HWAHAK KONGHAK Vol. 31. No. 6, December, 1993, pp. 675-682
(Journal of the Korean Institute of Chemical Engineers)

CF_4/O_2 식각 가스계를 사용한 텅스텐 박막의 건식 식각 연구

권성구* · 남철우 · 우성일

한국과학기술원 화학공학과
(1993년 4월 9일 접수, 1993년 7월 12일 채택)

Dry Etching of Tungsten Films in CF_4/O_2 Gas System

Sung Ku Kwon*, Chul Woo Nam and Seong Ihl Woo

Department of Chemical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 373-1, Kusong-Dong, Yusong-Gu, Taejeon 305-701
(Received 9 April 1993; accepted 12 July 1993)

요 약

CF_4/O_2 반응가스계를 사용하여 저압화학증착된 텅스텐 박막의 플라즈마 식각 및 반응성 이온 식각을 수행하고 산소분율, 압력 및 RF 출력에 따른 텅스텐의 식각속도와 SiO_2에 대한 식각선택성을 조사하였다. 플라즈마 식각 및 반응성 이온 식각 모드에서 텅스텐의 식각속도는 반응가스중의 산소분율이 각각 40%와 50%일 때 최대속도를 나타내었다. SiO_2에 대한 텅스텐의 식각선택성은 플라즈마 모드에서 약 16이었으며 반응성 이온 식각에서는 2.3의 낮은 값을 나타내었다. 산소분율에 따른 텅스텐의 식각속도 측정과 질량분석기 및 분광분석기에 의한 플라즈마상의 식각성분을 분석한 결과, WF_6 뿐만 아니라 WOF_4의 생성에 의한 텅스텐식각이 중요한 반응경로로 판단된다. 압력이 증가함에 따라 플라즈마 mode에서는 0.6 torr에서 RIE mode에서는 200 mtorr에서 텅스텐의 최대식각속도를 보였다. RF 출력의 증가에 따라 식각속도는 크게 증가하지만 W/SiO_2의 식각선택성은 감소하였다.

Abstract—Dry etching of LPCVD tungsten film was performed using CF_4/O_2 plasma in both reactive ion etching(RIE) and plasma etching(PE) modes. The etch rate of tungsten and the selectivity of tungsten to SiO_2 were examined as a function of oxygen content in feed gas, pressure and RF power. The maximum etch rate in PE and RIE modes were observed at 40 and 50% O_2 in feed gas, respectively. The maximum selectivities of tungsten to SiO_2 in both modes were about 16 and 2.3, respectively. Mass spectroscopy(MS) and optical emission spectroscopy(OES) were used to identify the reactive species in CF_4/O_2 plasma. The results of MS and OES analyses in measuring the etch rate as a function of O_2 percent suggest that WOF_4 and WF_6 are main etch products for tungsten etching. The maximum etch rate was obtained at 0.6 torr for PE mode and 200 mtorr for RIE mode. With the increase of RF power, the etch rates of both tungsten and SiO_2 increased, but the selectivity of tungsten to SiO_2 decreased.

1. 서 론

최근 반도체 공정에서 내화금속(refractory metal) 및 silicide들이 낮은 저항, 높은 내열성 및 높은 열전도도 등으로 gate 전극, interconnect, metallization 등과 metal plug의 제조 등에 응용이 되고 있으며, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-7]. 그 중에서도 텅스텐은 비저항이 5.3 μΩ-cm로 매우 낮고, electromigra-

*Present address: Hyundai Electronics Industries Co., Ltd., Semiconductor Research & Development Lab.

tion에 저항성이 높으며 열팽창계수가 실리콘과 비슷하여, 가장 많은 연구가 되어 왔다. 저압화학증착, 선택적 화학증착 및 플라즈마 CVD 등에 의한 blanket 텅스텐 박막의 연구에서 많은 성과가 이루어지고 있으나, 실제로 고집적회로에 적용되기 위해서는 blanket 텅스텐의 etch back, 높은 단차비(aspect ratio)의 초미세 패턴의 비등방성 식각 등이 요구되어지며, 높은 throughput과 공정의 재현성을 위해서는 빠른 식각속도와 높은 식각 선택성 등이 요구된다. 이러한 식각특성들을 달성하기 위해서 반응성 식각가스들을 플라즈마 상태로 만들어 식각반응에 활용하는 플라즈마 건식식각이 높은 식각속도와 반응성 이온으로 인한 높은 식각선택성 등을 가질 수 있어 이들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[8-18]. 텅스텐 식각을 위한 가스계로는 CF_4/O_2[8-12], SF_6/O_2[8, 13], NF_3/O_2[17], Cl_2[14-16] 및 CF_4/O_2계에 CF_2Cl_2나 CF_3Cl과 같은 프레온계 가스를 첨가한 것 등[5, 18]과 같이 다양한 식각가스계를 이용한 연구가 보고되어 왔다. 그 중에서도 CF_4/O_2 식각가스계는 실리콘과 SiO_2의 식각공정에 널리 사용되어 왔고 그 식각반응 경로도 비교적 잘 연구되어 있다[19-23]. 그러나 CF_4/O_2 가스계를 이용한 텅스텐 식각 연구는, 발표된 연구 결과가 서로 일치하지 않거나, 식각반응 생성물에 대한 해석 등이 정립되어 있지 않아서 서로 상이한 경우도 있다.

