크게 영향을 준다는 것을 알 수 있으며 각각의 결합구조에 의한 광학적인 변화가 있음을 알 수 있다.

그림 4는 SiH₄의 PECVD 내에서의 OES의 스펙트럼을 나타낸 것이다. 이는 또 다른 H의 공급원이라 여겨지는 SiH₄의 결합상태를 알 수 있게 해준다. 여기에서 SiH₄는 SiH^{*}의 형태로 나타나며 이 피크는 414 nm에서 발광(emission)이 발생한다. 그리고 주변의 피크는 N₂의 피크에 해당된다.[6]

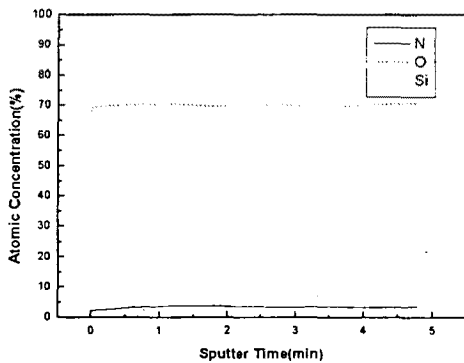
그림 5에서 파워에 따른 OES의 변화를 살펴보면

파워가 증가할수록 SiH₄의 intensity가 증가함을 확인할 수 있지만 150 W 이상으로 올라가면 거의 포화가 될 것이라고 생각된다. 이는 파워가 증가할수록 성장률이 높아지는 것과 연관지을 수 있다. 하지만 파워가 약해질수록 주변에서 나타나는 N₂의 피크가 감소되어 박막에 증착되는 SiH₄의 양을 증가시킬 수 있음을 확인할 수 있다. 그리고 이를 이용하여 적절한 파워의 조정으로 박막의 특성을 향상시킬 수 있을 것이라 생각되어진다.

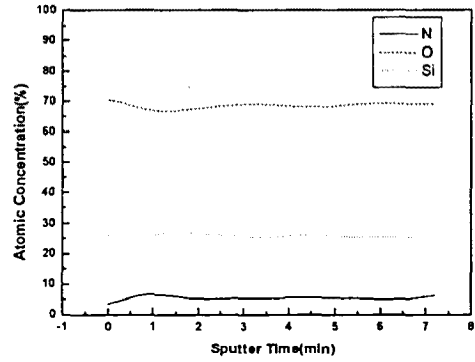
4. 결론

본 연구에서는 waveguide로 응용될 수 있는 SiON 박막의 광학적 특성과 구조적 특성에 대해 연구를 수행하였다. 이로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

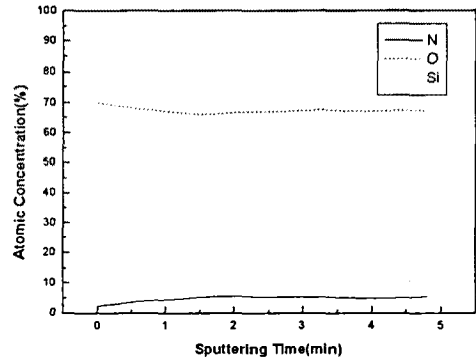
- (1) NH₃의 양이 증가할수록 N의 비가 증가함을 확인할 수 있는데 이는 SiON 박막 형성 시 N의 공급원이 NH₃임을 유추할 수 있다.
- (2) N의 양이 증가할수록 SiON 박막에서의 굴절률이 증가함을 알 수 있다. 여기서 우리는 waveguide에 응용되는 1.5~1.6 정도의 굴절률을 가지는 SiON 박막을 성장시킬 수 있었다.
- (3) FTIR의 결과를 통해 NH₃의 증가로 인해 N-H bond의 증가함을 확인할 수 있었고 이는 열처리를 통해 제거할 수 있다.
- (4) OES의 분석을 통해 박막의 성장에 대해 알 수 있다. RF 파워를 증가시킬수록 SiH의 피크가 증가하지만 동시에 N₂의 피크도 증가하게 된다. 하지만 파워를 낮출수록 SiH의 피크가 주로 나타나게 되는데 이를 통해 양질의 박막을 성장시킬 수 있는 파워를 확인할 수 있다.



