

Space-time 光波束の空間電場分布

Spatial construction of the electric field of optical space-time wave packets

筑波大物理¹, セントラルフロリダ大学², [○]伊知地 直樹¹, Murat Yessenov²,
Kenneth L. Schepler², Ayman F. Abouraddy², 久保 敦¹

Univ. of Tsukuba¹, Univ. of Central Florida², [○]N. Ichiji¹ M. Yessenov², K. L. Schepler²,
A. F. Abouraddy², A. Kubo¹

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重要な研究対象である。人工微細構造による分散制御[1,2]やチャープパルスの収束による焦点位置の制御[3]等、光パルスの群速度や波束形状の制御は理論的・実験的に実証されてきた。近年では、空間光変調器を用いて光波束を構成する周波数成分ごとに波面の向きを調節し、進行方向の波数成分を厳密に制御することで任意の群速度を得る Space-Time: ST波束が実験的に実証された[4]。ST波束は任意な群速度のほかに無回折性や異常屈折現象等多くの特異な伝搬特性が確認されている[5,6]。しかし、レーザーの強度分布の観測によって得られる情報は波束の包絡線強度のみであり、ST波束内部における電場の詳細な空間分布及び波束内部の電場振幅の時間変化は明らかになっていない。

本研究では、自由空間中におけるST波束の空間的な電場分布を時間領域差分(FDTD)法シミュレーションによって計算し、ST波束の伝搬現象及び波束内部における空間電場分布の詳細な理解を目的とした。

【Space-Time波束】 Space-Time波束は、二次元平面上において波束を構成する波の波面を周波数成分ごとに制御することで構築される。 xy 平面上を x 方向に伝搬する平面波束では $k_y = 0, \omega/k_x = c (= 3 \times 10^8 \text{ m/s})$ の関係がすべての周波数において成り立つが、ST波束においては $\omega/\sqrt{k_x^2 + k_y^2} = c$ を満たすように ω ごとに k_x 及び k_y の値を選択する。この時、 $d\omega/dk_x = v_g$ の値を定数になるように k_x と k_y を選択することにより、 x 軸方向に速度 v_g で伝搬するST波束を構築することができる。

本研究では、FDTDシミュレーションにおいて異なる周波数成分を持つ独立したCW波源を5THz間隔で設置し、中心波長800 nm、時間幅10 fsの超短パルスを定義した。周波数成分ごとに設計した k_x と k_y を満たすように入射角度を調節することにより、ST波束を再現した。

【結果】 Fig.1(a,b)は、FDTDシミュレーションによって計算した xy 平面上を x 方向に向けて伝搬する平面波光パルス(a)と、光速以下の群速度を持つSubluminal ST波束(b)の y 軸上における強度の時間変化を二次元プロットで表した図である。光速 c で伝搬する通常波束に対し、ST波束は設計した群速度($v_g = 1 \times 10^8 \text{ m/s}$)の伝搬を示している。通常波束の群速度と位相速度が一致しているのに対し、ST波束における群速度は位相速度とは独立に決定されている。Fig. 1(c, d) が示す $t = 50 \text{ fs}$ における xy 平面上における電場分布は、ST波束の特徴的な性質であるX型の電場波形を示している。Xの交点がST波束の中心を表しており、異なる波面を持つ二本の平面波が交わることで格子状の電場分布が生じていることが確認できる。

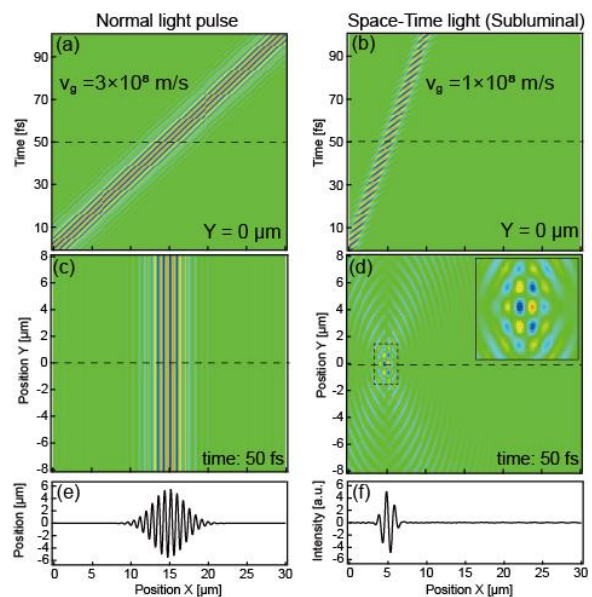


Fig. 1 Propagation and spatial distribution of normal light pulse (a,c,e) and ST light pulse (b,d,f) calculated by FDTD simulation. (a,b) Two-dimensional plots of the spatial distribution of light pulse on the y -axis. (c,d) Field distributions in the xy plane at 50 fs. (e,f) Spatial waveforms at 50 fs on $y = 0 \text{ nm}$ axis.

[1] K. L. Tsakmakidis, et. al., Science, **358**, 6361, (2017). [2] T. Baba, Nature Photonics, **2**, 465-473, (2008).

[3] Z. Li, J. Kawanaka, Comm. Phys., **3**, 211, (2020). [4] H. E. Kondakci, A. F. Abouraddy, Nat. Commun, **10**, 929, (2019).

[5] M. Yessenov, A. F. Abouraddy, Phys. Rev. Lett., **125**, 233901, (2020). [6] A. Shiri, et. al., Opt. Lett., **45**, 1774-1777, (2020).