

4H-SiC 기판의 a-, c-, m-면방향에 따른 ZnO 나노선의 Photoluminescence 특성 분석

김익주¹, 여인형², 문병무², 강민석¹, 구상모^{1,a}

¹ 광운대학교 전자재료공학과

² 고려대학교 전기전자전파공학부

Photoluminescence Characteristics of ZnO Nanowires Grown on a-, c- and m-plane Oriented 4H-SiC Substrates

Ik-Ju Kim¹, In-Hyung Yer², Byung-Moo Moon², Min-Seok Kang¹, and Sang-Mo Koo^{1,a}

¹ Department of Electronic Materials Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

² Department of Electrical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

(Received March 26, 2012; Revised April 5, 2012; Accepted April 5, 2012)

Abstract: ZnO thin films were deposited on a-, c- and m- plane oriented 4H-SiC substrates by pulsed laser deposition. ZnO nanowires were formed on substrates by tube furnace. Shape and density of the ZnO nanowires were investigated by field emission scanning electron microscope. Average surface roughness and root mean square surface roughness were measure by atomic force microscope. Optical properties were investigated by Photoluminescence measurement. Density of ZnO nanowires grown on a-, c- and m-plane oriented 4H-SiC substrates were $17.89 \mu\text{m}^{-2}$, $9.98 \mu\text{m}^{-2}$ and $2.61 \mu\text{m}^{-2}$, respectively.

Keywords: 4H-SiC, Substrate orientation, ZnO, Nanowire, Photoluminescence

1. 서 론

ZnO는 3.37 eV의 직접천이형 밴드갭과 60 meV의 엑시톤 결합 에너지를 가지는 물질로써 반도체 성질과 압전 성질을 가지고 있다. 태양전지, 압전 센서, 광 센서, 가스 센서, 투명 전극 등 여러 분야에 응용이 가능하고 나노 구조를 이용하여 소자 성능을 향상시키는 연구가 진행되고 있다. ZnO 나노 구조를 이용한 센서 분야의 응용을 위해선 기판의 영향과 나노 구조의 영향에 대한 연구가 필요하다 [1-3].

4H-SiC는 ZnO와 같은 육방정계 (hexagonal) 구조로 ZnO와 낮은 격자 부정합 (lattice mismatch)을 가지고 있다. 또한 밴드갭은 3.2 eV, 높은 포화 전자 속

도 ($2.0 \times 10^{17} \text{ cm/s}$), 높은 임계 전계 ($2.2 \times 10^6 \text{ V/cm}$), 높은 열전도도 (5.0 W/cmK)를 가지기 때문에 고온, 고전력 환경에서도 반도체 소자 특성을 잃지 않는 장점이 있다 [4-6].

본 연구에서는 PLD (pulsed laser deposition)와 튜브 퍼니스를 이용하여 a-, c-, m-면방향 4H-SiC 기판에 ZnO 나노선을 형성하였고, 기판에 따른 ZnO 나노선의 특성을 분석하였다.

2. 실험 방법

4H-SiC 기판을 아세트, 메탄올, SPM (sulfuric acid peroxide mixture), BOE (buffered oxide etchant),

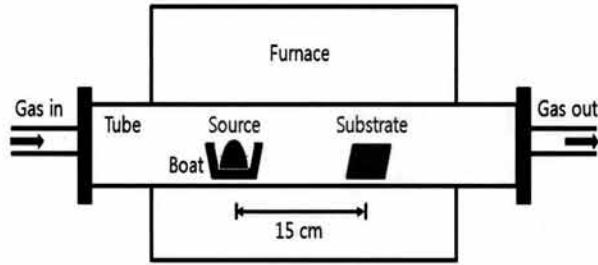


Fig. 1. Schematic diagram of tube furnace.

Table 1. Deposition conditions of ZnO thin films prepared by PLD.

Parameter	Condition
Target	ZnO
Substrate	4H-SiC
Temperature	400°C
Base Pressure (N ₂)	5×10 ⁻⁵ Torr
Working Pressure (O ₂)	20 mTorr
Time	10 min
ZnO thickness	200 nm

탈이온수 (deionized water) 순서로 기판을 세척하였다.

PLD 챔버 내부의 초기 진공을 5×10⁻⁵ Torr로 형성하고, 산소 분압을 20 mTorr, 기판 온도를 400°C로 고정하고 ZnO를 10분 동안 증착하여 두께 200 nm의 ZnO 박막을 형성하였다.

