

## Property of molecular beam epitaxy-grown ZnSe/GaAs

Eundo Kim<sup>\*,\*\*\*,†</sup>, Young-Ho Son<sup>\*</sup>, Seong Jin Cho<sup>\*\*</sup> and Do Weon Hwang<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>R & D Center, ALPHA PLUS Co., Ltd., Pohang 790-834, Korea

<sup>\*\*</sup>Department of Physics, Kyungpook University, Busan 608-736, Korea

(Received January 2, 2007)

(Accepted February 14, 2007)

**Abstract** We have installed an ultra high vacuum (UHV) molecular beam epitaxy (MBE) system and investigated into the characteristics of MBE-grown ZnSe/GaAs [001] using scanning electron microscopy (SEM), atomic force microscopy (AFM), we confirmed that layer's surface was dense and uniform of molecular layer. We used x-ray diffractometer (XRD) and confirmed two peaks correspond to GaAs [001] substrate and ZnSe epilayer, respectively. We observed photoluminescence (PL) peak approximately at 437 nm and measured PL mapping of 2 inch ZnSe epilayer.

**Key words** Ultra high vacuum (UHV), Molecular beam epitaxy (MBE), Effusion cell, plasma cell, ZnSe

## 분자선 에피성장법으로 성장된 ZnSe/GaAs의 특성

김은도<sup>\*,\*\*\*,†</sup>, 손영호<sup>\*</sup>, 조성진<sup>\*\*</sup>, 황도원<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>(주)알파플러스 기술연구소, 포항, 790-834

<sup>\*\*</sup>경성대학교 물리학과, 부산, 608-736

(2007년 1월 2일 접수)

(2007년 2월 14일 심사완료)

**요 약** 본 연구에서는 초고진공(UHV, ultra high vacuum) 분자선 에피성장(MBE, molecular beam epitaxy) 시스템을 제작하여, ZnSe/GaAs[001]을 증착하였고, 증착된 박막의 특성을 SEM(scanning electron microscopy), AFM(atomic force microscopy)으로 조사하여, 분자층 단위의 조밀하고 균일한 표면특성을 보이고 있음을 확인할 수 있었다. XRD(x-ray diffractometer)를 이용하여, GaAs[001]기판의 XRD peak 위치와 ZnSe 박막의 XRD peak 위치가 각각 일치함을 확인할 수 있었다. PL(photoluminescence)로는 대략 437 nm에서 발광하는 것이 관측되었으며, 2인치 ZnSe 박막의 PL mapping을 측정하였다.

### 1. 서 론

분자선 에피성장(MBE, molecular beam epitaxy)은 반도체, 부도체, 금속 등의 단결정 박막성장법의 하나로써, 열에너지를 갖는 구성원소의 분자선과 초고진공(UHV, ultra high vacuum) 내에서의 기판사이의 반응에 의해 박막을 성장시키는 방법이다. 증발원과 기판의 정밀한 온도제어를 통해 성장속도를 아주 낮게 제어할 수 있으며, 원자층 단위로 박막의 구조를 조절할 수 있다 [1, 2]. GaN, GaAs, AlGaAs, ZnO, ZnSe 등 II-VI족 및 III-V족 화합물 반도체박막 증착을 위한 초고진공용 시스템의 수요가 늘어나고 있으며, 분출 증발원(effusion

cell)을 이용한 박막형 제품들의 수요도 증가하고 있다. 최근에는 chemical vapor deposition(CVD) 및 hot wall epitaxy(HWE) 방법으로 양질의 박막을 성장하는 것이 가능하게 되었고 이에 따라 최근에는 광소자 개발에 많은 관심을 보이고 있다[3-5]. 본 연구에서는 이전까지 수입에만 의존하던 분자선 에피성장 시스템의 핵심 부품에 해당하는 분출 증발원을 이용한 분자선 에피성장 시스템을 국산화하였고, ZnSe/GaAs[001] 박막의 특성을 조사하였다. 향후에 상당한 수입대체 효과가 기대되며, 기타 여러 분야에서도 새로운 수요가 창출될 수 있을 것으로 기대된다.

