≪연구논문≫ 한국진공학회지 제22권 6호, 2013년 11월, pp.313~320
http://dx.doi.org/10.5757/JKVS.2013.22.6.313

$AlAs_xSb_{1-x}$ 단계 성분 변화 완충층을 이용한 Si (100) 기판 상 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs 다중 양자 우물 형성

이은혜[a,b] · 송진동[a]* · 연규혁[a] · 배민환[a] · 오현지[a] · 한일기[a] · 최원준[a] · 장수경[b]

[a]한국과학기술연구원 광전융합시스템연구단, 서울 136-791
[b]연세대학교 물리학과, 서울 120-749

(2013년 8월 26일 받음, 2013년 9월 29일 수정, 2013년 9월 30일 확정)

실리콘(Silicon, Si) 기판과 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs 다중 양자 우물(multiple quantum wells, MQWs) 간의 격자 부정합 해소를 위해 $AlAs_xSb_{1-x}$ 층이 단계 성분 변화 완충층(step-graded buffer, SGB)으로 이용되었다. $AlAs_xSb_{1-x}$ 층 상에 형성된 GaAs 층의 RMS 표면 거칠기(root-mean-square surface roughness)는 10×10 μm 원자 힘 현미경(atomic force microscope, AFM) 이미지 상에서 약 1.7 nm로 측정되었다. $AlAs_xSb_{1-x}$/Si 기판 상에 AlAs/GaAs 단주기 초격자(short period super-lattice, SPS)를 이용한 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs이 형성되었다. $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQW 구조는 약 10 켈빈(Kalvin, K)에서 813 nm 부근의 매우 약한 포토루미네선스(photoluminescence, PL) 피크를 보였고, $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQW 구조의 RMS 표면 거칠기는 약 42.9 nm로 측정되었다. 전자 투과 현미경(transmission electron microscope, TEM) 단면 이미지 상에서 AlAs/GaAs SPS 로부터 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs까지 격자 결함들(defects)이 관찰되었고, 이는 격자 결함들이 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQW 구조의 표면 거칠기와 광 특성에 영향을 주었음을 보여준다.

주제어 : 분자 선 에피택시, 성분 변화 완충층, 실리콘, GaAs, AlAsSb

I. 서 론

III-V족 화합물 반도체는 레이저(lasers), 검출기(detectors), 태양 전지(solar cells)와 같은 고효율 광전 소자(high efficiency optoelectronic devices)로 응용 가능하기 때문에 그에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다 [1-4]. 또한, III-V족 화합물 반도체는 초고속 전자 소자 제작에 유리하므로, 그에 관련한 III-V족 화합물 반도체 성장 연구가 많은 관심을 받아 왔다 [5,6]. 하지만, III-V족 화합물 반도체 기판의 대부분은 고가로 비용 효율이 낮아 대량 생산이 어려우므로, 이를 극복하기 위한 연구가 필요하다.

실리콘(Silicon, Si) 기판은 비교적 저가의 III-V족 반도체인 GaAs나 InP 기판에 비해 훨씬 저가이고, 현 산업 공정 라인에서 널리 사용되고 있다. 이러한 비용 상의 이점으로 인해 Si 기판 상 III-V족 반도체 구조 형성에 관한 연구들이 보고되고 있다 [7,8]. 특히, GaAs 기반 공정은 현재 성숙되어 있는 단계이므로, Si 기판 상에 고품질의 GaAs 물질을 성장하는 것은 산업적으로 이용 가치가 클 것이다. 하지만, Si 기판 상에 GaAs 층을 형성할 때, 성장에 악영향을 줄 수 있는 점들이 있다. 두 물질 간 상이한 극성, 두 물질 간의 격자 부정합(~4.1%), 열팽창 계수 차이(55%) 등이 그것이다 [9]. 이러한 문제를 해결하기 위해 널리 사용되는 간단한 방법은 Si과 GaAs 물질 간의 차이에서 비롯된 문제들을 미리 해결해 주는 것이다.

AlSb 물질은 Si과의 격자 부정합이 ~13%로 비교적 큰 격자 부정합을 가지므로, 초기에 AlSb 물질을 완충층 혹은 희생층(buffer layer 혹은 sacrificial layer)으로 사용하면, 상부 층에 생길 문제들을 미리 해결해 주는데 큰 이점을 가질 수 있다 [10,11]. 하지만, 안티모니(Antimony, Sb) 계열인 AlSb 층 상에 형성되는 활성층(active layer) 이 아세닉(Arsenic, As) 계열인 경우, As과 Sb 물질 간 치환 효과로 인해 박막 질을 저하시킬 수 있으므로 이에 관련한 성장 연구가 필요하다 [12].

