

# SiO/TiN 박막의 증착두께에 따른 유전율 특성

10-6-8

## Permittivity Characteristics of SiO/TiN Thin Film according to Coating Thickness

김창석\*, 이우선, 정천욱\*\*, 김병인\*\*\*

(Chun-Ock Chung, Byung-In Kim, Woo-Sun Lee, Chang-Suk Kim)

### Abstract

In these days, the thinner film of dielectric materials is required while it's capacitance is required to be still large at the VLSI process. Most of such VLSI have MOS structures. For the research on this requirement, MOS capacitors were fabricated on the silicon wafer in four different thickness groups by RF sputtering method.

SiO of the SiO/TiN film is used as the insulating layer and TiN is chosen as the barrier against the diffusion of Al which is the terminal connected by ohmic contact because TiN has the advantageous properties such as good thermal stability and very low diffusion rate in spite of it's relatively low specific resistance. In this study their electrical and optical characteristics are investigated to find refractive index, absorption coefficient and Permittivity.

**KEY WORD(중요용어):**Refractive index(굴절률), Absorption coefficient(흡수율), Permittivity(유전율), Photon energy(광자에너지)

### 1. 서 론

최근 반도체 기술이 고집적화와 함께 더욱 우수한 전기적, 자기적 및 광학적 특성과 내식성이 있는 소자 개발이 활발하게 진행되고 있는데 Si MOS VLSI의 게이트(gate) 절연막으로 많이 사용되고 있는 Silicon 산화막의 커패시터(Capacitor) 절연막 두께는 대단히 얇게 되어 가고 있다.<sup>1) 3)</sup>

다양한 응용 범위를 갖는 SiO 절연막은 기판을 제외한 전체 막의 약 67%를 점유하고 있어 SiO 박막 개발이 필수적이라 할 수 있다.<sup>4)5)</sup>

SiO 박막은 내열성 및 안전성이 우수하고 절연 내력이 크며 더우기 제작이 용이한점 때문에 현재 Micro Electronis에 있어서 박막소자의 절연체 또는 유전체로 널리 이용되고 있다.

SiO를 이용한 완전한 결정 박막제작은 불가능하고 이 결정 결함은 전기 전도도와 절연체 거동에

영향을 준다.

본 연구에서는 SiO와 SiO/TiN으로 MOS 구조의 박막을 제작하였다. 절연층으로 사용되는 SiO 층을 얇게 할때 단락의 문제가 생긴다. SiO 박막 위에 Al을 증착시 발생하는 스파이킹 현상 문제를 해결하기 위하여 SiO막 위에 확산 방벽용 TiN을 증착하고 SiO층 두께를 다르게 RF 스퍼터링법으로 제작하여 유전율 특성을 검토하였다.

### 2. 이 론

시료의 전자기특성은 분광해석법<sup>6)7)</sup> Spectroscopic Ellipsometry에 의해 알 수 있는데, 물질의 유전율( $\epsilon$ ) 및 투자율( $\mu$ )은 Maxwell 방정식으로 부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\nabla^2 \mathbf{u} + \mu \epsilon (\omega/C)^2 \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

여기서 각 진동수가  $\omega$ 인 광파가  $c/\omega$ 의 속도로 매질을 전파하고 있음을 나타낸다.

반도체에서 굴절률을  $n$ , 흡수율을  $k$ 라 하면 식 (1)은

$$n + k = (\epsilon_r + i\epsilon_i)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

로 표현된다.

\* : 조선대학교 공대 전기공학과

\*\* : 아세아자동차공업(주) 설비보전팀

\*\*\* : 송원전문대학 전기과

접수일자 : 1997년 4월 11일

심사완료 : 1997년 7월 1일

여기서 흡수율  $k$ 는 반도체의 energy band gap을 결정하는 요소가 된다.