### 2. 장치개요 및 실험과정

초고진공 분자선 에피성장 시스템은 증착공정을 수행

<sup>†</sup>Corresponding author

Tel: +82-54-223-2366

Fax: +82-54-223-2369

E-mail: edkim@alpha-plus.co.kr

하는 주챔버(main chamber)와 시편을 삽입하기 위한 시편이송장치(load-lock transfer)가 부착된 보조챔버(load-lock chamber)로 이루어지고, 주챔버에는 초고진공분위기를 만드는 크라이오펌프(cryo pump)와 터보분자펌프(turbo molecular pump) 및 건식펌프(dry pump), 시편 가열모듈(substrate heating module), 진공도 측정용 이온게이지(ion gauge), 두께 측정 장치(thickness monitor), 분압 측정 장치(vapor flux meter), 분출 증발원등으로 이루어져 있다. 크라이오펌프는 용량이 2400 l/s으로 주 챔버에 장착되어 있고, 터보분자펌프는 용량이 350 l/s으로 주 챔버에 장착되어 있으며, 주 챔버 및 보조 챔버의 고진공분위를 만드는데도 사용된다. 최종 배기펌프로는 Oil free인 건식펌프를 사용하였고, 보조 챔버의 저진공분위를 만드는데도 사용되었다. 직경 2인치 크기의 시편이 5장 장착가능하고, 회전과 Z축 방향으로의 움직임도 가능하며, 시편의 증착을 조절하는 셔터(shutter)도 장착되어 있다. 진공도 측정용 이온게이지 및 분압 측정 장치는 GP307(Granville Philips)을 사용하였고, 두께 측정 장치는 STM-100(Sycon)을 사용하였다. 분출 증발원은 120 cc 대용량의 Zn용과 Se용으로 각각 STE-1000S (ALPHA PLUS Co., Ltd.)를 사용하였다. Fig. 1은 AP-

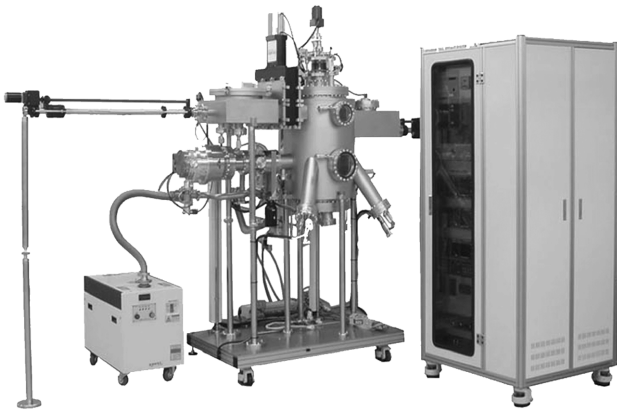


Fig. 1. Picture of UHV MBE system (model AP-MBE350).

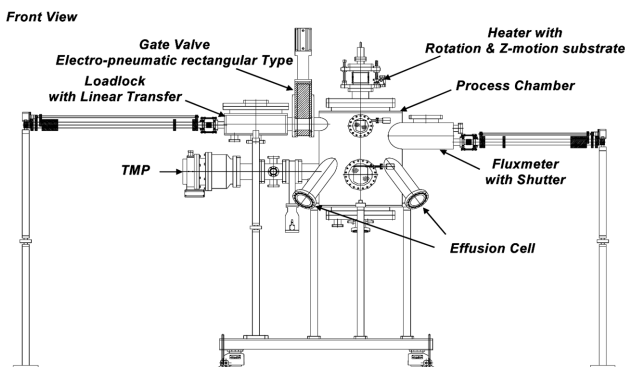


Fig. 2. Front view of UHV MBE system.

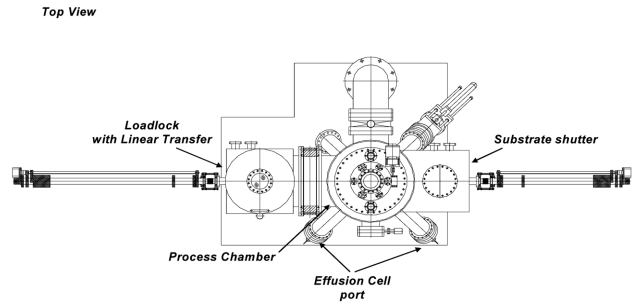


Fig. 3. Top view of UHV MBE system.

