

반사형 InGaAs MQW SEED 소자의 제작 및 특성

김성우*, 박성수*, 박종철*, 김택승*, 권오대*, 강봉구*
*포항공과대학교 전자전기공학과/산업과학기술연구소

Fabrication and Characteristics of Reflection Type InGaAs MQW SEED

Sung Woo Kim*, Sung Soo Park*, Jong Cheol Park*, Taek Seung Kim*, O'Dae Kwon*,
and Bong Koo Kang*

*Dept. of Electronic and Electrical Eng., POSTECH / RIST

Abstract

A reflection type SEED from LP-MOCVD grown InGaAs/GaAs ESQW structures, with 5% In fraction, has been fabricated and its basic characteristics were investigated. Its intrinsic region consists of 50 pairs of alternating 100Å In_{0.05}Ga_{0.95}As barrier and 100Å GaAs layers. And a multilayer reflector stack of Al_{0.12}Ga_{0.88}As(641Å)-/AlAs(774Å) was vertically integrated below the p-i-n structures. The device processing includes the mesa etching, insulator deposition, indium metallization, and thermal alloy for Ohmic contact. Photocurrent spectrum measurement showed the exciton absorption peak at 905nm and availability as a optical switching device. This device showed a contrast ratio of 2:1 by the reflectance spectrum measurement.

정 성장의 기술 발달로 양자 우물같은 미세구조 성장이 가능해져 상온에서도 양자 우물내에서 엑사톤(exciton)의 관측이 가능해지고 이 양자 우물에 수직인 전계를 가하여 반도체의 광흡수 가장자리에서의 엑사톤 흡수가 전계에 따라 변하는 QCSE(Quantum Confined Stark Effect)^{13, 14}에 물리적 기초를 두고 있다.

그 동안 많은 재료로 SEED소자를 만드는 연구가 시도 되었는데 가장 많이 연구된 것이 AlGaAs/GaAs MQW인데, 고집적소자로 발전함에 따라 고전력(>1W)의 반도체 레이저가 필요해지면서 공원에 대한 제약이 생긴다.¹⁵ 이에 비해 광원 파장이 1.064µm인 Nd:YAG 같은 고체레이저는 비교적 손쉽게 고출력의 어레이 광원을 얻을 수 있고 더 작게 초점의 빔으로 모을 수 있어서 InGaAs재료를 활용하고자하며 이 InGaAs/GaAs 재료는 기관의 투명성으로 까다로운 래핑(lapping)공정없이 자유로이 투과형, 반사형 소자로 설계할 수 있으며 비교적 낮은 전도대, 가전도대에서의 에너지 장벽높이로 전류운반자들이 더욱 빠르게 우물층에서 빠져 나올 수 있어 고속소자로 작동할 수 있는 여러 장점을 겸비하고 있다. 여기서는 그 기초 단계로서 In이 5%인 소자를 시도하고 명암비를 높이기 위해 기울층을 집적한 반사형 소자를 선택했다.

1. 서론

빛을 이용한 정보처리 시스템의 가장 큰 장점은 병렬성과 마이크로파보다도 더 큰 대역폭에 있다. 이러한 장점을 활용하고자 디지털, 아날로그 시스템 응용을 위한 많은 광 신호처리, 수광, 발광소자가 연구되고 있는데 이들 중 디지털 광교환 시스템 연구를 위한 광 신호처리용 스위칭 소자로서 가장 유망한 소자가 SEED이다.¹¹ 이 소자는 HBT나 H-FET같은 트랜지스터소자를 집적하여 OEIC로 연구될 수 있는 소자로서 그 논리적 기능성을 확대하고 고성능, 고집적화될 수 있다. 그래서 최근에는 전자 소자의 장점과 광 소자의 시스템 기능 최적화를 시도한 스마트 픽셀(smart pixel)연구가 활발하다.¹²

SEED는 MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition)나 MBE(Molecular Beam Epitaxy) 같은 정교한 결

