

RF magnetron 스팍터링법으로 제작한 TiN_x 박막의 면저항분석

박 문 찬 · 오 정 흥* · 김 남 영* · 황보 창 권*

신흥대 안경광학과, 의정부 480-701

*인하대학교 물리학과, 인천 402-751

(1999년 5월 24일 받음)

RF(radio-frequency) magnetron 스팍터링 장치에 질소가스와 아르곤가스를 동시에 주입하면서 Ti 타겟을 스팍터링하여 TiN_x 박막을 유리기판위에 제작하였다. 박막제작시 RF power supply 출력은 240W로, 증착기 내부의 온도는 200°C를 유지하였다. TiN_x 박막은 알곤 가스를 20sccm으로 고정시킨 상태에서 질소를 3sccm부터 9sccm까지 변화시켜가며 증착시켰다. 이 때 박막의 면저항과 화학적 조성과의 관계를 분석하기 위하여 XPS depth profiling과 4점 탐침법을 사용하였다.

Sheet Reisistance Analysis of TiN_x Thin Film by RF Magnetron Sputtering

Moon Chan Park, Jeong Hong Oh*, Nam Young Kim* and Chang Kwon Hwangbo*

Department of Ophthalmic Optics, Shinheung College, EuijungBu 480-701

*Department of Physics, Inha University, Inchon 402-751

(Received by 24 May 1999)

The TiN_x thin films were prepared on glass substrate by RF(radio-frequency) magnetron sputtering apparatus from a Ti target in a gaseous mixture of argon and nitrogen. In deposition, a RF power supply was used as a power source with a constant power of 240W, and the substrate was heated to 200°C. The films were obtained at nitrogen flow rates in the range 3-9 sccm with a constant argon flow rate of 20 sccm. For the films obtained, the sheet resistance and the chemical binding energy of the films was observed by four-point-probe method and x-ray photoelectron spectroscopy(XPS) depth profilling, respectively. In addition, we investigated the relationship between the surface resistance and the chemical nature of the films.

I. 서 론

최근의 디스플레이용 박막은 투명 금속막이면서 고온 절률 Indium tin oxide(ITO)와 저온 절률 유전체

박막을 교번으로 4층이상으로 적층하여, 선명한 화상을 얻을 수 있는 무반사막인 동시에 ITO의 낮은 저항을 이용하여 음극선관으로 나오는 전자기파의 차폐와 표면전하 적층을 없애기 위한 무정전막이다. 또한 고급안경렌즈는 일반적으로 ITO막을 포함

해서 고굴절률 유전체박막과 저굴절률 유전체박막을 교번으로 5층 이상으로 적층하여 무반사막, 무정전막에 가까운 박막을 렌즈위에 코팅한다. 현재 널리 사용하는 ITO는 투과율이 90% 이상이며, 비저항이 $10^4 \Omega\text{cm}$ 정도로 매우 낮다¹⁾.

최근에는 유리위에 TiO_xN/SiO₂ 막과 Au(또는 Cu)/SiO₂)막인 이중막을 CRT, LCD와 같은 화면표시장치의 표면에 코팅을 해 무반사막, 무정전막을 만들 수 있으며, 이때에 TiO_xN 박막은 투과율로 흡수계수가 다른 금속에 비해 적기 때문에 이에 관해 연구가 진행 중이다^{2,3)}. 이 새로운 막은 투과률은 다소 떨어지지만 흡수로 인해 명암대비가 좋아지고 충수가 두 층이라는 장점을 가지고 있다.

이미 우리 그룹은 RF magnetron 스퍼터링 방법을 사용하여 TiN, 박막을 제작, XPS를 이용하여 박막의 성분 분석 연구를 발표하였다⁴⁾. 또한 TiN, 박막의 제작 및 특성연구를 발표하였다⁵⁾. 본 연구에서는 이러한 TiN, 박막의 전기적 특성인 무정전과 전자기파 차폐와 밀접한 관계가 있는 면저항을 4점 탐침법으로 측정하였고, 이 때 박막의 깊이에 따른 면저항과 화학적 조성비와의 관계를 알기 위해 XPS depth profiling에 따른 면저항을 측정하였다. 전자기파 차폐에 관한 기본적인 이론인 skin depth에 대해서 또한 서술했다.

