

表面にフォトニック結晶を形成した $\mu\text{c-Si}$ 太陽電池の理論解析(II) -感度解析法による構造最適化検討-

Numerical analysis of $\mu\text{c-Si}$ solar cells with photonic crystals formed on top surface (II) -Structural optimization by sensitivity analysis-

°川本洋輔^{1,2}, 田中良典¹, 石崎賢司¹, De Zoysa Menaka^{1,3}, 野田進¹

(1. 京大院工, 2. 学振特別研究員 DC, 3. 京大白眉)

°Y. Kawamoto^{1,2}, Y. Tanaka¹, K. Ishizaki¹, M. De Zoysa^{1,3} and S. Noda¹

(1. Kyoto Univ., 2. JSPS Research Fellow, 3. Kyoto Univ. Hakubi Center)

E-mail: kawamoto@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

我々は、薄膜微結晶 Si($\mu\text{c-Si}$)太陽電池の光吸収量、特に Si の電子バンド端に近い波長 600-1000 nm の波長帯域の光吸収量を、フォトニック結晶(PC)のバンド端効果により増大させ、光電変換効率を向上させることを検討してきた¹⁾。これまで、極薄 $\mu\text{c-Si}$ 層厚 (~500 nm)の太陽電池により、変換効率~9%を実現することに成功している²⁾。さらに、より厚膜の $\mu\text{c-Si}$ 層をもつ太陽電池において、 $\mu\text{c-Si}$ 層内の欠陥生成を抑制しつつ、PC 構造を導入するべく、前回、平坦な基板上に $\mu\text{c-Si}$ を成膜した後、上面に PC を形成するという手法を提案した。 $\mu\text{c-Si}$ 厚を 2 μm と設定した構造において理論的検討を行った結果、ランバシアンテクスチャでの短絡電流密度を上回る 29.8 mA/cm^2 が得られた⁴⁾。さらに今回、電極における寄生吸収も含めた太陽電池構造の最適化を行った結果、31 mA/cm^2 を超えることも示した⁵⁾。本発表では、さらに高い電流値を実現する構造を検討すべく、新たに、PC 構造をもつ太陽電池表面に対して感度解析法を適用し、その結果に応じて当該位置の高さを変化させる手法を用いて設計を行った結果について報告する。

感度解析法を利用すると、構造の微小変化に対する光吸収量を解析することが可能である。これまで、PC の面内形状について中間の誘電率を許容しつつ、その最適化を検討した⁶⁾が、今回は厚さ方向の形状について構造設計を行った。具体的には、面内のある座標(x,y)に対する Si 層の高さを設計パラメータとし、その誘電体の上面における感度 (誘電体の高さの変化に対する Si 層の光吸収量の変化割合)を計算し、その結果を基に誘電体の高さを変化させることで設計を行った。

解析モデルとして、図 1 に示すような平坦な基板上に $\mu\text{c-Si}$ 厚 2 μm を有する構造を検討した。ITO 厚 70 nm、p 層厚 10 nm、n 層厚 30 nm、GZO 厚 100 nm と設定した。PC 構造として、格子定数 $a=800$ nm、半径 $0.4a$ 、高さ 700 nm の円柱を初期パターンとし、先述の手法を用いて構造最適化を行った。入射光として中心波長 900 nm のパルスを用い、裏面電極は平坦とし、銀の光吸収を考慮して、FDTD 法を用いて最適化計算を 100 回繰り返し行った結果、Si 層のパルス吸収率変化は図 2 のようになり、同図中に示すような構造が得られた。そして、100 ステップ目の構造について、i 層のみの光吸収スペクトル(図 3)から見積もられる短絡電流密度を計算すると 31.8 mA/cm^2 と求められ、この値は前回報告した値を 2.0 mA/cm^2 上回ることがわかった。なお、本研究の一部は CREST および科研費による支援を受けた。[参考文献] 1)Y. Tanaka, et al., *Opt. Exp.*, **21**, 20111 (2013). 2)石崎他 2015 春応物 12p-C2-5. 3) Y. Tanaka, et al., *Prog. Photovoltaics* (DOI: 10.1002/pip.2577) (2015). 4)川本他 2015 春応物 13a-A10-11. 5)田中他 本応物. 6)Y. Kawamoto, et.al., *Opt. Exp.*, (in press) (2015).

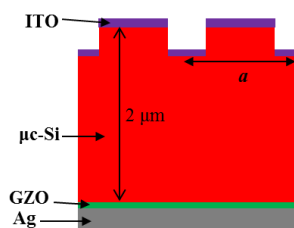


Fig.1 Analytical model

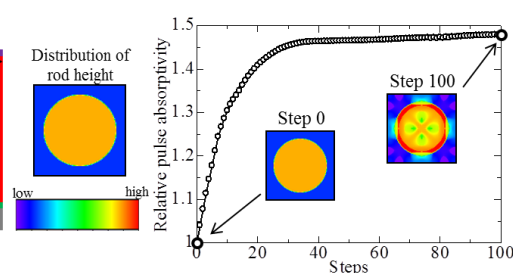


Fig.2 Pulse absorptivity

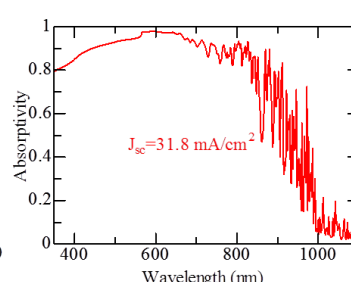


Fig.3 Si absorptivity of Step 100 structure