

# 계면 흡착에 의한 InAs/GaSb 초격자의 응력변조 효과

신현욱<sup>a</sup> · 최정우<sup>a</sup> · 김준오<sup>b</sup> · 이상준<sup>b</sup> · 김창수<sup>b</sup> · 노삼규<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup>경희대학교 물리학과, 용인 446-701

<sup>b</sup>한국표준과학연구원 나노소재평가센터 양자검출소자기술 글로벌연구실, 대전 305-340

(2010년 10월 17일 받음, 2010년 11월 29일 수정, 2010년 11월 29일 확정)

본 연구에서는 InAs/GaSb 응력초격자(SLS)의 계면 흡착(soaking)에 의한 응력변조 효과를 X선회절(XRD)을 통하여 분석하였다. As과 Sb 흡착에 의하여 유도된 응력의 변화는 XRD 곡선의 기판피크와 0차 위성피크 사이의 분리각으로부터 조사하였으며, As/InAs 흡착은 약간의 GaAs-like 계면층을 유발하는 반면, Sb/GaSb 흡착은 InSb-like 계면상을 유도하는 것으로 분석되었다. Pendellosung 간섭진동의 Fourier 변환 곡선을 이용하여, [InAs/GaSb]-SLS 성장에서 결정성이 가장 우수한 최적 As/InAs와 Sb/GaSb의 흡착시간은 각각 2 sec와 10 sec임을 밝혔다. InAs→GaSb 계면에 As과 Sb를 동시에 흡착시킨 SLS에서 XRD 위성피크가 2개로 분할되는 특이한 쌍정현상이 관측되었는데, 이것은 계면에서 In↔Ga 및 Sb↔As 상호혼합에 의한 InSbAs와 GaAsSb의 2종의 결정상이 공존함으로써 발생한 현상으로 추정된다.

주제어 : 인듐비소/갈륨안티모니(InAs/GaSb), 응력초격자, 계면흡착, X선회절, 펜델로스ung(Pendellosung) 간섭진동

## I. 서 론

제2형 밴드정렬(type-II band alignment)을 가지는 InAs/(InGa)Sb 응력초격자(strained-layer superlattice, SLS)에 기초한 적외선검출소자(infrared photodetector)는 기존의 HgCdTe [1] 소자에 비하여 전자의 유효질량이 커서 밴드-밴드 투과전류가 줄어들 뿐만 아니라, Auger 재결합률이 낮아서 열전류가 감소되는 등 상온 동작이 요구하는 많은 장점을 지니고 있다 [2]. SLS를 활성층에 탑재한 초격자 적외선검출소자(SLIP)는 두께나 조성 변화를 통하여 밴드갭을 변조시킬 수가 있어서 [3], 특히 중적외선(mid-infrared, MIR)에서 원적외선(far-infrared, FIR)에 이르는 광범위한 파장에서 근상온(~250 K) 동작 가능성이 가장 높은 차세대 열영상 소자로 알려져 있다 [4,5]. 현재까지 ~8 μm 영역까지 우수한 특성의 SLIP에 관한 논문 [6-11]이 많이 발표되고 있으며, 최근 본 연구진은 [320×256] FPA를 제작하여 77 K에서 MIR (~4 μm) 대역의 열영상을 실현하였다 [11]. 또한, 다수전하에 의한 암전류(dark current)를 원천적으로 제거할 수 있는 AlGaSb 장벽(barrier, B)을 삽입한 n-B-n 구조 [12]에서, 인가 전압의 극성을 변화시키면 MIR/FIR 대역의 이중과장(dual

wavelength) SLIP를 구현할 수 있음을 입증해 보인 바 있다 [13]. 그러나, [InAs/GaSb]-SLS 계면 결정상(interfacial crystalline phase)은 응력을 변조시켜 부밴드(sub-band) 에너지 범위나 경우에 따라서는 양자효율 감소의 원인이 되는 결함을 유발할 수가 있기 때문에, SLIP 소자의 제작에서는 SLS 구조 설계와 함께 계면층에 의한 특성 조사가 반드시 선행되어야 한다 [14-18].

[InAs/GaSb]-SLS는 전도대와 가전대가 0.15 eV 겹쳐 있고 격자부정합(lattice mismatch)이 -0.59%인 대표적인 제2형 응력초격자(SLS)로서 [19], InAs/GaAs 계면의 미세한 변화는 응력 변화를 유발하여 부밴드(subband) 에너지를 크게 변조시킬 수가 있다. 성장일시정지(growth interruption) 등 다양한 성장변수 변화에 따른 응력변조 효과를 분석한 이전 보고 [20]에 이어서 본 연구에서는, [InAs/GaSb]-SLS 계면에 As 또는 Sb를 흡착(soaking)시켜 계면상의 변조를 유도한 후 그 응력 변화를 고찰하였다. 흡착원과 흡착시간을 달리한 50주기의 [InAs/GaSb]-SLS를 체계적으로 성장하여, X선 회절(x-ray diffraction, XRD) 곡선과 이에 중첩되어 있는 Pendellosung 간섭진동을 분석하여 계면 흡착과 초격자의 응력과의 관계를 조사하였다.

