

BCl₃ 기반의 혼합 가스들을 이용한 InP 고밀도 유도결합 플라즈마 식각

조관식, 임완태, 백인규, 이제원, 전민현
인제대학교

High Density Inductively Coupled Plasma Etching of InP in BCl₃-based chemistries

Guan Sik Cho, Wantae Lim, Inkyoo Baek, Jewon Lee, and Minhyun Jeon
In-je University Eobang-dong Gimhae-si Gyeongsangnam-do (Seoul 621-749 Korea)

Abstract

We studied InP etch results in high density planar inductively coupled BCl₃ and BCl₃/Ar plasmas. The investigated process parameters were ICP source power, RIE chuck power, chamber pressure and BCl₃/Ar gas composition. It was found that increase of ICP source power and RIE chuck power raised etch rate of InP, while that of chamber pressure decreased etch rate. Etched InP surface was clean and smooth (RMS roughness < 2 nm) with a moderate etch rate (300 ~ 500 Å/min) after the planar BCl₃/Ar ICP etching. It may make it possible to open a new regime of InP etching with CH₄/H₂ - free plasma chemistry. Some amount of Ar addition (< 50%) also improved etch rates of InP, while too much Ar addition reduced etch rates of InP.

Key Word : ICP (유도결합 플라즈마), Dry Etching (건식식각), InP, HDPICP (고밀도 평판형 유도결합 플라즈마)

1. 서 론

최근 미세구조의 크기가 점점 감소됨에 따라, 빠르고 정확한 식각률, 우수한 식각 균일도, 높은 재현성을 요하는 건식식각 공정이 선호되고 있다 [1-3]. 특히 광섬유 통과 손실이 최소인 1.3 ~ 1.55 μm 파장 대역에서 빛을 송, 수신할 수 있는 InGaAsP/InP 구조를 가진 장거리 광통신용 소자 제작 시 식각깊이(etch depth), 수직측벽도(sidewall) 그리고 표면거칠기(surface roughness) 등이 소자의 특성에 아주 중요한 영향을 미칠 수 있다. 따라서 낮은 압력에서 고밀도 전하를 갖는 플라즈마의 특성 연구가 반도체 제조공정에서 매우 중요하게 되어 최근에 활발히 진행되고 있다[4-7]. 전자가속공명 (Electron Cyclotron Resonance, ECR) 을 이용한 반도체의 건식식각은 높은 이온밀도와 낮은 이온에너지로 우수한 식각

률을 얻는 것이 가능하지만 반응기내에서 이온들이 국부적으로 샘플에 영향을 주므로 웨이퍼 크기가 대구경화 됨에 따라 식각균일도가 떨어진다는 단점이 있다. 최근에는 고밀도 플라즈마 소스를 이용한 건식식각 공정개발은 우수한 식각균일도, 이온에너지와 이온밀도를 독립적으로 조절할 수 있는 유도결합 플라즈마 장비를 더욱 많이 이용하고 있다[8-11]. In 기반 반도체 소자건식 식각방법은 여러 가지가 있으나 CH₄/H₂ 가스를 사용할 경우 Cl₂ 계통의 가스에 비해 식각률이 낮고, 표면 손상, 오염 및 고분자 물질이 생성되어 식각 후 처리 공정이 필요하다[12-13]. 따라서 CH₄/H₂ 을 사용하지 않는 고밀도 유도결합 플라즈마를 이용한 InP 반도체 건식식각 개발이 큰 관심을 모으고 있다. 본 연구에서는 BCl₃ 와 BCl₃/Ar 고밀도 평판형 유도결합 플라즈마를 이용하여 ICP 소스파워, RIE 척 파워, 공정압력과 가스혼합비 (BCl₃

: Ar) 에 따른 InP 의 식각률 (etch rate), 수직 측벽도 (surface sidewall) 와 표면 거칠기(RMS roughness) 등의 분석을 통해 InP 의 고밀도 평판형 유도결합 BCl₃ 기반 플라즈마 식각 실험 결과를 보고할 것이다..

