

## Space-time SPP 波束に付随するスピン角運動量の伝搬

### Propagation of spin angular momentum associated with space-time SPP wave packets

筑波大物理<sup>1</sup>, リスボン大学<sup>2</sup>, <sup>○</sup>伊知地 直樹<sup>1</sup>, 大上 能悟<sup>2</sup>, 久保 敦<sup>1</sup>

Univ. of Tsukuba<sup>1</sup>, Univ. of Lisbon<sup>2</sup>, <sup>○</sup>N. Ichiji<sup>1</sup>, D. Oue<sup>2</sup>, A. Kubo<sup>1</sup>

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

【はじめに】 金属-絶縁体界面に束縛された電子の集団振動、surface plasmon polariton (SPP)は界面垂直方向に指数関数的に電場強度が減衰するエバネッセント場が付随する表面波であり、横スピン角運動量(transverse spin angular momentum: t-SAM)を有することが報告されている[1]。SPPのt-SAMは伝搬方向と直交する一方向に固定されることから量子スピンホール効果の光学対応と見なされ[2]、方向選択的励起やトポロジカル準粒子状態等多岐にわたる研究が報告されている[3,4]。SPP場が付随するt-SAMに対し、SPPが金属平面上において空間的に構造化されたエネルギー密度を有する場合には、面内成分だけでなく面垂成分も有することが示されている[5]。面内/面外SAMの存在は金属平面上を伝搬する空間構造を有したSPP波束に三次元的なスピネクスタチャが付随していることを示唆している。しかし、これまでに確認されたSPPのt-SAMはCosine SPP波や導波路に束縛されたSPPなどの単色SPPの定常的なt-SAMが主であり、SAMの伝搬現象はほとんど議論されていない。本研究では、伝搬不変性を有し局在的な空間構造を保ったまま指定した群速度で伝搬するSPP波束、space time (ST)-SPP波束[6]のSAMの理論計算を行うことで金属平面上を伝搬するSAMの空間分布の評価を行った。

【Space-Time波束】 ST-SPP波束は、金属平面上において波束を構成するSPP波の波面(波数ベクトル)を周波数成分ごとに制御することで構築される[6-8]。xy平面上をy方向に伝搬する平面波波束では $k_x = 0, k_y = k_{SPP}$ の関係がすべての周波数において成り立つが、ST-SPP波束においては $\sqrt{k_x^2 + k_y^2} = k_{SPP}$ を満たすように $\omega$ ごとに $k_x$ 及び $k_y$ の値を選択する。この時、 $d\omega/dk_y = v_g$ が定数になるように $k_x$ と $k_y$ を選択することにより(Fig. 1(a))、y軸方向に群速度 $v_g$ で伝搬する伝搬不変ST-SPP波束が構築される。本研究では、中心波長800 nm、時間幅100 fsのST-SPP波束において各電磁場成分 $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{H}$ 及びポインティングベクトル $\mathbf{P}$ を求め、ST-SPP波束に付随するt-SAMベクトル、 $\mathbf{S} = \text{Im}(\epsilon\mathbf{E}^* \times \mathbf{E} + \mu\mathbf{H}^* \times \mathbf{H})/(2\omega)$ の空間分布を検討した。

【結果】 Fig.1(b-d)に、時刻 $t = 0$ におけるST-SPP波束の伝搬軸方向へのポインティングベクトル( $P_y$ )、伝搬軸直交方向へのSAM( $S_x$ )、界面垂直方向へのSAM( $S_z$ )の空間分布をプロットした。SAMの面内成分はポインティングベクトルの方向と直交する向きに固定されるため、 $P_y$ と $S_x$ は対応した空間分布を示す。また、面内エネルギー流れ密度の回転で表されるSAMの面外成分( $S_z = \partial P_z/\partial x - \partial P_x/\partial z$ )が波束中央部に生じることが確認できた。 $P_y$ ,  $S_x$ ,  $S_z$ の空間分布は先行研究[5]で示されたx方向にcosine関数型の空間分布を有するSPPのSAMの計算結果と無矛盾であった(Fig. 1(e))。

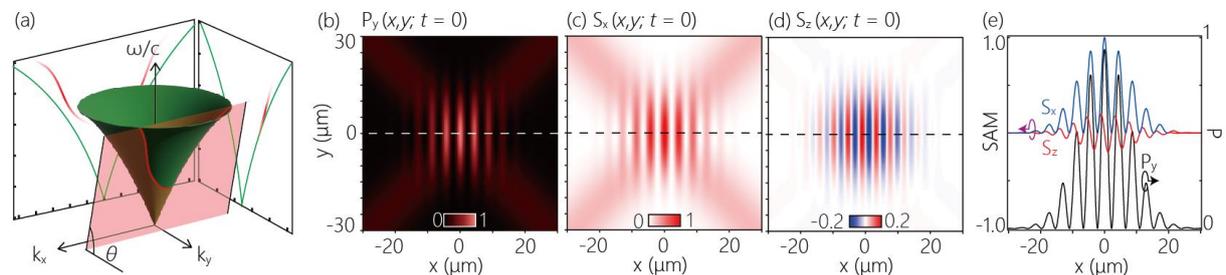


Fig. 1 (a) spectral representation of a ST-SPP on the surface of the SPP light cone in  $(k_x, k_y, \omega)$ -space. The green cone and translucent red plane represent the SPP light cone ( $k_x^2 + k_y^2 = k_{SPP}^2$ ) and spectral plane of the ST-SPP, respectively. The intersection, indicated by the red line, corresponds to the spectral support domain. (b-d) The spatial distribution of the energy flow density and SAM for the ST-SPP. (b) Poynting vector along the propagation direction ( $P_y$ ), (c) in-plane SAM component perpendicular to the propagation direction ( $S_x$ ), and (d) out-of-plane SAM component ( $S_z$ ). Cross-sections along the dashed lines in (b-d) are plotted in (e).

- [1] K. Y. Bliokh, and F. Nori, Phys. Rev. A, **85**, 061801, (2012). [2] K. Y. Bliokh, et al., Science, **648**, 6242, (2015).  
 [3] P. Shi, et al., Nanophotonics, **10**, 16, (2021) [4] Y. Shen, et al., arXiv, 2205.10329, (2022).  
 [5] P. Shi, et al, Proc. Natl. Acad. Sci., **118** e2018816118, (2021). [6] K. L. Schepler, et. al., ACS photons, **7**, 11, (2020)  
 [7] N. Ichiji, et. al., ACS photons, *in press*, [8] N. Ichiji, et. al., arXiv, 2212.05450, (2022)