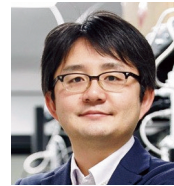


長距離プラズモン-分子リモートカップリングによる光増強分光法

基礎工学研究科 システム創成専攻

教授 南川 丈夫

Researchmap <https://researchmap.jp/takeominamikawa>



研究の概要

従来、金属ナノ粒子中に発生する電子の集団振動（プラズモン）と測定分子は、10 nm 以下の極近距離にないと強い相互作用が発生しないと考えられてきた。本研究では、銀ナノ粒子の表面にシリカ柱状構造を形成することで、金属と分子が100 nm 以上離れていても光信号を大幅に増強できる「リモートプラズミック光増強現象」を世界で初めて実証した。この現象は蛍光分光やラマン分光に適用可能であり、従来より $10^2 \sim 10^7$ オーダーの高い検出感度を実現する。さらに、測定分子が金属と直接接しない構造であるため、金属触媒作用による分子変性や基板の劣化を回避し、高い化学安定性と機械的耐久性を兼ね備えた分子分光計測が可能となる。

研究の背景と結果

プラズモニクスは、金属ナノ構造における電子の集団振動であるプラズモンと光との相互作用を利用した技術で、分子分析やバイオセンシングなどにおいて高い感度を実現するための重要な手法として注目されている。しかし、従来のプラズモニクスを活用した分子センシング法では、測定分子と金属表面が10 nm 以下という極めて近い距離に存在しなければ、プラズモンによる光増強効果は得られないと考えられてきた。これは、プラズモンの発生源である金属と測定分子が接触する必要があることを意味する。この性質により、金属ナノ構造と分子の直接接触による測定分子の変性、金属ナノ構造自体の変性などの化学的な安定性の低下や、機械的な堅牢性の欠如などが引き起こされる。

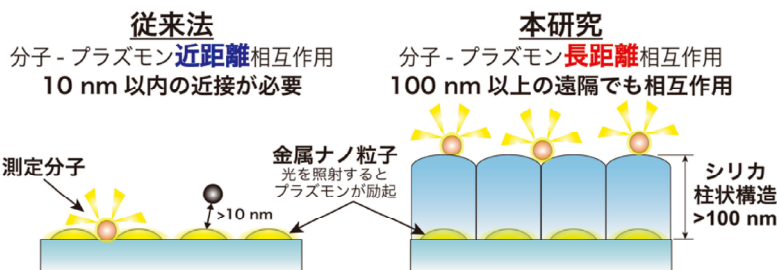
これらが、プラズモンによる超高感度分子センシングの実用化における大きな障壁となっていた。

そこで本研究では、銀ナノ粒子の上にシリカ柱状構造を形成することで、分子とプラズモンの相互作用を100 nm 以上の長距離でも発生させることができることを世界で初めて実証し、分子が金属に直接接触しなくても光信号が著しく増強されることを明らかにした。この現象を、光を用いた分子検出法の一つであるラマン分光法に適用すると従来の最大 10^7 倍、また蛍光分光法に適用すると従来の最大 10^2 倍の検出能を持つ超高感度な分子検出が可能であることを示した。

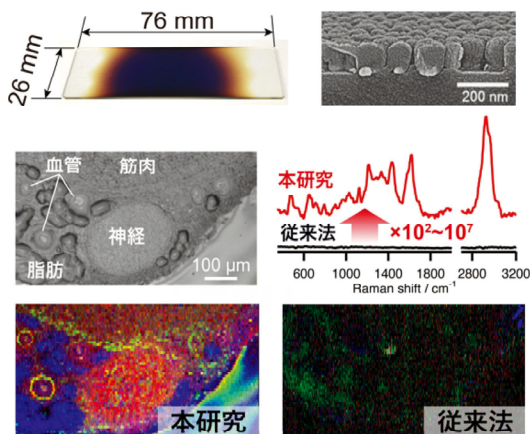
また、シリカ柱状構造層が金属ナノ粒子の保護層としても機能するため、化学的安定性と機械的堅牢性を兼ね備えた、長期間にわたる実用性の高い基板が実現された。この技術は、環境センシング、バイオセンシング、臨床診断などを含む幅広い分野での応用が期待される。

研究の意義と将来展望

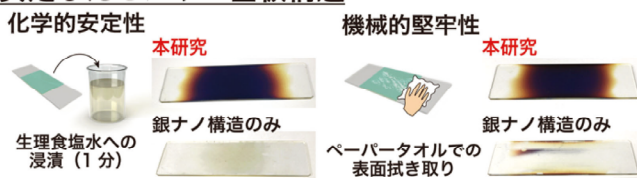
本成果は、基礎科学と応用技術の両面で重要な意義を持つ。学術的意義として、100 nm を超えるプラズモン-分子の長距離相互作用を実験的に示し、光と物質の相互作用に新たな理解を与えるものである。これは、従来理論の相互作用距離の制限を超える「リモートプラズモニクス」という新概念の確立に向けた端緒となる。応用的意義としては、高信頼性・長寿命の光増強型センシング技術を提供し、従来困難であった腐食性試料や生体試料の高感度測定を可能にする。今後は、環境計測や材料評価、医療診断など産業界・医療分野への応用展開が期待される。



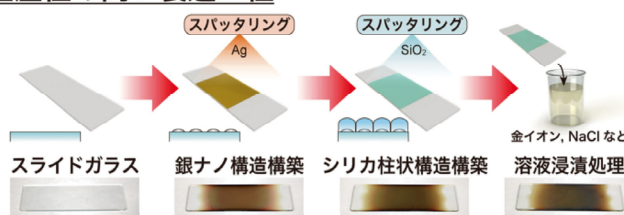
高感度な分子検出能



安定したセンサー基板構造



生産性の高い製造工程



特許

論文

Minamikawa, Takeo; Sakaguchi, Reiko; Harada, Yoshinori et al. Long-range enhancement for fluorescence and Raman spectroscopy using Ag nanoislands protected with column-structured silica overlayer. Light: Science & Applications. 2024, 13, 299. doi: 10.1038/s41377-024-01655-3

参考URL

<https://www.molecular-photonics.com/j/>

キーワード

プラズモン、分子センシング、バイオセンシング、ラマン分光法、蛍光分光法