그리고 분극률, 유전상수( $\epsilon$ )와 굴절률 관계를 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$n^2 = \epsilon = 1 + 4\pi\alpha \quad (3)$$

여기서  $\alpha$ 는 물질의 분극률이고

복소유전율  $\epsilon^* = \epsilon_r + i\epsilon_i$  은 굴절률, 도전을 그리고 흡수율과의 상호 관계에 의해 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \epsilon_r &= n^2 - k^2 \\ \epsilon_i &= 2nk = \frac{\sigma}{\omega\epsilon_0} \end{aligned} \quad (4)$$

그리고

$$\begin{aligned} n &= (1/\sqrt{2})\sqrt{\epsilon_r\sqrt{\epsilon_r^2 + \epsilon_i^2} + \epsilon_i^2} \\ k &= (1/\sqrt{2})\sqrt{-\epsilon_r + \sqrt{\epsilon_r^2 + \epsilon_i^2}} \end{aligned} \quad (5)$$

반도체의 광학적 성질은 복소 굴절률  $n^*$ 을 써서 표시된다.

또한 복소 유전율  $k$ 도  $n^*$ 을 이용하여 표시한다.

$$k = n^* = \epsilon_s + i\sigma/\epsilon_0\omega \quad (6)$$

이  $\epsilon_s$ 는 비유전율이고 전류의 흐름을 무시할 경우는 도전을  $\sigma = 0$ .

즉  $k = \epsilon_s$ 가 된다.

복소 굴절률을 실수부  $n$ 과 허수부  $k$ 로 나누어

$$n^* = n + ik \quad (7)$$

라 쓸 수 있다.

### 3 실험

#### 3-1 박막제작

본 실험에 사용한 진공반응로는 Vacuum Science(Model : VSSE-2TS)이고 RF power generator는 RE-GEN (Model : YES-100S)에서 제작한 설비를 사용하였다. 박막은 typically 99.9% pure인 target(maker : CERAC) SiO와 TiN을 Si wafer(n-100)위에 기판온도를 200°C로 하여 3.34Å/sec 속도로 증착하였다. 그리고 SiO를 기판으로부터 확산되어 들어올 수 있는 불순물에 의한 오염을 방지하고 기판의 절연성을 좋게 하기위해 베이스 증착하였다. 증착시간을 각각 5, 10, 15, 20분으로 하여 SiO 두께가 다른 4개의 시편을 제작하였다. 그리고 SiO위에 증착한 TiN은 10분 증착하였

으며 이때 가스는 SiO 증착시는 아르곤(Ar)을, TiN 증착때는 질소(N<sub>2</sub>)를 주입하여 증착하였다. 증착시 반응로 압력은 10<sup>-1</sup> torr로 유지한 상태에서 제작하였다. 시료제작 데이터와 두께는 표 1과 같고 제작된 시료 구조는 그림 1에 나타냈다.

#### 3-2 측정장치

제작된 박막특성 측정은 미국 Rudolph사 S-2000 SE(Spectroscopie Ellipsometer)를 이용하여 증착된 막의 두께를 측정, 확인 후 상온에서 시료에 크세논 광(Xe Arc)의 입사각을 70°로 고정시키고 파장 300nm에서 4.5nm 간격으로 750nm 까지 증가시키면서 굴절률, 흡수율 및 유전율 특성을 측정하였다.

표 1. 두께와 필름 데이터

Table. 1. Data of thin film and thickness

Sample No	Target		Construction	Measurement sample name
	SiO	TiN		
01	1000Å		Si/SiO	A <sub>1</sub>
02	2000			A <sub>2</sub>
03	3000			A <sub>3</sub>
04	4000			A <sub>4</sub>
05	1000	1600Å	Si/SiO/TiN	B <sub>1</sub>
06	2000	"		B <sub>2</sub>
07	3000	"		B <sub>3</sub>
08	4000	"		B <sub>4</sub>

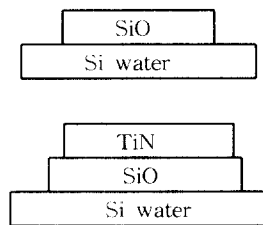


그림 1. 제작된 시편의 구조

Fig. 1. The structure of fabricated sample

### 4. 실험결과 및 분석

#### 4-1. 굴절률 특성

그림 2는 시료 A인 SiO 박막에 빛을 입사시키면 굴절률은 두께가 두꺼운 것이 더 큰 값이 나타나고 파장 증가에 따라 거의 같은 기울기로 증가함을 나타냈는데 그것은 결정에 입사 광의 진동수가 SiO의 고유 진동수에 접근하면 굴절률이 증가

