ナノ共振器構造によるフェムト秒 SPP 波束の空間形状変化の実空間観測及び評価

Real space observation and evaluation of spatial deformation of SPP wave packet by 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】金属-絶縁体-金属(MIM)型構造は、可視-近赤外領域においてSurface Plasmon Polariton: SPPのFabry-Perot型共振器として機能する代表的なメタアトムであり[1]、可視域における磁気的な共鳴をはじめとする特異な光学特性から多くの理論的・実験的な研究が行われている[2]。これまでの電磁界シミュレーションと実験的な観測により、MIMナノキャビティに対してSPPを入射させると共鳴周波数のみを選択的に透過し、チャープによって空間的な周波数広がりを持った波束の空間的な形状に強く影響を与えることが明らかになった[3,4]。本研究では二光子蛍光時間分解顕微鏡法による観測と金属表面におけるSPPの分散を用いた数値計算を用い、構造長の異なるMIMナノキャビティを透過するSPPに生じる波束形状の変化を系統的に評価した。

【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励起を介してCCDカメラで取得した。実験に加え、①金属平面の伝搬に伴う波束のチャープ、②キャビティの共鳴による位相変調、③キャビティの透過に伴う周波数選択的な透過現象、の3要素から構成される数理モデルを用いてキャビティ透過波束の波束形状を計算し、実験結果の評価を行った。

【結果・考察】実験によって観測した波束形状と数理モデルによる計算結果は高い精度で一致した(Fig. 1(a))。MIMナノキャビティを透過するSPP波束の形状変形において特徴的な値である、ピーク強度の減衰及びピーク位置のシフト量のキャビティ長依存性も数理モデルと実験結果も良い対応を示した(Fig. 1(b), (c))。ピーク強度変化は最大約80%、ピークシフト量は約±3 μ mの範囲で確認でき、10 nmスケールの構造長の調節によって幅広い波束形状のコントロールが可能であることを示している。これらの研究結果は、サブ波長スケールの単一構造の共鳴応答によってSPP波束の形状制御が可能であることを実証しており、二次元平面状を伝搬するSPP波束の時空間制御の知見を与えるものである。

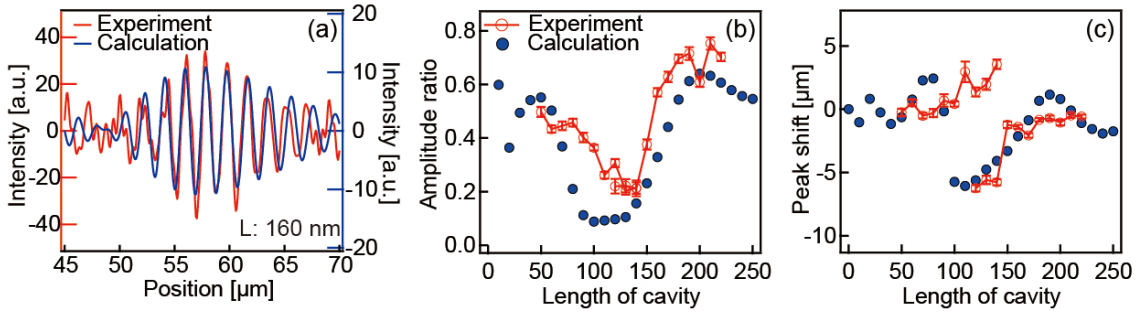

Figure 1 Experimental (red) and calculation (blue) values of the SPP Wave packet after passing through the MIM nano-cavity. (a) Spatial waveforms of the SPP wave packets after passing through the MIM nano-cavity with a length of 160 nm. (b,c)Dependence of the deformation parameter of the transmitted wave on length of the cavity. (b)Maximum intensity. (c) Amount of the peak shift.

[1] H. T. Miyazaki and Y. Kurokawa, Phys. Rev. Lett. **96**, 097401, (2006)
[2] F. Ding, *et al.*, Nanophotonics, **7**, 1129-1156, (2018)
[3] N. Ichiji, *et al.*, Opt. Express, **27**, 22582-22601, (2019)　[4] N. Ichiji and A. Kubo., SPIE Proc., **11278**, 1127815, (2020)

© 2020年 応用物理学会