

이온 보조 증착에 의한 광박막의 제작과 특성
(Preparation and Characterization of Optical Thin Films
by Ion-assisted Deposition)

황보 장 권

인하 대학교 물리학과

광박막의 광학적, 기계적 및 화학적 특성은 bulk에 비해 떨어지며, 제작된 광박막의 특성이 설계치보다 못한 경우도 때로 관측된다. 이러한 문제점의 대부분이 광박막의 고유 구조인 기둥 미세 구조로부터 기인한다. 광박막의 기둥 구조를 변화시켜 bulk의 특성이 가깝게 가는 방법으로 시행되고 있는 여러 기술 중, 광박막에 비교적 큰 변화를 가져온 이온 보조 증착 기술과 이에 의해 제작된 광박막의 특성 및 앞으로의 전망에 관하여 알아 본다.

1. 서론

광박막 코팅은 광학 부품의 광학적 특성(빛의 반사율, 투과율)을 목적에 맞게 변화시키는 방법으로 널리 사용되고 있다. 논문에서 광박막이란 빛의 간섭 효과를 이용한 박막으로 두께가 사용하는 빛의 파장 정도 혹은 파장보다 작은 경우를 의미한다^[1]. 예를들면, 반사율을 줄이기 위해 카메라 렌즈에 이용되는 비반사 코팅, 레이저 공명기의 고반사 거울, 편광 된 빛을 편광 방향에 따라 분리시키는 편광 분리기 등 빛의 양을 조절하는 기술로 광학의 여러 분야에서 오랜 기간 이용해 오고 있다^[2]. 또한 최근의 짧은 파장 고출력 레이저의 개발로 레이저 피해 문턱이 높은

광박막^[3], 레이저 gyroscope에 쓰이는 산란이 매우 적은 광박막^[4], 수직 입사 X-선을 반사시킬 수 있는 급속 다중 광박막, 구경이 매우 큰 거울의 반사 코팅 등 새로운 제작 및 특성 조사 기술을 요구하는 분야에서는 광박막의 물리적 기초 연구가 활발히 진행되고 있다.

일반적으로 물리 진공 증착된 광박막은 bulk에 미치지 못하는 특성을 나타내고 있다^[5]. 광학 간섭 필터의 최고(peak) 파장을 진공과 공기 중에서 측정하면, 진공 중에서의 최고 파장이 공기 중에서는 긴 파장 쪽으로 이동한다. 더구나 공기 중의 습도가 높으면 이동 양은 더욱 증가한다. 또한 제작된 광박막의 광학적 특성이 설계치보다 떨어지는 경우도 있다. 이는 설계시 박막을 bulk로 가정하나, 실제로 증착된 박막은 bulk와 다르기 때문이다. 또한 광박막의 물리적 세기 [접착력(adhesion), 응력(stress) 등]와 환경 저항도는 bulk에 비하여 매우 약하며, 화학적 성분 구성은 substoichiometry이다.

이러한 문제점을 증착기 내에서 해결할 수 있는 변수로는 기판 온도, 진공도, 증착율 등이 있으며, 이 변수들을 실험적으로 변화시켜

어느 정도 해결해 오고 있으나, 광박막의 근본적인 고유 특성을 이해하지 않고서 완전 해결은 불가능하다고 인식되고 있다. 광박막이 기둥 미세 구조 (columnar microstructure)를 갖고 있음은 투시 전자 현미경에 의해 이미 관측되었으며^[6], 이론 적으로 자라는 박막의 컴퓨터 모의에서도 같은 추세를 보여 주고 있다^[7]. 즉 광박막은 bulk의 특성을 갖는 기둥(column)과 기둥들 사이에 있는 빈 공간(void)으로 구성되어 있으며, 이 기둥은 기판으로부터 박막의 두께가 증가하는 방향으로 자라고, 기판과 이루는 각은 증착 물질의 입사각에 의존한다^[8].

광박막계에서는 광박막 내의 기둥의 양을 패킹 밀도(packing density; p)로 나타내는데, 패킹 밀도는 박막의 전 부피(기둥 + void)에 대한 기둥 부피의 비로 정의된다^[9]. 일반적으로 광박막의 p 는 1.0(bulk의 경우)보다 작는데, 금속 박막의 p 는 유전 박막 보다 크며, 산화 박막의 p 는 불화 박막보다 크다. 위에 언급한 광학 간섭 필터의 최고 파장의 이동은 박막의 기둥 미세 구조가 원인이다. 필터가 공기 중에 노출되면 공기 중의 습기가 모세관 현상에 의하여 기둥을 따라 박막 속으로 들어가 void를 습기로 채워, void의 굴절율을 증가시킨다. 따라서 광경로가 증가하며, 최고 파장이 긴 파장 쪽으로 이동한다. 또한 기둥이 기판부터 자라기 때문에 박막의 접착력 약화와 응력 증가를 초래하는 한 원인으로 작용한다.

