

---

# III-V 화합물 반도체 마이크로머시닝을 위한 InP를 기반으로 한 미세구조의 제조에 관한 연구

심준환\*, 노기영\*\*, 이종현\*\*\*, 황상구\*, 홍창희\*

## Fabrication of InP-Based Microstructures for III-V Compound Semiconductor Micromachining

Jun-Hwan Sim, Ki-Young Roh, Jong-Hyun Lee, Sang-Ku Hwang, Tchang-Hee Hong

### 요약

본 논문에서는 III-V 화합물 반도체 마이크로머시닝을 위한 InP를 기반으로 한 미세구조의 제조에 관하여 보고한다. InP/InGaAsP/InP 구조를 성장시키기 위하여 수직 LPE 시스템을 사용하였다. 성장된 InGaAsP층의 두께는  $0.4\mu\text{m}$ 이고, InP top-layer의 두께는  $1\mu\text{m}$ 이었다. InGaAsP 미세구조의 제조는 front-side 벌크 마이크로머시닝으로 이루어졌다. 실험결과에서  $\langle 100 \rangle$  방향으로 놓인 빔의 에칭이  $\langle 1\bar{1}0 \rangle$ 와  $\langle 110 \rangle$  방향에서의 에칭보다 더 빠르기 때문에 빔은  $\langle 100 \rangle$  방향으로 정렬되어야 함을 보였다.

### Abstract

In this paper, we report a fabrication of InP-based microstructures for III-V compound semiconductor micromachining. Vertical liquid phase epitaxy(LPE) system was used in order to grow the InP/InGaAsP/InP layers. The thicknesses of InP top-layer and InGaAsP were  $1\mu\text{m}$  and  $0.4\mu\text{m}$ , respectively. The fabrication of InGaAsP microstructures involves front-side bulk micromachining. The experimental result showed the beams must be carefully aligned in the  $\langle 100 \rangle$  direction since the etching of the beam in the  $\langle 100 \rangle$  direction is more faster than that of the beam in the  $\langle 1\bar{1}0 \rangle$  and  $\langle 110 \rangle$  direction.

---

\* 한국해양대학교 전자통신공학과

\*\* (주) 삼성전자 근무

\*\*\* 경북대학교 전자전기공학과

접수일자 : 2000. 10. 6.

## I. 서론

마이크로머시닝(micromachining)은 IC 공정기술에 의해 반도체 기판 위에 다양한 미세기계구조물을 제작하는데 있어서 매우 유용한 기술이다. 마이크로머시닝에는 여러 가지 도구, 재료, 방법들이 있지만, 이 분야에 종사하는 대부분의 연구자들은 주로 실리콘을 기반으로 한 연구를 대상으로 하고 있다. 현재까지 실리콘에서 마이크로머시닝의 적용기술은 기존의 집적회로 공정기술과 더불어 전자소자와 미세기계구조를 집적화 하는 수준까지 도달해 있다[1-3]. 최근의 MEMS(micro electro mechanical systems) 관련학회의 발표내용을 중심으로 연구 동향을 분석해 보면, optical MEMS 분야의 연구가 급격하게 늘고 있음을 알 수 있다[4-6]. 그러나, 실리콘을 기반으로 한 optical MEMS 기술은 광전자 소자(optoelectronic device)와 기계구조를 단일 칩 안에 집적화 할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 반면에 III-V 화합물 반도체, 즉 GaAs 및 InP는 집적화된 광전자회로를 제조하는데 사용되는 가장 일반적인 재료들이다. 따라서 GaAs or InP를 기반으로 한 마이크로머시닝은 광전자소자와 미세기계구조를 집적화 하는데 있어서 필수적인 기술이다.

