

수소화 처리된 InAs/GaAs 양자점 적외선 수광소자의 전기적 특성

남형도¹ · 송진동¹ · 최원준^{1*} · 조운조¹ · 이정일¹ · 최정우² · 양해석³

¹한국과학기술연구원 나노소자 연구센터, 서울 130-650

²경희대학교 물리학과, 용인 446-701

³중앙대학교 물리학과, 서울 156-756

(2006년 2월 14일 받음)

InGaAs/GaAs 양자 우물 내에 삽입된 InAs 양자점으로 구성된 5층의 흡수층과 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs$ SL (superlattice) 압전류 장벽층을 갖는 QDIP (quantum dot infrared photodetector) 구조에 대한 수소 RF 플라즈마에 의한 수소화 처리가 QDIP의 전기적, 광학적 특성에 미치는 영향에 대해 연구하였다. RF 플라즈마 수소화 처리는 양자점의 밴드구조에 영향을 미치지 않았으며 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs$ SL 압전류 장벽층 내의 결함 제거 및 QDIP 구조 내 결함 생성을 동시에 유도함으로써 QDIP의 전기적 특성 향상은 수소 플라즈마 처리시간의 함수임을 알았다. 20 W의 수소 RF 플라즈마를 사용했을 때, 10분간의 플라즈마 조사가 가장 좋은 전기적 특성을 제공하여 높은 압전류 때문에 원시료에서는 측정할 수 없었던 광전류 신호를 측정할 수 있었다.

주제어 : 양자점, 양자점 적외선 수광소자, 수소화처리

I. 서 론

최근 자발형성 양자점을 이용한 0 차원 양자 구조에 대한 다양한 연구가 그 성장 기술이 향상됨에 따라 활발히 이루어지고 있다 [1-3]. 그 대표적 예로 양자점 LD (Laser Diode), SOA (Semiconductor Optical Amplifier) 및 QDIP (Quantum Dot Infrared Photodetector) 를 들 수 있으며, 특히 QDIP는 우주에 기반한 적외선 영상, 전기적 및 기계적 결함 검출을 위한 열영상, 환경화학공정 모니터링 등과 같은 MIR(mid infrared) 응용분야에서 폭 넓은 연구와 관심을 끌고 있다 [4-7].

일반적으로 InAs/GaAs 자발형성 양자점 구조에는 성장시 격자상수 차에 기인한 높은 strain과 상대적으로 낮은 성장 온도로 인한 결함(defect)들이 형성되는데, 이들은 양자점을 기반으로 하는 광소자의 성능을 저하시키는 중요한 요인이 된다. 양자점 구조에 형성된 이러한 결함을 제거하여 양자점 LD와 QDIP와 같은 소자들의 성능을 향상시키기 위하여 몇 가지 후처리 공정들이 연구되고 있는바, 열처리 방법과 수소화 처리 방법이 그 대표적 예이다 [8-11]. 이중 열처리 방법은 결함의 비활성화를 통한 소자의 발광 효율을 향상 시키거나 혹은 inter-

mixing에 의한 활성 층의 에너지 띠의 변화를 광소자에 응용하고자 하는 연구가 많이 이루어졌다. 양자점의 발광 파장의 조절은 열처리 과정에서 활성 층의 계면에서 성분 원자들의 확산에 의한 구성 물질의 성분 조성 변화 등과 같은 양자점 구조의 변화를 유발하여 에너지 띠를 변화시킴으로써 이루어진다. In(Ga)As/GaAs 양자점의 열처리에 관한 많은 연구를 통해 양자점의 PL (Photoluminescence) 선 폭을 줄이고, 세기를 증가시키고, 파장을 조절 할 수 있는 긍정적인 결과를 얻었으나 [8-11], 고온 열처리 시 생성되는 결함 때문에 소자의 기능 향상 면에서는 긍정적인 성과를 얻지 못하였다 [12]. 반면, 수소화 처리 방법은 저온 상태에서 이루어지므로 계면에서의 구성 원자들의 확산에 의한 영향을 받지 않으며, 시료의 표면과 계면 등에 분포하는 결함들과 수소가 결합하여 수소 혼합체를 형성함으로써 결함들을 비활성화 시킬 수 있다 [13]. 따라서 수소화 처리 방법은 활성층의 에너지 띠 구조에 영향을 미치지 않고 소자의 성능을 향상 시킬 수 있는 후처리 방법이다. 그러나, 양자점 소자에 대한 수소화 처리 방법의 적용은 아직 많이 연구된 결과가 없으며, 현재 발표된 문헌에서 수소화 처리 연구는 양자 구조 시료의 광학적 특성에 관한 연구가 대부분이다 [14-16].

