

[TiO₂|Ti|Ag|TiO₂]^N 구조의 저방출 필터 제작

Fabrication of low-emissivity filters of [TiO₂|Ti|Ag|TiO₂]^N structure

이장훈*, 이승휴, 유광림, 김남영, 황보창권
 인하대학교 물리학과
 g1991482@inhavision.inha.ac.kr

저방출 코팅이란 코팅된 대상물이 열 방출에 해당하는 적외선 파장을 가능한 작게 방출하도록 기판 위에 박막을 증착하는 방법이다. 그러므로 투명 기판 위에 저방출 코팅을 하는 것은 냉난방시설을 갖춘 건축물에서 에너지를 절약하거나 자동차 내부의 빠른 온도상승을 저하시키는 목적으로 사용할 수 있으며 디스플레이가 방출하는 근적외선을 차단하여 실내 가전제품에서 이용되는 원격장치에 장애가 없도록 할 수 있다. 또한 Ag와 같이 전도성이 좋은 귀금속을 이용하는 저방출 코팅의 구조는 근적외선 제거와 더불어 유해 전자기파를 차단할 수 있으며 무정전의 역할을 할 수 있다⁽¹⁾. 본 연구에서는 광학 박막 설계 프로그램인 Essential Macleod을 이용하여 [TiO₂|Ti|Ag|TiO₂]를 저방출 필터의 1 주기 기본 구조로 설정하고 이를 반복함에 의해 4 주기까지 기본 구조들을 설계하였으며 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 제작하여 각 필터들의 광학적, 전기적, 구조적 특성을 분석하였다.

가시광선의 투과율을 증가시키고자 기본 구조에서 Ag 두께를 10 nm로 한정하고 Ti는 TiO₂ 증착동안 RF 플라즈마로부터 Ag 박막을 보호하고 가시광선의 투과율은 높게 하기 위하여 0.5 nm의 매우 얇은 두께로 설계에 포함시켰다. 그러므로 박막의 기본 구조들을 아래와 같이 표현 할 수 있다.

$$[\text{air}(\text{TiO}_2(30 \text{ nm})|\text{Ti}(0.5 \text{ nm})|\text{Ag}(10 \text{ nm})|\text{TiO}_2(30 \text{ nm}))^N|\text{glass}], \quad N = 1, 2, 3, 4.$$

위에 표시된 4 주기까지의 기본 구조들의 투과율을 전산 모의하고 기본 구조의 주기가 증가함에 따라 투과율이 가시 광선(380~780 nm)에서는 일정하지만 근 적외선(780 nm 이상)에서는 급격히 감소하였다. 이와 같이 됨을 확인하기 위하여 제작한 필터들의 투과율을 분광광도계로 측정하였다 (그림 1). 전산 모의와 측정, 두 경우 모두 투과율이 가시 광선 영역은 높고 근적외선 영역은 낮지만 전산 모의한 값보다 측정된 값에서 가시 광선의 투과율이 5~20 % 범위로 감소하였다. 이것은 제작한 박막들의 광학 상수가 기본 구조의 전산 모의에 사용한 것과 다소 차이가 있기 때문이다. 투과율을 가시 광선에서는 최대한 증가시키고 근적외선에서는 작게 하고자 측정된 광학 상수와 최적화 과정을 이용하여 광학적 성능이 우수한 3 주기 구조의 설계를 찾았고 제작하였다(그림 2, 3). 최적화된 3 주기 구조는 다음과 같다.

$$[\text{air}(\text{TiO}_2(30 \text{ nm})|\text{Ti}(0.5 \text{ nm})|\text{Ag}(20 \text{ nm})|\text{TiO}_2(30 \text{ nm})) \\
 ((\text{TiO}_2(30 \text{ nm})|\text{Ti}(0.5 \text{ nm})|\text{Ag}(14 \text{ nm})|\text{TiO}_2(30 \text{ nm}))^2)|\text{glass}]$$

