

수직브리지만 방법으로 성장한 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 의 특성에 관한 연구
(A Study on the Characteristics of $Al_xGa_{1-x}Sb$ grown
by Vertical Bridgman Method)

이 재구, 김 영호, 정 성훈, 송 복식, 문 동찬, 김 선태*
광운대학교 전자재료공학과
*대전산업대학교 재료공학과

J. G. Lee, Y. H. Kim, S. H. Chung, B. S. Song, D. C. Moon, S. T. Kim*
Dept. of Electronic Materials Eng. Kwangwoon University
*Dept. of Materials Eng. Taejon National University of Technology

ABSTRACT

A ternary compound semiconductor $Al_xGa_{1-x}Sb$ crystals which have energy gap from 0.7eV to 1.6eV at room temperature with the composition ratio were grown by using the vertical Bridgman method. The characteristics of $Al_xGa_{1-x}Sb$ were investigated in this study. The lattice constants of $Al_xGa_{1-x}Sb$ crystals with the composition ratio were appeared from 6.096 Å to 6.135 Å with the composition ratio. The electrical properties of the $Al_xGa_{1-x}Sb$ crystals measured the Hall effect by van der Pauw method at the magnetic field of 3 kilogauss and at room temperature. The resistivity of Te-doped $Al_xGa_{1-x}Sb$ crystals increased from 0.071 Ω-cm to 5 Ω-cm at room temperature with increasing the composition ratio. The mobility of Te-doped $Al_xGa_{1-x}Sb$ crystals varied with the composition ratio x, within the following three different regions, such as GaSb-like ($0 \leq x \leq 0.3$), intermediate ($0.3 \leq x \leq 0.4$) and AlSb-like ($0.4 \leq x \leq 1$).

III-V족 화합물 반도체는 과거 수십년간 연구되어 왔으며, 앞으로도 집중적인 연구가 이루어져야 할 분야이다. InSb과 GaAs의 에너지 갭으로부터 시작된 화합물 반도체의 연구는 다른 III-V족 화합물 반도체까지 확대 되었다. 이러한 화합물 반도체 중 현재 적외선 검출기로 사용중인 InGaAsP보다 경제적인 측면에서 매우 근접해 있는 재료로 최근에 GaSb와 AlSb의 혼정상태인 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 에 대한 관심이 모아 지고 있다. $Al_xGa_{1-x}Sb$ 는 0.8-1.7 μm의 파장 범위에서 광통신에 유용한 소자로서 최근에 각광을 받고 있는데,^{1),2)} 1978년 Tokuzo Sukegawa 등³⁾에 의해 p형 GaSb위에 n형 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 를 LPE방법으로 성장시킨 고효율 포토다이오드를 제작하였고, 1979년 Toshiaki Kagawa 등⁴⁾에 의해 Te이 도핑된 n형 GaSb기판위에 1.0~1.3 μm 파장범위를 가지는 어벌런치 포토 다이오드(Avalanche photodiode, APD)에 대한 연구 결과를 발표하였다. 1980년대에 들어서 F. Capasso 등⁵⁾에 의해 발표된 1.3 ~ 1.6 μm의 파장범위에서 높은 민감도(sensitivity)를 보이고 있는 어벌런치포토 다이오드(APD)를 발표하였다. 1.3 μm 파장에서 외부양자효율이 55%로 기존의 InGaAsP보다 훨씬 좋은특성을 보였다. 그리고, $x \leq 0.20$ 의 경우에 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 의 기판 물질로 사용되는 GaSb와 격

