

Pulsed ECR PECVD를 이용한 SiO_x 박막의 성장 및 특성분석

이주현 · 정일채 · 채상훈 · 서영준 · 이영백*

선문대학교 재료금속공학부

*선문대학교 신소재학과

Growth and Characterization of SiO_x by Pulsed ECR Plasma

Ju-Hyeon Lee, Il-Chae Jung, Sang-Hoon Chae, Young-Jun Seo and YoungPak Lee*

Dept. of Materials Engineering, Sunmoon University, Asan, Choongnam 336-840

*Dept. of Physics and advanced material science, Sunmoon University, Asan, Choongnam 336-840

(1999년 4월 13일 받음, 2000년 2월 7일 최종수정본 받음)

초 록 일반적으로 TFT(thin film transistor)의 유전체막으로 실리콘 질화막(Si₃N₄)이나 실리콘 산화막(SiO₂)을 200-300℃의 온도에서 증착을 하게되는데 본 연구에서는 비정질 실리콘과 유전체막사이의 계면 특성 특히 계면의 거칠기를 향상시키기 위해서 기존의 증착법이 아니라 비정질 실리콘(a-Si:H)과 산소 ECR 플라즈마의 반응에 의한 산화막의 성장법을 시도했는데, 이 때 기판은 의도적으로 가열하지 않았으며 특히 본 연구에서는 기존의 시도와는 달리 ECR 플라즈마를 형성할 때 마이크로파 전력에 pulse를 가하는 방법을 최초로 시도했고, 계면에 불순물의 혼입을 최대한으로 줄이기 위해서 진공을 파괴하지 않은 상태로 산화막을 연속적으로 성장시키는 방법을 이용했다.

Pulse를 가했을 경우에는 pulse를 가하지 않은 경우에 비해서 화학양론적 측면, 유전상수, 산화막의 표면 평탄도 등에서 우수한 산화막이 성장했으며, 특히 비정질 실리콘과 유전체막사이의 계면 특성을 반영하는 산화막의 표면 평탄도가 1/3정도로 획기적으로 줄어들었다.

Abstract Dielectric thin films for TFT(thin film transistor)s, such as silicon nitride(Si₃N₄) and silicon oxide(SiO₂), are usually deposited at 200-300℃. In this study, authors have tried to form dielectric films not by deposition but by oxidation with ECR(Electron Cyclotron Resonance) oxygen plasma, to improve the interface properties between the dielectric films and semiconductor films(hydrogenated amorphous silicon(a-Si:H)). The substrate was not intentionally heated during oxidation. The oxidation was performed consecutively without breaking vacuum after the deposition of a-Si:H films on the substrate to prevent the introduction of impurities. In this study, especially pulse mode of microwave power has been firstly tried during ECR oxygen plasma formation. Compared with the case of the continuous wave mode, the oxidation with the pulsed ECR results in higher quality silicon oxide(SiO_x) films in terms of stoichiometry of bonding, dielectric constants and surface roughness. Especially the surface roughness of the pulsed ECR oxide films dramatically decreased to one-third of that of the continuous wave mode cases.

Key words : Pulsed-ECR Oxygen Plasma, Oxidation, Silicon Oxide, Surface roughness

1. 서 론

최근에 a-Si:H는 350℃ 이하의 저온에서 증착이 가능하므로 고가의 석영기판 대신에 비교적 저가의 유리를 기판으로 이용할 수 있기 때문에 저가격화의 측면에서 액정표시장치(LCD: Liquid Crystal Display)용 박막트랜지스터(TFT: Thin Film Transistor)의 반도체 박막으로 많이 이용된다. 이러한 a-Si:H TFT의 제조과정에서 a-Si:H막과 게이트 유전체막 사이의 계면특성에 따라서 TFT의 특성이 좌우되는데 특히 전계효과이동도와 문턱전압의 크기 및 안정성 등에 영향을 미치는 계면준위를 줄이는 것이 매우 중요하다.¹⁾

지금까지는 a-Si:H TFT를 제조할 때 게이트 유전체막은 400℃ 이하의 저온에서 공정이 가능하다는 이유 때문에

PECVD(Plasma Enhanced Chemical Deposition)법에 의해서 증착된 박막을 이용했다. 그러나 이렇게 증착시키는 경우 계면이 거칠기 때문에 계면준위 밀도가 높은 것으로 알려져 있다.

