

논문 2007-44SD-5-3

# PLD 법을 이용해 제작한 ZnO 박막의 광학적 특성

## (Optical Properties of ZnO Thin Films deposited by Pulsed Laser Deposition)

강 성 준\*, 정 양 희\*, 윤 영 섭\*\*

(Seong Jun Kang, Yang Hee Joung, and Yung Sup Yoon)

### 요 약

펄스 레이저 증착법을 이용하여 ZnO 박막을 quartz 기판 위에 증착하였으며, 기판 온도에 따른 박막의 구조적 및 광학적 특성을 조사하였다. 기판 온도 변화에 관계없이 모든 박막이 (002) 방향으로 성장하였으며, 400 °C 에서 반가폭은 0.24° 로 가장 우수한 결정성을 갖는 박막이 제작되었다. 또, 박막의 발광 특성을 조사한 결과, 모든 박막에서 UV 발광 피크와 deep-level 발광 피크가 관찰되었으며, 기판 온도에 따른 발광 피크의 변화가 관찰되었다. 가장 우수한 UV 발광 특성은 400 °C 에서 관찰되었으며, 반가폭은 14 nm 였다. 기판 온도에 무관하게 가시광 영역에서 약 85 % 정도의 투과도를 나타내었다. 투과도 측정을 통하여 얻은 광학 밴드갭 에너지와 UV 발광 중심 값을 비교한 결과, 두가지 결과 값들이 서로 유사한 값을 나타냈다. 이로부 터 UV 발광 중심 값이 ZnO 의 near band edge emission 을 나타낸다는 사실을 알 수 있었다.

### Abstract

We fabricated ZnO thin films on quartz substrate using pulsed laser deposition method and investigated structural and optical properties of ZnO thin films with various substrate temperatures. Regardless of the substrate temperature variation, all ZnO thin films had grown to (002) and the thin film deposited at 400 °C exhibited an excellent crystallinity having 0.24° of Full-Width-Half-Maximum (FWHM). In the result of photoluminescence property, UV and deep-level emission peaks were observed in all ZnO films and the emission peaks were changed with various substrate temperatures. An highest UV emission was exhibited on the specimen deposited at 400 °C and the FWHM of UV peak was 14 nm. The optical transmittance was about 85 % in visible region regardless of the substrate temperature. The comparison result of the bandgap energies obtained from optical transmittance and UV emission centers, the two values were about the same. From these results, it is found that UV emission center has close relationship with near band edge emission of ZnO thin film.

**Keywords :** ZnO Thin Film, PLD, Photoluminescence, Transmittance, Energy band gap.

### I. 서 론

ZnO는 II-IV 족 직접 천이형 반도체로서, 3.3 eV 의 에너지 밴드갭과 울자이트 (Wurzite) 결정 구조를 갖는 물질이며, 큰 엑시톤 결합 에너지 (60meV) 로 인하여

고효율의 방출이 용이하며 가시광 영역에서의 높은 투과도를 보이는 특성을 가지고 있다. 또한, Zn 와 O 가 1 : 1 결합을 하지 못하여 Zn 과잉이나 O 부족으로 인한 비화학량론적인 성장을 하며, 이러한 내부 결함의 이온화 과정으로 인하여 생성된 전자를 주 캐리어원으로 사용하기 때문에 전형적인 n형 반도체 특징을 나타내는 것으로 알려져 있다. 이러한 다양한 특성으로 인하여, ZnO 박막은 디스플레이용 투명 전도막 이나 태양 전지<sup>[1,2]</sup>, LED (Light Emitting Diode), LD (Laser Diode)<sup>[3,4]</sup> 등의 광학 소자에 응용 될 수 있는 유망한 재료로 주목받고 있다.

ZnO 박막을 제작하는 방법으로는 Sol-gel 법<sup>[5]</sup>, 스퍼

\* 정회원, 전남대학교 전기 및 반도체 공학과  
(Dept. of Electrical and Semiconductor Engineering, Chonnam National University)

\*\* 정회원, 인하대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronics Engineering, Inha University)

※ 이 논문은 2006 년도 전남대학교 교수연구역량강화 사업 지원에 의하여 연구되었음.