하고 공진 상태가 되면 더욱 증가하게 된다. 그리고 두께에 따라 편차를 갖게 되는 것은 초기에 발생하는 직접 천이와 간접 천이가 동시에 수반되어 발생하는 굴절과 증착시 주입한 gas(Ar)가 SiO와 작용하는 과정에서 불순물로 작용하여 막의 조성

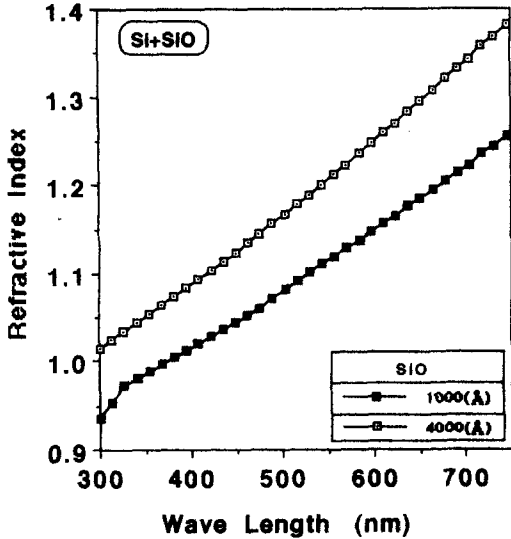


그림 2. 파장에 따른 SiO(A<sub>1</sub>, A<sub>4</sub>) 필름의 굴절률  
Fig. 2. The refractive index of SiO(A<sub>1</sub>, A<sub>4</sub>) film vs. wave length

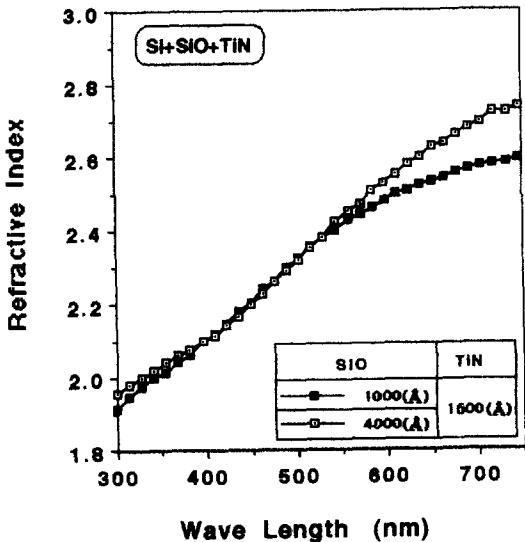


그림 3. 파장에 따른 SiO/TiN(B<sub>1</sub>, B<sub>4</sub>) 필름의 굴절률  
Fig 3. The refractive index of SiO/TiN(B<sub>1</sub>, B<sub>4</sub>) film vs. wave length

이 달라져 SiO 증착 두께에 따라 굴절률이 각각 다르게 발생되었기 때문이다.

그림 3은 SiO 위에 TiN을 증착시킨 경우 굴절률은 저 파장에서는 두께와 관계없이 거의 같게 나타나고 파장이 증가함에 따라 편차가 발생하여 두께가 두꺼운 시료가 더 큰 값이 나타났다.

TiN을 증착한 시료가 더 큰 굴절률이 발생한 이유는 TiN이 고용점 물질이면서 페르미 준위가 높기 때문이고 파장증가에 따라 큰 기울기를 가지고 지수 함수적으로 증가한 이유는 TiN의 굴절률이 1.38이므로 이것만큼 굴절률 값이 증가하였다고 생각된다.

