

여러 가지 높이를 갖는 삼각형 구조 InGaAs/GaAs 양자세선 구조 성장

김성일[†] · 김영환 · 한일기*

한국과학기술연구원 시스템연구부 반도체 소자실
*한국과학기술연구원 미래연구부 나노소자 연구센터

Growth of Triangular Shaped InGaAs/GaAs Quantum Wire Structure with Various Thicknesses in One Chip

Seong-Il Kim[†], Young-Whan Kim and Il-Ki Han*

Semiconductor Device Center, Division of System Technology, Korea Institute of Science & Technology
*Nano-Device Reserach Center, Future Technology Research Division, Korea Institute of Science & Technology

(2004년 4월 9일 받음, 2004년 6월 2일 최종수정본 받음)

Abstract InGaAs/GaAs quantum wire structures were grown by low pressure metalorganic chemical vapor deposition by using selective area epitaxy. In_{0.2}Ga_{0.8}As/GaAs quantum wire structures were grown on a SiO₂ masked GaAs substrate. Quantum wire structures with sharp tips and smooth side walls were grown. We have grown InGaAs/GaAs quantum wire structures using variously opened width of the SiO₂ mask. Even though the opening widths of SiO₂ masked GaAs substrate were different, similar shapes of triangular structures were grown. Using various kinds of differently opened SiO₂ masked area, it would be possible to grow quantum wire structures with various thicknesses. The quantum wire structures are formed near the pinnacle of the triangular structure. Therefore, the fabrication of the uniquely designed integrated optical devices which include light emitting sources of multiple wavelength is possible.

Key words Selective Epitaxy, MOCVD, Quantum wire, InGaAs, PL.

1. 서 론

반도체 소자 기술은 앞으로는 나노미터 크기의 초 미세 양자 구조를 기반으로 개발될 전망이다. 최근에 양자세선 (1차원) 구조나 양자점 (2차원) 구조와 같은 저차원 양자구조들이 여러 연구 그룹에서 집중적으로 활발하게 연구되고 있다.¹⁻⁵⁾ 그 이유는 저차원 양자구조에서는 통상의 반도체 구조와는 현저하게 다른 광전이 (optical transition) 및 전기적 수송 (electrical transport) 특성을 갖게 되어 발광 효율이 좋아지고, 광소자 동작 시 온도 의존성이 줄어들기 때문이다.

저차원 양자구조를 제작하기 위해서 여러 가지 접근 방법이 제안되어 왔다. 저차원 양자구조를 제작하기 위해서는 수직 방향으로 두께의 제어뿐만 아니라 수평 방향의 폭도 잘 제어할 수 있는 것이 중요하다. MOCVD 방법에 의한 선택적 에피층 성장법은 반도체 구조의 수직 방향뿐만 아니라 수평 방향의 폭도 직접 제어 할 수 있는 장점이 있다.^{4,7)}

본 연구에서는 저압 MOCVD를 이용하여 매우 선택적으로 성장된 In_{0.2}Ga_{0.8}As/GaAs 양자세선 구조의 성장

특성들에 대하여 논의한다. 성장된 삼각형 구조의 절개면 및 표면 형상 (surface morphology) 을 주사전자현미경으로 분석하였다.

2. 실험 방법

삼각형의 InGaAs/GaAs 구조는 저압 MOCVD 방법으로 성장하였고, 적외선 (IR) 가열 방법을 사용하여 성장 온도를 제어하였다. 선택적으로 성장한 에피층의 성장 거동을 조사하기 위해서, 단면을 절개한 후 주사전자현미경(scanning electron microscopy)으로 관찰하였다. 사용 재료는 trimethylgallium (TMG), trimethylaluminum (TMA), trimethylindium(TMI), 100% 비소와 수소에 희석된 500 ppm SiH₄ 기체 등이다. 성장 온도는 600°C 이고 V/III 비는 100 이다. SiO₂ 로 패턴을 만든 갈륨비소 기판을 리액터에 장입한 후 표면에 형성될 수 있는 산화막을 제거하기 위해 800°C 에서 실험전 열처리 (pre-heating)를 하였다. 그 다음 원하는 성장온도로 온도를 내린 후 미리 설계된 InGaAs/GaAs 양자세선 구조를 성장하였다.

