

Dependences of mobility on In composition and δ -doping concentration in InP based P-HEMT channel layer.

이혜권, 홍상기, 이재진, 김상기, 편광의, 박형무.
한국전자통신연구소 반도체연구단 화합물회로연구실

1. 서론

고전자 이동도 트랜지스터의 개발은 1970년대 분자선 에피택시 기술이 개발된 후 고주파 통신 수요가 증대되면서 대단히 많은 연구가 이루어지고 있다. 또한 이종 접합 계면에서 격자에 의한 strain 효과를 이용한 이동도 향상에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 이러한 HEMT 소자 제작시 고전자 이동도 특성을 얻기 위하여 planar 도핑과 같은 도핑 방법개선과 불순물 산란 영향을 제거하기 위한 구조 개선등이 시도 되어 소자 특성에 기여 하여 왔다.

본 논문에서는 InP based HEMT 소자 구조에서 채널층의 In 조성을 격자 상수가 일치하는 조성 53 %와 57 %, 58 %, 60 % 그리고 63 %로 변화 시켜 조성에 따른 이동도의 특성을 조사 하고 Si을 δ 도핑 하였을 때 도핑 농도에 따른 이동도 특성을 조사 하였다.

2. 실험

실험에 사용된 기판은 반절연 InP(100)이며 5족인 As과 3족인 Al, Ga 및 In의 선속비는 약 13 이었고 성장온도는 pyro-meter로 측정하여 약 520 °C 로 하였다.

HEMT 구조의 InGaAs인 전도층의 In 조성은 57 %, 58 %, 60 % 및 63 %등으로 변화시켜 성장 하였으며 도핑 양에 따른 특성 변화를 관찰하기 위해 첨가되는 Si 도핑셀의 온도는 1330 °C로 고정하고 도핑 시간을 70 초, 140 초, 210 초, 그리고 280 초로 변화시켜 성장 하였으며 성장 구조는 그림 1과 같다.

성장된 시료의 전기적 특성과 광학적 특성은 Hall effect 측정과 PL측정을 통하여 조사 하였으며, 성장 구조는 DXRD 측정과 TEM 사진 관찰을 통하여 확인 하였다.

3. 결과 및 논의

Hall 효과 측정결과 그림 2와 같이 2 DEG 농도 변화 $7.7 \times 10^{12}/\text{cm}^2 \sim 4.2 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ 일때 $6850 \text{ cm}^2/\text{V.s} \sim 10800 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ 사이의 이동도 변화에서 농도가 증가할 수록 이동도가 낮아 지는 것을 관찰할 수 있었다.

전도층의 In 조성변화에 의한 특성관찰을 위한 실험결과 전도층의 조성이 53 %로 격자 일치인 시료에서 대부분의 이동도는 전자농도 약 $3 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ 일때 $8500 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ 였다. In의 조성이 약 57 %, 58 % 일 경우 약 $10000 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ 를 나타 내었으나 60 %와 63 %에서는 약 $3570 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ 의 낮은 값을 나타내고 있어 격자불일치에 의한 결함이 형성 되었음을 예견할 수 있었다.

이러한 시료에 대한 DXRD 측정 에서 그림 3의 a)와 같이 이동도의 값이 높은 시료에서는 InP에 의한 peak과 이로부터 약 500 arcsecond 떨어진 위치에 구조에 의한 또 하나의 날카로운 peak을 보이고 있다. 그러나 격자 불일치에 의해 결함이 형성 되었다고 보여지는 시료에서는 그림 3의 b)와 같이 구조 내의 격자결함에 의해 구조로부터 나타나는 peak이 매우 둔하게 나타 나고 있는 것을 알 수 있다.

이러한 구조의 시료를 TEM으로 단면을 조사 하여 In 조성이 57 %, 58 %인 시료에서는 전도층에 결함없이 성장됨을 보이고 있으며 조성이 60 %, 63 %인 시료에서는 사진 1과 같이 결함이 형성 되어 있음을 보이고 있다.

불순물의 첨가량에 따른 HEMT 구조의 특성은 전도층의 In 조성이 63 %일때 전자의 농도가 $7.2 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ 이며 $7300 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ 의 이동도를 보였으나 $4.2 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ 인 시료에서는 더 높은 이동도를 나타내어야 함에도 약 $3750 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ 의 낮은 이동도를 나타내었다. 이러한 시료에서 얻은 DXRD 분석 결과 역시 모두 InP에 의한 peak 옆 약 500 arcsecond 부근에 구조에 의하여 나타나는 peak이 매우 둔하게 나타나고 있다. 이러한 결과들로 미루어 전도층의 In조성 63 %는 접합면에 결함을 형성 시키는 정도의

조성으로 예상된다. 따라서 농도 약 $5 \sim 6 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ 이상의 시료에서는 접합면에 형성 되는 strain과 격리층의 두께 50 Å이 critical thickness이내의 두께이므로 결합이 형성 되지 않고 첨가 되는 불순물에 의해 결합이 형성 된다고 여겨 진다.