본 연구에서는 저압화학증착된 텅스텐 박막을 CF_4/O_2 가스계를 이용하여 식각 거동을 조사하고자 하였다. 식각반응기는 비대칭형 평행판 전극의 양극에 선택적으로 RF 출력을 가하여, 플라즈마 식각 및 반응성 이온 식각 mode의 변환이 가능하도록 반응기를 설계하고 두 가지 식각 mode에서 CF_4/O_2 가스계를 이용하여 텅스텐과 SiO_2의 건식 식각을 수행하였다. 반응가스 조성, RF 출력 및 반응압력 등의 공정변수들이 식각속도 및 식각선택성 등에 미치는 영향을 조사하고, 질량분석기와 플라즈마 분광분석기를 통한 기상 반응 가스 성분을 분석하여, 이들이 텅스텐 박막의 식각 거동에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실 험

실험에 사용된 텅스텐 박막은 저압화학증착에 의하여 WF_6를 수소환원반응에 의하여 약 1 μm 두께로 성장시켰으며 비저항은 10 μΩ-cm이고 BCC 구조의 α 텅스텐이었다. 증착조건은 기판온도 400℃, 반응 압력 1 torr, 총 유량은 분당 100 sccm이고 WF_6와 H_2의 유량비는 1/99이었다. 실리콘 산화막은 산소확산로에서 8400Å 두께로 성장시켜 준비하였다. 사용한 시편은 loading effect를 최소화하기 위하여 2×2(cm^2) 크기로 잘라 사용하였다.

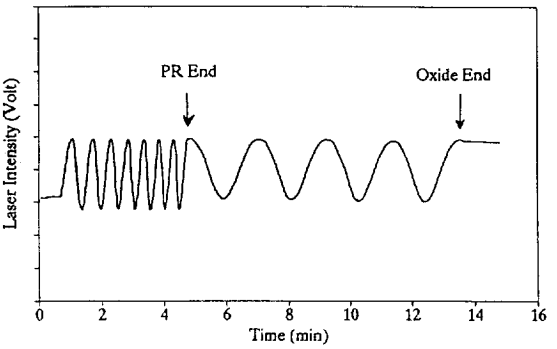

Fig. 1. Laser end point detector signal observed in the etching of PR and silicon dioxide(Pressure: 200 mtorr, Power: 200 W, Total flow rate: 20 sccm, CF_4: 10 sccm, O_2: 10 sccm).

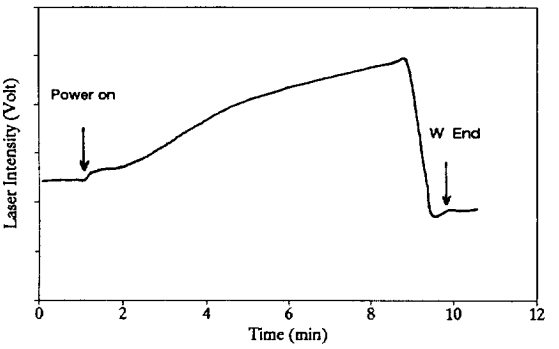

Fig. 2. Laser end point detector signal observed in the etching of tungsten(Pressure: 200 mtorr, Power: 200 W, Total flow rate: 20 sccm, CF_4: 10 sccm, O_2: 10 sccm).

식각반응기의 구조는 내경 26 cm, 높이 17 cm인 원통형이며 재질은 sus 304이다. 반응기 내부 상하 양단에 평행판 전극이 연결되어 있으며 상단전극은 상하로 이동가능하여 전극간격을 변화시킬 수 있도록 설계하였다. 식각가스는 상단전극으로 주입되며, 비대칭형 평행판 전극의 양극에 선택적으로 13.56 MHz의 RF 출력을 가할 수 있도록 설계하여, 플라즈마 mode와 RIE mode의 변환이 가능하도록 하였다. 반응기 상부에 식각 종말점을 결정하기 위하여 laser end point detector(He-Ne : 6328 Å)가 설치되어 있다. 이 장치에 대한 자세한 설명은 다른 보문에 보고되었다[24]. Fig. 1은 실리콘 웨이퍼 위에 SiO_2와 광감막을 도포시킨 후 CF_4/O_2 가스계를 이용하여 식각을 수행할 때 관찰되는 전형적인 laser end point

