

PEDCVD로 증착된 ILD용 저유전 상수 SiOCH 필름의 특성

최용호, 김지균, 이현용

명지대학교

Characterization of low-k dielectric SiOCH film deposited by PECVD for interlayer dielectric

Yong-ho Choi, Jee-gyun Kim, Heon-yong Lee

Myongji University

Abstract

Cu⁺ ions drift diffusion in thermal oxide film and SiOCH film for interlayer dielectric is evaluated. The diffusion is investigated by measuring shift in the flatband voltage of capacitance/voltage measurements on Cu gate capacitors after bias temperature stressing. At a field of 0.2MV/cm and temperature 200°C, 300°C, 400°C, 500°C for 10min, 30min, 60min. The Cu⁺ ions drift rate of SiOCH(k=2.85±0.03) film is considerable lower than thermal oxide. As a result of the experiment, SiOCH film is higher than Thermal oxide film for Cu⁺ drift diffusion resistance. The important conclusion is that SiOCH film will solve a causing reliability problems against Cu⁺ drift diffusion in dielectric materials.

Key Words : SiOCH film, Low-k dielectric, Cu⁺ drift diffusion, BTS test

1. 서론

반도체 산업의 고집적화와 고속화가 이루어지면서, 소자의 feature size는 계속 감소되어 왔다. 그러나, 이러한 feature size의 감소에 의한 이득의 한계가 0.2 μ m 이하에서 나타나기 시작하였다. 이러한 한계점을 극복하고자 많은 산업체 및 연구소에서 문제점을 극복하고자 Al과 SiO₂를 대신할 Cu 및 저유전 상수 유전체로의 전환을 위해 활발하게 연구되고 있다. Cu는 기존의 Al보다 높은 전도도와 EM(electromigration)의 저항성이 우수하다. 그러나, Cu는 전식 식각의 어려움과 CMP 공정 및

확산 방지막을 필요로 하는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점에도 불구하고, 신호 지연 및 저전력 소모등의 장점을 가진 Cu를 이용하려는 연구는 계속되고 있다. 또한, 저유전 상수 물질(k≤3.0)은 신호 지연에 대한 이득이 기존의 SiO₂(3.8≤k≤4.0)에 비하여 400%의 이득을 갖는 장점이 있다. 현재 많은 저유전 상수 물질들이 소개되고 있지만 현재 업계에서 이러한 저유전 상수 물질들의 활용에는 미미한 성과를 나타내고 있다. 현재 가장 두각을 나타내고 있는 물질로는 SOD(spin-on dielectric) 계열로는 SILK 및 polymer계열과 CVD용 Coral등이 있다. Back-End 프로세스의 공정온도는 200°C~450°C에서 이루어진다. 이러한 공정 조건에

서는 Cu⁺ ions의 drift diffusion은 무시할 수 있다. 그러나, 전계가 인가되면 Cu⁺ ions들은 급격하게 산화물로 drift되어 소자의 신뢰성에 커다란 영향을 미친다. 본 연구에서 사용한 SiOCH 필름은 Coral을 이용하였고 이 물질은 기존의 CVD로 증착되며 기존의 공정 라인을 변화없이 사용할 수 있어 주목을 받고 있는 물질이다. SiOCH 필름의 Cu⁺ 이온들drift diffusion에 대한 특성을 알아보기 위하여 BTS 처리 전·후의 flatband voltage 변화를 측정하여 고찰하였다.

