

RF Sputtering 으로 제작한 SrTiO₃ 박막 특성에 미치는 Ti 중간층의 영향

A Study on the Effects of Ti interlayer on the Properties of RF Sputtering SrTiO₃ Thin Films

정천옥* 아시아자동차 보전팀
김병인, 이정재 송원전문대
김창석, 송 철 조선대 공과대학

Chun-Ock Chung ASIA Motors Co., Maintenance Team
Byung-In Kim, Jung-Jai Lee Song-Won Junior College
Chang-Suk Kim, Chul Song Cho-Son University

Abstract

This study makes SrTiO₃ with nonpolarity among ferroelectrics by RF sputtering as dielectric layer, produces thin film of Si/SrTiO₃ and Si/Ti/SrTiO₃ of MOS structure using Ti as buffer layer, measures and examines the electrical features with optical refractive index, absorption rate, permittivity, photon energy and as a result, ferroelectrics oscillation occurs by the interaction within a film by light temperature and the absorption of thin film with Ti as buffer layer is increased. It is found that the peak of permittivity value of Ti/SrTiO₃ thin film has low values and is appeared late and as dipole which is found in dielectric is shown, the experiment satisfies the theory. In the nature of permittivity by photon energy, imaginary value is higher and current variation slope of thin film of thickness SrTiO₃ has lower values in reverse bias.

1. 서론

반도체 소자의 고속화 및 집적도가 VLSI 급으로 급속하게 발전함에 따라 우수한 전기적, 자기적 및 광학적 특성과 내식성등이 있는 재료 개발이 요구되고 있는 실정이다. 특히 반도체 기술을 대표하는 최첨단 제품인 DRAM (Dynamic Random Access Memory) 소자가 초미세화에 의한 고집적화가 추진되고 있는데 집적회로 분야에 있어서 IC, LSI용 패키지(Package) 그리고 다층기판등에 고유전상수를 갖는 SrTiO₃ 결정 소자가 반도체 집적 소자에 더욱 확대 응용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

1957년 Kestigian^[1]이 발견한 SrTiO₃는 유전상수가 230~250정도 이고 Temperature에 의한 capacitance 변화가 거의 없어 최근들어 유전체, 반도체, 저온초전도체 등 반도체 재료로 많이 이용되고 초전성, 압전성등의 특성을 갖기 때문에 electro-optic device^[2],

등 광학적 Sensor 분야에 응용되고 있다. SrO rich SrTiO₃의 타겟(Target)을 사용하여 박막을 제작하면 유전특성이 향상되는 것으로 보고 하고 있다.^[3]

SrTiO₃는 박막화 할 경우 제조가 쉽고 유전율이 매우 감소하는 경향이 나타나 차세대 VLSI용 유전체 박막재료로 주목 되고 연구가 활발히 진행되고 있다.^[4] Si 기판에 SrTiO₃ 박막을 형성할 때 박막과 Si 기판사이에 SiO₂ 층이 형성되어 유전율이 크게 감소하는 현상을 나타내기 때문에^[5] 하부전극 형성은 매우 중요한 역할을 한다.

본 연구에서는 Si 기판위에 하부전극으로 Ag을, Si 기판과 SrTiO₃막의 계면에서 SiO₂층의 형성을 억제하고 buffer layer용 완충층으로 Ti를 증착 하여 SrTiO₃ 유전체 박막을 제작하여 중간층인 Ti 이 SrTiO₃ 박막 특성에 미치는 영향을 광학적 측면에서 고찰하였다.

2. 실험

2-1 박막제작

실험에 사용한 진공반응로(chamber)는 Vacuum Scienc (VSSE-2TS), RF발생기는 RE-GEN(YES -100S)에서 제작한 설비를 사용하였다. 박막제작은 Si wafer(n-100)위에 200℃의 기판온도(Substrate temperature)와 3.30 Å/sec 증착속도로 SrTiO₃를 각각 두께가 다르게 4개의 시편을 제작하고 시료에 따라 Si wafer와 SrTiO₃층 사이에 Ti를 증착 하였다. 반응 가스는 아르곤(Ar)을 주입하여 증착하였으며 시료 제작 데이터와 두께는 표 1과 같고 시료 구조는 그림 1에 나타냈다.

