

다층 RIE Electrode를 이용한 아크릴의 O₂/N₂ 플라즈마 건식 식각

김재권 · 김주형 · 박연현 · 주영우 · 백인규 · 조관식 · 송한정 · 이제원[†]

인제대학교 나노공학부, 나노 메뉴팩처링 연구소

O₂/N₂ Plasma Etching of Acrylic in a Multi-layers Electrode RIE System

Jaekwon Kim, Juhyeong Kim, Yeonhyun Park, Youngwoo Joo, Inkyeu Baek,
Guansik Cho, Hanjung Song and Jewon Lee[†]

School of Nano Engineering, Center for Nano Manufacturing, Inje University, Korea

(2007년 10월 24일 접수 : 2007년 11월 20일 채택)

Abstract We investigated dry etching of acrylic (PMMA) in O₂/N₂ plasmas using a multi-layers electrode reactive ion etching (RIE) system. The multi-layers electrode RIE system had an electrode (or a chuck) consisted of 4 individual layers in a series. The diameter of the electrodes was 150 mm. The etch process parameters we studied were both applied RIE chuck power on the electrodes and % O₂ composition in the N₂/O₂ plasma mixtures. In details, the RIE chuck power was changed from 75 to 200 W. % O₂ in the plasmas was varied from 0 to 100% at the fixed total gas flow rates of 20 sccm. The etch results of acrylic in the multi-layers electrode RIE system were characterized in terms of negatively induced dc bias on the electrode, etch rates and RMS surface roughness. Etch rate of acrylic was increased more than twice from about 0.2 μm/min to over 0.4 μm/min when RIE chuck power was changed from 75 to 200 W. 1 sigma uniformity of etch rate variation of acrylic on the 4 layers electrode was slightly increased from 2.3 to 3.2% when RIE chuck power was changed from 75 to 200 W at the fixed etch condition of 16 sccm O₂/4 sccm N₂ gas flow and 100 mTorr chamber pressure. Surface morphology was also investigated using both a surface profilometry and scanning electron microscopy (SEM). The RMS roughness of etched acrylic surface was strongly affected by % O₂ composition in the O₂/N₂ plasmas. However, RIE chuck power changes hardly affected the roughness results in the range of 75-200 W. During etching experiment, Optical Emission Spectroscopy (OES) data was taken and we found both N₂ peak (354.27 nm) and O₂ peak (777.54 nm). The preliminarily overall results showed that the multi-layers electrode concept could be successfully utilized for high volume reactive ion etching of acrylic in the future.

Key words Acrylic, Polymer etching, Plasma etching, Multi-layers electrode, RIE.

1. 서 론

최근 플렉시블 폴리머 소재를 기반으로 하는 플라스틱 반도체, 바이오 칩, 센서 등 다양한 소자를 개발하고자 하는 노력이 가속되고 있다.¹⁻³⁾ 특히 향후 비정질 실리콘, ZnO, InSnO 등의 투명한 반도체 물질, PEDOT 등의 전도성 폴리머의 개발이 가속화 됨에 따라 미래 플렉시블 소자의 기관으로 사용할 새로운 재료의 미세 가공에 대한 관심이 커지고 있다.⁴⁻⁷⁾ 또한 1회용 바이오 멤스(MEMS) 소자의 개발에 있어 손쉽게 양산이 가능하며 소재 가공성이 뛰어난 물질에 대한 수요가 머지않아 나타날 것으로 예상된다.^{8,9)} 그런 의미에서 미세 가공이 필

요한 바이오 멤스 분야에서 폴리머 소자 개발을 위한 건식 식각 공정 개발은 상당히 중요하다고 할 수 있다.¹⁰⁾

본 다층막 샘플 지지대(Multi-layers electrode)를 이용한 플라즈마 식각 연구에서 사용한 폴리머는 1회용 바이오 멤스 기관으로 가장 저렴하게 쓰일 수 있는 아크릴(Acrylic)이다. 아크릴은 다른 용어로 PMMA(Poly Methyl Methacrylate)라 불리기도 한다. PMMA는 MMA(Methyl Methacrylate)를 주원료로 하는 수지로서 현재 일반 플라스틱 소재 산업에서 폭넓게 사용하는 폴리머 중 하나이다. 아크릴은 성형성, 가공성, 내후성(Resistance to weathering)과 표면강도가 우수하다.¹¹⁾ 또한 가시광선 영역대에서 약 92%의 높은 투과도를 가지고 있어 LCD 산업이나 광학 소자로도 널리 쓰일 수 있다. 또한 환경적인 측면에서도 100% 재활용이 가능하다는 장점을 가지고 있어 향후 1회용 MEMS 소자, 각종 센서 등의 대량 생산이 요구 되는 산업에서 기관 소재로 널리 이용될 것을 예상된다.

