

論文95-32A-3-8

ECR 산소 플라즈마를 이용한 저온 열산화

(Low Temperature Thermal Oxidation using ECR Oxygen Plasma)

李貞烈*, 姜錫沅**, 李進雨**, 韓哲熙*, 金忠基*

(Jung Yeal Lee, Seog Weon Kang, Jin Woo Lee, Chul Hi Han, and Choong Ki Kim)

요 약

낮은 온도에서 기른 electron cyclotron resonance (ECR) 플라즈마 열산화막의 특성과 산화막 성장율에 대한 기판온도, 초고주파 전력, 개스유량, 공정 압력 등과 같은 여러 공정변수들의 영향이 조사되었다. 플라즈마 밀도, 즉 활성이온의 밀도가 ECR 플라즈마 산화막의 성장율에 크게 영향을 미침을 알 수 있었다. 플라즈마 밀도는 초고주파 전력에 비례하여 증가하나, 산소유량 증가에 따라서는 감소함을 알 수 있었다. 산화막 두께의 산화시간 의존성은 포물선적인 특성을 보여주고, Deal-Grove 모델로 근사시킬 수 있음을 알 수 있었다. 낮은 온도에서의 ECR 플라즈마 열산화를 생각해 보면 선형율 상수 및 포물선율 상수는 기존의 열산화에 비하여 매우 큰 값을 알 수 있었다. 실리콘 웨이퍼에 길러진 ECR 플라즈마 산화막의 전기적 특성은 기존의 열산화막과 비슷하였으며, 산화막의 고정전하밀도(N_{fix})와 계면준위밀도 (N_{it})값은 각각 $7 \times 10^{10} \text{cm}^{-2}$, $4 \times 10^{10} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$ 이고, 항복전계는 8MV/cm 이상이었다.

Abstract

Characteristics of electron cyclotron resonance (ECR) plasma thermal oxide grown at low-temperature have been investigated. The effects of several process parameters such as substrate temperature, microwave power, gas flow rate, and process pressure on the growth rate of the oxide have been also investigated. It was found that the plasma density, reactive ion species, is strongly related to the growth rate of ECR plasma oxide. It was also found that the plasma density increases with microwave power while it decreases with decreasing O₂ flow rate. The oxidation time, dependence of the oxide thickness showed parabolic characteristics. Considering ECR plasma thermal oxidation at low-temperature, the linear as well as parabolic rate constants calculated from fitting data by using the Deal-Grove model was very large in comparison with conventional thermal oxidation. The ECR plasma oxide grown on (100) crystalline-Si wafer exhibited good electrical characteristics which are comparable to those of thermal oxide: fixed oxide charge($N_{\text{fix}} = 7 \times 10^{10} \text{cm}^{-2}$, interface state density($N_{\text{it}} = 4 \times 10^{10} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$, and breakdown field $> 8 \text{MV/cm}$.

* 正會員, **學生會員, 韓國科學技術員 電氣및電子工學科
(Dept. of Elec. Eng, Korea Advanced Institute

of Science and Technology)

接受日字 : 1994年 9月 9日

I. 서 론

게이트 산화막과 다결정실리콘 박막의 계면특성이 저온 다결정실리콘 박막 트랜지스터의 성능향상을 위하여 중요하다는 것은 널리 알려져왔다^[1]. 열산화방법은 MOSFET 소자와 고온 다결정실리콘 박막 트랜지스터의 게이트 절연막 형성방법으로 널리 사용되고 있으며 잘 알려진 기술이다. 그러나 열산화방법으로 길러진 산화막은 좋은 계면특성을 갖지만, 낮은 온도에서의 막성장률이 매우 낮기 때문에 열산화법은 저온 다결정 실리콘 박막 트랜지스터에 적용할 수가 없다. 따라서 특히 저온공정이 가능한 산화막 형성기술이 매우 중요하다. 지금까지 계면특성 향상을 위하여 저온 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 게이트 절연막에 대한 연구가 활발히 수행되어 왔으나, 일반적으로 공정온도 제한 때문에 CVD^[2,3], 스퍼터링^[4,5], 그리고 플라즈마-CVD^[6]와 같은 증착기술이 주로 연구되어 왔다. 그러나 증착기술로 형성된 산화막은 일반적으로 많은 계면준위를 갖고 있으며 열산화막과 같은 전기적 특성을 보여주고 있지 않다.

반도체 공정에서 고온공정은 집적도가 높아짐에 따라 MOSFET소자의 특성에 미치는 영향은 점점 더 심각해진다. 따라서 대표적인 고온공정인 열산화방법을 대체하기 위하여 저온에서 산화막을 기를수 있는 기술 중의 하나인 플라즈마 산화방법에 대한 연구가 많이 수행되어왔다. 산소 플라즈마를 이용한 저온에서의 산화기술은 오래전부터 보고 되었으며, 보고된 기술들은 산소 플라즈마를 발생시키는 방법에 따라 microwave 산소 플라즈마^[7,8], r.f. generated 산소 플라즈마^[9,10] 그리고 dc glow discharge 산소 플라즈마로 나눌 수 있다^[11]. 플라즈마 산화에서는 일반적으로 적절한 막성장률을 위하여 웨이퍼는 외부로부터의 dc 전압 또는 전류가 인가되었다. 그러나 플라즈마 장비 내의 전극은 전극 스퍼터링에 의한 산화막의 오염을 야기 시키기 때문에 길러진 산화막의 전기적 특성은 그다지 좋지 않았다.

최근에는 전극이 없는 electron cyclotron resonance (ECR) 플라즈마 장비가 개발이 되었으며, ECR 플라즈마 장비를 이용하여 길러진 산화막의 특성이 열산화막과 비슷하다고 보고되었다^[12-14]. ECR 소오스는 저온산화에 있어서 많은 장점을 갖는다^[15,16]. ECR 소오스의 장점으로는 플라즈마 용기에 전극이 없음, 낮은 플라즈마 전위, 높은 이온화율(10%), 낮은 입력에서의 개스분해 ($10^{-4} \sim 10^{-2}$ Torr), 긴 생존시간 등을 들 수 있다.

