

**화학기상증착 및 마그네트론 스퍼터링 방법으로 증착된
절연박막의 물성 분석 및 전기적 특성**

*윤상한¹, 이재엽², 박창균², 서수형², 김용상¹, 박진석²
¹명지대학교 전기공학과, ²한양대학교 전기공학과

**Characterization of microstructures and electrical properties of insulating
thin films deposited by PECVD and RF magnetron sputtering**

*Sang-Han Yun¹, Jae-Yup Lee², Chang-Kyun Park², Soo-Hyung Seo², Yong-Sang Kim¹, Jin-Seok Park²
¹Myongji University, ²Hanyang University

Abstract - Insulating thin films for strain gauge application, such as SiO₂ single layers and SiO₂/Si₃N₄ multilayers, are deposited by using both PECVD and RF magnetron sputtering techniques. Micro-structural analysis and electrical characterization are carried out on those films. It has been observed that PECVD films have a smoother surface and a denser micro-structure than sputter films. It should be also found out that the electrical insulation property of SiO₂ film can be significantly improved by adding the Si₃N₄ layer.

2. 본 론

2.1 실험방법

본 연구에서는 중간 절연층인 SiO₂, Si₃N₄ 및 두 개의 막으로 이루어진 적층 절연막을 PECVD 방법을 이용하여 증착하고, 또한 RF magnetron sputter로 SiO₂ 막을 증착하여 각각의 증착조건을 표 1에 요약하였다.

표 1. 절연막의 증착조건

Deposition method	PECVD	RF Sputter
Substrate	Si, SUS304(steel)	
Power	60W (187kHz)	200W (13.56 MHz)
Sub.temp	300 °C	
Pressure	550 mTorr (SiO ₂), 580 mTorr (Si ₃ N ₄)	5 mTorr
Thickness	4000 Å ~ 1.8 μm	3500 Å ~ 1.3 μm

1. 서 론

최근 압력센서는 가전 제품부터 의용전자기구, 항공기 및 산업체의 대규모 시스템 제어등 광범위한 응용범위를 가지고 있다. 기존의 힘, 압력, 토오크 등을 측정하는 포일(foil)형 스트레인 게이지(strain gauge)의 경우는 절연층과 게이지를 접착하므로 접착층에 의한 creep 현상이 크며, 고온에서 사용이 불가능하고, 열적 보상이 낮고 제조의 자동화가 불가능하다. 반면, 반도체 제조 공정 기술로 제조된 박막 스트레인 게이지에서 핵심부분인 절연막은 접착제가 불필요하므로 creep 현상이 적고, 고온 안정성 및 열적 보상이 용이하므로 박막 스트레인게이지의 연구가 활발히 진행되고있다.^[1-3]

박막 스트레인 게이지 제조시 spring element와 sensing element 사이에 절연막을 증착시켜야 하며, 주로 사용되고 있는 절연 재료는 고분자 재료인 폴리이미드와 세라믹재료 등이 있고 폴리이미드의 경우 절연성 및 표면 거칠기 감소효과가 우수하나, 제조 공정이 번거롭고 복잡한 점을 가지며 고온에서 사용하기가 어려운 단점을 가지고 있다. 따라서 고온 안정성과 제조공정이 용이한 장점을 가지고 있는 SiO₂, Al₂O₃, 또는 Al₂O₃/SiO₂/Al₂O₃ 등의 박막형 절연막의 응용이 연구되고 있다.^[4,5]

박막형 스트레인 게이지 제작시, 중간절연층이 갖추어야 할 조건은 기판과 금속 저항체 사이에 부착력이 좋아야하고, 절연 저항값이 크고, 수압부의 기판에 인가된 압력을 금속 저항체에 그대로 전달해 줄 수 있어야 한다.^[6]

본 연구에서는 박막형 스트레인 게이지에 사용될 중간 절연층으로서 실리콘 산화막, 실리콘 질화막, 및 두 개의 막으로 이루어진 적층구조를 PECVD 방법과 RF magnetron sputtering 방법으로 각각 증착하여 다양한 재료 분석 방법을 사용하여 박막의 미세 구조적 물성 및 전기적 절연 특성등을 비교하여 박막 스트레인 게이지에 적합한 절연층의 증착 방법을 제시하고자 하였다.

