

파동간섭효과를 고려한 다층 박막 구조의 광학특성에 대한 수치해석 연구

論 文
55C-5-9

Numerical Study on Optical Characteristics of Multi-Layer Thin Film Structures Considering Wave Interference Effects

沈炯燮* · 李晟赫†
(Hyung Sub Shim · Seong Hyuk Lee)

Abstract - The present study is devoted to investigate numerically the optical characteristics of multi-layer thin film structures such as Si/SiO₂ and Ge/Si/SiO₂ by using the characteristic transmission matrix method. The reflectivity and the absorptivity rate for thin film structures are estimated for different incident angles of rays and various film thicknesses. In addition, the influence of wavelength on optical characteristics related to complex refractive index is examined. It is found that such wave-like characteristics are observed in predicting reflectivities and depends mainly on film thickness. Moreover, the present study predicts the film thickness for ignoring wave interference effects, and it also discusses the fundamental physics behind optical and energy absorption characteristics appearing in multi-layer thin film structures.

Key Words : Thin Film(박막), Reflectivity(반사율), Absorption Rate(흡수율), Film Thickness(박막두께), Optical Characteristic(광학적 특성), Wave Interference(파장 간섭)

1. 서 론

나노스케일의 다층 박막 구조의 광학 특성은 파동간섭으로 인하여 상대적으로 마이크로스케일의 두께를 갖는 박막구조의 광학적 특성과는 큰 차이를 보인다. 이러한 광학적 특성의 차이는 광전자(photoelectronic), 박막 레이저 담금질(annealing), 마이크로 전자 장비, 그리고 태양광 셀(solar cell) 등과 같은 다양한 연구영역에서 중요하게 적용될 수 있다. 나노스케일의 다층 박막 구조에 대한 광학 특성을 정확히 예측하기 위해서 파동 간섭 효과는 반드시 고려되어야 함에도 불구하고 기존 많은 연구들은 파동 간섭 효과를 무시하고 박막 구조내의 에너지 전달 해석을 수행하여왔다[1-2]. 따라서, 파동 간섭 효과를 고려한 다층 박막 구조의 광학적 특성 해석은 박막 내의 에너지 전달특성 및 광학 특성을 해석하는 데 있어 매우 중요하다.

물질의 광학 특성은 입사된 광의 파장 길이와 물질의 굴절률(refractive index)에 따라 변화한다. 반면 다층 박막 구조는 기판위에 여러 층의 박막을 적층한 구조이므로 입사된 빛은 박막 사이의 경계면에서 여러 차례 반사되고 투과된다. 반사되고 투과된 광의 위상은 빛의 파장, 박막의 두께와 복소 굴절률(complex refractive index)에 따라 변화하게 되고 파동의 간섭 효과에 의해 광의 진폭의 크기는 보강 또

는 상쇄된다[3-4]. 따라서 박막 두께는 광의 파장 길이와 물질의 굴절률과 함께 다층 박막 구조에서 매우 중요한 변수가 된다. 기존의 많은 연구자들은 파동 간섭에 의한 보강과 상쇄 효과를 반사가 일어나지 않은 렌즈개발 연구와 원하는 파장범위의 빛만 흡수 또는 차단하는 렌즈의 연구에 적용하였다[4]. 본 연구는 특성전달행렬(Characteristic Transmission Matrix: CTM)방법을 이용하여 다층 박막 구조의 광학적 특성을 수치 해석한다[3]. 또한, 다층 박막 구조물에 파동 간섭 효과 이론을 적용하여 반사율과 흡수율의 변화를 예측하고 박막의 두께, 입사된 광의 파장과 박막의 종류에 따른 파동 간섭 효과를 고찰한다. 뿐만 아니라 파동 간섭효과를 최소화 할 수 있는 박막 두께를 제시하는 데 주된 목적이 있다. 본 연구는 적외선 영역에서 자외선 영역까지의 파장 범위를 고려한다. 물질의 복소 굴절률은 파장의 함수이므로 파장에 따른 다층 박막 구조의 광학적 특성을 분석한다[3-5]. 그리고 박막 구조의 반사율은 박막 두께가 파장의 크기와 비슷하거나 작을 때 파동의 간섭 효과가 크게 나타나고 박막의 두께가 파장의 크기에 비해 두꺼워질수록 파동의 간섭효과는 최소화된다. 본 연구에서는 박막의 종류에 따른 광학 특성의 차이를 확인하기 위해서 Si/SiO₂의 구조와 Ge/Si/SiO₂의 구조를 해석하고 상호 비교함으로써 반사율 및 에너지 흡수율의 특성을 고찰한다. 실제로 파동 간섭 효과에 의한 반사율의 변화는 다층 박막 구조의 흡수되는 에너지양에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 따라서 파동 간섭 효과를 무시한 기존의 박막 구조 흡수율과 파동 간섭 효과가 고려된 다층 박막 구조의 흡수율을 비교함으로써 나노스케일 다층 박막 구조의 에너지 흡수 경향의 변화를 예측한다[6]. 본 연구 결과는 레이저에 의해 조사되는 다층 박막 구조물 내의 에너지 전달 메커니즘을 규명하는 데 중요한 자료를 제공할 수 있