II. 반사형 InGaAs SEED소자의 에피성장과 제작

먼저 결정 성장하기 전에 감안할 점은 주어진 물질이 격자정합이 완전히 안되어 응력(strain)을 받기 때문에 MQW흡수층의 엑사톤 광흡수특성의 감쇄이다. 따라서 광흡수를 충분히 하고도 dislocation을 막도록 양자우물층의 설계를 해야하는데 현재까지 아직 최적화된 자료가 없어 임의로 우물층과 장벽층을 100Å으로 똑같이 해주었고

MQW진성영역층을 1 μ m로 하기 위해 50주기로 하였다. 본 실험을 수행하기 위해 결정 성장한 시편의 구조는 그림 1과 같다. 기판은 반절연 CrO 도핑된 GaAs 기판을 사용하였다. MOCVD성장원료로는 TMGa, EDMIn, TMAI, AsH₃를 사용하였으며 도핑원료로는 DEZn(p형)와 SiH₄(n형)을 사용하였다. 양질의 결정 성장을 위해 720 $^{\circ}$ C에서 p, n층을 성장하고 670 $^{\circ}$ C에서 MQW층을 성장하였다. 그리고 성장 압력은 0.1기압(76Torr)로 유지했다. 나중에 제작 공정에서 매사 식각할 때, 그 불균일성을 감안해서 충분히 두껍게 0.88 μ m로 해주었다.

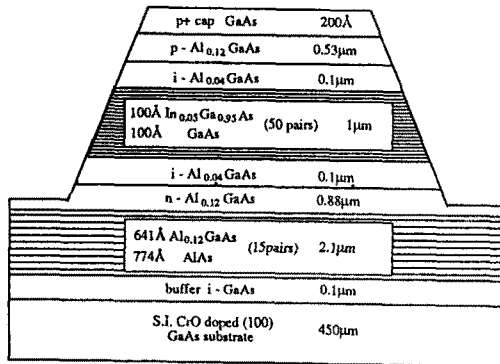


그림 1. 반사형 InGaAs p-i-n MQW SEED의 에피구조
Fig. 1. Epi-structure of reflection type InGaAs p-i-n MQW SEED

그리고 excitation 흡수 피크 파장에서 빛이 기판에 흡수되지 않도록 하기 위하여 905nm에 맞춰서 In을 5%로 하였다. 거울층의 설계는 중심파장이 905nm로 하여 계산한 결과 Al_{0.12}GaAs층은 641Å, AlAs층은 774Å로 해야함을 알 수 있고^[6] 이 거울층만을 성장하여 반사도를 측정할 결과가 그림 2에 있는데 905nm에서 -99%의 반사도를 가져 아주 만족스러운 거울층이 성장될 수 있음을 보여준다.