산화막의 성장에는 증착법과 성장법이 있는데 이러한 증착법과 성장법의 가장 큰 차이는 증착법을 이용하면 반도체와 절연체 사이의 계면에 계면준위가 많이 생기는데 비해서 성장법을 이용하면 계면에서 반도체의 일부가 화학반응으로 소모되기 때문에 계면자체에 있던 불순물 등이 성장하는 절연체막의 내부로 들어가므로 좋은 특성의 계면을 얻을 수 있게 된다. 그래서 지금까지 열산화법이 제일 좋은 특성을 갖는 실리콘 산화막의 형성법으로 알려져 있다.

본 연구에서는 단결정 실리콘을 이용한 트랜지스터의 게이트 산화막을 형성하는 일반적인 방법인 950℃ 이상의 고

은 열산화법과 유사한 메커니즘을 이용하지만 의도적으로 기판을 가열하지 않고, 상온에서 산화막을 증착이 아니라 성장시키는 방법을 시도했다. 특히 종래의 RF PECVD 법과는 달리 증착의 전과 후에 가열이나 냉각을 하지 않고 상온에서 산화막을 성장시키기 위해서 본 연구에서는 마이크로파를 공급하는 전력에 펄스를 가한 Pulsed ECR (Electron Cyclotron Resonance) PECVD를 이용했다. FTIR (Fourier Transform Infrared), Ellipsometer, AFM (Atomic Force Microscope) 등을 이용해서 이렇게 형성된 실리콘 산화막의 특성이 분석되었으며 특히 a-Si:H막과 산화막사이의 계면 거칠기를 반영하는 산화막의 표면 거칠기가 중점적으로 관찰되었다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 a-Si:H박막을 증착시키고 실리콘 산화막을 성장시키기 위해서 본 실험실에서 제작된 ECR PECVD장비를 이용했다. 그림 1은 본 연구에 이용된 실험 장치의 개략도를 나타내고 있는데 증착실은 turbomolecular pump로 연결되어 있어서 초기진공을 약 10⁻⁷ torr 정도의 고진공으로 얻을 수 있으며 형성된 막에 가해지는 플라즈마에 의한 손상을 줄이기 위해서 플라즈마실과 증착실로 나누어져 있다. 표 1은 본 실험의 조건을 보여주고 있는데 막을 형성하기 전에 turbomolecular pump를 이용해서 초기진공이 2×10⁻⁶ torr정도가 되게하고 마이크로파 전력을 사각의 waveguide와 석영창을 통해서 플라즈마실에 공급해준다. 또한 마이크로파 전력은 pulse mode로도 공급될 수 있도록 설계되어 있고 pulse의 주파수는 30kHz 까지 가능하게 되어 있다. 플라즈마실 주위에는 전자석 코일이 감겨져 있고 이것이 ECR 플라즈마를 형성하기 위한 자장을 공급해준다. 자력밀도 (magnetic flux density)가 875 G일 때 ECR조건이 형성된다. a-Si:H박막을 증착할 때는 아르곤가스는 플라즈마실로 주입되고 SiH₄가스는 증착실로 주입된다.²⁻⁵⁾ 또한 실리콘 산화막을 형성할 때에는

Table 1. Deposition Conditions of a-Si:H films and Oxidation Condition of SiO_x films

Item	Condition
Substrate Temperature	RT(No heating)
Microwave frequency	2.45GHz
Magnetic flux density	875G
Substrate position (distance from plasma chamber)	~15cm
Base pressure	~2×10 ⁻⁶ torr
Pulse frequency	27.5kHz
SiH ₄ flow rate	40sccm
Microwave power(for deposition)	300W
Deposition time	40min
Deposition pressure	2×10 ⁻⁴ torr
Flow rate(99.999% pure O ₂)	30~60sccm
Microwave power(for oxidation)	250~400W
Oxidation time	40min
Oxidation pressure	~10 ⁻³ torr

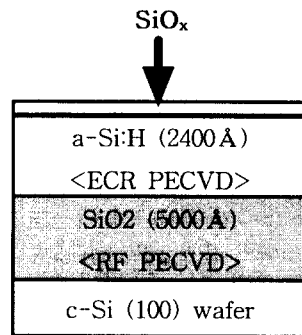


Fig. 2. Schematic cross-section of the sample.

산소가스가 단독으로 플라즈마실에 주입된다. 이 때 chamber의 압력은 5 mtorr정도이다. 플라즈마를 유지하기 위한 전력은 마이크로파 generator로부터 공급되고 여기에는 pulse generator가 부착되어 있다. 여기서 생성된 pulse는 사각파이고 마이크로파의 duty cycle은 50%이다. 산소가스의 유속, 마이크로파 전력, 마이크로파 전력의 공급 mode (연속파 mode 혹은 pulse mode) 등을 변화시키면서 실리콘 산화막을 성장시키는 실험을 했다.

