

이온빔을 이용한 최근의 광학박막 제조기술 동향

Recent trends in optical thin film fabrication techniques using ion beam

황보 창 권

인하 대학교 물리학과

최근 레이저 기술의 발달과 광학 부품의 고급화 추세에 따라, 광학 박막의 성능을 개선하기 위해, 이온 빔을 이용한 여러 기술이 개발 중이거나 생산에 사용되고 있다. 본 논문에서는 각 기술의 방법, 구조 및 제작된 박막의 특성 등을 비교 분석한다.

1. 서 론

일반적으로 파장에 따라 빛의 양을 조절하기 위해 광학 부품에 사용되는 광학 박막은 진공 증착에 의해 제작된다. 진공 챔버에서 증착하고자 하는 물질을 열저항 혹은 전자빔으로 녹이면, 증발된 입자가 진공 중을 날아 기판에 비평형 상태에서 응집하여 박막이 자란다. 기판에 도착하는 열 증착 입자들의 에너지는 0.1 - 1 eV로 낮으며, 기판의 온도는 이보다 더욱 낮아 증착 입자는 기판 위에서 이동의 제한을 받는다. 이들은 기판 위에 국부적 섬을 만들며, 후에 도착하는 입자들은 이 위에 계속 쌓여, 박막 기둥이 기판 바닥부터 박막의 두께까지 자라게 된다. 기둥과 기둥 사이의 빈공간은 기둥에 의해 가리워지므로, 후에 날아 오는 증착 입자들에 의해 채워질 확율은 작다. 그림 1.은 컴퓨터 모의로 박막의 성장을 계산한 것으로, 증착 입자가 수직 입사(a)할 때와 60° 입사(b)할 때 기둥 모양의 미세 구조와 그 성장을 보여 주고 있다.⁽¹⁾ 입사각이 작을 경우 기둥의 기울기는 \tan 법칙 [$\tan(\text{기둥기울기}) = 0.5 \tan(\text{입사각})$]에 따른다.

지역 구조 모델에 따르면 기둥 미세 구조는 기판 온도가 증착 물질 용융 온도의 0.45 배보다 작은 I, II 지역에서 형성되는데, 대부분의 광학 박막이 유리를 기판으로 사용하므로 이 지역에 해당된다.⁽²⁾ 따라서 광학 박막의 미세 구조는 설계시 가정하는 균일하고 등방인 박막과 다르므로, 진공 증착에 의해 제작된 광학 박막의 성능은 대응되는 bulk보다 저하된다.⁽³⁾

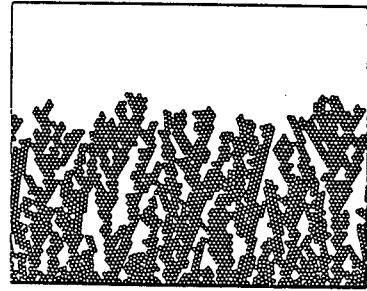
기둥 미세 구조는 광학 박막계에서 겪는 여러 가지 문제점들을 잘 설명해 주고 있다. 간섭 필터의 최고 파장이 진공 중에서보다 공기 중에서 혹은 습기가 증가할 수록 장파장으로 이동하는 것은 공기 중의 습기가 모세관 현상에 의해 기둥을 따라 들어가 빈공간을 채우기때문에 나타나는 현상으로, 가장 시급히 해결해야 할 여러 문제 중의 하나이다. 빈공간에 의해 들러 짜인 기둥은 기계적 응력을 받게되며, 습기가 차면 이 응력은 접착력의 감소 혹은 박막의 파괴로 풀리게 된다.⁽⁴⁾ 또한 도착하는 증착 물질과 기판의 온도 차이에 의해 생긴 열응력은 기판과의 접착력을 줄인다.

한편 일부 유전체 물질(특히 금속 산화, 금속 불화)은 증발하는 동안 열에 의해 원소가 금속과 산소 혹은 불소로 분리되어 금속은 기판에 도착하고 산소 혹은 불소는 진공 펌프에 의해 밖으로 나가게 된다. 따라서 형성된 박막의 원소 조성비는 증발 물질보다 작다. 원소 조성비를 높이기 위해 증착율을 줄이거나, 기판 온도를 높이거나, 산소 반응 가스를 주입하여 화학적 반응을 증가시키는 반응 진공 증착이 사용되고 있다. 저원소 조성비의 박막은 빛의 흡수, 특히 단파장에서 많은 흡수를 초래한다. 단층 박막의 경우는 큰 문제가 없으나, 다층 박막으로 제작된 고출력 레이저용 반사 거울의 경우 여러 층에 의한 빛의 흡수는 반사율을 줄일뿐 아니라 레이저 상해 문턱을 낮추어 수명을 단축시키게 된다.

