

課題名(タイトル):

カーボンナノチューブ単一光子源に用いるフォトニック結晶共振器モードの計算

利用者氏名: 山下 大喜

理研における所属研究室名: 光量子工学研究センター 量子オプトエレクトロニクス研究

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

我々は、フォトニック結晶を用いたカーボンナノチューブ単一光子源モジュールの研究開発を行っている。本研究では、カーボンナノチューブからの発光を、フォトニック結晶共振器を用いて増強し、さらに、効率よく導波路に結合させることが重要である。Q 値(共振器の閉じ込め強さの指標)を高く保ちつつ、共振器から高効率に導波路へ光を取り出せる構造を、電磁界分布シミュレーションを使って探索・最適化することが重要となる。

2. 具体的な利用内容、計算方法

本計算には時間領域差分(FDTD)法を用いた。この手法は、電磁界現象の基礎方程式であるマクスウェル方程式を差分化(Finite Difference)して、時間領域(Time Domain)で解く手法である。計算においては3次元構造を細かいセルに分けた上で、そのセル毎に微小時間発展を計算する必要があり、その計算量は膨大になるが、スーパーコンピュータを用いることで高速並列計算が可能である。

FDTD 計算にはオープンソースソフトウェアであるMEEP[1,2]を用いた。本年度は主に1次元空気モードナノビーム共振器に対して、電磁界計算を行った。

3. 結果

まず、様々な構造パラメータに対して電磁界分布計算を行い、共振器の共振波長や Q 値、モード体積の関係性を調べた。次に、共振器の光閉じ込めが徐々に弱くなるように構造パラメータを変化させ、導波路へ効率よく光を取り出せる条件を調べた。その結果、特定の構造パラメータ範囲において、最低限必要とされる300程度のQ値を維持しつつ、導波路へ90%以上結合できる条件がわかった。さらに、導波路端面から放出される光の検出効率を上げるために、導波路端でのスポットサイズを大きくするような構造についても計算を行った。

4. まとめ

FDTD 法を用いてフォトニック結晶共振器の電磁界分布計算を行った。所望の Q 値を保ちつつ、共振器から高効率に導波路へ光を取り出せる構造を探索した。その結果、特定の構造パラメータ範囲において、最低限必要とされる300程度のQ値を維持しつつ、導波路へ90%以上結合できる条件がわかった。

5. 今後の計画・展望

今後も実際のデバイス作製・共振器特性の評価と計算によるフィードバックのサイクルを効率よく回すことで目的に応じたデバイス構造の最適化を行っていく。

6. 参考文献

- [1] 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).
- [2] <https://github.com/NanoComp/meep>

2019年度 利用研究成果リスト

【ポスター発表】

[1] 山下大喜, 町屋秀憲, 石井晃博, 加藤雄一郎 “High extraction efficiency of cavity-enhanced light emission from individual carbon nanotubes”, 理研シンポジウム第7回「光量子工学研究」(2019年12月9日)

[2] 山下大喜, 町屋秀憲, 石井晃博, 加藤雄一郎 “Single photon emission from air-suspended carbon nanotubes”, 理研東北大学連携ワークショップ(2019年10月23日)