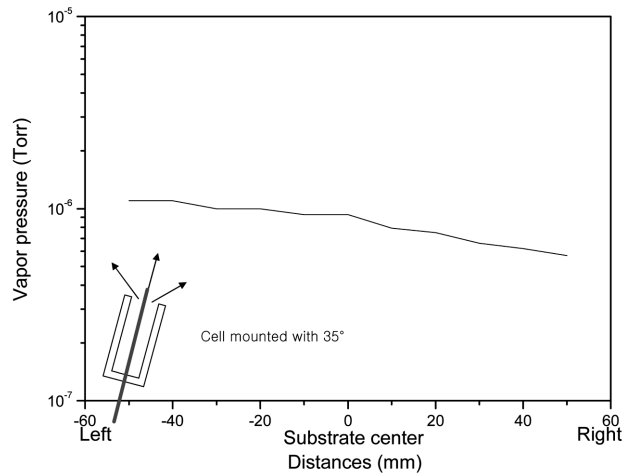


Fig. 4. Vapor pressure of Zinc as a function of the position of the effusion cell for Zinc.

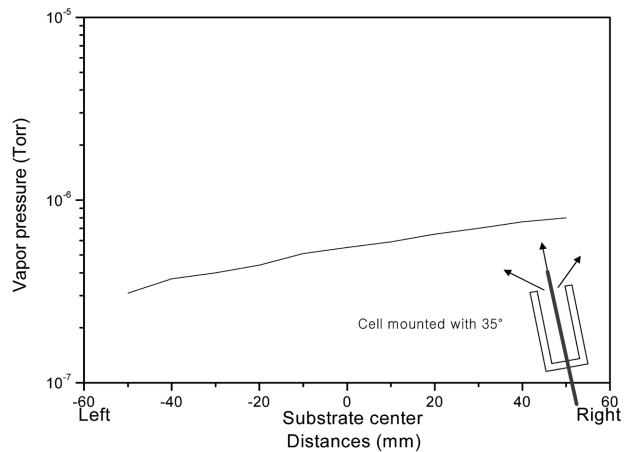


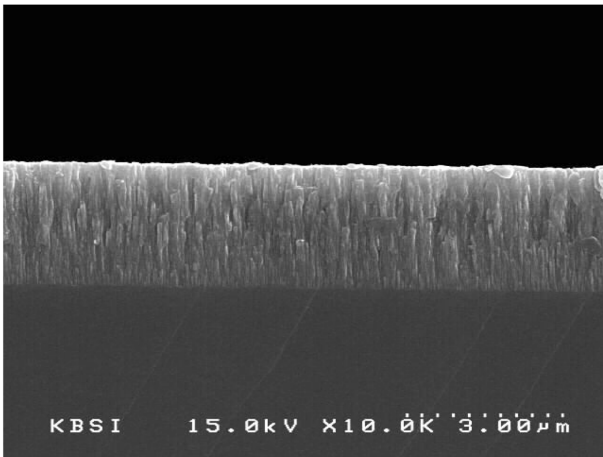
Fig. 5. Vapor pressure of Selenium as a function of the position of the effusion cell for Selenium.

MBE350 모델의 분자선 에피성장 시스템과 구동장치들의 사진이고, Fig. 2와 Fig. 3은 분자선 에피성장 시스템을 정면과 상부에서 본 개요도이다.

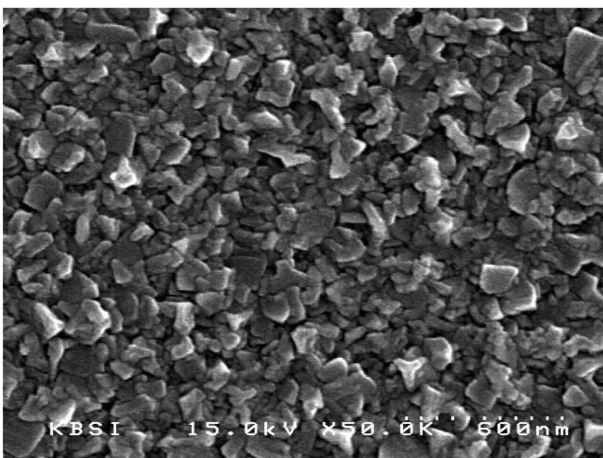
Fig. 4와 Fig. 5는 초고진공 분자선 에피성장 시스템 내부에 설치된 Zn용 분출 증발원과 Se용 분출 증발원