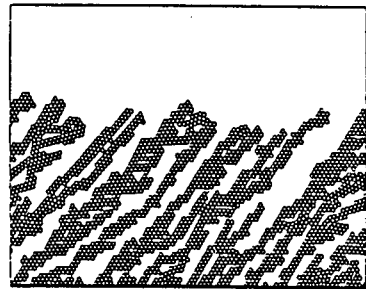
레이저 기술과 광학 부품 제작 기술의 발전에 따라 bulk에 가까우며 내구성이 높은 고품질의 광학 박막이 점차로 요구되고 있어, 위에 언급한 문제들의 해결을 위해 여러 가지 기술이 제안되고 있다.(5,6,7,8) 최근 광학 박막의 개발 혹은 제조에 널리 사용 중이며 본 논문에서 다룰 이온빔 기술은 이온빔으로 자라는 박막의 화학적 반응을 촉진시키기는 활성 반응 증착, 자라는 박막에 에너지와 기계적 운동량을 전달해 주어 증착 입자의 이동을 증가시키는 이온 보조 증착, 이온빔으로 진공 증착시보다 높은 에너지의 증착 입자가 튀어 나와 기판에 도착하게 하는 스퍼터링과 이온빔 스퍼터링, 이온빔으로 증착 물질을 이온화하여 가속된 증착 입자가 높은 에너지로 기판에 도착하여 성장시키는 반응 저전압 이온 플레이팅 등이다.

2. 활성 반응 증착(Activated Reactive Evaporation)

이온 빔을 이용하여 광학 박막을 제작한 초기의 실험들은 에너지 영역이 넓고 실험실에서 제작이 가능한 냉음극 방전 이온총을 사용하였다.(9)(그림 2.) 수정관에 주입된 산소 가스는 음전압을 가한 원통 음극과 접지



(a) 수직 입사



(b) 60°

그림 1. 광학 박막 성장의 컴퓨터 모의(1)

(a) 수직 입사 (b) 60°

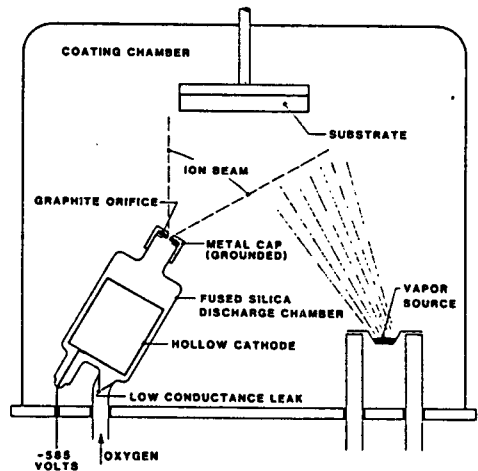


그림 2. 활성 반응 증착의 구조(9)

된 금속 캡 사이에서 방전이 시작된다. 일단 방전이 시작되면 금속 캡의 접지를 끊고, 기판 지지대를 접지하여 원통 음극과 기판 지지대 사이에서 방전이 유지되도록 한다. 방전관의 음이온들은 금속 캡 아래에 있는 조그마한 노즐을 통해 이온 총에서 나와, 열저항 증착에 의해 자라는 박막에 도착하여 박막의 화학 반응을 촉진시킴으로, 활성 반응 증착이라 부른다. 주로 산소를 이온 빔으로 사용하며, 이온 에너지는 일반적으로 100 eV 보다 작고, 기판에서의 전류 밀도는 약 $0.3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 정도이나, 최적 조건은 증착 물질마다 다르다. 이온 빔이 가속되지 않으므로 이온총이 기판에 가까이 놓여야 되며, 열전자 방출 음극으로 고온 필라멘트 대신 원통을 사용하므로 산소 이온빔으로 장시간 이온총을 작동시킬 수 있다.

활성 반응 증착은 금속 산화 박막의 산화물 촉진하고, 낮은 원소 구성비를 증가시켜 빛의 흡수를 줄이는데 큰 기여를 하였다. 특히 Ebert⁽¹⁰⁾은 음이온화 된 산소가 중성 산소보다 흡수를 줄이는데 효과적이라고 보고하였다. 산소 이온을 이용한 TiO_2 박막의 소멸 계수가 중성 산소로 제작된 박막보다 낮은 기판 온도에서 TiO 를 초기 용융 물질로 사용할 경우 약 10 배 정도 작았으며, Ti_2O_3 를 초기 용융 물질로 사용할 경우에는 약 100 배 정도 작았다. 또한 ArF(193 nm) excimer 레이저의 BeO/SiO_2 거울의 반사율은 기존의 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgF}_2$ 거울보다 높았다. Allen⁽⁹⁾은 음이온 산소 전류를 증가하여 550 nm 에서 TiO_2 박막의 굴절율은 증가, 소멸 계수는 감소시켰다. SiO_2 박막의 경우 가시 광선 영역에서는 큰 변화가 없었으나, 적외선 영역인 $3 \mu\text{m}$ 근처에서의 물의 흡수는 거의 없을 정도로 감소되었다.

