

SS-AIN복합박막의 최적화모의와 열처리특성

황동근, 황벌

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《최신과학기술에 기초하여 에네르기생산방식을 개선하며 나라의 경제를 에네르기절약형으로 전환하여야 합니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 47페이지)

태양전지와 태양열물가열기를 비롯하여 금속-유전체복합박막은 태양빛을 효과적으로 리용하는 장치나 요소들에서 널리 리용되고있다.

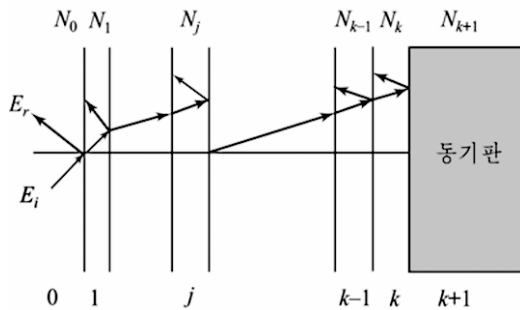
론문에서는 SS(Stainless Steel)-AIN복합박막의 최적화에 대한 컴퓨터모의방법과 그 결과와 열처리특성에 대하여 밝혔다.

1. 모 형 설 정

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

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

행렬방법에 의하면 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.

그림 1. 동기판위에 놓인 k 개의 다층구조

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 는 복합매질의 유전상수이며 ϵ_h 는 주위매질의 유전상수이다.

Bruggeman모형은 덩어리형구조를 론의하므로 A나 B는 혼합물속에 매몰되어있으며 이때 $\epsilon = \epsilon_h$ 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 흡수률과 방출률은 다음과 같이 계산할수 있다.

$$\alpha = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} [1 - R(\lambda)] G(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} G(\lambda) d\lambda}, \quad \epsilon(T) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} [1 - R(\lambda, T)] B(\lambda, T) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda, T) d\lambda} \quad (6)$$

여기서 $R(\lambda)$ 는 흡수된 반사스펙트르, $B(\lambda)$ 는 흑체복사스펙트르, $G(\lambda)$ 는 태양복사스펙트르이다.

2. MATLAB에 의한 다층박막의 최적화

SS-AIN태양빛선택막을 최적화하기 위하여 MATLAB를 리용하여 다층막을 모의하였다.

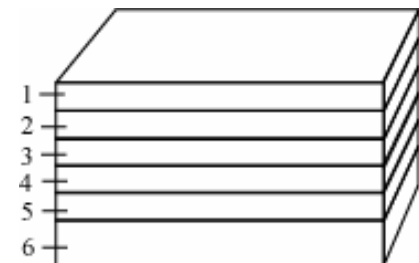


그림 2. SS-AIN흡수체시편의 모의구조
1-AIN, 2-SS-AIN(LMVF), 3-SS-AIN(HMVF), 4-AIN, 5-Cu, 6-유리

SS-AIN흡수체시편의 모의구조는 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 균일한 SS-AIN층이 AIN반사층과 Cu밀층사이에 끼워있다. 기본이 흡수층이므로 여기서는 흡수층의 두께최적화만을 보겠다. 다층박막을 생산하는 공정에서 불수강의 체적비율을 계산하면 낮은 금속체적률(LMVF)은 0.25이고 높은 금속체적률(HMVF)은 0.33이다.

먼저 전체 SS-AIN흡수층의 두께에 따르는 흡수

률과 방출률을 계산모의하였다.

SS-AIN층의 두께모의계산결과는 표 1과 같다.

표 1. SS-AIN층의 두께모의계산결과

No.	AIN층/nm	SS-AIN(LMVF)층/nm	SS-AIN(HMVF)층/nm	α	ε
1	73	20	30	0.899 0	0.046 9
2	73	30	40	0.933 8	0.034 3
3	73	40	50	0.967 8	0.052 9

표 1에서 보는바와 같이 흡수층의 전체 두께가 증가함에 따라 흡수률은 증가한다. 그러나 흡수층의 두께가 두꺼워질수록 재료원가와 제작시간이 길어지는 결함이 있다. 또한 재료가 두꺼워질수록 방출률도 함께 증가하므로 흡수률이 최대가 되도록 흡수층의 두께를 최적화하여야 한다.

다음으로 SS-AIN(HMVF)의 두께에 따르는 흡수률과 방출률을 계산모의하였다.(표 2)

이때 AIN층의 두께는 73nm, SS-AIN(LMVF)흡수층의 두께는 20nm로 고정시키고 SS-AIN(HMVF)흡수층의 두께를 변화시키면서 계산하였다.

표 2. SS-AIN(HMVF)의 두께에 따르는 계산모의결과

No.	AIN층/nm	SS-AIN(LMVF)층/nm	SS-AIN(HMVF)층/nm	α	ε
1	73	20	30	0.899 0	0.046 9
2	73	20	40	0.847 4	0.028 3
3	73	20	50	0.965 5	0.050 7
4	73	20	60	0.961 3	0.053 2
5	73	20	70	0.969 0	0.050 9
6	73	20	80	0.917 2	0.058 1

표 2에서 보는바와 같이 SS-AIN(HMVF)흡수층의 두께가 증가할수록 흡수률은 증가하다가 감소한다. SS-AIN(HMVF)흡수층의 두께가 70nm인 경우에 흡수률이 최대가 된다. 이로부터 우리는 HMVF층의 두께를 70nm로 선택하였다.

