

## Rapid Thermal Process에 의해 형성시킨 얇은 산화막의 전기적 특성

“이 철 진”, “성 만 영”, “성 영 권”  
 \*군산대학교 전기공학과, \*\*고려대학교 전기공학과

### Electrical Properties of Thin SiO<sub>2</sub> Film by Rapid Thermal Process

“Cheol Jin Lee”, “Man Young Sung”, “Yung Kwon Sung”

\* Department of Electrical Engineering Kunsan National Univ.

\*\* Department of Electrical Engineering Korea Univ.

#### Abstract

The Electrical properties of thin SiO<sub>2</sub> film by rapid thermal processing have been investigated and this film has been compared with thermal SiO<sub>2</sub> film by furnace. The RTO(rapid thermal oxide) film annealed in Ar ambient represent more superior properties than thermal SiO<sub>2</sub> film by furnace at breakdown field and leakage current. The RTO(rapid thermal oxide) film annealed in N<sub>2</sub> ambient represent more inferior properties than thermal SiO<sub>2</sub> film by furnace at electrical properties, but the capacitance was improved 15 - 25% than the conventional oxide film.

#### 1. 서 론

오늘날 반도체소자의 집적도가 급속히 향상되어 소자의 최소 design rule이 submicron까지 감소됨에 따라서 고집적 메모리소자에서 커패시턴스 부족현상은 심각한 문제로 대두되고 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 절연막의 두께를 감소시키는 것<sup>(1)</sup> 커패시터의 전극면적을 증대시키는 방법<sup>(2)</sup> 그리고 고유전율질을 절연막으로 사용하는 방법<sup>(3)</sup>이 있는데 특히 전극으로 사용되는 다결정 실리콘위에 전기적 특성이 신뢰성이 우수한 얇은 절연막을 형성시키는 것이 필수적으로 요구된다. 또한 고집적반도체소자에서 게이트절연막의 박막화에 따른 막의 전기적 특성과 신뢰성을 개선시키는 것도 중요한 과제로 등장하게 되었다.

커패시턴스를 증가시키기 위하여 고유전율질을 이용하는 방법은 주로 질화막을 사용하는데, 실제적인 구조는 ONO 막을 사용하거나 산화막을 N<sub>2</sub> 분위기에서 질화시켜 형성한 ON 막을 사용한다. <sup>(4)(5)</sup>

본 연구에서는 기존의 확산로에서 형성시킨 얇은 절연막 대신에 Rapid Thermal Annealing에 의한 얇은 산화막(RTO)의 전기적특성과 신뢰성을 평가 후, 이것을 기존의 열산화막과 비교하고 아울러 Rapid Thermal Annealing에 의해 형성시킨 얇은 산화막을 Ar 분위기와 N<sub>2</sub> 분위기에서 열처리한 후 각각의 막질에 대한 특성을 비교분석함으로써 추후 고집적 반도체소자의 적용가능성을 평가하고자 한다.

#### 2. 실험방법 및 측정

시편제작은 비저항이 15 - 25[Ω.cm]인 P형(100) 웨이퍼를 사용하여 그림 1과 같은 방법으로 진행하였다. 확산로에 의한 열산화막은 800[°C]에서 산소 15[sim], HCl 150[sccm]를 30분 동안 흘려서 10[nm]정도의 산화막을 성장시켰다. 한편 Rapid Thermal Annealing에 의한 얇은 산화막은 1500[°C]에서 10초 동안 산소를 15[sim] 흘려서 성장시켰다. RTO막에 대한 Ar 분위

기 열처리는 1000[°C]에서 Ar 2[sim]를 30초동안 흘려서 실시하였고 또한 RTO막에 대한 N<sub>2</sub> 분위기 열처리도 역시 1000[°C]에서 N<sub>2</sub> 2[sim]를 30초동안 흘려서 실시하였다. 이때 RTP에 의한 산화막의 두께는 10[nm]로 조절하였다. 시편제작에 대한 순서도를 그림 1에 나타냈다.