자상수가 거의 일치하고 있다⁹⁾. 그리고 1989년 H. Munekata 등⁶⁾에 의해 InAs위에 MBE(Molecular Beam Epitaxy)법으로 성장된 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 의 성장특성과 전송에 대한 연구를 발표하였다. 1996년에는 Wang 등⁷⁾은 MOCVD방법으로 성장된 GaSb와 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 의 구조적·전기적인 특성에 관하여 발표하였다. 이러한 경우 기판재료로 GaSb의 표면 특성이 적외선 검출기의 효율에 많은 영향을 준다는 것이 밝혀졌으며, 이러한 이유로 소자 제작시 표면 특성을 개선하고자 금속 이온(Ru^{+3} , Pt^{+4})등을 통한 화학적인 처리가 시도되고 있다고 최근에 보고 되고 있다.⁸⁾ THM(Travelling Heater method), MBE(Molecular Beam Epitaxy), LPE(Liquid Phase Epitaxy) 등에 관한 연구가 지속되었으나, 수직 브리지만 방법을 사용한 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 에 대한 연구가 미흡한 상태이다.

본 논문에서는 이러한 GaSb과 AlSb의 특징을 토대로 성장률이 빠른 수직 브리지만 방법을 통하여, $Al_xGa_{1-x}Sb$ 벌크 결정을 성장시켰으며, 고분해능 투과전자현미경(High Resolution Transmission Electron Microscopy, HR-TEM)과 XRD를 이용하여 결정학적인 특성을 조사하였다. Van der Pauw법을 이용하여 실온에서 조성에 따른 전기적인 특성을 조사하였다. 이는 차후에 조성 변화에 따른 천이 변화¹²⁾ 관찰을 위한 토대를 마련하고자 하였으며, 기판물질로 사용되는 GaSb을 토대로 수직 브리지만 방법을 통한 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 성장방법의 가능성을 제시하고자 하였다.

II. 실험 방법

고순도의 Ga과 Sb 그리고 Al과 Sb을 각각의 조성량은 정확도가 0.1mg인 전자천평(Aslep : Eu-198A)에서 평량한 후 각각 750°C와 1150°C에서 합금(alloy)을 만든 후 각각의 합금을 혼합하여, 지름이 30 mm인 알루미늄 관의 3단 수직 전기로를 사용하여 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 결정을 성장하였다. 결정성장시에 고온부는 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 결정의 녹는점보다 약 50°C정도 높은 온도를 유지하였고, 저온부는 400°C를 유지하였다. 온도구배는 Pt-13%RhPt의 열전대로 실험 전에 보정하였으며 전기로내의 온도구배는 3°C/cm였다. Willardson과 Goering에 의한 pseudobinary상도¹⁰⁾는 그림 1. 에 나타내었으며, 점선은 성장온도를 나타내고 있

다.

그림 1.

결정 성장용 앰플을 만들기 위한 석영관 내경은 10mm였으며, 석영관 내부의 세척을 위하여 석영관은 $K_2Cr_2O_7:H_2SO_4=1:1$ 용액으로 24시간 이상 담근 후, 증류수로 십회 이상 세척하였다. 또한 삼염화에틸렌, 아세톤, 메탄올, 증류수의 4단계의 세척을 행한후 10^{-3} torr에서 1000°C로 가열하여 건조 시켰다. n형- $Al_xGa_{1-x}Sb$ 를 성장시키기 위해 6족 원소인 Te을 0.05 mol%를 첨가하였다. 준비된 앰플은 10^{-5} torr의 진공도에서 진공봉입하여 전기로 내부에 장착을 하였다. 비교적 높은 용융점을 가진 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 를 성장온도에서 48시간 동안 용융을 시킨 뒤, 5mm/h의 속도로 하강시켰다.