접수일자: 2007년2월7일, 수정완료일: 2007년4월16일

터링 법<sup>[6]</sup>, 펄스 레이저 증착 (PLD) 법<sup>[7,12]</sup>, 화학 기상 증착 (CVD) 법<sup>[8]</sup>, 분자선 에피택시 (MBE) 법<sup>[9]</sup> 등 다양한 증착 방법이 사용되고 있다. 이러한 방법들 중에, 펄스 레이저 증착 (PLD) 법은 강한 에너지를 갖는 레이저를 사용하기 때문에, 저온공정이 가능하고 레이저 에너지와 반복 주기를 조절하면 증착물을 손쉽게 조절할 수 있는 장점을 가지고 있다. 특히, 산소 분위기에서 양질의 산화막을 제작하는 매우 유용한 방법으로 주목받고 있다.<sup>[10]</sup> 펄스 레이저 증착법으로 산화막을 제작하는데는 산소 분압과 기판 온도의 영향이 매우 중요하다. 특히, 기판 온도는 기판 표면에 도달한 입자들이 알맞은 위치로 찾는데 필요한 에너지를 제공하기 때문에 박막의 특성을 결정짓는 중요한 요소이다.

따라서 본 연구에서는 펄스 레이저 법을 사용하여 100 mTorr 산소 분압에서 Quartz 기판 위에 ZnO 박막을 증착하여, 기판 온도가 ZnO 박막에 미치는 구조적 및 광학적 특성에 대해서 알아보았다. 또, UV-vis spectrometer 을 사용하여 얻은 ZnO 의 광학적 밴드갭과 Photoluminescence 측정을 통해 얻은 UV 발광 중심값을 비교해 봄으로서 두 값의 상관관계에 대해서도 조사하였다.

## II. 실험 방법

펄스 레이저 증착법을 사용하여 Quartz 기판에 ZnO 박막을 증착하였다. 그림 1에 본 실험에서 사용한 장비의 개략도를 나타내었다. 기판은 초음파 세척기를 이용하여 아세톤과 알콜 및 증류수를 이용하여 세척하였으며, 질소로 송풍 건조시킨 후 사용하였다. 본 연구에서 챔버 안의 초기 진공은  $5 \times 10^{-6}$  Torr까지 형성하였으며, 타겟은 지름 1인치, 순도 99.99% 를 갖는 ZnO 타겟을 사용하였다. 또한, 분위기 가스로 산소를 사용하여 산소 분압을 100 mTorr 로 고정하였으며, 타겟과 기판 간의 거리는 80 mm 로 유지하였다. 레이저 원으로는 248 nm 파장을 갖는 KrF 엑시머 레이저 (Lamda Physics, Compex 205) 를 사용하여 펄스당 180 mJ의 레이저 에너지와 5 Hz의 반복 주기로 타겟에 조사하였다. 한편, 레이저가 타겟의 새로운 면을 조사되도록 하기 위하여 타겟을 회전시켰다. 본 연구에서는 기판온도를 상온, 200 °C, 400 °C, 600 °C로 변화시켜 가면서 기판 온도 변화에 따른 ZnO 박막의 특성 변화를 연구하였다.

기판 온도에 따른 ZnO 박막의 구조적 특성을 분석하

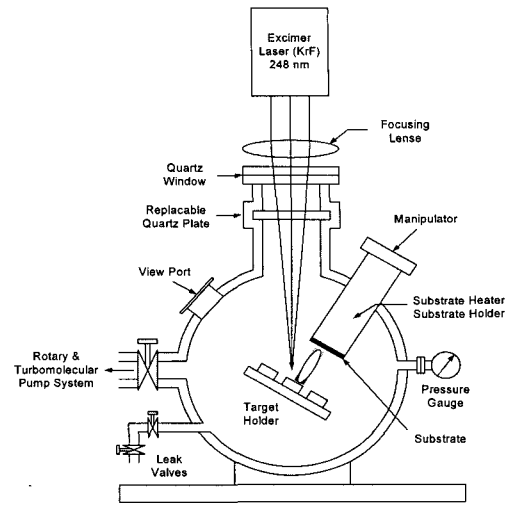


그림 1. PLD 장치의 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of PLD apparatus.