3. 이온 보조 증착(Ion-assisted Deposition)

이온 보조 증착에서는 활성 반응 증착과 진공 챔버 내의 기하학적 배치는 유사하나, 보다 개선된 상용의 Kaufman 이온 총이 사용되고 있다.⁽¹¹⁾(그림 3.) 예니

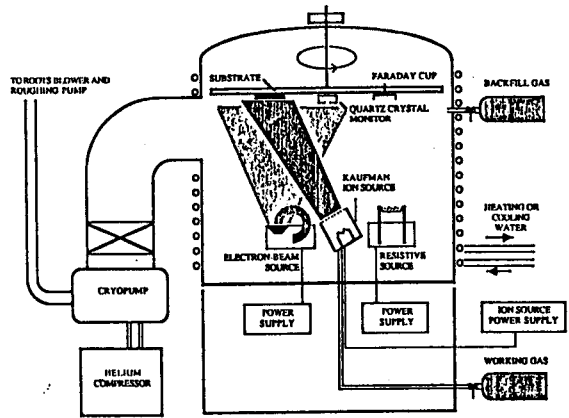


그림 3. 이온 보조 증착의 구조⁽¹¹⁾

지 폭이 매우 좁은 Kaufman 이온총의 에너지는 약 200 - 2000 eV, 전류 밀도는 약 $1 - 2 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 까지 독립적으로 변화시킬 수 있고, 넓은 면적의 이온빔을 가속시킬 수 있다.⁽¹²⁾ Kaufman 이온총은 진공 증착에서 고려해야 하는 박막의 제작 변수와는 독립적으로 박막의 미세 구조를 변화시킬 수 있는 이온빔 변수를 추가시켰으며, 네 구성이 높은 고품질의 광학 박막 제작뿐 아니라 각종 이온과 박막 표면 사이의 상호 작용에 관한 실험 및 이론 연구, 박막 형성 이론에 관한 제모형, 새로운 화학 박막의 제작, 이온빔을 이용한 새로운 박막 제조 기술의 연구 및 개발 등 기초 및 응용 분야에 걸쳐 획기적 영향을 미치고 있다. 고에너지 이온빔이 기판 혹은 박막의 표면에 상해를 주거나 자라는 박막을 스퍼터링하여 증착율이 낮은 경우에는, 저에너지 고전류 이온 총이 사용되고 있다. 이온의 에너지 폭은 비교적 넓어 그 본포가 40 - 100 eV이나 전류 밀도는 약 $3.5 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 까지 증가시킬 수 있다. 저에너지 고전류 이온총은 이온을 가속시키는 그리드가 없으므로 이온 총이 기판에 가까이 놓여야 한다. Kaufman 이온 총은 보조 증착 및 스퍼터링 이외에 예칭, 기판 청소, 증착 후처리, 고품질의 유리 표면 연마, 이온 밀링 등에 응용 가능하여 그 이용 가치가 매우 높다.

이온 보조 증착의 핵심은 박막의 형성기부터 불활성 이온빔으로는 기둥 구조를 없애(빈공간을 증착 물질로 채움) 조밀도를 bulk에 가깝게 증가시키며, 반응 이온빔으로는 조밀도 증가 및 화학 반응 촉진에 의한 원소 조성비의 증가로 흡수가 적은 박막을 제작하고자 하는 것이다.

이온과 박막과의 상호 작용은 이온에 의한 얼스파이크 모델과 연쇄 충돌 모델이 연구되고 있다. 얼스파이크 모델은(13,14) 극부적 이온 얼처리론으로 극부적으로 이온빔 에너지가 얼토 바뀌어 박막의 원자를 얼처리하여 박막 응력이 감소한다는 것이고, 연쇄 충돌 모델은(2,15) 증착 원자보다 큰 에너지의 이온빔이 기판에 도착한 원자와 충돌하여 에너지와 운동량을 전달해 주므로, 증착 원자는 이동도가 증가되며 앞으로 산란이 되어 빈공간을 채우거나, 다른 원자와 연쇄적으로 충돌하여 충돌된 원자가 빈공간을 채우는 전방 산란 이론이다.

