

論文93-30A-9-4

GSMBE에 의한 단파장 GaInP/AlInP DBR 반도체 레이저 제작 및 특성

(The 607nm GaInP/AlInP Distributed Bragg Reflector Visible Laser Grown by Gas Source Molecular Beam Epitaxy)

張 東 薰*, 劉 址 範*, 岸 野 克 己**, 金 子 和**

(Dong-Hoon Jang, Ji Beom Yoo, Katsumi Kishino and Yawara Kaneko)

要 約

Gas Source Molecular Beam Epitaxy (GSMBE)와 간섭 로판법을 이용하여 단파장인 가시광 (607nm) 단일모드 GaInP/AlInP distributed Bragg reflector (DBR) 레이저를 제작 하였다. 제작된 GaInP/AlInP DBR 레이저는 동작온도 140K, 발진파장 607nm에서 임계전류의 1.8배 까지 안정한 단일모드로 동작 하였으며, 단일모드 동작 온도 범위에서 DBR 레이저 도파로의 유효 굴절률은 3.286 이었다. 120K~165K 온도 범위에서 발진파장의 온도 의존성은 0.033 nm/K로 자연방출광의 온도 의존성 0.12 nm/K의 1/4로 DBR 모드로 동작 하였으며, 단일모드 동작온도 범위에서 mode hopping은 없었다.

Abstract

The 607 nm GaInP/AlInP distributed Bragg reflector (DBR) lasers using the second order gratings period of 184.7 nm were fabricated by gas source molecular beam epitaxy (GSMBE) and the conventional holographic method. GaInP/AlInP DBR lasers show single mode operations up to 1.8 times the threshold currents with a wavelength of 607 nm at 140 K and a wavelength shift of 0.033 nm/K is observed. No mode hopping was found in the temperature ranging from 120 to 165K.

1. 서론

최근에 이르러 II-VI 화합물 반도체인 ZnSe에 의한 Blue-Green 반도체 레이저가 저온에서 동작을

하여 II-VI 화합물 반도체에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나^{1,2}, 지금까지 가시광 반도체 레이저는 주로 III-V 화합물 반도체에 의한 적색 반도체 레이저가 연구의 중심이 되어 왔다. 780nm 파장의 AlGaAs 반도체 레이저는 compact disc의 광원으로 사용됨으로서 그 수요가 크게 증가 하였으나, 사람의 눈에 의한 감지 효율은 매우 낮다. 그러나 최근에 이르러 bandgap이 큰 AlGaInP/GaAs와 GaInAsP/GaAs의 결정성장 기술의 발달로, 사람의 눈에 감지 효율이 높은 670nm의 단파장 반도체 레이저가 개발됨에 따라, 가시광 반도체 레이저는 pointer,

* 正會員, 韓國電子通信研究所, 光電子研究室
(Optoelectronics Section, ETRI)

** 日本, 上智大學校, 電子工學科
(Faculty of Elec and Elec. Sophia Univ.)
接受日字: 1992年 9月 25日

barcode scanner, laser beam printer등 그 응용 범위가 크게 확대 되고 있다. 그러나 이와 같은 AlGaInP 가시광 반도체 레이저는 발진파장의 단파장화로 이중 이중 접합 구조에서의 heterobarrier의 높이가 낮아 지게 된다. 이와 같은 재료적인 특성의 제한에 따라 AlGaInP 반도체 레이저에 있어서는 단파장화에 따라 임계전류밀도가 급격히 증가 하며, 가시광 반도체 레이저의 동작도 액체 질소 온도에서는 550nm, 실온에서는 630nm가 단파장의 한계로 알려져 있다. 이와 같은 제약 때문에 AlGaAs/GaAs 또는 GaInAsP/InP 반도체 레이저와는 달리 1985년에 이르러서야 GaAs기판에 활성층은 GaInP, clad층은 AlGaInP를 사용한 670nm의 적색 반도체 레이저가 실온 연속 동작에 성공 하였으며, He-Ne 가스 레이저의 파장인 633nm 에서는 1990년에 이르러서야 실온 연속 동작에 성공 하게 되었다.^[4] 가시광 반도체 레이저의 임계전류밀도 특성 연구는 strained Quantum Well 활성층을 사용하여 발진파장 700nm에서 실온 임계전류밀도 190 A/cm² 까지 얻은 보고와 함께^[5], 최근 단파장인 630nm 반도체 레이저에서도 임계전류밀도 760 A/cm²^[6] 와 460 A/cm² 를 얻은 보고가 있다.^[7]

