

【助成 39-34】

昆虫の眼を超える偏光と位相を検出する 2D センサー

代表研究者 埼玉医科大学 保健医療学部 教授 若山 俊隆

〔研究の概要〕

微細周期構造は、偏光と位相を同時に制御することが可能であり、ベクトルビームの制御法としても有名である。しかし、偏光と位相を同時に検出する技術はほとんど提案されていない。このような背景から我々は偏光と位相の同時イメージング法の開発を目指している。我々はレーザー加工を行なった材料基板の加工痕に興味深い偏光分布が生じていることに注目し、偏光と位相を同時検出する 2D イメージセンサーの開発を行なった。作製された偏光制御マイクロレンズアレイの偏光分布を評価すると共に偏光と位相の 2D 同時計測を行なった。

〔研究経過および成果〕

偏光イメージングを 1 枚の画像から可能にする偏光イメージセンサーは、およそ 2000 年から研究が進められ、最近になって量産されるようになった。このイメージセンサーは、偏光にとどまらず、位相の検出にも応用されている。これが実現されるようになったのも微細周期構造の制御が比較的容易にできるようになったことに起因している。この微細周期構造は、偏光と位相を同時に制御することが可能である。これまでの試みでは偏光と位相を制御したビームの発生にとどまっており、偏光と位相を同時に検出する技術はほとんど提案されていないのが現状である。レーザー科学や天体物理学などの研究において、偏光と位相の同時計測は研究対象である光そのものや惑星から放出される光の性質を捉えることが重要である。このような背景から我々は偏光と位相の同時イメージング法の開発を行なった。

偏光と位相を同時に計測するために、まず偏光と位相を空間的に分離する必要がある。分離し

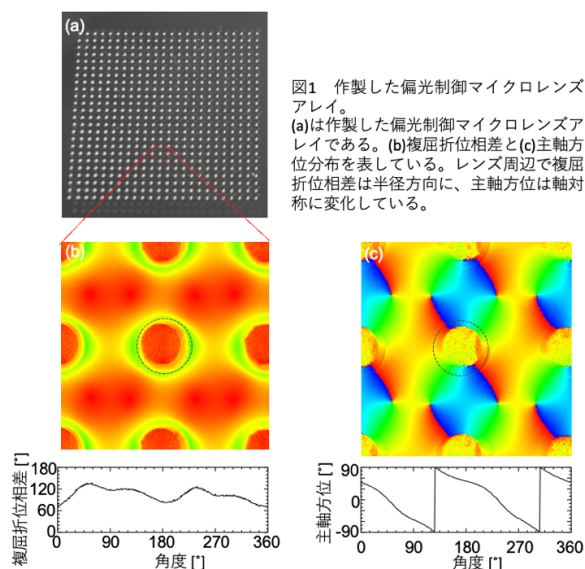


図1 作製した偏光制御マイクロレンズアレイ。  
(a)は作製した偏光制御マイクロレンズアレイである。(b)複屈折位相差と(c)主軸方位分布を表している。レンズ周辺で複屈折位相差は半径方向に、主軸方位は軸対称に変化している。

たそれぞれを異なる方法で検出するために、我々はレーザー加工を行なった材料基板の加工痕に興味深い偏光分布が生じていることに注目した。レーザー加工によって作製されたマイクロレンズアレイを図 1 に示す。図 1(a)は作製された 1 個マイクロレンズに注目している。図 1(b)と 1(c)はそれぞれ同心円状の黒波線上の複屈折位相差と主軸方位の大きさを表している。複屈折位相差は角度によらずほぼ一定の値を示し、主軸方位は角度によ