Table 1. Experimental conditions for dry etching of tungsten and SiO_2

Parameter \ Etch mode	Plasma etching (PE)	Reactive ion etching(RIE)
Powered electrode	upper electrode	lower electrode
Pressure	0.1-1.2 torr	80-300 mtorr
RF power	100 W	100-300 W
Substrate temp.	60℃	water cooled
O_2 % in feed gas	0-70%	0-70%
Electrode distance	5 cm	5 cm

detector signal을 나타낸 것이다. Fig. 2는 실리콘 기판 위에 증착된 텅스텐 박막의 식각에 의한 laser signal이다. 식각속도의 결정은 SiO_2의 경우 Fig. 1에서의 주기와 시간으로 식각속도를 구하였으며[25], 텅스텐은 미리 두께를 측정한 후 식각 종말점까지의 시간으로 나누어 식각속도를 구하였다. 사용한 기체의 유량은 mass flow controller를 사용하여 미세 유량의 조절이 용이하도록 하였다. Table 1에 텅스텐식각을 위한 실험조건을 요약하였다. 식각반응가스 플라즈마의 기상 활성성분을 분석하기 위하여 사중 극자형 질량분석기(quadrupole mass spectrometer : VG SX300)와 분광분석기(optical emission spectroscopy)를 사용하였다. 기상 성분의 *in-situ* 분석을 위한 분광분석기는 monochromator(SPEX 310 34A)를 이용하여 플라즈마에서 발생된 빛이 quartz window를 거쳐서 직접 slit에 입사하도록 하고 slit은 0.5 mm로 고정하였다[26]. Photon pulse를 증폭하기 위하여 photomultiplier tube(RCA3103A)를 사용하고 dark counting을 최소화하기 위하여 PMT는 −1℃로 유지하였다. PMT의 anode 신호는 amplifier/discriminator를 거쳐서 변환된 photon pulse로 IBM-PC에 저장하였다. 측정된 파장은 200 nm부터 800 nm였다.

3. 결과 및 토의

3-1. CF_4/O_2중 O_2 조성의 영향

3-1-1. 기상 활성성분의 농도에 미치는 영향

Fig. 3은 CF_4만을 사용한 플라즈마 기상 성분들과 CF_4/O_2 플라즈마 기상 성분들의 질량 분석 스펙트럼을 비교한 것이다. 산소의 첨가에 의하여 44(CO_2), 47(COF) 및 66(COF_2) 등의 양이 증가함을 볼 수 있다. Fig. 4는 CF_4와 CF_4/O_2 가스계의 분광 스펙트럼을 나타낸 것으로, 산소의 첨가에 의하여 7775Å에서 산소원자에 의한 peak가 검출되고 7038Å에서 F 원자에 의한 peak의 강도가 증가함을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 이미 보고된 바와 같이[20], CF_4 플라즈마에 O_2가 첨가되면 CF_3와

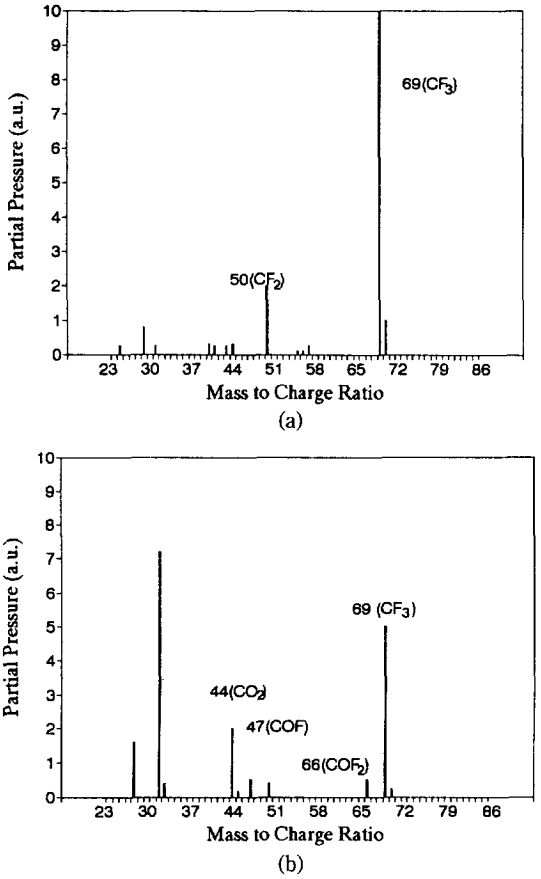

Fig. 3. Typical mass spectroscopic histrogram of CF_4/O_2 discharge.
(a) CF_4=20 sccm, (b) CF_4=16 sccm and O_2=4 sccm.

F 라디칼의 재결합을 방지하므로 결과적으로 불소 라디칼의 농도를 증가시키는 역할을 하기 때문으로 알려지고 있다. 또한 산소 라디칼은 식각될 박막표면에 흡착된 CF_x 라디칼의 중합에 의하여 생성될 수 있는 고분자막을 CO 및 CO_2로 제거해 줄 수 있다[27, 28]. 이 과정에서 추가로 CF_x의 F를 기판에 공급해주어 식각반응을 촉진시키는 역할을 한다.

