

ZnO 박막 증착 공정 모델링에 의한 품질 예측 기법

임근영, 정두연, 이상극*, 박춘배
원광대학교 전기전자 및 정보공학부, 광운대학교*

Quality prediction method by using ZnO thin film deposition process modeling

Keun-Young Lim, Doo-Yeon Chung, Sang-Keuk Lee*, Choon-Bae Park
Wonkwang Univ. School of Electrical Electronic and Information Engineering, Kwangwoon university*

Abstract : ZnO deposition parameters are not independent and have a nonlinear and complex properties respectively. Therefore, finding optimal process conditions are very difficult and need to do many experiments. To predict ZnO deposition result, neural network was used. To gather training data, Si, GaAs, and Glass were used for substrates, and substrate temperature, work pressure, RF power were 50-500°C, 15 mTorr, and 180-210 W respectively, and the purity of target was ZnO 4N. For predicting the result of ZnO deposition process exactly, sensitivity analysis and drawing a response surface was added. The temperature of substrate was evaluated as a most important variable. As a result, neural network could verify the nonlinear and complex relations of variables and find the optimal process condition for good quality ZnO thin films.

Key Words : ZnO thin films, RF sputtering, Neural network,

1. 서 론

ZnO는 우수한 전기적, 광학적, 그리고 압전 특성으로 지난 수 십년 동안 많은 연구가 수행되고 있는 재료로서 다양한 분야에서 응용가능성이 크다[1]. ZnO 박막의 고품위 에피성장을 위해 장치가 단순하고 높은 증착률과 대면적 증착이 가능하며, 우수한 방향성(c축 우선배향)을 갖는 양질의 막을 얻을 수 있고, 투명하고 치밀한 막을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있는 스퍼터링법이 많이 사용되고 있다. 스퍼터링 법을 이용한 ZnO를 이용하여 광소자를 만들기 위하여 ZnO 증착 변수에 따른 박막의 결정성을 조사할 필요가 있으며 증착변수로는 가스압, 기판온도, 가스 혼합비, 기판과 target과의 거리, RF power, 기판의 종류 등이 될 수 있다. 스퍼터 공정시 여러 변수가 작용하며 이들의 복잡한 상호작용에 의해 비선형특성을 보이므로 결과를 예측하기가 어려워 주로 경험을 바탕으로한 최적화 공정이 수행되어져 왔다. 따라서 생산성 증대를 위해서는 모델링 및 예측시스템이 필요하게 되었다[2-6].

최근에는 원자빔 에피택시 (molecular beam epitaxy)공정이나 PLD공정의 모델링이 신경망을 이용하여 이뤄지고 있으며, 반도체 장비공정의 최종 목표인 양질의 막질을 얻기 위해서 그 평가 결과인 X선 회절 분석값이나 PL(photoluminescence)값을 출력치로 학습하여 좋은 결과값을 얻은 사례가 보고 되고 있다[2].

따라서 본 연구에서는 패턴인식분야와 반도체 식각공정 모델링 등 비선형 특성을 가지는 여러 분야에서 모델링 기법으로 우수한 성능을 보여주고 있는 신경회로망을 이용하여 마그네트론 스퍼터링 공정으로 ZnO 박막제조시 공정 파라미터 조합에 의한 ZnO 박막의 특성을 모델링

하여 양질의 ZnO 박막을 얻기위한 공정 파라미터를 예측할 수 있는 기법을 제안하고자 한다.

2. 실험

박막증착을 위한 기판은 n-type Si(100), GaAs(100), Glass의 3 종류로 현재 반도체 공정에 사용되고 있는 재료를 선택하였다. 신경망 모델링을 위한 학습데이터를 수집하기 위해 기판온도를 50 ~ 500°C로 변화시켜가며 실험하였다. 이 때 초기 진공도와 작업 진공도는 3×10^{-6} Torr와 15mTorr로 하였으며, RF power는 210W, Ar 가스와 O₂ 가스의 비율은 100 : 0 (%)로 하였다. RF power에 의한 ZnO 박막 품질을 살펴보기 위해 기판온도 50°C에서 Ar 가스와 O₂ 가스의 비율은 100 : 0 (%)로 고정하고, RF power는 180, 210 W로 변화시켜가며 각 기판별로 실험하였다. 최종적으로 Ar 가스와 O₂ 가스의 비율을 100 : 0 (%), 80 : 20 (%), 60 : 40 (%)로 차례로 변화시키고 기판온도는 50°C, RF power는 210W, 초기 진공도와 작업 진공도는 3×10^{-6} Torr와 15mTorr로 유지시키며 실험을 진행하여 가스 혼합비가 ZnO 증착 공정 변수로써 어떻게 작용하는지를 조사하여 학습데이터로 사용하였다. 각 공정별 pre-sputtering 시간은 10분으로 하였고, 증착시간은 3시간으로 하였다. 표1에 실험조건을 표시하였다.

실험 후 X-선 회절 분석법(XRD)을 이용하여 ZnO 박막의 결정성을 조사하였으며 SEM을 이용하여 박막의 두께와 미세구조 분석을 수행하여 박막의 품질을 평가하였으며, 공정 변수값들은 적절한 전처리과정을 거쳤으며 각 기판에 대하여 n-type Si(100), GaAs(100), Glass는 각각 0.5, 0.75, 1로 설정하여 신경망의 학습데이터로 사용되었다.

