

**Pulsed-PECVD를 이용한 SiN 박막의 SiH<sub>4</sub>-NH<sub>3</sub>에서의 상온 증착:  
Duty ratio의 이온에너지와 굴절률에의 영향**

김수연, 김병환\*  
세종대학교 전자공학과

**SiN film deposition using by a Pulsed-PECVD at room-temperature :  
Effect of Duty ratio on Ion energy and Refractive index**

Suyeon Kim, Byungwhan Kim\*  
Electronic Engineering, Sejong Univ.

**Abstract :** SiN 박막을 Pulsed-PECVD를 이용하여 증착하였다. 박막특성으로는 굴절률, 플라즈마의 특성으로는 이온 에너지 분포를 duty ratio의 함수로 분석하였다. 50-100%의 범위에서 duty ratio의 감소에 따라 고 이온 에너지는 크게 증가하였으며, 반대로 저 이온 에너지는 감소되었다. 굴절률은 duty ratio의 감소에 따라 증가되었으며, 모든 duty ratio의 변화에서 1.75-1.81 사이에서 변화하였다. 40-90%의 duty ratio에서 저 이온 에너지 플럭스보다 고 이온 에너지 플럭스가 높았다. 한편, 굴절률의 변화는 N<sub>h</sub>의 변화에 가장 밀접하게 연관되어 있음을 확인할 수 있었다.

**Key Words :** SiN 박막, Pulsed-PECVD, Duty ratio, 이온 에너지, 굴절률

1. 서 론

실리콘 나이트라이드(SiN) 박막은 우수한 확산 방해물의 역할과 동시에 열적, 화학적으로 안정적이기 때문에 반도체 소자 제조에서 MOS gate 절연체나 산화막 마스크로서 매우 뛰어난 성능을 내고 있다. 본 논문의 SiN 박막 제조에 사용된 Pulsed-PECVD는 다양한 박막 제조에 응용이 되고 있다 [1-3]. 보다 낮은 온도 또는 상온에서의 SiN 박막 제조가 많이 시도되고 있으며 [3-8] 최근 상온 공정 중 낮은 rf 소스 전력에서도 높은 굴절률을 얻을 수 있음이 보고된 바 있다 [7]. 그러나 증착된, 특히 상온에서, SiN 박막의 성질을 duty ratio에 대한 영향으로 연구된 사례가 거의 없다. 한편, 박막특성과 플라즈마에 밀접한 관계가 있는 이온 에너지가 박막 특성과의 관계를 분석하는데 효과적으로 사용될 수 있을 것이다 [3, 8-9].

본 연구에서 Pulsed-PECVD [Plasmart]를 이용하여 SiN 박막을 SiH<sub>4</sub>-NH<sub>3</sub> 방전에서 증착하였다. 이온에너지와 굴절률에의 duty ratio의 영향을 고찰하였다. 또한 이온에너지와 굴절률간의 상관성을 연구하였다.

2. 실험

2.1 실험 장치

본 논문에서 사용된 상온에서의 SiN 박막 증착에 이용된 Pulsed-PECVD는 논문 [7]에 자세히 기록되어 있다. PECVD는 고밀도 ICP Ar/O<sub>2</sub> 플라즈마 발생 모듈로 ±5% 오차의 균일도를 갖는 고밀도 플라즈마 소스를 탑재하고 있으며, 13.56MHz의 RF 전력이 인가된다. 본 장비는 펄스 RF 전력을 인가 할 수 있는 시스템이며, 펄스 시스템의 가장 중요한 키는 duty ratio이다. Duty ratio는 펄스의 한 주기 동안 플라즈마가 on 되는 시간이다. SiN은 한 면이 연마된 p-type의 실리콘 웨이퍼 (100)에 증착하였다. 웨이퍼는

525±25 μm의 두께와 1~30 Ω·cm의 저항률을 가졌다. Duty ratio 변화에 따른 SiN 박막 특성을 보기 위한 공정 조건은 표 1과 같다. 공정 시간은 300초이다.

