

# InP 광도파로의 식각 특성

## Fabrication and Characteristics of InP-Waveguide

박순룡\*, 김진우\*, 오범환\*, 우덕하\*\*, 김선호\*\*

(Soon Ryong Park, Jin Woo Kim, Beom-hoan O, Deokha Woo, Sunho Kim)

### Abstract

Fabrication of InP-based photonic devices by dry etch process is important for clear formation of waveguide mesa structure. We have developed more efficient etch process of the inductively coupled plasma (ICP) with low damages and less polymeric deposits for the InP-based photonic devices than the reactive ion etching (RIE) technique. We report the tendency of etch rate variation by the process parameters of the RF power, pressure, gas flow rate, and the gas mixing ratio. The surface roughness of InP-based waveguide structure was more improved by the light wet etching in the mixed solution of  $H_2SO_4:H_2O$  (1:1).

**Key Words :** Waveguide, InP, InGaAsP, Reactive Ion Etching, Inductively coupled plasma

### 1. 서론

광통신의 장점이 널리 인식되고, 보다 빠르고 안정된 광통신용 도파로소자의 연구가 활발히 진행되고 있다.[1,2] 수동 도파로소자의 경우는 외부 광신호에만 의존하므로, 소자의 성능을 결정하는 요소는 정확한 설계를 바탕으로 한 제작공정에 좌우된다.[3] 광도파로 소자로 사용되는 물질로서는 실리카와 InP 계열로 크게 구분된다. 실리카 광도파로의 경우는 반도체 공정 기술의 축적으로 최적화된 식각 공정에 대한 많은 연구가 이루어져 있지만, InP의 경우는 InP/InGaAsP의 식각과정에서 발생하는 폴리머의 막

이 형성됨으로 인해 식각률이 저하되므로 식각공정에서 어려움이 있다.[4] 또한 식각장비로 RIE(Reactive Ion Etching)를 사용한 경우는 표면특성과 식각률이 떨어지므로, 표면 특성을 개선하면서도 식각률이 저하되지 않도록 Inductively coupled plasma(ICP)장비를 사용하여 공정개선을 시도하였다. InP/InGaAsP가 순차적으로 에피 성장된 InP 웨이퍼를 사용하여 그 식각특성을 비교하였다. ICP의 source power, pressure, total gas flow rate( $CH_4/H_2$ ), bias power,  $CH_4/H_2$  gas 비율에 따른 식각률 변화를 살펴보았다. InP 보다 InGaAsP의 식각률은 약간 떨어지며, 표면특성을 고려하여  $0.1\mu m/min$ 의 식각률공정에서 광소자를 제작한 결과를 보고한다.

\* 인하대학교 전자재료 공학과  
(인천 광역시 남구 용현동 인하대학교)  
Fax: 032-875-5882  
Email: obh@inha.ac.kr

\*\* 한국과학기술 연구원 광기술 연구 센터

### 2. 본문

#### 2.1 InP의 건식 식각의 특성

ICP에서 이미 보고된 결과를 이용하여, source power, pressure에 따른 식각률 변화를 살펴 보았다. CH<sub>4</sub>와 H<sub>2</sub>의 비율이 4/16sccm (20% CH<sub>4</sub>) 이고, bias power 120W, pressure가 20mtorr일 경우에 입력 RF 전력에 대한 식각률 변화를 그림 1 (a)에 보였다. InP를 효과적으로 식각을 하기 위해서는 5분간 지속적으로 etching할 것이 요구된다. Pressure가 20mTorr일 때 Source power가 600W에서 식각률이 603.6Å/min으로 가장 좋은 식각률을 보였으며, 그림 1 (b)를 통해 확인하였다. Bias power에 따른 식각률의 변화는 100Å미만으로 거의 변화하지 않았다. 이는 폴리머 막의 형성에 의해 식각이 저하되는 효과 때문인 것으로 생각된다. Gas의 혼합비에 따른 식각률에 대해서 실험을 수행하였다. CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 플라즈마 상태에서의 InP에서 표면 반응식의 종류는 표 1과 같음이 잘 알려져 있다.[5] 주로 ion bombardment에 의해 표면에서의 분자 결합이 해제되며, 실제로 x-ray photoelectron spectroscopy (XPS)에 의해 P-H와 In-C의 결합형태가 관찰된바 있다.[6] CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> Gas 비율에 따른 식각 깊이를 변화를 그림 2에 보였다. 20%의 CH<sub>4</sub>로 비율을 고정된

