

결면플라즈몬산란을 리용한 다층반사 방지막의 최적두께결정

김금철, 김은철

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《수력을 위주로 하면서 화력에 의한 전력생산을 합리적으로 배합하고 원자력발전의 비중을 높이며 다양한 자연에너지원천을 적극 리용하여 국가적인 에너지수요를 자체로 충족시켜야 합니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 47페이지)

고효율태양빛전지에서 빛의 반사율을 감소시켜 효율을 개선하기 위하여 보통 다층반사방지막을 리용한다. 이러한 은나노립자를 첨가한 다층반사방지막에 플라즈몬공진을 일으키면 흡수율을 한층 더 높일수 있다. 은나노립자를 첨가하였을 때 최적두께를 정확히 결정하는 방법론을 확립하는것은 태양빛전지제작원가를 줄이고 생산공정을 과학화하는데서 중요한 문제로 제기된다.

우리는 은나노립자를 포함한 다층반사방지막에서 빛의 반사특성에 대한 모의실험방법과 다층반사방지막의 최적파라미터들에 대하여 논의하였다.

1. 모 형 설 정

다층매질을 통한 빛의 전파를 해석하는데 행렬방법이 리용되고있다.[1, 2]

규소기판위에 N 개의 층으로 이루어진 다층구조의 모형은 그림 1과 같다.

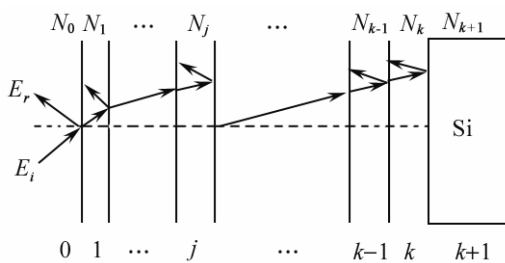


그림 1. 규소기판위에 놓인 다층구조모형

행렬방법에 의하면 두 굴절률이 N_1, N_2 인 재료들로 이루어진 두 박막사이의 계면에서 빛의 반사율을 결정하는 행렬은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta_1 & \frac{i}{N_1} \sin \delta_1 \\ iN_1 \sin \delta_1 & \cos \delta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ N_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 δ_1 은 굴절률이 N_1 이고 두께가 d_1 인 층을 통과하여 굴절률이 N_2 인 층과의 계면에 빛이 입사할 때 생기는 위상차로서 수직입사인 경우에 $\delta_1 = \frac{2\pi}{\lambda} N_1 d_1$ 이다.

이때 이 계면에서의 반사계수는 다음과 같다.

$$R = |r|^2 = \left(\frac{N_0 - C/B}{N_0 + C/B} \right) \left(\frac{N_0 - C/B}{N_0 + C/B} \right)^* \quad (2)$$

여기서 C/B 는 k 개 층들과 기판의 굴절률이다.

k 개의 층으로 이루어진 전체 계에 대하여서는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \prod_{j=1}^k \begin{bmatrix} \cos \delta_j & \frac{i}{N_j} \sin \delta_j \\ iN_j \sin \delta_j & \cos \delta_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ N_{k+1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

일반적으로 금속-유전체복합반사방지막은 증착의 방법으로 성장되며 성장된 막에서의 립자크기는 적외선구역의 파장보다 작다. 즉 복합막의 광학적특성은 유효매질리론에 의하여 계산될수 있다.

가장 일반적으로 리용되는 유효매질리론은 Maxwell-Garnett[3]모형과 Bruggeman[4]모형이다. Maxwell-Garnett모형은 복합매질이 분리된 립자구조를 가진다고 가정하며 반면에 Bruggeman모형은 덩어리형미시구조를 가진다고 가정한다. Ag-TiO₂층과 같은 복합매질층에 대하여서는 Bruggeman모형을 적용한다. 유효유전함수는 우연단위세포를 리용하여 계산한다.[5]

복합매질이 A와 B(A가 B에 매몰된다.)로 이루어져있으며 전체 복합매질에서 A가 차지하는 체적몫을 f_A , B가 차지하는 몫을 f_B 라고 하자. 여기서 $f_B=1-f_A$ 이며 유전상수는 ϵ_A 와 ϵ_B 이다.

정전기리론에 따라 다음의 식을 얻을수 있다.[4]

$$\frac{\epsilon - \epsilon_h}{\epsilon + 2\epsilon_h} = f_A \frac{\epsilon_A - \epsilon_h}{\epsilon_A + 2\epsilon_h} + f_B \frac{\epsilon_B - \epsilon_h}{\epsilon_B + 2\epsilon_h} \quad (4)$$

여기서 ϵ 은 복합매질의 유전상수이며 ϵ_h 는 주위매질의 유전상수이다.