II. 전자기파 차폐의 기본원리

먼저 정성적으로 간단하게 논한 후에 정량적으로 서술하자. 전자기파의 자기장이 얇은 전도판에 수직으로 입사한다고 가정하면 얇은 전도판에 입사하는 자기장의 변화에 의해 얇은 도체판 표면에서는 페리데이 법칙에 따라 기전력이 유도된다. 유도된 기전력은 도체 표면에서 자유전자들의 운동을 활발하게 한다. 이렇게 자유롭게 움직이는 전자들이 전자기파를 흡수하게 되는데, 이것이 전자기파 차폐의 원리이다. 이러한 전자기파의 차폐는 전자가 아무런 저항 없이 자유롭게 움직일 수 있는 전도체가 유용하다.

좀 더 정량적으로 살펴보기 위해서 진동수 ω 이고 편광된 평면파인 전자기파가 편평하고 균일하고 두

께가 d인 얇은 도체판에 수직으로 입사할 때 입사광선의 투과를 Maxwell 방정식을 이용하여 유도하고 이때 유도한 시금 찬과 봄으로 진동수 (ω)와 도체의 전도률 (σ)과 전자기파 차폐사이의 관계를 논하자.

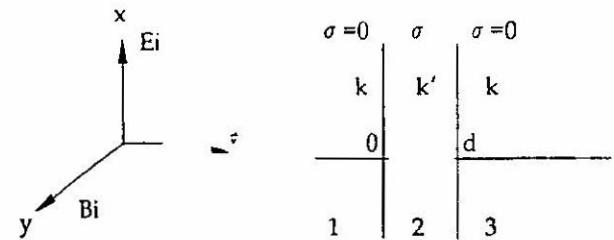


그림 1. 얇은 도체판에 수직으로 입사하는 전자기파

전기장은 $E = E_0 e^{i(\omega t - kz)}$ 로 쓸 수 있고 E_0 는 다음과 같이 쓸 수 있다

$$E_0 = \begin{cases} E_1 e^{i\omega t} + E_2 e^{i\omega t} & (z < 0) \\ E_2 e^{i\omega t} + E_3 e^{-ikd} & (0 < z < d) \\ E_3 e^{i\omega t} & (z > d) \end{cases}$$

여기서 $k = \omega/c$, $\mu = 1/\sigma$, 전도성이 좋은 도체에서는 $k' = (1+i) \frac{\sqrt{2\pi\mu\sigma}}{c}$, $(1+i) \frac{\sqrt{2\pi\omega\mu\sigma}}{C}$ 이다.

반면에 자기장은 $H = \frac{B}{\mu} = B_0 e^{-ikz}$ 로 쓸 수 있고 B_0 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$B_0 = \begin{cases} E_1 e^{i\omega t} + E_2 e^{i\omega t} & (z < 0) \\ (E_2 / H) e^{i\omega t} + (E_3 / \beta) e^{-ikd} & (0 < z < d) \\ E_3 e^{i\omega t} & (z > d) \end{cases}$$

여기서 $\beta = \frac{\omega\delta}{2c}(1-i)$ 이고, skin depth는

$$\delta = \frac{c}{\sqrt{2\pi\sigma\omega}}$$

$z=0, d$ 점에서 B 와 E 의 경계조건을 이용하면

$$E_1' + E_1 = E_1' + E_2$$

$$E_1 - E_1' = (E_2 - E_2')$$

$$E_2 e^{ikd} + E_2' / \beta e^{-ikd} = E_3 e^{ikd}$$

$$(1/\beta)(E_2 e^{ikd} + E_2' e^{-ikd}) = E_3 e^{ikd}$$

인 식이 성립한다. 위 식을 이용하면 투과률 T 를 구할 수 있다.

$$T = \left| \frac{E_2}{E_1} \right|^2 = \frac{32(Re\beta)^2 e^{-2d/\delta}}{1 + e^{-4d/\delta} - 2e^{-2d/\delta} \cos(\frac{2d}{\delta})}$$

여기서 $Re\beta = 10^2$ 이다.