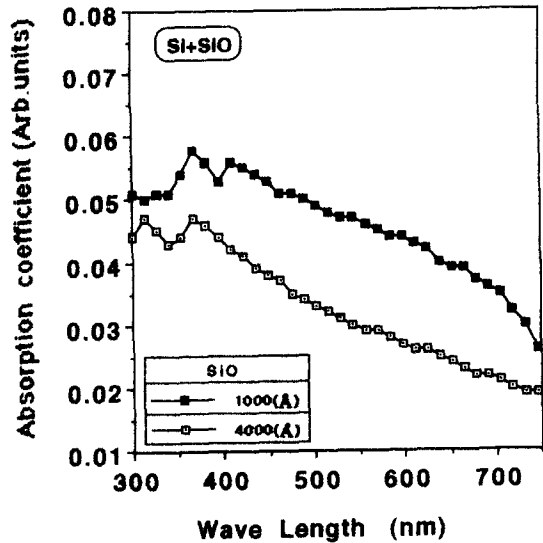


그림 4. 파장에 따른 SiO(A<sub>1</sub>, A<sub>4</sub>) 필름의 흡수율  
Fig. 4. The absorption coefficient of SiO(A<sub>1</sub>, A<sub>4</sub>) film vs. wave length

#### 4-2. 흡수율 특성

고순도 SiO 절연체를 증착한 경우 흡수율이 불안정하게 나타나고 있는 것을 그림 4에 나타냈는데 전기적으로 중성인 복합 입자에 의한 여기자 (exciton) 영향 때문이며 저 파장에서 불안정한 피크가 발생하는 것은 전자와 정공간 상호작용에 의해 발생하는 쿨롱력에 의해 두 밴드간의 금지대폭이 넓게 되어 저 에너지측에서 피크가 발생하기 때문이다.

그림 5는 SiO에 TiN을 증착했을 때 초기 저 파장에서는 거의 같은 값으로 증가하다가 408nm에서부터 SiO막이 두꺼운 것이 더 많은 흡수율을 나타내고 750nm에서 큰 편차가 나타났는데, 그 이유는 SiO/TiN층이 열평형 상태에서 광(열)을 받으면 두

꺼운 시료일 수록 가스 주입시간 증가로 막의 농도 분포가 변화됨에 따라 캐리어수가 증가하여 광흡수가 증가하기 때문이며, 파장에 따라 흡수가 증가하다가 556nm 이상부터 캐리어의 밀도가 포화되어 흡수가 감소함을 나타내고 있다.

또한 TiN 흡수율이 0.21이므로 TiN 박막이 더 큰 값을 나타내고 있으며 실험에서 이론을 잘 증명하고 있다.

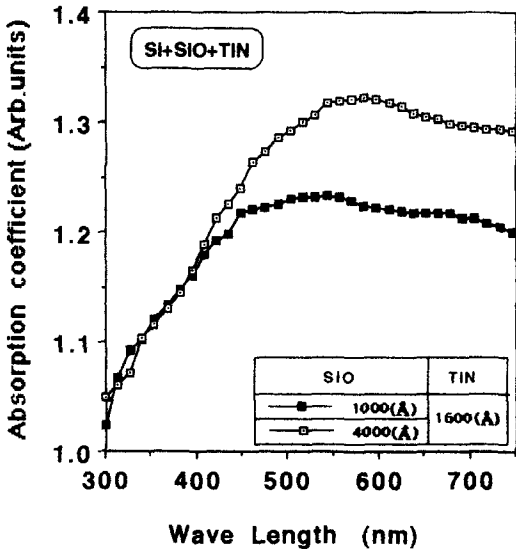


그림 5. 파장에 따른 SiO/TiN(B<sub>1</sub>, B<sub>4</sub>) 필름의 흡수율

Fig 5. The absorption coefficient of SiO/TiN(B<sub>1</sub>, B<sub>4</sub>) film vs. wave length

4-3. 유전율 특성

4-3-1. wave length에 의한 특성

그림 6은 파장 증가에 따라 실수부  $\epsilon_r$  과 허수부  $\epsilon_i$ 의 편차가 저 파장때 보다 크게 나타나고 있는데 이것은 SiO에 빛이 입사되면 빛은 박막내의 SiO 및 Si 웨이퍼 물질 상호작용에 의한 흡수가 파장의 증가에 따라 점차 증가를 나타냈는데 이것은 박막내를 진행한 빛의 강도를 나타낸  $I(x) = I_0 \exp(-\alpha x)$  이론을 만족함을 알 수 있다.