Table 1. Data of thin film and thickness

Sample No	Target		Construction	Measurement sample name
	SrTiO ₃	Ti		
1	1000Å		Si/SrTiO ₃	A ₁
2	2000			A ₂
3	3000			A ₃
4	4000			A ₄
5	1000	2000Å	Si/Ti/SrTiO ₃	B ₁
6	2000	"		B ₂
7	3000	"		B ₃
8	4000	"		B ₄

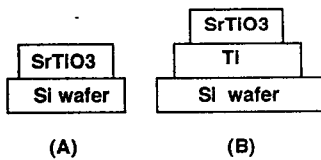


Fig. 1 The structure of fabricated sample

2-1 측정장치

박막 특성 측정은 미국 Rudolph사(Model:S-2000)의 SE(Spectroscopic Ellipsometer)를 이용, 상온에서 시료에 크세논광(Xe-Arc) 입사각을 70° 로 고정하고 광(전자파)을 350~750nm로 변화시켜 굴절율, 흡수율 및 유전율 특성을 측정하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3-1. 굴절율 특성

Silicon wafer(n-100)위에 SrTiO₃만을 증착한 시료 A₁과 A₄의 굴절율을 비교한 것을 그림 2에 나타냈는데 파장 증가에 따라 거의 같은 기울기를 갖고 증가함이 나타났다. 초기 저파장에서는 거의 같은 파장대에서 피크가 발생하여 파장 증가에 따라 두께가

얇은 것은 점차 지수함수적으로 감소하는 반면 같은 파장영역에서 두께가 두꺼운 것은 큰 진폭을 갖고 진동하면서 점차 감소하는 경향을 보였다.

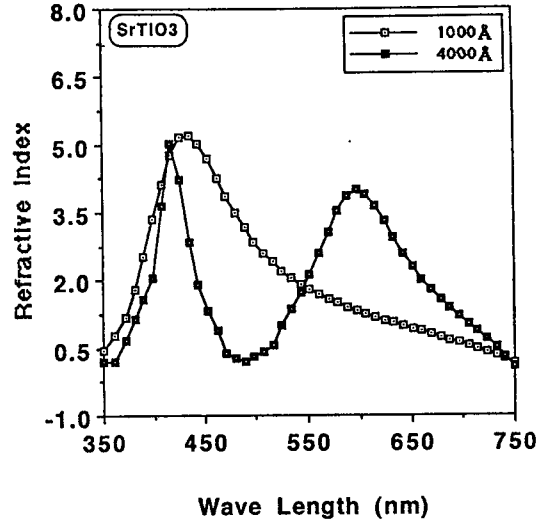


Fig. 2. The Refractive Index of SrTiO₃ Film (A₁, A₂) by Increasing Wave Length

그리고 두께가 두꺼운 것이 안정하게 나타났다.

SrTiO₃막 두께에 따라 굴절율 값의 편차가 발생하고 파장에 따라 감소와 진동을 하는 이유는 SrTiO₃막의

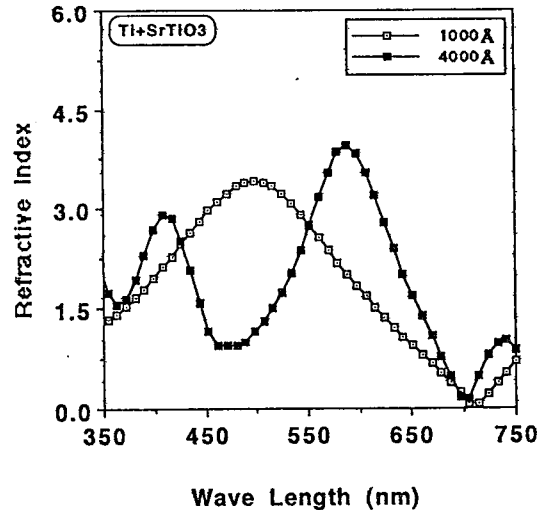


Fig. 3. The Refractive Index of Ti+SrTiO₃ Film (B₁, B₄) by Increasing Wave Length

결정에 광이 입사되면 막의 결정 격자를 구성하는 원자 또는 이온이 각각 평형 상태에서 행하는 소진동과 광 운동에 의해 격자배열의 주기성을 교란시키

고 결정내를 이동하는 입자와의 사이에 상호 작용을 일으키는 유전체에서 나타나는 격자 진동 즉 강유전적 진동이 발생하기 때문이며 한편, 두꺼운 것일 수록 빛의 진행 거리가 길어 진동이 주기적으로 나타난다. 그리고 두께에 따라 편차를 갖게 되는 것은 주입한 gas(Ar)와 SrTiO₃의 고유진동수가 두께에 따라 진행이 결정됨에 따라 두꺼운 것이 편차가 적고 안정되기 때문이다. 그림 3은 Si wafer와 SrTiO₃ layer 사이에 brffer layer용 완충층인 Ti를 증착시킨 것으로 초기에는 두께와 관계없이 굴절률이 거의 같게 나타나고 파장이 증가함에 따라 같은 파장대역에서 시료B₁ 보다 B₄가 더 빈번한 피크가 발생하였다. 한편, Ti가 완충층으로 작용하므로써 Ti를 증착시킨 시료가 더 안정된 특성이 나타났다.