위 결론 식으로부터 전자기파의 투과률은 skin depth δ 와 얇은 전도판 두께 d 와 밀접한 관계를 가지며, skin depth δ 는 $\frac{c}{\sqrt{2\pi\sigma\omega}}$ 이고 σ 는 $\frac{1}{\rho}$ 이므로 일반적으로 투과률은 d/δ 이 크면 클수록 작아진다.

그러므로 비저항이 작을수록 막의 두께와 ω 가 클수록 투과률은 작아져 전자기 차폐가 커지는 것을 알 수 있다.

일반적으로 은 ($\rho = 1.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$)이나 구리 ($\rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$)와 같은 금속들은 비저항이 매우 낮아 전기전도도가 뛰어나므로 전자기파 차폐에 유용하다. 그러나 이러한 금속들을 박막으로 제작하여 응용할 경우에는 많은 어려움이 따른다. 박막의 기계적 특성이 나쁘고 빛을 흡수하는 양이 크므로 빛을 투과해야 하는 모니터나 TV 브라운관에는 응용이 불가능하다. 반면에 유전체 박막은 기계적 특성이 매우 뛰어나며, 흡수 계수가 무시할 수 있을 만큼 낮아 투과율이 좋지만, 유전체라는 고유의 성질 때문에 전기전도도가 매우 나쁘다. 이러한 이유로 인하여 전기 전도도가 뛰어나며 투과율이 좋은 ITO박막이나 TiN 박막이 모니터나 브라운관에 사용될 수 있다.

III. 실험

TiN 박막은 RF 마그네트론 스파터링 장치를 사용하여 제작하였다. 타겟으로는 순도 99.99%인 4인치 원판형 Ti를 사용하였고, 방전 및 반응성 가스로 알곤 가스, 질소 가스를 동시에 Ti타겟 주위로 직접 주입되도록 챔버내부에 가스관을 연결하였다. 박막의 증착은 광학적 분석을 위한 Bk7재질을 갖는 유리기판 및 두께 및 조성을 분석하기 위하여 Si 웨

이퍼에 하였다. 기본 진공을 5×10^{-6} torr으로 유지하였고 알곤을 20sccm, 질소를 3 ~ 9sccm으로 변화시켜가며 질소유량에 따른 박막의 특성을 조사하였다. 기판은 미리 200°C로 가열하였고 대기에 노출된 Ti타겟의 산화막등을 제거하기 위하여 pre-sputtering을 박막 증착전 10분동안 실시하였다. 박막 증착시 RF 출력은 240W로 고정하고, 증착압력은 항상 6×10^{-3} torr를 유지하였다.

각 질소유량에 따른 증착율은 각 질소유량마다 60분간 증착을 한 후 프로파일러로 두께를 측정하여 이를 시간으로 나누어 구하였다. 제작된 박막의 화학적 조성은 XPS를 이용하여 조사하였다. 또한 이 논문에서 중요한 전기적 성질을 알아보기 위하여 4점 탐침 면저항 측정기를 사용하였고, 알곤 가스로 표면을 에칭하면서 깊이에 따른 면저항과 박막성분에 따른 조성비와의 관계를 분석하였다.

IV. 결과

그림2는 XPS장치안에서 표면의 산화막을 제거하기 위해 1nm/min 비율로 15분간 에칭을 하였다. 그 후 박막안에서의 조성비와 두께에 따른 면저항을 관찰하기 위해 일정한 시간을 알곤 가스로 에칭을 하고 XPS분석후 시료를 꺼내어 four-point-probe 방법을 이용하여 면저항을 측정 후 다시 시료를 챔버안에 넣고 일정한 시간을 에칭한 다음 XPS로 분석과정을 반복해서 행하였다. 이 때 그림2

