

SiN_x와 SiO₂의 유전체 덮개층을 이용한 InGaAs/GaAs 자발형성 양자점의 Intermixing

이정호 · 박세기 · 현찬경 · 박영민 · 최원준* · 박용주

한국과학기술연구원 나노소자연구센터, 서울 130-650

김은규

한양대학교 물리학과, 서울 133-791

이종무 · 김현우

인하대학교 금속공학과, 인천 402-751

(2002년 4월 8일 받음)

상압 금속 유기 화학 증착법(APMOCVD: atmospheric metal organic chemical vapor deposition)을 사용하여 GaAs 기판 위에 자발형성 InGaAs 양자점을 성장한 후, SiN_x와 SiO₂의 유전체 덮개층을 이용하여 양자점에 대한 intermixing 효과를 연구하였다. 양자점의 intermixing은 N₂ 분위기에서 700 °C로 열처리 온도를 고정하고 시간의 변화를 주어 수행하였다. PL(photoluminescence) 측정을 통하여 자발형성 InGaAs 양자점을 intermixing 시킨 결과 열처리 시간의 증가에 따라 양자점의 발광 에너지가 190 meV까지 청색편이되고, 반치폭은 76 meV에서 47 meV까지 감소하며 세기는 증가함을 확인하였다. 특히 SiN_x-SiO₂ 유전체 덮개층을 사용하는 경우 SiO₂층을 사용하는 경우에 비해 PL의 세기는 2배 이상 크며 carrier 구속효과는 크게 감소시키지 않는 것으로 나타났다.

PACS numbers: 81.40.E, 73.20.D, 81

Keywords: 상압금속 유기화학 증착법, 자발형성 양자점, intermixing, 유전체 덮개층

I. 서 론

최근에 집적도를 높이고 전력 소모를 줄일 수 있는 양자소자에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중에서도 Stranski-Krastanow(S-K) 성장방법 [1]을 이용하면 자발적으로 형성되는 수십 nm 크기의 무결함 양자점을 만들 수 있다. 일반적으로 분자선 에피택시(molecular beam epitaxy)나 금속 유기 화학 증착법 (MOCVD: metal organic chemical vapor deposition)과 같은 방법을 사용해서 GaAs 기판위에 InGaAs [2]와 InAs [3]와 같은 물질의 양자점을 형성시킬 수 있다. 이러한 III-V족 반도체 양자점 형성 및 소자응용에 대한 연구는 현재까지 많은 보고가 되어지고 있다. 그 중에서 InGaAs 양자점을 이용하여 GaAs 기판상에 1.3 μm 대역의 광 통신용 반도체 레이저를 구현하고자 하는 연구도 활발히 진행되고 있다 [4]. 양자점을 이용하는 경우 낮은 문턱전류와 고출력 특성을 갖는 우수한 성능의 레이저 다이오드

를 만들 수 있다 [5,6]. 이러한 레이저 다이오드의 제작 시 밴드갭 구조를 변화시킴으로써 발광파장을 선택적으로 조절할 수 있는 후공정의 개발이 필요하여 무질서화 기술을 이러한 목적에 적합한 공정기술이다.

무질서화 공정은 소자 구조를 형성하는 각 원자들을 열적으로 활성화시켜 상호 혼합시킴으로써 밴드갭을 조절하는 기술로써 레이저 주입 무질서화 [7], 이온 첨가 무질서화 [8], 불순물 주입 무질서화 [9] 및 유전체 덮개 무질서화 [10-13] 등으로 구분할 수 있다. 이중 유전체 덮개 무질서화는 다른 방법들과 비교하여 공정중에 발생하는 결함이 적기 때문에 소자 제작에 가장 적합한 기술로 인식되고 있다 [14].

