

BCl₃/Ar 유도 결합 플라즈마를 이용한 ZnO 박막의 식각 특성

論 文

56-3-18

The Etching Characteristics of ZnO thin Films using BCl₃/Ar Inductively Coupled Plasma

禹鍾昌*·金瓏河**·金徑兌**·金宗奎*·姜贊民*·金昌日†

(Jong-Chang Woo · Gwan-Ha Kim · Kyoung-Tae Kim · Jong-Gyu Kim · Chan Min Kang · Chang-Il Kim)

Abstract - The specific electrical, optical and acoustic properties of Zinc Oxide (ZnO) are important for semiconductor process which has many various applications. Piezoelectric ZnO films has been widely used for such as transducers, bulk and surface acoustic-wave resonators, and acousto-optic devices.

In this study, we investigated etch characteristics of ZnO thin films in inductively coupled plasma etch system with BCl₃/Ar gas mixture. The etching characteristics of ZnO thin films were investigated in terms of etch rates and selectivities to SiO₂ as a function of BCl₃/Ar gas mixing ratio, RF power, DC bias voltage and process pressure. The maximum ZnO etch rate of 172 nm/min was obtained for BCl₃ (80%)/Ar(20%) gas mixture. The chemical states on the etched surface were investigated with X-ray photoelectron spectroscopy (XPS).

Key Words : Etching, ZnO, XPS, BCl₃/Ar

1. 서 론

현대가 정보통신 사회로 되어가면서 전달 매체인 멀티미디어의 중요성이 점점 더 강조되고 있다. 이에 따라 각종 디스플레이 표시소자와 광 기록소자의 개발이 가속화되면서 광전자학(optoelectronics)의 발전과 함께 이러한 소자들의 재료에 대한 연구도 활발히 진행되어 왔다. 최근 지식 정보화에는 고도의 정보 저장 및 통신기술이 필수적으로 요구되며 기존의 실리콘 기반 소자의 고성능화 이외에 새로운 기술혁신을 요구하고 있다.

1996년 GaN와 near band edge(NBE) emission 및 yellow deep-defect level emission의 발광 기구가 ZnO의 green emission과 매우 유사하다는 점이 발견된 이후, II-VI 족 ZnO 반도체에 대한 광학적 성질에 많은 관심이 집중되기 시작하였다. 1980년대 후반부터 적층 박막 성장 방법들이 급속도로 발전을 하여 오고 1988 S. Bethke 등이 화학 기상 증착(Chemical Vapor Deposition)로 성장한 ZnO의 NBE emission에 관심을 갖기 시작하였고, 1996년 후반부터 GaN, ZnO 사이의 유사한 발광기구가 알려졌다. 2000년에 들어서면서 MgO와 CdO와의 solid solution에 의한 밴드갭을 2.6-4.2 eV까지 조절하는 가능성이 보고되면서 이를 이용한 ZnO/MgZnO 구조에 대한 연구도 병행되었다.[1-5]