2. 실험

본 연구에서는 (100) p-type si wafer를 이용하여 MIS(metal-insulator-silicon) capacitors를 제작하였다. Thermal oxide와 SiOCH의 두께는 각각 10KÅ으로 증착하였다. 10KÅ으로 증착된 SiOCH와 SiO₂는 ILD용으로서, 현재 산업체에서 사용하고 있는 ILD의 두께와 동일하게 제조하였다. SiOCH는 RF(radio frequency) PECVD를 이용하여 제작하였고, 실리콘 산화막은 wet oxidation으로 성장시켰다. 두께 측정은 엘립소미터와 나노스펙을 이용하여 측정하였다. 제작된 실리콘 산화막과 SiOCH films의 비유전율은 각각 4.1과 2.85였다. Cu층과 Ta층은 스퍼터를 이용하여 증착하였다. 이렇게 증착된 구리 게이트의 넓이는 50mm²이고, 두께는 5000Å이다. Ta층을 Cu층 위에 증착시킨 이유는 Ta를 Passivation(200Å)로 사용하여 BTS test시에 Cu의 산화를 방지하기 위함이다. 이상과 같이 스퍼터된 시료는 380℃ 30분에서 Ar 분위기에서 열처리 하였고 이는 스퍼터된 박막의 데미지를 줄이기 위함이다. 각각의 Al층은 evaporater를 이용하여 각각 5000Å을 증착하였고 Al을 증착한 목적은 측정시 전기적 접촉이 좋기 때문이다. 이렇게 만들어진 capacitors의 BTS 테스트와 고주파 (1MHz) C-V 측정은 HP4280을 이용하여 측정하였다. BTS 테스트의 조건은 온도는 200℃~500℃로 열처리하였고, 또한 시간은 0분에서 60분의 조건으로 처리하였다. 이때, 인가된 전계는 0.2MV/cm이다.

표 1. 연구에 사용된 유전체의 특성.

| Properties | SiO2 | SiOCH | Properties | SiO2 | SiOCH |
|----------------|-------|-------|---------------------|------|--------|
| Film Thickness | 10K | 10K | Film Deposition | - | 12,800 |
| R.I. | 1.46 | 1.39 | Etch Rates | 1000 | 9700 |
| Film Density | 2.27 | 1.34 | Dielectric Constant | 3.9 | 2.85 |
| Roughness | 78.46 | 6.42 | Stress | 3E8 | 6.5E8 |

단위: (Film Stress[Å], Film Dencity [g/cm³(cc)], Roughness [Å], Film Deposition [Å/min], Etch Rate[Å/min], Stress [dyne/cm²])

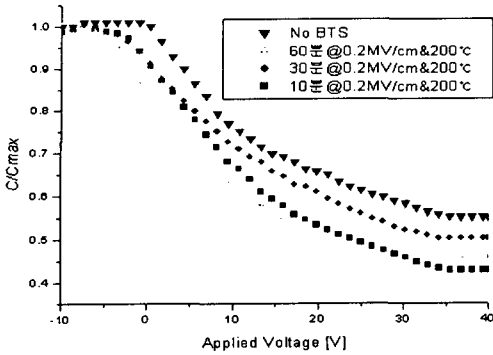
| |
|------------------------|
| Al 5000 Å |
| Ta 200 Å |
| Cu 5000 Å |
| Dielectric layer 10K Å |
| P-type Si wafer |
| Al 5000 Å |

그림 1. 본 실험에 사용된 MIS 구조 단면도.

