

Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Sb 결정 성장과 전기적 특성  
(The Crystal Growth and Electrical Characteristics of Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Sb)

이 세균, 정 성훈, 송 복식, 문 동진, 김 선배\*  
광운대학교 전자재료공학과  
\*대전산업대학교 재료공학과

J. G. Lee, 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

Te doped n-type Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Sb crystals were grown by the vertical Bridgman method at composition ratio x=0, x=0.1, x=0.2 respectively. The lattice constants of the Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Sb crystals were 6.096Å, 6.097Å, 6.106Å at composition ratio respectively. The carrier concentration, the resistivity, and the carrier mobility measured by the Van der Pauw method at x=0 were  $n \cong 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $\rho \cong 0.15 \Omega\text{-cm}$ ,  $\mu_n \cong 500 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{sec}^{-1}$  at 300K. The carrier concentration, the resistivity, and the carrier mobility measured by the Van der Pauw method at x=0.1 were  $n \cong 2.96 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ,  $\rho \cong 11.2 \Omega\text{-cm}$ ,  $\mu_n \cong 103 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{sec}^{-1}$  at 300K.

1. 서론

Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Sb는 0.8-1.7 μm의 파장 범위에서 광통신에 유용한 소자로서 최근에 각광을 받고 있다.<sup>1), 2)</sup> 이러한 경우 기판재료로 GaSb의 표면 특성이 적외선 검출기의 효율에 많은 영향을 준다는 것이 밝혀졌으며, 이러한 이유로 소자 제작시 표면 특성을 개선하

고자 금속 이온(Ru<sup>3+</sup>, Pt<sup>4+</sup>)등을 통한 화학적인 처리가 시도되고 있다고 최근에 보고 되고 있다.<sup>3)</sup> 본 실험에서는 GaSb을 토대로 수직 브리지만 방법을 통하여 Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Sb 성장의 최적조건을 찾고자 하였다.

GaSb은 직접 천이형 밴드 갭(E<sub>g</sub>=0.7 eV, 300K)을 가지는 III-V족 화합물 반도체로서 n형의 불순물 첨가가 용이하고, 낮은 용융점(712℃)과 낮은 증기압(10<sup>-6</sup> torr) 등의 유리한 성장조건을 갖추었으며, 또한 GaSb로 제작된 Schottky barrier photodiode는 1.6 μm보다 짧은 적외선의 영역에서 35%의 양자효율을 나타내므로 적외선 검출기 등 응용가능성도 타진되고 있다.<sup>1)</sup> AlSb는 간접 천이형 밴드갭(E<sub>g</sub>=1.6 eV, 300K)을 가진 III-V 화합물 반도체로서 GaSb보다 상당히 높은 용융점(1080℃)을 가지고 있다.<sup>4)</sup> GaSb과 AlSb은 Zinc blende의 결정 구조를 가지고 있고, GaSb는 Ga과 Sb의 몰 비를 1:1로 결정 성장을 하였을 경우, Ga과 Sb의 증기압의 차이로 인하여 p-형의 GaSb가 생성이 된다.<sup>5)</sup> p형의 결정의 경우 전자의 수가 intrinsic material에서의 전자의 수 보다 적기 때문에 전기전도도는 온도에 의존하게 된다.<sup>6)</sup> 결정 성장 과정에서 GaSb는 많은 결함이 발생되어서 이로 인하여 높은 전위밀도(10<sup>5</sup>-10<sup>6</sup> cm<sup>-2</sup>)를 가진다. 그러나 금속이온의 표면처리를 통한 dangling bonds의

passivation으로 산란을 감소시킴으로서 표면 이동도를 증가시키고 이로 인해 전체 이동도를 증가시킬 수 있다. 그러나 GaSb의 낮은 기계적 강도로 인한 lapping과 polishing의 어려움, 많은 vacancy의 발생, 그리고 twin으로 인해 대구경 단결정을 성장시키는데 많은 어려움이 있다. AlSb는 Al이 boat나 crucible 등과의 반응이 크므로 성장하는데 어려움이 있으며, 정공 이동도가 전자 이동도 보다 약간 큰 특징을 가지고 있다.<sup>7)</sup>