본 연구에서는 분자 선 에피택시(molecular beam epitaxy, MBE)로 Si (100) 기판 위에 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs 다중 양자 우물(MQWs)을 형성하기 위해 $AlAs_xSb_{1-x}$ 단계 성분

* [전자우편] jdsong@kist.re.kr

변화 완충층(step-graded buffer, SGB)을 이용한 결과들을 보이고자 한다. Si (100) 기판의 경우, 기판의 Si을 수월하게 전자소자로 응용할 수 있고, 구득이 용이하므로 산업적으로 유용하여 이를 선택하였다. 시료 표면 상의 RMS 표면 거칠기(root-mean-square surface roughness)가 원자 힘 현미경(atomic force microscope, AFM)으로 조사되었고, 시료의 단면은 전자 투과 현미경(electron transmission microscope, TEM) 상에서 관찰되었다. Si (100) 기판 위에 형성된 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs의 광 특성이 저온 포토루미네선스(photoluminescence, PL)에 의해 보여 질 것이다.

II. 실험방법

MBE 시스템을 이용하여 두 종류의 시료가 Si (100) 기판 상에 형성되었다. Fig. 1(a)와 Fig. 1(b)는 각 시료의 구조를 보여 준다. 시료 제작을 위해 사용된 Si (100) 기판에 대하여 BOE (buffered oxide etchant) 용액에 3분, HCl : H_2O_2 : H_2O를 3 : 3 : 5의 비율로 섞은 용액에 3분, 메탄올 용액에 3분 동안 넣어주는 작업을 총 3회 반복한 후, BOE 4분, 메탄올 5분 간 담가주어 산화막 대부분을 제거해 주었다. MBE 챔버(chamber) 안에서 Si (100) 기판을 약 800°C로 가열하여 Si 표면에 형성된 잔류 산화막을 제거한 후, 기판 온도를 낮춰 $AlAs_xSb_{1-x}$ 층을 형성하였다. $AlAs_xSb_{1-x}$ 층은 Fig. 1(a)에서 보는 것과 같이 x=0에 해당하는 AlSb 층을 시작으로 x=1에 해당되는 AlAs 층까지 스텝 형태로 변화시켜(step-grading) 성장하였다. Fig. 1(a)와 같이 10분간 약 120 nm 두께의 AlSb를 성장한 후, AlSb 성장을 멈추지 않고 As_4 빔 선속(beam equivalent flux, BEF)을 10분 간격으로 3×10^{-7}, 5×10^{-7}, 1×10^{-7}, 1×10^{-6}, 그리고 2×10^{-6} Torr로 증가하면서 각 120 nm 두께를 가진 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층을 형성하였다. 최종적으로 As_4 빔 선속 3×10^{-6} Torr에서 Sb 주입을 멈추고 10분 간 120 nm 두께

