

GaAs/AlGaAs 와 GaAs/InGaP 의 건식 식각 시 Flourine 이온의 효과

장수옥, 박민영, 최충기, 유승열, 이제원[†], 송한정, 전민현

인제대학교 나노공학부/ 나노기술 응용센터

F⁻ Ion-Assisted Effect on Dry Etching of GaAs over AlGaAs and InGaP

Soo-Ouk Jang, Min-Young Park, Chung-Ki Choi, Seung-Ryul Yoo, Je-Won Lee[†], Han-Jung Song, Min-Hyon Jeon

School of Nano Eng./ Center of Nano-Technology Applications INJE Univ.

Abstract : The dry etch characteristics of GaAs over both AlGaAs and InGaP in planar inductively coupled BCl₃ -based plasmas(ICP) with additions of SF₆ or CF₄ were studied. The additions of flourine gases provided enhanced etch selectivities of GaAs/AlGaAs and GaAs/InGaP. The etch stop reaction involving formation of involatile AlF₃ and InF₃ (boiling points of etch products: AlF₃ ~ 1300°C, InF₃ > 1200°C at atmosphere) were found to be effective under high density inductively coupled plasma condition. Decrease of etch rates of all materials was probably due to strong increase of flourine atoms in the discharge, which blocked the surface of the material against chlorine neutral adsorption. The process parameters were ICP source power (0 - 500 W), RF chuck power (0 - 30 W) and variable gas composition. The process results were characterized in terms of etch rate, selectivities of GaAs over AlGaAs and InGaP, surface morphology, surface roughness and residues after etching.

Key Words : GaAs, Dry etching, Inductively coupled plasma, InGaP, AlGaAs

1. 서 론

현재 GaAs기반 III-V족 화합물 반도체 재료는 각종 전자소자 및 광소자에 널리 사용되고 있다. 이러한 화합물 반도체 제조공정에 있어서 식각공정은 습식이나 건식식각 공정을 통해 지금까지 많은 연구가 되어왔다. 대부분의 연구에서 GaAs/AlGaAs 와 GaAs/InGaP 구조의 건식식각은 높은 이온밀도를 가진 Electron Cyclotron Resonance(ECR) 이나 Cylindrical Inductively Coupled Plasma(CICP) 장비를 이용하여 연구되었다. 그러나 본 논문에서는 장비의 시스템 구조가 비교적 간단하면서 이온밀도와 이온에너지를 독립적으로 조절이 가능하며 미세패터닝 기술이 용이한 Planar Inductively Coupled Plasma(PICP) 장비를 이용하여 GaAs/AlGaAs 및 GaAs/InGaP 구조 반도체의 건식식각 공정 후 그 결과에 관하여 비교 분석 하였다. 특히 기존의 Cl기반 식각 메커니즘과 F기를 포함하는 대표적인 SF₆, CF₄가스의 혼합에 따른 식각특성에 대해 중점적으로 보고 하겠다.

2. 실험

이번 실험에서 사용한 Al_{0.2}Ga_{0.8}As 와 In_{0.5}Ga_{0.5}P 샘플은 각각 금속유기 화학기상증착법(Metal Organic Chemical Vapor Deposition)과 금속유기 분자선 증착법(Metal Organic Molecular Beam Epitaxy)을 이용하여 Semi-insulating GaAs 기판위에 1 μ m 두께로 에피성장 하였고, undoped(100) GaAs 샘플은 Czochralski 방법으로 성장하였다. ICP 소스파워와

