

일반화된 전달행렬방법을 이용한 박막형 태양전지 모델링 연구 : 유기태양전지로의 적용 사례

김정호 (경희대학교 이과대학 정보디스플레이학과 부교수)

1 서 론

박막형 태양전지는 기존의 결정질 실리콘 기반 태양전지보다 생산단가를 낮출 수 있어서, 차세대 태양전지로서 널리 연구되고 있다[1]. 그러나, 박막형 태양전지의 경우 일반적으로 $1\mu\text{m}$ 이내의 광흡수층의 두께가 빛의 파장에 비해 충분히 크지 않아서, 광흡수율이 100%에 도달하지 못하며, 이에 따라 광전변환 효율이 결정질 실리콘 태양전지에 비해 작게 나온다. 따라서, 박막형 태양전지에서는 다층박막의 두께 등을 조절하여 최대의 광흡수효율을 얻기 위한 박막광학 설계가 매우 중요하다.

박막형 태양전지의 광학현상에 대한 모델링 방법으로 전달행렬방법(transfer matrix method)가 많이 사용되고 있다. 이 방법은 다층박막 내부에 존재하는 전기장을 전방 및 후방진행 성분으로 구분하고, 각 다층박막 경계층에서 전기장에 대한 경계조건을 이용하여 전기장의 계수를 결정하는 방법이며, 이를 통하여 다층박막의 두께 및 굴절률 변화에 따른 내부 전기장 분포 및 광흡수율 변화를 성공적으로 계산할 수 있다[2-3]. 그런데, 모든 박막형 태양전지는 두께가 $100\sim 1000\mu\text{m}$ 에 해당하는 유리와 같이 두꺼운 투명기판위에 성장된다. 넓은 발광스펙

트럼을 가지는 태양광의 경우 빛의 위상정보가 유지되는 가간섭거리(coherence length)가 $0.6\mu\text{m}$ 정도 밖에 되지 않는다[4]. 따라서, 박막형 태양전지의 광학모델링은 두꺼운 투명기판에서는 비가간섭 모델링(incoherent modeling)이 필요하고, 총 두께가 $0.5\mu\text{m}$ 이내의 다층박막으로 이루어진 광흡수층에서는 가간섭 모델링(coherent modeling)이 필요한 mixed coherent-incoherent system을 이룬다.

기존의 전달행렬방법은 가간섭 모델링에만 적용할 수 있으므로 이를 비가간섭 시스템인 두꺼운 투명 유리 기판에 직접적으로 적용할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 이론적으로 제안된 것이 일반화된 전달행렬방법(generalized transfer matrix method)이다[5-7]. 최근에는 일반화된 전달행렬방법이 두꺼운 투명기판으로 인하여 mixed coherent-incoherent system을 가지는 태양전지 및 OLED 분야에 적용되고 있다. 본문에서는 일반화된 전달행렬방법의 수학적 표현을 기술하고, 박막형 태양전지의 하나로서 널리 연구되고 있는 유기태양전지의 광학특성을 일반화된 전달행렬방법을 적용하여 이론적으로 해석하는 방법을 소개하고자 한다.