지역 구조 모델^[10]에 따르면, 기판 온도의 증착 물질의 용융점에 대한 비가 0.45보다 작은 1, 2 지대에서 기둥 미세 구조가 나타나는데, 대부분의 광박막 증착의 경우 이 조건을 쉽게 만족한다. 기둥 미세 구조가

광박막의 화학적 구조와는 관계 없이, 대부분의 물리 증착 박막에 존재하므로, 기둥 미세 구조의 생성 원인은 물리적이다. 기둥 미세 구조를 결정하는 중요한 인자로는 기판에 도착한 원자 혹은 분자의 제한된 이동, 이미 응착된 원자 혹은 분자에 의해 기판의 증착 안된 부분이 가려지는 현상, 증착 물질의 입사각 등이 있다. 광박막의 패킹 밀도, p , 를 증가시키는 한 방 법으로 널리 이용되고 있는 것이 기판 온도를 올리는 것이나, 기판의 종류에 따라 한계를 가지고 있다. 기존의 진공 증착기(열 저항원 혹은 전자 빔원을 가지고 있음)를 그대로 이용하면서, 도착 된 원자 혹은 분자의 이동도를 증가시키기 위해 에너지를 공급해 주는 방법을, 에너지원에 따라 분류해보면, 이온 보조 증착, 광자 보조 증착^[11], 전자 보조 증착^[12], 초음파 보조 증착^[13] 등이 있다. 이들 중 이온 보조 증착법이 현재까지 가장 큰 성과를 올리고 있으며, 광자 보조 증착은 짧은 파장 고출력 레이저의 개발로 전망이 밝은 편이다. 이온 빔을 이용하여 고품질의 광박막을 제작하는 다른 방법으로 ion plating, ion beam sputtering, dual-ion beam sputtering 등이^[9,14,15] 있으나, 본 논문에서는 이온 보조 증착에 관하여 주로 논 하겠다.

2. 이온 보조 증착

이온 보조 증착에서는 그림 1과 같이 열 저항원 혹은 전자 빔원으로부터 나온 증착 물질이 기판에서 박막을 형성하는 동안, 박막을 이온으로 때려(bombardment)준다^[15,16,17]. 증착 물질보다 큰 에너지를 가진 이온이 충돌시 에너지와 운동량을 도착한 원자 혹은 분자에

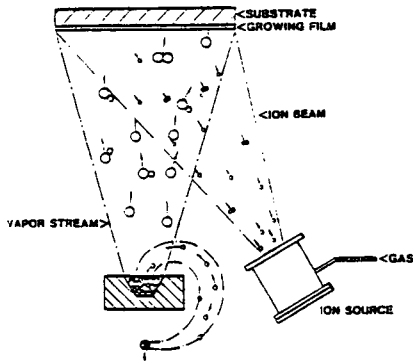


Fig. 1. Ion-assisted Deposition[15].

전달해 주므로, 이온 보조 증착에 의한 박막의 기동 미세 구조는 이온의 영향을 받지 않은 보통 박막과 다르다. 광박막의 기동 미세 구조를 이온 빔으로 조정할 수 있으므로, 이온 보조 증착은 기동 미세 구조에 관련되는 광박막의 특성을 여러 가지 응용에 맞게 조절할 수 있다. 이온으로는 불활성 기체(Ar, Ne, Kr, Xe)와 반응 기체(산소, 질소, Freon) 등이 이용되고 있다.

이온 보조 증착에 널리 이용되고 있으며, 기존의 진공 증착기 내에 쉽게 설치할 수 있는 Kaufman 형의 이온 총의 내부도는 그림 2와 같다 [18]. 이온 에너지는 10 eV부터 1500 eV까지, 전류는 1 mA/cm² 까지 변화시킬 수 있으며, 에너지와 전류를 독립적으로 조절할 수 있다. 방전 방에 가스를 진공 증착기의 작동 압력이 될 때까지 주입한다. 음극 필라멘트에서 나온 열전자는 가스를 이온화시킨다. 이온의 에너지는 빔 전압에 의해 결정되며, 이온의 전류는 screen grid를 통과하는 총 전하량이다. 음전압의 외부 grid는 이온을 방전 방에서 끌어 내는 아니라, 외부의 전자가 방전 방으로 들어 가지 못하게

