

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 増田 亮二

光と物質の相互作用は科学技術を支える柱のひとつであり、現在も自然科学の重要な研究対象である。物質中の光の振る舞いは19世紀にマックスウェルによって統合された方程式によって表現されると認識されているが、昨今の物性研究により電気磁気結合を示す新たな項が加わる場合があることが明らかになっている。その代表的な物質群がマルチフェロイクスやトポロジカル絶縁体である。交流電磁場である光の応答はこの電気磁気結合を強く反映するために多彩な光学効果が発現し、新しい光機能性としても注目されている。特にマルチフェロイクス固有の素励起であるエレクトロマグノンとは本質的に巨大な電気磁気結合を持つため、電気磁気光学効果と呼ばれる種々の非相反現象の舞台となりうる。本博士論文は、エレクトロマグノン共鳴に着目し、電気磁気光学効果を包括的に研究することでその特性を明らかにし、外場による光学効果の制御法の開拓を目指して行われたものである。

第1章では、研究の目的と背景が記されている。電気磁気光学効果である非相反方向2色性、旋光性複屈折と自然旋光性の概要が記されている。本研究の舞台となるマルチフェロイクスとエレクトロマグノンに関する物理的機構と、電気磁気光学効果の研究の現状が記されている。また、テラヘルツ帯の光学現象としてのエレクトロマグノン研究の意義についても述べている。

第2章ではテラヘルツ光の発生・検出の原理、テラヘルツ時間領域分光法と、光学効果の解析手法について説明している。

第3章ではらせん磁性体 YMn_2O_5 の逐次相転移を用いて明らかにした電気磁気光学効果の発現条件について述べている。交換相互作用を媒介とするエレクトロマグノンが示す方向2色性は磁気波数に大きく依存し、格子整合相でのみ方向2色性を示すことが明らかになった。この結果を、微視的なスピンドYNAMIXスのモデルにより説明した。一方で大きなエネルギーギャップを持つ電気磁気活性なモードを逆ジャロシンスキ・守谷機構を起源とするエレクトロマグノンと同定し、磁気波数に依存せず方向2色性を示すことを見出した。

第4章ではらせん磁性に由来したカイラリティによる自然旋光性とその電場制御の実現について述べている。らせん磁性体 CuO は傾いたスピン面を持ち、カイラリティとポラリティを併せ持つ。カイラリティの最も基本的な性質である自然旋光性は非相反応答の一種であり、光の偏光回転として観測される。エレクトロマグノン共鳴での偏光測定を行うことで、スピン誘起のカイラリティによる自然旋光性を観測した。自然旋光性による円2色性はエレクトロマグノンで共鳴を持ち、その回転の符号がカイラリティの反転によって反転することを確かめた。また、電場によるカイラリティの反転を自然旋光性によって観測し、電場パルスによるテラヘルツ光の偏光制御のデモンストレーションを行った。

第5章ではエレクトロマグノンを用いたらせん磁性体における電気磁気光学効果の包括的な研究について述べている。 CuO のエレクトロマグノン共鳴において、磁気カイラル効果を含む方向2色性、旋光性複屈折の測定を行った。電気磁気光学効果の実現には時間反転対称性が要請され

るため磁場を印加する必要があるが、磁場の方向によってその種類を選択的に変えることが可能である。磁気カイラル効果と呼ばれる方向 2 色性がエレクトロマグノンの共鳴で最大 30 % の吸収係数の変化を示すことを観測した。また、磁場の方位を変えることで別のタイプの方向 2 色性を観測した。一方で、テラヘルツ光の精密な偏光解析により、エレクトロマグノンが共鳴的に旋光性複屈折を誘起していることを明らかにした。これら 3 種類の電気磁気光学効果に自然旋光性を加えたものを電気磁気スペクトルとして定量的に比較し、共鳴構造と大きさの比較を行った。また、スピンドYNAMIX の観点から、これらの光学効果の微視的起源についてモデルの提案を行った。

第 6 章では以上の研究成果の総括と今後の展望について述べられている。

以上のように、本研究ではエレクトロマグノンの電気磁気現象を光学応答の観点から研究することで、マルチフェロイクスが一般的に持つ動的な特性を明らかにし、テラヘルツ帯の多彩な光機能性とその制御手法を実証した。この結果は広い適用範囲を持ち、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）の学位請求論文として合格と認められる。