



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on plasmonic-photonic hybrid systems for efficient excitation of nonlinear phenomena [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	任, 芳
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11300号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55756
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Fang_Ren_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 任 芳

審査担当者 主 査 教 授 笹木 敬司
副 査 特任教授 末宗 幾夫
副 査 教 授 竹内 繁樹
副 査 准教授 藤原 英樹

学位論文題名

Study on plasmonic-photonic hybrid systems for efficient excitation of nonlinear phenomena
(非線形現象の高効率励起に向けたプラズモニック-フォトリックハイブリッドシステムの研究)

金属ナノ構造中に誘起される局在表面プラズモン (LSPs) は、回折限界を越えるナノスケールの領域に光を集中でき、光—物質間の相互作用を増強する事が可能であるため、近年、盛んに研究が行われている。このため、光センサーや表面増強ラマン分光、2光子励起蛍光 (TPF)、第二高調波発生 (SHG) 等の様々な分野において応用が試みられている。特にここ 10 年間、ナノサイズの新しい光源として表面プラズモンを利用した増強非線形現象に関する研究が盛んに報告されている。しかしながら、金属ナノ構造は一般的に数十～100nm 程度のサイズを持つため、伝搬光と金属ナノ構造間には大きなサイズミスマッチが存在し、効率よく伝搬光を金属ナノ構造に集光する事は困難となる。この結果、非線形現象の観測のためには、一般的に高ピーク強度を持つパルスレーザー励起が採用されている。

このため、プラズモンナノ構造体の利点を非線形現象に利用するためには、単一金属ナノ構造への光集光効率を改善する必要がある。このような目的に対して本研究では、2種類のプラズモニック—フォトリックハイブリッドシステムを提案し、これらのシステムを利用して弱い強度の CW レーザー励起による非線形現象 (TPF,SHG) の観測を行った。

まず一つ目のシステムとして、金コートチップとテーパファイバ結合微小球共振器のより構成されたプラズモニック—フォトリックハイブリッドシステムを提案した。実験結果から、テーパファイバ結合微小球共振器を利用する事により、金コートチップ先端のナノ領域に高いカップリング効率 (~93%) で光を集光する事に成功した。金コートチップにおける効率的な LSPs の発生を実験的に検証するため、弱 CW 励起条件下における SHG の観測に成功した。さらに、同じシステムを用いて、金コートチップに修飾した pseudocyanine(PIC) 色素分子からの TPF の観測も行った。これらの結果は、テーパファイバ結合微小球共振器の光閉じ込め効果と、金コートチップの光アンテナ効果の相乗効果により、チップ先端のナノスケールの領域に光を集光し、効率的な光—物質間相互作用が誘起されていることを示唆している。

しかし、超高 Q 値の微小球共振器は、テーパファイバ中の伝搬光を高効率に単一金属構造へ集光することを可能にするものの、そのハイブリッドシステムの構成は複雑で、実験的なアライメントの困難さを生ずる。そこで、私は2つ目のシステムとして、テーパファイバと金コートチップで構成されたシンプルなテーパファイバに基づくプラズモニック—フォトリックハイブリッドシステムを提案した。テーパファイバは小さな断面積をもつため、金コートチップ先端への光集光を容易

にする。このため、このハイブリッドシステムを用い、弱 CW 励起条件下において、金コートチップ上に修飾した PIC 分子からの TPF の観測に成功した。

本研究により、伝搬光から単一金属ナノ構造への高効率な光集光を実現し、金属ナノ構造中における強い光—物質間相互作用を実現するため、プラズモニックおよびフォトニック構造の両方の利点を利用した、異なる 2 つのプラズモニック—フォトニックハイブリッドシステムを提案した。また、その検証のため、提案したシステムで誘起される非線形現象の観測を試み、弱 CW 励起条件下 ($\sim \text{kW/cm}^2$) において TPF や SHG 等の観測に成功した。これらの結果は、金属ナノ構造中の LSPs を利用した単一光子源や、プラズモンセンサー、集積プラズモン光回路等への応用に対する重要なツールあるいは知見を与えると期待している。

これを要するに、著者は、金属ナノ構造中のプラズモン場の高効率励起に向けて、新規なプラズモニック—フォトニックハイブリッドシステムの提案を行い、その実験的検証として当システムを用いた弱 CW 励起条件下における非線形現象 (二光子励起蛍光と第二高調波発生) の観測に成功した。金属ナノ構造の光アンテナ効果と共振器構造の光閉じ込め効果の相乗効果により、伝搬光をナノスケールの領域に高効率に集光可能である事を示し、プラズモン光学および共振器光学の分野の進展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。