기 위해 Cu K $\alpha$  radiation ( $\lambda = 1.54060 \text{ \AA}$ ) 을 갖는 X-ray Diffractometer (XRD, Philips, PW 3020) 을 이용하여 ZnO 박막의 결정성 및 우선 배향성을 조사하였다. ZnO 박막의 발광 특성은 Ar-ion 레이저 ( $\lambda=351 \text{ nm}$ ) 를 이용하여 상온에서 Photoluminescence 측정을 실시하였다. 투과도는 UV-vis spectrometer (Cary 500, Varian) 를 사용하여 측정하였다.

## III. 결과 및 토의

그림 2에 기판 온도 변화에 따라 증착한 ZnO 박막의 XRD pattern 을 나타내었다. ZnO 는 hexagonal 구조로써, (002) 면이 다른 면보다 상대적으로 낮은 에너지를 갖고 있기 때문에, 원자들이 (002) 방향으로 우선 배향

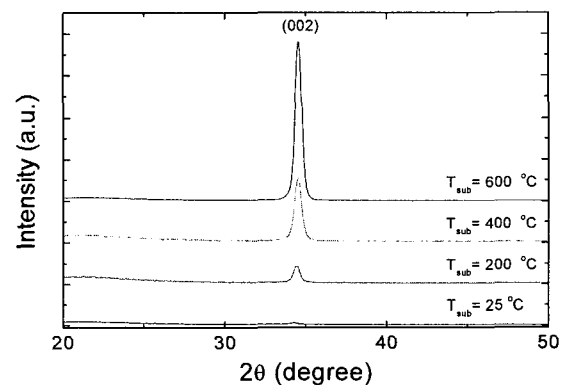


그림 2. 100 mTorr 산소 분압에서 기판 온도 변화에 따른 ZnO 박막의 XRD 패턴

Fig. 2. XRD patterns of ZnO thin film at 100 mTorr with various substrate temperatures.

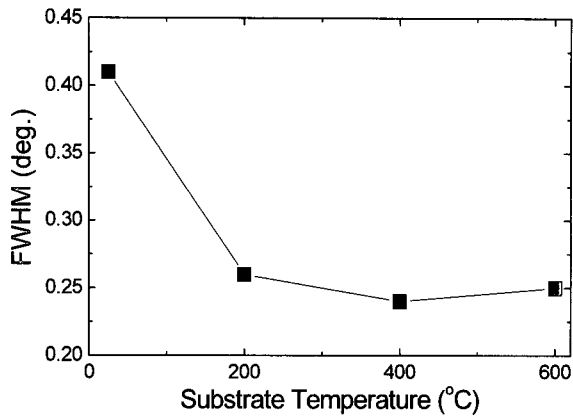


그림 3. (002) 피크에 대한 ZnO 박막의 반가폭  
Fig. 3. FWHM of ZnO thin films for (002) peak.

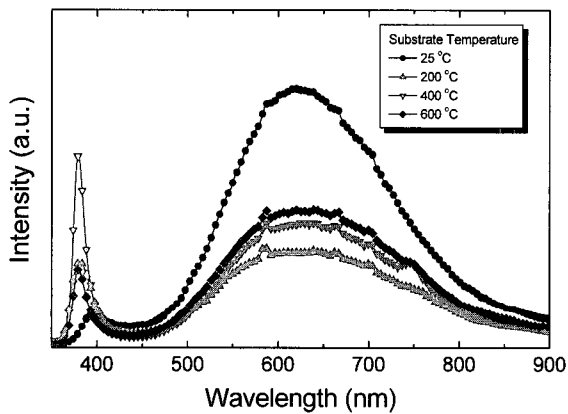


그림 4. 기판 온도 변화에 따른 ZnO 박막의 PL 특성  
Fig. 4. Photoluminescence of ZnO thin films with various substrate temperatures.

