

## TiN 박막을 이용한 2층 무반사 무정전 코팅의 설계 및 증착

손영배 · 김남영 · 오정홍 · 황보창권<sup>†</sup>

인하대학교 물리학과  
(402-751) 인천광역시 남구 용현동 253번지

우경근 · 강태수

삼성코닝 ITO사업팀  
(730-360) 경북 구미시 진평동 644번지

(2000년 6월 5일 받음, 2000년 9월 26일 수정본 받음)

[공기|SiO<sub>2</sub>|TiN|유리]설계의 반사율이 가시광선 영역에서 0이 되는 TiN의 이상적인 복소수 굴절률을 계산하였다. TiN과 SiO<sub>2</sub>의 각 층의 두께 변화에 따른 2층 무반사 코팅의 반사율을 전산모의하였으며, 그 결과 TiN의 두께를 조절함으로써 최저 반사율 영역의 폭과 반사율을 변화시킬 수 있었고, SiO<sub>2</sub>층의 두께를 조절함으로써 반사율이 최저가 되는 중심을 이동시킬 수 있었다. RF 마크네트론 스퍼터링 방법으로 증착한 TiN 박막의 화학적, 구조적, 전기적 특성은 각각 Rutherford backscattering spectroscopy (RBS), atomic force microscope(AFM), 4점 탐침 측정기를 이용하였다. 또한 TiN 박막과 2층 무반사 코팅의 광학적 특성은 분광광도계와 variable angle spectroscopic ellipsometer (VASE)를 이용하여 조사하였다. AFM 측정 결과 TiN 박막의 rms 거칠기는 9~10 Å으로 비교적 박막의 표면은 균일하고, 높은 기판온도에서 증착한 TiN 박막의 비저항은 4점 탐침 측정 결과 360~730 μΩ cm로 매우 낮으며, RBS 측정 결과 Ti:O:N = 1:0.65:0.95 비율로 산소가 포함되어 있음을 알았다. 이러한 TiN 박막의 특성과 전산모의를 바탕으로 증착한 TiN층을 이용한 2층 무반사 무정전 코팅 [공기|SiO<sub>2</sub>|TiN|유리]의 반사율은 440~650 nm 영역에서 0.5% 미만이었다.

OCIS code : 310 1620.

### I. 서 론

무반사(antireflection) 코팅은 카메라 렌즈나, 정밀 광학부품 등에서 빛의 손실을 줄이기 위하여 일찍이 사용되어져 왔으며, 무반사 박막으로는 빛의 손실을 줄이고 높은 투과율을 유지하기 위해 MgF<sub>2</sub>, ZnS, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>등과 같은 유전체 다층 박막을 이용하였다. 그러나 이러한 코팅을 디스플레이(display)에 적용하였을 경우 유전체 박막의 대부분이 부도체이므로 표면에 전하가 쌓이게 되어 정전기 발생의 원인이 된다.

따라서 대부분의 디스플레이 장치의 겹표면에는 무반사, 무정전(antistatic) 코팅이 되어 있다. 이 코팅은 광학적으로 디스플레이 표면에서 외부의 조명에 의한 빛의 반사를 줄여 내부에서 나오는 정보(빛)가 보다 더 눈에 선명하게 받아들여 질 수 있도록 하는 무반사 기능과 전기적으로 음극선관에서 발생되는 전자에 의해 표면에 생기는 전하의 적층을 감소시켜 정전기를 방지하고 전자기파를 차단하는 무정전 기능을 동시에 수행한다.

정전기 방지를 위하여 많이 사용하고 있는 물질이 indium tin oxide(ITO)로 비저항이 낮고 가시광선 영역에서 흡수가 적어 흔히 투과전도막이라고 부른다.<sup>[1]</sup> 초기에는 비행기의 운전석 앞 유리창의 결로 현상을 방지하기 위하여 사용하였고 박막증착 기술의 발달과 함께 점차로 흡수는 적게, 비저항은 낮

게 개발되어 왔으며, 터치패널(touch panel) 및 액정표시장치(LCD)의 투명전극 등으로 이용하고 있다. ITO는 가시광선 영역에서 굴절률이 높고 흡수가 작아 굴절률이 낮은 유전체 박막과 함께 무반사 코팅을 증착할 수 있으며, 특히 흡수가 작은 고투과 무반사, 무정전 박막을 증착할 수 있다. 이때 넓은 가시광선 영역에서 무반사 효과를 가질 수 있기 위해서는 3층 이상의 유전체 다층 박막을 ITO 박막 위에 증착해야 한다.

ITO와 같은 투과전도박막 외에 은이나 구리 같은 얇은 두께의 금속박막으로도 저굴절률 유전체 박막을 함께 사용하면 무반사 코팅을 증착할 수 있다. 금속이므로 무정전 기능을 가질 수 있고 ITO와 달리 가시광선 영역에서 흡수가 있으므로 투과율을 낮출 수 있어 명도대비(contrast)를 높일 수 있는 장점이 있는 반면 무반사 영역이 ITO를 이용한 다층 무반사 박막처럼 넓지 않다.

최근에는 은이나 구리 같은 금속박막 대신 얇은 전도성 TiN 박막을 사용하여 무반사 영역을 넓히고, 무정전 효과를 지니며, TiN 박막의 두께를 변화시켜 투과율을 조절하여 명도대비(contrast)를 향상시킬 수 있는 2층 무반사 무정전 박막을 연구하고 있다.<sup>[2]</sup> 여기서는 티타늄과 질소의 원소조성비에 따른 TiN 박막의 복소수 굴절률의 분산이 단 2층으로 넓은 가시광선 영역에서 무반사 효과를 가질 수 있도록 TiN 박막을 증착해야 한다. 이처럼 무반사 박막에 적합한 복소수 굴절률의 분산을 갖는 얇은 두께의 TiN 박막의 최적 증착 조건을 결정하면 최소 4층을 증착해야 하는 ITO 경우와는 달리 2층으로 무

<sup>†</sup>E-mail: hwangbo@inha.ac.kr

반사 무정전 박막을 실현 할 수 있다.

