

자장 강화 반응성 이온 식각 장비를 이용한 몰리브덴 박막의 식각 특성 연구

논문
13-1-2

A Study on Etching Characteristics of Molybdenum Thin Films by Magnetically Enhanced Reactive Ion Etching System

김남훈*, 권광호**, 김창일*, 장의구*

(Nam-Hoon Kim*, Kwang-Ho Kwon**, Chang-Il Kim*, Eui-Goo Chang*)

Abstract

In this study, molybdenum thin films were etched with $Cl_2/(Cl_2+SF_6)$ gas mixing ratio in an magnetically enhanced reactive ion etching(MERIE) by the etching parameters such as rf power of 250 watts, chamber pressure of 100 mTorr and B-field of 30 gauss. The etch rate was 150nm/min under $Cl_2/(Cl_2+SF_6)$ gas mixing ratio of 0.25. At this time, the selectivity of Mo to SiO_2 , photoresist were respectively 0.94, 0.50. The surface reaction of the etched Mo thin films was investigated with X-ray photoelectron spectroscopy(XPS). It was analyzed that Mo peaks was mainly observed in Mo-O bonds formed MoO_3 compounds and F was detected in Mo-F and O-F bonds. Cl peaks were detected by the peak of Cl $2p_{3/2}$ in Cl-Mo bonds of $MoCl_x$ or MoO_xCl_y formulas. Almost all of both Cl and S atoms had been combined with Mo, respectively.

Key Words(중요용어) : molybdenum(Mo), etching(식각), MERIE(magnetically enhanced reactive ion etching), XPS(X-ray photoelectron spectroscopy), SF_6/Cl_2

1. 서 론

반도체 집적회로를 제작하기 위해서는 금속 배선 공정이 필수적이다. 최근 반도체 소자의 박막화, 미세화 및 초고집적화에 따른 설계 규칙(design rule)의 축소로 금속 배선에 관한 요구가 점점 엄격해지고 있다. 현재 게이트 전극과 내부 배선재료로 사용되고 있는 다결정 실리콘 보다 비저항이 낮고 열적, 화학적 안정성이 우수한 내화 금속 또는 내화성 금속 실리사이드(refractory metal silicide)가 각광을 받고 있다^[1-5]. 이러한 배선 재료는 알루미늄과의 반응성이 낮아야 하고, 산소 분위기에서 산화하지 않고 미세 강도가 우수하여야 한다. 여러 가지 내화성 금

속 중의 하나인 몰리브덴(molybdenum)의 특성은 용점이 높고(2620℃), 열적 안정성이 우수하고, 비저항이 낮으며(resistivity : $5\mu\Omega cm$), 실리콘과의 열팽창 계수의 차이($5.0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ C$, $Si = 3.0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ C$)가 적어 스트레스 특성이 우수하다. 이와 같은 Mo 박막의 우수한 특성으로 인하여 내 마모 코팅(hard coating), 초전도체(superconductor), Al 확산 방지막, 게이트 재료, 고유전율 전극재료 등에 다양하게 응용되고 있으며, 향후 사용이 급속하게 증가 될 것으로 예상된다^[6-8]. 이러한 재료의 사용은 먼저 가공 기술의 개발이 선행되어야 한다. 내화성 금속의 안정한 휘발성 화합물은 chlorides, fluorides, bromides 등이 있으며, chloride 화합물은 상온에서 매우 낮은 증기압을 가지기 때문에 Mo 박막의 식각에는 fluorine 함유 가스를 이용하는 것이 유리하다. 또한 소자의 critical dimension(CD)가 적어짐에 따라 측면 식각이 없는 수직한 식각 형상을 얻기 위하여 ion-assisted 반응이 요구되므로 chlorine 함유 가스를 첨가하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 SF_6 와 Cl_2 를 식각 가스로 사용하여

* : 중앙대학교 전자전기공학부
(서울특별시 동작구 흑석동 221, Fax : 02-812-9651 E-mail : cikim@cau.ac.kr)

