

課題名 (タイトル) :

ランダムフォトリック結晶レーザのモード特性解析

利用者氏名 : 武田 征士

理研での所属研究室名 : 和光研究所 基幹研究所 緑川レーザー物理工学研究室

報告内容

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

フォトリック結晶の持つ屈折率の周期性にランダムな構造揺らぎを与えた **Disordered Photonic Crystal** (もしくは「ランダムフォトリック結晶」)は、バンドギャップのカットオフ周波数位置の乱れによる **Slow Bloch Mode (SBM)**の多重散乱を促すことで、アンダーソン局在を誘起することが知られている。同構造は、局在モードを利用した新たな光共振器概念の創出につながる新構造として注目を集めている。本構造の共振器としてのより高い性能、即ち高い **Q 値 (Quality factor)** と小さなモード体積を実現するための要求は、構造の微視的な (**short-range** での) 周期性を保ちつつ、巨視的な (**long-range** での) ランダム性を与えることである。従来は、フォトリック結晶の格子点 (空孔) の位置や径に対して、互いの格子点同士で無相関にランダムな揺らぎを与えていたため、揺らぎの導入につれて容易に結晶性が喪失することでバンドギャップが潰れ、多重散乱の低下につながるという問題があった。本研究では、隣接する格子点同士の揺らぎ量が相関を持つような新たなデザインを提案し、構造の持つ光学モード特性および、レーザ利得を導入した際の発振モード特性を調査した。有限差分時間領域 (**FDTD: Finite-Difference Time-Domain**) 法を用いた比較的規模の大きな計算が必要となることから、**RICC** を利用している。

2. 具体的な利用内容、計算方法

2つの空孔の位置から、僅かな揺らぎを与えた基本格子ベクトルにより次の空孔の位置を決定するという手法を漸次的に繰り返すことで、構造全体のホール位置を決定した (図1参照)。

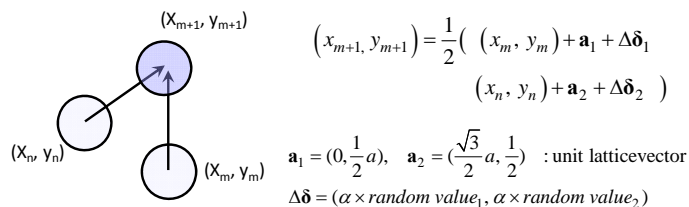


図1. 新構造のランダムフォトリック結晶における空孔位置の決定手法

2次元 **FDTD** 法により、本構造のインパルス応答を解析することで、様々な揺らぎ量での構造内における **long-lived modes** の周波数スペクトル、各モードの **Q 値** および空間プロファイルを取得した。さらにマクスウェル方程式に4準位系レート方程式およびローレンツ振動子モデルを組み合わせることで、レーザ利得を導入し、励起光強度を変えながらそのレーザ発振特性 (発振スペクトル、発光ピーク強度、モードプロファイルなど) を調査した。

3. 結果

揺らぎの導入につれて、バンド端 **SBM** が局在し、**Q/V** 比 (**Q 値** とモード体積の比) が向上する様子が確認された。適度な量の揺らぎのもとでは、揺らぎを入れない構造と比べて4倍程度高い **Q/V** 比が確認された。また、従来の揺らぎ導入手法による構造と比較した際、**Q/V** 比が部分的に向上する様子が確認された。また、レーザ利得を導入し、励起光強度を変えながら構造を励起すると、典型的なレーザ発振の閾値動作が確認された。発振周波数および空間プロファイルが、利得を導入していない場合の局在モードのものと一致していたことから、アンダーソン局在モードが疑似的なレーザ共振器として機能している様子が確認された。

4. まとめ

2次元 **FDTD** 計算により、新構造のランダムフォトリック結晶レーザを提案し、従来手法と比べた場合の

光閉じ込め効率における優位性を示した。

5. 今後の計画・展望

本構造では、ある揺らぎの量に対して複数通りの構造を作製し、計算結果の統計的優位性を示す必要がある。今後は構造のパターン数を増やして同様の計算を繰り返す。さらに3次元計算により、スラブ平面内のモードと垂直方向の放射モードとの結合による放射損失の影響も考慮する必要がある。

6. RICC の継続利用を希望の場合は、これまで利用した状況（どの程度研究が進んだか、研究においてどこまで計算出来て、何が出来ていないか）や、継続して利用する際に行う具体的な内容

項目 5 に示した通り。

7. 一般利用で演算時間を使い切れなかった理由

本研究は簡易利用である。

8. 利用研究成果が無かった場合の理由

利用研究成果を国際会議において発表したが、Abstract 内には理研が記載されていない（発表 PPT では謝辞に記載）。これは、利用申請したのが8月であったため、学会投稿時点（6月）ではまだ理研の所属（客員研究員）ではなかったからである。

平成 23 年度 RICC 利用研究成果リスト

【国際会議、学会などでの口頭発表】

Seiji Takeda, Romain Peretti, Pierre Viktorovitch, Minoru Obara

“Anderson localized modes in two-dimensional random photonic crystal lasers with glassy perturbation”,
Photonic West, OPTO, 8269-15, San Francisco, U.S.A., January 2012.

以上