

課題名 (タイトル) :

プラズモニック・バンドギャップ・レーザーの開発

利用者氏名 : 岡本 隆之

所属 : 和光研究所 基幹研究所 河田ナノフォトニクス研究室

1. 背景と目的

プラズモニクス (表面プラズモン工学) は近年ナノフォトニクスにおいて急速に発展している分野である。我々はプラズモニック結晶と呼ばれる構造を用いてレーザーの発振の実現を目指している。プラズモニック結晶とは金や銀などの貴金属の表面に 2 次元の周期的な表面凹凸格子を設けた構造である。これらの貴金属表面には表面プラズモンと呼ばれる表面電磁波の存在が許される。プラズモニック結晶では格子によるブラッグ回折のためその伝搬が禁止されるエネルギー領域が存在する。このエネルギー領域はプラズモニック・バンドギャップと呼ばれる。これらの名称はフォトニック結晶から来ている。レーザー発振を実現するためには、金属に由来する損失の問題を解決する必要がある。そのため、プラズモニック結晶の分散関係ならびに、表面プラズモンと伝搬光の結合特性を明らかにし、その光学的性質を理解する必要がある。

2. 具体的な利用内容、計算方法

プラズモニック結晶において表面プラズモンと伝搬光との結合特性を求めるためには、プラズモニック結晶に平面波を入射し、その吸収率を求めればよい。吸収率が結合係数に対応する。さらに、この吸収率を入射光のエネルギーと波数の接線成分からなる 2 次元空間にマッピングすることでプラズモニック結晶の分散関係が得られる。本課題では、これを厳密結合波解析 (RCWA: Rigorous Coupled Wave Analysis) と呼ばれる方法を用いて計算する。

3. 結果

RCWA で最も計算量を要するのは複素非対称行列の固有値および固有ベクトルを求める部分であり、計算時間の大部分を占める。この行列のサイズは計算に取り込む回折次数の 4 乗に比例するため、非常に大きな行列となる。そのため RSCC では 1 ノードあたりのメモリ容量が小さくその行列を収めることが出来なかった。その結果、行列を分散して格納しなければならない。

この行列に対して、固有値・固有ベクトルの計算を始め種々の計算を施すために、分散メモリ用の線形計算ルーチンである ScaLapack を用いて実装を行った。その結果、計算は行えるようになったが、実行時間が長くなり、上記の解析を実行することは不可能だった。青山幸也氏と相談し、ScaLapack は用いずに、同時に使用する行列の数を少なくする方向でコードの改良を行った。実際にコードを書き直して下さったのは青山氏である。その後、RICC でプログラムを実行し、ほぼ所望の結果が得られるようになった。

4. まとめ

厳密結合波解析法を RICC に実装した。本プログラムは 2 次元周期凹凸構造に対する平面波の反射率および透過率を計算するものである。その結果、x, y 方向共に ±30 次間での回折次数を考慮した計算が可能になった。本パラメーターを用いた計算で 1 コアあたり 1 ノード 8 コア分のメモリ (9600 MBytes) と計算時間 6 時間を要した。これは簡易利用の限界である。

5. 今後の計画・展望

現在、得られた結果の解釈を進めている段階であり、近日中に論文投稿を行う予定である。

6. 継続利用に関して

本課題で開発した RCWA 法はプラズモニック・バンドギャップ・レーザーの開発だけでなく、様々なプラズモニック結晶の解析にも適用できる。平成 22 年度は本解析法を様々な用途、例えば、長広帯域プラズモニックアンテナや超高感度バイオセンサーなどのための解析を行いたい。そのため、課題名を「2 次元プラズモニック結晶の光学特性」と変更して新たに利用申請を行う。

7. 利用研究成果が無い理由

計算結果は得られたが、その解釈が未了であり、年度内の論文投稿に至っていないためである。