일반적으로 TiN 박막은 절삭공구 등의 표면에 마모방지용 코팅으로 사용하고 있고,<sup>13-51</sup> 부착력이 좋은 기계적 성질을 갖고 있으며 화학적 안정성이 뛰어난 장점을 갖고 있어 수명이 긴 박막으로 사용 할 수 있다.<sup>16-81</sup> 또한 반도체 집적 회로소자에서는 Al과 Si 사이의 확산 방지막으로 널리 사용하고 있으며,<sup>19-111</sup> 티타늄과 질소의 화학 조성을 적절히 조절하여 노란 금빛을 띠는 TiN 박막을 시계나 장신구 등의 표면에 코팅하여 장식에도 많이 사용하고 있다.<sup>112</sup>

본 연구에서는 TiN 박막을 이용하여 흡수가 있는 무반사 무정전 박막을 설계하고 RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 2층 무반사 무정전 박막을 증착하여 물리적, 광학적 성질을 조사 하였다.

## II. 설계 및 전산모의

### 2.1. 가시광선 영역에서 무반사 흡수층의 설계

흡수층을 이용하여 구정한 2층 무반사 박막은 그림 1(a)와 같이 [공기|SiO<sub>2</sub>|흡수층(TiN)|유리]의 구조이다. 이러한 2층 박막은 수학적으로 복소수 굴절률( $N = n - ik$ )과 광학적 위상두께( $\delta$ )를 변수로 하는 식 (1)과 같은 특성 행렬들로 나타낼 수 있다.<sup>113</sup>

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta_1 & i \frac{\sin \delta_1}{n_1} \\ in_1 \sin \delta_1 & \cos \delta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \delta_2 & \frac{\sin \delta_2}{N_2} \\ iN_2 \sin \delta_2 & \cos \delta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ n_s \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 각 층의 광학적 위상 두께는 수직 입사때  $\delta_1 = \frac{2\pi}{\lambda} n_1 d_1$ ,  $\delta_2 = \frac{2\pi}{\lambda} N_2 d_2 = \frac{2\pi}{\lambda} (n_2 - ik_2) d_2$  이고,  $d_1$ 과  $d_2$ 는 각 박막의 물리 두께이며,  $n_1$ 은 유전체 박막의 굴절률,  $N_2 = n_2 - ik_2$ 는 흡수층의

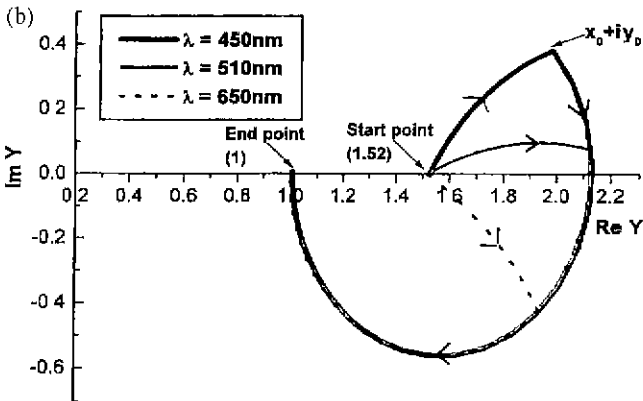
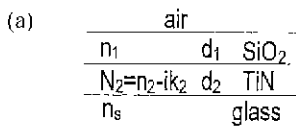


그림 1. (a) TiN층을 이용한 2층 무반사 무정전 코팅과 (b)  $d_1 = 90$  nm,  $d_2 = 15$  nm일 때의 2층 무반사 코팅의 파장에 대한 어드미턴스 그림.

복소수 굴절률이다.  $B$ 와  $C$ 는 공기-SiO<sub>2</sub> 경계면에서 각각 규격화된 전기장과 자기장이며, 이때 어드미턴스는

$$Y = \frac{C}{B} \quad (2)$$

이다.

SiO<sub>2</sub>-TiN 박막 경계면에서의 전기장과 자기장을 각각  $B'$ ,  $C'$ 으로 표현하면 식 (1)은

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta_1 & i \frac{\sin \delta_1}{n_1} \\ in_1 \sin \delta_1 & \cos \delta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B' \\ C' \end{bmatrix} \quad (3)$$

으로 표현할 수 있으며, 이때  $B'$ 과  $C'$ 은

$$\begin{bmatrix} B' \\ C' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta_2 & i \frac{\sin \delta_2}{n_2} \\ iN_2 \sin \delta_2 & \cos \delta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ n_s \end{bmatrix} \quad (4)$$

이다.