\* [전자우편] sknoh@kriss.re.kr

## II. 실험방법

본 연구에서 사용한 [InAs/GaSb]-SLS 시료는 MBE (molecular beam epitaxy) 방법으로 성장하였으며, As 및 Sb 흡착과정을 제외하고는 앞서 보고한 논문 [19]에서 기술한 성장 방법과 기본적으로 동일하다. p-GaSb:Te 기판 (500  $\mu\text{m}$ ) 위에 510°C 온도에서 1  $\mu\text{m}$ 의 p-GaSb:Be 완충층(buffer layer)을 성장하고, 기판 온도를 350°C로 내린 후 [8/8]-ML의 [InAs/GaSb]-SLS 50주기 성장하였다. 이때, V/III(As/In)와 V/III(Sb/Ga)의 BEP (beam equivalent pressure) 비율은 각각 4 ( $6.0/1.5 \times 10^{-7}$  Torr)와 20 ( $30/1.5 \times 10^{-7}$  Torr)으로 모두 일정하다. 본 연구에서는 계면상의 변화를 유도하기 위하여 모든 주기에서 InAs와 GaSb 증착 직전에 As과 Sb를 표면에 뿌려주는 흡착과정을 추가하였는데, As/InAs과 Sb/GaSb의 흡착시간은 각각 0-15 sec와 0-12 sec 범위에서 변화시켰다.

본 실험에서는 Ge(220) 결정을 이용하는 2축 회절기(double-axis diffractometer)의 고분해능 XRD 측정장치를 사용하였는데, 이때 각도와 X선원( $\text{CuK}\alpha_1$ )의 파장 분해능은 각각  $\Delta\theta=12$  arcsec와  $\lambda/\Delta\lambda \approx 10^3$  ( $\lambda=0.1540560$  nm)이다. 모든 측정은 상온(300 K)에서 수행되었으며, XRD 진동곡선(rocking curve)은  $\omega/2\theta$ -scan으로 (004) 대칭 회절면에서 얻었다. 초격자의 응력 변화는 GaSb 기판과 SLS 사이의 격자부정합을 표현하는 XRD 곡선의 기판피크와 0차 초격자 위성피크(0th-order superlattice satellite peak, 0-SSP) 사이의 분리각(separation angle)으로 조사하였으며, 2개의 피크 사이에 나타난 Pendellosung 주기 진동을 FFT (fast Fourier transform)로 분석하여 그 진폭으로부터 결정성을 정량화하였다.

## III. 결과 및 논의

4종의 서로 다른 원소(In/As, Ga/Sb)가 경계에서 급격히 교차되는 [InAs/GaSb]-SLS는 동종 원소(Ga, As)를 공유하는 AlGaAs/GaAs 접합과는 달리 그 계면이 다소 복잡하다. 즉, InAs와 GaSb의 경계에서는 구성원이 모두 바뀌기 때문에, [InAs/GaSb]-SLS 계면에는 InSb-like 또는 GaAs-like와 같은 새로운 결합이 존재함이 STM (scanning tunneling microscopy) 단면 사진이 입증해 준 바 있다 [18].

본 연구에서는 As 또는 Sb의 흡착을 통하여 의도적으로 계면층 변조를 유도하여, XRD의 피크 변위로서 SLS의 응력 변화를 조사하였다.

Fig. 1은 계면 흡착에 의한 결정성의 변화를 보여주는 그림으로, 4가지 모드(None, As/InAs, Sb/GaSb, As/InAs+Sb/GaSb)에서 성장한 대표적인 SLS의 XRD 스펙트럼 (a)과 0-SSP 분리각을 나타낸 그래프 (b)이다. 이때 As과 Sb의 흡착시간은 각각 2 sec와 12 sec이다. GaSb 기판 및 InAs 덮개층 피크와 함께 SSP가 잘 발달되어 있고, 흡착모드에 따른 분리각의 변화를 잘 보여주고 있다. InAs 성장 직전에 As을 흡착할 경우에는 약간의 변화가 관측되었으나,