** : 한서대학교 전자공학과
1999년 8월 9일 접수, 1999년 11월 29일 심사완료

MERIE형 금속 식각장치에서 Mo 박막을 식각하였고, 식각된 Mo박막의 표면 반응을 고찰하여 Mo 박막의 식각 기구(mechanism)를 규명하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 실험을 위하여 $0.85 \sim 1.15 \Omega \cdot \text{cm}$ 의 비저항을 갖는 p형 5인치 실리콘 웨이퍼를 기판으로 사용하였고, 기판을 1 : 4의 $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$ 및 10 : 1의 $\text{H}_2\text{O} : \text{HF}$ 용액과 탈 이온수로 세척한 후 420°C 에서 SiH_4 및 O_2 가스를 사용한 저압화학증착법(LPCVD : low pressure chemical vapor deposition)으로 600nm의 TEOS(tetraethyl orthosilicate)막을 증착 하였다. TEOS막을 증착 시킨 후 Mo 박막은 Varian 3180 d.c. 스퍼터링 시스템을 사용하여 상온, Ar 분위기에서 6 mTorr의 압력으로 스퍼터 증착 하였다. 소스와 기판 사이의 이격 거리는 3.3 인치였으며, 베이스 진공 압력은 1×10^{-7} Torr 였다. D.C. 스퍼터링 전력은 1kw이었고, 기판은 접지 되었으며, 기판 온도는 100°C 로 유지되었다.

Mo 박막의 식각은 Applied Materials사의 MERIE형인 P-5000 장비를 이용하였다. 하부 전극은 matching box를 통하여 RF 전력이 연결되어 있고, 상부전극은 접지 되어 있다. 시료는 하부전극 위에 고정되었다. 식각 가스로는 순도 99.99%의 SF_6 와 Cl_2 를 사용하였으며 전체 가스 유량비는 24 sccm, RF 전력은 250 W, 반응로 압력은 100 mTorr, 자장 30 G이었다. 이러한 식각 조건에서 식각 가스 혼합비를 변화시켜 식각 가스 변화에 따른 Mo 박막의 표면 반응을 조사하였다. 시료의 표면에 형성된 잔류막을 분석하여 표면 반응을 추출하고자 하였으며, 1분 동안 식각후 시료 표면을 XPS 분석을 수행하였다. 제작된 시료의 표면 조성 및 화학적 결합 상태의 분석은 VG Scientific 사의 ESCALAB 200-R X-선 광전자 분광기로 수행하였다. 에너지 원으로는 250 W의 Mg $K\alpha$ (1253.6 eV)선을 시료에 주사(radiation)하였고, 시료의 표면 조성 분석을 위한 wide scan 분석은 pass energy(E_p)를 100 eV로, 검출된 원소의 화학적 결합상태 분석을 위한 narrow scan 분석은 $E_p=20$ eV로 수행하였다.

3. 결과 및 검토

본 실험에서는 SF_6 및 Cl_2 가스 플라즈마를 이용하여 Mo 박막의 식각 특성을 추출하였다. SF_6/Cl_2 가스 혼합비 변화에 따른 Mo 박막의 식각 속도의 변화

