

The measurement of In composition in InGaAs/InAlAs/InP P-HEMT structure grown by MBE

이해권, 홍상기, 이재진, 김상기, 남기수, 박형무.

한국전자통신연구소 반도체연구단 재료기술연구실

1. 서론

InP-based HEMT 구조는 GaAs-based HEMT 에 비하여 약 3배 이상의 높은 이동도를 나타 내고 있어 이에 관한 연구가 활발히 진행 되고 있다.^{1), 2) 3) 4)} 더욱이 구조의 전도층인 InGaAs 층의 In 조성을 변화 시켜 격자 부정합에 의한 strain 효과를 이용한 pseudomorphic HEMT에 관한 연구가 활발히 진행 되고 있다.

그러나 InGaAs/InP 계 구조는 기판인 InP 물질과 성장되는 InGaAs 계 물질의 격자 정합을 이루기 위해서는 일정한 In 조성을 유지 해야한다. 또한 이원소 물질위에 3원소 물질의 성장으로 조성 변화에 의한 격자 불일치에서 형성되는 strain에 의한 결함 발생으로 성장에 어려움이 많다.

본 연구에서는 MBE 방법에 의하여 InP 기판위에 격자상수 일치 및 불일치의 InGaAs와 InAlAs 성장시 선속비에 따른 In의 조성 변화는 DXRD 분석을 통하여 관찰 하였다. In 조성 52 %를 기준으로 68 %, 77 %, 86 %, 90 % 까지 5 단계로 분자 선속비를 변화 시켜 한 기판위에 성장 하여 SIMS 깊이 분석을 통하여 In 조성을 비교 측정 하였다. 조절된 In 조성으로 InGaAs/InAlAs/InP P-HEMT 구조를 성장 하여 특성을 조사 하였다.

2. 실험

InP 기판위에 약 5000 Å 두께의 다양한 In 조성 InAlAs를 MBE 방법으로 성장 하였다. 성장 온도는 pyrometer 측정에 의하여는 약 520 °C였다. 성장중 성장실의 배경압력은 As 분위기로 약 2.5×10^{-7} Torr로 유지 하였으며 성장물질을 이루는 3족인 As과 5족인 In 및 Al의 비는 증발 도가니에서 분출되는 분자선의 압력으로 측정하여 분자 선속비가 약 10에서 15 사이가 되도록 유지 하였다. InAlAs 물질의 In 조성 변화를 위한 실험으로 In과 Al 물질 함의 flux에 대한 In flux의 비(F_{In}/F_{In+Al})가 0.633, 0.641, 0.654, 0.741, 0.810.이 되도록 각 도가니를 가열 하여 flux를 제어 하였다. InGaAs물질의 조성변화를 위한 실험에서도 In flux에 대한 In과 Ga물질함에 대한 In물질의 flux비(F_{In}/F_{In+Ga})가 0.636, 0.649, 0.683, 0.683, 0.700, 0.865이 되도록 각 도가니를 가열 하여 조절 하였다. 계산된 flux비와 실험에 의한 In조성 비교를 위한 실험으로 한 기판위에 In의 조성을 변화시켜 성장 하였다. 성장된 시료들의 조성 확인은 DXRD(Double-crystal X-ray)와 SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry) 분석을 통하여 확인 하였다.

3. 결과 및 논의

DXRD 분석에 의해 측정된 InP 기판과 격자 정합을 이루는 InGaAs 성장시 각 물질의 flux는 In 3.26×10^{-7} Torr, Ga 1.86×10^{-7} Torr로 약 0.637의 flux비를 보였으며 InAlAs의 경우 Al의 flux 1.8×10^{-7} Torr로 약 0.644의 분자 선속비를 보였다. 선속비 변화에 의한 In 조성 변화에서 InAlAs, InGaAs 모두 선속비가 약 0.8 이하에서는 선속비 증가에 따라 조성이 일정하게 증가 하고 있어 계산에 의하여 얻어진 값과 일치하고 있다. 그러나 선속비가 약 0.8이상 에서는 선속비가 계속 증가해도 InAlAs물질의 In조성은 약 0.62에 접근하고 있으며

InGaAs물결에서는 약 0.68에 접근하고 있다. 이러한 원인은 InP기판위에 기판과 격자 상수차가 심한 In 조성의 물결을 성장 했기 때문에 결함이 발생하여 DXRD 분석곡선이 매우 둔하고 따라서 정확한 격자 배열이 이루어 지지 않았기 때문으로 보여 진다. 이러한 결과로 미루어 In조성이 기판과 심한 격자상수 불일치를 이루는 조성을 가지는 시료의 In 조성은 DXRD 분석에 의하여 측정될 수 없는 것으로 보여진다. 계산에 의한 InAlAs 물결의 In 조성 확인시 선속비와 조성의 비교를 위한 실험에서 약 0.52, 0.68, 0.77, 0.86 그리고 0.90의 조성을 기대하였다. 이 시료의 조성 분석은 SIMS 분석을 통하여 조사 하였으며 측정된 값은 기대치와 근접한 결과를 보였다. 이때 얻어진 52 %는 DXRD 측정에서 얻어 졌으며 나머지는 mass counts 비에 의하여 측정 되었다. 이 값들을 계산치와 일치하며 선속비의 증가에 따라 증가하고 있다.

이러한 결과들을 기준하여 성장된 InGaAs/ InAlAs /InP P-HEMT 구조의 전기적 특성인 Hall effect측정에서 전자의 농도 약 $3.1 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ 와 약 $9930 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ 의 높은 이동도를 얻었으며 이중 접합 계면에서의 이차원 전자층의 양자 우물에 의한 PL peak을 얻었다. 이러한 우수한 구조의 특성을 얻을 수 있었던 것은 구조 성장시 정확한 In 조성과 두께 조절이 이루어졌기 때문이다.

4. 결론

DXRD 분석에 의한 In 조성 측정시 InGaAs 계 물결의 경우 약 68 % 이상에서는 조성의 큰 차로 인한 결함발생으로 조성 분석의 어려움이 있으며 그 이하에서는 가능 한 것으로 여겨 졌다. InAlAs 물결인 경우 약 62 % 이하에서만 가능한 것으로 나타났으며 그 이상에서는 SIMS 분석에 의하여 측정된 값이 계산값과 잘 일치 하였다. 따라서 높은 In 조성의 측정은 DXRD 분석 보다는 SIMS 분석이 더 용이함을 알 수 있었다.

Reference

1. Y. J. Chan, D. Pavlidis, G. I. Ng, M. Jaffe, J. Singh and M. Quillec, IEEE., 1987,IEDM 87-427.
2. A. S. Brown, U. K. Mishra, J. A. Henige, and M. J. Delaney, J. Vac. Sci. Technol. B6(2), MAR/Apr 1988, 678.
3. A. S. Brown, U. K. Mishra, J. A. Henige, and M. J. Delaney, J. Appl. Phys., vol. 64, no. 7, pp.3476-3480, (1988).
4. J. C. Harmand, T. Matsuno, and K. Inoue, J. Appl. Phys. 66(6), 15 September 1989, 2633.