성장된 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 결정의 중앙부분에서 떼어낸 시료를 고운 분말로 만들어 X선 회절장치($CuK\alpha=1.5405\text{\AA}$)를 사용하여 X선 회절도를 기록 하였다. 격자상수 a_0 의 값을 정확하게 결정하기 위하여 회절각의 어려움에 따른 a_0 값을 구하고, 그 결과를 $\theta=90^\circ$ 에 접근시키는 방법을 사용하였다¹¹⁾. 즉 시료의 흡수에 의한 오차가 주된 오차일 때 θ 의 가장 작은 값까지 a_0 는 아래의 보정식에 비례한다. a_0 와 $t(\theta)$ 의 그래프에서 최소 자승법으로 직선의 기울기를 구한 후 외삽법으로 $\theta=90^\circ$ 일때의 a_0 값을 정하였다. 여기서 λ 는 사용한 X선의 파장이며, 사용한 X선은 $CuK\alpha$ 선이고 파장은 1.5405Å이고, θ 는 각 peak에 해당하는 각도의 반값 그리고 hkl 은 각 peak에 대한 2 θ 에 대응하는 miller 지수, 그리고 ρ 는 편차이며, d_i 는 각 측정치의 편차를 나타낸다. 이로서 구하고자 하는 격자 상수는 $a_0 \pm \rho$ 이다.

TEM을 통한 분석을 하다보면, 막연히 image만으로는 정확히 파악할 수 없는 것이 있는데 그 중에 하나가 어떤 물질로 구성되어 있는 layer인가에 대한 것이다. 이에 대한 해결책으로 diffraction pattern을 구한 후, 회절 pattern지수를 이용하여 면간거리 d값을 구하는 것이 있다. 결정을 이루고 있는 물질은 모두다 고유의 격자상수 a_0 를 가지고 있고, 이 격자상수에 의해서 면간거리 d값이 정해진다. 그러므로 diffraction pattern에서 구한 면간거리 d값으로 물질을 파악할 수 있게 된다. 이렇게 구한 면간거리를 JCPDS상의 값과 비교할수 있다.

Poly layer에 대하여 diffraction pattern을 구해

보면 ring pattern을 구할 수 있다. Poly layer의 grain들이 크면 클수록 점점 더 뚜렷한 점군으로 이루어진 ring pattern을 형성하게 되고, 단결정인 경우에는 일정한 점 pattern을 형성하게 된다. 이 ring pattern에 대하여 Miller 지수의 제곱형을 대입하면, 투과점에서부터 바깥쪽으로 ring pattern의 순서에 따라서 회절 pattern의 지수를 정할 수 있다. F.C.C의 경우 (111), (200), (220), (311)의 순서로 지수가 정해진다. 그림 2. 에서와 같이 회절현상이 일어나므로, 우리는 다음과 같은 식을 세울 수 있다.

그림 2.

$$L \cdot \tan 2\theta = R \quad \dots(1)$$

식 (1)에서 θ 는 작은 값이므로

$$L \cdot 2\theta = R \quad \dots(2)$$

과 같이 가정할 수 있다.

여기서 θ 는 Bragg angle을 의미한다. 또한, Bragg 회절법칙을 이용하면

$$2d \cdot \sin \theta = n \cdot \lambda \quad \dots(3)$$

의 식이 나오게 되고, 여기서 d 는 면간거리 (lattice distance)를 의미한다.

$\sin \theta$ 에서 θ 역시 작은 값이므로, 다음과 같이 식을 유도할 수 있다.

$$2d \cdot \theta = \lambda \quad \dots(4)$$

따라서,

$$\theta = \frac{\lambda}{2d} \quad \dots(5)$$

가 된다.

식 (5)를 식 (2)에 대입하면

$$L \cdot 2 \cdot \frac{\lambda}{2d} = R \quad \dots(6)$$

이 되고, 식 (6)을 정리하면

$$d \cdot R = L \cdot \lambda \quad \dots(7)$$

L : camera length

λ : wave length

$L \cdot \lambda$: canera constant

과 같은 식을 얻을 수 있다.

HRTEM의 wave length는 200kV에서 0.0251 Å 이고, camera length는 80cm이다. 따라서, camera length가 80cm일 때, camera constant $L \cdot \lambda$ 는 20.08 Å 이 된다.