이온 보조 증착으로 진행된 여러 연구 중 가장 큰 성과를 거둔 것은 유전체 박막이다.(16,17,18,19,20) Ar 혹은 Ar + O₂ 이온빔을 사용하는 금속 산화 박막의 경우 굴절율이 증가하고 본광 이동이 거의 없는 조밀한 미세 구조의 박막과 원소 조성비 증가로 흡수가 감소한 박막이 제작되었다. 또한 증착하기 전에 이온빔으로 기판을 청소하므로 접착력을 증가시키며, 기둥 미세 구조의 감소로 표면 거칠기가 줄어들었다. 금속 불화 박막의 경우는 낮은 기판 온도의 플라스틱 기판에 높은 기판 온도에서 제작된 것과 유사한 광학적 특성을 가지며 접착력이 증가하고 응력이 감소된 박막이 제작되었다.

일반적으로 금속 박막의 조밀도는 유전체 박막보다 높아 조밀도에 관한 실험이 많이 이루어지지 않고 있다. Ag의 경우 광학적 특성은 개선되지 못하나 응력이 감소하고 접착력이 증가하며 습기에 매우 강한 박막이 제작되었다.(11,21) 박막에 남아 있는 아주 작은 양의 이온은 불순물로 전기 전도도를 감소시키므로, 금속 박막의

경우는 낮은 에너지의 이온빔을 이용해야 한다.

진공 증착에서 거의 제작되지 않고 있는 금속 질화 박막과 금속 산질화(oxynitride) 박막이 반응 이온빔(N₂, N₂ + O₂)으로 진공 챔버에서 쉽게 제작되어, 이온 보조 증착의 영역이 넓어지게 되었다.^{22,23} 외부 환경에 강하며 고굴절율인 AlN와 Si₃N₄, 금과 유사한 특성을 나타내는 TiN, 저굴절율인 산화 박막으로부터 고굴절율인 질화 박막까지 원소 조성비를 변화시켜 굴절율을 조절할 수 있는 SiO_xN_y와 AlO_xN_y가 제작되고 있다. 산질화 박막은 새로운 중간 굴절율의 박막, SiO₂/Si₃N₄와 Al₂O₃/AlN 등과 같이 한 개의 증착 물질(Si, Al)로 제작할 수 있는 다층 박막, 비균일 굴절율 박막을 주기적으로 반복하여 고차 반사를 줄이는 rugate 필터 등을 제작할 수 있어 그 응용 가치가 매우 높다.

4. 스퍼터링(Sputtering)

진공 증착에서는 물질을 얼토 녹여 증기 상태의 원자가 진공 증을 날아가 기판에 응집되어 박막이 형성되나, 스퍼터링에서는 이온빔으로 타겟을 때려 주어 운동량 전달에 의해 튀어 나온 원자가 이온 속을 통과해 기판에 응집되어 박막을 형성한다.(5)(그림 4.) 이온빔은 글로우 방전에서 생성되며, 타겟에 음의 DC 혹은 RF 전압을 걸어주어 양이온이 타겟으로 가속되며, 기판 지지대는 접지 또는 바이어스 되어 있다. 증착 원자의 에너지가 약 10 - 100 eV로 진공 증착보다 크므로, 고품질의

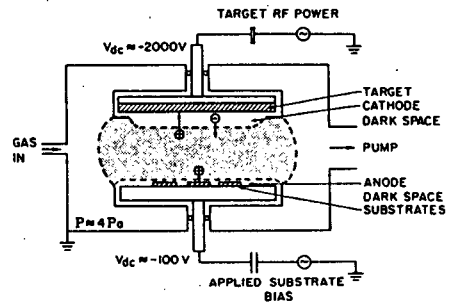


그림 4. RF 스퍼터링의 구조(5)

광학 박막을 제작할 수 있으나, 증착율($< 0.1 \text{ nm/s}$)이 낮은 것이 단점이다. 그러나, 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 증착율을 높이고 있으며, ZrO_2 의 경우 증착율을 1.2 nm/s 까지 높이고 있다.⁽²⁴⁾

스퍼터링에 의해 제작된 박막의 특성은 주로 타겟의 품질, 타겟과 기판의 온도, 증착율, 이온빔의 에너지 및 종류, 가스의 압력 및 순도, 기판의 전위, 진공 상태 및 기하학적 배치 등 증착 조건에 따라 변화한다. 많은 독립 변수의 조절은 박막의 미세 구조, 원소 조성비 등을 변화시킬 수 있으며, 목적에 맞는 최적 증착 조건을 찾기 위해서는 체계적 연구가 요구된다.

