

신경망을 이용한 전하밀도의 예측과 해석

권상희, 황보광, 이규상, 우형수, 김병환*

세종대학교, 전자공학과

Prediction and Analysis of Charge Density Using Neural Network

Sanghee Kwon, Bo Kwang Hwang, Kyu Sang Lee, Hyung Soo Uh, Byungwhan Kim*

Sejong University

Abstract: Silicon nitride (SiN) 박막을 플라즈마 응용화학기상법을 이용하여 증착하였다. SiN박막의 전하밀도는 일 반화된 회귀 신경망과 유전자 알고리즘을 이용하여 모델링하였다. PECVD 공정은 Box Wilson 실험계획표를 이용 하여 수행하였다. SiH₄ 유량변화에 따른 온도의 영향은 미미하였다. 그러나, 저 전력에서의 온도증가 (또는 저온에 서의 전력의 증가)에 따라 전하밀도는 급격히 상승하였으며, 이는 [N-H]의 증가에 기인하는 것으로 해석되었다. SiH₄ 유량의 증가 (또는 고온에서의 전력의 증가)에 따라 전하밀도는 감소하고 있으며, 이는 [Si-H]의 증가에 기 인하는 것으로 이해된다.

Key Words : Silicon nitride(실리콘 나이트라이드); Plasma enhanced chemical vapor deposition(플라즈마 응용화학기 상법); Neural network(신경망); Genetic algorithm(유전자 알고리즘); Model(모델); 전하밀도

1. 서 론

태양전지의 Passivation 막에 이용되는 Silicon nitride (SiN) 박막은 Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) system을 사용하여 증착되어 왔다 [1-2] PECVD를 사용한 SiN 박막 증착에는, Radio frequency (RF) 전력 또는 압력과 같은 다 수의 공정변수 가 관여하고 있다. 공정변수에 따라 박막특성은 달라지며, 공정메커니즘의 해석과 공정 최적화를 위해 컴퓨터 시뮬 레이션 모델의 개발이 요구된다. 하지만, 플라즈마와 공정 변수간의 복잡한 반응으로 플라즈마 예측모델을 개발하는 것은 매우 어렵다.

이러한 복잡성을 피하기 위해서, 신경망과 통계적 실험 계획법을 결합해서 예측모델을 개발하려는 시도가 있었으 며, PECVD-SiN 박막 특성 모델링에 적용되었다 [3-4]. 박막특성 전하밀도는 태양전지의 표면 Passivation의 개 선에 요구되며, 장수명의 태양전지의 제조를 위해서는 높 은 전하밀도가 요구된다. 전하밀도의 정성적인 해석을 위 한 예측 모델이 최근에 보고된 바 있다 [5]. 본 모델은 Generalized Regression Neural Network (GRNN) [6]과 Genetic Algorithm (GA) [7]를 이용하여 개발하였다. GA 는 GRNN모델의 예측수행을 최적화하기 위해 사용하였다. 본 연구에서는 개발된 전하밀도 모델을 이용하여 공정변 수의 영향을 해석한다.

2. 전 하 밀 도 모 델 링

전하밀도 데이터의 수집과정과 GRNN과 GA를 이용한 모델링 과정은 최근의 연구보고 [5]에 세세히 설명되어 있다. 최적화한 모델로부터 3D 그림을 그려 공정변수의 영향을 고찰한다. 그림 1은 온도와 SiH₄ 유량의 함수로 전하밀도의 변화를 도시하고 있다. 압력, rf전력, NH₃ 유 량 그리고 N₂ 유량은 각각 0.9 Torr, 30 W, 1.2 sccm,

500 sccm에 고정하였다. 흥미롭게도, 온도의 증가에 따 라 전하밀도의 변화는 매우 작다. 이와 대조적으로 온도는 굴절률 [3]과 증착률 [4]에 대해서는 상당한 영향을 미치는 주요 공정변수이다. 한편, 그림 2에서 SiH₄ 유량이 증가함에 따라 전하밀도는 미미하지만 감소하는 경향을 보이고 있다. SiH₄ 유량이 증가할 때, [Si-H]가 증가하며, 이는 굴절률 [3]모델에서의 굴절률의 증가를 통해 쉽게 확인할 수 있다. 굴절률 모델로부터, [Si-H]의 증가는 전 하밀도의 감소를 초래한다는 사실을 알게 되었다.

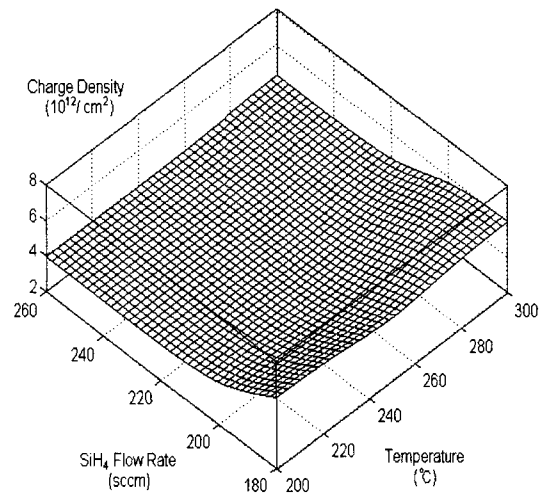


그림 1. 전하밀도의 온도와 SiH₄ 유량에 따른 변화

전하밀도에서의 온도와 rf전력에 따른 변화는 그림 2에서 도시되어 있다. 압력과 NH₃ 유량, SiH₄ 유량 그리고 N₂ 유량은 각각 0.9 Torr, 1.2 sccm, 220 sccm, 그리고 500 sccm에 고정하였다. 그림 2에서 온도의 영향은 전력 값에 따라 크게 다르다. 20W 에서 초기에는 약간 변화하