의 시편위치에 따른 분압 측정치를 나타내었다. Zn용과 Se용 분출 증발원은 시편과 각각 직선거리 320 mm 정도 떨어져 있고, 시편의 중심과의 각도 35°로 기울어져 있다. 이때 사용된 것은 분압 측정 장치이고, Zn용 분출 증발원의 온도는 325°C, Se용 분출 증발원의 온도는 190°C이며, 기초 진공도는  $2 \times 10^{-9}$  Torr이었다.

앞에서 설명한 초고진공 분자선 에피성장 시스템을 이용하여 Si이 dopant로 들어간 n형 GaAs[001]기판 위에 ZnSe를 증착하였다. GaAs[001]기판 위에 ZnSe를 증착하기 위한 공정 조건은 다음과 같다. Zn용 분출 증발원 1개와 Se용 분출 증발원 1개를 각각 이용하였다. 기판의 온도는 300°C, Zn용 분출 증발원의 온도는 325°C, Se용 분출 증발원의 온도는 190°C일 때의 기초 진공도는  $5 \times 10^{-9}$  Torr, 증착시의 진공도는  $5 \times 10^{-8}$  Torr이었고, 증착시간은 3시간이었으며, 두께 측정 장치를 통한 ZnSe의 증착율은 1.5~2.0 Å/s이다[6, 7].



(a)



(b)

Fig. 6. SEM images of ZnSe/GaAs: (a) cross section view, (b) plan view.

### 3. 결과 및 논의

GaAs의 격자상수는 5.653 Å이고, ZnSe의 격자상수는 5.668 Å이므로, GaAs기판 위에 성장하는 경우 격자 부정합(lattice mismatch)이 생기게 된다. Fig. 6과 Fig. 7은 ZnSe/GaAs[001] 박막의 표면과 단면의 특성을 SEM과 AFM을 이용하여 분석한 것으로, 전체 두께는 2.25 μm 정도이고, 분자층 단위의 조밀하고 균일한 표면특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

XRD에 의해 cubic 구조인 GaAs의 peak와 ZnSe peak이 일치하는 것으로 보이나, ZnSe이 다결정(poly crystal)으로 성장된 것으로 판단된다. Fig. 8에서는 XRD를 이용한 ZnSe/GaAs[001] 박막의 구조분석 결과를 보여주는 데, GaAs(200)와 ZnSe(200)의 면간격 d는 각각 2.8250 Å과 2.8349 Å이고, GaAs(400)와 ZnSe(400)의 면간격 d는 각각 1.4136 Å과 1.4170 Å인데 GaAs[001]기판의 XRD peak 위치와 ZnSe/GaAs[001] 박막의 XRD peak 위치가 일치함을 확인할 수 있었다.

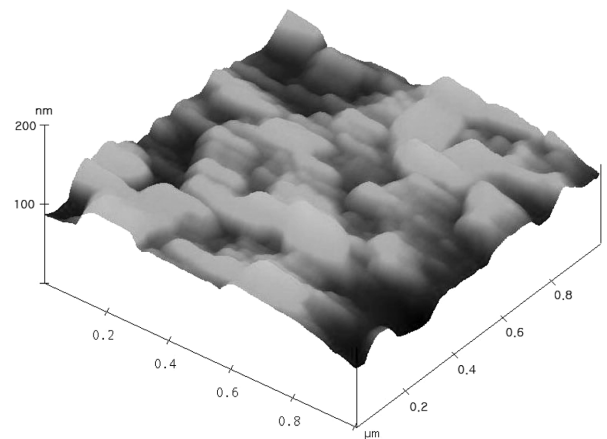


Fig. 7. AFM image of ZnSe/GaAs surface (RMS roughness is 9.674 nm).