* [전자우편] wjchoi@kist.re.kr

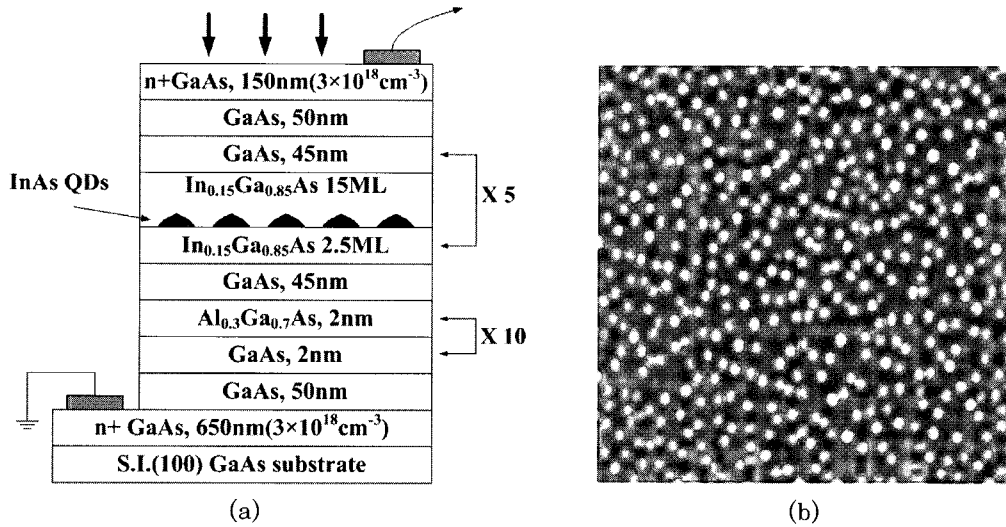


그림 1. (a) Schematic diagram of InAs quantum dots in an asymmetric well infrared photodetector structure, (b) AFM-image ($1.0 \times 1.0 \mu\text{m}^2$) of the QDIP.

본 연구에서는 InAs/GaAs 양자점을 흡수층으로 하는 QDIP 구조에 대한 수소화 처리 시 수소화 처리 시간에 따른 소자의 전기적/광학적 특성의 변화를 살펴 보았다. 수소화 처리에 따른 QDIP 구조의 특성 변화를 살펴기 위하여 PL 스펙트럼, 암전류 및 광전류를 측정하여 원시료와 수소화 처리된 QDIP를 비교하였다.

II. 실험

그림 1 (a)는 본 실험에 사용된 QDIP의 구조를 나타내며, MBE (Molecular Beam Epitaxy) 방법을 이용하여 제작되었다. 흡수층은 5층의 DASWELL (dots in an asymmetric well) 구조를 갖는다. DASWELL 구조는 2.5 ML (monolayer) 두께의 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 층 상부에 평균 3 ML 두께의 InAs를 증착시켜 만들어진 자발형성 InAs 양자점과, 양자점 상부에 15 ML 두께의 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 층으로 이루어져 있다. 이때 InAs 양자점은 ALE (atomic layer epitaxy) 방법을 사용하여 성장 온도 $T_g=480^\circ\text{C}$ 에서 성장하였다 [17]. 각각의 DASWELL 구조는 45 nm 두께의 GaAs 층으로 분리되어있으며 DASWELL 흡수층 아래쪽에는 2 nm $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 층과 2 nm GaAs 층을 한 주기로 하는 10 쌍의 SLs (superlattices) 층을 성장하였다. 5 층의 DASWELL과 SL는 150 nm 두께의 n 형 GaAs 위쪽 접합 층과 650 nm 두께의 n 형 GaAs 아래쪽 접합 층으로 덮여 있는 구조이다. 각각의 접합층은 3.0

$\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 농도로 실리콘(Si)이 도핑 되어 있다.