일반적으로 전자선 증착법 [15], 스퍼터법 [11], 플라즈마 화학 기상 증착법 [12, 16, 17]등의 방법을 사용하여 유전체 덮개층을 성장하는데 각 방법에 따라 생성된 SiN_x와 SiO₂의 특성이 달리 나타나게 되며, 각기 다른 박막의 특성은 무질서화 특성에 영향을 미친다. 많은 유전체 박막 성장 방법중 플라즈마 화학 기상 증착법은 다

*E-mail: wjchoi@kist.re.kr

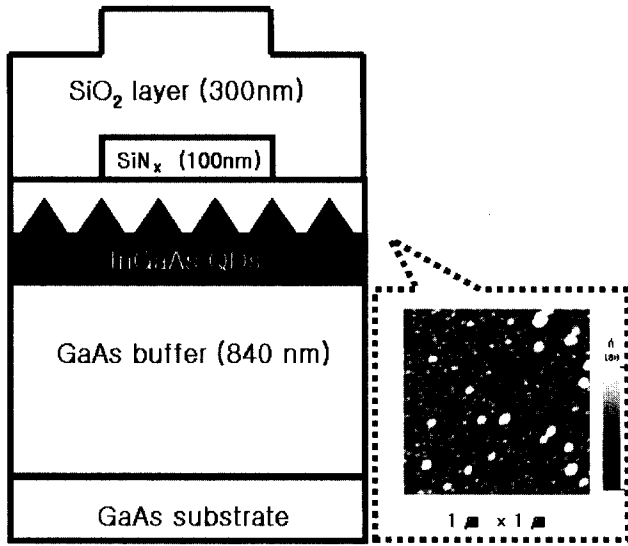


그림 1. 실험에서 사용한 SiO₂-SiN_x와 SiO₂ 양자점 시료의 구조와 양자점 모습에 대한 AFM 사진.

른 성장방법과 비교할때 저온 공정이 가능하고 좋은 고착성과 낮은 장력의 박막을 제공한다. 이런 점을 고려하여 본 연구에서 사용된 SiO₂ 및 SiN_x 박막 덮개층은 플라즈마 화학 기상 증착법을 이용하여 성장하였다 [14]. 본 연구에서는 유전체 덮개 무질서화에서 일반적용 사용되는 SiO₂박막에다 SiN_x박막을 이용한 이중 덮개 유전층을 성장시켜 국부적으로 밴드갭을 달리 조절할 수 있는 방법의 가능성에 대해서 조사하였다. 저온에서 플라즈마 화학 기상 증착법으로 형성된 SiO₂ 단일 덮개층과 SiN_x-SiO₂ 이중 덮개층을 사용하여 InGaAs 양자점의 무질서화 정도와 대역폭의 조정가능성에 대해 비교하여 논하였다.

II. 실험방법

자발적 성장을 유도하는 S-K 성장방법을 이용한 상압 급속 유기 화학기상 증착법으로 GaAs 기판 위에 InGaAs 양자점을 성장하였다. 이때 Ga의 원료로는 TMG(trimethylgallium), In 원료로는 TMI(trimethylindium), As의 원료로는 AsH₃ 가스를 사용하였다. 먼저 GaAs 기판위에 650 °C에서 GaAs buffer층을 성장한 후 530 °C에서 In_{0.5}Ga_{0.5}As 양자점과 120 nm 두께의 GaAs 덮개층을 성장하였다. 덮개층으로 사용되는 유전체 박막은 실란(SiH₄), 암모니아(NH₃), 질소(N₂), 일산화 질소(N₂O)를 원료로 사용하여 플라즈마 화학기상 증착법으로 성장하였다. 유전체 박막의 성장온도는 200 °C 에서 300 nm 두께의 SiN_x

박막을 성장시킨 후 사진석화법(photolithography)으로 시료상에 SiN_x를 일부 남겨놓은 후, 100 nm 두께의 SiO₂를 성장하여 상부층에 SiN_x-SiO₂와 SiO₂의 두 종류의 유전체 덮개층을 만들었다. 그림 1은 실험에 사용된 기판 및 유전체 덮개층의 개략적인 구조를 보여준다. Intermixing을 위한 시료의 열처리 온도를 700 °C로 고정한 후 질소가스 분위기하에서 1~4분간 실시하였다. 열처리된 시료의 PL측정은 유전체 박막층을 제거하지 않고 수행되었으며, 514 nm 파장의 Ar⁺ laser가 여기원으로 사용되었다. 이때 여기광원 출력밀도는 140 W/cm²로 고정되었으며, N₂ cooled-InGaAs 검출기가 사용되었다.