SiO<sub>2</sub>-TiN 박막 경계면에서의 어드미턴스  $Y'$ 을

$$Y' = \frac{C'}{B'} = x_0 + iy_0 \quad (5)$$

라 하면, 식 (2)-(5)로부터  $Y$ 는

$$Y = \frac{n_1 x_0 \cos \delta_1 + i n_1 (n_1 \sin \delta_1 + y_0 \cos \delta_1)}{n_1 \cos \delta_1 - y_0 \sin \delta_1 + ix_0 \sin \delta_1} \quad (6)$$

가 된다. 이때 2층 박막의 반사율이 0이 되기 위해서는  $Y=1$  이어야 하므로 식 (6)을 실수부와 허수부로 나누고 정리하면

$$x_0 = \frac{n_1^2}{1 + (n_1^2 - 1) \cos^2 \delta_1}$$

$$y_0 = \frac{n_1 (1 - n_1^2) \sin \delta_1 \cos \delta_1}{1 + (n_1^2 - 1) \cos^2 \delta_1} \quad (7)$$

가 된다

한편 식 (5)에서  $x_0$ 와  $y_0$ 는

$$x_0 + iy_0 = \frac{n_1 \cos \delta_2 + iN_2 \sin \delta_2}{\cos \delta_2 + i \frac{N_2 \sin \delta_2}{n_2}} \quad (8)$$

가 된다. 따라서 SiO<sub>2</sub> 박막의 굴절률, 두께, 기판의 굴절률을 알면 식 (7)로부터  $x_0$ 와  $y_0$ 를 계산할 수 있고, 이를 식 (8)에 대입하면 수치 해석적으로 흡수층의 굴절률과 소멸계수를 계산할 수 있다.

위와 같은 계산과정은 어드미턴스 그림을 이용하면 쉽게 설명할 수 있다. 그림 1(b)는 SiO<sub>2</sub> 박막의 굴절률이  $n_1 = 1.46$ 이고 두께  $d_1 = 90$  nm일 때 2층 무반사 박막의 어드미턴스 그림이다. 파장이 450 nm일 때 TiN의 어드미턴스는 우선 기판의

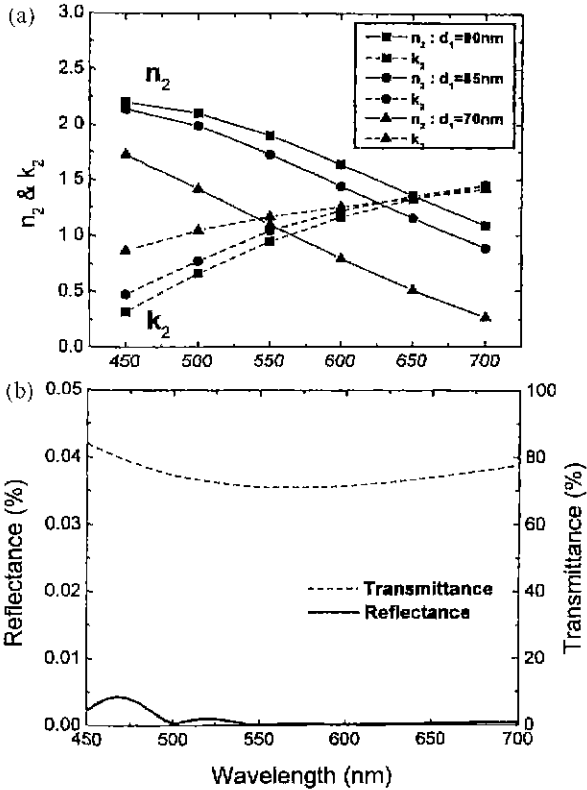


그림 2. (a) TiN층의 두께  $d_2 = 15 \text{ nm}$ 로 고정하였을 경우  $\text{SiO}_2$ 층의 두께 변화에 따른 TiN층의  $n, k$ 와 (b)  $d_1 = 90 \text{ nm}$ ,  $d_2 = 15 \text{ nm}$ 일 때의  $n, k$  값으로부터 계산한 2층 무반사 부정전 코팅의 투과율과 반사율.

어드미턴스인 1.52를 출발하여, TiN의 얇은 두께에 의하여  $x_0 + iy_0$  지점에 도착하고, 여기서부터는  $\text{SiO}_2$ 의 어드미턴스가 출발하여 큰 원을 그리면서 공기의 어드미턴스인 1에 도착한다. 같은 방법으로 파장을 510, 650 nm로 변화시켜도 최종 어드미턴스가 1이 되면, 넓은 가시광선 영역에서 무반사 코팅이 된다. 따라서 각 파장에 대해 위와 같은 어드미턴스 그림을 만족하는 흡수층의 광학상수를 구할 수 있다.

그림 2(a)는 흡수층의 두께  $d_2$ 가 15 nm이고,  $\text{SiO}_2$ 의 두께가 70, 85, 90 nm일 때, 450~700 nm의 가시광선 영역에서 무반사가 되도록 계산한 흡수층의 굴절률  $n_2$ 와 소멸계수  $k_2$ 의 분산이다. 흡수층의 분산은 파장이 증가할수록  $n_2$ 는 감소하고  $k_2$ 는 증가하는 경향을 보이고 있다.  $\text{SiO}_2$ 의 두께에 따라  $n_2$ 와  $k_2$ 는 많은 변화를 보이고 있다.  $\text{SiO}_2$  박막의 두께가 증가함에 따라  $n_2$ 는 가시광선의 전 영역에서 많이 증가하고  $k_2$ 는 짧은 파장 영역에서 감소하는 것을 알 수 있다. 그림 2(b)는  $n_1 = 1.46$ ,  $d_1 = 90 \text{ nm}$ ,  $d_2 = 15 \text{ nm}$ 일 때 흡수층의  $N_2(\lambda)$ 로부터 2층 무반사 부정전 박막의 반사율 및 투과율을 계산한 것이다. 그림 1(b)의 어드미턴스 그림으로부터 예상할 수 있듯이 반사율이 가시광선 영역에서 0에 매우 가깝다.

