

C.M.Y. Filter 및 Hot Mirror 개발

글: 김구철, 박태경, 곽병두/
(주)유남하이텍

한국광학회 광기술분과(위원장 홍경희)는 지난 3월 17일~18일, 제5회 광기술 워크샵을 대전에서 개최했다.

이날 있던 워크샵에서는 레이저를 이용한 표면거칠기의 측정(강주식, 박병천, 정명세/한국표준과학연구원) △C.M.Y. Filter 및 Hot Mirror 개발(김구철, 박태경, 곽병두/(주)유남하이텍) △캠코더용 OLPF 제작 및 특성평가(최호영, 박태수/LG전자 영상) △고배율 현미경의 자동초점장치(이호재, 이상운, 김승우/한국과학기술원) △3D Confocal Imaging and Intensity Distribution(이임걸, 이우규, 김신근/한국과학기술연구원, 정보전자연구부) △프리즘을 이용한 Pick-up 광학계의 Beam 정형 방법(정진호, 이종진/현대전자, 설정식/경남대) △차세대 웨이퍼 스테퍼용 스테이지 개발(이창우, 오정석, 김승우/한국과학기술원) △MWIR용 $128 \times 1\text{Hg}-x\text{Cd}_x\text{Te}$ 다이오드 어레이의 제작(박승만, 이성훈, 김영호, 이희철, 김충기/한국과학기술원) 등의 논문이 발표되었다. 이중 본보에서는 'C.M.Y. Filter 및 Hot Mirror 개발'을 전제하니 관심있는 독자들의 많은 참고 바란다. —편집자 주—

Physical Vapor Deposition(PVD)를 이용하여 BK-7 유리기판 위에 Cyanogen, Magenta, Yellow Filter 및 Hot Mirror 박막을 제작하였다. 제작된 박막의 스펙트럼 특성은 컴퓨터 시뮬레이션과 거의 일치하였으며, 약간의 Error 현상은 설계된 박막두께와 증착된 박막두께의 차, 설계된 코팅약품의 굴절률과 증착된 코팅약품의 굴절률의 차에 원인이 있음을 알았다. 제작된 박막들은 현재 컬러사진 현상기에 사용되고 있으며, 빛의 가시영역 및 근 적외선영역에 있

어 선택적 투과 Filter 들이다.

1. 서 론

광학박막의 역사는 세계2차 대전(1930년대)때 광학병기의 성능 증가 수단으로 MgF 단층 박막을 실용화한 것으로 시작되었다. 1940년대에는 2~3층의 다층 반사 방지막이 이론적으로 확립되었으며, 1950년대 초기에 설계적인 관점에서 그 기반이 확립되었다. 그러나, 당시 여러가지 산업적 제약때문에 생산기술적 완성과는 거리가 멀었으며, 1960년 전후로

광학박막의 응용은 비약적으로 증대하였다. 특히 우주계획의 대규모 기술개발 Project 파급 효과로서 박막 관련기술이 현저히 발전되었으며, 제반산업의 발달 및 전자계산기의 보급은 새로운 박막 설계기술과 응용기술을 활용할 수 있게 만들었다. 광학박막의 목적은 광학 Component의 효율향상과 높은 내구성에 있다. 그 용도에 따라 광학박막 특성의 고정도화와 막의 밀착성, 복잡한 박막 분광 특성을 재현성 좋게 형성하기 위한 조건 등에 주안점을 두고 있다.

C.M.Y. Filter는 색의 선택적 투과를 이용하여 색의 재현성을 좋게 하기 위한 Filter이고, Hot Mirror는 광학계 속에 열선 투과로 인한 온도상승 방지를 막아주는 열 차단 방지 Filter이다.

2. 광학 박막 설계

광학박막 설계는 안정한 증착물질의 광학정수, 환경에 대한 내구성을 고려하여, 원하는 성질에 가까운 특성의 구성을 선택하는 것이다. 박막설계의 주 목적은 박막의 투과율 및 반사율이 주어질 때, 광학계의 허용범위와 일치한 특성을 만족하도록 하는데 있다.