* 이 논문은 2007년도 춘계학술발표대회에서 우수논문상 수상 내용임.

[†]Corresponding author

E-Mail : jwlee@hotmail.com (J. W. Lee)

반응성 이온 식각(Reactive Ion Etching, RIE) 공정은 플라즈마를 사용하는 건식 식각(Dry Etching)의 한 방법으로 지금까지 가장 널리 사용되어 왔으며 대량 양산 공정이라는 관점에서 보았을 때 앞으로도 지속적으로 사용될 기술이다.¹²⁻¹⁴⁾ 그 이유는 현재 건식 식각 장비의 성능 면에서 보았을 때 ECR(Electron Cyclotron Resonance) 및 ICP(Inductively Coupled Plasma) 장비 같은 고밀도 플라즈마는 기존의 값비싼 반도체 소자의 제조 등에서 저이온 에너지나 고출력 플라즈마가 필요한 분야에서 사용할 수 있지만 생산 및 유지비용의 측면에서 보았을 때 RIE 장비의 단순함을 따라가기가 쉽지 않기 때문이다.¹⁵⁾ 특히 저가의 소재인 아크릴의 대량 미세 가공을 염두에 두고 하는 건식 식각 연구 개발에서 향후 소자 제조비용을 최소화 시킬 수 있는 식각 장비에 대한 세심한 선택은 기본적인 요구사항이 될 수 있다. 그런 의미에서 본 실험에서 사용한 RIE 플라즈마 장비는 일반적인 고밀도 플라즈마 장비에 비해 저렴하고 그 구조가 간단하며 장비 개조가 용이하다는 특징이 있다. 특히 진공 펌핑 시스템에서 기계적 펌핑 시스템만을 사용함으로써 제조 및 유지비용에서 터보 펌프 등 고진공 펌프를 사용하는 여타 고밀도 플라즈마 장비에 비하여 매우 간단하여 대량 생산 시에 큰 장점을 가져 개발된 공정 기술이 향후 양산 시스템으로 발전하는데 매우 적합하다고 할 수 있다.

양산 시스템으로 발전한다는 측면에서 한 걸음 더 나아가면 RIE 건식 식각에서 일반적으로 쓰이고 있는 단층 샘플 지지대(Single layer electrode) 구조는 식각 균일도는 좋으나 상대적으로 수율이 나쁘다는 단점이 있다. 그런 의미에서 본 연구에서 사용한 다층 샘플 지지대(Multi-layers electrode) RIE 공정의 경우 장단점에 있어서 단층 샘플 지지대와 대조되는 것으로 흔히 생각할 수 있지만 실제로는 다층막 샘플 지지대를 이용한 건식 식각과 관련한 연구 결과는 찾아보기 힘들다. 이에 본 연구팀은 다층막 샘플지지대를 제작한 후 몇 가지 조건을 만들어 아크릴의 RIE 실험을 진행해 보았다. 그 조건은 차후에 양산 조건을 염두에 두었을 때 첫째, 가급적 간단한 펌핑 모듈을 가진 건식 식각 장비이어야 한다는 것이었다. 이 조건을 충족시키고자 이 실험에서는 기계적 펌핑 시스템만을 사용하였다. 둘째 실질적으로 RIE의 샘플 지지대를 총 4층으로 구성하여 각 층에서의 식각 균일도를 이해하고자 하였다. 그리고 단순히 식각 속도 뿐 만 아니라 표면 거칠기(RMS roughness) 등을 함께 분석함으로써 다층 샘플 지지대 기반의 RIE 장비를 이용한 아크릴의 건식 식각의 양산 기술 개발 가능성을 연구하고자 하였다.

2. 실험 방법

아크릴 기판은 두께 1 mm의 플렉시블한 것을 사용하

였다. 먼저 아크릴 기판을 잘라 2×2 cm²로 준비하였다. 그리고 나서 스핀 코팅 방법으로 기판 위에 포토 레지스트(AZ-GXR 601/46CP)를 3000 RPM에서 30초 동안 도포하였다. 그 후 hot plate를 이용하여 열처리(baking) 공정을 70°C에서 90초간 실시한 다음, contact aligner를 이용하여 12초간 자외선 노광 공정을 실시하였다. 노광이 끝난 샘플들은 현상액(AZ-300)을 이용하여 자외선에 노출된 감광제를 제거하여 건식 식각용 미세 패턴을 구현 하였다. 식각 전 패턴된 감광제의 두께는 약 3.0 μm 이었다. 실제 건식 식각 실험에서는 패턴된 아크릴 샘플들을 1×1 cm²로 다시 4조각으로 잘라서 사용하였다.

