

外部制御を用いない偏波整列素子に関する検討 A study of the polarization alignment elements without external control

○阪本隼志¹佐藤 昇男²山口城治¹橋本俊和¹

(日本電信電話株式会社 1. NTT 先端集積デバイス研究所 2. NTT デバイスイノベーションセンタ)

○Junji Sakamoto¹Norio Sato²Joji Yamaguchi¹Toshikazu Hashimoto¹

(1. NTT Device Technology Laboratories 2. NTT Device Innovation Center, NTT Corporation)

E-mail: sakamoto.junji@lab.ntt.co.jp

1. はじめに

大容量伝送技術や量子情報処理等、近年偏光の自由度を用いた情報処理技術に関する関心が高まっている[1,2]。基本的な偏波操作機能として、①分離/多重、②水平垂直変換、③回転、④整列が考えられる。①～③については、偏波ビームスプリッタ、波長板、ファラデー回転子として、偏波ダイバーシティによる信号処理やアイソレータなどに広く活用されている。④については、自動偏波コントローラという形で実現され、通常、偏波状態(SOP: State of Polarization)を検出し、演算で求めた光軸位置に複数の波長板を外部駆動機構により位置合わせし、SOPを所望のSOPに整列する。本発表では、このような外部制御を必要としない偏波整列素子の構成を提案し、数値解析を用いて任意のSOPを一意的なSOPに整列可能であることを示す。

2. 偏波整列素子の構成及び構造の提案

Fig. 1(a) は本発表で提案する偏波整列を実現するための光素子の構成である。単純な偏波操作を与える単位セルを繰り返し、漸次的にSOPを整列させる。SOPをポアンカレ球で表した時、任意の点間を移動させるには、少なくとも2軸の回転移動が必要となる。単位セルでは、実現が容易な偏波回転機能と偏波間位相遅延機能を用いて2軸回転移動を実現する。さらに、偏波回転機能にSOP依存性を持たせることで、ポアンカレ球上で非一様な回転移動を生じさせ、不動点にSOPを収束させることが可能となる。

単位セルの構造をFigs. 1(b),(c)に示す。偏波回転は、コイルに接続した偏光子付のPDを光入射面に配置したファラデー回転子により実現する。これにより E_y^2 のみに比例した電流がコイルに流れ、SOPに依存した偏波回転を発生させることができる。位相遅延は、方解石やポリイミドなどの一軸異方性材料により E_x 、 E_y 間に発生させる。

3. 偏波整列機能の数値解析

比例係数を k として、 E_y^2 に比例した偏波回転量を $\theta(S_1) = k \frac{1-S_{1,i}}{2} + \theta_c$ と表すと、Fig. 1(a)のSOP変化過程は、

$$\begin{pmatrix} S_{1,i+1} \\ S_{2,i+1} \\ S_{3,i+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi_c & -\sin\varphi_c \\ 0 & \sin\varphi_c & \cos\varphi_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos 2\theta(S_1) & \sin 2\theta(S_1) & 0 \\ -\sin 2\theta(S_1) & \cos 2\theta(S_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_{1,i} \\ S_{2,i} \\ S_{3,i} \end{pmatrix} \quad (1)$$

で表される。 $S_{1,i}, S_{2,i}, S_{3,i}$ は i 番目の単位セル通過前のストークスパラメータで、 θ_c, φ_c はそれぞれバイアスとして加える偏波回転量、位相遅延量である。(1)式を定常状態を仮定して解くと、2点の不動点が得られる。2点はそれぞれ不安定な湧き出し型と安定な引き込み型になっており、安定な不動点にSOPが収束する。パラメータを $(k, \theta_c, \varphi_c) = (1.2, 20^\circ, 60^\circ)$ とし、湧き出し型不動点付近を出発点とした場合の各単位セルを透過した際のSOPの様子をFig. 2(a)に

示す。SOPは単位セル通過毎に安定な不動点に漸近し収束している様子が分かる。

Fig. 2(b)は、ポアンカレ球上に緯度経度 1° 間隔で入力SOPをとり(約6.5万点)、所望の出力SOPに対する消光比(所望の成分とそれ以外の成分のパワー比)20dB以上をここでの収束判定基準として、収束に要した単位セル数を示したものである。単位セルを33個通過したところですべてのSOPが収束した。入力が湧き出し型不動点の場合は収束しないが、そのような場合でも 1° 程度の「ずらし」を与えて収束する領域に移すことができる。単位セルを複数並べた場合、実際には公差等で自然に「ずらし」が入るため、事実上すべての入力状態が収束すると考えられる。以上より、実際の素子サイズを求めると、入射光強度100mW、コイル径100 μ m、巻き数100、偏光子付PDの面積80 μ m²とし、一般的な材料定数を仮定すると単位セルの長さは約1mmとなる為、長さ約3cm程度となり、小型の偏波整列素子の実現が見込める。

4. まとめ

偏波整列素子実現に向け、偏波依存性をもつ偏波回転と位相遅延を繰り返す偏波整列構成を提案し、外部制御なしで任意偏波を一意的な偏波に整列できることを数値解析で確認した。今後は、素子の試作、特性評価を実施予定である。

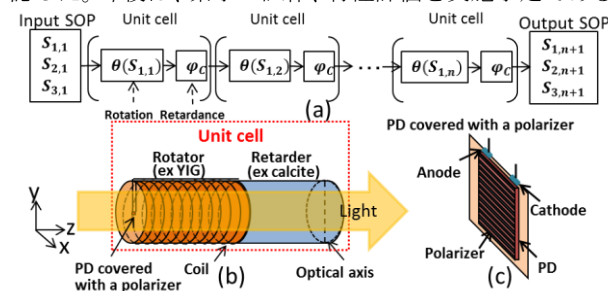


Fig. 1 (a) Architecture of the polarization aligner (b) Structure of the unit cell (c) Close-up view of the PD covered with a polarizer

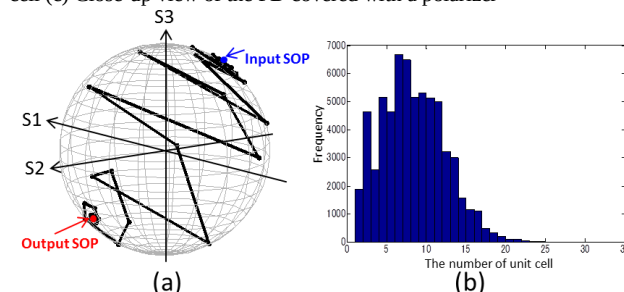


Fig. 2 (a) SOP transformation process on Poincaré sphere (b) Histogram of the number of unit cells needed to transform any SOP into predetermined SOP

参考文献

- [1] E. Yamazaki et al., *Optics Express* **19**, 13139 (2011).
- [2] H. Kosaka et al., *Nature* **457** 702 (2009).