

ECR-플라즈마 화학 증착된 알루미늄 산화막 연구

이재균 · 전병혁 · 이원종

한국과학기술원 전자재료공학과

(1994년 1월 21일 접수)

A Study on the Characteristics of Aluminum Oxide Thin Films Prepared by ECR-PECVD

Jae-Kyun Lee, Byung-Hyuk Jun and Won-Jong Lee

Department of Electronic Materials Science and Engineering

Korea Advanced Institute of Science and Technology

(Received January 21, 1994)

요 약

200°C 이하의 저온에서 ECR-플라즈마 화학 증착법(ECR-PECVD)으로 TMA[Al(CH₃)₃]와 O₂를 반응 기체로 하여 p-type(100) 실리콘 위에 알루미늄 산화막을 증착하고 특성을 조사하였다. 그리고 RF-플라즈마 화학 증착법(RF-PECVD)으로 제조된 알루미늄 산화막과 특성을 비교하였다. ECR-PECVD법으로 증착된 알루미늄 산화막은 비정질이며 굴절률 1.62~1.64, O/Al비 1.6~1.7이었다. 또한 증착온도가 증가함에 따라 안정된 박막 형성에 필요한 산소 요구량이 증가하였다. OES분석 결과 ECR-플라즈마는 TMA반응 기체의 주입에 의한 냉각 효과가 RF-플라즈마에 비하여 매우 적음을 알 수 있었다. ECR-PECVD 알루미늄 산화막은 RF-PECVD 알루미늄 산화막에 비하여 높은 굴절율을 갖고 있으며 수소 및 탄소와 같은 불순물 함량이 매우 낮고 강한 습식 에칭 저항성을 지닌 치밀하고 고순도의 박막이었다.

ABSTRACT

Aluminum oxide thin films were deposited on p-type(100) silicon substrates by electron cyclotron resonance plasma enhanced CVD (ECR-PECVD) using TMA[Al(CH₃)₃] and oxygen as reactant gases at 160°C or lower temperatures. The aluminum oxide films deposited by ECR-PECVD have the amorphous structure with the refractive index of 1.62~1.64 and the O/Al ratio of 1.6~1.7. Oxygen flow rate necessary for the stable deposition of the aluminum oxide films increases as the deposition temperature increases. It was found from the OES analysis that the ECR plasma had less cooling effect by introducing the TMA reactant gas in comparison with the RF plasma. The properties of aluminum oxide films prepared by ECR-PECVD were compared with those prepared by RF-PECVD. The ECR-PECVD aluminum oxide films have the higher refractive indices, the lower contents of impurities (H and C) and the stronger wet etch resistance than those deposited by RF-PECVD.

I. 서 론

반도체 제조 기술은 고집적화, 고신뢰성을 목표로 끊임없는 기술 개발을 이룩하여 기억소자 분야에서는 수년내에 256M DRAM의 개발이 기대되고 있다. 이러한 기술 개발을 이룩하게 된 요인중의 하나는 실리콘 위에 우수한 계면 성질을 지닌 실리콘 산화막을 비교적 손쉽게

얻을 수 있다는 점이 있다. 그러나 실리콘 산화막도 유전 상수가 작고, 높은 radiation sensitivity를 가지며 박막 내에서 일칼리 이온의 이동도가 높다는 등의 단점을 가지고 있어 문제가 되어 왔다. 알루미늄 산화막은 실리콘 산화막의 이러한 단점을 극복하기 위한 대체 유전재료로서 실리콘 질화막(Si₃N₄), phosphosilicate glass (PSG) 등과 함께 많이 연구되어져 온 물질 중의 하나

이다. 알루미늄 산화막은 유전 상수가 7~9 정도로 비교적 크고 낮은 radiation sensitivity를 가지며 알킬리 이온에 대한 확산 저항성이 크다는 장점을 가지고 있어 Si, GaAs¹⁾, InP²⁾의 gate oxide나 passivation layers³⁾, etch barrier⁴⁾ 등의 접착 회로 분야에서 뿐만 아니라 chemical sensor⁵⁾ optical waveguide⁶⁾ 등의 분야에 응용하려는 연구가 많이 진행되어 왔다.

알루미늄 산화막의 제조에는 반응성 스퍼터링법, 반응성 진공 증착법과 같은 물리증착법(PVD)법과 저압 기상화학증착법(LPCVD), 플라즈마 기상화학증착법(PECVD) 등의 기상화학증착법(CVD)이 많이 이용되어 왔다. 이중 PECVD법은 step coverage가 우수하고 낮은 온도에서도 막의 증착이 가능해 알루미늄 산화막을 미세 전자소자 응용 분야에 적용하고자 할 때 큰 잇점을 가진다^{7,8)}.