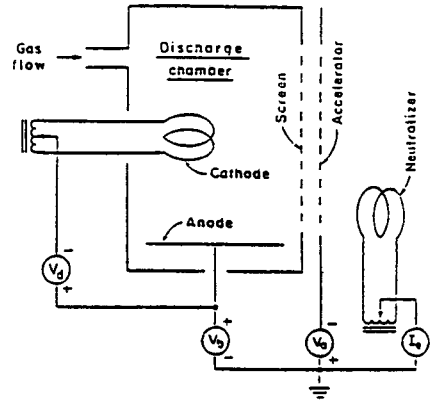


Fig. 2. Kaufmann Ion Source[18]

한다. 폭이 넓은 이온 빔을 얻기 위해서는 두 grid의 구멍이 잘 맞아야한다. 이온 총 밖의 중성화 필라멘트로부터 나온 열전자는 이온 빔이 퍼지는 것을 줄여 방향 성을 갖게 하며, 전하가 박막에 충전되는 것을 막는다. 음극 필라멘트로는 일 함수가 낮은 텅스텐이 흔히 사용되는데, 산소를 이온으로 이용할 경우 텅스텐과 산소가 반응 하기때문에 필라멘트의 수명이 매우 짧다. 또한 작은 양의 텅스텐이 박막에서 불순물로 발견되는 경우도 자주 있다.

3. 이온 보조 증착에 의해 제작된

광박막의 특성

증착 물질에 따라 최적 조건을 찾기 위해 이온 에너지, 이온 빔 전류, 증착율, 가스 압력, 기판 온도등을 변화시키며 광박막을 제작 하여, 그 특성을 조사하고 있다.

(1) 특성 조사 방법

(a) 광학적 특성

광박막의 광학적 특성은 광학 삼수 (굴절율과 소멸 계수)에 의해 결정되므로,

정확한 광학 상수의 측정이 필요하다. 특히 광박막의 광학 상수는 기동 미세 구조때문에, bulk의 광학 상수와 다르므로, 제작 조건에 따라 광학 상수가 다르다. 소멸 계수가 매우 작은 유전 박막의 굴절률(n)과 기동 미세 구조의 밀도를 나타내는 패킹 밀도(p)와의 관계는 주물질의 모델에 따라 다르나, 저굴절률 광박막에 대해 잘 맞는 가장 간단한 선형 모델은 다음과 같다^[9,19].

$$n = pn_b + (1-p)n_v,$$

여기서 n_b 는 bulk의 굴절률이고, n_v 는 void의 굴절률이다. 즉 유전 광박막의 n 은 bulk의 n 보다 작으며, p 가 1일 때 박막의 n 은 bulk와 같다. 따라서 제작 조건에 따른 n 의 변화로부터, p 의 변화 방향을 알 수 있다.

박막의 광학 상수를 구하는 방법은 여러 가지가 있으나, 본광 광도계에서 반사율(R)과 투과율(T)을 측정하여 이들을 만족하는 광학 상수를 구하는 방법이 널리 이용되고 있다. 유전 박막의 광학 상수는 소멸 계수가 작기때문에 T 혹은 T 와 R 둘 다 측정하고, envelope 방법을 이용하면 비교적 쉽게 구해진다^[20]. 소멸 계수가 큰 유전 박막과 금속 박막은 본광광도계 측정치로부터 inversion 방법과 수치 분석을 이용하여 구한다^[21]. 최근에는 spectroscopic ellipsometer를 이용하여 광학 상수뿐 아니라 박막의 depth profile, 산화 박막의 두께, stoichiometry 등도 구하고 있다^[22,23]. 일부 금속 박막(Ag, Cu, Au, Al 등)의 경우는 표면 플라즈몬 공명을 이용하여 투과 파장에서 광학 상수를 구할 수 있다^[24].

(b) 기계적 특성

본 논문에서는 polycrystalline 광박막의

특성을 조사할 수 있는 Bragg-Brentano형 X-선 회절기에 관하여 주로 알아 보겠다^[25]. X-선 회절기에서 측정된 Bragg 각으로부터 각자 간격을 구하며, crystallite의 방향을 JKPDS 카드^[26]와 비교하여 알 수 있다. X-선 세기의 폭이 퍼지는 것으로부터 crystallite의 크기를 계산할 수 있으며, 각자 간격의 변화로부터 박막 평면 상에서의 응력을 구할 수 있다^[27]. 박막의 응력을 구하는 다른 방법으로는 박막에 의해 변한 기판의 편향 혹은 곡률 반경을 측정하는 광학적 방법이 많이 사용되고 있다^[9].