InGaAs 양자세선구조 제작을 위한 제 1단계는 플라즈마 강화 화학증착법 (plasma enhanced vapor deposition,

[†]E-Mail : s-ikim@kist.re.kr

PECVD)에 의한 SiO₂ 증착과 포토레지스트(PR) 증착이다. 다음 단계는 전자빔 또는 광학적 사진 식각 방법으로 [110] 또는 방향과 나란하게 패턴을 형성한다. PR 과 SiO₂ 층은 감광제와 희석된 HF 용액으로 각각 제거한다. 최종 단계는 제작된 기판을 사용하여 다층구조 및 양자세선 구조를 형성하는 것이다.

3. 결과 및 고찰

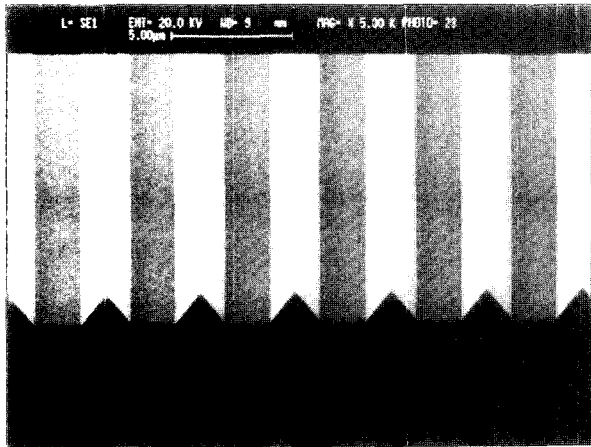
Fig. 1은 SiO₂로 마스크 된 GaAs 위에 성장된 In_{0.2}Ga_{0.8}As/GaAs 구조의 단면 주사현미경(SEM) 사진이다. 스트라이프 패턴은 [110] 방향으로 형성되어 있고 Fig. 1(a)는 2 μm, Fig. 1(b)는 3 μm 어레이로 제작되었다. Fig. 1(b)는 선택적 에피층 성장법에 의해 성장된 삼각형 구조에서 성장 높이의 성장시간 의존성을 보기 위한 SEM 사진이다. 2개의 시편은 동시에 반응관에 장입되어 같은 조건으로 성장되었다. 시편 Fig. 1(b)의 경우에는 성장시간이 짧아서 아직 삼각형 구조로 성장되지 못

하였고, 완전한 형태의 삼각형 구조로 성장하기 위해서는 에피 성장 시간을 더 늘려야 한다.

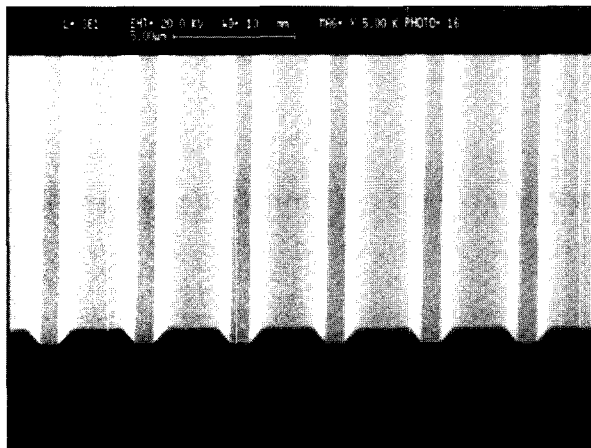
Fig. 2는 Fig. 1(a)의 In_{0.2}Ga_{0.8}As/GaAs 양자세선 구조를 더 확대한 SEM 사진이다. 스트라이프는 2 μm의 간격으로 [110] 방향으로 정렬되어있다. Fig. 2에서 성장된 다층구조는 GaAs (40 nm)/GaAs (7 nm)/InGaAs (5 nm)/GaAs 버퍼 층으로 구성되어있다. 성장온도는 600°C 이고 SiO₂로 마스크 된 표면에는 아무 것도 증착 되지 않았음을 알 수 있다. 성장된 구조의 측면들은 {111}B 면들이고 완전한 경면임을 알 수 있다. (111)B 면이 경면인 이유는 (100) 면에 비해 (111)B 면에서는 흡착된 원자들의 이동속도가 더 빠르기 때문인 것으로 추정된다.⁵⁾