본 실험에서 시편의 구조는 그림 2에, 시편의 준비과정은 그림 3에 각각 나타내었다. 4인치 n-type Si(100) wafer 위에 PECVD로 SiO₂를 5000 Å 두께로 증착한 것을 기판으로 이용했으며, 다음의 두 단계의 wet cleaning을 이용해서 기판을 세정했다. 첫 번째 단계는 DI water, H₂O₂ (30%) 그리고 NH₄OH (29%)를 5:1:1의 체적분율로 혼합한 혼합액을 사용하여 40℃에서 10분 동안 초음파로 세정한 후 증류수로 씻는 것이고, 두 번째 단계는 DI water, H₂O₂ (30%) 그리고 HCl (37%)를 6:1:1의 체적분율로 혼합한 혼합액을 사용하여 70℃에서 5분 동안 초음파로 세정한 후 증류수로 씻는 것이다. a-Si:H박막을 증착

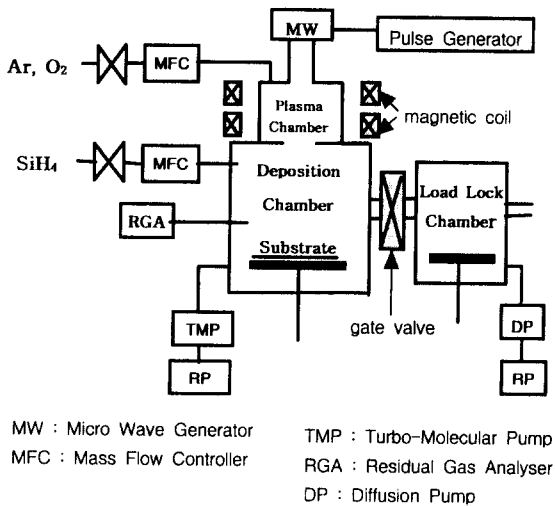


Fig. 1. Schematic Diagram of ECR PECVD system.

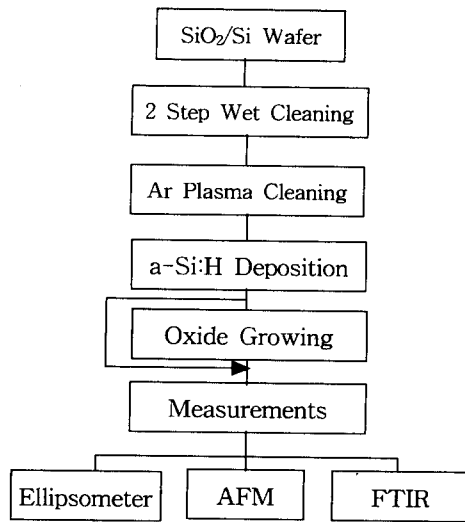


Fig. 3. Experimental procedure for the preparation of a-Si:H films and SiO₂ Films.

하기 전에 각 기판을 ECR chamber에 넣고 초기 진공이 2×10^{-6} torr정도가 되게하고 SiO₂의 표면을 아르곤 플라즈마로 플라즈마 세정을 실시한다. 표면세정 할 때 생기는 입자들을 제거하기 위해서 다시 ECR chamber를 고진공으로 한 다음 ECR 플라즈마 CVD법으로 a-Si:H박막을 증착한다. 이 때 기판은 의도적으로 가열하지 않았다.

a-Si:H박막을 증착한 후에 ECR chamber내에서 진공을 파괴하지 않고 순도가 99.999%인 고순도 산소가스를 플라즈마실에 주입해서 산소플라즈마를 형성하고 이것을 이용해서 실리콘 산화막을 in-situ로 성장시켰다. 이 때도 역시 기판을 의도적으로 가열하지는 않았다. 시편은 27.5kHz의 pulse를 가했을 때와 가하지 않았을 때 그리고 27.5kHz에서 산소량의 변화에 따른 것들이 준비되었다. 그림 3은 이러한 시편의 준비과정을 도식적으로 보여주고 있으며, 그림 2는 이렇게 해서 준비된 시편의 단면구조를 보여주고 있다.