다가 온도가 증가하면서 현저하게 증가한다. 한편, 같은 rf전력에서 굴절률은 초기에 현저하게 증가하다가 온도가 증가함에 따라 포화됨을 알 수 있다[10]. 굴절률의 변화에 따르면, [S-H]/[N-H]의 초기 증가와 어느 전환점 이후에서의 [N-H]의 증가를 예상할 수 있다. 결과적으로, 크게 향상된 전하밀도는 상대적으로 큰 [N-H]의 영향으로 볼 수 있다. 이와 대조적으로 40W의 높은 전력에서 온도의 영향은 미미하다. 한편, 동일조건에서 굴절률은 온도증가에 따라 급격한 증가를 보였으며, 이는 급격한 [Si-H]의 증가를 의미한다. 이러한 결과로부터 전하밀도가 [Si-H]의 변화에 영향을 그리 주지 않는다는 것을 확인할 수 있으며, 이는 20W, 저온에서 관측된 [Si-H]의 증가에도 불구하고 미미하게 변화한 전하밀도를 설명해 준다.

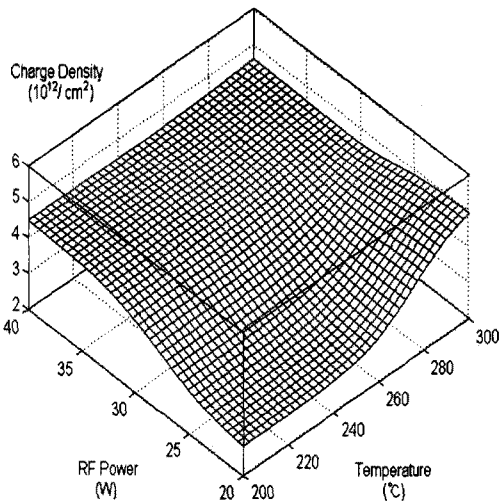


그림 2. 전하밀도의 온도와 RF 전력에 따른 변화

그림 2에서, 250 °C에서 rf전력의 증가에 따라 전하밀도가 상승하고 있다. 이는 높아지는 이온의 충격이 전하밀도 증가에 기여하고 있음을 의미한다. 실험적으로, rf전력이 20에서 40W로 증가할 때, 전하밀도가 2.27부터 3.12 ($\times 10^{12}/\text{cm}^2$)로 증가하였다. 전하밀도의 증가는 200 °C에서 더 현저한데, 이는 박막내의 [H]이 작을 수록 전하밀도를 증가하는 데에 효과적임을 의미한다. 한편, 동일 조건에서 rf 전력의 증가에 따라 굴절률은 감소하였다 [8]. 결국 크게 향상된 전하밀도는 [N-H]의 증가에 기인하는 것으로 해석할 수 있다. 200 °C에서와는 대조적으로 300 °C에서 rf 전력의 증가에 따라 전하밀도는 감소하고 있다. 동일조건에서 굴절률의 증가 [8]를 확인하였으며, 따라서 전하밀도의 감소는 [Si-H]의 증가에 기인하고 있음을 알 수 있다. 결론적으로, 전력변화에 따른 전하밀도는 [Si-H] 또는 [N-H]의 상대적인 변화에 강하게 의존하고 있음을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 PECVD를 이용해 증착된 SiN 박막의 전하밀도를 신경망을 이용하여 모델링하였다. (온도와 SiH₄ 유량, rf전력에 따른 전하밀도 변화를 비교해보면 전체 SiH₄ 유량에 있어서 전하밀도에서의 온도영향은 작았고, 전력 수준에 따라 온도의 영향은 매우 다르게 확인 되었다. 이를 굴절률 모델과 비교하였을 때 매우 높은 상관성을 가지고 있음을 의미한다.)

감사의 글

이 논문은 2006년 정보(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2006-311-D00047).

참고 문헌

- [1] P. Temple-Boyer, L. Jalabert, L. Masarotto, J. L. Alay, and J. R. Morante, "Properties of nitrogen doped silicon films deposited by low-pressure chemical vapor deposition from silane and ammonia," J. Vac. Sci. Technol. A 18 (2000) 2389.
- [2] H. Gleskova, S. Wagner, V. Gasparik, and P. Kovac, "Low-temperature silicon nitride for thin-film electronics on polyimide foil substrates," Appl. Surf. Sci. 175, 12 (2001).
- [3] B. Kim and W. S. Hong, " Use of neural network to characterize a low pressure temperature effect on refractive property of silicon nitride film deposited by PECVD," IEEE Trans. Plasma Sci. 32, 84 (2004).
- [4] B. Kim, K. Park, D. Lee, "Use of neural network to model a deposition rate of PECVD-silicon nitride films," Plasma Sour. Sci. Technol. 14, 83 (2005).
- [5] 권상희, 김병환, 유전자 알고리즘과 일반화된 회귀 신경망을 이용한 박막 전하밀도 예측모델, 2007년도 대한전기학회 하계학술대회는문집, 1805-1806, 2007.7.
- [6] D. F. Specht, " A general regression neural network" IEEE Trans. Neural Network 2 (1991) 568.
- [7] D. E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning, Addison Wesley, Reading, MA, 1989.
- [8] B. Kim, S. S. Han, T. S. Kim, B. S. Kim, and I. J. Shim, IEEE Trans. Plasma Sci. 31, 317 (2003).