III-V 화합물은 MEMS 및 MOEMS(micro opto electro mechanical systems)분야에서 기술적인 관점(마이크로머시닝에 있어서 큰 융통성과 정확성)과 고유한 특성(direct band-gap, piezoelectricity, heterostructure-based physical effects) 때문에 실리콘에 비해 많은 유용성을 제공한다[7-9]. 또한 III-V의 이종에피성장(heteroepitaxy growth)기술은 마이크로머시닝에 있어서 다양한 구조물의 두께와 스트레스가 잘 설정되어 있는 구조층을 제공한다. 더욱이 여러 층으로 이루어진 이종접합구조는 선택적인 에칭공정으로 몇 층으로 이루어진 다양한 미세구조의 제조를 가능하게 한다. 그리고 양자우물(quantum wells)과 같은 아주 미세한 구조물의 제조가 가능하며, 이종접합면이 수직적인 경계면을 가지기 때문에 원자층 단위 정도의 거칠기를 가지는 표면을 제공한다.

이러한 장점에도 불구하고 현재까지 MEMS 및 MOEMS 분야의 적용을 위한 III-V 화합물 반도체의

마이크로머시닝 공정개발 및 응용에 대한 연구가 거의 없었다. 이것은 대략 세 가지 정도의 이유에 의한 것으로 볼 수 있다. 첫째는 MEMS 분야가 실리콘 공정기술에서 출발했기 때문이다. 둘째는 III-V 화합물이 실리콘에 비하여 단위면적당 가격이 최소한 10배 정도로 비싸기 때문이다. 셋째는 III-V 화합물은 침전물(precipitates)과 같은 큰 결함(defects)의 높은 밀도, 낮은 경도(hardness) 및 fracture toughness에 의한 기계적인 내구성(endurance)이 실리콘에 비하여 떨어지기 때문이다. 그러나, III-V 화합물 반도체만이 가지는 특성이 필요하거나, 기존의 집적공정보다 더 편리한 공정, 패키징, 테스트에 의하여 시스템의 가격이 낮아진다면, III-V 화합물 반도체는 MEMS 분야의 응용에 훌륭한 재료가 될 것이다. 따라서 수년 안에 III-V 화합물 반도체 마이크로머시닝은 복잡한 광전자 소자의 개발에 필수적인 기술이 될 것이다. 특히, 정보통신 분야에서 III-V 화합물을 기반으로 한 마이크로시스템의 개발은 비용을 감소시킬 뿐만 아니라, 광대역 응용에서 fibre-to-house 개념을 가능하게 할 것이다.

III-V 화합물 반도체로 가장 많이 사용되는 재료는 GaAs와 InP이다. 그 중에서 InP 화합물 재료는 1.3-1.55 $\mu$ m 파장범위에서 GaAs 보다 현저한 이점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 LPE(liquid phase epitaxy) 장치[10]를 이용하여 InP/InGaAsP/InP 구조를 성장시키고, 이 구조를 가지고 선택성이 있는 에칭용액에서 미세구조 제조에 관한 연구를 수행하였다.

## II. 다중 이종접합구조의 결정성장

본 연구에서 다중 이종접합구조의 결정을 성장시키기 위하여 사용된 장비는 자체적으로 제작한 수직형 LPE 장치이다. 먼저 깨끗이 cleaning된 In, GaAs, InAs, 그리고 InP를 흑연보트에 삽입하고 성장용액의 불순물 제거 및 성장용액의 열 평형을 위하여 610 $^{\circ}$ C에서 3시간 이상 source baking을 하였고 이렇게 baking된 성장용액에 InP 기판과 cover를 넣고 성장을 시작하기 전에 성장용액을 균일하게 녹이면서 가능한 한 기판의 열 손상을 줄이기 위해 610 $^{\circ}$ C에서 40분간 soaking하였으며, 결정성장

직전 In용액으로 InP기판을 10초간 meltback하였는데 이는 610°C에서 soaking을 할 경우 cover crystal을 기판 위에 두더라도 기판은 다소의 열 손상을 입기 때문에 열 손상된 표면을 제거하기 위한 것이다[11]. 10초간의 meltback을 행한 후, InP buffer층을 약 0.5 $\mu\text{m}$  성장하였고, 이어서 미세구조가 되는 InGaAsP층을 40초간 성장하였다. 그리고 InGaAsP 에칭시 마스크 역할을 하는 InP top-layer를 40초간 성장하였다. 그림 1은 웨이퍼의 성장에 사용된 온도 프로그램을 나타낸 것이다. 그리고 이렇게 성장된 다중 이종접합구조가 그림 2에 나타나 있다. 그림 3은 결정 성장된 다중 이종접합구조의 SEM사진이다. 이때, 성장된 InGaAsP층의 두께는 0.4 $\mu\text{m}$ 이고, InP top-layer의 두께는 1 $\mu\text{m}$ 이었다.