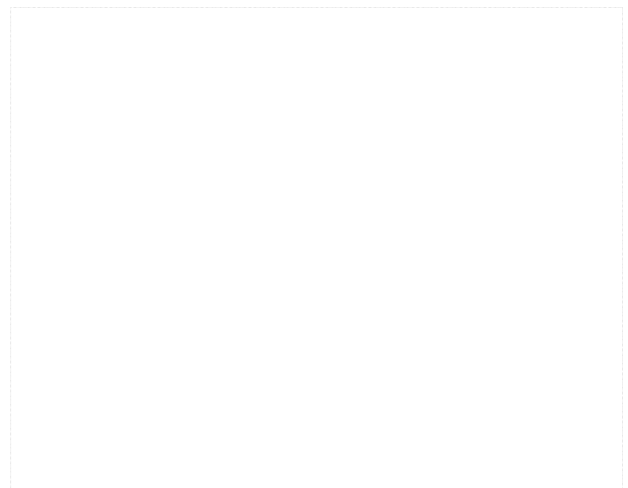
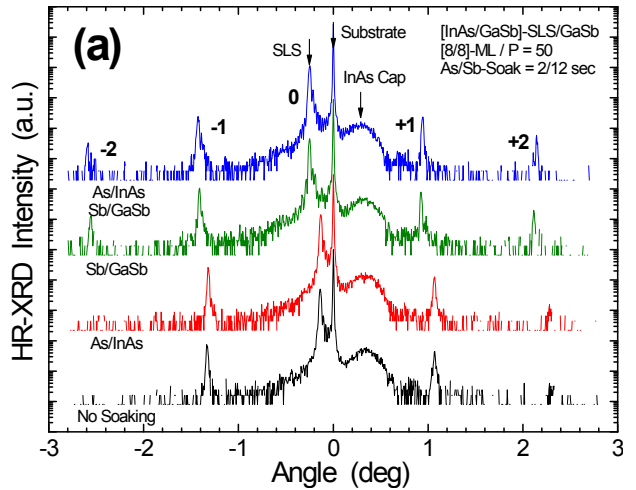


Figure 1. (a) Representative XRD spectra taken from [InAs/GaSb]-SLS grown at 4 soaking modes (None, As/InAs, Sb/GaSb, As/InAs+Sb/GaSb). and (b) plot for their separation angles of 0-SSP.

Sb를 흡착할 경우에는 0-SSP 분리각의 급격한 변화가 있음을 보여 주고 있다. GaSb 기판피크를 기준으로 0-SSP가 왼쪽 영역( $<0$ )에 나타나는 것은 압축변형(compressive strain)을 의미하는 것으로서, As/InAs와 Sb/GaSb 흡착에 의하여 SLS의 압축응력이 감소 또는 증가함을 나타낸다.

계면층은 변형을 유발하기 때문에, XRD의 0-SSP 분리각의 변위로부터 응력의 방향과 크기를 분석할 수가 있다. Fig. 2 (a)와 (b)는 각각 As/InAs와 Sb/GaSb 흡착시간에 따른 XRD 스펙트럼의 변화를 보여 주고 있다. As의 흡착 시간(Sb 흡착시간은 12 sec로 일정)이 증가할 때 0-SSP가 기판피크에 접근하는 것과는 반대로, Sb의 흡착 시간(As 흡착시간은 2 sec로 일정)을 증가시키면 기판피크에서 멀어지고 있음을 볼 수 있다. Fig. 3은 흡착시간에 따른 0-SSP 분리각의 변위를 나타낸 그래프이다. As 흡착시간을 15 s

까지 증가시킬 때 분리각은 최대 +3.6 deg (15 sec)의 약한 변위를 보이는 반면, Sb 흡착시간을 증가시키면 -9.1 deg (12 sec)로 급격한 변화가 일어남을 볼 수가 있다. GaSb 기판피크에 접근하거나 멀어짐을 나타낸 분리각 변위의 양/음의 값은 각각 수직 변형의 증가/감소를 표현해 주는 것으로, As와 Sb의 흡착은 각각 압축응력의 감소와 증가를 의미한다. 즉, As/InAs 흡착은 인장변형(tensile strain)의 GaAs-like 계면층을 유발하는 반면, Sb/GaSb 흡착은 압축변형의 InSb-like 계면층을 유도하는 것으로 분석된다. 흡착시간의 증가에 따른 변화는 계면층의 등가 두께(equivalent thickness)의 증가에 의한 것으로 판단된다.