표 1. InP etching에서의 CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 표면 반응식

종류	반응식
In	CH <sub>3</sub> + In → In(CH <sub>3</sub> )
	CH <sub>3</sub> + In(CH <sub>3</sub> ) → In(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	CH <sub>3</sub> + In(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> → In(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>
P	H + P → P(H)
	H + P(H) → P(H) <sub>2</sub>
	H + P(H) <sub>2</sub> → P(H) <sub>3</sub>
	Ion + P(H) <sub>x</sub> → P(H) <sub>x+1</sub>
	Ion + In(CH <sub>3</sub> ) <sub>x</sub> → In(CH <sub>3</sub> ) <sub>x+1</sub>

상태에서 total flow-rate이 약 40sccm에서 약간 상승되는 정도에 그쳤으며, CH<sub>4</sub>의 비율이 증가함에 따른 식각률은 지속적으로 증가함을 보였다. 하지만 25% CH<sub>4</sub>이상에서는 표면의 거칠기가 증가하였다. (그림 2. (b)) 여기서는 표면특성을 고려하여 25% CH<sub>4</sub>로에서 고정시키고 ICP로 식각하였으며, 식각후 wet etching을 수행하였다

## 2.2 InP의 습식 식각의 특성

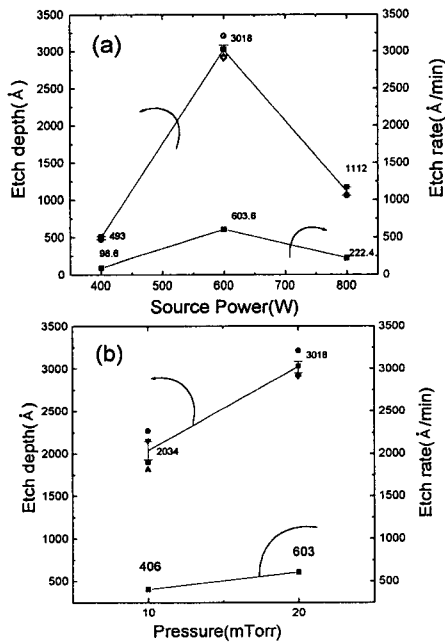


그림 1. (a) Source power에 따른 InP의 etch rate, (b) 압력에 따른 etch rate.

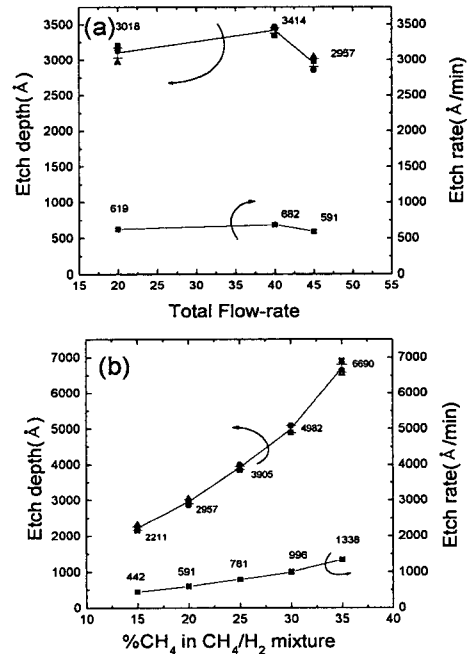


그림 2. (a) Total flow rate에 따른 InP 식각률, (b) CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> Gas 비율에 따른 식각 깊이 변화