(c) 화학적 특성

MgF₂ 광박막의 화학적 성분(composition 혹은 stoichiometry)을 조사해보면 일반적으로 F이 부족하다. 더구나 흡수가 큰 박막일 수록 F이 더 부족하다^[28]. 다시 말하면 MgF₂를 녹여 증착하였는데 일부 F이 없어지고, Mg은 다른 원소 특히 O와 결합한 것이다. 대부분의 광박막이 bulk와 달리 substoichiometry이다. 산화 광박막 증착시 산소를 증착기에 넣어 주는 것은 산화 박막의 stoichiometry를 증가시키기 위한 것이다. 박막의 화학적 성분을 조사하는 방법으로 Rutherford backscattering spectrometry(RBS)^[29], X-ray photoelectron spectroscopy(XPS), Secondary ion mass spectroscopy(SIMS) 등이 있으나, 본논문에서는 해상력이 좋고, 박막의 밀도, 두께, depth profile 등을 알 수 있는 RBS를 이용한 측정 결과를 주로 다루겠다.

(2) 유전(dielectric) 박막

다중 박막 기본을 이루는 유전 박막은 이온 보조 증착에 의해 많이 연구되고 있으며,

가장 큰 영향을 받고 있다. 특히 패킹 밀도의 증가는 이온 보조 증착의 큰 성과이다. 본 논문에서는 이온 보조 증착에 의해 연구된 유전 박막 중 광박막계에 많이 이용되는 물질들에 관하여 알아보겠다.

(a) 금속 산화(metal oxide) 박막

TiO₂는 기계적, 화학적 내구성이 좋고 고굴절율이나, 증착 방법, 증발 물질(source material; TiO, TiO₂, Ti₂O₃), 반응 가스 압력, 기판 온도, 증착율 등에 따라 굴절율이 약 2.3부터 2.6까지 크게 변하며, 결정 구조도 변하여^[9], 증착시 많은 주의가 필요한 물질이다. 이온 보조 증착을 한 결과는 Ar, 산소 혹은 Ar/산소 이온 보조 증착을 한 박막이 하지 않은 보통 박막보다 굴절율은 증가하고, 소멸 계수는 감소한다. 이는 300 °C 기판 온도에서 제작된 보통 박막과 비슷하여, 이온 충격이 증착 물질의 이동도를 증가시켜 패킹 밀도를 증가시킴을 알 수 있다^[15,30]. 상온 기판 온도에서 이온 보조 증착된 titania 박막은 비정질이다.

ZrO₂는 근적외선부터 근자외선까지 부과하는 내구성이 좋은 고굴절율의 물질이나, 굴절율이 제작 조건에 따라 크게 변하며 비균일하다. 이온 보조 증착에 의해 광박막의 void가 줄어 박막이 밀해진 정도는, 부과 혹은 반사 스펙트럼의 최고 혹은 최저 파장이 진공과 공기 중에서 이동하는 방향과 양으로부터 알 수 있다. 그림 3 (a)는 상온의 기판 온도에서 증착된 zirconia의 부과율을 진공과 공기 중에서 측정한 것이다. 공기 중의 습기를 흡착하여 굴절율이 증가하므로, 최고와 최저 파장이 긴 쪽으로 이동한다. 300°C 기판 온도에서 증착된 박막도 공기 중에서 긴

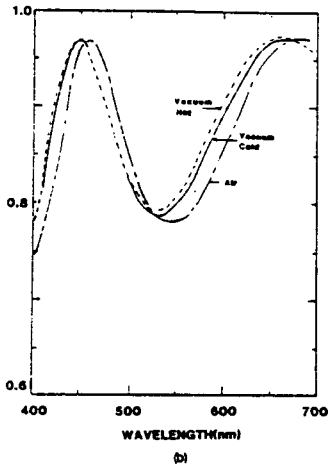
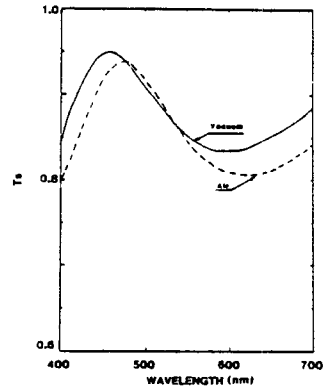


Fig. 3. Transmittance of ZrO₂ films
(a) Room temperature, (b) 300°C^[31].