그리고 같은 파장 대역에서 복소유전율 크기를 그림 7에 나타냈는데 광흡수와 관계가 있는 허수부  $\epsilon_i$ 가  $\epsilon_r$ 보다 더 큰 값을 갖고 고 파장 영역에서 박막 두께간에 편차가 나타나고 있는데, 그 이유는 시료에 입사된 광에너지에 의해 전도대에 존재하는 전자와 가전자대에 속해 있는 정공사이에 작용하는 쿨롱력에 의해 금지대 밀도는 절연체인

SiO 두께가 두꺼울 수록 단위 밀도가 낮아 광흡수가 증가 하기 때문이다.

한편 TiN을 증착한 박막의 유전율 값이 더 큰 값을 갖게 됨을 알 수 있는데, 그 이유는 SiO 만의 박막보다 SiO/TiN 박막이 2중급속 물질로 집합층을 이루고 있어 굴절률이 증가함에 따라 유전율은 굴절률 사승의 관계( $\epsilon = n^2$ )에 의해 큰 값이 나타나고 있음을 알 수 있다.

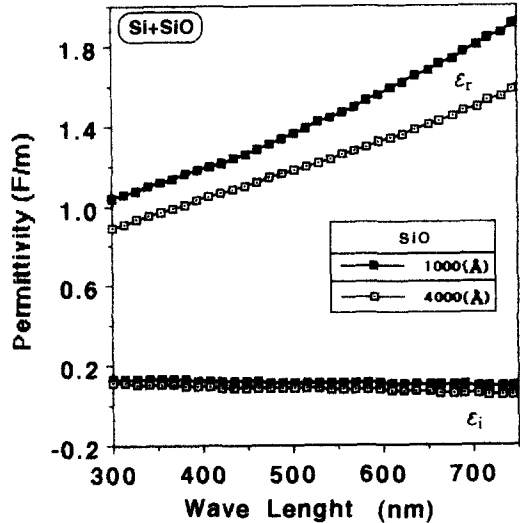


그림 6. 파장에 따른 SiO(A<sub>1</sub>, A<sub>4</sub>) 필름의 유전율  $\epsilon_r, \epsilon_i$

Fig. 6. Permittivity  $\epsilon_r, \epsilon_i$  of SiO(A<sub>1</sub>, A<sub>4</sub>) film vs. wave length

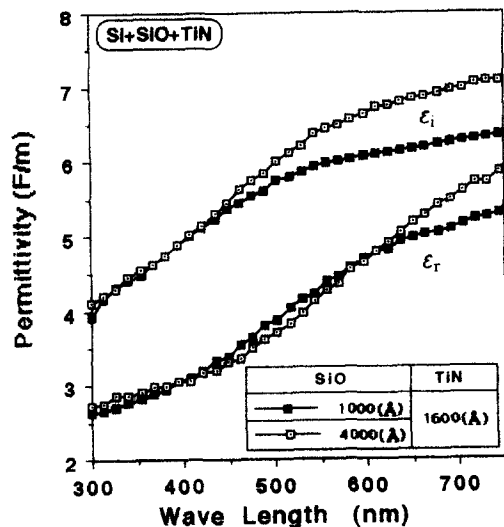


그림 7. 파장에 따른 SiO/TiN(B<sub>1</sub>, B<sub>4</sub>) 필름의 유전율  $\epsilon_r, \epsilon_i$

Fig 7. Permittivity  $\epsilon_r, \epsilon_i$  of SiO/TiN(B<sub>1</sub>, B<sub>4</sub>) film vs. wave length