이렇게 해서 a-Si:H박막 위에 실리콘 산화막이 얼어지면 AFM (Park Scientific Instruments)을 이용해서 실리콘 산화막의 표면평탄도를 평가하고 그 기판으로 이용된 a-Si:H막의 표면평탄도와의 연관성을 확인하였다. 또한 ellipsometer (Jobin Yvon)를 이용해서 산화막의 두께와 특성을 평가해보고 FTIR (Shimadzu Corporation)을 이용해서 규소와 산소의 결합상태를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 FTIR 측정결과

FTIR은 실리콘 내의 산소화합물을 분석하는데 매우 유용한 방법으로서 IR 흡수 스펙트럼은 각 결합구조에 대한 독특한 패턴을 제공하는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 실험에 사용된 a-Si:H박막 위에서 실리콘 산화막의 성장이 어떠한 형태로 되어 있는가를 알 수가 있다. 일반적으로 실리콘 산화막(SiO₂)의 FTIR 흡수피크는 박막의 성장조

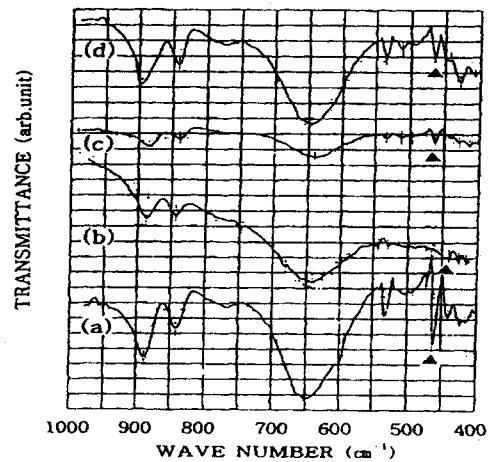


Fig. 4. FTIR spectra of oxides grown by O₂ plasma excited with 27.5 kHz pulsed ECR at O₂ flow rate of (a) 30 sccm, (b) 40 sccm, (c) 50 sccm, and (d) 60 sccm, respectively.

건, 공정의 변수, 산소와 실리콘의 양에 따라서 그 위치나 크기, 모양 등이 변할 수 있으며 박막내부 구성물질의 결합 상태에 따라서 bending mode와 rocking mode 등의 여러 가지 피크를 나타낸다.^{6~7)}

그림 4는 산소가스가 플라즈마실 내로 유입되는 속도를 변화시키면서 성장시킨 실리콘 산화막의 FTIR 흡수 스펙트럼이다. 이 스펙트럼에서는 440cm⁻¹과 465cm⁻¹ 근처에서 흡수 피크가 나타나는데 이 것들은 Si-O₂ rocking (bridging) mode에서 흡수됨으로서 나타난 피크로서, 형성된 실리콘 산화막이 Si-O₂결합으로 된 산화막임을 알 수 있다. 여기서 1080cm⁻¹ 근처에서 일반적으로 많이 관찰되는 bending mode의 흡수피크는 뚜렷하게 관찰되지 않았으며 나머지 피크들은 특정한 결합에 의해서 생긴 것으로 indexing하기가 어렵다. 본 실험에서는 FTIR의 transmittance를 측정했으므로 흡수피크는 아래쪽으로 뾰족하게 나타난다. 위의 그림에서 보는 바와 같이 산소가스가 플라즈마실 내로 유입되는 속도가 30sccm일 때 가장 피크가 크게 나타나는데 40sccm이나 50sccm에 비해서 60sccm에서 피크가 크게 나타나는 것은 산화막의 두께에 기인한 것으로 생각되며 두께에 따른 피크의 크기를 보면 30sccm일 경우에는 $3.3 \times 10^{-2}/\text{\AA}$ 으로 60sccm일 경우의 $1.3 \times 10^{-2}/\text{\AA}$ 에 비해서 약 2.5배 정도가 크다.

이러한 결과로 보아 산소가스의 유입속도가 적을 수록 실리콘과 산소의 결합측면에서 양질의 산화막이 형성되는 것으로 생각된다(30sccm 이하의 저속 산소유입에 대해서는 현재 연구가 진행 중에 있다). 이것은 유입되는 산소가스의 양이 많아지면 일부의 산소 가스는 이온화되지 않고 남아 있게 되어서 이온화된 산소가스가 a-Si:H막의 표면 근처에서 a-Si:H과 산화 반응하는 것을 방해함으로써 산소 플라즈마가 제대로 화학 양론적인 반응을 할 수 없었기 때문으로 생각된다.

그림 5는 마이크로파의 전력에 pulse를 가하면서 동시에 마이크로파 전력의 세기를 변화시키면서 성장시킨 실리콘

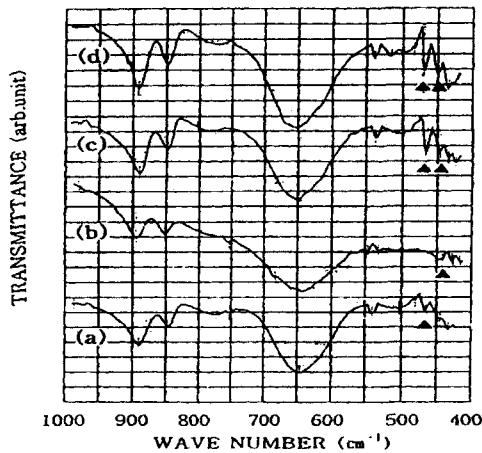


Fig. 5. FTIR spectra of oxides grown by O₂ plasma exited with 27.5 kHz pulsed ECR condition at microwave power of (a) 250 W, (b) 300 W, (c) 350 W, and (d) 400 W, respectively.