† 교신저자, 正 會 員 : 中央大學 機械學科 助教授 · 工博
E-mail : shlee89@cau.ac.kr

* 非 會 員 : 中央大學 機械學科 碩士課程
接受日字 : 2006年 3月 9日
最終完了 : 2006年 3月 24日

다. 또한, Si/Ge 박막 구조가 반복적으로 적층되어 있는 초격자(superlattice)에 대해 부분적으로 한 개의 반복되는 Ge/Si의 층만을 고려하여 광학 특성을 예측함으로써 초격자의 광학적 메커니즘 연구에 적용이 가능하다[7]. 그리고 기판위에 적층된 박막의 종류에 따른 광학적 특성의 변화를 예측함으로써 태양광 셀의 최적화 조건을 찾는 데 적용 될 수 있다[8].

2. 이론적 배경 및 해석 기법

2.1 특성전달행렬

박막의 두께가 파동 간섭 효과를 무시할 수 있을 정도로 파장의 길이에 비해 아주 두꺼울 때, 박막 표면에서의 정반사율(normal reflection)은 아래의 Fresnel의 반사율 공식을 이용하여 쉽게 구할 수 있다.

$$R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \quad (1)$$

그러나 식 (1)은 파동 간섭 효과와 굴절지수의 공간상의 변화를 고려하지 못한다. 따라서 박막의 두께가 매우 얇은 다층 박막 구조 또는 공간상의 온도변화가 매우 큰 경우에는 식 (1)을 적용하기 어렵다. 그러나 파동 방정식인 전자기파 이론은 파동 간섭의 영향과 다층 박막의 공간적인 복소 굴절지수의 차이를 고려할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다층 박막 구조에 따른 광학 지수들의 변화를 고려하기 위해서 Fig. 1에서처럼 여러 개의 격자로 나눈 다층 박막 구조에 광학 이론을 적용하고 특성전달행렬 방법을 이용하여 반사율을 구한다[3].

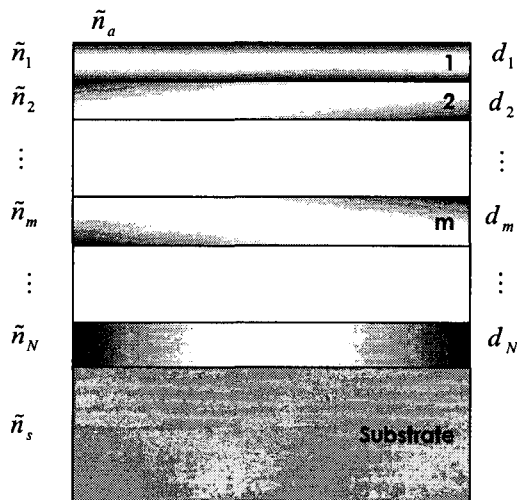


그림 1 다층구조에 대한 개략도

Fig. 1 A schematic of the multi-layer structure.

복소 굴절 지수($\tilde{n}_m = n_m - ik_m$)를 가진 m 번째 층의 두께, d_m 이고 m 번째 층의 특성전달행렬은 2×2 행렬, M_m ,으로 나타내며 식 (2)와 같다.

$$M_m = \begin{bmatrix} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \tilde{n}_m d_m\right) & \frac{i}{n_m} \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \tilde{n}_m d_m\right) \\ i n_m \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \tilde{n}_m d_m\right) & \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \tilde{n}_m d_m\right) \end{bmatrix} \quad (2)$$

다층 박막 전체 층을 고려한 특성전달행렬, M 은 $\prod_{m=1}^N M_m$ 이다. 한편, 반사와 투과 Fresnel 계수는 다음과 같이 결정된다.

$$r = \frac{[M(1,1) + M(1,2)\tilde{n}_s] - [M(2,1) + M(2,2)\tilde{n}_s]}{[M(1,1) + M(1,2)\tilde{n}_s] + [M(2,1) + M(2,2)\tilde{n}_s]} \quad (3)$$

$$t_r = \frac{2\tilde{n}_a}{[M(1,1) + M(1,2)\tilde{n}_s] + [M(2,1) + M(2,2)\tilde{n}_s]} \quad (4)$$