표 1. 증착 조건

공정 변수	범 위	단 위
소스 전력	800	W
Frequency	250	Hz
Duty ratio	40-100	%
SiH <sub>4</sub>	8	sccm
NH <sub>3</sub>	22	sccm

2.2 실험 데이터

본 논문에서 다루고 있는 이온 에너지에 대해서는 논문 [9]에 상세히 기록되어 있다. 이온에너지 분석시스템을 이용하여 이온 에너지 분포를 얻었다. 데이터 분석에 이용된 수치는 공정 중 수집된 73개의 실시간 이온 에너지 분포 데이터를 평균한 것이다. SiN 박막과의 상관성을 살펴보기 위해 고 이온 에너지(E<sub>h</sub>), 저 이온 에너지(E<sub>l</sub>), 고 이온 에너지 플럭스(N<sub>h</sub>) 그리고 저 이온 에너지 플럭스(N<sub>l</sub>)를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 duty ratio의 변화에 따른 이온 에너지의 변화이다. 고 이온 에너지, E<sub>h</sub>는 100에서 50%로의 duty ratio 변화에 따라 증가한다. 이는 소스 전력을 줄였을 때와 같은 현상이다 [8]. E<sub>h</sub>의 증가는 플라즈마 쉬스에서 강한 전위 형성에 기인한다. 반대로 E<sub>l</sub>는 duty ratio가 감소함에 따라 약간씩 감소하고 있다.

그림 2에는 duty ratio의 변화에 따른 이온 에너지 플럭스의 변화가 도시되어 있다. 그림 2에서 N<sub>h</sub>는 100%에서

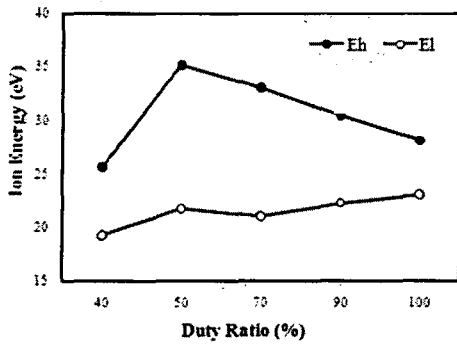


그림 1. 이온 에너지

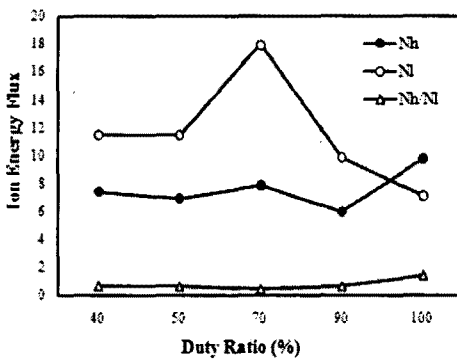


그림 2. 이온 에너지 플럭스

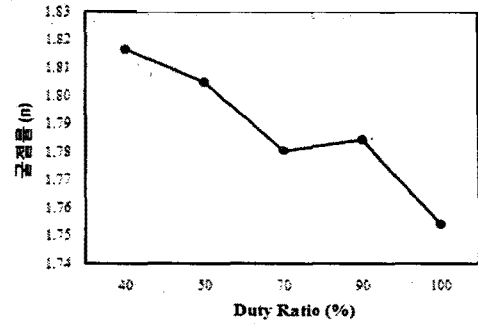


그림 3. 굴절률

로 사료된다. Duty ratio가 50%에서 40%로 감소할 때 굴절률은 더 증가한다. 이 때  $N_i$ 는 일정하며,  $N_h$ 은 증가한다. 일정한  $N_i$ 의 변화는 표면에서의 Si의 편입이 미미한 것을 의미한다. 또한  $N_h$ 의 증가가 앞서의 설명과 같이 Si-H를 깨는 역할을 수행한다고 보기 어렵다, 이 경우 굴절률이 감소해야하기 때문이다. 결국, 40%에서의 높은 굴절률은 증대된  $N_h$ 에 의해 N-H의 깨짐과 이로 인한 [Si-H]의 증대에 기인하는 것으로 해석할 수 있다. 결국, 모든 duty ratio에 대해서  $N_h$ 가 굴절률에 영향을 미치는 가장 중요한 변수로 확인되었다. 모든 duty ratio에 대해서 굴절률은 1.75와 1.81의 범위에서 변화하였다.

