

## SF<sub>6</sub>/Ar 유도결합플라즈마를 이용한 ZnO 박막의 식각 특성에 관한 연구

강성철<sup>1</sup>, 이윤찬<sup>1</sup>, 이진수<sup>1</sup>, 권광호<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> 고려대학교 제어계측공학과

### A Study of Etching Characteristics of the ZnO Thin Film Using a SF<sub>6</sub>/Ar Inductively Coupled Plasma

Sungchil Kang<sup>1</sup>, YoonChan Lee<sup>1</sup>, Jinsu Lee<sup>1</sup>, and Kwang-Ho Kwon<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Department of Control and Instrument Engineering, Korea University, Sejong 339-700, Korea

(Received October 17, 2011; Revised October 25, 2011; Accepted October 31, 2011)

**Abstract:** The etching characteristics of ZnO and etch selectivities of ZnO to SiO<sub>2</sub> in SF<sub>6</sub>/Ar plasma were investigated using Inductively-coupled-plasma (ICP). The maximum etch rates of ZnO were 6.5 nm/min at SF<sub>6</sub>(50%)/Ar(50%), Source power (700 W), Bias power (250 W), Working pressure(8 mTorr). The etch rate of ZnO showed a non-monotonic behavior with increasing from 0% to 50% Ar fraction in SF<sub>6</sub>/ Ar plasma. The plasma diagnostic were characterized using Optical Emission Spectroscopy (OES) analysis measurements.

**Keywords:** ZnO, SF<sub>6</sub>, Ar, ICP, Etching

#### 1. 서 론

ZnO (zinc oxide)는 일반적으로 3.36 eV의 넓은 밴드갭을 가지며, 광소자, 디스플레이산업, 전력전송 소자 및 압전소자 등에 이용된다 [1]. 또한 ZnO는 가시영역 및 IR (infrared) 영역에서 우수한 투과성을 가지며, 또한 전기적 특성이 우수하다 [2]. 이외에도 ZnO는 디스플레이 산업에 있어, 저온 공정 및 low cost를 가능케 한다. 특히, ZnO가 TFTs (thin-film transistors) 에서 활성 영역 (active layer)으로 쓰이는 microelectronics의 응용분야로 관심을 갖게 되면서, ZnO 박막의 건식식각과 이에 따른 마스크층에 대한 고 선택도와 더불어 높은 이방성 식각에 대한 식각특성이 필요로 하게 되었다 [3]. 공정관점에서, 디스플레이나 광전소자에서 전극 등을 식각함에 있어서

중요성이 부각된다. 일반적으로 현재 식각 연구 추이는 CF<sub>4</sub>, CHF<sub>3</sub>, BCl<sub>3</sub>등이 많이 쓰여져 왔다 [4]. 하지만 SF<sub>6</sub>를 이용한 식각메커니즘에 대한 해석은 연구는 미비하다.

본 연구에서는 ZnO 박막을 SF<sub>6</sub>/Ar 유도결합 플라즈마를 이용하여 식각하였고, 공정변수인 SF<sub>6</sub>/Ar의 가스비, source power, bias power, 그리고 공정 압력에 대한 식각속도 변화와 선택비의 변화를 측정하였다. 또한 식각 메커니즘을 규명하기 위해 OES (optical emission spectroscopy)를 이용하여 플라즈마 내의 하전입자와 라디칼의 거동을 조사하였다.