표 1에는 PLD를 이용한 ZnO 박막의 제작 조건을 나타내었다. ZnO와 graphite를 5 mg씩 섞은 파우더를 증착 소스로 사용하였다. 소스와 기판의 거리는 15 cm로 일정하게 하였다. 소스 운송 가스로 아르곤 가스를 사용하였고 아르곤 가스의 유량은 450 sccm으로 고정하였다. 튜브 퍼니스는 1,200°C에서 60분 동안 동작하였다.

표 2에는 튜브 퍼니스를 이용한 ZnO 나노선의 제작 조건을 나타내었고, 그림 1은 튜브 퍼니스의 구조를 나타내었다.

형성된 ZnO 나노선은 전계 방출형 주사전자현미경 (FE-SEM), 원자현미경 (AFM)과 PL (phtoluminescence) 을 사용하여 측정하였다.

Table 2. Growth conditions of ZnO nanowires by tube furnace.

Parameter	Condition
Target	ZnO : graphite = 1 : 1
Substrate	ZnO deposited 4H-SiC
Source-Substrate distance	15 cm
Temperature	1,200°C
Ar flow rate	450 sccm
Time	60 min

3. 결과 및 고찰

그림 2는 ZnO 나노선의 FE-SEM (field emission scanning electron microscope) 사진이다. 그림 2의 (a)는 a-면방향 4H-SiC, (b)는 c-면방향 4H-SiC, (c)는 m-면방향 4H-SiC에 형성된 ZnO 나노선이다. SEM 사진으로 ZnO 나노선이 기판에 수직으로 형성된 것을 알 수 있다. a-면방향 기판에 형성된 ZnO 나노선의 밀도는 17.89 μm⁻², c-면방향 기판에 형성된 ZnO 나노선의 밀도는 9.98 μm⁻², m-면방향 기판에 형성된 ZnO 나노선의 밀도는 2.61 μm⁻² 으로 표 3에 정리하였다. 기판 면방향에 따른 ZnO 나노선의 밀도가 다른 이유는 기판 표면의 에너지가 면방향에 따라 다르기 때문이라고 판단된다.

그림 3은 ZnO 나노선의 AFM 사진이다. 그림 2는 ZnO 나노선의 FE-SEM 사진이다.

그림 2의 (a), (b), (c)는 2차원 사진이고, (d), (e), (f)는 3차원 사진이다. 그림 2의 (a), (d)는 a-면방향 4H-SiC에 형성된 ZnO 나노선이고, (b), (e)는 c-면방향 4H-SiC에 형성된 ZnO 나노선이고, (c), (f)는 m-면방향 4H-SiC에 형성된 ZnO 나노선이다. a-면방향 기판에 형성된 ZnO 나노선의 평균 표면 거칠기와 제곱 평균 표면 거칠기는 142.40 nm, 175.81 nm이고 c-면방향 기판에 형성된 ZnO 나노선의 평균 표면 거칠기와 제곱 평균 표면 거칠기는 91.76 nm, 112.96 nm 이고, m-면방향 기판에 형성된 ZnO 나노선의 평균 표면 거칠기와 제곱 평균 표면 거칠기는 33.22 nm, 43.28 nm으로 표 4에 정리하였다. ZnO 나노선의 밀도가 증가할수록 ZnO 나노선의 표면 거칠기가 증가되었기 때문이다.

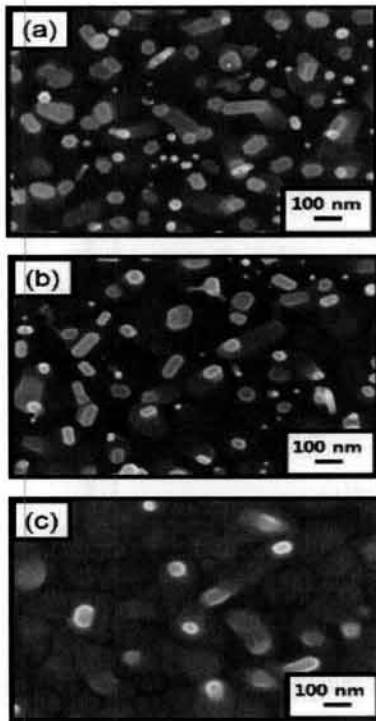


Fig. 2. Top view FE-SEM images of ZnO nanowires grown on (a) a-plane oriented, (b) c-plane oriented, (c) m-plane oriented 4H-SiC substrates.

