

【심포지움-포토닉스 02】

반도체 양자점 성장 및 QDIP 소자 응용

노삼균, 김문덕, 강세경, 이상준
한국표준과학연구원 물질량표준부 양자점기술연구실

홍성철*, 이동한**, 박찬경***
*한국과학기술원 전기전자공학부, **충남대학교 물리학과, ***포항공과대학교

자발형성 양자점 기술은 특별한 가공기술을 사용하지 않고 에피택셜 결정성장 모드 제어만을 통하여 *in-situ*에서 ~10 nm 크기의 화합물반도체 양자점 (quantum dot, QD)을 자발형성 (self-assembly) 시키는 기술로서, 표면손상이 적어서 고품위의 QD 제작이 가능하고 QD를 활성층으로 사용하는 신개념의 광전 및 전자 소자에 응용할 수 있는 새로운 과학기술적 접근방법이다. 본 연구에서는 MBE 성장법으로 제작한 InAs 계열 자발형성 QD 및 5-stack 적층 QD를 활성층에 채용한 n-i-n 수직구조 원적외선 수광소자 (QDIP)의 제작과 그 특성을 소개할 계획이다. 3차원적으로 구속된 QD에서는 불연속적인 에너지준위를 가지게 됨에 따라 수직입사가 가능하고 상대적으로 열적 들뜸에 의한 전자들의 전이가 힘들어 고온동작이 가능하기 때문에, 이러한 특징을 원적외선 수광소자에 응용하면 기존의 저온 (10~77 K) 동작 양자우물 적외선 수광소자 (QWIP)나 MCT에 비해 우수한 특성을 나타내는 것으로 평가되고 있다.

본 연구에서는 InAs 양자점의 원적외선 수광 특성을 알아보고 소자 응용 가능성을 알아보기 위하여 MBE 성장법을 이용하여 Si를 도핑한 InAs/GaAs 양자점을 성장하였으며, 장파장 (8 ~ 12 μm) 적외선 수광특성을 조사하여 InAs 양자점 내 intersubband 간 전이를 통하여 8 μm 이상의 장파장 적외선에 반응하는 것을 관측하였다. 제작한 QDIP는 5-stack 적층 InAs 양자점을 활성층에 탑재한 것으로서, Photoluminescence (PL) 측정 및 TEM image 관측을 통하여 확인하였다. 또한, 도핑 위치가 다른 4종류의 구조를 각각 성장하여 도핑구조에 따른 장파장 적외선 수광 특성의 변화를 비교 조사하여 QDIP의 최적화 층구조를 연구하였다. InAs QD는 모두 2.5 ML 크기로 성장하였으며, 2개의 시료는 형성된 양자점의 위와 아래쪽에 각각 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 농도를 가지는 Si 도핑층을 가지고 있으며, 나머지 2개의 시료는 QD 내에 직접 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 농도의 Si 도핑한 구조를 가지고 있다.

성장된 시료들은 저온 (10 K) 과 상온 (300 K)에서 PL을 측정하였으며, 각각의 시료들은 저온

PL에서의 발광 파장대역은 $1\ \mu\text{m}$ 근처이었으며, 상온에서는 $1.1\ \mu\text{m}$ 근처에서 강한 발광특성을 보여 주었다. 원적외선 수광 특성을 조사하기 위하여 4종류의 시료에 대하여 각각 온도에 따른 바이어스 전압별 암전류 특성을 측정하였다. InAs QD 성장시 균일하게 직접 도핑한 층구조가 1 V의 바이어스에서 $1\ \mu\text{A}$ 정도 (12 K)로 가장 낮은 암전류 특성을 나타내었으며, 4개 시료 모두 상온근처 (285 K)에서의 암전류는 약 10 mA 정도로 더 이상의 증가없이 포화됨을 관측할 수 있었다. 원적외선 수광에 따른 소자의 Responsivity와 Photocurrent 변화를 파장에 따라 측정하였을 때, 4개의 시료가 모두 $8\sim 12\ \mu\text{m}$ 의 장파장 적외선 영역에서 반응하였고, QD 내에 도핑한 시료는 약 190 K 이상의 고온에서도 반응을 보였다. 4개의 시료에서 측정된 Photocurrent는 약 $100\sim 300\ \text{nA}$ 범위의 값을 보여 주었으며, QD 내에 Si를 직접 도핑한 시료에 가장 큰 값을 나타내었다. 본 연구를 통하여 자발형성 QD를 활성층으로 채용한 QDIP 소자는 QWIP에 비하여 보다 고온에서 동작함을 관측할 수가 있었으며, QD의 결정성을 향상시키고 층구조를 최적화시키면 상온동작도 가능할 것으로 기대된다.