

# BCl<sub>3</sub>, BCl<sub>3</sub>/Ar, BCl<sub>3</sub>/Ne 유도결합 플라즈마에 의한 InGaP 건식 식각 비교

백인규, 임완태, 이제원, 조관식, 전민현

인제대학교 나노공학과 / 나노 기술 응용연구소

## Comparison of InGaP etching BCl<sub>3</sub>, BCl<sub>3</sub>/Ar and BCl<sub>3</sub>/Ne inductively coupled plasmas

Inkyoo Baek, Wantae Lim, Jewon Lee and Guan Sik Jo, and Minhyun Jeon\*  
In-je Univ.

### Abstract

Planar Inductively Coupled Plasma (PICP) etching of InGaP was performed in BCl<sub>3</sub>, BCl<sub>3</sub>/Ar and BCl<sub>3</sub>/Ne plasmas as a function of ICP source power (0 ~ 500 W), RIE chuck power (0 ~ 150 W), chamber pressure (5 ~ 15 mTorr) and gas composition of BCl<sub>3</sub>/Ar and BCl<sub>3</sub>/Ne. Total gas flow was fixed at 20 sccm (standard cubic centimeter per minute). Increase of ICP source power and RIE chuck power raised etch rate of InGaP, while that of chamber pressure reduced etch rate. We also found that some addition of Ar and Ne in BCl<sub>3</sub> plasma improved etch rate of InGaP. InGaP etch rate was varied from 1580 Å/min with pure BCl<sub>3</sub> to 2800 Å/min and 4700 Å/min with 25 % Ar and Ne addition, respectively. Other process conditions were fixed at 300 W ICP source power, 100 W RIE chuck power and 7.5 mTorr chamber pressure. SEM (scanning electron microscopy) and AFM (atomic force microscopy) data showed vertical side wall and smooth surface of InGaP at the same condition. Proper addition of noble gases Ar and Ne (less than about 50 %) in BCl<sub>3</sub> inductively coupled plasma have resulted in not only increase of etch rate but also minimum preferential loss and smooth surface morphology by ion-assisted effect.

**Key Words** : ICP (유도 결합 플라즈마), InGaP, Dry etching (건식 식각), HDICP (고밀도 유도결합 플라즈마)

### 1. 서 론

최근 무선통신 기술은 광대역 양방향 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 밀리미터파 대역의 시스템 기술로 발전해가고 있다 [1-2]. 특히 InGaP/GaAs 구조를 이용한 이중접합 양극성 트랜지스터(HBTs)는 기존에 AlGaAs/GaAs 구조의 HBTs 가 가지고 있는 높은 전력소모와 노이즈를 개선함으로써 고주파 전력 증폭기 (파워앰프) 로 널리 사용되고 있다. 하지만 InGaP 반도체는 플라즈마 식각 부산물들이 각각 다른 휘발온도를 가지고 있으므로 건식식각 하는데 있어서 큰 어려움을

겪고 있다[3-12]. 이러한 문제를 해결하기 위해서, 과거에는 평탄한 식각표면을 얻을 수 있는 CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 플라즈마를 이용하여 InGaP 반도체를 건식식각 하였다. CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 플라즈마를 이용한 식각은 식각률 (약 1000 Å/min)이 낮고, CH<sub>4</sub> 함유량이 많으면 샘플표면에 폴리머가 쌓이고 소자의 성능을 떨어뜨리는 단점을 가지고 있어 최근에 고밀도 유도결합 플라즈마 (ICP) 를 이용한 InGaP 반도체 건식 식각 공정 연구개발에 대한 관심이 점점 높아지고 있다. ICP 식각 시스템은 구조가 간단할 뿐만 아니라 고밀도 플라즈마를 발생시킬 수 있으며 대면적화가 용이하고, 이온 밀도와 이온에너지를 독립

적으로 조절할 수 있다는 장점들을 가지고 있다. 최근 연구에서는 GaAs 계열의 반도체 식각시  $\text{Cl}_2$  가스에 불활성 기체를 혼합함으로써 식각률의 증가뿐만 아니라 각 물질의 선택적 손실을 최소화하여 표면상태를 개선시킬 수 있다는 결과가 발표되었다[13-14]. 본 논문에서는 고밀도 평판형 유도 결합 플라즈마를 이용하여 ICP 소스파워, RIE 척파워, 공정압력과  $\text{BCl}_3/\text{Ar}$ ,  $\text{BCl}_3/\text{Ne}$  의 혼합비에 따른 InGaP 의 건식식각 결과를 보고할 것이다.