최종적으로 반사, 투과 Fresnel 계수를 이용하여 다층 박막 구조의 반사율(R)과 투과율(τ)을 다음과 같이 구할 수 있다[3].

$$R = |r|^2 \quad (5)$$

$$\tau = \frac{n_s}{n_a} |t_r|^2 \quad (6)$$

2.2 타당성 검증을 위한 예비해석

본 연구에서는 특성전달행렬 모델의 타당성을 검증하기 위해 특성전달행렬 해석 결과를 이론적인 브루스터 각도(Brewster angle) 및 Fresnel 반사 공식의 수치 해석해와 비교한다. 이론적으로 유전체(dielectrics)의 전기적 횡파(transverse electric mode)반사율은 0° 에서부터 90° 까지 단조롭게 증가하는 반면, 자기적 횡파(transverse magnetic mode)반사율은 브루스터 각도에서 최소값으로 감소한 후 증가하는 것을 볼 수 있다. 빛을 흡수하지 않는 유전체의 자기적 횡파 반사율은 브루스터 각도에서 거의 영(zero)의 값을 갖는다. 브루스터 각도의 이론적인 식은 아래와 같다[4].

$$\theta_B = \tan^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (k_2 \rightarrow 0) \quad (7)$$

Figure 2는 굴절 지수의 값이 1.0인 공기와 복소 굴절 지수(\tilde{n}_2)의 값이 $1.453 - i1.e^{-7}$ 인 유전체의 경계에서 입사각도에 따른 반사율 변화를 보여준다. 빛의 흡수가 거의 없는 유전체의 경우 경계에서의 자기적 횡파 반사율은 그림에서처럼 브루스터 각도에서 거의 0(zero)의 값을 알 수 있다. 식 (7)에 따른 이론적인 브루스터 각도는 55.46° 이고 특성전달행렬을 이용하여 예측한 브루스터 각도는 55.5° 로 서로 일치한다. 또한 브루스터 각도에서 자기적 횡파 반사율이 거의 0(zero)의 값을 가짐을 확인하였다.

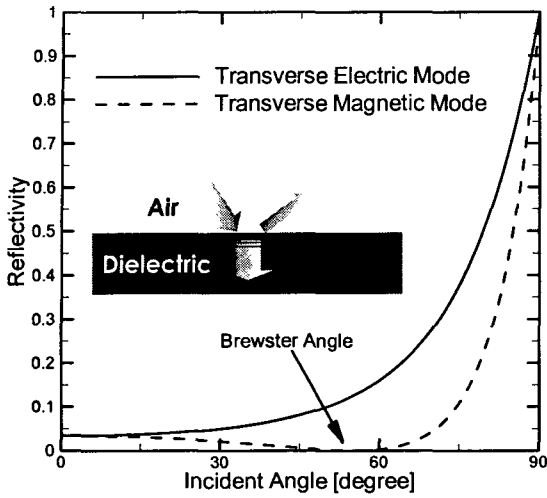


그림 2. 입사각도에 따른 경계면의 반사율
 Fig. 2 The interface reflectivity between air and dielectric film with respect to incident angles.

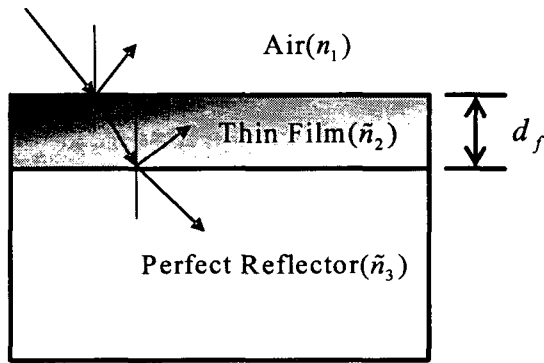


그림 3 박막 구조에 대한 개략도
 Fig. 3 A schematic of thin film structure.

브루스터 각도 비교에 이어 특성전달행렬로 얻어진 박막구조에서의 반사율과 Fresnel 관계식에 기반을 둔 박막광학식(4)로부터 계산된 반사율을 비교하였고, 개략도는 Fig. 3과 같다. 대부분 금속은 원적외선(far infrared), 마이크로파, 그리고 전자파(radio wave) 영역에서 완전 반사체(perfect reflector)의 광학적 특성을 보인다. 본 연구에서 비교한 박막구조는 완전반사체 기판 위에 빛을 흡수하는 특성을 가진 박막을 적층한 구조이며, 박막과 완전반사체의 복소 굴절 지수는 $1.7 - ik_2$, 그리고 $10^3 - i10^3$ 이다. 박막의 소멸 계수 값(k_2)을 10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} , 1로 변화 시키면서 빛의 반사를 최소화 할 수 있는 최적의 박막 두께를 알아보기 위해 무차원화 된 박막 두께, $d_f\pi/\lambda$, 에 따른 정반사율을 예측하였다[4]. 여기서 d_f 는 박막의 두께이고 λ 은 입사된 광의 파장이다. Figure 4에서는 특성 전달행렬과 박막광학식으로 계산된 박막 두께에 따른 정반사율을 보여준다. 그림에서 특성전달행렬과 박막광학식으로 예

측된 정반사율이 정확히 일치한다.