양자세선들은 삼각형 구조의 꼭지점 근처에 형성되게 된다. Fig. 2(b)는 스트라이프 폭이 6 μm 인 InGaAs/GaAs 양자세선 구조의 SEM 사진이고 개방된 스트라이프는 [110] 방향으로 정렬되어 있다. 이 경우에서 볼 수 있는 바와 같이 개방된 스트라이프의 폭이 다르더라도 유사한 형태의 삼각형 구조를 성장 할 수 있다.

Fig. 3은 선택적 방법으로 성장된 삼각형 양자세선 구조의 높이가 개방된 스트라이프 폭에 따라 달라지는 것

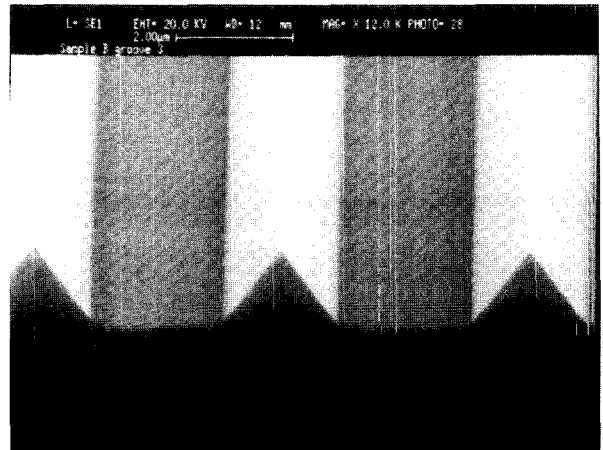


(a)

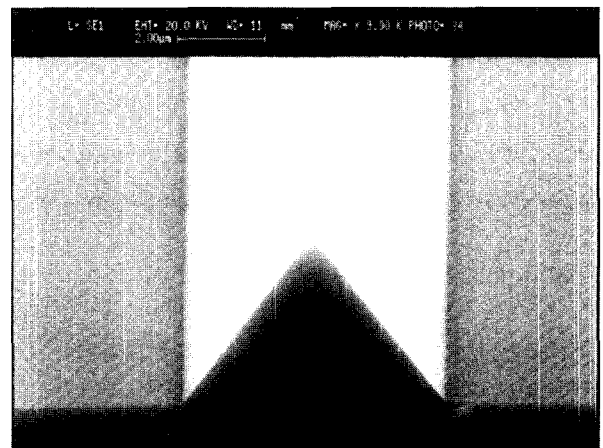


(b)

Fig. 1. SEM images of In_{0.2}Ga_{0.8}As/GaAs quantum wire structures. Stripes are aligned with [110] direction with (a) 2 μm, (b) 3 μm.



(a)



(b)

Fig. 2. A magnified SEM image of In_{0.2}Ga_{0.8}As/GaAs structure grown at 600°C with opening windows of (a) 2 μm, (b) 6 μm.

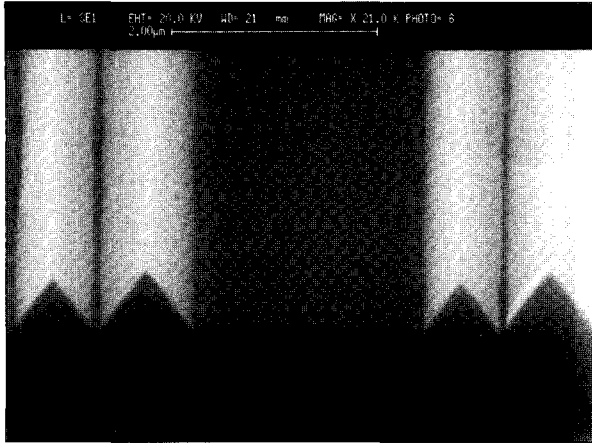


Fig. 3. A SEM image of the grown triangular shaped quantum wire structure where heights are dependent on the width of opening windows.