그림 1 (b)는 시료의 AFM (atomic force microscope) 이미지를 나타낸다. 이미지를 얻기 위하여 2.5 ML 두께의 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}/\text{GaAs}$ 위에 같은 조건으로 InAs 양자점을 성장시킨 후 위쪽을 덮지 않은 상태로 시료를 준비하였다. AFM 이미지로 확인한 결과 양자점의 폭, 높이 그리고 밀도는 각각 $\sim 41 \text{ nm}$, $\sim 7 \text{ nm}$, $\sim 4 \times 10^{10}\text{cm}^{-2}$ 이다.

사진식각 (photolithography)과 습식 화학적 식각 방법을 사용하여 $1 \times 1\text{mm}^2$ 의 mesa 형태의 소자를 만들고, thermal evaporator를 사용하여 n 형의 전극으로 AuGe/Ni/Au 층을 증착하였다. GaAs와 증착된 금속 사이의 특성을 음 접합으로 바꾸기 위해 RTA(rapid thermal annealing) 장치를 사용하여 열 처리 작업을 수행 하였다.

모든 소자 공정 과정 후에 소자는 다양한 시간 동안 수소화 처리를 하였다. 수소화 처리시, 수소 가스의 압력은 40 sccm, 수소 플라즈마의 RF 파워 밀도는 $60 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 였고, 기판의 온도는 150°C 로 일정하게 유지하였으며 사용된 RF의 주파수는 13.56MHz 이었다.

수소화 처리된 시료 및 원 시료의 PL 스펙트럼은 632.8 nm He Ne 레이저를 여기 광원으로 사용하여 $T = 15 \text{ K}$ 에서 측정하였으며, 분광기를 사용하여 분광된 빛은 InGaAs 검출기를 사용하여 검출하였다. QDIP의 암전류 측정은 HP4156, high precision semiconductor parameter analyzer를 사용하여 온도, $T = 10, 50, 100, 150, 200, 250, 300$

K 에서 각각 측정을 하였다. 이 때 아래쪽 전극을 접지(ground)로서 기준으로 삼았다. QDIP의 광전류 스펙트럼은 띠 통과 필터 셋 (band pass filter set)과 흑체 복사 광원 (blackbody source)을 사용하여 수직 입사 형태로 T = 10 K에서 측정되었다.

III. 결과 및 토의

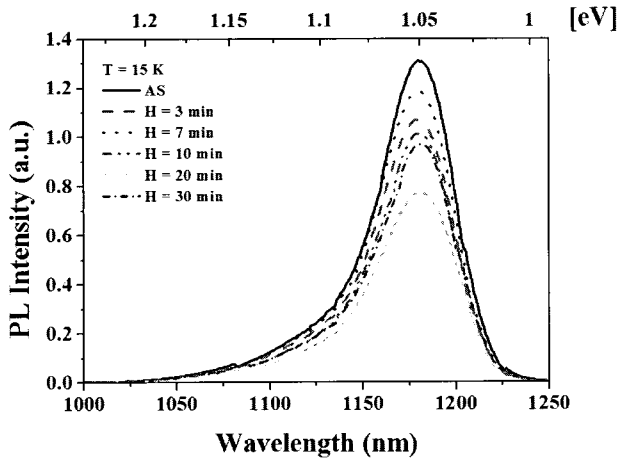


그림 2. Photoluminescence spectra of as-grown and hydrogen-plasma treated samples at T = 15 K for different hydrogenation times.