현재 ZnO의 재료를 GaN, ZnSe, ZnS 등과 비교하여보면, ZnO의 장점은 상온에서 광학적 밴드갭이 3.37 eV로 3.4

eV의 GaN과 비슷하여 근자외선 영역의 광원으로 적당하다. 또한 cohesive 에너지의 경우 1.89 eV로 GaN에 비하여 우수한 성질을 가지고 있고 결합형성에너지가 높아서 양질의 광소자에 적합하다. 그래서 ZnO를 광소자 제작용 반도체 기판으로 사용하기 위해서는 에피층의 성장이 필수적이다. ZnO와 비슷한 특성을 가진 GaN에 비해 Si 기판 위에서 에피층 성장이 더 쉽다. 예를 들면 유기화학 금속 증착법에 의하여 기판 위에 GaN을 에피택셜 하게 되는 1000 ℃이상의 온도가 요구되는데 비해 ZnO는 500 ℃의 상당히 낮은 온도로도 에피택셜이 가능하다. 앞서 말한 바와 같이 이러한 좋은 특성을 지닌 ZnO를 적용시키기 위해 저비용으로 고품질 대구경화를 구현하기 위해서 많은 분야에서 연구가 되어지고 있지만 고집적, 초고밀도를 원하는 소자 디바이스를 구현하기 위한 단위공정에서의 문제점들에 대한 해결 방안이 제대로 제시 되어있지 않은 상태이다. 그 단위 공정 중에서도 식각에서는 현재 Ar 입자에 의한 물리적인 식각의 증가[6, 7] 또는 Cl₂ 입자와 Ar 입자의 상호작용에 의한 Cl₂ 해리의 새로운 채널 형성 등으로 더 향상된 식각 속도를 얻을 수 있는 것으로 보고되었으나[9] 실제 식각 공정에서 사용되는 혼합 가스 플라즈마에 있어서는 그 정확한 메커니즘과 식각에 대한 연구가 미흡한 상태이다. 이러한 배경에서 본 연구에서는 BCl₃/Ar 유도결합 플라즈마(inductively coupled plasma) 시스템을 이용하여 수행하였다. 식각특성은 BCl₃ 와 Ar 가스의 혼합비, RF 전력, 바이어스 전력 그리고 공정 압력의 변화에 따른 각각의 ZnO 식각특성과 마스크 물질로 사용되어질 수 있는 Photoresist 나 SiO₂와의 선택비로 각각의 파라미터를 고려한 ZnO의 식각공정을 확인 하였다.[9] 또한 식각 메커니즘을 더욱 상세하게 규명하기 위해 XPS(X-ray photoelectron spectroscopy)를 이용하여 ZnO 박막과 플라즈마 내의 라디칼과 시료 표면의 화학반응 분석을 통해 식각 메커니즘을 고찰하였다.

* 學生會員 : 중앙大 전기전자공학부 석사과정

** 正 會 員 : 중앙大 전기전자공학부 박사과정

† 교신저자, 正會員 : 중앙大 전기전자공학부 교수

E-mail : cikim@cau.ac.kr

接受日字 : 2006年 10月 10日

最終完了 : 2006年 12月 29日

2. 본 론

2.1 실험방법

본 실험에 사용된 기판은 0.85-1.15 Ω·cm의 비저항을 갖는 p형, 4인치 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 증착하기 앞서 실리콘 기판의 산화막을 제거하기 위해 HF:H₂O(=1:10)용액에 20초간 담근 후 탈 이온수(Deionized water)에 세척하였고, 각각 Standard cleaning으로 초음파 세척한 후 탈 이온수를 이용하여 5분 이상 세척하고 고순도의 질소 가스로 건조시켜 표면의 습기를 완전히 제거하였다.[8] ZnO는 RF magnetron 스퍼터 장비를 이용하여 박막을 증착하였다. ZnO 박막의 두께는 약 400 nm이었다.

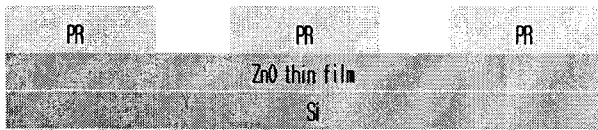


그림 1 ZnO 박막의 시편구조.
Fig. 1 Structure of ZnO thin film.

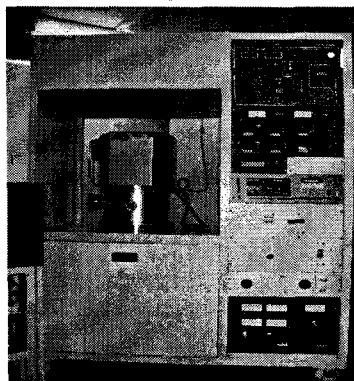
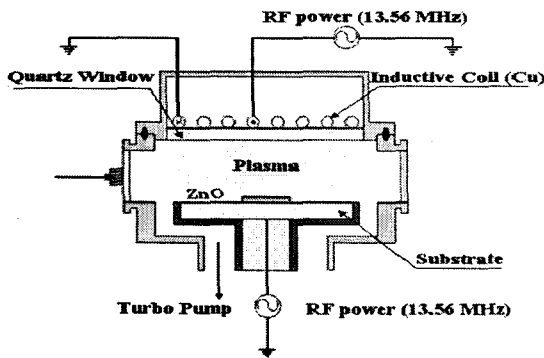