GaSb ( $a_0=0.60959$  nm)를 기판으로 사용한 [InAs/GaSb]-SLS에서는 인장변형을 가지는 GaAs ( $a_0=0.5653$  nm)보다는 압축변형을 가지는 InSb ( $a_0=0.64794$  nm)의 형성 가능성이 높은 것으로 알려져 있는데, 이것은 STM 분석 [18]으로 확인되어 있다. Fig. 3은 GaSb→As/InAs 성장에서는 약간의 GaAs-like 계면층이 형성되어 압축변형을 다소 감소시키는 반면, InAs→Sb/GaSb의 경우에는 InSb-like 계면층이 비교적 쉽게 형성되어 압축변형이 급격하게 증가됨을 잘 보여 주고 있다. 본 연구는 As 흡착에 의한 GaAs-like 계면층의 형성보다는 Sb 흡착에 의한 InSb-like 계면층의 형성이 지배적임을 보여 준 STM 결과 [18]와 일치하고 있다. 본 시료와 유사한 조건에서 준비한 [8/8]-ML [InAs/GaSb]-SLS에서 얻은 XRD 스펙트럼의 모사 결과와 투과전자현미경(TEM) 단면 사진으로부터 InAs→GaSb 계면에는 약 1 ML 정도의 InSb-like 계면층이 존재함을 확인한 바 있다.

흡착과 SLS의 결정성과의 관계를 알아보기 위하여, XRD

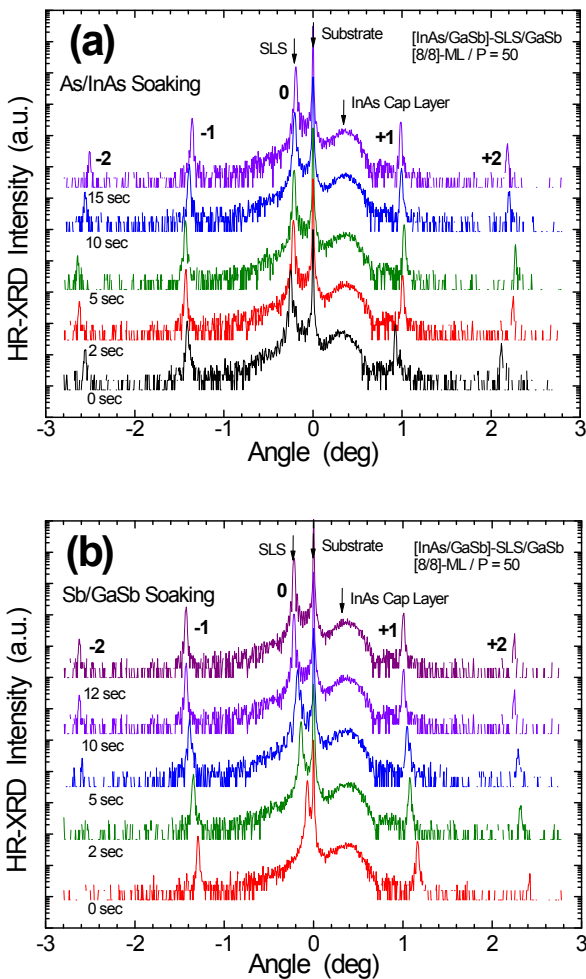


Figure 2. XRD spectra taken from [InAs/GaSb]-SLS soaked by (a) As/InAs and (b) Sb/GaSb.

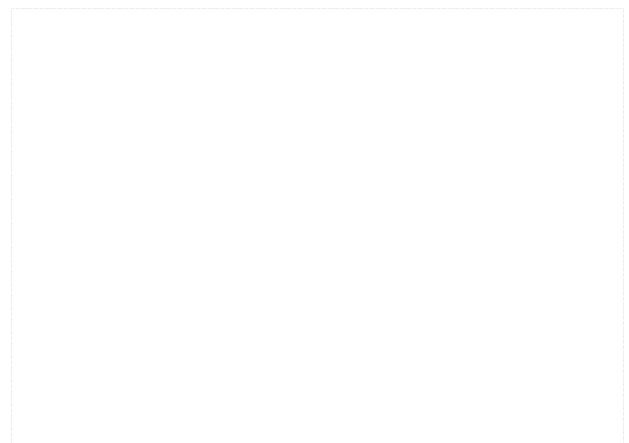


Figure 3. Shift angles of 0-SSP plotted as a function of soaking time for As/InAs and Sb/GaSb.

곡선의 기판피크와 0-SSP 사이에 중첩되어 있는 Pendellosung 간섭무늬(interference fringe)를 분석하였다. Fig. 4는 주기적 진동이 중첩되어 있는 기판피크와 0-SSP 사이(-0.3~+0.2 deg)의 XRD 스펙트럼이다. Fig. 4 (a)와 (b)는 각각 As/InAs 흡착과 Sb/GaSb 흡착에 대한 Fig. 3의 (a)와 (b)를 재구성한 스펙트럼이며, 각각의 그림에 삽입된 그래프는 XRD 스펙트럼의 주기 진동 부분을 Fourier 변환하여 얻은 FFT (fast Fourier transform) 곡선이다. 기판피크와 0-SSP 사이에 나타난 Pendellosung 진동의 FFT 곡선은 약 40 Hz 근처에서 강한 피크를 나타내었으며, As 또는 Sb 흡착시간에 따라 FFT 진폭이 변화함을 보여주었다.