#### 2. 실험 방법

본 연구에서는 ZnO 박막은 Si (100) 위에 ZnO 타

a. Corresponding author; kwonkh@korea.ac.kr

겟 (99.99%)을 RF-magnetron 스퍼터링을 이용하여 약 200 nm 두께로 증착되었다. 증착은 Ar 20 sccm에 산소 10 sccm을 희석하여 진공도 40 mTorr에서 100 W를 인가하여 증착되었다. ZnO 박막을 식각하기 위해 고진공 하에서 고밀도 플라즈마를 형성하는 ICP (inductively coupled plasma) 식각 장비를 사용하였다 [5]. Base pressure는  $5 \times 10^{-5}$  Torr이며, 초기 공정 조건은 source power (500 W), bias power (150 W), 총 가스유량은 40 sccm, 그리고 공정압력은 6 mTorr로 고정된 상태에서 초기 공정을 진행하였다 [6]. 식각 선택비 조사를 위하여 사용된 하드마스크인 SiO<sub>2</sub>는 실리콘 (Si)위에 PECVD (plasma-enhanced chemical vapor deposition)를 이용하여 200 nm로 증착되었으며, 식각된 ZnO 박막 및 SiO<sub>2</sub>의 식각률은  $\alpha$ -step surface profiler (alpha-step 500, KLA-Tencor)를 이용하여 진행되었다. SF<sub>6</sub>/Ar 플라즈마 내에서 화학종들의 특성을 분석하기 위하여 OES (FC-UV600-2, AVANTES)를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

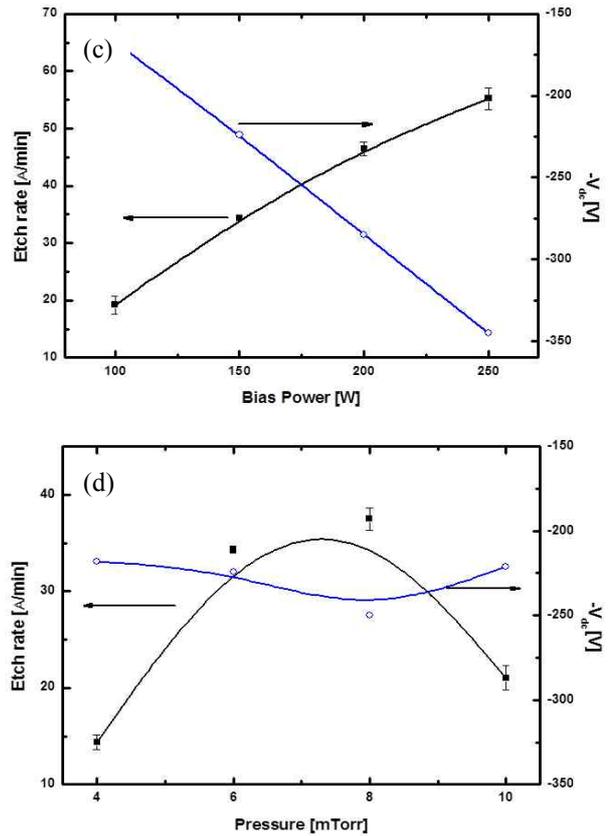
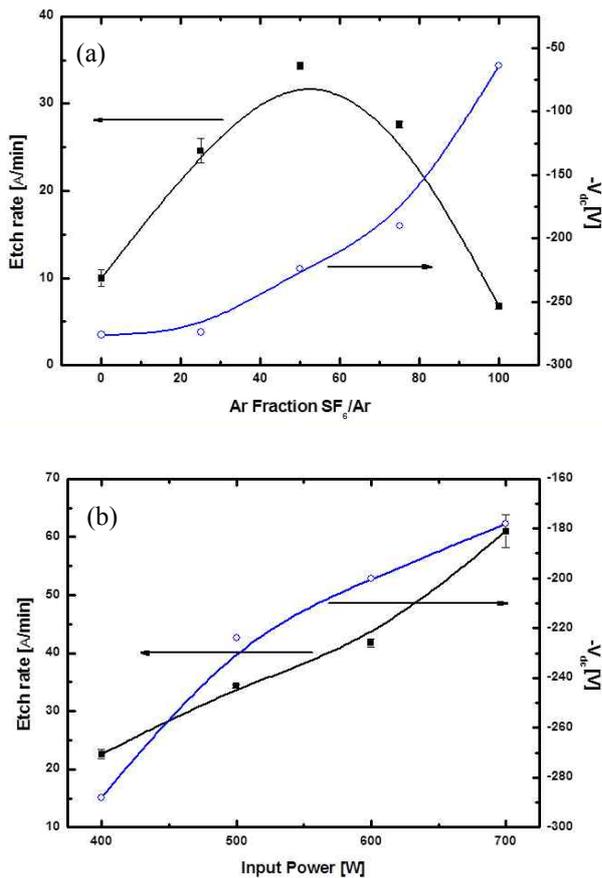


Fig. 1. ZnO etch rate as function of (a) variable of SF<sub>6</sub>/Ar gas flow rate, (b) variables of source power, (c) variables of bias power, (d) variables of pressure.

