

## 【T-26】

# MBE로 성장시킨 GaMnAs epi-layer의 구조 및 전기, 자기적 특성 연구

박중훈, 김경현, 김병두, 김도진  
충남대학교 재료공학과

최근 자성반도체(Diluted magnetic semiconductor; DMS)에 대한 관심이 고조되고 있는데, 이는 자기적 성질과 반도체적인 성질을 동시에 가지고 있어 그 응용분야 뿐만 아니라 기초 학문 분야까지도 폭 넓은 연구가 진행되어지고 있다. 현재에는 대부분 저온 분자선 증착법(low temperature molecular beam epitaxy)으로 III-V족 자성반도체인 GaMnAs과 InMnAs을 성장시키고 있다. 본 연구실에서도 저온 분자선 증착법을 이용하여 III-V족 자성반도체인 GaMnAs 에피층을 성공적으로 성장시키고 있으며, RHEED를 이용하여 성장 표면의 결정상태도 관찰하고 있다. 이러한 저온 성장시킨 GaMnAs층을 성장 기판의 온도 변화와 As<sub>4</sub> flux 변화, 그리고 Mn 함량 변화에 따른 박막의 구조적, 전기적, 자기적 특성 변화를 고 분해능 XRD와 Hall, Superconducting Quantum Interference Device(SQUID)측정을 통하여 연구하였다.

GaMnAs층의 성장 기판 온도는 225~275°C, P<sub>As</sub>=2.5×10<sup>-6</sup>~0.8×10<sup>-6</sup>torr, P<sub>Mn</sub>=2×10<sup>-9</sup>torr이하의 조건에서 성장속도 0.25μm/hr로 유지하면서 실험하였다. 각각의 성장 조건에서 성장된 GaMnAs의 기판온도 변화에 따른 성장층의 결정성은 성장온도가 증가할수록 FWHM이 감소하는 경향을 보이며, GaMnAs 에피층의 결정성이 향상되는 것을 확인 할 수 있었다. 성장된 에피층의 고 분해능 XRD의 ω-scan에서 Pendellosung fringes가 관측되므로 우수한 결정성을 갖는다고 판단된다. 그리고, 결정 온도가 낮을수록 상대적으로 많은 Mn의 함량을 도핑 할 수 있음을 역시 ω-scan에서 기판인 GaAs peak과 GaMnAs peak의 분리된 각도가 증가되는 경향을 보이는 것으로 확인 할 수 있었다. 또한 이러한 고 분해능 XRD측정으로 Vegard 법칙에 의한 Mn의 조성과 에피층의 두께를 이론적으로 계산 할 수 있으며, 이를 실제 측정된 α-step에 의한 두께와 Electron Probe X-ray Microanalysis(EPMA)으로 측정된 Mn의 함량과 비교하였다.

Hall측정을 통하여 hole농도와 비저항을 측정하여 각각의 기판온도에서 특정한 Mn 함량에서 전도도가 최고값을 갖음을 확인함으로써 전기적 특성을 평가 할 수 있었다. 이렇게 측정된 GaMnAs층의 전도도는 기판온도가 225°C인 경우에는 Mn cell의 온도가 850°C일 때 가장 높은 전기 전도도

를 가졌으며, 250℃에서는 840℃에서 역시 최고치를 나타내었다. 또한 각각의 기판온도에서 최고의 전도도를 갖는 Mn flux에서 As<sub>4</sub> flux를  $2.5 \times 10^{-6} \sim 0.8 \times 10^{-6}$  torr까지 변화시키면서 각각의 구조적, 전기적, 자기적 특성을 평가하였다.

자기적 특성은 저온 Hall 측정을 통하여 온도에 따른 Anomalous hall effect에 의한 resistivity 변화를 측정하고 Arrot plot를 통하여 Curie 온도 (T<sub>c</sub>)를 추측할 수 있었고 이를 SQUID를 통하여 측정된 Ferromagnetic transition temperature(T<sub>c</sub>)와 비교함으로써 성장된 GaMnAs epi-layer의 전기전도도 변화에 따른 T<sub>c</sub>의 변화를 알 수 있었다.