Electron cyclotron resonance(ECR) 플라즈마는 마이크로파 에너지와 magnetic field의 전자 공명에 의해 마이크로파 에너지를 효율적으로 흡수하여 RF 플라즈마에 비해 수백배의 이온화 효율을 갖는 고밀도의 플라즈마이다. 그러므로 ECR 플라즈마 CVD(ECR-PECVD)를 이용하면 반응 기체가 효과적으로 분해되어 저온에서도 양질의 박막 증착이 가능하다. 또한 RF-PECVD법에 비해 수백배 정도 낮은 압력에서 박막이 증착됨으로써 기상에서의 homogeneous 반응을 억제해 particles 문제나 박막내의 불순물의 함량을 크게 줄일 수 있으며, 모재에 부딪치는 이온의 에너지가 20~30 eV 정도로 일정하여 모재가 충격을 받을 가능성이 적을 뿐만 아니라 기판에 bias를 가해 충돌하는 이온의 에너지를 쉽게 조절할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 ECR-PECVD법으로 알루미늄 산화막을 제조하여 증착 변수에 따른 증착 특성과 증착된 박막의 구조, 조성 및 습식 에칭 특성을 조사하였으며 이를 RF-PECVD법으로 제조된 알루미늄 산화막의 물성과 비교하였다.

2. 실험방법

실험에 사용된 ECR-PECVD 장치도를 Fig. 1에 나타내었다. 직류 마그네트론에 의해 발생시킨 2.45 GHz 주파수의 마이크로파를 금속 waveguide와 quartz 창문을 통해 캠버로 공급하였다. 플라즈마 형성 기체로는 Ar을 사용하였다. Quartz 창문 바로 밑에서 형성된 ECR layer는 발산 자장을 따라 15°의 확산각을 가지고 밑으로 분사되어 downstream 형태의 플라즈마를 형성하게 된다.

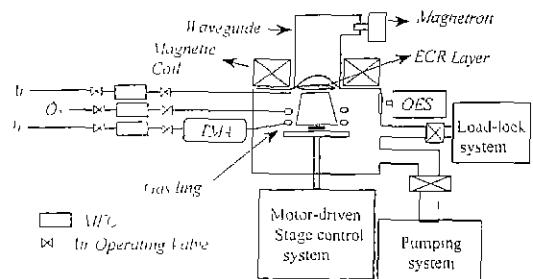


Fig. 1. Schematic diagram of ECR PECVD system.

균일한 증착을 위해 증착 도중 시편 지지대를 회전시켰으며 개스-팅을 사용하여 반응 기체를 공급하였다. 챔버의 청정도를 유지하기 위해 load-lock 시스템을 이용하였으며 RCA cleaning⁹⁾된 p-type (100) Si wafer를 모재로 사용하였다. 확산 펌프와 rotary 펌프를 이용하여 기본 압력을 7×10^{-6} torr 이하로 유지하였으며 가스유량 조절 및 관의 개폐를 위해서 MFC와 air operating valve를 사용하였다.

알루미늄 산화 박막의 증착을 위한 반응 기체로는 trimethyl aluminum(TMA, Al(CH₃)₃) metal-organic(MO) source과 O₂를 사용하였다. 마이크로파 출력, 압력, 증착온도를 증착 변수로 삼아 증착 변수에 따른 증착 특성을 조사하였다. 증착된 박막의 두께와 굴절율을 측정하기 위해서 ellipsometer를 사용하였는데 이때 사용된 파장은 6328 Å이었다. 증착된 박막의 구조 분석을 위해서 X-ray diffraction(XRD)를 사용하였으며 박막의 성분분석 및 깊이에 따른 조성변화를 관찰하기 위해 Auger electron spectroscopy(AES)를 사용하였다. 이때 측정조건은 전자빔 가속전압 5 keV, 전류 300 nA, 경사 각도 30°에서 행하여졌다. 3 keV의 Ar 이온빔으로 스퍼터링하면서 깊이에 따른 성분분석을 하였는데 이때 이온빔의 전류밀도는 420 μA/cm²이었다. TMA같은 MO source를 플라즈마로 분해하여 증착할 경우 TMA의 불완전한 분해로 인해 박막내에 수소나 탄소를 포함한 여러 functional group이 존재할 수 있는데 이들의 존재 여부와 결합 형태를 조사하기 위해서 Fourier transformed infrared spectroscopy(FTIR)를 사용하였다. 조사 파수(wavenumber) 범위는 400 cm⁻¹~4000 cm⁻¹이며 분해능은 4 cm⁻¹이다. 박막의 습식 에칭은 100 : 1로 회석된 HF 용액을 사용하였다. 플라즈마 내에서의 반응기의 분해 양상을 관찰하기 위해서 분광기를 이용한 optical emission spectroscopy(OES)를 이용하여 플라즈마를 진단하였다. 이 때 분광기의 조시 파장 범위는 200~800 nm이며 0.1 nm의 분해능을 가지고 있다.

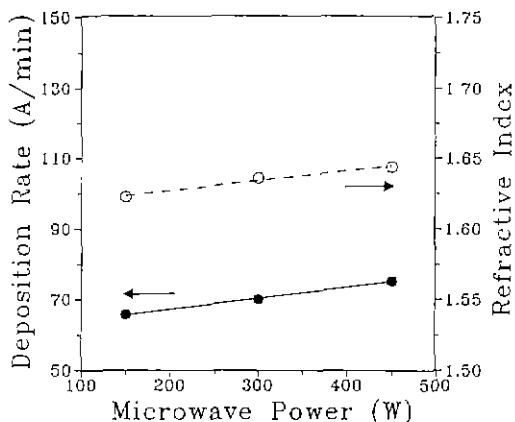


Fig. 2. Effect of the microwave power on the deposition rate and the refractive index of the aluminum oxide film (deposition temperature: 95°C, TMA: 0.5 sccm, O₂: 4 sccm, pressure: 0.3 mtorr).

