

확산펌프 기반의 BCl₃ 축전결합 플라즈마를 이용한 GaAs와 AlGaAs의 건식 식각

이성현 · 박주홍 · 노호섭 · 최경훈 · 송한정 · 조관식 · 이제원*

인제대학교 나노공학부/나노매뉴팩처링연구소, 김해 621-749

(2009년 6월 7일 받음, 2009년 7월 9일 수정, 2009년 7월 14일 확정)

본 논문은 확산펌프 기반의 축전 결합형 BCl₃ 플라즈마를 사용하여 GaAs와 AlGaAs를 건식 식각한 연구에 관한 것이다. 실험에서 사용한 압력 범위는 50~180 mTorr, CCP 파워는 50~200 W, BCl₃ 가스 유량은 2.5~10 sccm 이었다. 식각 후에 GaAs와 AlGaAs의 식각 속도와 표면 거칠기분석은 표면 단차 측정기를 이용하여 하였다. GaAs의 식각 벽면과 표면 상태는 전자현미경으로 분석하였다. 식각 중 플라즈마의 광 특성 분석은 광학 발광 분석기를 이용하였다. 본 실험을 통하여 5 sccm의 소량의 BCl₃ 가스 유량으로 공정 압력이 130 mTorr이내인 경우에는, 100 W CCP 파워의 조건에서 GaAs는 약 0.25 μm/min 이상의 우수한 식각 속도를 얻을 수 있었다. AlGaAs의 경우는 GaAs의 식각 속도보다 조금 낮았다. 그러나 같은 유량에서 공정 압력이 180 mTorr로 높아지면 GaAs와 AlGaAs의 식각 속도가 급격히 감소하여 거의 식각되지 않는 것을 알 수 있었다. 또한 CCP 파워의 경우에는 50 W의 파워에서는 GaAs와 AlGaAs 모두 거의 식각되지 않았다. 그러나 100~200 W의 조건에서는 0.3 μm/min 이상의 높은 식각 속도를 주었다. 두 결과를 보았을 때 축전결합형 BCl₃ 플라즈마 식각에서 GaAs와 AlGaAs의 식각 속도는 CCP 파워가 100~200 W 범위에 있으면 그 값에 비례하지 않고 거의 일정한 값이 된다는 사실을 알았다. 75 mTorr, 100 W의 CCP 파워 조건에서 BCl₃의 유량 변화에 따른 GaAs와 AlGaAs의 식각 속도의 경우, BCl₃의 유량이 2.5 sccm의 소량일 때는 GaAs는 식각 속도가 높았지만 AlGaAs는 거의 식각되지 않는 흥미로운 결과를 얻었다. 플라즈마 발광 특성을 보면 BCl₃ 축전 결합 플라즈마는 주로 500~700 nm 범위를 가지는 넓은 분자 피크만 만든다는 것을 알 수 있었다. 전자 현미경 사진 결과에서는 5 sccm과 10 sccm의 BCl₃ 플라즈마 모두 식각 중에 GaAs의 벽면을 언더컷팅 하였으며, 10 sccm의 BCl₃ 유량을 사용하였을 때 언더컷팅이 더 심했다.

주제어 : 플라즈마 식각, 축전 결합형 플라즈마, GaAs, AlGaAs, 확산펌프, BCl₃

I. 서 론

GaAs와 AlGaAs는 초고속 통신 소자, 광통신 소자와 적색 발광 다이오드의 핵심 재료로 사용되고 있다. 특히 HEMT (High Electron Mobility Transistors)와 HBT (Heterojunction Bipolar Transistors) 등의 전자 소자의 제작에 있어 1990년대 후반부터 고진공의 터보분자 펌프를 기반으로 하는 유도결합 플라즈마를 이용한 건식 식각 기술이 많이 개발되어 왔다 [1-5]. 그러나 GaAs 기반 소자의 대량 생산을 더욱 가속하기 위해서는 낮은 생산비용으로 여러 장의 웨이퍼를 동시에 식각하거나, 보다 대면적의 조건에서 플라즈마 식각을 안정적으로 할 수 있는 기술 개발이 요구되고 있다. GaAs와 AlGaAs는 InP와 GaN 등 다른 III-V 반도체보다 비교적 식각이 용이하며, 염소 가스와의

반응에 따른 식각 부산물의 휘발성이 높은 재료들이다. 따라서 GaAs와 AlGaAs 재료 식각에 있어, 식각 시스템 및 공정 조건의 최적화를 통해 생산원가 부담을 줄일 수 있는 반응성 건식 식각 기술에 대한 체계적인 연구는 매우 중요하다. 그런 의미에서 GaAs의 반응성 이온 식각 연구 결과들이 보고되고 있다 [6-8]. 즉, 기존의 식각 시스템 개발에서 고가의 부품, 고유지 비용 등에서 문제가 되었던 것들을 개선하여 더욱 생산성 높고 안전한 새로운 식각 시스템과 관련 공정을 개발함으로써, 플라즈마 식각 기술을 선도해 갈 수 있다. 축전결합형 플라즈마 시스템의 하드웨어적인 개선에 있어서 필요한 것은 크게 보아 반응기 내부 구조의 최적화, CCP 척 설계의 최적화 그리고 배기 시스템의 개선을 포함한다.