2. 실험

이번 연구에 사용된 장비 (모델명 No. APE510) 는 (주) 클라이오테크와 본 연구진이 공동으로 개발하여 제작한 평판형 ICP 이다[14]. 샘플을 올려놓기 위한 척 부분과 ICP 코일에는 각각 13.56 MHz 의 RF 전원을 연결하였고, 장비는 기계식 펌프와 터보 분자펌프로 10⁻⁶ mTorr 이하의 기본압력을 얻을 수 있도록 설계되었다. 반응기 베이스 압력은 cold cathode 게이지, 공정압력은 baratron 게이지로 각각 측정하였다. 실험용 샘플로는 1 μm 두께의 PR (photoresist) 로 패터닝된 InP 조각 (1 × 1 cm²) 을 사용하였고, 공정가스로는 BCl₃ 와 BCl₃/Ar 을 사용하였다. 이때 총 가스 유입량은 20 sccm 으로 고정하였고 적당한 식각깊이를 얻기 위하여 공정시간은 3 ~ 5 분으로 하였다. 공정 변수로는 상온에서 BCl₃ 조성 (0 ~ 100%), ICP 소스파워 (0 ~ 500 W), RIE 척 파워 (0 ~ 150 W), 공정압력 (5 ~ 15 mTorr) 을 사용하여 실험을 하였다. 공정이 끝난 샘플은 아세톤을 이용하여 PR 을 제거한 후 Alpha-step 200 을 이용하여 식각률을 측정하고, 전자주사 현미경 (scanning electron microscopy) 과 원자력간 현미경 (atomic force microscopy) 을 이용하여 식각단면, 표면 거칠기 등의 특성분석을 하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 RIE 척 파워 (100 W) 와 공정압력 (7.5 mTorr) 을 고정시킨 상태에서 20 sccm BCl₃ 와 15BCl₃/5Ar 가스를 사용한 경우 ICP 소스파워에 따른 InP 의 식각률과 negatively induced dc 바이어스 (-dc) 의 변화를 나타내었다. ICP 소스파워가 0 ~ 500 W 로 증가함에 InP 의 식각률은 20 sccm BCl₃ 의 경우에는 0 A/min ~ 600 A/min 로, 15BCl₃/5Ar 의 경우에는 0 ~ 550 A/min 로 증가하였다. 식각률의 증가는 ICP 소스파워가 증가함에 따라 반응기내의 이온밀도 증가로 인해 나타난 결과이다. 한편 ICP 소스파워가 0 에서 500 W 까지 증가해도 dc 바이어스의 변화는 크게 나타나지 않았다.

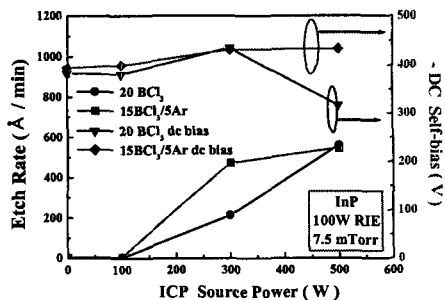


그림 1. ICP 소스파워에 따른 -dc 바이어스와 InP 의 식각률.

Fig. 1. InP etch rate and -dc bias as a function of ICP source power(W) at 20 sccm BCl₃ and 15BCl₃/5Ar plasmas.

그림 2는 ICP 소스파워 (300 W) 와 공정압력 (7.5 mTorr) 을 고정시킨 상태에서 20 sccm BCl₃ 와 15BCl₃/5Ar 가스를 사용한 경우 RIE 척 파워에 따른 InP 의 식각률과 negatively induced dc 바이어스 (-dc) 를 나타내었다. RIE 척 파워가 0 ~ 150 W 로 변하게 되면 -dc 바이어스가 증가하여 반응기내의 이온이나 라디칼이 큰 가속 에너지를 얻어 샘플과 충돌하게 된다. 따라서 그림 2 에 나타난 것처럼 RIE 척 파워가 증가함에 따라 식각률이 증가하는 것으로 생각되어진다. 일반적으로 고밀도 유도결합 플라즈마 장비에서 ICP 소스파워는 이온밀도, RIE 척 파워는 이온 에너지에 큰 영향을 준다. 그림 1 와 그림 2 에 나타난 것처럼 ICP 소스파워와 RIE 척 파워의 증가는 이온 밀도와 이온 에너지를 증가시켜 InP 의 식각률을 높인 것으로 예상된다.