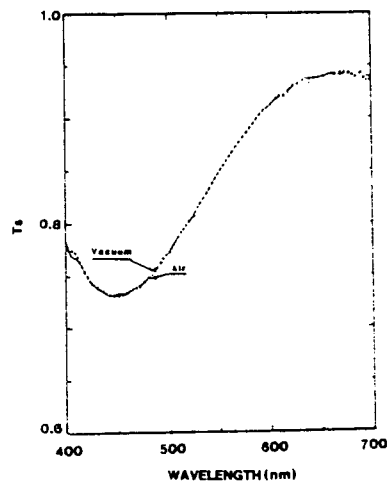


Fig. 4. Transmittance of ZrO₂ film by ion-assisted deposition^[31].

파장으로 이동하는 것을 그림 3 (b)에서 알 수 있다. 한편 상온 기판 온도에서 산소 반응 가스를 주입하고 Ar 이온으로 보조 증착된 박막의 최저, 최고 파장은 그림 4와 같이 전혀 움직이지 않았다. 즉 이온 보조 증착으로 패킹 밀도가 1.0에 가깝게 증가 한 것을 알 수 있다.

SiO₂는 다중 박막 필터의 저굴절을 박막, 전자 박막의 유전 박막, 금속 박막의 보호 박막 등으로 가장 많이 이용되는 광박막 중의 하나이다. SiO₂ 박막은 기둥 미세 구조를 갖고 있지 않으나 증착 조건에 따라 굴절율이 550 nm에서 1.46부터 1.50까지 변한다. Ar과 산소 이온 보조 증착으로 굴절율이 다소 증가하고, 1060 nm에서 흡수가 줄어 드는 것으로 보고 되었다[15, 30].

위의 결과를 응용하여 이온 보조 증착으로 ZrO₂/SiO₂ 다중 박막 간섭 필터를 제작하여 스펙트럼의 최고 파장의 이동을 조사한 결과가 그림 5의 (a), (b)이다[31]. 보통 간섭 필터는 약 8 nm 이동하나, 이온 보조 증착 간섭 필터는 거의 이동하지 않아, 이온 보조 증착이 박막을 밀하게 함을 알 수 있다.

Ge은 적외선 영역에서 고굴절을 박막으로 많이 이용된다. Ar 이온 충격에 의해 증착한 Ge 박막의 고유(intrinsic) 응력이 감소하고, 기판 접착력(adhesion)이 보통 박막의 접착력 보다 크다는 것이 Hirsc와 Varga(1978, 1980)[32, 33]에 의해 보고되었는데, 이것이 최초의 광박막 이온 보조 증착 실험인 것으로 여겨진다. 최근에는 이온 보조 증착한 Ge 박막의 void가 줄어 드는 것을 spectroscopic ellipsometer에서 관측하였으며[34], 이온 보조 증착한 Ge과 ThF₄으로 Ge 기판에 광영역 비반사 코팅한 박막의 내구성과 레이저 피해 문턱이 증가함이 보고되었다[35].

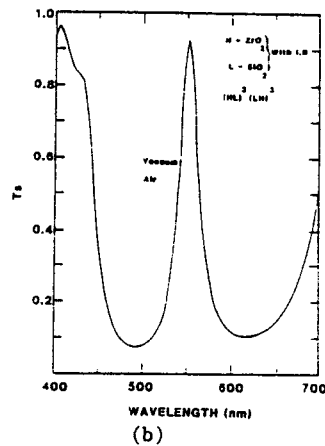
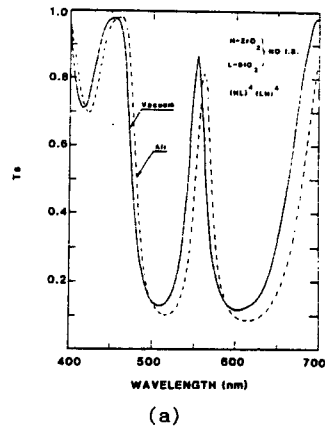


Fig. 5. Transmittance of multilayers (a) Room temperature (b) Ion-assisted deposition[31].

(b) 금속 불화(metal fluoride) 박막

MgF₂는 가시 광선 영역에서 저굴절을 물질로 비반사 코팅과 보호 박막으로 널리 이용된다. 또한 차단 파장이 약 110 nm이어서, 진공 자외선 영역에서의 박막으로도 사용되고 있다. 상온 기판 온도에서 패킹 밀도가 0.72로 매우 낮아 일반적으로 300 °C에서 증착되는데 이 때의 패킹 밀도는 0.98로 매우 높다[9]. 또한 장력(tensile) 응력을 가져, 두께가 수 천 nm 이상되면 박막이 쉽게 깨진다. 이온 증착한 MgF₂의 굴절율과 밀도를 보통 박막의 것과 표