그런 측면에서 본 연구팀은 플라즈마 식각 배기 시스템

* [전자우편] jwlee@inje.ac.kr

의 간소화를 지속적으로 연구하고 있다. 그 결과로 기계적 펌프를 사용하여 고분자와 GaAs를 식각한 결과를 최근에 보고하였다 [9-13]. 본 연구팀은 식각 장치의 배기 시스템 구성에 있어서 특히 터보 분자 펌프를 사용하지 않고 식각을 할 수 있는 기술 개발에 많은 관심을 가지고 있다. 터보 분자 펌프는 세계적으로 독일, 일본 등 극소수의 나라에서만 생산되고 있으며, 그 이외의 전 세계의 모든 나라는 전량을 수입해서 사용하고 있다.

터보 분자 펌프는 비록 소재가 화학적으로 안정하고, 좋은 가스 압축비와 배기 능력을 가졌다 [14-15] 하여도 정전 등의 전기적, 기계적 충격에 취약하며, 특히 구입 및 유지 비용이 고가여서 사용자의 입장에서는 많은 부담을 가지고 있다. 또한 향후 여러 장의 반도체 웨이퍼를 동시에 식각하거나 더욱 대면적의 웨이퍼를 식각한다면, 현재로서는 용량이 더 큰 터보분자펌프의 사용이 필수적이 되어 장비 및 공정 발전에 경제적 부담과 터보 분자 펌프의 갑작스런 고장에 대한 기술적 대처 부담이 더 커지게 된다. 따라서 본 논문에서는 특히 GaAs와 AlGaAs의 식각을 위한 BCl₃ 가스 축전결합형 플라즈마의 식각 장비 구성에 있어서 터보 분자 펌프를 사용하지 않고, 확산펌프를 사용하여 식각을 하였으며 그 특성을 연구를 하였다.

확산 펌프는 일반적으로 반응성 가스를 사용하는 건식 식각에서는 거의 사용되지 않고 있다. 그 이유는 고진공에서 확산 펌프의 역류에 대한 불안과 무엇보다도 확산펌프의 식각 가스에 대한 오일의 안정성과 식각 특성에 대한 정보와 경험이 없기 때문으로 사료된다. 그러나 확산펌프에 대한 지식이 축적되어 최적화된 펌프가 개발된다면, 저가이며 전기, 기계적으로 안정한 확산펌프 기반의 플라즈마 식각 기술 발전이 기대된다.

본 연구팀은 확산펌프를 이용하여 BCl₃ 축전결합형 플라즈마에 의한 GaAs와 AlGaAs 식각 특성을 비교 연구하였으며, 본 논문으로 그 내용을 저자가 인지하는 한 최초로 보고하고자 한다.

II. 실험 방법

GaAs와 AlGaAs 샘플은 식각 마스크로 사용하는 감광제 (AZ 4620)로 패터닝을 한 것과 하지 않은 것을 따로 준비하여 1×1 cm² 정도로 조각내어 실험하였다. AlGaAs 샘플

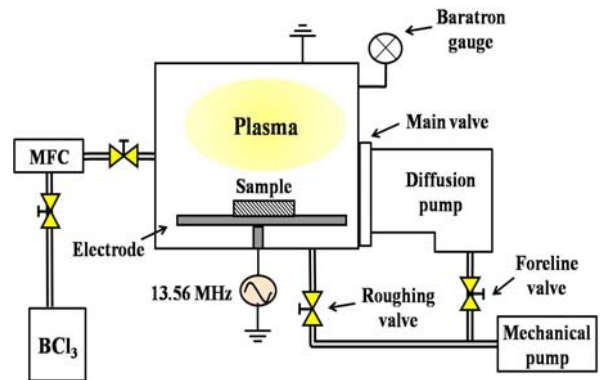


Figure 1. Schematic of a diffusion pump-based capacitively coupled plasma (CCP) system.

의 III족 Al과 V족 Ga 성분비는 20과 80 %이었다.

이번 실험에 사용한 축전 결합형 플라즈마 시스템은 본 연구팀의 실험실에서 자체 조립한 것이다 (Fig. 1). 플라즈마를 발생시키는 전원 장치로는 영신 RF의 13.56 MHz, 공랭식 600 W 용을 사용하였다. BCl₃의 가스 유량 조절기는 KNH 인스트루먼트에서 교정한 가스 유량 조절기 (Mass Flow Controllers)를 사용하였다. 러핑펌프로는 로터리 배인 펌프를 사용하였으며 포어라인 펌프로는 확산펌프를 사용하였다. 각각의 식각 실험에서 BCl₃ 가스 유입 전의 반응기의 최저 압력은 3 mTorr로 하였다. GaAs와 AlGaAs 샘플을 올려놓는 샘플 척은 직경 150mm 이었다.