ECR-PECVD법으로 증착된 알루미늄 산화막과 물성을 비교하기 위해 RF-PECVD법으로 알루미늄 산화막을 제조하였다. RF-PECVD법에 의한 알루미늄 산화막은 RF 출력 5 W, 증착 압력 800 mtorr, 증착온도 100~300 °C의 조건에서 TMA와 N₂O의 유량을 각각 1 sccm, 3 sccm으로 하여 He분위기에서 증착되었다. 보다 자세한 내용은 참고문헌 7에 나와있다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 증착온도 95°C, TMA 0.5 sccm, O₂ 4 sccm, 증착 압력 0.3 mtorr의 조건에서 마이크로파 출력 변화에 따른 박막의 증착 속도와 굴절율의 변화를 나타내고 있다. 마이크로파 출력이 150 W에서 450 W로 증가함에 따라 증착속도는 66 Å/min에서 75 Å/min으로, 굴절율은 1.62에서 1.64로 증가하고 있다. 이는 마이크로파 출력의 증가로 인해 플라즈마 밀도 및 온도가 증가하여 반응 기체의 분해가 더욱 활성화되어 표면에서의 산화 반응이 촉진되기 때문이라 생각된다. Fig. 3은 마이크로파 출력이 150 W 및 450 W일 때의 Ar/O₂ ECR 플라즈마로 부터 얻은 OES 스펙트럼이다. 마이크로파 출력이 증가함에 따라 전체적인 peak의 크기가 전반적으로 증가하여 플라즈마가 활성화 되었음을 확인할 수 있다. Fig. 4는 Fig. 2와 같은 조건에서 마이크로파 출력의 변화에 따른 박막의 습식 에칭 속도의 변화를 보여주고 있다. 마이크로파 출력이 증가함에 따라 에칭 속도가 20 Å/sec에서 7 Å/sec로 감소하였다.

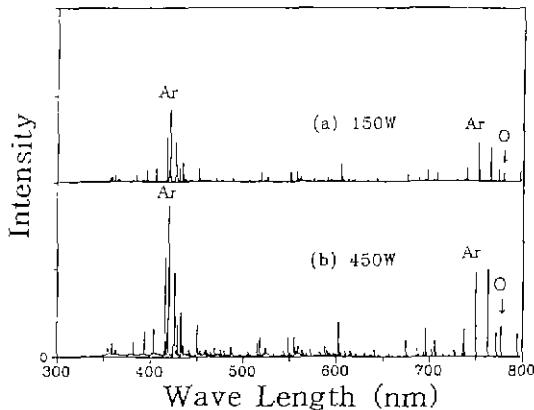


Fig. 3. OES spectra obtained from ECR plasma at the microwave power of (a) 150 W and (b) 450 W (Ar: 3 sccm, O₂: 4 sccm).

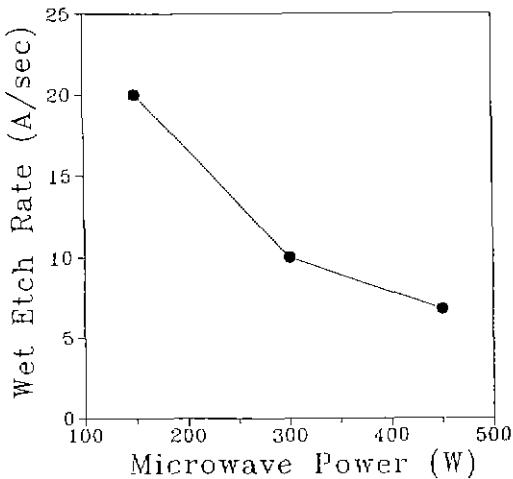


Fig. 4. Wet etch rate of the aluminum oxide film as a function of the microwave power (etching solution: 1% diluted HF).

RF-PECVD법에 의해 100°C에서 증착된 알루미늄 산화막은 153의 낮은 굴절률을 보였으며 습식 에칭 속도가 ECR-PECVD법에 의해 증착된 알루미늄 산화막보다 수십배 큰 400 Å/sec를 나타내었다. 증착된 알루미늄 산화막을 800°C 산소 분위기에서 열처리할 경우 박막내에 불순물로 포함되어 있던 수소나 탄소가 산화 반응으로 제거되어 산화막의 두께가 감소하게 되는데 그 두께감소율이 RF-PECVD 알루미늄 산화막의 경우 25%에 달하는 반면 ECR-PECVD 알루미늄 산화막은 5% 정도의 낮은 두께감소율을 보여주었다. 박막의 굴절율은 박막의

