

광학박막의 설계, 증착 및 특성측정

Design, Deposition and Characterization of Optical Thin Films

황보 창권

인하대학교 물리학과

hwangbo@inha.ac.kr

광학박막은 유리, 플라스틱, 실리콘, 금속 기판 등에서 표면의 반사율, 투과율, 흡수율과 편광상태 등의 광학적 특성을 변화시키기 위해 광학표면에 코팅을 하여 많이 사용하고 있으며, 파장영역으로는 수 nm의 연x선부터 자외선, 가시광선과 수십 μm 의 적외선까지 적용할 수 있고, 광학기기에서는 대부분의 광학부품이 광학적 특성을 증진시키기 위하여 각각의 목적에 맞도록 코팅되어 있다. 광학코팅의 종류로는 단순한 무반사코팅으로부터 고반사코팅, 칼라필터, 간섭필터, 편광분리기코팅, 마이너스필터 등까지 매우 다양하다. 최근에는 광학기술, 포토닉기술, 광통신기술과 디스플레이기술 등이 발전하고, 새로운 광학적 현상이나 응용에 필요한 코팅이 발생함에 따라, 코팅의 설계와 증착기술 및 특성측정기술이 계속 발전하고 있다.

본 논문에서는 광학박막의 기본적 설계이론과 증착기술을 돌아보고, 디스플레이코팅으로 무반사·무정전 코팅과 저방출코팅, 광통신코팅으로 WDM 필터, 불균일굴절을 박막을 이용하는 루게이트 필터, 편광과 입사각에 무관하게 반사율이 높은 전방향반사거울, 펄초레이저에 사용되는 펄초거울 등의 설계와 특성을 알아보고, 최근 이온빔 프로세싱을 이용하여 조밀도가 높은 박막을 증착할 수 있는 증착기술들을 소개하고자 한다.^(1,2)

초고속 대용량 광통신분야에서 사용되는 광학코팅은 광학박막의 설계, 증착 프로세싱과 특성평가 부분에서 그 전까지는 불가능하였던 새로운 시도를 하게 하였고, 고품질의 광학박막을 제작할 수 있는 계기가 되었으며, 광통신용 광학코팅은 새로운 광학코팅 분야로 자리매김을 하고 있다. 1550 nm 장거리 광통신에서 여러 파장을 합치거나 분리시키는 mux/demux 기능으로 많이 사용하고 있는 DWDM 필터는 패브리-페로 간섭필터를 기본구조로 하고 있다. 밴드폭이 좁고 격리(isolation)이 큰 사각형 모양의 필터는 여러 개의 공동(cavity)으로 이루어진 다중 공동 패브리-페로 필터로 구성되어 있다. 필터는 고굴절률 박막(H)으로는 Ta_2O_5 , 저굴절률 박막(L)으로는 SiO_2 를 주로 사용하고, 필터의 거울은 1/4 파장 광학두께의 H와 L을 여러 층 사용하고 있고, 공동층은 1/2 파장 광학두께를 사용하고 있다. 일반적으로 패브리-페로 필터에서 거울의 반사율을 증가시키거나 공동층의 두께(차수)를 증가시키면 밴드폭을 줄일 수 있다. 단일공동필터 끼리를 연결층을 이용하여 여러 개 연결시키면 다중 공동 패브리-페로 필터가 되며, 이들의 적절한 조합과 공동층의 차수를 조절하면 밴드폭과 격리를 매우 정교하게 변화시킬 수 있다. 이러한 DWDM 필터의 층수는 백여 층이 넘으며, C-밴드에서는 채널간격 200 GHz와 100 GHz가 많이 제작되고 있고 50 GHz 도 일부 제작되고 있다. 또한 광속분리 기능의 DWDM 필터는 3-port 추가/탈락 필터로 사용되고 있다. EDFA에는 이득을 일정하게 하여 주는 이득평탄필터(gain flattening filter, GFF)가 사용되고 있으며 GFF 필터의 각 층은 1/4 파장광학두께가 아닐 수 있다. 밴드폭이 좁은 50 GHz 이하의 DWDM 필터는 그룹지연분산(group delay dispersion)이 크기 때문에 전송량이 40 Gbps 이상이면 필터를 통과하는 펄스의 모양이 왜곡될 수 있으며, 이를 방지하기 위해서는 반사형 위상보상필