실험에 사용한 플라즈마 식각 공정 변수는 BCl₃의 가스 압력 (50-180 mTorr) 과 샘플 지지대로 사용하는 CCP 척에 인가되는 고주파 척 파워 (10-200 W) 이었다. 플라즈마 반응기로 유입되는 BCl₃ 가스의 총량은 5 sccm (standard cubic centimeter per minute)으로 고정하였다. 플라즈마 식각 시간은 2 분으로 하였다. 공정 중에 광학 발광 분석기를 사용하여 BCl₃의 플라즈마 강도를 분석하였다. 광학발광 분석기의 파장 범위는 400-900 nm이었으며 분석 주기는 100 msecond 이었다.

식각 공정이 끝난 GaAs와 AlGaAs 샘플들은 아세톤으로 감광제 (photoresist)를 제거한 후에 표면 단차 측정기 (Tencor alpha-step IQ)로 식각 깊이를 측정하여 식각 속도를 계산하였다. 또 식각 공정이 끝난 후에 표면 거칠기 측정 프로그램을 이용하여 표면 거칠기를 측정하였다. 이때 GaAs 샘플의 측정 거리는 1,000 μm로 일정하게 하였다. GaAs의 식각벽면과 표면상태는 주사전자현미경 (Scanning Electron Microscopy)을 이용하여 관찰하였다.

III. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 압력에 따른 GaAs와 AlGaAs의 식각 속도 변화 그래프이다. 실험에서 BCl₃의 가스량은 5 sccm이었고, CCP 파워는 100 W로 고정하였다. 실험 결과를 보면 샘플 척에 만들어지는 자기 바이어스는 압력의 증가에 따라 계속해서 감소하는 것을 알 수 있었다. 즉, 50 mTorr의 경우에 자기 바이어스는 -287 V이었으나 180 mTorr일 때는 -82 V로 감소하였다. GaAs와 AlGaAs의 식각 속도 변화를 살펴보면, BCl₃의 압력이 50 mTorr이었을 때, GaAs와 AlGaAs의 식각 속도는 각각 0.43 와 0.38 $\mu\text{m}/\text{min}$ 이었다. 또한 압력 변화에 따라 GaAs의 식각 속도가 AlGaAs의 식각 속도보다 약간 높았다. 이 그래프에서 중요한 것은 GaAs와 AlGaAs의 식각률은 50~130 mTorr의 범위에서 GaAs는 약 0.43~0.32 $\mu\text{m}/\text{min}$, AlGaAs는 약 0.38~0.28 $\mu\text{m}/\text{min}$ 으로 비교적 우수한 식각 결과를 가지고 있었다는 것이다. 그러나 압력이 180 mTorr가 되면 GaAs와 AlGaAs의 식각속도가 모두 크게 감소하여 0.03과 0.04 $\mu\text{m}/\text{min}$ 정도가 되었다. 압력 증가에 따라 식각 속도가 감소하는 것은, 압력 증가에 따라 기체의 평균 자유행로가 적어졌으며, 그 영향으로 가속되는 전자와 이온들의 속도가 줄어들어 자기 바이어스가 작아지는 현상 때문으로 생각한다. 여기서 공정 압력을 50 mTorr로 유지하면 다른 조건이 모두 고정된 경우에 GaAs와 AlGaAs 식각 속도 모두가 가장 높은 값을 유지할 수 있었다. 이 공정 압력은 BCl₃ 가스가 유입되는 상황에서도 확산 펌프를 사용하여 충분히 유지할 수 있었다. 50 mTorr의 공정압력은 가스 주입 전의 베이스 압

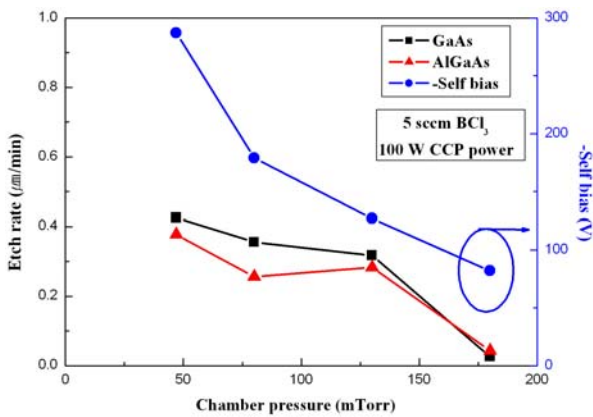


Figure 2. GaAs and AlGaAs etch rates and -self bias as a function of chamber pressure at 5 sccm BCl₃ flow rate and 100 W CCP power.