그러나 광학 박막을 실제로 제작하는 경우, 증착 박막물질의 제한성, 실현가능한 층수 및 막두께, 증착 작업환경에 따라 막 굴절률의 변화가 많은 제약이 있다. 박막이 실현 가능한 해를 유도하기 위해서는 설계 Parameter의 구속조건(A. 증착환경조건 : Base 진공도, 작업진공도, 기판온도, 반응 Gas 종류, 증착속도, B. 증착약품의 성질 : 굴절률, 막의 내부응력, 밀착성, 경도 화학적 성질)에 대해 고려해야 한다.

광학박막 설계식은 전자기파가 두매질 이상 사이를 진행할 때 경계조건에서 구할 수 있다. 박막설계에 사용된 식은 다

음과 같이 4단자 행렬식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} 1 \\ n_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ -n_0 \end{bmatrix} r = \prod_{j=1}^m M_j \begin{bmatrix} 1 \\ n_T \end{bmatrix} t$$

(r는 반사진폭을, t는 투과진폭을)

여기서

$$M = \begin{bmatrix} \cos g & \frac{1}{iu} \sin g \\ iu \sin g & \cos g \end{bmatrix},$$

$$g = 2\pi\lambda^{-1}(nd \cos \delta),$$

$$u = \begin{bmatrix} n \cos \delta & (S\text{-편광}) \\ n \operatorname{cosec} \delta & (P\text{-편광}) \end{bmatrix}$$

n는 막굴절, d는 막두께, δ 는 막의 입사각을 나타낸다.

C.M.Y. Filter 및 Hot Mirror의 설계조건은 <표 1>과 같다.

4종류의 Filter를 설계함에 있어서 가장 유의해야 할 점은 M-Filter와 Hot Mirror에 있다. 이들은 광대역에 있어서 다른 제약을 갖고 있다. M-Filter는 T값이 50%되는 점이 두개를 갖고 있으므로 Mirror쪽에 관련된 Factor를 생각해야 한다.

Mirror쪽을 결정하는 Factor를 Δk 라 하면 다음 식과 같다.

$$\Delta k = \frac{2}{\pi} \sin \left[\frac{n_H - n_L}{n_H + n_L} \right]$$

<표 1> C.M.Y. Filter 및 Hot Mirror 설계조건

구 분	광 대 역 범 위	코팅층수 및 사용한 약품
C-Filter	T=400~570nm 최소값 85%이상 R=600~700nm 최소값 95%이상 T값이 50%되는 점 : 582nm±9	22층. 25(HL) ¹¹ H : TiO ₂ . L : SiO ₂ H, L박막 두께는 광대역 범위에 맞게 시뮬레이션 한 값
M-Filter	T=400~480nm 최소값 80%이상 625~730nm 최소값 85% 이상 R=525~570nm 최소값 95%이상 T값이 50%되는 점 : 505nm±7 605nm±9	34층. 25(HL) ¹⁷ H : ZrO ₂ . L : SiO ₂ 박막두께는 시뮬레이션한 값
Y-Filter	T=525~730nm 최소값 90%이상 R=400~485nm 최소값 95%이상 T값이 50%되는 점 : 508nm±7	25층. 25(HL) ¹² . 125H H : TiO ₂ , L : SiO ₂ 박막 두께는 시뮬레이션 한 값
Hot Mirror	T=425~730nm 최소값 80%이상 평균투과율 85%이상 R=780~1200nm 최소값90%이상 T값이 50%되는 점 : 750nm±10	34층. 25(HL) ⁹ . 3(HL) ⁹ 에서 광대역조건에 맞게 시뮬레이션 한 값