III. 실험결과 및 토의

유전체 덮개층이 증착된 시료의 intermixing을 위한 개략도를 그림 1에 나타내었다. 자발형성 양자점의 전형적인 AFM(atomic force microscopy) 이미지는 그림 1의 오른쪽에 표시하였다. 양자점의 평균 밀도는 4.4×10¹⁰ cm⁻² 이고 종횡비(aspect ratio)는 0.2이며 시료 내에 형성된 양자점의 크기는 약 30 nm 이다. 그림 2는 열처리 시간에 따른 PL 스펙트럼을 나타낸 결과이다. 이때 as-grown과 as-deposited는 각각 유전층 덮개가 없는 상태와 유전체 덮개층이 증착된 시료를 의미하는 것으로 써 비교를 위해 함께 나타내었다. 그림 2(a)는 SiO₂의 단일 덮개층이 있는 영역의 결과이고, 그림 2(b)는 SiO₂-SiN_x의 이중 덮개층이 위치한 영역에서의 결과를 나타낸다. As-grown 시료의 양자점 관련 발광 파장 피크치는 1162 nm인 반면 as-deposited 시료에서 SiO₂ 단일층이 있는 경우 1207 nm, SiN_x-SiO₂ 이중덮개층이 있는 경우 1197 nm로 두 경우 모두 적색편이 됨을 볼 수 있다. 이는 유전체 덮개층을 시료표면에 증착한 후 유전체-반도체 계면에서 생성되는 strain이 양자점의 발광파장에 영향을 준 것으로 이해된다. 그림 2에서 보는 바와 같이 PL의 세기는 열처리시간의 증가에 따라 증가하여 3분간의 열처리에서 가장 컸고 이후 작아짐을 알 수 있다. 열처리 시간 3분까지 나타나는 PL 세기의 증가는 열처리에 의한 비방사성 결합의 감소에 기인하는 것으로 이해되며 [18], 3분보다 큰 열처리 시간에서의 PL 세기의 감소는 양자점 구조의 열화에 기인한 것으로 이해된다. 이러한 결과는 열처리 온도가 일정할 때 열처리온도의 증가에 따라 PL의 세기가 증가하다가 일정온도 이후에는 PL세기가 감소하거나 혹은 동일온도에서 열처리 시간의 증가에 따라 PL 세기가 감소한다는 Malik등 [18]의 보고와