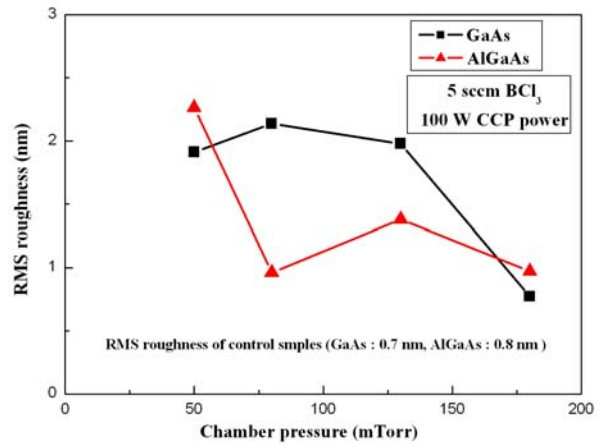


Figure 3. GaAs and AlGaAs RMS roughnesses as a function of chamber pressure at 5 sccm BCl₃ flow rate and 100 W CCP power.

력 (base pressure)인 3 mTorr에 비해 16배 이상의 높은 압력이었다. 실제로 50 mTorr의 공정 실험에서 베이스 압력에 의한 잔류가스의 부분압 영향은 극히 작았을 것으로 판단한다.

Fig. 3은 공정 압력의 변화에 따른 GaAs와 AlGaAs의 식각 후 표면 거칠기를 그린 그래프이다. 식각 전의 GaAs와 AlGaAs 기준 샘플의 컨트롤 표면 거칠기 값은 각각 0.7, 0.8 nm 이었다. 공정압력이 50 mTorr에서는 BCl₃ 식각 후에 AlGaAs의 표면 거칠기 값은 약 2.4 nm로 GaAs의 경우 (약 1.9 nm)보다 조금 높았다. 즉, 식각 전보다 GaAs와 AlGaAs의 표면이 약 2~3배 정도 거칠어졌다. 그러나 공정 압력이 80~130 mTorr인 경우에는 AlGaAs의 표면 거칠기 값이 GaAs의 경우보다 감소하였고, 식각이 거의 되지 않은 180 mTorr에서는 GaAs와 AlGaAs 값이 약 1 nm 내외로 비슷한 값을 가졌다.

Fig. 4는 CCP 파워의 변화에 따른 GaAs와 AlGaAs의 식각 속도 그래프이다. 공정 압력은 100 mTorr로 일정하였다. 압력이 100 mTorr였을 때 CCP 파워가 50 W이었을 때 자기 바이어스는 -71 V이었으며, 그 때 식각 속도는 GaAs와 AlGaAs 모두가 약 0.03 $\mu\text{m}/\text{min}$ 으로 거의 식각이 일어나지 않았다. 그러나 CCP 파워가 100 W 이상으로 높아졌을 때 자기 바이어스는 -160 V로 증가하였으며, GaAs와 AlGaAs의 식각 속도는 각각 0.38과 0.32 $\mu\text{m}/\text{min}$ 으로 크게 증가하였다. 그 이후에 CCP 파워가 100 W에서 200 W로 더 증가해도 100 mTorr, 5 sccm의 BCl₃의 가스 유량에서는 GaAs와 AlGaAs의 식각 속도를 증가시키지는 못하

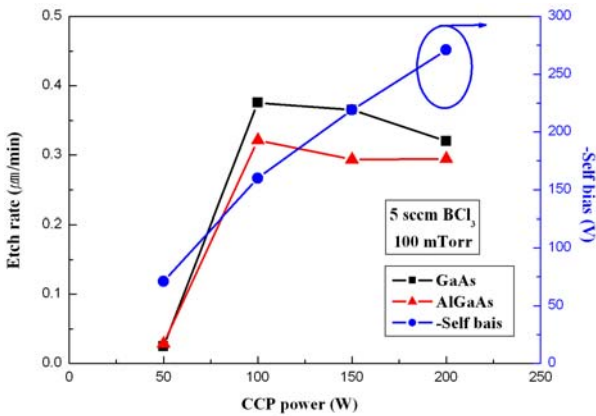


Figure 4. GaAs and AlGaAs etch rates and -self bias as a function of CCP power at 5 sccm BCl₃ flow rate and 100 mTorr chamber pressure.