그림 1은 각각의 source power, bias power, process pressure, 그리고 gas flow rate에 따른 etch rate에 대한 특성을 나타낸 그림이다. 그림 1(a)는 SF<sub>6</sub> plasma에 Ar의 비율이 높아지면서 변화하는 식각률을 보여준다. 그림을 통하여 알 수 있듯이 SF<sub>6</sub>(50%)/Ar(50%)에서 최대 식각률인 3.5 nm/min을 나타낸다. 그 이후로는 점차 감소하는 경향을 보이며, dc bias voltage는 낮아짐을 알 수 있다. 높은 Ar 혼합비에서의 식각률 감소는 self bias 감소에 기인하는 것으로 사료된다.

이 후 각 실험군은 가장 높은 식각률이 조사되었던, SF<sub>6</sub>(50%)/Ar(50%) 가스조건에서 진행되었다. 그림 1(b)는 source power 증가에 따른 식각률 변화이다. Source power가 증가할수록, 식각률은 증가하며, 동일하게 DC bias의 감소를 야기한다. 이는 플라즈마 내의 활성입자의 밀도 증가를 통하여 식각률이 개선된다고 사료된다. 그림 1(c)는 bias power가 증가함에

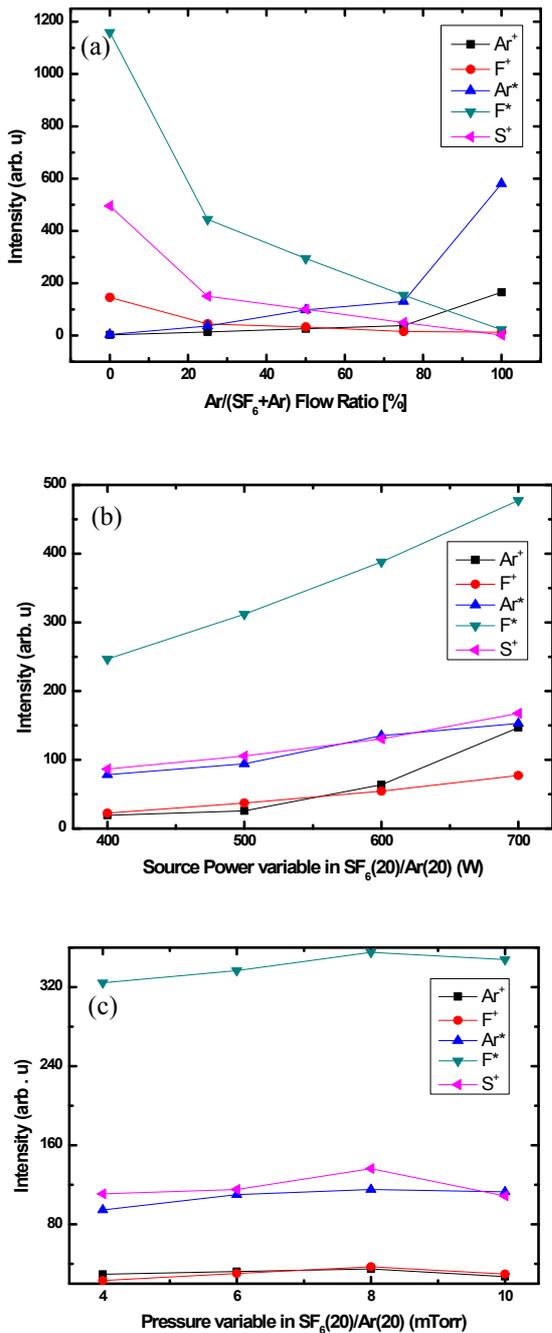


Fig. 2. Optical emission spectroscopy variables of (a) gas flow rate, (b) source power, and (c) pressure.