본 논문에서는 이러한 GaSb과 AlSb의 특징을 토대로 성장률이 빠른 수직 브리지만 방법을 통하여,  $Al_xGa_{1-x}Sb$  벌크 결정을 성장시켰으며, XRD를 이용하여 결정학적인 특성을 조사하였다. 또한 Van der Pauw법을 이용하여 온도에 따른 전기적인 특성을 조사하였으며, 차후에 조성 변화에 따른 전이 변화<sup>8)</sup> 관찰을 위한 토대를 마련하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

고순도의 Ga과 Sb 그리고 Al과 Sb를 각각 750℃와 1150℃에서 합금(alloy)을 만든 후 각각의 합금을 혼합하여, 지름이 30 mm인 알루미늄관의 3단 수직 전기로를 사용하여  $Al_xGa_{1-x}Sb$  결정을 성장하였다. 결정성장시에 고온부는  $Al_xGa_{1-x}Sb$  결정의 녹는점보다 약 70℃ 높은 1150℃를 유지하였고, 저온부는 400℃를 유지하였다. 온도구배는 Pt-13%RhPt의 열전대로 실험 전에 보정하였으며 전기로내의 온도구배는 3℃/cm였다.

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 삼염화에 탈렌, 아세톤, 메탄올, 증류수의 4단계의 세척을 행하였다. 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 1150℃의 위치에서 48시간 동안 용융을 시킨 뒤, 5mm/h의 속도로 하강시켰다.

이와 같은  $Al_xGa_{1-x}Sb$  결정의 처리과정을 그림 1에 도시하였다.

성장된 결정을 다이아몬드 커터로 0.7mm두께로 절

단하였으며, #2400의 사포로 최종 두께가 0.5 mm 되도록 연마 하였고, 0.05μm  $Al_2O_3$  분말을 사용하여 거울면 처리를 한 후  $Br_2-CH_3OH$  용액 속에서 5초동안 에칭을 하였다. 음성접촉을 위하여 In(5N)을  $10^{-5}$  torr에서 진공증착을 한 뒤, 150℃ Ar 분위기에서 2분 동안 열처리를 하였다. 시편들의 농도와 이동도, 비저항을 구하기 위해, 저온장치에 의해 100-300K로 온도를 변화시키면서 Van der Pauw 방법에 의해 Hall effect를 측정하였고, XRD 자료에 의해 최소자승법과 오차보정법으로 격자상수를 결정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

사진 1에 수직 브리지만법을 이용하여 성장된  $Al_xGa_{1-x}Sb$  결정을 나타내었다. 성장된 앞 부분은 양호하나 결정의 끝부분에서는 냉각 과정에서 발생한 열팽창률의 차이에 의해서 표면이 불량하게 나타났다.

결정 성장 동안의 고상과 액상의 계면은 성장이 시작되는 잉곳의 텃 부근(first-to-freeze)에서 열손실에 의해서 다소 불룩하게 된다. 그 후 고상-액상 계면은 열전도율 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.

성장된  $Al_xGa_{1-x}Sb$  결정의 X선 회절선의 강도 및 면간 거리값을 AlSb과 GaSb의 JCPDS(Joint Committee on Powder Diffraction Standard)카드와 기존의 데이터<sup>7)</sup>와 비교한 결과 성장된 결정의 회절선이  $Al_xGa_{1-x}Sb$  결정의 회절선과 일치하므로,  $Al_xGa_{1-x}Sb$  결정의 성장을 유추할 수 있었다. 또한 성장한 결과,  $Al_xGa_{1-x}Sb$  결정의 격자상수  $a_0$ 는 조성비에 따라 각각 6.096 Å ( $x=0$ ), 6.097 Å ( $x=0.1$ ), 6.106 Å ( $x=0.2$ ) 이었다.

$Al_xGa_{1-x}Sb$ 의 조성에 따른 X선 회절도를 그림 2에 나타내었다.