Table I. Retractive indices at 550 nm and Density of MgF₂ Films

Film	n (550 nm) ± 0.05	ρ (g cm ⁻³) ± 0.05
Evaporated (ambient temperature)	1.34	2.70
Evaporated (300°C)	1.38	3.00
O ₂ IAD 700 eV 0.15 A m ⁻² (ambient temperature)	1.37	3.13
O ₂ IAD 700 eV 0.15 A m ⁻² (300°C)	1.42	3.15

1에 비교하였다^[36]. 상온 기판 온도 박막이 가장 작은 굴절율과 밀도를 갖는다. 300 °C 기판 온도 박막은 굴절율이 1.38로, 상온에서 이온 보조 증착한 박막의 1.37보다 약간 크나, 밀도는 작다. 300 °C 기판 온도에서 이온 보조 증착한 박막은 굴절율이 1.42로 가장 크고, 가장 밀하다. 이온 충격으로 기둥 미세 구조가 부서져 박막은 밀해지나, 가벼운 F의 선택 스퍼터링을 산소가 대체하므로. 자외선 영역에서 흡수가 증가한다. F의 부족을 보충하기 위해 Freon을 이온 가스로 사용하였으나, 불순물인 탄소가 박막에서 발견되어 큰 성과를 못 얻고 있다^[37]. 한편 상온에서 플라스틱 기판에 Ar 이온 보조 증착하여 접착력의 증가와 응력의 감소를 관측하였다^[38].

(3) 금속 박막

많은 금속 박막은 외부 환경에 매우 약하므로 흔히 유전 박막으로 덧코팅을 하여 금속 박막을 보호하는데, 먼저 이온 보조 증착으로 금속 박막의 접착력을 증가시킨 예를 들어 보자. Au 박막을 유리 기판에는 산소 이온 보조 증착, 구리 기판에는 Ar 이온 보조 증착하여 접착력을 개선하였으며, Ag 박막의 경우도 유리 기판과 구리 기판에 산소와 Ar 이온 보조 증착으로 접착력이 증가된 것이

보고되었다^[39,40]. Al 박막도 유리 기판에 Ar과 산소 이온 보조 증착으로 접착력이 좋아졌다^[40]. 이온 보조 증착에 의해 접착력이 개선되는 원인을 다음과 같이 유추해 볼 수 있다. 첫째, 물질이 증착되기 전에 기판을 이온으로 세척하므로 기판의 불순물이 제거된다. 둘째, 이온으로 박막을 때려주므로 증착 물질이 기판에 기계적으로 잘 접촉될 뿐 아니라, 증착 물질이 기판 표면으로 확산되어 들어 간다. 셋째, 반응 이온을 사용할 경우 박막과 기판 사이에 화학적으로 결합된 얇은 박막이 형성될 수 있다.

강박막의 기둥 미세 구조는 기계적 특성에도 영향을 미친다. 즉 박막의 고유 응력은 기둥 미세 구조가 자라는 동안 형성되며, 기판과 박막의 다른 열팽창 계수때문에 생기는 외부(extrinsic) 응력이 박막의 응력을 더욱 증가 시킨다. 박막에 힘이 생기거나, 박막이 벗겨지는 것은 이 응력이 풀리는 현상인 것이다. 따라서 이온으로 금속 박막을 때려줄 때 변화되는 박막의 응력에 관한 연구는 가장 많은 관심을 받고있는 분야 중의 하나이다. 이온 충격으로 박막의 응력이 완화되거나, 장력 응력에서 압축(compressive) 응력으로 반전되는 것이 많이 보고되고 있다^[41,42,43]. 박막의 기둥 미세 구조를 이온 충격에 의해 응력을 완화시켜 주는 방향으로 변화시키는 물리적 변수로는 이온 에너지, 이온 수 대 증착 원자 수의 비, 이온의 운동량, 기판 온도 등이 있으며, 조사된 박막과 실험에 따라 주원인이 다르게 나타나고 있어, 더 많은 연구가 요구된다. 그림 6은 Ag 박막의 장력 응력이 압축 응력으로 바뀌는 것을 이온의 운동량으로 나타내고 있다^[44].

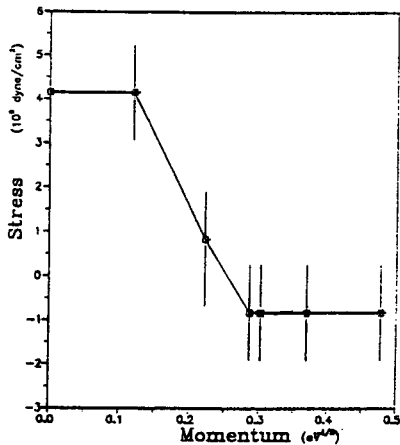


Fig. 6. Stress of Ag Films[44].

