

Al 산화막을 이용한 GaAs 양자우물의 intermixing

GaAs quantum well intermixing using an Al-oxide layer

김규상, 하경호, 한일영, 류한열, 이용희
 한국과학기술원 물리학과 미세광학실
 sloter@cais.kaist.ac.kr

공간적으로 밴드갭이 다른 양자우물은 저 손실 광 연결 (low loss optical interconnects)이나, 확장된 공진기 레이저 (extended cavity laser), 위상변조기 (phase modulator)등을 포함하는 많은 광소자에 사용되고 있으며, 부분적인 밴드 갭 조절을 위해서 웨이퍼를 재 성장시키는 방법과, 양자우물 intermixing을 이용하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 이 중에서 양자우물을 intermixing 하기 위해서는 이온 주입을 통한 disordering 유도(ion implantation induced disordering), 불순물을 이용한 disordering (impurity induced disordering), SiO₂, Si₃N₄ 또는 Al 산화막 등의 유전체 층(dielectric layer)을 이용한 disordering등이 사용된다. 특히 Al 산화막을 이용하는 방법은 Al 산화막이 AlAs를 산화시켜 만들어질 수 있으므로, AlGaAs 계열의 구조 성장 시 웨이퍼 내에 함께 제작될 수 있는 점 외에 변화시키고자 하는 양자우물에 근접시킬 수 있는 장점이 있다. 현재, Al 산화 층을 이용한 intermixing 은 InGaAs 양자우물에 대해서 만 ⁽¹⁾⁽²⁾ 보고되어 있다. 본 연구에서는 GaAs 양자우물 소자에서 Al 산화 층을 이용한 intermixing과 광방출(Photoluminescence, PL) 특성을 연구하였다.

MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition)를 이용하여, 표 1과 같은 구조로 성장된 GaAs/AlGaAs 웨이퍼를 리소그래피(lithography)한 후 CAIBE (Chemical Assisted Ion Beam Etching)로 식각하여 직경 50 μm인 정사각형 형태의 시료를 제작했다. 405 °C에서 AlAs층을 습식 산화시켜 Al 산화 층을 부분적으로 형성하였다 (그림 1). 이 후, 120초 동안에 850 °C, 900 °C, 950 °C의 온도로 각각 증가시킨 후, 0 초, 60 초, 120 초, 180 초, 240 초 동안 유지하여 양자우물을 intermixing하였다.

180초 동안 950 °C를 유지하는 RTA (Rapid Thermal Annealing, RTA)를 한 후의 상온 PL 스펙트럼이 그림 2에 나타나있다. 양자우물로부터의 PL은 파장이 6328 Å인 He-Ne laser를 사용하여 측정하였다. AlAs 아래의 양자우물과 Al 산화막 아래의 양자우물은 각각 200 Å, 375 Å의 PL peak 이동이 일어났음을 볼 수 있다. 이것은 RTA만으로도 양자우물의 intermixing이 일어날 수 있음을 말하며, Al 산화 층이 intermixing을 더욱 촉진하는 역할을 한다는 것을 의미하는 것이다.

이러한 intermixing 효과는 GaAs 양자우물을 RTA한 경우, 양자우물의 외각 부분에서 3족 화합물인 Ga과 Al이 상호 확산되어 직사각형 양자우물 외각이 곡선형 우물 형태로 변화가 일어나기 때문이며, 이는 결과적으로 밴드갭의 청색변위(blue shift)로 나타나게 된다⁽³⁾. 이때 유전체 박막 층은 3족 원소들의 상호확산을 촉진시켜, 양자우물의 intermixing을 강화시킨다고 알려져 있다⁽⁴⁾. Intermixing에 의한 밴드갭 증가는 지속시간의 증가와 RTA 온도가 증가할수록 더욱 커지는 경향을 가지며, 950 °C에서 240초 간 RTA한 경우 103 meV까지 PL peak이 이동하였다. 이러한 경향은 유전체 박막을 사용하여 intermixing한 결과와 상당히 유사하다⁽⁴⁾. Al 산화막 영역에서 PL 세기가 AlAs 영역에서의 광 방출 세기에 비해 작음을 볼 수 있는데, Al 산화막과 AlGaAs의 경계면에서 비발광 결합 (nonradiative recombination)이 증가하기 때문이라고 생각된다⁽¹⁾. 시료를 RTA 할 때, 원하는 온도까지 도달하는데 걸리는 시간을 줄이면, 시료는 급속한 열팽창을 겪게되며, 이에 따라 시료 표면의 균열이나, 부풀어오름 등이 나타났다 반면에, 온도 증가 시간이 120 초 이상으로 늘어나게 되면, 이와 같은 시료의 열에 의한 손상은 크게 줄어든다. 그림 3은 950 °C로 열처리 할 때 유지 시간의 변화에 따르는 PL peak 이동을 에너지 변화량으로 나타낸 그래프이다.

