

# 플렉시블 디스플레이 응용을 위한 폴리아릴레이트 기판의 식각 특성

황진호<sup>a</sup>

한국폴리텍대학교 전기에너지시스템학과

## Dry Etching Properties of PAR (poly-arylate) Substrate for Flexible Display Application

Jin-Ho Hwang<sup>a</sup>

Department of Electric Energy Systems, Incheon Campus of Korea Polytechnics, Incheon 21417, Korea

(Received September 19, 2016; Revised November 11, 2016; Accepted November 19, 2016)

**Abstract:** In this study, effects of ICP (inductively coupled plasma) treatment on PAR thin film have been investigated. A maximum etch rate of the PAR thin films and the selectivity of PAR to PR were obtained as 110 nm/min and 1.1 in the CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> (5:15 sccm) gas mixture. We present the surface properties of PAR thin film with various treatment conditions. The surface morphology and cross section of the PAR thin film was observed by AFM (atomic force microscopy) and FE-SEM (field emission scanning electron microscopy).

**Keywords:** PAR, ICP, AFM, Etching

### 1. 서 론

플렉시블 디스플레이는 차세대 디스플레이 기술로서 휘거나, 구부리거나, 말아도 디스플레이의 특성이 변하지 않는 디스플레이를 말한다. 플렉시블 디스플레이는 기존의 LCD나 OLED 등 디스플레이에서 액정 또는 유기물 발광재료를 담고 있는 유리로 된 기판을 플라스틱 필름으로 대체함으로써 유리 기판을 사용하는 LCD나 OLED에 비해서 박형 및 경량이면서 충격에 강하고 휴대가 간편하다는 장점을 가진다. 또 공간상, 형태상의 제약에서 상대적으로 자유로워 다양한 응용성을 확보할 수 있으므로 미래 디스플레이 응용 제품의 핵심으로 주목 받고 있다 [1,2]. 플렉시블 디스플레이는 형태적으로 휴대가 간

편하고, 가볍고, 장소의 제약이 없는 디스플레이이며, 산업적으로는 원가를 절감하기 위한 방향으로 발전하고 있다. 이를 위한 여러 가지 기술 중, 기판 기술은 플렉시블 디스플레이의 성능, 신뢰성, 가격을 결정하는데 중요한 요구 조건으로 인식되고 있다.

플렉시블 디스플레이의 기판으로는 메탈 호일, 박형 유리, 플라스틱 기판 등 세 가지 플렉시블 기판에 관한 연구 개발이 주로 진행되고 있다 [3,4]. 이 중 플렉시블 디스플레이로의 적용이 적합한 소재로 플라스틱 기판이 주목받고 있다. 앞서 언급한 두 종류의 기판 소재들에 비해 화학적, 물리적 특성이 비교적 떨어지지만, 무게가 가볍고, 가공이 용이하기 때문에 공정상 형태의 제약이 없다는 것이 큰 장점이다. 또한 가격이 낮고 연속 공정의 장점이 있기 때문에 저가격화 실현을 위한 가장 적합한 소재라는 특징을 가지고 있다 [5].

플라스틱 기판 중 PI (polyimide), PET (polyethylene terephthalate), PMMA (methyl methacrylate) 등은 이미 많은 연구가 이루어졌다. 하지만 PAR (polyarylate)

a. Corresponding author; [ds3fy@kopo.ac.kr](mailto:ds3fy@kopo.ac.kr)

에 대해서는 아직 많은 연구가 이루어지고 있지 않다. PAR은 높은 빛 투과도, 높은 유리 전이 온도와 낮은 흡습성을 가지고 있다 [6]. 이러한 장점을 가지고 있는 PAR을 디스플레이 공정에 적용하기 위해서는 박막의 식각 특성에 대해서 알아야한다 [7,8].

본 연구에서는 ICP 장비를 이용하여 PAR 박막의 식각 속도 및 PR과의 선택비를 연구하였다. CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>의 가스 혼합비, RF 전력, 직류 바이어스 전압과 공정 압력에 대하여 식각 속도를 관찰하였다. 식각 후 표면 상태는 원자력 현미경(AFM)과 주사 전자 현미경(FE-SEM)을 이용하여 식각 전후 표면의 변화에 대해서 관찰하였다.

