HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	軸対称偏光素子を利用した光渦及び光格子の生成に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	坂本, 盛嗣
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11875号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58691
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Moritsugu_Sakamoto_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（工学）　氏名　坂本 盛嗣

学 位 論 文 題 名

軸対称偏光素子を利用した光渦及び光格子の生成に関する研究
(A study on generation of optical vortices and optical lattices by use of axially symmetric polarization elements)

光渦は、螺旋状の等位相面を有する光束であり、断面強度分布の中心に暗点が存在することや光束自体が軌道角運動量を持つことなど様々な特異な性質を持っている。このため近年、光渦に関する研究が世界中で勢力的に行われている。これらの研究において光渦を発生する方法がこれまでに幾つか提案されているが、その一つに軸対称な偏光主軸分布を持つ光学素子 (軸対称偏光素子) を利用するものがある。この方法は幾何学的位相を利用して光の波面を螺旋状に変調するため、他の代表的な光渦発生法である空間光変調器 (SLM) や螺旋型位相板 (SPP) 等を用いる方法に比べて、空間分散やトポロジカルチャージ (TC) 分散が極めて小さいという利点を持つ。この特性を利用して、これまでに超広帯域光渦パルスの生成や天文光学におけるコロナグラフへの応用などの研究が展開されている。

本研究では、この軸対称偏光素子を用いた光渦生成法をより有効に活用するため、本法の詳細な解析と原理の拡張を行った。主な成果として、「高純度な高次白色光渦」、「高速回転が可能なリング状光格子」、「様々な偏光パターンと螺旋位相シフトを有するベクトルビーム」などの生成が可能となった。

本論文は以下の 7 章から構成される。なお、本研究の成果は第 3 章から第 7 章である。

第 1 章では、本研究の背景と目的、および本論文の構成について述べている。

第 2 章では、本研究の鍵となる軸対称偏光素子の性質について述べている。特に、軸対称偏光素子の代表的な例として、軸対称半波長板 (AHP) と軸対称偏光子 (ASP) の波面変換機能について解説している。

第 3 章では、高次の白色光渦を高純度で生成するために新たに発案した波長分散低減法について述べている。前述のように、AHP を用いた光渦発生法は、幾何学的位相を利用しているため波長分散が比較的小さいという特徴を持っている。しかしながら、広帯域光で利用すると AHP や波長板の不完全さによって僅かに TC 分散が生じ、特にコロナグラフなど広い波長範囲で極めて小さい波長分散を要求する応用においては、これを無視できない。この影響は、特に AHP を複数段組み合わせる高次の光渦生成システムほど深刻になる。そこで本研究では、高純度な白色光渦を生成可能にするために、この残余の TC 分散を除去することを試みた。まず、この TC 分散の原因が波長板のリタデーション誤差によって生じる不要な円偏光成分にあることを明らかにした。さらに、円偏光フィルタを適切に配置することによって、この不要な円偏光成分を除去できることを示した。これにより、波長板にリタデーション誤差が存在しても、99% を超える高い純度で偶数次の高次白色光渦を生成可能となる。

第 4 章では、ASP から生成される光渦と径偏光の回折特性について述べている。ASP から生成される光渦は、フレネル回折領域において、ビーム径に対してコア径を急速に広げながら伝播する

ことを、実験と数値シミュレーションにより示した。一方で、円偏光照明下で ASP から生成された径偏光のフレネル回折には、偏光状態が変化するアノマリーが現れることを実験により明らかにした。さらにこの現象は、径偏光を円偏光基底へと分解して考えれば、各々のフレネル回折の重ね合わせで解釈できることを示した。

第 5 章では、互いに螺旋次数が異なる 2 つの光渦同士の干渉により発生するリングの状光格子についての研究成果を述べている。従来のリング状光格子の生成実験には、SLM を波面変換素子として用いた光学システムがいくつか報告されてきたが、これらの手法にはリング状光格子のパターンの「高速制御」と「安定性」の間にトレードオフの問題があった。これに対して本章では、SLM ではなく、軸対称偏光素子を利用してリング状光格子を発生させる新手法を述べている。この方法では、レーザー光の直交偏光成分を互いに異なる TC の光渦へと同軸で変換する。この系は共通光路の干渉計となるため、外乱に対してパターンが安定であり、かつ電気光学変調器による偏光変調でパターンを最大数ナノ秒の時間周期で高速に制御する事も可能である。即ち、SLM を利用する従来法の利点を併せ持つという特色がある。また、軸対称偏光素子の配列を理論的に検討し、偶数次の光渦の干渉により得られるリング状光格子を全て生成可能な光学システムも見出した。

本章では次に、チャープパルスの周波数特性を利用した、リング状光格子の新たな回転手法を提案している。本手法では、従来法では不可能な、ピコ秒からフェムト秒の時間領域でパターンを高速回転できるという特徴を持つ。実証実験で、数ピコ秒オーダーで回転するリング状光格子を発生させ、原理の有効性を実証した。

本章の最後に、軸対称偏光素子を用いて生成されるリング状光格子の位相・強度分布・エネルギー流・極小集光場における振る舞いについて数値計算により評価している。

第 6 章では、放射状の偏光分布と螺旋状の位相シフトを有するベクトルビームに関する研究成果を述べている。一般に互いに異なる螺旋次数を有する左円偏光と右円偏光のビームを同軸で重ねると、ベクトルビームが形成されることが知られている。この原理に基づき、軸対称偏光素子の偏光依存型の波面変換機能を利用して、様々な TC を持つ左右円偏光の重ね合わせ状態を作るシステムを考案した。左右円偏光成分の TC の組み合わせに応じて、ベクトルビームの偏光分布と螺旋位相は様々に変えることができ、あらゆるパターンのベクトルビームを生成することが可能となる。さらに、互いに異なる螺旋位相分布を有するベクトルビームの重ね合わせ状態も発生できる。

最後に、第 7 章にて本研究の結論を述べている。