

SF₆ 플라즈마를 이용한 텅스텐 박막의 반응성 이온 식각

박상규, 김태영, 서성우, 이시우

포항공과대학 화학공학과 반도체 재료공정 연구실

I. 서론

난용성 금속(W, Mo, Ta)과 이들의 실리사이드는 고속, 고밀도의 VLSI 공정에서 interconnection이나 게이트 전극에 널리 응용되고 있다. 특히 텅스텐과 텅스텐 실리사이드는 낮은 저항과 높은 용융점을 가지고 있으며 충돌힘이 우수하여 현재 interconnection으로 쓰이는 알루미늄이나 게이트 전극을 위한 다결정 실리콘을 대체 또는 보완하고 있다. 이들 금속박막은 주로 불소기를 포함한 기체(SF₆, CF₄)를 사용하여 식각반응을 수행하는데 높은 식각율과 불소 라디칼 생성을 가지는 SF₆ 기체가 널리 사용되어진다. 본 실험에서는 이러한 SF₆ 플라즈마를 이용하여 압력, 유량, 전력, 전극간 거리 등의 공정변수가 텅스텐 박막의 전반적인 식각특성에 미치는 영향을 살펴보고 또한 O₂, Ar, N₂ 등 여러종류의 첨가기체가 식각율에 미치는 영향을 살펴보았다.

II. 실험방법

본 실험에 사용한 RIE 장비는 평행판 플라즈마 반응기로서 윗전극의 직경은 20 cm이고 showerhead를 통하여 반응기체가 주입되며 접지되어 있다. 아랫전극은 직경이 14 cm이며 13.56 MHz의 RF전력이 공급되며 두 전극 사이의 간격은 3 ~ 5 cm로 조절이 가능하다. 기본 조업조건은 200 mtorr 압력, 50 W 전력, 20 sccm SF₆ 유량 그리고 4 cm의 전극간 거리로 하였으며 실험에 사용한 시료는 blank와 패턴된 웨이퍼 두 종류로서 각각 1 x 1 cm², 1 x 2 cm²의 크기로 잘라서 사용하였다. 식각율은 식각전후의 무게차이로 측정하였다. 패턴된 시료의 경우는 SEM의 단면사진으로부터 이방성을 구하였다. 잔류기체의 조성분석과 식각반응의 종말점을 구하기 위해 반응기 측면에 Quadrupole Mass Spectrometer를 부착하였다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 1은 전극간 거리를 변수로 하여 압력에 따른 식각율의 변화를 살펴본 것이다. 200 mtorr 이하의 압력에서는 전극간 거리가 커질수록 식각율은 감소하고 그 이상의 압력에서는 식각율이 증가하는데 이는 200 mtorr 이하에서는 전극간 거리에 증가에 의한 체류시간의 증가 효과가 우세하고 200 mtorr 보다 큰 압력에서는 전자에너지의 증가효과가 우세하

기 때문이라고 생각된다.

Fig. 2는 전력효과에 대한 그림으로서 입력전력이 증가함에 따라 self DC bias와 식각율이 증가하였으며 이는 power density가 증가하여 전자밀도가 증가하고 이에 따른 F 라디칼 농도가 증가하기 때문이다.

Fig. 3에서는 SF₆ 기체의 유량이 식각율에 미치는 영향을 나타내었는데 20 sccm의 유량에서 가장 높은 식각율을 보였다. 유량이 너무 낮으면 공급되는 반응기체의 절대량이 부족하여 식각율이 감소하고 높은 유량에서는 체류시간이 감소하여 해리화 및 표면에서 충분한 반응시간을 갖지 못하기 때문에 식각율이 감소한다.

Fig. 4에서는 패턴된 시료를 사용하여 반응압력이 이방성에 미치는 영향을 조사한 것으로서 압력이 낮아짐에 따라 이방성이 증가한다. 이는 저압으로 갈수록 반응성 라디칼의 농도가 감소하고 이온이 sheath를 통과할 때 scattering이 감소하여 더 높은 운동 에너지를 갖고 박막과 충돌하기 때문이다. 따라서 반응 라디칼에 의한 화학적 식각율은 감소하고 이온에 의한 식각율은 증가하므로 이방성은 증가하게 된다. 압력 감소에 의한 sheath에서의 이온 에너지 증가는 self DC bias의 증가로 입증된다.

Fig. 5(a)와 (b)는 각각 200 mtorr와 20 mtorr 압력에서 140초와 550초 동안 식각한 것이다. 200 mtorr에서는 수직방향과 수평방향의 식각이 비슷한 등방적 식각 성향을 보이며 마스크의 아랫쪽에 상당한 undercut이 존재하고 photoresist 자체에도 수평방향으로 식각되었다. 반면에 20 mtorr에서는 낮은 F 라디칼 농도와 강한 전기장에 의해 가속된 이온에 의해 이방적 식각이 이루어짐을 볼 수 있다. 그리고 photoresist도 강한 이온의 충돌에 의해 상당히 손상되었다.

