

SiO/TiN 박막의 유전율 특성에 관한 연구
Permittivity Characteristics of SiO/TiN Thin Film

김병인*
이우선
김창석

송원전문대학 전기과
조선대 공과대학 전기공학과
조선대 공과대학 전기공학과

Byung-In Kim*
Woo-Sun Lee
Chang-Suk Kim

Song-Won junior College
Dept of Electrical Eng.Cho-Son University
Dept of Electrical Eng.Cho-Son University

Abstract

SiO of the SiO/TiN film is used as the insulating layer and TiN film 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 we investigated it's electrical and optical characteristics to determine refractive index, absorption coefficient and permittivity. The films are differently fabricated in thickness method for this experiment.

1. 序論

최근 반도체 직접 회로의 고집적화와 함께 소자의 고 기능화, 고속화가 절실하게 요구되고 있다. 이에 부응하기 위한 새로운 회로 기술과 반도체 박막이 보다 더 효율성과 신뢰성이 요구되고 또한, 우수한 전기적 자기적 및 광학적 특성과 내식성이 있는 소자 개발이 활발하게 진행되고 있다. Si MOS VLSI의 게이트(gate) 절연막으로 많이 사용되고 있는 Silicon 산화막의 고집적화 및 초미세화가 진행됨에 따라 게이트 산화막이나 커패시터

(Capacitor) 절연막의 두께는 대단히 얇게 되어 가고 있다.¹⁻³⁾

이와 같이 SiO는 다양한 응용 범위를 가지는 이유로 이를 포함한 절연막은 전체 IC부피 중 약 67%를 점유한다. 현재 VLSI의 개발 및 발전에 따라 더 소형 경량의 Chip이 절실히 요구되고 있는데 이것에 부응하기 위해서는 SiO박막의 개발이 필수적이라 할 수 있다.^{4,5)}

SiO를 이용하여 박막을 제작하고자 할 때 박막의 여러 가지 구조, 증착 조건에 따른 증착 속도, 기판 온도, 사용 가스 그 밖에 여러 요소의 파라메타에 의해 박막의 특성이 다르며 완전한 결정 박막제작이 불가능하고 이 결정 결함은 전기 전도도와 절연체 거동에 영향을 준다.

결국 박막의 용도에 따라 그 두께가 결정된다. 소형 커패시터의 박막을 제작할 때 유전손이 적고 유전 상수가 높아야 바람직하며 그리고 주파수, 인가 전계와 온도가 박막 특성을 좌우한다.

따라서 본 연구에서는 SiO와 SiO/TiN 박막을 MOS 구조로 제작하였다. 절연층으로 사용되는 SiO층을 얇게 할때 단락의 문제가 생긴다. SiO박막위에 Al을 증착하면 Al이 SiO층에 확산되면서 생기는 스파이킹 현상 문제를 해결하기 위하여 SiO와 Al박막 사이에 확산 방벽용 TiN을 증착하고 SiO층 두께를 다르게 RF 스퍼터링법으로 SiO박막과 SiO/TiN 박막을 제작하여 광학특성을 고찰하고자 한다.

2. 實驗

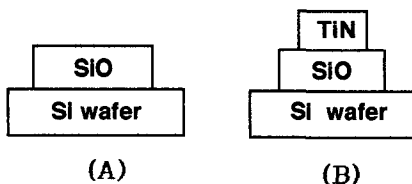
2-1 薄膜製作

실험에 사용한 진공 반응로(Vacuum Science, Model:VSSE-2TS)를 RE-GEN(YES-100S)에서 제작한 설비를 사용하였다. 박막제작은 n-Type 100 방향인 Si wafer위에 SiO를 증착하고 각 시료마다 기판온도(Substrate temperature)를 200 °C로 하여 3.34 Å/sec 증착속도로 SiO를 각각 두께가 다른 4개의 시편을 제작하고, SiO위에 TiN을 증착하였으며 이때 반응 가스로는 SiO는 아르곤(Ar)을 TiN은 질소(N₂)를 주입하여 증착 하였다. 시료제작 데이터와 두께는 표 1과 같고 시료 구조는 표 2에 나타냈다.

Table 1. Data of thin film and thickness

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

Table 2. The structure of fabricated sample



2-1 測定裝置

제작된 박막 특성 측정은 미국 Rudolph사 (Model:S-2000)의 SE(Spectroscopic Ellipsometer)를 사용하여 두께별 굴절률, 흡수율 및 유전율을 측정하였다. SE의 측정 파장 대역은 300~750nm이며 시료 표면에 흡착된 불순물에 의해 특성이 민감하게 달라지므로 주의가 요구된다.