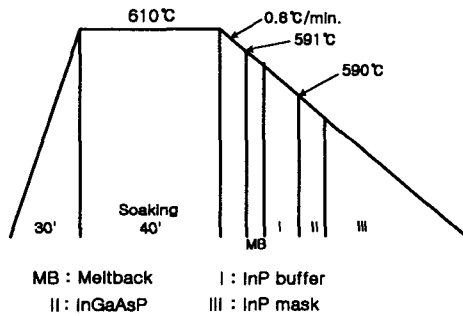


그림 1. 웨이퍼 성장을 위한 온도 프로그램  
Fig 1. Temperature program for wafer growth

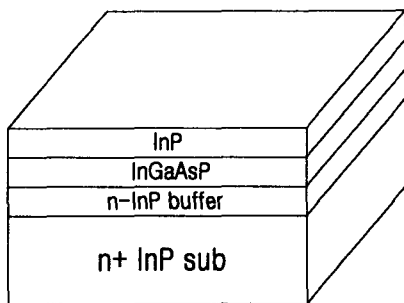


그림 2. 다중 이종접합구조  
Fig 2. The structure of multiple heterojunction

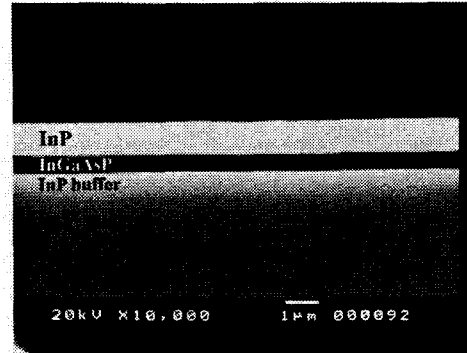


그림 3. 제작된 다중 이종구조의 단면 SEM사진  
Fig 3. Cross-sectional SEM photograph of the fabricated multiple heterostructure

### III. 미세구조 제조공정

그림 4는 미세구조 제조공정을 나타낸 그림이다. 성장된 InP/InGaAsP/InP 기판을 가지고 먼저 PR을 코팅한 후, 사진식각법으로 미세구조가 될 모양을 정의한다(그림 4(a)). 그리고 InP top-layer를 실온에서 HCl:H3PO4 = 1:4 용액에서 약 1분간 에칭을 하였다(그림 4(b)). 그 다음 아세톤으로 PR을 제거한 후, 메탄올 및 DI water에 세척한 다음 InP top-layer를 마스크 물질로 하여 미세구조가 되는 InGaAsP층을 H2SO4:H2O2:H2O = 1:1:10 용액에서 2분간 에칭 하였다(그림 4(c)). 마지막으로 InP buffer와 기판을 HCl:H3PO4 = 1:4 용액에서 약 30~60분간 에칭을 하여 미세구조를 형성하였다(그림 4(d)). 이때, InP top-layer는 완전히 에칭된다. 일반적으로 HCl:H3PO4와 H2SO4:H2O2:H2O 용액에서 InP와 InGaAsP의 에칭선택비는 수백배 이상인 것으로 알려져 있다[2]. 따라서, InP와 InGaAsP 층은 각각의 에칭용액에서 서로 완벽하게 구분되어 에칭이 일어나기 때문에 결정성장의 구조를 달리하면 두 층을 모두 미세구조의 재료로 사용할 수 있다.