광학 박막의 경우는 주로 RF 스퍼터링에서 금속, 반도체 혹은 유전체 타겟과 Ar , $\text{Ar} + \text{O}_2$, $\text{Ar} + \text{N}_2$ 혹은 $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{N}_2$ 이온빔을 이용하여 산화 박막, 질화 박막 혹은 산질화 박막 등 여러 종류와 저굴절율(SiO_2)부터 고굴절율(TiO_2)까지 넓은 범위가 제작되고 있다. TiO_2 박막은 기판 온도, 바이어스 전압과 이온 에너지를 조정하여 굴절율은 2.0부터 2.5까지, 결정 구조는 비정질로부터 결정 크기가 60 nm 되는 rutile 까지 변화시킬 수 있어, 굴절율과 결정 구조를 선택할 수 있을 정도로 미세 구조의 변화가 가능하였다. 레이저 상해 문턱은 스퍼터링에 의한 비정질 TiO_2 가 진공 증착의 경우보다 높았으며, 결정 크기가 클수록 작아졌다.⁽²⁵⁾ 스퍼터링에 의해 제작된 MgF_2 박막은 Mg 와 F 가 분리되어 진공 증착보다 작은 굴절율을 얻었다. 여분의 F 를 공급, Mg 와 반응하여 MgF_2 원소 구성비를 높이기 위해, Freon 14을 이온빔으로 이용하여 굴절율은 높였으나, 접착력이 매우 낮아 스퍼터링에 의한 MgF_2 박막 제작은 성공을 거두지 못하고 있다.⁽²⁶⁾ TiO_2 와 SiO_2 로 이루어진 다층 박막 필터의 경우 본광 이동이 거의 없을 정도로 습기에 강하고 조밀한 박막이 스퍼터링에 의해 제작되고 있다.⁽²⁷⁾

5. 이온빔 스퍼터링(Ion Beam Sputtering)

기존의 스퍼터링이 타겟으로부터 원자를 떼어 내기 위해 글로우 방전에 의해 생성된 이온을 이용하나, 이온빔 스퍼터링에서는 글로우 방전대신 Kaufman 이온 총을 사용하여 이온빔의 에너지, 전류 밀도 및 방향을 조절하고 있다.⁽³¹⁾(그림 5.) 이온빔 스퍼터링에서도 기판에 도착하는 증착 원자의 에너지가 진공 증착보다 크므로 개선된 미세 구조의 박막을 제조할 수 있으며, 기존의 스퍼터링보다 잔류 가스 압력이 낮아, 가스와의 충돌이 작으며 타겟과 기판 사이 거리를 증가시킬 수 있다.

표면 거칠기와 산란이 작은 반사 거울, 막 X-선 반사 거울, 접착력이 개선된 박막의 제작에 이용되고 있으며, 기존의 스퍼터링에서 저원소 조성비때문에 제작되지 않았던 MgF_2 가 이온빔 스퍼터링에서 높은 원소 조성비와 bulk에 가까운 굴절율을 갖게 되어 이온빔 스퍼터링의 영역이 넓어지고 있다.

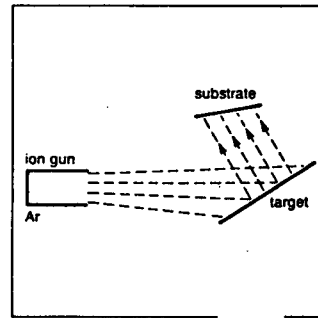


그림 5. 이온빔 스퍼터링의 구조⁽³⁰⁾

6. 이중 이온빔 스퍼터링(Dual Ion Beam Sputtering)

이중 이온빔 스퍼터링은 이온빔 스퍼터링과 이온 보조 증착의 혼합으로 이온빔 스퍼터링에 의해 자라는 박막을 또 다른 Kaufman 이온 총으로 기판 청소와 보조 증착을 하는 것이다.

그림 6.은 Harper 등이 사용한 이중 이온빔 스퍼터링 시스템으로, 타겟 이온총에서 나온 Ar 이온은 Al 타겟으로부터 Al을 떼어내어 기판을 향하게 하고, 기판 이온총에서 나온 N₂ 이온은 자라는 Al 박막을 떼려주어, Al과 N이 반응하여 AlN 박막을 만드는 것을 보여 주고 있다.⁽¹¹⁾ 다른 질화 박막으로 Si₃N₄, TiN, 산질화 박막으로 SiO_xN_y, AlO_xN_y 등이 제작되고 있다. 산탄과 흡수가 매우 작고 반사율이 높아야 하는 링 레이저 자이로스 코프 거울이 이 방법으로 초고진공 챔버에서 생산되고 있다.⁽²⁸⁾ TiO₂의 경우 굴절율은 2.46, 소멸 계수는 1×10^{-5} 으로 매우 작으며, 결정 구조는 산탄이 적은 비정질이다. SiO₂의 경우는 굴절율 1.46이며, 소멸 계수는 5×10^{-6} 으로 매우 작다. 이러한 TiO₂/SiO₂로 이루어진 25층의 흡수가 기존의 진공 증착 기술로는 불가능한 0.0030%에 불과하다.