2. 일반화된 전달행렬방법 이론

2.1 다층박막에서 일반화된 전달행렬 기술 방법

그림 1은 일반화된 전달행렬방법의 기술을 위한 다층박막의 구조도이다. 이론적 전개에 단순성을 위해 본 논문에서는 수직입사를 가정하나, 전기장의 사입사 경우도 이론의 일반화가 가능하다[8-9]. 왼쪽에서 오른쪽으로 진행하는 전방진행 전기장은 양(+)의 위첨자로 표기하고, 오른쪽에서 왼쪽으로 진행하는 하방진행 전기장은 음(-)의 위첨자로 표기한다. 다층박막 j번째 층과 k번째 층의 경계면에서 경계행렬(interface matrix) I_{jk} 는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} E_{jR}^+ \\ E_{jR}^- \end{bmatrix} = \mathbf{I}^{jk} \begin{bmatrix} E_{kL}^+ \\ E_{kL}^- \end{bmatrix} = \frac{1}{t_{jk}} \begin{bmatrix} 1 & r_{jk} \\ r_{jk} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{kL}^+ \\ E_{kL}^- \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 t_{jk} 와 r_{jk} 는 각각 j번째 층과 k번째 층의 경계면에서 Fresnel 방정식에서 투과 및 반사계수이다 [10]. 다층박막 j번째 층에서 왼쪽과 오른쪽 경계면의 전기장은 아래와 같은 층행렬(layer matrix) L^j 로 기술된다.

$$\begin{bmatrix} E_{jR}^+ \\ E_{jR}^- \end{bmatrix} = \mathbf{L}^j \begin{bmatrix} E_{jL}^+ \\ E_{jL}^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-i\frac{2\pi}{\lambda}n_jd_j} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{2\pi}{\lambda}n_jd_j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{jL}^+ \\ E_{jL}^- \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 λ 는 빛의 파장, n_j 는 j번째 박막층의 복소수