CF_4/O_2 플라즈마의 Ar actinometery[30, 31]를 이용한 *in situ* 플라즈마 분광분석과 질량분석기에 의한 기상성분 분석을 실시하였다. Fig. 5는 Ar peak(7504Å)에 대한 F와 O원자 peak 강도의 비를 나타낸 것으로, 약 20% O_2에서 F 라디칼의 농도가 최대가 됨을 알 수 있다. 이 결과는 Mogab 등[20]의 결과와 잘 일치하는 것으로 CF_4에 산소가 첨가되면 COF_x, CO_x 등과 같은 비교적 안정한 생성물이 우선적으로 생성되고 CF_4만의 분해에

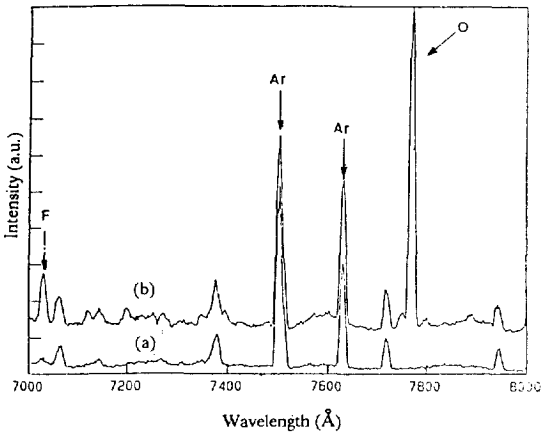

Fig. 4. Typical optical emission spectra of CF_4/O_2 plasma.
(a) CF_4 20 sccm only, (b) CF_4 16, O_2 4 sccm.

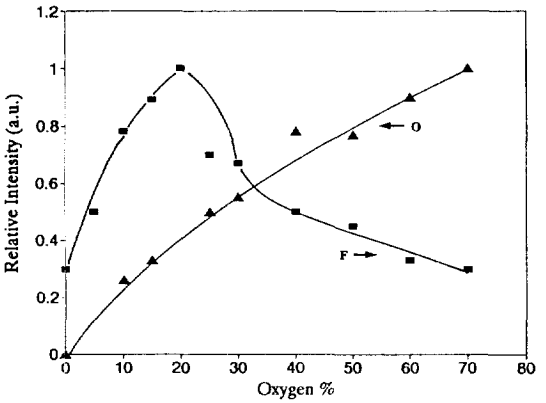

Fig. 5. Relative intensities of F(■) and O(▲) radicals as a function of O_2 percent. F and O are normalized to 1.0 and 0.6, respectively.

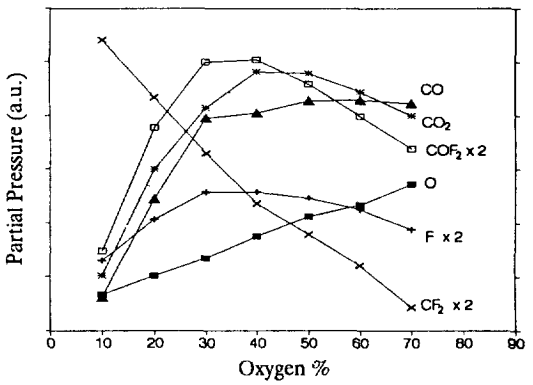

Fig. 6. Effect of O_2 percent on the partial pressures of various gas phase species in CF_4/O_2 discharge.

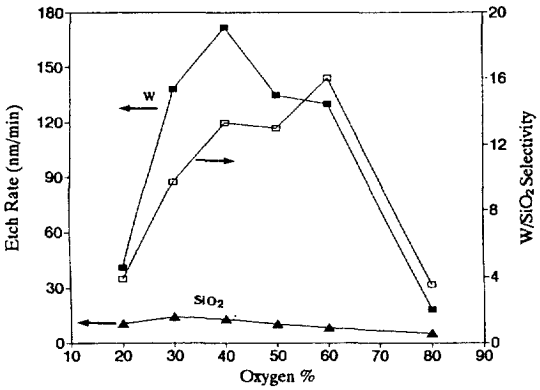

Fig. 7. Effect of O_2 percent on the etch rate of tungsten (■), SiO_2(▲) films and selectivity(□) in PE mode (pressure: 0.3 torr, RF power: 100 W, Total flow rate: 100 sccm).

의한 주 식각성분인 F의 생성량 보다 추가적인 F 라디칼이 생성되기 때문에 더 많이 F 라디칼이 생기게 된다.

더 자세한 분석을 위하여 질량분석기로 O_2 첨가에 따른 CF_4/O_2 가스의 반응 생성물들을 O_2 첨가에 따라 분석하여 Fig. 6에 나타내었다. 이 방법은 *in situ* 분광분석 기법보다 비교적 덜 직접적인 방법이지만 분광분석법에 의하여 검출되지 않는 다양한 성분들의 분석이 가능하다는 장점을 가지고 있어서 OES 결과와 더불어 상호 보완되는 실험결과를 얻을 수 있다. Fig. 6을 보면, O_2가 첨가됨에 따라 $CF_x(x\leq3)$ 라디칼이 감소하고, CF_x 라디칼과 O의 반응 생성물인 COF_2, CO 및 CO_2가 증가함을 관찰할 수 있다. F 라디칼의 양은 COF_2 및 CO_2와 비슷한 경향을 나타낸다. 이로서 COF_2 및 CO_2가 상대적으로 안정하여 CF_x와 F의 재결합을 억제함으로서 F의 농도를 증가시키는 역할을 하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 CF_4/O_2 가스계에 O_2 첨가는 플라즈마내의 F 라디칼의 농도를 증가시키고 기판에서 CF_x의 흡착에 의하여 형성될 수 있는 teflon과 비슷한 형태의 폴리머를 COF_2와 CO 및 CO_2로 제거하여, 식각속도의 저하를 억제하는 기능을 한다는 것을 알 수 있다. 그러나 과량의 산소가 첨가되면 O 라디칼과 CO_2가 많이 생성되어 F 라디칼, COF_2, CF_2, CF_3 라디칼 농도가 급격히 감소하게 된다. 분광분석 결과와 다르게, F 라디칼의 농도 최대점이 약 30% O_2에서 얻어지는데, 이는 플라즈마 기상 활성성분의 불안정성에 의한 샘플링 효율의 저하에 기인하는 것으로 생각된다.

