

차세대 소자를 위한 MgO thin films 의 식각 특성

우종창, 김관하, 김창일  
중앙대학교

Etch mechanism of MgO thin films for next generation devices

Jong-Chang Woo, Gwan-Ha Kim, and Chang-Il Kim  
School of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University

**Abstract** - 본 연구는 MgO 박막을 유도 결합 플라즈마를 이용하여, CF<sub>4</sub>/Ar 가스 혼합비로 식각하였고, RF 전력, DC-bias 전압과 Process Pressure를 변경하면서 실험하였다. 빛 방출 분석(optical emission spectroscopy, OES)을 이용하여, 플라즈마 진단과 식각 특성과의 관계를 분석하였다. OES 결과로부터 CF<sub>4</sub> 첨가비를 50%까지는 증가시키에 따라 식각률이 증가하였고, 그 후에 Ar 이온이 감소함으로써 식각률이 감소하였다. MgO 박막의 최고 식각률은 50%의 CF<sub>4</sub>/(CF<sub>4</sub>+Ar)에서 700 W의 RF 전력, -150 V의 DC-bias 전압, 반응로 압력은 15 mTorr, 기판 온도는 30℃로 고정시켰을 때 29 nm/min이었다. 이 조건에서 MgO 박막과 SiO<sub>2</sub>의 선택비는 0.06 이었다.

1. 서 론

MgO는 금속, 반도체, 초전도체, 강유전체, 광전자소자 등과 같은 다양한 재료의 성장용 기판 또는 버퍼층으로 폭넓게 이용되어 왔다. MgO는 강한 이온성 결합을 하고 있으며 격자 상수가 4.21 Å인 압연형(NaCl type) 결정구조를 가지는 물질로 낮은 표준 에너지, 유전 상수(-9.8), 일함수(work function), 스핀터 수율과 매우 큰 밴드갭 에너지(band gap energy: ~7.8eV) 값을 가지고 있어 화학적, 열적으로 안정한 물질로 알려져 있다. 또한, DRAM(dynamic random-access memory), FRAM(ferroelectric random-access memory) 그리고 MFIS(metal-ferroelectric-insulator-silicon), 디스플레이 등의 응용에 중요한 역할을 하고 있다. 선행 연구를 통해서 Cl<sub>2</sub>/Ar, BCl<sub>3</sub>/Ar 등의 가스 혼합비 및 식각 변수들에 대한 특성과 전자 온도 및 밀도, 이온 전류 등의 변수와 관계에 대하여 연구하였으나, 특성에 대한 이해가 부족하여 더 많은 연구가 요구된다.

따라서 본 연구에서는 CF<sub>4</sub>/Ar 가스 혼합비 및 식각 변수들과 MgO 박막의 식각특성의 관계에 대하여 조사하였다. 빛 방출 분석(optical emission spectroscopy OES)을 이용하여 플라즈마 특성과 식각률과의 관계를 분석하였다.[1-4]