4-3-2. Photon Energy 특성

SiO와 같은 절연체는 아몰피스 상태에서 유전율은 두께가 얇을 수록 큰 값을 나타내고 광자 에너지 증가에 따라 점차 감소 하는 현상을 보이고 있

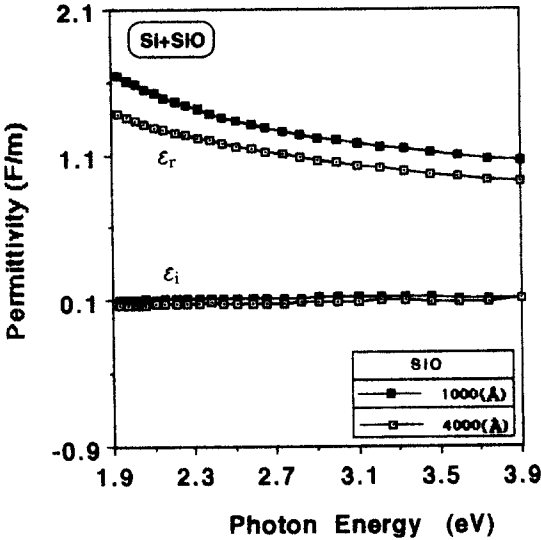


그림 8. 광자에너지에 따른 SiO (A<sub>1</sub>,A<sub>1</sub>) 필름의 유전율 ε<sub>r</sub>, ε<sub>i</sub>

Fig. 8. Permittivity ε<sub>r</sub>, ε<sub>i</sub> of SiO (A<sub>1</sub>,A<sub>1</sub>) film vs. photon energy

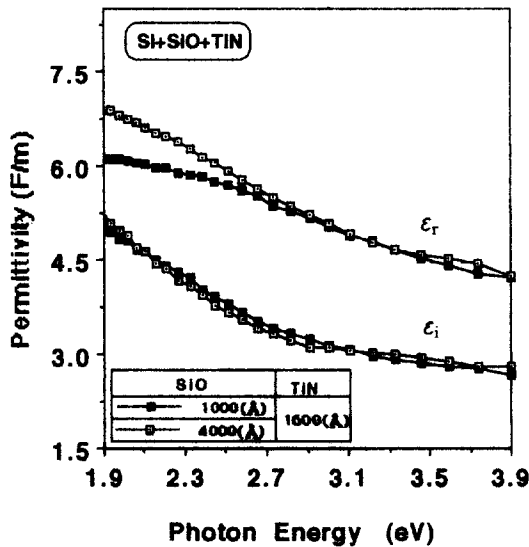


그림 9. 광자 에너지에 따른 SiO/TiN (B<sub>1</sub>,B<sub>4</sub>) 필름의 유전상수 ε<sub>r</sub>, ε<sub>i</sub>

Fig. 9. Permittivity ε<sub>r</sub>, ε<sub>i</sub> of SiO/TiN (B<sub>1</sub>,B<sub>4</sub>) film vs. photon energy

는데, 이것은 SiO 박막에 입사된 광자 에너지가 증가 하면 흡수된 빛이 에너지 밴드에서 일부는 재복사 하고 일부는 복사되지 않고 열로서 소실되는데 이 열이 캐리어 이동을 활발하게 하여 직접 전자의 상대 밀도가 높게 되므로 인해 흡수 계수에 비례한 유전율이 감소 하고 있음을 알 수 있다.

그림 8과 9에서 유전율은 시료에 입사되는 광자 에너지(photon energy) 증가에 따라 SiO보다 SiO/TiN 박막이 더 큰 값이 나타 나고 광자에너지가 작은 초기에는 두 시료간에 큰 유전율 편차가 발생 하였다. 그리고 TiN을 증착한 박막의 유전율이 더 큰 기울기를 가지고 지수함수적으로 감소함이 나타났다.

한편, 유전율중 흡수에 관여하는 허수(ε<sub>i</sub>)는 광자 에너지 증가에 따라 SiO 만을 증착한 시료는 일정한 값을 갖는 반면 TiN을 증착한 SiO/TiN 박막이 더 큰 유전율값을 갖는 이유는 TiN이 페르미 준위가 높기 때문에 큰 값이 나타났다.