ICP 소스파워를 300 W 로, RIE 척 파워를 100 W 로 고정시킨 상태에서 20 sccm BCl₃ 와 15BCl₃/5Ar 가스를 사용한 경우 공정 압력에 따른 InP 의 식각률과 negatively induced dc 바이어스 (-dc) 의 변화를 그림 3 에 나타내었다. 공정 압력이 5 ~ 15 mTorr 로 증가하면 InP 의 식각률은 20 sccm BCl₃ 의 경우에는 320 ~ 0 A/min 로, 15BCl₃/5Ar 경우에는 600 ~ 0 A/min 로 감소하였다. 또한 가스의 종류에 상관없이 -dc 바이어스는 압력 증가에 따라 감소하였다.

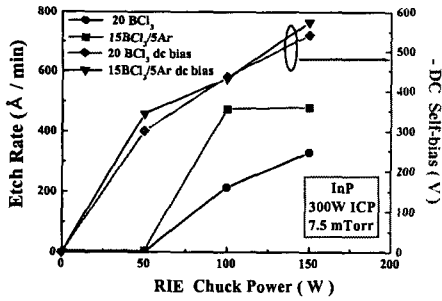


그림 2. RIE 척 파워에 따른 -dc 바이어스와 InP의 식각률.

Fig. 2. InP etch rate and -dc bias as a function of RIE chuck power at 20 sccm BCl₃ and 15BCl₃/5Ar plasmas.

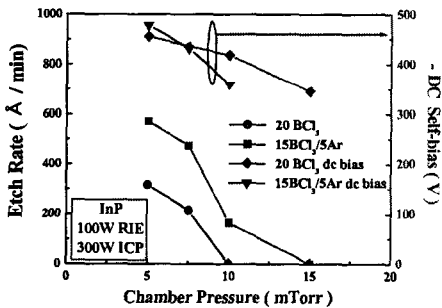


그림 3. 반응기 압력에 따른 -dc 바이어스와 InP의 식각률

Fig. 3. InP etch rate and -dc bias as a function of chamber pressure at 20 sccm BCl₃ and 15BCl₃/5Ar plasmas.

식각률의 감소는 압력이 증가함에 따라 반응기 내의 가스 함유량 증가로 인하여 이온이나 라디칼의 평균자유행정 (mean free path) 이 짧아져서 샘플에 충돌하는 이온이나 라디칼의 에너지가 감소하여 나타난 결과로 생각된다. 주목할 것은 그림 1, 2, 3 에서 20 sccm 의 BCl₃ 가스만을 사용하였을 때보다 25% Ar 이 혼합된 15BCl₃/5Ar 가스를 사용한 경우 InP 의 건식 식각률이 더 높은 것을 확인할 수 있는데, 이는 BCl₃ 에 Ar 이 혼합됨으로써 높은 이온보조 (high ion-assisted) 효과에 의해 나타난 결과로 볼 수 있다.

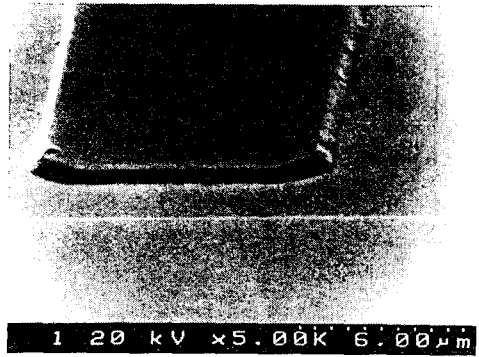


그림 4. 식각한 후 InP의 SEM 사진.

Fig. 4. Scanning Electron Microscopy image of etched InP at 15BCl₃/5Ar, 100 W RIE, 300 W ICP, 7.5 mTorr. PR was still in the place.

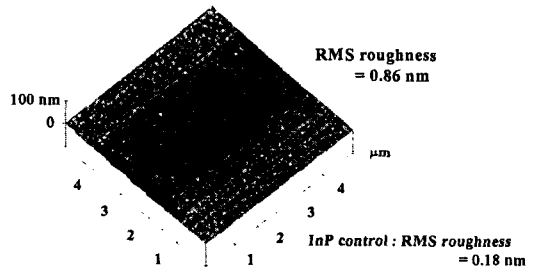


그림 5. 식각한 후 InP의 AFM 사진

Fig. 5. Atomic Force Microscopy image of etched InP surface at 15BCl₃/5Ar, 100 W RIE and 300 W ICP, 7.5 mTorr.