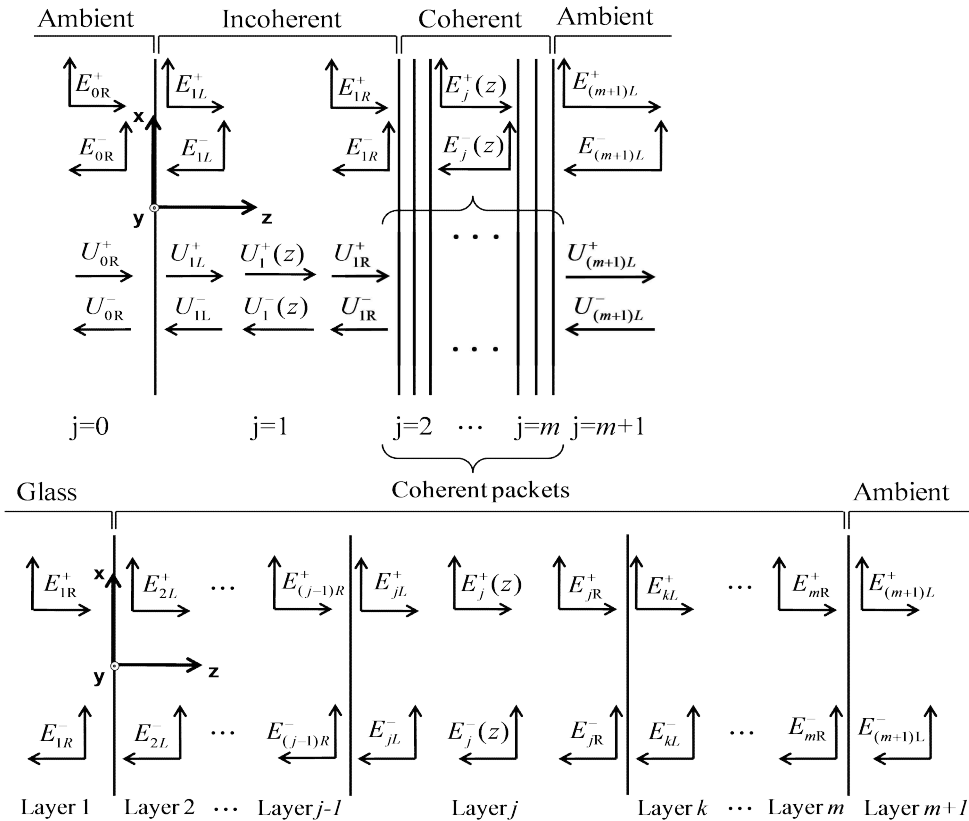


그림 1. 일반화된 전달행렬방법 기술을 위한 다층박막 구조도

굴절률, d_j 는 j 번째 박막 층의 두께를 나타낸다. 첫 번째 층에서 오른쪽 경계면의 전기장과 j 번째 층의 왼쪽 경계면 전기장의 관계를 나타내는 산란행렬 (scattering matrix) S^{lj} 는 경계행렬과 층행렬의 곱으로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} E_{1R}^+ \\ E_{1R}^- \end{bmatrix} = S^{lj} \begin{bmatrix} E_{jL}^+ \\ E_{jL}^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11}^{lj} & S_{12}^{lj} \\ S_{21}^{lj} & S_{22}^{lj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{jL}^+ \\ E_{jL}^- \end{bmatrix} = \mathbf{I}^{l2} \mathbf{L}^{l2} \mathbf{I}^{l3} \dots \mathbf{L}^{lj-1} \mathbf{I}^{lj} \begin{bmatrix} E_{jL}^+ \\ E_{jL}^- \end{bmatrix} \quad (3)$$

수식 (3)에서 첫 번째 다층박막에서 j 번째 다층박막까지의 반사 및 투과계수는 산란행렬 S^{lj} 의 원소로서 다음과 같이 표현된다.

$$r_{1j} = \frac{E_{1R}^-}{E_{1R}^+} = \frac{S_{21}^{lj}}{S_{11}^{lj}}, \quad t_{1j} = \frac{E_{jL}^+}{E_{1R}^+} = \frac{1}{S_{11}^{lj}} \quad (4)$$

$$r_{jl} = \frac{E_{jL}^-}{E_{jL}^+} = -\frac{S_{12}^{lj}}{S_{11}^{lj}}, \quad t_{jl} = \frac{E_{1R}^-}{E_{jL}^+} = \frac{S_{11}^{lj} S_{22}^{lj} - S_{12}^{lj} S_{21}^{lj}}{S_{11}^{lj}} \quad (5)$$

그림 1에서 박막내부의 전기장 위상정보가 정의될 수 없는 비가간섭을 가진다면, 빛의 세기 ($U = |E|^2$)로 전달행렬을 표현할 수 있다. 다층박막 j 번째 층과 k 번째 층의 경계면에 대한 경계세기행렬(interface intensity matrix)은 아래와 같이 나타낼 수 있다 [11].

$$\begin{bmatrix} U_{jR}^+ \\ U_{jR}^- \end{bmatrix} = \bar{\mathbf{I}}^{jk} \begin{bmatrix} U_{kL}^+ \\ U_{kL}^- \end{bmatrix} = \frac{1}{|t_{jk}|^2} \begin{bmatrix} 1 & -|r_{kj}|^2 \\ |r_{jk}|^2 & |t_{jk} t_{kj}|^2 - |r_{jk} r_{kj}|^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{kL}^+ \\ U_{kL}^- \end{bmatrix} \quad (6)$$

같은 방법으로 다층박막 j 번째 층에서 왼쪽과 오른쪽 경계면의 빛의 세기는 층세기행렬(layer intensity matrix)로 표현할 수 있다[11].

$$\begin{bmatrix} U_{jR}^+ \\ U_{jR}^- \end{bmatrix} = \bar{\mathbf{I}}^j \begin{bmatrix} U_{jL}^+ \\ U_{jL}^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-i\frac{2\pi}{\lambda} n_j d_j} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{2\pi}{\lambda} n_j d_j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{jL}^+ \\ U_{jL}^- \end{bmatrix} \quad (7)$$