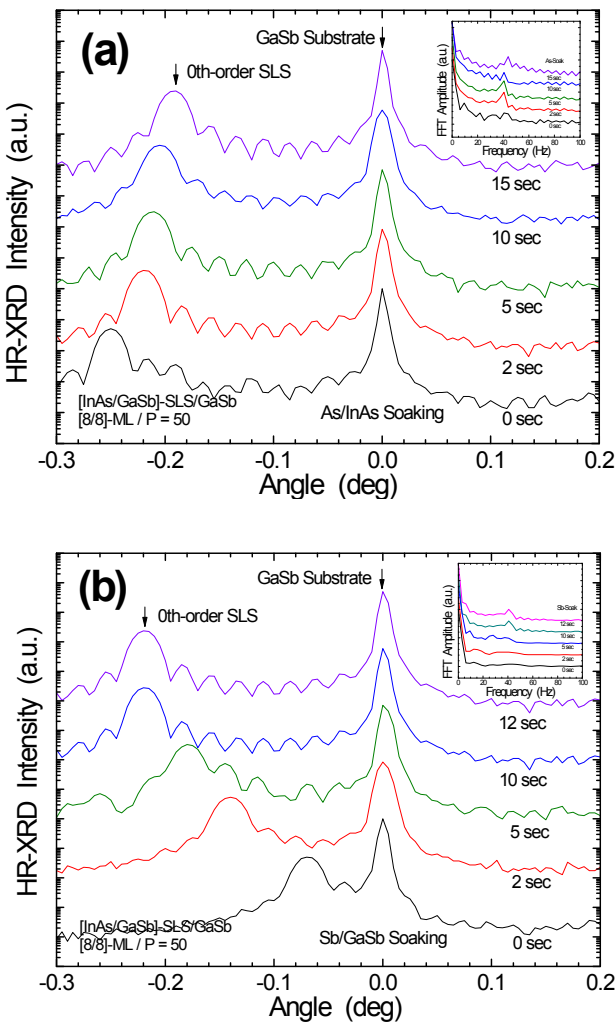


Figure 4. Pendellosung interference oscillations in the XRD spectra appearing between the substrate peak and the 0-SSP for (a) As/InAs and (b) Sb/GaSb soaking. Each inset shows their Fourier-transformed spectra.

Fig. 5는 FFT 진폭을 흡착시간의 함수로 나타낸 그래프이다. As/InAs를 흡착한 SLS는 2 sec에서 최대의 진폭을 나타내고 감소하는 반면, Sb/GaSb 흡착의 경우에는 시간에 따라 지속적인 증가를 보이다가 약 10 sec 이상에서는 포화되는 경향을 보이고 있다. 이것은 As 흡착에 의하여 형성된 GaAs-like 계면층은 인장변형을 유발함과 동시에 결정성을 저하시키는 반면, Sb 흡착은 InSb-like 계면층의 증가와 함께 결정성이 향상됨을 보여주고 있다. [InAs/GaSb]-SLS의 결정성을 표현해 주는 FFT 진폭 변화로부터 As/InAs와 Sb/GaSb의 최적 흡착시간은 각각 2 sec와 12 sec임을 알 수 있었다(이 결과는 여러 가지 흡착 조건에 대한 변화를 최종 정리한 것으로서, Fig. 5의 As/InAs 또는 Sb/GaSb 흡착시간 변화에 따른 SLS 성장에는 이미 최적 조건이 적용되었음). 계면층 두께는 응력변조뿐만 아니라 결정성에도 상당한 영향을 미치고 있음을 본 연구결과는 잘 보여주고 있는 것으로 판단된다.