이와 같은 가시광 반도체 레이저에 있어서는 단파장화와 저임계 전류밀도에 관한 연구와 함께 광 계측 분야등에 많이 사용 되고 있는 He-Ne 가스 레이저를 대체 할수 있는 고순도 스펙트럼 특성을 갖는 단파장 단일모드 반도체 레이저 개발에 대한 요구도 점차 증대 하고 있다. 600nm 대 단파장 반도체 레이저에서의 단일모드 레이저 제작에 관한 연구는 671nm의 GaInAsP/AlGaAs distributed feedback (DFB) 레이저와^[8,9] 저온에서 광여기로 동작된 639nm의 GaInP/AlGaInP DFB레이저에 관한 연구가^[10] 부분적으로 진행 되었으나 고순도 스펙트럼을 갖는 가시광 DBR 반도체 레이저 제작에 관한 연구는 없었으므로 본 연구에서는 607nm의 GaInP/AlInP 가시광 DBR 레이저의 제작과 그 특성을 조사 분석 하였다.

II. GaInP/AlInP DBR 반도체 레이저 구조 및 제작공정

본 연구에서 제작한 GaInP/AlInP DBR 레이저의 개략도를 (Fig. 1)에 나타 내었다.^[11] (Fig. 1)에서 활성층은 인장응력 0.9%를 갖고 상온 발진 파장 633nm의 strained GaInP이며 활성층의 양면에는 GaInP와 AlInP를 각각 3monolayer, 2

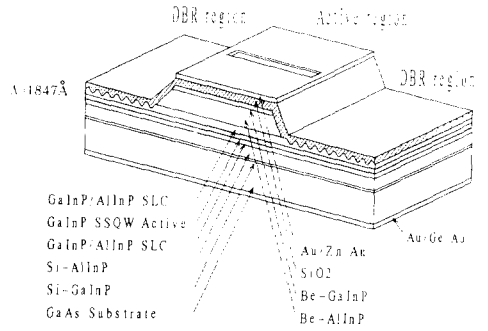


그림 1. GaInP/AlInP DBR 레이저의 개략도
Fig. 1. Schematic diagram of GaInP/AlInP DBR laser.

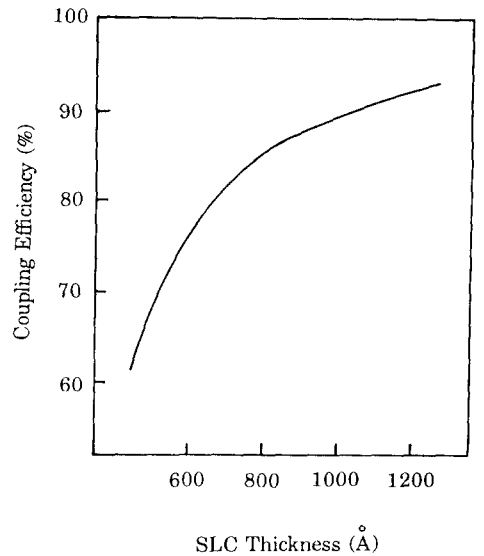


그림 2. GaInP/AlInP DBR 레이저의 광 coupling 효율
Fig. 2. Coupling Efficiency of GaInP/AlInP DBR lasers.

monolayer로 하는 초격자층을 대칭적으로 성장 한 구조이다. 이와 같은 slab 구조에서의 초격자 clad 층 두께에 따른 활성영역과 수동영역의 광 결합 효율 (coupling efficiency)의 계산 결과를 (Fig. 2)에 나타 내었다. (Fig. 2)에서 초격자 clad 층의 두께가 증가 함에 따라, 약 80nm 까지는 급격히 증가 하게 되나 그이상에서는 완만히 증가한다. 또한 초격자