이 논문에서는 여러공정변수에 대한 ECR 플라즈마

산화막의 성장특성을 살펴보고 길러진 산화막의 물리적, 전기적 특성이 논의 될 것이다.

II. ECR 플라즈마 산화막의 성장

1. 실험장치및 실험방법

실험에 사용된 ECR 플라즈마 장치는 개스유량조절부, 플라즈마 발생용기및 공정용기와 진공펌프부, 초고주파 전력발생부및 전송부 그리고 자장생성부로 이루어져있다. ECR 플라즈마 장치의 개략도를 그림1에 도시하였다.

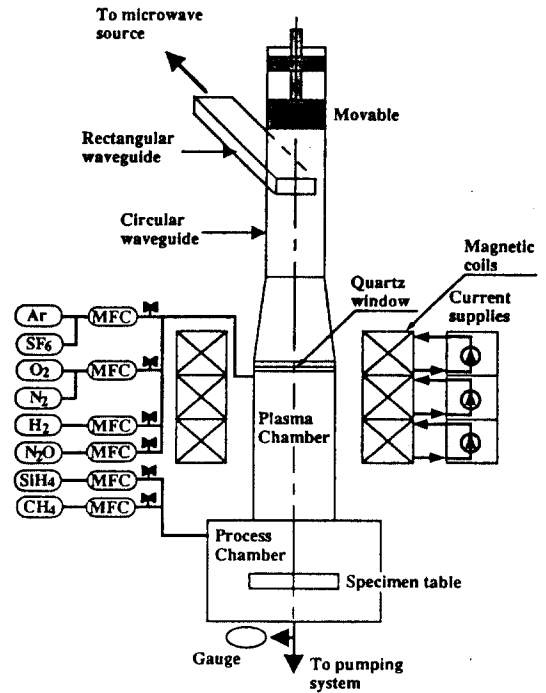


그림 1. ECR 플라즈마 장치의 개략도
Fig. 1. A schematic diagram of ECR plasma apparatus.

플라즈마 발생용기의 내부지름은 15.7cm, 높이는 30.5cm이며, 공정용기의 지름은 34cm, 높이는 19.1cm이다. 시료 테이블은 공정용기와 전기적으로 격리되어 있고, 상온에서 400℃ 까지 온도조절이 가능하고 초고주파 도입부(quartz 창)로부터 25cm ~ 40cm 사이로 높이를 조절할 수 있다. 플라즈마 산화막 성장을 위해 진공도를 $\sim 10^{-6}$ Torr 정도로 유지하고 시료는 원하는 온도로 가열 된다. 진공펌프는 600 l/s 오일 확산펌프와 Edward 80 로터리 펌프로 구성되어 있다. O₂ 또는 Ar의 유량은 mass flow

controller(MFC)에 의해 조절되어 플라즈마 발생용으로 유입되며, 산화공정은 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ Torr 범위의 가스압력에서 수행된다. 자계 형성을 위해서 플라즈마 발생용기를 둘러싸고 있는 전자석 코일에 전류를 인가하여 플라즈마 발생용기에 자계를 형성한 후에 초고주파 전력이 인가된다. 자계생성부는 코일과 전류원으로 구성되어 있다. 전자석 코일은 수냉되고 세부분으로 나뉘어져 있어서 자계분포를 조절하기 위해 각 코일들에 흐르는 전류는 세개의 서로 다른 전류원으로 조절할 수 있다. 이 세개의 전류원을 이용하여 자계는 1200 Gauss 까지 조절될 수 있다.

초고주파 전력공급부는 초고주파 전력을 200W에서 700W까지 변화 시킬수 있는 초고주파 전력공급원과 도파관 그리고 도파관변환기로 구성되어 있다. 2.45GHz의 초고주파전력은 사각형도파관과 도파관변환기, quartz 창을 통하여 원형 플라즈마 발생용기로 유입된다. ECR 플라즈마 열산화공정은 기존의 열산화 공정에 비해 초고주파전력, 공정압력 그리고 개스유량등의 추가적인 조절변수를 갖는다. 따라서 이러한 변수들에 대한 플라즈마 밀도와 산화막 성장율의 의존성이 조사되었다. ECR플라즈마 산화실험의 기판으로는 p-type (100), 2~4 ohm-cm 단결정실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 플라즈마밀도(n_i)와 전자온도(T_e)는 Double Langmuir 탐침방법으로 측정하였다. Ellipsometry로 산화막 두께와 굴절율을, 6:1 BOE 용액으로 산화막 식각률, Auger장비로 산화막 두께에 따른 조성 분포를 측정하였다.

3. 실험결과 및 토의

1) 플라즈마 특성

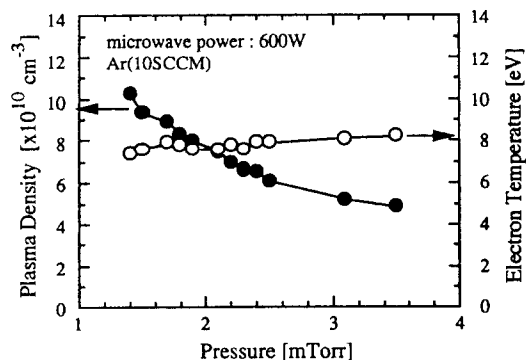
플라즈마 밀도(n_i)와 전자온도(T_e)는 quartz 창 35cm 아래의 플라즈마 흐름의 중앙에서 Double Langmuir 탐침방법으로 측정하였다. 이 방법은 작은 금속전극에 인가되는 전압의 함수로 전자 또는 이온전류 측정에 근거를 두고 있다. 탐침은 지름 0.5 mm, 길이 6 mm Mo 와이어와 알루미늄튜브에 의해 차폐된 나머지 부분들로 이루어져 있다. 전자온도와 플라즈마 밀도는 아래의 식을 사용하여 계산할 수 있다^[17].

