

LPE에 있어서 InP기판의 열손상 상태와 Melt Back 특성

Thermal Damages and Melt Back Characteristics of InP Substrate in the LPE Growth

조 호 성*, 오 종 환, 홍 창 희
한국해양대학 전자통신공학과

Ho-Sung Cho, Jong-Hwan Oh, Tchong-Hee Hong
The Department of Electronic Communication,
Korea Maritime University

Abstract

It has been shown that, above 600°C, a cover crystal is essential for protecting InP substrate from severe gas etching during soaking procedure and shown that the melt back rate of substrate crystal in In solvent is about 0.90 μm/sec at 635°C, 0.57 μm/sec at 615°C and 0.37 μm/sec at 595°C.

1. 서론

일반적으로 AlGaAs/GaAs 계의 GaAs 기판은 Gas Etch에 의한 표면의 손상은 거의 없으나 GaInAsP/InP계의 InP 기판은 In성분에 비해 P 성분의 증기압이 훨씬 크기 때문에 고온 중에서는 P 성분의 증발에 의해 InP 기판 표면에 손상이 생기게 된다. 따라서 이러한 기판의 손상을 줄이기 위하여 InP기판 위에 Cover Crystal을 덮고 Soaking을 한다. 그러나 Cover Crystal을 하더라도 온도가 높아짐에 따라 기판의 열손상은 피할 수가 없게 된다. (1)

본 연구에서는 LPE 방식에서 주로 사용하는 온도 범위 (500°C~670°C)에서 InP 기판의 열손상 상태를 파악하고, 아울러 이 열손상을 방지하기 위한 기판의 Melt Back 특성을 조사하여 결정성장 장치의 기초자료를 구하고자 하였다.

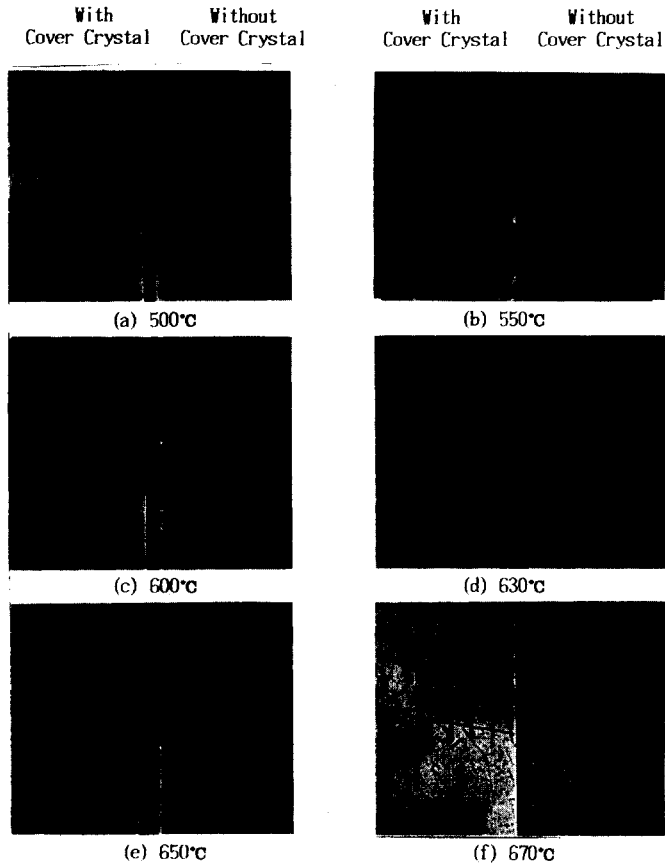
본 실험에서는 수직형 LPE장치를 손수 제작하여 사용하였다. 장치의 주된 동작특성으로서, 온도변화(Fluctuation)는 670°C에서 0.05°C이내이고, 최소냉각속도(Minimum Cooling Rate)는 0.15°C였다. 그리고 분 장치를 이용하여 각 온도에 따른 InP 기판의 열손상 상태에 대한 실험을 수행한 결과 600°C이상에서는 InP 다결정 Cover Crystal을 덮은 경우와 덮지 않은 것과의 차이가 현저하게 나타남을 알 수 있었다. 그리고 각 온도에서 InP 기판의 Melt Back 특성을 조사하였다. 그 결과 20초 이하로 Melt Back 하는 경우 635°C에서 약 0.90 μm/sec, 615°C에서 약 0.57 μm/sec, 595°C에

서 약 0.37 μm/sec의 속도로 Melt Back 됨을 확인 할 수 있었다.