증착된 절연막의 두께는 Nanospec 및 α-step을 사용하여 측정하였고, 박막의 단면 미세 구조 관찰은 FE-SEM, 박막의 표면 형상과 표면의 균일도의 고찰은 AFM 분석을 이용하였고 박막의 화학 결합 상태를 FT-IR로 측정하였다. 절연막의 두께에 따른 절연저항 값을 측정하였고, 제조된 절연막 위에 일반적으로 사용되는 압저항체 재료 Cu-Ni 박막의 증착 상태를 비교하였다. 또한, 상기한 증착 방법들에 의해 증착된 절연막의 치밀도와 결합력을 비교하기 위해서 10:1의 BHF 용액에 식각한 결과를 나타내었다.

2.2 결과 및 고찰

(1) 미세구조 분석

PECVD로 제작한 SiO₂ 단일막 및 SiO₂ Si₃N₄ 적층막과 Sputter로 제작한 SiO₂ 단일막을 SEM 분석으로 단면을 관찰하였다. 그림(1,2,3)에 나타난 바와 같이 PECVD에 증착된 절연막들은 균일하게 증착되어 pinhole이나 crack현상들이 거의 보이지 않았고 sputter의 경우 columnar 형태로의 성장이 두드러진 것이 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 CVD 방법이 PVD 방법과 달리 핵 생성자리를 갖기 때문에 치밀한 막이 형성된 것으로 사료된다.

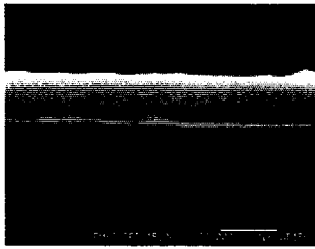


그림 1. PECVD 방법으로 제작된 SiO₂(1 μ m)의 단면(SEM)

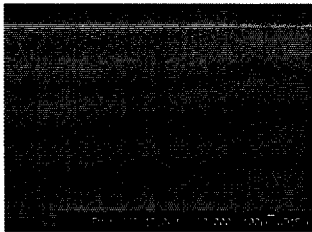


그림 2. PECVD 방법으로 제작된 Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ (1000 Å/8000 Å/1000 Å)의 단면(SEM)

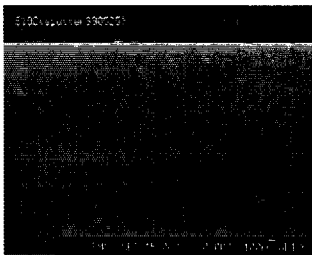


그림 3. Sputtering 방법으로 제작된 SiO₂(1.3 μ m)의 단면(SEM)

(2) FT-IR 분석

그림 4와 5는 PECVD로 제작된 절연막과 Sputter로 제조된 절연막의 FT-IR 결과를 나타낸 것이다.

Si-O 결합은 1040 ~ 1080 cm⁻¹ (stretching), 805 cm⁻¹ (bending)과 460 cm⁻¹ (rocking)에서 나타나는데 증착되어진 절연막에서 SiO₂의 주 피크의 위치가 대략적으로 (1075 cm⁻¹)에서 피크가 형성되어 있고, Si₃N₄구조에서의 Si-N결합에서의 주 피크 값은 880 ~ 885 cm⁻¹에서 나타난다.^[7] 두 가지 방법에 의해 제작된 SiO₂ 박막의 경우 Si-O 결합의 주 peak는 큰 차이가 없었으나 실리콘 질화막이 포함된 경우는 805 cm⁻¹ 근처의 부분에서 Si-O 구조와 Si-N 결합구조가 중첩되어 함수 분포 곡선에서 약간 넓게 퍼지는 현상을 보이고 있다.

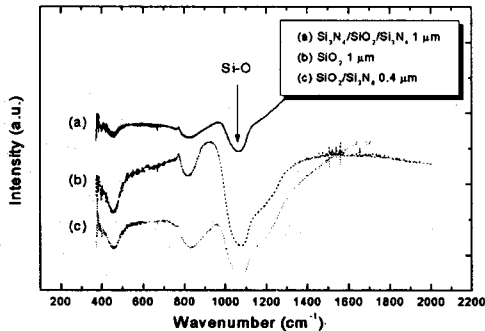


그림 4. PECVD 방법으로 제작된 박막의 FT-IR 분석

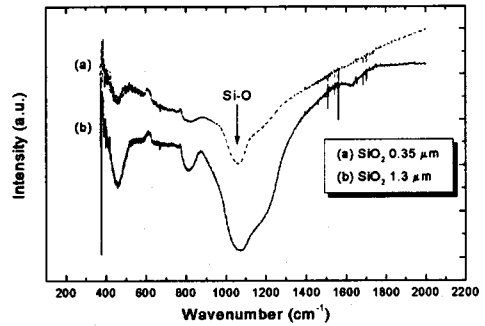


그림 5. Sputtering 방법으로 제작된 박막의 FT-IR 분석

(3) 표면분석

PECVD와 Sputter에 의하여 증착된 절연막을 AFM을 사용하여 표면의 roughness를 관찰하였다. 표 2에 정리한 바와 같이 AFM으로부터 산출된 RMS roughness를 비교하면 PECVD로 증착된 절연막의 표면이 Sputter로 제조된 절연막보다 우수한 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