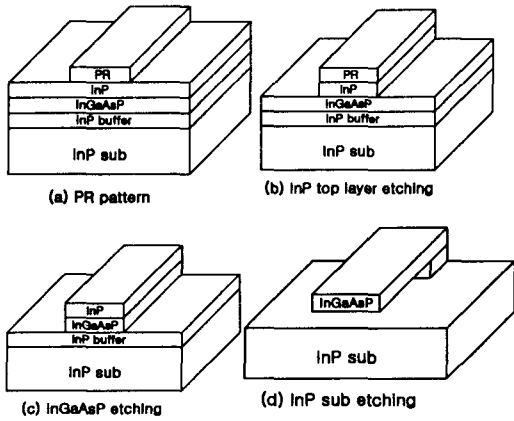


그림 4. 미세구조 제조공정도  
Fig 4. Fabrication process of the microstructure

#### IV. 결과 및 고찰

그림 5는 InP의 결정방향에 따른 에칭률을 조사하기 위하여 원모양의 패턴을 에칭한 것이다. 여기서 원의 직경은  $100\mu\text{m}$ 이며, 에칭시간은 60분이었 수 있을 것으로 생각된다.

다. 그림에서와 같이 각 결정방향에 따라 에칭률이 서로 다를 수 있고,  $\langle 100 \rangle$  방향이 가장 빠르며, 그 다음으로  $\langle 1\bar{1}0 \rangle$ ,  $\langle 110 \rangle$  순으로 나타나 있다. 이렇게 결정방향에 따라 에칭률이 다른 것은 InP의 결정구조가 zinc blend 구조이며, 단지 mirror symmetry를 나타내기 때문이다. 표 1은 각 결정방향에 따른 에칭률을 나타낸 것이다.

그림 6은 8개의 방향으로 제조된 빔의 SEM사진이다. 그림 6(a)는 길이가  $50\mu\text{m}$ 이고 폭이  $15\mu\text{m}$ 이고, 그림 6(b)는 길이가  $75\mu\text{m}$ 이고 폭이  $20\mu\text{m}$ 이다. 본 패턴은 InP의 각 방향에 대한 미세구조의 형성 가능성을 조사하기 위한 것이며, 이것을 위하여 원 중심에서 대칭적으로 8개의 방향으로 빔을 나열하였다. 이때, 빔이 놓여진 방향은 그림과 같이  $\langle 100 \rangle$ ,  $\langle 1\bar{1}0 \rangle$ ,  $\langle 110 \rangle$  방향이다. InP 기판의 수직 방향의 에칭깊이는 그림 6(a)가 30분 에칭시 약  $30\mu\text{m}$ , 그림 6(b)가 60분 에칭시 약  $60\mu\text{m}$ 였다. 이것으로부터 HCl:H3PO4 = 1:4 용액에서 수직방향의 에칭률은  $1\mu\text{m}/\text{min}$  정도인 것을 알 수 있다. 그림에서와 같이  $\langle 100 \rangle$  방향으로 놓인 빔이 상대적으로 빠

르게 에칭이 일어났으며, 미세구조가 형성된 길이는 그림 6(a)에서 약  $25\mu\text{m}$ 이고, 그림 6(b)에서  $50\mu\text{m}$ 로 나타났다. 여기서 그림 6(b)의 빔이 휘어진 것은 빔의 두께와 길이의 비가 1:100으로 크게 차이가 나기 때문인 것으로 판단된다. 그리고  $\langle 1\bar{1}0 \rangle$ 와  $\langle 110 \rangle$  방향으로 놓여진 빔은 에칭이 상대적으로 적게 일어나서 미세구조가 거의 형성되지 않았다. 따라서 InGaAsP 미세구조를 형성할 경우 빔의 방향은  $\langle 100 \rangle$  방향으로 배열해야 됨을 알 수 있다. 그림 7은  $\langle 100 \rangle$  방향으로 배열된 길이가  $70\mu\text{m}$ , 폭이  $15\mu\text{m}$ 인 InGaAsP 빔의 미세구조 사진이다. 제조된 미세구조의 패턴이 균일하지 않은 것은 마스크 물질인 PR과 기판과의 접착성이 약해서 나타난 것으로 판단된다. 이때, 에칭시간은 30분이며, 형성된 미세구조의 길이는 약  $28\mu\text{m}$ 였다. 에칭 시간을 약 1시간 30분 정도로 충분히 하면 완전한 미세구조가 형성될 수 있을 것으로 생각된다.

