



기울어진 GaAs(100) 기판 위에 성장된 InAs 박막 특성에 대한 As BEP 효과

김민수, 임재영*

인제대학교 나노시스템공학과

As BEP Effects on the Properties of InAs Thin Films Grown on Tilted GaAs(100) Substrate

Min Su Kim, Jae-Young Leem*

Department of Nano Systems Engineering, Inje University, Obang-dong, Gimhae 621-749, Korea

(Received July 31, 2010 ; revised August 27, 2010 ; accepted August 30, 2010)

Abstract

The InAs thin films were grown on GaAs(100) substrate with 2° tilted toward $[0\bar{1}\bar{1}]$ with different As beam equivalent pressure (BEP) by using molecular beam epitaxy. Growth temperature and thickness of the InAs thin films were 480°C and 0.5 μm , respectively. We studied the relation between the As BEP and the properties of InAs thin films. The properties of InAs thin films were observed by reflection high-energy electron diffraction (RHEED), optical microscope, and Hall effect. The growth, monitored by RHEED, was produced through an initial 2D (2-dimensional) nucleation mode which was followed by a period of 3D (3-dimensional) island growth mode. Then, the 2D growth recovered after a few minutes and the streak RHEED pattern remained clear till the end of growth. The crystal quality of InAs thin films is dependent strongly on the As BEP. When the As BEP is 3.6×10^{-6} Torr, the InAs thin film has a high electron mobility of $10,952 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ at room temperature.

Keywords: GaAs, InAs, Beam equivalent pressure, Hall effect, Molecular beam epitaxy

1. 서 론

Hall 소자는 자기신호를 유용한 전기신호로 변환시켜 주거나, 비자기적 신호를 전기적신호로 변환시키기 위한 중간 매개체의 변환기 역할을 하는 자기센서이다. 반도체 Hall 효과를 이용하여 자계를 검출하여 이를 전압신호로 출력하는 자기센서로는 주로 GaAs, InSb, InAs, AlGaSb 등의 박막이 사용되고 있다^{1,2)}. Hall의 큰 특징은 비접촉 또는 무접촉 측정이다. 따라서 기계적 접촉으로부터 야기되는 접촉부위의 마모와 같은 결함을 완전히 배제하여 기계적 수명을 반영구적으로 지속시킬 수 있다.

따라서 자동차 바퀴의 회전수 측정, 엔진 부위의 회전수 측정, 직류전류의 무접촉 검출, 산업용 기계의 제어용 무접촉 위치검출 분야로 확대되고 있어 그 수요가 급증하고 있다. 이중 Hall 소자의 응용분야 중에서 많은 활용이 기대되고 있는 자동차용 무접촉 센서는 $-40^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ 의 온도범위에서 안정하게 작동하여야 하므로 온도 안정성이 매우 중요하다. 그러나 Hall 소자 시장의 80%를 점유하고 있는 InSb Hall 소자는 온도가 올라감에 따라 저항이 급격히 낮아지는 성질을 가지고 있으므로 100°C 이상의 온도에서 사용하는 것이 불가능하다³⁾.

한편 InAs(에너지갭 $\sim 0.18 \text{ eV}$)는 InSb 보다 에너지 갭이 크므로 고온에서도 작동이 가능하고 자계 변화에 따른 출력의 직진성이 매우 좋다는 장점을