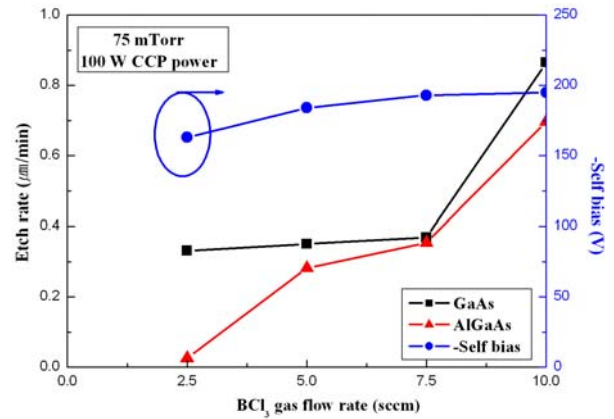


Figure 5. GaAs and AlGaAs etch rates and -self bias as a function of BCl₃ flow rate at 75 mTorr chamber pressure and 100 W CCP power.

였다. GaAs와 AlGaAs의 식각에서 CCP 파워는 척에 입사하는 이온 에너지 크기에 영향을 준다. 그러나 실험 결과를 보면 축전결합형 플라즈마 식각에서 CCP 파워가 높다고 해서 GaAs와 AlGaAs의 식각 속도가 비례하여 증가한다고는 이야기할 수 없다는 것을 알았다. 그 이유는 CCP 파워가 증가하면, 이온들의 입사 에너지는 증가하지만, 그에 따라 GaAs와 AlGaAs 샘플 표면에서 Ga, Al과 BCl₃ 종과의 반응이 미처 끝나기 전에, 또는 반응성이 있는 BCl₃ 종들이 샘플 표면에 흡착 (absorption)되기 전에, 그 것들을 스퍼터링해서 GaAs의 전체적인 식각속도가 증가하지 않도록 영향을 줄 수도 있기 때문으로 추측한다.

Fig. 5는 75 mTorr로 공정 압력이 고정된 상태에서 BCl₃의 가스 유량을 2.5 sccm에서 10 sccm으로 변화하였을 때 자기 바이어스와 GaAs와 AlGaAs의 식각 속도를 나타낸 것이다. BCl₃의 가스 유량이 많아짐에 따라 자기 바이어스의 값이 증가하는 것을 알 수 있었다. 즉, BCl₃의 유량이 2.5 sccm인 경우 자기 바이어스는 -163 V 이었고, 10 sccm인 경우에 그 값은 -195 V 이었다. 그러나 GaAs와 AlGaAs의 식각 속도는 BCl₃의 유량이 2.5 sccm인 경우와 5 sccm 이상인 경우로 나누어서 큰 차이를 보임을 알 수 있었다. 즉, BCl₃의 유량이 2.5 sccm인 경우에는 GaAs의 식각 속도는 약 0.33 μm/min으로 식각 속도가 높았으나 AlGaAs의 경우에는 0.03 μm/min으로 거의 식각되지 않았음을 알 수 있었다. 그러나 BCl₃의 유량이 5 sccm 이상인 경우에는 AlGaAs의 식각 속도가 낮았지만 그래도 GaAs와 AlGaAs의 식각 속도가 2.5 sccm BCl₃의 경우처럼

크게 차이가 나지는 않았다. 일반적으로 BCl₃ 가스는 GaAs와 AlGaAs를 비선택적으로 식각하는 가스로 알려져 있다. 또 이번 실험에서도 대부분의 경우에 GaAs와 AlGaAs는 식각 속도에서 큰 선택비를 보이지는 않았다. 그러나 75 mTorr에서 BCl₃의 양이 2.5 sccm인 경우에는 반응기내에 AlGaAs의 식각에 필요한 BCl₃의 종이 부족하며, 또한 그 조건에서 -163 V의 자기바이어스로는 AlGaAs의 결합력이 쉽게 끊어지지 않은 것으로 추측된다.

Fig. 6은 75 mTorr, 100 W RIE 파워의 조건에서 BCl₃ 유량 변화에 따른 GaAs와 AlGaAs의 감광제에 대한 식각 선택비 그래프이다. BCl₃의 유량이 증가함에 따라 GaAs의 경우에는 식각 선택비가 점차 감소하였으나 그 절대적인 값은 약 2.77~2.0 : 1 정도의 범위에 있었다. AlGaAs의 경우에는 BCl₃ 유량이 증가함에 따라 식각 선택도가 함께 증가하는 모습을 보였다. 즉, BCl₃의 유량이 많아져 반응할 수 있는 플라즈마 종들이 증가하고 자기 바이어스의 값이 증가함에 따라 가속된 이온들이 AlGaAs의 결합을 끊어, AlGaAs의 식각 속도가 높아졌고, 따라서 AlGaAs의 식각 선택비가 증가한 것으로 판단된다. 특히 BCl₃의 유량이 7.5 sccm이하인 경우에는 감광제의 식각 속도가 AlGaAs의 식각 속도보다 빨랐다. 따라서 AlGaAs를 식각하지 않고 GaAs만을 식각하고자 하는 경우에는 2.5 sccm의 BCl₃의 적은 유량을 사용하고, GaAs와 AlGaAs를 동시에 식각하고자 한다면 BCl₃의 유량을 5 sccm 이상으로 하는 것이 좋다는 흥미로운 사실을 알 수 있었다. Fig. 6에 의하면 7.5 sccm BCl₃ 이하의 경우에 식각 선택비가 낮은 이유는 BCl₃