따라 식각률이 증가함을 보여주며, 동시에 self bias voltage 역시 증가함을 보여준다. 이는 플라즈마 내에 형성되는 ion의 물리적 충돌 효과 (ion bombarding

effect)로 인하여 식각 속도가 증가되는 것으로 사료된다.

그림 1(d)는 압력변화에 대하여 변화하는 식각률에 대한 그림이다. 낮은 식각압력에서는 식각속도가 증가하였으나, 8 mTorr에서 최대 식각률을 나타낸 후, 이후 식각속도는 감소하였다. 이는 낮은 압력에서 압력에 증가함에 따라 플라즈마 내에 형성되는 활성종 농도가 증가하여 나타나는 현상으로 해석된다. ZnO에 대한 SF<sub>6</sub>/Ar 플라즈마 식각 메커니즘을 해석하기 위해 플라즈마 진단인 OES 진단을 진행하였다.

그림 2(a)는 SF<sub>6</sub>/Ar gas 비율에 따라 변화하는 5가지 주된 peak의 크기를 나타낸다. 각 pure gas 조건에서 변화함에 따라, intensity의 크기도 변화하게 된다. 앞의 그림 1(a)에서 SF<sub>6</sub>(50%)/Ar(50%)일 때 가장 높은 식각률이 조사되었다. 이에 SF<sub>6</sub>/Ar Plasma에 대한 ZnO의 식각 메커니즘은 이온보조 식각 메커니즘이라고 사료된다. 그림 2(b)를 통하여 source power 증가에 따라 활성종의 밀도가 증가하는 것을 확인하였으며, 주된 활성 입자(Ar+(735.24 nm), Ar\*(653.14 nm), F+(682.66), F\*(760.59 nm), S+(791.91 nm))의 증가에 따라 ZnO 식각률에 영향을 미치는 것을 확인하였다 [7]. 또한 그림 2(c)를 보면, 공정압력에 변화에 따라 활성종들의 세기가 변화하는데 8 mTorr에서 활성종의 농도가 최대치를 가리키며 이후 감소한다. 이는 공정 압력이 증가함에 따라, 평균 자유행로에 영향을 미쳐, 활성 라디칼 및 이온의 밀도가 감소하는 것으로 해석된다.

그림 3은 source power (700 W), bias power (250 W), 그리고 공정압력 8 mTorr에서 진행된 식각률을 보여준다. ZnO의 식각률은 2배 가량 증가되었음을 확인하였다. ZnO는 원자 간 결합력이 높아 2,000°C의 높은 융점을 가진다 [8]. 이에 앞서 가스변화에 따른 식각률과 비교해봤을 때, 화학적, 물리적 식각이 아닌 이온보조 식각 메커니즘이라 해석될 수 있다. Ar에 의한 스퍼터링 효과에 의하여 Zn과 O결합으로 나뉘어지며, 이 때 발생하는 식각 부산물로는 기체 형태를 띠는 SO<sub>2</sub>나 SO<sub>3</sub>등은 각각 1,180, 44.5°C의 낮은 융점을 가지며 증발되어 식각이 진행되지만, ZnS나 ZnF<sub>2</sub>등의 폴리머가 식각표면에 쌓이게 됨으로써 식각률이 저하된다고 사료된다 [9,10].

Ar의 ZnO박막 스퍼터링에 의하여 나오는 Zn과 O는 S와 Fn(n= 1-5)과 결합하여 Zn(SO<sub>4</sub>)를 생성하여 화학적 식각이 진행되며, 또한 부산물로 휘발성이 높은 SO, SOF, SOF<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 등이 생성되어 박막표면에 흡착될 수 있는 황성분을 제거해준다 [11].

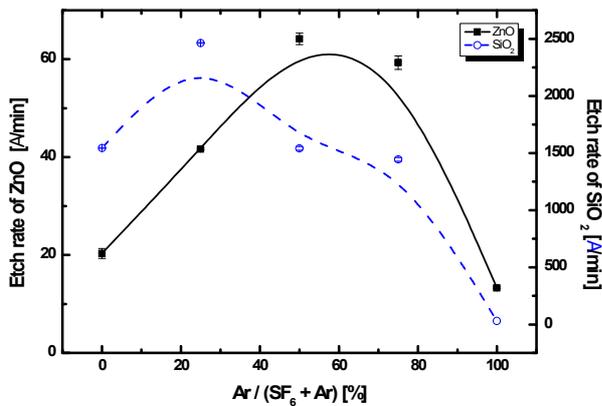


Fig. 3. ZnO and SiO<sub>2</sub> etching rate as a function of gas flow rate in optimized conditions.