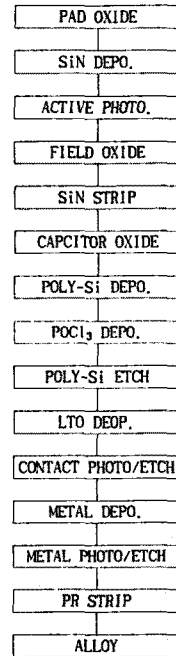


그림 1. 시편제작 순서도

성장시킨 산화막의 두께는 Rudolph사의 Ellipsometer(Auto EL4)를 사용하여 측정하였다. 전기적 특성은 500μm X 600μm의 직사각형 패턴을 사용하여 측정하였는데, 절연파괴전압은 Parameter analyzer(HP4145B)를 사용하여 전류가 1[μA] 흐를 때로 정하였고, 누설전류값은 5[MV/cm]의 전계에서 흐르는 전류로 정하였으며, TDDB는 단위면적당 0.1[A/cm<sup>2</sup>]의 전류밀도를 갖는 전류를 인가하여 절연막이 파괴되기까지 걸리는 시간을 측정하였다. 한편 각각의 조건에 의해 성장된 산화막은 표 1과 같은 종류로 분류하여 각각에 대한 전기적 특성을 평가하였다.

A	확산로에 의한 산화막
B	Rapid Thermal Annealing에 의한 산화막(RTO)
C	RTO막을 Ar 분위기에서 열처리한 산화막
D	RTO막을 NH <sub>3</sub> 분위기에서 열처리한 산화막

표 1. 산화막의 성장 조건

### 3. 결과 및 고찰

그림 2는 막 두께가 10[nm]인 각 시편에 대한 절연파괴전계 값을 나타낸 것으로서, Rapid Thermal Process로 성장시킨 산화막(RTO)이 확산로에서 성장시킨 산화막보다 절연파괴전계가 0.15[MV/cm] 정도 높았으며, 또한 Ar 분위기에서 열처리를 추가한 산화막은 0.25[MV/cm] 정도 더 높게 나타났다. 그러나 NH<sub>3</sub> 분위기에서 열처리를 추가한 산화막은 절연파괴전계가 9.0[MV/cm]로서 상당히 낮았다. 절연파괴전계 특성에서 RTO막이 확산로에서 성장시킨 산화막보다 더 좋은 특성을 나타내는 이유는 RTO막이 고온공정인 관계로 Fixed oxide charge 값을 감소시킬 수 있기 때문으로 사료된다. 즉 Si와 SiO<sub>2</sub> 계면에서 Fixed charge가 다량으로 존재하는 2 - 3[nm] 정도의 interface 구역을 감소시킴으로써<sup>(6)</sup> 계면에서 완전한 격자구조를 갖는 산화막층이 상대적으로 증가하기 때문에 절연파괴전계가 증가하는 것으로 생각된다. 특히 RTO막에 열처리를 실시하면 interface구역의 감소와 아울러 산화막내부의 결함도 감소시켜주기 때문에 더 좋은 결과가 나타난 것으로 생각된다.

한편 NH<sub>3</sub> 분위기에서 열처리를 실시하면 산화막내로 질소원자가 침투하여 막의구조가 Non-stoichiometry(Si-O<sub>2</sub>-N<sub>x</sub>)로 변화되면서 막내부에 많은 결함과 스트레스를 유발시키기 때문에 낮은 절연파괴전계를 갖는 것으로 사료된다.

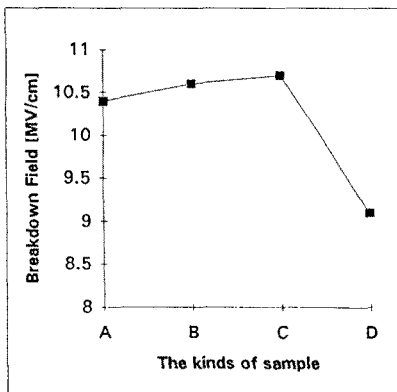


Fig. 2. The properties of Breakdown Field according to the sample

각각의 조건에 대한 누설전류값은 그림 3에 나타났다. Rapid Thermal Process로 성장시킨 산화막(RTO)이 확산로에서 성장시킨 산화막보다 약간 높은 누설전류값 65[PA/cm<sup>2</sup>]을 나타내지만, Ar 분위기에서 열처리를 실시한 산화막은 오히려 더 낮은 값을 나타냈다. 이러한 결과는 고온공정에서 급속하게 성장시킨 산화막이 좀더 낮은온도에서 확산로에서 성장시킨 산화막에 비하여 산화막내부에서는 더 많은 결함을 포함하고 있는 것으로 생각된다. 한편 RTO막을 Ar 분위기에서 열처리를 실시하면 RTO막내부에 생성된 결함이 감소함으로써 막의 안정화가 이루어지게 되어서 누설전류값은 감소하는 것으로 생각된다. 그러나 RTO막을 NH<sub>3</sub> 분위기에서 열처리하면 누설전류값