본 연구에서 사용한 다층막 반응성 식각 장비는 본 실험실에서 자체 조립하였다. 식각 시스템 반응기의 크기는 직경 약 400 mm, 높이 약 300 mm 이다. 다층막 샘플 지지대는 직경 150 mm, 두께 3 mm의 스테인레스를 가공하여 만들었으며 한 층과 다른 층과의 거리는 2 cm로 일정하게 하였다. 이 다층 지지대에 RIE chuck power가 인가되었을 경우 샘플 지지대에 모두 전원이 인가되어 플라즈마가 샘플 지지대 기판 위에 안정적으로 형성하는 것을 반응기 시창(window)을 통하여 확인하였다. 본 연구에 사용한 다층 샘플 지지대 RIE System(Multi-layers electrode RIE System)의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 아크릴의 건식 식각 가스로는 산소와 질소 가스를 함께 사용하였다. RIE 시스템에 유입되는 두 가스의 총량은 20 sccm으로 고정하였으며 가스 유량 조절기(Mass Flow Controllers, MFC)를 통해 반응기 내부로 각각의 가스를 유입하였다.

플라즈마를 발생시키는 전원 장치로는 영신 RF에서 제작한 13.56 MHz, 공랭식 600 W 전원 장치를 사용하였다. 가스 유량 조절기(Mass Flow Controller)는 KNH Instrument 에서 교정된 가스 유량 조절기(Mass Flow Controller)를 사용하였다. 공정 중 압력 측정은 MKS사의 Baratron Gauge를 이용하여 측정하였다. 공정중 챔버 내부의 진공 압력의 범위는 30 mTorr에서 150 mTorr였으며 챔버 하단

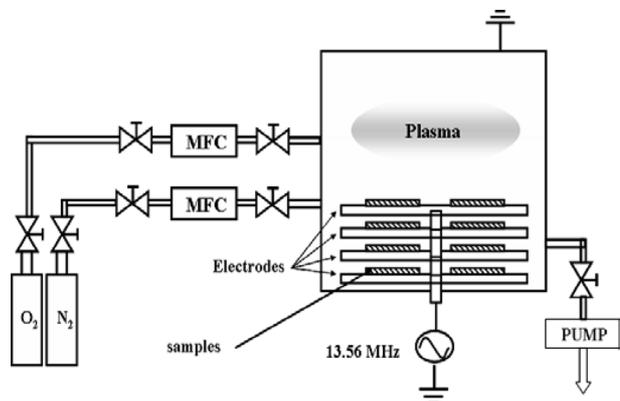


Fig. 1. Schematic of a multi-layers electrode RIE system.

의 RF 연결 단자부분에 13.56 MHz의 RF전원을 인가하였다. 이번 건식 식각 실험의 중심 조건으로는 기판에 인가되는 RIE chuck power는 100 W로 하였고 가스 유입량은 산소는 16 sccm, 질소는 4 sccm으로 하였다. 그리고 RF 파워를 공정 변수로 하였을 때는 RIE chuck power를 75 W에서 200 W까지 변화시켰다. 특히 건식 식각 실험 중에 진공 반응기 내부의 샘플 지지대의 온도가 급격히 상승하여 평균 식각률을 지나치게 왜곡하지 않도록 건식 식각 실험은 3분으로 고정 시켰다. 식각 공정 중에는 혼합 가스 플라즈마를 분석하기 위해서 광학 발광 분석기(Optical Emission Spectroscopy)를 이용하여 플라즈마 발광 강도를 측정하였다.

실험에서 사용한 샘플은 4개 기판 층의 각 층별로 구분하여 선택도, 표면 거칠기, 식각 깊이 등을 분석하였다. 식각된 표면의 단차는 식각 공정이 끝난 아크릴 샘플들에서 감광제를 제거한 후에 표면 단차 측정기(Tencor IQ1000)을 사용하여 식각된 깊이를 측정하여 식각률을 계산하였다. 또한 같은 장비를 이용하여 식각된 표면의 표면 거칠기도 조사 하였다. 표면 거칠기 상태를 측정할 때는 아크릴 샘플 표면의 식각된 부분, 즉 패턴이 없는 부분만을 측정하여 정확성을 유지하였다. 그리고 FE-SEM(Field emission-scanning electron microscope)를 이용하여 식각 벽면의 상태를 분석하였다. 각 층간의 식각 균일도 변화는 표준 편차 계산법을 이용하여 1 sigma uniformity를 계산하여 구하였다.