그림 2 ZnO 박막 식각에 사용된 유도결합 플라즈마 시스템 장치의 개략도 및 장비.
Fig. 2 ZnO of inductively coupled plasma system with quadrupole mass spectrometer

그림 1은 ZnO 시편 구조를 나타내었으며, 그림 2는 본 실험에서 사용된 유도 결합 플라즈마 시스템이며, 석영창 위에 나선형의 평판 구리 코일에 13.56 MHz의 RF 전력을 인가했으며, 바이어스 전력을 조절하기 위하여 별도의 13.56 MHz RF 전력을 하부 전극에 인가하였다. 식각 속도는 Tencor사의 Alpha-step 500을 이용하여 측정되었다. 식각

전후의 ZnO 박막의 표면 반응을 Thermo VG 사의 SIGMA PROBE XPS 장비를 이용하여 분석하였다. 이 때 XPS 장비는 250 watts의 Mg Ka(1486 eV)를 사용하였다.

2.2. 결과 및 고찰

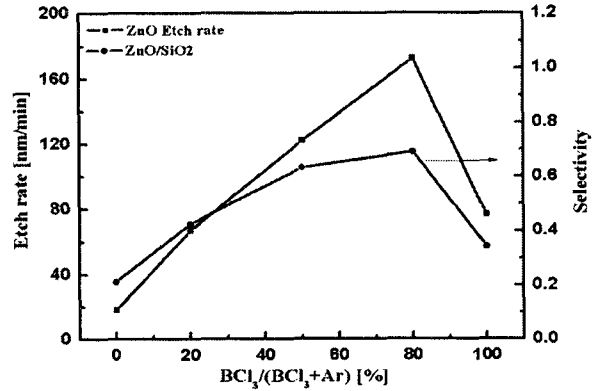


그림 3 BCl₃/Ar 가스 혼합비에 따른 ZnO 박막의 식각속도 및 식각 선택비.

Fig. 3 Etch rate and selectivity of ZnO thin films as a function of BCl₃/Ar gas mixing ratio.

그림 3은 BCl₃/Ar 가스 혼합비에 따른 ZnO 박막의 식각 속도와 SiO₂에 대한 ZnO 박막의 선택비를 나타낸 것이다. 이 때의 공정 조건은 RF 전력과 바이어스 전력은 각각 700 W, 400 W이었으며, 공정 압력은 2 Pa 이다. BCl₃ 가스 혼합비율이 80% 까지 증가할 때 식각 속도는 증가하고, 그 이상 첨가함에 따라 식각 속도는 감소하는 경향을 나타내었다. BCl₃(80%)/Ar(20%)의 조건에서 172 nm/min의 최고 식각 속도를 보였으며, 이 때의 SiO₂에 대한 선택비는 0.69 이었다. 이러한 결과를 볼 때, D. P. Kim 등의 연구[9]에서 Cl, BCl 및 Ar 라디칼 밀도의 변화로 설명할 수 있다. 즉, BCl₃ 가스를 20%에서 100% 까지 첨가함에 따라 Cl 라디칼 밀도는 증가한다. 여기 된 Ar 이온이 Cl₂ 혹은 BCl₃ 와 충돌하여 Cl 라디칼로 해리 시키는데 도움을 주기 때문에 Cl의 부피 밀도가 증가 한 것으로 판단되며, 이러한 Cl 라디칼의 증가로 식각 속도가 증가 된 것으로 사료된다. 그러나 BCl₃ 가스가 100% 일 때는 상대적으로 Cl 라디칼이 감소되어 화학적인 식각작용 저하로 식각속도가 감소되는 것이다. 이는 ZnO 박막은 BCl₃의 화학적인 메커니즘에 의해서 식각 속도가 증가하는 것을 보이며, Ar⁺의 물리적인 스퍼터링 효과가 가미되어 더욱 식각 속도를 높게 한다고 판단된다. ZnO 박막이 물리적인 스퍼터링 효과보다 화학적인 메커니즘에 의해 식각 속도가 높다고 판단 할 수 있는 근거는 Ar 가스 100%와 BCl₃ 가스 100% 일 때를 보면 알 수 있다. 이는 플라즈마 내의 BCl₃ 함유량이 증가함에 따라 식각 속도가 증가되어 진다. 이는 주어진 공정 변수에 대하여 결정적인 요인이 Cl 원자들과 B 원자들에 의해 제공되는 화학적인 식각 반응이라고 사료된다.

