

光トラップ効率増大に向けたフォトニック結晶構造の検討

(A) フォトニック超格子構造とトポロジー最適化に基づくアプローチ

Enhancing Light-Trapping by Photonic Superlattice and Sensitivity Analysis for Topology Optimization

京大院工, [○]川本洋輔, 田中良典, Ardavan Oskooi, 石崎賢司, De Zoysa Menaka, 浅野卓, 野田進
Kyoto Univ., [○]Y. Kawamoto, Y. Tanaka, A. Oskooi, K. Ishizaki, M. De Zoysa, T. Asano and S. Noda

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

我々は、フォトニック結晶(PC)のバンド端効果を利用して光起電力素子の光電変換効率を向上させることを検討している¹⁻³⁾。これまでに、理論面からの検討により、光吸収材料の吸収係数と、バンド端モード・外部入射光間の結合とを整合することで、バンド端波長における光吸収を増大できることを示し、さらにバンド端を複数生成するため、厚さ方向の高次モードの利用、フォトニック超格子構造の導入を検討してきた。その結果、太陽光スペクトルで重みづけした、波長 500-1000 nm の範囲の光吸収率が、PC のない構造から、向上しうることを示してきた³⁾。今回、さらに、感度解析法を用いたトポロジー最適化法を利用することで、吸収量のさらなる増大について、検討したので報告する。

解析に用いた初期構造 (フォトニック超格子構造³⁾) を図 1 に示す。透明基板上的透明導電膜に PC 構造をもつ Si 光吸収材料(厚さ 400 nm)、透明導電膜、金属電極を積層した構造である。感度解析法においては、設計空間において誘電率が変化した際の、目的関数の変化量が比較的簡単な計算で求めることができる。ここで、光吸収材料に吸収されるパワーを目的関数 F とし、設計変数 p_i として、PC を刻む面内のある点 i の誘電率が $\epsilon_i = \epsilon_{\min} + p_i(\epsilon_{\max} - \epsilon_{\min})$ となるように設定する。感度解析法により dF/dp_i を計算することにより、点 i の誘電率変化に対する光吸収材料に吸収されるパワー F の変化割合を求めることができ、光吸収を増大させるための誘電率変化の検討が可能になる。

図 1 に示す 4x4 超格子構造に、中心波長 900 nm、半値全幅 300 nm のパルスを入射した場合の dF/dp_i の空間分布の計算を行った結果、図 2(a) に示す結果が得られた。同図において、 $dF/dp_i > 0$ (赤色)であれば、その点の誘電率を増やす、 $dF/dp_i < 0$ (青色)であればその点の誘電率を減らすと、 F が大きくなるということを意味する。この結果を基に、構造の 4 回対称性を維持しつつ、 F が大きくなる構造として、図 2(a)中に示すロッドを内側にシフトした図 2(b)に示す構造を考えた。本構造に対し、同様にパルスを入射した際の dF/dp_i の結果を基に、図 2(b)に示す位置に低誘電率ロッドを付加した、図 2(c)のような構造を考えた。図 2 の(a)および(c)に示した構造に対して、光吸収スペクトルを計算した結果を図 3 に示す。同図には PC なしの構造の場合、および基本周期を有する PC 構造を用いた場合の光吸収スペクトルも併せて示している。同図より、最適化前の構造と比較して全吸収量が増加していることがわかる。太陽光スペクトルで重みづけをした光吸収率を計算すると、図 2(c)の構造では 62.0% となり、PC 構造のない場合での吸収率 32.3% に比べて、2 倍近い光吸収の増大が実現出来た。図 2(c)の結果は、さらなる最適化の可能性を示唆しており、今後さらに構造変調を進めていくことにより、より吸収率の高い構造が得られるものと期待される。詳細は当日報告する。なお本研究の一部は CREST による支援を受けた。[参考文献] 1)重田他 2011 年春応物 27a-KA-11. 2) 田中他 2012 年春応物 15p-E5-16. 3) 田中他 2012 年秋応物 13p-B1-15.

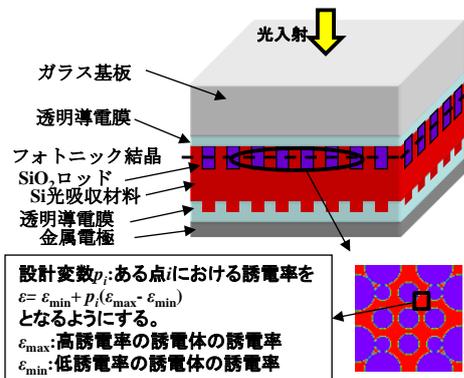


図 1: 解析モデル

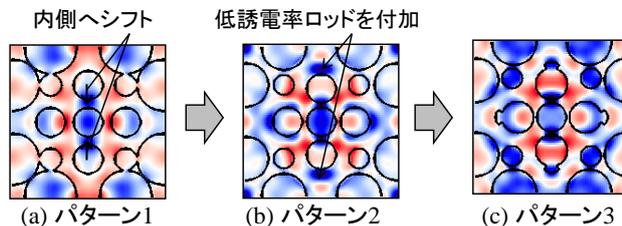
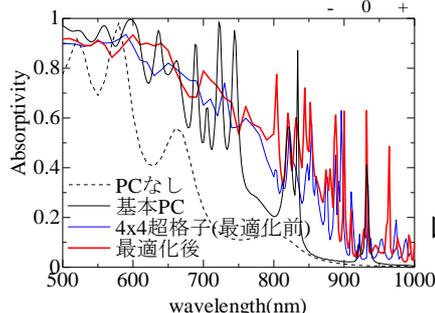
図 2: dF/dp_i の空間分布

図 3: 光吸収スペクトル