

Cl₂/Ar 가스를 이용한 ZnO 박막의 유도 결합 플라즈마 반응성 이온 식각

민수련, 이장우, 조한나, 정지원*
 인하대학교 화학공학과
 (cwchung@inha.ac.kr*)

**Inductively Coupled Plasma Reactive Ion Etching of Zinc Oxide Thin Films
 Using a Cl₂/Ar Gas**

Su Ryun Min, Jang Woo Lee, Han Na Cho, Chee Won Chung*
 Department of Chemical Engineering, Inha University
 (cwchung@inha.ac.kr*)

서론

Zinc oxide (ZnO)는 3.35 eV의 넓은 밴드 갭을 가진 반도체 물질로서 우수한 전기적 및 압전 특성을 나타내고 가시광선과 자외선의 짧은 파장 영역에서 우수한 광학적 특성을 나타낸다. 최근에 ZnO의 이러한 특성을 이용하여 투명 전도성 박막(transparent conductive films), 태양 전지 윈도우(solar cell window), 음향 소자(surface acoustic wave; SAW), MEMS waves device 그리고 박막 트랜지스터(thin film transistor; TFT) 등의 응용을 위한 연구가 진행되고 있다[1-4].

현재 GaN를 기본으로 하는 질화물에 대한 광소자 연구가 활발히 진행되어 응용단계까지 도달하였으나 ZnO는 GaN 기반 질화물에 비해 낮은 온도에서 박막을 성장시킬 수 있어 상온 및 고온에서 동작할 수 있는 광소자를 개발할 수 있는 장점이 있다[2, 3].

본 연구에서는 광소자를 개발하는 데 있어서 필수적인 ZnO의 패터닝을 위하여 고밀도 유도 결합 플라즈마를 이용하는 반응성 이온 식각을 하였다. 식각된 ZnO 박막의 식각 속도, 식각 프로파일을 관찰함으로써 깨끗하고 우수한 식각 프로파일을 갖는 ZnO 박막을 형성하고자 하였다.

실험

본 연구에서는 고밀도 플라즈마를 이용하는 유도 결합 플라즈마 반응성 이온 식각 장비(inductively coupled plasma reactive ion etching: ICPRIE)를 사용하여 ZnO 박막을 식각하였다. ICPRIE 시스템은 크게 load lock chamber, main process chamber 그리고 substrate susceptor로 구성되어 있다. Substrate susceptor는 chiller에 의해 12 °C의 일정한 온도로 냉각되어지며, 시료가 놓여지는 substrate는 He 가스를 이용하여 냉각된다. ICP 생성을 위하여 chamber 상단에 감겨진 코일은 13.56 MHz rf power supply에 연결되어 있으며 이로 인하여 고밀도 플라즈마가 유도된다. Self bias voltage는 또 하나의 13.56 MHz의 rf power가 substrate susceptor에 연결되어 유도되고 독립적으로 ion energy를 조절한다.

ZnO 박막은 rf 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 SiO₂(2000 Å)/Si 기판 위에 두께 3000 Å으로 증착되었다. 증착된 ZnO 박막은 1.2 μm 두께의 photoresist (PR)를 사용하고 photolithography 공정을 적용하여 패터닝되었다.

PR 패터닝된 ZnO 박막은 식각 가스로서 Cl₂와 Ar 가스를 선택하여 식각되었다. 그리고 Cl₂ 가스의 농도, coil rf power, 기판에 가해지는 dc bias voltage를 변화시켜서 식각된 ZnO 박막의 식각 속도와 식각 프로파일을 관찰하였다. 식각된 ZnO 박막의 식각 속도는 tencor P1 long scan profiler를 이용하여 식각 전후 박막의 두께를 측정함으로써 계산되었고, 식각 프로파일은 field emission scanning electron microscopy (FESEM)를 사용하여 관찰되었다.

결과 및 토론

Figure 1은 PR 패터닝된 ZnO 박막을 Cl₂ 가스를 이용하여 식각하였을 때 Cl₂ 가스의 농도에 따른 ZnO 박막의 식각 속도이다. Cl₂ 가스의 농도가 증가할수록 ZnO 박막의 식각 속도는 감소하였다. Pure Ar에서 ZnO 박막은 Ar 이온에 의해 스퍼터링되어 박막이 제거된다.