하는 특징을 가지고 있다.<sup>[11]</sup> 기판 온도 변화에 관계없이, 모든 박막에서 (002) 회절 피크만이 관찰되었고, 이로부터 모든 박막이 기판에 수직 방향인 c 축으로 성장했음을 알 수 있다. 기판 온도가 상온에서 600 °C까지 상승함에 따라, 회절 피크의 강도가 증가하는 것이 관찰되었고, (002) 피크의 2θ 값은 각각 34.21°, 34.41°, 34.53°, 34.55° 로 높은 각 쪽으로 이동하는 경향을 나타내었다. 이러한 피크의 이동은 기판과 박막 간의 열팽창 계수의 불일치와 lattice imperfections 에 의해서 생기는 것이라고 생각되며, Simon L. King 등<sup>[12]</sup>의 연구 결과와도 일치하는 것이다.

그림 3은 기판 온도 변화에 따른 ZnO 박막의 XRD 피크에 대한 반가폭(full width of half maximum)값을 나타낸 것이다. 회절 피크의 강도는 박막의 두께, 면적, 샘플의 삽입 방향에 의해서 영향을 받을 수 있기

때문에, 박막의 결정성을 알아보기 위해서는 반가폭 값을 구해보는 것이 필요하다. 기판 온도가 400 °C까지 상승함에 따라서, 반가폭 값은 0.41° 에서 0.24°로 감소하였으며, 600 °C에서 증착한 박막에서는 반가폭 값이 다소 증가하였다. 이는 고온으로 인하여 ZnO 박막의 결정성이 저하된 결과라고 생각된다. 이로부터, 400 °C에서 증착한 박막이 가장 결정성이 우수한 것을 알 수 있었다.

그림 4는 기판 온도 변화에 따른 ZnO 박막의 PL (Photoluminescence) 특성을 나타낸 것이다. ZnO 의 발광 밴드는 크게 두 가지 영역으로 나눌 수 있다. UV 영역 (380 nm) 에서 ZnO 의 에너지 밴드갭에 근접하여 발생하는 NBE (Near band edge) 발광과 가시광 영역에서 불순물이나 내부 결함에 의해서 발생하는 Deep-level 발광으로 나눌 수 있다. 또한, Deep-level 발광은 산소 결핍시 녹색 (510nm) 영역, 산소 과잉시 주황색 (640 nm) 영역에서 발광하는 것으로 알려져 있어, 산소가 deep-level 을 변화시키는데, 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있다.<sup>[13]</sup> 모든 박막에서 좁은 NBE 발광 피크와 주황색 영역에서 넓은 deep-level 발광 피크가 관찰되었다. 일반적으로, deep-level 발광은 녹색 영역에서 주로 관찰되며, 고온에서 열처리시 산소 과잉 상태에 의한 주황색 발광이 나타난다고 알려져 왔다.<sup>[14,15]</sup> 그러나, 최근 고온에서의 열처리 없이 상대적으로 낮은 온도에서 증착한 ZnO 박막에서도 주황색 발광이 발생한다는 것이 보고되고 있다.<sup>[16]</sup> 이런 주황색 발광의 원인에 대해서는 아직 정확한 이유가 밝혀지지 않았지만, 결정 내에 존재하는 interstitial oxygen ion (O<sub>i</sub><sup>-</sup>) 들과 관련이 있다는 연구결과가 보고되고 있다.<sup>[16-18]</sup> 한편, 기판 온도의 변화는 NBE 발광 피크와 Deep-level 발광 피크의 강도에 영향을 주었으며, 400 °C 에서 제작한 박막에서 NBE 발광 피크가 Deep-level 발광 피크보다 우세하여 UV 영역에서의 발광 특성이 개선된 것을 확인할 수 있었다. 결국, 기판 온도 변화에 따른 발광 강도의 변화는 기판 온도가 ZnO 발광 특성에 상당한 영향을 미치는 것으로 생각할 수 있다.