## 2. 실험

그림 1은 본 연구에 사용한 평판형 유도 결합 플라즈마 식각 시스템의 개략도이다. RIE 척과 ICP 소스에는 각각 13.56 MHz의 RF 전원이 연결되어있다. 그리고 반응기 내에 고진공을 유지하기 위해 로터리 펌프와 터보 분자 펌프가 사용되었다. 공정 압력은 baratron 게이지를 사용하여 측정하였고 온도는 열교환기 (heat exchanger) 를 이용하여 실온 (room temperature)을 유지하였다.

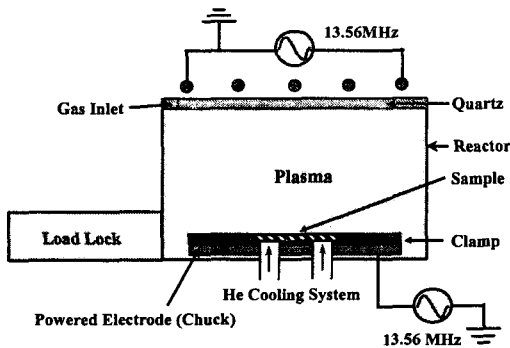


그림 1. 평판형 유도결합 플라즈마 식각 시스템의 개략도.

Fig. 1. Schematic of a planar inductively coupled plasma etching system.

모든 실험에 사용된 샘플은 1  $\mu\text{m}$  두께의 PR (photo resist) 로 패턴된  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}/\text{GaAs}$  에피 웨이퍼를 사용하였다. 샘플은  $1 \times 1 \mu\text{m}^2$  로 절단 후 어노다이징된 알루미늄 캐리어에 부착하여 실험하였다. 식각 후 표면 연구를 위해 패턴 되지 않은 샘플도 함께 사용하였다. 실험 조건은, 공정가스를 20 sccm  $\text{BCl}_3$  로 고정시킨 상태에서 ICP 소스파워를 0 ~ 500 W, RIE 척파워를 0 ~ 150 W

그리고 공정 압력을 5 ~ 15 mTorr로 각각 변화시켰다. 이때 적당한 식각깊이를 얻기 위해 공정시간은 3 ~ 5 분으로 하였다. 위와 같은 조건에서  $15\text{BCl}_3/5\text{Ar}$  가스에 대한 InGaP 의 식각결과도 함께 분석하였다. 반응이 끝난 샘플의 식각률을 구하기 위해 표면의 PR 을 제거한 후, Alpha step-200 을 사용하여 식각 깊이를 측정하였다. 전자 주사 현미경(Scanning Electron Microscopy) 과 원자력 현미경 (Atomic Force Microscopy) 을 이용하여 식각 실험 이후 InGaP 샘플들의 식각표면 및 수직측벽도와 표면 거칠기 등을 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2는 100 W RIE 척파워, 공정압력을 7.5 mTorr 로 고정시킨 상태에서, 20 sccm  $\text{BCl}_3$  와 25% 의 Ar 이 혼합된  $15\text{BCl}_3/5\text{Ar}$  가스를 이용하여 ICP 소스 파워에 따른 식각률을 비교한 것이다.

20 sccm  $\text{BCl}_3$  가스에서는 ICP 소스파워가 0 ~ 500 W 로 증가하면 InGaP 의 식각률이 0 ~ 3300  $\text{\AA}/\text{min}$ ,  $15\text{BCl}_3/5\text{Ar}$  플라즈마의 경우는 900 ~ 10000  $\text{\AA}/\text{min}$  까지 식각률이 증가하였다. ICP 소스 파워가 증가함에 따라 반응기내의 이온밀도가 증가하여 식각률이 증가하였고, 특히  $15\text{BCl}_3/5\text{Ar}$  플라즈마에서는 Ar 이 혼합됨에 따라 반응기 내부에 Ar 이온과 라디칼이 증가하여 이온보조 (ion-assisted) 효과에 의한 물리적인 식각성분이 우수해져서 높은 식각률을 나타내었다.

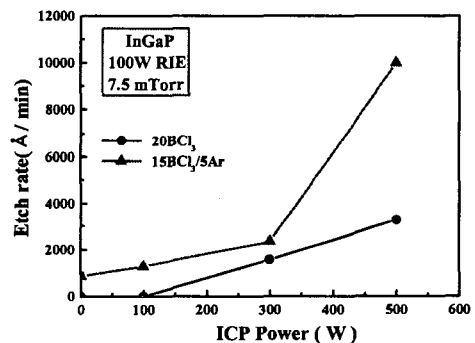


그림 2. ICP 소스 파워에 따른 InGaP 의 식각률 비교.

