

拡張ストークスパラメータによる高次偏光渦の解析

Analysis of Cylindrically-Polarized States by Using Extended Stokes Parameters



北大院工¹, JST CREST² ○(DC) 鈴木 雅人¹, 山根 啓作^{1,2},
岡 和彦¹, 戸田 泰則^{1,2}, 森田 隆二^{1,2}

Hokkaido Univ.¹, JST CREST² ○(DC) Masato Suzuki¹, Keisaku Yamane^{1,2},

Kazuhiko Oka¹, Yasunori Toda^{1,2}, Ryuji Morita^{1,2}

E-mail: masato.suzuki@eng.hokudai.ac.jp

軸対称偏光ビームや偏光渦ビームを用いた偏光モード多重による超高速光通信への応用 [1] が現在期待されている。(ここでは、軸対称偏光ビームと偏光渦ビームは基底 $e_r^l = (\cos(l\phi), \sin(l\phi))$, $e_\phi^l = (-\sin(l\phi), \cos(l\phi))$ (ϕ は方位角) の方向に振動する電場で構成されるビームを指し、それぞれ $l = 1$ と $l \neq 0, 1$ のときに対応するものとする。)このような背景から、径偏光や方位角偏光などの軸対称偏光ビームを生成する報告が様々なされてきた。しかし、従来の研究では生成したビームが所望の軸対称偏光ビームであることを示すために直線偏光子を挿入した際に測定される強度分布と理論的に得られる強度分布とを定性的に比較することが一般的であり、定量的な評価は殆どなされてこなかった。そこで、本研究グループは、特に C_∞ ($l = 1$) 対称性を持つ軸対称偏光ビームに注目をし、円筒座標系を基礎とする拡張したストークスパラメータ及び偏光度を新たに導入してきた [2]。これにより、軸対称偏光ビームの定量的な評価が可能である。

本発表では、軸対称偏光ビームだけではなく、偏光モード多重通信で重要となる $C_{|l-1|}$ 偏光分布対称性を有する「 $l \neq 0, 1$ 高次偏光渦」を定量的に評価するための拡張ストークスパラメータ $S_{i,l}^E$ ($i = 0 - 3$) 及び偏光度 $\mathcal{P}_l^{\text{space}}$ を導入する。

$$S_{0,l}^E = \iint \langle |E_r^l|^2 + |E_\phi^l|^2 \rangle_T dx dy, \quad S_{1,l}^E = \iint \langle |E_r^l|^2 - |E_\phi^l|^2 \rangle_T dx dy, \quad S_{2,l}^E = \iint \langle 2\Re(E_r^{l*} E_\phi^l) \rangle_T dx dy,$$

$$S_{3,l}^E = \iint \langle 2\Im(E_r^{l*} E_\phi^l) \rangle_T dx dy, \quad \mathcal{P}_l^{\text{space}} = \sqrt{(S_1^E)^2 + (S_2^E)^2 + (S_3^E)^2} \bigg/ \iint \sqrt{(s_1)^2 + (s_2)^2 + (s_3)^2} dx dy.$$

ここで、 $\langle \dots \rangle_T$ は時間平均を表しており、 E_r^l , E_ϕ^l はそれぞれ l 次の基底 e_r^l , e_ϕ^l の方向に振動する電場を表している。また、偏光度 $\mathcal{P}_l^{\text{space}}$ は、時間的な無偏光成分を排除し空間的な偏光分布のみを議論できるように、時間的に完全偏光成分の強度により規格化している。(s_i ($i = 1 - 3$) は従来のストークスパラメータである。)

本研究では、この拡張ストークスパラメータと偏光度とを用いて、 $l = 2$ の偏光渦を実験的・定量的に評価した。 $l = 2$ の偏光渦の生成は速軸が放射状かつ連続的に分布しているフォトニック結晶(半波長板)を用いた。直線偏光のガウシアンビーム ($l = 0$; Fig. 1(a)) およびそれから生成した $l = 2$ の偏光渦 (Fig. 1(b)) の解析結果をそれぞれ Table 1, 2 に示す。規格化された拡張ストークスパラメータ $\tilde{S}_{i,2}^E = S_{i,2}^E / S_{0,2}^E$ ($i = 1 - 3$) は生成した偏光渦の偏光状態を表し、偏光度は生成された偏光渦の空間的な偏光分布の純度の高さを示している。特に、偏光度はフォトニック結晶などの偏光渦コンバータの性能を表す定量的な尺度として利用できる。

参考文献

- [1] S. Ramachandran, P. Kristensen, and M. F. Yan: Opt. Lett. **34**, 2525 (2009).
[2] 鈴木他, 第 61 回春季学術講演会講演予稿集 17a-F6-8 (2014 春 青山学院大学).

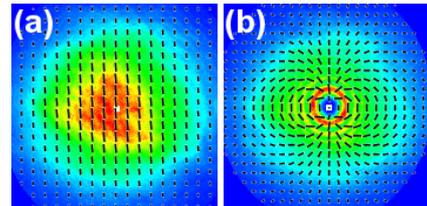


Fig. 1: Polarization distributions of (a) the input Gaussian ($l = 0$) beam and (b) the generated $l = 2$ cylindrically-polarized beam.

Table 1 Analysis results for the input Gaussian ($l = 0$) beam.

$\tilde{S}_{1,0}^E$	$\tilde{S}_{2,0}^E$	$\tilde{S}_{3,0}^E$	$\mathcal{P}_0^{\text{space}}$
-0.98	-0.16	0.01	1.00

Table 2 Analysis results for the generated $l = 2$ cylindrically-polarized beam.

$\tilde{S}_{1,2}^E$	$\tilde{S}_{2,2}^E$	$\tilde{S}_{3,2}^E$	$\mathcal{P}_2^{\text{space}}$
-0.99	0.00	0.00	0.99