그림 2는 원시료 및 수소화 처리된 시료의 15 K 에서 측정된 PL 스펙트럼을 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 PL 스펙트럼은 1.05 eV 에서 피크를 보이는데, 이는 양자점 기저 전자의 버금 띠 (subband) 로 부터 기저 중양공(heavy hole) 버금 띠 사이의 띠 사이 천이 (E1 HH1) 천이에 의한 것으로 이해된다. PL 스펙트럼의 선폭은 자발형성 양자점의 크기 분포에 의한 inhomogeneous broadening에 기인하는 것으로 알려져 있으며, 원시료의 PL 반치폭은 35 meV, 수소화 처리된 시료들의 반치폭은 ~ 36 meV로 크게 변화하지 않음을 알 수 있다. 또한 수소화 처리 후 시료들의 PL 세기들은 원시료에 비하여 조금 줄어드는 경향을 보였으나, PL 피크의 위치는 변하지 않았다. 수소화 처리후의 이러한 PL 스펙트럼들은 수소화 처리가 양자점에 구조적 변화를 야기 시키지 않음을 의미하며 따라서 수소화 처리가 양자점 구조의 밴드갭에 영향을 미치지 않았음을 알 수 있다. 전반적으로 수소화 처리후 PL 세기는 원시료에 비해 줄어든 것을 알 수 있는데 이는 시료의 표면이 RF 플라즈마에

장시간 노출된 결과 생성된 QDIP 구조 내부의 비발광 결합 때문인 것으로 이해된다 [16].

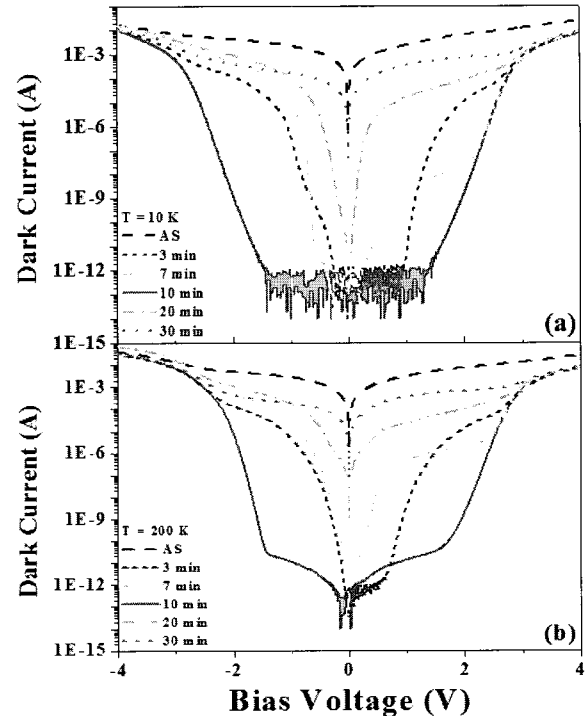


그림 3. Dark current-voltage (I-V) characteristics of as-grown QDIP and hydrogen-plasma treated QDIPs with various hydrogenation times at (a) T = 10 K and (b) T = 200 K.

그림 3은 수소화 처리하지 않은 QDIP 소자와 수소화 처리된 QDIP 소자의 10 K 및 200 K 에서 측정된 I-V 곡선을 보여준다. 비록 그림 2의 결과에서 보는 바와 같이 QDIP 구조의 플라즈마 상태로의 노출이 QDIP 구조 내부에 결함을 생성시키기는 하지만 그림 3에서 보는 것과 같이 수소화 처리한 QDIP의 암전류는 as grown QDIP의 암전류에 비하여 매우 낮은 것을 알 수 있다. 이는 as grown QDIP의 높은 암전류의 주요 원인이 양자점 구조 내부의 결함때문인 것이 아니라, 그림 3에 보는 바와 같이 as grown QDIP의 암전류 곡선은 바이어스 전압에 대하여 대칭성을 보여준다. 이는 시료의 흡수층 아래 쪽에 있는 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs$ SL 암전류 장벽층이 장벽층으로서의 역할을 하지 못하고 있음을 의미 할 뿐만 아니라, $Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs$ SL 내부에 높은 암전류를 일으키는 결함 채널을 가지고 있음을 의미한다. 그에 비해 수소화 처리를 한 QDIP들의 암전류는 as grown QDIP의 암전류에 비

해 매우 낮은 수준이며 바이어스 전압에 대해 비대칭의 특성을 보여준다. 이는 수소화 처리에 의해 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs$ SL 암전류 장벽층의 특성이 향상되었음을 의미한다. 그림 3 (b)에서 보는 바와 같이 10분간 수소화 처리한 QDIP는 200 K에서도 여전히 as grown QDIP의 암전류에 비해 낮은 전압 조건하에서 10^8 배 낮은 암전류 값을 보여준다.