*Corresponding author. E-mail : jyleem@inje.ac.kr

가지고 있다. InAs를 이용한 Hall 소자는 InAs 박막의 높은 이동도 특성을 이용하고 있다⁴⁾. 이러한 이동도는 성장한 InAs 박막의 결정성과 매우 밀접한 관련을 가지고 있으므로 InAs의 결정성이 Hall 소자의 성능을 결정하게 된다. 따라서 InAs Hall 소자를 실현하기 위해서 가장 중요한 것은 고품위의 InAs 박막 성장기술이다. InAs 박막을 성장하기 위해서 사용되고 있는 기판은 GaAs이다. 그러나 GaAs 기판과 InAs 박막 사이에는 약 7%의 격자 부정합이 존재하기 때문에 InAs과 GaAs 기판 사이에서 많은 결함이 발생하고 있다. 따라서 결정성 좋은 박막을 성장시키기가 매우 어렵다^{5,6)}. 이러한 결함은 박막의 이동도에 커다란 영향을 미친다. 격자부정합에 의한 결함을 줄이기 위해 기울어진 기판을 사용하고 있다. 기울어진 기판을 사용하면 기울어진 방향으로 step이 형성되므로 격자부정합에 의한 결함 발생을 줄일 수 있다⁷⁾. 그리고 박막의 이동도는 결함 뿐 만 아니라 박막성장 조건에도 크게 영향을 받는다.

이에 본 연구에서는 분자선에피택시(molecular beam epitaxy) 방법을 이용하여 기울어진 GaAs(100) 기판 위에 As BEP(Beam equivalent pressure)를 달리하여 InAs 박막을 성장하고, 성장된 박막의 표면 특성을 RHEED(Reflection high-energy electron diffraction)와 광학현미경으로, 그리고 전기특성을 Hall effect로 조사하였다.

2. 실험방법

본 실험에서 InAs 박막 성장을 위해 사용한 분자선에피택시 장치는 RHEED가 부착되어 있어 박막 성장시 성장층의 결정성 및 성장층 두께, 조성비를 *in-situ*로 관찰할 수 있다. InAs 박막 성장시 사용한 기판은 AXT Co.의 $[0\bar{1}\bar{1}]$ 방향으로 2° 기울어진 반절연성 GaAs(100)으로 표면은 기계적, 화학적 연마 및 세척이 이미 끝난 epi-ready 웨이퍼이다. GaAs 기판을 폴리블럭 위에 In으로 접착한 후 loading 챔버에 장착하였다. Loading 챔버에서 250°C로 10분간 탈가스 한 후 성장 챔버로 이송하였다. 성장챔버에서 As빔을 조사시켜 주면서 기판온도를 올려서 540°C에서 10분 동안 기판 표면의 산소를 제거한 후 기판온도를 580°C로 올려 GaAs 완충층(buffer layer)을 0.25 μm 성장하였다. GaAs 완충층을 성장한 후 기판온도를 480°C로 내려 InAs 박막을 성장하였다. 박막 성장은 As BEP를 변화시키면서 성장하였다. 이때 시료의 종류에 관계없이 InAs 박막의 두께는 5000 Å으로 고정시켰다. Hall 효과 측정은

van der Pauw (vdP) 방법으로 하였다. vdP 방법에서는 원리적으로는 임의 모양의 시료도 측정이 가능하지만 Hall parameter들에 대한 해는 해석적이지 못하여 실험적으로 결정하는 기하학적인 보정함수를 도입하여야 한다. 이때 전기적 특성이 대칭인 시료의 보정함수 값이 1이 되기 때문에 시료를 5×5 mm² 크기의 정사각형으로 만들었다. 시료의 네 모퉁이에 직경 1 mm의 In 전극을 붙인 후 시료를 RTA(rapid thermal annealing) 장비 속에 넣고 질소 분위기에서 450°C로 3분간 열처리하여 Ohmic contact 특성을 좋게 하였다.

3. 실험결과 및 논의

그림 1은 $[0\bar{1}\bar{1}]$ 방향으로 2° 기울어진 반절연성 GaAs(100) 기판의 열처리 전과 후의 RHEED pattern이다. (a)는 열처리를 하기 전에 분자선에피택시 성장 챔버에서 측정한 사진으로 halo 패턴을 나타내고 있다. 이러한 패턴은 비정질 반도체에서 관측되는 패턴이다. GaAs 기판은 단결정이지만 표면에는 산소가 흡착되어 있기 때문에 halo 패턴이 나타나고 있다. (b)는 As 빔 분위기에서 540°C로 열처리한 후의 패턴으로 streak 패턴이 나타나고 있다. 이러한 streak 패턴은 결정이 주기적으로 배열될 때 나타나는 것으로, 열처리에 의해 비정질로 존재하던 산화층이 증발하여 깨끗한 표면을 가지는 GaAs 표면층이 얻어졌기 때문이다. Streak 패턴이 두개가 겹치는 형태로 나타나는 것은 기판의 기울어진 효