그림 1에서 첫 번째 층은 비가간섭 특성을 가지고, 나머지 다층박막은 가간섭성을 나타낸다. 가간섭성을 갖는 다층박막들은 아래와 같이 하나의 층세기행렬로 표현될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} U_{1R}^+ \\ U_{1R}^- \end{bmatrix} = \bar{\mathbf{I}}^{l(m+1)} \begin{bmatrix} U_{(m+1)L}^+ \\ U_{(m+1)L}^- \end{bmatrix} = \frac{1}{|t_{l(m+1)}|^2} \begin{bmatrix} 1 & -|r_{(m+1)l}|^2 \\ |r_{l(m+1)}|^2 & |t_{l(m+1)} t_{(m+1)l}|^2 - |r_{l(m+1)} r_{l(m+1)l}|^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{(m+1)L}^+ \\ U_{(m+1)L}^- \end{bmatrix} \quad (8)$$

따라서, 빛이 공기에서 비가간섭성을 가지는 첫 번째 박막층을 지나 가간섭을 보이는 다층박막을 지날 때, 양단의 빛의 세기는 다음과 같이 경계세기 및 층세기 행렬로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} U_{0R}^+ \\ U_{0R}^- \end{bmatrix} = \bar{\mathbf{I}}^{01} \bar{\mathbf{L}} \begin{bmatrix} U_{1R}^+ \\ U_{1R}^- \end{bmatrix} = \bar{\mathbf{I}}^{01} \bar{\mathbf{L}} \bar{\mathbf{I}}^{l(m+1)} \begin{bmatrix} U_{(m+1)L}^+ \\ U_{(m+1)L}^- \end{bmatrix} \quad (9)$$

이를 다시 층세기산란행렬(total intensity scattering matrix)로 표현하면 아래와 같다.

$$\bar{\mathbf{S}}^{0(m+1)} = \bar{\mathbf{I}}^{01} \bar{\mathbf{L}} \bar{\mathbf{I}}^{l(m+1)} = \begin{bmatrix} \bar{S}_{11}^{0(m+1)} & \bar{S}_{12}^{0(m+1)} \\ \bar{S}_{21}^{0(m+1)} & \bar{S}_{22}^{0(m+1)} \end{bmatrix} \quad (10)$$

마지막으로 수식 (10)에서 왼쪽 공기층($j=0$)에서부터 오른쪽 공기층($j=m+1$)까지 빛의 세기에 대한 반사 및 투과계수는 층세기산란행렬의 원소로서 다음과 같이 표현된다.

$$R_{tot} = \frac{U_{0R}^-}{U_{0R}^+} = \frac{\bar{S}_{21}^{0(m+1)}}{\bar{S}_{11}^{0(m+1)}}, \quad T_{tot} = \frac{U_{(m+1)L}^+}{U_{0R}^+} = \frac{1}{\bar{S}_{11}^{0(m+1)}} \quad (11)$$

2.2 일반화된 전달행렬을 통한 내부 전기장 기술방법

그림 1에서 j번째 층 내부의 전기장은 다음과 같이 전방진행 및 하방진행 전기장의 합으로 표현될 수 있다.

$$E_j(z) = E_j^+(z) + E_j^-(z) \\ = [t_j^+ e^{i\frac{2\pi}{\lambda} n_j z} + t_j^- e^{-i\frac{2\pi}{\lambda} n_j z}] E_{1R}^+ = [t_j^+ e^{i\frac{2\pi}{\lambda} n_j z} + t_j^- e^{-i\frac{2\pi}{\lambda} n_j z}] \gamma E_{0R}^+ \quad (12)$$

여기서 왼쪽 공기층(j=0)에서 비가간섭층(j=1)으로 빛세기 전달계수 γ 와 가간섭성을 가지는 j번째 박막까지의 전기장 내부전달계수 t_j^+ , t_j^- 는 각각 다음과 같이 표현된다[11].

$$E_{1R}^+ = \gamma E_{0R}^+ = \sqrt{\frac{\mathbf{I}_{11}^{1(m+1)}}{\mathbf{S}_{11}^{0(m+1)}}} E_{0R}^+ \quad (13)$$

$$t_j^+ = \frac{t_{1j}}{1 - r_{j1} r_{j(m+1)} e^{-i\frac{4\pi}{\lambda} n_j d_j}}, \quad t_j^- = \frac{t_{1j} r_{j(m+1)}}{1 - r_{j1} r_{j(m+1)} e^{-i\frac{4\pi}{\lambda} n_j d_j}} \quad (14)$$