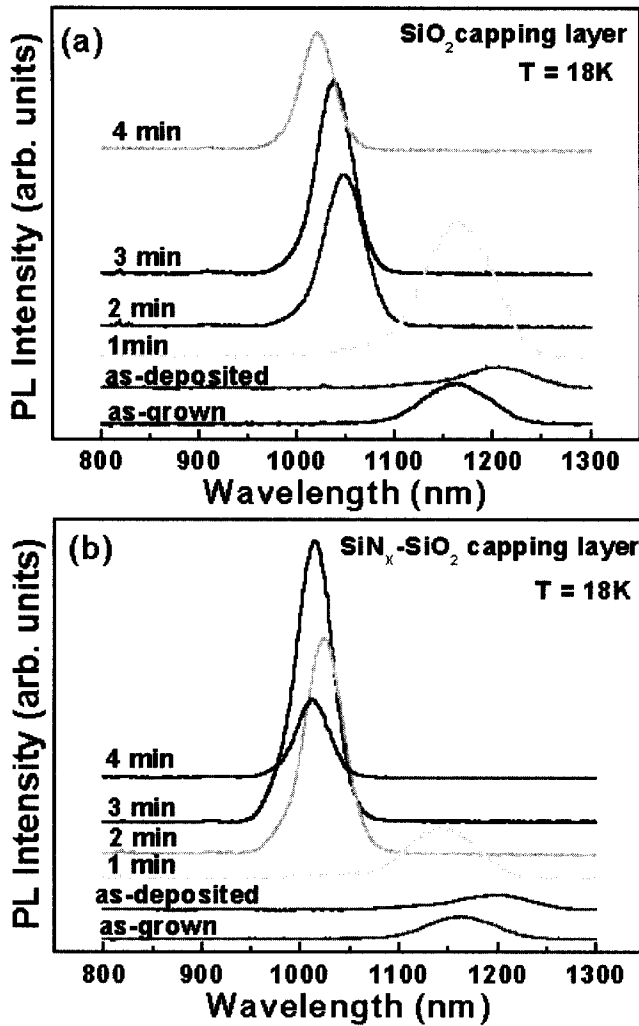


그림 2. 열처리 시간에 따른 PL 스펙트럼. (a) SiO₂ 단일 덮개층의 경우 (b) SiN_x-SiO₂ 이중 덮개층의 경우.

일치된 결과이다. 양자점의 intermixing 정도를 지배하는 물리량은 In-Ga의 상호확산거리인데 이는 열처리 온도 및 시간의 함수이다 [14]. 본 실험의 결과와 Malik 등 [18]의 결과에서 판단컨대, 양자점의 구조에 따라 양자점의 최적 광특성을 결정하는 최적의 In-Ga 상호확산거리가 존재하며, 이에 따라 각각의 열처리온도에서 최적의 열처리시간이 존재하는 것으로 이해된다. 따라서 본 실험에 사용된 InGaAs 양자점의 경우 700 °C에서 3분간 열처리하는 것이 양자점의 광특성을 열화시키지 않으면서 양자점의 광특성을 최적화 할 수 있는 열처리 조건임을 알 수 있다. 그림 3은 열처리 온도에 따른 발광 피크와 반폭치를 보여준다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 SiO₂ 단일 덮개층이 있는 부분의 발광파장은 SiO₂-SiN_x 이중 덮개층보다 열처리시간에 따른 청색편이가 덜 일어나고 있음을 알 수 있다. 즉 동일한 양자점을 갖는 시료의 경우

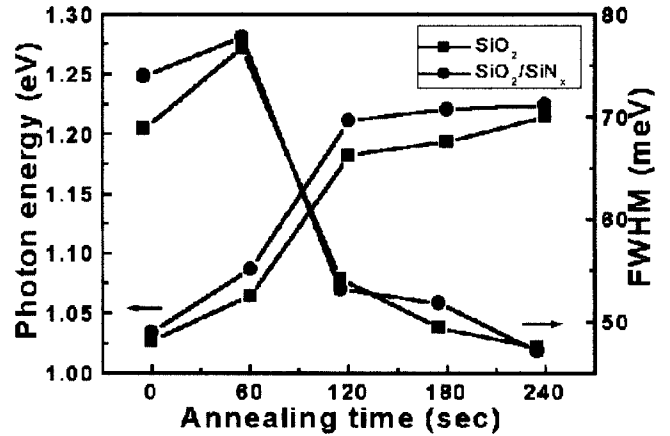


그림 3. 열처리 시간에 따른 발광에너지 및 반치폭의 변화모습.

유전체 덮개층의 종류와 intermixing 시간을 달리 함으로써 최대 발광 파장의 변화를 약 186 nm ($\Delta E \sim 189$ meV 에 대응) 까지 얻을 수 있다. 이 같은 결과는 intermixing 과정에서 InGaAs 양자점을 구성하고 있는 III족 원소인 Ga과 In이 GaAs 장벽층을 구성하고 있는 Ga 원소와의 상호 확산과정을 거치면서 InGaAs 양자점의 조성변화가 야기됨으로써 발생하는 것으로 볼 수 있으며, Ga-In 상호확산이 증가하는 경우 양자점의 In 성분이 적어지므로 양자점 발광파장의 청색편이량이 증가하게 된다 [14]. 따라서 그림 3에서 보여지는 유전체 덮개층의 종류에 따른 청색편이량의 차이는 유전체 덮개층의 종류에 따른 III족 원소의 상호확산차이에 기인한다고 이해할 수 있으며 본 연구 결과 SiO₂-SiN_x 이중 덮개층의 경우가 SiO₂ 단일 덮개층에 비해 III족 원소의 상호확산을 크게 함을 알 수 있다.