3-2. 흡수율 특성

유전체는 대부분 좋은 투과체가 되고 특정 파장의 빛만을 흡수한다. 이러한 현상은 결정의 전자에너지에 의해 설명된다. 그림 4는 시료 A₁와 A₄의 흡수율을 비교한 것으로 입사파장 증가에 따라 초기에 나타나는 가전자대의 전자의 전이 과정으로 설명된

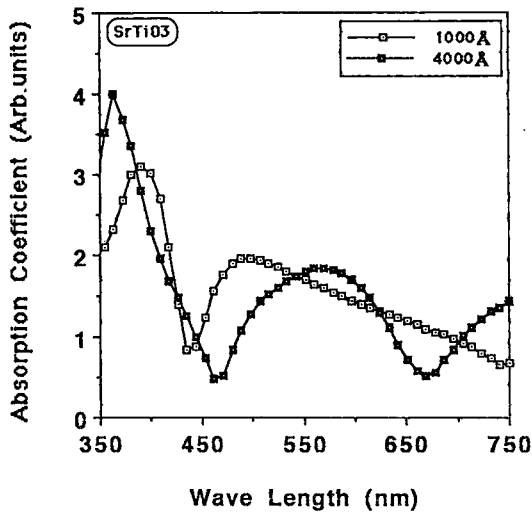


Fig. 4. The Absorptive Coefficient of SrTiO₃ Film (A₁, A₄) by Increasing Wave Length

기초흡수가 나타나고 거의 같은 기울기를 갖고 감소하면서 기초흡수 끝이 나타났다. 그리고 파장 증가에 따라 광입사에 의해 발생한 전자와 정공간 상호 작용에 의해 발생하는 쿨롱력에 의해 약하게 결합한 일종의 전기적 중성인 복합입자에 의한 여기자(Exciton)흡수가 발생한 후 반도체 내의 불순물에 의한 불순물 흡수가 발생하였다.

반도체내에 존재하는 불순물이 전자를 포획하면 정공은 쿨롱력에 의해 전자와 같이 구속되어 불순물이

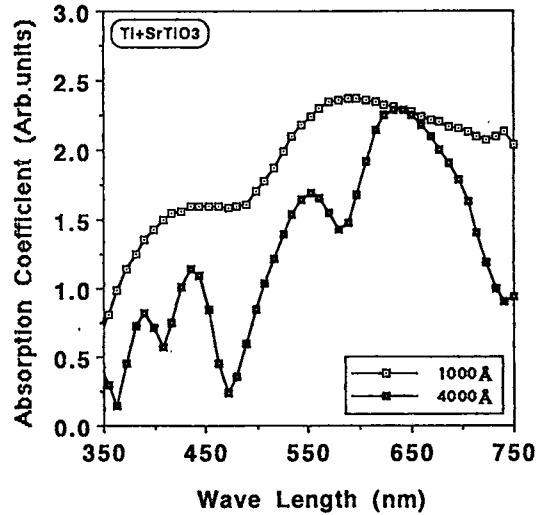


Fig. 5. The Absorptive Coefficient of Ti+SrTiO₃ Film (B₁, B₄) by Increasing Wave Length

간하게 되어 이렇게 포획된 불순물은 여기자와 상호 작용을 하게 되는데 두께가 얇은 것일수록 상호 작용이 더 빨리 진행되기 때문에 더 빨리 나타남을 알 수 있다. 그림 5는 시료 B의 경우 흡수율은 두께가 얇은 것은 완만한 증가를 나타낸 반면 두꺼운 시료는 더 작은 값을 갖고 불안정한 피크가 발생하고 있는데 이것은 금지대폭에서 여기자가 발생하고 포화가 반복되기 때문이다. Ti+SrTiO₃ 박막이 열평형 상태에서 빛을 받으면 얇은 시료일 수록 단위면적당 자유 캐리어 수가 적어 광흡수가 증가하고 자유캐리어 증가로 흡수가 증가하다가 캐리어 밀도가 포화됨에 따라 감소 특성이 나타나고 있다.

3. 복소유전율 특성

시료 A와 B의 복소유전율 특성을 그림 6과 7에 나타냈다. 유전율은 외부전장에 대한 교류 특성을 가지며 인가된 주파수에 의존하고 유전율을 나타낸 $\epsilon_1 = n^2 - k^2$ 과 $\epsilon_2 = 2nk$ 이론을 만족하고 있다. 광흡수와 관계 있는 허수부 ϵ_2 가 ϵ_1 보다 더 큰 값이 나타나고 Ti를 증착시킨 시료가 더 큰 편차를 나타냈다. 그림 6은 시료 A 경우 저 파장대에서 편차가 발생하고 파장증가에 따라 편차가 거의 나타나지 않았다. 한편 그림 7에서는 Ti를 증착시킨 시료가 ϵ_2 값이 더 큰 값을 갖고 고 파장 영역에서 큰 편차가 나타나고 있는데 그것은 시료에 입사된 광 에너지에 의해 전자와 정공사이에 작용하는 쿨롱력에 의한 금지대 밀

도가 Ti에 의해 단위밀도가 낮아짐에 따라 광흡수가 증가하기 때문이다.

