

## MOCVD 로 성장한 InGaAs/GaAs 양자점의 성장 중지 기간에 따른 크기 변화

민 병돈†, 김 용, 김 은규, 민 석기, 박 만장†

한국 과학 기술 연구원 반도체 연구실, 130-650

† 고려대학교 물리학과, 136-701

### 1. 서 론

양자 점 (quantum dot) 은 단일한 물리적 현상과 그의 광전 소자에의 응용으로 인해서 요 근래에 많은 주목을 받고 있다<sup>[1]</sup>. 광전 소자에 응용되기 위해서는 dot 크기가 균일해야하며 밀도는 높아야 한다. 양자 점의 크기는 격자 부정합, 증착 온도와 V/III 비율 등과 같은 여러 가지 요소들에 의해서 결정된다고 알려져 있다. 그러나 우리의 실험 결과는 기판의 종류에 따라서 양자 점의 크기는 성장 중지 기간에 의해서 크게 좌우된다는 것을 보여준다. 여태까지 MOCVD 에서 성장 중지 기간의 중요성은 무시되어 왔다. 양자 점에 관한 최근의 연구에서 양자 점의 크기는 성장 중지 기간에 따라서 증가하며, wetting layer 로부터의 물질 이동 때문 이라고 알려져 있다<sup>[2]</sup>. 양자 점의 형성은 miscut angle 에 의해서 영향을 받는다고 알려져 있지만, 미사면(vicinal) 기판에서의 양자 점의 발생과 전개 과정에 대한 직접적인 관찰이 이루어지지 않았다.

이 논문에서는, exact 와 2° off (100) GaAs 기판에서 형성된 self- assembled InGaAs 양자 점의 성장 중지 기간에 대한 의존성을 ripening 과정의 관점에서 연구했다.

### 2. 실험

양자 점은 대기압 MOCVD 로 exact 와 2° off (100) GaAs 기판위에서 성장했다. 이때 사용한 물질은 Trimethylgallium (TMG), Trimethylindium (TMI), arsine (AsH<sub>3</sub>) 이다. TMG, TMI 와 AsH<sub>3</sub> 의 성장율은 1.25, 0.99 와 223.1  $\mu\text{mol/min}$  이다. H<sub>2</sub> 이송가스의 총 이송율은 5 l/min 이다. exact 와 2° off (100) GaAs 기판을 동시에 장입한 다음 기판의 탈산소화시키기 위해서 850 °C 에서 10분간 가열하였다. 그 다음에 GaAs 완충층을 650 °C 에서 0.7 ML/s 의 낮은 성장율로 100 nm 정도로 성장시켰다. GaAs 완충층이 성장된 후에, 470°C 의 온도에서 In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As 층을 성장시켰다. 이때의 In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As 층의 두께는 대략 5 ML 였다. 이 두께는 성장시간으로 16 sec 에 해당 하는 시간이다. In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As 층이 성장된 후에 성장을 멈추고 0 에서 1200 초 까지 온도를 유지시킨 다음 상온까지 온도를 내렸다. 이렇게 성장된 In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As 의 표면을 atomic force microscopy (AFM) 을 사용해서 측정했다.

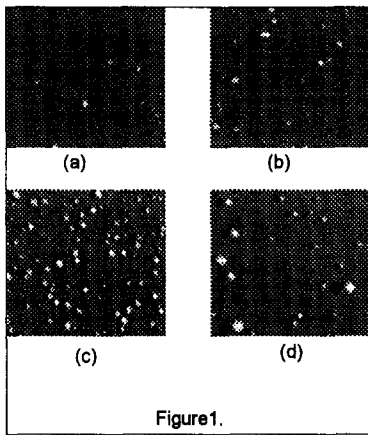
### 3. 결과 및 토의

그림 1 은 exact (100) GaAs 기판위에서 형성된 InGaAs 양자 점의 성장 중지 시간에 따른 형성 과정을 AFM 으로 측정한 결과이다. 성장 중지 기간이 0 sec 일 때(그림 1a), 양자 점의 밀도는  $-1 \times 10^9/\text{cm}^2$  이다. 성장 중지 기간이 60 sec 일 때(그림 1b), 양자 점의 밀도는  $-1 \times 10^{10}/\text{cm}^2$  으로 증가했다. AFM 모양에서 보듯이 작은 양자 점과 큰 양자점이 공존하는 모습을 알 수 있다. 성장 중지 기간이 300 sec 보다 길어질때는(그림 1c,1d) 양자점의 밀도는 감소하며 양자 점의 크기는 점점 증가한 것을 볼 수 있다. 이 현상은 Ostwald ripening 에 의해서 양자 점들이 점점 커지기 때문이다. 그림 2 는 2° off (100) GaAs 기판위에서 형성된 InGaAs 양자 점의 성장 중지 시간에 따른 AFM 모양을 나타낸 그림이다. 성장 중지 기간이 0 sec 일 때(그림 2(a)), 양자 점의 밀도는 exact 기판에서의 밀도와 거의 비슷한  $-1 \times 10^9/\text{cm}^2$  이다. 성장 중지 기간이 60 sec 일 때(그림 2b), 양자 점의 밀도는  $-3 \times 10^{10}/\text{cm}^2$  으로 증가했다. 이 수치는 성장 중지 기

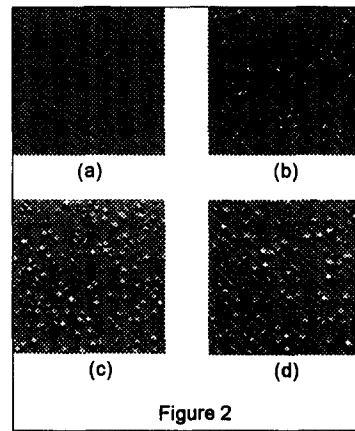
간이 600 sec 인 exact 기판에서 형성된  $1 \times 10^{10}/\text{cm}^2$  의 값보다 상당히 높은 값을 보여준다. 이것은 vicinal 표면에서 양자 점 형성이 보다 용이한 step 의 수가 훨씬 많기 때문이다. 성장 중지 기간이 300 sec 보다 길어질때는(그림 2c, 2d), exact 기판에서의 경우와는 달리 양자 점의 밀도는 감소하는 현상을 볼 수 없으며, 특히 양자 점의 크기는 더 이상 증가하지 않는 것을 알 수 있다. exact 와  $2^\circ$  off 기판에서 형성된 InGaAs 양자 점을 비교해 보면,  $2^\circ$  off 기판에서 형성된 양자점 들은 ripening 이 억제되는 것을 알 수 있다. 이 결과로부터, 적절한 기판과 성장 중지기간을 선택 함으로써 높은 밀도와 균일한 크기의 양자 점을 얻을 수 있을 것이라고 기대할 수 있다.

References

- [1] Y. Arakawa and H. Sakaki, Appl. Phys. Lett. 40, 939 (1982).
- [2] F. Heinrichsdorff, A. Krost, M. Grundmann, D. Bimberg, F. Bertram, J. Crysten, A. Kosogov, and P. Werner, J. Cryst. Growth 170, 568 (1997)



Exact (100) GaAs 기판위에서 형성된 InGaAs 양자점의 성장 중지 기간(a)0초 (b)60 초(c)600 초(d)1200 초에 따른 크기 변화



$2^\circ$  off (100) GaAs 기판위에서 형성 InGaAs 양자점의 성장 중지 기간(a) 0 초 (b)60 초 (c)600 초 (d)1200 초에 따른 크기 변화

본 연구는 KIST-2000 과제 및 과기처 미래원천 과제의 지원을 받아 이루어졌습니다.