를 그림 1에 나타내었다. 그림 1에 나타난 바와 같이 Mo의 식각 속도는 SF_6 의 혼합비가 감소함에 따라 $\text{Cl}_2/(\text{Cl}_2+\text{SF}_6)$ 의 혼합비가 0.25까지는 증가하여 150nm/min으로 최고치를 나타낸 후, 0.25 이상의 혼합비에서는 점점 감소하였다. 이는 SF_6 의 혼합비가 감소함에 따라 플라즈마 내에 존재하는 SF_6 의 분압이 감소되며, F 래디컬의 형성이 감소되어 식각 속도가 감소하는 것으로 판단된다. 일반적으로 SF_6/Cl_2 가스 혼합 조건에서 첨가되는 Cl_2 의 분압이 증가될수록 플라즈마 내에서 형성되는 이온 밀도가 증가되는 것으로 알려져 있다⁹⁾. 따라서 SF_6 혼합비의 감소, 즉 Cl_2 혼합비의 증가에 따라 플라즈마 내에서 형성되는 이온 밀도가 증가하고 이온 충격효과(즉, V_{dc})는 변화가 없더라도 이온 충격에 참여하는 이온의 양이 증가하여 식각속도는 증가하는 것으로 판단된다. 산화막의 식각속도는 Cl_2 가스 혼합비가 증가됨에 따라 점점 감소됨을 알 수 있다. 산화막은 Cl_2 가스와의 반응은 열역학적으로 매우 어렵다. 그러나 SF_6 가스 플라즈마를 이용하여 식각하는 경우에는 산화막을 구성하고 있는 Si, O와의 반응이 용이하고, 또한 SiF_4 및 SO_2 등의 형태로 쉽게 표면에서 이탈된다. 따라서 산화막을 SF_6 가스 플라즈마로 식각하는 경우 식각이 용이하다. 한편 SF_6/Cl_2 혼합 가스를 이용하여 식각을 진행하는 경우 Cl_2 가스의 혼합비가 증가하는 것은 SF_6 가스의 혼합비가 감소함을 의미한다. SF_6 가스의 혼합비가 감소하면 플라즈마 내에 형성되는 SF_6 의 분압이 감소됨을 의미하며, 따라서 플라즈마 내에 형성되는 S 및 F 래디컬의 양이 감소함을 알 수 있다. 감광막의 식각 속도는 혼합비가 0.25 이하의 경우에는 Cl_2 가스 유량이 증가함에 따라 감광막의 식각 속도는 증가하고 0.25 이상의 경우에는 감소하였다. 감광막은 SF_6 로 식각하는 경우 CF_4 의 형태로 식각된다. 따라서 SF_6 유량의 감소는 식각 속도가 감소하지만 Cl_2 가스의 혼합비가 0.25 이하의 경우에는 플라즈마 내에 형성되는 이온 밀도가 증가하여 식각 속도가 증가하는 것으로 판단된다. 혼합비가 0.25 이상의 경우에도 Cl_2 의 유량이 증가할수록 이온 밀도는 증가할 것으로 예상되나, 이때 F 래디컬 밀도가 감소하여 식각 속도는 감소하는 것으로 판단된다.

그림 2는 SF_6/Cl_2 가스 혼합비 변화에 따른 산화막과 감광막에 대한 Mo 박막의 식각 선택비를 나타낸 것이다. 그림 1에서 예상한 바와 같이 $\text{Cl}_2/(\text{Cl}_2+\text{SF}_6)$ 혼합비가 0.25인 경우에 산화막과 감광막에 대한 식각 선택비가 각각 0.92, 0.46으로 가장 높은 식각 선택비가 형성됨을 알 수 있으나, 전체적으로 식각 선택비가 1이하로 매우 낮음을 보인다. 이러한 식

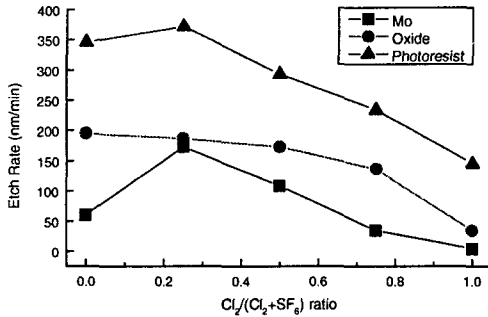


그림 1. SF₆/Cl₂ 가스 혼합비에 따른 Mo, Oxide, PR막의 식각율

Fig. 1. The etch rates of Mo, oxide and PR films as the various SF₆/Cl₂ gas mixing ratios.

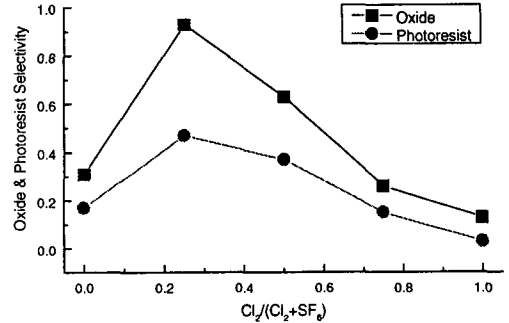


그림 2. SF₆/Cl₂ 가스 혼합비에 따른 Mo 박막의 Oxide, PR막에 대한 식각선택비

Fig. 2. The etch selectivity of Mo thin film to oxide and PR films as the various SF₆/Cl₂ gas mixing ratios.