터가 추가로 필요하다. 밴드폭이 좁은 DWDM필터의 스펙트럼은 온도 변화에 매우 민감하며, 유리를 기판으로 사용할 경우 온도가 증가하면 일반적으로 장파장으로 이동한다. 온도의 증가에 의하여 박막의 굴절률과 두께는 증가하며, 기판과 박막의 열팽창계수의 차이에 의한 열응력은 박막의 미세구조를 변형시켜 조밀도를 변화시키므로 열응력에 의하여서도 굴절률과 두께는 영향을 받는다. 기판의 열팽창 계수가 박막보다 매우 크면 필터의 스펙트럼 이동을 거의 없앨 수 있으므로, DWDM 필터의 기판은 열팽창 계수가 큰 것을 사용한다.

저방출(low-emissivity) 코팅은 PDP 디스플레이에 사용되는 코팅으로 가시광선의 투과율은 높고 근적외선의 투과율은 낮으며 전자파를 차폐하는 기능이 있어야 한다. PDP용 저방출 코팅으로는 [유전체(TiO₂, ITO)|Ag|유전체(TiO₂, ITO)] 등의 기본구조를 여러 번 반복하며, 스퍼터링 증착에서 얇은 Ag층을 유전체 박막으로부터 보호하기 위하여 매우 얇은 금속층이나 ITO층을 Ag와 유전체층 사이에 증착한다.^(3,4)

일반적으로 광학박막의 제작은 진공챔버 내에서 전자빔으로 증착하려는 물질을 증발시키고 진공 중을 날아간 입자를 기판에 응집시키는 진공증착법을 많이 사용하고 있다. 기판으로는 유리나 플라스틱을 많이 사용하므로 기판온도가 비교적 낮다. 열증발법으로 증착한 박막의 내부는 기공과 빈공간으로 이루어진 기공미세구조를 가지고 있어, 광학박막은 대응하는 덩어리(bulk)에 비하여 조밀도와 굴절률이 작으며, 온도, 습도 등의 외부 환경 변화에 약하다. 기공미세구조를 감소시켜 덩어리에 가까운 조밀한 박막을 만들고 공기 중 스펙트럼의 이동을 감소시키고 산화박막의 원소조성비를 증가시키기 위하여, 증착입자에 운동량을 전달하여주거나 증착입자의 에너지를 높게 증착하는 다양한 이온빔 프로세싱 방법이 다층 광학박막의 증착에 사용되고 있으며, 이로 인하여 수 백층의 광학코팅이 가능하게 되었다. 백층이 넘는 DWDM 필터의 제작에는 이온빔보조 증착, 플라즈마 이온보조 증착, 마그네트론 스퍼터링, 이온빔 스퍼터링, 이온빔보조 스퍼터링 등의 방법이 사용되고 있으며, 백여 층의 DWDM 필터가 각층의 두께오차에 매우 민감하지만 광학두께측정기를 이용하여 1/4파장 광학두께를 정확히 증착하고 있고, 코팅 면적의 균일도를 증가시키기 위하여 기판을 고속으로 회전시키고 있다.

최근 광학박막의 설계와 증착기술은 광통신코팅과 디스플레이 코팅에서 많은 발전을 가져왔다. 광학기술의 발전에 따라 앞으로는 연x선 코팅, 리소그래피용 EUV코팅, 루게이트필터, 펨토초코팅 등의 응용이 증가할 것으로 예상하며, 설계와 증착 및 특성평가의 지속적인 연구개발은 새로운 코팅의 응용과 독립적인 광학부품으로 사용되는 코팅에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 황보 창권, "박막광학", 다성출판사, 서울, 2001.
2. Sung-Hwa Kim and Chang Kwon Hwangbo, "Design of omnidirectional high reflectors with quarter-wave dielectric stacks for optical telecommunication bands," Appl. Opt. 41, 3187-3192 (2002).
3. Jang-Hoon Lee, Seung-Hyu Lee, Kwang-Lim Yoo, Nam-Young Kim, and Chang Kwon Hwangbo, "Deposition of a conductive near-infrared cutoff filter by radio-frequency magnetron sputtering," Appl. Opt. 41, 3061-3067 (2002).
4. J.H. Lee, K.L. Yoo, S.H. Lee, N.Y. Kim, and C.K. Hwangbo, "Deposition of multiperiod low-emissivity filters for display application by RF magnetron sputtering," Surface & Coatings Technology, 158-159, 476-480 (2002).