Table 3. Density and average diameter of ZnO nanowires grown on a-,c- and m-plane oriented 4H-SiC substrates.

Parameter	a-plane	c-plane	m-plane
Density (μm^{-2})	17.89	9.98	2.61

Table 4. Average surface roughness (S_a) and root mean square surface roughness (S_q) of ZnO nanowires grown on a-,c- and m-plane oriented 4H-SiC substrates.

	a-plane	c-plane	m-plane
S_a (nm)	142.40	91.76	33.22
S_q (nm)	175.81	112.96	43.28

그림 4는 a-,c-,m- 면방향 기판에 형성된 ZnO 나노선의 photoluminescence 측정 결과이다. 각 면방향 별 ZnO 나노선의 PL 특성 파장은 374 nm (~ 3.3 eV)로 같고 세기는 a-, c-, m-면방향 기판에 형성된 ZnO 나노선 순서로 줄어들었다.

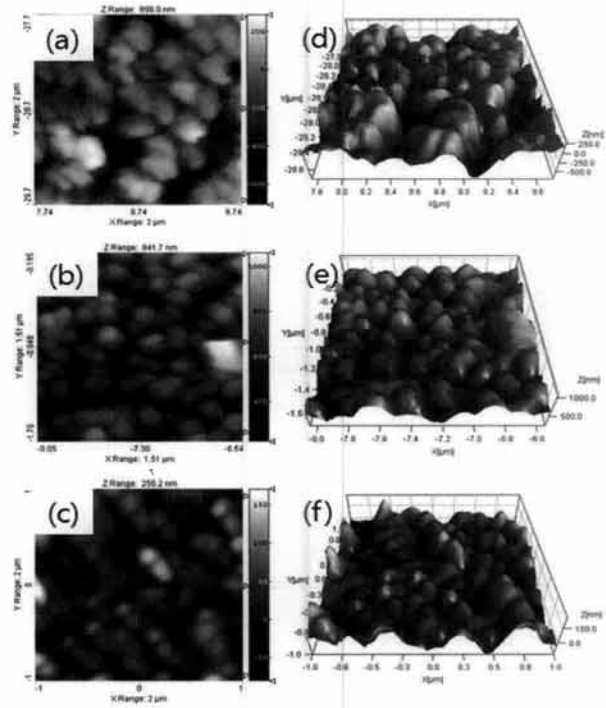


Fig. 3. AFM images of ZnO nanowires grown on (a), (d) a-plane oriented, (b), (e) c-plane oriented, (c), (f) m-plane oriented 4H-SiC substrates. (a), (b) and (c) are 2D images and (d), (e) and (f) are 3D images.

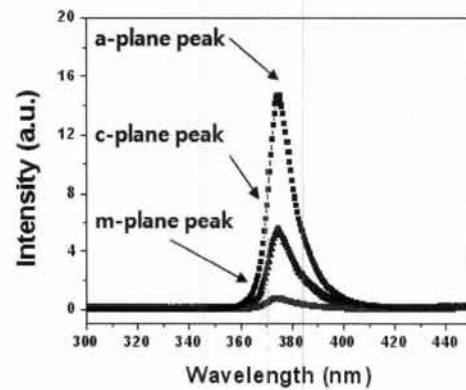


Fig. 4. Photoluminescence spectrum of ZnO nanowires grown on a-, c- and m-plane oriented 4H-SiC substrates.

그림 5는 ZnO 나노선의 PL 세기와 나노선 밀도를 비교한 그래프이고, 그림 6은 ZnO 나노선의 PL 세기와 나노선의 평균 표면 거칠기와 제곱 평균 표면 거칠기를 비교한 그래프이다. 나노선의 밀도가 높아

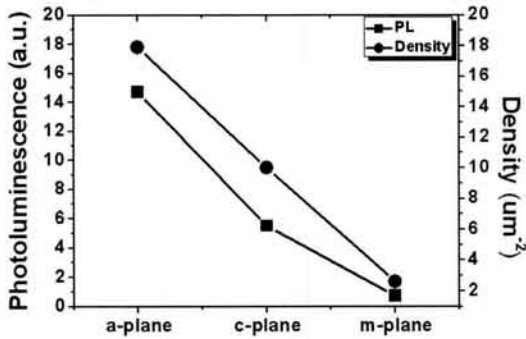


Fig. 5. Dependence of nanowire density and photoluminescence peak.