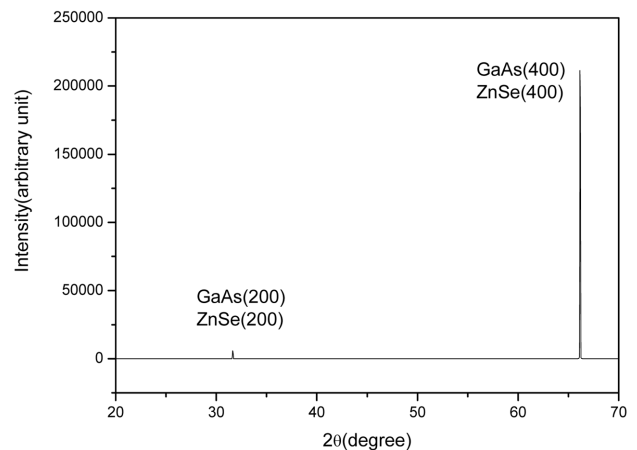


Fig. 8. XRD pattern of ZnSe/GaAs.

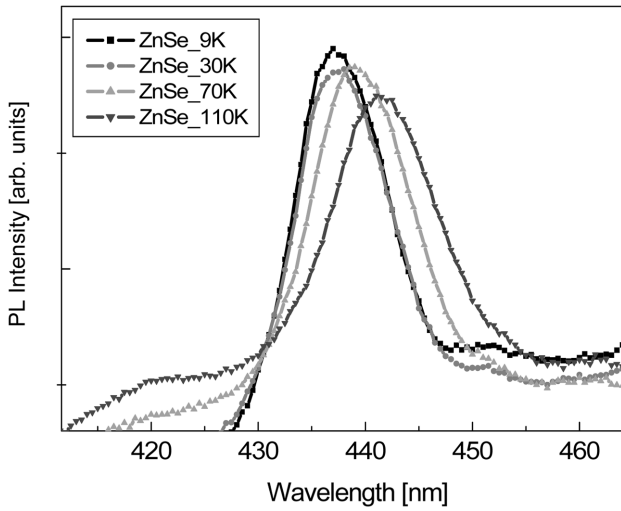


Fig. 9. PL spectrum of ZnSe/GaAs by using femtosecond-laser.

Fig. 9에서는 350 nm의 femtosecond-laser를 이용하여 9 K, 30 K, 70 K, 110 K에서 측정한 PL(Photoluminescence) 특성을 보여준다. 온도에 따른 적색편이(red-shift)가 나타남을 확인할 수 있었고, 437 nm 근처에서 발광하는 것으로 보아 분명한 ZnSe의 PL peak임을 확인할 수 있다[5]. Fig. 10에서는 2" ZnSe/GaAs[001] 박막의 PL

mapping 분포를 보여주는데, (a)는 lambda peak, (b)는 intensity peak, (c)는 signal intensity, (d)는 FWHM을 나타낸다.

#### 4. 결 론

성장한 ZnSe/GaAs[001] 박막은 cubic과 hexagonal 형태의 polycrystalline 구조를 주로 이루고 있는데, XRD peak으로는 박막이 동일한 방향으로 성장한 것으로 나타났다으며, AFM이나 SEM을 통한 형태(morphology)를 보면, 다결정(poly crystal) 구조로 보이기 때문에, 박막의 grain 모두가 결정 구조를 가지고 동일한 방향으로 성장된 것으로 판단된다. 분자선 에피성장의 특성인 단결정으로 성장 시키지는 못했지만 모든 grain이 같은 방향으로 성장되고 있기 때문에, 추후 향상된 에피성장 조건 실험으로 단결정성장 및 양질의 박막을 만들 수 있을 것으로 예상된다.

본 논문에서는 초고진공 분자선 에피성장 시스템을 이용한 ZnSe/GaAs[001] 박막의 증착이 성공적으로 이루어졌음을 확인할 수 있었으며, 국내 초고진공 연구개발과 관련된 시스템들을 국산화함으로써, 외산장비의 수입

