

課題名 (タイトル) :

プラズモニック・メタマテリアルの電磁気学的解析

利用者氏名 : 田中 拓男

理研での所属研究室名 : 和光研究所 基幹研究所 田中メタマテリアル研究室

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

我々は、光の波長より小さい金属微小アンテナをアレイ状に 3 次元的に配列させることで、物質の誘電率や透磁率などの電磁気学的 (光学的) 特性を人工的に操作できるメタマテリアルの研究を進めている。このメタマテリアルは、負の屈折率物質や光の周波数域で磁性を持つ物質といった「自然界には存在し得ない特性」を持つ物質を人工的に作り出す技術として、基礎科学的な興味だけに留まらず、新奇な光学素子の実現を目指した幅広い範囲において注目を集めている研究分野である。このメタマテリアルの構造設計やその電磁気学的特性の評価、またその加工法として我々が開発した 2 光子還元法や自己組織化法の特性評価においては、3 次元的空間内での光波の強度分布や位相を精密に計算する必要がある、その計算規模は大きなものとなる。今年度も引き続き、本研究テーマを実行するために必要となる電磁場計算を行う目的で RICC を利用した。

2. 具体的な利用内容、計算方法

シリコン基板表面に幅 80nm、高さ $1 \mu\text{m}$ の金属フィンを集積化した構造に光を照射した場合の、巨視的な電磁気学特性の変化を RCWA 法を主に利用して計算した。さらに、金属フィンの幅と高さを変化させ、共振周波数への影響を調べた。

また、直径 20nm の金ナノ粒子を生体分子で自己組織的に接続したリング構造体の電磁気学的特性について、Discrete Dipole Approximation (DDA) 法と Finite Element Method (FEM) 法を用いて、その透過、反射、吸収特性等を計算した。実験で得られた金ナノ粒子 3 量体リング構造の透過スペクトルと計算結果を比較することによって、この構造体のもつプラズモン特性について詳細に検討した。

3. 結果

金属ナノフィンの構造体の電磁気学的特性については、フィンの幅と高さ、構造の周期に依存した表面プラズモンのバンドギャップ特性が明らかになった。計算結果より、この金属ナノフィン構造体の共振周波数が、遠赤外～中赤外域において制御可能であることがわかったので、現在この構造体を有機物のセンサーへ応用するための設計を行っている。

金ナノ粒子 3 量体リング構造については、光波の入射角と偏光状態を変化させて計算した透過スペクトルが、実験で得られた透過スペクトルとよい一致を示した。金属のナノ構造に帰因するプラズモニック特性を実験と計算の両方で見いだすことに成功し、この構造体をメタマテリアルへ応用するために重要な知見を得ることができた。

4. 今後の計画・展望

今後も引き続きこれらの計算機シミュレーションを行う予定である。特に、メタマテリアルの光学的な特性を評価するためには、ナノメートルスケールの構造体をミリメートル以上の大規模なスケールで高効率に数値解析する必要がある。そのため、継続して計算プログラムの最適化を行い、ナノスケールの構造が作り出す、光機能の解明を目指す。

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】

- Takuo Tanaka, "Self-organized assembly of metal nanostructures for three-dimensional metamaterials," 2012 Taiwan-Japan Nanophotonics and Plasmonic Metamaterials Workshop (National Taiwan Univ., Taipei, Taiwan) (2012.1.12) (2012).
- Takuo Tanaka, "Three-dimensional plasmonic metamaterials," International Symposium on Advanced Nanodevices and Nanotechnology 2011 (Maui, Hawaii, USA) (2011.12.4) (2011).
- Takuo Tanaka, "Plasmonic metamaterials," 2011 KOREA-JAPAN International Seminar - Ultra-Precision Technology for IR Optic System and Metamaterials (Jeju National University, Jeju, Korea) (2011.11.4) (2011).
- Takuo Tanaka, "Plasmonic Metamaterials," RIKEN-Kazan Federal University Joint Symposium (RIKEN, Wako, Japan) (2011.10.14) (2011).
- Takuo Tanaka and Kanna Aoki, "Magnetic assembly of three-dimensional metamaterials," Magnetism and Optics Research International Symposium 2011 (Nijmegen, The Netherlands) (2011.6.22) (2011).
- Takuo Tanaka, "Towards three-dimensional metamaterials," The 10th Sweden-Japan Workshop on Quantum Nanophysics and Nanoelectronics (QNANO) (Visby, Sweden) (2011.6.15) (2011).
- Takuo Tanaka, Wanaka Kubo, Shigenori Fujikawa, Mari Koizumi, and Akiko Taino, "Gold nano-fin array for far-infrared enhancement," The 5th International Conference on Surface Plasmon Photonics (Busan, Korea) (2011.5.17) (2011).
- Wanaka Kubo, Takuo Tanaka, and Shigenori Fujikawa, "Au Double Nanopillars with Nanogap for Plasmonic Sensor," The 5th International Conference on Surface Plasmon Photonics (Busan, Korea) (2011.5.17) (2011).
- 田中拓男, "プラズモニック・メタマテリアル," 日本オプトメカトロニクス協会セミナー 基礎からよく分かる「ナノ領域の光学」入門 (機会振興会館, 東京) (2012.2.17) (2012).
- 田中拓男, "メタマテリアル," 公益社団法人化学工学会 エレクトロニクス部会 シンポジウム (京都大学桂キャンパス) (2011.9.5) (2011).
- 田中拓男, 久保若奈, 藤川茂紀, 小泉真理, "テラヘルツ波増強のための金ナノフィンアレイ構造," 第72回応用物理学会技術講演会 (山形大学, 山形), p. (2011.8.30) (2011).