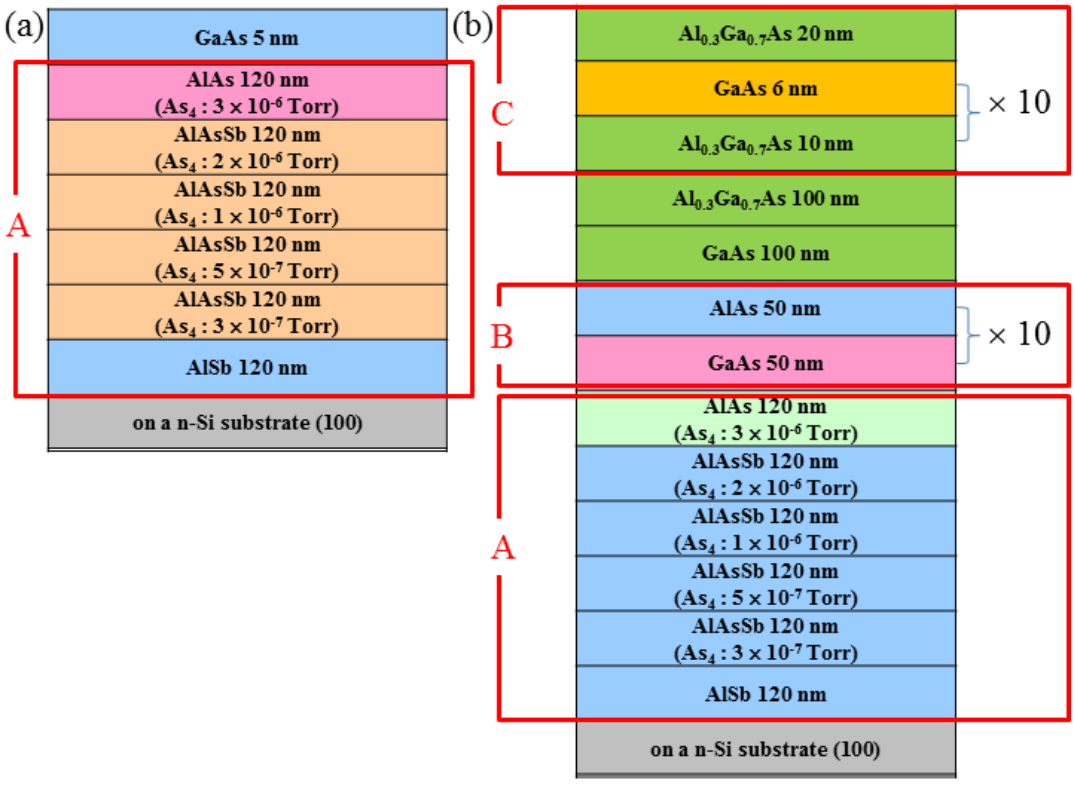

Figure 1. Sample structures of (a) $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB layer grown on Si substrate, (b) $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs with AlAs/GaAs SPS formed on $AlAs_xSb_{1-x}$/Si substrate. The A, B, and C indicate $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB layer, AlAs/GaAs SPS, and $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs, respectively.

의 AlAs를 성장하여 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층을 완성하였다. 이렇게 형성된 $AlAs_xSb_{1-x}$/Si 층 상에 산화 방지를 위한 5 nm 두께의 GaAs 층을 형성하였다.

또 다른 시료는 Fig. 1(a)에서 A로 표기된 부분인 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층 구조 상에 형성된 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs 구조이다. Fig. 1(b)는 이러한 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs 구조를 보여준다. Fig. 1(a)의 A 부분과 동일한 방법으로 형성된 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층 상에 각 50 nm 두께의 GaAs와 AlAs 층을 10회 반복하여 Fig. 1(b)의 B 부분과 같이 AlAs/GaAs SPS 구조를 성장하였다. Fig. 1(b)의 B 부분 상부에 GaAs와 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ 층을 각각 100 nm 형성한 후, C 부분과 같이 10 nm 두께 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$와 6 nm 두께 GaAs 층 성장 10번 반복으로 적층하여 20 nm 두께 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ 덮개층(capping layer)을 성장시킨 $Al_{0.3}$ $Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs을 형성하였다.

공통적으로 AlAs 성장률 2 Å/s 및 GaAs 성장률 2 Å/s에 해당되는 Al 및 Ga의 BEF가 사용되었고, $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ 성장 시 AlAs 성장률 0.38 Å/s에 해당되는 BEF가 사용되었다. 모든 성장 온도는 550°C로 고정되었고, 기판 온도는 열복사(thermal radiation)를 이용한 고온 측정 장비(pyrometer)로 측정되었다. 각 시료의 RMS 표면 거칠기가 AFM으로 조사되었고, Fig. 1(b)에 보여진 시료의 단면 형상이 단면(cross-sectional) TEM에 의해 관찰되었다. Fig 1(b)의 A 부분은 TEM-EDS (energy dispersive spectroscopy)에 의해 확인되었다. Fig. 1(b)의 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs는 약 10 켈빈(Kalvin, K)에서 PL 측정되었다.

III. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 Fig. 1(a)에서 보인 시료의 10×10 μm 면적에 대한 대표적인 AFM 표면 형상을 보여 준다. RMS 표면 거칠기는 약 1.7 nm의 낮은 수준으로 조사되었다. 이 결과는 Si (100) 기판 상 GaAs 성장의 최근 결과들이 약 5 nm 이상의 RMS 표면 거칠기 값을 보이는데 반해, 5 nm의 얇은 GaAs 두께임에도 불구하고 월등히 낮은 수준의 RMS 표면 거칠기 값을 보여준다 [13,14]. 또한, 사용된 Si (100) 기판의 RMS 표면 거칠기가 1 nm 이하임을 고려해 볼 때, 본 연구에서 보인 Si (100) 기판 위에 형성된 GaAs 층은 충분한 고품질이라고 볼 수 있다. Fig. 1(a) 시료는 5 nm 두께

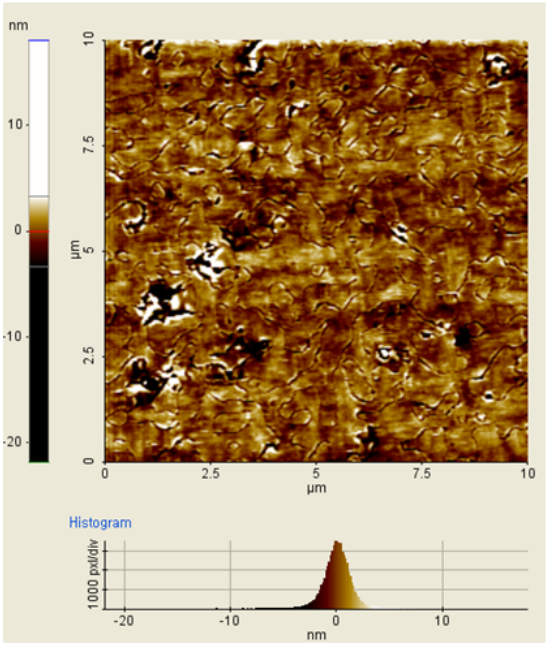

Figure 2. The surface AFM image of 5 nm– thick GaAs formed on $AlAs_xSb_{1-x}$/Si substrate. The scanning area of AFM is 10×10 μm. The value of RMS surface roughness was ~1.7 nm.

의 얇은 GaAs 층으로 덮여 있기 때문에, 상부 GaAs 표면의 낮은 RMS 표면 거칠기 값은 Si 기판 상에 형성된 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층이 낮은 RMS 표면 거칠기 값을 갖는 다는 것을 반영하는 결과이다. 이는 Si 기판과 격자 부정합 차이가 큰 $AlAs_xSb_{1-x}$ 층이 형성되면서 대부분의 격자 결함들(defects)을 미리 해소해 준 결과일 것이다. 최근 GaAs 기판 상에 고품질 InSb 박막을 형성하기 위해 $In_xAl_{1-x}Sb$ 연속 성분 변화 완충층(continuously graded buffer, CGB)을 이용한 연구 결과가 보고되었다 [15]. 그 연구 결과는 $In_xAl_{1-x}Sb$ CGB의 두께가 증가할수록 격자 부정합에 의해 발생된 다양한 격자 결함들(misfit dislocations, threading dislocations, micro twins, stacking faults)이 서서히 줄어들었고, 약 2 μm 이상의 두께에서 이러한 결함들이 거의 사라졌음을 보여주었다. 이러한 결과는 현재 시료 상의 낮은 RMS 표면 거칠기 값을 설명해 주는 것으로, Si 기판 상 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층 형성이 격자 부정합 해소에 중요한 역할을 했음을 예측할 수 있게 한다.

Fig. 3(a)는 Fig. 1(b)에서 보여진 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs 구조에 대한 저온 PL 측정 결과를 보여준다. 광 특

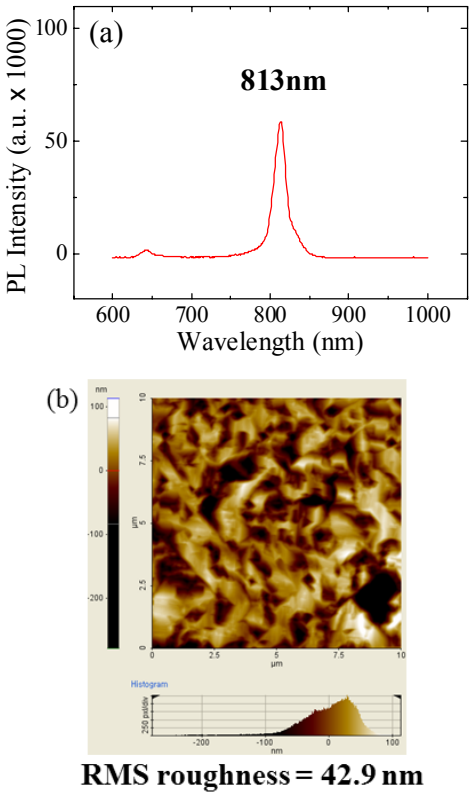

Figure 3. (a) PL of $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs with AlAs/GaAs SPS grown on the $AlAs_xSb_{1-x}$/Si substrate at 10 K. The peak shows magnified intensity (×1,000). (b) The surface AFM image of $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQW structure in the area of 10×10 μm. The value of RMS surface roughness was ~42.9 nm.