RF 척 파워는 각각 13.56MHz의 RF전원이 연결되어 있고, 열 교환기를 이용하여 공정온도는 실온(25°C)을 유지하였다. 총 가스 유입량은 20 sccm, 공정시간은 3분으로 고정시킨 상태에서 ICP 소스파워(0-500W)와 RF 척파워(0-30W), 그리고 SF₆ 및 CF₄ 가스의 혼합비를 중점적으로 변화시켜 실험을 하였다. 실험에 사용된 모든 샘플들은 1 μ m 두께의 감광액(photoresist, PR) 으로 패턴된 1 \times 1cm² 크기로 사용하였으며, 어노다이징 된 알루미늄 캐리어 위에 진공그리스로 고정시켜 실험하였다. 또한 광방출분석기(Optical Emission Spectroscopy : SD-2000, Ocean Optics, Inc)를 이용하여 공정 중 실시간 플라즈마 안정도를 확인 하였다. 공정이 끝난 샘플은 아세톤을 이용하여 PR을 제거한 후, 표면두께측정기(Alpha step 200, Tencor Instrument)를 이용하여 식각 깊이를 측정하였고, 전계방출 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope : S-4300, HITACHI)과 원자현미경(Atomic Force Microscope : XE-100, PSIA)으로 식각단면, 표면 거칠기(RMS roughness) 등의 특성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 RF 척파워를 20W, ICP 소스파워를 300W, 공정압력을 7.5 mTorr 로 고정시킨 상태에서 BCl₃ 와 F-기반가스인 SF₆, CF₄ 가스 혼합비에 따른 AlGaAs 및 InGaP에 대한 GaAs의 식각선택도를 보여주고 있다. 순수한 100% BCl₃만을 사용하여 GaAs를 식각하였을 때 약 2200 Å/min

의 식각률을 얻었다.

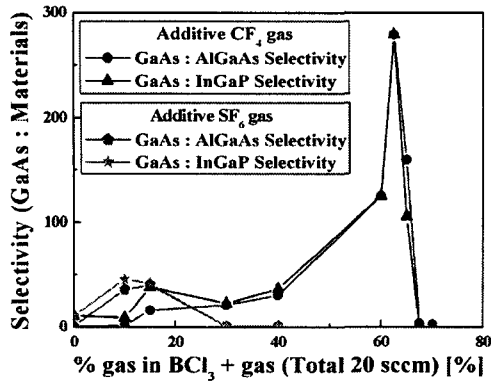


그림1. BCl₃/CF₄, BCl₃/SF₆ 가스혼합비에 따른 AlGaAs 및 InGaP에 대한 GaAs의 선택도

BCl₃/SF₆ 혼합가스의 경우 10%의 SF₆ 혼합비율에서 가장 높은 GaAs의 식각률(~12,380 Å/min)과 선택도(GaAs : AlGaAs ~36:1, GaAs : InGaP ~45:1)를 가진다. 이와 비교하여 BCl₃/CF₄ 혼합가스를 사용한 식각에는 10% 이상의 CF₄ 가스의 혼합에서도 선택도가 지속적으로 증가 하는 경향을 보이다가 62.5% CF₄에서 가장 높은 선택도(GaAs : AlGaAs ~280:1, GaAs : InGaP ~250:1)를 가지며 식각률 또한 매우 높았다(~27900 Å/min). 이러한 GaAs의 높은 식각률은 F기를 포함하는 가스(SF₆, CF₄)의 혼합비가 증가하면서 Cl가스의 해리를 촉진하여 결국 챔버 내의 Cl의 밀도를 증가시키는 메커니즘에 기인한 것으로 사료된다. 또한 BCl₃ 가스에 SF₆ 및 CF₄가스를 혼합하여 식각한 두 경우 모두 GaAs의 높은 식각률에 비해 AlGaAs 및 InGaP의 식각률은 현저히 낮은 특성을 보여주고 있다(<500 Å/min). 이와 같은 결과는 AlGaAs나 InGaP의 식각 시 챔버 내 증가하는 반응성 Florine 이온이 공정 중 휘발성이 낮은 식각부산물(AlF₃ : 1300℃, InF₃ : 1200℃)을 형성함으로써 식각을 억제시키는 것으로 판단된다. 이러한 AlGaAs와 InGaP의 낮은 식각률은 곧 GaAs의 높은선택도를 의미한다. 그리고 SF₆, CF₄의 혼합량이 과다할 경우 식각에 필요한 Cl의 함유량이 감소하여 모든 샘플들의 식각이 종료됨을 알 수 있다.