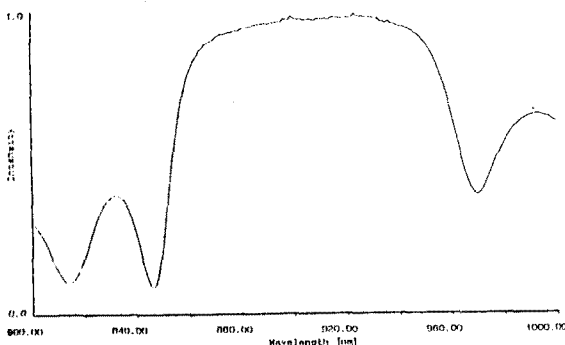


그림 2. 거울층의 반사도 스펙트럼
Fig. 2. Reflectance spectrum of mirror stack

성장된 epi-wafer를 적절한 크기로 자르고 리쏘그래피 공정을 하고 PR(photoresist)가 식각용액에 견딜 수 있도록 120 $^{\circ}$ C의 오븐에서 포스트 베이킹(postbaking)을 해주고 상온에서 약 20분간 시편을 식혀준다. 40 $^{\circ}$ C로 세팅된(실제 식각용액의 온도는 35~36 $^{\circ}$ C 입) 항온조에 담가는 H₂SO₄:H₂O₂:H₂O = 1:1:10(부피비) 혼합용액에 시편을 넣어 75~80초간 식각을 한다. mcsa식각한 후 반사도 측정시의 Fabry-Pérot효과를 방지하기 위해 PECVD장비로 Si₃N₄를 1220Å정도 증착(AR-coating)한다. 만일 이 공정을 하지 않으면 원하는 엑사톤 피크특성이 Fabry-Pérot피크속에 파묻혀 측정되지 않는 경우가 있다.^[7] 이와 더불어 소자의 표면을 외부환경으로부터 보호해주는 역할도 한다. 그리고 나서 p, n 금속 접촉을 위해 RIE(Reactive ion etching)로 건식 식각을 하여 pad구멍을 만든다. 그리고 나서 약 500 x 500 μ m²크기의 패드 구멍에 In으로 금속 전극을 만들고 250 $^{\circ}$ C에서 열처리하여 오음접촉을 해주면 측정에 적합한 소자가 된다.

III. 측정결과와 고찰

그림 3는 epi표면을 찍은 사진인데 비교적 깨끗한 표면 으로서 그물 망사 모양으로 좌우로 길게 뻗어있는 모양을 보이는 것은 MQW영역에서 생겨난 misfit-dislocation이 전파되어 그 위의 p층을 타고 올라온 것으로 보인다.

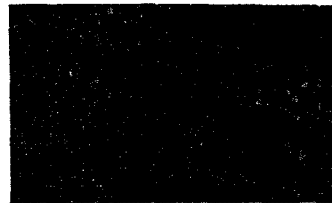


그림 3. 성장된 에피의 표면 양태
Fig. 3. Surface morphology of the grown epi wafer

제조공정이 끝난 소자는 패드에 In금속으로 Au wire를 bonding하고, 다이 칩을 광측정에 편리하게 Al block에 마운팅하고 패드에서 나온 Au wire를 BNC 잭에 연결하여 광스위칭소자로 제대로 역할을 할 수 있는 지 여부를 가늠하는 일련의 측정과정을 거친다.

그것은 IV특성, 광전류 스펙트럼, 반사도 스펙트럼의 3가지 특성을 측정해내는 일이다. 이중 제일 중요한 측정은 광전류 측정으로 사실상, 이 측정으로부터 광스위칭특성에 관한 대부분의 정보를 알아낼 수가 있다.

제작된 소자의 전기적인 동작여부를 체크하기 위해 HP-4145A Parameter Analyzer로 전류-전압특성을 측정한 결과가 그림 4에 있으며 -10V에서 dark 상태에서 누설전류가

31nA로 측정되어 다소 진성영역도핑(background-doping)이 높음을 알 수 있고 역시 breakdown 전압도 ~25V로 그리 크지 않은 점을 보더라도 마찬가지이다. (대개 최적화된 소자의 breakdown 전압은 ~40V 정도라고 한다.) 따라서 아직은 MOCVD 결정성장의 측면에서 개선의 여지가 남아 있는 소자임을 알 수 있다. 그리고 MQW photodiode에 백광을 입사시켰을 때의 특성도 함께 보인다. 이를 통해서 광다이오드가 전기적으로 제대로 작동할 수 있음을 알 수 있다.

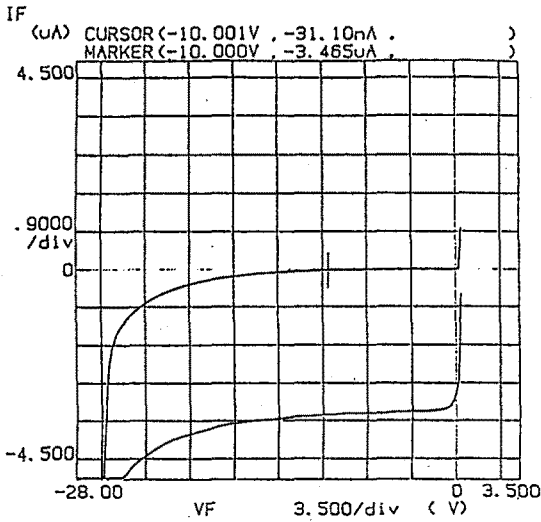


그림 4. 제작된 InGaAs MQW SEED 소자의 전류-전압 특성
Fig. 4. I-V characteristics of the fabricated InGaAs MQW SEED

