

디스플레이용 Color Cube의 설계 및 제작

Design and Fabrication of Color Cube Prism for Display

우석훈*, 문진수, 남성립, 문일춘[†], 강건모[†], 황보창권

인하대학교 물리학과, [†]삼성테크윈(주)

g2011538@inhavision.inha.ac.kr

전달된 정보를 표시하는 다양한 디스플레이 광학기기 중 반사형 LCOS 프로젝션 시스템은 칼라의 구현을 위해 광원에서 나온 빔을 색분리계를 통해 각각 R, G, B 로 나누고, LC(Liquid Crystal)를 통해 각각의 이미지를 변조한 후 다시 합성하게 된다. 광원으로부터 입사한 백색 광선은 PBS(polarize beam splitter) array를 거쳐 s-편광파로 바뀌게 되고, 각각의 다이크로익 필터와 거울들을 거쳐 R, G, B의 3개의 채널로 분리된다. 각 채널로 분리된 빛은 이미지를 변조하는 Red-LCD, Green-LCD, Blue-LCD를 투과한 후 Color Cube에 입사된다. 이렇게 각각의 채널로부터 입사한 빔은 Color Cube에서 다시 합쳐져 칼라 영상을 만들게 된다. 이러한 Color Cube는 칼라의 quality와 밝기를 결정하게 되므로 고화질의 칼라 합성을 위해서는 반사 영역의 기울기가 크고, 각 채널의 반사율과 투과율이 높아야 한다.

Color Cube는 Red와 Blue 채널은 s-편광으로 편광된 빛이 입사하며, Green 채널은 $\lambda/2$ 파장판을 사용하여 p-편광으로 편광된 빛이 입사한다. 따라서 R, G, B를 합성하기 위해서는 s-편광으로 입사하는 Red 채널과 Blue 채널은 반사시키고(Red-reflector, Blue-Reflector), p-편광으로 입사하는 Green 채널은 투과하도록 해야 한다. 이러한 Color Cube는 Blue-Reflector와 Red-Reflector를 각 면에 증착한 4개의 직각 프리즘을 접합하여 제작하며, 입사면에는 무반사 코팅을 하여 빛의 투과를 높인다. 즉 Color Cube에는 무반사 코팅과 Red-Reflector, Blue-Reflector의 3종류의 코팅이 필요하다.

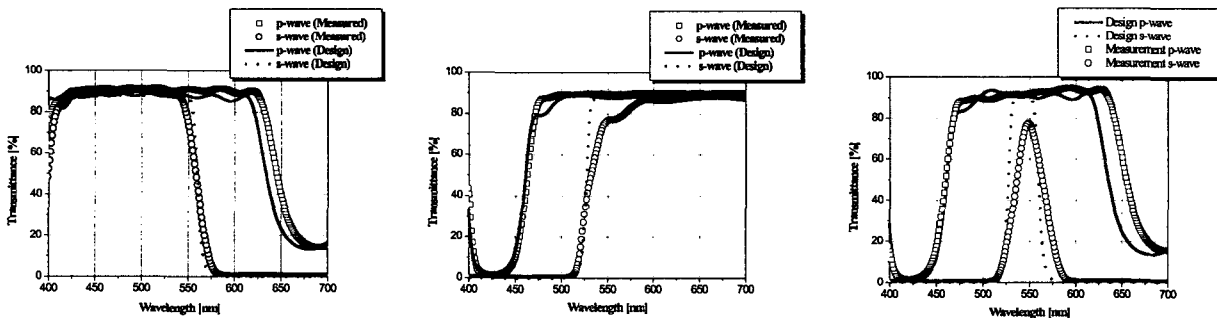
Color Cube는 각 채널로부터 45°로 입사되므로 설계 시 편광을 고려해야 하며, 45°입사각에 대해 1/4 파장 고반사 다층 박막의 s-편광과 어드미턴스와 p-편광과 어드미턴스의 차에 의해 결정되는 반사 대역폭과 반사 및 투과 경계를 적절히 활용하여 p-편광파는 투과하고 s-편광파는 반사되도록 하여야 한다. 입사면과 출사면에서의 빛의 투과를 높이기 위한 무반사 코팅으로는 TiO_2 와 SiO_2 를 사용하였으며 420~680 nm에서 평균 반사율이 0.23% 인 6층의 무반사 코팅을 설계 및 증착 하였다. Red-Reflector와 Blue-Reflector는 고굴절률 물질로 TiO_2 , 저굴절률 물질로 SiO_2 를 이용하여 장·단파장 투과 필터의 기본 구조인 $[0.5L(HL)]^8 H 0.5L$ 와 $[0.5H(LH)]^8 L 0.5H$ 의 19층 설계를 초기 설계로 사용하였다.