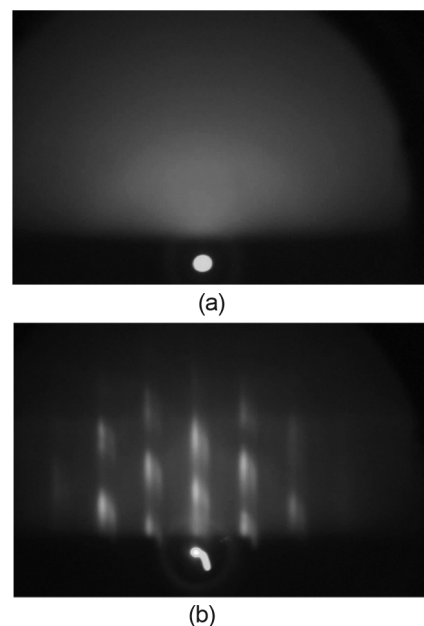


Fig. 1. RHEED patterns of GaAs(100) substrate with 2° tilted toward before and after thermal treatment.

과로 인하여 나타나는 것이다. 기울어지지 않은 기판은 하나의 streak 패턴이 선명히 나타나고 있었다.

그림 2는 기판온도 480°C에서 InAs 박막을 성장하면서 측정한 RHEED 패턴이다. 이때 As BEP는 3.6×10^{-6} Torr이었다. InAs 성장직 후 약 15 Å 두께까지는 streak한 패턴이 나타났으나 20 Å 정도 성장한 후에는 streak한 패턴이 사라지고 희미한 spotty 패턴이 나타나고 있었다. 이는 격자부정합에 의한 전위를 줄이기 위해 2° 기울어진 GaAs 기판을 사용하였으나 두 물질 사이의 격자부정합이 매우 크기 때문에 초기에는 InAs가 단층성장을 하지 못하고 있음을 나타내는 것이다(그림 2(a)). 3000 Å의 InAs 박막을 성장한 후에는 spotty 패턴은 사라지고 streak 패턴이 나타나고 있다⁶⁾. 이는 InAs 박막이 좋은 결정성을 가지고 단층성장을 하고 있음을 나타내는 것이다. 5000 Å의 InAs 박막을 성장하고 난 후(그림 2(c))에는 streak 패턴 이외에 초격자에 의한 패턴도 나타나고 있다. 따라서 결정성이 매우 좋은 InAs 박막이 성장되었음을 알 수 있다. 한편 InAs 박막성장이 종료된 후 cap층으로 GaAs 박막을 20 Å 성장한 후의 사진이 (d)이다. arrow-head 패턴이 나타나고 있다. 앞서 언급하였듯이 GaAs 기판과 InAs 박막 사이에는 약 7%의 격자부정합이 존재하기 때문에 InAs 박막위에 GaAs는 초기에 Stranski-Krastanov 모드로 성장하게 된다. 따라서 3차원적인 성장을 하게 된다. 일반적으로 이러한 3차원적인 성장에 의해 형성된 박막은 양자점이라고 불리워지고 있다.

InAs 박막 성장시 As BEP를 달리하여 성장한 시료에 대한 광학 현미경 사진이 그림 3이다. As BEP는 1.3×10^{-5} , 5.7×10^{-6} , 3.6×10^{-6} , 1.7×10^{-6} Torr