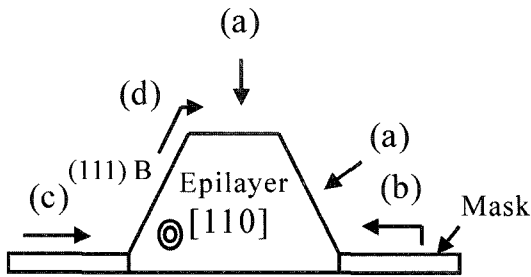


Fig. 4. Growth mechanism for selective area epitaxy by MOCVD. (a) Gas phase diffusion, (b) desorption and gas phase diffusion, (c) surface migration on mask, and (d) surface migration on semiconductor.

을 보여준다. 앞에서 언급된 바와 같이 개방된 스트라이프의 폭이 다르더라도 유사한 형태의 삼각형 구조를 성장할 수 있다. 그러나 삼각형 구조의 높이는 다르므로 삼각형 구조의 꼭지점 부근에 위치한 위아래가 GaAs로 둘러싸인 InGaAs, 즉 GaAs/InGaAs/GaAs로 형성된 양자세션의 두께가 여러 가지로 달라지게 된다. 따라서 이런 종류의 서로 다른 폭으로 개방된 여러 가지 스트라이프를 이용하면 한 기판 위에서 서로 다른 폭 및 두께를 갖는 양자세션 구조를 한번에 성장할 수 있다. 양자세션의 폭 및 두께가 변화되면 그 각각에 대해 방출 파장

이 변화되며, 한 기판 위에 다양한 방출 파장을 갖는 집적 능동 광소자 시스템을 제작할 수 있다.

Fig. 4는 MOCVD 방법에 의한 선택적 에피층 성장법의 성장 기구를 설명하는 Figure이다. 선택적 에피 성장은 여러 가지 성장 기구들이 관련되어 있다. 즉, (a) 기체확산 (gas phase diffusion) (b) 탈착 및 기체확산 (desorption and gas phase diffusion), (c) SiO₂ 마스크 위에서 표면 확산 및 (d) 반도체 표면 위에서 원자들의 이동 등의 성장기구들이 선택적 에피층 성장법에서 관여하고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 저압 MOCVD 와 선택적 에피층 성장법을 이용하여 다양한 폭 및 크기를 갖는 삼각형 구조를 성장하였다. 매끄러운 사면을 갖고 끝 부분이 뾰족한 삼각형구조의 꼭지점 영역에 InGaAs/GaAs 양자세션 구조가 형성되어 있다. 비록 개방된 스트라이프 폭이 다르더라도 매우 유사한 형태의 삼각형 구조가 성장되었다. 서로 다른 폭으로 개방된 여러 가지 스트라이프를 이용하면 한 기판 위에서 서로 다른 폭 및 두께를 갖는 삼각형 구조를 형성할 수 있고 그 결과 두께가 다양한 여러 가지 양자세션 구조를 한번에 성장할 수 있다. 그 결과 한 기판 위에 다양한 방출 파장을 갖는 집적 능동 광소자 시스템을 제작할 수 있다.

참 고 문 헌

1. E. Kapon, M. Walther, D. M. Hwang, E. Colas, C. Caneau and R. Bhat, Phonons in Semiconductor Nanostructures, **30**, 317 (1993).
2. E. Kapon, "Semiconductors and Semimetals", Ch. 4, Vol. 40 (Academic, New York, 1994).
3. T. G. Kim, J. H. Park, Y. Kim, Seong-Il Kim, C. S. Son, M. S. Kim, E. K. Kim and S. K. Min, Semicon. Sci. Technol. **11**, 1214 (1996).
4. M. Kappelt, M. Grundmann, A. Krost, V. Turck and D. Bimberg, Appl. Phys. Lett., **68**(25), 3596 (1996).
5. K. Shimoyama, N. Hosoi, K. Fujii and H. Gotoh, J. Crystal growth, **145**, 283 (1994).
6. M. S. Kim, C. Caneau, E. Colas and R. Bhat, **123**, 69 (1992).