

審査の結果の要旨

氏名 林 文博

偏光と位相の空間分布はそれぞれ光のスピン角運動量と軌道角運動量と関連しており、これらの角運動量の混成により、トポロジカルチャージやスキルミオン数などのトポロジカルな指標で特徴づけられる様々な偏光分布（光スピン構造）をもつ光ビームの生成が可能である。このようなトポロジカルな偏光分布を持つビームは、光とトポロジーに関する基礎科学を探究する場として注目されるだけでなく、情報通信や光マニピュレーション、物性制御などへの応用も期待されている。トポロジカルな偏光分布を持つビームは、自由空間に配置されたレンズなどの複数の光学素子を用いて生成されてきたが、その可能性を拓げるため集積性や安定性に優れたフォトリソナノ構造の活用が注目されつつある。強い光閉じ込めが実現されるフォトリソナノ構造では、光のスピン軌道相互作用(SOI)と呼ばれる光の偏光状態と(位相や振幅の)空間分布の相互作用が顕著となる。この効果を活用することで、トポロジカルな偏光分布を持つ様々な光ビームの生成・制御を可能にする新奇集積光素子の実現できると期待される。本論文は「**Study on the Manipulation of Optical Spin Texture based on the Optical Spin–Orbit Interaction in Photonic Nanostructures**」と題し、フォトリソナノ構造の一つであるリング共振器に注目し、同構造内の光 SOI を活用したトポロジカルな偏光分布を有するビームの生成・制御について議論したものであり、全 8 章から構成されており英語で執筆されている。

第 1 章では、「**Introduction**」と題して、光 SOI とトポロジカルな偏光分布を有する光ビームに関する先行研究およびその課題を述べた後、本研究の目的と論文の構成を示している。

第 2 章では、「**Bases of optical spin–orbit interaction**」と題して、光の角運動量について概説した後、電子と光の波動方程式の類似性を基に、光 SOI について電子の SOI と対比させて解説されている。

第 3 章では、「**A microcavity-based generation scheme of optical skyrmionic beams**」と題して、トポロジカルな偏光分布を有する光ビームの一つであるスキルミオンビームについて、リング共振器を用いた生成手法を議論している。リング共振

器上に設けた周期の異なる2つの回折格子により、光 SOI を利用してスピンと軌道の角運動量成分が制御された光を回折させ、遠方界においてその重ね合わせとして光スキルミオンビームを得るという生成手法を提案し、その理論モデルを構築するとともに、数値計算により任意のトポロジカルチャージ(スキルミオン数)を持つ光スキルミオンビームが生成可能であることを示している。

第4章では、「Design of optical microcavities toward the generation of arbitrary higher-order Poincaré beams」と題して、第3章で議論された手法の展開の一つを論じている。リング共振器に形成する2重回折格子の構成要素のサイズや方位角方向への回転角を制御することで、回折光の間の強度比と位相差を制御できることを示し、高次ポアンカレ球上で表現可能な任意の空間偏光分布を有するビームが実現できることを示している。

第5章では、「A method for generating optical skyrmion crystal beams」と題して、偏光と位相が制御された放射源を周期的に配列することで、その遠方場として光スキルミオン結晶ビームが得られることを示している。また、複数のリング共振器を用いた構成例を示し、数値計算によりその有効性を明らかにしている。

第6章では、「Experimental demonstration of microcavity-based optical skyrmionic beam generation」と題して、2重回折格子を持つリング共振器の作製技術開発と第3章で提案された手法の原理実証実験の結果が議論されている。放射光の偏光分布測定などの結果から、リング共振器からの光スキルミオンビームが得られたことを示すとともに、その高品質化に向けた課題が議論されている。

第7章では、「Spin-dependent directional emission from an ensemble of quantum emitters embedded in a spin-orbit coupled optical waveguide」と題して、非対称的な断面構造を持つ導波路を用いることでスピン偏極した発光体から指向性の高い発光が得られること、それを利用して一方向レーザが実現出来る可能性があることを数値解析により示している。この知見は、今後リング共振器を用いた光スキルミオンレーザなどに応用できると期待される。

第8章では「Conclusions and future prospects」と題して、各章の主要な研究成果を総括し、本論文の結論及び将来展望について述べている。

以上、これを要するに、本論文はリング共振器における光のスピン軌道相互作用と呼ばれる現象を用いて光の角運動量を制御することでトポロジカルな偏光分布をもつ様々な光ビームの生成手法を提案し、理論モデルおよび具体的構造に対する数値解析による検討からその有効性を示すとともに、その原理実証実験としてシリコンリング共振器を用いた光スキルミオンビームの生成に関する結果を論じたものであり、トポロジカル光波科学の進展に寄与する成果として、電子工学に貢献するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。