$$k_B T_e = -\frac{e}{2} I_{is} \frac{dV}{dI} \Big|_{V=0} \quad (1)$$

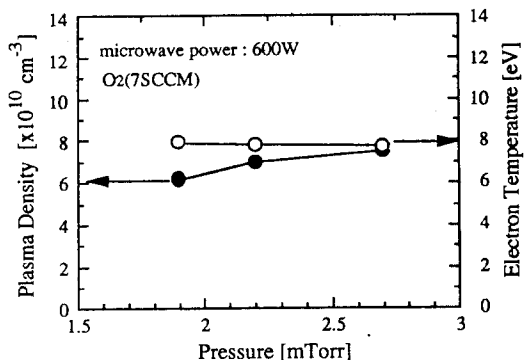
$$I_{is} = 0.61 \sqrt{\frac{k_B T_e}{M_i}} A_p n_i \quad (2)$$

여기서 I와 V는 두 전극간의 전류와 전압, I_{is} 는 이

온 포화전류, M_i 는 이온의 원자 질량, A_p 는 탐침의 표면적, k_B 는 볼츠만 상수, T_e 는 전자온도 그리고 n_i 는 플라즈마 밀도이다.



(a)



(b)

그림 2. 공정압력에 대한 플라즈마 밀도와 전자온도와와의 관계. 공정압력은 (a) Ar유량=10 SCCM, O_2 유량=1 SCCM ~ 15 SCCM (b) Ar유량=7.5 SCCM ~ 12.5 SCCM, O_2 유량=7 SCCM 으로 변화시키면서 조절하였다.

Fig. 2. Process pressure dependence of plasma density and electron temperature. The process pressure was controlled (a) by O_2 flow rate from 1 SCCM to 15 SCCM with a fixed Ar (10SCCM) and (b) by Ar flow rate from 7.5 SCCM to 12.5 SCCM with a fixed O_2 (7SCCM).

식(1), (2)에서, 전자온도(T_e)는 $V=0V$ 에서의 기울기와 이온 포화전류로부터 얻어질 수 있으며, 플라

스마 밀도(n_p)는 측정된 이온포화전류(I_{sat})와 전자 온도(T_e)로부터 얻어진다. 플라즈마 밀도는 다소 불확실성을 가지고 있지만, 공정변수에 대한 의존성은 조사될 수 있다고 생각한다. 그림2는 플라즈마 밀도, 전자온도와 공정압력과의 관계를 보인다. 여기에서 공정압력은 Ar유량을 10 SCCM으로 고정시키고 O_2 유량을 1 SCCM에서 15 SCCM까지 변화시켜가며(그림2.(a)), O_2 유량을 7 SCCM으로 고정하고 Ar 유량을 7.5 SCCM에서 12.5 SCCM까지 변화시켜가며(그림2.(b)) 조절하였다.

전자온도(T_e)는 1~4 mTorr 공정압력 범위에서 8 eV로 거의 일정하였으며, 플라즈마 밀도(n_p)는 공정압력이 클 수록, 즉 O_2 유량이 증가할 수록 감소한 반면(그림2.(a)), Ar유량이 증가함에 따라 증가하였다(그림2.(b)). Ar 영향을 배제하기위하여, 즉 소오스 개스로서 산소만 사용하였을 경우의 플라즈마 밀도와 공정압력과의 관계를 알아보기 위해 또다른 실험을 수행하였으며, 이 결과는 그림3.에 보인다. 여기에서 공정압력은 O_2 유량을 1 SCCM에서 15 SCCM까지 변화시켜가며 조절하였다.

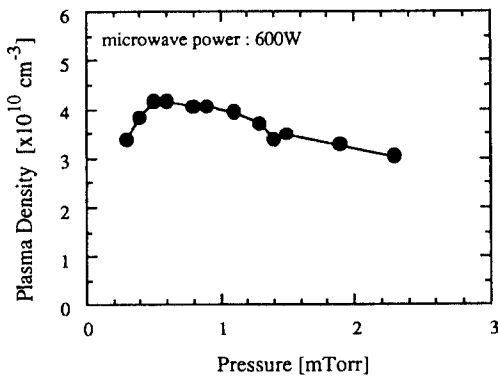


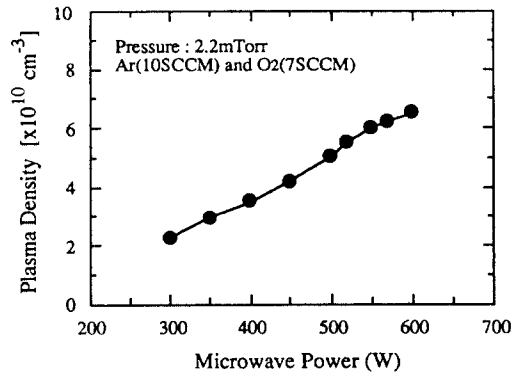
그림 3. 공정압력에 대한 플라즈마 밀도 의존성. 공정압력은 O_2 유량을 1 SCCM에서 15 SCCM 까지 변화시켜가며 조절하였다.

Fig. 3. Process pressure dependence of plasma density. The process pressure was controlled by only O_2 flow rate from 1 SCCM to 15 SCCM.