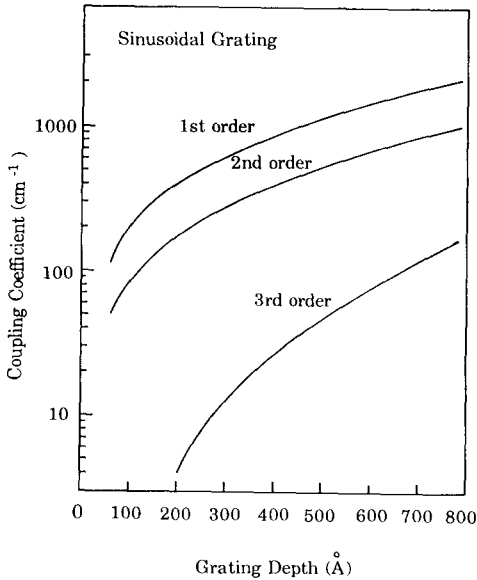


그림 3. Sinusoidal 회절격자의 Coupling Coefficient

Fig. 3. Coupling Coefficient versus tooth height with Bragg order in sinusoidal grating.

clad 층의 두께가 120nm 이상으로 증가 하게 되면 slab 구조 내에서 다중모드로 동작 하게 되므로 본 연구에서는 초격자 clad 층의 두께를 80nm 로 하였다. 또한 단일 종모드 레이저 제작을 위한 grating은 수동영역의 초격자 clad 층 위에 제작 하였다. Grating 위에 SiO₂를 화학증착 시켰을때 광파의 반사 효율을 나타 내는 coupling coefficient 의 계산 결과를 (Fig. 3)에 나타 내었다. 633nm 가시광 반도체 레이저의 1차 grating의 경우 주기가 90~100nm로 매우 미세한 pattern을 필요로 하게 되며, (Fig. 3)에서 3차 grating의 경우에는 coupling coefficient가 2차 grating에 비하여 현격히 감소 된다. 따라서 본 연구에서는 325nm 의 He-Cd 레이저를 이용한 간섭 로광법을 이용하여 2차 grating인 184.7nm 주기의 grating을 제작 하였다. DBR 레이저에 있어서 coupling coefficient는 광파 강도의 제곱에 비례하고, grating 양면의 굴절율 제곱의 차에 비례 하므로^[12] (Fig. 1) 구조의 경우 grating은 활성층 영역에 가까워 광파의 강도가 강할 뿐만 아니라 grating의 SiO₂ 굴절율은 1.45로 초격자 clad층의 굴절율 약 3.46과 비교하여 굴절율 차가 매우 크므로 coupling coefficient는 매우 커지게 된

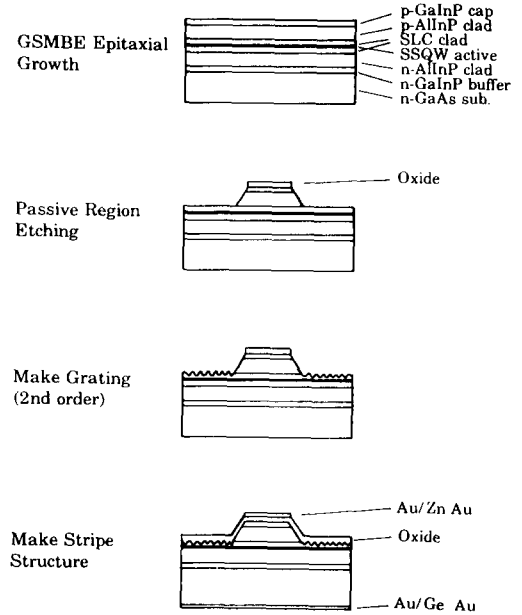


그림 4. GaInP/AlInP DBR 레이저의 제작공정
Fig. 4. GaInP/AlInP DBR laser fabrication processes.

다. (Fig. 1)의 GaInP/AlInP DBR 레이저 구조로 coupling coefficient를 계산한 (Fig. 3)에서 grating 깊이 50nm일때 coupling coefficient는 약 400 cm⁻¹ 로 일반적으로 광통신에서 사용되는 InGaAsP/InP DFB또는 DBR 레이저의 20~100cm⁻¹ 보다 매우 큼을 알수가 있다.