수직 브리지만법을 성장된 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 조성비와 온도에 따른 전기적인 성질을 비교하기 위하여 van der Pauw 법¹²으로 홀 효과를 측정하였다. 성장된 결정물 웨이퍼를 만들기 위해 다이아몬드 절단기 (Beuhler, Isomet)를 사용하여 두께를 0.7mm의 두께로

절단하고, 2000 메쉬의 사포에 갈아 면을 고르게 한 후 0.05 μm인 Al_2O_3 분말을 뿌리며 패드에서 연마하여 거울면처리를 하였다. 이와같이 준비된 웨이퍼를 삼염 화에틸렌(Trichloroethylene), 아세톤, 메탄올 순서로 실온에서 3분간 세척하고 탈이온수로 세척하여 건조시킨 후 Br_2-CH_3OH 용액 속에서 5초동안 예칭하였다. 홀효과를 측정하기 위해서 크기가 5×5×0.5 mm³인 시료의 4모서리에 In을 직경 0.5mm의 크기로 10⁻⁵ torr의 압력에서 진공증착을 하였다. 음성 접촉형성을 위하여 증착된 시료를 알곤가스 분위기에서 150℃에서 2분간 열처리를 하였다. 이와 같이 형성된 전극에 금줄(Mitsubishi : φ 1mil)을 In으로 땀하여 연결한 후, 실온에서 측정을 하였다. 이때 홀전압을 측정 하기 위하여 시료에 인가한 자장의 세기는 3000가우스 였다.

III. 결과 및 고찰

수직 브리지만법을 이용하여 성장된 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 결정은 성장된 앞 부분은 양호하나 결정의 끝부분에서는 냉각 과정에서 발생한 열 팽창률의 차이에 의해서 표면이 불량하게 나타났다. 결정 성장 동안의 고상과 액상의 계면은 성장이 시작되는 잉곳의 팁 부근(first-to-freeze)에서 열손실에 의해서 다소 불룩하게 된다. 그 후 고상-액상 계면은 열전도를 차이에 의해 오목하게 된다. 이는 결정성장중에 열에 의한 영향을 받음으로서 결정의 끝부분에서는 다결정립이 존재하기 쉽다. 따라서, 결정 계면의 형태를 관찰함으로써 어느 정도 결정의 질을 유추해 낼 수 있다^{13,14}.

성장된 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 결정의 X선 회절선의 강도 및 면간 거리값을 AlSb과 GaSb의 JCPDS(Joint Committee on Powder Diffraction Standard)카드와 기존의 데이터¹⁰와 비교한 결과 성장된 결정의 회절선이 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 결정의 회절선과 일치하므로, $Al_xGa_{1-x}Sb$ 결정의 성장을 유추 할 수 있었다. 또한 성장한 결과, $Al_xGa_{1-x}Sb$ 결정의 격자상수 a_0 는 조성비에 따라 각각 6.096 Å ($x=0$)~6.135 Å ($x=1$) 이었다. GaSb과 AlSb의 (111) peak의 경우에 있어서는 면간거리값이 각각 3.520 Å과 3.540 Å 으로 중첩된 강도를 나타내고 있으며, 또한 Al의 조성비가증가함에 따라 (200), (311) peak의 강도가 점차로 감소하는 경향을 보이고, (400), (422) peak의 경우 AlSb에서는 소멸하였다.

$Al_xGa_{1-x}Sb$ 의 조성에 따른 X선 회절도를 그림 3. 에 나타내었다.

그림 3.

그림 4.의 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 의 조성에 따른 격자상수는 Vegard의 법칙¹⁵⁾을 만족하면서 선형적으로 증가하였으며, GaSb의 격자상수는 6.096 Å 이었고, AlSb의 격자상수는 6.135 Å 이었다.

그림 4.

XRD 측정시 얻은 면간거리값은 표 1.에 JCPDS(Joint Committee on Powder Diffraction Standards) 카드와 고분해능 투과 전자현미경(HRTEM, High Resolution Transmission Electron Microscopy)으로 측정된 값을 나타 내었으며, 편차가 0.4%~0.6% 범위내에 존재하는 것을 알수 있었다.

표 1.