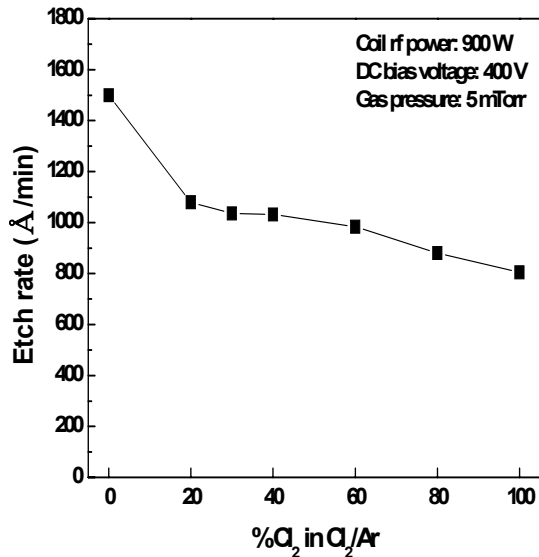


Figure 1. Etch rates of ZnO thin films as a function of Cl₂ concentrations; coil rf power: 900 W; dc bias voltage to the substrate: 400 V; gas pressure: 5 mTorr.

같이 반응하여 휘발되므로 Figure 2의 (b),

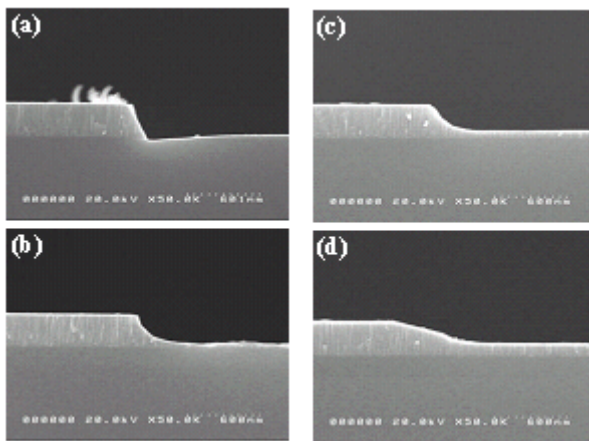


Figure 2. FESEM images of ZnO thin films etched at (a) pure Ar, (b) 20 % Cl₂, (c) 30 % Cl₂ and (d) 40 % Cl₂ in Cl₂/Ar mixture gas; coil rf power: 900 W; dc bias voltage: 400 V; gas pressure: 5 mTorr

변의 전자의 수가 증가하고 이 전자들은 rf power가 가해진 coil을 중심으로 나선형 운동을 하며 chamber 내에 주입된 Cl₂/Ar 가스

다. 그리고 식각 가스로서 첨가된 Cl₂ 가스의 농도가 증가할수록 ZnO 박막에 대하여 Ar 이온에 의한 스퍼터링 효과가 감소한다. Ar 이온에 의하여 스퍼터링된 박막의 구성 성분인 Zn와 Cl₂ 가스에 의해 플라즈마 내에 형성된 Cl 라디칼과 반응하여 ZnCl_x 화합물을 생성한다. 생성된 ZnCl_x는 1 mTorr에서 428 °C의 증기압을 가져서 잘 휘발되지 않아서 효과적으로 박막이 제거되지 않는다[2, 3]. 그 결과로 식각 가스로서 Cl₂ 가스의 농도가 증가할수록 ZnO 박막의 식각 속도는 감소한다.

