

ECR CVD 방법에 의해 증착된 저유전율 SiOF 박막특성

Properties of Low Dielectric Constant SiOF Films Formed by ECR CVD

장원익*, 강승열, 백종태, 유형준
한국전자통신연구소 반도체연구단

Won Ick Jang*, Seung Youl Kang, Jong Tae Baek, and Hyung Joun Yoo
Semiconductor Division, Electronics and Telecommunications Research Institute, Yusong P. O. Box 106, Taejeon 305-600

ABSTRACT

Low dielectric constant fluorinated oxide (SiOF) films were deposited using $\text{SiF}_4/\text{O}_2/\text{SiH}_4$ mixtures by electron cyclotron resonance chemical vapor deposition (ECR CVD). Chemical composition of SiOF films was investigated by Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR). The fluorine content in the SiOF film observed by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). The dielectric constant decreased with increasing of the SiF_4 flow rate about 8sccm. The SiOF film, deposited with $\text{SiF}_4=8$ sccm, exhibited a F content of 5 atomic % and a relative dielectric constant 3.45. For evaluating SiOF films stability, humidity tests were performed.

1. 서론

0.18 μm 급 이상의 차세대 반도체 개발에 있어서 소자의 동작속도 향상과 신뢰성 확보 측면에서 금속배선과 증간절연막에 대한 연구는 가장 중요한 기술로 인식되고 있다. 특히 소자의 고속화에 대한 척도인 RC time delay를 줄이기 위해서는 금속배선의 저항 뿐만 아니라 증간절연막의 유전상수를 낮추는 것이 매우 중요하다[1,2]. 본 연구는 차세대 반도체 소자에 적용할 수 있는 핵심 단위공정기술 중 다중 배선기술의 증간절연막으로 유망한 저유전율 SiOF(Fluorinated Silicon Oxide) 박막에 관한 것이다. 즉 Ar을 캐리어 가스로 하고 $\text{SiF}_4/\text{O}_2/\text{SiH}_4$ 를 공정가스에 의한 고밀도 플라즈마를 이용하여 저유전율 SiOF 박막을 ECR CVD 방법으로 증착하고 Ellipsometer, FTIR, XPS, C-V 등을 이용하여 박막의 기초물성을 분석하였다.

2. 실험장치

본 연구에서 사용된 ECR CVD 장치의 개념도는 Fig.1과 같으며, 마이크로웨이브 공급장치, 자기장 형성 코일, 냉각장치, 플라즈마 발생실, 반응실, 가스공급 및 진공배기계로 구성되어 있다. 2.45 GHz 주파수의 마이크로웨이브는 Daihen사의 마그네론(ECR source, 1.5 KW power)에서 발생되어 impedance matching network에 의해 도파관(wave guide)을 통하여 플라즈마 발생실로 공급된다. 플라즈마 발생실의 입구에는 마이크로웨이브를 흡수하

지 않고 잘 통과시키는 석영창(quartz window)이 있다. 아르곤 등과 같은 플라즈마 가스, 화학적으로 안정한 반응가스 및 폭발성이 있는 반응가스의 분리공급을 위한 상부 가스공급구(upper gas ring)가 있다. 플라즈마 발생실 주위를 둘러싸고 있는 자기장 형성 코일은 전자가 자기장을 중심으로 회전운동하는 주기와 공진을 일으킬 수 있는 조건으로 875 Gauss의 균일한 자속밀도로 자체를 형성시킨다. 이때 에너지를 공급받은 전자가 반응실의 원주방향에서 하부 가스공급구(lower gas ring)로 주입된 증착가스들을 이온화시켜 고압위 박막을 증착할 수 있다.

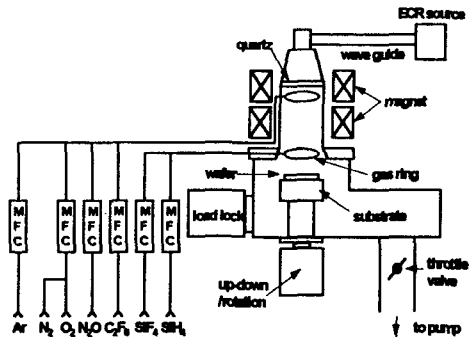


Fig.1 Configuration of an ECR CVD system.

한편 웨이퍼가 놓여 있는 기판 위에 도달하는 이온에너지를 조절하기 위하여 기판에 RF bias (ENI 사)를 인가하여 플라즈마와 기판간의 전압차인 sheath potential 조절에 의해 이온을 가속시키도록 되어 있다.

3. 고찰 및 토론

SiOF박막의 증착은 공정압력 5mtorr, 증착온도 300°C, microwave power 1000W(2.45GHz)에서 수행하였다. 이때 기판의 위치는 마그네트 하단에서 127mm이고, ECR layer를 형성하기 위하여 상하 마그네트의 전류는 90A/90A로 인가하였다. 이때 Ar

은 80sccm, SiH₄는 10sccm, O₂는 40sccm으로 고정하고, SiF₄는 0에서 8sccm으로 변화시켰다.