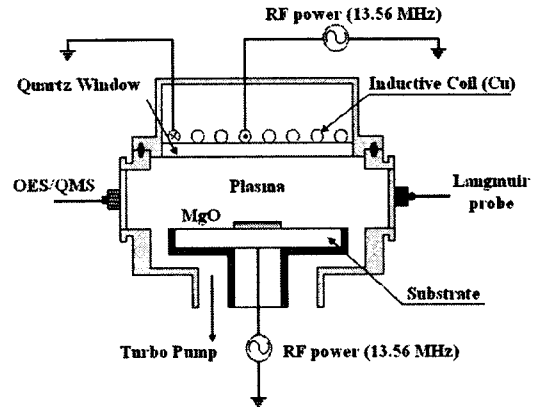
2. 본 론

2.1 실험 방법

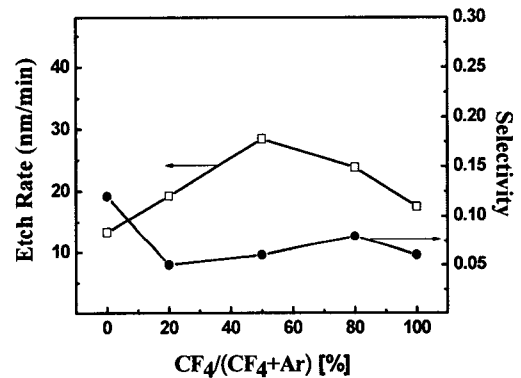
MgO 박막을 증착하기 위해 Si(100)을 사용하였고, sol-gel 방법을 이용한 Solution으로 스핀 코팅법을 통하여 Si 기판 위에 성장시켰다. 이와 같이 준비된 MgO 박막의 플라즈마 식각은 그림 1에서 보는 유도 결합 플라즈마(Inductively coupled plasma)에서 CF<sub>4</sub>/Ar 가스를 이용하여 식각을 진행하였다. 유도 결합 플라즈마에서 반응로 상부에 위치한 평판 구리 코일에 13.56 MHz의 RF 전력을 인가했으며, DC-bias를 조절하기 위하여 별도의 13.56 MHz RF 전력을 하부전극에 인가했다. 이때 공정변수로는 RF 전력을 700 W, DC-bias 전압은 -150 V, 반응로 압력은 2 Pa, 기판 온도는 30℃로 고정시켰다. 식각률은 surface profiler(KLA Tencor, Alpha-step 500)를 사용하여 측정하였으며, CF<sub>4</sub> 가스 첨가 비에 따른 플라즈마의 F 라디칼과 Ar의 상대적인 비를 알아보기 위해 OES(NANOTEK, NTSU101)를 사용하였다.

2.2 결과 및 고찰

그림 2는 CF<sub>4</sub>/Ar 가스 혼합비에 따른 MgO 박막의 식각률과 SiO<sub>2</sub>에 대한 MgO 박막의 선택비를 나타낸 것이다. 이때의 공정 조건은 RF 전력과 DC Bias 전압은 700 W, -150 V였으며, 반응로의 압력은 2 Pa 이다. CF<sub>4</sub> 가스 혼합비율이 50% 까지 식각률이 증가하고, 그 이상 첨가함에 따라 식각률은 감소하는 경향을 나타내었다. CF<sub>4</sub>(50%)/Ar(50%)의 조건에서 29 nm/min의 최고 식각률을 보였으며, 이때의 SiO<sub>2</sub>에 대한 선택비는 0.06 이었다. 이러한 결과를 볼 때, MgO 박막이 F 라디칼과의 결합에 의한 화학적 식각과 Ar 이온에 의한 스핀터링이 같이 적용이 되었을 때 효과적으로 식각됨을 알 수 있다. MgO 박막의 식각은 F 라디칼과의 화학반응과 Ar 이온 충격에 의한 물리적인 스핀터링으로 MgO는 F와 결합할 수 있도록 Mg-O 결합을 끊는 역할뿐만 아니라 비휘발성 식각 부산물의 시료 표면에 서 탈착을 도와 식각을 증가에 기여하게 된다.



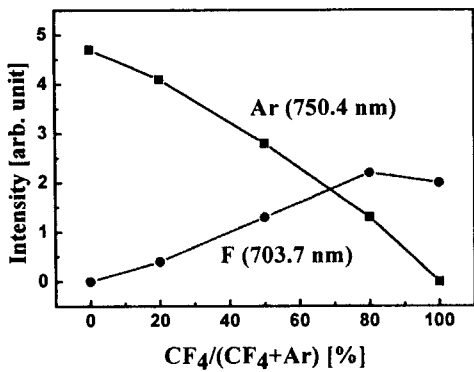
<그림 1> 유도 결합 플라즈마



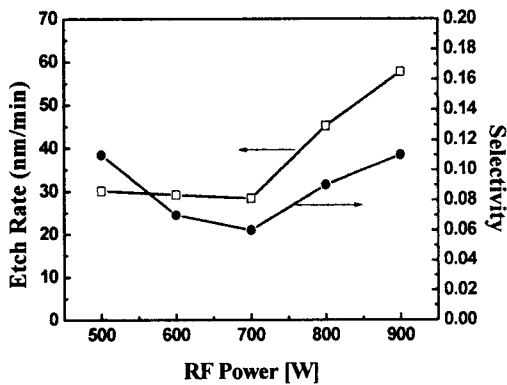
<그림 2> CF<sub>4</sub>/Ar 가스의 혼합비에 따른 식각률과 SiO<sub>2</sub>에 대한 선택비

CF<sub>4</sub>/(CF<sub>4</sub>+Ar) 가스 혼합비에 따라 MgO와 SiO<sub>2</sub> 식각 특성을 이해하기 위해서 OES를 이용하여 CF<sub>4</sub>/(CF<sub>4</sub>+Ar) 가스 플라즈마 특성을 분석하였다. 그림 3은 OES를 이용하여 CF<sub>4</sub>/(CF<sub>4</sub>+Ar) 가스 혼합비에 따른 CF<sub>4</sub>/Ar 플라즈마의 F 라디칼 및 Ar의 방출세기를 측정된 결과이다. 검출된 F 라디칼 및 Ar의 파장은 각각 703.7 nm, 750.4 nm이었다. CF<sub>4</sub> 함유량이 증가함에 따라 Ar 방출세기는 서서히 감소하였다. 그림 3에서 CF<sub>4</sub> 혼합비가 증가함에 따라 Ar intensity가 감소하고 F intensity가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 CF<sub>4</sub>의 혼합비가 증가하면서 Ar 원자의 상대적인 밀도가 감소함에 따라 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 그러나 그림3에서의 CF<sub>4</sub> 혼합비의 증가에 따라 Ar 원자에 의한 물리적 식각 효과는 감소하고, F 원자나 라디칼에 의한 화학적 식각 효과는 증가할 것으로 보인다. MgO 박막은 물리적 또는 화학적 식각 어느 하나만 있어서는 되는 것이 아니고 두 효과가 조화를 이루었을 때 식각률이 최대가 됨을 알 수 있다.