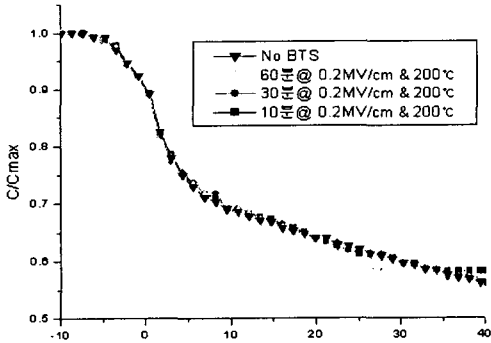
3. 결과 및 고찰

Cu⁺ ions의 drift diffusion은 BTS 전·후의 Cu gate를 가진 capacitors의 C-V를 측정하여 flatband voltage의 변화를 측정함으로써 연구하였다. BTS test는 열처리와 함께 전계를 인가된 전계에 의하여 유전체로의 Cu⁺ drift diffusion을 발생시킨다. 일반적인 경우, Cu gate를 가진 캐패시터는 열처리 시간과 온도 및 인가된 전계에 비례하여 ΔV_F(shift flatband voltage)는 증가하는 경향을 보인다. ΔV_F는 BTS 전·후의 C-V곡선에서의 flatband의 변화로 측정되어진다. [그림 2.]에서 열 처리 온도는 고정시키고 시간을 달리한 Thermal oxide와 SiOCH를 유전체로 가지는 캐패시터의 C-V곡선을 나타냈고, 열처리 시간에 비례하여 ΔV_F의 변화가 증가하는 일반적인 경향이 나

타났다.

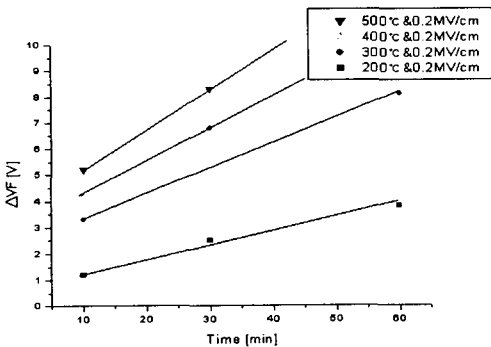


(a) BTS 전 · 후의 oxide 캐패시터의 C-V 곡선.

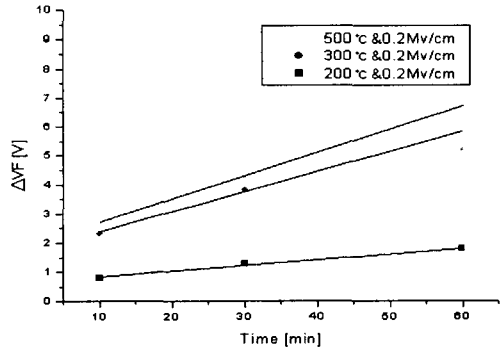


(b) BTS 전 · 후의 SiOCH 캐패시터의 C-V 곡선.
 그림 2. 200°C에서 열처리 시간을 달리한 oxide와 SiOCH capacitors의 C-V 곡선.

또한, SiOCH를 유전체로 가지는 캐패시터의 ΔV_F 의 변화가 적은 경향을 나타냈고 ΔV_F 의 변화는 유전체와 실리콘 계면에서의 charging effect에 의하여 발생된다.



(a) SiO2 capacitors의 shift flatband voltage.



(b) SiOCH capacitors의 shift flatband voltage.

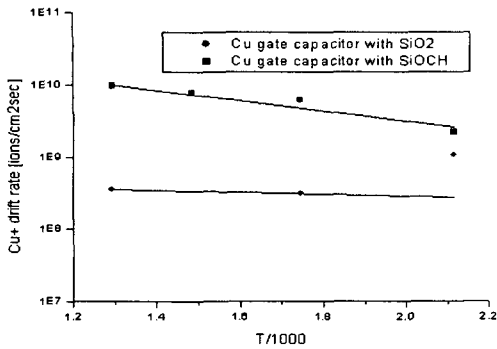
그림 3. SiO2와 SiOCH 캐패시터의 온도와 시간에 따른 문턱전압의 변화 특성.

위의 [그림 3.]에서 나타나는 바와 같이, ΔV_F 의 변화는 온도가 상승할수록 BTS 시간이 길어질수록 커짐을 볼 수 있는데 이는 Cu^+ drift diffusion이 일어났음을 증명하고, 또한 [그림 3.]은 Cu^+ ions의 drift diffusion의 저항성이 SiO2보다는 SiOCH가 우수함을 보여주고 있다. 이렇게 측정된 ΔV_F 는 열처리 시간과 함께 Cu^+ drift rate을 구할 수 있는 파라미터이며 Cu^+ drift rate은 식 1.을 이용하여 구할 수 있다.