제작된 소자의 바이어스에 따른 광전류 측정 결과는 그림 5에 보듯이 905nm에서 sharp한 exciton peak가 관찰되며 HWHM(half width at half maximum)은 7.7meV로 측정되어 세계적 수준의 데이터(7.0meV)¹⁸에 비해 약간 좋지 않는데, 이는 아직 최적화되지 않은 background doping과 MQW층의 경계면의 quality에서 정성적인 원인을 찾을 수 있다. 그림을 보면 -2 volt 전압에서 exciton peak가 더 sharp해지다가 계속 전압이 증가하면 피크가 넓어지면서 그 높이가 줄어들음을 보여주며 QCSE의 특성인 피크의 적색 편이 현상이 약간 관측된다. 가해진 전압은 각각 0V, -2V, 4V, -6V, -8V, -10V이다. 이 그림에서 -2V에서 -6V로의 전압 변화에 대해 22.5%의 광전류 변화를 보이고 있다. 한편 지적해야 할 것은 880nm 이하의 파장에서 광전류가 진동하는 성분이 보이는 데 바로 AR-coating이 완전하지 못한 이유로 잔류 Fabry-Perot 효과가 있기 때문이다. 이 측정을 통해서 제작된 소자는 전계광흡수현상을 나타내고 따라서 광스위치 소자로 작동할 수 있음을 알 수 있다.

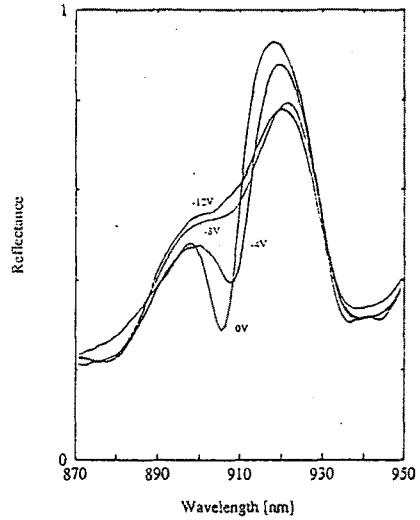


그림 5. 제작된 InGaAs MQW SEED 소자의 광전류 스펙트럼
Fig. 5. Photocurrent spectra of the fabricated InGaAs MQW SEED

이 소자의 바이어스에 따른 반사도를 측정 한 결과는 그림 6과 같으며, 905nm의 파장에서 0V에서 27.8%, -4V에서 41.4%, -8V에서 52.1%, -12V에서 55%의 반사도 변화를 보이고 있다. 따라서, 0V에서 -12V의 전압 변화에 대해 약 2:1의 명암비를 보이고 있다. 이 측정을 통해서 까다로운 광상안정성을 측정하지 않고도 간편하게 소자의 명암비를 알 수 있다.

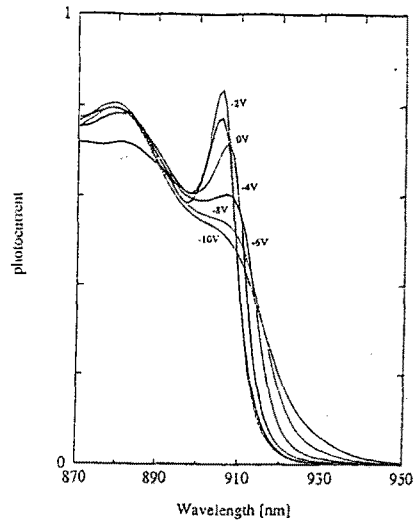


그림 6. 제작된 InGaAs MQW SEED 소자의 반사도 스펙트럼
Fig. 6. I-V Reflectance spectra of the fabricated InGaAs MQW SEED

한편, 광전류 스펙트럼과 반사도 스펙트럼 측정을 위한 장치 구성도는 그림 7에 보이고 있다.

