

1차원 금속-유전체 광 결정 구조를 이용한 색 반사 거울

The color reflector using Metallo-Dielectric one-dimensional photonic crystal structures

강성용*, 성승기**, 한성홍**, 이용희*
 *한국과학기술원 물리학과, **울산대학교 물리학과
 ksy728@kaist.ac.kr

굴절률이 주기적으로 배열된 1차원 광 결정 구조는 reflector, optical filter 등 여러 광학 소자에 많이 적용되고 있다. 특히 반사율이 높은 reflector의 경우 1/4파장 광학 두께의 고 굴절률과 저 굴절률 유전체 박막이 주기적으로 배열된 1차원 광 결정 다층박막으로 구현할 수 있으며, 높은 반사율과 금속 reflector 대비 상대적으로 좁은 반사 대역을 가진다. 하지만 유전체-유전체 다층박막의 경우 가시광선 영역에서 높은 반사율과 좁은 반사 대역을 가지는 color reflector를 구현하기 위해서는 고 굴절률 물질과 저 굴절률 물질간의 굴절률 차이가 작고, layer수가 많아야만 구현이 가능한 어려움이 있다.

이에 본 연구에서는 상대적으로 적은 layer수를 가지면서 가시광선 영역에서 높은 반사율과 좁은 반사대역을 가지는 1차원 금속-유전체 광 결정 구조 색 반사 거울을 설계하고 제작하였다. 중심파장은 550nm로 하였고, Cr 과 SiO₂를 사용하여 Transfer matrix method(TMM)로 계산하였다. 이때 $\lambda_0 = 550nm$ 에서 각각의 굴절률은 $n_{SiO_2} = 1.46$, $n_{Cr} = 0.9 - 2.58i$ 이다. 아래 표1은 설계 parameter들을 정리한 것이다. Substrate층 위에 Al층은 반사율을 높게 하기 위해 사용하였다.

| Structure | Substrate (glass) | Al두께 | SiO ₂ 두께 | Cr두께 |
|--|-------------------|-------|---------------------|------|
| 4layers (SiO ₂ /Cr/SiO ₂ /Al+Substrate) | 0.2mm | 200nm | 180nm | 15nm |
| 6layers (2×(SiO ₂ /Cr)/SiO ₂ /Al+Substrate) | | | | 7nm |
| 8layers (3×(SiO ₂ /Cr)/SiO ₂ /Al+Substrate) | | | | 5nm |
| 10layers (4×(SiO ₂ /Cr)/SiO ₂ /Al+Substrate) | | | | 3nm |

표 1. 금속-유전체 다층 박막의 설계 Parameters

그림 1은 TMM으로 계산된 반사 스펙트럼 결과이다. 이 결과에서 Maximum 반사율은 중심파장 550nm근방에서 약88%-92%정도 나왔으며, layer의 수가 증가함에 따라 반사스펙트럼의 FWHM이 160nm에서 59nm로 약 1/3정도 감소하는 것을 알 수 있다. 그림 2는 4 layers구조의 입사각도에 따른 반사스펙트럼의 변화를 나타내는 결과이다. 이 결과에서 입사각도가 커짐에 따라 peak반사율을 가지는 파장이 blue쪽으로 이동하는 것을 알 수 있다. 이는 $nd\cos\theta = \frac{m\lambda}{2}$ 에서 입사각도가 커지면 광학 두께가 작아지기 때문에 중심파장이 짧아지는 쪽으로 이동하여 생기는 현상이다.