Sb를 흡착한 InAs→Sb/GaSb 경우, Fig. 3과 Fig. 5는 각각 InSb-like 계면상의 우세와 계면층 두께의 포화를 보여주었다. 본 연구에서는 Sb와 함께 추가로 As을 동시에 흡착(co-soak)시키는 경우 계면상이 어떻게 변조되는 지를 관찰하기 위하여 Sb-As 동시 흡착을 시도하였다. Fig. 6(a)는 10 sec 동안 Sb-As을 동시 흡착시킨 [InAs/GaSb]-SLS의 XRD 스펙트럼을 흡착하지 않은 경우(None, Fig. 1(a))와 Sb만 흡착한 경우(Sb/GaSb, Fig. 2(b))와 비교한 그래프이다. Fig. 6(a)에서 볼 수 있는 바와 같이, Sb-As을 동시 흡착한 경우 XRD의 SSP가 같은 세기의 2개 피크로 분할

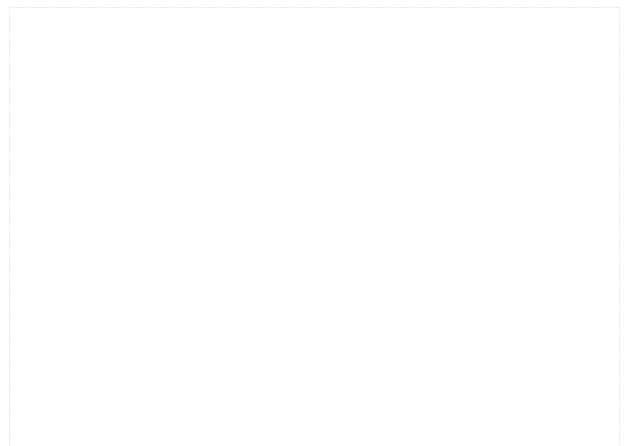


Figure 5. Normalized FFT amplitudes plotted as a function of soaking time for As/InAs and Sb/GaSb.

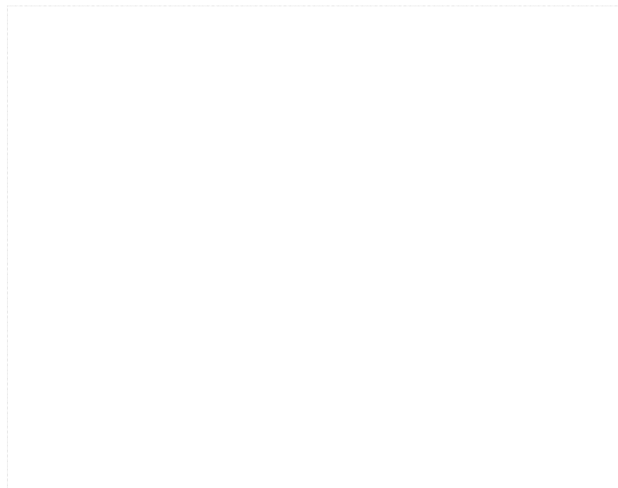
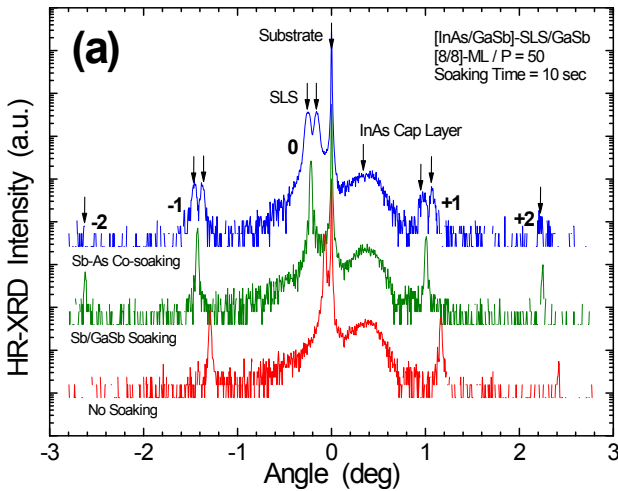


Figure 6. (a) XRD spectrum taken from [InAs/GaSb]-SLS co-soaked by Sb-As/GaSb comparing with those for no soaked and Sb/GaSb soaked samples, and (b) plot of separation angles of 0-SSP for 3 soaking modes.

(splitting)되는 특이한 현상이 관측되었다. Sb/GaSb 흡착의 피크 세기의 1/2 정도인 2개 피크로 분할됨을 고려하면, Sb-As 동시 흡착에 의한 쌍정(twin peak) 현상은 InSb-like 및 GaAs-like 계면상이 동시에 유도된 결과로 추정된다.