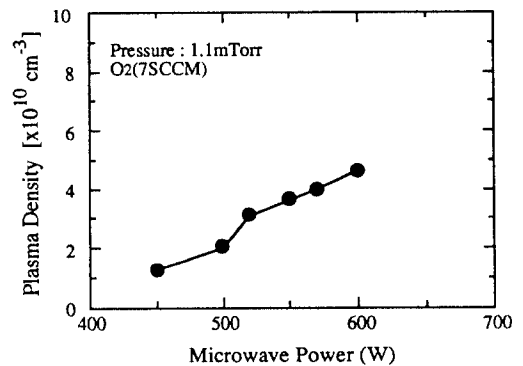
그림3.에서 볼 수 있듯이 산소만으로 플라즈마를 발생시켰을 경우에도 0.5~2.5 mTorr 공정압력 범위에서 플라즈마밀도는 공정압력, 즉 산소유량에 대해서는 점근적 감소함수임을 알수있고, 이는 그림2.(a)에 보인 결과와 일치한다. 플라즈마 밀도가 0.5 mTorr 이

하에서 감소하는 것은, 실험수행시 이 공정압력 범위 내에서는 산소 플라즈마가 다소 불안정하여 반사전력이 커졌기 때문이라고 생각된다. 공정압력은 분해효율, 반응원자 밀도, 반응원자의 재결합율 등에 영향을 줄 수 있다. 그림3.에서 보인 것 처럼 낮은 압력에서의 높은 플라즈마 밀도는 산소유량이 작다 하더라도 높은 분해율에 따른 많은 반응원자 밀도 그리고 낮은 압력에서의 재결합율 감소에 기인한다고 생각된다^[12].

그림4.는 플라즈마 밀도와 초고주파 전력과의 관계를 보인다. 플라즈마 밀도는 초고주파 전력에 대하여 선형적으로 증가하고, 이는 기존논문의 결과들과 일치함을 알수있다^[12,13].



(a)



(b)

그림 4. 초고주파 전력에 대한 플라즈마 밀도 의존성. (a) O_2 (7SCCM), Ar (10SCCM) (b) O_2 (7SCCM).

Fig. 4. Microwave power dependence of plasma density. (a) O_2 (7SCCM) and Ar (10SCCM) (b) O_2 (7SCCM).

2) ECR플라즈마 열산화막의 성장특성

그림1.-그림4.에서 반응원자 밀도는 초고주파 전력

과 공정압력을 조절함으로써 제어될 수 있음을 알 수 있었다. 그림5.와 그림6.에 각각 공정압력, 초고주파 전력에 대한 산화막 성장 특성을 보인다.

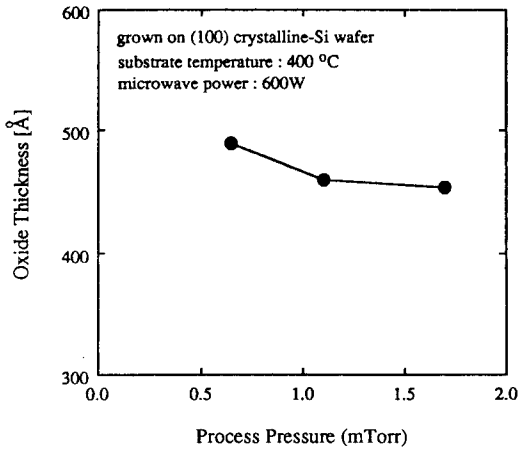


그림 5. 공정압력에 대한 산화막 두께 의존성
Fig. 5. Process pressure dependence of oxide thickness.

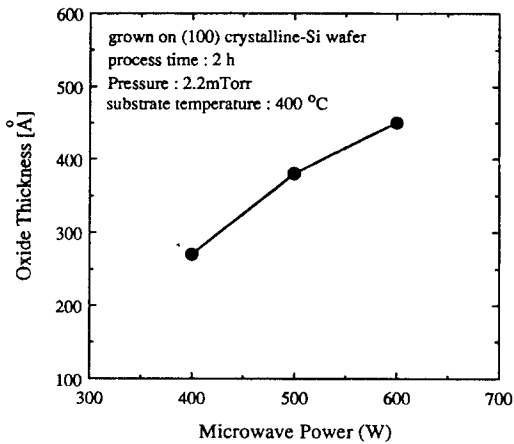


그림 6. 초고주파전력에 대한 산화막 두께 의존성
Fig. 6. Microwave power dependence of oxide thickness.

그림5.와 그림6.에서 낮은 공정압력 또는 큰 초고주파 전력에서 기른 산화막이 더 두꺼우며 산화막 두께와 공정압력 또는 초고주파 전력의 관계는 그림1.과 그림3.에서 보인 플라즈마 밀도와 공정압력 또는 초고주파 전력의 관계와 유사함을 알 수 있다. 즉 ECR 플라즈마 산화막의 성장율은 플라즈마 밀도와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

공정온도에 대한 ECR 플라즈마 산화막의 성장특성을 조사하였으며, 그림7.에 그 결과를 보인다.

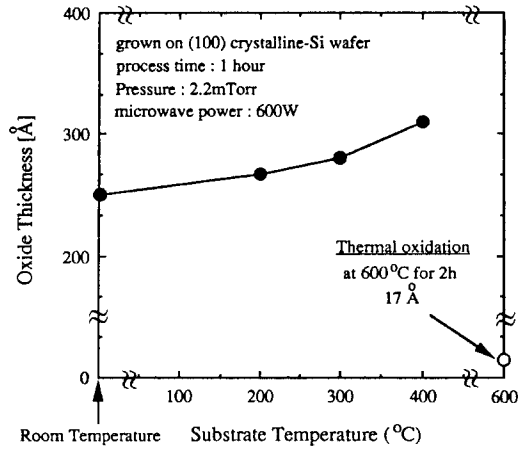


그림 7. 기판온도에 대한 산화막 두께 의존성
Fig. 7. Substrate temperature dependence of oxide thickness.