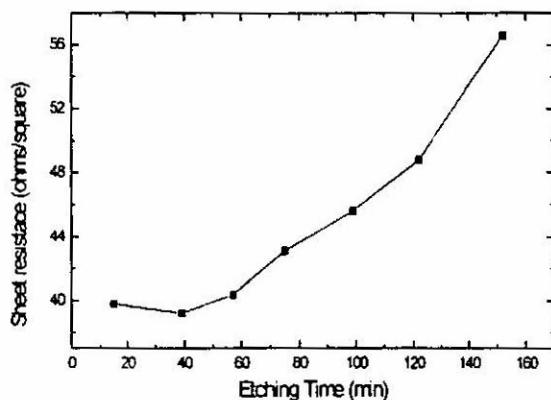


그림2. 에칭시간 15분부터 151분까지 에칭시간에 따른 면저항

는 에칭 시간 15분에서 151분의 면적률을 나타내었다. 에칭 시간 15분에서의 면적률은 다음 30분에 청점의 면적률보다 커서 감소하는 경향을 나타내다가 그 후로는 대체적으로 직선에 가까운 모양으로 증가를 한다. 일반적인 경우에 에칭 시간은 커질수록 두께가 얕아져서 면적률은 점점 증가하므로 그 래프의 직선으로 증가하는 것은 기본적으로 설명되어진다. 그러나 처음 감소점은 일반적으로 해석되어지지 않는다. 이것을 설명하기 위해서 XPS 분석 결과를 그림3-5를 시간에 따른 성분분석을 조사하였다.

그림 3,4,5는 각각 Ti 2p, N 1s, O 1s core level에 관한 스펙트럼이다. 그림 3에서 Ti-N 결합에 의한 Ti의 2p_{3/2} 피크의 결합에너지에는 대략 455eV인데 456eV으로 나타나 있는 것은 스펙트럼이 전체적으로 약 1eV shift 되있기 때문이다. 그림 3에서는 2P_{1/2} 피크 옆에 작은 언덕이 나타나게 되는데 이것이 Ti oxide 의한 Ti임을 말해주며, 대략 결합 에너지가 456eV가 된다. 대체적으로 에칭에 따른 변화가 거의 없다. 역시 그림 4도 N에 관한 XPS의