수식 (12)로 표현되는 전기장에 대응되는 자기장은 아래와 같다.

$$H_j = \frac{1}{i\omega\mu_0} \frac{\partial E_j(z)}{\partial z} = c\epsilon_0 n_j [t_j^+ e^{i\frac{2\pi}{\lambda} n_j z} - t_j^- e^{-i\frac{2\pi}{\lambda} n_j z}] \gamma E_{0R}^+ \quad (15)$$

따라서, 전자기파가 전달하는 광파워를 나타내는 Poynting vector는 다음과 같이 기술된다.

$$P_j(z) = \frac{1}{2} \text{Re} \{ E_j H_j^* \} \\ = \frac{1}{2} c\epsilon_0 \text{Re}(n_j) [|t_j^+|^2 e^{-\text{Im}(n_j)\frac{4\pi}{\lambda} z} - |t_j^-|^2 e^{\text{Im}(n_j)\frac{4\pi}{\lambda} z}] \gamma^2 |E_{0R}^+|^2 \\ + \frac{1}{2} c\epsilon_0 2\text{Im}(n_j) |\rho_j| \sin(\text{Re}(n_j) \frac{4\pi}{\lambda} z + \delta_j) \gamma^2 |E_{0R}^+|^2 \quad (16)$$

여기서, ρ_j 와 δ_j 는 아래와 같이 정의된다.

$$t_j^+ t_j^{*-} = |\rho_j| e^{i\delta_j} \quad (17)$$

마지막으로 광흡수 세기를 표현하는 optical power dissipation은 다음과 같이 표현된다.

$$Q_j(z) = -\frac{dP_j(z)}{dz} \\ = \frac{1}{2} c\epsilon_0 \text{Re}(n_j) \alpha_j [|t_j^+|^2 e^{-\text{Im}(n_j)\frac{4\pi}{\lambda} z} + |t_j^-|^2 e^{\text{Im}(n_j)\frac{4\pi}{\lambda} z} + 2|\rho_j| \cos(\text{Re}(n_j) \frac{4\pi}{\lambda} z + \delta_j)] \gamma^2 |E_{0R}^+|^2 \\ = \frac{1}{2} c\epsilon_0 \text{Re}(n_j) \alpha_j |E_j(z)|^2, \quad (18)$$

여기서 광흡수계수 $\alpha_j = 4\pi \text{Im}(n_j) / \lambda$ 가 사용되었다.

3. 일반화된 전달행렬방법을 이용한 유기태양 전지 광흡수 특성 모델링

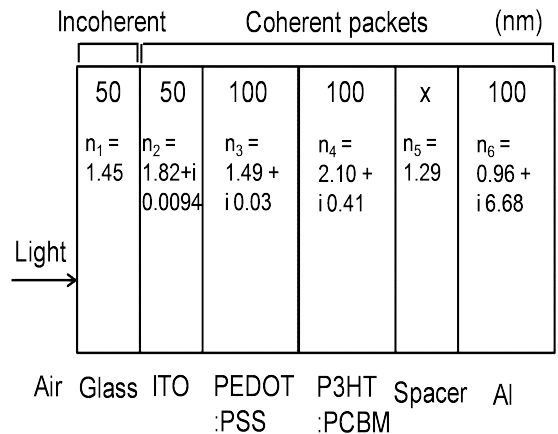


그림 2. 박막형 유기태양전지 구조도[11]

그림 2는 박막형 유기태양전지의 구조도와 각 층의 두께 및 파장 550nm에서의 굴절률을 나타내고 있다. 유기태양전지는 유리기판, ITO(indium-tin-oxide)