사진 1.의 (a)는 TEM으로 관찰한 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 결정 이미지는 전기적인 특성 중 이동도에 영향을 미치는 조성에 따른 결정의 불균일성을 관찰하고자 하였으며, 사진 1.의 (b)는 TEM으로 관찰한 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 결정 회절도로서 면간 거리값을 구하는데 사용되었으며, JCPDS 카드와 편차가 0.4%~0.6%의 범위로 양질의 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 결정성장이 이루어 졌음을 알수 있었다.

사진 1.

그림 5.는 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 의 조성에 따른 비저항을 나타낸 것으로, 조성비 x가 0인 GaSb의 경우 0.2 Ω-cm 이었고, 천이의 교차점인 x=0.4이상에서는 완만히 비저항이 증가하였으며, 조성비 x가 1인 AlSb의 경우는 5 Ω-cm 이었다.

그림 5.

그림 6.은 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 의 조성에 따른 이동도를 나타낸 것으로 조성비에 따른 이동도는 서로 다른 성질의 세 영역으로 구분되어지는 것을 알수 있었다.

첫째 영역은 직접천이형 에너지 갭을 갖는 $0 \leq x \leq 0.3$ 의 조성 영역으로 조성비 x가 증가함에 따라 이동도가 서서히 감소하였다. 이 영역에서는 전도대에 있는 캐리어들이 전도대의 Γ 골(valley)에 존재하므로 이동도가 상대적으로 다른 조성비에 비해 크게 나타나고, 결정의 조성비가 증가함에 따라 미세적인 조성의 불균일성과 혼정화에 따른 캐리어 산란이 증가하여 이동도가 감소하게 된다.

둘째 영역은 조성비가 $0.3 \leq x \leq 0.4$ 인 영역으로

서 에너지 밴드 구조는 직접 천이형 이지만 조성비의 증가에 따라 이동도는 $268 \text{ cm}^2/V \cdot \text{sec}$ 에서 $98 \text{ cm}^2/V \cdot \text{sec}$ 까지 급속히 감소 하였다. 이 영역에서는 전도대에 있는 캐리어들이 Γ 골과 X골사이의 미세한 에너지 차이에 의해 나뉘어 존재 하게 된다. 따라서 조성비의 증가와 더불어 이 에너지 차이가 감소하므로 이동도가 급속히 감소하게 된다^{16),17)}. 이러한 현상은 III-V족 혼정 반도체인 GaAs_{1-x}P_x, Al_xGa_{1-x}As 등에서도 관찰되었다¹⁸⁾.

셋째 영역은 조성비가 $0.4 \leq x \leq 1.0$ 인 영역으로서 캐리어들이 X골에 존재하므로 이동도가 상대적으로 작으며, 조성비가 1(=AlSb)에 가까워 짐에 따라 미세적인 조성의 불균일성과 혼정에 의한 캐리어 산란이 감소 하므로¹⁷⁾ 이동도는 $98 \text{ cm}^2/V \cdot \text{sec}$ 에서 $152 \text{ cm}^2/V \cdot \text{sec}$ 까지 증가하게 된다. 이러한 사실로 부터 에너지 밴드가 직접 천이형에서 간접 천이형으로 변하는 교차점은 $x=0.4$ 임을 알수 있었다.

그림 6.

IV. 결론

수직 브리지만 법으로 n형 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 결정을 성장시켜 결정학적인 특성, 전기적 특성을 조사 하였다. 성장된 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 의 결정학적인 특성을 조사하기 위해 XRD와 고분해능 투과전자현미경을 사용하였고, van der Pauw법으로 각각의 조성에 따른 비저항과 이동도를 측정하였다.

1. XRD로 측정된 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 결정은 전형적인 Zinc blende구조 를 보였다.
2. 고분해능 투과 전자현미경으로 측정된 면간거리값을 통해 양호한 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 결정이 성장 되었음을 확인하였다.
3. $Al_xGa_{1-x}Sb$ 격자상수는 조성비에 따라 선형적으로 증가하였 고, 격자상수는 6.096 Å ($x=0$)~6.135 Å ($x=1$)였다.
4. 조성비가 $x=0.3$ 에서 $x=0.4$ 로 증가함에 따라 이동도가 $268 \text{ cm}^2/V\text{-sec}$ 에서 $98 \text{ cm}^2/V\text{-sec}$ 으로 급격히 감소함으로써 직접 천이에서 간접 천이로 변화하는 crossover point를 발견하였다.