다음 SS-AIN(HMVF)층의 두께를 70nm로 고정하고 SS-AIN(LMVF)층의 두께를 변화시키면서 흡수률과 방출률을 계산모의하였다.(표 3)

표 3. SS-AIN(LMVF)의 두께에 따르는 계산모의결과

No.	AIN층/nm	SS-AIN(LMVF)층/nm	SS-AIN(HMVF)층/nm	α	ε
1	73	20	70	0.965 5	0.050 7
2	73	30	70	0.970 3	0.051 6
3	73	40	70	0.967 8	0.052 9
4	73	50	70	0.967 1	0.064 4
5	73	60	70	0.965 4	0.075 7

표 3에서 보는바와 같이 SS-AIN(LMVF)흡수층의 두께에 따라 비선형적으로 변하며 30nm일 때 흡수률이 0.970 3로서 최대값을 가진다. 그러나 방출률은 두께가 증가함에 따라 증가한다. 즉 SS-AIN(LMVF)흡수층의 두께는 SS-AIN(HMVF)흡수층의 두께가 70nm일 때 30nm로 최적화된다.

3. 열처리실험결과

우리는 SS-AIN(HMVF)흡수층의 두께가 70nm, SS-AIN(LMVF)흡수층의 두께가 30nm인 시편에 대하여 각이한 온도에서 열처리하였다.

열처리는 한소편처리소자를 리용한 온도조종장치를 리용하여 각각 100, 200, 300, 400, 500°C에서 1h동안 진행하였다.

각이한 온도에서 열처리한 시편들의 흡수율은 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는바와 같이 열처리온도가 200, 300°C 사이에 있을 때 흡수율이 높아진다.

100~400°C에서 열처리한 SS-AIN시편의 광학적특성의 개선은 산소원자와 불수강의 층간확산에 의하여 이루어진다. 열처리후 산소원자들은 반사방지층에서 분산되는것과 함께 더 깊이 확산되며 Al-O-N을 형성한다. 열처리후에 불수강은 SS-AIN층안에서 확산되어 균일한 SS-AIN흡수층을 형성한다.

결과적으로 산소가 들어간 반사방지층이 형성되고 균일한 SS-AIN흡수층을 형성하기때문에 SS-AIN태양빛선택성박막의 광학적특성은 열처리후에 개선된다고 볼수 있다.

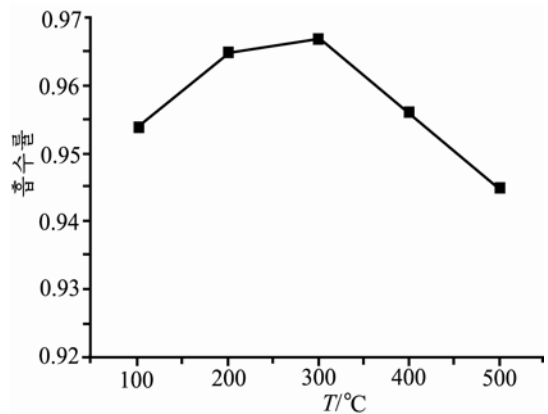


그림 3. 각이한 온도에서 열처리한 시편의 흡수율의 변화

맺는 말

유효매질리론과 다층박막에서의 빛의 흡수와 열방출에 대한 모형을 설정하고 MATLAB에 의하여 모의함으로써 흡수체의 두께를 최적화하였다.

최적화된 흡수층의 두께는 HMVF에서는 70nm, LMVF에서는 30nm이다. 이때 흡수율은 0.9703, 방출률은 0.0516이다.

100°C와 500°C에서 열처리할 때 흡수율은 많이 변화되지 않고 소둔전에 비해 시편의 흡수율은 높아진다.

참고문헌

- [1] G. A. Niklasson et al.; Appl. Opt., 20, 26, 1981.
- [2] Q. C. Zhang et al.; J. Appl. Phys., 72, 3013, 1992.
- [3] G. Federico et al.; Open Surface Science Journal, 3, 131, 2011.
- [4] Yangwei Wu et al.; Solar Energy Material & Solar Cells, 115, 145, 2013.
- [5] Yangwei Wu; Solar Energy Material & Solar Cells, 115, 145, 2013.

On Optimization Simulation and Heat Treatment Characteristics of SS-AlN Compound Thin Film

Hwang Tong Gun, Hwang Pol

In order to have the highest solar absorptance, we optimized SS-AlN compound thin film by using MATLAB's simulation tool. As a result, the structure of SS-AlN compound thin film is optimized-SS-AlN(LMVF) absorbing layer thickness is 30nm and SS-AlN(HMVF) absorbing layer thickness is 70nm. After being annealed below 500°C for 1 hour, the SS-AlN solar selective coating has a higher absorptance and a lower emittance compared to the unannealed sample. Especially when annealing between 200°C and 300°C, its absorptance increases as 0.965.

Key words: SS-AlN, compound thin film, optimization