3-1-2. 텅스텐과 SiO_2의 식각속도 및 식각선택성

Fig. 7은 PE mode에서 CF_4/O_2 가스계중 산소의 분

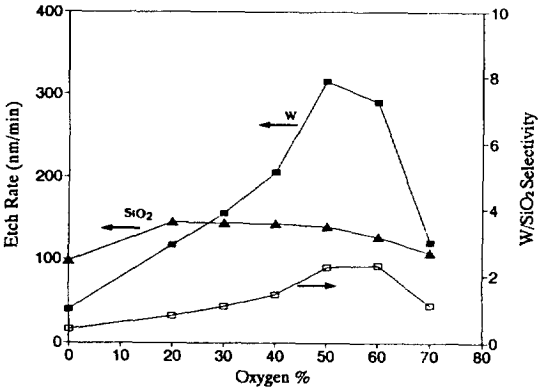

Fig. 8. Effect of O_2 percent on the etch rate of tungsten (■), SiO_2(▲) films and selectivity(□) in RIE mode (pressure: 200 mtorr, RF power: 200 W, Total flow rate: 20 sccm).

율을 변화시키면서 텅스텐과 SiO_2를 식각한 결과를 나타낸 것이다. 텅스텐의 식각속도는 반응가스중 산소의 농도에 매우 민감하게 변하였으며 약 40% O_2에서 최대 식각속도를 나타내었다. SiO_2는 산소분율의 변화에 따른 식각속도의 의존성은 적게 나타나나 약 30% O_2에서 최대 식각속도를 얻었다. W/SiO_2의 최대 식각선택도는 약 60 O_2 %에서 16의 값을 나타내었다. 반면 RIE mode에서의 텅스텐 박막의 식각에서(Fig. 8) 최대 식각속도는 PE mode에 비하여 더 높은 O_2 %로 이동하여 약 50 O_2 %에서 관찰되었다. 또 화학반응이 주 식각경로인 PE mode에 비하여 이온충돌에 의한 물리적인 식각이 많은 기여를 하는 RIE에서는 식각선택성이 상당히 떨어지게 된다. 본 실험에서도 총 유량 20 sccm, 출력 200 W, pressure 200 mtorr의 실험조건에서 W/SiO_2의 식각선택성이 PE mode의 16보다 상당히 낮은 약 2.3정도의 최대 식각선택성이 나타났다. 이는 식각시편이 위치한 전극에 높은 self D.C. bias가 형성되어, PE mode에 비하여 sheath 전위차가 높아서 이온충돌에 의한 물리적 식각효과가 증가하기 때문이다. 250 mtorr, 200 W의 비슷한 조건에서 self-bias 전압은 약 −100-−160 V 정도인 것으로 보고되고 있다[10].

SiO_2는 식각성분인 F 라디칼과 반응하여 휘발성의 SiF_4로 되어 식각되는 반응경로 뿐만 아니라 아래의 반응식과 같이 SiO_2 표면에 흡착된 CF_x 라디칼($x \leq 3$)이 SiO_2 박막내의 O와 반응하여 휘발성 생성물을 형성하므로써 식각반응에 참여할 수 있다[27-29].

$$SiO_2 + CF_x \rightarrow SiF_4 + COF_2 + CO + CO_2$$

따라서 F와 O의 경쟁흡착이 식각속도를 결정하는 실리콘 식각반응[18-22]과는 달리 SiO_2의 식각반응은 기상의 산소분율에 대한 의존성이 적다. 그러나 반응가스중의 산소분율이 더욱 증가하면, 기상의 F와 CF_x가 희석되며 O와 F의 경쟁흡착이 일어나 오히려 식각속도가 저하된다.

