

Moth Eye の可視光反射抑制効果の FDTD 解析によるシミュレーション 株式会社 科学技術研究所 科学技術部 (<http://www.kagiken.co.jp>)

1. 解析概要 太陽電池は、半導体の実装基板を並べただけでは、太陽光の 3 割程度しかエネルギーが取り込めない。7 割が失われる要因は、エネルギー取り出し効率と、太陽光が半導体内部に透過せず反射する問題が挙げられる。

反射の問題は従来、反射防止膜を利用し、ある程度解消している。この方法は製造工程が複雑で、広波長帯をカバーしきれず一部の波長のエネルギーを利用できないデメリットがある。

基板表面にナノ構造を加工し、この問題を解決する方法が研究されてきた。その代表的な成果が Moth Eye (蛾の目) と呼ばれる構造である。

この文書では電磁波解析ソフト KeyFDTD で Moth Eye 構造の可視光帯域反射率を定量化し、構造に関して検討した結果を示す。

2. 解析条件 解析領域は $200 \times 200 \times 3000$ [nm] とし、厚み 900 [nm] のシリコンに高さ 100, 300, 600 [nm] の円錐形構造を加えた表面形状及び構造がない表面に波長 350~750 [nm] の平面波が垂直入射する条件で解析した。

メッシュ間隔を各方向について 5 [nm] とし、形状再現に十分な空間解像度を確保した。

構造表面の平面に垂直な解析領域端部の境界条件を周期境界条件 (Fig.1) とすることで、この構造が無限に平面的に分布している状態を模擬した。

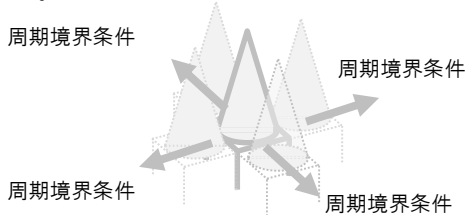


Fig.1 Periodic Boundary Conditions

またシリコンの複素誘電率は KeyFDTD の .nk ファイルインポート機能を利用し波長分散を考慮した。使用した物性値は以下の通りである。

Table1. Wave length dependent complex refractive Index for silicon

波長 [nm]	屈折率 n	消衰係数 k
350	5.518	2.878
450	4.645	0.092
550	4.074	0.028
650	3.841	0.013
750	3.722	0.006

3. 解析結果 Moth Eye 構造がない場合は、表 1 の複素屈折率 ($N=n-jk$) を (eq.1) に代入し光学理論式に基づき反射率 R が求められる。

$$R = \left| \frac{N-1}{N+1} \right|^2 \quad (\text{eq.1})$$

電磁波解析結果の入射波と反射波がなす定在波における尾根と谷の電界強度を (eq.2) に代入して反射率 R を求める。構造がない場合は光学理論式から求められた値とほぼ一致し、解析が精度よく行われていることが確認できた。

$$R = \left| \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \right|^2 \quad (\text{eq.2})$$

$h=100, 300, 600$ の場合も、 $h=0$ と同様に (eq.2) を用いて反射率 R を求めた。その結果を Fig.2 に示す。

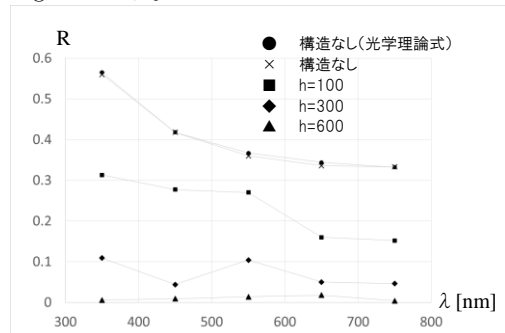


Fig.2 Spectral reflectance for moth eye structure ($h=0, 100, 300, 600$)

またそれぞれの構造について電磁波解析を行った際に得られた時間平均された電界強度分布を以下に示す。

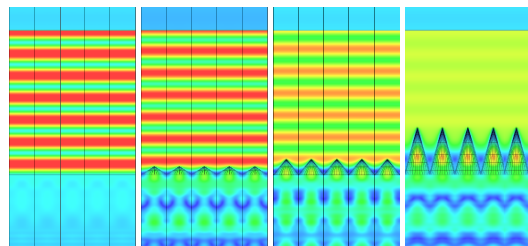


Fig.3 Distribution of electrical fields for vicinity of moth eye structure

4. まとめ 電磁波解析ソフト KeyFDTD を用いて可視光の反射防止構造として用いられる moth eye の性能シミュレーションを行い良好な結果が得られた。可視光領域の構造を持つ素材の反射透過率の予測に本ソフトウェアが活用できることが確認できた。