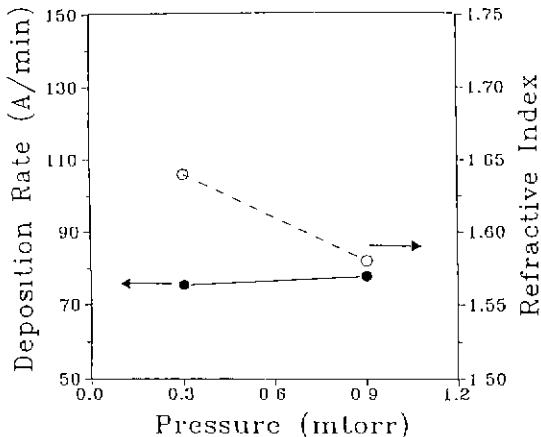


Fig. 5. Effect of the pressure on the deposition rate and the refractive index of the aluminum oxide film (deposition temperature: 95°C, microwave power: 300 W, TMA: 0.5 sccm, O₂: 4 sccm).

밀도, 조성 및 미세 구조에 따라 영향을 받는 값으로 보통 밀도가 커지면 박막의 굴절율은 증가하게 된다¹⁰⁾. 또한 습식 애칭 속도는 박막의 순도, 결정성, 밀도 등에 영향을 받는다. 따라서 ECR-PECVD 알루미늄 산화막이 RF-PECVD 알루미늄 산화막보다 큰 굴절률과 습식 애칭저항성을 보여주는 것은 ECR-PECVD 알루미늄 산화막의 높은 순도와 치밀한 조직때문으로 생각할 수 있다.

Fig. 5은 증착온도 95°C, 마이크로파 출력 300 W, TMA 0.5 sccm, O₂ 4 sccm의 증착 조건에서 main valve의 conductance를 조절하여 증착 압력을 변화시켰을 때의 알루미늄 산화막의 증착속도와 굴절율의 변화를 보여주고 있다. 증착 압력이 0.3 mtorr에서 0.9 mtorr로 증가함에 따라 증착 속도는 75 Å/min에서 78 Å/min으로 약간 증가하였으나 박막의 굴절율은 1.64에서 1.58 정도로 떨어졌다. 입자 기체의 양이 같은 조건에서 챔버의 압력이 증가한다는 것은 반응 기체가 챔버내에 머무르는 시간이 증가함을 의미한다. 그러므로 반응기가 시편 표면에서 반응 할 확률이 높아져 증착 속도는 증가할 수 있다 반면 압력이 증가하면 ECR 플라즈마의 온도(특히 전자의 에너지)가 떨어져 특정 반응기의 분해가 불충분하게 일어나서 박막물성의 저하를 가져올 수 있다. Fig. 5의 결과는 이런 두 가지 효과가 복합적으로 작용해 생긴 것으로 생각할 수 있다. 4×4 cm² wafer 안에서의 알루미늄 산화막의 두께 불균일성이 0.3 mtorr로 증착했을 경우는 2~3 %인데 반해 0.9 mtorr의 경우는 7~8%로 증가되는 현상을 가져왔다. 또한 증착 압력이 0.3 mtorr에서 0.9

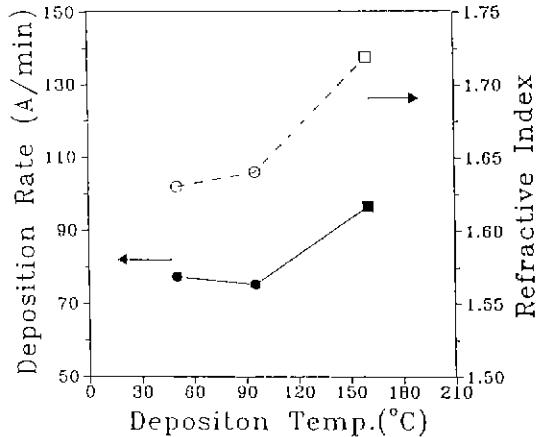


Fig. 6. Effect of the deposition temperature on the deposition rate and the refractive index of the aluminum oxide film (microwave powder: 450 W, TMA: 0.5 sccm, O₂: 4 sccm).

mtorr로 증가함에 따라 박막의 습식 애칭 속도가 13 Å/min에서 200 Å/min로 크게 증가하였다. 따라서 증착 압력의 증가는 플라즈마 에너지의 감소를 초래하여 박막의 물성을 크게 저하시킬 수 있다.

Fig. 6은 마이크로파 출력 450 W, TMA 0.5 sccm, O₂ 4 sccm, 증착 압력 0.3 mtorr의 조건에서 증착온도를 55 °C에서 160°C로 증가시킬 때의 증착 양상의 변화이다. 증착온도가 55°C에서 95°C로 증가함에 따라 증착 속도는 약간 감소하고 박막의 굴절율은 약간 증가하였다. 이는 증착 온도가 증가함에 따라 모체 위에서의 반응기들의 이동도가 증가하고 산화반응이 활발해지며 불순물 함유량이 감소함에 따른 막질의 향상 때문으로 생각된다. 증착온도가 95°C에서 160°C로 증가함에 따라 알루미늄 산화막의 굴절율이 1.72의 비정상적인 큰 값을 보였으며 증착속도도 크게 증가하는 양상을 보였다. 알루미늄 source인 TMA의 공급량에 비하여 산소 source의 공급량이 부족할 경우 TMA와의 충분한 산화 반응이 일어나지 못하여 알루미늄 산화막의 굴절율이 비정상적으로 증가하는 현상은 RF-PECVD의 경우에도 나타났다. 반응 기체 입력비 N₂O/TMA 변화에 따른 RF-PECVD 알루미늄 산화막의 굴절율 변화를 Fig. 7에 나타내었는데 N₂O/TMA비가 1일 때 증착된 알루미늄 산화막이 1.76 정도의 비정상적인 큰 굴절율을 보여주고 있다. 박막내에 금속 및 탄소 불순물이 많이 함유되면 박막의 굴절율이 비정상적으로 큰 값을 보이게 되는데¹¹⁾, 비정상적으로 큰 굴절율을 나타낸 알루미늄 산화막을 AES로 분석한 결과