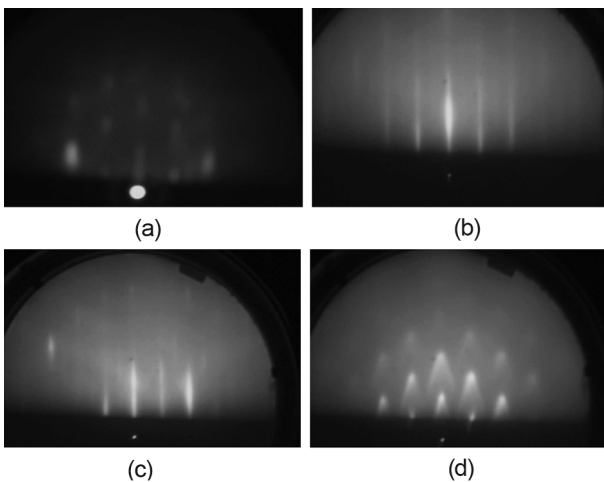


Fig. 2. RHEED patterns during InAs growth, (a) 20 Å - InAs, (b) 3000 Å - InAs, (c) 5000 Å - InAs, (d) 20 Å - GaAs cap.

로 변화시키면서 성장하였다. As BEP가 1.3×10^{-5} Torr인 경우 결정들이 서로 엉겨 있는 형상을 하고 있다. 이는 As이 과다함으로 인하여 표면에 도달한 In 분자들의 migration length가 짧아지기 때문이다. 한편 As이 부족한 (d)의 경우 In이 과다하게 되어 많은 결함을 가지게 된다. 광학 현미경 사진 결과 As BEP가 3.6×10^{-6} Torr일 때 가장 결함이 적은 결정이 성장되었다.

그림 4는 As의 BEP를 변화시키면서 성장한 InAs 박막의 상온 Hall effect 결과이다. InAs 박막 성장시 n형 불순물로 Si를 첨가하였다($N_D = 2.21 \times 10^{17}$

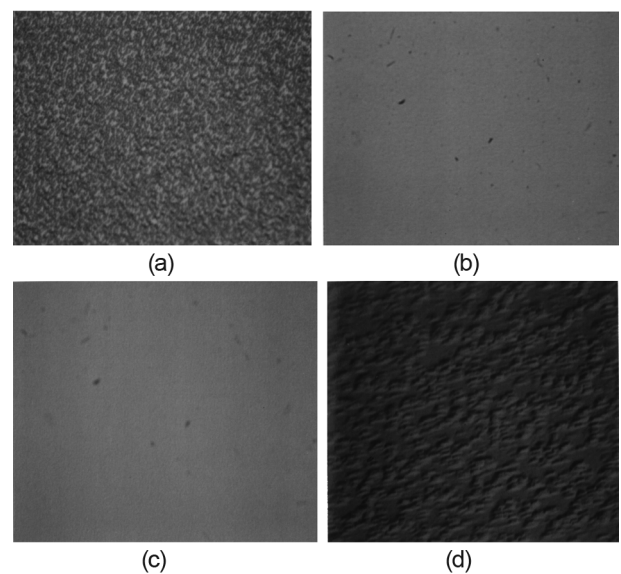


Fig. 3. Surface morphology of InAs grown on 2° tilted GaAs with different As BEP. (a) As BEP~ 1.3×10^{-5} Torr, (b) As BEP~ 5.7×10^{-6} Torr, (c) As BEP~ 3.6×10^{-6} Torr, (d) As BEP~ 1.7×10^{-6} Torr.

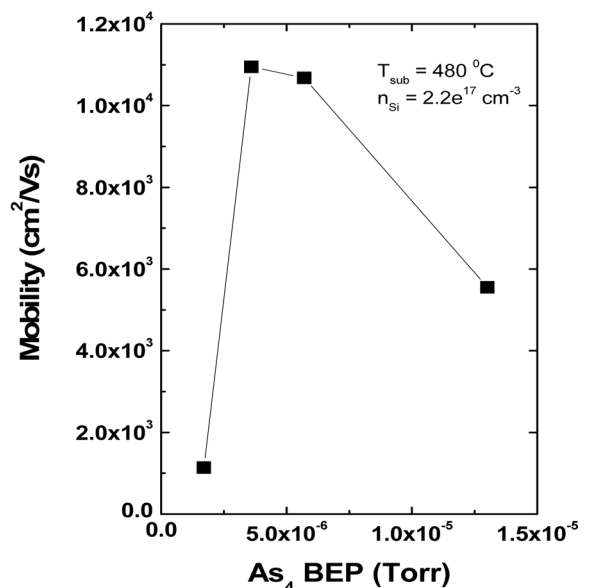


Fig. 4. Hall mobility as a function of As BEP.