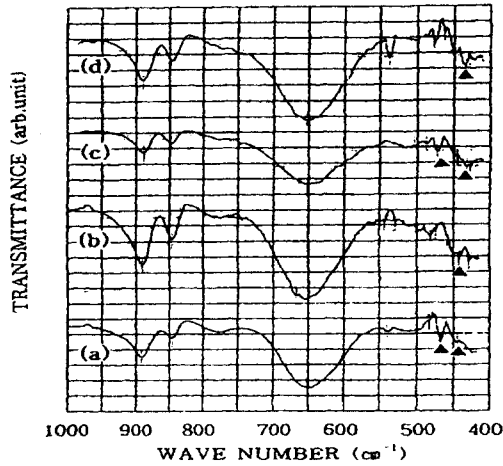


Fig. 6. FTIR spectra of oxides grown by O₂ plasma exited with continuous wave ECR condition at microwave power of (a) 250 W, (b) 300 W, (c) 350 W, and (d) 400 W, respectively.

산화막의 FTIR 흡수 스펙트럼이다. 이 스펙트럼에서도 Si-O₂ rocking (bridging) mode에서 흡수된 피크가 440cm⁻¹과 465cm⁻¹ 근처에서 관찰되었고 이런 경우에는 마이크로파 전력이 250W나 300W에 비해서 350W나 400W에서 더 강한 피크를 나타내고 있다. 여기서 마이크로파 전력이 크다는 것은 더 많은 산소가스를 이온화시키는 것을 의미한다. 따라서 산소가스의 유입속도가 고정되어 있으므로 마이크로파 전력이 크면 더 많은 산소가스가 이온화되고 그래서 양질의 산화막이 형성되는 것으로 생각된다. 한편 마이크로파 전력에 pulse를 가하지 않고 연속적으로 마이크로파 전력을 공급해 주면 그림 6에서 보는 바와 같이 350W나 400W의 더 높은 마이크로파 전력을 공급해 주더라도 뚜렷한 피크가 관찰되지 않았다. 이러한 결과로부터 마이크로파 전력에 pulse를 가하면 pulse를 가하지 않은 경우에 비해서 산소가스가 더 효과적으로 Si-O₂ 결합을 형성할 수 있는 이온으로 이온화되는 것으로 추론할 수 있을 것이다.

3.2 Ellipsometer 분석결과

실리콘 산화막의 두께는 ellipsometer를 이용해서 측정했다. 우선 실리콘 산화막의 성장실험을 마친 직후에 증착실에서 꺼낸 시편은 초록색의 빛깔을 띠고 있었으며 이 시편은 즉시 ellipsometer로 이동시켜서 측정했다. 표 2는 이러한 측정결과를 나타내고 있다. 먼저 27.5kHz의 pulse mode에서 산소가스량에 따른 산화막의 두께변화를 살펴보면, 산화막의 두께는 산소가스가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 산소가스량은 가스의 플라즈마에 의한 분해 효율, 반응성 radical의 밀도, 그리고 반응성 가스의 재결합속도 등에 영향을 미칠 것이다. 특히 산소가스량이 적어서 압력이 낮은 경우에는 높은 분해효율이 예상되고 그래서 더 많은 반응가스가 형성될 것이다. 그러나 높은 압력에서는 반대로 분해효율이 낮고 반응성 가스의 재결합속도가 크기 때문에 산소가스가 증가할수록 산화막의 두께가 감소하는 것으로 생각된다. Sung과 Pang이 보고한 바에 의하면 multipolar ECR source를 이용해서 단결정 실리콘 위에 산화막을 형성시켰을 때, 압력이 5 mtorr이하에서는 산화막의 성장속도가 유입된 산소의 압력에 반비례해서 급격히 증가하는 것으로 알려졌다.⁸⁾ 본 연구에서는 30sccm일 때 증착실의 압력이약 5 mtorr였다. 따라서 본 연구의 결과도 Sung과 Pang의 연구결과와 같은 경향을 보이고 있다. 그런데 60sccm일 경우에는 산화막의 두께가 40sccm이나 50sccm의 경우에 비해서 약 7% 정도로 다소 증가 했는데 이것은 어떤 경향을 보인다기보다는 실험오차로 생각하는 것이 타당할 것으로 생각된다.