PL 측정에서 나타난 UV 피크의 반가폭 값을 구하여 그림 5에 나타내었다. UV 피크의 반가폭은 상온에서 400 °C로 상승함에 따라 48 nm에서 14 nm 로 감소하였으며, 600 °C의 고온에서 증착한 박막에서는 다시 값이 증가하는 경향을 나타내었다. 이 결과로부터 400 °C에서 증착한 박막이 가장 좋은 UV 발광 특성을 나타낸 것을 알 수 있었다. 또한, XRD 와 PL 측정 결과를

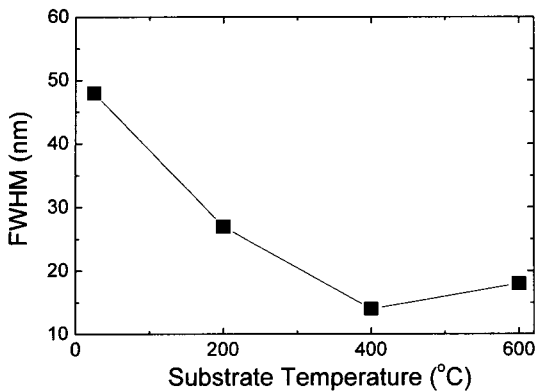


그림 5. ZnO 박막의 PL 스펙트럼에 대한 UV 발광 피크의 반가폭  
 Fig. 5. FWHM of ZnO thin films for UV peak of PL spectrum.

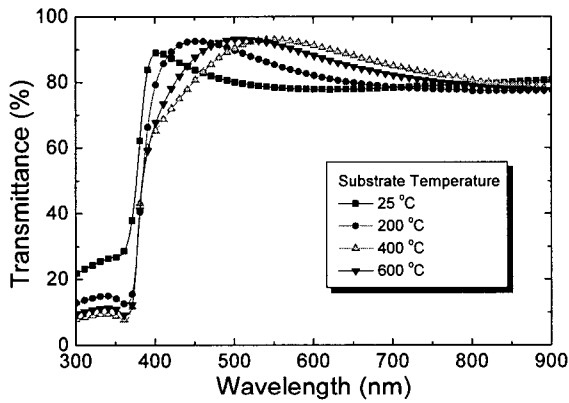


그림 6. 기판 온도 변화에 따른 ZnO 박막의 투과도 스펙트럼  
 Fig. 6. Optical transmittance of ZnO thin films with various substrate temperatures.

통해, 박막의 결정성이 UV 발광 특성에 영향을 미쳤음을 알 수 있었다. 결국, 우수한 UV 발광 특성을 갖는 박막을 제작하기 위해서는 우선적으로 결정성이 우수한 박막을 제작하는 것이 필요하다.

그림 6 은 300 nm 에서 900 nm 까지의 파장 대에서 기판 온도에 따라 증착한 ZnO 박막의 투과도 곡선을 나타낸 것이다. 가시광 영역에서 모든 박막이 투명하며, 평균 85% 의 높은 투과도를 나타내었다. 가시광 영역에서의 높은 투과도는 ZnO 박막이 투명 전도막과 같은 소자로 응용 하는데 중요한 요소가 된다. 380 nm 부근의 UV 영역에서는 투과도가 급속하게 감소하는 흡수단을 보이는데, ZnO 의 에너지 밴드갭과 밀접하게 관련이 있는 부분이다.