본 연구에서 특성전달행렬 모델로 예측한 브루스터 각도와 두께에 따른 정반사율은 이론적인 브루스터 각도와 박막 광학식으로 예측한 정반사율이 정확히 일치함을 확인하였다. 따라서 본 연구에서 사용한 특성전달행렬 모델은 다층 박막의 광학적 특성을 분석하는데 적합하다고 사료된다.

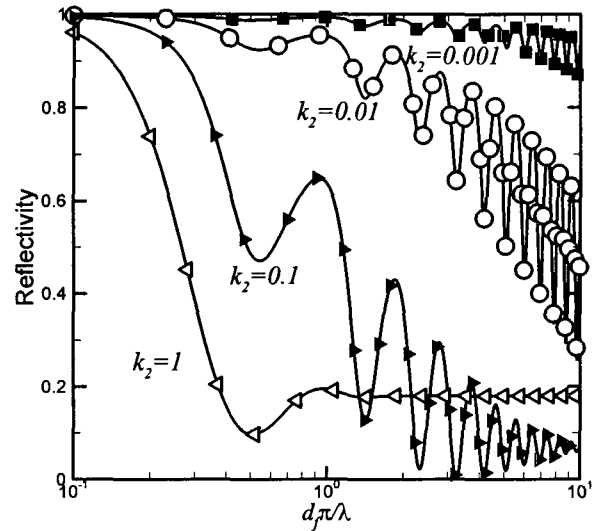


그림 4 특성전달행렬을 이용한 수직 반사율 예측값과 이전 결과와의 상호비교 : 기호들은 이전 결과를 나타내고 실선은 본 연구 결과를 의미함.

Fig. 4 Comparison of estimated normal reflectivities by using CTM with the previous study[4]: symbols represent the results from the previous study[4] and solid lines indicate the present calculation.

2.3 수치 해석법 및 해석 조건

빛이 입사될 때 다층 박막 구조의 광학 특성을 해석하기 위해서는 앞서 언급한 식 (2) ~ (6)에서 표현한 특성전달행렬 모델을 사용한다. 본 연구에서 해석하는 다층 박막 구조는 Fig. 5에서 제시한 SiO₂ 기판 위에 실리콘 박막을 입힌 Si/SiO₂ 구조와 실리콘 박막 위에 게르마늄 박막을 코팅한 Ge/Si/SiO₂ 구조이다. 실리콘과 게르마늄의 광학 물성치는 상온(300 K)에서의 값을 적용한다. 입사되는 빛의 파장으로 적외선, 가시광선, 그리고 자외선을 모두 고려하였고 구체적인 파장 및 해당하는 복소 굴절지수를 Table 1에 나타내었다[5]. 박막의 열전달 해석 연구, Si/Ge 초격자 연구, 박막 태양광셀 연구에서 고려되는 빛의 파장범위는 대부분 가시광선과 자외선 영역이어서 본 연구에서는 자외선, 가시광선 영역에 초점을 맞춰 다층 박막의 광학 특성 해석을 수행하였다.

또한, 박막의 두께에 따른 광학 특성의 변화를 해석하기 위해 박막의 두께를 0(zero)~수백 μm 으로 변화시켜가며 파동 간섭 효과를 예측한다.

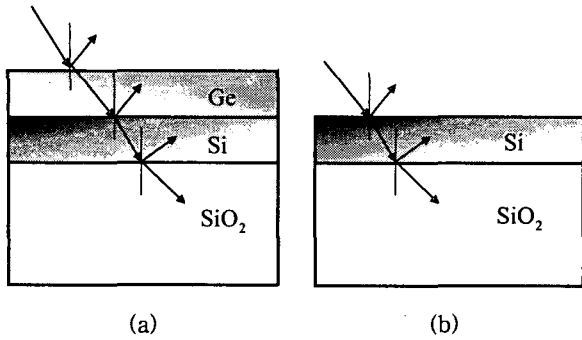


그림 5 (a) Si/SiO₂와 (b) Ge/Si/SiO₂ 박막구조에 대한 개략도
 Fig. 5 Schematics of (a) Si/SiO₂ and (b) Ge/Si/SiO₂ structures.