그림 3에서 보듯 PL의 반치폭은 열처리 시간의 증가에 따라 45 meV까지 35% 정도 감소함을 알 수 있다. 열처리시간의 증가에 따른 청색편이량의 증가 및 PL 반치폭의 감소결과는 다른 실험보고들과 [18-20] 매우 일치되는 결과로 양자점 크기 균일도의 향상이나 [21], 혹은 청색편이된 양자점들의 낮아진 구속준위에서 기인하는 작아진 발광 피크변이 때문으로 이해된다 [20]. 그림 4의 안쪽 그림은 1분간 열처리한 시료들에 대해 측정된 PL 세기 적분값의 Arrhenius plot을 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 SiO₂-SiN_x 이중 덮개층의 경우가 SiO₂ 단일 덮개층의 경우보다 PL 세기 적분치가 크므로 양자점 intermixing을 위한 상대적으로 좋은 유전체 덮개층이라 할 수 있다. 이는 SiN_x 덮개층이 SiO₂ 덮개층에 비해 상대적으로 적은 결함을 유전체-반도체 계면에 형성시켰기 때문으로 이해된다 [22].

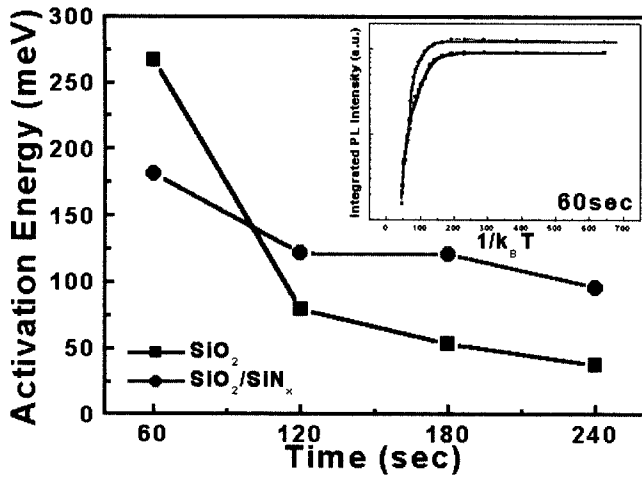


그림 4. 열처리 시간에 따른 활성화 에너지의 변화모습. 삽입그림은 60초로 열처리된 시료에서 PL의 온도변화를 나타낸 것이다.

그림 4는 PL 세기 적분치의 Arrhenius plot에서 얻어진 각 시료들의 활성화 에너지 값을 나타낸 것이다. 활성화 에너지(E_a)는 아래의 식 [23]을 사용하여 구하였다.

$$I = \frac{I_0}{(1 + n_1 \exp\left(\frac{-E_a^1}{k_B T}\right) + n_2 \exp\left(\frac{-E_a^2}{k_B T}\right))} \quad (1)$$

이때 I_0 는 처음 측정된 규격화된 PL 강도이고 k_B 는 Boltzman 상수이며, T 는 측정온도이다. n_1 과 n_2 는 상수이다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 열처리 시간에 따른 활성화 에너지는 전체적으로 감소하는 경향을 보이고 있으며 유전체 종류에 따라 차이가 나타남을 알 수 있다. SiO₂ 단일 덮개층의 경우 intermixing 정도의 증가에 따라 활성화 에너지의 변화가 266 meV에서 37 meV로 큰 감소를 보이는 반면 SiO₂-SiN_x 이중 덮개층의 경우는 180 meV에서 95 meV로 그 감소폭이 SiO₂ 단일 덮개층에 비해 1/3 정도에 불과하다. 이같은 활성화 에너지의 감소현상은 intermixing 결과 달라진 양자점의 조성변화 등에 기인하는 낮아진 구속준위의 영향으로 볼 수 있으나 추가적인 요인 즉, 유전체-반도체 계면간 결합 생성과 관련된 영향도 간과 할 수 없는 것으로 이해된다.