한편 마이크로파 전력에 따른 산화막 두께의 변화를 보면, 마이크로파 전력에 pulse를 가하면서 산화막을 형성하는 경우에 비해서 마이크로파 전력에 pulse를 가하지 않고 연속적으로 마이크로파 전력을 공급해주는 경우에 산화막의 두께가 더 두껍고 마이크로파 전력이 높아짐에 따라서

Table 2. The data of ECR silicon oxide thickness.

mode	O ₂ flow rate(sccm)	microwave power(W)	Time (min)	d _{ox} (Å)
27.5kHz	30	300	40	134.6
27.5kHz	40	300	40	106
27.5kHz	50	300	40	95.1
27.5kHz	60	300	40	114
27.5kHz	40	250	40	105
27.5kHz	40	300	40	106
27.5kHz	40	350	40	114.7
27.5kHz	40	400	40	114.9
CW	40	250	40	107
CW	40	300	40	112
CW	40	350	40	141
CW	40	400	40	147

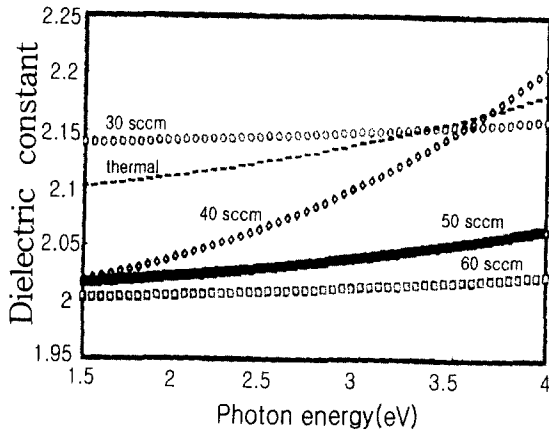


Fig. 7. The real part of dielectric constant of SiO₂ films with O₂ flow rate change. The a-Si:H was oxidized at 300 W(27.5 kHz pulsed) for 40 min.

산화막의 두께가 증가하는 경향을 더 뚜렷하게 보이고 있다.

그림 7은 마이크로파 전력에 27.5 kHz의 pulse를 가하면서 300W의 전력으로 40분간 산화막을 형성하는 경우에 산소가스가 플라즈마실 내로 유입되는 속도변화에 따른 산화막의 유전상수변화를 나타내는데, 산소가스 유입속도가 30sccm일 때 열산화법에 의한 산화막과 유사한 유전상수 특성을 보여주고 있다. 이것은 위의 FTIR 측정결과와도 일치하는 것으로 산화막내의 실리콘과 산소의 결합이 대부분 Si-O₂결합으로 이루어져 있어서 화학 양론적인 반응이 일어났기 때문인 것으로 생각된다. 한편 산소가스 유입속도가 40sccm일때는 다른 경우에 비해서 photon energy 변화에 따른 유전상수의 기울기가 크게 나타나는데 현재로서는 그 이유가 명확하지 않다.

3.3 AFM 분석결과

Poly-Si의 경우 게이트 유전체 박막의 계면특성이 나빠지게 되면 낮은 항복전압을 갖게 되는데 이것은 산화막 아래에 있는 poly-Si막의 표면거칠기를 증가시키는 국지적으로 강화된 산화에 의한 것으로 알려져 있다.⁹⁻¹²⁾ 이러한 실리콘과 산화막 사이의 계면의 거칠기는 산화막의 표면 거칠기로 반영되므로 결국은 산화막의 표면거칠기를 통해서 계면의 거칠기를 알 수 있게 된다.

그림 8은 27.5kHz의 pulse를 가하면서 산화막을 성장시켰을 때 산소량의 변화에 따른 산화막의 평탄도를 나타내는 것인데 플라즈마실 내로 유입되는 산소가스의 양이 많아짐에 따라서 매우 미세하게 감소하는 것을 보여주고 있다. 이때의 표면평탄도는 3.3-4.4 Å으로 산화막의 표면이 매우 평탄함을 알 수 있다. 그림 9는 마이크로파 전력에 pulse를 가하면서 산화막을 형성하는 경우와 마이크로파 전력에 pulse를 가하지 않고 연속적으로 마이크로파 전력을 공급해주는 경우에 마이크로파 전력의 증가에 따른 산화막의 표면평탄도 변화를 보여주고 있다. Pulse를 가하지 않았을 경우에는 마이크로파 전력이 증가함에 따라 산화막의 표면평탄도가 급격히 나빠지지만 pulse를 가했을 경우에는 마이