Bruggeman모형은 덩어리형구조를 론의하므로 A나 B는 혼합물속에 매몰되어있으며 이 때 $\epsilon = \epsilon_h$ 이다. 이로부터 식 (4)는 다음과 같이 간단하게 된다.

$$0 = f_A \frac{\epsilon_A - \epsilon_h}{\epsilon_A + 2\epsilon_h} + f_B \frac{\epsilon_B - \epsilon_h}{\epsilon_B + 2\epsilon_h} \quad (5)$$

전체 태양복사스펙트르에 대한 기관에 흡수된 몫은 반사스펙트르 $R(\lambda)$ 와 태양복사스펙트르 $G(\lambda)$ 에 의하여 다음과 같이 계산할수 있다.

$$a = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} [1 - R(\lambda)] G(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} G(\lambda) d\lambda} \quad (6)$$

2. 모의실험에 의한 최적두께결정

은나노립자를 리용한 플라즈몬다층반사방지막의 두께를 최적화하기 위하여 MATLAB를 리용하여 다층반사방지막에서의 반사특성과 흡수특성을 모의한다.

모의실험로서 태양빛전지의 결면에 은나노립자가 포함되어있는 TiO₂층과 그우에 SiO₂층을 입히는 경우를 보기로 하자.

은나노립자가 포함된 다층반사방지막을 가진 태양빛전지시편의 구조는 그림 2와 같다.

은나노립자는 증착한 은층을 열처리하는 방법으로 형성되므로 TiO_2 과 은나노립자의 체적비는 증착한 은층과 TiO_2 층의 두께비로 간단히 계산할수 있다. 이러한 방법으로 정해진 은층의 두께에 따르는 TiO_2 과 SiO_2 막의 최적두께를 결정하고 은층의 두께를 변화시키는 방법으로 전체적인 최적구조를 결정하였다.

각이한 두께에 따르는 다층반사방지막의 흡수률은 표와 같다.

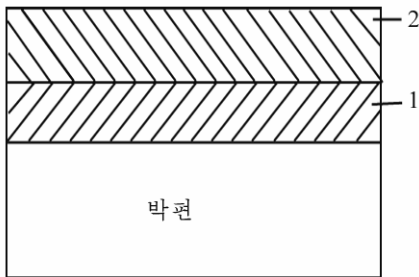


그림 2. 태양빛전지시편의 구조

1—은나노립자가 포함되어있는

TiO_2 층, 2— SiO_2 층

표. 각이한 두께에 따르는 다층반사방지막의 흡수률

Ag/nm	SiO_2 /nm	TiO_2 /nm	흡수률
1	160	40	0.851 8
2	160	40	0.859 2
3	100	40	0.864 4
4	90	40	0.866 5
5	90	60	0.868 4
6	90	60	0.865 8
7	90	60	0.865 7
8	90	60	0.863 5
9	90	60	0.855 4
10	90	160	0.851 2
11	90	160	0.841 1
12	90	80	0.839 0

표에서 보는바와 같이 은나노층의 두께를 5nm로 하고 SiO_2 층의 두께를 90nm, TiO_2 층의 두께를 60nm로 하였을 때 흡수가 최대로 되며 이때 흡수률은 0.868 4이다.

이러한 결과는 은층의 두께가 5nm이하인 경우에 빛이 기관쪽으로 산란되지 못하고 주변국부마당을 형성하기때문이며 그 이상인 경우에는 피복률이 증가하여 반사거울로서의 역효과가 나타나기때문이다.

맺 는 말

고효율태양빛전지를 위한 Ag/ TiO_2 / SiO_2 반사방지막모형의 최적두께를 결정하기 위한 간단한 방법을 제기하고 그것에 기초하여 Ag/ TiO_2 / SiO_2 반사방지막의 최적두께결정을 위한 모의를 하였다.

참 고 문 헌

- [1] N. Etherden et al.; J. Phys., D 37, 1115, 2004.
- [2] F. González et al.; Open Surface Science Journal, 3, 131, 2011.
- [3] J. C. M. Garnett; Phil. Trans. R. Soc. London, 203, 385, 1904.
- [4] G. A. Nikalasson et al.; Appl. Opt., 20, 26, 1981.
- [5] G. A. Nikalasson et al.; Journal of Materials Science, 18, 3475, 1983.

Determination of the Optimal Thickness of Multilayer Antireflection Coatings using the Surface Plasmonic Scattering

Kim Kum Chol, Kim Un Chol

We proposed the simple method for the determination of the optimal thickness of the Ag/TiO₂/SiO₂ antireflection coatings in high efficiency solar cells, and based on this, we calculated the optimal thickness of the Ag/TiO₂/SiO₂ antireflection coatings.

Key words: Ag/TiO₂/SiO₂ antireflection coating, plasmon