3. 實驗 結果 및 分析

3-1. 屈折率 特性

SE를 이용하여 상온에서 試料에 크세논광(Xe-Arc)의 입사각을 70°로 고정하고 光(電磁

波)를 입사시켰을 때 試料 두께에 따른 屈折率 特性을 나타냈는데 파장 300nm에서 4.5nm 간격으로 增加시켰을 때 試料 두께가 가장 얇은 1000Å과 가장 두꺼운 4000Å의 屈折率 特性을 試料 별로 그림 1과 2에 나타냈다.

그림 1은 試料 A₁(1000Å)과 A₄(4000Å)의 SiO박막에 광을 입사시켰을 때 屈折率을 비교한 것으로 입사광 파장이 300nm에서 1000Å 屈折率은 0.94이고 4000Å은 1.02로 나타났으며 파장 增加에 따라 거의 같은 기울기로 增加함을 나타냈다. 그 이유는 결정에 입사된 광의 진동수가 SiO의 고유 진동수에 접근하면 屈折率이 增加하고 공진 상태가 되면 더욱 增加하게 된다. 그리고 두께에 따라 편차를 갖는 것은 Si 웨이퍼위에 SiO만을 蒸着 하였을 때 초기에 발생하는 직접천이와 간접천이가 동시에 수반되어 발생하는 굴절과 蒸着時 주입한 gas(Ar)가 SiO와 작용하는 과정에서 발생하는 不純物에 의해 蒸着 두께가 다르므로 인해 SiO의 고유 진동수가 1000Å와 4000Å은 각각 다르게 발생되었기 때문이다.

그림 2는 SiO위에 TiN을 蒸着시킨 시료의 굴절률 특성을 나타낸 것으로 저 파장에서는 두께와 관계없이 屈折率이 거의 같게 나타나고 파장이 增加함에 따라 540nm 근처에서부터 편차가 발생하여 750nm에서는 두께가 두꺼운 4000Å 試料가 더 큰 屈折率을 나타내고 있다. TiN을 蒸着한 試料가 더 큰 屈折率이 발생한 이유는 TiN이 고용점 物質이면서 페르미 준위가 높기 때문이며 그리고 不純物에 의

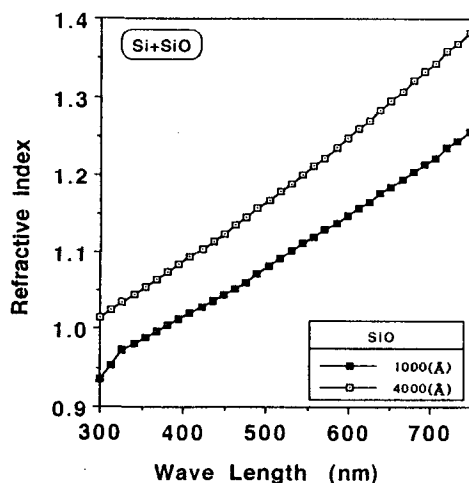


Fig.1 The refractive index of SiO (A₁, A₄) film vs. wave length

한 擴散을 수반하는 TiN이 SiO 表面으로 부터 擴散 되면서 表面의 不純物 농도가 높아지고 擴散 거리가 길어짐에 따라 物質의 농도에 비례한 屈折率 값이 크게 나타나고 파장에 따라 큰 기울기를 가지고 지수 함수적으로 增加

하였는데 그 이유는 TiN의 屈折率이 1.38이므로 이것만큼 屈折率 값이 增加하였다고 생각된다.

