

Silicon doping effects on the optical properties of $\text{In}_{0.64}\text{Al}_{0.36}\text{Sb}$ grown on GaAs substrates

김희연¹, 류미이^{1*}, 임주영², 신상훈², 김수연², 송진동²

¹강원대학교 물리학과, ²한국과학기술연구원 나노과학연구본부

본 논문은 테라헤르츠 소스로 저온 InGaAs를 대체하기 위한 저온 $\text{In}_{0.64}\text{Al}_{0.36}\text{Sb}$ 의 실리콘(Si) 도핑 농도에 따른 광학적 특성 변화를 photoluminescence (PL)과 time-resolved PL (TRPL) 측정을 이용하여 분석하였다. $\text{In}_{0.64}\text{Al}_{0.36}\text{Sb}$ 시료는 분자선 엑피택시 (molecular beam epitaxy)법으로 GaAs 기판 위에 약 420°C에서 3.7 μm 두께 성장하였다. Si은 $\text{In}_{0.64}\text{Al}_{0.36}\text{Sb}$ 시료에서 도핑 농도가 낮을 때는 어셉터(acceptor)로 작용하다가 도핑 농도가 증가함에 따라 도너(donor)로 작용하였다. 본 연구에 사용한 $\text{In}_{0.64}\text{Al}_{0.36}\text{Sb}$ 시료의 Si 도핑 농도는 $4.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ (n형), $4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ (n형), $8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ (n형), $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ (p형), $4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ (p형)인 다섯 개의 시료를 사용하였다. Si 도핑한 시료의 PL 피크는 undoped 시료보다 약 100-200 nm 단파장에서 나타나고 PL 세기도 크게 증가하였다. 그러나 Si 도핑 농도가 가장 낮은 n형과 p형 시료의 PL 피크가 가장 짧은 파장 (높은 에너지)에 나타나고 도핑 농도가 증가함에 따라 장파장으로 이동함을 보였다. n형 시료의 도핑 농도가 $8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 에서 $4.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 로 증가하였을 때 PL 피크는 1232 nm에서 1288 nm까지 장파장 쪽으로 이동하였으며, p형 시료는 도핑 농도가 $4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 에서 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 로 증가하였을 때 PL 피크가 1248 nm에서 1314 nm로 이동함을 보였다. 또한 시료 온도에 따른 PL 결과는 온도가 증가함에 따라 PL 피크는 장파장으로 이동하면서 PL 세기는 급격하게 감소하고 약 100 - 150 K에서 소멸하였다. 그러나 ~1500 nm 이상 장파장 영역에 매우 넓은 새로운 피크가 나타났으며 온도가 증가함에 따라 PL 세기가 증가함을 확인하였다. Si 도핑 농도에 따른 운반자 수명시간 변화를 TRPL을 이용하여 측정하였다. 운반자 수명시간은 double exponential function을 이용하여 얻었다. Si 도핑 시료의 운반자 수명시간이 undoped 시료에 비해 매우 길게 나타났으며, Si 도핑 시료에서는 p형 시료들보다 n형 시료들의 운반자 수명시간이 길게 나타났다. PL 방출파장에 따른 운반자 수명시간은 Si 도핑 농도에 따라 다르게 나타났다. 이러한 PL과 TRPL 결과로부터 $\text{In}_{0.64}\text{Al}_{0.36}\text{Sb}$ 의 발광 특성 및 운반자 동역학은 Si 도핑에 크게 영향을 받는다는 것을 확인하였다.