투명전극, 정공 수송층 PEDOT:PSS (poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrenesulfonate)), 광흡수층 P3HT:PCBM (poly(3-hexylthiophene):[6,6]-phenyl C61-butyric acid methyl ester), spacer, 금속전극 Al (aluminum) 으로 이루어졌다. 유리기판의 경우 광흡수가 없으므로 수식 (7)에 정의된 층세기행렬이 단위행렬의 값을 가진다. 따라서, 계산결과의 시인성을 높이기 위해 유리기판의 경우 실제적인 두께인 1mm가 아니라 50nm를 사용하여도 일반화된 전달행렬방법에 의한 계산결과에 차이가 없다. spacer 층의 경우 굴절률의 허수부가 존재하지 않으므로, 해당 층에서는 광흡수가 없다. 그러므로, spacer 층의 두께를 조절하면 유기태양전지 내부에서 일어나는 간섭현상을 조절하여 광흡수층에서의 전기장 공간분포를 조절할 수 있다. 실제 소자로의 적용시에는 박막 두께 증가에 따른 전기저항 성분 증가를 줄이기 위해 캐리어의 이동도가 큰 물질을 spacer 층으로 사용하고 있다.

그림 3은 일반화된 전달행렬방법의 정확성을 검증하기 위해 spacer 두께가 160nm일 때, 유기태양전지 내부 전기장세기 분포 계산결과를 전달행렬방법을 이용한 것들과 비교한 그림이다. 가간섭 박막에서만 정의되는 전달행렬방법의 경우 비가간섭성 유리기판에서 값을 계산하지 않았다. 이 경우 비가간섭 유리기판 내부에서 빛의 세기의 공진에 의한 광세기 감소를 간접적으로 계산할 수 있는데[12], 이를 고려한 경우 전달행렬방법에 의한 계산결과와 일반화된 전달행렬방법에 의한 내부 전기장세기 분포가 일치함을 알 수 있다. 그러나, 비가간섭 박막 내부에서 발생하는 빛의 세기 공진에 의한 광세기 감소를 간접적으로 계산하는 방법의 경우 비가간섭 박막이 두 개 이상 존재하거나, 가간섭 다층박막들의 중간에 비가간섭 박막이 존재하는 경우 계산이 너무 복잡해지는 단점이 있다.

그림 4는 spacer의 두께가 40, 80, 120, 160nm

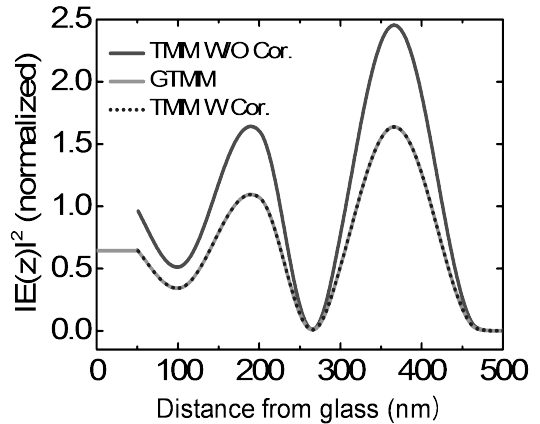


그림 3. 일반화된 전달행렬방법의 정확성 검증을 위한 계산 결과[11]

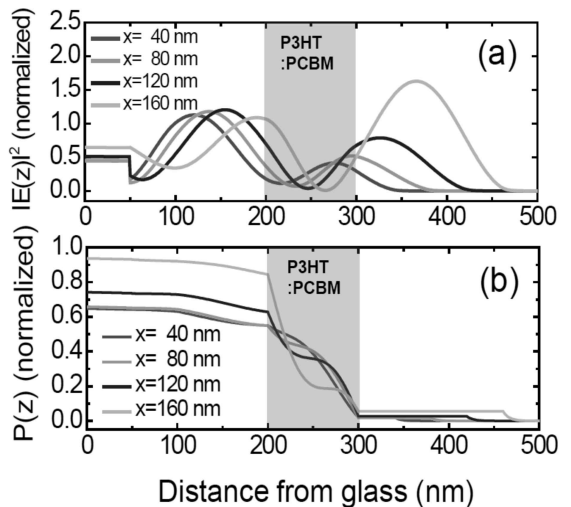


그림 4. spacer 두께 변화에 따른 (a) 전기장 세기, (b) Poynting vector 계산결과[11]