각 선택비는 게이트 전극의 식각에 어려울 것으로 판단된다. 따라서 식각 선택비, 특히 산화막과의 식각 선택비를 향상시키는 것이 요구된다. 이를 위해서는 화학적인 반응을 향상시키는 것이 요구되며, 이러한 화학적 반응의 향상은 식각 반응로의 압력 혹은 자장 등을 조절하여 가능 할 것으로 판단된다.

식각된 Mo 박막의 표면에 존재하는 원소의 양을 알아보기 위하여 가스 혼합비에 따른 atomic %를 추출하였다. 그림 3은 SF₆/Cl₂ 가스 혼합비에 따라 식각된 Mo 박막의 표면에서 검출되는 Mo, S, F, Cl 및 O 원소의 atomic %를 나타낸 것이다. 시료에서 검출되는 O원소는 시료의 분석을 위하여 이동하는 동안 시료의 공기 노출에 의해 시료의 표면에 형성되는 것으로 판단된다. 이렇게 공기 노출에 의해 형성되는 O 원소는 시료 표면에 존재하는 F 혹은 Cl 원소 등과 결합은 극히 어렵다. 이는 F 혹은 Cl 원소의 electronegativity가 커서 산소와 반응 화합물을 형성하기가 어렵기 때문이다. 또한 시료의 표면에 존재할 수 있는 F, Cl 및 S의 경우에는 검출되는 양이 수 % 이내이다. 이는 대부분의 산소가 Mo와 결합되어 있음을 의미한다. 이렇게 결합되어 있는 산소의 양의 변화는 시료의 표면에 존재하는 residue 층의 두께와 밀접한 관계가 있다. 그림 3을 살펴보면 Cl₂의 혼합비가 증가함에 따라 시료에서 검출되는 산소의 atomic %가 증가하고 Mo의 atomic %는 감소함을 보인다. 시료의 표면에서 검출되는 산소의 양이 많다는 것은 시료의 표면에 형성되어 있는 residue 막의 두께가 적음을 의미한다. 시료의

표면에서 검출되는 다른 원소의 양이 증가함에 따라 Mo의 원소의 검출량이 감소함을 알 수 있다. 이는 XPS 분석에 있어 시료의 일정 두께가 검출됨에 따라 시료의 표면에 형성되는 막의 두께가 증가할수록 표면에 형성되는 막의 아래에서 검출되는 Mo 원소는 적게 검출되기 때문이다. 한편 F 및 S의 atomic %는 감소되고 Cl의 atomic %는 증가함을 알 수 있다. 이는 식각 가스의 조성을 살펴보면 당연한 결과를 알 수 있다. Cl₂ 가스 혼합비가 증가할수록 플라즈마 내에서 존재하는 SF₆의 분압이 감소되고 플라즈마 내에서 형성되는 F 및 S 원소가 적어진다. 한편 시료의 표면에서 검출되는 Cl 원소의 양은 동일한 과정에 의해 증가된다. F 원소가 수 % 이내에서 검출되는 것은 MoF₆의 증기압이 높아 시료의 표면에서 쉽게 이탈된 결과로 해석된다. 한편 Cl 원소 역시 적게 검출되었는데, 이는 시료의 표면에서 검출되는 Cl 원소의 경우 MoCl₅의 증기압이 낮기 때문에 상당량의 원소가 검출되어야 할 것으로 예상된다. 그러나 본 시료에서는 Cl 원소 역시 소량이 검출됨을 알 수 있다. 이는 Mo와 Cl 원소의 표면 반응이 극히 어렵거나 Cl 원소의 첨가에 의해 플라즈마와 시료의 표면 사이에 형성되는 V_{dc}가 커서 불소 화합물이 시료의 표면에서 쉽게 이탈되거나 플라즈마 내에 형성되는 Cl 원소의 양이 적은 경우에 가능하다.