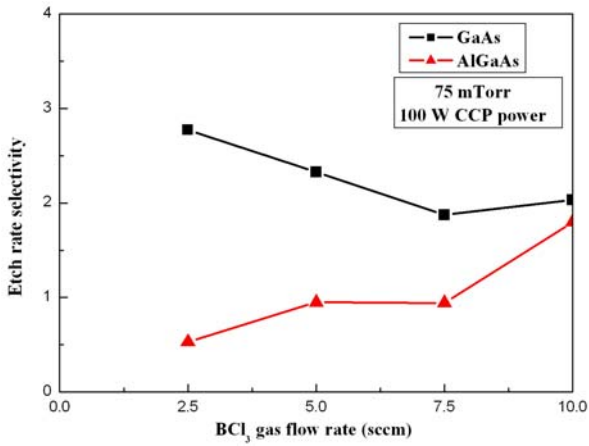


Figure 6. Etch rate selectivities of GaAs and AlGaAs over the photoresist as a function of BCl₃ gas flow rate at 75 mTorr chamber pressure and 100 W CCP power.

의 유량 부족에 의해 BCl₃ 플라즈마 종과 GaAs와 AlGaAs의 식각반응이 원활하지 못했기 때문에 판단된다. 특히 AlGaAs의 식각 선택비를 증가시키려면, 식각 반응기에서 BCl₃ 가스의 잔류시간 (residence time)을 짧게 하는 방향으로 공정이 진행되어야 할 것으로 추측된다. Residence time은 공급되는 가스 유량, 공정 압력과 펌핑 속력에 의해 영향을 받는다. 따라서 본 실험의 경우에는 공정 압력과 펌핑 속력이 고정된 상태에서 보다 많은 양의 가스를 공급하여 식각속도를 증가시켜 상대적으로 높은 식각 속도와 식각 선택비를 유지하고자 하였다. 그러나 추후에 BCl₃에 Cl₂나 불활성 가스 혼합 등을 통해 보다 높은 식각 선택비

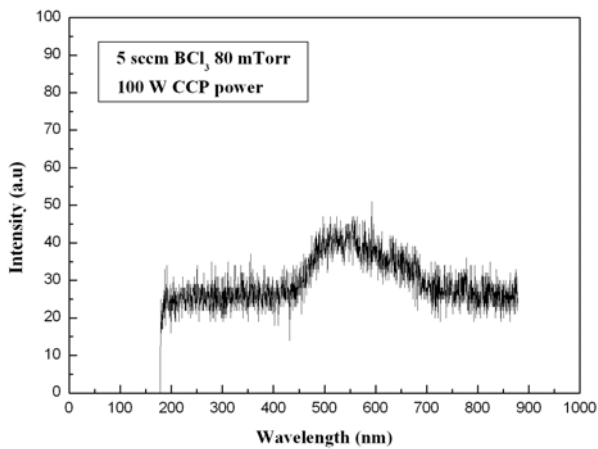


Figure 7. The optical emission spectroscopy spectrum obtained at 5 sccm BCl₃ flow rate, 80 mTorr chamber pressure and 100 W CCP power.

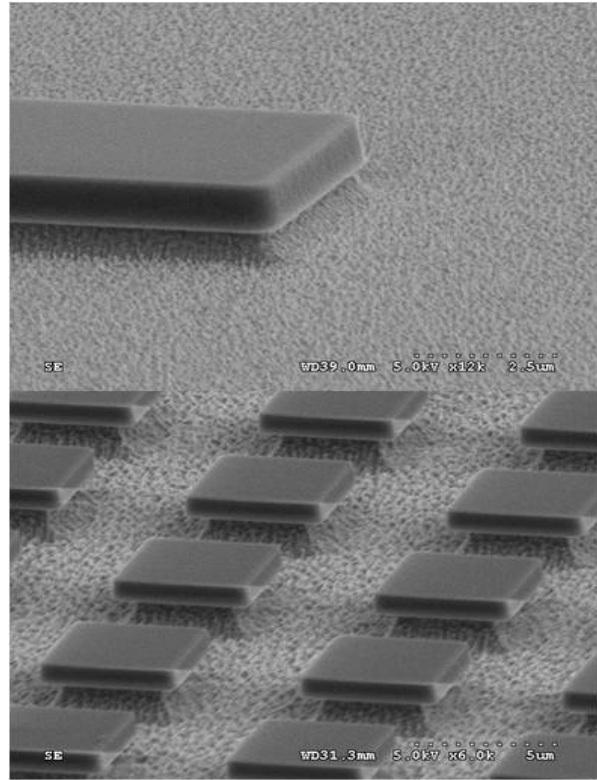


Figure 8. SEM micrographs of GaAs after etching in BCl₃ plasma at 5 sccm BCl₃, 100 W CCP power and 75 mTorr (top), and 10 sccm BCl₃, 100 W CCP power and 75 mTorr chamber pressure (bottom).

