

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 小西 邦昭

近年ナノスケールの微細加工技術の飛躍的進歩により、光の波長以下のスケールで様々な人工構造を設計、作製することが可能となった。このような人工構造の中には、自然界に存在する通常物質とは異なる特異な光学応答を示すものがあることが指摘され、その原理確認や応用に向けた研究が活発化している。本研究では、光の偏光状態の制御という観点から、人工構造による旋光性発現に着目し、鏡映対称を持たない単位胞構造物体が二次元周期配列した格子—擬二次元人工キラル構造—の旋光能について研究を行ったものである。金属格子において、最近報告された旋光性の発現と増強のメカニズムを解明すると共に、新たに誘電体および半導体の導波路構造の提案を行い、それを利用した巨大旋光性の発現を実証し、その機構について解明した。これにより、擬二次元人工キラル構造が光波の偏光制御素子として優れた可能性を持つことを明らかにした。

本論文は以下の8章からなる。以下に各章の内容を要約する。

第1章では、本論文の序論として、人工構造を用いた光波操作の研究の概観を紹介し、人工構造における光学応答の非局所性について述べ、本研究の背景として金属擬二次元人工キラルナノ構造において観測された巨大旋光性について紹介している。次に、本研究の目的を述べ、本論文の構成を示している。

第2章では本研究の理論的背景として旋光性の理論を述べている。旋光性の基礎を解説し、直感的説明としてよく用いられる螺旋分子モデル、誘電応答の一次の空間分散効果について述べている。続いて、分子系の量子化学的記述についてのべ、物質の対称性と旋光性の発現について述べている。

第3章では、本論文で議論する旋光性の増強においては界面に生じる電磁固有モードが重要な役割を担うため、金属界面における表面プラズモンと誘電体スラブ導波路における導波路モードについて、分散と周期構造による励起機構について説明している。

第4章では、本研究全体に共通する測定と理論解析の手法について詳細に説明している。

第5章では、金属擬二次元人工キラルナノ構造における巨大旋光性の発現メカニズムについて、斜入射の系統的な実験データをもとに、表面プラズモンの励起との関わりについて調べている。実験結果を電磁波解析による近接場分布計算と対比して考察し、表面プラズモンの共鳴励起によって生じる電場がナノ構造によって捻れを生じることを示し、構造体の形状の対称性からキラル構造で強い旋光性が生じ、アキラル構造ではそれが消失することを示している。また、この結果について、微視的な旋光性理論との対応について考察している。

第 6 章では、透明な誘電体材料を用いた擬二次元人工キラル構造について述べている。誘電体の導波路構造とキラル格子の組み合わせにより、導波路の共鳴励起に伴い、大きな旋光性が発現することを示している。入射角度依存性について系統的に調べ、この機構の妥当性を検証している。

第 7 章では、光エレクトロニクスへの応用を視野にいれ、半導体材料による擬二次元人工キラル構造について議論している。通常の半導体プロセスを用いて、第 6 章で考察した、導波路構造による増強を利用した半導体キラル格子を設計、作製し特性評価を行った。格子間隔の調整により、通信波長に同調した周波数領域で 15 度に及ぶ大きな旋光性を示す素子が実現された。円偏光が固有偏光となり、強い円二色性を示すことも見いだされた。

第 8 章では、本研究の結果をまとめると同時に、課題と今後の展望を述べている。

この他、本論文を理解する上で参考となる知識や計算の詳細について、付録 A–F を設けて説明している。

以上のように本研究は、ナノ加工技術を活かし、人工構造を創ることで光波の偏波を制御する素子について新しい原理を提案しそれを実証したものである。この成果は、光の偏光制御が必要となる、様々な応用分野において有用な新しい技法を提示したものである。また、波長近傍のスケールで構造制御された人工物体と光の相互作用について基礎的な性質を系統的に調べたものであり、光と物質の相互作用について、基礎的な観点から新たな知見を付け加えたものである。これらは今後の物理工学の発展に大きく寄与することが期待される。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。