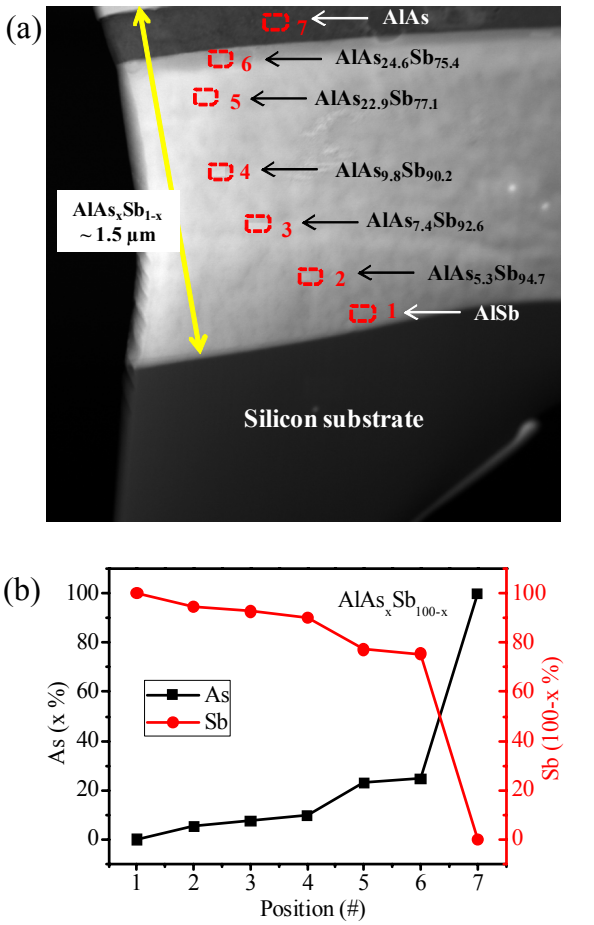

Figure 4. (a) Cross-sectional TEM image of $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB on the Si substrate. The total thickness of $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB was ~1.5 μm. (b) The composition distribution of As and Sb in each position (1 to 7) indicated on Fig. 4(a).

성 향상을 위해 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs 구조 형성에 앞서 AlAs/GaAs SPS 구조를 형성하였다. 그럼에도 불구하고, Fig. 3(a)에서 보는 것과 같이 PL 방출 피크는 약 813 nm 근방에서 보였으나, 피크의 세기는 높지 않았다(Fig. 3(a) 상 PL 피크는 1,000배 확대됨). 또한, Fig. 3(b)에서의 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQW 구조의 RMS 표면 거칠기는 약 42.9 nm 수준의 매우 큰 값으로 조사되었다. 이는 Fig. 2에서 조사된 하부 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층의 RMS 표면 거칠기 값인 1.7 nm에 비해 크게 증가한 결과로 AlAs/GaAs SPS 층을 포함한 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs 구조 형성에 문제가 발생하였음을 보여준다.

$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQW 구조의 PL 방출 피크 약화와 RMS 표면 거칠기 값 증가의 원인을 조사하기 위해 단면 TEM 측정이 수행되었다. Fig. 4(a)는 Fig. 1(b)의 A 부분에 해당하는 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층 부분이다. Fig. 4(b)는 TEM-EDS로부터 측정된 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층의 각 부분 별 (Fig. 4(a)에서 점선 사각형으로 표기된 1부터 7까지) As과 Sb 성분 변화 비교 그래프를 보여준다. 그래프는 맨 하부 (점선 사각형로 표시된 1) AlSb 층에서 가장 상부인(점선 사각형으로 표시된 7) AlAs 층으로 변화해 가면서 As 비율은 증가하고, Sb 비율은 감소하는 경향을 보여준다. 또한, 가장 상부인(점선 사각형으로 표시된 7) AlAs 층 이전의 각 단계의 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층들(점선 사각형으로 표시된 1부터 6까지)에서 As에 비해 Sb가 차지하는 비율이 상대적으로 3배에서 10배 이상 높음이 관찰되었다. 이러한 결과는 상대적으로 Sb 비율이 As 비율에 비해 많은 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층들 위에 상대적으로 As 성분이 급격히 증가하는 AlAs 층을 형성하는 것에 문제가 있을 수 있다는 것을 암시