### 2. 실험 방법

본 연구에서는 1 mm 두께의 PAR을 샘플 기판으로 사용하였다. 샘플 기판을 2 cm × 2 cm의 크기로 자른 후, 포토 리소그래피 공정을 통하여 감광제(photoresist, PR)를 샘플 기판 표면에 패터하여 실험에 사용하였다. 이와 같이 준비된 PAR의 식각 특성을 알기 위하여, 그림 1에 나타난 유도 결합 플라즈마(inductively coupled plasma, ICP, Vaccum science, VSICP-5000A, Korea) 시스템을 사용하여 식각 실험을 수행하였다. 본 식각 장치는 지름 26 cm의 원형 챔버로 구성되어 있으며, 상부에 있는 구리 코일에 13.56 MHz의 RF 전력을 인가하였으며, 바이어스 전력을 조절하기 위하여 하부 전극에도 13.56 MHz의 전력을 인가하였다. 챔버 내부의 압력은 mechanical 펌프와 turbo molecular 펌프를 이용하여 10<sup>-6</sup> Torr까지 진공을 유지하였다.

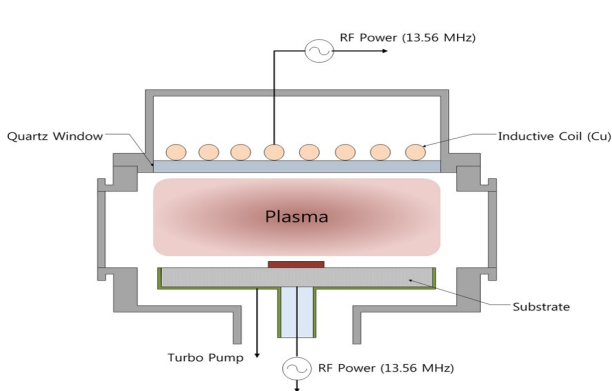


Fig. 1. Schematic of inductively coupled plasma system.

PAR 박막의 식각 실험이 진행되는 동안, 500 W의 RF 전력, -150 V의 직류 바이어스 전압, 2 Pa의 공정 압력으로 고정하였다. 식각 속도는 surface profiler (KLA tencor, Alpha-step 500)을 사용하여 측정하였고, 식각 전후의 PAR 박막 표면을 관찰하기 위하여 AFM과 FE-SEM을 사용하여 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 2는 CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> 가스 혼합 비율에 따른 식각 속도를 나타낸 그래프이다. CF<sub>4</sub> 가스를 5 sccm 첨가 하였을 때 PAR 박막의 식각 속도는 110 nm/min이었고, CF<sub>4</sub>의 가스 첨가량이 5 sccm 이상일 경우 식각 속도가 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 이는 산소 분위기의 플라즈마에 CF<sub>4</sub> 가스를 첨가함에 따라 플라즈마 내부의 C, F 라디칼의 밀도가 증가하여 식각속도가 증가한다고 사료된다. 또한 유기물질을 식각 하는데 불소원자는 폴리머에서 H를 빼내서 HF를 형성하고 노출된 C가 O와 반응하여 CO가 되도록 반응성을 증가시킨다. 하지만 CF<sub>4</sub>가 5 sccm 이상 첨가될 경우 식각속도가 낮아지는 것을 확인할 수 있는데, 이는 CF<sub>4</sub>와 O<sub>2</sub>의 혼합에서 CF<sub>4</sub> 가스의 비중이 늘어나면서 앞서 설명한 O와의 반응성이 현저히 적게 나타난다고 생각할 수 있다 [8].

그림 3은 CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>=(5:15 sccm)플라즈마에 RF 전력 (그림 3(a)), 직류 바이어스 전압 (그림 3(b)), 공정 압력 (그림 3(c))에 따른 PAR 박막의 식각 속도를 나타낸 것이다.