(Fig. 1)과 같은 간단한 구조를 갖는 GaInP/AlInP DBR 레이저의 제작 공정을 (Fig. 4)에 나타 내었다. DBR 레이저 제작을 위한 GaInP/AlInP 이중이종접합 구조의 결정 성장은 Gas Source Molecular Beam Epitaxy (GSMBE)를 이용 하였다. Ga, Al, In과 dopant인 Be, Si은 고체 source를 사용 하였으나, V족 원소인 As와 P는 gas source인 AsH₃과 PH₃을 분해 하여 사용 하였다. (110)으로 15° 기울어진 (100) GaAs 기판은 세척과 식각의 표준공정을 거친후 chamber에 장입 되었다. 기판은 자연 산화막을 제거 시킨뒤(610 °C) 80nm의 GaAs buffer층을 성장 시켜 기판을 평탄화 시킨 후, 500 °C에서 GaInP과 AlInP의 결정성장을 하였다. 활성층은 인장응력 0.9%를 갖는 GaInP를 10nm 성장 하였으며 활성층의 양면에 GaInP와 AlInP 가 각각 3 monolayer, 2 monolayer인 초격자 층을 55 pair, AlInP clad층은 0.7mm 성장 시켰으며, 음 접촉을 위한 p-

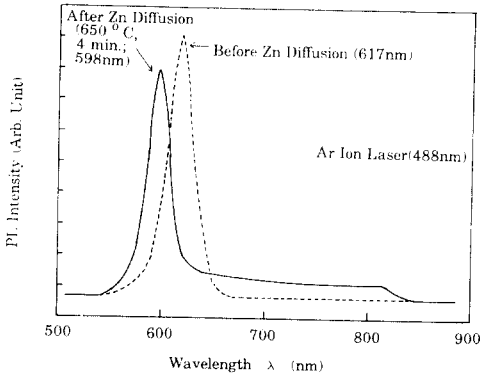


그림 5. Zn 확산에 의한 수동영역의 PL 스펙트럼
Fig. 5. PL Spectrums of passive region before and after Zn diffusion.

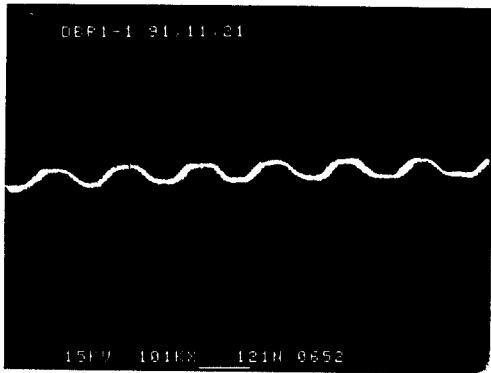


그림 6. 초격자층에 형성된 184.7nm 주기 회절격자 단면 사진
Fig. 6. SEM photographs of the second order corrugation transcribed on an SLC layer with the period of 184.7 nm.

GaInP cap층은 140nm 성장 시켰으며, 전도대의 전자 overflow를 줄이기 위하여 p-AlInP clad층은 고농도($2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 도핑을 하였다. 활성영역과 수동영역의 구분을 위한 수동영역의 식각은 $2\text{SBW} + \text{H}_3\text{PO}_4 + 15\text{H}_2\text{O}$ 용액으로 GaInP cap 층을 식각 한 후 p-AlInP clad 층 까지의 선택 식각은 $\text{HCl} + 2\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$ 용액을 사용 하였다. 식각된 수동 영역에 Zn 확산으로 활성층인 GaInP strained single QW을 Impurity Induced Layer Disordering (IILD) 시켜 수동영역의 광흡수를 줄이도록 하였다.¹³ Zn 확산시 수동영역의 photoluminescence (PL) 특성의 변화를 (Fig. 5)에 나타 내었

다. 수동영역에서의 2차 주기 184.7nm의 grating 제작은 325nm He-Cd 레이저를 이용한 일반적인 간섭 로광법을 사용 하였다. Grating의 식각은 묽은 Br-Methanol 용액을 이용 하였으며 grating의 SEM 단면 사진을 (Fig. 6)에 나타 내었다. Grating은 대략적으로 sinusoidal 형태를 갖고 있으며 깊이는 약 50nm 정도임을 알수가 있다. 수동영역의 grating을 제작 한후 300nm의 SiO₂를 화학증착 시켰다. Oxide stripe 레이저를 만들기 위하여 활성 영역에 stripe 폭 6mm, 길이 290mm의 window를 만들었으며 음 접촉은 Au/Zn-Au와 Au/Ge-Au를 각각 p와 n 측에 증착 시켰다. 이와 같이 제작된 GaInP/AlInP DBR 레이저는 활성영역 길이 300mm, 수동영역 길이 300mm로 cleaving 하여 제작 하였다.