15BCl₃/5Ar, ICP 소스파워를 300 W, RIE 척 파워를 100 W, 공정압력을 7.5 mTorr 로 고정시킨 상태에서 InP 를 3 분간 식각한 후 찍은 SEM 사진과 AFM 데이터를 그림 4 와 그림 5 에 나타내었다. 사진에서 식각된 InP 의 총 식각깊이는 1400 Å 이고 식각 후 PR 을 제거하지 않은 상태이다. 그림에서 알 수 있듯이 표면은 InCl_x 와 같은 식각 부산물이 존재하지 않는 매우 깨끗한 상태를 확인할 수 있었다. 일반적으로 InP 는 Cl₂ 계열의 반응성 가스를 사용한 건식 식각시 InCl_x 의 식각부산물이 생기는데 이것의 휘발성이 낮아 (녹는점 대기중 600 °C 이상) InP 샘플위에 남아있는 경우가 많다. 그러나 본 실험 후에는 상온에서 공정을 하였음에도 불구하고 표면이 무척 깨끗하여 InP 의 상온 BCl₃ 건식식각의 새로운 가능성을 보여주고

있다. 이 조건에서 RMS roughness 도 0.86 nm 로 아주 평탄함을 확인하였다. 이때 플라즈마에 노출되기 전의 InP 의 RMS roughness 는 0.18 nm 였다.

그림 6 는 ICP 소스파워 (300 W), RIE 척 파워 (100 W), 공정압력 (7.5 mTorr) 을 고정시킨 상태에서 %BCl₃ 에 따른 InP 의 식각깊이와 RMS roughness 데이터를 나타내고 있다. 100% BCl₃ (20 sccm BCl₃) 가스만을 사용하였을 때보다 Ar 을 적절히 (50% 이하) 혼합하였을 때의 InP 의 식각깊이와 RMS roughness 가 더 우수한 것을 확인할 수 있다. 하지만 지나친 양의 (50% 이상) Ar 혼합은 오히려 식각결과를 나쁘게 하였다.

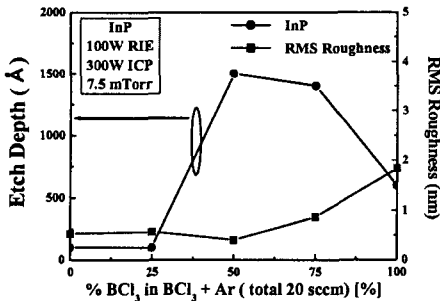


그림 6. %BCl₃ 에 따른 InP 의 식각깊이와 RMS roughness.

Fig. 6. InP etch depth and RMS roughness as a function of %BCl₃ at 100 W RIE, 300 W ICP, 7.5 mTorr.

4. 결론

본 연구에서는 고밀도 평판형 유도결합 플라즈마를 이용하여 InP 의 건식식각에 대해 분석하였다. 공정변수로는 ICP 소스파워를 0 ~ 500 W, RIE 척 파워를 0 ~ 150 W, 공정압력을 5 ~ 15 mTorr, 그리고 BCl₃/Ar 의 혼합비에 따라 변화시키면서 실험하였다. ICP 소스파워와 RIE 척 파워의 증가는 반응기내 이온 밀도와 이온에너지를 각각 증가시켜 식각률이 증가하였고, 공정압력의 증가는 이온이나 라디칼의 평균자유행정을 짧게 하여 식각률이 감소하였다. 또, 총 20 sccm 의 혼합가스에서 적절한 양의 (50% 이하) Ar 혼합은 고밀도 평판형 유도결합 플라즈마를 사용한 InP 의 건식 식각 시 식각률 증가뿐만 아니라 식각 후 평탄한 표면을 얻는데 도움을 주었다.

