

III~7] (초 청)

Reduction of Gap States of Ternary III-V Semiconductor Surface by Sulfur Passivation

서재명 전북대 물리학과

I. 서 론

GaAs나 InP 등의 복합화합물 반도체는 mobility 등의 전기적 성능이 Si에 비해 우수함에도 불구하고 구성하는 원소중 As이나 P 등의 Anion들의 불안정성으로 말미암아 Si에 비해 소자에 널리 응용되지 못하고 있는 실정이다. 특히 밴드의 휨(band bending)이 없는 절개된 GaAs 표면에 금속 원자를 입힐 때, 금속원자의 일함수에 관계없이 반도체의 갭내에 페르미 준위가 고정되는 이유에 대하여서는 매우 많은 실험이 행하여 졌음에도 불구하고 실험적인 사실들을 다 설명할 수 있는 정설이 존재하고 있지 않는 실정이다. 최근 이러한 복합 화합물 반도체의 표면을 황원소로 처리하고 금속원소를 입힐 때 반도체 갭내의 표면상태가 줄어들어 밴드의 휨(Band bending)의 크기가 줄어드는 현상이 계속 보고되고 있다.^[1] 이러한 현상의 기본원리는 갭내의 에너지 준위로 나타날 수 있는 원소들의 결합상태를 없애고, 황원자가 그 결합을 대신하게 하면서 이러한 새로운 결합상태의 에너지 준위가 갭내에 존재하지 않게 하는 것이다.^[2] 그러나 황처리할 경우 표면원자들의 종류에 따라 그 결합상태가 매우 다르고 또한 후열처리에 따라 그들의 결합상태가 변하므로 이 황처리 효과를 일반화시키기에 매우 어려운 실정이다.

본 연구에서는 표면 감도가 좋은 photoemission spectroscopy의 기법을 사용하여 LPE로 성장시킨 n-type의 $In_{0.5}Ga_{0.5}P$ 와 $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ 의 단결정 표면을 황처리하여 표면 밴드갭내의 상태가 줄어드는 것을 관찰하였고, 이때 표면의 원소들의 결합상태, 후열처리후의 황원소의 결합상태의 변화 등을 통하여 3종 화합물 반도체의 표면에도 황처리 효과가 있음을 확인하였다.

II. 실험방법

- (1) LPE로 성장시킨 시료의 표면을 유기세척하고 HCl로 etching한다.
- (2) 황이 농축된 $(NH_4)_2S_x$ 용액에 약 30분 두어 황처리를 한다.
- (3) 두꺼운 황의 효과를 보기 위해서는 N_2 로 불어 말려 초고진공에 넣거나, 얇은 황의 효과를 보기 위해서는 무색의 $(NH_4)_2S_x$ 용액에 행구고 N_2 로 불어 말려 초고진공에 넣는다. (이때 표면의 상태를 AFM으로 관찰하기도 한다.)
- (4) Photoemission spectroscopy의 기법으로 표면원소의 중심준위를 관찰한다.
- (5) 통전 가열후 같은 관찰을 반복한다.

III. 결과 및 고찰

얇은 황의 효과를 관찰한 결과, 최초로 황원자는 표면의 In과 Ga 원자들과 결합했으며 P 원자와는 거의 결합하지 않았다. 밴드의 휨은 Ar^+ -sputtering한 표면에 비해 0.6eV 가량 줄어 들었으며, 이는 표면에 있는 P-vacancy와 관련된 갭내의 상태가 황원자에 의해 소멸되는 것을 시사한다. 약 180°C로 후열처리하였을 때 황원자는 주로 Ga 원자 쪽으로 이동하였으며 표면에 남아있던 P 원자는 탈착되는 것을 알 수 있었다. 이때도 역시 0.1eV 가량 밴드의 휨이 추가적으로 줄어들었다. 이는 황원자가 표면의 In이나 Ga 원소중 열역학적으로 더 안정된 황화합물인 Ga sulfide를 형성하기 때문이며, 이러한 황원소의 재배치에 의해 갭내의 상태분포의 변화에 의한 추가적인 밴드의 휨이 줄어드는 것으로 이해되었다. 이러한 경향은 두꺼운 황의 효과에서도 일치하였다. 특히 공기중에서 처리했음에도 불구하고 산소나 탄소 등의 불순물을 거의 찾아 볼 수 없었음은 황처리된 InGaP 표면의 우수성을 증명하는 것이었다. 반면에 AlGaAs의 표면에 대하여는 이러한 표면처리 방법이 공기중에서 형성되었던 Al 산화물을 완전히 제거하지 못했음에도 불구하고, 황원자들은 초기에 Ga과 As 모두와 결합하고 있었다. 마찬가지로 180°C로 후열처리하였을 때 황원자는 As으로부터 Ga 쪽으로 이동하였고, As은 탈착되었다. 이때 밴드의 휨은 Ar^+ -sputtering한 표면에 비해 0.4 eV 가량 줄어들었으며, 이는 GaAs의 표면을 황처리하였을 때와 매우 비슷한 결과이었다.

IV. 결 론

2종 화합물 반도체에서와 마찬가지로 3종 화합물 반도체에서도 황원자에 의해 표면 상태가 줄어드는 것을 관찰되었다. 이는 주로 밴드갭내에 상태가 존재하지 않는 Ga-sulfide 화합물만 표면에 있는 경우 확인되었다. 또한 이러한 새로운 화합물은 표면에 국한되어 있고 또한 공기중의 불순물에 대하여 표면을 보호하는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] C. T. Sandroff et. al., Appl. Phys. Lett. 51, 439 (1987) ; H. Sugahara et. al., Surf. Sci. 242, 335 (1991).
- [2] T. Ohno and K. Shiraishi, Phys. Rev. B 42, 11194 (1990).