그림 4는 RF 전력에 따른 ZnO 박막의 식각 속도와 SiO₂에 대한 선택비를 나타 낸 것이다. 이 때 RF 전력은 500 W에서 900 W로 변화시키면서, 가스 혼합비는 BCl₃(80%)/Ar(20%), 바이어스 전력은 400 W, 공정 압력은 2 Pa 로 고정하였다.

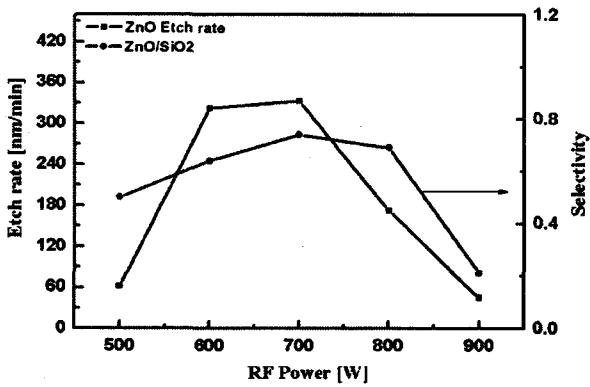


그림 4 BCl₃/Ar RF 전력에 따른 ZnO 박막의 식각속도 및 식각 선택비.
 Fig. 4 Etch rate and selectivity of ZnO thin films as a function of RF Power.

그림 4에서 나타난 것과 같이, RF 전력이 증가 할수록 식각 속도는 증가하며, 식각 속도는 700 W일 때 261 nm/min 로 가장 높았다. SiO₂에 대한 선택비는 0.74 였다. 이것은 RF 전력이 증가 할수록 Cl 라디칼과 Ar 이온의 밀도가 증가하였기 때문에 물리적인 식각뿐만 아니라 Cl 라디칼에 의한 ZnO 박막 표면과의 활발한 화학적 반응으로 인해 식각 속도가 증가된 것이다. 이 후에 다시 식각 속도가 감소하는 경향을 보이는 것은 RF 전력이 증가하면 플라즈마 내의 활성종(active species)들이 많이 생성되어 시료 표면에서의 반응이 활발히 일어나 식각 부산물을 많이 형성하지만, 동일한 바이어스 전력을 공급할 때 RF 전력이 증가하면 하부 전극에 걸리는 쉬스(sheath) 전압이 감소하게 되고, 과도한 라디칼 생성으로 평균자유행정이 감소되어 물리적인 에너지의 감소로 인해 Ar이 Zn-O 결합을 끊어 주어야 할 능력이 떨어짐으로 표면의 식각 반응 부산물을 유리시키지 못해서 RF 전력이 계속 증가하면 식각 속도가 감소된 것으로 사료된다. Ar 이온에 의한 물리적 스퍼터링 효과의 감소뿐만 아니라 너무 많은 활성종으로 인한 식각 부산물의 재증착이 일어나게 되는 결과를 보여 식각속도의 저하를 초래한다.[11]

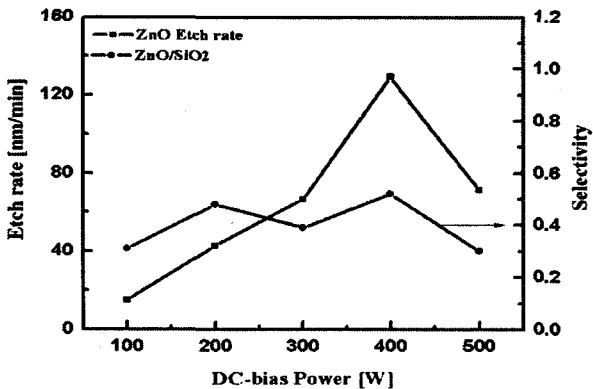


그림 5 BCl₃/Ar 바이어스 전력에 따른 ZnO 박막의 식각속도 및 식각 선택비.
 Fig. 5 Etch rate and selectivity of ZnO thin films as a function of DC-bias Power.

