

## 펄스드 플라즈마를 이용한 SiH<sub>4</sub>-NH<sub>3</sub>-N<sub>2</sub>에서의 SiN 박막의 상온 증착 : Duty ratio의 이온에너지와 굴절률에의 영향

이화준, 김병환\*  
세종대학교

### Room temperature deposition of SiN film by using SiH<sub>4</sub>-NH<sub>3</sub>-N<sub>2</sub> plasma: Effect of duty ratio on Ion energy and Refractive index

Hwa-Joon Lee, Byungwhan Kim\*  
Sejong Univ.

**Abstract :** PECVD를 이용하여 상온에서 Silicon nitride 박막을 제조하였다. 그리고 증착 중에 non-invasive ion energy analyzer를 이용하여 이온에너지와 이온에너지 flux를 측정하였다. PECVD의 소스 파워는 500W, 바이어스 파워 100W으로 고정하고 주파수 250Hz으로 고정된 상태에서 펄스를 인가하여 duty ratio를 30-100%까지 변화시켰다. 작은 duty ratio 범위 (30-70%)에서 duty ratio가 감소할 때, 이온에너지와 이온에너지의 비가 감소하였다. 이 때 감소되는 굴절률은 저이온에너지 변수와 강한 연관성을 지니고 있었다. 굴절률은 1.65-2.46 사이에서 변화하였다.

**Key Words :** Pulsed PECVD, Room temperature, SiN, 이온에너지, 이온에너지 flux, 굴절률

#### 1. 서론

SiN 박막은 전자소자와 태양전지 제조를 위한 유전체막과 반사방지막 제조에 응용이 되고 있다. 이는 SiN 막이 우수한 유전체 특성, 열적 안정성, 그리고 화학적 불활성 등의 특징을 가지고 있는 데에 기인한다. SiN 박막은 주로 Plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD)를 이용하여 증착이 된다. 최근 상온 증착공정 특성을 분석하려는 연구와 [1-3], 종래의 PECVD 대신에 Pulsed-PECVD를 이용하여 증착특성을 개선하려는 연구가 활발히 진행 중이다 [1, 3]. 낮은 Duty ratio에서 높은 증착률 [1]과 작은 표면거칠기 [3]가 보고된 바 있다. 또한 소스전력의 감소에 따라 증착률이 증가하는 특이 현상이 보고된 바 있다 [2].

본 연구에서는 SiN 박막을 Pulsed-PECVD (Plasmat)를 이용하여 SiH<sub>4</sub>-NH<sub>3</sub>-N<sub>2</sub> 방전가스에서 증착하였다. 바이어스 파워의 duty ratio의 변화에 따르는 박막 굴절률의 영향에 대해 연구하였다. 이온에너지 분석기 (Plasmat)를 사용하여 이온에너지와 이온에너지 선속 (flux)을 수집하여, 이온에너지와 굴절률과의 연관성을 연구하였다.

#### 2. 실험

SiN film은 p-type의 (100) 실리콘 웨이퍼 위에 증착되었다. 웨이퍼의 두께는 525±25μm이고, 저항은 1~30Ω • cm이다. 박막 증착에는 Pulsed-PECVD 장비를 사용했다. Duty ratio의 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	500	W
바이어스 전력	100	W
Frequency	250	Hz
Duty ratio	30-100	%
SiH <sub>4</sub>	8	sccm
NH <sub>3</sub>	22	sccm
N <sub>2</sub>	10	sccm

그리고 증착 중에 비 침투식 이온에너지 시스템을 이용하여 이온에너지인 E<sub>h</sub>, E<sub>l</sub>와 이온에너지 flux인 N<sub>h</sub>, N<sub>l</sub>를 측정하였다. 여기서 "h"와 "l"은 각각 "high"와 "low"를 의미한다. 또한 측정된 N<sub>h</sub>와 N<sub>l</sub>를 나누어 새로운 진단변수로 추가하였다. 각 진단변수는 이미 설명된 바가 있다 [2].