이상으로 성장률이 빠르고 성장이 용이한 수직브리지만법으로 양질의 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 결정을 얻었다. 앞으로 적외선 검출기 등의 소자로서 응용이 가능할 것으로 사료되며, $Al_xGa_{1-x}Sb$ 결정 성

장에 수직 브리지만법의 이용이 가능할 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. Y. Nagao, T. Hariu, and Y. Shibata, IEEE Trans. Electron. Devices. ED-28, pp. 407, (1981)
2. F. J. Reid, R. D. Baxter, and S. E. Miller, J. Electrochem. Soc. Vol. 113, pp. 713, (1966)
3. Tokuzo Sukegawa, Takao Hiraguchi, Akira Tanaka, and Minoru Hagino, Appl. Phys. Lett., Vol. 32, pp. 376, (1978)
4. Toshiaki Kagawa and George Motosugi, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 18, pp. 2317, (1979)
5. F. Capasso, A. L. Hutchinson, P. W. Foy, C. Bethea, and W. A. Bonner, Appl. Phys. Lett. Vol. 39, pp. 738, (1981)
6. H. Munekata, T. P. Smith and L. L. Chang, J. Vac. Sci. Technol. Vol. B7, pp.324, (1989)
7. Pai-Yong Wang, J. F. Chen, W. K. Chen, J. Crystal Growth, Vol. 160, pp. 241, (1996)
8. S. Basu and P. Barman, J. Vac. Sci. Technol. B10, pp. 107, (1991)
9. David Wood, "Optoelectronic Semiconductor Devices", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, pp. 152-157, pp. 293-294, (1994)
10. Robert K. Willardson, Harvey L. Goering, "Compound Semiconductors", Chapman & Hall, Ltd., Reinhold Publishing Corporation, Vol 1., pp.10-11, 187-193, (1962)
11. L. M. Forster and J. E. Scardefield, J. Electrochem. Soc., Vol. 117, pp. 354, (1970)
12. L. J. van der Pauw ; Philips Res. Rep., Vol. 13, pp. 1, (1960)
13. M. L. Littlejohn, J. R. Hauser, T. H. Glisson, D. K. Ferry and J. W. Harrison, Solid State Electronics, Vol.21. pp.107, (1978)
14. K. Sugii, H. Koizumi and E. Kkota, J. Elec. Mat., Vol. 12, pp.701, (1983)
15. E. Fred Schubert, "Doping in III-V Semiconductors", AT&T Bell Lab., pp. 202-206, (1993)
16. H. M. Macksey, N. Hononyak, Jr., R. D. Dupis, J. C. Campbell & G. W. Zack, J. Appl. Phys., Vol. 44, pp. 1333, (1973)

17. T. Kato, A. Shimizu, & T. Ishida, J. Appl. Phys., Vol. 13, pp. 1481, (1974)
18. M. G. Cradford & W. O. Groves, Proc. IEEE, Vol. 61, pp. 862, (1973)

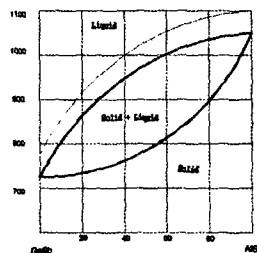


그림 1. GaSb-AlSb 준 2원 상도.
Fig1. GaSb-AlSb pseudobinary phase diagram.