일반적으로 알려져 있는 TiN 박막의 복소수 굴절률  $N_2(\lambda)$ 가 위에서 계산한 무반사 조건을 만족하는 흡수층의 복소수 굴절률 분산과 비교적 가깝기 때문에 흡수층으로서 TiN 박막을 이용하면 2층 무반사 부정전 박막을 증착할 수 있다. 따라서 그림 2(a)는 2층 무반사 부정전 박막 증착시 TiN 박막이 가져야 할 이상적 분산이 되며 증착 조건에 따라 조절할 수 있어야 한다.

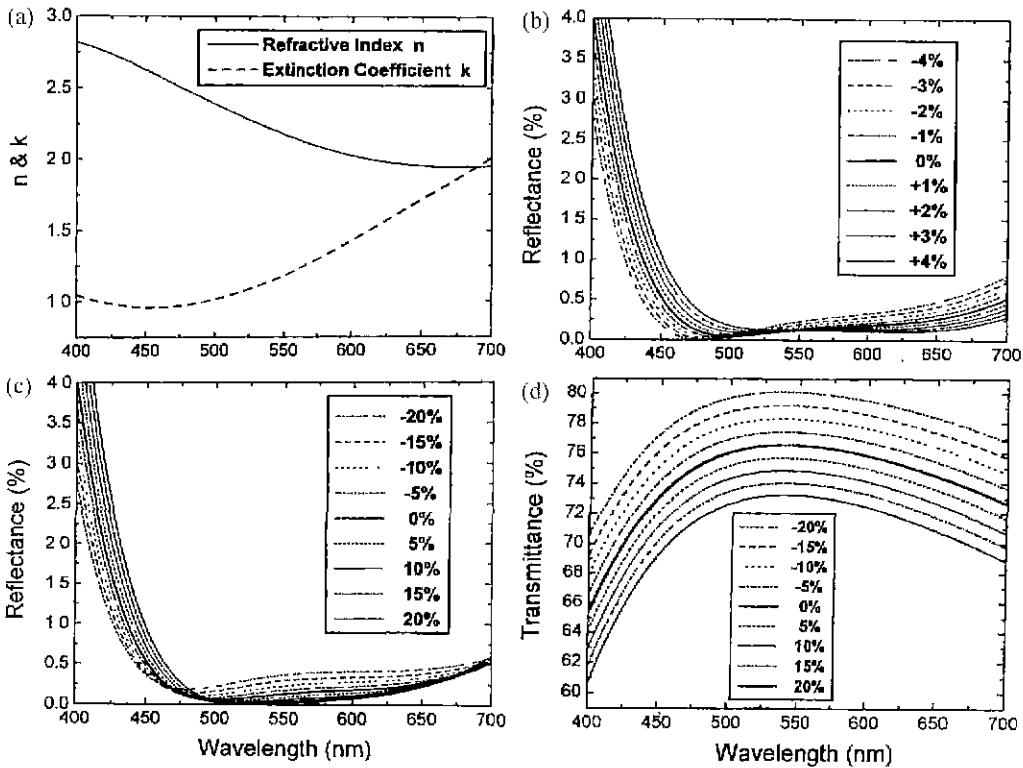


그림 3. (a) 전산모의에 적용한 TiN 박막의 복소수 굴절률, (b)  $\text{SiO}_2$ 층의 두께 변화에 따른 2층 무반사 부정전 코팅의 반사율, (c) TiN층의 두께 변화에 따른 2층 무반사 부정전 코팅의 반사율과 (d) TiN층의 두께 변화에 따른 2층 무반사 부정전 코팅의 투과율.

2.2. 각 층의 두께에 따른 반사율 전산 모의

얇게 증착된 TiN 박막 위에 SiO<sub>2</sub>를 증착하여 무반사 박막을 증착하기에 앞서 각 층의 두께 변화에 따른 2층 무반사 코팅의 반사율 스펙트럼의 변화를 전산모의 하였다. 계산에 사용된 TiN의 복소수 굴절률은 그림 3(a)와 같고 기준 두께를 TiN의 경우는 7.9 nm, SiO<sub>2</sub>의 경우는 93.2 nm로 설정하였다.

우선 TiN층의 두께를 고정(7.9 nm)시켰을 때 SiO<sub>2</sub>층의 두께에 따른 반사율의 변화는 그림 3(b)와 같다. 기준 두께 93.2 nm의 SiO<sub>2</sub>층에 1%씩 가감하여 ±4%로 두께를 변화시켰을 때의 반사율이다. SiO<sub>2</sub>층의 두께가 두꺼워 질수록 400~550 nm 영역에서는 반사율은 증가하고 550~700 nm 영역에서는 반사율 곡선의 기울기가 작아지면서 반사율이 감소하는 경향을 보인다. 또한, 전체적으로 반사율 스펙트럼은 긴 파장 쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있다.

기준 두께 93.2 nm의 SiO<sub>2</sub>층에 ±4%의 두께 변화를 주었을 때 투과율의 변화 폭은 400~450 nm에서는 ±1% 미만이고, 500~700 nm에서는 ±0.1% 미만으로 그림 3(d)의 0% 투과율 곡선과 거의 일치한다. 따라서 SiO<sub>2</sub>층의 두께를 조절함으로써 주로 2층 무반사 코팅 [공기|SiO<sub>2</sub>|TiN|유리]의 투과율은 변화 없이 반사대역을 제어할 수 있음을 알 수 있다.