그림 4는 RF Power에 따른 MgO 박막의 식각률과 SiO<sub>2</sub>에 대한 선택비를 나타 낸 것이다. 이 때 RF Power는 500 W ~ 900 W로 변화시키면, 가스 혼합비는 CF<sub>4</sub>(50%)/Ar(50%), DC-Bias 전압은 -150 V, 반응로 압력은 2 Pa 로 고정하였다. 그림 4에서 나타난 것과 같이, RF Power가 증가 할수록 식각률은 증가하며, 식각률은 900 W일 때 58 nm/min 로 가장 높았다. SiO<sub>2</sub>에 대한 선택비는 0.11 였다. RF 전력이 증가 할수록 라디칼과 이온이 증가하게 되어 플라즈마 내의 활성종과 MgO 박막 표면과의 활발한 화학적 반응으로 인해 식각률이 증가된 것이다.[7]

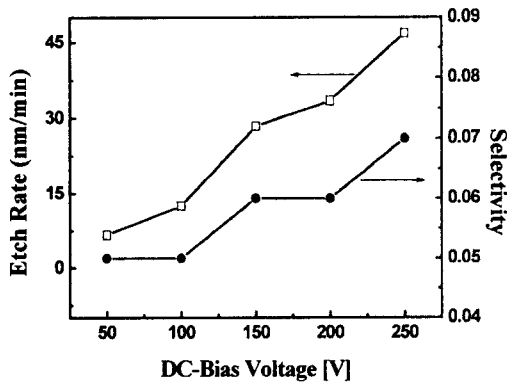


<그림 3> CF<sub>4</sub>/Ar 플라즈마에서 Ar과 F 원자에 대한 광 발출 세기



<그림 4> RF Power에 따른 MgO 박막의 식각률과 SiO<sub>2</sub>에 대한 선택비

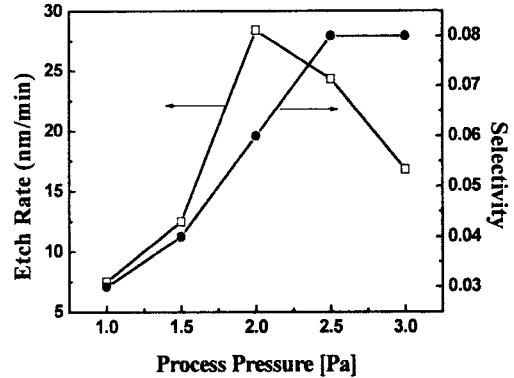
그림 5는 DC-bias 전압에 따른 MgO 박막의 식각률과 SiO<sub>2</sub>에 대한 선택비를 나타낸 것이다. DC-bias 전압은 -100 V에서 -250 V로 변화 시켰다. RF 전력은 700 W, 가스 혼합비는 CF<sub>4</sub>(50%)/Ar(50%), 반응로 압력은 2 Pa로 고정하였다. 그림 5에서 나타난 것과 같이 DC-Bias 전압이 증가할수록 MgO 박막의 식각률은 증가하고, 선택비는 -250 V일 때 47 nm/min로 가장 높았다. DC-bias 전압이 증가하면 Ar 이온들이 웨이퍼로 향하는 운동 에너지가 증가하게 되고, 스퍼터링 효과를 더욱 크게 한다. 따라서 식각률이 증가하는 결과를 보인다.



<그림 5> DC-Bias 전압에 따른 MgO 박막의 식각률과 SiO<sub>2</sub>에 대한 선택비

그림 6은 공정 압력에 따른 MgO 박막의 식각률과 SiO<sub>2</sub>에 대한 선택비를 나타낸 것이다. 압력은 1 Pa ~ 3 Pa로 변화 시켰다. RF 전력은 700 W, 가스 혼합비는 CF<sub>4</sub>(50%)/Ar(50%), DC-bias 전압은 -150 V로 고정하였다. MgO 박막의 식각률은 공정 압력이 낮아질수록 감소하고, 역시 MgO 박막과 SiO<sub>2</sub>와의 선택비도 감소하였다. 2.5 Pa이하에서 공정 압력이 감소함에 따라 Ar 이온의 평균자유행정이 증가하게 되고, 이로 인해 Ar 이온의 에너지가 증가하게 된다. 따라서 박막표면에서 Ar 이온에 의한 충격 에너지가 증가하게 되고, 이는 Ar 이온에 의한 물리적 식각 현상의 증가로 이어진다.