III. GaInP/AlInP DBR 레이저의 동작 특성

GaInP/AlInP DBR 레이저의 단일모드 동작 스펙트럼을 (Fig. 7)에 나타 내었다. 동작온도 140K, 발진파장 607nm에서 임계전류의 1.8배 까지도 안정한 단일모드로 동작 하고 있다. 또한 레이저 발진파

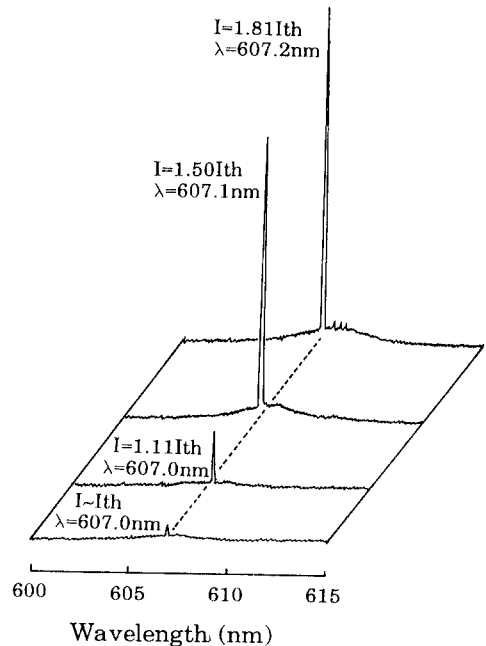


그림 7. 140K에서의 주입전류에 따른 발진 스펙트럼
Fig. 7. Lasing spectra for various injection current levels at 140 K.

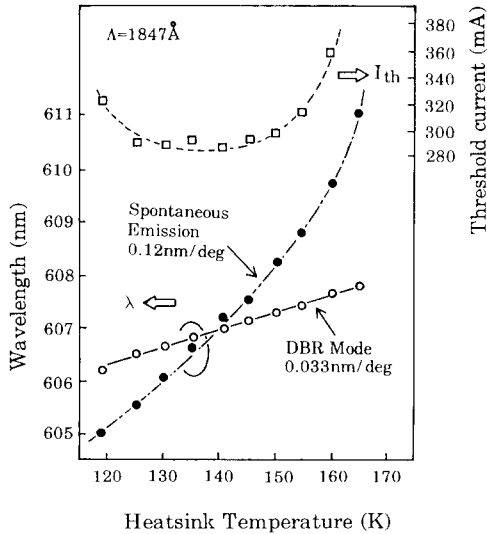


그림 8. 임계전류, 자연방출광 및 레이저 발진 파장의 온도 의존 특성

Fig. 8. Temperature dependences of DBR lasing wavelength, spontaneous emission wavelength, and threshold currents.

장, 자연방출광의 파장, 임계전류의 온도 의존성을 (Fig. 8)에 나타 내었다. 단일모드로 동작된 파장의 온도 의존성은 0.033nm/K로 자연방출광의 온도 의존성 0.12nm/K의 1/4로 이득의 온도 의존성이 아닌 굴절율의 온도 의존성에 의한 발진파장의 변화 이므로, 120K에서 165K의 온도 범위에서 본 레이저는 DBR 모드로 동작 되고 있으며, mode hopping도 없음을 알수가 있다. 또한 임계전류밀도는 140K 부근에서 최소값을 갖고 있으므로 grating의 주기 184.7nm에 의한 파장 선택성과 활성층의 이득이 최대가 되는 파장이 일치 하는 온도가 140K임을 알수가 있다. 또한 120~165K 이외의 온도 범위에서는 DBR모드가 아닌 페브리 페롯 모드에 의해 동작한다. 이와같이 GaInP/AlInP DBR 모드동작 영역이 매우 좁은 것은 GaInP/AlInP 가시광 반도체 레이저의 이득폭이 통신용의 GaInAsP/InP 레이저에 비하여 약 1/30 정도로 매우 작기 때문이다. 따라서 GaInP/AlInP DBR 레이저 제작에 있어서는 grating의 주기를 정확히 조절 할 필요가 있다.

또한 grating의 주기와 발진파장으로 부터 구한 GaInP/AlInP DBR 레이저의 유효 굴절율은 140K에서 3.286이며 온도의존성은 $1.8 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ 이값은

639nm의 GaInP/AlGaInP 광여기 레이저의 77K에서 3.26과^[10] 유사하다.