이 크게 증가하는 것을 보여주는데, 이러한 특성은 NH<sub>3</sub> 분위기에서 열처리한 RTO막의 경우 막의 상부에서는 질화막이 생성되고 또한 막의 중간부에서는 막의 구조가 Non-stoichiometry (Si-O<sub>2</sub>-N<sub>x</sub>)로 변화되면서 막내부에 많은 결함과 스트레스가 발생하기 때문에 누설전류가 증가하는 것으로 사료된다. 이러한 결과는 일반적으로 질화막이 산화막에 비하여 생성 스트레스가 약 3배 정도 크고 실리콘에 대한 전자의 barrier height도 약 2/3 정도밖에 되지 않아서 누설전류가 높다는 사실과 잘 일치한다.

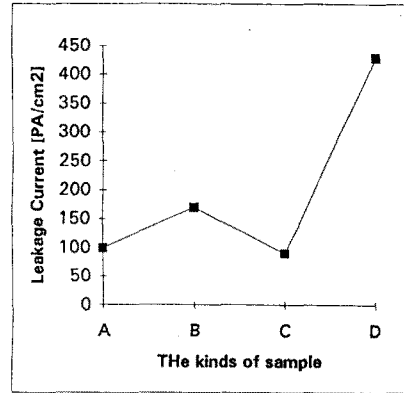


Fig. 3. The properties of Leakage Current according to the sample

각각의 조건에 대하여 막 두께를 10[nm]로 한 경우의 커패시턴스값과 이 커패시턴스에 의해서 계산된 유전상수값을 그림 4와 그림 5에 나타냈다. 확산로에서 성장시킨 산화막과 Rapid Thermal Process로 성장시킨 산화막(RTO) 그리고 RTO막을 Ar 분위기에서 열처리시킨 산화막은 모두 이론치에 근접하는 유전상수 값을 나타냈다. 그러나 RTO막을 NH<sub>3</sub> 분위기에서 열처리시킨 산화막은 유전상수가 산화막과 질화막의 중간값을 나타냈으며 또한 RTO막을 NH<sub>3</sub> 분위기에서 열처리시킨 산화막은 다른 조건의 산화막에 비하여 커패시턴스값이 16 - 25% 정도로 증가하였다. 이러한 현상은 RTO막이 NH<sub>3</sub> 분위기에서 열처리에 의해서 산화막의 일부가 질화막으로 변화된 것을 나타내고 있다.