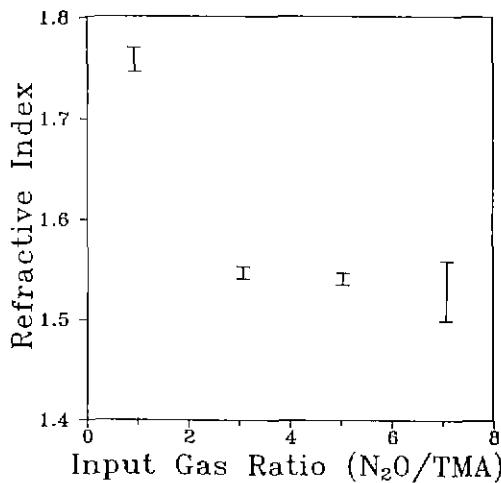


Fig. 7. The refractive index of the aluminum oxide film deposed by RF-PECVD as a function of the input gas ratio (N₂O/TMA).

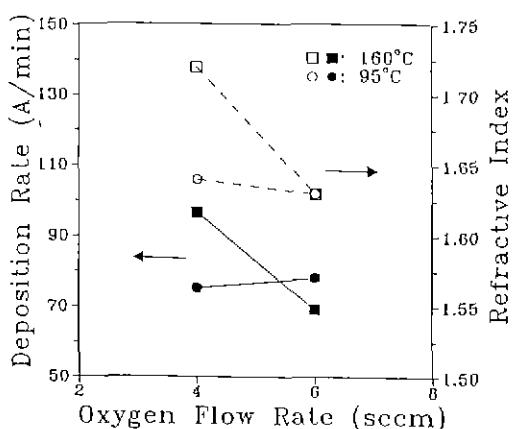


Fig. 8. Effect of the O₂ flow rate on the deposition rate and the refractive index of the aluminum oxide film (microwave power: 450 W, TMA: 0.5 sccm).

박막내에 20% 이상의 많은 탄소가 함유되어 AlCO 형태의 결합이 박막내에 많이 존재하고 있음을 알 수 있었다. 이는 TMA 반응기와 산소와의 반응이 충분히 일어나지 못해 탄소(또는 methyl기)가 박막내에 많이 함유되었기 때문이라고 생각된다.

산화 반응을 촉진시키기 위하여 증착온도 95°C 및 160°C에서 산소의 유량을 4 sccm에서 6 sccm으로 늘려 O₂/TMA비를 8에서 12로 증가시켜 보았는데 그 결과가 Fig. 8에 나타나 있다. 95°C의 경우는 박막의 굴절률과 증착 속도가 거의 변화하지 않았으나 160°C의 경우는 박막의

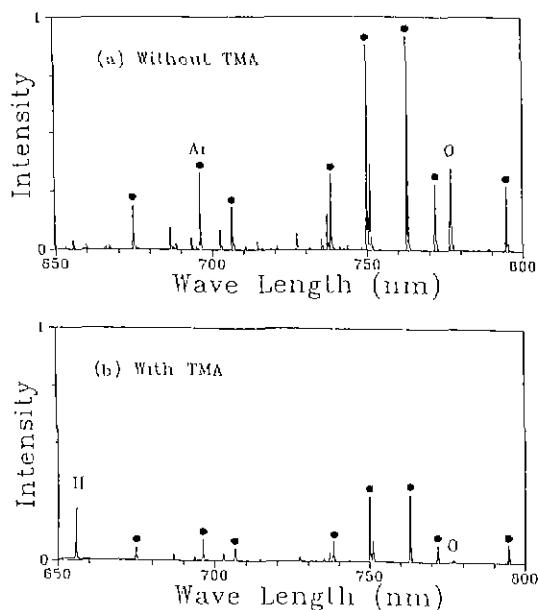
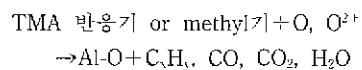


Fig. 9. OES spectra obtained from the ECR plasma: (a) AR (3 sccm)+O₂ (4 sccm) (b) TMA (0.5 sccm)+Ar (3 sccm)+O₂ (4 sccm).