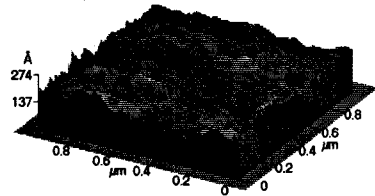


그림 6. PECVD 방법으로 제작된 박막의 AFM 분석 SiO₂(1 μ m)

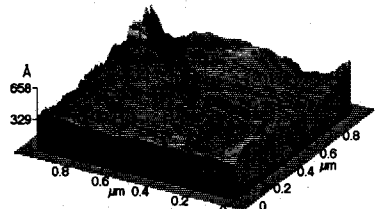


그림 7. PECVD 방법으로 제작된 박막의 AFM 분석 Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄(1000 Å/8000 Å/1000 Å)

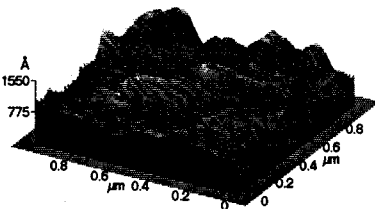


그림 8. Sputtering 방법으로 제작된 SiO₂(1.3 μ m) 박막의 AFM 분석

표 2. AFM 분석에서 산출된 RMS roughness

	PECVD		sputtering
	SiO ₂	multi-layer	
RMS roughness	25.8 Å	52.8 Å	167 Å

(4) 절연저항 특성

일반적으로 스트레인 게이지에서의 절연저항은 50V의 전압을 인가시 100M Ω 이상의 저항이 나타나야 안정성있는 중간 절연층의 역할을 할 수 있다. 본 연구에서 제작된 절연막의 경우 PECVD에 의한 절연막이 Sputter에 비해 절연저항 값이 월등히 우수한 성질을 가지고 있는 것으로 나타났으며 절연막의 두께, 기판의 종류, 절연막의 종류 및 구조에 따른 절연저항의 변화를 측정하여 그림 9~11에 각각 나타내었다. SUS와 Si 기판위에 PECVD로 증착된 절연막은 두께가 증가할수록 절연 저항값이 증가함을 알 수 있었다. 또한, SUS 기판을 사용한 경우보다 Si 기판을 사용한 경우에 증착된 SiO₂ 절연막의 절연저항 특성은 증착 방법에 관계없이 더 높은 절연특성을 나타내었다. (그림 9의 (a)와(c), 그림 10의 (a)와(b)) 이 경우, sputter SiO₂ 절연막은 80V에서 약 200 M Ω 의 절연저항을 가지고 있으며, PECVD로 증착된 경우는 더 높은 전압(200V)에서도 약 4000M Ω 이상의 높은 절연 저항을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한, 그림 11의 (c)에 나타난 바와 같이 Si₃N₄을 이용한 다층 구조의 절연막의 경우에는 두께가 4000Å으로 얇은 경우에도 1 μ m 두께의 SiO₂ 단일막에 비해 약 10배 이상 높은 절연저항을 가질 수 있음을 알 수 있다. 이는, Si₃N₄ 절연막이 절연막 내의 pinhole 및 crack 증식을 방해하는 효과 때문이라 사료된다. 특히, 그림 11의 (a)와 같이 Si₃N₄ 박막을 sandwich 구조로 제작한 경우에는 높은 전압이 인가되어도 절연저항의 저하가 작게 나타난 바, 넓은 전압 범위에서 안정된 절연 특성을 가질 수 있음을 알 수 있다.