그림 2는 300W ICP 소스파워, 20W RF 척파워, 7.5mTorr의 공정압력에서 각각 10% SF₆(18BCl₃/2SF₆) 및 15% CF₄(17BCl₃/3CF₄)의 가스조성비에서 3분간 식각한 후 측정된 FE-SEM 사진이다. 소자를 제조할 시 높은 식각 선택비도 중요하지만 표면의 거칠기 또한 무시할 수 없는 부분이다. 그림에서 보는 바와 같이 선택적 식각특성을 얻기 위한 20W의 낮은 RF척 파워의 공정조건에서 주된 화학적 식각 메커니즘에도 불구하고 좋은 표면을 얻을 수 있었다(10% SF₆(BCl₃/SF₆)의 RMS roughness : 11nm, 15% CF₄(BCl₃/CF₄)의 RMS roughness : 8.4nm). 추가적으로 RF척 파워 및 ICP 소스파워의 다양한 변화에 따른 실험을 통하여 최적화된 조건에서 조절이 용이한 식각률 및 선택

도를 확보하였다.

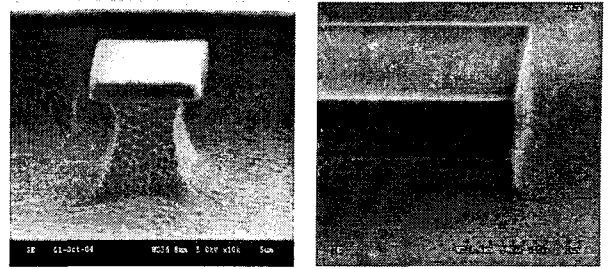


그림2. 18BCl₃/2SF₆(좌), 17BCl₃/3CF₄(우) 조건의 FE-SEM Image

4. 결론

이번 실험에서는 평판형 고밀도 유도결합 플라즈마(PICP)를 이용하여 RF 척파워, ICP 소스파워, 그리고 BCl₃ 기반 가스에 F를 포함하는 가스(SF₆, CF₄)의 혼합비를 중점적으로 변화하여 GaAs/AlGaAs, GaAs/InGaP 반도체 구조의 식각 시 나타난 F이온의 효과 및 특성을 비교분석하였다. 첫째, Florine 이온의 농도를 증가시킬수록 Cl radical의 농도를 증가시켜 순수한 BCl₃ 가스를 이용한 GaAs를 식각한 경우보다 더 높은 식각률을 얻을 수 있었다. 두 번째, 혼합된 F 이온은 AlGaAs와 InGaP의 식각 시 휘발성이 낮은 AlF₃, InF₃등을 형성시켜 식각을 억제시킴으로써 AlGaAs와 InGaP에 대한 GaAs의 식각선택도를 증가시키는 효과를 나타내었다. Florine 이온을 포함하는 평판형 고밀도 유도결합 BCl₃ 플라즈마를 이용하여 GaAs/AlGaAs 및 GaAs/InGaP의 식각 시 나타난 낮은 표면의 거칠기와 높은 선택적 식각률은 차세대 반도체 제조공정 기술에 유용하게 사용될 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 2005년 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] R. J. Shul and S. J. Pearton, eds., Handbook of Advanced Plasma Processing Techniques (Springer, Berlin, 2000).
- [2] O. Wada, Microelectronics Reliability, 39, 1839 (1999).
- [3] C. S. Lin, Y. K. Fang, S. F. Chen, C. Y. Lin, M. C. Hsieh, C. Wang, H. K. Huang, C. L. Wu and C. S. Chang, Materials Science in Semiconductor Processing 7, 59 (2004).
- [4] S. R. Yoo, H. W. Ryu, W. T. Lim, J. W. Lee, G. S. Cho, M. H. Jeon, H. J. Song, J. S. Ko, J. S. Go, S. J. Pearton, Korean Journal of materials Research(2005)