그림 5는 바이어스 전력에 따른 ZnO 박막의 식각 속도와 SiO₂에 대한 선택비를 나타낸 것이다. 바이어스 전력은 100 W 에서 500 W로 변화 시켰다. RF 전력은 700 W, 가스 혼합비는 BCl₃(80%)/Ar(20%), 공정 압력은 2 Pa로 고정하였다. 그림 5 에서 나타난 것과 같이 바이어스 전력이 증가 할수록 ZnO 박막의 식각 속도는 증가하고, 식각 속도는 400 W일 때 129 nm/min로 가장 높았다. 바이어스 전력이 증가 하면 Ar 이온들이 웨이퍼로 향하는 운동 에너지가 증가하게 되고, 물리적인 스퍼터링 효과를 더욱 크게 한다. 또한 Ar에 의해 Zn-O 결합이 끊어지고 Zn 과 Cl, O 와 B가 결합하여 휘발성 부산물을 생성하여 식각 속도 향상에 도움을 준다. 바이어스 전력이 100 W 으로부터 증가할 때 ZnO의 식각속도는 증가하나 400 W이상 계속 증가할 때 식각 속도는 감소한다. Ar 이온에 의한 물리적인 스퍼터링 효과의 감소뿐만 아니라 너무 많은 반응으로 인한 식각 부산물의 재증착이 일어나게 되는 결과로 너무 많은 전력을 인가하면 일반적인 스퍼터링 수율이 1 atom/ion을 초과하기 때문에 식각 속도는 감소하는 결과를 보인다.[10]

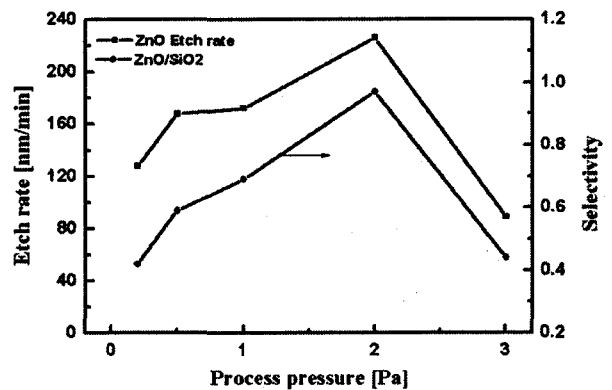


그림 6 BCl₃/Ar 공정 압력에 따른 ZnO 박막의 식각속도 및 식각 선택비.
 Fig. 6 Etch rate and selectivity of ZnO thin films as a function of Process Pressure.

그림 6은 공정 압력에 따른 ZnO 박막의 식각속도와 SiO₂에 대한 선택비를 나타낸 것이다. 압력은 0.2 Pa 에서 3 Pa로 변화 시켰다. RF 전력은 700 W, 가스 혼합비는 BCl₃(80%)/Ar(20%), 바이어스 전력은 400 W로 고정하였다. ZnO 박막의 식각속도는 공정 압력이 낮아질수록 감소하고, 역시 ZnO 박막과 SiO₂와의 선택비도 감소하였다. 2 Pa이하에서 공정 압력이 감소함에 따라 Ar 이온의 평균자유행정이 증가하게 되고, 이로 인해 Ar 이온의 에너지가 증가하게 된다. 따라서 박막 표면에서 Ar 이온에 의한 충격 에너지가 증가하게 되고, 이는 Ar 이온에 의한 물리적 식각 현상의 증가로 이어진다. 그러나 공정 압력이 낮아지게 되면, 절대적인 라디칼 밀도의 감소에 의한 화학적 반응의 감소로 인하여 식각 속도가 감소된다. 2 Pa 이상으로 공정 압력이 증가하면 라디칼 밀도는 증가하여 화학적 식각은 증가하지만 평균자유행정이 감소한다. 이 평균자유행정은 전력 그리고 압력과는 반비례 관계에 있으며 때문에 전력이나 압력을 증가 시키면 평균자유행정이 감소하여, 스퍼터링 효과가 떨어지고 물리적 식각속도가 감소되는 것이다. 따라서 공정