로 증가할 때, 유기태양전지 내부 전기장 세기 및 Poynting vector 계산결과이다. 그림 4 (a)에서 전기장의 공간분포가 위치에 따라 진동하는 모습을 보이는 이유는 전방진행과 후방진행 전기장의 간섭 때문이다. spacer의 두께가 변함에 따라, 내부 전기장 공간분포의 크기와 위상이 조금씩 변하고 있는데, 이는 spacer 두께 증가에 따른 반사율 변화 등으로 설

명할 수 있다. 수식 (18)에 따르면 광흡수율은 전기장 공간세기와 광흡수율의 곱에 비례하므로, 그림 4 (a)에서 푸른색으로 표기된 P3HT:PCBM 광흡수층에 존재하는 전기장 세기의 공간분포가 유기태양전지 전체의 광흡수량을 결정한다. 그림 4 (b)는 spacer 두께 변화에 따른 Poynting vector의 공간변화를 계산한 결과이다. 광파워가 공기층에서 Al 전극으로 진행함에 따라 광흡수를 겪게 되므로 광파워 자체는 감소하게 된다. 또한, spacer 층의 두께 변화에 따라 유기태양전지 총 반사율이 변하므로 유기태양전지로 투과되는 광세기가 달라진다.

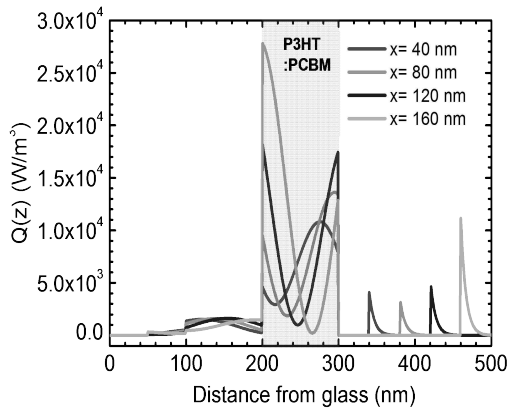


그림 5. spacer 두께 변화에 따른 optical power dissipation $Q(z)$ 계산결과

그림 5는 두께 변화에 따른 optical power dissipation 계산결과이다. spacer층의 두께 변화에 따라 유기태양전지 광흡수의 공간분포가 뚜렷하게 달라진다. P3HT:PCBM 광흡수층에서 optical power dissipation의 공간분포가 진동하는 모습을 보이는 이유도 유기태양전지 내부에서 전방진행 및 후방진행 전기장 사이의 간섭 때문이다. P3HT:PCBM 광흡수층을 지나서 Al 금속전극의 경계면에서 지수적으로 감소하는 광흡수 분포를 보이는 것은 금속의 skin depth 현상 때문이다. 그림 5에서는

spacer의 두께가 160nm일 때, 유기태양전지의 광흡수량이 최대가 된다.