감사의 글

본 연구는 학술진흥재단 2001년도 지방대학 육성지원(과제번호 2001-002-D00084) 과제에 의해 수행되었습니다. 본 연구에 기술적인 지원을 준 부경대 공동실험실습관의 류호정 박사께 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] H.S. Kim, G.Y. Yeom, J.W. Lee and T.I. Kim, "A study of GaN etch mechanism using inductively coupled Cl₂/Ar plasmas", *Thin Solid Films*, 341, 180, 1999.
- [2] 이병택, 박철희, 김성대, 김호성, "BCl₃/O₂/Ar 유도결합 플라즈마를 이용한 InP 의 건식식각에 관한 연구", *한국진공학회*, 8권, 4호(2), 541, 1999.
- [3] J.A. Diniz, J.W. Swart, K.B. Jung, J. Hong and S.J. Pearton, "Inductively Coupled Plasma Etching of In-based Compound Semiconductors in CH₄/H₂/Ar", *Solid-State Electronics*, Vol. 42, No. 11, 1947, 1998.
- [4] J.W. Lee, C.R. Abernathy, S.J. Pearton, F. Ren, W.S. Hobson, R.J. Shul, C. Constantine and C. Barratt, "inductively coupled plasma etch damage in GaAs and InP schottky diodes", *J. of Electrochemical Society*, 144, 1417, 1997.
- [5] J. Hong, J.W. Lee, C.R. Abernathy, E.S. Lambers, S.J. Pearton, R.J. Shul and W.S. Hobson, "Comparison of Plasma Chemistries for Inductively Coupled Plasma Etching of InGaAlP alloys", *J. of Vac. Sci. Technol.*, A 16, 1497, 1998.
- [6] J.W. Lee, E.S. Lambers, C.R. Abernathy, S.J. Pearton, R.J. Shul, F. Ren, W.S. Hobson and C. Constantine, "Inductively Coupled Plasma Etching of III-V Semiconductors in Cl-based Chemistries", *Solid-State Electronics*, 42, 1998.
- [7] 정필구, 임완태, 조관식, 전민현, 임재영, 이제원, 조국산, "150 mm GaAs 웨이퍼의 플라즈마 식각에서 식각 깊이의 균일도에 대한 가스 흐름의 최적화 연구", *한국진공학회지*. 11권, 2호, 2002.
- [8] B.H. O, J.S. Jung, S.G. Park, "improvement

- of ICP plasma with periodic control of axial magnetic field", *Surface and Coating Technology*, 120-121, 752, 1999.
- [9] J.W. Lee, D. Hayes, C.R. Abernathy, S.J. Pearton, W.S. Hobson and C. Constantine, "inductively coupled Ar plasma damage in AlGaAs", *J. of Electrochem. Soc.*, 144, L245, 1997.
- [10] J.W. Lee, R.J. Shul, G.A. Vawter, C.R. Abernathy, S.J. Pearton and Y.B. Hahn, "Reactive Ion Beam Etching of In-Containing Compound Semiconductors in an Inductively Coupled Cl₂/Ar Plasmas", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 42, 38, 2003.
- [11] 강형곤, 임성훈, 임연호, 한윤봉, 황중선, 한병성, "새로운 ICP 장치를 이용한 고온 초전도체의 Dry Etching 과 기존의 Wet Etching 기술과의 비교", *전기전자재료학회지*, 14권, 2호, 158, 2001.
- [12] T. Maeda, J.W. Lee, R.J. Shul, J. Han, J. Hong, E.S. Lambers, S.J. Pearton, C.R. Abernathy and W.S. Hobson, "inductively coupled plasma etching of III-V semiconductors in BCl₃-based chemistries" *Appl. Surface Science* 143, 174, 1999.
- [13] Y.B. Hahn, D.C. Hays, H. Cho, K.B. Jung, C.R. Abernathy, S.J. Pearton and R.J. Shul, "Effect of inert gas additive species on Cl₂ high density plasma etching of compound semiconductors Part II. InP, InSb, InGaP and InGaAs", *Applied Surface Science* 147, 1999.
- [14] 임완태, 백인규, 정필구, 이제원 조관식, 이주인, 조국산, S.J. Pearton, "BCl₃ 평판형 유도결합 플라즈마를 이용한 GaAs 건식식각", *한국재료학회지*, 13권, 4호, 266, 2003.