식각 가스로서 첨가된 Cl₂ 가스의 농도에 따라 식각된 ZnO 박막의 식각 프로파일들이 Figure 2에 제시된다. Figure 2의 (a)는 pure Ar에서 식각된 ZnO 박막의 식각 프로파일로서 스퍼터링된 ZnO 박막의 물질이 패터닝의 sidewall에 재증착 물질을 형성한 것을 보여준다. 그러나 Cl₂를 첨가할 경우 Ar 이온에 의하여 스퍼터링되어 떨어져 나온 ZnO 박막과 플라즈마 내에 형성된 Cl 라디칼이 반응하여 휘발되므로 Figure 2의 (b), (c) 그리고 (d)와 같이 재증착이 없는 깨끗한 식각 프로파일을 얻을 수 있다. 그러나 Cl₂ 가스의 농도가 증가할수록 Ar 이온의 스퍼터링 효과가 감소하여 ZnO 박막 패터닝의 식각 경사가 낮아지는 것이 관찰된다. Figure 2의 Cl₂ 가스 농도에 따라 식각된 ZnO 박막의 식각 프로파일을 통하여 낮은 Cl₂ 가스의 농도에서 ZnO 박막의 좋은 식각 프로파일을 형성한다는 것을 알 수 있다.

Figure 2의 Cl₂ 가스의 농도에 따라 식각된 ZnO 박막의 가장 좋은 식각 프로파일이 관찰되었던 20 % Cl₂ 가스의 농도에서 식각 변수로서 coil rf power를 변화시켜서 식각된 ZnO 박막의 식각 속도와 식각 프로파일을 Figure 3에서 보여주고 있다. Figure 3의 (a)에서 보는 바와 같이, coil rf power가 증가할수록 chamber 내의 플라즈마의 밀도가 증가하여 ZnO 박막의 식각 속도가 증가한다. Coil rf power가 가해지면 plasma source인 coil 주 power가 가해진 coil을 중심으로 나선형 운동 분자와 충돌하여 해리시킨다. 해리된 분자는

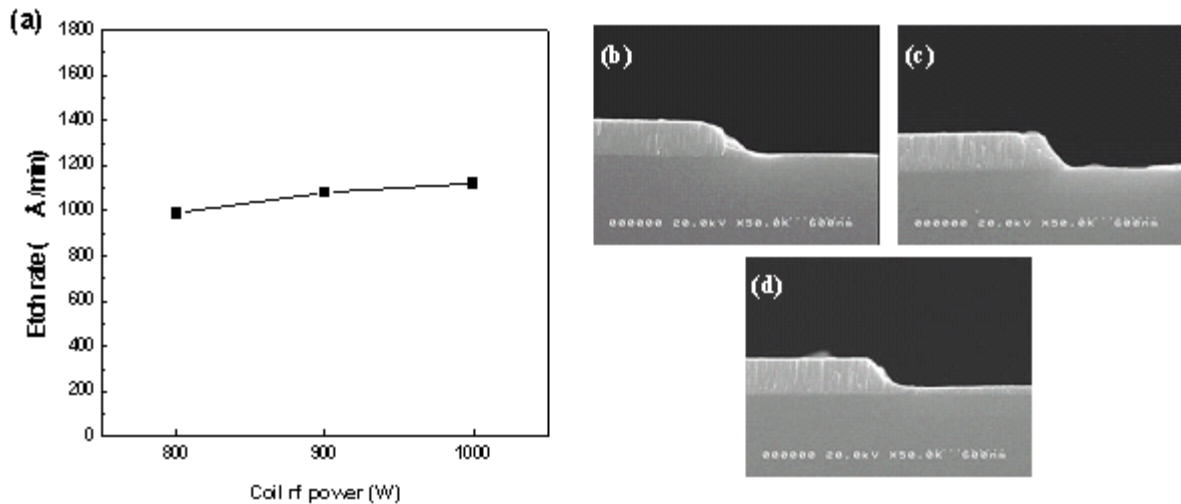


Figure 3. (a) Etch rates of ZnO thin films as a variation of coil rf power and FESEM images of ZnO thin films etched at (b) 800 W, (c) 900 W and (d) 1000 W of coil rf power; gas concentration: 20 % Cl_2 in Cl_2/Ar mixture gas; dc bias voltage to the substrate: 400 V; gas pressure: 5 mTorr.

각각 Cl 라디칼과 Ar 이온 등으로 형성된다. Coil에 가해진 rf power가 증가할수록 더 많은 전자들이 coil 주변에 생성되고 증가된 전자와 chamber 내로 주입된 Cl_2/Ar 가스의 분자와 더 많이 충돌하여 해리된 가스 분자의 양을 증가시켜 chamber 내의 플라즈마 밀도를 증가시킨다. 증가된 Ar 이온과 Cl 라디칼에 의해 ZnO 박막의 식각 속도가 증가한다.

