

ナノ共振器構造の固有モード共鳴による フェムト秒 SPP 波束の空間形状変化

Spatial deformation of surface plasmon wave packet induced by eigenmode resonance in a nano-scaled cavity

筑波大物理, °伊知地 直樹, 久保 敦

Univ. of Tsukuba, °Naoki Ichiji, Atsushi Kubo

E-mail: s2030036@s.tsukuba.ac.jp, kubo.atsushi.ka@u.tsukuba.ac.jp

【はじめに】光科学分野において光パルスの時空間的な制御は極めて重要なトピックである。ナノ構造やSLMを用いた位相制御や周波数分布の設計による光パルスの群速度や波束形状のコントロールは、実験的・理論的に幅広い分野で検証されてきた[1-3]。光の波長以下の微小共振器構造: メタ原子を集積することによって新奇な光学特性を得るメタマテリアル構造を用いた時空間的な周波数分布・位相分布の制御は、幅広い分野における高度な光操作技術の技術的基盤になっている[4,5]。メタマテリアル構造を用いた高度な光制御手法の重要性は近年ますます増加しており、その基盤となるメタアトムの詳細な理解は必須である。

本研究では、代表的なメタアトムの一つである金属-絶縁体-金属(Metal-Insulator-Metal: MIM)型ナノキャビティ[6]を金属平面上に設置し、SPP波束を入射させることでキャビティ-SPP間の共鳴的相互作用によって生じる波束形状の時間-空間的な変調を時間分解観察及び数値計算によって議論した。

【実験・計算モデル】実験には、中心波長810 nm、時間幅10 fsの超短パルスレーザーによるPump-Probe法を用いた。金属表面を伝搬し、MIMナノキャビティを透過したSPP波束と遅延時間を持って入射したProbe光の干渉ビートを試料表面に塗布した蛍光色素の二光子蛍光を介してCCDカメラで取得した(Fig. 1 (a))。

また、金属平面を伝搬し、キャビティを透過する波束の空間形状をSPPの複素分散曲線をもとにした数値モデルによって計算し、実験結果を評価した。数値モデルは、金属平面の伝搬に伴う波束のチャープ(①)、キャビティ-SPPの共鳴相互作用によって生じる位相変調(②)及び周波数選択的な透過現象(③)の3要素から構成される。

【結果・考察】金属平面上を伝搬するSPP波束は分散のために空間的に周波数広がりを持ち、Fabry-Perot型共鳴器であるMIMナノキャビティによって共鳴周波数成分が切り出されるため、キャビティを透過した波束にはピーク強度の減少やピーク位置のシフトなどの形状変化が生じる(Fig. 1(b))[7,8]。キャビティの共鳴波長は構造長に強く依存するため、キャビティサイズを微小量(数10 nm)調整することで透過波束の強度及びピークシフト量を大きく変化させることができる。50-220 nmの構造長を持つキャビティにおいてピーク強度は最大約80%、ピークシフト量は約 $\pm 3 \mu\text{m}$ の変調が確認され、数値モデルの計算値は実験結果と良い対応を示した(Fig. 1 (c,d))。

また、透過波束のピークシフト量は励起部-キャビティ間の距離や励起パルスのチャープ量に依存するため、励起パルスのチャープ量を調節することによってピークシフト量を調節することができる。

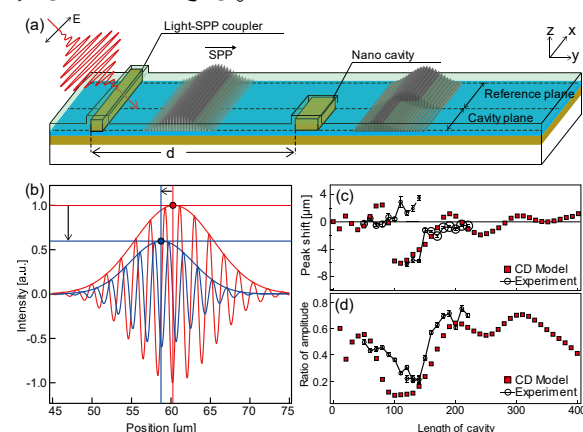


Fig. 1 (a)Schematic of the MIM nano cavity used for experiment. (b) Spatial waveform of the SPP wave packets. Red and blue lines indicate the reference wave and transmitted wave with a length of 160 nm, respectively. (c,d) Dependence of the deformation parameter of the transmitted wave on length of the cavity. (c)Maximum intensity. (d)Amount of peak shift.

[1] R.W. Boyd, D.J. Gauthier, Science, **326**, 1074, (2009).

[2] N. Yu, F. Capasso, Nature Mater., **13**, 139, (2014).

[3] M. Yassenov, A. F. Abouraddy, Phys. Rev. Lett., **125**, 233901, (2020). [4] A. M. Shaltout, et. al., Science, **365**, 6451, (2019).

[5] D. Wintz, et. al., Nano Letters, **15**, 5, (2015). [6] H. T. Miyazaki, Y. Kurokawa, Phys. Rev. Lett. **96**, 097401, (2006)

[7] N. Ichiji, et al., Opt. Express, **27**, 22582-22601, (2019) [8] N. Ichiji and A. Kubo., SPIE Proc., **11278**, 1127815, (2020).