양자구조의 intermixing 기구는 유전체-반도체 계면 특성에 따라 영향을 받는 것으로 보고되고 있다 [20, 24]. Pepin등 [22]에 따르면 열처리 공정에 의해 SiO₂-GaAs 계면사이의 결합 발생 확률이 SiN_x-GaAs 계면에 비해 높으므로 계면의 결합 생성이 양자점의 intermixing 공정에 큰 영향을 미치는 것으로 이해된다.

특히 이러한 유전체-반도체 계면에서의 결합 생성은 이중 덮개층을 사용할 때의 strain 완화 효과로 이해할 수 있다. 실험에 사용된 SiO₂, SiN_x 유전층과 반도체의 열

팽창 계수들은 각각 1.32×10^{-8} m/K, 7.11×10^{-8} m/K, 1.74×10^{-7} m/K 이다. 따라서 SiO₂ 단일 유전층인 경우 GaAs에 비해 상대적으로 팽창계수가 작기 때문에 열처리 시 GaAs시료 표면에 압축응력이 유기되고 SiO₂박막에는 인장응력이 유기된다. 이 같은 thermal strain 차이로 SiO₂-반도체 계면에는 결함들이 생성되어 양자점으로 전파되고 결과적으로 carrier 구속효과를 감소시켜 활성화 에너지가 작아지는 것으로 이해된다. 이에 비해 SiN_x-SiO₂ 이중구조 유전층인 경우 SiN_x막이 SiO₂막보다 팽창계수가 크므로 SiO₂와 GaAs의 팽창계수 차이에 완충역할을 하게 될 것이다. 따라서 시료의 표면에는 SiO₂인 경우보다 다소 작은 변형이 발생하게되어 이로 인한 defect 생성이 적게 됨으로 carrier 구속효과에 큰 영향을 주지 않아 활성화 에너지는 SiO₂보다 큰 값을 유지하게 된다. 따라서 SiO₂ 덮개층의 경우 열처리 시 반도체와의 계면에 SiN_x보다 많은 결함을 유기함으로써 보다 많은 결함이 열적 확산을 통해 양자점 구조에 침투하게 하고, 이에 따라 양자점에 구속된 carrier들이 쉽게 결함을 통해 열 방출되게 함으로써 상대적으로 활성화 에너지의 감소가 큰 것으로 이해된다. 이에 반해 SiO₂-SiN_x의 경우는 SiN_x와 반도체 계면에 결합의 발생이 억제되므로 intermixing정도가 증가하더라도 활성화 에너지의 감소량이 적은 것으로 이해된다.

일반적으로 SiO₂-유전체 덮개층을 사용한 경우 Ga 같은 원소의 상호 확산이 원활하게 일어나서 intermixing을 촉진하는 반면 SiN_x의 경우는 III족의 상호확산이 억제되어 상대적으로 intermixing이 어려운 것으로 알려져 있다 [22]. 하지만 일반적으로 SiO₂ 덮개층이나 SiN_x 덮개층을 사용한 경우 덮개층의 두께가 증가할수록 intermixing의 정도가 증가하는 사실이 잘 알려져 있다 [14]. 따라서 본 연구의 결과인 SiO₂-SiN_x 이중 덮개층이 SiO₂ 단일 덮개층에 비해 상대적으로 큰 청색편이를 유기한 이유는 SiO₂-SiN_x 이중 덮개층의 총 두께가 SiO₂ 덮개층보다 100 nm정도 두껍기 때문이라 이해된다. 결과적으로 SiO₂와 SiN_x 각각의 단일 덮개층을 사용하지 않고 SiO₂와 SiO₂-SiN_x 같은 단일 및 이중 덮개층을 이용하는 경우 효과적으로 양자점의 국부적 intermixing이 이루어짐을 확인하였다.