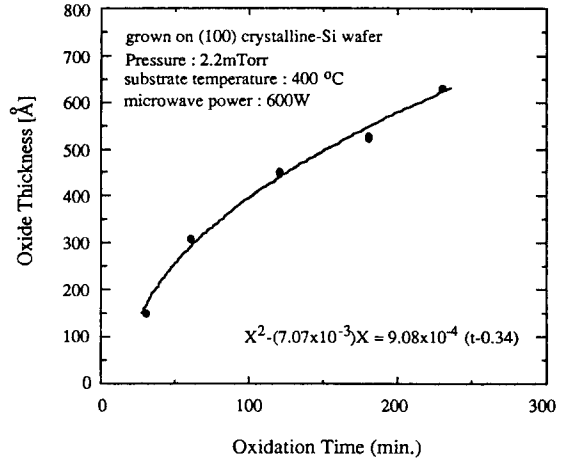


그림 8. 산화시간에 대한 산화막 성장 특성
Fig. 8. Oxidation time dependence of ECR plasma oxide thickness.

산화막 두께는 기판온도 증가에 따라 완만히 증가함이 관찰되며, 이는 기존논문의 결과들과 유사하다^[12,13]. 여기서 강조되어야 할 것은 열 산화방법으로 이 온도 범위에서 산화막을 기를 경우 산화막의 두께는 1nm정도로 거의 막성장이 일어나지 않는다는 것이다. 그러므로 이 실험결과들로부터 다시 알 수 있는 것은 ECR 플라즈마 산화막의 성장율이 주로 반응원자 농도에 많은 영향을 받고, 열에너지가 아닌 다른 산화기구

에 의해 이루어 짐을 알 수 있다.

그림8.은 산화시간에 대한 산화막 성장 특성을 보인다. 산화막 성장실험은 400°C, 600W, 2.2mTorr에서 수행하였다. 그림8.에 보인 실선은 측정된 data를 Deal-Grove모델을 이용하여 근사시킨 것이며 Deal-Grove모델은 다음과 같이 표현된다.

$$x^2 + Ax = B(t+\tau) \quad (3)$$

여기에서 x는 산화막두께, t는 산화시간, B는 포물선율상수 그리고 B/A는 선형율 상수이다. 본 실험으로부터 얻어진 결과와 기 보고된 결과와의 비교를 표1에 요약하였다.

표 1. 플라즈마 열산화와 열산화에 대한 산화율 상수의 비교

Table 1. Comparison of oxidation rate constants for plasma oxidation and thermal oxidation.

Oxidation Conditions	B(μm ² /h)	B/A(μm/h)	τ(h)
Plasma oxide at 400°C(the work)	9.80 × 10 ⁻⁴	-0.14	-0.34
Plasma oxide at 16°C(Ref. 12)	8.01 × 10 ⁻⁵	-4.47 × 10 ⁻³	-1.57
Plasma oxide at 640°C(Ref.14)	4.92 × 10 ⁻⁴	-1.23 × 10 ⁻²	-1.44
Plasma oxide at 350°C(Ref. 13)	1.26 × 10 ⁻²	0.21	0.03
Thermal dry oxide at 920°C	4.9 × 10 ⁻³	2.08 × 10 ⁻²	1.4
Thermal dry oxide at 1000°C	1.2 × 10 ⁻²	0.07	0.37

산화막 성장율은 산화시간에 따라 감소하며, 포물선적인 성장특성을 보인다. 산화시간에 따른 성장율의 감소는 산화과정에서 산화막 경계에서의 반응을 보다는 반응이온의 산화막 층으로의 확산에 의해 제한됨을 의미한다. 근사식으로부터 얻어진 선형율상수(B/A)와 포물선율상수 (B)는 각각 -0.14μm/h, 9.8 × 10⁻⁴μm/h 이었다. 포물선율상수, B는 열산화의 것보다 비교적 작으나, 낮은온도에서의 산화를생각해 볼때 매우 큰 값을 알 수있고, 특히 Carl등^[13]은 1000°C 건식산화에서의 것과 같은 값을 보고하였다. 선형율 상수, B/A는 1000°C 건식산화에서의 것보다 매우 컸으며 음의 값이었다. 표1.에서 알 수 있듯이 Kimura등^[14]은 음의값, Carl등^[13]은 양의 값으로 보고하였다. 이것은 포물선영역에서는 Deal-Grove모델로 ECR 플라즈마 산화막 성장특성을 근사시킬수 있음을 알 수 있으나, ECR 플라즈마 산화기구는 열산화기구와는 다르다는 것을 말해준다. 지금까지 ECR 플라즈마 산화기구에 대해서 많은 연구가 수행되지 않았고 따라서 명확하지 않지만, ECR 플라즈마 산화의 큰 산화율과 작은 활성화 에너지에 대해서 Kimura등^[14]은 산화막층을 통한 산소이온의 migration에 의한 것이

라고 제안하였고, Carl등^[13]은 플라즈마 발생시 생긴 self bias로부터 산화막에 강한 전계가 걸리고, 따라서 이 전계의 도움으로 산화막을 통한 산소이온의 전도에 의한 것이라고 제안하였다. 낮은온도에서의 높은 막성장율과 얻어진 물리적인 상수들의 값으로 미루어, ECR플라즈마 산화과정은 열산화 공정은 달리 산소이온의 전도에의해서 이루어진다고 믿어진다. 그림9.는 4 inch단결정 실리콘 웨이퍼에 길러진 산화막 두께 균일성이 5%이내로 비교적 균일한 박막을 기를수 있다는 것을 보인다.

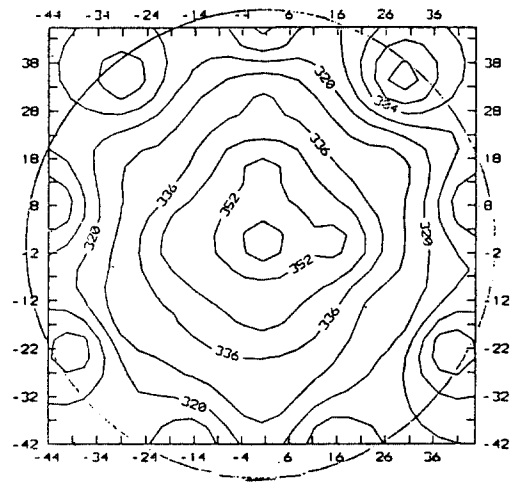


그림 9. 4 inch 실리콘 웨이퍼에 기른 ECR 플라즈마 열산화막의 두께 균일도

Fig. 9. Thickness uniformity of ECR plasma oxide grown on 4 inch silicon wafer.