SF₆/Cl₂ 가스 유량비 변화에 따라 식각된 Mo 박막의 시료 표면에서 검출되는 원소의 atomic % 변화 원인을 조사하기 위하여 각 원소의 narrow scan 스펙트럼 분석을 수행하였다. 그림 4는 SF₆/Cl₂ 가스

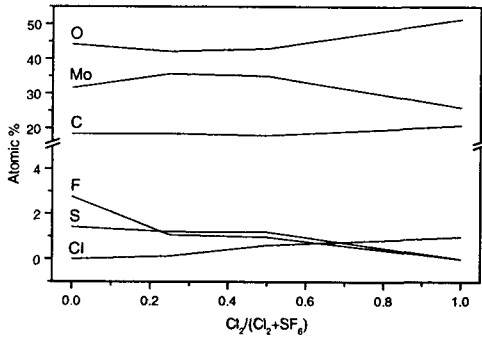


그림 3. SF₆/Cl₂ 가스 혼합비에 따른 식각된 Mo 박막 표면에서의 atomic %의 변화

Fig. 3. The changes of atomic % with SF₆/Cl₂ gas mixing ratio on etched surface of Mo film.

혼합비 변화에 따라 식각된 Mo 박막의 표면에서 검출되는 Mo 3d 스펙트럼의 변화를 나타낸 것이다. 그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 Mo 3d의 경우에는 Mo 3d_{5/2}는 228eV에서 검출되고, 약 3.13eV 높은 결합 에너지에서 Mo 3d_{3/2} 피크가 검출되며, Mo 3d_{5/2}와 Mo 3d_{3/2}의 피크의 세기는 약 2:1 정도이다. 또한 Mo 3d_{5/2}의 경우에 MoS₂는 229~229.7 eV, MoCl₃는 229.7~230.2 eV, MoCl₄는 230.3~230.8 eV, MoCl₅는 230.7~231.3 eV, MoO₂는 229.1~229.6 eV 및 MoO₃는 232.3~232.8 eV에서 피크가 검출된다. 그림 4에서 Cl₂ 가스만을 사용하여 식각한 시료의 표면에서 추출한 스펙트럼을 살펴보면, 228eV에서 metallic Mo의 피크가 검출되며, 232eV에서 검출되는 피크는 metallic Mo의 3d_{3/2} 피크가 동시에 검출됨을 알 수 있다. 한편 235eV 근처에서 MoO₃ 화합물의 Mo-O 결합에 의한 피크가 검출됨을 알 수 있는데, 이는 235.1eV에서 Mo-O에 의한 Mo 3d_{3/2} 피크가 검출됨으로부터 알 수 있다. SF₆의 혼합비가 큰 경우, 즉 SF₆ 유량이 24sccm인 경우에는 232 및 235eV 근처에서 검출되는 피크가 감소됨을 알 수 있다. 이는 시료의 표면에서 산소량의 감소와 일치한다. F와 Cl 원소의 일부는 Mo와 결합되어 있을 것으로 예상되나, F와 Cl의 원소량이 극히 적어 뚜렷한 흔적을 발견할 수 없는 것으로 여겨진다.

그림 5는 SF₆/Cl₂ 가스 혼합비 변화에 따라 식각된 Mo 박막의 표면에서 검출된 F 1s의 narrow scan 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림 5를 살펴보면 685eV에서 Mo-F 결합에 의한 피크가 검출되고

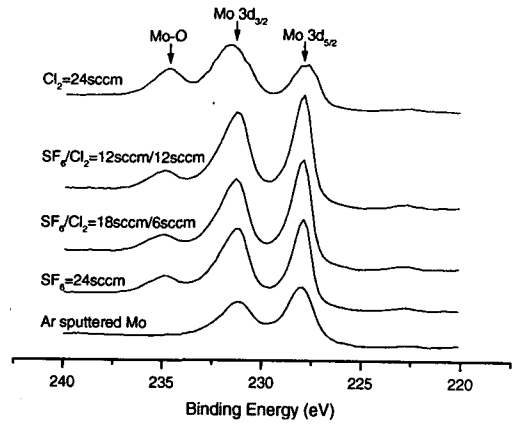


그림 4. SF₆/Cl₂ 가스 혼합비에 따른 Mo 3d XPS 스펙트럼 변화

Fig. 4. The changes of Mo 3d XPS spectra with SF₆/Cl₂ gas mixing ratio.