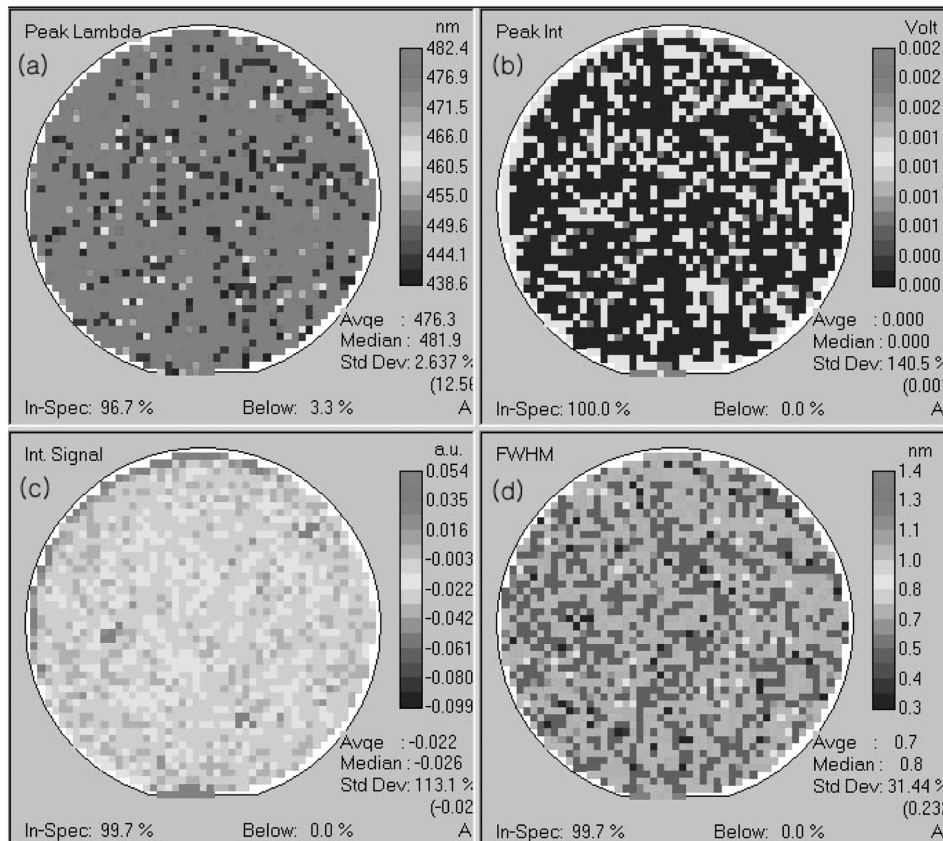


Fig. 10. PL mapping of 2" ZnSe/GaAs epiwafer: (a) peak Lambda, (b) peak intensity, (c) integral signal, (d) FWHM.

대체효과가 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 논문의 분석을 도와주신 한국기초과학지원연구원 부산분소에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [ 1 ] S.H. Bae, S.R. In, K.H. Chung, Y.B. Lee and Y.H. Shin, "Vacuum science" (Hankyung, Seoul, 2000) p. 681-695.
- [ 2 ] S.M. Chung, J.W. Lee and C.Y. Park, "Introductory Vacuum Science & Technology" (Cheong Moon Gak, Seoul, 2001) pp. 412-420.
- [ 3 ] S. Fujiwara, H. Morishita, T. Kotani, K. Matsumoto and T. Shirakawa, "Growth of large ZnSe single crystal by CVT method", J. Cryst. Growth 186 (1998) 60.
- [ 4 ] T. Yamaguchi, K. Ando, K. Koizumi, H. Inozue, H. Ishikura, T. Abe and H. Kasada, "Self-compensation of the phosphorous acceptor in ZnSe", J. Appl. Phys. 37 (1998) 1453.
- [ 5 ] K.J. Hong and S.N. Baek, "Properties of photoluminescence for ZnSe/GaAs epilayer grown by hot wall epitaxy", J. K. Cryst. Growth and Cryst. Tech. 13 (2003) 105.
- [ 6 ] M.J. Kim, H.S. Lee, J.Y. Lee, T.W. Kim, K.H. Yoo and M.D. Kim, "Effect of thermal annealing on the surface, optical, and structural properties of p-type ZnSe thin films grown on GaAs (100) substrates", J. Mat. Sci. 39 (2004) 323.
- [ 7 ] J.S. Song, J.H. Chang, S.K. Hong, M.W. Cho, H. Makino, T. Hanada and T. Yao, "Improvement in crystallinity of ZnSe by inserting a low-temperature buffer layer between the ZnSe epilayer and the GaAs substrate", J. Cryst. Growth 242 (2002) 95.