

すり鉢型プラズモニックナノポアのプラズモン特性

Plasmonic properties of inverted cone shaped plasmonic nanopores

九大先導研¹, 阪大産研², JST さきがけ³°(M2)松田 倫太郎¹, 筒井 真楠², 有馬 祐介¹, 谷口 正輝², 玉田 薫¹, 龍崎 奏^{1,3*}Kyushu Univ.¹, Osaka Univ.², JST PRESTO³(M2) Rintaro Matsuda¹, Makusu Tsutsui², Yusuke Arima¹, Masateru Taniguchi², Kaoru Tamada¹,
Sou Ryuzaki^{1,3*}

*E-mail: ryuzaki@ms.ifoc.kyushu-u.ac.jp

プラズモニックナノポアデバイスは、ナノポア内部に発生するプラズモン増強電場を用いることで、ナノポアを通過する検体から表面増強ラマン散乱光 (SERS) を検出できることが期待されるデバイスである。しかしながら、検体からの散乱光強度が弱いと、ナノポアを通過する検体からの増強ラマン散乱光の検出に成功した例はない。そのため、検体から十分なラマン散乱光を得るために、プラズモン共鳴によって可能な限り散乱光を増強させることが課題である。

SERS においてラマン散乱光の増強度を上げる代表的な手法としては、集光効果と形状効果がある。励起光とラマン散乱光はプラズモン共鳴を示すナノ構造体近傍のみで増強されるため、より強い増強ラマン散乱光を得るためには入射光をナノ構造体に集光させることが重要である。ナノ構造体においては、そのエッジ部において鋭利な構造ほど強い増強電場が発生することが知られており、例えば、プローブ顕微鏡で用いられるチップを用いることで、1 分子から得られる散乱光の増強度 (Enhancement Factor : EF) が $10^{10} \sim 10^{14}$ 倍であることが知られている。

本研究では、その構造上これらの効果が両方期待されるすり鉢型ナノポア構造の光学特性を Finite-Difference Time-Domain (FDTD) シミュレーションを用いて評価することで、プラズモニックナノポア構造の最適化をすることを目的とした。

FDTD シミュレーションでは、実際の構造作製の観点から Si の上に厚さ 100 nm の Au をコートした直径 100 nm のナノポア構造をモデリングし、主にすり鉢構造底部におけるエッジ部のプラズモニック特性 (増強電場) の角度 (θ) 依存性を評価した (図 1)。その結果、 $\theta = 0 \sim 60^\circ$ の範囲では θ の増加に伴いエッジ部における電場は増大し、最大値を示した $\theta = 60^\circ$ においては従来の円筒型のナノポア構造 ($\theta = 90^\circ$) よりも約 6 倍の増強電場を示すことが明らかとなった (図 2)。SERS における EF は電場の 4 乗に比例するため、この結果から $\theta = 60^\circ$ のすり鉢型ナノポア構造では、従来の円筒型ナノポア構造に比べ、約 1000 倍の EF になっていることが示唆された。また、すり鉢構造の集光効果を評価するために、ナノポア構造の下から励起光を照射した結果、円筒型のナノポア構造 ($\theta = 90^\circ$) に比べ約 4.6 倍の増強電場が得られた。この結果から、円筒型のナノポア構造 ($\theta = 90^\circ$) と比較した場合、すり鉢構造 ($\theta = 60^\circ$) では集光効果によって電場が約 1.3 倍に増強され、形状効果によって約 4.6 倍に増強されていることが明らかとなった。一般的に金属-絶縁体-金属 (MIM 構造) における光の伝搬現象は Gap Surface Plasmon (GSP) で説明されるため、本構造でも GSP によって入射光がすり鉢構造の底部に集光したことが考えられるが、本結果からその多くが反射してしまっていることが考えられた。今後は GSP の反射を抑えるための構造最適化が重要である。

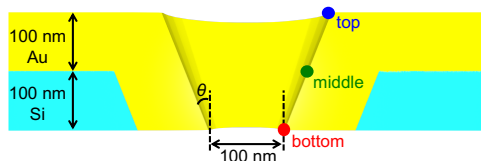


図1：すり鉢型プラズモニックナノポアの計算モデル

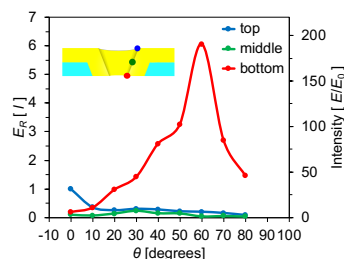


図2：プラズモニック特性の角度依存性