III. ECR 플라즈마 산화막 특성

1. 물리적 특성

그림10.은 열처리 시간에 대한 ECR 플라즈마 열산화막의 식각율을 보인다. 식각율은 열처리 시간과 거의 무관하고 열산화막과 비슷한 정도임을 알 수있다. 열처리하지 않은 LPCVD산화막의 식각율이 열산화막보다 2~3배로 큰것을 생각해볼때 ECR 플라즈마 산화막의 막질이 매우 우수함을 알 수있다.

Ellipsometry로 측정된 ECR 플라즈마 열산화막의 굴절율은 1.47 정도로, 열산화막의 굴절율(1.46)과 비슷하였다. 열산화막의 원자농도 분포 조사를 위해 Auger장비가 사용되었다. 산소 대 실리콘의 비는 얇은 산화막에 대하여는 2인 반면, 비교적 두꺼운 산화막에 대하여는 산화막과 실리콘 웨이퍼 경계면 부근에서 2보다 작았다.

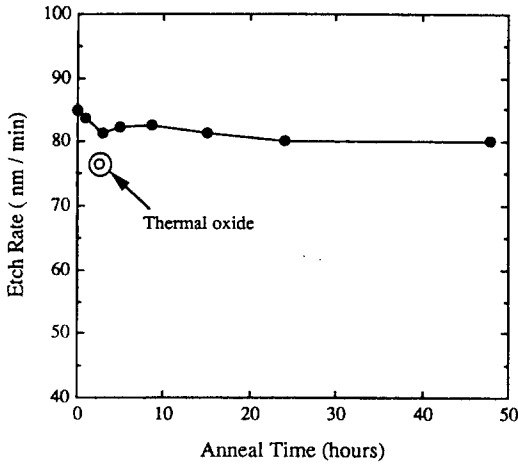


그림 10. 열처리 시간에 대한 ECR 플라즈마 산화막의 식각율

Fig. 10. Annealing time dependence of etch rate of ECR plasma oxide.

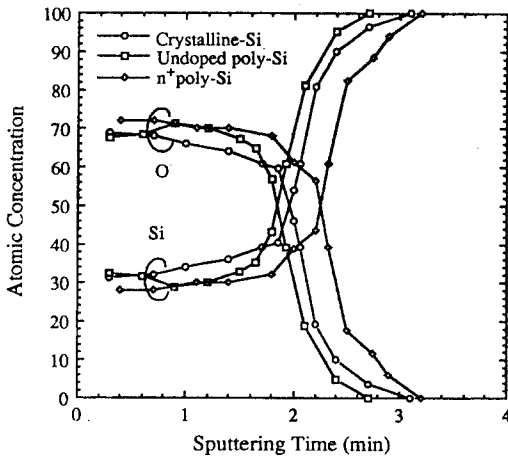


그림 11. 단결정 실리콘웨이퍼, 다결정 실리콘 필름, n⁺ 다결정실리콘 필름에 기른 산화막의 깊이에 따른 원자 농도분포

Fig. 11. Auger depth profile of the oxide layers grown on crystalline-Si wafer, undoped poly-Si film and n⁺ doped poly-Si film.

이것은 산화막층을 통한 산소이온의 전도가 산화막 두께에 의해 제한 되기 때문이라고 생각한다. 기관에 따른 산화막의 성장특성과 막조성을 알아보기위하여 단결정 실리콘웨이퍼와 다결정 실리콘 박막에 ECR 플라즈마 산화막을 기르고, Auger장비를 이용하여

측정하였다. 측정된 산화막의 원자농도 분포를 그림 11. 에 도시하였다.

만약 각 산화막의 스퍼터링율이 같다고 가정하면 불순물 첨가가 안된 다결정 실리콘 박막위에 길러진 산화막의 두께는 단결정 실리콘웨이퍼 위에 길러진 산화막 두께 (61nm)보다 5%정도 작은 반면 n⁺ 다결정 실리콘 박막위에 길러진 산화막은 단결정 실리콘웨이퍼위에 길러진 산화막 보다 11%정도 크다. 단결정 실리콘웨이퍼에 길러진 산화막은 산화막과 실리콘웨이퍼 경계면 부근에서 산소와 실리콘원자 비율이 2보다 작은 특성을 보인 반면, 다결정 실리콘 박막위에 길러진 산화막의 경우 산소와 실리콘 원자 비율이 비교적 일정하였다. 이것은 다결정 실리콘박막내의 대전된 결합준위와 다결정실리콘의 거친 표면에서의 전계증가가 산화막을 통한 산소이온의 전도를 증가시키기 때문이라고 생각한다. 관찰된 단결정 실리콘웨이퍼와 n⁺ 다결정 실리콘 박막위에 길러진 산화막의 두께 차이가 작은 것은 ECR플라즈마 산화기구가 열산화 기구와 다르다는 것을 다시한번 증명한다. 그러나 다결정 실리콘 박막의 ECR플라즈마 산화과정은 단결정 실리콘 웨이퍼의 경우와 같이 앞으로 더 많은 연구가 필요하다고 생각한다.