그림 3에 n형  $Al_xGa_{1-x}Sb$  결정의 온도 변화에 따른 홀효과 측정결과를 나타내었다. 그림 3. (a)의 온도에 따른 비저항의 변화는 온도가 상승함에 따라 표면에 성장과정에서 존재하는 dangling bond의 영향으로 인한 것으로 기인되며<sup>9)</sup>, 또한 이동도는 온도

가 증가함에 따라 격자 산란이 주를 이루어 온도에 대해  $T^{-3/2}$ 에 비례하여 감소하게 되며, 캐리어 농도는 최초에는 외인성 효과(extrinsic effect)에 의해 증가되며 온도가 지속적으로 증가함으로 어느정도 진성 효과(intrinsic effect)가 영향<sup>9)</sup>을 미치는 것으로 사료된다.

그림. 4는 n형  $Al_xGa_{1-x}Sb$  결정의 전자농도 변화에 따른 이동도 변화를 나타낸 것이다.

#### 4. 결 론

수직 브리지만 법으로 n형  $Al_xGa_{1-x}Sb$  결정을 성장시켜 결정 구조 및 전기적 특성을 조사하였다. XRD를 통해 결정 구조를 조사해 본 결과, 전형적인  $Al_xGa_{1-x}Sb$  결정의 회절선을 나타내었으며, 격자 상수는 6.096Å, 6.097Å, 6.106Å 이었다. Van der Pauw법을 이용한 홀 효과 측정 결과는 Al의 조성을 증가함에 따라 전기적 특성이 불량한 것을 알 수 있었다. n형  $Al_xGa_{1-x}Sb$ 에 있어서는 조성비가  $x=0$ 인 경우 100K~300K범위에서 비저항, 캐리어 이동도, 캐리어 농도는 각각 0.06~0.15  $\Omega$ -cm, 2000~500  $cm^2/V$ -sec,  $2 \times 10^{16}$ ~ $1 \times 10^{17} cm^{-3}$ 이었고, 조성비가  $x=0.1$ 인 경우에는 100K~300K범위에서 비저항, 캐리어 이동도, 캐리어 농도는 각각 3.78~11.2  $\Omega$ -cm, 561~103  $cm^2/V$ -sec,  $2.9 \times 10^{15}$ ~ $5.4 \times 10^{15} cm^{-3}$ 이었다.

#### 참고 문헌

1. Y. Nagao, T. Hariu, and Y. Shibata, IEEE Trans. Electron.Devices. ED-28, 407 (1981)
2. M.Ichimura, K.Higuchi, Y. Hattori, and T. Wada, J. Appl. Phys 68, 6153 (1990)
3. S. Basu and P. Barman, J. Vac. Sci.Technol. B 10, 107 (1991)
4. Jacques I. Pankove, "Optical Processes in Semiconductor", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, pp.412-415, (1971)
5. F. J. Reid, R. D. Baxter, and S. E. Miller, J. Electrochem. Soc. 113, 713 (1966)
6. H. N. Leifer and W. C. Dunlap, Jr., Physical Review. 95, 51 (1954)
7. Robert K. Willardson, Harvey L. Goering,

"Compound Semiconductors", Chapman & Hall, Ltd., Reinhold Publishing Corporation, Vol 1., pp.10-11, 187-193 (1962)

8. David Wood, "Optoelectronic Semiconductor Devices", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, pp.152-157, pp. 293-294, (1994)
9. Rolf E. Hummel, "Electronic Properties of Materials", Springer-Verlag, Springer International Student Edition 2nd., pp.104-109, (1994)

