

課題名(タイトル):

空気モードナノビーム共振器の構造最適化

利用者氏名: 町屋 秀憲

理研における所属研究室名: 加藤ナノ量子フォトニクス研究室

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

空気モードナノビーム共振器は電界強度が空気穴で最大化する1次元フォトニック結晶微小共振器で、空気中を架橋するカーボンナノチューブの発光を効率よく取り込むことができる[1]。この共振器の Q 値の向上はシリコンフォトニクス上の単一カーボンナノチューブレザーの実現に向けて重要な課題である。

本課題では、10 万を超えるような超高 Q 値のフォトニック結晶共振器の設計指針を探った他、カーボンナノチューブと電場のオーバーラップが向上するような構造の最適化を行った。

2. 具体的な利用内容、計算方法

フォトニック結晶のシミュレーションには FDTD 法を用いた。オープンソースソフトウェアである Meep[2, 3]をスーパーコンピュータ上でコンパイルし、C++、Python による計算プログラムを作成した。

3. 結果

まず、Meep を利用するため依存するライブラリ類を一通りコンパイルし、研究室のコンピュータで行っていたシミュレーションの再現性を確認した。当初 C++のライブラリ関数を呼び出していたが、最近 Python インターフェイスの開発の方が盛んであることを踏まえ、年度の後半は Python でのシミュレーションに移行した。Python に移行したことによる極端な性能劣化はなかった。

FDTD 法では時間ステップごとに隣り合うピクセルのデータを読みに行くため、極端に大規模な並列化には向いていないが、解像度の高い比較的サイズの大きな問題では 1 ノード 20 コア程度までスケールリングが確認できた。実行速度は、10 通りほどの設計パラメータを並列で走らせることで、研究室内で行った場合と比べて数十倍早くなった。メモリ帯域に敏感であるため、複数ノードでのシミュレーションを行っても性能は向上しなかった。

4. まとめ

オープンソースの FDTD シミュレーションプログラムである Meep を利用してフォトニック結晶共振器の設計を行った。

5. 今後の計画・展望

これまでにシミュレーションで 10^6 を超えるような超高 Q 値を得ることに成功しており、実験結果と相互にフィードバックをかけることで、Q 値の向上に取り組み、最終的にはレーザー発振を目指す。

また、異なる対称性や偏光のモードを調べ、より架橋カーボンナノチューブとの空間的なオーバーラップが良い共振器の設計を行う。

6. 参考文献

- [1] R. Miura, S. Imamura, R. Ohta, A. Ishii, X. Liu, T. Shimada, S. Iwamoto, Y. Arakawa, Y. K. Kato, Nat. Commun. 5, 5580 (2014).
- [2] A.F. Oskooi, D. Roundy, M. Ibanescu, P. Bermel, J.D. Joannopoulos, and S.G. Johnson, MEEP: A flexible free-software package for electromagnetic simulations by the FDTD method, Comput. Phys. Commun. 181, 687 (2010).
- [3] <https://github.com/NanoComp/meep>

平成 30 年度 利用研究成果リスト

【ポスター発表】

- [1] H. Machiya, T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato, “Spectral tuning of optical coupling between air-mode nanobeam cavities and individual carbon nanotubes”, *7th Workshop on Nanotube Optics and Nanospectroscopy (WONTON18)*, Hakone, Japan (July 11, 2018).