#### 3. 결과 및 검토

그림 1은 Duty ratio에 따른 이온에너지 변화에 대한 그림이다. 그림 1에서와 같이 30-70%와 70-100%에서의 E<sub>h</sub>와 E<sub>l</sub> 변화는 크게 다르다. 30-70%에서 Duty ratio의 증가에 따라 증가되는 이온에너지는 전달되는 바이어스 전력, 즉 turn-on 시간이 커지는데에 기인한다. 이는 또한 플라즈마 sheath 양단에서의 증가된 전압강하를 의미한다 [4]. 하지만 그림 1에서와 같이, 70-100%에서는 duty ratio의 변화에 영향을 받지 않는다.

그림 2는 Duty ratio에 따른 이온에너지 flux의 변화를 도시하고 있다. 그림 1에서와 같이, Duty ratio의 범위에 따라 이온에너지 flux의 변화가 현저히 다르다. 그림과 같이 70-100%에 대해서 Duty ratio는 이온에너지 flux에 영향을 주지 않는다. 반면에, 30-70% 범위에서 Duty ratio를 감소시킬 때, N<sub>l</sub>과 N<sub>h</sub>는 증가하고, N<sub>h</sub>/N<sub>l</sub>은 반대로 감소하고 있다. N<sub>h</sub>/N<sub>l</sub>의 감소는 주로 N<sub>l</sub>에 기인하고 있음을 그림 2

의  $N_h$ 와  $N_i$ 의 변화로부터 확인할 수 있다.