반면 텅스텐의 식각거동은 문헌에 발표된 것과는 달리 약 40-50% 최대 식각속도를 나타내었다. Table 2는 문헌에 보고된 CF_4/O_2를 이용한 텅스텐 박막의 식각결과를 정리한 것인데, 텅스텐 박막의 재질과 식각장치 등에 따라서 최대 식각속도를 나타내는 산소의 분율이 서로 상이하게 보고되고 있다. 각 경우의 식각반응경로 및 식각 생성물에 대한 해석도 차이가 있다. 즉, Tang과 Hess[8]는 산소분율에 따른 플라즈마 분광분석 결과와 텅스텐의 식각속도를 비교하여, 텅스텐의 주 식각성분이 실리콘 식각에서와 같이 F 원자이고 주 식각 생성물은 WF_6라고 보고하였다. Pan과 Steckl[9]도 OES 결과와 식각속도로부터 텅스텐의 식각성분은 주로 F로 보고하였다. 한편 Picard와 Turban[13]은 SF_6/O_2를 이용한 텅스텐 식각에서, 질량분석기를 이용하여 WF_6 이외에도 WOF_4가 식각 생성물중의 하나임을 밝혔다. 그 이후 Oehrlein과 Lindstom[11], Bestwick과 Oehrlein[10]의 연구에 의하여 텅스텐 식각에서는 F 이외에도 O 원자가

Table 2. Comparison of results of CF_4/O_2 based dry etching of tungsten films

Method of tungsten film preparation	Resistivity of tungsten film(μΩ-cm)	Etching mode	O_2 % exhibiting maximum W etch rate
PECVD[a)]	>50	PE	10%
E-beam evaporation[b)]	140	RIE	15%
Magnetron sputtering[c)]	>13	RIE	20%
Magnetron sputtering[d)]	11.3	PE	30%
Magnetron sputtering[b,d)]	11.3	RIE	35%
LPCVD[e)]	10	PE	40%
LPCVD[e)]	10	RIE	50%

a) Tang and Hess(Ref. 8), b) Bestwick and Oehrlein(Ref. 10), c) Pan and Steckl(Ref. 9), d) Oehrlein and Lindstom (Ref. 11), e) This work.

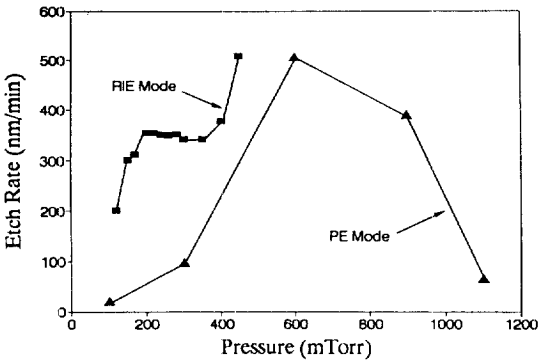

Fig. 9. Dependence of tungsten etch rate on the reaction pressure in PE mode(▲)(RF power: 100 W, Total flow rate: 40 sccm, Substrate temperature: 60°C), and RIE mode(■)(RF power: 200 W, Total flow rate: 20 sccm, CF_4/O_2 flow ratio: 10/10).

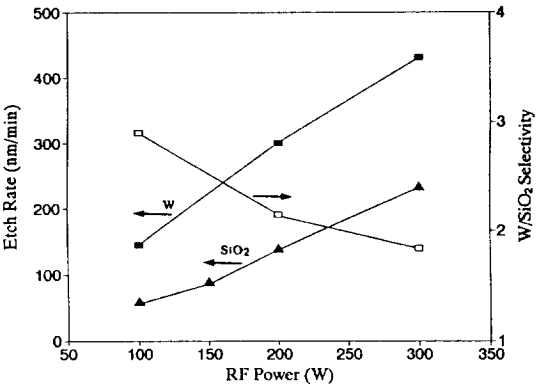

Fig. 10. Effect of RF power on the etch rate of tungsten (■), SiO_2(▲) films and selectivity(□) in RIE mode(CF_4/O_2 flow ratio=10/10 sccm, Pressure: 200 mtorr).

중요한 식각성분으로 작용함이 밝혀졌다. 그들은 XPS를 이용하여 식각중의 텅스텐 표면의 W, F 및 O의 결합상태를 조사한 결과, 반응가스중 산소분율이 약 35%까지는 F와 O 원자가 텅스텐 표면에 흡착하여 WOF_4를 형성하지만 산소분율이 더 증가하면 불휘발성인 WO_3의 형성이 급격히 증가함을 관찰하였다. 본 실험에서는 PE mode 40%, RIE mode에서 약 50% O_2에서 텅스텐의 최대 식각속도를 나타내었는데 이 결과는 산소원자의 식각 참여에 의하여 WOF_4가 주 식각 생성물로 되는 반응경로 외에도 텅스텐 박막 제조조건 차이에도 기인되는 것으로 해석된다. 즉 Table 2를 살펴보면 비저항이 각각 50, 140 μΩ-cm로 높은 PECVD 및 E-beam으로 증착된 텅스텐 박막의 경우 산소분율이 10-15%에서 텅스텐의 최대 식각속도가 나타나며, 비저항이 11.3 μΩ-cm로 낮은 magnetron sputtered 텅스텐의 경우 30-35% O_2에서 최대점을 보인다. 일반적으로 PECVD와 evaporation에 의해 증착된 박막은 LPCVD 텅스텐에 비하여 비저항이 높고 박막의 치밀도나 기판에 대한 접착력이 나쁜 것으로 알려지고 있다. 따라서 박막의 치밀도 또는 막질이 저하될수록 기상의 산소원자가 WOF_4 보다는 불휘발성의 텅스텐 산화물(WO_3, WO_2 또는 W_2O_5)의 생성반응에 우선적으로 작용하여 낮은 산소분율에서 텅스텐의 최대 식각속도가 나타난다고 생각될 수 있다. 이의 실험적 검증을 위해서는 XPS 등을 이용하여 식각 공정중의 텅스텐 식각표면에 대한 *in-situ* 검증 연구가 필요하다. 본 실험에서 사용된 텅스텐 박막은 저압화학증착 방법으로 만들었고 비저항이 10 μΩ-cm로 낮은 점을 고려하면 상대적으로 높은 산소 분율에서도 텅스텐 산화물의 생성이 억제되어 문헌에 발표된 것보다 높은 O_2 %에서 최대 식각속도가 나타나는 것으로 해석된다.