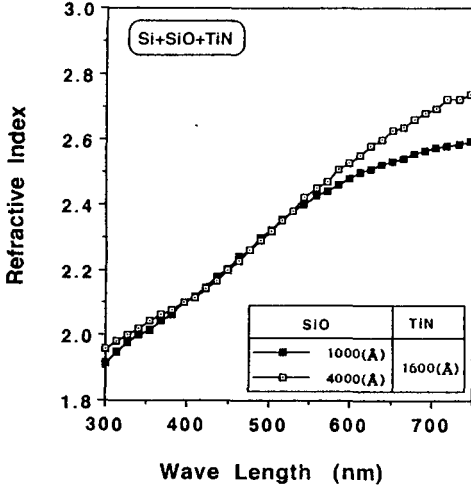


Fig.2 The refractive index of SiO/TiN (B₁, B₄) film vs. wave length

3-2. 吸收率 特性

그림 3은 고순도 絶緣體인 SiO만을 蒸着한 경우 입사 파장 增加에 따라 吸收率이 불안정하게 나타나고 있는데 이것은 電氣的으로 증성인 복합 입자에 의한 勵起子(exciton) 영향 때문이며 저 파장에서 불안정한 피크가 발생하는 것은 傳導帶 電子와 價電子帶의 정공간 상호작용에 의해 발생하는 쿨롱력에 의한 勵起子 때문이며 두 밴드간의 금지대폭에 해당

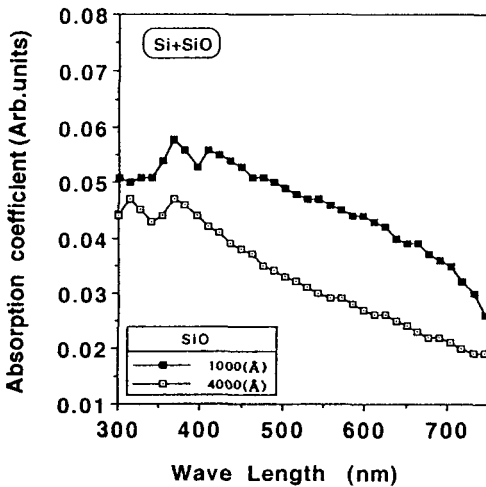


Fig. 3 The absorption coefficient of SiO (A₁, A₄) film vs. wave length

하는 에너지 위치보다 저에너지측에서 피크가 발생하기 때문이다.

그림 4는 SiO에 不純物로 작용한 TiN을 蒸着했을 때 試料에 입사광 파장 增加에 따라 吸收率은 초기 저 파장에서는 거의 같은 값으로 增加하다가 408nm에서부터 SiO膜이 두꺼운 것이 더 많은 吸收率을 나타내고 750nm에서는 0.09의 편차가 나타났는데, 그 이유는 비결정 상태에서 광흡수는 투과성을 갖기 때문에 두께에 의존성을 갖으며 SiO/TiN層이 열평형 상태에서 광을 받으면 두꺼운 試料일 수록 擴散

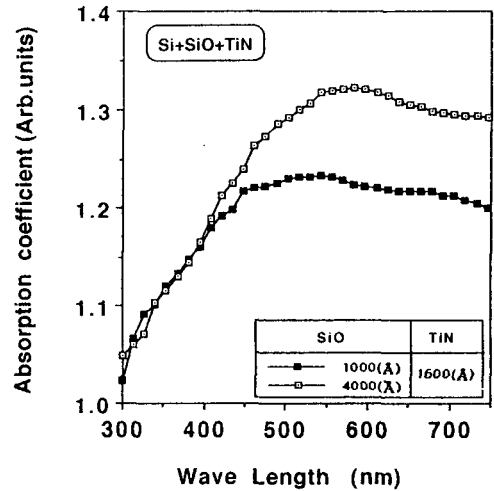


Fig.4 The absorption coefficient of SiO/TiN (B₁, B₄) film vs. wave length

거리가 길어 단위 면적당 자유 캐리어 수가 增加하여 電位 障壁이 높아지므로 투과성으로 설명된 광흡수가 增加하기 때문이며, 파장에 따라 자유 캐리어가 增加로 인해 장파장의 영역으로 增加하면 흡수가 增加하다가 어느 파장이상이 되면 자유 캐리어의 밀도가 포화되어 흡수가 減少하기 때문에 556nm 이상부터 減少함을 나타내고 있다.

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

3-3. 誘電率 特性

試料 A,B에 입사 파장을 300nm에서 750nm로 增加시킬 때 複素誘電率 特性을 그림 5와 6에 나타냈다. 여기서 SiO 絶緣體 두께가 1000Å과 4000Å의 SiO와 SiO/TiN 試料 각각의 誘電特性을 나타내고 있다.

