

課題名(タイトル):

## プラズモニックナノ構造の光学特性の解析

利用者氏名: 岡本 隆之

理研における所属研究室名: 石橋極微デバイス工学研究室

## 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

金属ナノ構造に光を照射すると、その中に含まれる自由電子は光の電場により集団的に振動する。この振動の強さは光の周波数に依存し、特定の周波数で共鳴(表面プラズモン共鳴)を起こす。共鳴周波数は金属ナノ構造や周囲の誘電体の形状および誘電率に強く依存する。本課題の目的は種々の金属ナノ構造の光学特性を数値計算により解析することである。

## 2. 具体的な利用内容、計算方法

昨年度までに開発を行なった有限差分時間領域法(FDTD法)を用いた。プログラムはMPIおよびOpenMPを用いたハイブリッド並列化がなされている。また、周期構造で斜入射条件が必要な場合は厳密結合波解析(RCWA)法を用いた。

## 3. 結果

微粒子分散薄膜の光学特性の解析を行った。放射冷却を実現する薄膜として、シリカ微粒子をランダムに分散したポリメチルペンテン(TPX)薄膜が提案されている[Zhai et al. Science 355, 1062 (2017)]。FDTD法を用いてこの薄膜の光学特性(反射率、透過率、および吸収率)の計算を試みた。1つのモデルとして、直径  $8\ \mu\text{m}$  のシリカ球を分散した厚さは  $50\ \mu\text{m}$  のTPXを考えた。シリカ球の体積占有率は6%とした。TPXの複素誘電率は分光エリプソメトリによって求めた。TPXの誘電率は赤外域では波長に対して大きく変動する。この誘電率を表すためにLorentzモデルにおける振動子の数を自由に設定できるようにプログラムを改良し、7つのLorentz振動子でTPXの誘電率を表した。計算する薄膜の面積は  $100 \times 100\ \mu\text{m}^2$  とし、周期境界条件を適用した。計算の結果、波長  $5\text{--}25\ \mu\text{m}$  の領域では実験値とよく一致する結果が得られた(図1a参照)。しかし、波長  $5\ \mu\text{m}$  以下では透過スペクトルや吸収スペクトルに細かい干渉縞が重

畳し、その極大や極小も  $0\text{--}1$  の範囲を超える値となった(図1b参照)。この理由として、波長  $5\ \mu\text{m}$  以下ではシリカ粒子、TPX薄膜共に吸収が小さく、一度、粒子によって散乱された光波は薄膜を導波路として長時間閉じ込められるためであると考えられる。干渉縞が生じる理由は、FDTDでは入射光はコヒーレント光として扱われるためである。

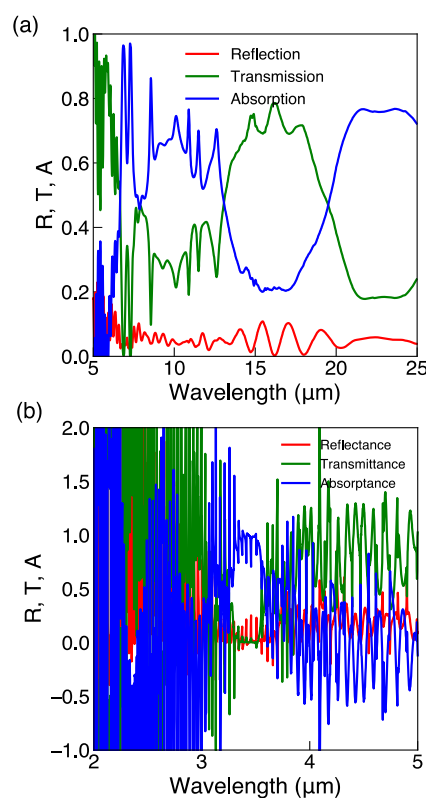


図1, FDTD 計算の結果。

## 4. まとめ

FDTD法で微粒子を分散した薄膜の光学特性を計算した。波長  $5\ \mu\text{m}$  より長波長では実験値と一致した結果が得られたが、媒質の吸収の小さい短波長側では実験値と著しく異なる結果となった。

## 5. 今後の計画・展望

FDTD法ではうまく計算できなかった微粒子をランダムに分散した薄膜の光学特性を得る方法として、モンテカルロ法を用いた計算法を新たに開発し、実際の系に適用する予定である。

## 2019年度 利用報告書

### 2019年度 利用研究成果リスト

#### 【雑誌に受理された論文】

N. Ebizuka, T. Okamoto, M. Takeda, T. Hosobata, Y. Yamagata, M. Sasaki, I. Tanaka, T. Hattori, S. Ozaki, and W. Aoki, “Novel gratings for astronomical observation,” *CEAS Space Journal* **12**, 3-14 (2020).

T. Sannomiya, A. Konečná, T. Matsukata, Z. Thollar, T. Okamoto, and J. García de Abajo, F. Javier, and N. Yamamoto, “Cathodoluminescence phase extraction of the coupling between nanoparticles and surface plasmons polaritons,” *Nano Lett.* **20**, 592-598 (2020).

#### 【口頭発表】

T. Sannomiya, T. Matsukata, C. Wadell, N. Matthaiakakis, T. Okamoto, and N. Yamamoto, “Interference imaging of plasmonic nanoparticles to extract phase by cathodoluminescence scanning transmission electron microscopy,” The 9th International Conference on Surface Plasmon Photonics, Copenhagen, Denmark, May 30 (2019).

S. Matsushita, M. Mita, R. Watanabe, T. Okamoto, T. Isobe, and A. Nakajima, “Plasmonic characteristics of metal-dielectric nanostructures fabricated via simple bottom-up process,” The 9th International Conference on Surface Plasmon Photonics, Kobe, Japan, November 13 (2019).

三宮工, Andrea Konecna, 松方妙子, ソーラザック, 岡本隆之, F. Javier Garcia de Abajo, 山本直紀, “SPPと結合した銀粒子のカソードルミネセンス位相マッピング,” 第67回応用物理学会春季学術講演会, 東京, 3月12-15日 (2020).

渡邊理恵, 春本高志, 史蹟, 岡本隆之, 磯部敏宏, 中島章, 松下祥子, “金/マグネタイト/金ナノ構造によるプラズモン挙動の検討,” 日本化学会第100春季年会, 野田, 3月22-25日(2020).

#### 【ポスター発表】

M. Mita, T. Okamoto, T. Isobe, A. Nakajima, and S. Matsushita, “MIM structures with Platinum fabricated with a bottom-up process and their optical properties,” The 9th International Conference on Surface Plasmon Photonics, Kobe, Japan, November 12 (2019).

#### 【その他(著書、プレスリリースなど)】

岡本隆之(分担執筆), 日本化学会編「プラズモンと光圧が導くナノ物質科学 ナノ空間に閉じこめられた光で物質を制御する」, (化学同人, 東京, 2019).