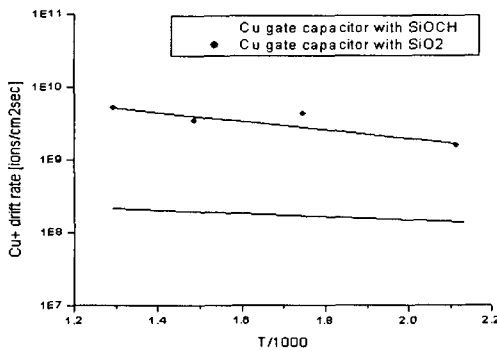
$$\frac{d}{dt} [Cu^+] = -\frac{C}{q} \frac{d}{dt} (\Delta V_F) \quad \text{식. 1}$$

여기서, q 는 전자의 전하량이고, C 는 capacitance per unit area이다. [식 1.]을 이용하여 구해진 Cu^+ drift rate은 drift된 Cu^+ ions을 가진 유전체와 substrate의 계면상태를 추측할 수 있는 factor가 된다.

[그림 4.]에서의 기울기 곡선은 BTS 시간과 ΔV_F 를 이용하여 구하였고 Cu drift rate의 기울기는 각 포인트의 값을 연결하여 구하였으며, 급격한 변화를 가지는 data point는 무시하였다. 그 이유는, 계산되어진 값의 해석을 위하여 급격하게 변화된 data point는 무시하였다. 또한, 그림 4.에서 나타나는 바와 같이 SiOCH film은 Thermal oxide film에 Cu drift의 저항성이 우수함이 나타난다.



(a) 각 온도에 대해 10분간 BTS처리된 drift rate.



(b) 각 온도에 대해 30분간 BTS처리된 drift rate.

그림 4. 각 온도에 BTS 시간에 따른 SiO₂와 SiOCH 유전체를 가진 Capacitors의 Cu drift rate.

4. 결론

Cu 기반 소자의 집적화에 있어서 Cu drift diffusion은 소자의 신뢰성에 영향을 미친다. 이러한 영향을 알아보기 위하여 BTS와 C-V 측정은 Cu drift diffusion을 알아보기 위하여 많이 사용되고 있다. 본 실험에서는 SiO₂와 SiOCH를 절연층으로 가지는 Cu gate capacitors를 BTS 전·후의 C-V를 측정하여 Cu drift diffusion이 소자에 미치는 영향을 알아보았다. 이렇게 측정된 C-V곡선을 이용하여 flatband voltage의 변화를 관찰하고, 측정된 ΔV_F 와 BTS 시간을 이용하여 Cu drift rate을 계산하고, 비교 하였다. 이렇게 계산되어진 Cu drift rate을 이용하여 SiO₂와 SiOCH film을 비교, 분석하였다.

본 실험에서의 결과로 SiO₂에 비하여 SiOCH film이 Cu drift rate에 대한 저항성이 비교적 우수함을 알수 있었고, Cu Metallization시 barrier의 필요

성도 입증되었다.

참고 문헌

- [1] S.P.Muraka, "Multilevel Interconnections for ULSI and GSI era", Mater.Sci. R19, p.88, 1997.
- [2] Y.Shacham-Diamond, A.Dedhia, "Copper transport in termal SiO₂, J. Electrochem. Soc, Vol. 8. No. 140, P 2427, 1993.
- [3] A.L.S. Loke, C. Ryu, P. Tue, J.S.H. Cho, S. S. Wrong, "Kinetics of copper drift in PECVD dielectrics, IEEE Electron Device Lett. Vol. 12, No. 17, P. 549, 1996.
- [4] J.D. McBrayer, R.M. Swanson, T.W. Sigmpn, "Diffusion of metals in silicon dioxide" J. Electrochem. Soc, Vol. 6, No.133, P. 1242, 1986.
- [5] F. Lanckmans, W.D. Gray, B. Brijs, K. Maex, "A comparative study of copper drift diffusion in plasma deposited a-SiC:H and silicon nitride, Vol. 1, No. 55, P. 329, 2001