초기 설계에서 반사 영역의 리플을 줄이기 위하여 두께를 최적화 하였으며, 중간 굴절률 물질인 Al_2O_3 를 사용하여 두께와 층수를 최적화하였다. 설계시 얇은 층들은 두께 조절이 상대적으로 어렵고, 두께에 대한 오차가 크므로 이러한 얇은 층들을 제거하여 24층의 Red-Reflector와 31층의 Blue-Reflector를 얻었다.

최종 설계 결과 $R_s=50\%$ 인 경계 파장이 560 nm이며 Green 영역인 500~590nm에서 p-편광파의 투과율이 95.08%, Red 영역인 575~700 nm에서 s-편광파의 반사율이 97.98%인 Red-Reflector를 설계하였다. 또한 $R_s=50\%$ 인 경계 파장이 526 nm 이며, Green 영역인 500~590 nm에서의 p-편광파의 투과율이 96.32%, Blue 영역인 420~510 nm에서의 s-편광파의 반사율이 99.38%인 Blue-Reflector를 설계하였다. 한편 공기 중에서의 입사각 변화에 대한 Reflector의 s-편광파의 투과 반사 경계 파장의 이동은 Red-Reflector가 5.9 nm/deg이고, Blue-Reflector의 2.8 nm/deg로 Red-Reflector가 입사각에 비해

2 배정도 민감하였으며, p-편광파의 경우 입사각 변화에 의해 Blue-Reflector의 투과율은 낮아졌다.

Color Cube의 증착은 Balzers사의 BAK 760 진공 챔버를 사용하였으며, 전자빔과 crystal quartz를 사용하였다. 프리즘의 접합에는 Norland 61 UV 본드를 사용하였으며, 경화에는 HOYA UV 램프를 사용하였다. Color Cube의 증착시에는 Reflector용 프리즘을 함께 증착 및 접합하여 Reflector만의 투과 특성을 조사하였으며, 증착한 Reflector의 편광에 따른 투과 특성은 설계값과 유사하였다. Color Cube는 장파장 영역에서 스펙트럼이 p-편광파와 s-편광파 모두 설계값 보다 장파장으로 이동하였는데 이는 박막이 공기 중에 노출되었을 때 수분 침투에 의한 영향으로 판단된다.



(a) Red-Reflector

(b) Blue-Reflector

(c) Color Cube

수직 입사시 편광에 따른 투과 특성

Color Cube에 사용되는 무반사 코팅과 Red-Reflector, Blue-Reflector를 설계하였으며, 박막 설계 프로그램인 Essential Macleod의 옵션인 vStack을 사용하여 설계된 모든 코팅의 기하학적인 구조를 고려한 Color Cube의 광학적 특성을 계산하였다. 수직 입사 시 500~590 nm의 Green 영역에서 p-편광파의 투과율이 91.85%이며, 420~510 nm의 Blue 영역에서 s-편광파의 반사율이 93.9%, 575~700 nm의 Red 영역에서 s-편광파의 반사율이 95.08%인 Color Cube를 설계하였다. 500~590 nm에서 p-편광파의 평균 투과율이 91.6%이고, s-편광파의 반사 경계가 각각 536 nm와 563 nm인 Color Cube를 제작하였다.

참고문헌

- [1] E. H. Stupp and M. S. Brennessoltz, "Projection Displays", John Wiley & Sons, 1999.
- [2] R. R. WILLEY, *Practical Design and Production Of Optical Thin Films*, Marcel Dekker, 1996.
- [3] 황보창권, *박막광학*, 다성출판사, 2001.
- [4] H. K. Pulker, *Coatings on Glass*, Elsevier, Amsterdam, 1984.
- [5] H. A. Macleod, *Thin Film Optical Filters*, 3rd Ed, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2001.

T
D