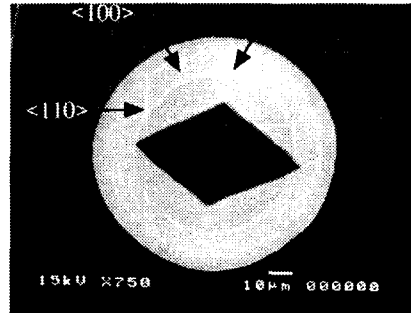


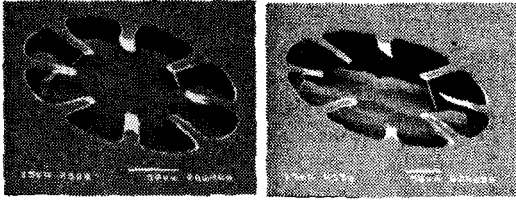
그림 5. InP의 결정방향에 따른 에칭률을 조사하기 위한 원모양의 패턴

Fig 5. The circle pattern for investigating etching rate according to crystal directions of InP

표 1. InP의 결정방향에 따른 에칭률

Table 1. The etching rates according to crystal directions of InP

Direction	$\langle 100 \rangle$	$\langle 1\bar{1}0 \rangle$	$\langle 110 \rangle$
Etching Rate	$0.5\mu\text{m}/\text{min}$ .	$0.43\mu\text{m}/\text{min}$ .	$0.26\mu\text{m}/\text{min}$ .



(a) 에칭시간 : 30분, (b) 에칭시간 : 60분  
 그림 6. 8개의 방향으로 제조된 빔의 SEM사진  
 Fig 6. SEM photograph of the fabricated beams in the eight directions (a) etching time : 30 minutes, (b) etching time : 60 minutes

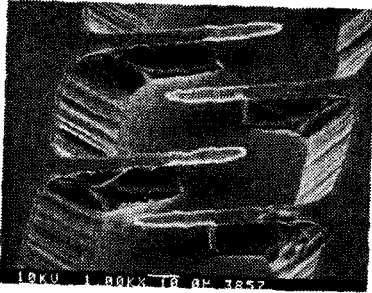


그림 7. <100> 방향으로 배열된 빔의 에칭된 SEM 사진  
 Fig 7. The etched SEM photograph of the beams in the <100> direction

### V. 결론

LPE 장치를 이용하여 다중 이종접합인 InP/InGaAsP/InP 구조를 성장시켰다. 이때, 미세구조가 되는 InGaAsP의 두께는  $0.4\mu\text{m}$ , InP top-layer의 두께는  $1\mu\text{m}$ 이었다. 이 구조를 에칭선택비가 수백배 이상이 되는 HCl:H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>와 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O 용액에서 InP와 InGaAsP층을 각각 에칭하여 최종적으로 InGaAsP 미세구조를 형성하였다. 원모양의 패턴을 이용하여 InP의 결정방향에 따른 에칭률을 조사하였다. 그 결과 각 결정방향에 따라 에칭률이 서로 다를 수 있음을 확인할 수 있었고, <100> 방향이 가장 빠르며, 그 다음으로 <1 $\bar{1}$ 0>, <110> 순으로 나타났다. InP의 각 방향에 따른 미세구조의 형성 가능성을 조사하기 위하여 원 중심에서 대칭적으로 8개의 방향으로 배열된 빔을 제조하였다. 그 결과 <100>방향