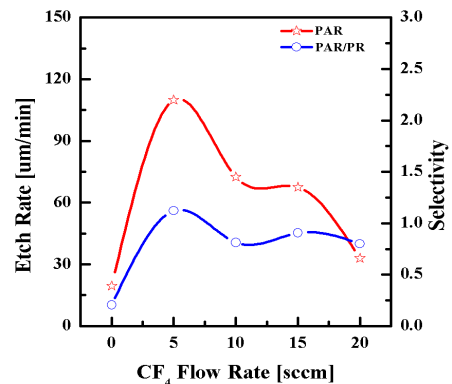


Fig. 2. The etch rate of PAR thin films and selectivity of PAR to PR as a function of the gas mixture ratio.

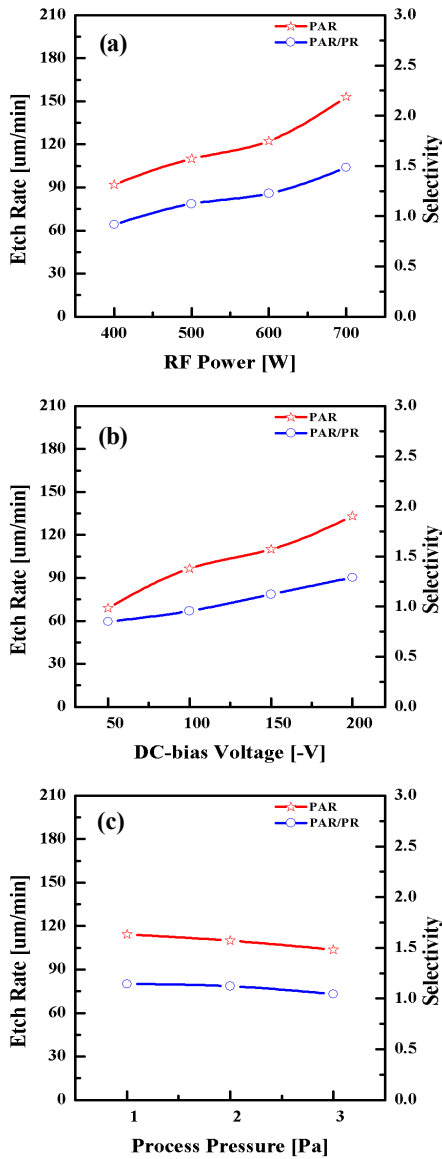


Fig. 3. The etch rate of PAR thin films and selectivity of PAR to PR as a function of (a) RF power, (b) DC-Bias voltage, and (c) process pressure.

그림 3(a)에서의 공정 조건은 직류 바이어스 -150 V, 공정 압력이 2 Pa 이었고, RF 전력은 400 W ~ 700 W 까지 변화시켜 식각 속도를 관찰하였다. RF 전력이 증가할수록 식각 속도도 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 RF 전력이 증가할수록 C와 F 라디칼에 의한 PAR 박막 표면에서의 화학적 반응이 증가하여 식각 속도가 증가한 것을 사료된다.

그림 3(b)는 직류 바이어스 전압에 따른 PAR 박막

의 식각 속도에 대하여 나타낸 것이다. 이때의 공정 조건은 RF 전력 500 W, 공정 압력 2 Pa이었다. PAR 박막의 식각 속도는 직류 바이어스가 -50에서 -200 V로 변할 때, 식각 속도는 69 nm/min에서 133 nm/min으로 증가하였다. 이는 직류 바이어스 전압이 증가할수록 C, F, 그리고 O 이온들이 PAR 박막으로 향하는 물리적인 운동에너지를 증가시켜, 화학적인 반응뿐만 아니라, 스퍼터링 효과를 더욱 증가시켰기 때문이라고 사료된다.

그림 3(c)는 공정 압력에 따른 식각 속도를 나타낸 것이다. 이때의 공정 조건은 RF 전력이 500 W, 직류 바이어스 전압이 -150 V이다. 공정 압력이 증가할수록 식각 속도는 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 공정 압력이 증가할수록 플라즈마 내 이온들의 평균 자유행정의 길이가 짧아져 PAR 박막의 도달하는 이온의 에너지 손실이 많아지기 때문에 식각 속도가 감소하는 것으로 사료된다.