표 1 파장에 따른 실리콘과 게르마늄의 복소 굴절지수 [4]
 ([UV]: 자외선; [VIS]: 가시광선; [IR]: 적외선)
 (a) 실리콘 (b) 게르마늄

Table 1 Complex refractive indices of silicon and germanium with respect to wavelengths[4] ([UV]: ultraviolet; [VIS]: visible; [IR]: infrared)

(a) Silicon		
Wavelength	<i>n</i>	<i>k</i>
0.051 [UV]	0.752	2.430
0.062 [UV]	0.567	0.0835
0.124 [UV]	0.306	1.380
0.5081 [VIS]	4.255	0.072
0.5904 [VIS]	3.969	0.030
0.7045 [VIS]	3.778	0.012
10 [IR]	3.422	6.76×10 ⁻⁵
20 [IR]	3.420	2.860
71.43 [IR]	3.420	1.930

(b) Germanium		
Wavelength	<i>n</i>	<i>k</i>
0.051 [UV]	0.991	0.144
0.062 [UV]	0.991	0.237
0.124 [UV]	0.930	0.860
0.5081 [VIS]	4.482	2.429
0.5904 [VIS]	5.748	1.634
0.7045 [VIS]	4.990	0.200
10 [IR]	4.005	1.43×10 ⁻⁵
20 [IR]	4.000	2.39
71.43 [IR]	4.006	1.020

3. 결과 및 고찰

Figure 6은 Si/SiO₂의 경우에 0.5904 μm의 가시광선 빛을 입사시켰을 때 실리콘 박막의 두께에 따른 반사율의 변화를 보여준다. 박막의 두께가 20 μm까지 증가할 때 파동 간섭의 영향으로 정반사율의 변화는 주기적인 거동으로 나타나며 반

사율 변화의 최대값과 최소값의 차이는 크다. Figure 6 (b)은 Fig. 6(a)의 0 ~ 1 μm구간을 확대한 그림이다. 그림에서 박막의 두께가 0 과 1 μm사이에서 아주 작은 크기로 변화하는데 비해 반사율의 변화는 최대 75 %에서 최소 5 %까지 현저하게 차이가 생긴다. 기존의 연구자들은 실리콘 박막의 마이크로 열전달 해석을 수행하는데 박막의 두께에 따른 반사율을 적용할 때 두께의 변화를 50 ~ 500 nm로 하며 반사율의 값을 30 ~ 35 %로 파동 간섭에 대한 효과를 거의 무시하고 박막의 에너지 전달 메커니즘 해석을 수행한다[1-2]. 그러나 본 연구에서는 박막 두께에 따른 반사율의 변화는 최대 75 %에서 최소 5 %까지로 그 차이가 파동 간섭효과를 무시할 수 없을 정도로 크다는 것을 보여준다. 따라서 다층 박막 구조의 열전달 연구를 수행하는데 파동 간섭효과를 고려하지 않는 기존의 이론들을 수정할 필요가 있다.

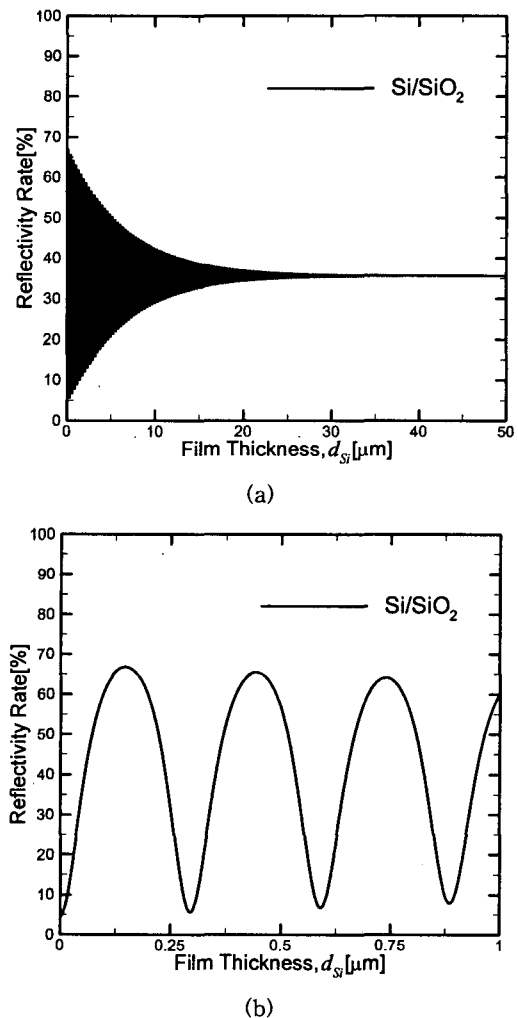


그림 6 λ = 0.5904 μm의 경우 박막 두께에 대한 Si/SiO₂ 구조의 수직 반사율
 Fig. 6 Calculated normal reflectivities for Si/SiO₂ structures with respect to film thicknesses at λ = 0.5904 μm.