한다. 특히, As과 Sb 물질 간 치환 현상은 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB 층과 AlAs 층 계면의 부자연스러운 전환으로 인해 박막 질을 저하시키는 요소가 될 수 있다. 또한, Fig. 4(a)의 이미지 상에서 전체 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층의 두께는 약 1.5 μm 정도 수준으로, 참고 문헌 15에서 언급한 격자 결함 해소 가능 두께인 약 2 μm 이상의 $In_xAl_{1-x}Sb$ 완충층에 비해 얇은 두께를 가진 것으로 관찰되었다.

Fig. 5(a)는 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQW 구조 시료를 주사투과 전자 현미경(scanning transmission electron microscope, STEM)의 HAADF (high-angle annular dark field) 이미지로 관찰한 전체 구조(overview)를 보여준다. Fig. 5(a)에서 AlAs/GaAs SPS 층 이후로 격자 결함들이 심각하게 나타났고(화살표들), 이러한 결함들의 축적으로 인해 AlAs/GaAs SPS 층의 표면 거칠기가 눈에 띄게 증가하였음이 관찰되었다. 이러한 AlAs/GaAs SPS 표면 거칠기 증가는 상부 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs에도 손상을 주어, Fig. 5(b)에서 보는 것과 같이 심각한 격자 결함들이 관찰되고 있다(화살표들). AlAs/GaAs SPS 층에서 심각하게 진행된 격자 결함으로 인한 표면 거칠기 증가는 비교적 낮은 성장 온도(550°C)로 인한 AlAs 박막 질 저하에서 기인할 수도 있다 [16]. 하지만, 이러한 격자 결함들이 맨 하부 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층 구조의 문제에서도 기인할 수 있을 가능성은 배제할 수 없다.