압력 2 Pa에서 물리적 스퍼터링 효과와 화학적 반응이 극대화되어 최대 식각 속도를 얻을 수 있었다.

ZnO 박막 표면에서 라디칼과의 반응에 따른 식각 특성을 이해하기 위해서 XPS narrow scan 분석을 수행하였다. 그림 7은 BCl₃ 가스 혼합비에 따라 식각 한 ZnO 박막 표면에서 XPS의 Zn 2p 와 O 1s의 narrow scan 스펙트럼을 나타낸다. BCl₃/Ar의 가스 혼합비를 변화 시키는 동안 다른 식각 공정 변수는 700 W의 RF 전력, 400 W의 직류 바이어스 전압, 2 Pa의 공정 압력으로 고정하였다.

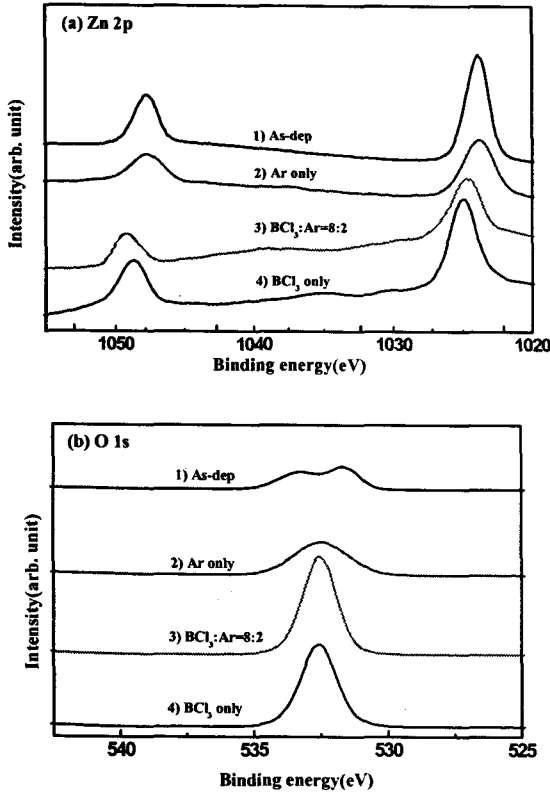


그림 7 BCl₃/Ar 가스 혼합비에 따라 식각된 ZnO 박막 표면의 (a) Zn 2p 와 (b) O 1s 의 XPS narrow scan 스펙트럼

Fig. 7 Zn 2p_{3/2} and O 1s XPS narrow scan spectra of ZnO surface etched with BCl₃/Ar gas mixing ratio.

그림 7 (a)에서 보는 바와 같이 BCl₃ 가 첨가된 플라즈마 상태에서 식각한 표면에 대해서만 1023.1 eV 와 1021.9 eV 에서 Zn-Cl peaks 가 나타났다. 이는 Cl 라디칼의 높은 유속으로 인하여 ZnO 표면에서 화학적인 작용이 가장 활발히 일어났을 뿐만 아니라 반응 생성물에 대한 가장 낮은 이온의 도움 탈착속도(ion-assisted desorption rate)를 보인 것으로 볼 수 있다. 즉, Zn peak 이 Ar 100 %에서 밀도가 낮아지는 것은 가스의 반응 생성물이 없어지게 되어서 이며, BCl₃ 가스의 농도를 증가시킬수록 화학적 반응 생성물에 의해서 식각된 표면의 식각 부산물이 증가 된다는 것이다. 그러므로 ZnO의 밀도는 식각된 박막들은 pesk 들이 감소하는 것이고 높은 에너지 쪽으로 이동하는 것이다. 그림 7 (b)는 ZnO 박막의 식각 전후의 O 1s 스펙트럼이다. O 1s 스펙트럼에서 530.25 eV 와 531.08 eV 의 결합에너지를 가지는 2