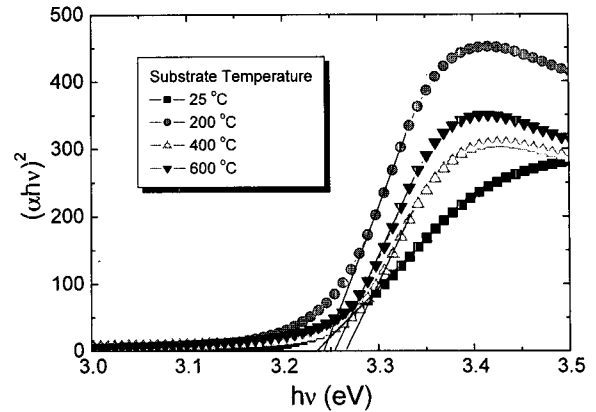


그림 7. 기판 온도 변화에 따른 ZnO 박막의  $(\alpha h\nu)^2$  대  $h\nu$  의 관계  
 Fig. 7. Plot of  $(\alpha h\nu)^2$  versus  $h\nu$  of ZnO thin films with various substrate temperatures.

표 1. PL 측정을 통해 얻은 UV 방출 중심값과 투과도 특성으로부터 구한 에너지 밴드갭 값의 비교

Table 1. UV emission center and band gap energies obtained optical transmittance spectrum and PL spectrum.

Temperature (°C)	UV emission center (eV)	Band gap energy (eV)
25	3.17	3.23
200	3.23	3.24
400	3.27	3.27
600	3.26	3.26

ZnO는 울자이트 구조의 직접 천이형 반도체로서, 흡수 계수  $\alpha$ 는 다음과 같은 식으로 표현 할 수 있다<sup>[19]</sup>.

$$(\alpha h\nu) = A(h\nu - E_g)^{1/2} \quad (1)$$

여기서, A는 상수이며,  $h\nu$  는 광자 에너지 (eV) 이다.

또한, 흡수 계수  $\alpha$  는 투과율과 박막의 두께를 이용하여 식 (2)를 통해 구할 수 있다.

$$T = \exp(-\alpha d) \quad (2)$$

그림 7에는  $(\alpha h\nu)^2$ 에 대한  $(h\nu)$ 의 그래프를 나타내었고, 이를 이용하여 기판 온도 변화에 따른 에너지 밴드갭 값을 구하였다.

모든 박막에서 가파른 흡수단을 보이며, 각각의 스펙트럼에서 접선의 기울기를 ' $(\alpha h\nu)^2 = 0$ '이 되는 지점까지 연장하여 도시하면, 그 지점이 에너지 밴드갭을 나타낸다. 상온, 200 °C, 400 °C, 600 °C에서 증착한 ZnO

박막은 각각 3.23, 3.24, 3.27, 3.26 eV의 에너지 밴드갭을 가지며, 밴드갭 에너지는 온도가 상온에서 400 °C 까지 상승함에 따라 증가하는 경향을 보였으나, 600 °C 에서는 다시 감소하는 추세를 나타내었다.