증착 속도와 굴절률이 크게 감소되어 안정된 증착 양상을 보였다. 이는 95°C에서 알루미늄 산화막을 증착할 경우는 산소 유량 4 sccm만으로도 TMA와의 산화 반응에 충분한 양의 산소가 공급되나 160°C로 증착온도가 증가할 경우는 산화막 형성에 필요한 산소가 부족해짐을 의미한다. 즉 증착온도가 증가함에 따라 증착에 필요한 산소 요구량이 증가하고 있음을 알 수 있다. 플라즈마 분위기 하에서 모재 표면에서의 알루미늄 산화막의 형성 반응을 다음과 같이 나타낼 수 있다.



즉 플라즈마에 의해 분해된 TMA 반응기와 O₂, O₂⁺ 등의 산소 반응기가 모재 표면에 흡착한 후 산화 반응이 일어나 Al-O결합이 생기고 C₂H₂, CO, CO₂, H₂O 등의 부산물들이 탈착되는 과정으로 설명될 수 있다. 모재의 온도가 증가할 수록 모재로부터 열에너지를 전달받아 Al과 산소의 반응도 촉진되겠지만 TMA 반응기 내의 탄소 또는 표면에 흡착된 methyl기와 산소가 반응할 가능성 또한 증가할 것이다. 따라서 온도 증가에 따라 산소의 소모량이 증가하여 알루미늄 산화막 증착에 참여하는 산소가 부족하게 됨으로써 안정된 증착에 필요로 하는 산소의 양이 증가하게 되는 것으로 생각된다.

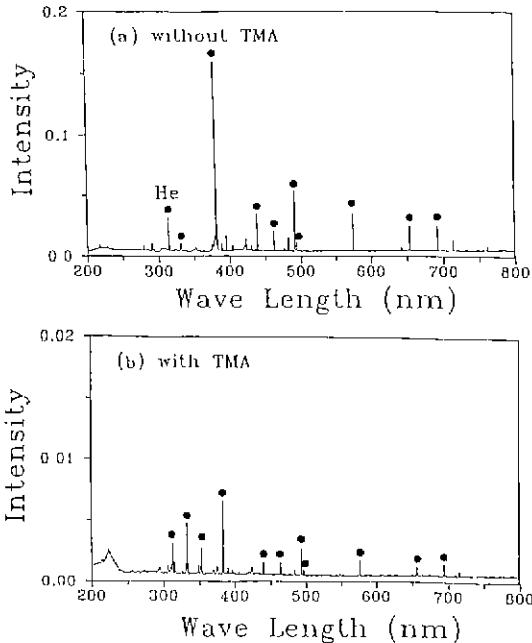


Fig. 10. OES spectra obtained from RF plasma: (a) He (90 sccm) (b) TMA (1 sccm)+He (90 sccm).

Fig. 9는 마이크로파 출력 450 W의 ECR 플라즈마에서 얻은 OES 스펙트럼이다. Fig. 9(a)는 TMA없이 Ar 3 sccm과 O₂ 4 sccm만으로 얻은 OES 스펙트럼이고 (b)는 TMA를 0.5 sccm(전체 입력 가스의 7%), Ar 3 sccm, O₂ 4 sccm으로부터 얻은 것이다. Fig. 10은 RF 플라즈마에서 얻은 OES 스펙트럼인데 이중 Fig. 10(a)는 TMA없이 He 90 sccm만으로 얻은 OES spectrum^{a)}고 (b)는 TMA를 1 sccm(전체 입력 가스의 1.1%)와 He 90 sccm으로부터 얻은 것이다. RF 플라즈마의 경우 TMA가 참가되면 전체 peak의 강도가 1/20 정도로 감소하는 심한 플라즈마 냉각 효과가 발생하는데 이는 0.3 eV의 낮은 분해 에너지를 가지고 있는 TMA가 전자의 에너지 분포를 낮추기 때문이다. 그러나 ECR 플라즈마의 경우는 TMA가 훌러들어가도 peak의 강도가 반정도밖에 감소하지 않은 것으로 보아 TMA에 의한 냉각 효과는 심하지 않은 것을 알 수 있다. 이는 ECR 플라즈마가 RF 플라즈마보다 고밀도 고에너지의 플라즈마이고 또한 플라즈마 형성 압력이 RF 플라즈마에 비해 수백배 낮으므로 비탄성 충돌에 의한 에너지 손실이 작기 때문이다. TMA가 훌러 들어갈 경우 산소 peak의 강도가 크게 감소하고 있는데 이는 TMA와 산소가 서로 반응하여 소모될 뿐 아니라 플라즈마 냉각에 의한 영향을 산소가 많이 빌았기 때문이라 생각된다. RF 플라즈마의 경우는 수소 peak을