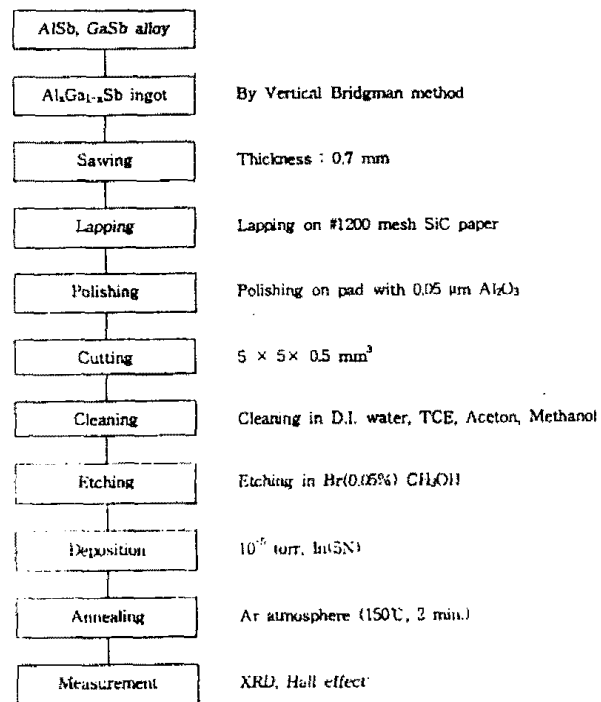
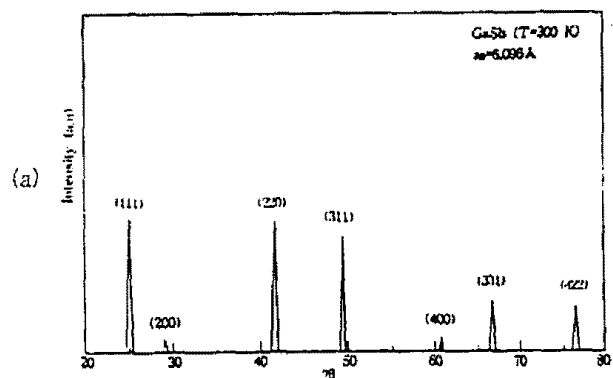


Fig.1 Flowchart for the sample preparation of the n- $Al_xGa_{1-x}Sb$  crystal



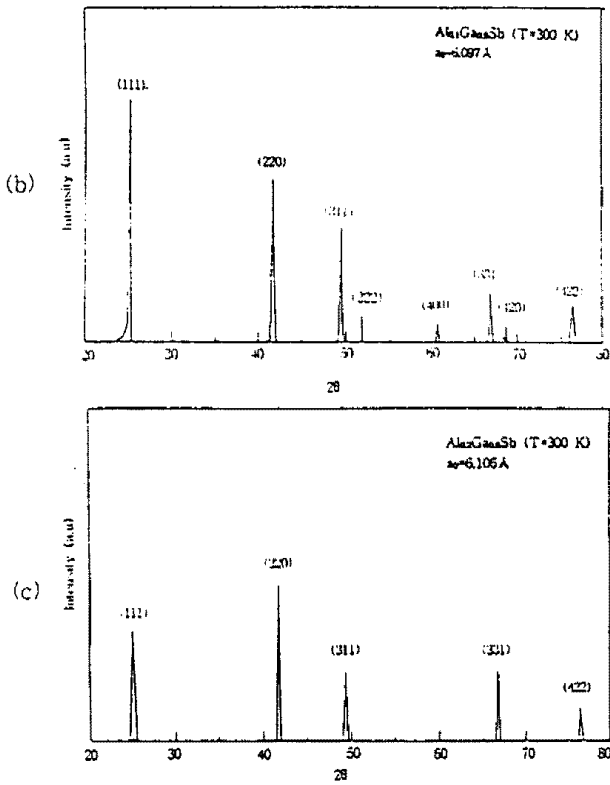


Fig.2 X-ray diffraction pattern of the  $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$   
 (a)  $x=0$  (b)  $x=0.1$  (c)  $x=0.2$