Figure 3의 (b), (c) 그리고 (d)는 식각 변수인 coil rf power를 변화시켜 식각된 ZnO 박막의 식각 프로파일을 보여준다. Figure 3의 (b), (c) 그리고 (d)에서 보여지는 것과 같이 coil rf power가 증가할수록 식각된 ZnO 박막의 식각 프로파일이 더 좋아진다. Coil rf power가 증가할수록 플라즈마의 밀도가 증가하고 플라즈마 내의 Ar 이온과 Cl 라디칼의 수가 증가한다. ZnO 박막은 증가한 Ar 이온에 의하여 효과적으로 스퍼터링되고 증가한 Cl 라디칼은 스퍼터링된 ZnO 박막과 반응하여서 ZnO 박막이 제거된다. 높은 coil rf

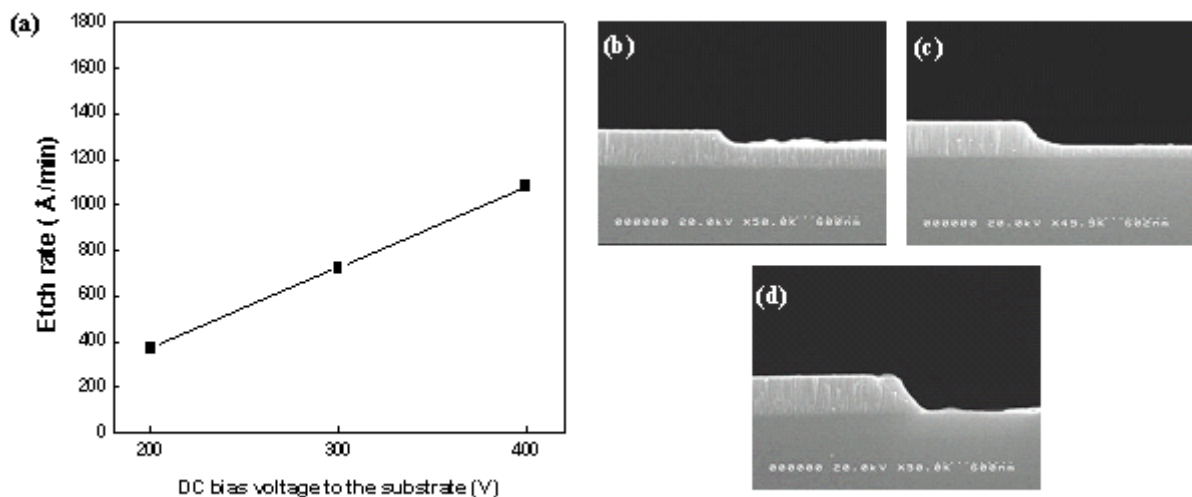


Figure 4. (a) Etch rates of ZnO thin films as a variation of dc bias voltage to the substrate and FESEM images of ZnO thin films etched at (b) 200 V, (c) 300 V and (d) 400 V of dc bias voltage to the substrate; gas concentration: 20 % Cl_2 in Cl_2/Ar mixture gas; coil rf power: 900 W; gas pressure: 5 mTorr.

power에서 효과적으로 식각된 ZnO 박막은 개선된 식각 프로파일을 가진다.

Figure 4의 (a)는 식각 변수로써 기판에 가해진 dc bias voltage를 변화시켰을 때 나타나는 ZnO 박막의 식각 속도이다. 기판에 dc bias voltage를 가해주면 플라즈마 내의 Ar 이온들이 ZnO 박막의 표면으로 가속되고 가속된 Ar 이온의 에너지에 의해 ZnO 박막은 스퍼터링되어 제거된다. 기판에 가해주는 dc bias voltage를 증가시키면 기판으로 가속된 Ar 이온의 에너지가 증가하고 ZnO 박막이 효과적으로 스퍼터링되어 제거되고 식각 속도가 증가한다.