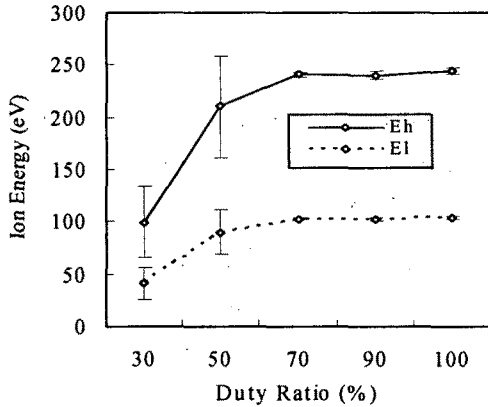


그림 1. Duty ratio에 따른 이온에너지의 변화

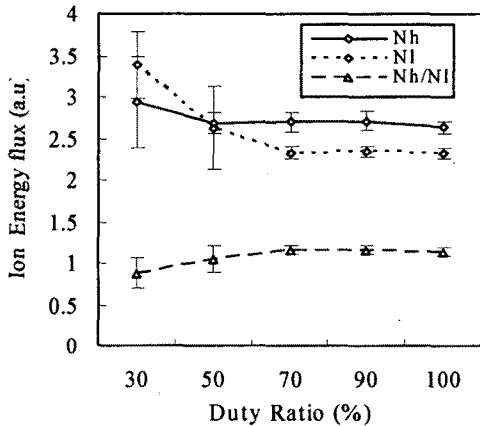


그림 2. Duty ratio에 따른 이온에너지 flux의 변화

그림 3은 Duty ratio의 굴절률에 대한 영향을 보이고 있다. 굴절률은 30-90%까지는 완만하게 증가하다가 100%에서 급격한 증가를 보인다. Duty ratio의 증가는 결국 실제 전달되는 바이어스 전력의 증가를 의미하며, 바이어스 전력에 따라 증가되는 굴절률은 이전 연구결과 [4]와 동일하다. 앞에서와 같이 Duty ratio 범위를 구분해서 분석해 본다. 우선 30-70%에서 굴절률은 증가하고 있으며 이는 [Si-H]가 [N-H]에 비해서 상대적으로 높아지는 데에 기인한다. 그림 1과 2에 비교할 때, 굴절률의 변화는  $E_h$ ,  $E_i$ , 그리고  $N_h/N_i$ 의 변화와 유사하다. 크기 변화를 고려하면,  $E_i$ 와  $N_h/N_i$ 의 변화에 더 유사하다. 한편,  $N_h/N_i$ 는 전술한 바와 같이  $N_i$ 에 의존하였으며, 결국 증가되는  $E_i$ 과 감소되는  $N_i$ 에 의해 [Si-H]가 증가되어 굴절률이 증가하는 것으로 해석할 수 있다. 결합의 분리 보다는 표면에서의 Si의 편입 (incorporation)을 촉진시켜 [Si-H]가 더 증가하는 것으로 사료된다. 그림 3에서와 같이 70-100% 범위에서 굴절률은 급격히 증가하지만, 동일 구간에서의 이온에너지 변화는 없다. 따라서, 전술한 메커니즘은 적용하기가 어렵다. 그렇다면 gas phase에서의 플라즈마 변화 (밀도, 라디칼)에의

영향을 고려할 수가 있다. 일반적으로 바이어스전력은 플라즈마특성에 영향을 안 준다고 이해하고 있지만 본 연구에서와 같이 소스전력이 높은 경우에 바이어스전력의 증가는 전자밀도의 감소를 초래한다는 연구결과가 보고된 바가 있다 [5]. 이는 앞서 모델링결과에서도 예측된 바가 있다 [6]. 이들 연구에 비추어 볼 때, 70-100%에서 Duty ratio의 증가에 따라 전자밀도의 감소, 이에 따라 SiN 막 형성에 관여하는 precursor (Si, N 등)의 감소가 예상된다. 그러나 표면에서 N에 비해 Si의 편입이 더 촉진되는 것으로 추측되며 이는 결국 [Si-H]의 증대를 초래하여 굴절률이 상승하게 된다.

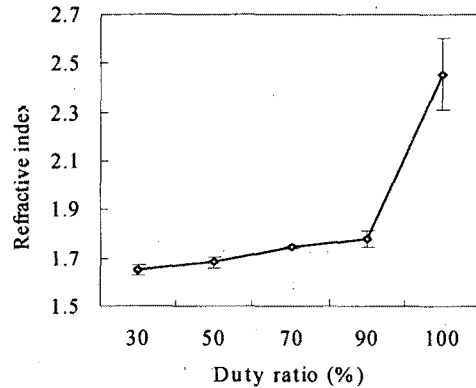


그림 3. Duty ratio에 따른 굴절률

#### 4. 결론

본 연구에서는 Pulsed-PECVD를 이용하여 상온에서 SiN 박막을 증착하였다. 그리고 바이어스 파워의 Duty ratio에 따른 박막과 이온에너지 특성을 연구하였다. 낮은 Duty ratio 범위에서 Duty ratio와 이온에너지, 그리고 증착률과의 관계는 밀접한 연관성을 보였다. 특히 저이온에너지 변수가 증착률의 변화와 강한 상관성을 보였으며, 그 역할은 증착표면에서의 Si의 편입을 증대시키는 것으로 해석된다. 한편, 높은 Duty ratio 범위에서 Duty ratio의 이온에너지에 대한 영향은 미미하였다.

#### 참고 문헌

- [1] B. Kim and S. Kim, Thin Solid Films. Vol. 517, Issue 14, p. 4090, 2009
- [2] B. Kim and S. Kim, Metals and Materials International, Vol. 14, No. 5, p637, 2008
- [3] B. Kim, S. Kim, Y.H. Seo, D.H. Kim, S.J. Kim and S.C. Jung, J. Nanosci. Nanotechnol, 8, 5363 (2008)
- [4] J. W. Lee, K. D. Mackenzie, D. Johnson, J. N. Sasserath, S. J. Pearton, and F. Ren, J. Electrochem. Soc. 147, 1481 (2000).
- [5] M. A. Sobolewski, and J. H. Kim, J. Appl. Phys. 102, 113302 (2007).
- [6] B. Kim and S. Park, IEEE Trans. Plasma Sci. 30, 698, 2002.