Fig. 2. Comparison of InGaP etch rate as a function of ICP source power.

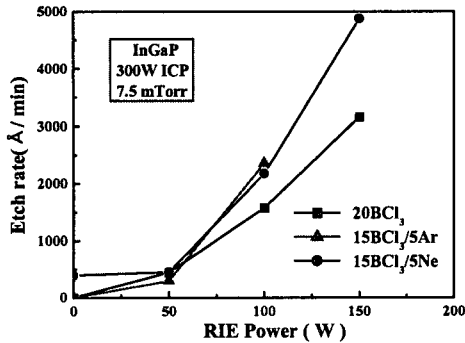


그림 3. RIE 척 파워에 따른 InGaP 의 식각률 비교.

Fig. 3. Comparison of InGaP etch rate as a function of RIE chuck power.

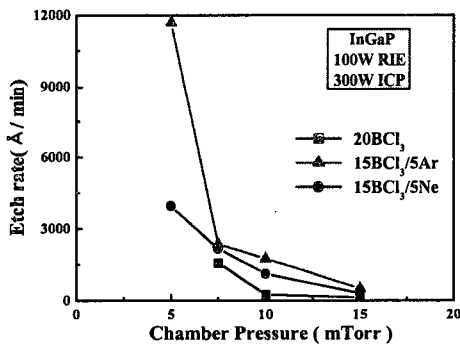


그림 4. 공정압력에 따른 InGaP 의 식각률 비교.

Fig. 4. Comparison of InGaP etch rate as a function of chamber pressure.

300 W ICP 소스파워, 공정압력을 7.5 mTorr 로 고정시킨 상태에서 20 sccm BCl<sub>3</sub>, 15BCl<sub>3</sub>/5Ar, 15BCl<sub>3</sub>/Ne 플라즈마를 이용하여 RIE 척파워에 따른 식각률을 그림 3 에 나타내었다. 가스 종류에 상관없이 RIE 척파워가 증가하면 식각률이 증가하는 것을 볼 수 있었다. RIE 척파워가 증가하면 dc 바이어스가 증가하였다. 이는 반응기내의 이온 에너지를 증가시켜 강한 이온충돌 (energetic ion bombardment) 효과로 샘플의 식각률을 증가시켰다고 생각되어진다.

그림 4는 위 (그림 3) 와 같은 조건에서 공정압력을 변화시켰을 때 InGaP 의 식각률을 나타내고

있다. 공정압력이 5 ~ 15 mTorr 로 증가하면 식각률이 감소하는 것을 볼 수 있다. 높은 압력에서는 반응기 내의 중성 가스 원자나 분자, 이온들 간의 충돌률이 증가하여 평균자유행정 (mean free path) 이 감소하게 된다. 결국 플라즈마의 이온이나 라디칼의 에너지가 감소하여 식각률이 감소한다고 볼 수 있다.

20 sccm BCl<sub>3</sub>, 300 W ICP 소스파워, 100 W RIE 척파워 그리고 7.5 mTorr 의 공정압력에서 3 분간 식각한 후에 찍은 InGaP 의 SEM 사진을 그림 5 에 나타내었다. 이 조건에서 InGaP 의 식각 깊이는 0.47 μm이다.

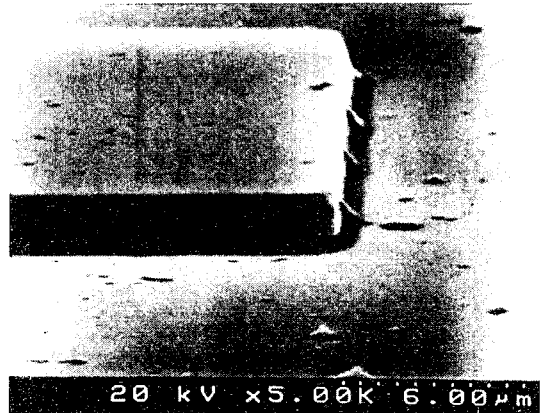


그림 5. 식각 후 InGaP의 SEM 사진.

Fig. 5. Scanning Electron Microscopy image of etched InGaP at 20 sccm BCl<sub>3</sub>, 100 W RIE, 300 W ICP and 7.5 mTorr.