(a)SiON 1



(b)SiON 2



(c)SiON 3

그림 1. SiON 3의 AES 분석.

Fig 1. AES analysis of the SiON 3

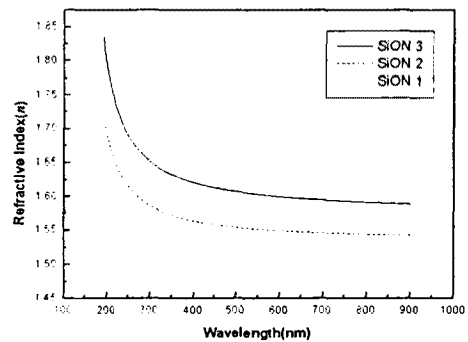


그림 2. SiON막들의 n&k 분석.

Fig. 2. n&k analysis of the SiON films

표 2. SiON막들의 굴절률과 밴드갭 에너지

Table 2. Refractive Index and Band-gap energy of the SiON films

Sample	Refractive Index	E_g
SiON 1	1.50	7.24 eV
SiON 2	1.55	6.55 eV
SiON 3	1.61	6.03 eV

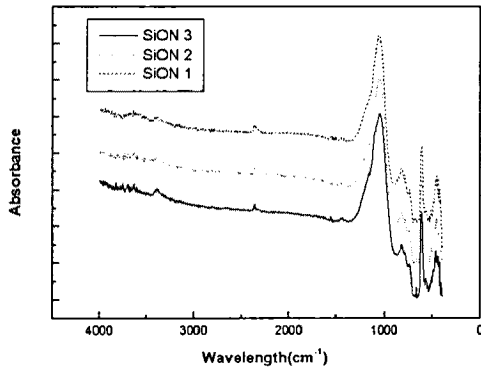


그림 3. SiON막들의 FTIR분석

Fig. 3. FTIR analysis of the SiON films

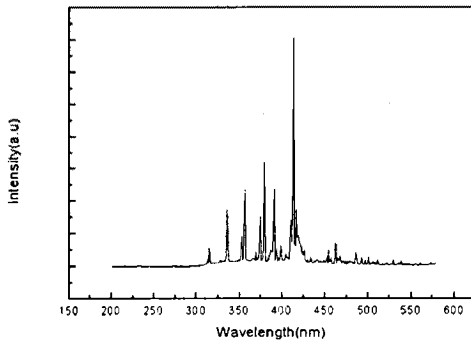


그림 4. PECVD 내부에서의 SiH₄ OES spectrum

Fig. 4. OES spectrum of SiON in the PECVD

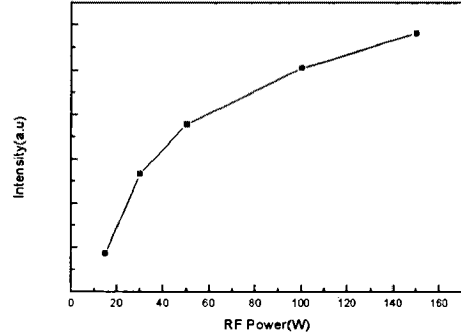


그림 5. 파워에 따른 OES intensity의 변화

Fig. 5. The variation of OES intensity as a function of Power

감사의 글

본 연구는 기초과학지원 연구소 한빛 플라즈마 과제
의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] C. E. Morosanu, The Films Science and Technology, vol. 7, 519-523, 1990.
- [2] Herman V. Boenig, Fundamentals of Plasma Chemistry and Technology, vol. 6, 172-178, 1988.
- [3] A. M. Radojevic. IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 12, 1653-1655, 2000.
- [4] Jocelyn Viard, Journal of the European Ceramic Society, vol 17, 2001-2005, 1997.
- [5] D.V. Tsu, Phys. Rev. B, vol. 33, 7069-7076, 1986.
- [6] A. J. Flewitt, Thin Solid Films, vol. 383, 172-177.