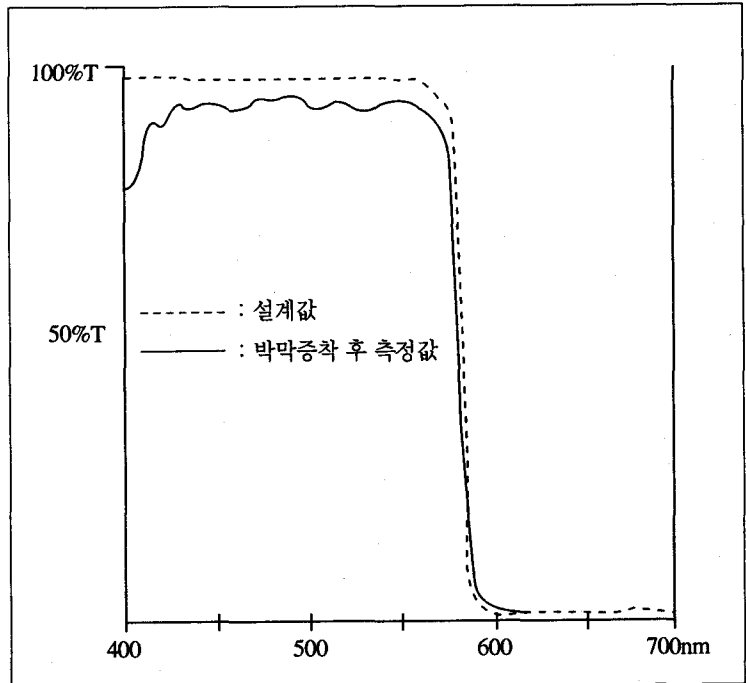
Mirror쪽은 코팅약품의 H.L의 굴절률 차에 결정됨을 알 수 있다. Hot Mirror는 반사대역폭이 크다. H.L의 단일 Stack으로는 반사대역폭을 만족시키지 못하므로 Two-Stack으로 설계하였다.

3. 박막증착 및 분석

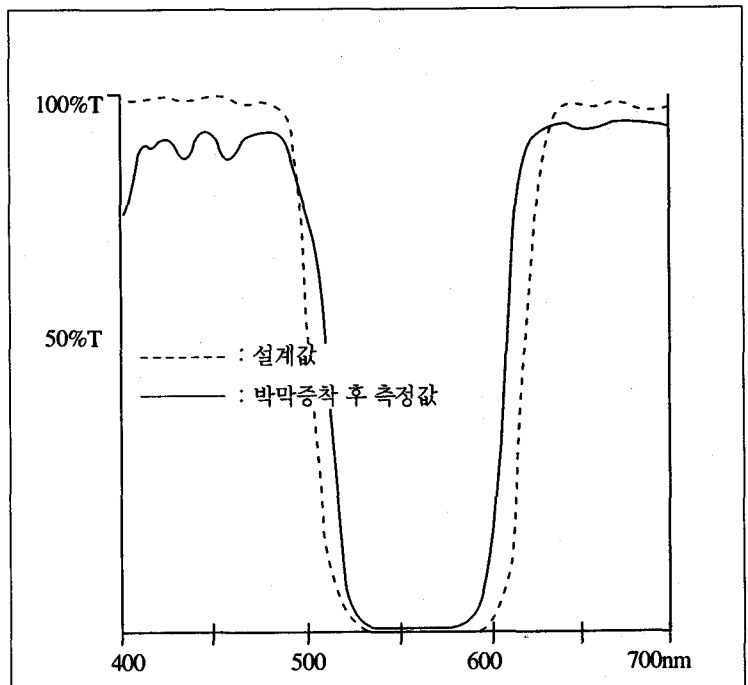
박막증착 환경조건은 Base 진공도 1×10^{-5} Torr. 기판온도 300°C 에서 15분 유지한 후 증착을 실시하였으며, Source으로 Electron Beam Gun를 사용하였다. TiO_2 박막은 증착환경조건에 상당히 민감하다. 기판온도나 반응 Gas 즉, 작업진공도에 따라 증착된 박막 굴절률이 변하므로 설계한 굴절률에 맞게 조건 Factor들을 찾아야 한다.

TiO_2 박막작업은 O_2 Gas를 2×10^{-4} Torr로 유지하면서 증착한다. 증착한 박막들은 Spectro-Photometer를 이용 그림 1, 그림 2, 그림 3, 그림 4로 나타냈다. 설계값과 함께 비교하기 위해 동시에 나타나 있다.