IV. 결론

GSMBE와 간섭 로광법을 이용 하여 최단파장 (607 nm)의 단일 모드 레이저인 GaInP/AlInP DBR 레이저를 제작 하였다. 제작된 GaInP/AlInP DBR 레이저는 동작온도 120K에서 165K의 온도 범위에서는 안정된 단일모드의 동작 특성을 갖고 있으며, 동작온도 140K에서는 임계전류의 1.8배 까지도 안정한 단일모드 동작을 하였다. 또한 GaInP/AlInP DBR 레이저 도파로의 유효 굴절율은 3.286이었으며, 발진 파장의 온도 의존성은 0.033 nm/K로 자연 방출광의 온도 의존성 0.12 nm/K과 비교하여 1/4로 이는 레이저 이득의 온도 의존성이 아닌 도파로 굴절율 변화의 온도 의존성 이므로 DBR 모드로 동작됨을 알수 있다.

參考文獻

- [1] M. Hasse, J. Qui, J. DePuydt, and H. Cheng, "Blue-green laser diodes", *Appl. Phys. Lett.*, 59, 1991, p1272
- [2] H. Jeon, et al., "Blue-green injection laser diodes in (Zn,Cd)Se/ZnSe quantum wells", *Appl. Phys. Lett.*, 59, 27, 1991, p3619
- [3] T. Mitsuyu, K. Ohkawa, S. Yoshii, and A. Tsujimura, "ZnSe-based blue-green injection laser diodes without GaAs buffer layers", Conf. Laser and Electrooptics, Anaheim, USA, 1992, CPD19
- [4] M. Ishikawa, H. Shiozawa, Y. Tsuburai, and Y. Uematsu, "Short wavelength (638nm) room temperature CW operation of InGaAlP laser diodes with quaternary active layer", *Electron. Lett.*, 26, 1990, p211
- [5] T. Katsuyama, I. Yoshida, J. Shinkai, J. Hashimoto, and H. Hayashi, "Very low threshold current AlGaInP/GaInP strained single quantum well visible laser diode", *Electron. Lett.*, 26, 1990, p1375.
- [6] A. Valster, C. J. Van der Poel, M. N.

- Finke, and M.J.B.Boermans, "Low threshold current density ($760\text{A}/\text{cm}^2$) and high power (45 mW) operation of strained $\text{Ga}_{0.42}\text{In}_{0.58}\text{P}$ MQW laser diodes emitting at 632 nm", *Electron. Lett.*, 28, 1992, p144.
- [7] S. Randall et al., "Low threshold high-power single mode visible laser diodes", Conf. Laser and Electrooptics, Anaheim, USA, 1992, CMA4.
- [8] T.Chong and K.Kishino, "671 nm GaInAsP/AlGaAs visible DFB lasers with ridge-waveguide structure grown by LPE", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 10, 1989, pL102.
- [9] T. Chong and K.Kishino, "660nm wavelength GaInAsP/AlGaAs distributed feedback lasers", *Electron. Lett.*, 24, 1988, p416.
- [10] M.Korn, T.Korfer, A.Forchel, and P. Roentgen, "Fabrication and optical characterization of first order DFB GaInP/AlGaInP laser structures at 637nm", *Electron. Lett.*, 26, 1990, p614.
- [11] D.H.Jang, Y.Kaneko and K.Kishino, "Shortest wavelength (607nm) operations of GaInP/AlInP distributed Bragg reflector lasers", *Electron. Lett.*, 28, 4, 1992, p428.
- [12] W.Streifer, D.R.Scifres, and R.D. Burnham, "Coupling Coefficient for distributed feedback single- and double-heterostructure diode Lasers", *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-11, 1975, p867.
- [13] D.G.Deppe, et, al., "Impurity induced layer disordering of high gap InGaAlP heterostructures", *Appl. Phys. Lett.*, 52, 1988, p1413.

 著 者 紹 介

張 東 薰 (正會員)

현재 한국전자통신 연구소 화합물 반도체 연구부 선임연구원

劉 址 範 (正會員)

현재 한국전자통신 연구소 화합물 반도체 연구부 선임연구원

岸 野 克 己

현재 일본 상지 (Sophia) 대학교 전자공학과 교수

金 子 和

현재 일본 상지 (Sophia) 대학교 전자공학과 교수