MBE 방법은 성장변수에 크게 의존하는 비평형 과정이므로, 표면 에너지의 증가보다 변형 에너지의 감소가 클 경우 불안정상(instable phase)을 형성함이 보고되어 있다 [21, 22]. 본 연구에서 관측된 쌍정현상은 InAs-like와 GaSb-like 계면상이 유도한 서로 다른 변형을 가지는 2종의 불안정상이 SLS 전체 주기에 걸쳐 분포하고 있는 경우를 생각할 수가 있다. 높은 V/III(As/In) 하에서 [InAs/GaSb]-SLS를 성장할 경우, In↔Ga 또는 As↔Sb의 상호혼합(inter-

mixing)에 의하여 InAsSb/GaSbAs 기복 나노선(undulated nanowire) 구조가 형성될 수 있음이 실험적으로 밝혀진 바 있는데 [21], 이 경우 SSP의 주기는 1/2로 감소하는 것으로 보고되어 있다. 본 SLS 시료는 V/III(As/In)=4의 적정 조건에서 성장되었고 모든 SSP가 같은 위치에서 2개 피크로 분할되고 있음을 볼 때, 상호혼합에 의한 조성이 다른 2종의 결정상(GaAsSb, InSbAs)이 형성된 결과로 판단된다. Fig. 6(b)는 0-SSP의 분리각을 비교한 그래프이다. Sb-As 동시 흡착으로 분할된 2개의 피크는 Sb/GaSb 흡착에 의한 0-SSP를 중심으로 증가 또는 감소함을 보여주고 있는데, 이것은 층 변형은 일정하게 유지하면서 GaAsSb와 InSbAs의 2종의 결정상이 형성됨을 뒷받침해 주는 결과인 것으로 사료된다. 본 연구에서 관측된 쌍정현상은 지금까지 보고된 바가 없는 특이한 현상으로 정확한 근원은 현재로서는 알 수 없으나, 계면 흡착은 다양한 결정상을 유발시킬 수 있음을 보여준 하나의 실험결과인 것으로 사료된다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 [InAs/GaSb]-SLS 계면에 As 또는 Sb를 흡착시킬 경우 계면상이 초격자 응력에 미치는 효과를 고찰하였다. 흡착원과 흡착시간을 달리한 50주기의 [InAs/GaSb]-SLS를 성장하여, XRD 곡선의 0-SSP의 변위와 이에 중첩되어 있는 Pendellosung 간섭진동의 주기성을 분석하였다. As/InAs 흡착은 인장변형의 GaAs-like 계면층을 유발하는 반면, Sb/GaSb 흡착에서는 압축변형의 InSb-like 계면상이 유도됨을 알 수 있었으며, 흡착시간이 증가함에 따라 계면층의 등가 두께는 증가하는 것으로 분석되었다.

XRD 기판피크와 0-SSP 사이에 나타나고 있는 주기 진동의 Fourier 변환 곡선은 약 40 Hz 근처에서 피크를 나타내었다. As/InAs 흡착에 의한 GaAs-like 계면층은 약간의 인장변형을 유발함과 동시에 결정성을 저하시키는 반면, Sb/GaSb 흡착은 InSb-like 계면층의 증가와 함께 결정성도 향상됨을 보여주었다. FFT 진폭 변화로부터 가장 우수한 결정성을 가지는 [InAs/GaSb]-SLS에 대한 As/InAs 및 Sb/GaSb 최적 흡착시간은 각각 2 sec와 12 sec이었다.

InAs→GaSb 계면에 As-Sb를 동시 흡착시킨 시료에서 XRD SSP가 2개로 분할되는 쌍정현상이 관측되었는데, 이것은 In↔Ga 및 As↔Sb의 상호혼합에 기인한 InSbAs와

GaAsSb 2층의 결정상이 공존함으로써 발생한 결과로 추정되었다. 본 연구에서 관측된 쌍정현상은 처음 보고된 것으로서, 정확한 근원을 규명하기 위해서는 보다 체계적인 시료 성장과 함께 다양한 측정(STM, TEM, AFM 등)을 통한 종합적인 분석이 필요한 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 2007년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2007-00011)이며, 일부 경희대학교 응용과학대학 학술연구기 지원(2009, KHU-CAS01)을 받았음.