4. 결 론

다층박막 광학모델에서 mixed coherent-incoherent system에 적용 가능한 일반화된 전달행렬 방법의 이론적인 전개와 이를 활용하여 유기태양전지 내부의 광흡수특성을 이론적으로 계산해 보았다. 실제 제작되는 박막형 태양전지의 경우 박막성장에 필요한 두꺼운 기판이 필수적이므로 비가간섭 층에 대한 광학 모델링은 매우 중요하다. 본 원고에서 소개한 일반화된 전달행렬방법은 2×2 행렬만으로 mixed coherent-incoherent system의 광학적인 특성을 빠르고 정확하게 모델링할 수 있는 장점이 있으며, 향후 박막형 태양전지 뿐만 아니라 OLED, LED 광학 모델링 분야에서도 많은 적용이 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, and E. D. Dunlop, "Solar cell efficiency tables (version 39)," Prog. Photovolt. Res. Appl., vol. 20, no. 1, pp. 12-20, 2012.
- [2] P. Peumans, A. Yakimov, and S. R. Forrest, "Small molecular weight organic thin-film photodetectors and solar cells," J. Appl. Phys., vol. 93, no. 7, pp. 3693-3723, 2003.
- [3] L. A. A. Pettersson, L. S. Roman, and O. Inganaes, "Modeling photocurrent action spectra of photovoltaic devices based on organic thin films," J. Appl. Phys., vol. 86, no. 11, pp. 487-496, 1999.
- [4] A. Donges, "The coherence length of black-body radiation," Eur. J. Phys., vol. 19, no. 3 pp. 245-249, 1998.
- [5] C. L. Mitsas and D. I. Siapkas, "Generalized matrix method for analysis of coherent and incoherent reflectance and transmittance of multilayer structures with rough surfaces, interfaces, and finite substrates," Appl. Opt., vol. 34, no. 10, pp. 1678-1683, 1995.
- [6] C. C. Katsidis and D. I. Siapkas, "General transfer-matrix method for optical multilayer systems with coherent, partially coherent, and incoherent interference," Appl. Opt., vol. 41, no. 19, pp. 3978-3987, 2002.
- [7] E. Centurioni, "Generalized matrix method for calculation of internal light energy flux in mixed coherent and incoherent multilayers," Appl. Opt., vol. 44, no. 35, pp. 7532-7539, 2005.
- [8] J. Kim, S.-Y. Jung, and I.-K. Jeong, "Optical modeling for polarization-dependent optical power dissipation of thin-film

- organic solar cells at oblique incidence,” J. Opt. Soc. Kor., vol. 16, no. 1, pp. 6-12, 2012.
- [9] S. Lee, I. Jeong, H. P. Kim, S. Y. Hwang, T. J. Kim, Y. D. Kim, J. Jang, and J. Kim, “Effect of incidence angle and polarization on the optimized layer structure of organic solar cells,” Sol. Energy Mater. Sol. Cells, vol. 118, no. 1, pp. 9-17, 2013.
- [10] B. E. A. Saleh and M. C. Teich, Fundamentals of Photonics, 2nd Edition., Wiley, New Jersey, USA, 2007, Chap. 5.
- [11] S. Jung, K.-Y. Kim, Y.-I. Lee, J.-H. Youn, H.-T. Moon, J. Jang, and J. Kim, “Optical modeling and analysis of organic solar cells with coherent multilayers and incoherent glass substrate using generalized transfer matrix method,” Jpn. J. Appl. Phys., vol. 50, no. 12, 122301-1-122301-8, 2011.
- [12] K. Kang, S. Lee, and J. Kim, “Effect of an incoherent glass substrate on the absorption efficiency of organic solar cells at oblique incidence analyzed by the transfer matrix method with a glass factor”, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 52, no. 5, 052301-1-052301-7, 2013.

◇ 저 자 소 개 ◇



김정호 (Jungho Kim)

1998년 2월 서울대학교 전기공학부 졸업.
2000년 2월 서울대학교 대학원 전기공학부 졸업(석사). 2006년 5월 University of Illinois at Urbana-Champaign Department of Electrical and Computer Engineering 졸업(박사). 2006년 6월 ~ 2008년 7월 독일 베를린 공대 박사후 연구원. 2008년 9월 ~ 현재 경희대학교 정보디스플레이학과 부교수 재직.
주관심 분야 : OLED/solar cell 광학모델링, 양자점 광소자, 광전자소자