그림 3(c)는 SiO<sub>2</sub>층은 기준 두께(93.2 nm)로 고정하고 TiN 층의 두께를 기준 두께(7.9 nm)의 5% 간격으로 20%까지 증가, 감소시키며 그에 따른 반사율 변화를 나타낸 그림이다. TiN층의 두께에 따라서는 주로 반사율의 크기 및 반사 폭에 영향이 나타났다. TiN층의 두께가 증가함에 따라 400~500 nm 영역에서는 반사율 스펙트럼이 전체적으로 긴 파장 쪽으로 이동하며, 500~675 nm 영역에서는 반사율이 감소하고 675 nm부터는 반사율이 증가한다. 즉, TiN층의 두께가 기준 두께보다 증가함에 따라 중심파장의 반사율은 작아지나 저반사 폭은 좁아진다. 따라서 TiN층의 두께는 필요에 따라서 반사대역 폭과 반사율의 크기 가운데 한가지를 선택해야 한다. 그림 3(d)는 TiN층 두께의 변화에 따른 투과율이며, TiN층의 두께를 기준 두께의 ±20%로 변화를 주었을 때, 투과율은 ±4% 정도 범위 내에서 변한다.

위 전산모의 결과로부터 TiN층의 두께 변화는 2층 무반사 무정전 코팅의 최저 반사율 영역의 대역폭과 반사율에 주로 영향을 주고 투과율을 조절할 수 있으며, SiO<sub>2</sub>층의 두께변화는 반사율이 최저가 되는 중심을 이동시킴을 알 수 있다. 이러한 각 층의 두께의 변화에 따른 반사율 변화를 이용하면 2층 무반사 박막을 증착하는데 있어서 각 층의 최적 두께를 쉽게 결정해 나갈 수 있다.

III. 실험장치

전산모의를 통해 각층의 두께에 따른 반사율과 투과율의 경향을 조사하였고 그림 4와 같은 RF 마그네트론 스퍼터링 장비를 사용하여 TiN층을 이용한 2층 무반사 무정전 코팅을 증착하였다. 고진공 펌프로는 터보 분자 펌프를, 저진공 펌프로는 회전 펌프를 사용하였다. 타깃으로는 각각 두께 1/4 인치,

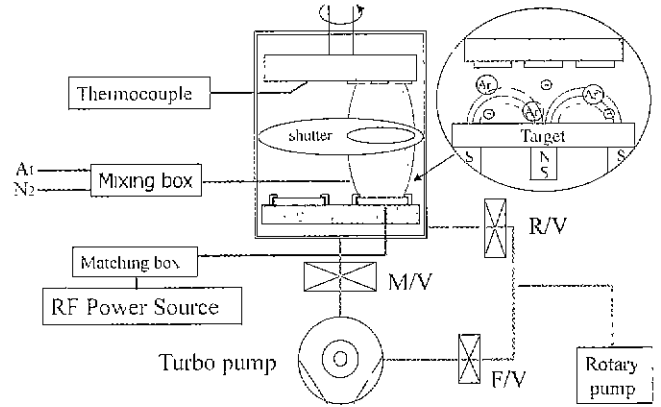


그림 4. RF 마그네트론 스퍼터링 장치

크기 4인치 원판형 Ti(99.99%)와 SiO<sub>2</sub>(99.999%)를 사용하였고 타깃과 기판사이의 거리는 52 mm로 고정하였으며, 기본 진공은 5×10<sup>-6</sup> torr 이하로 유지하였다.

2층 무반사 무정전 코팅의 흡수층으로 사용된 TiN 박막은 RF 출력은 240 W, Ar 기체의 유량은 20 sccm으로 고정시키고, N<sub>2</sub> 기체의 유량을 3~13 sccm으로 변화시켜가며 기판을 평균 12 rpm 정도로 회전시키며 10분간 증착하였다. 유전체 층으로 SiO<sub>2</sub> 박막을 RF 출력은 200 W, O<sub>2</sub> 기체의 유량은 20 sccm를 흘려주며, 회전시키지 않고 8분 동안 증착하였다.

타깃에서 튀어나온 입자의 이동도 향상과 증착기 내부의 수분 제거를 위해 기판을 250~400°C로 가열하였고 대기에 노출된 타깃 표면의 불순물과 산화막을 제거하기 위하여 예비 스퍼터링을 증착전에 20 sccm의 Ar 기체를 흘려주며 10분 이상 실시하였다. 박막이 증착되는 동안 RF 출력과 기판 회전 속도, 증착 압력은 일정하게 유지시켜주었다.

증착한 박막의 반사율, 투과율, 복소수 굴절률 등은 분광광도계와 VASE를 이용하여 조사하였고, RBS를 이용해 화학적 특성을, 4점 탐침 측정기로 면저항을 측정하여 전기적 특성을, AFM 측정으로 박막의 표면 특성을 분석하였다.

IV. 실험 결과 및 논의

4.1. 표면 거칠기

질소 유량을 3~9 sccm으로 변화시키며 증착한 얇은 TiN 박막의 표면 거칠기를 AFM으로 측정하였다. 그 결과 TiN 박막의 표면 거칠기는 평균 9~10 Å 정도로서 질소 유량에는 크게 의존하지 않는 것으로 판단되며, 비교적 균일한 박막이 증착되었음을 알 수 있다. 사용한 기판의 rms 표면 거칠기는 7~12 Å이다.

AFM의 측정 조건은 100 μm 밑으로 박막의 서로 다른 세 곳을 주사 범위 10 μm, 주사율 30 μm/s로 주사한 후 다시 주사한 영역의 중심을 주사 범위 2.5 μm, 주사율 7 μm/s로 확대 주사(zoom scan)하여 측정하였다. 그림 5는 7 sccm의 질소 유량으로 증착한 TiN 박막의 AFM 평면사진(주사 범위 2.5 μm, 주사율 7 μm/s)이며, rms 표면 거칠기는 9.2 Å이다.