2. 전기적 특성

ECR플라즈마 열산화막의 전기적 특성을 조사하기 위해 p-type (100), 2~4 ohm-cm 단결정 실리콘웨이퍼에 MOS용량기를 제작하였다. 또한 다른 산화막과의 특성비교를 위하여 LPCVD산화막과 열산화막으로 된 MOS용량기를 함께 제작하였다. 45nm 두께의 열산화막은 950 °C에서 건식산화 방법으로 길렀고, 54nm 두께의 LPCVD 산화막은 470 °C에서 증착하였다. 45nm두께의 ECR플라즈마 열산화막은 400 °C, 600W에서 2시간동안 길렀다. 알루미늄을 증착하기전 LPCVD 산화막과 ECR플라즈마 열산화막은 600 °C, N₂ 분위기에서 10시간동안 열처리하였다. 최종적으로 모든 시료는 450 °C, 10% H₂/N₂ 분위기에서 30분간 열처리하였다.

그림 12.에 LPCVD산화막, 열산화막, ECR플라즈마 산화막의 전류밀도-전계 특성을 보인다.

여기에서 절연 파괴전계는 4×10⁴ V/cm²의 면적을 가진 용량기를 통하여 1μA/cm²의 전류가 흐를 때로 정의하였다. ECR 플라즈마 열산화막은 LPCVD 산화막보다 낮은 누설전류, 높은 파괴전계 강도를 보이며, 전체적으로 보아 열산화막과 비슷한 특성을 갖음을 알 수 있다. ECR 플라즈마 열산화막의 축적성 파괴전계특성은 그림 13.에 보이며, 파괴전계 강도는 8MV/cm 이

상임을 알 수 있다.

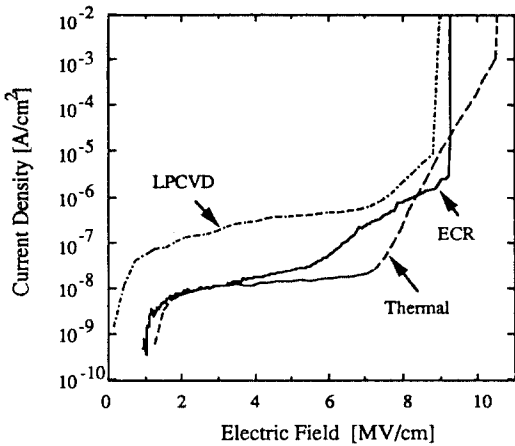


그림 12. LPCVD산화막, 열산화막, ECR플라스마 열산화막의 전류밀도-전계 특성. ECR 플라스마 열산화막, LPCVD 산화막, 열산화막의 두께는 각각 45nm, 54nm, 45nm 이다.

Fig. 12. The current density - electric field characteristics of three different types of oxide. The thickness of ECR plasma thermal oxide, LPCVD oxide and thermal oxide are 45nm, 54nm and 45nm, respectively.

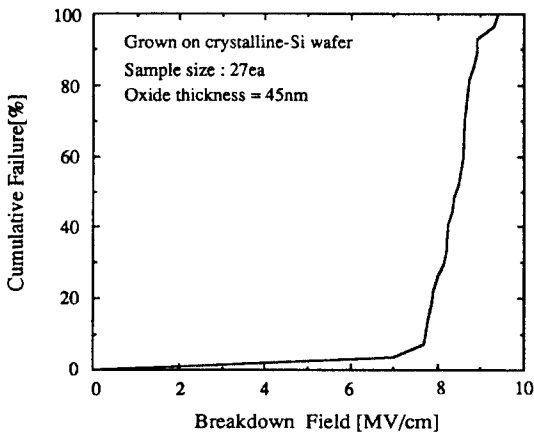


그림 13. ECR 플라스마 열산화막의 축적성 파괴전계 특성

Fig. 13. The cumulative breakdown field distribution of ECR plasma oxide.

고주파(1MHz) C-V측정을 통하여 얻어진 산화막의 고정전하밀도(N_H)와 계면준위밀도(N_{it})는 각각 $7 \times 10^{10} \text{cm}^{-2}$, $4 \times 10^{10} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$ 이었다. 이러한 값들은

이전에 보고된 결과들과 비슷하며^[12,13], 이것은 ECR플라스마 소오스의 특징중의 하나인 작은 플라스마 전위로 인한 기판에 대한 낮은 이온손상 때문으로 보인다. 따라서 ECR플라스마 열산화방법으로 열산화막과 비교할 만큼 좋은 계면특성을 갖는 산화막을 낮은 온도에서 기를 수 있다는 것을 알 수 있다. 서온 다결정실리콘 박막소자에 있어서 좋은 전기적 특성과 계면특성을 갖는 산화막은 특히 중요하고 이러한 관점에서 ECR플라스마 열산화막은 저온 다결정실리콘 박막소자의 게이트절연막으로 응용될 수 있음을 보여주었지만^[18], MOSFET소자의 게이트절연막으로 사용되기 위해서는 더 많은 연구가 수행되어야 한다고 생각한다.

IV. 결 론

저온 산화막 형성방법인 ECR 플라스마 열산화방법에 대하여 조사하였다. 기판온도, 초고주파 전력, 개스 유량, 공정 압력 등과 같은 여러 조절변수에 대한 산화막 성장특성 및 산화막의 물리적 전기적특성이 조사되었다. 플라스마 밀도, 즉 활성이온의 밀도가 ECR 플라스마 산화막의 성장율에 크게 영향을 미침을 알 수 있었으며, 플라스마 밀도는 초고주파 전력에 비례하여 증가하나, 산소유량, 즉 공정압력 증가에 따라서는 감소함을 알 수 있었다. 산화막 두께의 시간의존성은 포물선적인 특성을 보여주고, Deal-Grove 모델로 근사시킬 수 있음을 알 수 있었다. 계산된 선형율 상수 및 포물선율 상수는 각각 $-0.14 \mu\text{m}/\text{h}$, $9.8 \times 10^{-4} \mu\text{m}/\text{h}$ 이었으며 낮은 온도에서의 열산화임을 생각해 볼 때 기존의 열산화에 비해 매우 큰 값임을 알 수 있었다. 실리콘 웨이퍼에 길러진 ECR 플라스마 산화막의 전기적 특성은 기존의 열산화막과 비슷하였으며, 산화막의 고정전하밀도(N_H)와 계면준위밀도(N_{it}) 값은 각각 $7 \times 10^{10} \text{cm}^{-2}$, $4 \times 10^{10} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$ 이고, 항복전계는 8 MV/cm 이상이었다. 최근 저온공정의 필요성이 부각됨에 따라 ECR 플라스마 열산화막은 MOSFET 소자와 다결정실리콘 박막 소자의 게이트 절연막으로 응용가능성을 보여주고 있으며 절연막의 전기적 특성 및 신뢰성 향상을 위한 더 많은 연구가 필요하다고 생각한다.