이온 보조 증착은 금속 박막의 반사율을 감소시키는 것으로 보고되고 있다. 표면 플라즈몬 공명을 이용하여 Ag, Cu, Al 박막의 광학 상수 변화를 이온의 에너지 혹은 운동량을 변수로 조사한 보고에 의하면, 이온의 에너지 혹은 운동량을 증가시키면, 굴절율은 증가하고, 소멸 계수는 감소한다. 또한 이 실험에서는 광학 상수의 이러한 변화로부터 void의 증가를 계산하였다[42, 44].

(5) 화합(compound) 박막

Al과 Si은 분자 질소를 화학적으로 흡착하지 않기 때문에 일반 진공 증착기에서 질화 박막 제작은 쉽지 않으나, 이온 총에서 분자 질소를 이온화하고 가속시켜 증착 금속과의 화학 반응을 높게 함으로써 화합 박막을 제작할 수 있다. 예를들면, 고굴절율이고 내구성이 좋아 전자 박막과 자기 광학 박막의 보호막으로 많이 이용되는 AlN와 Si₃N₄ 박막, stoichiometry 조정으로 굴절율을 산화 박막으로부터 질화 박막까지 변화시킬 수 있는 aluminum oxynitride, silicon oxynitride

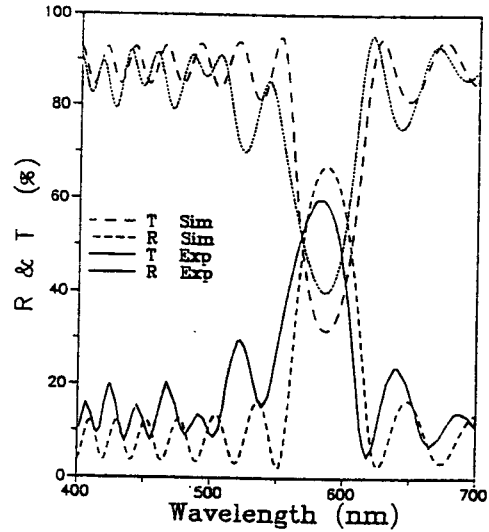


Fig. 7. R & T of Rugate Filters[47].

박막, Au와 유사한 색과 특성을 나타내는 TiN 박막 등이 반응 이온 보조 증착에 의해 제작되고 있다[45, 46, 47, 48]. 특히 oxynitride 박막의 stoichiometry를 연속적으로 변화시켜 비균일 굴절율 박막을 제작할 수 있다[49]. 그림 7은 aluminum oxynitride 박막을 고차 반사율을 줄이는 rugate 필터 제작에 응용한 예로서 실험치와 이론치를 보여 주고 있다[47]. 둘의 차이는 증착하는 동안 가스 압력과 박막 두께의 중요때문이다.

4. 결론

이온 보조 증착은 보통 광박막이 갖고 있는 여러 문제점을 해결할 수 있는 한 방법이다. 특히 기존의 진공 증착기에 이온 총만 설치하면 되기 때문에 생산에도 쉽게 적용될 수 있는 장점을 갖고 있다. 이온 보조 증착으로 광박막의 모든 특성을 bulk와 같이 만들 수는 없다. 그러나, 물질에 따라 이온 보조 증착 변수를 조정하여 기동 미세 구조를

조정하면, 응용하는 목적에 맞는 박막을 제작할 수 있다. 또한 반응 이온 보조 증착은 이온 충격의 응용 분야를 넓혀 기존의 진공 증착기에서 새로운 광박막 합성을 할 수 있게 되었다. 이온 보조 증착의 영향은 매우 복잡하고 물질마다 다르기 때문에, 기초 연구가 더욱 필요하다. 특히 이온과 증착 물질과의 미세 상호 작용, 이온 보조 증착 박막의 stoichiometry 및 이온 가스의 역할, 응력이 줄어드는 모델, 이온의 depth profile, 새로운 박막의 합성과 화학적 결합에 관한 연구 등 근본적이고 정량적으로 해야 할 과제가 많이 있다.