한편 PL 분석에서도 전자의 농도가 높고 이동도가 높은 시료에서는 전도층의 InGaAs에 의한 peak 이 나타났으나 농도가 낮은 시료에서는 접합면에 형성된 결합으로 peak이 나타 나지 않음을 관찰 하였 다.

4. 결론

전도층의 strain 효과에 의한 전자의 이동도 향상을 위한 In 조성 변화시 조성비가 60 %, 63 %에서는 결합이 형성 되었으며 이때 결합의 위치는 불순물의 첨가량이 적을 때는 접합 계면에 형성되고 불순물 의 첨가량이 많을 때는 불순물 첨가면에 형성 됨으로 여겨 졌다.

구조내의 결합에 의하여 DXRD peak이 매우 둔하게 나타 났으나 전자의 이동도가 높게 나타난 것은 결합의 위치가 불순물 첨가면으로 이차원 전자층이 보존되었기 때문으로 여겨 졌다. 따라서 PL 측정에서 전도층의 양자우물 peak이 나타 났다.

전도층의 In 조성 57 %, 58 %의 InGaAs/ InAlAs/InP P-HEMT를 성장하여 이차원 전자개스층도의 증가에 따라 이동도가 지수함수적으로 감소함을 알았으며 전자농도 $5 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ 에서 이동도 9100 $\text{cm}^2/\text{V.s}$ 를 얻었다.

i- Ga _{0.47} In _{0.53} As 400Å
i- Al _{0.48} In _{0.52} As 300Å
Si δ-doping 1330 °C 70sec
i- Al _{0.48} In _{0.52} As 50Å
i- Ga _{1-x} In _x As 100Å(x=0.57 - 0.63)
i- Ga _{0.48} In _{0.52} As 300Å
i- Al _{0.48} In _{0.52} As 5000Å
Superlattice(AlInAs50Å/GaInAsÅ)X4
Undoped Al _{0.48} In _{0.52} As1000Å
InP substrate

그림 1. 성장된 InP based P-HEMT 구조

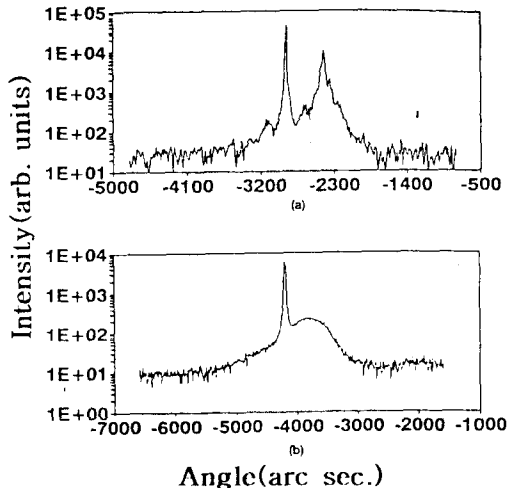


그림 3. 전도층의 In조성이 57%와 63%인 InP based P-HEMT 구조의 DXRD곡선

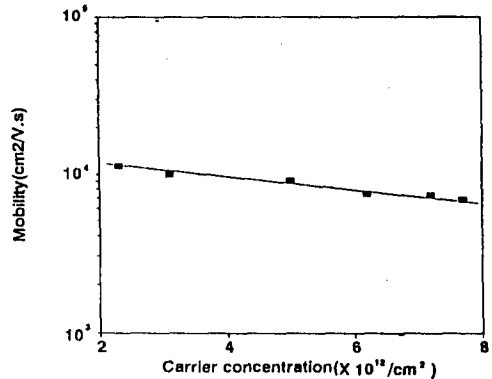


그림 2. InGaAs/InAlAs/InP P-HEMT 구조에서 2DEG농도에 따른 이동도 변화.

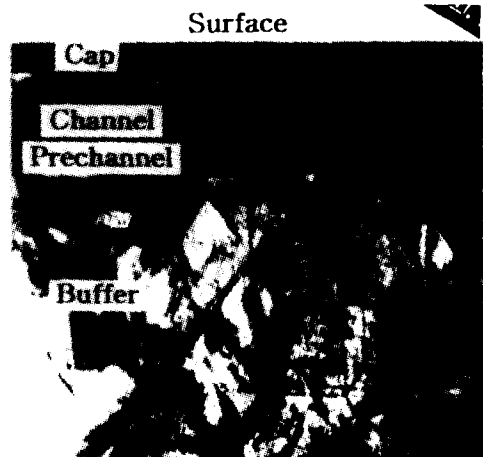


사진 1. 전도층의 In조성이 63%이고 농도가 $7.2 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ 인 구조의 단면 TEM 사진.