#### 4. 결론

본 논문에서 Pulsed-PECVD를 이용하여 SiN 박막을 증착하였으며, SiN의 굴절률과 이온에너지 분포에의 duty ratio의 영향을 살펴보았다. Duty ratio에 따라  $E_h$ 와  $E_i$ 의 경향은 반대였다. 굴절률과 이온에너지 정보를 비교분석한 결과 굴절률 변화에  $N_h$ 가 가장 밀접히 관련되어 있음을 확인할 수 있었다.  $N_h$ 는 duty ratio에 따라 Si-H 또는 N-H를 깨고 굴절률을 증진시키고 있음을 이해할 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] R. Verhes, O. Zabeida, J. E. Klemberg-Sapieha and L. Martinu, *J. Appl. Phys.* 100, 063308 (2006)
- [2] P.J.Kelly, A.A.Onifade, Y.Zhou, G.C.B.Clarke, M. Audronis and J. W. Bradley, *Plasma Proc. Polymers*, 4, 246 (2007)
- [3] B. Kim, Suyeon Kim, Y.H. Seo, D.H. Kim, S.J. Kim and S.C. Jung, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 8, 5363 (2008)
- [4] A. Sazonov, D. Stryahilev, A. Nathan, L. D. Bogomolova, *J. Non-Crystalline Solids*, 299, 1360 (2002)
- [5] G. I. Isai, J. Holleman, H. Wallinga and P. H. Woerless, *J. Electrochem. Soc.* 151, C649 (2004)
- [6] H. P. Zhou, K. Elgaid, C. Wilkinson, and I. Thayne, *Japn. J. Appl. Phys.* 45, 8388 (2006)
- [7] B. Kim and S. Kim, *Met. Mater. Int.* 14, 637 (2008)
- [8] B. Kim, Suyeon Kim, *Thin Solid Films*, (2009)
- [9] M. A. Sobolewski, *J. Vac.Sci.Technol. A* 24(5), 1892 (2006)

증가한 것을 제외하고는 큰 변화를 보이고 있지 않다. 단지 100%, 즉 플라즈마가 지속해서 켜지는 경우에는 높은 에너지의 이온들이 낮은 에너지의 이온들에 비해 더 많이 기판에 도달하였다. Duty ratio를 적용했을 때 반대로 낮은 에너지의 이온들이 높은 에너지의 이온들에 비해 더 많이 기판에 도달한다.  $N_i$ 는 100%에서 70%로 감소할 때, 크게 증가하다가 70%에서 40%로 더 감소할 때는 줄어든다.  $N_h/N_i$ 는 duty ratio가 감소함에 따라 70%를 기점으로 감소하다 증가한다.

그림 3은 굴절률을 duty ratio의 함수로 도시한 것이다. 그림 3에서와 같이 duty ratio가 100%에서 90%로 감소될 때 굴절률은 상승한다. 이 때 그림 2에서와 같이  $N_i$ 는 증가하며  $N_h$ 은 감소한다. 낮은 에너지의 이온은 Si-H와 N-H의 결합을 깨는 것보다 표면에서의 Si의 박막에로의 편입 (incorporation)을 증진하는 역할을 하는 것으로 사료된다. 따라서 90%에서 높은 굴절률은 증진된  $N_i$ 에 의한 보다 많은 Si의 편입 (즉 보다 많은 [Si-H]의 발생)으로 해석할 수 있다.  $N_h$ 의 감소는 이 같은 효과를 더 촉진하게 된다. 한편 90%에서 70%로 더 감소될 때 굴절률은 약간 감소하게 되며, 이는 증가하는  $N_i$ 의 변화로 설명될 수 없다. 대신 그림 1에서와 같이  $N_h$ 가 증가하여 S-H를 깨고 이에 따라 생성되는 여분의 H가 N과 결합하여 [N-H]가 약간 증가되는 것으로 해석할 수 있다. 한편, 70%에서 50%로 감소할 때, 굴절률은 상승하며, 이는 감소되는  $N_i$ 로 설명하기가 어렵다. 대신 감소되는  $N_h$ 에 의해 [Si-H]이 70%에 비해 더 높아지는 것에 기인하는 것으로