

MBE로 성장한 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ 초격자의 X-ray 로킹커브 분석
(X-ray Rocking Curve Analysis of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ Superlattice Grown by MBE)

한국표준과학연구원: 김창수, 조양구, 노삼규

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ 초격자(superlattices)는 그것이 갖는 독특한 광학적 전기적 성질로 인하여 신소재로서 중요한 관심 분야가 되어왔고 광전자소자에 대한 응용성도 확대되고 있다. 반도체 초격자는 밴드갭(band gap) 에너지가 서로 다른 반도체 - well과 barrier - 를 다층으로 접합시켜 그 밴드갭을 조절함으로써 다양한 소자를 제조하는데 이용되고 있다. 초격자를 이용한 소자들은 각 층의 두께(layer thickness)와 조성(composition)등을 조절하여 그 성질을 변화시킨다. 따라서 초격자를 이루는 각 층의 두께와 조성 그리고 초격자의 결정성(crystallinity) 등을 정확하게 측정하는 것은 요구되는 성질의 소자를 제조하기 위해 무엇보다도 먼저 해결되어야 할 문제이다. 본 연구에서는 X-ray Double Crystal Diffractometer(DCD)를 이용하여 MBE(molecular beam epitaxy)로 성장시킨 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ 초격자의 로킹커브(rocking curve)를 분석하여 그 구조적 특성(structural properties)을 조사하였다.

MBE를 이용해야 (001) 면이 표면과 평행한 GaAs substrate 위에 각 층의 두께가 100 Å, 조성 $x = 0.3$ 인 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 층과 GaAs 층을 교대로 성장시켜 100 층 (50 periods)의 초격자를 성장시켰다. X-ray DCD는 평행배치법과 비평행배치법을 이용하였으며, 기준단결정(reference crystal)은 GaAs (004) 회절을, 초격자 시편은 (004) 대칭회절(symmetric reflection)과 (115) 비대칭회절을 이용하여 각각의 로킹커브를 측정하였다. 측정된 로킹커브는 kinematical theory를 이용하여 초격자의 주기(period)와 표면과 수직, 수평을 이루는 방향의 변형률을 구하였다. 로킹커브상의 초격자 위성피크(satellite peaks)의 회절강도는 초격자층의 변형률과 Al 조성(composition)에 따라 변화되므로 계산된 초격자의 주기와 변형률을 토대로 dynamical theory를 이용한 simulation을 통하여 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 층과 GaAs 층의 두께를 구했다. 그리고 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 층의 두께와 변형률로부터 Vegard's 법칙과 탄성론(elasticity theory)을 이용하여 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 층의 Al 조성을 계산하였다. MBE로 성장시킨 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ 초격자는 X-ray DCD 로킹커브 분석을 통하여 그 주기(period)가 174 Å, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 층의 두께는 91 Å, GaAs 층의 두께는 83 Å, 그리고 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 층의 Al 조성은 $x = 0.301$ 임을 알 수 있었다.

AlAs와 GaAs는 lattice mismatch가 극히 작으므로 수 μm 까지도 계면에 misfit dislocation이 생성되지 않는다고 보고되고 있다. 실제로 본 연구에서 사용한 초격자도 표면에 수평한 방향(in-plane)의 lattice mismatch가 거의 측정되지 않았고, 따라서 로킹커브의 계산과정에서 GaAs substrate와 초격자층사이의 계면에 완전한 lattice coherency를 가정하였다. 측정된 로킹커브는 instrumental broadening 효과, diffuse scattering, background intensity 등에 의하여 계산된 로킹커브와 다르게 나타나므로 본 연구에서는 초격자 위성피크의 회절강도에 민감한 영향을 미치는 background intensity를 정밀하게 측정하고 고려하여 실험으로 구한 로킹커브와의 최적의 fitting을 얻었다. 또한 측정된 로킹커브에서 Pendellösung fringes를 확인할 수 있었으며 그것은 simulation으로 구한 로킹커브와 잘 일치하였다.

1. V.S. Speriosu and T. Vreeland, Jr., J. Appl. Phys. **56**, 1591 (1984)
2. A.T. Macrander, G.P. Schwartz and G.J. Gualtieri, J. Appl. Phys. **64**, 6733 (1988)
3. W.J. Bartels, J. Hornstra and D.J.W. Lobeek, Acta Cryst. **A42**, 539 (1986)