Figure 4의 (b), (c) 그리고 (d)는 식각 변수로써 dc bias voltage를 변화시켜서 얻어진 ZnO 박막의 식각 프로파일이다. Figure 4의 (b)에서 식각된 ZnO 박막의 고르지 못한 표면이 관찰된다. 식각된 ZnO 박막의 표면은 200 V의 낮은 dc bias voltage에 의하여 기판에 가속되는 Ar 이온의 속력이 줄어들어 낮은 이온 에너지를 발생한다. 이로 인하여 ZnO 박막에 대한 Ar 이온의 스퍼터링 효과가 줄어들어 식각속도가 감소하고 고르지 못한 표면을 형성한다. 그러나 Figure 4의 (c)와 (d)에서 보는 바와 같이 기판에 300 V와 400 V의 높은 dc bias voltage를 가해주었을 때 식각되는 ZnO 박막의 표면 물질은 증가한 Ar 이온의 에너지에 의하여 효과적인 Ar 이온의 스퍼터링이 발생한다. 이로 인하여 ZnO 박막은 고른 표면을 형성하고 더 좋은 식각 프로파일을 형성한다.

결론

본 연구에서는 고밀도 플라즈마를 생성하는 유도 결합 플라즈마 반응성 이온 식각을 이용하여 ZnO 박막의 식각 특성을 연구하였다. Cl₂ 그리고 Ar 가스를 혼합한 식각 가스를 이용한 ZnO 박막의 식각에서 Cl₂ 가스의 농도가 증가할수록 ZnO 박막의 식각 속도가 감소하였다. 그리고 Cl₂ 가스의 농도가 감소할수록 수직적인 식각 경사를 보였고 pure Ar 에서 식각된 ZnO 박막은 수직적인 식각 경사를 보였으나 표면에서 재증착이 관찰되었다. 재증착이 없고 수직적인 식각 프로파일이 관찰된 20 % Cl₂ 가스의 농도에서 식각 변수인 coil rf power와 기판에 가해지는 dc bias voltage를 변화시켜 ZnO 박막의 식각 속도와 식각 프로파일을 관찰하였다. Coil rf power와 기판에 가해지는 dc bias voltage가 증가할수록 ZnO 박막의 식각 속도가 증가하였고 coil rf power가 증가할수록 수직적인 식각 경사가 관찰되었다. 그리고 기판에 가해진 dc bias voltage를 변화시켰을 때 200 V의 낮은 dc bias voltage에서 식각된 ZnO 박막의 고르지 못한 표면이 관찰되었고, 300 V의 dc bias voltage에서 식각된 ZnO 박막의 수직적인 식각 경사와 고른 표면을 관찰할 수 있었다. 본 연구의 결과로서, 20 %의 Cl₂ 가스 농도, 900 W의 coil rf power, 300 V의 dc bias voltage 그리고 5 mTorr의 공정압력에서 식각된 ZnO 박막의 가장 좋은 식각 프로파일을 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. Lee, J. M., Chang, K. M., Kim, K. K., Choi, W. K. and Park, S. J., "Dry Etching of ZnO Using an Inductively Coupled Plasma", *J. Electrochem. Soc.*, **148**(1), G1-G3(2001).
2. Ip, K., Baik, K. H., Overberg, M. E., Lambers, E. S., Heo, Y. W., Norton, D. P., Ren, J. M. and Zavada, J. M., "Effect of High-density Plasma Etching on the Optical Properties and Surface Stoichiometry of ZnO", *Appl. Phys. Lett.*, **81**(19), 3546-3548(2002).
3. Park, J. S., Park, H. J., Hahn, Y. B., Yi, G. C. and Yoshikawa, A., "Dry Etching of ZnO Films and Plasma-induced Damage to Optical Properties", *J. Vac. Sci. Technol. B*, **21**(2), 800-803(2003).
4. Kim, H. K., Bae, J. W., Kim, K. K., Park, S. J., Seong, T. Y. and Adesida, I., "Inductively-coupled-plasma Reactive Ion Etching of ZnO Using BCl₃-based Plasmas and Effect of the Plasma Treatment on Ti/Au Ohmic Contacts to ZnO", *Thin Solid Films*, **447-448**, 90-94(2004).