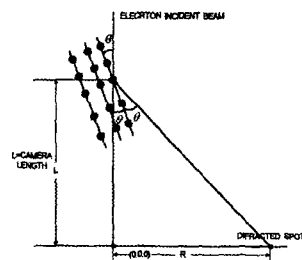
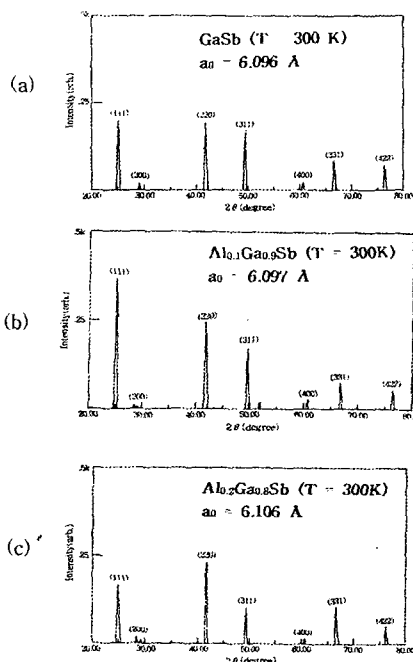


그림 2. 입사 전자선과 시편과의 상호작용에 의해 발생하는 회절 패턴

Fig. 2 Diffraction pattern occurred by the interaction between electron incident beam beam and sample



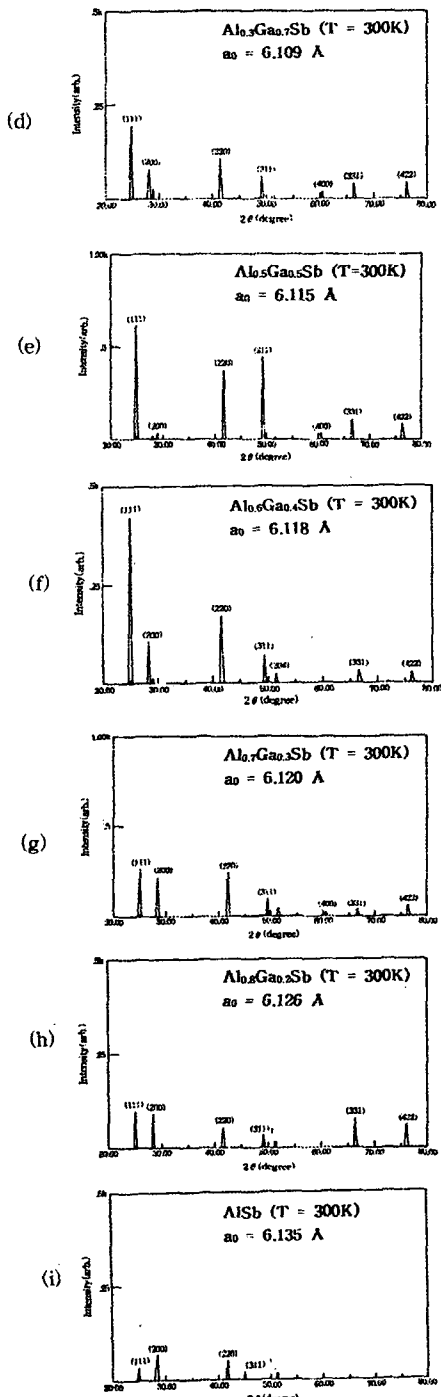


그림 3. $Al_xGa_{1-x}Sb$ 의 조성에 따른 x선 회절도
 (a) $x=0$ (b) $x=0.1$ (c) $x=0.2$ (d) $x=0.3$ (e) $x=0.5$
 (f) $x=0.6$ (g) $x=0.7$ (h) $x=0.8$ (i) $x=1.0$

Fig. 3 X-ray diffraction pattern of the $Al_xGa_{1-x}Sb$ with composition ratio

(a) $x=0$ (b) $x=0.1$ (c) $x=0.2$ (d) $x=0.3$ (e) $x=0.5$
 (f) $x=0.6$ (g) $x=0.7$ (h) $x=0.8$ (i) $x=1.0$

