

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

所属 : 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という疑似光学物質に関する研究を進めている。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においては、3次元空間内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

1 μm 以下の薄膜構造でありながら、広い周波数帯域の光を完全に吸収する、広帯域完全黒体を実現するために、金属微細構造に励起される局在モード表面プラズモン共鳴を利用する手法を考案し、この構造の設計を数値計算により行った。

シリコン基板の表面に透明バッファ層を挟んで、金ロッドを周期的に集積化した構造に光を照射した場合の光反射特性を厳密結合波解析法(RCWA法)を利用して計算した。金ロッドの幅、長さ、高さ、配列周期、さらに、金ロッドとシリコン基板との間のバッファ層の膜厚などを変化させながら、金ロッドアレイに励起される表面プラズモン共鳴のQ値や共鳴周波数ならびに共鳴周波数付近での光反射率とその電場分布の変化を調べた。

3. 結果

金ロッドの形状については、幅1 μm 、長さ5 μm を基準値とし、幅、長さを変化させて、その変化を見た。その結果、ロッドのアスペクト比(長さ/幅比)に応じて、赤外光領域に表面プラズモン共鳴波長が存在することを確認した。また、透明バッファ層の膜厚を適当に調整すると、金ロッドアレイからの散乱光の位相とシリコン基板表面からの直接反射光の位相がちょうど逆位相となって、反射光が消滅し、全ての光が完全に構造体に吸収される波長帯域が生まれることを確認した。

この現象は、純粋なシリコン基板よりも、導電性を持たせた不純物を高濃度にドーブした導電性シリコン基板で顕著となることを見出した。電場分布を調べて見ると、この現象は、導電性シリコン基板表面の電荷移動により、装荷した金ロッド構造の鏡像がシリコン基板内部に生成され、これらにちょうど逆位相の電荷分布が生成されることによって、金ロッド構造からの散乱光と、鏡像からの散乱光が干渉して起こっている現象であることを確認した。

4. 今後の展望

今後も引き続きメタマテリアルならびにプラズモニックデバイスの構造設計ならびに特性評価のための計算機シミュレーションを行っていく予定である。いずれの研究テーマにおいても、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、計算機資源を最大限有効に活用できるように、計算プログラムの最適化を行いながら研究を進めてゆく。

平成 25 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】

- Atsushi Ishikawa and Takuo Tanaka, "Plasmon Hybridization in Graphene Metamaterials," SPIE Optics+Photonics (SanDiego Converntion Center, SanDiego, USA) (2013/8/25) (2013).
- Atsushi Ishikawa and Takuo Tanaka, "Terahertz Plasmonic Responses in Graphene Hybridized Systems," The 10th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim(CLEO/PR) (Kyoto International Conference Center, Japan) (2013/6/30) (2013).
- Takuo Tanaka, "Plasmonic metal nanoparticles and metamaterials," The 3rd Japan-Korea Metamaterials Forum (Seoul, Korea) (2013.6.27) (2013).
- Wakana Kubo and Takuo Tanaka, "Thin organic solar cell with plasmonic materials," The 3rd Japan-Korea Metamaterials Forum (Seoul, Korea) (2013.6.27) (2013).
- Wakana Kubo, Shigenori Fujikawa, and Takuo Tanaka, "Large-scale Fabrication of Nanostructures with Metals and Metal Oxides," The 7th International Conference on the Science and Technology for Advance Ceramics (STAC7) (Mielpargie-Yokohama, Yokohama, Kanagawa, JAPAN) (2013.6.19) (2013).
- Takuo Tanaka, "Self-organized assembly towards 3D active metamaterials," 6th International Conference on Surface Plasmon Photonics (SPP6) (Ottawa, Canada) (2013.5.26) (2013).
- Atsushi Ishikawa and Takuo Tanaka, "Magnetic Plasmon Resonances in Structured Graphene at Terahertz Frequencies," 6th International Conference on Surface Plasmon Photonics (SPP6) (Ottawa, Canada) (2013.5.26) (2013).
- Wakana KUBO and Takuo TANAKA, "Thin Organic Solar Cell with Gold Nanopillar Arrays," 6th International Conference on Surface Plasmon Photonics (SPP6) (Ottawa, Canada) (2013.5.26) (2013).
- Yukie Yokota and Takuo Tanaka, "Plasmonic Resonances of Gold Curvilinear Nanorod Arrays," 6th International Conference on Surface Plasmon Photonics (SPP6) (Ottawa, Canada) (2013.5.26) (2013).
- Ahmed Abumazwed, Wakana Kubo, Takao Tanaka, Andrew G. Kirk, "Modeling and fabrication of gold nanopillars by nanoimprint lithography," 6th International Conference on Surface Plasmon Photonics (SPP6) (Ottawa, Canada) (2013.5.26) (2013).
- Takuo Tanaka, "DNA-templating technique for optical metamaterials," The 7th International Conference on Nanophotonics(ICNP) (HongKong Polytechnic University, China) (2013.5.22) (2013).
- Wakana Kubo and Takuo Tanaka, "Large-scale Fabrication of Plasmonic Nanostructures Toward Practical Device," The 7th International Conference on Nanophotonics(ICNP) (HongKong Polytechnic University, China) (2013.5.21) (2013).
- 田中拓男, "光メタマテリアル," ニューガラスフォーラム 第4回ガラス科学技術研究会 (板橋区立東板橋体育館) (2014.2.20) (2014).
- 田中拓男, "光メタマテリアル," 電子情報通信学会超高速エレクトロニクス研究会 (理研, 和光, 埼玉) (2013.12.11) (2013).
- 田中拓男, "光メタマテリアル," 日本電子 第14回高機能膜フォーラム (東京大学, 東京) (2013.10.18) (2013).
- 田中拓男, "メタマテリアルとその応用," 「新しい光科学の創成とナノ情報デバイスへの展開」研究会 (東北大, 仙台, 宮城県) (2013.10.15) (2013).
- 田中拓男, "光メタマテリアルと金属ナノ微粒子," 応用物理学会応用電子物性分科会研究例会 「テラヘ