그림 3에서 보는 바와 같이 수소화 처리 시간이 10분까지 증가함에 따라 암전류 수준이 낮아지고, 암전류 폭선의 비대칭 특성이 증가함을 알 수 있다. 하지만, 10분 이상 처리한 QDIP 시료들에서 수소화 처리 시간이 길어짐에 따라 점점 암전류가 증가하고 암전류의 인가전압에 대한 비대칭성이 감소함을 알 수 있다. 이는 Jacob 등이 [16] 발표한 바와 같이 플라즈마 상태에서 QDIP 구조의 장시간 노출이 시료 표면과 내부에 결함을 형성하고 이러한 결함이 인가전압에 따라 높은 암전류를 생성하기 때문으로 여겨진다. 그림 1에서 보는 바와 같이 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs$ SL 장벽층은 표면으로부터 450 nm 깊이에 위치하고 있다. 따라서 수소화 시간의 증가에 따라 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs$ SL 장벽층에 도달하는 수소의 농도가 증가하여 결함을 제거한다. 이에 반해 양자점 구조 표면의 플라즈마 상태에의 노출은 양자점 구조 내부에 결함을 생성시키고 그 결함농도는 노출시간의 증가에 따라 증가한다 [16]. 따라서 내부 결함 밀도에 의존하는 QDIP의 암전류는 수소 플라즈마에 의한 QDIP 구조 내부 결함의 제거 기작과 반도체의 플라즈마 손상에 기인하는 결함생성 기작의 총체적인 결과로 나타나게 되며, 본 연구의 결과와 같이 최적의 수소화 시간이 존재하게 됨을 알 수 있다. 본 연구에 사용된 QDIP 구조는 양자점 하부에 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs$ SL 장벽층이 위치한다. 따라서 양자점 상부에 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs$ SL 장벽층을 위치시키는 경우, 보다 짧은 시간에 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs$ SL 장벽층의 결함을 제거할 수 있으므로 플라즈마 손상에 기인하는 결함생성을 줄이면서 전체적인 암전류를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

수광소자에서 높은 암전류는 광신호를 감지하기 어렵게 하여 광전류의 측정을 방해하는 중요한 요인이다. 이러한 이유로 as grown QDIP의 경우 그림 3에서 보여주는 높은 암전류 때문에 광전류 스펙트럼은 측정할 수 없었다. 하지만 수소화 처리한 QDIP

중에서 가장 낮은 암전류 특성을 보인 10분간 처리한 QDIP 만이 광전류를 측정할 수 있었다. 그림 4는 10분간 수소화 처리한 QDIP의 광전류 스펙트럼을 나타낸다. 수직입사광에 대하여 $T = 10$ K, bias = 3.23 V 조건하에서 100 ~ 400 meV의 영역에서 스펙트럼을 얻었다. 광전류 스펙트럼에 대한 three Gaussian fit은 110, 163, 220 meV에서 세 개의 봉우리를 보여준다. 본 실험에 사용된 as grown 시료의 광학적 특성 분석에 관한 Ref. 19 와 바이어스 전압이 소자에인가 되었을 때 양자 구속 상태의 유효 포텐셜 값이 줄어들어 버금 띠 사이의 간격이 줄어드는 현상[19]을 고려하여 그림 4 내부의 그림과 같이 소자의 버금 띠 구조를 이해할 수 있다. 광전류의 163 meV (7.6 μm)에서의 봉우리는 InAs 양자점의 기저 상태로부터 InGaAs 우물내의 구속 상태로의 버금 띠 사이 전이(184 meV in Ref. 19)에 대응하는 것으로 여겨지며, 110 meV 와 220 meV 는 InAs 양자점의 기저 상태로부터 각각 InAs 양자점의 여기 상태로의 천이 (108 meV in Ref. 19) 및 InGaAs 우물내의 구속 상태로의 천이(236 meV in Ref. 19)에 대응하는 것으로 생각된다.