3. 결과 및 고찰

다층막 샘플 지지대에 인가하는 RIE chuck power의 변화에 따른 -DC self bias와 각각의 electrode 층에 있는 아크릴의 건식 식각률 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 먼저 다층막에 인가하는 RIE chuck power가 증가함에 따라 -DC self bias가 거의 선형적으로 비례하여 증가하

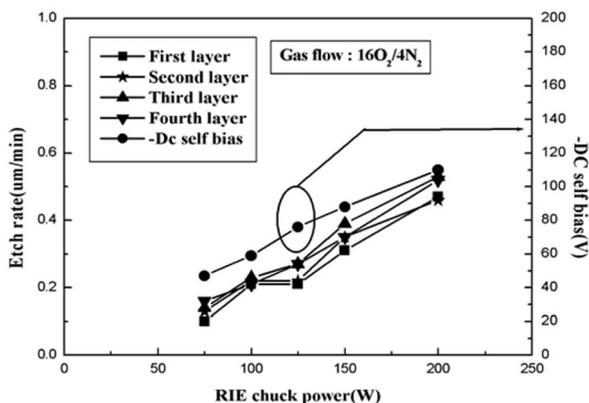


Fig. 2. Etch rate of acrylic as a function of RIE chuck power in 16 sccm $O_2/4$ sccm N_2 plasma discharges.

는 것을 알 수 있었다. 즉, RIE chuck power가 75 W에서 200 W로 증가했을 때 -DC bias는 47 V에서 109 V로 증가함을 그래프에서 알 수 있었다. 또한 RIE chuck power의 증가는 각 지지대 층에 있는 아크릴의 식각률을 역시 선형적으로 증가시켰다. RIE chuck power가 75 W에서 200 W로 증가할 때 예를 들어 다층막 지지대 중에서 가장 아래에 있는 첫 번째 층의 아크릴의 식각속도가 0.1 m/min에서 0.55 m/min으로 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있었다. RIE chuck power 증가에 따른 아크릴의 식각률 증가는 전체 4개 층에서 거의 유사하게 나타났다. 즉, 4개의 아크릴 샘플 지지대 층에서 가장 아래에 있는 첫 번째 층위의 아크릴의 식각 결과와 두 번째, 세 번째, 그리고 가장 위에 있는 네 번째 층 위의 아크릴의 식각률의 변화가 그리 크지 않았다는 것이다.

Fig. 3은 아크릴의 식각률 균일도 표준편차 값을 RIE chuck power의 변화에 따라 그린 것이다. Fig. 3에서 보면 다층막 지지대에서 각 층간의 식각률 균일도는 75 W에서는 약 2.2% 정도였으며 지지대에 인가된 RIE chuck power 값이 증가함에 따라 조금씩 증가하여 RF chuck power가 200 W가 되었을 때 각 층간의 식각률 표준 편차는 약 3%가 되었다. 여기서 가장 아래에 있는 첫 번째 지지대 층과 두 번째, 세 번째 층은 모두 위와 아래가 2 cm의 간격을 유지하고 있는 이중막 구조지만 가장 위에 있는 네 번째 층은 반응기 내부에 노출되어 있으며 반응기의 천정과는 약 10 cm 이상 떨어져 있었다. 즉, 네 번째 층 위에 있는 아크릴 샘플은 기존의 단일 샘플 지지대 (single layer electrode) RIE 시스템과 거의 유사한 환경에 놓여 있다고 가정해도 될 것이다. 이 경우에 샘플 지지대 주변에 O_2/N_2 의 플라즈마가 형성되어 있는 상황에서 산소와 질소 가스가 자유로이 이동할 수 있는 거의 열린 공간에 놓여 있었던 네 번째 층의 아크릴 식각률과 그 아래에 2 cm의 간격으로 있는 나머지 세 개의 층 위에 있었던 아크릴 샘플들의 식각률이 거

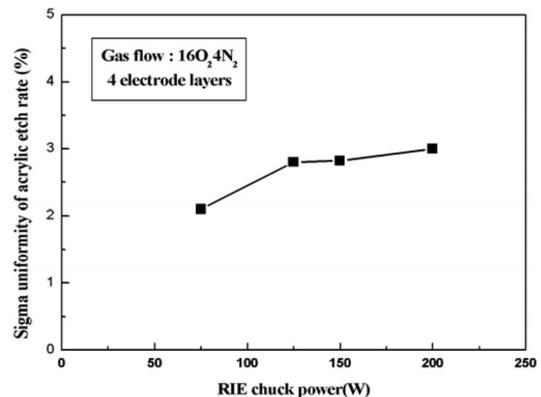


Fig. 3. 1 sigma uniformity of acrylic as a function of RIE chuck power in 16 sccm $O_2/4$ sccm N_2 plasma discharges.