유해 전자기파를 차단하는 기준인 먼저항을 4점 탐침법을 이용하여 측정하였고 그림 4와 같이 주기

가 반복됨에 따라 면저항(R_{\square})이 작아졌으며 아래 식으로 방출도를 계산하였다⁽²⁾.

$$\epsilon = 0.0129 \times R_{\square} - 6.7 \times 10^{-5} \times R_{\square}^2$$

4 주기 구조의 면저항과 방출도는 $2.75 \Omega/\square$ 과 0.035로 유해 전자기파 차단 기준에서 공공시설의 이용에 적합한 class A regulation($2\sim 3 \Omega/\square$)을 만족하고 최적화한 3 주기 구조의 면저항과 방출도는 $1.6 \Omega/\square$ 과 0.021로 제작한 필터들 가운데 가장 작은 값을 나타내었으며 주거 환경의 이용에 적합한 class B regulation($1\sim 2 \Omega/\square$)을 만족한다. 위의 결과로부터 최적화한 3 주기 구조가 가시광선의 평균 투과율이 57 %로 높고 유해 전자기파도 잘 차단하는 구조로 가장 우수한 성능을 나타내었다.

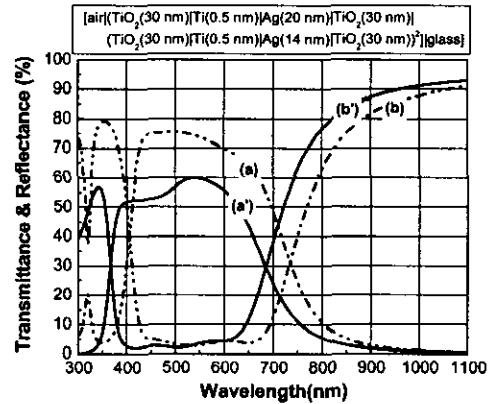
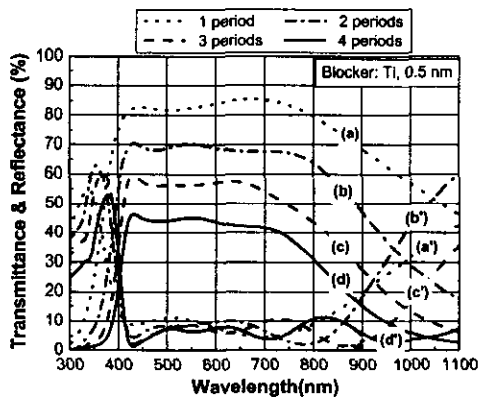


그림 1. 1~4 주기 기본 구조의 투과율(a, b, c, d)과 반사율 (a', b', c',d) 그림 2. 최적화한 설계와 제작한 3 주기 구조의 투과율(a, a')과 반사율(b, b')

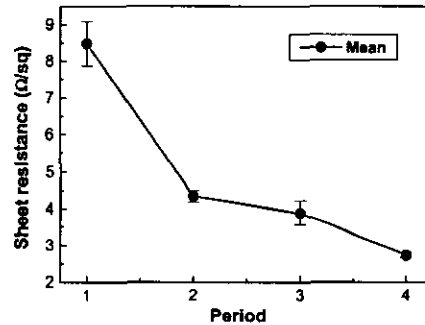


그림 3. 최적화한 3 주기 구조의 SEM 단면상

그림 4. 1~4 주기 기본 구조의 면저항

[참고문헌]

1. H. Ohsaki and Y. Kokubu, Global market and technology trends on coated glass for architectural, automotive and display applications , Thin Solid Films 351, 1-7 (1999).
2. J. Szczyrbowski, G. Brauer, M. Ruske, H. Schilling, A. Zmelty, New low emissivity coating based on TwinMag® sputtered TiO₂ and Si₃N₄ layers, Thin Solid Films 351, 254-259 (1999).