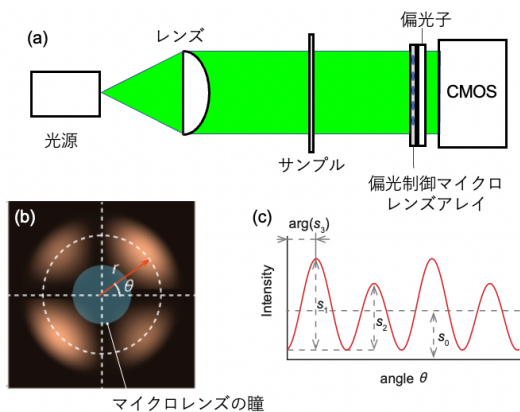


図2 偏光と位相の同時計測の原理 (a) 実験光学系 (b) CMOS面で得られる光強度分布の一部である。(c) (b)の破線部分の光強度分布を角度 $\theta$ に対して分布させると、振幅とバイアス、位相はそれぞれ全偏光を表すことができるストークスパラメータ $s_0 \sim s_3$ となる。これを解析することで偏光の空間分布を取得できる。

って $\pm 180^\circ$ の範囲で変化した。この光学素子を用いて偏光と位相の同時計測を試みた。このとき使用した光学系を図2に示す。図2(a)は提案する実験光学系である。図2(b)はCMOSセンサーで検出される画像の一部であり、マイクロレンズ1個周辺を抜き出したものである。光強度分布はサンプルの持つ複屈折の影響を受けて偏光変化が起きるためクロス状の暗黒部の強度や角度が変化する。白波線の光強度を抽出したものが図2(c)であり、この光強度の中に偏光を表すストークスパラメータ $s_0 \sim s_3$ が含まれているので、フーリエ解析によってこれを求めた。これによって偏光状態を各マイクロレンズの周辺で決定することができる。マイクロレンズそのものは入射した光の位相の影響を受けて集光位置が変化するので、これをCMOSセンサーで検出する。上記が偏光と位相の決定方法である。

上述した方法を用いて、偏光と位相の同時計測を行なった。偏光と位相を同時に制御する光波としてベクトルビームが知られている。図1に示したサンプルにvortex retarder (Thorlabs)を挿入してベクトルビームを生成した。このときわかりやすくするために位相は等位相を与えるように調整した。その結果を図3

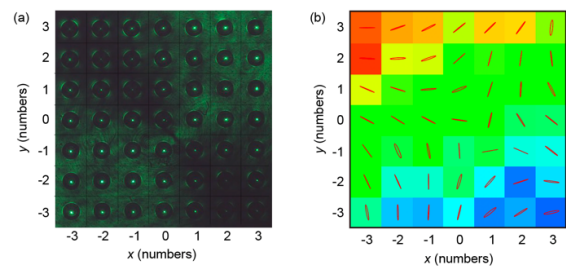


図3 偏光と位相の同時計測結果 (a) CMOSセンサーで撮像された光強度分布 (b) 偏光は赤色楕円で、位相はカラーマップで表している。

に示す。図3(a)はCMOSセンサーで検出される光強度分布である。7×7個のマイクロレンズアレイの中心はフォーカスされた光強度であり、Vortex retarderを入れる前後での集光位置から位相を検出した。この結果を図3(c)にカラーマップとして示す。位相は直線的な変化が生じているがこれはVortex retarderを挿入した際に生じた位相波面の変化である。一方でベクトルビームの偏光状態は輝度情報から捉えることができる。左上から右下にかけて暗黒部分が見えるがこれは偏光が空間的に変わっていることから生じている。各マイクロレンズアレイでストークスパラメータを取得し、これを楕円率と方位で示したのが図3(c)の赤色の楕円で示している。以上のように偏光と位相を同時に検出することが可能となった。

最後にカシオ科学振興財団には本研究を支援していただいたので、ここに深く感謝申し上げます。

[発表論文]

1. 座間あかね他, “偏光制御マイクロレンズアレイによる偏光と位相の同時計測,” Optics & Photonics Japan2022 P25, 2022年11月13日.
2. T. Wakayama et al., “Demonstration of polarization-sensitive-wavefront sensor by an angular variant micro-retarder-lens array,” Optics & Photonics International Congress 2023 C000175 (Accept)