를 얻을 수 있는 기술에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

Fig. 7은 5 sccm BCl₃, 80 mTorr, 100 W RIE 척 파위의 조건에서 식각 실험 중에 광학발광 분석기로 얻은 플라즈마의 광강도 그래프이다. 이번 실험에서 약 500~700 nm의 넓은 파장 범위에서 약한 분자 발광 곡선을 얻을 수 있었다. 즉, 축전결합 플라즈마는 BCl₃ 가스를 Cl 원자보다는 BCl_x를 포함하는 분자로 쉽게 여기한다는 것을 이 자료로 알 수 있었다. 이 그림을 통해 BCl₃ 플라즈마는 축전결합 플라즈마에서는 B나 Cl과 관련한 특정 파장대의 원자 피크 선을 나타내기 보다는 넓은 파장 범위를 가지는 분자 발광 곡선을 나타냄을 알 수 있었다. 추가적으로 실험한 150 W RIE 척 파워 조건에서도 BCl₃의 분자 발광 곡선의 전체적인 형태는 거의 변하지 않았다.

Fig. 8은 BCl₃ 축전 결합형 플라즈마 조건에서 식각 후 얻은 전자현미경 사진이다. Fig. 8 (위)의 사진은 5 sccm BCl₃, 100 W CCP 파워와 75 mTorr의 공정 압력에서 식각한 GaAs의 사진이다. Fig. 8 (아래)의 사진은 10 sccm

BCl₃, 100 W CCP 파워, 75 mTorr의 조건에서 식각한 후의 GaAs 식각 사진이다. 두 사진 모두에서 GaAs의 식각 마스크로 사용한 감광제는 제거하지 않았다. 사진을 보면 주어진 두 식각 조건에서 BCl₃는 감광제의 표면이나 모양을 거의 훼손하지 않았음을 알 수 있었다. 그러나 두 사진을 비교하면 10 sccm의 BCl₃ 유량을 사용해서 식각한 경우가 5 sccm의 BCl₃ 유량으로 식각한 것보다 GaAs의 벽면의 수직도를 보다 약화시키고 언더컷팅이 더 많이 생기게 하는 것을 알 수 있었다. 5 sccm BCl₃ 식각의 경우 (Fig. 8, 위)도 식각 중에 식각 벽면에 언더컷팅이 생겼음을 알 수 있다. 또한 위의 두 조건에서 식각한 GaAs의 식각 표면도 감광제의 표면과 비교해 보았을 때 거칠게 보였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 확산펌프 기반의 축전 결합형 BCl₃ 플라즈마를 사용하여 GaAs와 AlGaAs를 건식 식각한 기초 결과를 정리하였다. 본 실험을 통하여 확산펌프를 사용하면, 5 sccm의 BCl₃ 가스 유량으로 공정 압력이 130 mTorr 이내인 경우에는 100 W CCP 파워의 조건에서 GaAs는 약 0.25 μm/min 이상의 우수한 식각 속도를 얻을 수 있었다. 그러나 공정 압력이 180 mTorr로 높아지면 GaAs와 AlGaAs의 식각 속도가 급격히 감소하게 되는 것을 알 수 있었다. 또한 CCP 파워의 경우에는 50 W의 낮은 파워에서는 GaAs와 AlGaAs 모두가 거의 식각되지 않았다. 그러나 100~200 W의 조건에서는 0.3 μm/min 이상의 높은 식각 속도를 주었다. 결과 분석을 통해 GaAs와 AlGaAs의 식각 속도가 CCP 파워에 비례하지 않고 100~200 W CCP 파워 범위에서는 거의 일정한 값을 준다는 결과를 얻었다. 75 mTorr, 100 W의 CCP 파워 조건에서 BCl₃의 유량 변화에 따른 GaAs와 AlGaAs의 식각 속도의 경우, BCl₃의 유량이 2.5 sccm의 소량일 때는 GaAs는 식각 속도가 높았지만 AlGaAs는 거의 식각되지 않는 흥미로운 결과를 얻었다. 전자 현미경 사진 결과에서는 5 sccm과 10 sccm의 BCl₃ 플라즈마 모두 식각 중에 GaAs의 벽면을 언더컷팅 하였으며, 10 sccm의 BCl₃ 유량을 사용하였을 때 언더컷팅이 더 심했다. 향후에는 본 연구 결과를 바탕으로 GaAs와 AlGaAs의 식각 표면 거칠기와 식각 벽면의 수직도를 우수하게 하는 공정 연구가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 인제대학교 학술연구조성비 보조에 의한 것임.