그림 4는 가스 조성비에 따른 PAR 박막의 식각 전후의 표면에 남은 부산물을 EDX를 이용하여 분석한 결과이다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> = 5:15 sccm일 때 CF<sub>4</sub> 가스만으로 식각했을 때보다 좀 더 많은 산소와 불소가 남아 있음을 알 수 있다. 이는 순수 CF<sub>4</sub> 가스만으로 식각했을 때 보다 CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> 혼합 가스를 이용하여 식각할 때, 표면에서 더 많은 화학 반응이 일어난다는 것으로 사료된다.

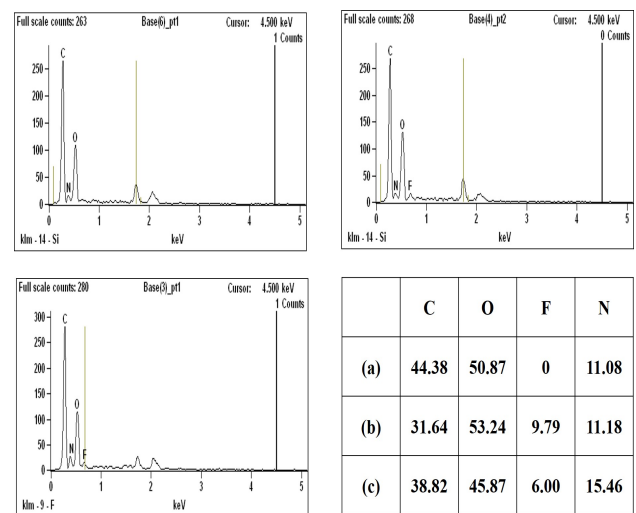


Fig. 4. EDX analysis as function of gas mixture ratio. (a) CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> = 0:20 sccm, (b) CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> = 5:15 sccm, and (c) CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> = 0:20 sccm.

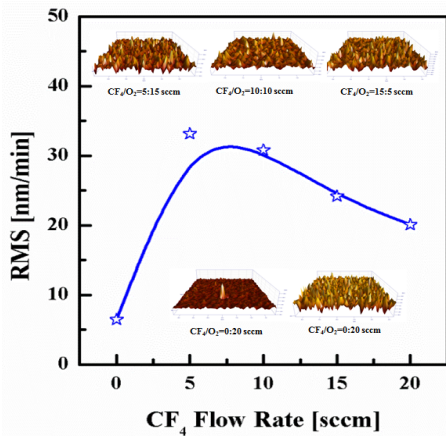


Fig. 5. AFM analysis as a function of gas mixture ratio.

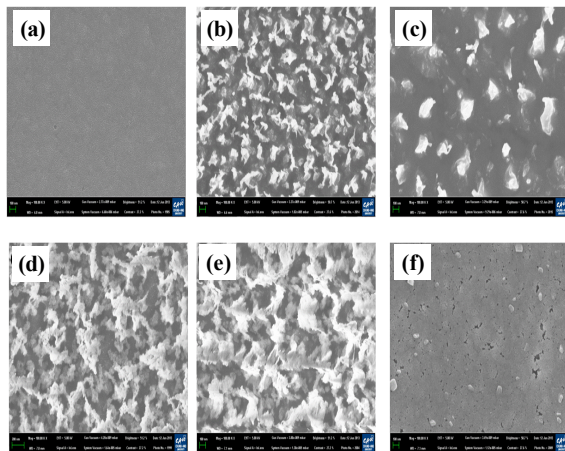


Fig. 6. The FE-SEM images as function of gas mixture ratio. (a) As-deposition, (b) CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> = 20:0 sccm, (c) CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> = 15:0 sccm, (d) CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> = 10:10 sccm, (e) CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> = 5:15 sccm, and (f) CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> = 0:20 sccm.