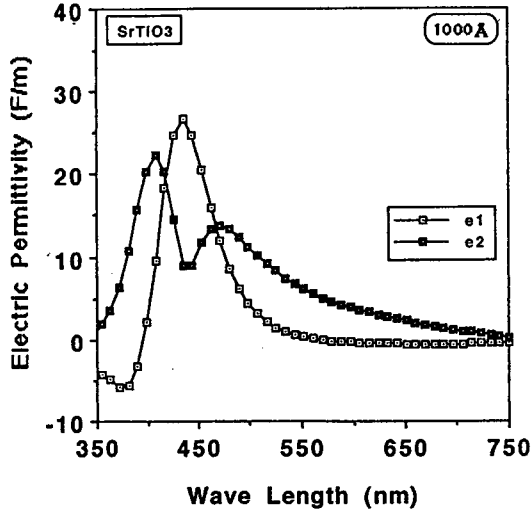


Fig. 6. Electric Dielectric Constant ϵ_1 , ϵ_2 of SrTiO₃ Film (A₁) by Increasing Wave Length

SrTiO₃ 박막에 빛이 입사되면 빛은 결정의 상호작용에 의해 클롱력이 작용하여 파장증가에 따라 점차 흡수가 증가되기 때문이며 이것은 박막내를 진행한

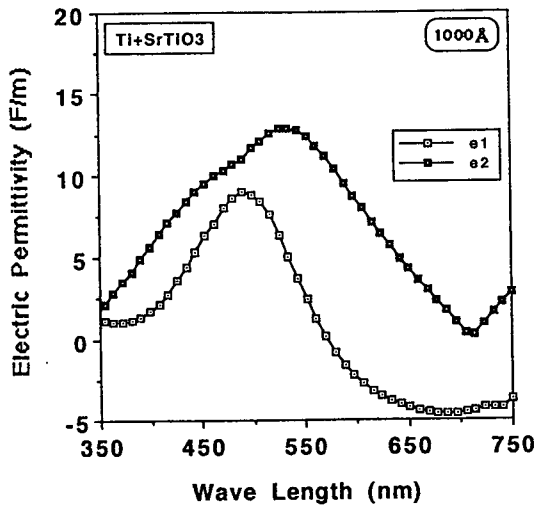


Fig. 7. Electric Dielectric Constant ϵ_1 , ϵ_2 of Ti+SrTiO₃ Film (B₁) by Increasing Wave Length

빛의 강도를 나타낸 $I(x) = I_0 \exp(-\alpha x)$ 이론을 만족함

을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 강유전성을 띠고 유전체 신소자로 이용이 증가하고 있는 SrTiO₃와 완충층으로 Ti를 RF sputtering법으로 박막을 제작하여 특성을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. SrTiO₃ 박막에 완충층으로 Ti를 증착 시킨 경우 두꺼운 시료가 더 많은 피크가 발생하고 Ti가 완충층으로 작용하여 더 안정된 특성이 나타났다.
2. Ti를 증착시킨 박막의 흡수율은 두께가 얇은 것은 완만한 증가를 나타낸 반면 두꺼운 시료는 더 작은 값을 갖고 불안정한 피크가 발생하였는데 이것은 두 밴드간의 금지대폭에서 여기자가 발생하고 포화가 반복되기 때문이다.
3. 광흡수와 관계 있는 허수부 ϵ_2 가 ϵ_1 보다 더 큰 값이 나타나고 Ti를 증착시킨 시료가 더 큰 편차를 나타냈다.
4. 유전율(ϵ_2 , ϵ_1)은 저 파장대서 같은 값이 나타나고 유전체가 모멘트를 갖고 쌍극자 분극이 발생하여 크기가 발전되고 점차 감소한 값이 나타났다.

참고문헌

- [1] M. Kestigian, J. G. Dickinson and R. Ward, J. Am. Chem. Soc., Vol.79, pp.5598-5601, 1957.
- [2] M. Ishida, H. Matsunami and T. Tanaka : Appl. Phys. Lett., 31, pp.433, 1987.
- [3] S. H. Nam, N. H. Cho, and H. G. Kim, Proc. Japan-Korea Seminar on Ceramics, Vol.8, pp.65, 1991.
- [4] S. Yamamichi, T. Sakuma, K. Takemura, and Y. Miyasaka, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.30, pp.2193, 1991.
- [5] T. Sakuma, S. Yamamichi, S. Matsubara, H. Yamaguchi, and Y. Miyasaka, Appl. Phys. Lett., Vol.57, pp.2431, 1990.