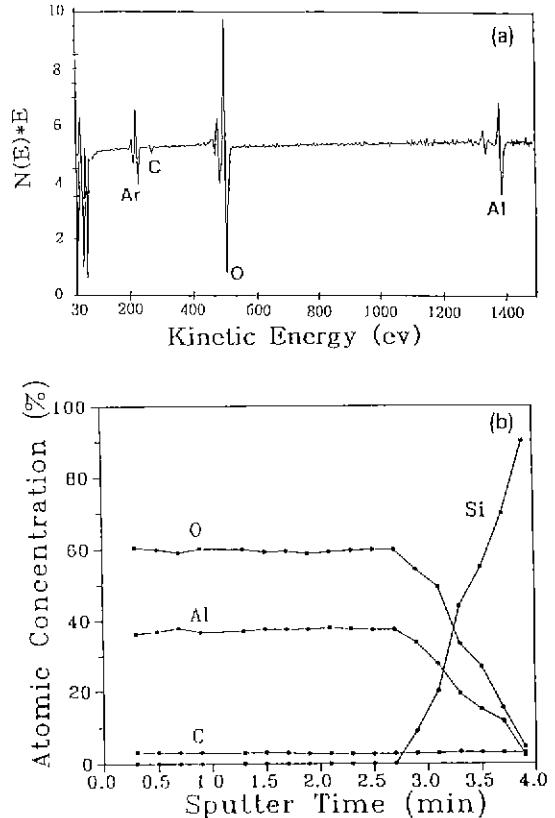


Fig. 11. (a) AES spectrum of the aluminum oxide film (deposition temperature: 95°C, microwave power: 450 W, TMA: 0.5 sccm, O₂: 6 sccm, pressure: 0.45 mtorr).
(b) AES depth profile of the aluminum oxide film (deposition temperature: 95°C, microwave power: 450 W, TMA: 0.5 sccm, O₂: 6 sccm).

관찰할 수 없는데 ECR 플라즈마에서는 655.8 nm 부근에서 methyl기가 분해되어 생길 것으로 생각되는 수소 peak이 크게 관찰되고 있다. 이는 RF 플라즈마에 비해 ECR 플라즈마에서 TMA가 좀 더 효율적으로 분해되어 많은 TMA 반응기들이 생성되고 있다는 것을 보여준다.

XRD로 구조 분석한 결과 증착된 알루미늄 산화막은 모든 증착 조건하에서 비정질 구조를 지니고 있었다. Fig. 11(a)는 증착온도 95°C, 마이크로파 출력 450 W, TMA 0.5 sccm, O₂ 6 sccm, 증착 압력 0.45 mtorr의 조건에서 증착된 시편을 0.3분 스퍼터링한 후의 AES 스펙트럼이다. 1380 eV KLL 알루미늄 Auger peak과 503 eV KLL 산소 Auger peak이 관찰되고 있다. 스퍼터링시 밖막내에 포함된 Ar peak도 관찰되고 있으며 불순물로 3% 이하의

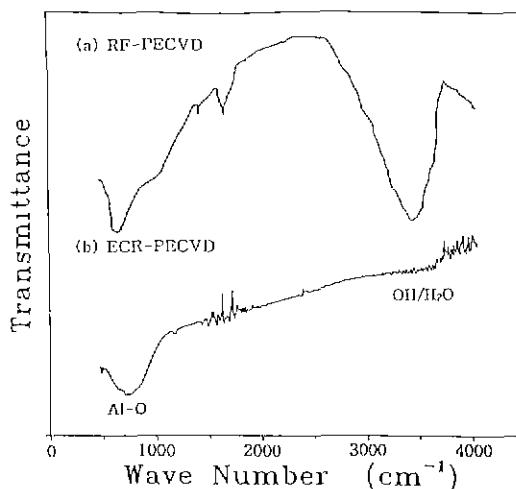


Fig. 12. FTIR spectra of the aluminum oxide film prepared by (a) RF-PECVD and (b) ECR-PECVD.

탄소가 함유되어 있음을 알 수 있다. 단결정 α -알루미나를 표준 시편으로 조성분석결과 증착 박막의 O/Al의 비가 1.6~1.7 정도의 값을 가지고 있었다. 이 시편을 800 °C의 산소 분위기에서 열처리할 경우 O/Al의 비는 1.5가 되었다. Fig. 11(b)는 이 시편의 Auger depth profile을 보여주고 있다. Depth profile 결과를 보면 깊이에 따라 조성이 균일한 안정된 결합 양상을 보이고 있음을 알 수 있다.

알루미늄 산화막내에 수소 또는 탄소를 포함한 functional group의 존재 유무와 결합상태를 조사하기 위하여 FTIR로 분석하였으며 그 결과를 Fig. 12에 나타내었다. Fig. 12(a)는 증착온도 150°C에서 RF-PECVD법에 의해 증착된 알루미늄 산화막의 FTIR스펙트럼이고 (b)는 증착온도 95°C에서 ECR-PECVD법으로 증착된 알루미늄 산화막의 스펙트럼이다. RF-PECVD법을 이용해 증착된 알루미늄 산화막의 경우 590~1200 cm⁻¹과 2600~3800 cm⁻¹의 부근에서 광범위한 흡수 peak이 관찰되고 있고 1500~1700 cm⁻¹ 부근에서도 peak이 관찰되고 있다. 590~1200 cm⁻¹의 peak은 Al-O stretching mode와 O-Al-O bending mode에 의한 peak이 중첩되어 생긴것이고 1500~1700 cm⁻¹ 부근의 peak은 C-O stretching에 의한 흡수 peak이다. 2600~3800 cm⁻¹의 peak은 O-H stretching mode에 의한 peak이다. O-H stretching mode에 의한 peak을 Beer-Lambert's Law에 의해 정량분석하면 RF-PECVD법에 의한 알루미늄 산화막은 OH기 형태의 수소가 박막내에 30% 정도 함유되어 있음을 알 수 있다. 그러므로 RF-PECVD법으로 150°C의 증착온도에서 알