의 비슷하다면 (75 W RIE chuck power에서는 표준 편차는 약 2.2%) 이 다층막 구조의 RIE 시스템은 아크릴의 미세 구조 식각에 훌륭하게 사용될 수 있다는 예상을 할 수 있었다. 즉, 주어진 식각 조건에서 아래의 3개 샘플지지층 주변에 있어 가스들이 식각 반응에 의해 depletion이 일어나지 않았다는 것을 추측할 수 있었다.

200 W RIE chuck power에서의 식각만을 생각해 보았을 때, 같은 양의 이온 에너지를 발생시키기 위해서는 파워가 많이 필요한 대면적 샘플지지대 RIE인 경우를 제외하고는 실제로는 식각 반응기에 냉각 시스템이 있다 하더라도 RIE chuck power를 200 W 이상으로 오랫동안 사용하는 것은 장비에 무리가 가는 경우가 생길 수 있다. 또 식각 공정중에 아무런 냉각 시스템을 사용하지 않은 이번 실험에서 200 W의 RF를 3분간 인가하여 아크릴을 식각한 후에 상당한 열이 스테인레스 샘플 지지대에 남아 있었다는 것을 기억하고자 한다. 즉 본 실험에서 사용한 capacitively coupled plasma (CCP) 타입에서 샘플 지지대에 지나친 양의 RIE chuck power를 인가하면 아크릴의 식각률은 증가시킬 수 있지만 열에 약한 아크릴의 기계적 특성 변화를 가져올 수 있다. 실제적으로 지나치게 높은 RIE chuck power(예를 들어 300 W 이상)에서 식각을 하면 음전하로 대전된 샘플지지대에 플라즈마 상태의 양 이온들의 강한 충돌로 인해 샘플 지지대 위에 있는 아크릴이 열적으로 변형되어 표면이 굽어진 것을 이 실험 전의 기초 실험에서 보았다. 따라서 합리적인 관점에서 다른 조건들을 고정한 상태에서 직경 150 mm 샘플 지지대를 기준으로 150 W 이내의 RIE chuck power를 사용한다면 주어진 아크릴 샘플로 약 0.3 μm/min 이상의 식각 속도에서 3%이내의 표준 편차를 가지는 아크릴의 식각 결과를 예상할 수 있다. 한 가지 주의해야 할 것은 이 번 실험에서 사용한 샘플의 크기이다. 본 실험에서는 1×1 cm²의 아크릴 샘플을 사용하였지만 같은 지지대를 사용해도 샘플의 크기에 따른 식각률을 변화, 또 같은 샘플 크기라도 그것이 놓여지는 샘플 지지대의 크기가 달라지면 생기는 식각률 변화, loading effect를 예상할 수 있다. 그 부분은 추후에 따로 실험을 하여 보고하고자 한다. 여기서는 Loading effect를 예외로 하였을 때 Fig. 2와 Fig. 3은 폴리머 건식 식각 실험에서는 한번도 보고되지 않은 다층막 지지대 식각의 사용 가능성을 제시하고 있다고 할 수 있다. 그리고 그 결과들은 특히 저가의 바이오 칩 등의 양산에서 식각 공정 효율 향상과 원가 절감이 목표라면 보다 발전된 연구를 통하여 충분히 응용이 가능하게 할 수 있다는 것을 알려주었다.

Fig. 4는 RIE chuck power의 변화에 따른 아크릴의 식각 전후의 표면 거칠기를 표면 단차 측정기를 이용하여 분석한 그래프이다. 이 때 표면 단차 측정기가 스캔

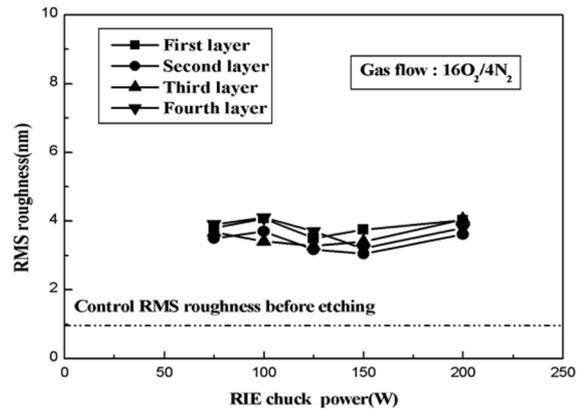


Fig. 4. RMS (Root Mean Square) surface roughness of etched acrylic as a function of RIE chuck power in 16 sccm O₂/4 sccm N₂ plasma discharges.