그 외에 텅스텐 박막 표면의 손상을 조사하기 위해 XPS와 SEM 분석을 실시하였다. XPS를 통한 표면분석에서는 입력전력이 커질수록 황이나 불소에 의한 표면오염이 관측되었으며 SEM 사진에서도 입력전력이 커질수록 식각후 박막표면의 grain들의 경계가 더욱 불분명해지고 이온에 의한 표면손상이 커짐을 볼 수 있었다.

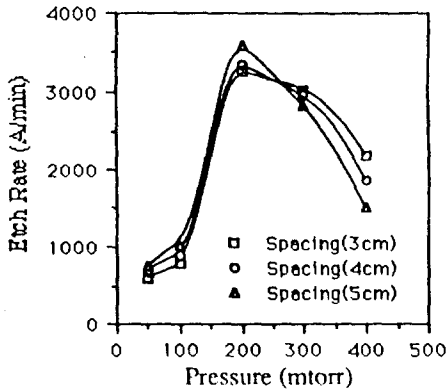


Fig. 1. Effect of pressure on etch rate with varying electrode spacing (SF_6 20 sccm, RF power 50 W)

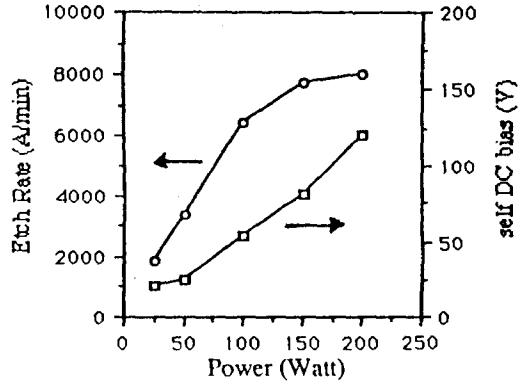


Fig. 2. Effect of power on etch rate and self DC bias (pressure 200 mtorr, SF_6 20 sccm, electrode spacing 4 cm)

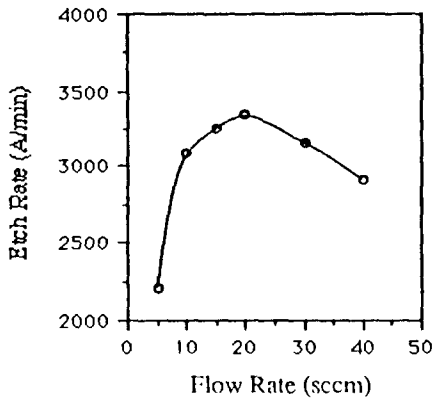


Fig. 3. Effect of flow rate on etch rate (pressure 200 mtorr, RF power 50 W, electrode spacing 4 cm)

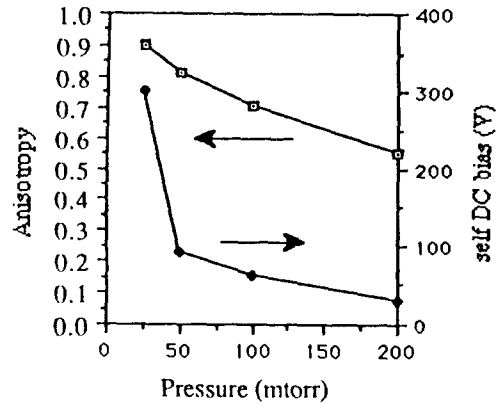
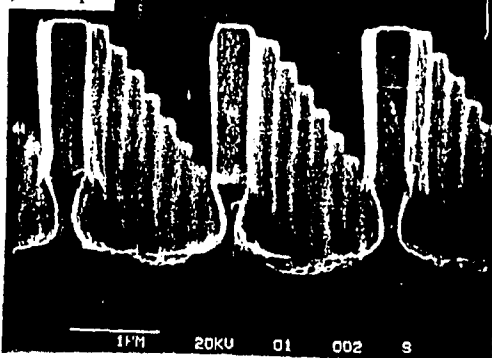


Fig. 4. Effect of pressure on anisotropy (SF_6 20 sccm, RF power 50 W, electrode spacing 4.5 cm)

(a) Isotropic



(b) Anisotropic

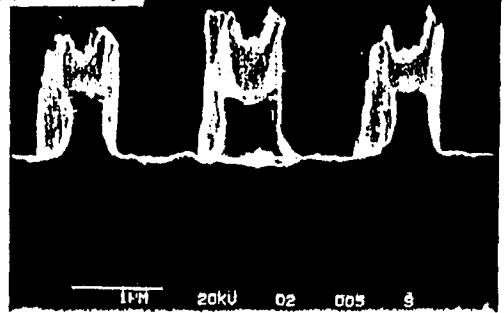


Fig. 5. Cross-sectional view of patterned tungsten film after Reactive Ion Etching (a) isotropic etching (200 mtorr, 140 sec) (b) anisotropic etching (20 mtorr, 550 sec)