그림 6은 위와 같은 조건에서 10BCl<sub>3</sub>/10Ar 가스를 이용하여 InGaP을 식각(0.82 μm)한 후의 SEM 사진이다. 순수한 BCl<sub>3</sub> (20 sccm BCl<sub>3</sub>) 가스를 사용하여 InGaP 을 식각한 것 보다 50 % 의 Ar 이 혼합된 10BCl<sub>3</sub>/10Ar 가스를 사용하였을 때의 표면이 더 깨끗한 것을 볼 수 있다.

그림 7 에서는 BCl<sub>3</sub>와 Ar 가스 혼합비에 따른 InGaP 의 표면 거칠기 (RMS roughness) 와 식각률을 분석하였다. BCl<sub>3</sub>/Ar을 이용한 InGaP의 건식 식각 시 50 % 이하의 Ar 혼합은 식각률과 표면을 평탄하게 하는데 유용한 반면, 총 혼합비에서 75% 이상의 Ar 혼합은 오히려 식각률도 감소시킬 뿐만 아니라 표면도 거칠게 하는 결과를 가져왔다.

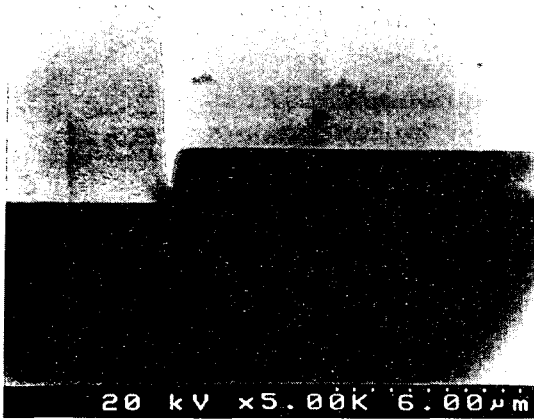


그림 6. 식각 후 InGaP의 SEM 사진.  
**Fig. 6.** Scanning Electron Microscopy image of etched InGaP at 10BCl<sub>3</sub>/10Ar, 100W RIE, 300W ICP and 7.5 mTorr.

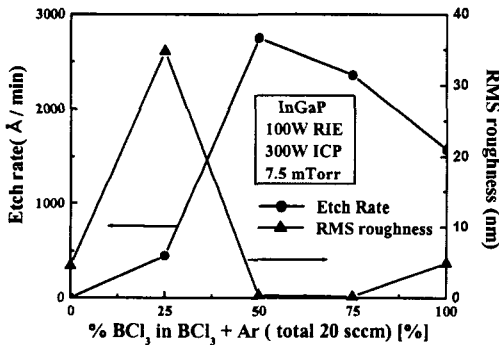


그림 7. 가스혼합비에 따른 표면 거칠기와 식각률 비교.  
**Fig. 7.** Comparison of RMS roughness and InGaP etch rate as a function of BCl<sub>3</sub>/Ar composition.

이 결과는 InGaP 반도체의 플라즈마 식각시 적당량의 (50% 이하) Ar 혼합은 InCl<sub>x</sub>의 휘발성을 향상시켜 식각률 증가와 함께 식각 부산물 (InCl<sub>x</sub>, GaCl<sub>x</sub>, PCl<sub>x</sub>) 들의 선택적 손실을 최소화 하여 표면상태가 개선된 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 고밀도 평판형 유도결합 플라즈마를 이용하여 ICP 소스파워, RIE 척파워, 공정압