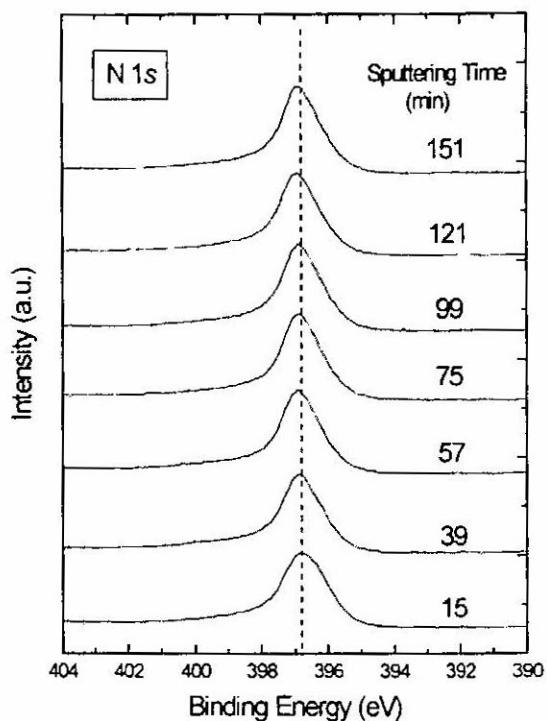


그림4. TiNx 박막에서 N 1s에 대한 XPS 스펙트럼

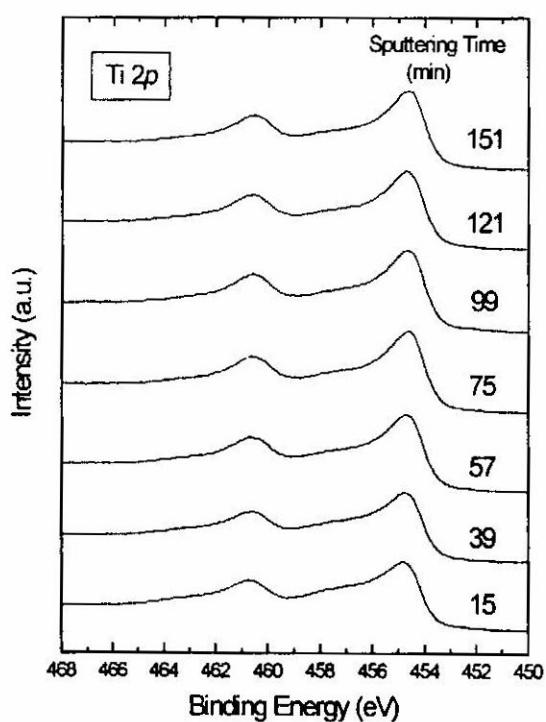


그림 3. TiNx 박막에서 Ti 2p에 대한 XPS 스펙트럼

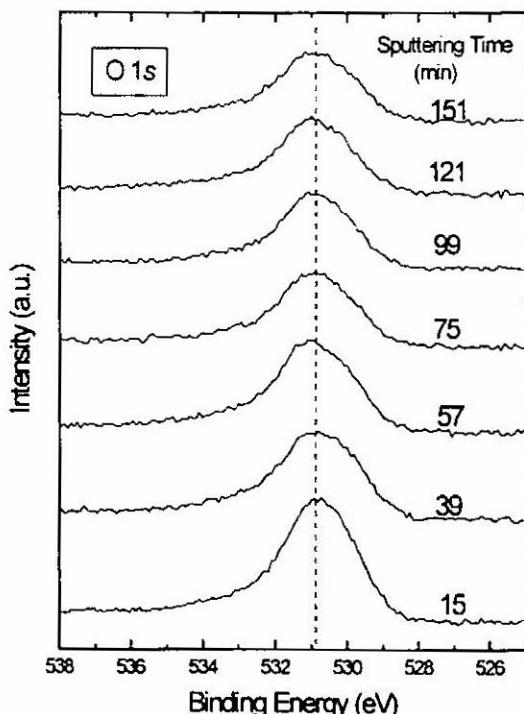


그림5. TiNx 박막에서 O 1s에 대한 XPS 스펙트럼

spectrum인데 예칭에 따른 변화가 거의 없다.

그러나 산소 스펙트럼에서 나타나는 peak은 현저한 변화가 나타남을 볼수 있다. 15분 예칭점에서 peak intensity가 39분 예칭후 약 반으로 줄고 그 후에는 큰 변화가 없는 것을 알 수 있다. 이러한 현상으로부터 처음 점에서 면저항이 큰 것은 산소량이 박막 표면안쪽보다 많기 때문에 산소의 영향이 절대적으로 작용함을 알 수 있다.

V. 결 론

RF magnetron 스팍터링장치로 제작한 TiN, 광학박막을 XPS와 4점 탐침법을 이용하여 박막의 성분과 면저항을 측정하여 분석하였다. 표면에 산화막을 없애기 위해 XPS로 15분간 예칭을 한후 깊이에 따라 XPS 측정과 면저항이 결과 박막의 표면에 가까운 층에서의 면저항 크게 나옴을 알 수 있었다. 이는 XPS 분석결과 산소량이 많으므로 면저항

이 크게 나옴을 알았다. TiN, 광학박막을 무반사와 무정전 동시에 전자기파 차폐용으로 사용하는데 있어서 광학적인 성질도 알맞게 설계하여야 할 뿐 아니라 박막코팅시 산소량을 줄이는데 노력을 요한다.

참 고 문 헌

- [1] 최성창, *Journal of the Korean Vacuum Society*, 5(1), 54(1996).
- [2] Yanfei Zheng and Kazuo Kikuchi, *Applied Optics* 36(25), 6335(1997).
- [3] Midori Kawamura, Yoshio Abe and Katsutaka Sasaki, *J. Vac. Sci. Technol. A* 16(1), 200 (1998).
- [4] 박문찬, 오정홍, 황보창권, 한국안광학회 제3권 제1호, 115(1998).
- [5] 오정홍, 김성철, 황보창권, 박문찬, 광기술워크샵 논문집 9, 1(1999).