2. InP기판의 열손상 상태

InP Wafer를 가로 7.5 mm, 세로 7.5 mm로 자르고 Cleaning을 한다. 그리고 흑연 Boat의 기판 자리(Substrate Holder)와 가상 기판자리(Dummy Substrate Holder)에 각각 준비된 기판을 넣고 한 쪽에는 InP의 다결정 Cover Crystal을 덮고 다른 쪽에는 덮지 않는다. 이것을 결정성장장치와 동일한 조건의 수소분위기에서 500°C, 550°C, 600°C, 630°C, 650°C, 670°C의 온도에 걸쳐 Soaking 시간인 40분 동안 둔다.

그림 (1)은 실험결과를 현미경으로 본 사진이다. 본 실험의 결과에서 보면 600°C 미만에서는 전체적으로 기판의 손상은 그렇게 심하지 않으며 또한 InP Cover Crystal을 덮은 경우와 덮지 않았을 때의 기판 열손상의 차이가 그렇게 크지 않다는 것을 알 수 있다. 그러나 온도가 높아짐에 따라 상당히 심하게 손상을 입고 있으며 Cover Crystal의 사용 여부에 따라 그 차이가 두드러지게 나타나는 것을 볼 수 있다. 특히, 650°C이상에서는 현저하게 차이가 나타난다. 따라서 이러한 열손상을 줄이는 데는 Cover Crystal의 역할이 대단히 중요하다는 것을 알 수가 있다. 그리고 Soaking 온도의 선택 또한 큰 영향을 미치게 된다. 결정성장장치 650°C이상에서 Soaking하는 경우도 있으나 상기 실험결과로부터 보면 670°C에서는 Cover Crystal을 덮어도 기판의 열손상이 상당히 심하게 일어난다. 따라서 650°C 이상에서 Soaking을 해야되는 경우에 있어서는 InP Cover Crystal의 상태 즉, 다결정과 다결정의 차이, 그리고 다결정의 윗 면과 아랫면의 차이 등에 관련하여 기판의 열손상 상태에 대한 고찰이 뒤따라야 할 것으로 생각된다.



* 각 사진의 왼쪽은 InP 다결정 Cover Crystal 을 덮은 경우이고 오른쪽은 덮지 않은 경우이다.

그림 1 InP 기판의 열손상 상태 (100X)

3. InP 기판의 Melt Back 특성

본 연구에서는 InP 기판의 표면 손상부위를 제거하기 위한 Melt Back 조건을 구하기 위하여 각각의 온도에서 Melt Back 시간에 따라 기판표면이 In용액 속으로 용해되어 들어가는 데 대한 이론 해석을 하고, 각각의 온도에서 시간별로 Melt Back을 행하였다. 그 결과를 이용하여 각 온도에서 Melt Back 상수(Melt Back Constant : K)와 Melt Back 율을 구하였다.

3.1 이론적 고찰

InP 기판표면이 In용액에 접촉되면 In용액 속으로 기판표면이 용해되어 용액인 In용액과 섞이게 된다. 그리고 이렇게 Melt Back 된 기판의 깊이를 측정하여 Melt Back 된 InP 양을 구하고 이 양으로부터 전체 In용액 중의 P 성분의 원자분율(Atomic Percent)을 계산할 수 있다.

이론해석에 있어서 편의상 기판표면이 8 mmφ로 (본 JPE 장치는 흑연 Boat 의 Melt Hole 이 8 mmφ로 되어 있음) 균일하게 Melt Back 되고 또한 In용액은 포화되어 있지 않는 것으로 가정하였다. 이러한 가정하에서는 InP 기판에 In용액이 접촉되어 In용액 속으로 P 성분이 용해되어 들어가는 반응속도와 접촉시간에 따른 In용액 중의 P 성분의 농도와의 관계는 다음 식과 같이 정의할 수 있다. (2)

$$dC_{(T)} / dt = K \{ C_{(S)} - C_{(T)} \} \dots \dots (3-1)$$

여기서 $C_{(T)}$: 주어진 온도 T에서 Melt Back 시간에 따른 In용액 중의 P 성분의 농도.