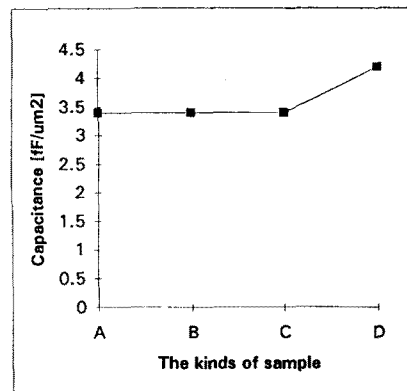


Fig. 4. The properties of Capacitance according to the sample

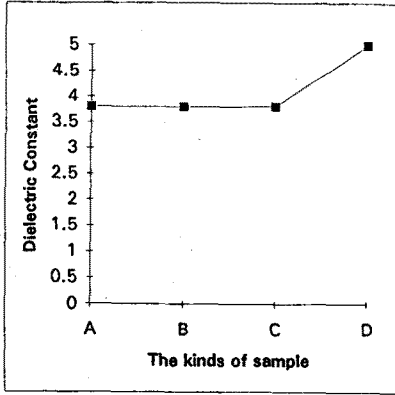


Fig. 5. The properties of Dielectric Constant according to the sample

각 조건에 대한 TDDB 특성을 그림 6에 나타냈는데 이것은 파괴시간에 따른 축적파괴율의 특성을 보여주고 있다. 여기에서 RTO막의 경우 막 내부의 결합에 기인하는 초기파괴는 확산로 성장시킨 산화막보다 나쁘지만 전기적 스트레스에 의한 파괴는 35% 이상에서는 오히려 더 좋은 특성을 나타냈다. 그리고 RTO막에 Ar 분위기 열처리를 추가한 조건은 초기파괴도 현저하게 감소되고, 스트레스에 의한 파괴도 확산로에 의한 산화막이나 RTO막에 비해서 훨씬 우수한 결과를 나타냈다. 이러한 결과는 RTO막이 확산로로 성장시킨 산화막보다 막의 내부결합은 많지만 SiO<sub>2</sub>-Si 계면에서의 fixed charge 감소에 따른 산화막 구조의 안정화로 인하여 절연파괴에 대한 내구력이 증가한 것으로 생각된다. 아울러 RTO막에 Ar 분위기 열처리를 추가한 조건의 TDDB 특성이 양호한 것은 RTO막에 대한 열처리 효과에 의해서 산화막의 내부결합이 크게 감소하기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 RTO막을 NH<sub>3</sub> 분위기에서 열처리시킨 산화막은 1초 이내에 초기파괴가 일어났다. 이러한 현상은 막 내부의 구조가 Non-stoichiometry(Si-O<sub>2</sub>-N<sub>x</sub>)로 변화되면서 막 내부에 많은 결합과 스트레스가 발생하기 때문에 일어나는 것으로 사료되며 누설전류 특성에서도 유사한 결과를 볼 수 있다.

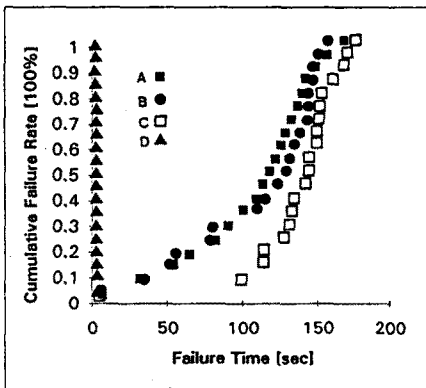


Fig. 6. Cumulative Failure Rate according to the Failure Time

#### 4. 결 론

1. Rapid Thermal Process로 성장시킨 산화막은 절연파괴전 계값이 0.15[MV/cm]이고 누설전류값은 [65PA/cm<sup>2</sup>]로서 기존의 확산로에서 성장시킨 산화막보다 전기적 특성이 더 나았다.
2. RTO막에 Ar 분위기에서 열처리한 산화막은 확산로에 의한 산화막이나 RTO막에 비하여 절연파괴전계는 0.25[MV/cm]이고, 누설전류값은 65[PA/cm<sup>2</sup>]로서 전기적 특성이 더 우수하였다.
3. RTO막에 NH<sub>3</sub> 분위기에서 열처리한 산화막은 확산로에 의한 산화막이나 RTO막보다 커패시턴스값은 15 - 25% 증가했지만, 절연파괴전계와 누설전류, 그리고 TDDB 특성은 나쁜 것으로 나타났다.

이상의 결과에 의하면 Ar분위기에서 열처리한 RTO막은 기존의 확산로에 의한 산화막을 대체하여 반도체소자의 제조공정에 도입하면 더 우수한 전기적 특성이 기대된다.

#### 참고 문헌

- [1] A. Bhatta Charya, and C. Vort, J. Electrochem. Soc., Vol. 132, No. 8, PP.190, August 1985
- [2] N. Chauchun Lu, P. E. Cottrell, and W. J. Craig, IEEE Vol. SC-21, No.5, PP.627, Oct. 1986
- [3] G. S. Oehrlein, J. Appl. Phys., Vol. 47, PP.1587, March 1986
- [4] J. Nulman and J. P. Krusis, J. Appl. Phys. Letters, Vol. 47, PP.15, July 1985
- [5] J. Nulman, J. P. Krusis, and C. Rathbun, IEEE Vol. EDTM 84, PP.169, 1984
- [6] O. D. Trapp, R. A. Blanchard, and T. I. Kamins, Semicon. Tech, Handbook, P.12-14, 1982