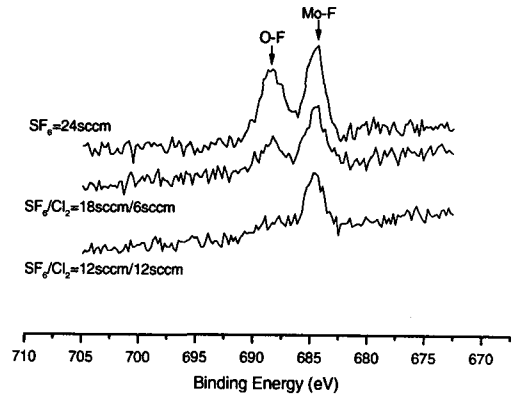


그림 5. SF₆/Cl₂ 가스 혼합비에 따른 F 1s XPS 스펙트럼 변화

Fig. 5. The changes of F 1s XPS spectra with SF₆/Cl₂ gas mixing ratio.

689eV에서 다른 피크가 검출됨을 알 수 있다. Mo-F의 결합은 그 크기가 거의 변화가 없는 것을 알 수 있으며, 이는 SF₆/Cl₂ 혼합비가 변화되더라도 Mo와 결합되어 있는 F의 양은 거의 변화가 없음을 말해준다. 689eV에서 검출되는 피크는 시료의 공기 노출에 따라 식각 후 표면에 존재하던 fluorine의 일부가 대기 중에 존재하는 탄소 혹은 산소가 결합하여 형성되는 것으로 판단된다. 한편 atomic %를 나타낸 그림 3에서 SF₆/Cl₂ 가스 혼합비 50%까지는 SF₆ 혼

합비가 감소할수록 산소의 양이 대체적으로 감소함을 알 수 있다. 이는 SF₆/Cl₂ 가스 혼합비 변화에 따른 산소량의 거동과 689eV에서 검출되는 피크의 거동이 일치함을 알 수 있다. 따라서 689eV에서 검출되는 피크는 O-F 결합에 의해 검출되는 피크로 판단된다. 이러한 O-F 결합은 식각 후 시료의 대기 노출시 시료의 표면에 흡착되어 표면에 존재하던 F와 반응하여 형성된 결합으로 판단된다. 일반적으로 O-F 결합은 두 원소의 electronegativity가 커서 결합이 어려운 것으로 알려져 있다. 그러나 본 시료의 경우에는 시료 표면에 존재하는 fluorine이 이온 충격효과 등에 의해 매우 불안정한 상태로 존재하게 될 것이다. 따라서 이러한 불안정은 fluorine과 대기중의 산소가 결합이 가능한 것으로 판단된다.

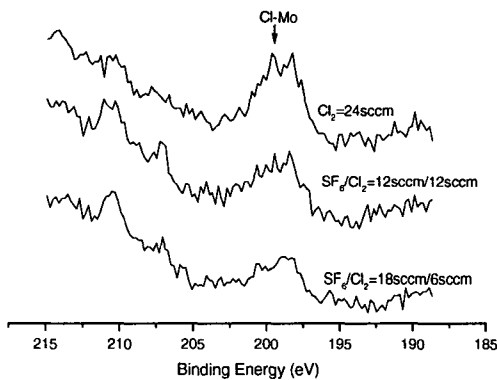


그림 6. SF₆/Cl₂ 가스 혼합비에 따른 Cl 2p XPS 스펙트럼 변화

Fig. 6. The changes of Cl 2p XPS spectra with SF₆/Cl₂ gas mixing ratio.

그림 6은 SF₆/Cl₂ 가스 혼합비 변화에 따라 식각된 Mo 박막의 표면에서 검출된 Cl 2p narrow scan 스펙트럼의 변화를 나타낸 것이다. 그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 200eV 근처에서 피크가 검출됨을 알 수 있다. 199eV 및 200.5eV의 두 개의 피크로 보기는 어렵다. 피크의 FWHM(full width at half maximum)이 약 3~4eV 정도로 이를 두 개의 피크로 보기 어렵다. 200eV 근처에서 검출되는 피크는 MoCl_x 혹은 MoO_xCl_y 화합물에 의한 Cl-Mo 결합에서 검출되는 Cl 2p_{3/2} 피크로 판단된다. 이는 대부분의 Cl은 Mo와 결합되어 있음을 보여준다. 한편 XPS에서 검출되는 Cl 2p_{3/2} 피크와 Cl 2p_{1/2} 피크의

세기의 비는 2:1이다. Cl 2p narrow scan 스펙트럼은 심한 back ground noise로 인하여 SF₆/Cl₂ 혼합비에 의한 차이를 추출하는 것은 어렵다.