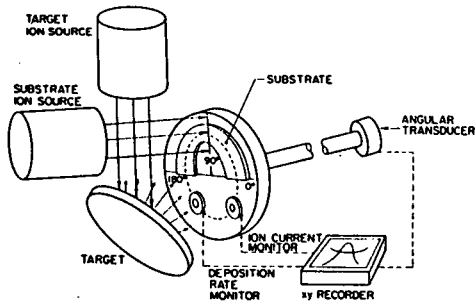


그림 6. 이중 이온빔 스퍼터링의 구조⁽⁶⁾

주입된 가스에 의해 생성된 이온도 자라는 박막을 떼려 주어 접착력이 좋고 외부 환경에 강한 박막이 제조되고 있다.⁽²⁹⁾ 전기 도금보다 우수한 성능을 가진 금속코팅을 코너를 가진 물체에도 균일하게 할 수 있으며, 최근에는 금과 유사하게 보이며, 공구의 보호 코팅과 장식용 코팅으로 널리 쓰이는 TiN 박막 제작에 널리 사용되고 있다.

이온 플레이팅은 증발 물질의 이온화율이 낮아, 이를 가속화시키기 위해 고전압이 걸리고, 증발 물질, 반응 가스, 방전 가스 등이 이온과 중성 상태로 혼합되어 증착에 관여되는 등 그 과정이 복잡하여 광학 박막 제작에는 이용되지 않았으나, 최근 Pulker가 낮은 전압, 낮은 압력에서 이온 플레이팅이 가능한 고전류 플라즈마총을 따로 제작하여, 고품질의 광학 박막을 제작하게 되었다.^(30,31)(그림 7.)

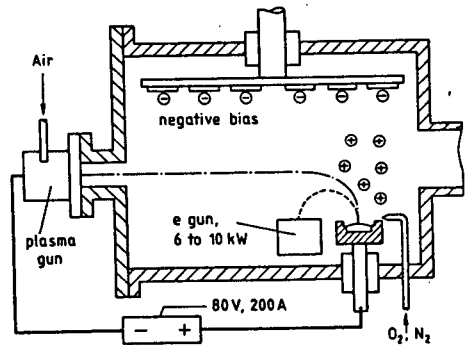


그림 7. 반응 저전압 이온 플레이팅의 구조⁽³¹⁾

7. 반응 저전압 이온 플레이팅
(Reactive Low-Voltage Ion Plating)

진공 증착과 스퍼터링의 혼합인 이온 플레이팅에서는, 증발원에 대해 기판에 수 천볼트의 음전압을 걸어 증발 물질들이 글로우 방전을 통과하는 동안 이온화되어 높은 에너지를 갖고 기판에 도착하고, 글로우 방전에서

플라즈마 총(음극)으로부터 저전압 고전류의 전자가, 크루서블에서 전자빔에 의해 용융된 전도성 증발 물질(양극)로 흐르며 증발 물질을 충돌에 의하여 일부 이온화시킨다. 플라즈마총으로부터 압력 차이에 의해 나온 Ar 이온은 증발 물질 및 반응 가스와 충돌하여 이들을 이온화 시킨다. 플라즈마를 형성하고 있는 고이동도의

전자와 접촉하며, 전기적으로 절연되어 있는 기판 지지대는 Ar 이온이 충돌로 일어버린 전위(5-10 eV)만큼 접지에 대해 음의 바이어스된 전압을 가지므로, 이온화 된 증발 물질, 반응 가스 및 Ar 이온이 기판으로 가속되어 박막이 형성된다.

낮은 기판 온도에서 반응 저전압 이온 플레이팅으로 제작된 광학 박막의 굴절율은 bulk에 가까우며, 소멸 계수는 보통 박막보다 작으며, 습기 및 온도 변화에도 기계적 특성이 거의 변하지 않아 외부 환경에 강하다. 응력은 이온 빔에 의해 제작된 박막들에서 많이 나타나는 압축 응력으로 그 크기는 비교적 작다. 특히 다층 박막의 경우 응력의 크기가 증가하지 않은 것은 많은 관심을 끌고 있다. 23 층의 Ta₂O₅/SiO₂으로 장파장 투과 필터를 제작하여 온도를 130° 까지 올려도 분광 특성이 거의 변하지 않는 조밀한 박막이 제조되었다.⁽³⁰⁾ TiO₂의 경우는 진공 증착보다 굴절율이 높고, 표면 거칠기가 낮으며 비정질 결정 구조를 갖는 것으로 보고 되고 있다.⁽³²⁾ 따라서 유전체 박막의 기둥 미세 구조를 거의 없앨 정도로 조밀하며, 원소 조성비가 높아 흡수가 매우 적으며, 접착력이 높고, 외부 환경에 강한 박막이 반응 저전압 이온 플레이팅에서 제조되고 있다.