표 1은 PL 측정을 통해 얻은 UV 발광에 대한 중심값과 투과율 측정을 통해서 얻은 광학 밴드갭 값을 비교해서 나타낸 것이다. 표 1에서 보듯이, 기판온도에 무관하게 모든 박막에서 UV 발광 중심값과 광학 에너지 밴드갭 값이 일치하는 것을 볼 수 있다. 이를 통해서, UV 발광 중심값이 ZnO 의 Near band edge 발광을 나타낸다는 사실을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 펄스레이저 증착법으로 Quartz 기판 위에 100 mTorr 산소 분압에서 기판 온도 변화에 따른 ZnO 박막을 제작하여, 기판 온도가 박막의 구조적 및 광학적 특성에 미치는 영향들에 대해서 조사하였다. XRD 측정을 통해, 400 °C에서 증착한 ZnO 박막에서 가장 결정성이 좋은 박막이 제작되었으며, 이때의 반가폭은 0.24°였다. 또한, PL (Photoluminescence) 측정을 통해, 기판 온도에 관계없이 모든 ZnO 박막에서 NBE 발광과 주황색 영역에서 넓은 deep-level 발광이 관찰되었다. 기판 온도에 따라 UV 피크와 deep-level 피크의 강도가 변하는 것이 관찰되어 기판 온도가 박막의 발광 특성에 영향을 끼친다는 것을 확인 할 수 있었다. 400 °C 에서 증착한 ZnO 박막에서 가장 좋은 UV 발광 피크 (14 nm) 를 보였다. 이것은 좋은 결정성을 갖는 박막이 우수한 UV 발광 특성을 나타낸다는 것을 나타낸 것이다. 투과도 측정을 통해, 모든 박막이 가시광 영역에서 평균 85 % 대의 투과율을 보였다. 투과율 값을 바탕으로 광학 에너지 밴드갭 값을 구하여 UV 발광 중심값과 비교하면 결과, 두 값은 거의 유사한 값을 나타내었다. 이러한 사실로부터, ZnO 박막의 UV 발광 중심 피크는 광학 에너지 밴드갭에 가까운 값을 갖는다는 것을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] P. Nunes, E. Fortunato, P. Tonello, F. Braz Fernandes, P. Vilarinho and R. Martins, "Effect of Different Dopant Elements on the Properties of ZnO Thin Films", *Vacuum*, Vol. 64, pp. 281-285, 2002.
- [2] G. G. Valle, P. Hammer, S. H. Pulcinelli and C. V. Santilli, "Transparent and Conductive ZnO:Al Thin Films Prepared by Sol-Gel Dip-Coating", *J. Euro. Ceram. Soc.*, Vol. 24, pp. 1009-1013, 2004.
- [3] H. S. Kang, J. S. Kang, J. W. Kim and S. Y. Lee, "Annealing Effect on the Property of Ultraviolet and Green Emissions of ZnO Thin Films", *J. Appl. Phys.*, Vol. 95, No. 3, pp. 1246-1250, 2004.
- [4] D. C. Reynolds, D. C. Look and B. Jogai, "Optical Pumped Ultraviolet Lasing from ZnO", *Solid State Commun.*, Vol. 99, pp. 873-875, 1996.
- [5] J. H. Lee, K. H. Ko and B. O. Park, "Electrical and Optical Properties of ZnO Transparent Conducting Films by the Sol-Gel Method", *J. Cryst. Growth*, Vol. 247, pp. 119-125, 2003.
- [6] Y. Igasaki, T. Naito, K. Murakami and W. Tomoda, "The Effects of Deposition Conditions on the Structural Properties of ZnO Sputtered Films on Sapphire Substrates", *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 169-170, pp. 512-516, 2001.
- [7] B. J. Jin, S. Im and S. Y. Lee, "Violet and UV Luminescence Emitted from ZnO Thin Films Grown on Sapphire by Pulsed Laser Deposition", *Thin Solid Films*, Vol. 366, pp. 107-110, 2000.
- [8] K. Haga, T. Suzuki, Y. Kashiwaba, H. Watanabe, B. P. Zhang and Y. Segawa, "High-Quality ZnO Films Prepared on Si Wafers by Low-Pressure MO-CVD", *Thin Solid Films*, Vol. 433, pp. 131-134, 2003.
- [9] K. Ogata, K. Sakurai, Sz. Fujita, Sg. Fujita and K. Matsushige, "Effects of Thermal Annealing of ZnO Layers Grown by MBE", *J. Cryst. Growth*, Vol. 214-215, pp. 312-315, 2000.
- [10] M. Rusop, K. Uma, T. Soga and T. Jimbo, "Post-Growth Annealing of Zinc Oxide Thin Films Pulsed Laser Deposited under Enhanced Oxygen Pressure on Quartz and Silicon Substrate", *Mater. Sci. Eng. B*, Vol. 127, pp. 150-153, 2006.
- [11] B. J. Jin, S. H. Bae, S. Y. Lee and S. Im, "Effects of Native Defects on Optical and Electrical Properties of ZnO Prepared by Pulsed Laser Deposition", *Mater. Sci. Eng. B*, Vol. 71, pp. 301-305, 2000.
- [12] Simon L. King, J. G. E. Gardeniers and Ian. W. Boyd, "Pulsed-Laser Deposited ZnO for Device Applications", *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 96-98, pp. 811-818, 1996.
- [13] S. A. Studeninkin, N. Golego and M. Cocivera, "Fabrication of Green and Orange

Photoluminescent Undoped ZnO Films Using Spray Pyrolysis”, J. Appl. Phys, Vol. 84, No. 4, pp. 2287-2294, 1998.