따라서 유전체 덮개층과 GaAs 반도체간 계면 특성을 열화시키지 않고 intermixing을 효과적으로 수행하기 위해서는 SiO₂/SiN_x/GaAs 구조가 바람직하다고 이해되며 SiO₂ 단일 덮개층과 SiN_x-SiO₂ 이중 덮개층의 적절한 조합을 통하여 양자점을 이용한 발광소자의 파장 변조가 가능할 것으로 생각된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 MOCVD 방법으로 성장한 InGaAs 양자점 구조에 대한 유전체 덮개 양자점 intermixing 공정에 관한 연구가 수행되었다. 유전체 덮개층으로는 SiO₂ 단일구조 덮개층과 SiO₂-SiN_x 이중구조 덮개층이 사용되었으며, 700 °C에서 열처리시간의 변화에 따른 PL 특성이 조사되었다. 열처리 온도의 증가에 따라 양자점의 PL 피크는 청색편이하는 경향을, PL의 반치폭은 감소하는 경향을 보였으며, 4분간의 열처리에서 최대 190 meV의 청색편이와 35 %의 반치폭 감소를 나타냈다. PL의 세기는 열처리 온도의 증가에 따라 3분간 열처리할 때까지 증가되었으며, 특히 SiO₂-SiN_x 이중 덮개층의 경우가 SiO₂ 단일 덮개층의 경우보다 2배 이상 커졌다. 양자점의 열적 활성화 에너지는 intermixing의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였으나 SiO₂-SiN_x 이중 덮개층을 사용한 경우가 SiO₂ 단일 덮개층을 사용한 경우보다 2분 이상의 열처리조건에서 2배 정도로 커 상대적으로 carrier의 구속효과를 크게 감소시키지 않는 것으로 나타났다. 따라서 유전체 덮개층을 이용한 양자점의 intermixing 공정 시 SiO₂-SiN_x 이중 덮개층을 사용하는 것이 유용함을 알았다.

감사의 글

본 연구는 과기부의 극미세구조기술(중점국가) 연구개발 사업의 일환으로 이루어 졌으며 이에 감사드립니다. 또한 2002년 한양대학교 교내연구비의 일부 지원으로 수행되었음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

[1] I. N. Stranski and Von L. Krastanow: *Wiss. Lit. Mainz, Math-Nature*, K1, 11b, **146**, 797 (1939).
 [2] F. Heinrichsdorf, A. Krost, M. Grundmann, D. Bimberg, A. Koxogov and Wenner, *Appl. Phys. Lett.* **68**, 3284 (1996).
 [3] D. Leonard, K. Pord and P. M. Petroff, *Phys. Rev.* **B50**, 1687 (1994).
 [4] Y. Arakawa and H. Sasaki, *Appl. Phys. Lett.* **40**, 939 (1982).
 [5] K. Kash, A. Scherer, J. M. Worlock, H. G. Craighead and M. C. Tamargo, *Appl. Phys. Lett.* **49**, 1043 (1986).