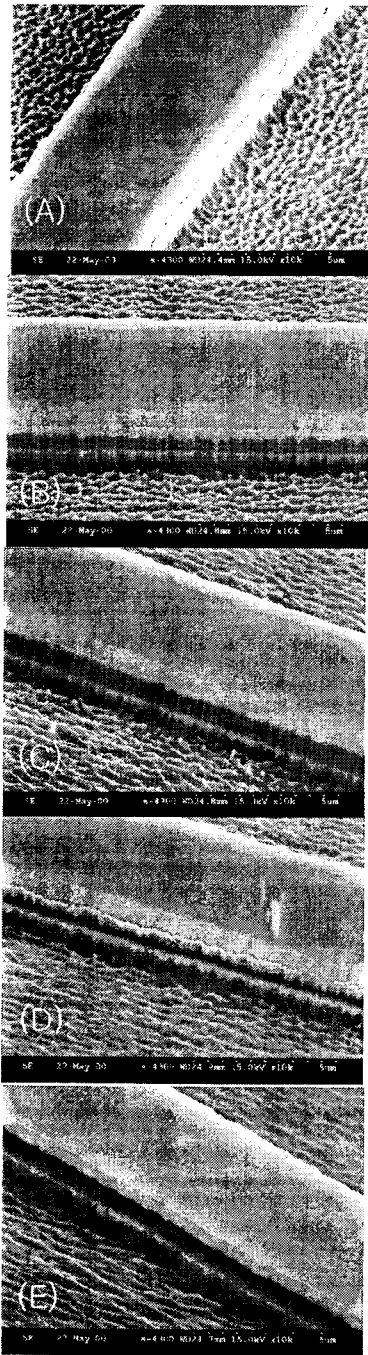


그림 3. (a) ICP식각 결과,  $H_2SO_4 : H_2O_2 : H_2O(1:1:1)$ 의 비율로 30°C (b), 40°C(c), 50°C(d), 60°C(e)에 대해서, 20초 동안 습식 식각한 결과

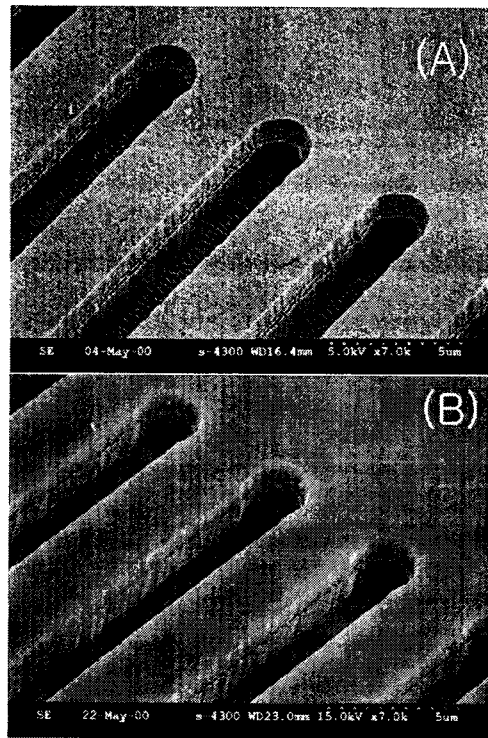


그림 4. (a) ICP식각 후 모습, (b) ICP식각 후,  $H_2SO_4:H_2O(1:1)$ 에서의 습식 식각 한 후 모습

ICP로 건식식각후의 시료의 표면은 약간의 거친 상태이므로 습식식각을 통해 표면 개선이 필요하다. 널리 알려져 있는 방법으로  $HCl:H_3PO_4(1:4)$ 이며, 일반적인 Mirror etching 조건으로는  $H_2SO_4:H_2O_2:H_2O(1:1:1)$ 으로 알려져 있다.[7,8] 하지만  $H_2SO_4$  때문에 온도에 따른 etching 조건이 상당히 달라진다. 어떤 특정 온도이후에는 InP와 InGaAsP에서의 etching rate이 달라져 우리가 원하지 않는 구조를 형성하기도 한다. 위의 현상을 그림 3에 보였다. 여기서는 실제 광도파로 소자의 구조를 사용하여 습식식각을 수행하였다. 형성된 구조는 InP기판위에 InGaAsP와 InP를 순차적으로 성장시킨 경우에 해당한다. 그림 3 (a)의 경우는 ICP로 etching한 결과이다. SEM사진에서 알 수 있듯이, 표면과 side의 면이 상당히 거침을 확인할 수 있다. 이러한 표면상태의 개선을 위해서  $H_2SO_4:H_2O_2:H_2O(1:1:1)$ 의 비율로 30°C(그림 3. (b)), 40°C(그림 3. (c)), 50°C(그림 3. (d)), 60°C(그림 3. (e))에 대해서, 20초 동안 습식 식각을 수행하였다. 50°C이후에서 InGaAsP층으로 파고 들어감을 알 수 있고, 이로서 습식 식각에 있어서 온도 조건은 단면 형상의 조절에 있어서도 매