[14] M. Koyano, P. Quocbao, L. T. Thanhbinh, L. Hongha, N. Ngoclong, S. Katayama, “Photoluminescence and Raman Spectra of ZnO Thin Films by Charged Liquid Cluster Beam Technique”, Phys. Stat. Sol, Vol. 193, pp. 125-131, 2002.

[15] S. H. Bae, S. Y. Lee, H. Y. Kim, S. Im, “Effect of Post-Annealing Treatment on the Light Emission Properties of ZnO Thin Films on Si”, Optic. Mater, Vol. 17, pp. 327-330, 2001.

[16] Y. G. Wang, S. P. Lau, H. W. Lee, S. F. Yu, B. K. Tay, X. H. Zhang, H. H. Hng, “Photoluminescence Study of ZnO Films Prepared by Thermal Oxidation of Zn Metallic Films in Air”, J. Appl. Phys, Vol. 94, pp. 354-358, 2003.

[17] A. B. Djuriscic, Y. H. Leung, K. H. Tam, L. Ding, W. K. Ge, H. Y. Chen, S. Gwo, “Green, Yellow, and Orange Defect Emission from ZnO Nanostructures: Influence of Excitation Wavelength”, Appl. Phys. Lett, Vol. 88, pp. 103107, 2006.

[18] L. E. Greene, M. Law, J. Goldberger, F. Kim, J. C. Johnson, Y. Zhang, R. J. Saykally, P. Yang, “Low-Temperature Wafer-Scale Production of ZnO Nanowire Arrays”, Angew. Chem. Int. Ed, Vol. 42, pp. 3031-3034, 2003.

[19] X. Chen, W. Guan, G. Fang and X. Z. Zhao, “Influence of Substrate Temperature and Post-Treatment on the Properties of ZnO:Al Thin Films Prepared by Pulsed Laser Deposition”, J. Surf. Sci, Vol. 252, pp. 1561-1567, 2005.

저 자 소 개



**강 성 준**(정회원)  
 1989년 인하대학교 응용물리학과 학사 졸업.  
 1994년 인하대학교 전자재료 공학과 석사 졸업.  
 1999년 인하대학교 전자재료 공학과 박사 졸업.  
 1999년~2000년 인하대학교 전자재료공학과 연구원 (Post Doc.)  
 2000년~현재 전남대학교 전기 및 반도체공학과 부교수  
 <주관심분야 : 나노 반도체 공정, 차세대 메모리 소자, 압전박막, 광소자>



**정 양 희**(정회원)  
 1983년 단국대학교 응용물리학과 졸업(공학사)  
 1985년 인하대학교 전자재료 공학과 졸업(석사).  
 1993년 인하대학교 전자재료 공학과 졸업(박사)  
 1988년~1995년 LG반도체 선임연구원  
 1995년~현재 전남대학교 전기 및 반도체공학과 부교수  
 <주관심분야 : VLSI 공정 및 반도체물성소자>



**윤 영 섭**(정회원)  
 1975년 서울대학교 금속공학과 학사 졸업.  
 1977년 한국과학원 재료공학과 석사 졸업.  
 1988년 Univ. Southern California 전자공학과 박사 졸업.  
 1987년~1988년 Oklahoma State University 대우교수  
 1988년~1989년 UCLA Device Research Lab. 연구원  
 1989년~1992년 삼성전자 기흥반도체연구소 수석연구원  
 1992년~현재 인하대학교 전자공학과 교수  
 <주관심분야 : ULSI DRAM 을 위한 신물질 개발, 강유전성 박막, Pyroelectric 센서, SAW device>