cm^{-3}). As의 BEP가 증가함에 따라 이동도는 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보이고 있다. As의 BEP가 낮은 영역에서 이동도가 감소하는 이유는 As의 부족으로 결정성 좋은 InAs층이 성장되지 못하기 때문이다. InAs의 성장은 성장표면에 충분한 As이 존재할 경우 표면에 입사된 In이 As과 결합하여 박막을 형성하게 된다. 한편 과도한 As BEP의 경우에는 성장표면에 도달한 In이 표면에 존재하고 있는 As에 의한 영향으로 충분한 migration을 하지 못하기 때문에 오히려 결정성이 더 나빠지게 된다. 이들 결과는 광학현미경 사진 결과와도 잘 일치하고 있다. 본 연구에서는 As의 BEP가 3.6×10^{-6} Torr일 때 이동도가 $10,952 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 로 매우 높은 값을 얻었다^{8,9)}.

4. 결 론

분자선에피택시 방법을 이용하여 $[0\bar{1}\bar{1}]$ 방향으로 2° 기울어진 GaAs 기판 위에 InAs 박막을 성장하고 그 특성을 평가하였다. InAs 박막은 초기에는 island 성장을 하고 있었으나 3000 \AA 의 InAs 박막을 성장하고 난 후에는 단층성장을 하고 있었다. As BEP를 달리하여 성장한 시료에 대한 광학 현미경 사진 결과, 박막 표면이 As BEP에 따라 커다란 영향을 받고 있었다. As BEP가 3.6×10^{-6} Torr일 때 가장 결함이 적은 결정이 성장되었다. Si 불순물 농도를 $N_D = 2.21 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 로 일정하게 유지

하고 As BEP를 달리하여 성장한 InAs 박막의 이동도는 As BEP에 크게 의존하고 있었다. As의 BEP가 3.6×10^{-6} Torr일 때 이동도가 $10,952 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 로 매우 높은 값을 얻었다. 이 정도의 높은 이동도는 고감도의 Hall 소자를 실현할 수 있다.

참고문헌

1. O. Yilmazoglu, M. Brandt, J. Sigmund, E. Genc, H. L. Hartnagel, *Sens. Actuators*, A94, (2010) 59.
2. M. Behet, J. Bekaert, J. De Boeck, G. Borghs, *Sens. Actuators*, 81, (2000) 13.
3. R. S. Popovic, J. A. Flanagan, P. A. Besse, *Sensor and Actuator*, A56 (1996) 39.
4. R. S. Popovic, *Hall Effect Devices*, Hilger, Bristol, 1991.
5. I. Shibusaki, Y. Kanayama, K. Nagase, T. Ito, F. Ichimori, T. Yoshida, K. Harada, *The 10th Sensor Symp. C2-2*, Tech. Dig. (IEE, Tokyo, 1991) p.113.
6. H. M. Wang, Y. P. Zeng, T. W. Fan, H. W. Zhou, D. Pan, J. R. Dong, M. Y. Kong, *J. Cryst. Growth*, 179 (1997) 658.
7. M. Yamamoto, T. Iwabuchi, T. Ito, T. Yoshida, T. Isoya, I. Shibusaki, *J. Cryst. Growth*, 175/176 (1997) 191.
8. E. S. Tok, J. H. Neave, F. E. Allegretti, J. Zhang, T. S. Jones, B. A. Joyce, *Surf. Sci.*, 371 (1997) 277.
9. E. S. Tok, J. H. Neave, J. Zhang, B. A. Joyce, T. S. Jones, *Surf. Sci.*, 371 (1997) 397.