그러나 공정 압력이 낮아지게 되면 물리적 밀도가 감소하므로 활동 공간들 또한 감소하게 되어 화학적 식각 효과가 감소한다. 2 Pa 이상으로 공정 압력이 증가하면 물리적 스퍼터링 효과가 감소하고 화학적 반응 비율이 증가하여 식각률이 감소되는 것이다. 따라서 적당한 조건인 2 Pa에서 물리적 스퍼터링 효과와 화학적 반응 효과를 조화롭게 이루었을 때 식각률은 증가하게 된다.[4]



<그림 6> Process Pressure에 따른 MgO 박막의 식각률과 SiO<sub>2</sub>에 대한 선택비

### 3. 결 론

본 연구는, MgO 박막을 CF<sub>4</sub>/Ar 플라즈마를 이용하여 유도 결합 플라즈마에서 식각을 하였다. 반응로의 압력이 2 Pa에서 CF<sub>4</sub>/Ar를 5/5로 하여 식각을 하였을 때 MgO 박막의 최고 식각률인 29 nm/min을 나타내었고, 이때 MgO/SiO<sub>2</sub>에 대한 선택비는 0.06이었다. OES 결과로부터 CF<sub>4</sub> 첨가비를 증가시키에 따라 식각률이 감소하는 결과를 보이고, Ar 이온이 감소함에 따라 식각률이 감소하였다. CF<sub>4</sub>와 Ar를 사용하여 식각할 경우에는 SiO<sub>2</sub>가 식각 마스크로 적당함을 알 수 있다. 식각 마스크는 스퍼터링에 의해서보다는 F 라디칼에서 많이 견딜 수 있는 물질을 사용해야 한다고 생각되어진다. MgO 박막의 식각 메커니즘은 Ar 이온에 의한 스퍼터링과 F의 의한 화학적 식각이 동시에 작용 할 때가 효과적임을 알 수 있었다. MgO 박막의 경우에는 CF<sub>4</sub>의 비율이 높을수록 더욱 쉽게 제거됨을 알 수 있었다. F 라디칼은 어느 정도의 Ar이온과의 충돌에 의해서 더욱 많이 생성됨을 알 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 이춘호, 김선일, 신호식, "전자빔 증착법에 의해 형성된 MgO 박막의 증착 및 특성", 한국세라믹학회지, 제39권 12호, pp. 1171-1176, 2002.
- [2] 홍경진, 김태성, "Si/MgO 기판에 증착된 BaTiO<sub>3</sub> 박막의 구조 및 전기적 특성", 전기전자재료학회논문지, 제11권 12호, pp. 1108-1114, 1998.
- [3] K.H. Baik, P.Y. Park, B.P. Gila, J.H. Shin, C.R. Abernathy, S. Norasetthekul, B. Luo, F. Ren, E.S. Lambers, S.J. Pearton, "Comparison of plasma etch chemistries for MgO", Applied Surface Science, Vol 183, pp. 26-32, 2001.
- [4] Seong-Mo Koo, Kyoung-Tae Kim, Dong-Pyo Kim, and Chang-Il Kim, "The etching properties of MgO thin films in Cl<sub>2</sub>/Ar gas chemistry", Thin Solid Films, Vol 475, Issue 1-2, pp. 313-317, 2005.
- [5] Gwan-Ha Kim, Chang-Il Kim, Alexander M. Efremov, "Effect of gas mixing ratio on MgO etch behaviour in inductively coupled BCl<sub>3</sub>/Ar plasma", Vacuum, Vol 79, Issue 3-4, pp. 231-240, 2005.
- [6] 강필승, 김경태, 김동표, 김창일, 이수재, "Ar/CF<sub>4</sub> 유도결합 플라즈마를 이용한 (Ba<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>)TiO<sub>3</sub> 박막의 식각특성", 전기전자재료학회논문지, 제15권 11호, pp. 933-938, 2002.
- [7] 임규태, 김경태, 김동표, 김창일, "Ar/CF<sub>4</sub> 유도결합 플라즈마를 이용한 BET 박막의 식각 메커니즘", 전기전자재료학회논문지, 제16권 4호, pp. 298-303, 2003.