Figure 7은 Si/SiO₂와 Ge/Si/SiO₂구조의 경우에 자외선 파장에 대해서 입사 각도에 따른 흡수율의 변화를 보여준다. 이때, 실리콘과 게르마늄의 두께를 200 nm로 고정하였다. 빛의

입사각이 0°일 때 흡수율을 비교하면 Si/SiO₂이 33.5 %이고, Ge/Si/SiO₂의 흡수율은 99.5 %로 실리콘 박막 위에 게르마늄 박막을 코팅하면 다층 박막의 흡수율이 크게 향상 된다는 것을 알 수 있다. 자외선 영역에서는 박막의 두께가 200 nm 이상이 되면 파동 간섭 효과를 무시할 수 있다(Fig. 10 참조). 따라서 게르마늄 박막을 코팅한 Ge/Si/SiO₂의 정반사율은 게르마늄의 복소 굴절 지수에 의해 결정된다. Fresnel 반사율 공식에 의한 게르마늄의 반사율은 0.051 μm일 때는 정반사율은 0.5 %, 0.062 μm와 0.124 μm의 경우는 각각 1.4 %와 16.7 %이다.

Figure 8은 자외선 영역에서 Si/SiO₂와 Ge/Si/SiO₂ 구조의 두 경우를 비교한 그림이다. 전자는 실리콘 두께를 증가시켰고 후자는 실리콘의 두께를 200 nm로 고정하고 게르마늄 박막 두께의 변화에 따른 반사율과 흡수율의 변화를 보여준다. 그림에서 Si/SiO₂의 구조보다 Ge/Si/SiO₂의 구조가 자외선 영역의 파장이 입사되었을

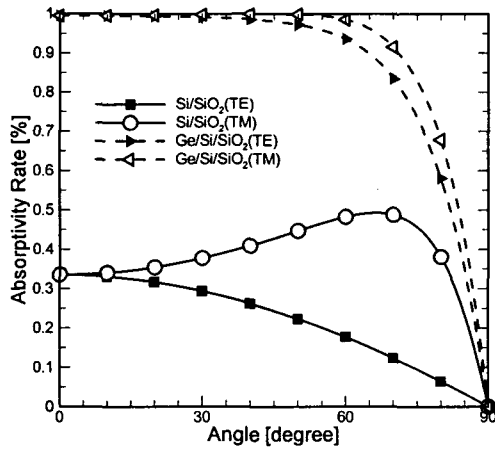


그림 7 λ = 0.051 μm의 경우, 입사각도에 따른 TE와 TM 파동에 대한 흡수율

Fig. 7 Calculated TE and TM absorption rates with respect to the incident angle at λ = 0.051 μm.

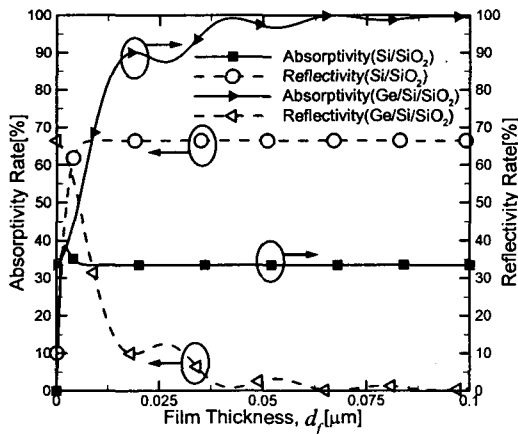


그림 8 박막두께 변화에 따른 Si/SiO₂ 와 Ge/Si/SiO₂ 구조에 대한 흡수율 및 반사율 (λ = 0.051 μm)

Fig. 8 Comparison for the reflectivity and the absorption rate between Si/SiO₂ and Ge/Si/SiO₂ structures with respect to the film thickness at λ = 0.051 μm.

때 흡수율이 거의 100 %에 가깝게 증가한다. 입사되는 빛의 파장에 따른 다층 박막 구조의 흡수율과 반사율을 예측 할 수 있음으로써 본 연구의 모델은 태양광 셀 연구에 다층 박막 구조의 흡수율을 향상 시킬 수 있는 방법을 찾는 데 효과적일 것으로 사료된다. 즉, 태양광 에너지가 최대가 되는 특수한 파장범위에서 흡수율이 최대인 재료를 선택 하고 이론적으로 반사율과 흡수율을 계산하여 박막의 최적의 조건을 설계하는데 적합하다.