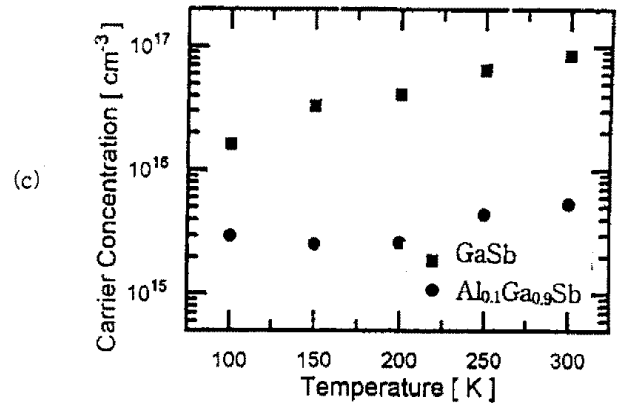
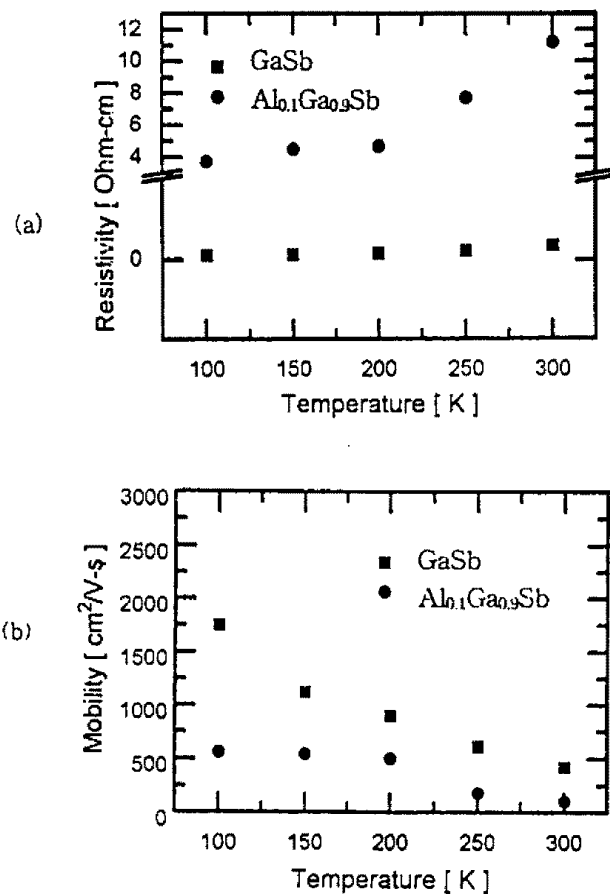


Fig.3 (a) Resistivity of  $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  with temperature  
 (b) Mobility of  $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  with temperature  
 (c) Concentration of  $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  with temperature

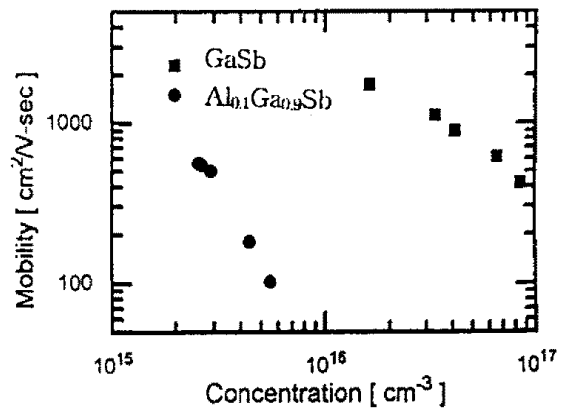


Fig.4 Electron mobility of  $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  with concentration

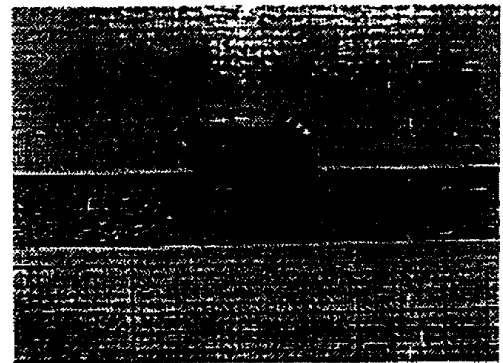


Photo.1  $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  crystal grown by vertical Bridgman method