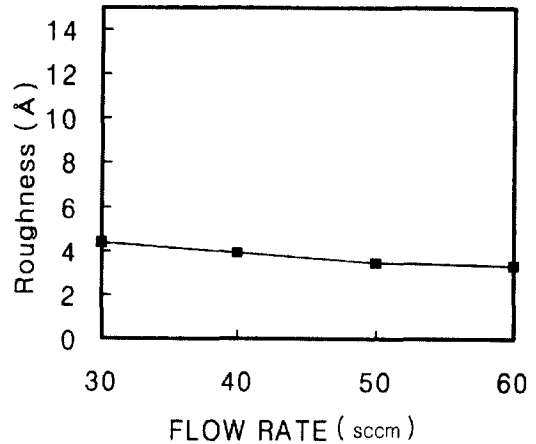


Fig. 8. Dependence of oxide surface roughness on O₂ flow rate. The oxides were grown by O₂ plasma exited with 27.5 kHz pulsed ECR. The a-Si:H was oxidatized at 300 W for 40 min without heating substrate.

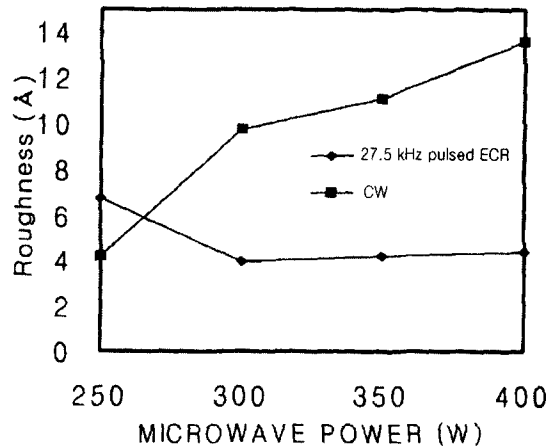


Fig. 9. Dependence of oxide surface roughness on the microwave power. The oxides were grown by O₂ plasma exited with 27.5 kHz pulsed ECR and continuous wave ECR at different microwave powers.

크로파 전력이 증가하더라도 산화막의 표면평탄도가 좋아진다. Pulse를 가했을 경우의 300W에서 산화막의 두께는 106 Å으로 pulse를 가하지 않았을 경우의 250W에서 산화막의 두께인 107 Å과 비교했을 때 두께가 거의 같고 표면평탄도도 거의 같다. 그런데 pulse를 가했을 경우의 350 W에서 산화막의 두께는 115 Å으로 pulse를 가하지 않았을 경우의 300W에서 산화막의 두께인 112 Å과 비교했을 때 두께는 거의 비슷하지만 표면평탄도는 pulse를 가하지 않았을 경우에 2.5배 정도가 더 크다. 일반적으로 박막의 두께가 증가할수록 표면평탄도가 커지는데 이러한 측면에서 고려해보면 위의 결과를 설명할 수가 없다. 이것은 pulse를 가했을 경우에 더 높은 표면이동도를 갖는 활성화된 산소 플라즈마 이온들이 생성되며 이렇게 활성화된 산소 플라즈마 이온들이 a-Si:H 막표면에서 더 낮은 부분까지 이동이 가능하며 그 곳에서 a-Si:H막과 반응을 함으로서 거친 계면상태를 감소시키는데 기여하고 결국 성장된 산화

막의 표면거칠기를 감소시키기 때문인 것으로 생각된다. Pulse를 가했을 경우에 산화막의 표면평탄도가 더 좋은 다른 이유로는 Pulse를 가하지 않았을 경우에는 여기된 산소 플라즈마 이온의 높은 운동에너지가 연속적으로 기판에 가해짐으로서 기판의 표면거칠기를 증가시키는 반면에, 50%의 duty cycle를 갖는 pulse를 가했을 경우에는 플라즈마의 운동에너지가 불연속적으로 기판에 가해진다는 것을 고려해 볼 수 있을 것이다.

4. 결 론

FTIR 측정결과에서는 440cm⁻¹과 465cm⁻¹ 근처에서 흡수 피크가 나타나는데 이 것들은 Si-O₂ rocking (bridging) mode에서 흡수됨으로서 나타난 피크로서, 형성된 실리콘 산화막이 Si-O₂결합으로된 산화막임을 알 수 있다. 이러한 피크의 크기변화를 관찰해보면, 산화막을 성장시킬 때 산소가스의 유입속도가 적을 수록 실리콘과 산소의 결합 측면에서 양질의 산화막이 형성되는 것으로 생각된다. 한편 ellipsometer 분석결과에서도 산소가스의 유입속도가 적을 수록 성장된 산화막이 열산화법에 의한 산화막과 유사한 유전상수 특성을 보여주고 있다. 이것은 위의 FTIR 측정결과와도 일치하는 것으로 산화막내의 실리콘과 산소의 결합이 대부분 Si-O₂결합으로 이루어져 있어서 화학 양론적인 반응이 일어났기 때문인 것으로 생각된다. 한편으로 산소가스의 유입속도가 적을수록 성장되는 산화막의 두께는 오히려 증가하는 것으로 관찰되었는데, 이것은 산소가스의 압력이 높아지면 가스의 분해효율이 오히려 낮아지고 반응성 가스의 재결합속도는 커지기 때문으로 생각된다.