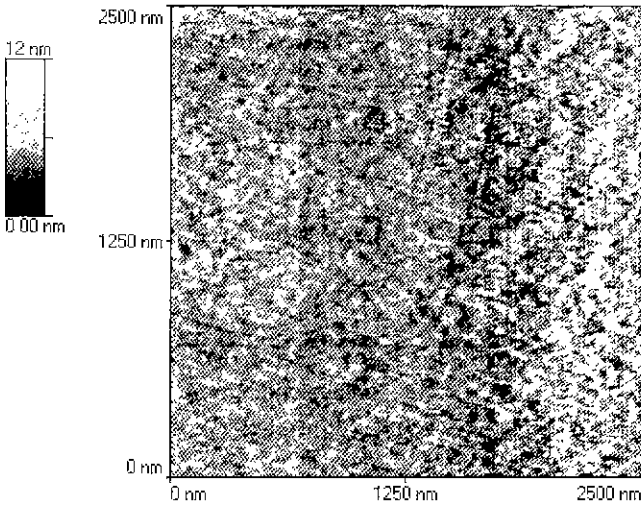


그림 5 TiN 박막의 AFM 평면 사진

4.2. 면저항

증착한 TiN 박막의 전기적 특성은 면저항을 측정하여 조사하였다. 박막의 서로 다른 위치를 4회 반복 측정하여 평균값을 비교 분석하였다. 그림 6과 같이 증착한 TiN 박막의 면저항은 기판온도가 250~400°C일 때 450~650 Ω/□이다. 기판온도가 250°C에서 400°C로 증가함에 따라 박막의 면저항은 약 23% 감소하였다.

4.3. 화학적 특성

얇은 TiN 박막의 원소조성비를 조사하기 위해 RBS를 이용했다. 이온원으로는 2 MeV He 이온을 사용하였고 시료가 얇기 때문에 보다 명확한 분석을 위해 70° 기울여 측정하였다. 기판은 두께 1 mm의 표면 연마된 탄소를 사용했다. 그림 7은 각각 300°C(TiN300)와 400°C(TiN400)의 서로 다른 기판 온도에서 증착된 두 개의 TiN 박막의 RBS 스펙트럼이다.

그림 7에서 보듯이 300°C에서 증착된 TiN 박막은 400°C에서 증착한 TiN 박막 보다 다른 원소에 비해 상대적으로 산소의 피크가 높게 나타났다. 즉 박막 속에 포함된 산소의 양은 TiN400이 작다. 전산모의로부터 Ti, O, N의 구성비는 표 1과

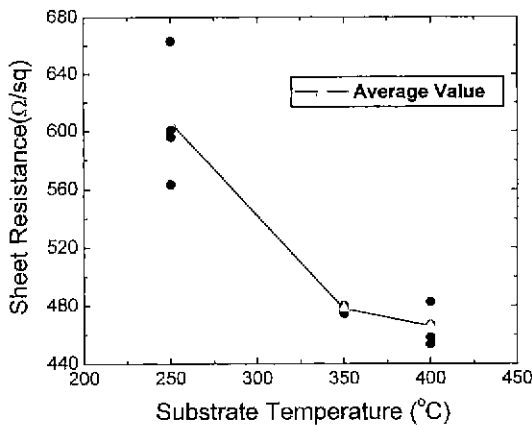


그림 6. 기판의 온도에 따른 TiN 박막의 면저항.

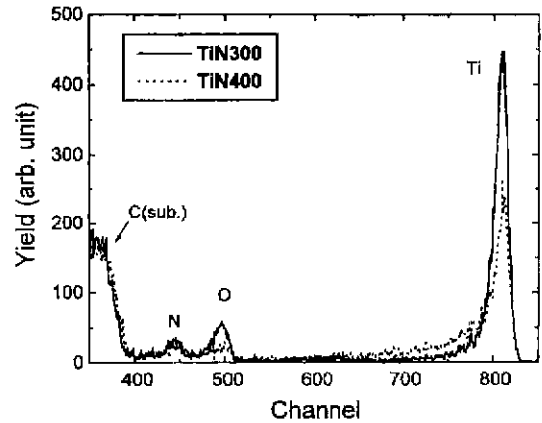


그림 7. TiN 박막의 RBS 스펙트럼.

표 1. TiN 박막의 원소조성비와 비저항

특성 시료	Ti	O	N	비저항 (μΩ·cm)	두께 (nm)
TiN300	1	0.9	0.7	600~7300	17.4
TiN400	1	0.65	0.95	360~730	12.1

같으며, TiN300의 조성비는 Ti:N:O=1:0.7:0.9이고, TiN400의 경우 Ti:N:O=1:0.95:0.65이다.

표 1에서 이들의 비저항 값을 비교하면 TiN300이 6600~7300 μΩ·cm이고, TiN400이 360~730 μΩ·cm이다 즉, 높은 기판 온도에서 증착된 TiN 박막이 낮은 온도에서 증착된 경우에 비해 1/10정도이다. 이는 결과적으로 비저항이 높은 시료의 산소의 함유량이 상대적으로 비저항이 낮은 것보다 높기 때문이다.

두 시료의 두께는 TiN300이 17.4 nm로 TiN400의 12.1 nm 보다 크게 나타났다. 일반적으로 박막의 두께가 얇아지면 박막의 비저항이 커진다. 본 연구에서 비저항이 약 10배 정도나 차이가 나는 이유는 두께 차이(약 5.3 nm)에 의한 효과보다는 산소 함유량에 의한 효과가 더 지배적이기 때문으로 판단된다.