Table 2는 또한 PE mode 보다 RIE mode에서 식각시에 더 높은 O_2 %에서 최대 식각속도가 나타남을 보여준다. 이는 RIE mode에서 이온충돌에 의하여 불휘발성의 텅스텐 산화물이 sputtering 효과에 의하여 제거되기 때문으로 생각된다. 또한 WOF_4의 비점이 187.5℃로 WF_6의 18℃에 비하여 높아서 휘발성이 상대적으로 작지만 이온 충돌에 의하여 텅스텐 표면에서 쉽게 탈착되므로 RIE mode에서 더 높은 O_2 %에서 최대 식각속도가 나타나는 것으로 생각된다.

3-2. 압력 및 RF Power의 영향

Fig. 9는 PE 및 RIE mode에서 압력 변화에 따른 텅스텐 박막의 식각속도를 나타낸 것이다. 표면에서의 화학반응이 식각반응에 주로 관여하는 PE mode에서 식각속도는 주로 기상의 활성성분의 농도에 비례하여 증가하게 된다. 압력이 증가하면 활성화된 식각성분의 농도를 증가시키는 한편 플라즈마의 전자에너지를 감소시켜 반응가스의 분해 효과를 저하시킨다. 따라서 PE mode에서의 식각속도의 압력 의존성은 위의 두 가지 효과의 합으로 나타나게 되며 본 실험에서는 약 0.6 torr에서 식각속도의 최대점을 얻었다. 한편 RIE mode에서는 RF 출력을 기판에 가해주고, 낮은 압력과 높은 RF 출력에서 식각을 진행하기 때문에 PE mode에서의 식각과는 달리 기판에 높은 D.C. self bias가 걸리게 되고 식각 활성성분과 이온의 충돌에 의한 화학적, 물리적 식각효과가 동시에 나타나게 된다. 압력이 너무 낮으면 이온의 충돌에너지는 증가하지만 활성성분의 농도가 낮아서 식각속도는 감소하게 되고, 높은 압력에서는 반응성

활성성분의 농도는 증가하지만 평균자유행로가 짧아져 이온의 에너지가 감소하므로 물리적 식각효과가 급속히 감소하면서 식각속도도 감소하게 된다. 본 실험에서도 100 mtorr 이하의 낮은 압력에서는 이온충돌효과는 증가되나 활성화된 반응성 식각성분들의 농도가 낮아 식각속도가 낮았으며 약 200 mtorr에서 최대 식각속도가 나타내었다. 350 mtorr 이상에서는 이온충돌효과는 작아지지만 반응성 활성성분들의 농도가 크게 증가하여 PE mode에서와 같이 화학반응이 지배적으로 일어나므로 식각속도는 다시 증가한다. 그러나 이 경우 RIE 조건을 만족하지 못하므로 등방성식각의 경향이 커질 것이다.

Fig. 10에 RIE mode에서의 텅스텐과 SiO_2의 식각속도와 식각선택성을 RF 출력에 따라 나타내었다. RF 출력이 증가함에 따라 텅스텐과 SiO_2의 식각속도는 증가하지만 식각선택성은 감소함을 알 수 있다. 이는 잘 알려진 바와 같이, RF 출력이 높을수록 평균전자에너지가 커지고 분해반응이 활발히 일어나 식각성분들의 농도가 증가할 뿐만 아니라 높은 sheath voltage가 형성되어 이온충돌에 의한 물리적 식각효과에 의하여 식각속도를 증가시키기 때문이다. 반면 식각 활성성분에 의한 화학적 식각 보다는 이온충돌에 의한 물리적 식각효과가 증가하여 식각선택성은 감소하게 된다.