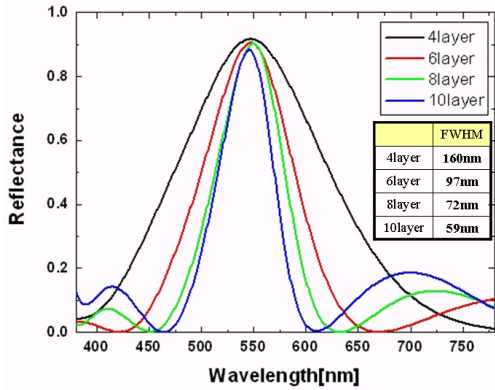


그림 1. 금속-유전체 박막의 층수별 반사스펙트럼

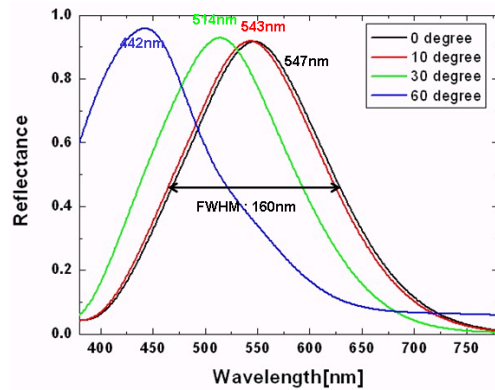


그림 2. 4layers구조의 입사각도에 따른 반사스펙트럼

이렇게 계산된 결과를 이용하여 금속-유전체 박막의 color특성을 색 좌표상에서 확인하였다. 그림 3은 계산된 반사스펙트럼을 이용하여 색 좌표상에서 color특성을 나타낸 결과이다. 이 결과에서 4layers의 경우 색 좌표상에 white에 가까운 green은 띠고, layer수가 증가함에 따라 green쪽으로 이동하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 입사각이 증가함에 따라 색 좌표상에서 color가 blue쪽으로 이동하고, 30도 이상부터 green에서 청록색으로 색이 변화하는 것을 확인할 수 있다.

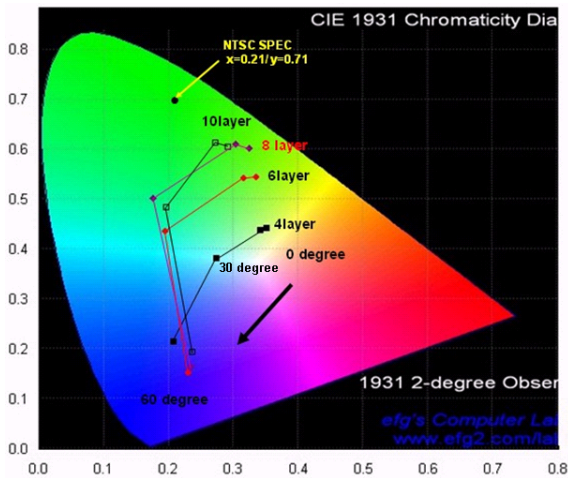
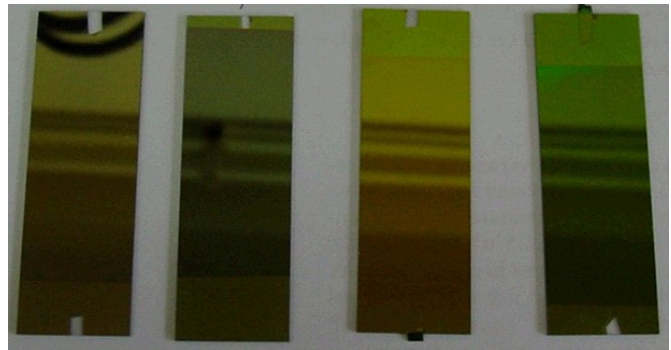


그림 3. 금속-유전체 박막 구조별 color특성



4layers 6layers 8layers 10layers

그림 4. 금속-유전체 박막 구조별 sample제작 결과

이렇게 계산된 금속-유전체 다층 박막을 E-beam evaporation을 이용하여 실제 제작을 하였다. 그림 4는 E-beam evaporation으로 슬라이드 glass위에 각 layer수별로 증착하여 제작된 sample사진이다. 이 결과에서 layer수가 증가함에 따라 green color를 띠는 것을 color reflector로 구현이 되는 것을 확인할 수 있었으며, 이론적으로 계산한 color특성과도 유사한 결과를 가지는 것을 확인할 수 있다.

1. S.H Park et al, "The high reflectance of metallo-dielectric one dimensional photonic band gap structures." Journal of the Korean Physical Society, Vol. 48, No. 6, June 2006, pp. 1188~1192
2. M. Scalora et al, "Transparent, metallo-dielectric, one-dimensional, photonic band-gap structures," Journal of Applied Physics, Vol. 83 , No. 5, 2377~2383 (1998).