본 실험에서 사용한 방법은 이미 성장된 웨이퍼에 유전체 박막을 사용하는 기존의 방법과는 달리,

유전체 박막으로 사용할 AlAs 층을 GaAs 양자우물이 포함하는 웨이퍼의 제작 시 함께 성장시키며, 추 후에 이를 습식 산화시켜 Al 산화막으로 만드는 것이다. 이러한 방법은 박막을 다시 제작하는데서 오는 웨이퍼 표면의 손상을 막을 수 있으며, 양자 우물과 Al 산화막과의 거리를 줄일 수 있다는 장점도 함께 가지고 있다. 이러한 Al 산화막을 이용하여 GaAs 양자 우물의 intermixing을 강화시켰으며, RTA 온도와 시간에 따른 양자우물의 PL peak의 변화 양상도 함께 관측하였다. 이러한 방법은 공간적으로 intermixing되는 영역을 보다 정밀하게 결정할 수 있으며, 전하의 확산을 이차원적으로 제한하는 등에 이용 가능하리라고 예상된다.

참고문헌

1. Chao-Kun Lin, Xingang Zhang, P. Daniel Dapkus, and Daniel H. Rich, "Spatially selective disordering of InGaAs/GaAs quantum wells using an AlAs native oxide and thermal annealing technique", Appl. Phys. Lett. 71(21) 3108, (1997)
2. Joong-Seon Choe, Sang-Wan Ryu, Byung-Doo Choe, H. Lim, "Effects of wet oxidized AlGaAs layer on the interdiffusion of InGaAs/GaAs quantum wells" J. Appl. Phys. 83(11), 5779 (1998)
3. A. Saher Helmy, J. S. Aitchison, and J. H. Marsh, "The kinetics of intermixing of GaAs/AlGaAs quantum confined heterostructures", Appl. Phys. Lett. 71(20), (1997)
4. O. P. Kowalski, C. J. Hamilton, S. D. McDougall, I. H. Marsh, A. C. Bryce, etc. , "A universal damage induced technique for quantum well intermixing", Appl. Phys. Lett. 72(5), (1998)

층	Al _x Ga _{1-x} As	두께 (Å)
9	GaAs	30 Å
8	Al _x Ga _{1-x} As (x=1.0→0)	150 Å
7	AlAs	568 Å
6	Al _x Ga _{1-x} As (x=0.6→1.0)	136 Å
5	Al _{0.1} Ga _{0.9} As	849 Å
4	Al _{0.3} Ga _{0.7} As	100 Å
3	GaAs	70 Å
2	Al _{0.3} Ga _{0.7} As	2500 Å
1	GaAs	3000 Å
0	GaAs	

표1. GaAs/AlGaAs Q.W. 층의 구조

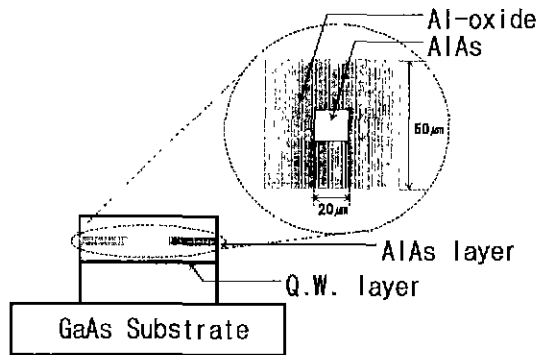


그림1. AlAs 층을 습식 산화시켜 부분적으로 Al-oxide층을 형성한 구조.

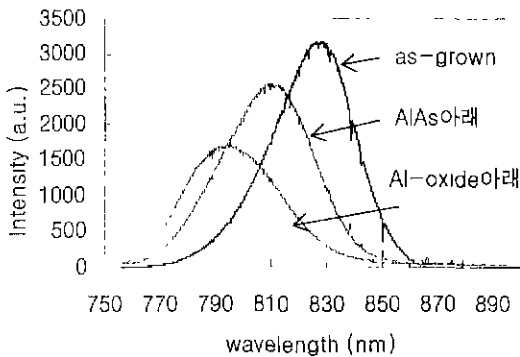


그림2. 950 °C 180초 동안 RTA하여 각각의 위치에서 PL 측정된 그래프.

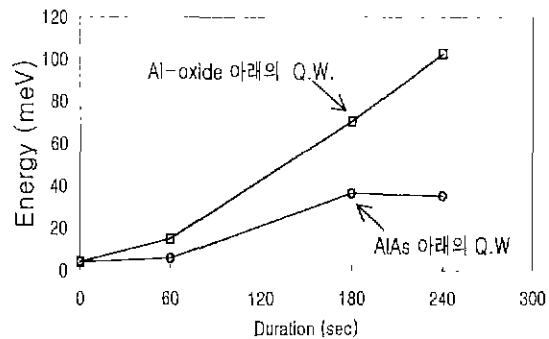


그림3. 950 °C 에서 열처리 시간 변화에 따른 PL peak shift를 상대적인 에너지 변화로 나타낸 그래프.