그림 7은 SF₆/Cl₂ 가스 혼합비 변화에 따라 식각된 Mo 박막의 표면에서 검출된 O 1s narrow scan 스펙트럼의 변화를 나타낸 것이다. 그림 7에서 알 수 있는 바와 같이 산소는 531.5eV에서 피크가 검출되었다. 이는 전형적인 O-metal 결합에 의한 피크다. 따라서 산소는 대부분 금속 즉 Mo와 결합되어 있음을 보여 준다. 한편 O 1s 피크는 534.5eV 근처에서 적은 피크가 존재하는 것으로 deconvolution이 가능하다. 이는 산소보다 더 electronegative한 원소와의 결합을 의미한다. 이러한 결합을 형성할 것으로 예상되는 원소는 Cl 및 F이다. 따라서 미량의 MoO_xCl_y 및 MoO_xF_y 등의 결합이 존재하는 것으로 판단된다.

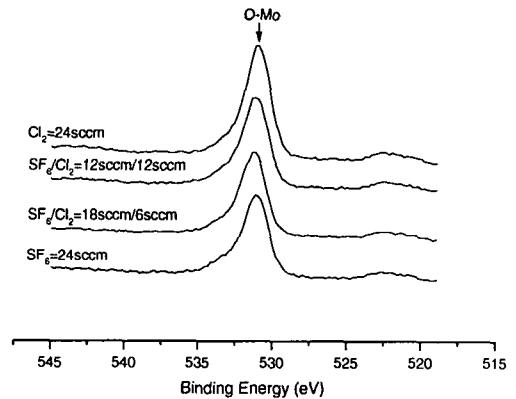


그림 7. SF₆/Cl₂ 가스 혼합비에 따른 O 1s XPS 스펙트럼 변화

Fig. 7. The changes of O 1s XPS spectra with SF₆/Cl₂ gas mixing ratio.

그림 8은 SF₆/Cl₂ 가스 혼합비 변화에 따라 식각된 Mo 박막의 표면에서 검출된 S 2p narrow scan 스펙트럼의 변화를 나타낸 것이다. 그림 8을 살펴보면, 약 162eV에서 피크가 검출됨을 알 수 있다. 한편 elemental S는 164eV에서 검출되는 것으로 알려져 있다. 따라서 S 원소와 electropositive한 원소가 결합되어 있음을 알 수 있다. 한편 S-F 혹은 S-O 결합은 거의 불가능하다. 왜냐하면 sulfur에 F 혹은 O가 결합되면 결합 에너지가 더 높은 영역에서 검출되나, 본 스펙트럼에서는 높은 영역의 결합 에너지에서 피크가 검출되지 않았다. 따라서 sulfur와 결합이 가능한

electropositive한 원소로는 Mo가 가능하다. 따라서 거의 모든 S는 Mo와 결합되어 있는 것으로 판단된다.

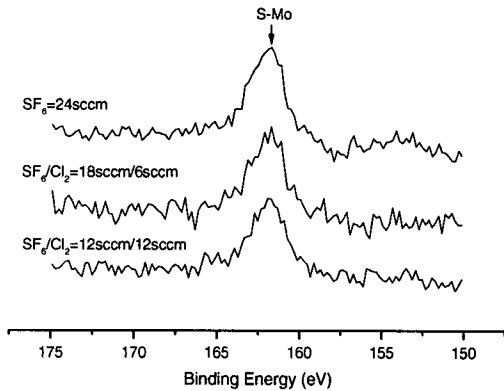


그림 8. SF₆/Cl₂ 가스 혼합비에 따른 S 2p XPS 스펙트럼 변화

Fig. 8. The changes of S 2p XPS spectra with SF₆/Cl₂ gas mixing ratio.