8. 는 의

그림 8.과 9.는 1988년 미국광학회 정기 학술 회의에서 발표된, 여러 가지 다른 기술로 세계 각국의 실험실과 회사에서 제작된 TiO₂의 광학 상수와 표면 거칠기를 측정된 결과이다.⁽³³⁾ 각 기술과 증착 조건에 따라 다르지만 일반적 추세로 굴절율은 전자빔 증착과 활성반응 증착이 비교적 낮고, 이온 보조 증착이 중간, RF 스퍼터링, 이온빔 스퍼터링, 이온 플레이팅이 높다. 소멸 계수는 전자빔 증착과 이온빔 스퍼터링의 분포는 매우 크나, 이온보조 증착과 이온 플레이팅은 비교적 작은 분포를 보여 주고 있다. 표면 거칠기는 모든 기술이 큰 변

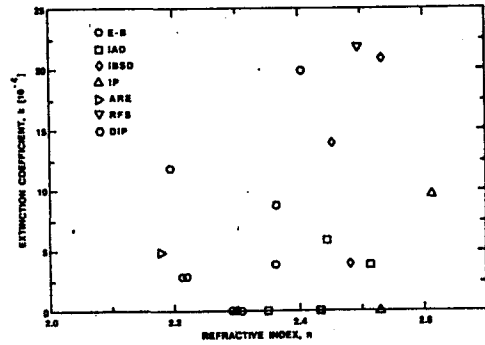


그림 8. TiO₂ 박막의 굴절율과 소멸 계수⁽³³⁾

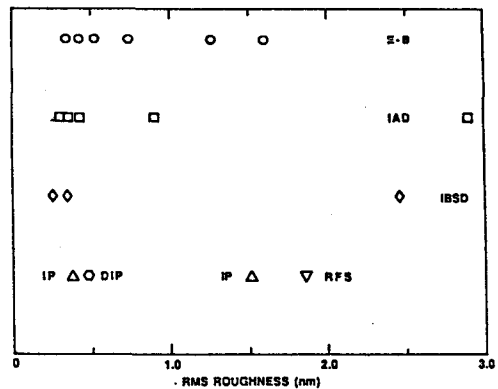


그림 9. TiO₂ 박막의 표면 거칠기⁽³³⁾

화를 보여 주고 있어 어느 특정 기술이 더 작다고 하기가 어려우므로 더 많은 시료를 측정해야 할 것이다.

진공 증착에 의해 제작된 박막보다 bulk에 가까우며 내구성이 높은 광학 박막의 제작이 가능한 최근의 이온빔 기술을 양산으로 확장할 경우 고려해야 할 점을 살펴 보자.

활성반응 증착은 이온 층의 제작이 용이하여 실험실에서 연구용으로 혹은 특수 광학 박막 제작에 사용 가능하나, 낮은 에너지의 이온이 가속되지 않으며, 단순한

화학반응 속진에 의한 원소 조성비의 증가와 빛의 흡수 감소로 다른 기술에 비해 그 효과가 작다. 또한 이온총 이 기관에 가까이 놓여야 하므로 넓은 영역의 보조 증착이 힘들다.

이온보조 증착은 기존의 진공 챔버에 있는 기관 지지대, 열저항원 혹은 전자빔총을 그대로 사용하며 기관 지지대 밑의 적당한 위치에 이온총만 설치하면 되므로 진공 챔버 내부의 구조 변화는 적다. 기관 지지대가 회전하는 경우도 이온 보조 증착의 효과는 진공 증착보다 개선된 효과를 가져오고 있는 것으로 알려져 있다. 기관 지지대가 물 경우 대형 이온총이 필요하다. 이온총의 크기는 진공 챔버 및 기관 지지대의 크기, 박막의 수량 및 종류 등을 고려하여 선택해야 하며, 구입 전에 충분한 실험을 해보는 것이 최선의 방법일 것이다. 산소 가스를 사용할 경우 Kaufman 이온총의 열전자를 방출시키는 텅스텐 필라멘트가 산소와 반응하여 수명이 짧아지므로 자주 교환을 해주어야 하며, 텅스텐으로 박막이 오염되지 않도록 주의해야 한다.

스퍼터링은 광학 박막 제작에 많이 사용되고 있지는 않으나 증착율이 높은 마그네트론 스퍼터링은 전망이 밝다. 저굴절율 박막으로 많이 사용되고 있는 금속 불화 박막은 스퍼터링에서 아직 개선된 결과를 얻지 못하고 있으므로 연구가 더 필요하다.

이온빔 스퍼터링은 증착율이 낮아 증착 시간이 오래 걸리나, 제작된 박막의 산란과 흡수가 매우 작아 링레이저 다이오드용 거울 생산에 사용되고 있다. 양산시 대형 이온 총이 필요하며, 이온과 증착 입자들의 에너지가 크므로 이들이 벽에 부딪칠 경우 원하지 않는 입자가 박막에 오염될 수 있다.