$C_{(S)}$: 주어진 온도 T에서 P 성분의 포화농도

K : Melt Back Constant

식 (3-1)을 C_{PT} 에 대하여 풀면 다음과 같다.

$$C_{PT} = C_{PS} (1 - e^{-Kt}) \quad (3-2)$$

그리고 이 식은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\ln(C_{PS} / (C_{PS} - C_{PT})) = Kt \quad (3-3)$$

여기서 C_{PT} 는 실험으로부터 Melt Back 되는 양을 측정하여 구할 수 있다. 그리고 포화농도 C_{PS} (At. % : 원자분율)는 문헌(3)으로부터 다음과 같이 얻을 수 있다.

635°C: 0.60 %, 615°C: 0.43 %, 595°C: 0.32 %

3.2 실험 및 결과

InP 기판을 준비하여 결정성장상와 동일한 과정으로 Cleaning하고 이 기판을 각각 595°C, 615°C, 635°C에서 1 gram의 In 용액으로 10초, 20초, 30초, 1분 동안 Melt Back 을 하였다. 그리고 기판의 Melt Back 된 깊이를 측정하여 In용액 중 P 성분의 원자분율을 구하고 이 값을 식 (3-2)에 대입하여 그림 (2)와 같이 Melt Back 시간에 따라 각 온도별로 표시하였다.

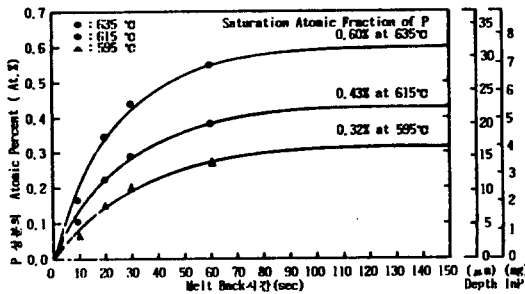


그림 2 Melt Back 시간에 대한 In용액 중의 P 성분 농도와 Melt Back 깊이, InP 무게와의 관계

그림 (2)는 Melt Back 시간에 대한 In 용액 중의 p 성분의 농도 C_{PT} 와 Melt Back 깊이, InP 무게와의 관계를 나타낸다. 본 실험에서 사용한 흑연 Boat의 Melt Hole 은 직경이 8 mm이므로 기판과 In 용액이 접촉되어 Melt Back 되는 부위는 기판표면에서 직경 8 mm의 크기로 내려 가게 된다. 따라서 여기서 얻어진 Melt Back 깊이로부터 P 성분의 농도 C_{PT} 와 InP의 무게를 구하여 그림의 좌우축 축에 나타내었다. 그리고 실험결과와 일치하도록 K 값을 각각 635°C에서 2.4/min, 615°C에서 2.0/min, 595°C에서 1.8/min로 근사시켜서 나타내었다. 그림 (2)에서 보면 Melt Back 온도가 높을 수록 시간당 Melt Back 되는 양은 증가하고 Melt Back 상수도 커진다는 것을 알 수 있다. 여기서 Melt Back 상수를 정확히 구하기 위하여 각각의 값을 식 (3-3)에 대입하여 온도에 따른 Melt Back 상수를 나타내면 그림 (3)과 같다. 이 그림으로부터 Melt Back 상수를 구하면 635°C에서 2.46/min, 615°C에서 2.10/min, 595°C에서 1.82/min이다.