4. 결 론

본 연구에서는 Mo 게이트를 형성하기 위하여 SF₆/Cl₂ 가스 혼합비 변화에 따른 식각 특성 및 표면 반응을 조사하였다. SF₆ 및 Cl₂ 가스를 이용하여 플라즈마 식각 특성을 추출한 결과 SF₆의 혼합비가 감소함에 따라 식각속도는 0.25까지 증가하여 150nm/min에 도달한 후 점점 감소함을 알 수 있었다. 이는 SF₆ 혼합비가 감소함에 따라 플라즈마 내에 존재하는 SF₆의 분압이 감소하여 F 라디칼의 생성이 감소함을 의미한다. 산화막과 감광막의 식각 선택비 역시 Cl₂/(Cl₂+SF₆) 혼합비가 0.25인 경우에 가장 높은 산화막 및 감광막에 대하여 각각 0.92, 0.46을 얻었다. Cl₂의 혼합비가 증가함에 따라 시료에서 검출되는 산소의 atomic %가 증가하고 Mo의 atomic %는 감소하였다. 시료의 표면에서 검출되는 산소의 양이 많다는 것은 시료의 표면에 형성되어 있는 residue 막의 두께가 적음을 의미한다. Mo의 경우에는 대부분 MoO₃ 화합물의 Mo-O 결합에 의한 피크가 검출되었으며, 일부는 F, S 및 Cl 원소와 결합되어 있는 것으로 예상되나 F, S 및 Cl의 원소량이 매우 적어 뚜렷한 흔적을 발견할 수 없었다. F는 Mo-F 결합 및 O-F 결합에 의해 검출되는 피크로 판단된다. 이러한 O-F 결합은 식각 후 시료의 대기 노출시 시료의

표면에 흡착되어 표면에 존재하던 F와 반응하여 형성된 결합으로 판단된다. Cl 원소는 200eV 근처에서 피크가 검출되었으며, 이는 MoCl_x 혹은 MoO_xCl_y 화합물에 의한 Cl-Mo 결합에서 검출되는 Cl 2p_{3/2} 피크로 판단된다. 이는 대부분의 Cl은 Mo와 결합되어 있음을 알 수 있었다. S는 대부분 Mo와 결합되어 있는 것으로 판단되며 이는 elemental sulfur 보다 낮은 결합 에너지에서 검출되었기 때문이다.

참 고 문 헌

1. S. P. Murarka, "Silicides for VLSI Applications," Academic Press, 1983.
2. T. P. Nolan, R. Sinclair and R. Beyers, "Modeling of agglomeration in polycrystalline thin films : Application to TiSi₂ on a silicon substrate", J. Appl. Phys., Vol. 71, No. 2, pp. 720-724, 1992.
3. S. P. Murarka, "Metallization : Theory and Practice for VLSI and ULSI", Butterworth-Heinemann, 1993.
4. H. Kotaki, M. Nakano, S. Hayashida, S. Kakimoto, K. Mitsuhashi and J. Takagi, "Novel oxygen free titanium silicidation(OFS) processing for low resistance and thermally stable SALICIDE(self-aligned silicide) in deep submicron dual gate CMOS(complementary metal-oxide semiconductors)", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, Pt 1, No. 2B, pp. 776-781, 1995.
5. T. Mogami, H. Wakabayashi, Y. Saito, T. Tatsumi and T. Kunio, "A novel salicide process(SEDAM) for sub-quarter micron CMOS devices", IEDM, pp. 687-690, 1994.
6. H. Oikawa, T. Amazawa, "VLSI Science and Technology-1985", W. M. Bullis and S. Broydo ed., Electrochemical Society, Pennington, 1984.
7. M. J. Kim, D. M. Brown, "Mo₂N/Mo gate MOSFET's", IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. ED-30, No. 6, pp. 598-602, 1983.
8. T. P. Chow, D. M. Brown, A. J. Steckl, and M. Garfinkel, "Silane silicidation of Mo thin films", J. Appl. Phys., Vol. 51, No. 11, pp. 5981-5985, 1980.

자장 강화 반응성 이온 식각 장비를 이용한 몰리브덴 박막의 식각 특성 연구.....김남훈, 권광호, 김창일, 장의구

9. Chang-Il Kim et al., "Sulphur role during Mo etching using SF₆ and Cl₂ gas chemistries", Journal of Materials Science Letters, Vol. 17, Issues pp. 1483-1486, 1998.