

## 변형량이 걸린 반도체 이종 접합 구조에서의 성장 방식 변화에 대한 투과 전자 현미경 연구 방법

### Investigation method of the growth mode transition in a strained semiconductor heterostructure by transmission electron microscopy

임영수, 이정용

한국과학기술원 재료공학과

#### Abstract

GaAs 위에 증착된 ZnTe 박막의 계면 구조를 투과 전자 현미경을 이용하여 관찰하였다. 2-빔 조건을 사용하여 관찰된 계면에서 모아레 줄무늬가 관찰되었으며, 이러한 모아레 줄무늬의 생성원리를 규명하였다. 또한 고분해능 투과 전자현미경상으로부터 얻어진 결과와 비교하여 ZnTe의 성장방식 전이 및 섬 구조를 가지는 ZnTe 박막의 여러 가지 구조적 성질들 - 섬의 크기, 변형량,  $60^\circ$  전위의 분포 등 - 에 대해 밝혔다. 이러한 결과들은 큰 변형량이 걸린 반도체 이종 접합 구조의 해석에 일반적으로 적용될 수 있다.

반도체 이종 접합 구조에 대한 연구는 과학적인 측면뿐만 아니라 실용적인 측면에서도 매우 중요한 분야로 많은 연구가 되어져 왔다. 이종 접합 구조는 박막과 기판의 격자 상수의 차이가 클 경우, 3차원 섬성장 방식을 따르며, 변형량 에너지의 감소를 위하여 계면에서 계면 전위, 적층 결함등의 결함을 생성시킨다. 따라서 좋은 품위의 반도체 이종 접합 구조를 얻기 위하여 반도체 박막의 성장 방식에 대한 연구는 대단히 중요하다.

본 연구에서는 이러한 반도체 이종 접합 박막 구조에서 성장 방식 변화에 대한 연구를 수행하였으며, 섬 성장 방식을 따를 경우 모아레 줄무늬를 이용한 섬의 구조적 성질에 대한 연구 방법을 제시한다. 이를 위하여 GaAs 기판 위에 증착된 ZnTe 층의 계면 구조를 투과 전자 현미경으로 관찰하였다.

실험에 사용된 ZnTe 박막은 GaAs(001) 기판 위에 온도 구배 기상 전달 증착법 (temperature-gradient vapor-transport deposition) 방법으로  $330^\circ\text{C}$ 에서  $3.7 \mu\text{m}$  증착하였으며, 투과 전자 현미경 관찰은 액체 질소 온도에서 argon 연마 후, JEOL 사의 JEM 2000EX

를 사용하여, 200kV의 가속 전압으로 수행하였다.

그림 1은 ZnTe/GaAs 계면을 (a) (220) 및 (b) (222) 2-빔 조건에서 관찰한 사진들이다. 이 사진에서 모아레 줄무늬가 계면으로부터 15nm 두께까지 관찰되며, 각각의 줄무늬들은 다양한 방향을 가지고 존재한다. 그런데 (220) 2-빔 조건에서는 이월드 구가 <001> 축을 중심으로 회전하므로 ZnTe 결정과 GaAs의 결정이 정대축에서 서로 겹쳐 존재할 수가 없게 된다. 따라서 이러한 모아레 줄무늬가 ZnTe와 GaAs의 중첩에 의해 형성된 것이 아니라 서로 약간씩 다른 방향으로 존재하는 섬 성장방식으로 자란 ZnTe 결정이 중첩되어 관측된 것으로 생각할 수 있다.

7.9%의 큰 격자 부정합으로 인하여 GaAs 위에 형성된 섬 모양의 ZnTe에 걸린 변형량은 여러 종류의 계면 결함,  $60^\circ$  및  $90^\circ$  전위, 적층 결함등으로 해소될 수 있다. 최근, Partrache 등은 GaAs 위에 ZnTe를 성장시킬 경우, 3차원 성장방식을 따른다는 것을 보고하였으며, Han과 Zou는 ZnTe와 GaAs의 계면에 존재하는 다양한 종류의 결함을 관찰하여 보고한 바 있다. 이렇게 3차원 성장방식으로 자란 섬들은 휘어질 수 있는데, 이는  $60^\circ$  계면 전위와 밀접한 관련을 가진다. 이 전위의 계면에 수직한 방향을 가지는 잔류 백터 성분과, 두 종류의 서로 다른  $60^\circ$  전위의 분포차이는 각각의 섬을 [110] 과 [100] 축 방향으로 회전시킨다. 따라서 관측된 모아레 줄무늬는 ZnTe와 GaAs의 중첩에 의해 형성된 것이 아니라 서로 약간씩 다른 방향으로 틀어진 ZnTe 섬들의 중첩에 의한 것으로 여겨진다.