마이크로파 전력에 pulse를 가하면서 산화막을 성장시킨 경우에는 마이크로파 전력이 높은 조건에서 실리콘과 산소의 결합측면에서 양질의 산화막이 얻어지는 반면에, pulse를 가하지 않은 경우에는 마이크로파 전력이 높은 조건에서도 양질의 산화막이 얻어지지 않았다. 이것은 마이크로파 전력에 pulse를 가하면 pulse를 가하지 않은 경우에 비해서 산소가스가 더 효과적으로 Si-O₂결합을 형성할 수 있는 이온으로 이온화되기 때문인 것으로 생각된다.

Pulse를 가하지 않았을 경우에는 마이크로파 전력이 증가함에 따라 산화막의 표면평탄도가 4.2Å에서 13.6Å까지 급격히 나빠지지만 pulse를 가했을 경우에는 마이크로파 전력이 증가하더라도 산화막의 표면평탄도가 6.7Å에서 4.4Å으로 오히려 좋아지며, 특히 마이크로파 전력이 400W일 때 pulse를 가하는 경우에 pulse를 가하지 않은 경우에 비해서 산화막의 표면 평탄도가 1/3정도로 획기적으로 줄어든다.

결론적으로, 본 연구에서는 비정질 실리콘과 유전체막사이의 계면 특성 특히 계면의 거칠기를 향상시키기 위해서 기존의 증착법이 아니라 비정질 실리콘(a-Si:H)과 산소

ECR 플라즈마의 반응에 의한 산화막의 성장법을 시도했는데, 이 때 200~300°C로 가열해 주는 기존의 방법과는 달리 기판은 의도적으로 가열하지 않았으며 특히 본 연구에서는 ECR 플라즈마를 형성할 때 마이크로파 전력에 pulse를 가하는 방법을 최초로 시도했고, 계면에 불순물의 혼입을 최대한으로 줄이기 위해서 진공을 파괴하지 않은 상태로 산화막을 연속적으로 성장시키는 방법을 이용했다. Pulse를 가했을 경우에는 pulse를 가하지 않은 경우에 비해서 화학 양론적 측면, 유전상수, 산화막의 표면 평탄도 등에서 우수한 산화막이 성장했으며, 특히 비정질 실리콘과 유전체막사이의 계면 거칠기를 반영하는 산화막의 표면 평탄도가 1/3 정도로 획기적으로 줄어들었다.

감사의 글

본 연구는 서울대학교 반도체공동연구소의 교육부 반도체분야 학술연구조성비(과제번호 : ISRC 96-E-4039)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. H. Uchida, K. Takechi, Nishida and S. Kaneko, Jpn. J. Appl. Phys., **30**, 3691 (1991).
2. Ju-Hyeon Lee, Sang Kook Park and Chang Sik Kim, Jpn. J. Appl. Phys., **34**(9B), L1191 (1995).
3. Ju-Hyeon Lee, Il-Chae Jung, Sang-Kook Park, Cheong-A Baek and Sung Park, Jpn. J. Appl. Phys., **36**(11), 6867 (1997).
4. Ju-Hyeon Lee, Cheon-Man Shim, Sang-Kook Park, Dong-Geun Jung, Sung Park, Thin Solid Films, **295**, 67 (1997).
5. 심 천만, 정동근, 이 주현, 한국재료학회지, **8**(4), 359 (1988).
6. P.G. Pai, S.S. Chao, and Y. Takagi, J. Vac., Sci., Technol., **A4**, 689 (1986).
7. A. Singh and C.A. Hogarth, J. Mat. Sci., **23**, 1090 (1988).
8. K.T. Sung and S.W. Pang, J. Vac. Sci. Technol. B, **10**(5), 2211 (1992).
9. J.Y. Lee, C.H. Lee, C.K. Kim, IEEE Electron Device Letters, **15**(8), 301 (1994).
10. P.A. Heimann, S.P. Murarka and T.T. Sheng, J. Appl. Phys., **53**, 6240 (1982).
11. L. Faraone, R. Viboronek, and J. McGinn, IEEE Trans. Electron Devices, **32**, 577 (1985).
12. J.C. Lee and C. Hu, IEEE Trans. Electron Devices, **35**, 1063 (1988).