PECVD로 증착된 실리콘 산화막의 특성분석을 위한 신경망 모델링

김희연, 박인혜, 홍상진
명지대학교

Predictive Neural Network Modeling for the Characterization of SiO_2 Film Deposited Using PECVD

Hee Youn Kim, In Hye Park, Sang Jeen Hong*
Department of Electronic Engineering, Myongji University
*E-mail: samhong@mju.ac.kr

Abstract : 본 논문에서는 PECVD를 이용하여 증착시킨 실리콘 산화막에 영향을 주는 파라미터 입력에 따른 박막의 특성을 평가하기 위하여 먼저 통계적 실험계획을 통해 산화막 특성에 유의한 영향을 미치는 요인을 분석하고, 분석된 결과를 이용하여 가장 유의한 교호작용을 신경망 모델링에서 입력파라미터로 포함시킴으로서 교호작용을 고려하지 않은 경우와의 학습결과를 비교하여 두가지 모델링 방법 중 교호작용을 고려한 신경망 모델의 경우가 PECVD의 물리적 현상을 더 명확히 설명할 수 있음을 확인했다.

Key Words: Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD), Design Of Experiment (DOE), Neural Network

1. 서 론

Chemical Vapor Deposition (CVD)는 반응성 가스를 진공챔버내에 주입하여 적절한 활성 및 열에너지를 가하여 화학반응을 유도함으로써 기판 표면에 원하는 박막을 증착시키는 기술을 말한다. 여러 방법 중 반도체 공정의 저온화 요구에 따라 낮은 공정온도, 높은 증착율 등의 장점이 있는 Plasma Enhanced CVD (PECVD)의 사용이 급속하게 증가되었다 [1].

PECVD는 보통 350℃ 정도에서 공정이 진행되고 보다 낮은 온도에서 빠른 성장 속도로 비교적 좋은 막을 형성할 수 있다 [2]. 그러나 플라즈마 안 극소동력의 복잡한 특성으로 인해 입력 인자와 중요한 출력 파라미터들 간의 정확한 관계를 판별하기가 어려운 점도 있다. 이러한 관계 해석을 통한 플라즈마 공정을 위해 경험적인 모델이 통계적 반응 표면 모델을 사용해서 발전되어 왔지만 신경망을 이용한 공정 모델이 정확성과 예상능력에서 훨씬 더 우수한 성능을 가짐을 알 수 있다 [3].

본 논문에서는 다양한 조건아래 PECVD를 이용해 증착한 산화막 필름의 특성을 알아보기 위하여 먼저 3개의 중간값을 갖는 2^{5-1} 부분 실시법을 실시하여 교호작용 효과도면을 얻고, back-propagation (BP) 신경망 알고리즘을 사용해서 반응표면 모델을 구현하며, 앞에서 얻은 교호작용 효과도면에서 가장 유의한 교호 파라미터를 직접 신경망에 적용시킴으로서 신경망 모델이 PECVD 공정을 효과적으로 모델링 하는지에 대한 결과를 알아보고자 한다.

2. 실험계획법(Design Of Experiment)

2.1 실험계획법의 개요

실험계획법이란 해결하고자 하는 문제에 대하여 실험을 어떻게 행하고, 데이터를 어떻게 취하며, 어떠한 통계적 방법으로 데이터를 분석하면 최소의 실험횟수에서 최대의 정보를 얻을 수 있는가를 계획하는 것이라고 할 수 있다 [4].

여기서는 실험의 크기를 줄이기 위해 인자의 조합 중 일부만을 선택하여 실험을 실시하는 부분 실시법(fractional factorial design)을 사용하였다.

2.2 실험계획법을 사용한 실험의 내용 및 결과

실리콘 절연층은 Plasma-Therm 700 series를 이용해 N_2O와 2% SiH_4, N_2를 공급하여 생성하였고, 약 5㎛의 두께로 실리콘 절연막을 4인치 <100> 웨이퍼에 증착시켰다. 증착파라미터의 종류와 범위는 표 1에 나타내었고 실험의 횟수를 줄이기 위하여 2^{5-1} 개에 3개의 center point를 갖는 부분 실시법을 이용하였다. 증착된 실리콘 산화막의 많은 특성들 중에서 증착율(Å/min), 균일성(%), 유전율(100Hz)을 측정하였다.

표1. 증착인자

인자	범위
기판 온도	200-400℃
압력	0.25-1.8 Torr
RF 전력	20-150 Watt
2% SiH_4 in N_2 flow	200-400 sccm
N_2O flow	400-900 sccm

그림 1은 증착율에 영향을 주는 인자들의 교호작용을 회귀분석을 통해서 나타낸 그림이다. 두 그래프가 큰 기울기로 교차(또는 그 연장선이 교차)할수록 교호작용의 효과가 큰 것임을 의미한다. 균일성이나 유전율도 같은 형식으로 교호작용이 큰 파라미터를 구할 수 있다.

