

InP(100) 기판 위에 MOCVD로 성장한 InAs Island의 Morphology 분석

윤석호, 문영부, 이태완, 윤의준

서울대학교 재료공학부, 반도체재료및공정실험실

1. 서론

양자점 구조는 이론적으로 우수한 광학적, 전기적 특성을 가진다.[1,2] 수십 nm 크기의 양자점 제작을 위해서는 현재의 사진 식각기술을 응용하기 어렵기 때문에, 최근에 변형층의 Stranski-Krastanow 성장모드(S-K 성장모드)를 이용한 직접 성장 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

특히 에너지 갭이 작은 InAs 양자점을 InP 기판 위에 성장할 경우 $1.3 \mu\text{m} - 1.5 \mu\text{m}$ 범위의 파장을 구현할 수 있으므로 광통신에의 응용이 가능하다. 또한 GaAs 기판을 사용한 경우보다 전자와 정공의 유효 질량(effective mass)이 각각 1.4, 2.3배 작을 것으로 예상되고, 에너지 레벨간의 간격이 커서 고온에서 광소자로서의 응용에 유리한 장점을 가지고 있다.[3] 그러나 InP 기판 위에 InAs를 성장할 경우 변형에 의해 촉진된 계면에서의 5족 원소 교환 [4] 때문에 안정적인 S-K 성장모드를 유지하기 힘들다. 이로 인해 GaAs 기판 위의 InAs 양자점 성장에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데 비해 InAs/InP(100)의 경우 MBE를 이용하여 성장한 결과[3]만 있을 뿐 MOCVD에 의한 유용한 결과는 없다. 본 실험에서는 InP(100) 기판 위에 MOCVD를 이용한 InAs 양자점 성장을 위해 성장 온도와 V/III ratio에 따른 표면 형상을 관찰하였다.

2. 실험 방법

반응기 압력 76 Torr, 온도 600°C 에서 InP 기판 위에 MOCVD로 InP 완충막을 2000 Å 성장하고 InAs 성장 초기에 5족 원료의 혼합을 방지하기 위해 PH_3 , AsH_3 을 각각 2초간 purge 한 후 InAs 층을 성장하였다. 성장 온도에 따른 표면 형상을 관찰하기 위해 온도를 550°C 와 600°C 으로 변화시키고, V/III ratio에 따른 표면 형상의 변화를 관찰하기 위해 각각의 성장 온도에서 V/III ratio를 30과 300으로 변화시켜 InAs 2원자층(ML)을 6초간 성장하였다. 성장 속도는 모든 성장 조건에서 1.042 Å/sec로 일정하게 유지하였다. InAs를 성장한 시편을 AFM (Atomic Force Microscope)로 측정하여 표면의 morphology를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

성장 온도 550°C , V/III = 300 에서 InAs를 성장하면 평균 높이 14.8 nm ($\pm 15\%$), 평균 크기 99.6 nm ($\pm 9\%$)의 균일한 크기 분포를 갖는 island가 생성되었다. 동일한 V/III ratio에서 성장 온도가 600°C 일 때 생성된 island들은 평균 높이 47.3 nm, 평균 크기 202.2 nm로 부분적으로 island가 합체된 비정상적인 표면 형상을 나타내었다. 온도가 증가함에 따라 In 원자의 표면 확산 거리가 크게 증가되어[5] 독립적으로 생성되던 island의 크기가 증가하고 일부는 합체된 것으로 생각된다.

600°C에서 AsH₃ 유량을 낮추어 V/III ratio를 30으로 유지하면서 성장하면 평균 높이 16.8 nm ($\pm 19\%$), 평균 크기 102.5 nm ($\pm 8\%$)의 island가 생성되었다. 일반적으로 V/III ratio가 증가하면 양이온의 표면 확산이 억제된다. 그러나 As의 양이 증가하면 InAs/GaAs 또는 InAs/InP와 같은 압축응력을 받는 변형층의 표면에 응력이 증가한다. [6] 이러한 원인에 의해 낮은 V/III ratio에서 응력에 의한 계면에서의 P-As 교환 반응이 억제되어 island의 크기가 감소한 것으로 볼 수 있다.

성장 온도를 550°C로 낮추고 AsH₃ 유량을 줄이면 (V/III ratio = 30) In 원자의 표면 확산 거리가 감소되고 P-As 교환 작용이 억제되어 평균 높이 4.2 nm ($\pm 15\%$), 평균 크기 82.2 nm ($\pm 10\%$)의 균일한 고밀도 (2×10^8 /cm²) 양자점이 성장됨을 확인하였다.

4. 참고문헌

1. M. Asada, Y. Miyamoto, and Y. Suematsu, IEEE J. Quantum Electron. **QE-22**, 1915 (1986)
2. Y. Arakawa and H. Sasaki, Appl. Phys. Lett. **40**, 939 (1982)
3. S. Fafard, Z. Wasilewski, J. McCaffrey, S. Raymond, and S. Charbonneau, Appl. Phys. Lett. **68**, 991 (1996)
4. D. J. Tweet, H. Matsuhata, R. Shoida, H. Oyanagi, and H. Kamei, Proc. 7th IEEE Inter. Conf. on InP and Related Materials, 206 (1995)
5. G. S. Solomon, J. A. Trezza, and J. S. Harris, Appl. Phys. Lett. **66**, 991 (1995)
6. A. Madhukar, Q. Xie, P. Chen, and A. Konkar, Appl. Phys. Lett. **64**, 2727 (1994)

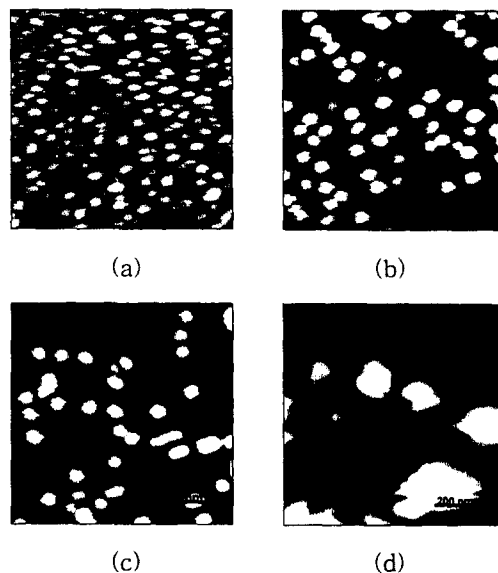


Fig 1. AFM image of 2ML InAs grown on InP
 (a) 550°C, V/III=30, (b) 600°C, V/III=30, (c) 550°C, V/III=300, (d) 600°C, V/III=300