하지만 ZnS (1 Torr at 1,900°C)와 ZnF<sub>2</sub> (1 Torr at 1,243°C)는 높은 녹는점을 갖게 때문에 이후의 식각 진행에 있어 Ar 스퍼터링 효과가 줄어 물리적, 화학적 식각 저해요소라고 사료된다 [12].

#### 4. 결론

본 연구를 통하여 ZnO에 대한 최대 식각률은 source power (700 W), bias power (250 W), pressure (8 mTorr), 그리고 gas mixing ratio SF<sub>6</sub> (50%)/Ar(50%)에서 6.5 nm/min을 나타내었다. 주된 플라즈마 활성입자는 Ar<sup>+</sup>, Ar<sup>\*</sup>, F<sup>+</sup>, F<sup>\*</sup>, S<sup>+</sup>이며, Ar이 첨가될수록, self-bias voltage는 감소하나, source power가 증가함에 따라, 활성입자는 증가함을 확인하였다.

위의 결과를 토대로 ZnO 박막을 SF<sub>6</sub>/Ar 플라즈마를 이용한 식각 메커니즘은 이온 보조식각 메커니즘이라 결론 내린다.

ZnO 박막의 SF<sub>6</sub>/Ar 식각은 시료 표면에서 Ar에 의한 Zn-O 결합의 분해 및 sputtering에 의해 진행되는 것으로 해석되며, ZnS<sub>x</sub>, ZnF<sub>x</sub> 폴리머의 흡착으로 인하

여 SF<sub>x</sub>의 흡착반응 및 Ar 스퍼터링이 낮아짐에 낮은 식각률을 나타낸다고 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 지식경제부, 산업기술연구회의 협동연구 사업 일환인 “3D Printed 전자소자기반 그린 스마트 카드 Platform 기술” 사업의 지원에 의한 것입니다.

#### REFERENCES

- [1] D. C. Look, *Mater. Sci. Eng.*, **B80**, 383 (2001).
- [2] T. Aoki, Y. Hatanaka, and D. C. Look, *Appl. Phys. Lett.*, **76**, 3257 (2000).
- [3] W. Lim, L. Voss, R. Khanna, B. P. Gila, D. P. Norton, S. J. Pearton, and F. Ren, *Appl. Surf. Sci.*, **253**, 889 (2006).
- [4] H. J. Lee, B. S. Kwon, H. W. Kim, S. I. Kim, D. G. Yoo, J. H. Boo, and N. E. Lee, *J. Appl. Phys.*, **47**, 6960 (2008).
- [5] Y. H. Ham, Alexander Efremov, H. W. Lee, S. J. Yun, N. K. Min, K. S. Kim, and K. H. Kwon, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **49**, (2010).
- [6] K. H. Kwon, S. Y. Kang, S. K. Lee, S. I. Kim, N. K. Hong, S. Nahm, and Y. S. Kim, *J. Electrochem. Soc.*, **149**, 280 (2002).
- [7] J. H. Park, N. E. Lee, J. Ch. Lee, J. S. Park, and H. D. Park, *Microelectron. Eng.*, **82**, 119 (2005).
- [8] Z. W. Pan, Z. P. Dai, and Z. L. Wang, *Science*, **291**, 1947 (2001).
- [9] T. W. Scharf, S. V. Prasad, M. T. Dugger, P. G. Kotula, and R. K. Grubbs, *Acta Mater.*, **54**, 4731 (2006).
- [10] G. K. Lee, J. H. Moon, and B. T. Lee, *Semicond. Sci. Technol.*, **21**, 971 (2006).
- [11] C. H. Tsai and J. M. Shao, *J. Hazard. Mater.*, **157**, 201 (2008).
- [12] A. Addamiano and P. A. Dell, *J. Phys. Chem.*, **61**, 1020 (1957).