

Nonparabolic three-band model을 사용한 HgCdTe 박막의 운반자농도와 Fermi 준위 계산에 대한 연구

허유범, 한명수, 송병권, 백운형, 강태원, 우용득*, 이해익*

동국대학교 물리학과

*전주우석대학교 물리학과

진성운반자농도(n_i)의 정확한 계산은 p-n접합분석과 Hall 측정의 해석에 있어서 아주 중요하다. 또한 진성 Fermi 준위, E_i 에 대한 표현식이 반도체소자의 simulation과 modeling 하는데 요구된다. n_i 에 대한 관습적인 표현은 parabolic 물질에 대하여 $n_i^2 = N_c N_v \exp(-E_g/kT)$ 로 표현된다. 여기서, N_c 와 N_v 는 전도대와 가전자대에서의 유효상태밀도이며, E_g 는 밴드갭, kT 는 열에너지이다. 이러한 표현은 nonparabolic 반도체에서는 정확하지 않다. n_i 와 E_i 에 대한 표현식에 몇가지 실험식들이 있지만 이러한 표현도 모두 운반자 유효질량과 nonparabolicity 인자들에 대해서 유연하지 못하다.

본 연구에서는 간단한 해석적 표현을 사용하여 MBE로 성장한 $Hg_{0.8}Cd_{0.2}Te$ (211) 박막에 대해 three-band $k \cdot p$ model에 근사시킨 intrinsic 운반자 농도를 계산하고, Fermi 준위를 계산하였다. 시료제작은 MBE법으로 p-CdTe(211)B 기판 위에 6 μm 두께의 HgCdTe 박막을 성장하였다. FT-IR 측정으로 계산된 조성 x 를 얻었으며 깊이에 따라 균일한 조성을 가지고 있음을 EDS로 측정 확인하였다. Hall 측정은 10K~300K 사이의 온도에서 van der Pauw 법으로 수행하였다. Hall 측정 결과 액체 질소온도에서 도핑되지 않은 $Hg_{0.8}Cd_{0.2}Te$ 의 전도형은 n형이었으며, 운반자 농도는 $3 \times 10^{15} cm^{-3}$, 이동도는 $1 \times 10^5 cm^2/V \cdot s$ 의 값을 얻었다. 조성 x 가 0.3인 시료에서는 운반자 농도와 이동도가 각각 $2 \times 10^{16} cm^{-3}$, $1 \times 10^4 cm^2/V \cdot s$ 의 값을 얻었다. Three-band $k \cdot p$ 모델을 이용하여 Kane matrix element P 를 계산하였고, intrinsic 운반자 농도 식을 사용하여 실험 데이터를 fitting 하였다. 식은 다음과 같다.

$$n_i^2 \approx n_0^2 \frac{1 + N_a/N_v}{1 + n_0/N_c \beta}$$

여기에서 구한 $x=0.291$ 시료에서의 Kane matrix element P 는 $8 \times 10^8 eV \cdot cm$ 이었으며 온도에 따른 상대적인 오차는 기존의 수치해석에 의한 값과 비교했을 때 아주 작았다. Fermi 준위에 대한 $k \cdot p$ 근사식은 다음과 같이 표현된다.

$$E_i \approx E_c - 0.5E_g + 0.5KT \left[\ln\left(\frac{N_v}{N_{ca}}\right) + \frac{N_{la}}{N_v} + \frac{n_0}{N_{cb}} \right]$$

이 근사식을 이용하여 intrinsic Fermi 준위를 계산하였으며 $x=0.3$ 시료와도 비교하였다. 결론적으로 Hall 측정에 의한 진성 운반자 농도와 Fermi 준위는 상대적으로 오차가 기존의 실험식을 이용하여 얻은 값들보다 작았으며 이는 반도체 소자 제작시 특성을 규명하는데 도움이 될 수 있으리라 생각된다.

[1] V.Ariel, S.E.Schacham, and G.Bahir, J. Appl. Phys. 77(1), 411(1995).