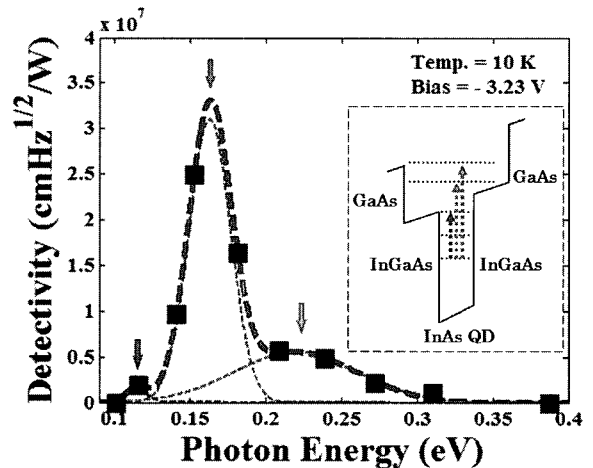


그림 4. Photocurrent spectrum at 10 K of hydrogen-plasma treated (for 10 min) QDIP. The inset shows the subband diagram of InAs-DWELL under a bias.

IV. 결 론

본 논문에서는 RF 수소 플라즈마에 의한 수소화 처리된 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs$ SL 장벽층을 갖는 InAs QDIP의 광학적/전기적 특성에 대해 연구하였다. 수

소화 처리를 하지 않은 as grown QDIP는 매우 높은 암전류 특성을 보였으며 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ SL 장벽층이 충분한 역할을 하지 않아 인가전압에 대한 암전류의 특성이 대칭성을 보였다. 플라즈마 처리 후 InAs QDIP 구조의 PL 피크는 변하지 않아 수소 플라즈마가 양자점 구조에 영향을 미치지 않음을 알았으나 플라즈마 노출시간의 증가에 따라 양자점 구조 내부에 결함을 증가시켜 PL 세기는 감소하였다. QDIP의 인가전압 대 암전류 특성은 플라즈마 수소화 처리시간에 따라 달라져 10분까지 수소화 처리시간의 증가에 따라 암전류는 감소하고 인가전압에 대한 암전류 곡선의 비대칭성이 회복되었으며, 10분간의 수소화 처리 조건에서 가장 작은 값을 보여 200 K에서 수소화 처리를 하지 않은 QDIP에 비해 108 배 낮은 암전류 값을 보였다. 10분보다 긴 수소화 처리시간의 조건에서는 수소화 처리 시간의 증가에 따라 암전류는 다시 증가하였으며 암전류 곡선의 비대칭성이 사라졌다. 이러한 결과는 수소화 처리에 따른 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ SL 장벽층의 회복효과를 플라즈마 처리시간의 증가에 따라 증가하는 QDIP 구조내의 결함의 증가가 상쇄하기 때문으로 이해되며, 암전류의 저감을 위해서는 양질의 암전류 장벽층의 성장이 필수적임을 의미한다. 결론적으로 20W의 낮은 RF power의 수소 플라즈마를 사용한 수소화 처리는 비록 QDIP 구조 내부에 결함을 형성시키는 하였지만 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ SL 장벽층에 존재하는 결함을 비활성화 시켜 QDIP의 인가전압에 대한 암전류의 비대칭 특성을 회복하게 하였고, 10분간의 수소화 처리를 통하여 수소화 처리 전에는 얻을 수 없었던 양자점 구조의 전도대 버금 띠 사이의 천이에 대응하는 에너지에서 광전류의 측정을 가능케 하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지원의 나노과학기술 국가 R&D 프로젝트, 과학기술부 지원의 한중 광기술 연구협력센터 및 국가지정연구실사업과 KIST 기관고유사업의 지원을 통하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] D. Bimberg, M. Grundmann, and N. N. Ledentsov, *Quantum Dot Heterostructures* (Wiley, Chichester, 1999), and references therein.
- [2] S. Kim and M. Razeghi, in *Handbook of Advanced Electronic and Photonic Materials and Devices*, edited by H. Singh Nalwa (Academic Press, San Diego, 2001), Vol. 2, Chap. 3.
- [3] M. S. Skolnick and D. J. Mowbray, *Phys. E*, **21**, 155 (2004).
- [4] K. W. Berryman, S. A. Lyon, and M. Segev, *Appl. Phys. Lett.* **70**, 1861 (1997).
- [5] J. Phillips, K. Kamath, and P. Bhattacharya, *Appl. Phys. Lett.* **72**, 2020 (1998).
- [6] D. Pan, E. Towe, and S. Kennerly, *Appl. Phys. Lett.* **73**, 1937 (1998).
- [7] S. Maimon, E. Finkman, G. Bahir, S. E. Schacham, J. M. Garcia, and P. M. Petroff, *Appl. Phys. Lett.* **73**, 2003 (1998).
- [8] Y. C. Zhang, Z. G. Wang, B. Xu, F. Q. Liu, Y. H. Chen, and P. Dowd, *J. Crystal Growth*, **244**, 136 (2002).
- [9] G. Zhang, M. Pessa, *Appl. Surf. Sci.* **75**, 1989 (1994).
- [10] M. W. Dashiell, U. Denker, C. Muller, G. Costantini, C. Manazano, K. Kern, O. G. Schmidt, *Appl. Phys. Lett.* **80**, 1279 (2002).
- [11] W. H. Jiang, H. Z. Xu, B. Xu, X. L. Ye, J. Wu, D. Ding, J. B. Liang, Z. G. Wang, *J. Crystal Growth*, **212**, 356 (2000).
- [12] K. Stewart, M. Buda, J. Wong Leung, L. Fu, C. Jagadish, A. Stiff Roberts, and P. Bhattacharya, *J. Appl. Phys.* **94**, 5283 (2003).
- [13] M. Gal, A. Tavendale, M. J. Johnson, and B. F. Usher, *J. Appl. Phys.* **66**, 968 (1989).
- [14] E. C. Le Ru, P. D. Sivers, and R. Murray, *Appl. Phys. Lett.* **77**, 2446