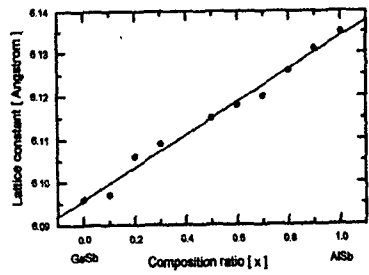


그림 4. $Al_xGa_{1-x}Sb$ 의 조성에 따른 격자상수
 Fig. 4 The lattice constant of $Al_xGa_{1-x}Sb$ with composition ratio

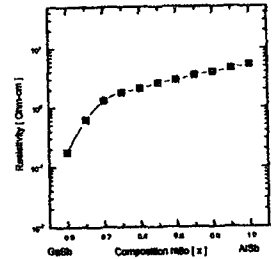


그림 5. $Al_xGa_{1-x}Sb$ 의 조성에 따른 비저항
 Fig. 5 The resistivity of $Al_xGa_{1-x}Sb$ with composition ratio

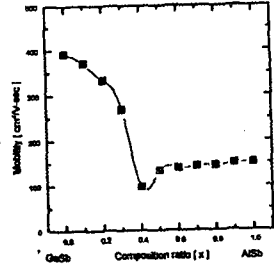


그림 6. $Al_xGa_{1-x}Sb$ 의 조성에 따른 이동도
 Fig. 6 The mobility of $Al_xGa_{1-x}Sb$ with composition ratio

표. 1 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 의 조성에 따른 면간거리
 Table. 1 The lattice spacing of $Al_xGa_{1-x}Sb$ with composition ratio

조성비		d_{111}	d_{200}	d_{311}	d_{400}	d_{511}	d_{622}
$x = 0$	XRD	3.547	3.067	2.164	1.842	1.526	1.402
	TEM	3.523	3.061	2.153	1.845	1.530	1.392
	JCPDS	3.520	3.048	2.156	1.838	1.524	1.399
$x = 0.1$	XRD	3.542	3.064	2.162	1.841	1.526	1.400
	TEM	3.527	3.049	2.152	1.843	1.528	1.395
$x = 0.2$	XRD	3.580	3.088	2.160	1.842	1.527	1.397
	TEM	3.548	3.062	2.152	1.841	1.527	1.396
$x = 0.3$	XRD	3.580	3.083	2.176	1.849	1.554	1.407
	TEM	3.587	3.063	2.168	1.843	1.538	1.403
$x = 0.5$	XRD	3.561	3.067	2.167	1.847	1.529	1.401
	TEM	3.536	3.141	2.163	1.843	-	1.401
$x = 0.6$	XRD	3.536	3.062	2.160	1.847	1.536	1.401
	TEM	3.535	3.165	2.161	1.841	1.524	1.400
$x = 0.7$	XRD	3.535	3.165	2.161	1.841	1.524	1.400
	TEM	3.561	3.136	2.157	1.845	-	1.408
$x = 0.8$	XRD	3.567	3.067	2.169	1.850	-	-
	JCPDS	3.540	3.080	2.169	1.850	-	-

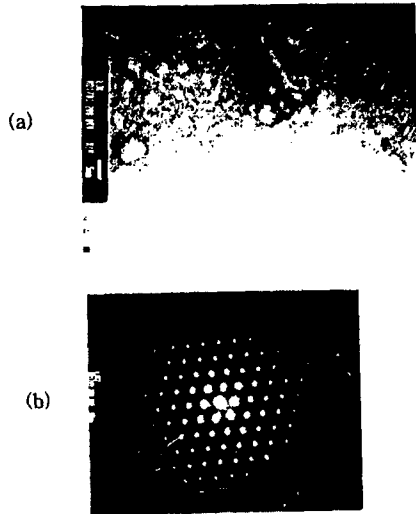


사진. 1 TEM으로 관찰한 $Al_xGa_{1-x}Sb$ 결정
(a) 이미지 (b) 회절도

Photo.1 $Al_xGa_{1-x}Sb$ crystals observed by TEM
(a) image (b) diffraction pattern