Figure 9는 Ge/Si/SiO₂ 구조에 가시광선 영역을 빛을 입사하였을 때 파장에 따른 게르마늄의 소멸 계수 크기의 차이가 반사율의 변화에 미치는 영향을 보여준다. 그림에서 소멸 계수의 값이 클수록 Fresnel의 반사율 값에 박막의 두께가 얇을 때 빠르게 수렴하는 것을 볼 수 있다[4]. 그러므로 비교적 큰 소멸 계수를 갖는 물질일수록 파동 간섭 효과를 최소화 할 수 있는 두께는 얇아진다. Table 1 (b)의 게르마늄 소멸 계수의 값을 보면 0.5081 μm일 때 2.429로 세 가지 경우 중 가장 크며 파동 간섭 효과를 최소화 할 수 있는 두께는 가장 얇은 0.25 μm이다. 한편, 가장 작은 소멸 계수 값을 갖는 0.7045 μm 파장의 경우 0.5081 μm의 경우보다 20 배나 더 두꺼운 5 μm이 되어야 파동 간섭의 영향을 최소화 할 수 있다. 이와 같이 본 연구에서는 파동 간섭을 최소화 할 수 있는 박막의 두께를 효과적으로 설계하는데 응용할 수 있다.

Figure 10은 Ge/Si/SiO₂에 대해 각 파장에 대해 파동 간섭 효과를 무시할 수 있는 게르마늄 박막의 두께를 보여주는 그림이다. 빛의 각 영역 중에서 파동 간섭 효과를 무시할 수 있는 최소 박막의 두께는 자외선 영역에서 가장 작다. 자외선 영역의 파장이 짧기 때문에 박막 두께의 변화에 따른 파동 간섭 효과는 박막의 두께가 비교적 얇을 때 무시 될 수 있다. 각 파장 영역에서는 소멸 계수의 값에 따라 간섭효과를 무시할 수 있는 두께가 달라지는 것을 알 수 있다. 자외선 영역대의 소멸 계수(k)의 값이 0.051 μm, 0.062 μm와 0.124 μm의 경우 각각 0.144, 0.237 과 0.86이다. 또한, 소멸 계수 값이 증가할수록 박막의 파동 간섭효과를 무시할 수 있는 두께가 감소하는 경향을 보여주고 있다.

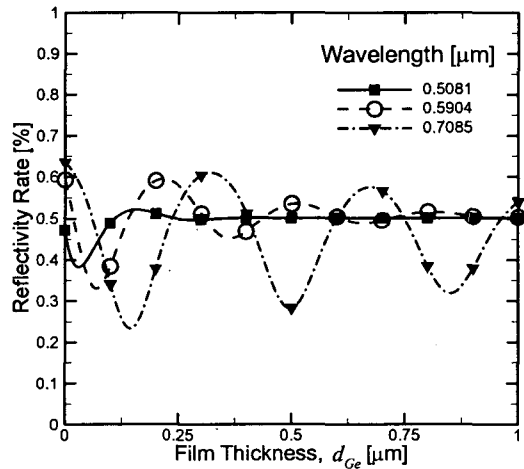


그림 9 Ge/Si/SiO₂ 구조의 반사율에 미치는 파장의 영향

Fig. 9 Effects of wavelength on reflectivity for Ge/Si/SiO₂ structure at different extinction coefficients.

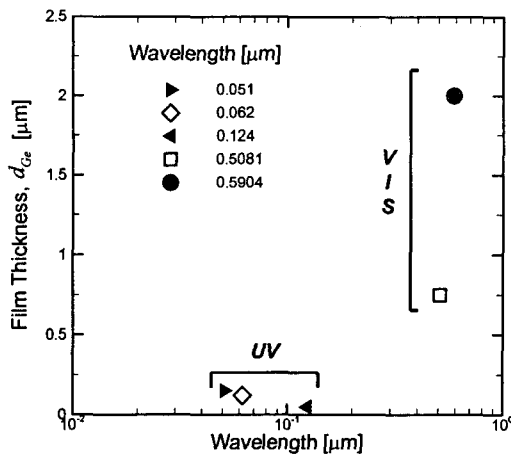


그림 10 최소 파동간섭을 위한 입계 박막두께 예측
 Fig. 10 The estimation of threshold film thickness for minimizing the wave interference.