平成 25 年度 RICC 利用報告書

ルツ波・光波の人工微細構造による制御と応用」(秋葉原, 東京) 19, 4, pp. 103-107 (2013. 10. 1) (2013).

- 久保若奈, 田中拓男, “銀三日月構造体を含む有機薄膜太陽電池の偏光依存性と分光感度特性,” 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会 (同志社大学, 京都) (2013. 9. 16) (2013).
- Che Chin Chen, Atsushi Ishikawa, Takuo Tanaka, Yu-Hsiang Tang, Ming-Hua Shiao, and Din Pin Tasi, “Three-dimensional Split-Ring Resonators for Isotropic Magnetic Metamaterials,” 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会 OSA Joint Meeting (同志社大学, 京都) (2013. 9. 18) (2013).
- Takuo Tanaka, “Surface plasmon assisted IR transmission switching on Au nano-particles embedded V02 thin film,” 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会 OSA Joint Meeting (同志社大学, 京都) (2013. 9. 18) (2013).
- Yukie Yokota and Takuo Tanaka, “Plasmon Coupling between Gold Curvilinear Nanorods and Straight Nanorods at Different Distances,” 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会 OSA Joint Meeting (同志社大学, 京都) (2013. 9. 16) (2013).
- 田中拓男, “会議報告 (Surface Plasmon Photonics),” メタマテリアル第 187 委員会 第 3 回研究会 (東北大東京分室, 東京) (2013. 8. 9) (2013).
- 田中拓男, “光メタマテリアルー物理と化学の接点,” 第 4 回プラズモニク化学シンポジウム (東工大田町キャンパス, 東京) (2013/6/14) (2013).
- 桶屋 雄太, 秋本 由佳, 野島 達也, 小村 元憲, 彌田 智一, 田中 拓男, 遠藤 政幸, 杉山 弘, “DNA origami を足場とする金ナノ粒子の配列制御,” 第 62 回高分子学会年次大会 (2013. 5. 31) (2013).
- 田中拓男, “光メタマテリアルを目指して,” 日本学術振興会第 130 委員会 (森戸記念館) (2013. 5. 15) (2013).
- 田中拓男, “光メタマテリアルの作り方〜あり得ない材料を目指して,” 丸文財団特別公開シンポジウム フォトニクス・エレクトロニクス融合の最先端 最先端を走る研究者が語る (東京大学先端科学技術研究センター, 東京) (2013. 5. 9) (2013).