

Identification of Be Levels Correlated with Intrinsic Defect in p-GaSb Grown by Molecular Beam Epitaxy

김준오¹, 이상준¹, 김창수¹, 노삼규^{1*}, 최정우², 박동우³, 김진수³, 김종수⁴

¹한국표준과학연구원, ²경희대학교 물리학과, ³전북대학교 전자정보공학부, ⁴영남대학교 물리학과

반도체는 도핑하지 않으면 대부분 n형을 나타내는 것에 반하여 GaSb는 p형을 보이는 반도체로서, 그 근원은 명확하게 규명되어 있지 않은 상태이다. GaSb의 p형 불순물인 Be은 Ga과 치환 ($[Be_{Ga}]$)되므로, p형 전도의 근원으로 추정되는 잔존결함인 $[Ga_{Sb}]$ 와 그 복합체인 $[Ga_{Sb}-Sb_{Ga}]$ 와 높은 상관관계를 가질 것으로 예측된다. 본 연구에서는 Be을 도핑한 GaSb:Be 에피층을 MBE 방법으로 성장하여, PL 스펙트럼과 Hall 효과 분석을 통하여 p형 전도의 근원을 조사하였다. 도핑하지 않은 u-GaSb는 DA (deep acceptor)와 함께 A 준위를 나타낸 반면, p-GaSb:Be의 PL 스펙트럼은 Be 도핑농도가 증가함에 따라 FWHM가 줄어들면서 점차 높은 에너지 영역으로 변위하지만 농도가 가장 높은 시료에서는 PL의 FWHM가 증가하면서 에너지는 감소함이 관측되었는데, 이것은 A 피크와 Sb 관련 피크가 경쟁적으로 중첩되어 나타난 현상으로 분석된다. Hall 효과 결과는 유효 전하밀도의 증가에 따라 이동도는 감소하는 전형적인 의존성을 나타내었으며, u-GaSb의 Hall 이동도가 p-GaSb:Be의 값보다 작은 것은 u-GaSb에 잔존하는 DA에 의한 산란 때문으로 해석된다. Gaussian 형태로 분해하여 얻은 A ($[Ga_{Sb}]$)와 DA ($[Ga_{Sb}-Sb_{Ga}]$) 및 Be 관련 피크로부터 특정 도핑농도 ($1.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)의 시료를 제외한 모든 p-GaSb:Be에는 A 피크가 중첩되고 A와 Be 준위 중간에 Be과의 복합체인 중간상태 (intermediate state)인 $[Be^*]$ 가 존재함이 관측되었는데, 특정 도핑농도에서는 $[Be_{Ga}]$ 이 우세하지만 더 이상 농도가 증가하면 $[Be_{Ga}]$ 준위의 강도는 오히려 감소함을 관측할 수 있었다. 이것은 적정 이상의 Be을 도핑할 경우, A ($[Ga_{Sb}]$)와 Be^* ($[Be_{Ga}-Ga_{Sb}]$)가 형성 ($A[Ga_{Sb}] + Be \rightarrow Be^*[Be_{Ga}-Ga_{Sb}] + [Be_{Ga}]$)됨을 보여 주는 중요한 결과인 것으로 분석된다. A, $[Be]$, $[Be^*]$ PL 피크 에너지는 각각 779, 787, 794 meV (오차범위 ± 3 meV)이고, $[Be_{Ga}]$ 의 활성화 에너지는 (23 ± 3) meV (20 K)임을 밝혔다.