반응 저전압 이온 플레이팅에서는 여러 특성 면에서 가장 개선된 광학 박막 제조이 제조되고 있다. 새 시스템을 구입에 많은 비용이 들며, 기존의 챔버를 이용할 경우에도 전자빔총과 플라즈마총을 구입 장착해야 되며,

내부 구조의 재배치 및 전기 절연 등이 필요하다.

9. 결 론

이온빔을 이용하여 광학 박막의 기동 미세 구조, 원소 조성비를 변화시킬 수 있는 최근의 여러 기술을 간단히 비교 설명하였다. 광학 박막의 특성은 위에 언급한 기술뿐 아니라 사용하는 챔버, 증착 물질 및 여러 증착 조건에도 크게 달려 있다. 특정 기술 내에서도 최고 및 최저 품질의 박막이 제작될 수 있으므로, 모든 면에서 bulk의 특성을 갖는 박막은 아직까지 제작되고 있지 않다.

대부분의 이온빔 기술이 기동 미세 구조를 감소시키려 하고 있으나, 이온빔 기술은 미세 구조, 조성비를 조절할 수 있으므로 새로운 광학 부품의 개발, 새로운 광학 박막의 합성, 새로운 미세 구조에 의한 박막의 성장 및 형성에 관한 제조법, 이온빔과 표면의 상호 작용 등에 이용할 수 있는 잠재력을 갖고 있다.

10. 참 고 문 헌

1. M. Sikkens, I.J. Hodgkinson, F. Horowitz, H.A. Macleod, and J.J. Wharton, *Opt. Eng.* Vol 25, 142 (1986).
2. B.J. Bartholomeuz, K.-H. Muller, M.R. Jacobson, *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.* Vol. 821, 2 (1987).
3. K.H. Guenther, *Appl. Opt.* Vol. 23, 3806 (1984).
4. H.A. Macleod, *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.* Vol. 288, 580 (1981).
5. J.M.E. Harper et al., in Ion Bombardment Modification of Surfaces, O. Auciello and R. Kelly, Eds. (Elsevier, Amsterdam, 1984)
6. P.J. Martin, *J. Mat. Sci.*, Vol. 21, 1 (1986).
7. P.J. Martin and R. P. Netterfield, in Progress in Optics Vol. XXIII, E. Wolf Ed. (North-Holland, Amsterdam, 1986).

8. U. J. Gibson, in Physics of Thin Films, Vol. 13, M. H. Francombe and J. L. Vossen Eds. (Academic Press, San Diego, 1987).
9. T. Allen, Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng. Vol. 325, 93 (1982).
10. J. Ebert, Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng. Vol. 325, 29 (1982).
11. C. K. Hwangbo et al., Appl. Opt. Vol. 28, 2769 (1989).
12. H.R. Kaufman, Fundamentals of Ion-Source Operation (Commonwealth Scientific Co., Fort Collins, 1984).
13. E. H. Hirsch and I. K. Varga, Thin Solid Films Vol. 26, 445 (1978).
14. E. H. Hirsch and I. K. Varga, Thin Solid Films Vol. 69, 99 (1980).
15. K.-H. Mueller, Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng. Vol. 821, 36 (1987).
16. P.J. Martin et al., Appl. Opt. Vol. 22, 178 (1983).
17. T.I. Oh, Appl. Opt. Vol. 27, 4255 (1988).
18. P.J. Martin et al., Appl. Opt. Vol. 26, 1235 (1987).
19. C.M. Kennemore and U.J. Gibson, Appl. Opt. Vol. 23, 3608 (1986).
20. P.J. Martin et al., Appl. Opt. Vol. 23, 2688 (1984).
21. G.A. Al-Jumaily, Appl. Opt. 28, 3708 (1989).
22. C. K. Hwangbo et al., Appl. Opt. Vol. 28, 2779 (1989).
23. G.A. Al-Jumaily et al., J. Vac. Sci. Technol. A7, 2280 (1989).
24. M.A. Russak and C.V. Jahnes, J. Vac. Sci. Technol. A7, 1248 (1989).
25. W.T. Pawlewicz et al., Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng. Vol. 325, 105-116 (1982).
26. W.J. Coleman, Appl. Opt. Vol. 13, 946 (1974).
27. N.E. Holm and O. Christensen, Thin Solid Films Vol. 85, 71-75 (1981).
28. A. Kalb, Optics News Vol. 12, 13 (1986).
29. H.K. Pulker, Coatings on Glass, (Elsevier, Amsterdam, 1984).
30. H.K. Pulker, Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng. Vol. 1019, 138 (1988).
31. H.K. Pulker, Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng. Vol. 952, 788 (1988).
32. K.H. Guenther et al., J. Vac. Sci. Technol. A7, 1436 (1989).
33. J. M. Bennett et al., Appl. Opt. 28, 3303 (1989).