높은 비저항값을 갖는 TiN300의 RBS 스펙트럼의 세기가 TiN400의 세기보다 전체적으로 높은 이유는 TiN300의 두께가 TiN400보다 두껍기 때문이며, 그림 7의 RBS 스펙트럼에서 채널 700~800 사이, 즉 Ti 피크의 좌측 하단부의 피크가 퍼지는 것은 본 실험에 사용한 탄소기판의 표면이 다소 거칠기 때문인 것으로 판단한다.

4.4. 광학적 특성

그림 8(a)는 RF 출력은 240 W, N<sub>2</sub> 기체의 유량은 13 sccm 으로 10 nm 정도의 두께를 예상하고 10분 동안 증착한 2개의 TiN 박막의 반사율 및 투과율의 측정값이다. 위의 동일한 조건으로 증착하였으나 두 박막의 반사율과 투과율의 차이로 보아 두께(각각 7.2 nm, 9.2 nm)와 복소수 굴절률이 서로 다른 2개의 TiN 박막이 성장했음을 예상할 수 있다. 두 TiN 박막의 복소수 굴절률은 VASE를 이용하여 그림 8(a)의 반사율과 투과율로부터 계산하였고 그 결과 그림 8(b)와 같이 TiN9.2 박막은 TiN7.2 박막보다 가시광선(400~700 nm) 영역에서 전

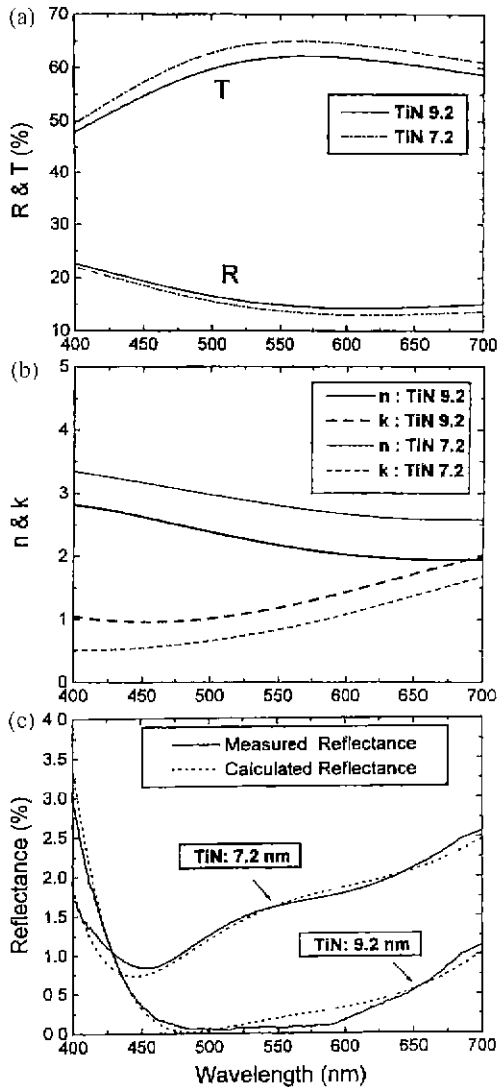


그림 8. (a) TiN 박막의 반사율과 투과율, (b) TiN 박막의 복소 수 굴절률과 (c) 2층 무반사 무정전 코팅의 TiN층의 두께에 따른 반사율 변화

체적으로 n은 0.6 정도 작고, k는 0.4 정도 크다. 그림 8(c)는 그림 8(a)의 반사율과 투과율을 갖는 두 TiN 박막 위에 각각 동일한 두께(88 nm)의 SiO<sub>2</sub> 박막을 증착하여 만든 2층 박막 [공기|SiO<sub>2</sub>|TiN|유리]의 반사율이다. 실선은 분광광도계로 측정 한 반사율이고 점선은 계산한 반사율이다. 440~650 nm 영역에서 반사율이 0.5% 미만이고 444~646 nm에서의 평균 반사율은 0.16%이다. 측정 반사율과 계산 반사율 분포가 가시광선 파장영역(400~700 nm)에서 전체적으로 곡선의 형태 및 수치면에서 유사함을 알 수 있다. SiO<sub>2</sub>의 두께를 같게 증착하였으므로 앞의 두께에 따른 전산모의 결과처럼 TiN 박막의 두께 감소에 의해 최저 반사율 영역이 짧은 파장 영역 쪽으로 이동하고 반사율은 증가하였다고 판단된다. 두 시료의 반사율이 차이를 보이는 가장 큰 이유는 전산모의에서 볼 수 있듯이 TiN층의 두께 차이(약 2 nm)에 의한 결과라 할 수 있다.

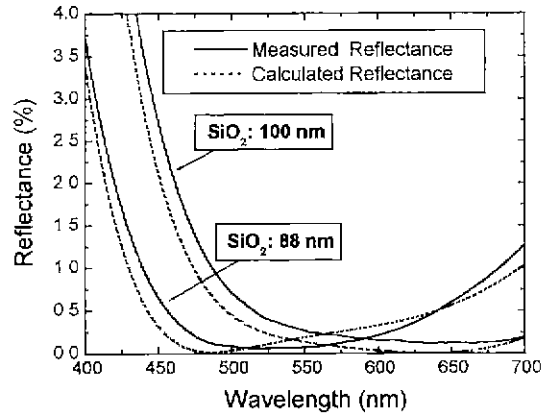


그림 9 2층 무반사 무정전 코팅의 SiO<sub>2</sub>층의 두께에 따른 반사율 변화.