모드로 측정된 길이는 샘플당 1,000 μm이었다. 아크릴의 식각 표면 거칠기는 샘플 지지대에 인가된 RIE chuck power나 샘플이 놓여 있는 샘플 지지대의 위치에 거의 상관을 받지 않고 RIE chuck power가 50 W에서 200 W의 범위에서 약 3.5 nm에서 4.0 nm에 분포하는 것을 알 수 있었다. 이 때 RIE chuck power를 제외한 다른 실험 조건은 16 sccm O₂/4 sccm N₂의 가스 량과 100 mTorr의 공정 압력이었다. 참고로 식각하지 않은 참고용(control) 아크릴 샘플은 1 nm의 표면 거칠기를 가지고 있었다. 즉, 아크릴은 O₂/N₂를 이용한 RIE 건식 식각에서 식각 후에는 어느 정도 표면이 거칠어진다는 것을 알 수 있다. 그러나 약 4 nm이내의 표면 거칠기 그 자체는 아크릴을 이용하여 바이오 칩 등을 제조하는데 일반적으로 큰 문제를 일으킬만한 결과는 아니다.

Fig. 5는 % O₂의 성분비에 따른 아크릴의 식각률을 각각의 지지대로 구분하여 나타낸 그래프이다. 샘플 지지대 중에서 첫 번째 층은 가장 아래에 있는 것이고 네 번째 층은 가장 위에 있는 것이다. RIE chuck power를

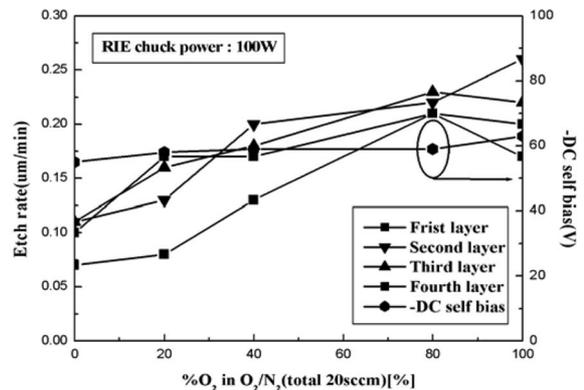


Fig. 5. Etch rate of acrylic as a function of % O₂ in O₂/N₂ plasma discharges at 100 W RIE chuck power.

100 W로 또한, 식각 반응기로 들어오는 전체 가스 유입량은 20 sccm으로 고정시켰다. 그리고 나서 O_2/N_2 가스의 조성 비율에서 각각의 가스 비율을 0에서 100%까지 변화시켰다. 이때 아크릴의 식각률은 순수한 N_2 의 경우 0.05 m/min였으며 순수한 O_2 가스만을 사용했을 때에는 0.28 m/min 이었다. 즉, N_2 의 경우 아크릴의 식각은 주로 이온 스퍼터링의 물리적인 충돌에 의한 것으로 생각되어 식각률도 상당히 낮다. 그러나 O_2 플라즈마를 이용하면 질소를 이용한 식각률 보다 약 5배 이상의 아크릴 식각률을 얻을 수 있었다. 따라서 O_2 플라즈마는 아크릴 식각에 주된 매체로서 작용하는 것으로 생각할 수 있었다. 그리고 O_2 가스의 비율이 증가 하여도 -DC self bias는 큰 변화가 없지만 4개층 모두에서 식각률이 증가하고 있었다. 즉, N_2/O_2 의 혼합 플라즈마에서 O_2 가스량의 상대적인 증가는 -DC self bias의 차이가 크지 않더라도 결국 산소 이온과 라디칼들의 양을 증가시켜 산소 플라즈마 입자들에 의한 아크릴의 화학적 식각 반응으로 식각률을 향상시켰다고 생각할 수 있다.

Fig. 6은 아크릴의 식각 공정에서 N_2/O_2 플라즈마 내의 % O_2 의 비율에 따른 아크릴의 표면 거칠기 변화를 그린 그래프이다. 이때 인가되는 RIE chuck power는 100 W, O_2/N_2 총 가스량은 20 sccm 으로 고정하였다. 식각된 아크릴 샘플의 표면 거칠기는 각각의 샘플 지지대의 위치와 관계없이 거의 같은 경향성과 수치를 나타내었다. 그림에 나타내었듯이 본 연구에서 사용한 아크릴의 공정 전 control sample의 표면 거칠기는 약 1 nm였다는 것을 상기해 보면 N_2/O_2 의 비율 변화에 따른 건식 식각 후 아크릴의 표면 거칠기는 12 sccm $N_2/8$ sccm O_2 의 식각 조건에서 control sample의 값보다 최대 약 8 nm정도 상승한 것을 알 수 있었다. 이 수치는 표면 거칠기의 값으로서는 상당히 높은 것, (즉, 좋지 않은 것)으로 생각되었다. 그러나 그래프에서 보면 N_2/O_2 플라즈마에서 산소의 비율을 증가시킴으로서 아크릴의 식각 후