SiOF 박막 증착중의 플라즈마 상태를 조사하기 위해 optical emission spectra를 OMA-III (EG & G사)로 관찰하였다.

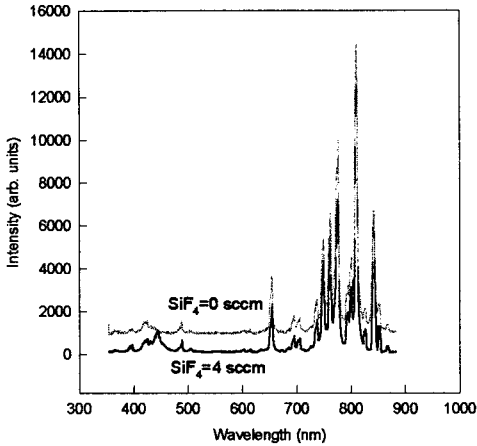


Fig.2 Intensity profile as a function of wavelength in the cases of SiF₄=0, 4 sccm.

600nm-900nm의 peak들은 F, Ar과 O₂에 의한 emission spectra 이고, 450nm 근처에서 나타나는 상대적으로 폭이 넓은 peak는 플라즈마 상태에서 분해된 SiF radical에 의한 peak로 알려져 있다. SiF₄의 분해에서 나타나는 SiF₂, SiF₃등의 emission peak들은 300nm 이하의 영역에서 나타나고 있다[3]. 위 spectra에서 SiF peak (450nm)의 intensity는 증착율에 비례하는 것으로 확인되었다. 즉, F의 공급원으로 작용하는 SiF₄의 radical 중에서 실제 증착반응에 직접 관여하는 것은 SiF임을 알 수 있다.

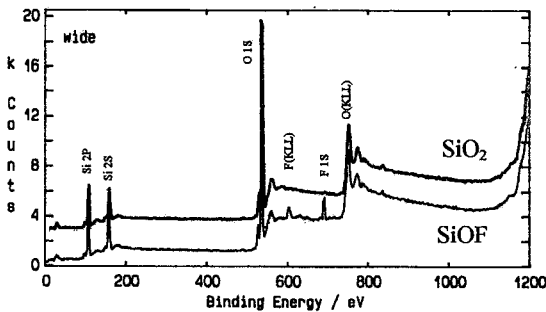


Fig.3 Comparison of the XPS spectra between SiO₂ and SiOF films deposited by ECR CVD.

Fig.3은 ECR CVD방법으로 증착한 SiO₂와 SiOF박막

의 XPS spectra를 나타내고 있다. SiOF 박막은 690eV에서 Si-F에 대응하는 F 1s peak가 나타났으며, 이로부터 SiF₄가 8sccm일때 F의 함량이 5 atomic % 정도의 SiOF 박막이 형성됨을 알 수 있다.

Fig.4는 SiO₂와 SiOF박막의 FT-IR absorption spectra를 나타내었다. 850cm⁻¹는 Si-O-Si bending, 940 cm⁻¹는 Si-F stretching, 1100 cm⁻¹에서 나타나는 peak는 Si-O-Si stretching peak이다. 925 cm⁻¹ 근처에서 약하게 보이는 peak는 증착 후 대기중에 노출되었을 경우 습기를 흡수하여 나타나는 Si-OH stretching peak 이다[4].

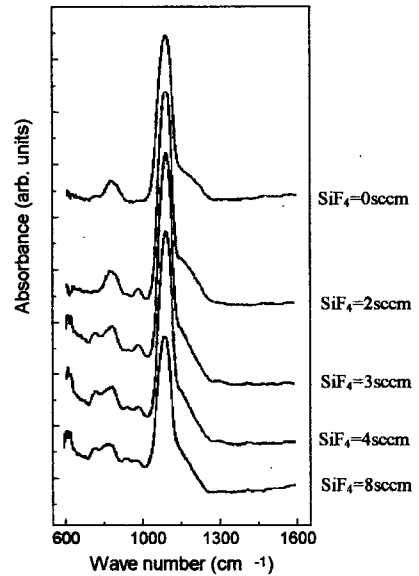


Fig.4 The typical FT-IR absorption spectra for the SiO₂ and SiOF films.

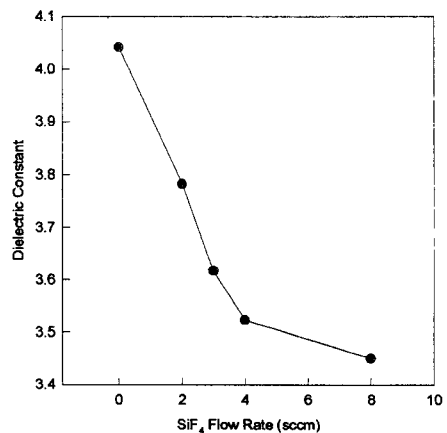


Fig.5 Dielectric constant as a function of SiF₄ flow rate.