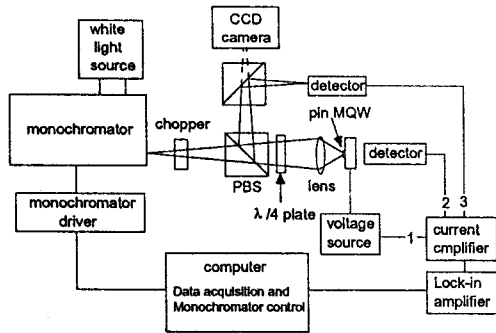


그림 7. 광전류와 반사도 측정장치 구성도

Fig. 7. I-V Photocurrent and reflectance spectrum measurement configuration

IV. 결론

LP-MOCVD를 사용하여 성장시킨 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{As}/\text{GaAs}$ ESQW 반사형 SEED를 제작하고 그 소자의 기본적인 특성을 알아보았다. 735°C에서 100Å GaAs 장벽층과 100Å $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{As}$ 우물층을 교대로 50주기로 성장하고 p, n층은 735°C에서 성장하였다. $\text{Al}_{0.12}\text{GaAs}$ (641Å)/ AlAs (774Å)의 거울층을 수직 집적하여 명암비의 향상을 도모했다. 이 거울층은 905nm의 중심파장을 가지며 이 파장에서 ~99% 정도의 반사도를 보여 두께 조정에 관한 한 만족스러운 거울층이 성장조건을 확립했다. 광전류 특성에서 엑시톤 흡수피크 위치가 905nm에서 관측되었고 -2V에서 -6V의 전압변화에 대해 22.5%의 광전류 변동을 보였고 반사도 측정을 통해서 0V에서 -12V의 전압변화에 대해 2:1의 명암비를 얻었다.

그리고 향후 연구로는 우물층에 In의 양을 증가(7%, 10%)시켜 엑시톤 흡수피크를 좀더 장파장으로 이끌어 올리면서 격자부정합의 영향을 감안해서 응력을 완화시켜주는 버퍼층을 설계하여 MQW층의 흡수를 최대화하는 방향으로 진행할 것이다.

참고문헌

[1] F. B. McComick, "S-SEED-based photonic switching network demonstration," Photonic Switching, 1991, Technical Digest Series(OSA, Washington, DC 1988), pp.44
 [2] "Special Issue on Smart Pixel," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. QE-21, pp. 598-813, 1985.
 [3] D. A. B. Miller, D. S. Chemla, T. C. Damen, A. C. Gossard, W. Wiegmann, T. H. Wood, and C. A. Burrus, "Band-edge

electroabsorption in quantum well structures: The quantum confined stark effect," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 53, pp. 2173-2175, 1984.

[4] D. A. B. Miller, D. S. Chemla, T. C. Damen, A. C. Gossard, W. Wiegmann, T. H. Wood, and C. A. Burrus, "Electric field dependence of optical absorption near the band gap of quantum well structures," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 52, pp. 1043-1060, 1985.
 [5] T. K. Woodward, T. Sizer, D. L. Sivco, A. Y. Cho, " $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ multiple quantum well optical modulators for 1.02~1.07 μm wavelength range" *Appl. Phys. Lett.*, vol. 57, No. 6, pp. 2173-2175, 1984.
 [6] G. R. Fowles, "Introduction to Modern Optics," 2nd edition, p.99, Holt, Rinehart and Winston, 1975.
 [7] M. Whitehead, *Ph. D. Thesis*, University of London, 1990.
 [8] K. W. Goossen, J. E. Cunningham, W. Y. Jan, "Excitonic electroabsorption in extremely shallow quantum wells" *Appl. Phys. Lett.*, vol. 57, No. 24, pp. 2582, 1990.