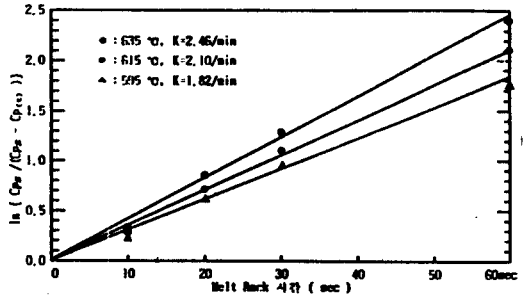


그림 3 각 온도에 따른 Melt Back 상수

한편, 그림 (2)에서 보면 Melt Back 시간을 20 초 이하로 하는 경우, 시간에 따른 Melt Back 을 거의 선형적으로 증가하지만 그 이상 증가시키면 포화농도에 가까워진다. 그리고 Melt Back 온도가 높을 수록 빨리 포화농도에 이르게 되는데 635°C의 경우 약 3분 이상 되면 거의 포화가 된다. 그림 (2)에서 Melt Back 시간을 20 초 이하로 하는 경우에 있어서 1 gram의 In용액으로 Melt Back 할 때 시간당 Melt Back 되는 길이 (직경 8 mm ϕ의 크기)를 구하면 635°C에서는 약 0.90 μm/sec, 615°C에서는 약 0.57 μm/sec, 595°C에서는 약 0.37 μm/sec로 되고 이것을 그래프로 나타내면 그림 (4)와 같이 된다.

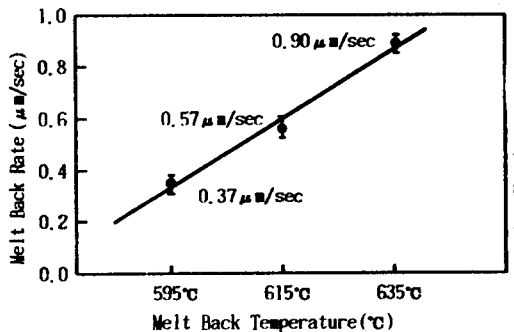


그림 4 온도에 따른 Melt Back Rate

그림 (4)에서 Melt Back 온도가 증가함에 따라 Melt Back Rate가 거의 직선적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러므로 고온에서 Melt Back 하는 경우 저온에 비하여 Melt Back Rate가 크기 때문에 시간을 짧게 하여도 양호한 기판표면을 얻을 수 있다. 일반적으로 Melt Back 시간이 길어지면 기판표면이 불균일하게 Melt Back 되므로 재현성 있는 결정성장을 하기가 어렵게 된다. 본

실험에서는 20초이상 Melt Back 한 경우에는 기판의 물리적인 손상부위나 Gas Etch된 곳이 깨끗하게 제거 되기는 하였지만 기판표면에 심한 물결 무늬가 관찰되었다. 따라서 Melt Back 시간을 20 초 이상으로 하는 경우에는 사진 검토가 있어야 할 것으로 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 LPE 방식에 있어서 결정성장의 기초자료를 얻기 위하여 수직형 LPE 장치를 이용하여 화합물반도체의 액상 성장에서 주로 사용하는 온도범위에서 InP 기판의 열손상 상태를 파악하였다. 그 결과 InP 기판의 열손상을 줄이기 위해서는 Cover Crystal의 역할이 대단히 중요하며 Soaking 온도의 선택 또한 상당히 큰 영향을 미치게 된다는 것을 알 수 있었다. 본 실험의 결과에서는 600 °C이상에서 기판의 열손상이 대단히 심하게 일어나는 것을 볼 수 있었고 특히 650 °C이상에서는 Cover Crystal 을 하더라도 상당히 많은 손상을 입는다는 것을 관찰할 수 있었다. 따라서 기판의 열손상을 줄이기 위해서는 Soaking 온도를 가급적 650 °C 이하로 하는 것이 좋다는 것을 알 수 있었다. 그리고 InP 기판의 Melt Back 실험을 하여 각 온도에서의 Melt Back 상수와 Melt back율을 구하였다. 635°C에서 Melt Back상수 K 는 2.46/min, Melt Back 율은 약 0.90 $\mu\text{m}/\text{min}$ (20초 이하로 Melt Back 하는 경우)였고 615 °C에서는 2.10/min, 약 0.57 $\mu\text{m}/\text{min}$, 595°C에서는 1.82/min, 약 0.37 $\mu\text{m}/\text{min}$ 로 각각 측정되었다.

Acknowledgement

이 연구는 한국과학재단의 연구비 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

- (1). G. P. Agrawal and N. K. Dutta, " Long-Wavelength Semiconductor Lasers " New York, Van Nostrand Reinhold Co. pp. 142~169, 1986.
- (2). Octave Levenspiel, "Chemical Reaction Engineering" New York, John Wiley & Sons, Inc., pp. 41-86, 1972.
- (3). H. C. Casey, JR, M. B. Panish, " Heterostructure Lasers " New York, Academic Press, pp. 72~150, 1978.