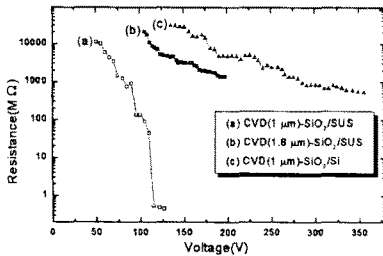


그림 9. PECVD 방법으로 제작된 SiO₂ 박막의 절연저항

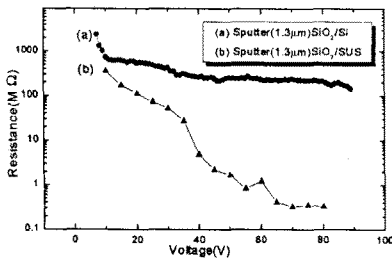


그림 10. Sputtering 방법으로 제작된 SiO₂ 박막의 절연저항

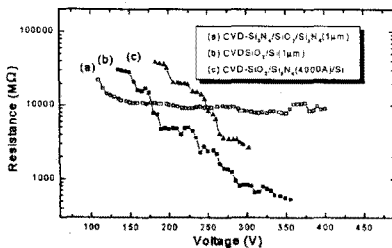


그림 11. PECVD 방법으로 제작된 SiO₂ 단일막 및 Si₃N₄ 적층막에 대한 절연저항

(5) 절연막의 식각술

실리콘 위에 증착된 절연막을 20초 동안 10:1 BHF 용액에 식각을 하고 DI water에 10분간 린세한 후 Nanospec을 이용하여 두께의 변화를 비교하여 식각율을 산출하였다. 표 3의 결과에서처럼 Sputter로 증착한 막이 PECVD로 증착한 막에 비해 치밀도와 결속력이 약해서 쉽게 식각될 수 있었으며, 실리콘 질화막이 포함된 적층구조의 절연막은 식각율이 매우 적음을 알 수 있었다.

표 3. 절연층 종류에 따른 식각율

절연막 종류	PECVD		RF sputtering
	multilayer (1 μ m)	SiO ₂ (1 μ m)	SiO ₂ (1.3 μ m)
식각율	4.3 A/s	45 A/s	690 A/s

3. 결 론

본 연구에서는 박막형 스트레인 게이지의 중간 절연층으로서 PECVD 및 RF magnetron sputter 방법으로 SiO₂ 절연막 및 Si₃N₄을 포함한 적층 절연막을 증착하고 그 미세 구조적 물성 및 전기적 절연저항을 비교 분석하였다. PECVD로 제작된 절연막이 sputter에 의한 절연막에 비하여 박막의 치밀도, 박막 표면의 균일도 등이 우수하였으며, 게이지용 절연막으로서 가장 중요한 특성인 절연 저항도 월등히 높은 것으로 나타났다. 특히, 적당한 두께의 Si₃N₄막을 포함하는 SiO₂/Si₃N₄ 적층 절연막의 경우 얇은 두께를 사용하여도 높은 절연저항값을 얻을 수 있었으며 적층 구조에 따라 높은 전압에서도 안정된 절연 특성을 유지 할 수 있음을 확인하였다. 그러나 두가지 방법에 의해 제작된 SiO₂ 절연막 위에 스트레인 게이지용 sensing element인 Cu-Ni 박막을 증착한 결과 SiO₂ 와 Cu-Ni 박막사이의 adhesion 특성은 오히려 sputter SiO₂ 박막이 더 양호한 것으로 관측된 바, 현재 이와 관련된 체계적인 연구가 진행되고 있다.

본 연구는 1998 산업자원부 중기거점 기술개발사업 수행기관인 (주)CAS의 위탁과제로서 수행되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] T.Bravo, A.Tesalvi and A.Tosi, Sensors and Actuators A, 32, (1992) 612
- [2] A.Garcia-Alonso, J.Garcia, E.Castano, I. Obieta and F.J.Gracia, Sensor and Actuators A, 37-38 (1993) 57-60
- [3] 민남기, 이성래, 김정완, 조원기, 전기전자재료학회지 Vol.10, No.9, (1997) 938-944
- [4] A.Garcia-Alonso, Huizti, E.Castano, I.Obieta and F.J. Gracia, sensors and Actuators A, 37-38, (1993) 703
- [5] M.M.Nayak, K.Rajanna and S.Mohan, Thin Solid Films. 193-194 (1993) 1023-1029
- [6] 박태순 "고주파 마그네트론 스퍼터링으로 제조한 SiO₂ 절연박막 및 NiCr 합금박막의 구조분석 및 전기적 특성에 관한 연구" 고려대학교 금속공학과 석사논문(1998)
- [7] 박영배, 강진규, 이시우 "원거리 플라즈마 화학증착법으로 증착된 이산화규소 박막의 물성", 한국재료학회지 Vol.5, No.6 (1995) 706-714