우 중요하다고 할 수 있다. 그림 4에서는 습식식각이 표면 거칠기 개선에 있어 최적화된 조건에서 제작된 광소자의 일부분이다. 그림 4(a)의 경우는 습식하기 전의 경우이며, 습식후의 모습을 그림 4. (b)에 보였다. 이때의 조건은  $H_2SO_4:H_2O(1: 1)$  이며, 표면의 특성과 광도파로의 side면이 상당히 개선되었다.

### 3. 결론

우리는 InP 광도파로의 식각 특성에 대해서 ICP와 습식 식각을 이용하여 광도파로를 제작하였다. RIE 장비를 사용한 경우는 표면 특성 및 정확한 사각형 광도파로의 구조를 형성하지 못하는 단점을 가지므로, 이를 개선하기 위해 ICP를 사용한 신속하고 효율적인 식각 공정과 습식 표면 개선 공정을 수행하였다. ICP에서 source power, pressure, 그리고 gas 비율등에 따른 식각률의 변화를 확인하고 최적화된 조건을 얻었다. 표면 및 side면의 개선을 위해 후처리 방식으로 습식 식각을 시도하였고  $H_2SO_4:H_2O(1: 1)$  조건에서 광도파로의 형상과 단면 구조를 개선하는 공정 결과를 얻었다.

### 감사의 글

본 연구는 정보 통신부의 우수 대학원지원 사업에 연계된 인하대학교 교내 연구비의 지원과 과학 기술처의 중점국가 연구개발 사업의 차세대 포토닉스 연구지원 그리고, 교육부의 두뇌 한국 21 지원과 한국 과학재단 특정기초연구(1999-2-302-012-5) 사업의 연구 지원으로 수행되었습니다.

### 참고 문헌

- [1]. S. J. Garth, "Mode behaviour on bent planar dielectric waveguides" IEEE Proc. Opto electron, 142, 2, pp115, 1995.
- [2]. Yoshihisa Yamamoto, "Characteristics of Optical Guided Modes in Multilayer", IEEE Journal of Quantum Electronics, QE-11, 9, pp 729, 1975.
- [3]. K. Ikossi-Anastasiou, "Wet chemical etching with lactic acid solutions for InP-Based Semiconductor Devices", J. Electrochem. Soc. 142, 10, pp3558, 1995.
- [4]. Y. Oei, C. van Dam, F. Van Ham, L. Spiekman, and B. Verbeeta, "Improved

RIE-technique for controlled roughness and anisotropy in InP-based device", in Proc. of the 18th state of the art program on compound semiconductors(SOTAPOCS), 97, 27, pp134-141, 1993.

- [5]. L. Houlet, A. Rhallabi, and G. Turban, "Microscopic modeling of InP etching in  $CH_4-H_2$  plasma", J. Vac. Sci. Technol., A17, 5, pp2598,1999.
- [6]. Y. Feurprier, Ch. Cardin명, B. Grolleau, and G. Turban, Plasma Souces Sci. Technol. 6, 561, 1997.
- [7]. G. Ferrante, G. Donnelly, and C. Armiento, "A slow selective etch for GaInAsP grown on InP", J. Electrochem. Soc., 130, 5, pp 1222-1224, 1983.
- [8]. S.B.Phatak and G. Kelner, "Material-Selective Chemical Etching in the System InGaAsP/InP", J. Electrochem. Soc. 126, 2, pp287, 1979.