5. 결 론

RF 스퍼터링법으로 SiO과 SiO/TiN 박막을 SiO 두께를 다르게 제작하여 굴절률, 흡수율 및 유전율 특성을 분석하여 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 굴절률은 SiO/TiN 박막이 SiO 박막보다 더 큰 값이 나타나고 선형적으로 증가하였다. 이는 TiN 이 페르미 준위가 높고 TiN에 의해 계면의 불순물 농도가 증가했기 때문이다.
2. TiN이 1.38의 굴절률 값을 갖고 있으므로 인해 SiO/TiN 박막이 SiO 박막보다 큰 기울기를 갖고 지수함수적으로 증가하므로써 실험에서 이론이 만족되었다.
3. SiO만의 박막의 광흡수율은 여기자(exciton) 영향으로 불안정한 흡수가 나타나고 피크가 발생 하였다.
4. SiO/TiN 박막이 열평형 상태에서 광을 받으면 SiO 박막보다 더 큰 값이 나타나고 캐리어 밀도가 포화 시점부터 감소되는 흡수가 나타났다.
5. 유전율은 SiO/TiN 박막이 SiO 박막 보다 더 큰 값이 나타났다.
6. 유전율 실수부와 허수부 크기는 SiO/TiN 박막 이 SiO 박막보다 더 큰값과 초기에 편차가 발생하고 광자에너지 증가에 따라 지수함수적으로 감소 하였다.

이상과 같은 결론에서 SiO 만의 박막보다 SiO 위에 확산방벽용으로 TiN을 증착한 SiO/TiN 박막

이 더 큰 유전율 값이 나타나 SiO층과 Al층 사이에 발생하는 스파이킹 문제점 해결이 가능함을 제시하고 광학적 특성 분석에 의해 전기적특성이 우수한 박막 제작을 할 수 있는 계기가 될 것으로 사료된다.

※ 이 논문은 1996년도 조선대학교 학술연구비(교비) 지원을 받아 연구되었음.

**참 고 문 헌**

1. S. M. Sze, VLSI Technology, New York, McGraw - Hill Book Company, pp.106, 1983
2. M. Kuh, "A Quasi-Static Technique for MOS C-V and Surface State Measurement ", Solid-state Electronics., vol.13, pp.873-885, 1970.
3. A. S. Grove, B. E Deal, E. H. Snow and C. T. SAH investigation of Thermally Oxidized silicon Surfaces Using Metal-Oxide Semiconductor", Solid state Electronics., vol.8, pp.145-163, 1965.
4. D. K. Schroder and H. C. Nathanson, "On the Separation of Bulk and Surface Components of Lifetime Using the Pulsed MOS Capacitor", Solid-State Electronics., Vol.13, pp.577-582,1970.
5. J. S. T. Huang, "Bulk Lifetime Determination Using on MOS Capacitor" Proceedings OF The IEEE, pp.1849-1850, 1970.
6. R. F. spanier, "Ellipsometric measurement of double films." Rudolph Reach Corp., 40, Pier Lane, Fairfield, NJ 07006, 1981.
7. Frank L. Mc Crackin, A Fortran program for analysis of Ellipsometer measurements, Natl. Bur. std. Washington, D.C.,1969.

**시지소개**

**정천욱**



1969년 4월 26일생. 1982년 조선대 전기공학과 졸업. 1995년-현재 조선대 산업대학원 석사과정(5학기). 1984년-현재 아시아자동차공업(주) 설비보전팀장.

**이우선**



1952년 1월 23일생. 1974년 조선대 전기공학과 졸업. 1984년 중앙대학원 전기공학(박사). 1982-83년 Univ. of Massachusetts 문교부 파견교환 교수. 1989-90년 Purdue Univ. 과제단 파견 포스트 닥터. 1992년 7-8월 일본 동경공업대학 객원교수. 현재 조선대학교 공대 전기공학과 교수.

**김병인**



1951년 1월 4일생. 1979년 조선대 전기공학과 졸업. 1984년 동 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1983년-91년 아시아자동차공업(주) 근무. 1995년 조선대 대학원 졸업(박사). 1991년-현재 송원전문대학 전기과 전임강사.

**김창석**



1936년 9월 12일생. 1968년 조선대학교 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 단국대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991-92년 미국 SIUE대학 객원교수. 현재 조선대학교 공대 전기공학과 교수.