5. 참고 문헌

1. H. A. Macleod, *Thin-Film Optical Filters*, (Macmillan, New York, 1986).
2. P. Baumeister, *Optics News*, Vol 12, 8 (1986).
3. W. T. Pawlewicz, D. D. (1986). Hays and P. M. Martin, *Thin Solid Films*, Vol 73, 169 (1980).
4. A. Kalb, *Optics News*, 12, 13 (1986).
5. H. A. Macleod, *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.*, Vol. 288, 580 (1981).
6. K. H. Guenther, *Appl. Opt.*, Vol. 23, 3806 (1984).
7. B. S. Bartholomeusz et al., *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.*, Vol. 821, 2 (1987).
8. H. A. Macleod, *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.*, Vol. 325, 21 (1982).
9. H. K. Pulker, *Coatings on Glass*, (Elsevier, Amsterdam, 1984).
10. B. A. Movchan and A. V. Demchishin, *Physics of Metals and Metallurgy*, Vol 28, 653 (1969).
11. H. A. Macleod, *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.*, Vol. 625, 222 (1986).
12. S. D. Browning, Ph. D. Dissertation, University of Arizona (1983).
13. C. K. Hwangbo et al., *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.*, Vol. 678, 141 (1986).
14. J. M. E. Harper et al., in *Ion Bombardment Modification of Surfaces*, O. Auciello and R. Kelly, Eds. (Elsevier, Amsterdam, 1984).
15. P. J. Martin, *J. Mat. Sci.*, Vol. 21, 1 (1986).
16. P. J. Martin and R. P. Netterfield, in *Progress in Optics*, Vol. XXIII, E. Wolf Ed. (North-Holland, Amsterdam, 1986).
17. U. J. Gibson, in *Physics of Thin Films*, Vol. 13, M. H. Francombe and J. L. Vossen Eds. (Academic Press, San Diego, 1987).
18. H. R. Kaufman, *Fundamentals of Ion-Source Operation*, (Commonwealth Scientific Co., Fort Collins, 1984).
19. K. Kinoshita and M. Nishibori, *J. Vac. Sci. Tech.*, Vol. 6, 730 (1960).
20. J. C. Manificier et al., *J. of Phys. E*, Vol. 9, 1002 (1976).
21. D. P. Arndt et al., *Appl. Opt.*, Vol. 23, 3571 (1984).
22. D. E. Aspnes, *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.*, Vol. 276, 188 (1981).
23. K. S. Vedam et al., *Opt. Lett.*, Vol. 12, 456 (1987).
24. H. Raether, in *Physics of Thin Films*, Vol. 9, G. Hass, M. H. Francombe, and R. W. Hoffman Eds., (Academic Press, New York, 1977).
25. B. D. Cully, *Elements of X-ray Diffraction*, (Addison-Wesley, Reading, 1978).
26. Joint Committee on Powder Diffraction Standards, 1601 Park Lane, Swarthmore, PA, USA (1969).
27. R. W. Vook and F. Witt, *J. Appl. Phys.*, Vol. 36, 2169 (1965).
28. M. J. Messerly, Ph. D. Dissertation, University of Arizona (1987).
29. W. K. Chu et al., *Backscattering Spectrometry*(Academic Press, New York, 1978).
30. T. Allen, *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.*, Vol. 325, 93 (1982).
31. P. J. Martin et al., *Appl. Opt.*, Vol. 22, 178 (1983).

32. E. H. Hirsch and I. K. Varga, Thin Solid Films, Vol. 26, 445 (1978).
33. E. H. Hirsch and I. K. Varga, Thin Solid Films, Vol. 69, 99 (1980).
34. J. E. Yehoda et al., J. Vac. Sci. Technol. A, Vol. 6, 1631 (1988).
35. T.I. Oh, Appl. Opt., 27, 4255 (1988).
36. P. J. Martin et al., Appl. Opt., Vol. 26, 1235 (1987).
37. U. J. Gibson and C. M. Kennemore III, Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng., Vol. 678, 130 (1986).
38. C. M. Kennemore and U. J. Gibson, Appl. Opt., Vol. 23, 3608 (1986).
39. P. J. Martin et al., Appl. Opt., Vol. 23, 2688 (1984).
40. W. C. Herrmann Jr. and J. R. McNeil, Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng., Vol. 325, 101 (1982).
41. D. W. Hoffman and J. A. Thornton, Thin Solid Films, Vol. 40, 355 (1977).
42. F. E. Parmigiani et al., Phys. Rev. B, Vol. 33, 879 (1985).
43. H. Windischmann, J. Appl. Phys., Vol. 62, 1800 (1987).
44. C. K. Hwangbo et al., Appl. Opt., Vol. 28 (1989).
45. R. P. Netterfield et al., J. Appl. Phys., Vol. 63, 760 (1988).
46. R. P. Netterfield et al., Appl. Opt., Vol. 25, 3808 (1986).
47. C. K. Hwangbo et al., Appl. Opt., Vol. 28 (1989).
48. J. D. Targove et al., Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 93, 311 (1987).
49. R. Jacobson, in Physics of Thin Films, Vol. 8, 51 (1975).