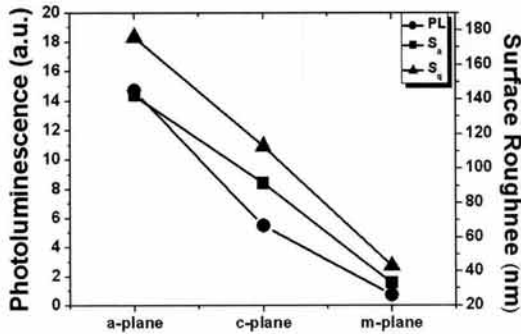


Fig. 6. Dependence of average surface roughness (S_a), root mean square roughness (S_q) and photoluminescence peak.

질수록 나노선의 PL 세기가 커지고, 나노선의 표면 거칠기가 커질수록 나노선의 PL 세기가 커지는 것을 알 수 있다. 부피 대 표면적 비율이 커질수록 PL 세기가 커진다고 알려져 있다. ZnO 나노선의 밀도와 표면 거칠기가 증가할수록 부피 대 표면적 비율이 커지기 때문에 PL 세기가 커진다고 판단된다 [7,8].

4. 결론

본 연구에서는 a-, c-, m-면방향 4H-SiC 기판에 PLD와 튜브 퍼니스를 이용하여 ZnO 나노선을 형성하였다. SEM 사진으로 ZnO 나노선이 기판에 수직방

향으로 형성했다는 것을 확인하였다. ZnO 나노선의 밀도는 a-, c-, m-면방향 기판에 형성된 나노선 순서로 $17.89 \mu\text{m}^{-2}$, $9.98 \mu\text{m}^{-2}$, $2.61 \mu\text{m}^{-2}$ 이다. ZnO 나노선의 평균 표면 거칠기는 a-, c-, m-면방향 기판에 형성된 나노선 순서로 142.40 nm, 91.76 nm, 33.22 nm 이고, ZnO 나노선의 제곱 평균 표면 거칠기는 a-, c-, m-면방향 기판에 형성된 나노선 순서로 175.81 nm, 112.96 nm, 43.28 nm 이다. ZnO 나노선의 PL 특성 파장은 374 nm ($\sim 3.3 \text{ eV}$)이고 세기는 a-, c-, m-면방향 기판에 형성된 나노선 순서로 줄어들었다. 나노선의 밀도와 표면 거칠기가 커질수록 부피 대 표면적 비율이 커지기 때문에 나노선의 PL 세기가 커진다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2012년 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 (2011-0017942 및 2011-0003298) 및 광운대학교의 지원을 통해 개발된 결과임을 밝힙니다.

REFERENCES

- [1] D. T. Phan and G. S. Chung, *Applied Surface Science*, 257, 8 (2011).
- [2] C. Y. Liu, C. F. Chen, and J. P. Leu, *J. Electrochem. Soc.*, 1, 16 (2009).
- [3] K. W. Kim, Y. W. Song, S. P. Chang, I. H. Kim, S. S. Kim, and S. Y. Lee, *Thin Solid Films*, 518, 1190 (2009).
- [4] Z. D. Sha, X. M. Wua, and L. J. Zhuge, *Physics Letters*, A355, 215 (2007).
- [5] J. Wua, J. Hu, J. H. Zhao, X. Wang, X. Li, L. Fursin, and T. Burke, *Solid-State Electronics*, 52, 6 (2008).
- [6] J. H. Kim, D. H. Cho, W. Y. Lee, B. M. Moon, W. Bahng, S. C. Kim, N. K. Kim, and S. M. Koo, *J. Alloys Comp.*, 489, 1 (2010).
- [7] E. Kärber, T. Raadik, T. Dedova, J. Krustok, A. Mere, V. Mikli, and M. Krunks, *Nanoscale Research Letters*, 6, 359 (2011).
- [8] T. Voss, C. Bekeny, J. Gutowski, R. Tena-Zaera, J. Elias, C. Lévy-Clément, I. Mora-Seró, and J. Bisquert, *J. Appl. Phys.*, 106, 054304 (2009).