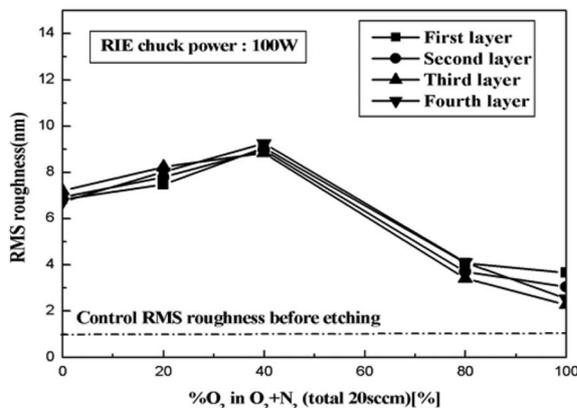


Fig. 6. RMS surface roughness of etched acrylic as a function of % O_2 in O_2/N_2 plasma discharges at 100W RIE chuck power.

표면 거칠기를 크게 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다. 특히 O_2/N_2 플라즈마에서 산소의 비율이 40%인 곳에서 아크릴의 식각 후 표면 거칠기 값이 정점에 이른 뒤에 플라즈마 내에서 O_2 의 비율이 많아질수록 아크릴의 식각 표면 거칠기가 급속히 감소함을 알 수 있었다. 또, 수치적으로 볼 때 산소 비율이 100%인 경우, 즉, 순수한 산소 플라즈마인 경우에 아크릴이 식각된 후에 약 3-4 nm의 낮은 표면 거칠기를 가짐을 알 수 있었다. 이는 아크릴의 식각 표면이 control sample의 그것과 비교하여 조금 나빠진 표면 거칠기를 보이는 것으로 생각할 수 있다.

Fig. 7은 식각 공정 중에 사용한 플라즈마를 광학 발광 분석기(Optical Emission Spectroscopy)를 이용하여 측정된 그래프이다. 이때 사용한 실험 조건은 16 sccm $O_2/4$ sccm N_2 의 가스 비율과 100 W의 RIE chuck power, 100 mTorr 이다. 이 식각 공정에 사용한 N_2/O_2 플라즈마에서 354.27 nm의 질소 peak와 777.54 nm의 산소 peak를 각각 발견할 수 있었다.¹⁶⁾

Fig. 8은 O_2/N_2 플라즈마에 식각된 아크릴의 전자현미

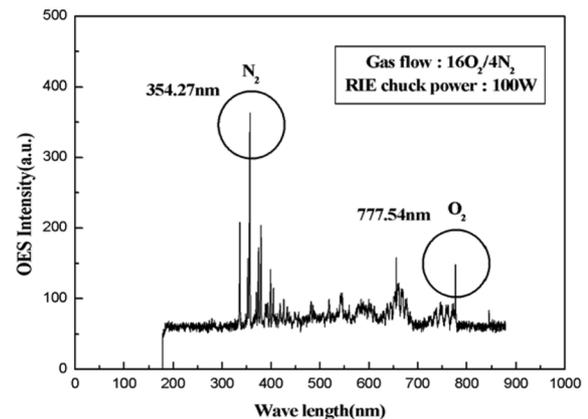


Fig. 7. Optical Emission Spectroscopy (OES) data of the RIE plasma taken at 16 sccm $O_2/4$ sccm N_2 and 100 W RIE chuck power.

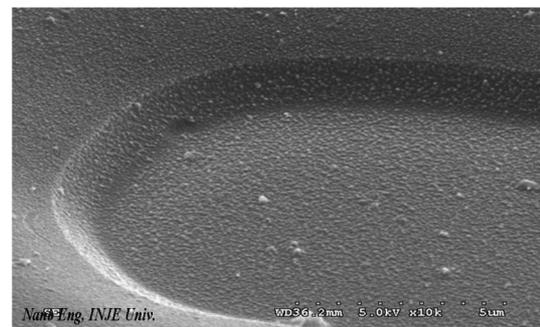


Fig. 8. SEM image of an acrylic feature etched at 16 sccm $O_2/4$ sccm N_2 and 150 W RIE chuck power plasma discharge. The acrylic sample sat on the second layer from the bottom of the four layers electrode.