표 1. ZnO 박막 증착을 위한 RF 스퍼터링 조건.

Parameters	Process conditions
substrate	n-type Si(100), GaAs(100), Glass
target	2 inch ZnO (4N)
base pressure	3×10 ⁻⁶ Torr
work pressure	15 mTorr
RF Power	180, 210 W
pre-sputtering time	10 min
deposition time	3 hr
substrate temperature	50 ~ 500 °C
ambient gas	4N high purity Ar, O ₂
Ar/O ₂ gas ratio	100/0 ~ 60/40 (%)
target-substrate distance	178 mm

3. 결과 및 고찰

표 2는 준비된 학습데이터에 의한 학습과정에서의 오차 수렴결과를 보여주고 있다. 학습을 0.2와 모멘텀 0.6에서 가장좋은 수렴속도를 가지며 RMS error값에 의해 우수한 패턴분류 결과를 가짐을 보여준다.

표 2. 신경망 변수 최적화를 위한 학습결과

No.	learning rate	momentum	epoch	RMS Error	time (sec)
1	0.1	0.5	80,000	0.01729	16
2	0.2	0.6	80,000	0.01321	12
3	0.3	0.5	280,000	0.03139	56
4	0.3	0.6	440,000	0.11840	66
5	0.4	0.6	-	divergence	-

표 3에는 ZnO 공정 변수의 민감도(sensitivity)를 신경망 모델링에 의해 분석한 결과를 나타냈다. 출력값 및 목표값은 XRD (0002) peak 강도를 이용하였다. 분석결과에서 rank는 민감도가 높은 순서를 의미한다. Error 값이 민감도 선정에 가장 근거가 되는데 즉, error 가 크다는 것은 신경망의 처리에 있어서 결과값에 가장 큰 영향을 끼치는 것이며 결과적으로 전체 처리 과정에서 가장 큰 비중을 차지하게 되는 것으로 판단할 수 있다. Ratio는 error와 base line error(network의 에러)의 비율이다.

표 3. 신경망 모델링에 의한 공정변수 민감도 분석.

	기판종류	기판온도	RF power	가스비 (Ar ratio)
Rank	2	1	4	3
Error	0.237352	0.265688	0.15912	0.174237
Ratio	6.898583	7.722176	4.62479	5.06416

다음으로 예측 가능한 것은 각 변수간 상호작용에 대한 분석이다. 본 논문에서는 신경망 결과치에 대한 response surface의 구현으로 직관적인 예측 가능성을 알아보았다.

그림 1에서 전처리조건에 의해 기판종류가 Si이면서 온도는 100°C 이하 일 때가 좋은 박막을 가질 수 있음을 예측하게 하며 이는 실제 실험 결과치와도 일치하였다. 또한 10이상의 높은 값이 세로축에서 나오므로써 다른 변수보다 월등히 ZnO 박막 증착 결과에 큰 영향을 줄수 있음을 예측가능하게 한다.

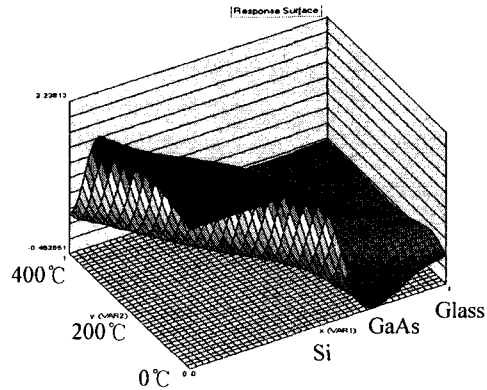


그림 1. 기판종류(x축)와 기판온도(y축)간 연관성에 의한 응답표면도.

4. 결론

본 연구에서는 스퍼터링법과 신경망을 이용하여 ZnO 박막 증착 공정을 모델링하고, 모델링 결과에 의해 각 파라미터들간의 복잡하고 비선형적인 관계를 예측할 수 있는 기법을 제안하였다. 민감도(sensitivity) 분석을 통해 기판의 온도가 가장 중요한 인자임을 알 수 있었고, 응답 표면(response surface) 분석을 통해 기판의 종류와 기판의 온도가 상호의존성이 가장 큰 것으로 평가 되었다. 실제 실험결과와 비교했을 때 유사한 결과를 얻을 수 있었으며 결론적으로 신경망 모델링 기법을 이용하여 ZnO 증착공정 결과를 예측할 수 있음을 보여주었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구 결과로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] S. J. So, C. B. Park, J. Cryst. Growth, Vol. 285, No. 4, p. 606, 2005.
- [2] Y. D. Ko, H. S. Kang, et al., Journal of Materials Processing Technology, Vol. 159, p.159, 2005
- [3] Jianguo Lu, Yinzhu Zhang, Zhizhen Ye, Lei Wang, et al., Materials Letters, Vol. 57. p. 3311. 2003.
- [4] D. Stokes, G. S. May, IEEE TRANS. ON SEMICON. MANUFACTURING, Vol. 13, No. 4, p. 469, 2000.
- [5] Jill P. Card, IEEE TRANSACTIONS ON SEMICON. MANUFACTURING, Vol. 13, No. 3, p. 359, 2000.
- [6] A Bensaoula, et al., IEEE TRANS. ON SEMICON. MANUFACTURING, Vol. 11, No. 3, p. 421, 1998.