- (2000).
- [15] R. Leon, G. M. Swift, B. Magness, W. A. Taylor, Y. S. Tang, K. L. Wang, P. Dowd, and Y. H. Zhang, *Appl. Phys. Lett.* **76**, 2074 (2000).
- [16] A. P. Jacob, Q. X. Zhao, M. Willander, F. Ferdos, M. Sadeghi, and S. M. Wang, *J. Appl. Phys.* **92**, 6794 (2002).
- [17] J. D. Song, Y. M. Park, J. C. Shin, J. G. Lim, Y. J. Park, W. J. Choi, I. K. Han, J. I. Lee, H. S. Kim and C. G. Park, *J. Appl. Phys.* **96**, 4122 (2004).
- [18] H. D. Nam, J. D. Song, W. J. Choi, J. I. Lee, H. S. Yang, H. S. Kwack, and Y. H. Cho, *J. Korean. Phys. Soc.* **47**, 1002 (2005).
- [19] E. T. Kim, Z. H. Chen, M. Ho and A. Madhukar, *J. Vaccum. Sci. Technol.* **73**, 1188 (2002).

Electrical Property in InAs/GaAs Quantum Dot Infrared Photodetector with Hydrogen Plasma Treatment

H. D. Nam¹, J. D. Song¹, W. J. Choi^{1*}, W. J. Cho¹, J. I. Lee¹, J. W. Choe², and H. S. Yang³

¹*Nano Device Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 130-650*

²*Department of Physics, Kyung Hee University, Yongin 446-701*

³*Department of Physics, Chung-Ang University, Seoul 156-756*

(Received February 14, 2006)

In this paper, we investigated the effect of hydrogen-plasma (H-plasma) treatment on the electrical and optical properties of a quantum dot infrared photodetector (QDIP) with a 5-stacked InAs dots in an InGaAs/GaAs well structure and Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs SL (superlattice) current blocking layer. It has been observed that H-plasma treatment didn't affect the band structure of QDIP. It has been also observed that the H-plasma treatment on the QDIP not only enhance the electrical property of QDIP by curing the defect channels in Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs SL but also introduce defects in QDIP structure. The H-plasma treatment for 10 min with 20 W of RF power provided the lowest dark current, which made it possible to measure the photo-current (PC) of QDIP whose PC was not detectable without the H-plasma treatment due to the high dark current.

Keywords : Quantum dot, Quantum dot infrared photodetector, Hydrogen plasma treatment

* [E-mail] wjchoi@kist.re.kr