게다가 이러한 각각의 모아레 줄무늬에서 틀어진 방향이 동일한 것으로 보이는 영역이 존재한다. 이러한 영역들은 그림 1-(b)에서 화살표로 나타내었으며, 두 개의 화살표로 경계지어진 영역 내에서는 틀어진 방향이 동일하다. 따라서 이로부터 섬의 크기를 알 수 있으며, 각각의 섬의 크기가 동일하다고 가정하면 화살표로 경계지어진 영역의 2배가 바로 섬의 크기가 된다. 여기서 측정된 섬의 폭은 45 nm이다. 이 값들은 문헌에 보고되어진 값들과 매우 유사하며, 따라서 섬의 변형량 해소를 위하여 도입된  $60^\circ$  계면 전위들에 의한 섬의 틀어짐이 관측된 모아레 줄무늬의 원인임을 알 수 있다.

그런데, 이러한 모아레 줄무늬는 두께가 15 nm 될 때부터 소멸되어지며, 이는 이 두께 이상부터는 더 이상 ZnTe 섬 간의 중첩이 존재하지 않는다는 것을 보여준다. 이러한 모아레 줄무늬의 소멸은 섬의 병합과 관련이 있다. 3차원에서 2차원 성장방식으로의 변화는 이미 문헌에 보고된 바 있으며, 섬들간의 병합은 많은 면결함, 예를 들면 저각 입계, 상 경계 및 적층 결함, 등을 만든다.

그림 2는 이러한 계면의 고분해능 투과 전자 현미경 상으로 면결함들이 계면으로부터 15 nm 두께까지 존재하는 것을 확인할 수 있다. 이는 그림 1에서 모아레 줄무늬가 존재하는 영역과 동일하며, 이로서 3차원 성장 방식을 통해 자란 ZnTe 섬들의 병합 후에 2차원 성장 방식으로 ZnTe가 성장함을 확인할 수 있다. 이 결과는 그림 1의 모아레 줄무늬에서 얻은 결과와 동일하며, 따라서 GaAs 위에 증착된 ZnTe는 15 nm 까지는 섬성장 방식을 따르며, 그 이상의 두께에서는 2차원 성장 방식을 따름이 확인되었다.

그림 3-(a)와 (b)는 그림 1-(a)와 (b)에서 측정된 각각의 모아레 줄무늬의 각도분포이다. 정

확한 측정을 위하여 모아레 줄무늬가 관측된 전 영역에 걸쳐서 몇번을 반복하여 각도를 측정하였다. 그림 3-(a)에서는  $90^\circ$ 를 중심으로 양쪽에 2개의 피크가 나타나며, 전체의 평균값은  $90^\circ$ 였다. 이러한 피크가 관찰되는 이유는 두 종류의  $60^\circ$  전위가 섬을 서로 다른 양방향으로 회전시키기 때문이다. 또한 마찬가지로 3-(b)에서 측정된 모아레 줄무늬의 각도 분포에서도  $54^\circ$ 를 중심으로 피크가 존재하며 평균값 역시  $54^\circ$ 였다. 이러한 피크 역시  $60^\circ$  전위의 영향에 의한 것이다. 따라서 이러한 모아레 줄무늬의 분포로부터  $60^\circ$  전위의 분포를 알 수 있으며, 각도의 평균값이 각각의 면이 이루는 각도와 같으므로 이로부터 두 종류의  $60^\circ$  전위가 동수로 분포하고 있으며, 각각의 섬은 완전히 변형량이 해소된 상태임을 확인할 수 있다.