가지의 중첩되는 피크가 나타남을 볼 수 있다. 이것은 첫째 peak는 O-Zn 결합에 관련된 것으로 판단할 수 있고, 두 번째 peak는 순수 산소보다 높은 결합에너지에서 피크가 보이는 것이다. 순수한 Ar 가스의 플라즈마 상태로만 식각을 하였을 경우에는 다른 불순물과 결합한 산소의 피크가 사라지고, O-Zn 결합의 피크 세기가 크게 나타났다. 이 결과는 O-Zn 결합을 Ar 이온들이 생성시킴에 도움을 주어 ZnO 표면에 순수한 산소들이 생겨나기 때문이다. 또한 531.08 eV 에서의 피크의 강도가 눈에 띄게 감소되는 것을 볼 수 있고 530.25 eV 에서의 O-Zn 피크의 강도가 증가함을 볼 수 있다. 이것은 Ar⁺ 이온의 충격으로 인해 ZnO 격자구조에서 더 많은 자유 산소가 생성되기 때문으로 판단된다. 하지만 BCl₃ 가스가 포함된 플라즈마 상태에서는 경우의 피크가 모두 증가함을 볼 수 있다. 이는 Ar 가스에 BCl₃를 첨가함으로써 인해 Zn 와 Cl 라디칼과의 화학적인 반응으로 인해 더 빠르게 산화물 결합을 깰 뿐만 아니라, Cl_xO_y 라디칼의 형성으로 인해 O가 제거되어 식각이 증가된다는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 유도결합 플라즈마를 사용하여 ZnO 박막을 식각하였다. BCl₃/Ar 플라즈마를 이용한 ZnO 박막의 식각에서는 BCl₃ 가스의 농도가 증가될수록 그리고 RF 전력과 직류 바이어스 전압 그리고 공정 압력이 증가할수록 ZnO 박막의 식각 속도가 증가하다가 일정 한계점 이후에는 식각속도가 감소하였다. BCl₃(80%)/Ar(20%) 조건에서 ZnO의 최대 식각속도는 172 nm/min이었으며 SiO₂에 대한 식각선택비는 0.69 이었다. BCl₃/Ar 플라즈마 상태에서 ZnO 박막의 식각은 Ar 이온의 물리적인 스퍼터링에 의해 Zn-O 결합이 끊어지고 Cl, B 라디칼에 의한 시료 표면에서의 화학 반응에 의해 식각이 이루어 진다. 또한 라디칼과 시료와의 반응으로 인한 비휘발성의 식각 부산물을 Ar 이온의 스퍼터링에 의해서 시료 표면에서 효과적으로 탈착 시킬 때 식각 반응은 활발히 일어나게 되어 식각속도의 증가가 야기되었다.

참 고 문 헌

- [1] 이상렬, "차세대 ZnO 발광소자 연구동향", 최신전기화학지, Vol 51, Num. 3, p 42, 2002.
- [2] 명재민, 박민철, 황득구, "ZnO 광소자 연구 동향", 전기전자재료학회지, 제14권, 제8호, p 11, 2001.
- [3] D. C. Reynold, D. C. Look, B. Jogai, and H. Morko, "Similarities in the bandedge and deep-centre photoluminescence mechanisms of ZnO and GaN", Solid State Commun, Vol. 101, Issue 9, p 643, 1997.
- [4] S. Bethke, H. Pan, and B. W. Wessels, "Luminescence of heteroepitaxial zinc oxide", Appl. Phys. Lett, Vol. 52, Issue 2, p 138, 1998.
- [5] D. C. Reynolds, D. C. Look, B. Jogai, J. V. Nostrand, R. Ones, and J. Jenny, "Source of the yellow luminescence band in GaN grown by gas-source molecular beam epitaxy and the green luminescence band in single crystal ZnO", Solid State Commun, Vol. 106, Issue 10, p 701, 1998.