그림 9는 그림 8(a)의 TiN과 같은 조건으로 증착한 두 TiN 박막 위에 각각 서로 다른 두께(88 nm, 100 nm)의 SiO<sub>2</sub> 박막을 증착하여 만든 2층 박막 [공기|SiO<sub>2</sub>|TiN|유리]의 반사율이다. 실선은 분광광도계로 측정 한 반사율이고 점선은 계산한 반사율이다. SiO<sub>2</sub>층의 두께가 증가함에 따라 앞의 전산모의에서 예측한대로 반사율 스펙트럼 전체가 긴 파장 쪽으로 이동했으며 긴 파장영역에서 반사율이 감소한다. 또한, 저 반사영역 폭도 긴 파장 쪽으로 이동한 것을 알 수 있다.

### V. 결 론

본 연구에서는 TiN층을 이용한 2층 무반사 코팅 [공기|SiO<sub>2</sub>|TiN|유리]를 설계하고 증착하였다. 전산모의를 통하여 흡수층인 TiN의 분산을 계산하였으며, TiN층과 SiO<sub>2</sub>층의 최적화된 두께는 각각 7.9와 93.2 nm로 계산되었다. RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 증착한 TiN 박막의 rms 표면 거칠기는 질소의 유량에 따라 9~10 Å로 비교적 균일하였고, 면저항은 기판온도의 증가에 따라 감소하였으며, 이는 RBS 측정결과 산소 함유량의 감소에 기인한 것으로 생각된다. 이러한 특성을 갖는 TiN층을 이용한 무반사 코팅의 반사율은 440~650 nm 영역에서 0.5% 미만이었으며, TiN층의 두께가 증가하면 무반사 코팅의 반사율은 감소하고, SiO<sub>2</sub>층의 두께가 증가하면 반사율 스펙트럼이 전체적으로 긴 파장 영역으로 이동하였다.

### 감사의 글

이 연구는 한국과학재단의 연구비 지원(98-0702-03-01-3)으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] 최성창, 황보상우, 조만호, 김남영, 홍창의, 이덕형, 심태언, 황정남, 한국진공학회지 **5**, 54 (1996).
- [2] Y. Zheng, K. Kikuchi, M. Yamasaki, K. Sonoi, and K. Vehara, Appl Opt. **36**, 6335 (1997).
- [3] R. D. Arnell, J. S. Colligon, K. F. Minnebaev, and V. E.

- Yurasova, *Vac.* **47**, 425 (1996).
- [4] H.-W. Liu, Z.-D. Huang, and Y.-R. Chen, *Proc. SPIE* **3241**, 151 (1998).
- [5] A. Rizzo, L. Mirengi, L. Tapfer, M. Alvisi, L. Vasaneli, F. Sarto, and S. Scaglione, *Proc. SPIE* **2776**, 392 (1996).
- [6] L. Cunha, M. Andritschky, L. Rebouta, and R. Silva, *Thin Solid Films* **317**, 351 (1998).
- [7] S. Xiao, C. P. Lungu, and O. Takai, *Thin Solid Films* **334**, 173 (1998).
- [8] L. Fouilland, L. Imhoff, A. Bouteville, S. Benayoun, J. C. Remy, J. Pernere, and M. Moicrette, *Surf. Coat. Technol.* **100/101**, 146 (1998).
- [9] Sa-Kyun Rha, Won-Jun Lee, Seung-Yun Lee, Young-Sup Hwang, Yoon-Jik Lee, Dong-il Kim, Dong-won Kim, Soung-Soon Chun, and Chong-Ook Park, *Thin Solid Films* **320**, 134 (1998).
- [10] Youn Tae Kim, Chi-Hoon Jun, Jin Ho Lee, Jong Tae Baek, and Hyung Joun Yoo, *J. Vac. Sci. Technol.* **A14**, 3245 (1996).
- [11] 이연승, 임관용, 정용덕, 최범식, 황정남, *한국진공학회지* **6**, 314 (1997).
- [12] L.-J. Meng, A. Azevedo, and M. P. dos Santos, *Vac.* **46**, 233 (1995).
- [13] H. A. Macleod, *Thin-Film Optical Filters* (Macmillan, New York, 2nd ed., 1986), pp. 35-37.

### Design and deposition of two-layer antireflection and antistatic coatings using a TiN thin film

Young-Bae Son, Nam Young Kim, Jeong-Hong Oh, and Chang Kwon Hwangbo<sup>1</sup>

*Department of Physics, Inha University, Incheon 402-751, KOREA*

<sup>1</sup>*E-mail: hwangbo@inha.ac.kr*

Kyeong-Keun Woo and Tae-Soo Kang

*Samsung Corning Co., Ltd, Gumi 730-360, KOREA*

(Received June 5, 2000, Revised manuscript received September 26, 2000)

In this study we have calculated an ideal complex refractive index of a TiN film used in a layer of antireflection (AR) coating, [air|SiO<sub>2</sub>|TiN|glass], in the visible. Also we simulated the reflectance of two-layer AR coating by varying the thicknesses of TiN and SiO<sub>2</sub> layers, respectively. The simulation results show that we can control the lowest reflectance and AR band of the AR coating. The TiN films were fabricated by a RF magnetron sputtering apparatus. The chemical, structural and electrical properties of TiN films were investigated by the Rutherford backscattering spectroscopy (RBS), atomic force microscope (AFM) and 4-point probe. The optical properties were investigated by the spectrophotometer and variable angle spectroscopic ellipsometer (VASE). The surface roughness of TiN films was 9~10 Å. The resistivity of TiN films was 360~730 μΩ · cm. The stoichiometry of TiN film was Ti:O:N = 1:0.65:0.95 and the oxygen was found on the surface. With these experimental and simulation results, we deposited the two-layer AR coating, [air|SiO<sub>2</sub>|TiN|glass] and the reflectance was under 0.5% in the region of 440~650 nm.

*OCIS code* : 310.1620.