

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 : 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 光子還元法の特性評価においては、3 次元的空间内での電磁場（主に光波）の強度分布や位相を精密に計算する必要があり、その計算規模は大きなものとなる。そこで、必要とされる数値計算を実行して研究を推進するために、RICC を利用している。

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  $\mu$  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。照射する光は、可視光から THz 波までの広い周波数範囲を仮定し、金属の誘電分散も全波長域で考慮して計算を実行した。

3. 結果

計算はまだ進行中であるが、作製した金ナノフィンアレイ構造に起因する金属の誘電率の変化と、表面プラズモンライクな表面波が遠赤外の波長領域においても金属表面に励起可能である事を見出した。また、周期構造に起因するバンドギャップが表面プラズモンの分

散カーブに現れている事を確認した。

4. 今後の計画・展望

現在、この結果を基に、ナノフィンアレイの周期を変化させたもの、ナノフィンアレイの下に金属薄膜を配置した構造、ナノフィンの材料を金以外の銀、クロム、アルミニウムに変えたモデルについて計算を進めると共に、2 次元的なフィン構造を拡張し、3 次元的なナノ構造体の電磁気学特性を評価するために、3 次元 RCWA プログラムの開発と最適化を行っている。また、計算結果から、実験において実際に作製する金属凹凸構造の最適化・簡略化を行い、それを実際に作製して計算結果との比較を行う準備を進めている。

計算結果を用いた実験パラメータの最適化は有効かつ強力で必須のツールであり、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、メタマテリアルの電磁気学的な評価では、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数値解析する必要があり、RICC クラスの計算能力が必須である。これからも継続して大規模な計算モデルへ適応可能なプログラムの改良を行い、ナノスケールの構造が作り出す、マクロスコピックな光機能の解明を目指す。

## 平成21年度 RICC 利用研究成果リスト

### 【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

- Yao-Yu Cao, Nobuyuki Takeyasu, Takuo Tanaka, Xuan-Ming Duan, and Satoshi Kawata, "3D Metallic Nano-Structure Fabrication By Surfactant-Assisted Multi-Photon-Induced Reduction," *Small* **5**, pp. 1144-1148 (2009).
- Yao-Yu Cao, Xian-Zi Dong, Nobuyuki Takeyasu, Takuo Tanaka, Zhen-Sheng Zhao, Xuan-Ming Duan, and Satoshi Kawata, "Morphology and Size Dependences of Silver Microstructures on Fatty Salts-Assisted Multiphoton Photoreduction Microfabrication," *Applied Physics A* **96**, pp. 453-458 (2009).

### 【国際会議、学会などでの口頭発表】

- Takuo Tanaka, "Plasmonic metamaterials: their properties, fabrication technique, and applications," RIKEN-Lund-Harverd Joint Symposium (理研, 和光キャンパス, Japan) (2009.11.17) (2009).
- Takuo Tanaka, "Plasmonic Metamaterials," Japan-America Frontiers of Engineering Symposium (UC Irvine, US, US) (2009.11.9) (2009).
- Takuo Tanaka, "Two-photon fabrication of three-dimensional metal structures for isotropic metamaterials," The 4th International Symposium on Integrated Molecular/Materials Engineering (Sichuan Univ. Chengdu, China), p. 19 (2009.10.27) (2009).
- Takuo Tanaka, "Plasmonic metamaterials - their applications and fabrication techniques," SJTU-RIKEN Symposium on Nano Materials and Technology (Shanghai, China), p. 10 (2009.10.23) (2009).
- Takuo Tanaka, Takanobu Higuchi, Tetsuro Koga, and Ayumi Mitsumori, "Plasmonic three-dimensional optical disk with ten recording layers," International Symposium on Optical Memory 2009 (Nagasaki Brick Hall, Nagasaki, Japan), pp. 232-233 (2009.10.8) (2009).
- Takuo Tanaka, "Nano-scale fabrication technique of three-dimensional metal structures for plasmonic metamaterials," SPIE International Symposium on NanoScience+Engineering (SanDiego Convention Center, SanDiego, U.S.A.), p. 60 (2009.8.2) (2009).
- Nobuyuki Takeyasu, Takuo Tanaka, and Satoshi Kawata, "Enhancement of spatial resolution with high sensitive photo-initiators in two-photon induced polymerization," SPIE International Symposium on NanoScience+Engineering (SanDiego, USA), p. 61 (2009.8.3) (2009).
- Takuo Tanaka, "Magnetic Metamaterials and Their Fabrication Technique," Magnetism and Optics Research International Symposium for New Storage Technology (MORIS 2009) (Awaji Yumebutai, Hyogo, JAPAN), pp. 20-21 (2009.6.16) (2009).
- Satoshi Kawata, \*Takuo Tanaka, and Nobuyuki Takeyasu (\*:Speaker), "Two-photon Fabrication of Three-dimensional Metamaterials," The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) and The International Quantum Electronics Conference (IQEC) 2009 (Baltimore, Maryland, USA) (2009.6.4) (2009).
- Takuo Tanaka, "Plasmonic metamaterials and their fabrication technique," RIKEN-A\*Star Joint Symposium (A\*Star, Singapore, Singapore) (2009.5.18) (2009).
- Takuo Tanaka, "Two-photon Fabrication Technique for Three-dimensional Metamaterials," Nanophotonics and Meta-Materials 2009 (National Taiwan University, Taipei, Taiwan) (2009.4.29)

(2009).

- Takuo Tanaka, "Plasmonic Metamaterials," Chinese Academy of Science Seminar (Beijin, China, China) (2009.3.25) (2009).
- Takuo Tanaka, "Two-photon-induced Nano-scale Fabrication Technique of Three-dimensional Metallic Structures for Plasmonic Metamaterials," Progress in Electromagnetics Research Symposium 2009 (PIERS 2009 in Beijing) (Beijin, China, China) (2009.3.24) (2009).
- Nobuyuki Takeyasu, Takuo Tanaka, and Satoshi Kawata, "Multi-photon induced polymerization for three-dimensional metal/polymer fine strucutres," Progress in Electromagnetics Research Symposium 2009 (PIERS 2009 in Beijing) (Beijin, China, China) (2009.3.25) (2009).