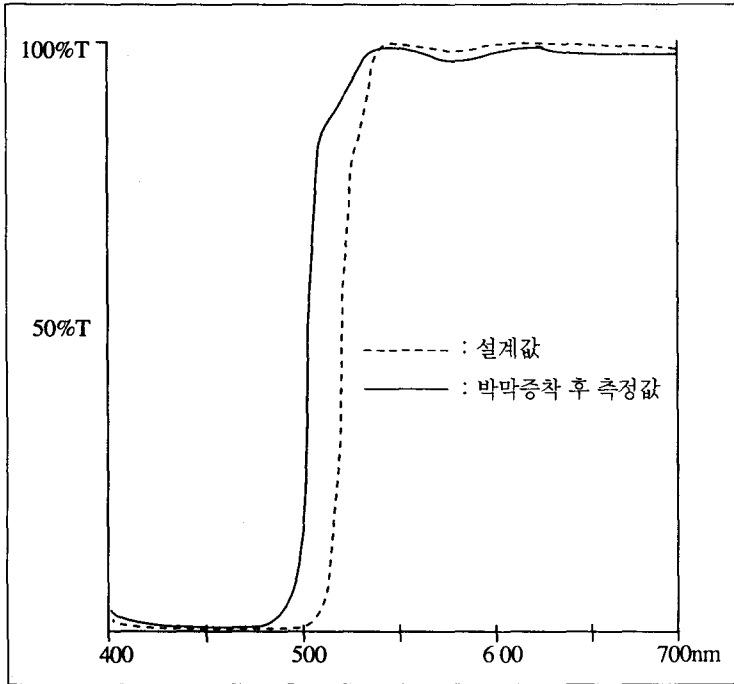
그림에서 보는 바와 같이 설계값과 코팅된 실제값에는 약간의 차이가 나타난다. 이러한 오차는 박막증착 각층의 막두께 Error, 코터 내부의 조건(진공도, 기판온도)과 Material Source의 위치, Source의 증



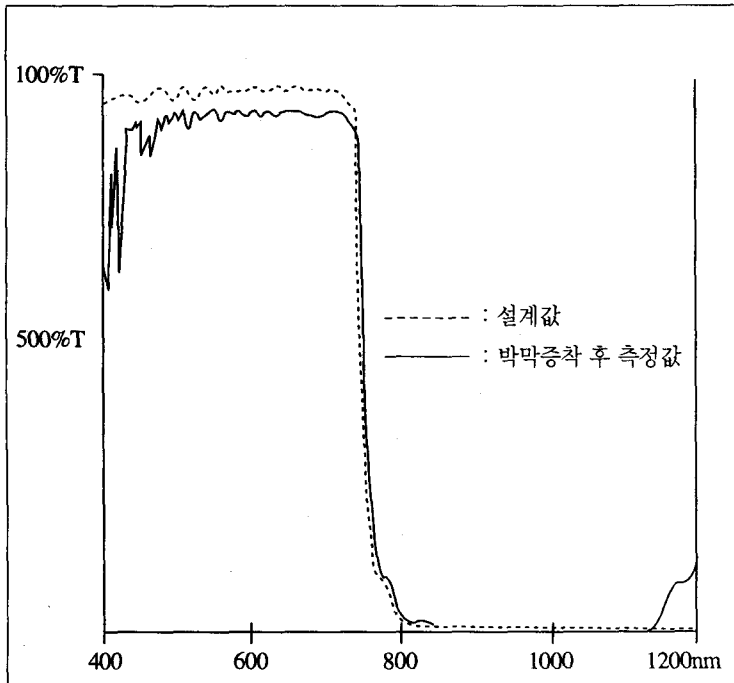
〈그림 1〉 C-Filter의 실제값과 박막 증착 후의 측정값



〈그림 2〉 M-Filter의 설계값과 박막 증착 후의 측정값



〈그림 3〉 Y-Filter의 설계값과 박막 증착 후의 측정값



〈그림 4〉 Hot Mirror의 설계값과 박막 증착 후의 측정값

작속도 등에 기인된다.

4. 결 론

박막증착은 이론보다 현장의 노하우적인 것이 많다. 항상 안정한 박막을 재현하기 위해서는 수많은 실험을 통해 경험적 사실을 기준으로 하는 대책도 세워져야 한다. 예를 들면 작업조건에 따라 TiO_2 굴절률 변화를 생각해도 박막의 재현성을 갖도록 하는 것은 꽤 어렵다. 여기서 개발된 C.M.Y. Filter의 광대역 범위는 Red, Green, Blue를 형성하기 위해 정해졌다. 각각 두 필터들이 겹쳐서 투과되어 나오는 광을 Spectro-Photometer로 측정 한 값은 아래 표와 같다. 이러

Blue	Red	Red
C.×M.	M.×Y.	C.×Y.
85%	90%	93%

한 값들을 도입하여 적용되고 있는 기기는 컬러사진현상기이다. 컬러사진은 이들 필터들의 조합에 의해서 색상을 현상한다. 이 외에 조명장치 및 TV-Projection에도 응용될 수 있다.