참 고 문 헌

[1] H. Ohshima and S. Morozumi, "Future trends for TFT integrated circuits on

- glass substrates," in IED M Tech. Dig., p. 157, 1989.
- [2] H. Izawa, Y. Nishi, M. Okamoto, H. Morimoto, and M. Ishii, "Low temperature deposition of high quality silicon oxide films," in Extended 22nd Int. Conf. Solid State Devices and Mater., p.183, 1990.
- [3] T. W. Little, K. Takahara, H. Koike, T. Nakazawa, I. Yudasaka, and H. Ohshima, "Low temperature poly-Si TFT's using solid phase crystallization of very thin films and electron cyclotron resonance chemical vapor deposition gate insulator," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 30, p. 3724, 1991.
- [4] N. Yamauchi, N. Kakuda and T. Hisaki, "High performance polysilicon thin-film transistors using very thin sputtered gate oxide films," in Extended 22nd Int. Conf. Solid State Devices and Mater., p.996, 1993.
- [5] S. Suyama, A. Okamoto and T. Serikawa, "Electrical characteristics of MOSFET's utilizing oxygen-argon sputter-deposited gate oxide films," *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol.34, p. 2124, 1987.
- [6] J. Batey and E. Tierney, "Low-temperature deposition of high-quality silicon dioxide by plasma-enhanced chemical vapor deposition," *J. Appl. Phys.*, vol. 60, p. 3136, 1986.
- [7] J. R. Ligenza, "Silicon oxidation in an oxygen plasma excited by microwave," *J. Appl. Phys.*, vol. 36, p. 2703, 1965.
- [8] J. Kraitichman, "Silicon oxide films grown in a microwave discharge," *J. Appl. Phys.*, vol. 38, p. 4323, 1967.
- [9] T. Sugano, "Oxide film growth on GaAs and silicon substrate by anodization in oxygen plasma and its application to devices and integrated circuit fabrication," *Thin Solid Films*, vol. 72, p. 9, 1980.
- [10] A. K. Ray and A. Reisman, "The formation of SiO₂ in an RF generated oxygen plasma I. The pressure range below 10mTorr," *J. Electrochem. Soc.* vol.128, p.2460, 1981.
- [11] M. A. Copeland and R. Pappu, "Comparative study of plasma anodization of silicon in a column of a dc glow discharge," *Appl. Phys. Lett.*, vol.19, p.199, 1971.
- [12] K. T. Sung and S. W. Pang, "Oxidation of silicon in an oxygen plasma generated by a multipolar electron cyclotron resonance source," *J. Vac. Sci. Technol. B*, vol. 10, p. 2211, 1992.
- [13] D. A. Carl, D. W. Hess, and M. A. Lieberman, "Oxidation of silicon in an electron cyclotron resonance oxygen plasma: Kinetics, physicochemical, and electrical properties," *J. Vac. Sci. Technol. A*, vol. 8, p. 2924, 1990.
- [14] S. Kimura, E. Murakami, K. Miyake, T. Warabisaka, H. Sunami, and T. Tokuyama, "Low temperature oxidation of silicon in a microwave-discharged oxygen plasma," *J. Electrochem. Soc.* p.1460, 1985.
- [15] O. A. Popov, "Characteristics of electron cyclotron resonance plasma source," *J. Vac. Sci. Technol. A*7, p.894, 1989.
- [16] S. Matsuo and M. Kiuchi, "Low temperature chemical vapor deposition method utilizing an electron cyclotron resonance plasma," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol.22, p.210, 1983.
- [17] S. Kouun, I. Takashi and G. Shunichi, "Electric probe measurement in an ECR plasma CVD apparatus," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol.28, p. 897, 1989.
- [18] J. Y. Lee, C. H. Han, and C. K. Kim, "High performance low temperature polysilicon thin film transistor using ECR plasma thermal oxide as gate insulator," *IEEE Electron Device Lett.*, vol.15, p. 301, 1994.

— 저 자 소 개 —



李 貞 烈(正會員)

1960년 11월 25일생. 1983년 2월 서울대학교 전자공학과(학사). 1987년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사). 1991년 3월 ~ 현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정

재학중. 1983년 1월 ~ 1991년 1월 삼성전자 반도체연구소 선임 연구원. 1991년 9월 ~ 현재 현대전자 반도체연구소 책임연구원. 주 관심분야는 비정질, 다결정 실리콘 TFT, thin dielectric material 등임.



姜 錫 沅(學生會員)

1966년 7월 3일생. 1988년 2월 서울대학교 전자공학과(학사). 1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사). 1990년 3월 ~ 현재 한국과학기술원 전기및 전자공학과박사과정 재학중. 주 관심

분야는 ECR장치의 균일성 향상 등임.



李 進 雨(學生會員)

1972년 9월 12일생. 1994년 2월 한국과학기술원 전기및 전자공학과(학사). 1994년 3월 ~ 현재 한국과학기술원 전기및 전자공학과 석사과정 재학중. 주 관심분야는 poly-Si TET-LCD,

산화막의 신뢰성 연구 등임.

韓 哲 熙(正會員) 제 31권 A편 제 3호 참조

현재 한국과학기술원 전기및 전자공학과 부교수

金 忠 基(正會員) 제 25권 제 6호 참조

현재 한국과학기술원 전기및전자공학과 교수