Fig.5는, SiF₄의 유량에 따른 유전상수의 변화를 나타내고 있다. SiF₄의 유량이 증가할수록 유전상수가 감소함을 알 수 있고, SiF₄가 8sccm 인 경우 SiOF 박막의 F 함량이 5 atomic % 이고 유전상수가 3.45로 나타났다.

SiOF 박막은 일반적으로 불소결합의 불안정성과 공기중의 습기를 흡수하는 성질을 가진다고 보고되고[5] 있어 흡습성 시험을 수행하였다. Fig.6은 흡습성 시험 후의 FT-IR absorption spectra를 나타내고 있는데, 각각의 조건은 a) 대기중에 25일 놓아둔 경우, b) 온도 100°C에서 1시간 boiling test를 한 경우, c) 온도 85°C, 습도 85%에서 100시간 humidity test를 한 경우이다.

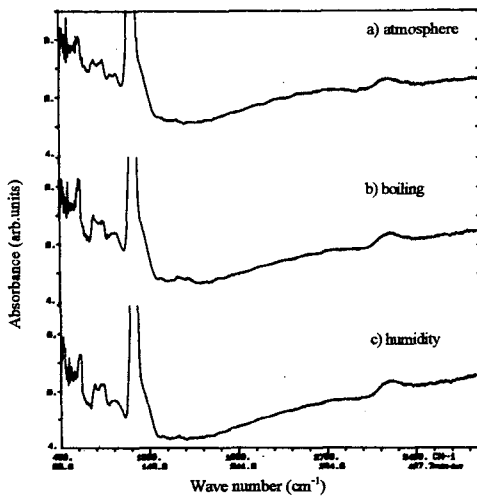


Fig.6 The FT-IR absorption spectra for atmosphere, boiling and humidity tests of SiOF films.

위의 FTIR spectra에서 3250 cm⁻¹의 넓은 peak는 증착 후의 과정에서 흡수한 습기에 의한 SiO-H stretching peak인 것으로 알려져 있다. peak의 폭이 다른 peak에 비해 넓게 나타나는 것은 박막 중의 수소가 주변 원소들과의 결합거리가 넓게 분포되어 있고 수소결합으로 연결되어 있기 때문이다[6,7]. 그럼에서 알 수 있듯이 대기중의 경우 보다 boiling 실험과 humidity 실험에서 상대적으로 intensity가 큰 SiO-H peak를 볼 수 있다. 또한 이 peak가 증가함에 따라 925 cm⁻¹의 Si-OH peak도 증가하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 차세대 반도체 소자에 적용할 수 있는 다층 배선기술의 중간절연막으로 유망한 저유전을 SiOF 박막을 ECR CVD방법으로 증착하고 기초물성에 대하여 분석하였다. 증착조건은 공정압력

5mtorr, 증착온도 300°C, microwave power 1000W(2.45GHz)에서 수행하였으며, 이때 Ar은 80sccm, SiH₄는 10sccm, O₂는 40sccm, SiF₄는 0에서 8sccm으로 변화시켰다. SiF₄의 유량이 8sccm일때 XPS 결과에 의하면 SiOF 박막의 F 함량은 5 atomic %이고, 유전상수는 3.45를 나타내었다. 또한 증착된 SiOF 박막은 불소결합의 불안정성과 공기중에서 습기를 흡수하는 성질이 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부, 통상산업부, 과학기술처에서 공동으로 실시한 차세대 반도체 선행기초기술연구 사업의 일환으로 수행되었으며, 시편제작 및 분석에 많은 도움을 주신 ETRI의 서경수박사님, 김종수님, 청주대의 김광호교수님께 감사드립니다.

참고 문헌

1. B. G. Yu et al., Jpn. J. Appl. Pys., Vol.35, Part 2, No. 6B, pp.L745-L747, June 1996.
2. S. M. Lee et al., Jpn. J. Appl. Pys., Vol.35, Part 1, No. 2B, pp.1579-1582, Feb. 1996.
3. V. M. Donnelly and D. L. Flamm, J. Appl. Pys., 51(10), pp.5273-5276, 1980.
4. S. Y. Kang et al., Ext. Abst. of ICVC, pp.255-258, 1995.
5. T. Fukada and T. Akahori, Ext. Abst. of ISSDM, pp.158-160, 1993.
6. J. A. Theil, D. V. Tsu, M. W. Watkins, S. S. Kim, and G. Lucovsky, J. Vac. Sci. Technol. A8(3), pp1374- 1381, 1990.
7. Wen-Shiang Liao and Si-Chen Lee, J. Appl. Pys., 80(2), pp.1171-1176, 1996.