으로 놓인 빔은 상대적으로 에칭이 빨리 일어났으며, 형성된 미세구조의 길이는 각 에칭시간에서  $25\mu\text{m}$ 와  $50\mu\text{m}$ 로 나타났다. 그러나 <1 $\bar{1}$ 0>와 <110> 방향으로 놓여진 빔은 에칭이 상대적으로 적게 일어나서 미세구조가 거의 형성되지 않았다. 따라서 InGaAsP 미세구조를 형성할 경우 빔의 방향은 <100> 방향으로 배열해야 됨을 알 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] P. M. Sarro, "Sensor technology strategy in silicon", Sensors and Actuators, vol. A31, pp. 138-143, 1990.
- [2] R. F. Wolfenbuttel, "Integrated micromechanical sensors and actuators in silicon", Mechatronics, vol. 1, no. 4, pp. 371-391, 1991.
- [3] R. F. Wolfenbuttel, "Fabrication compatibility of integrated silicon smart physical sensors", Sensors and Actuators, vol. A41-42, pp. 11-28, 1994.
- [4] P. P. Deimel, "Micromachining processes and structures in micro-optics and optoelectronics", J. Micromech. Microeng. vol. 1, pp. 199-222, 1991.
- [5] A. J. Jacobs-Cook, "MEMS versus MOMS from a system point of view", J. Micromech. Microeng. vol. 6, pp. 148-156, 1996.
- [6] M. C. Wu, "Micromachining for optical and optoelectronic systems", Proceedings of the IEEE, vol. 85, no. 11, pp. 1833-1856, 1997.
- [7] K. Hjort, "Sacrificial etching of III-V compounds for micromechanical devices", J. Micromech. Microeng. vol. 6, pp. 370-375, 1996.
- [8] C. Seassal, J L Leclercq and P Viktorovitch, "Fabrication of InP-based freestanding microstructures by selective surface micromachining", J. Micromech. Microeng. vol. 6, pp. 261-265, 1996.
- [9] K. Hjort, J. Söderkvist and J. Schweitz, "Gallium arsenide as a mechanical material", J. Micromech. Microeng. vol. 4, pp. 1-13, 1994.

- [10] 조호성, 황상구, 배정철, 홍창희, 김재창, 오종환, “수직형 LPE장비에 의한 InGaAsP(1.3 μm)/InP MQW 단결정 성장에 관한 연구”, 한국물리학회지 응용물리, 제6권2호, pp. 151-156, 1993.
- [11] 황상구, 오수환, 김정호, 홍창희, “Meltback을 이용한 평면매립형 multiquantum well 반도체 레이저의 제작에 관한 연구”, 제16회 광학 및 양자전자 학술발표회 논문집, pp. 86-87, 1999.



심 준 환(Jun-Hwan Sim)

1965년 1월 21일생  
1991년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
1993년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1998년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)  
1998년 9월~현재 한국해양대학교 전자통신공학과 조교수

※ 관심분야 : 반도체센서, 마이크로머시닝기술, RF-MEMS

노 기 영(Ki-Young Roh)

1971년 6월 23일생  
1999년 동아대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
2001년 경북대학교 대학원 전자전기공학부 졸업(공학석사)

2001년~현재 (주)삼성전자 근무

※ 관심분야 : RF-MEMS, 마이크로웨이브기술



이 중 현

1949년 6월 26일생  
1972년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
1976년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1981년 프랑스 그레노블 국립공대 전자공학과 졸업 (공학박사)

1982~현재 경북대학교 전자전기공학부 교수

1998년~현재 재단법인 대구테크노파크 사업단장

※ 관심분야 : MEMS, 반도체 센서, 반도체 물성



황 상 구(Sang-Ku Hwang)

1962년 10월 30일생  
1985년~1990년 동아대학교 전자공학과 공학사  
1990년~1992년 한국해양대학교 전자통신공학과 공학석사

1997년~현재 한국해양대학교 전자통신공학과 박사과정

※ 관심분야 : 반도체레이저, 반도체 광증폭기



홍 창 희(Tchang-Hee Hong)

1945년 8월 22일생  
1969년 한국해양대학교 (공학사-항해학)  
1974년 부산대학교 (이학사-물리학)

1977년 동경공업대 (공학석사-전자공학)

1981년 동경공업대 (공학박사-전자물리)

1972년~1988년 한국해양대학교 전임강사~부교수

1982년~1983년 서울대학교 객원교수

1988년~현재 한국해양대학교 전자통신공학과 교수

※ 관심분야 : 반도체레이저, 반도체광증폭기, 광자이로