경 (SEM) 사진이다. 여기서의 건식 식각 공정조건은 16 sccm O₂/4 sccm N₂, 150 W RIE chuck power, 100 mTorr 이었다. 사진의 아크릴 샘플은 4개의 샘플지지대 층 중에서 아래에서부터 2번째 층(the second layer) 위에서 식각된 것이다. 사진을 보면 식각되지 않은 부분보다 식각된 부분의 표면 거칠기가 약간 더 거칠다는 것을 알 수 있다. 참고로 표면단차 측정기로 분석한 이때의 식각된 아크릴의 표면 거칠기 값은 약 3.1 nm 이었다. 식각 벽면은 직각이 아니었으며 이 식각 조건에서는 아크릴의 경우 어느 정도의 등방성 식각(Isotropic etching)이 일어났음을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 4 개 층의 다층막 샘플 지지대(Multi-layers electrode)와 반응성 건식(Reactive Ion Etching System, RIE) 시스템으로 O₂/N₂ 플라즈마를 이용하여 아크릴의 식각에 대해 연구했다. 주요 공정 변수는 RIE chuck power와 플라즈마의 O₂/N₂ 가스의 분율 변화 이었다. 공정 결과로는 아크릴의 식각률, -DC self bias, 식각 후 표면 거칠기, 식각 표면 및 식각 벽면 상태 그리고 각 층간의 식각률 균일도의 표준 편차 등을 얻을 수 있었다.

본 실험에서 RIE chuck power가 증가 할수록 아크릴의 경우 샘플이 놓여있는 샘플 지지대의 위치에 관계없이 식각률이 선형적으로 증가함을 알 수 있었다. 또한 O₂ 가스의 분율이 증가할 경우 -DC self bias 값은 큰 변화가 없지만 아크릴의 식각률은 증가함을 알 수 있었다. 특히, 아크릴의 식각 후 표면 거칠기는 RIE chuck power 에는 거의 영향을 받지 않았지만 산소의 분율 변화에 크게 영향을 받는다는 것을 확인하였다. RIE chuck power의 변화에 따른 각각의 샘플 지지대에서 아크릴의 식각률 변화 표준 편차 값은 약 2-3% 정도였다. 결론적으로 이 결과는 아크릴의 경우 다층 샘플지지대를 이용한 RIE 건식 식각을 시도할 만 하다는 의미를 주고 있다. 그런 의미에서 이 내용을 향후 아크릴 기판을 이용한 1 회용 바이오 칩 등의 양산에 도입하면 식각 공정의 효율성을 크게 강화할 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 연구의 폭을 넓힌다면 이 반응성 식각 장비를 이용한 다

층막 식각 기술은 아크릴뿐만 아니라 다른 다양한 소재의 양산용 식각 공정 개발에도 적극적으로 이용될 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 인제대학교 학술 연구 지원 사업에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

1. I. Maunza, A. Bonfiglio, Biosens. Bioelectron., **22**(12), 2775 (2007).
2. H. Hosono, J. of Non-Cryst. Solids, **352**(9-20), 851 (2006).
3. G. S. Ryu, K. B. Choe, C. K. Song, Thin Solid Films, **514**(1-2), 302 (2006).
4. W. B. Jackson, G. S. Herman, R. L. Hoffman, C. Taussig, S. Braymen, F. Jeffer, J. Hauschildt, J. of Non-Cryst. Solids, **352**(9-20), 1753 (2006).
5. E. Fortunato, P. Barquinha, A. Pimentel, A. Goncalves, A. Marques, L. Pereira, R. Martins, Thin Solid Films, **487**(1-2), 205 (2005).
6. M. S. Shim, M. Gowtham, D. Y. Kim, C. K. Seo, J. S. Yi, Mat. Sci. Semicond. Proc., **7**(4-6), 423, (2004).
7. P. Cosseddu, A. Bonfiglio, Thin Solid Films, **515**(19), 7551 (2007).
8. C. Zhung, J. Xu, W. M, W. Zheng, Biotech. Adv., **24**(3), 243 (2006).
9. S. K. Yoo, J. H. Lee, S. S. Yun, M. B. Gu, J. H. Lee, Biosens. Bioelectron., **22**(8), 1586 (2007).
10. L. Zhu, W. Teng, H. Xu, Y. Liu, Q. Jiang, C. Wang, Y. Qiu, Surf. Coat. Technol., in press (2007).
11. J. Huang, Y. Jah, B. Yau, C. Chen, H. Lu, Thin Solid Films, **370**(1), 33 (2000).
12. M. A. Libermann, A. J. Lichtenberg, Principles of Plasma Discharges and Materials Processing, John Wiley & Sons, New Jersey, USA, (2005).
13. M. Sugawara, Plasma Etching, Oxford University Press, NY, USA, (1998).
14. R. J. Shul, S. J. Pearton, Handbook of Advanced Plasma Processing Techniques, Springer, NY, USA, (2000).
15. O. A. Popov, High Density Plasma Sources, Noyes Publications, NJ, USA, (1995).
16. R. Payling, P. Larkins, Optical Emission Lines of the Elements, John Wiley & Sons, Ltd., NJ, USA, (2004).