- [6] K. K. Kim, J. H. Song, H. J. Jung, W. K. Choi, S. J. Park, J. H. Song, "The grain size effects on the photoluminescence of ZnO/-Al₂O₃ grown by radio-frequency magnetron sputtering", J. Appl. Phys. vol. 87, p 3573, 2000.
- [7] R. Groenen, M. Creatore, M. C. M. van de Sanden, "Dry etching of surface textured zinc oxide using a remote argon-hydrogen plasma", Appl. Surf. Sci, Vol 241. Issue 3-4, p 321, 2005.
- [8] R.M. Todi, K.B. Sundaram, A.P. Warren, K. Scammon, "Investigation of oxygen annealing effects on RF sputter deposited SiC thin films", Solid-State Electronics, Vol 50, Issues 7-8, p 1189, 2006.
- [9] D. P. Kim, J. W. Yeo and Chang-II Kim, "The etching properties of SBT thin films in BCl₃/Cl₂/Ar plasma", Thin Solid Films, Vol 459, Issue 1-2, p 76, 2004.
- [10] S. M. Gu, D. P. Kim, K. T. Kim, C. I. Kim, "The etching properties of MgO thin films in Cl₂/Ar gas chemistry", Thin Solid Films, Vol 475, Issue 1-2, p 313, 2005.
- [11] B. J. Lee, H. S. Chung, K. S. Lee, "Etching of Zinc Oxide(ZnO) Using Isomer of Butyl Acetate", 대한전기학회, Vol 51, Num. 3, p 111, 2002.
- [12] K. C. Lee, C. Lee, "Characteristics of ZnO Thin Films Grown on p-type Si and Sapphire Substrate by Pulsed Laser Deposition ", KIEE International Transactions on EA, Vol 3, Num 6, p 241, 2003.

저 자 소 개



우 종 창 (禹鍾昌)

1978년 9월 6일생. 2006년 가톨릭대 컴퓨터전자공학부 졸업. 2006년~현재 중앙대 대학원 전자전기공학부 석사과정
 Tel : 02-812-9681
 Fax : 02-812-9651
 E-mail : wjch97@plasma.cau.ac.kr



김 관 하 (金 權 河)

1976년 3월 23일생. 2002년 중앙대 전자전기공학부 졸업. 2004년 동 대학원 전자전기공학부 졸업(석사) 2004년~현재 동 대학원 전자전기공학부 박사과정
 Tel : 02-812-9681
 Fax : 02-812-9651
 E-mail : kim@gwanha.com



김 경 태 (金徑兌)

1970년 12월 29일생. 1997년 서남대 전자공학과 졸업. 1999년 광운대 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 2004년 중앙대 대학원 전자전기공학부 졸업(공학박) 2005년~현재 중앙대 전자전기공학부 박사후과정
 Tel : 02-812-9681
 Fax : 02-812-9651
 E-mail : kkt5648@plasma.cau.ac.kr



김 종 규 (金宗奎)

1978년 11월 3일생. 2005년 중앙대 전자전기공학부 졸업. 2005년~현재 동 대학원 전자전기공학부 석사과정
 Tel : 02-812-9681
 Fax : 02-812-9651
 E-mail : kjg1103@korea.com



강 찬 민 (姜贊民)

1979년 12월 24일생. 2005년 선문대 전자공학과 졸업. 2005년~현재 중앙대 전자전기공학부 석사과정
 Tel : 02-812-9681
 Fax : 02-812-9651
 E-mail : uggiking@hotmail.com



김 창 일 (金昌日)

1960년 7월 13일생. 1984년 중앙대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1997년~현재 중앙대 전자전기공학부 부교수
 Tel : 02-820-5334
 Fax : 02-812-9651
 E-mail : cikim@cau.ac.kr