참고문헌

- [1] 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, *Appl. Surf. Sci.*, **143**, 174 (1999).
- [2] I. K. Baek, W. T. Lim, J. W. Lee, M. H. Jeon, G. S. Cho, and S. J. Pearton, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **21**, 2487 (2003).
- [3] J. W. Lee, M. H. Jeon, M. Devre, K. D. Mackenzie, D. Johnson, J. N. Sasserath, S. J. Pearton, F. Ren, and R. J. Shul, *Solid-state Electron.*, **45**, 1683 (2001).
- [4] L. Jalabert, P. Dubreuil, F. Carcenac, S. Pinaud, L. Salvagnac, H. Granier, and C. Fontaine, *Microelectronic Eng.*, **85**, 1173 (2008).
- [5] D. C. Hays, H. Cho, J. W. Lee, M. W. Devre, B. H. Reelfs, D. Johnson, J. N. Sasserath, L. C. Meyer, E. Toussaint, F. Ren, C. R. Abernathy, and S. J. Pearton, *Appl. Surf. Sci.*, **156**, 76 (2000).
- [6] C. W. Kuo, Y. K. Su, H. H. Lin, and C. Y. Tsia, *Solid-State Electron.*, **42**, 1933 (1998).
- [7] A. Grigonis, *Surf. Coat. Technol.*, **110**, 31 (1998).
- [8] F. N. Dultsev and L. A. Nenasheva, *Appl. Surf. Sci.*, **253**, 1287 (2006).
- [9] 주영우, 박연현, 노호섭, 김재권, 이성현, 조관식, 송한정, 전민현, 이제원, *한국진공학회지* **17**, 16 (2008).
- [10] 주영우, 박연현, 노호섭, 김재권, 이제원, *한국진공학회지*, **18**, 85 (2009).
- [11] 박연현, 주영우, 김재권, 노호섭, 이제원, *한국재료학회지*, **19**, 68 (2009).
- [12] 김재권, 박주홍, 이성현, 노호섭, 주영우, 박연현, 김태진, 이제원, *한국재료학회지*, **19**, 132 (2009).
- [13] J. W. Lee, J. K. Kim, J. H. Lee, Y. W. Joo, Y. H. Park, H. S. Noh, and S. J. Pearton, *J. Vac. Sci. Technol. B* **27**, 681 (2009).

[14] J. F. O'Hanlon, *A user's guide to vacuum technology*,
(Wiley-interscience, NJ, 2003), pp. 217-228.

[15] 주장현, *진공기술실무*, (홍릉과학출판사, 2004), pp.
122.

Dry Etching of GaAs and AlGaAs in Diffusion Pump-Based Capacitively Coupled BCl₃ Plasmas

S. H. Lee, J. H. Park, H. S. Noh, K. H. Choi, H. J. Song, G. S. Cho, and J. W. Lee*

School of Nano Engineering/Nano Manufacturing Center, Inje University, Gimhae 621-749

(Received June 7, 2009, Revised July 9, 2009, Accepted July 14, 2009)

We report the etch characteristics of GaAs and AlGaAs in the diffusion pump-based capacitively coupled BCl₃ plasma. Process variables were chamber pressure (50~180 mTorr), CCP power (50~200 W) and BCl₃ gas flow rate (2.5~10 sccm). Surface profilometry was used for etch rate and surface roughness measurement after etching. Scanning electron microscopy was used to analyze the etched sidewall and surface morphology. Optical emission spectroscopy was used in order to characterize the emission peaks of the BCl₃ plasma during etching. We have achieved 0.25 μm/min of GaAs etch rate with only 5 sccm BCl₃ flow rate when the chamber pressure was in the range of 50~130 mTorr. The etch rates of AlGaAs were a little lower than those of GaAs at the conditions. However, the etch rates of GaAs and AlGaAs decreased significantly when the chamber pressure increased to 180 mTorr. GaAs and AlGaAs were not etched with 50 W CCP power. With 100~200 W CCP power, etch rates of the materials increased over 0.3 μm/min. It was found that the etch rates of GaAs and AlGaAs were not always proportional to the increase of CCP power. We also found the interesting result that AlGaAs did not etched at 2.5 sccm BCl₃ flow rate at 75 mTorr and 100 W CCP power even though it was etched fast like GaAs with more BCl₃ gas flow rates. By contrast, GaAs was etched at ~0.3 μm/min at the 2.5 sccm BCl₃ flow rate condition. A broad molecular peak was noticed in the range of 500~700 nm wavelength during the BCl₃ plasma etching. SEM photos showed that 10 sccm BCl₃ plasma produced more undercutting on GaAs sidewall than 5 sccm BCl₃ plasma.

Keywords : Plasma etching, Capacitively coupled plasma, GaAs, AlGaAs, Diffusion pump, BCl₃

* [E-mail] jwlee@inje.ac.kr