루미늄 산화막을 증착할 경우 박막내에 CO 형태의 탄소와 OH기 형태의 수소가 불순물로 다량 함유되어 있음을 알 수 있다. 그러나 ECR-PECVD법에 의해 증착된 알루미늄 산화막의 경우 95°C의 낮은 증착 온도에서도 590~1200 cm⁻¹ 부근의 Al-O 결합에 의한 peak 이외는 다른 peak이 관찰되고 있지 않아 박막내에 CO 형태의 탄소나 OH기 형태의 수소가 불순물로 거의 함유되어 있지 않음을 알 수 있다.

ECR-PECVD법으로 알루미늄 산화막을 증착할 경우 같은 증착온도에서 RF-PECVD법에 의한 알루미늄 산화막보다 큰 굴절율과 강한 습식 에칭 저항성을 지닌 치밀한 알루미늄 산화막을 얻을 수 있었다. 또한 RF-PECVD 알루미늄 산화막은 박막내에 다양한 탄소와 수소가 불순물로 함유되어 있었으나 ECR-PECVD 알루미늄 산화막에는 이러한 불순물이 거의 함유되어 있지 않았다. 이는 ECR-PECVD법이 RF-PECVD법에 비해 수백배 이하의 저압에서 고밀도 고에너지 플라즈마에 의해 반응기를 효율적으로 분해시켜 증착이 행하여지기 때문이다. 따라서 ECR-PECVD법이 RF-PECVD법에 비해 훨씬 저온에서 양질의 박막을 증착시킬 수 있는 효과적인 방법임을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

TMA와 O₂를 반응 기체로 하여 200°C 이하의 저온에서 ECR-PECVD법을 이용하여 알루미늄 산화막을 증착하였다. 증착온도가 증가함에 따라 안정된 증착을 이루는데 필요한 O₂/TMA비가 증가하였으며 증착 압력의 증가는 박막 물성의 저하를 가져왔다. 증착된 박막은 비정질 구조를 지니고 있었다 O/Al의 비가 1.6~1.7 정도이며 소량의 탄소를 불순물로 함유하고 있다. ECR-PECVD법을 사용할 경우 RF-PECVD법에 비하여 높은 굴절율, 낮은 불순물 함유량 및 강한 습식 에칭 저항성을 지닌 치밀한 알루미늄 산화막을 얻을 수 있다.

감사의 글

본 연구는 RETCAM을 통한 과학재단의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. T. Ito and Y. Sakai, "The GaAs Inversion-Type MIS Transistor," *Solid State Electronics*, 17(7), 751-759

- (1974).
2. T. kobayashi, M. Okamura, E. Yamaguchi, Y. Shindoda and Y. Hirato, "Effect of Pyrolytic Al₂O₃ Deposition Temperature on Inversion-Mode InP Metal-Insulator-semiconductor Field Effect Transistor," *J Appl Phys.*, **52**(10), 6434-6436 (1981).
 3. T. Tsujide, S. Nakamura and Y. Ikushima, "Properties of Aluminum Oxide Obtained by Hydrolysis of AlCl₃," *J Electrochem. Soc.*, **117**(5), 703-708 (1970).
 4. T. Ohta, T. Kanayama, H. Tanoue, and M. Komuro, "Focused Ion Beam Lithography Using Al₂O₃ as a Resist for Fabrication of X-ray Masks," *J. Vac. Sci Technol. B*, **7**(1), 89-92 (1989).
 5. C. Nylander, M. Argarth and O. Svensson, "Hydrogen Induced Drift in Palladium Gate Metal-Oxide-Semiconductor Structures," *J. Appl. Phys.*, **56**(4), 1177-1188 (1984).
 6. S.M. Arnold and B.E. Cole, "Ion Beam Sputter Deposition of Low Loss Al₂O₃ Films for Integrated Optics," *Thin Solid Films*, **165**(1), 1-9 (1988).
 7. C.J. Kang, J.S. Chun and W.J. Lee, "Properties of Aluminum Oxide Films Prepared by Plasma-Enhanced Metal-Organic Chemical Vapor Deposition," *Thin Solid Films*, **189**(1), 161-173 (1990).
 8. Y.C. Kim, J.S. Chun and W.J. Lee, "Compositional and Structural Analysis of Aluminum Oxide Films Prepared by Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition," *Thin Solid Films*, **237**, 57-65 (1993).
 9. W. Kern and D. A. Puotinen, "Cleaning Solutions Based on Hydrogen Peroxide for Use in Silicon Semiconductor Technology," *RCA Review*, 187-206 (1970).
 10. A. Czapla and E. Kusior, "Gradient-Index Optical Filter from Non-Stoichiometric Aluminum Oxide Films," *Thin Solid Films*, **214**(1), 1-3 (1992).
 11. Y. Zhiqiang and G.L. Harding, "Optical Properties of D.C. Reactively Sputtered Thin Films," *Thin Solid Films*, **120**(2), 81-108 (1984).