[6] R. P. Mirin, J. P. Ibbertson, K. Nishi, A. C. Gossard and J. E. Bowers, *Appl. Phys. Lett.* **67**, 3795 (1995).
 [7] C. J. McLeanm A. McKee, G. Lullo, A. C. Bryce, R. M. De La Rue and J. H. March, *Electron. Lett.* **31**, 1285 (1995).
 [8] J. E. Zucker, B. Tell, K. L. Jones, M. D. Divino, K. F. Brown-Goebeler, H. G. Joyner, B. I. Miller and M. G. Young, *Appl. Phys. Lett.* **60**, 3036 (1992).
 [9] R. L. Thornton, W. J. Bosby and T. L. Paoli, *J. Lightqave Technol.* **LT-6**, 786 (1988).
 [10] J. Y. Chi, X. Wen, E. S. Koteles and B. Elman, *Appl. Phys. Lett.* **55**, 855 (1989).
 [11] I. Gontijo, T. Krauss, J. H. Marsh and R. M. De La Rue, *IEEE J. of Quantum Electron.* **QE-30**, 1189 (1994).
 [12] W. J. Choi, S. Lee, Y. Kim, S. K. Kim, J. I. Lee, K. N. Kang, N. Park, H. L. Park and K. Cho, *J. Mat. Sci. Lett.* **14**, 1433 (1995).
 [13] D. Hofsteter, H. P.Zappe, J. E. Elper and P. Riel, *IEEE Photon. Technol. Lett.* **PTL-7**, 1022 (1995).
 [14] W. J. Choi, *Semiconductor Quantum Wells Intermixing* (edited by E. Herbert Li, 2000), p. 443.
 [15] K. D. Ralston, S. O'Brien, G. W. Wicks and L. F. Eastman, *Appl. Phys. Lett.* **52**, 1511 (1988).
 [16] D. G. Deppe, L. J. Guido, N. Holonyak, Jr. K. C. Hsieh, R. D. Burnham, R. L. Thornton and T. L. Paoli, *Appl. Phys. Lett.* **49**, 510 (1986).
 [17] W. J. Choi, J. I. Lee, I. K. Han, K. N. Kang. Y. Kim, H. L. Park and K. Cho, *J. Mat. Sci. Lett.* **13**, 326 (1994).
 [18] S. Malik. C. Robert, R. Murray, *Appl. Phys. Lett.* **71**, 1987 (1997).
 [19] D. Bhattacharyya, A. S- Helmy, A. C. Bryce, E. A. Avrutin, J. H. Marsh *J. Appl. Phys.* **4619**, 88 (2000).
 [20] R. Leon, Y. Kim, C. Jagadish, M. Gal, J. Zou and D. J. H. Cockayne, *App. Phys. Lett.* **69**, 1888 (1996).
 [21] R. Leon, S. Fafard., D. Leonard, J. L. Mertz and P. M. Petroff, *Appl. Phys. Lett.* **67**, 521 (1995).
 [22] A. Pepin, C. Vieu, *Semiconductor Quantum Wells Intermixing* (edited by E. Herbert Li, 2000), p. 371.
 [23] D. Bimberg, M. Sondergeld and E. Grobe, *Phys. Rev.* **B4**, 3451 (1971)
 [24] K. Yoo, Y. Moon, T.-W Lee and E. Yoon, *J. Korean Phys. Soc.* **38**, 499 (2001).

Intermixing of InGaAs/GaAs Self-assembled Quantum Dots by a Using SiN_x and SiO_2 Dielectric Capping Layer

J. H. LEE, S. K. PARK, C. K. HYON, Y. M. PARK, W. J. CHOI and Y. J. PARK

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

Eun Kyu KIM

Department of Physics, Hanyang University, Seoul 133-791

Chong Mu LEE and Hyoun-Woo KIM

Department of Metallurgical Engineering, Inha University, Incheon 402-751

(Received 8 April 2002)

Intermixing effects of InGaAs SAQDs (self-assembled quantum dots) grown by using APMOCVD (atmospheric metal organic chemical vapor deposition) and covered with SiO_2 and SiN_x - SiO_2 dielectric capping layers were investigated. The intermixing of SAQDs was isothermally performed at 700°C by varying the annealing time under a N_2 -gas ambient. The PL measurement confirmed that, after thermal annealing, the emission energy of the SAQDs was blue-shifted by 190 meV, the full width at half maximum was narrowed from 76 meV to 47 meV and the PL intensity was increased. Compared to SiO_2 single capping layer the SiN_x - SiO_2 double capping layer was found to induce a bigger PL intensity and a better confinement after quantum-dot intermixing.

PACS numbers: 81.40.E, 73.20.D, 81

Keywords: AP-MOCVD, self-assembled, quantum dots, intermixing, dielectric capping layer