그림 5에서 파장 增加에 따라 실수부 ϵ_1 과 허수부 ϵ_2 의 편차가 저 파장 때보다 크게 나타

나고 있는데 이것은 薄膜內에 빛이 입사되면 SiO 및 Si 웨이퍼 物質 상호작용에 의해 흡수 되어 파장의 增加에 따라 增加되어 가는데 이것은 薄膜內을 진행한 빛의 강도를 나타낸 $I(x)=I_0 \exp(-\alpha x)$ 이론을 만족함을 알 수 있다. 그리고 그림 6에서 같은 파장 대역에서 複素誘電率 크기를 비교하면 광흡수와 관계가 있

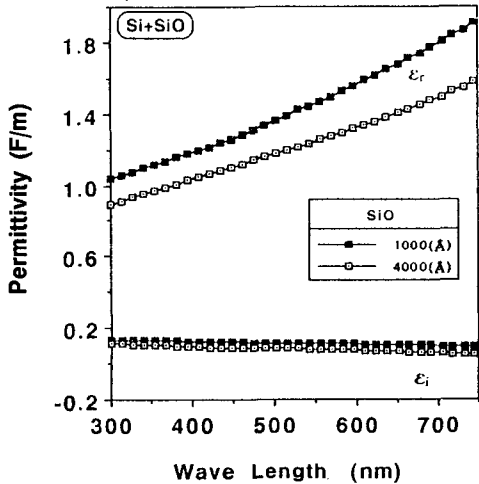


Fig.5 Dielectric constant ϵ_r , ϵ_i of SiO (A_1 , A_4) film vs. wave length

는 허수부 ϵ_i 가 ϵ_r 보다 더 큰 값을 갖고 고 파장 영역에서 薄膜 두께간에 편차가 나타나고 있는데, 그 이유는 試料에 입사된 광에너지에 의해 傳導帶에 존재하는 電子와 價電子

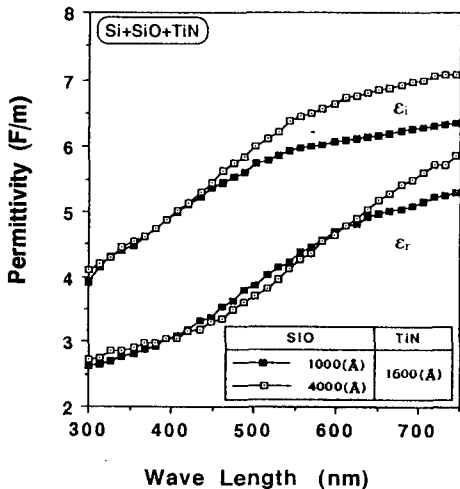


Fig.6 Dielectric constant ϵ_r , ϵ_i of SiO/TiN (B_1 , B_4) film vs. wave length

帶에 속해 있는 정공사이 에 작용하는 쿨롱력에 의해 금지대 밀도는 絶緣性인 SiO 두께가

두꺼울 수록 단위 밀도가 낮아 광흡수가 增加하기 때문이다.

SiO와 SiO/TiN 薄膜의 誘電率을 비교하면 TiN을 蒸着한 薄膜의 誘電率 값이 더 큰 값을 갖게 됨을 알 수 있는데, 그 이유는 SiO만을 蒸着한 薄膜은 絶緣性 자체로만 작용하는 경우이고, SiO/TiN 薄膜은 絶緣性和 입사광에 의해 쌍극자 분극이 발생하기 때문이다.

4. 結 論

최근 VLSI 공정에서 요구되는 고집적화 및 고밀도화를 위한 초 박막에서 확산방벽용으로 TiN을 SiO층과 Al 사이에 RF 스퍼터링법으로 SiO 박막과 SiO/TiN 박막을 제작하여 박막의 굴절율, 흡수율 및 유전율 특성을 측정, 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 光屈折率은 SiO/TiN 박막이 SiO 박막보다 더 큰 값이 나타나고 선형적으로 증가하였다. 이는 광이 입사 되면 TiN의 페르미 준위가 높고 확산거리가 길어지기 때문이다.
2. 光吸收率은 SiO/TiN 박막이 SiO 박막보다 더 큰 값이 나타났고, 두 박막 모두 SiO 박막이 두꺼운 것일 수록 吸收率이 크게 나타났다. 이는 SiO/TiN 박막이 熱膨脹 상태에서 광을 받으면 TiN에 의한 電位障壁이 높아지기 때문이다.
3. 誘電率은 SiO/TiN 박막이 SiO 박막보다 더 큰 값을 나타내었다. 이는 SiO/TiN 박막에 광이 입사되어 分極作用중 쌍극자 分極이 발생하기 때문이다.

참고문헌

- [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 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.