### 참고문헌

- [1] D. L. Smith and C. Mailhot, *J. Appl. Phys.* **62**, 2545 (1987).
- [2] B. -M. Nguyen, D. Hoffman, P. -Y. Delaunay, and M. Razeghi, *Appl. Phys. Lett.* **91**, 163511 (2007).
- [3] P. Piquini, A. Zunger, and R. Magri, *Phys. Rev. B* **77**, 115314 (2008).
- [4] E. Plis, J. B. Rodriguez, H. S. Kim, G. Bishop, Y. Sharma, R. Dawson, S. J. Lee, C. E. Jones, V. Gopal, and S. Krishna, *Appl. Phys. Lett.* **91**, 133512 (2007).
- [5] S. J. Lee, S. K. Noh, E. Plis, S. Krishna, and K.-S. Lee, *Appl. Phys. Lett.* **95**, 102106 (2009).
- [6] S. Mou, A. Petschke, Q. Liu, S. L. Chuang, J. V. Li, and C. J. Hill, *Appl. Phys. Lett.* **92**, 153505 (2008).
- [7] S. Maison and G. W. Wicks, *Appl. Phys. Lett.* **89**, 151109 (2006).
- [8] A. Khoshakhlagh, J. B. Rodriguez, E. Plis, G. D. Bishop, Y. D. Sharma, H. S. Kim, L. R. Dawson, and S. Krishna, *Appl. Phys. Lett.* **91**, 263504 (2007).
- [9] E. Crobin, M. J. Shaw, M. R. Kitchin, J. P. Hagon, and M. Jaros, *Semicond. Sci. Technol.* **16**, 263 (2001).
- [10] H. S. Kim, E. Plis, J. B. Rodriguez, G. D. Bishop, Y. D. Sharma, L. R. Dawson, S. Krishna, J. Bundas, R. Cook, D. Burrows, R. Dennis, K. Patnaude, A. Reisinger, and M. Sundaram, *Appl. Phys. Lett.* **92**, 183502 (2008).
- [11] S. J. Lee, S. K. Noh, S. H. Bae, and H. Jung, *J. Korean Vac. Soc.* In print (2010).
- [12] S. Maison and G. W. Wicks, *Appl. Phys. Lett.* **89**, 151109 (2006).
- [13] S. J. Lee, S. K. Noh, L. R. Dawson, and S. Krishna, *J. Korean Phys. Soc.* **54**, 280 (2009).
- [14] X. B. Zhang, J. H. Ryou, R. D. Dupuis, S. Mou, S. L. Chuang, C. Xu, and K. C. Hsieh, *J. Cryst. Growth* **287**, 545 (2006).
- [15] G. C. Dente and M. L. Tilton, *J. Appl. Phys.* **86**, 1420 (1999).
- [16] X. B. Zhang, J. H. Ryou, R. D. Dupuis, C. Xu, S. Mou, A. Petschke, K. C. Hsieh, and S. L. Chuang, *Appl. Phys. Lett.* **90**, 131110 (2007).
- [17] A. Fasolino, E. Molinari, and J. C. Maan, *Phys. Rev. B* **33**, 8889 (1986).
- [18] J. Steinshnider, M. Weimer, R. Kaspi, and G. W. Turner, *Phys. Rev. Lett.* **85**, 2953 (2000).
- [19] H. Kroemer, *Physica E* **20**, 196 (2004).
- [20] J. O. Kim, H. W. Shin, J. W. Choe, S. J. Lee, C. S. Kim, and S. K. Noh, *J. Korean Vac. Soc.* **18**, 245 (2009).
- [21] B. J. Spencer, P. W. Voorhees, and J. Tersoff, *Phys. Rev. B* **64**, 235318 (2001).
- [22] J. H. Li, D. W. Stokes, O. Caha, S. L. Ammu, J. Bai, K. E. Bassler, and S. C. Moss, *Phys. Rev. Lett.* **95**, 096104 (2005).

## Effects of Interface Soaking on Strain Modulation in InAs/GaSb Strained-Layer Superlattices

H. W. Shin<sup>a</sup>, J. W. Choe<sup>a</sup>, J. O. Kim<sup>b</sup>, S. J. Lee<sup>b</sup>, C. S. Kim<sup>b</sup>, and S. K. Noh<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup>*Department of Physics, Kyung Hee University, Yongin 446-701*

<sup>b</sup>*Global Research Laboratory on Quantum Detector Technology, Nano Materials Evaluation Center,  
Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon 305-340*

(Received October 17, 2010, Revised November 29, 2010, Accepted November 29, 2010)

In this study, the interface soaking effect in InAs/GaAs strained-layer superlattice (SLS) on crystalline phase modulation has been analyzed by the x-ray diffraction (XRD) curve. The strain variation induced by As and/or Sb soaking was determined by the separation angle between the substrate peak and the 0th-order superlattice satellite peak in the XRD spectra. Contrated that the As/InAs soaking arises minor GaAs-like interfacial layer, the Sb/GaSb soaking induces InSb-like one. The Fourier-transformed curves of the Pendellosung interference oscillation shows that the optimum soaking times of As/InAs and Sb/GaSb are 2 sec and 12 sec, at which the highest crystallineity has, respectively. An anomalous twin-peak phenomenon that a satellite peak splits into two peaks was observed in the SLS structure co-soaked by As and Sb at InAs→GaSb interfaces. We suggest that it may be resulted from coexistence of two kinds crystalline phases of InAsSb and GaAsSb due to intermixing of In↔Ga and Sb↔As.

Keywords : InAs/GaSb, Strained-layer superlattice (SLS), Interface soaking, X-ray diffraction (XRD), Pedellosung interference oscillation

\* [E-mail] sknoh@kriss.re.kr