주목할 만한 것은 Fig. 5(c)에서 보는 것과 같이 AlAs 하

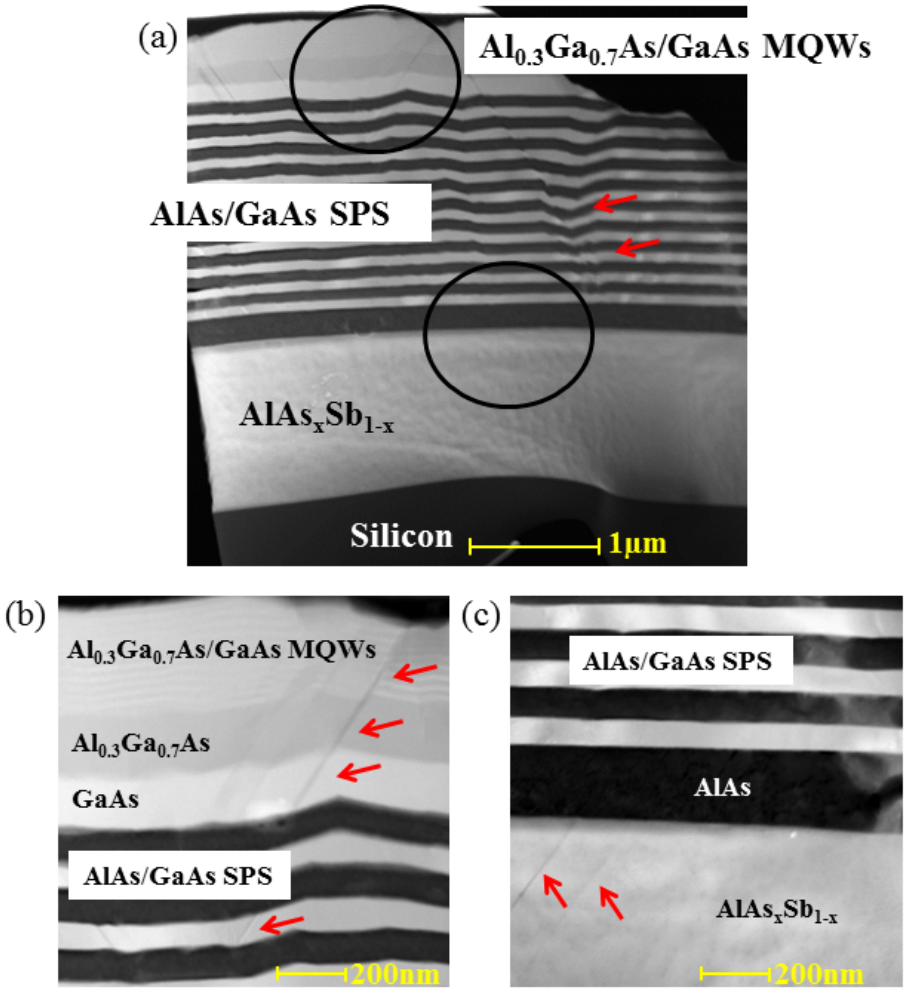

Figure 5. (a) The overview image of cross-sectional HAADF-STEM for $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs with AlAs/GaAs SPS grown on the $AlAs_xSb_{1-x}$/Si substrate. The black circles were magnified as shown at Fig. 5(b) and Fig. 5(c), respectively. Each magnified image shows (b) $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs and AlAs/GaAs SPS, (c) AlAs/GaAs SPS and $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB. The arrows in Fig. 5 indicate crystal defects.

부 층인 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층에서도 때때로 격자 결함이 관찰되었다는 것이다. 반면, AlAs 층의 표면 거칠기는 Fig. 2에서 보여진 AFM 이미지와 마찬가지로 크지 않았다. 이러한 결과에 대한 두 가지 추측이 가능하다. 첫째로, $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층 두께가 격자 부정합을 완전히 해소하기에 충분한 임계 두께를 넘어서지 못했을 가능성이 있다 [15,17]. 두 번째로, 앞서 Fig. 4의 설명에서 언급한 것과 같이 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층과 AlAs 층 계면 간의 As과 Sb 치환 효과로 인해 박막 질이 저하되었을 가능성이 있다. 실제로 열역학적인 관점에서 Sb 성분이 많은 $AlAs_xSb_{1-x}$ 물질보다 AlAs 물질을 형성하려는 경향이 더 강하기 때문에, As이 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층에 존재하는 Sb 성분을 치환하여 박막에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있을 것이다 [18]. 이러한 가정들을 확인하기 위한 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층에 대한 추가 연구는 Si 기판 위의 고품질 GaAs 계열 III-V족 화합물 반도체 소자 구조 성장을 가능하게 해 줄 것이다.

IV. 결 론

낮은 RMS 거칠기 값(약 1.7 nm)을 가진 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층이 Si 기판 위에 형성되었다. 이러한 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층은 상부에 고품질의 GaAs 계열 III-V족 화합물 반도체 소자 구조 형성을 위한 격자 부정합 해소층 역할을 할 수 있다. 이러한 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층을 기반으로 상부에 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs가 형성되었다. $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs의 저온 PL 피크는 약 813 nm에서 관찰되었으나, 그 세기가 매우 약하였다. $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs 시료의 RMS 표면 거칠기는 약 42.9 nm 수준으로 맨 하부 형성된 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층의 RMS 표면 거칠기인 1.7 nm에 비해 크게 증가했음을 보여 주었다. $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs의 단면 HAADF-STEM 분석 결과는 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs의 하부 형성된 AlAs/GaAs SPS 구조에서 심각한 격자 결함이 증가하였음을 보여 주었다. 또한, 표면 거칠기 값이 낮은 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층 구조에서도 때때로 격자 결함이 관찰됨에 따라 이를 보완할 추가 연구가 요구된다. 하지만, 낮은 RMS 거칠기 값을 가진 $AlAs_xSb_{1-x}$ SGB층의 성공적인 성장은 Si 기판 상 고품질 III-V족 화합물 반도체 물질 성장에 대한 잠재력을 보여주는 결과이다.

감사의 글

본 연구는 2012년 KIST 기관 프로그램인 Dream Project, Converging Research Center Program through the MEST (2012K001280, 2N35900), GRL Program 연구비에 의하여 수행되었음.

References

[1] T. Mano, T. Kuroda, K. Mitsuishi, Y. Nakayama, T. Noda, and K. Sakoda, Appl. Phys. Lett. **93**, 203110 (2008).

[2] C. J. Hill, A. Soibel, S. A. Keo, J. M. Mumolo, D. Z. Ting, and S. D. Gunapala, Electron. Lett. **46**, 1286 (2010).

[3] S. L. Diedenhofen, G. Grzela, E. Haverkamp, G. Bauhuis, J. Schermer, and J. G. Rivas, Sol. Energ. Mat. Sol. C. **101**, 308 (2012).