4. 결 론

본 연구에서는 다층 박막 구조에 다양한 파장범위의 빛을 입사했을 때 박막의 두께, 복소 굴절 지수, 그리고 입사 파장의 각도에 따른 광학 특성의 변화에 대해 고찰함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다. 파동 간섭 효과에 의한 나노스케일 다층 박막 구조의 광학 특성과 상대적으로 두께가 큰 마이크로스케일의 다층 박막 구조의 광학 특성의 차이를 확인하였다. 나노스케일 다층 박막 구조는 입사 파장과 박막의 두께의 영향으로 파동 간섭 효과가 크게 작용하여 반사율과 흡수율의 주기적 거동의 진폭이 매우 크다. 박막의 두께의 변화에 따른 반사율과 흡수율의 변화가 아주 크기 때문에 나노스케일 다층 박막 구조의 광학 특성을 해석하는데 파동 간섭 효과를 고려하여야 한다. 또한, 본 연구에서의 복소 굴절 지수는 파장의 함수이다. 따라서 각 파장에서의 소멸 계수에 따른 파동 간섭 효과를 예측하여 보았다. 소멸 계수 값이 클수록 파동 간섭 효과를 최소화 할 수 있는 박막의 두께가 얇아진다는 것을 확인함으로써 파동 간섭 효과는 파장의 길이와 박막의 두께의 함수일 뿐만 아니라 소멸 계수에 따라 파동 간섭 효과가 변화한다는 결론을 얻었다. 본 연구에서는 가시광선과 자외선 영역에서 총 5가지 경우에 대해서 파동 간섭 효과를 최소화할 수 있는 박막의 두께를 정량적으로 예측하였다. 또한, 어떤 매질의 박막이 기판위에 적층되었는가에 대해 Si/SiO₂의 구조와 Ge/Si/SiO₂의 구조의 반사율과 흡수율을 비교함으로써 박막 구조에 따른 광학 특성의 차이를 확인하였다. 이 경우에 Si/SiO₂보다 Ge/Si/SiO₂의 다층 박막 구조가 자외선 영역의 광에 대한 흡수율이 현저히 증가하였다. 따라서 어떤 다층 박막을 기판위에 적층하는지에 따라 원하는 파장범위 광에 대한 흡수율 또는 반사율을 향상 시킬 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 중앙대학교 학술연구비(일반연구비) 지원에 의한 것임.

참 고 문 헌

- [1] H. M. van Driel, "Kinetics of High-Density Plasmas Generated in Si by 1.06- and 0.53 mm Picosecond Laser Pulses," Phys. Rev. B., vol. 35, pp. 8166-8176, 1987.
- [2] D. Agassi, "Phenomenological Model for Picosecond-Pulse Laser Annealing of Semiconductors", Journal of Applied Physics, vol. 55, pp. 4376-4383, 1984.
- [3] M. Born and W. Wolf, Principles of Optics: "Electromagnetic Theory of Propagation, Interference, and Diffraction of Light", 6th Edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK, Chap. 1, 1980.
- [4] M. Q. Brewster, "Thermal Radiative Transfer and Properties", John Wiley & Sons, USA, Chap. 4, 1992.
- [5] D. Palik. Edward, "Handbook of Optical Constants of Solids", Academic Press, pp. 465~478, pp. 545~569, and pp. 719~747, 1985.
- [6] C. P. Grigoropoulos, H. K. Park, and X. Xu, "Modeling of Pulsed Laser Irradiation of Thin Silicon Layers", Int. J. Heat Mass Transfer, vol. 36, No. 4, pp. 919-924, 1993.
- [7] J.L. Liu, K. L. Wang, C. D. Moore, M. S. Goorsky, T. Borca-Tasciuc, G. Chen, "Experimental Study of a Surfactant-Assisted SiGe Graded Layer and a Symmetrically Strained Si/Ge Superlattice for Thermoelectric Applications", Thin Solid Films, vol. 369, pp. 121-125, 2000.
- [8] A. V. Shah, H. Schade, M. Vanecek, J. Meier, E. Vallat-Sauvain, N. Wyrsh, U. Kroll, C. Droz, J. Bailat "Thin-Film Silicon Solar Cell Technology", Progress in Photovoltaics, vol. 12, pp. 113-142, 2004.

저 자 소 개



심형섭(沈炯燮)

1980년 5월 3일생, 2006년 중앙대학교 기계공학부 졸업, 2006년~현재 동 대학원 기계공학부 대학원 석사과정.

Tel : 02-823-5332

Fax : 02-814-9476

E-mail : deaman14@daum.net



이성혁(李晟赫)

1971년 2월 1 일생, 1993년 중앙대학교 기계공학부 졸업, 1999년 동대학원 기계공학 졸업(공학박사), 2004년~현재 중앙대학교 기계공학부 조교수.

Tel : 02-820-5254

Fax : 02-814-9476

E-mail : shlee89@cau.ac.kr