4. 결 론

비대칭형 평행판 전극의 양극에 선택적으로 13.56 MHz의 RF 출력을 가할 수 있도록 설계하여, LPCVD 텅스텐 박막과 SiO_2 박막의 PE mode 및 RIE mode에서의 식각 거동을 조사하였다. 텅스텐은 PE와 RIE mode에서 반응가스중의 산소분율이 각각 40 및 50%에서 최대 식각속도를 나타내었다. W/SiO_2 식각선택도는 PE mode에서 16으로 높았으나 RIE mode에서는 이온충돌에 의한 물리적 식각효과로 인하여 식각선택성은 2.3의 낮은 값을 보였다. CF_4/O_2 플라즈마의 분광분석 결과, 20% O_2 첨가시 F의 농도가 최대치를 보였으나 텅스텐의 최대 식각점과는 일치하지 않았다. 따라서 텅스텐은 기상의 F 원자에 의한 WF_6의 생성 뿐만 아니라 산소원자와의 반응에 의한 WOF_4의 생성이 매우 중요한 식각경로로 판단된다. 또한 식각될 텅스텐의 증착방법 및 그에 따른 막질에 의하여 식각거동도 큰 영향을 받는 것으로 판단된다. 반응압력에 따른 식각속도 측정결과 PE mode에서는 600 mtorr에서 최대 식각점을 보였으나, RIE mode에서는 이온충돌에 의한 물리적 식각효과에 의해 200 mtorr에서 최대 식각점을 보였다. RF 출력의 증가는 텅스텐과 SiO_2의 식각속도를 증가시키나, 이온충돌에 의한 물리적 식각의 영향으로 W/SiO_2 식각 선택도는 감소하였다.

감 사

텅스텐 박막 증착을 하여 주신 KIST 반응공학연구실의 고준호씨, KIST 광전자연구실의 주병권씨, OES 실험에 도움을 주신 KIST 반도체연구실의 민석기 실장님과 김용태 박사님께 감사드립니다.

참고문헌

1. Wells, V. A., Ed.: "Tungsten and Other Refractory Metals for VLSI Applications III", Mater. Res. Soc., Pitttsburgh, PA, (1988).
2. Blewer, R. S. and McConioca, C. M., Ed.: "Tungsten and Other Refractory Metals for VLSI Applications IV", Mater. Res. Soc. Pitttsburgh, PA, (1989).
3. Kim, Y. T., Min, S. K., Hong, J. S. and Kim, C. K.: *Appl. Phys. Lett.*, **58**, 837(1991).
4. Chow, T. P. and Steckl, A. J.: *J. Electrochem. Soc.*, **131**(10), 2325(1984).
5. Daubenspeck, T. H. and Sukanek, P. C.: *J. Electrochem. Soc.*, **136**, 3779(1989).
6. Kang, S., Chow, R., Wilson, R. H., Gorowitz, B. and Williams, A. G.: *J. Electron. Mater.*, **17**, 213(1988).
7. Chiou, B. S., Lo, H. S. and Chang, P. H.: *J. Electron. Mater.*, **17**, 397(1988).
8. Tang, C. C. and Hess, D. W.: *J. Electrochem. Soc.*, **131**(1), 115(1984).
9. Pan, W. S. and Steckl, A. J.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **B6**(4), 1073(1988).
10. Bestwick, T. D. and Oehrlein, G. S.: *J. Appl. Phys.*, **66**, 5037(1989).
11. Oehrlein, G. S. and Lindstom, J. L.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **A7**, 1035(1989).
12. Fracassi, F. and Coburn, J. W.: *J. Appl. Phys.*, **63**, 1758(1988).
13. Picard, A. and Turban, G.: *Plasma Chem. Plasma Proc.*, **5**, 333(1985).
14. Balooch, M., Fischl, D. S., Olander, D. R. and Siekhaus, W. J.: *J. Electrochem. Soc.*, **135**, 2090(1988).
15. Fischl, D. S., Rodrigues, G. W. and Hess, D. W.: *J. Electrochem. Soc.*, **135**, 2016(1988).
16. Fischl, D. S. and Hess, D. W.: *J. Electrochem. Soc.*, **134**, 2265(1987).
17. Greene, W. M., Hess, D. W. and Oldham, W. G.: *J. Electrochem. Soc.*, **134**, 2265(1987).

18. Daubenspeck, T. H. and White, E. J.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **B7**, 167(1989).
19. Karulkar, C. and Wirzbicki, M. A.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **B6**, 1595(1988).
20. Mogab, C. J., Adams, A. C. and Flamm, D. L.: *J. Appl. Phys.*, **49**, 3796(1978).
21. Lowenstein, L. M.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **A6**, 1984 (1988).
22. Flamm, D. L., Mogab, C. J. and Sklaver, E. R.: *J. Appl. Phys.*, **50**, 6211(1979).
23. Dalvie, M. and Jensen, K. F.: *J. Electrochem. Soc.*, **137**, 1062(1990).
24. Nam, C. W., Woo, S. I. and Kim, Y. T.: *HWAHAK KONGHAK*, **29**, 336(1991).
25. Marcoux, P. J. and Foo, P. D.: *Solid State Technol.*, 115(1981).
26. Nam, C. W., Woo, S. I., Kim, Y. T. and Min, S. K.: *Thin Solid Films*, **209**, 215(1992).
27. Coburn, J. W., Winters, H. F. and Chuang, T. J.: *J. Appl. Phys.*, **48**, 3532(1977).
28. Coburn, J. W. and Kay, E.: *IBM J. Res. Dev.*, **23**, 33(1979).
29. Coburn, J. W. and Winters, H. F.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **16**(2), 391(1979).
30. d'Agostino, R., Cramarossa, F., Benedicits, S. D. and Ferraro, G.: *J. Appl. Phys.*, **52**, 1259(1981).
31. Coburn, J. W. and Chen, M.: *J. Appl. Phys.*, **51**, 3134 (1980).