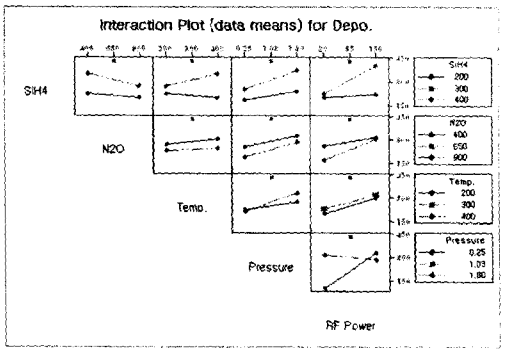

그림 1. 증착율에 대한 교호작용 효과도면

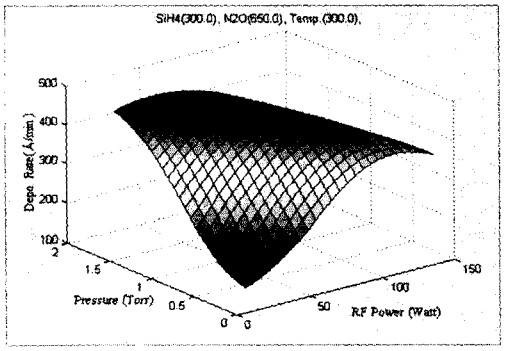

그림 2. 교호작용이 없는 파라미터를 이용한 증착율과 압력, RF 전력의 관계

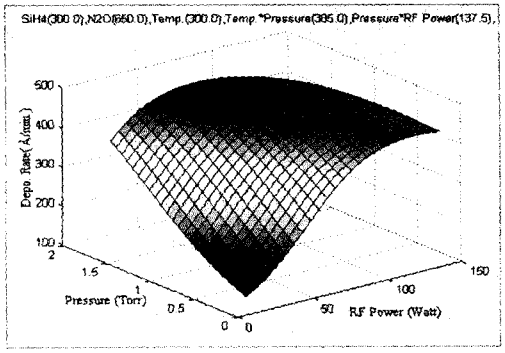

그림 3. 교호작용을 고려한 파라미터를 이용한 증착율과 압력, RF 전력의 관계

3. 신경망 모델

3.1 신경망의 개요

신경망은 매우 복잡한 입·출력 관계를 매핑하는 능력이 있으며, 이는 통계적 기술보다 신경망을 사용하여 표면반응을 발생하는데 더욱 효과적으로 작용한다. 신경망의 학습 능력은 구조가 인간의 두뇌와 거의 비슷하다는 사실에 기인한다. "뉴런"이라고 불리는 기본적인 프로세서들은 지식이 저장되는 방식으로 상호연결되어 있다. 뉴런의 활동수준은 "활동함수"라고 불리는 비선형적인 쌍곡선 함수 혹은 시그모이드 함수에 의해 측정된다. 이 함수는 통계적인 회귀 분석에서는 이용할 수 없는 자유도를 추가하여 일반화시키는 능력을 가진 네트워크를 만들어준다 [5].

3.2 신경망 모델링의 과정

본 논문에서 공정 모델링을 위해 사용한 신경망은 BP 알고리즘을 통해 훈련된다. 알고리즘을 통해 계산된 출력값이 측정된 결과값과 비교되고 두 값에 차이가 있으면 연결들 사이의 가중치를 에러율이 적어지는 방향으로 변화시킴으로서 적절히 훈련된 신경망 네트워크를 만들게 된다.

모델링은 교호작용이 없는 데이터만을 입력 파라미터로 하여 결과를 나타내보고, 각 특성에 가장 유의하다고 생각되는 교호작용을 입력파라미터로 추가하여 결과 데이터의 차이를 비교해 보았다.

3.3 신경망 모델링의 성능 및 결과

그림 2과 그림 3는 증착율에 대한 트레이닝 결과이다. 교호작용이 없는 파라미터들만을 입력으로 했을 때, 압력과 RF 전력이 모두 증가하는 경우 기존에 분석한 데이터와는 달리 증착율이 상당부분 감소하는 양상을 보이는 것을 알 수 있다. 반면 그림 4와 같이 가장 유의하다고 판단된 교호작용들을 입력으로 추가하여 트레이닝한 경우에는 기존 통계적 기법과 아주 유사한 결과를 보였으며 압력이나 RF 전력이 일정값 이상의 값을 주게 되면 증착율에 큰 영향을 미치지 않는다는 것도 확인했다.

4. 결 론

지금까지 PECVD로 증착된 실리콘 산화막의 특성을 알아보고자 SiH_4와 N_2O가스의 양과 RF 전력, 압력, 기판 온도 등의 파라미터가 증착율에 미치는 영향을 통계적인 방법 외 신경망을 이용하여 분석하였다.

본 논문에서는 통계적 실험 설계를 통해 표현된 교호작용 효과도면에서 가장 유의한 교호 파라미터를 직접 신경망에 적용하여 훈련 시킬 경우 교호작용이 없는 파라미터만으로 훈련시킨 신경망의 반응표면 도면과 비교했을 때 통계적 결과와 더 유사하게 효과적으로 모델링 된 결과를 얻을 수 있음을 분석을 통하여 확인하였다.

참고문헌

[1] A. Sherman, *Chemical Vapor Deposition for Microelectronics*, Noyes Publications, 1987.

[2] C. S. Pai, C. P. Chang, and F. A. Baiochi, "Material vapor deposition fluorinated silicon nitride," J.Appl.Phys. 68, pp. 2442-2447, 1990.

[3] S. S. Han, M. Ceiler, S. A. Bidstrup, P.Kohl, and G. May, "Neural Network-Based Modeling of the Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition of Silicon Dioxide," *IEEE Trans. Elec. Manufac.*, pp. 458-463, 1993.

[4] 박성현, "현대실험계획법", pp. 340-367, 민영사, 2004.

[5] Christoper D. Himmel, ByungWhan Kim, and Gary S. May, "A Comparison of statistically-based and Neural Network Models of Plasma Etch Behavior," *Proc. of 4th Internat'l Semi. Manufac. Sci. Symp.*, pp.124-129, 1992.