[4] L. Cavigli, M. Abbarchi, S. Bietti, C. Somaschini, S. Sanguinetti, N. Koguchi, A. Vinattieri, and M. Gurioli, Appl. Phys. Lett. **98**, 103104 (2011).

[5] P. S. Dutta and H. L. Bhat, J. Appl. Phys. **81**, 5821 (1997).

[6] K. Ma, R. Urata, D. A. B. Miller, and J. S. Harris, IEEE J. Quantum Electron. **40**, 800 (2004).

[7] Y. B. Bolkhovityanov and O. P. Pchelyakov, Physics-Uspekhi **51**, 437 (2008).

[8] Y. Shimizu and Y. Okada, J. Cryst. Growth 265, **99** (2004).

[9] R. D. Dupuis and C. J. Pizone, J. Cryst. Growth **93**, 435 (1988).

[10] Y. K. Noh, M. D. Kim, J. E. Oh, and W. C. Yang, J. Korean Phys. Soc. **57**, 173 (2010).

[11] K. Akahane, N. Yamamoto, S. Gozu, and N. Ohtani, J. Cryst. Growth **264**, 21 (2004).

[12] A. N. Semenov, O. G. Lyublinskaya, V. A. Solov'ev, B. Ya Mel'tser, and S. V. Ivanov, Semicond. **42**, 74 (2011).

[13] S. Saravanan, Y. Hayashi, T. Soga, T. Jimbo, M.

Umeno, N. Sato, and T. Yonehara, J. Appl. Phys. **89**, 5215 (2001).

[14] H. Tanoto, S. F. Yoon, W. K. Loke, K. P. Chen, E. A. Fitzgerald, C. Dohrman, and B. Narayanan, J. Appl. Phys. **103**, 104901 (2008).

[15] S. H. Shin, J. D. Song, J. Y. Lim, H. C. Koo, and T. G. Kim, Mater. Res. Bull. **47**, 2927 (2012).

[16] K. Y. Cheng, Proceedings of the IEEE **85**, 1694 (1997).

[17] A. Jallipalli, G. Balakrishnan, S. H. Huang, A. Khoshakhlagh, L. R. Dawson, and D. L. Huffaker, J. Cryst. Growth **303**, 449 (2007).

[18] B. Z. Nosho, B. R. Bennett, L. J. Whitman, and M. Goldenberg, J. Vac. Sci. Technol. B **19**, 1626 (2001).

≪Research Paper≫ Journal of the Korean Vacuum Society Vol.22 No.6, November 2013, pp.313∼320
http://dx.doi.org/10.5757/JKVS.2013.22.6.313

Formation of $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs Multiple Quantum Wells on Silicon Substrate with $AlAs_xSb_{1-x}$ Step-graded Buffer

Eun Hye Lee[a,b], Jin Dong Song[a]*, Kyu Hyoek Yoen[a], Min Hwan Bae[a], Hyun Ji Oh[a], Il Ki Han[a], Won Jun Choi[a], and Soo Kyung Chang[b]

[a]*Center for Opto-Electronic Convergence Systems, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791*
[b]*Department of Physics, Yonsei University, Seoul 120-749*

(Received August 26, 2013, Revised September 29, 2013, Accepted September 30, 2013)

The $AlAs_xSb_{1-x}$ step-graded buffer (SGB) layer was grown on the Silicon (Si) substrate to overcome lattice mismatch between Si substrate and $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs multiple quantum wells (MQWs). The value of root-mean-square (RMS) surface roughness for 5 nm- thick GaAs grown on $AlAs_xSb_{1-x}$ step-graded buffer layer was ∼1.7 nm. $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQWs with AlAs/GaAs short period superlattice (SPS) were formed on the $AlAs_xSb_{1-x}$/Si substrate. Photoluminescence (PL) peak at 10 K for the $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQW structure showed relatively low intensity at ∼813 nm. The RMS surface roughness of the $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQW structure was ∼42.9 nm. The crystal defects were observed on the cross-sectional transmission electron microscope (TEM) images of the $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$/GaAs MQW structure. The decrease of PL intensity and increase of RMS surface roughness would be due to the formation of the crystal defects.

Keywords : Molecualr beam epitaxy (MBE), Graded buffer, Silicon (Si), GaAs, AlAsSb

* [E-mail] jdsong@kist.re.kr