그림 5는 가스 조성비에 따른 PAR 박막의 표면 거칠기를 AFM을 통하여 측정한 결과이다. PAR 박막은 CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> 혼합 비율에 다른 표면 거칠기의 영향을 많이 받는 것을 확인하였다. 순수 O<sub>2</sub> 가스만으로 플라즈마 식각을 진행 했을 때 보다 CF<sub>4</sub> 가스가 첨가되었을 경우 표면 거칠기가 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 화학적인 반응이 많은 불소가 샘플 표면에서 화학적인 반응이 활발하였다고 예상할 수 있다. 그림 4에서 확인할 수 있듯이 표면에 F 라디칼과 결합한 후 남겨진 잔여물의 양이 많을수록 거칠기가 높은 것으로 사료된다.

그림 6은 가스 조성비에 따른 PAR 박막의 FE-SEM 분석 결과이다. FE-SEM 분석 결과 식각 시 발생하는 화학적 또는 물리적인 반응으로 인해 PAR 박막의 표면이 변화하는 것을 확인할 수 있다. 순수 O<sub>2</sub> 가스만으로 플라즈마 식각을 진행하였을 경우 순수 CF<sub>4</sub> 가스만으로 식각을 진행하였을 때보다 거칠기가 낮은 박막 표면을 관찰할 수 있다. 이는 표면의 불소와 결합한 잔여물이 많을수록 표면이 거칠어지는 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 유도결합 플라즈마 식각 장비를 이용하여 CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> 혼합비에 따른 PAR 박막의 식각 특성을 연구하였다. CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> = 5:15 sccm, 500 W의 RF 전력, -150 V의 직류 바이어스 전압 그리고 2 Pa의 공정압력에서 110 nm/min의 식각 속도를 얻었고 그 때의 PR과의 식각 선택비는 1.1을 얻었다. AFM과 SEM 분석을 통하여 식각 박막 표면의 거칠기 및 형상 변화에 대하여 확인할 수 있었다. 또한 식각 공정 후 PAR 박막 표면에서의 부산물들을 EDX 분석을 통하여 분석한 결과, CF<sub>4</sub> 가스의 첨가로 인하여 표면에 불소와의 부산물이 생성되며 이로 인해 식각 속도 및 표면 거칠기에 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

#### REFERENCES

- [1] K. Kim, Y. Zhao, H. Jang, S. Lee, J. Kim, K. Kim, J. H. Ahn, P. Kim, J. Y. Choi, and B. Hong, *Nature*, **457**, 706 (2009). [DOI: <https://doi.org/10.1038/nature07719>]
- [2] R. Wang, X. Tao, Y. Wang, G. Wang, and S. Shang, *Sur. Coat. Tech.*, **204**, 1206 (2010). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.10.030>]
- [3] H. P. Mahabaduge, W. I. Rance, J. M. Burst, M. O. reese, D. M. Meysing, C. A. Wolden, J. Li, and J. D. Beach, *Appl. Phys. Lett.*, **106**, 133510 (2015). [DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4916634>]
- [4] S. Garner, S. Glaesernann, and X. Li, *Appl. Phys. A*, **116**, 403 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.1007/s00339-014-8468-2>]
- [5] S. H. Kim, S. W. Na, N. E. Lee, Y. W. Nam, and Y. H. Kim, *Sur. Coat. Tech.*, **200**, 2072 (2005). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.05.021>]
- [6] K. Kalyanasundaram and M. Gratzel, *Coord. Chem. Rev.*, **77**, 347 (1998). [DOI: [https://doi.org/10.1016/S0010-8545\(98\)00189-1](https://doi.org/10.1016/S0010-8545(98)00189-1)]

- [7] H. U. Poll, U. Schladitz, and S. Schreiter, *Surf. Coat. Technol.*, **489**, 142 (2001).
- [8] N. D. Geyter, R. Morent, and C. Leys, *Plasma Surces Sci. Technol.*, **78**, 15 (2002).
- [9] M. A. Liberman and A. J. Lichtenberg, *Principles of Plasma Discharges and Materials Processing* (2nd ed.) (John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 2005) p. 598.  
[DOI: <https://doi.org/10.1002/0471724254>]