력, 그리고 가스 혼합비(BCl<sub>3</sub>, BCl<sub>3</sub>/Ar, BCl<sub>3</sub>/Ne)에 따른 InGaP의 플라즈마 식각과 그 결과를 분석하였다. 순수한 BCl<sub>3</sub> 가스만을 사용하였을 때 보다 Ar 과 Ne을 적절하게 (50% 이하) 혼합하였을 때, InGaP의 식각률이 증가할 뿐만 아니라 식각 후 표면 상태와 수직측벽도가 모두 좋아지는 것을 볼 수 있었다. 그리고 ICP 소스파워와 RIE 척파워가 증가하면 InGaP의 식각률도 증가한 반면, 공정압력이 증가하면 식각률은 감소하였다. 본 연구 결과는 InGaP을 이용한 다양한 첨단 소자의 제조 시 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지역대학 우수 과학자 지원연구(과제번호 R05-2002-000-01368-0 [2003])에 의해 수행되었습니다. 본 연구에 기술적인 지원을 준 부경대 공동실습관의 류호정 박사께 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- [1] H. Rohdin, A. Wakita, A. Nagy, V. Robbins, N. Moll and C. Y. Su, "A 0.1 μm M-HEMT millimeter wave IC technology designed for manufacturability", Solid State Electron., Vol. 43, No. 8, 1645, 1999.
- [2] J. W. Lee, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, F. Ren, R. J. Shul, C. Constantine and C. Barratt, "Effect of H<sub>2</sub> plasma exposure on GaAs/AlGaAs heterojunction bipolar transistors", Solid-State Electron., Vol. 41, No. 6, 829, 1997
- [3] T. Maeda, J. W. Lee, R. J. Shul, J. Han, J. Hong, E. S. Lambers, S. J. Pearton, C.R. Abernathy, W. S. Hobson, "Inductively coupled plasma etching of III-V semiconductors in BCl<sub>3</sub>-based chemistries. II. InP, InGaAs, InGaAsP, InAs and AlInAs", Applied Surface Science 143, 183, 1999.
- [4] J. W. Lee, J. F. Donohue, K. D. Mackenzie, R. Westerman, D. Johnson, S. J. Pearton, "Mechanism of high density plasma process for ion-driven etching of materials", Solid-State Electronics 43, 1769, 1999.

- [5] Hyun Cho, S. M. Donovan, D. D. Mackenzie, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, J. Han, R. J. Shul, J. W. Lee, "High resolution pattern transfer in III-nitride using  $\text{BCl}_3/\text{Ar}$  Inductively Coupled Plasmas", *Solid-State Electronics*. Vol. 42, No. 9, 1719, 1998.
- [6] J. W. Lee, E. S. Lambers, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, R. J. Shul, F. Ren, W. S. Hobson, C. Constantine, "Inductively coupled plasma etching of III-V semiconductors in  $\text{Cl}_2$ -based chemistries", *Materials Science in Semiconductor Processing* 1, 65, 1998.
- [7] J. Hong, J. W. Lee, C. J. Santana, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, W. S. Hobson, F. Ren, "Plasma etching of InGaP, AlInP and AlGaP in  $\text{BCl}_3$  environments", *Materials Science and Engineering B41*, 247, 1996.
- [8] J. Hong, J. W. Lee, C. J. Santana, C. R. Abernathy, E. S. Lambers, S. J. Pearton, W. S. Hobson, F. Ren, "Comparison of dry etching techniques for InGaP, AlInP and AlGaP", *Solid-State Electronics*. Vol. 39, No. 7, 1109, 1996.
- [9] J. W. Lee, S. J. Pearton, C. R. Abernathy, W. S. Hobson, F. Ren, "Effect of Ar addition in ECR  $\text{CH}_4/\text{H}_2/\text{Ar}$  plasma etching of GaAs, InP and InGaP", *Solid-State Electronics*, Vol. 39, No. 7, 1095, 1996.
- [10] Y. B. Hahn, D. C. Hays, H. Cho, K. B. Jung, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, R. J. Shul, "Effect of inert gas additive species on  $\text{Cl}_2$  high density plasma etching of compound semiconductors. Part II. InP, InSb, InGaP and InGaAs", *Applied Surface Science*. 147, 215, 1999.
- [11] J. A. Diniz, J. W. Swart, K. B. Jung, J. Hong, S. J. Pearton, "Inductively coupled plasma etching of In-based compound semiconductors in  $\text{CH}_4/\text{H}_2/\text{Ar}$ ". *Solid-State Electronics*. Vol. 42, No. 11, 1947, 1998.
- [12] J. Hong, J. W. Lee, C. J. Santana, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, W. S. Hobson, F. Ren, "Plasma etching of InGaP, AlInP and AlGaP in  $\text{BCl}_3$  environments", *Materials Sci. and Eng.*, B 41, 247, 1996.
- [13] J. W. Lee, Y. D. Park, J. R. Childress, S. J. Pearton, F. Sharifi, F. Ren, "Copper Dry Etching with  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$  Plasma Chemistry", *Electrochem. and Solid-State Lett.*, Vol. 145, No. 7, 1998.
- [14] Y. B. Hahn, J. W. Lee, G. A. Vawter, R. J. Shul, C. R. Abernathy, D. C. Hays, E. S. Lambers and S. J. Pearton, "Reactive ion beam etching of GaAs and related compounds in an inductively coupled plasma of  $\text{Cl}_2$ -Ar mixture", *J. Vac. Sci. Technol.* 17, 366, 1999.