



<研究紹介・自己紹介>

研究項目 A02 計画研究力

「プラズモン共鳴型光波メタマテリアル表面の創製技術の開発」

研究分担者 岡本敏弘（徳島大学）

研究項目 A02：計画研究力「プラズモン共鳴型光波メタマテリアル表面の創製技術の開発」で分担研究をさせていただいている徳島大学の岡本敏弘です。

自己紹介・研究内容紹介をさせていただきます。

私は、徳島大学工学部の福井萬壽夫教授の研究室で卒業研究を始めてから、プラズモニクス分野で研究を行ってきました。配属当時の研究室では、全反射減衰(Attenuated Total Reflection:ATR)配置における表面プラズモンポラリトン (Surface Plasmon Polariton:SP) 励起による共鳴信号を利用して、金属の真空蒸着膜成長時の複素誘電率の評価や、金属蒸着膜の表面凹凸評価、屈折率のほぼ等しい誘電体で挟まれた金属薄膜の長距離伝搬型 SP に関する研究など、伝搬型 SP の原理検証、伝搬型 SP を用いた物性計測が行われていました。福井先生から、「SP 励起可能な金属+光カー材料（光強度に依存して屈折率を変える材料）で生じる光双安定・光スイッチ現象に関する研究を新しく始めようかと思うがやってみないか？」と勧められて興味を持ち、卒研テーマを決めました。それ以来、私の研究の根底には、いつもこのテーマがあります。

学生時代は、光カー材料の薄膜を含む ATR 配置で生じる非線形光学応答の計算機シミュレーションや、有機三次非線形光学材料のポリジアセチレンを用いた光双安定・光スイッチ現象の実験等を行い、徳島大学工学部光応用工学科の助手になってからは金属障害物における伝搬型 SP の反射実験なども行いました。2000年頃から、局在型表面プラズモン (Localized SP:LSP) に興味を持ち、金属微粒子と光カー材料を組み合わせれば、ナノ微粒子 1 個でも非線形応答を示す光デバイスができるのでは？と考えるようになりました。学生時代に行っていたシミュレーション手法を応用し、Mie 散乱理論に光カー効果を導入することで、光カー材料を含むコアシェル微小球の非線形光学応答のシミュレーションが可能になりました。予想通り、特定の条件下で光双安定・光スイッチ現象が生じるという結果を得ることができました。その後、研究は実験に推移していきました。光カー材料をコートした金属ナノ微粒子の作製、電界増強効果の高い金属ナノ微粒子の作製、単一ナノ微粒子の非線形光学特性評価手法の構

築などを、研究室の学生達と試行錯誤しながら進めてきました。そうして何とか、逆ミセル法で CdS コート銀ナノ微粒子が作れるようになり、また数 10nm 程度の大きさのたった 1 個の微粒子で、散乱光強度の非線形応答を観測できるようになりました。[1] 最近では、プラズモン導波路の研究や、北海道大の三澤弘明教授のグループで作製していただいた、KTP 基板上的数 nm ギャップを持つ金ナノダイマーを利用した局所 SHG についての研究も行っています。

メタマテリアルについて知ったのは 2005 年です。多くの先生方と共同で申請していた科研費のテーマが SPP からメタマテリアルに変わったのがきっかけです。その時福井グループ担当の申請書類の一部を私も書きましたが、当時理解が不十分で的外れな内容を書いていたかもしれません。その後、銀の分割リング共振器 (Split Ring Resonator: SRR) 構造の電磁界特性の FDTD シミュレーションを行ってみたところ、SRR で LC 共振が起きることや、ギャップで高い電界増強効果が生じていることが確認され、SRR が非常に魅力的な構造であることを実感しました。またその頃、研究室の学生が、大学共用設備の集束イオンビーム (Focusing Ion Beam: FIB) 加工機で、1 個の孤立した直径 200nm 程度の 2 分割 SRR を作ってくれました。可視波長域で LC 共振を示す SRR は以外と簡単に手に入るのかも？そう思って本格的に研究を始めようとした矢先、共用設備の FIB 加工機が故障し復旧する目処が立たなくなってしまいました。他の研究施設の装置を借りたりもしましたが、なかなか思うような SRR が作れず、FIB 加工では可視波長域で LC 共振動作を示す SRR を実現するのは無理だと判断し、別の方法を検討することにしました。結局、ポリスチレン球をマスクとして金属蒸着とドライエッチング処理で金属ナノ構造を作る微小球リソグラフィ (Nano-Sphere lithography: NSL) 法にたどり着きました。幸いにも、研究室には反応性イオンエッチング (Reactive Ion Etching: RIE) 装置があり、

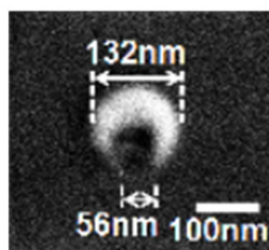


Fig.1 銀分割リング構造の電子顕微鏡像

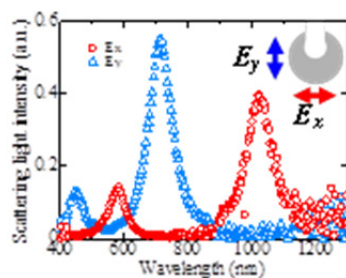


Fig.2 銀分割リング構造単体の散乱光スペクトル測定結果



全作製工程を研究室内で行うことができます。直径 100nm 程度の銀 SRR をガラス基板上に作ることができ、1 個の SRR による散乱スペクトル測定から、波長約 1 μ m で LC 共振に由来する散乱ピークが生じることを実験で示しました。

(Fig.1,2 [2]) その後 SRR サイズの小型化が進み、今では、約 730nm の LC 共振波長を持つ SRR の作製に成功しています。

さて、本新学術領域研究では、迫田班の方々と協力して「プラズモン共鳴型光波メタマテリアル表面の創製技術の開発」を進めて参ります。研究対象の反射型メタ表面は、波長よりも小さい幅の金属の溝が高密度に集積された表面で、線形のみならず非線形光学応答にも特異な現象が生じると期待される興味深い構造です。物質・材料研究機構のチームによって非常に高い精度で作られたこの構造の光学特性を、可視-近赤外波長域に渡り様々な手法で評価するのが私の仕事になります。どのような結果が出てくるか楽しみです。

参考文献 :

[1] T. Okamoto et al., *Appl. Phys. Express* 1(6), 062003 (2008)

[2] T. Okamoto et al., *Opt. Express* 19, 7069 (2011)