

論文内容の要旨

博士論文題目 磁気カイラルメタ分子の作製と電磁波応答および電気伝導特性

氏名 児玉 俊之

(論文内容の要旨)

時間と空間の対称性が同時に破れた、つまり磁性とカイラリティが共存するような系では磁気カイラル効果と呼ばれる非相反な電磁波伝播現象が得られる。このような方向依存の複屈折は、微小なアイソレーターや電磁波に対する人工的ゲージ場の創成といった、基礎と応用の両面から興味深い。本研究ではこの時空の対称性を同時に破る系として、磁性金属のカイラル構造（磁気カイラルメタ分子）を作製し、人工構造を用いた磁気カイラル効果の観測を試みた。

まず、応力誘起自己巻上げ法を用いて磁気カイラルメタ分子の作製に取り組んだ。多数のメタ分子が基板固定されたアレイ試料と単一メタ分子が基板固定された試料の作製法を確立した。単一メタ分子におけるキャビティを用いた角度分解強磁性共鳴（FMR）測定の結果、角度依存する共鳴と角度依存しない共鳴が観測された。これらの共鳴メカニズムを解明するため、直方体モデルでの Kittel の式を用いた解析計算を行い、実験値の定性的な再現に成功した。さらに磁気モーメントをカイラル状に配置し、スピンの運動方程式であるランダウ・リフシッツ・ギルバート方程式を数値的に解くことで、メタ分子の各部分で磁気モーメントの歳差運動の様子が異なることを示した。以上の結果から、メタ分子の角度分解 FMR 測定で得られた二種類の共鳴は、三次元構造であるメタ分子の各部分で生じる Kittel モード FMR が起源であることが分かった。さらにメタ分子の磁化構造も明らかにした。

次に、単一磁気カイラルメタ分子に対し、平行伝送線を用いたマイクロ波分光を行った。その結果、エッジガイドモードに起因する非相反伝播特性が得られた。さらに、磁気カイラル効果に起因すると考えられる非相反伝播現象の観測にも成功した。

以上のように、応力誘起自己巻上げ法を用いて、微小な三次元構造である磁気カイラルメタ分子を作製し、磁気カイラル効果である可能性が高い非相反伝播現象の観測に成功した。本研究の結果は、強磁性金属のカイラル構造は時空の対称性が破れたメタ分子として働くことを示している。すなわち、カイラル構造の微小化が進めば、更なる高周波帯での磁気カイラル効果を発現させることも可能である。また、マクロなカイラル構造がスピン波へ与える影響といった基礎物理学的な興味もあり、今後の展開が期待される。

(論文審査結果の要旨)

本論文は、時間反転対称性と空間反転対称性を同時に破る強磁性金属のカイラル構造(磁気カイラルメタ分子)を作製し、電磁波特性と電気伝導特性について研究したものである。また磁気カイラルメタ分子での磁気共鳴現象を実験と計算の二面から調べ、共鳴の起源や磁化構造の解明にも取り組んでいる。

第1章では、研究背景と対称性の破れた系での電磁波応答、研究目的について述べた。

第2章では、応力誘起自己巻上げ法を用いた磁気カイラルメタ分子アレイの作製法を確立した。確立した作製法では、メタ分子を基板上に配列して固定することが可能となり、さらにメタ分子のカイラリティの制御にも成功した。

第3章では、単一の磁気カイラルメタ分子での強磁性共鳴測定を詳細に行った。単一メタ分子での測定により、外部磁場の印加角度に依存してシフトする共鳴とシフトしない共鳴の二種類が存在することが示された。平行伝送線路を用いた強磁性共鳴測定から、実効的な g 値や飽和磁化を算出した。直方体モデルでの Kittel の式を用いた解析計算から、実験結果を定性的に再現することに成功した。この結果、二種類の共鳴はメタ分子の磁場に常に平行な部分とそうでない部分からの共鳴に起因していることが示唆された。さらに、磁気モーメントをカイラル状に配置し、スピンの運動方程式であるランダウ・リフシッツ・ギルバート方程式を数値的に解いた。これにより磁場がカイラル軸に斜めに入射されている場合、メタ分子内の各部分で磁気モーメントの歳差運動の様子が確かに異なることが示された。

第4章では単一磁気カイラルメタ分子での平行伝送線路を用いたマイクロ波分光を行った。まず磁場をマイクロ波の伝播方向と垂直にして、磁気カイラル効果が生じ無い系での測定を行った。シグナル線の端にメタ分子を配置した場合に Kittel モードの FMR に加えてスピン波共鳴と考えられる信号と、磁場の大きさに共鳴周波数が依存しない特異な共鳴が観測された。さらに、エッジガイドモードに起因する非相反なマイクロ波伝播が観測された。メタ分子をシグナル線中央に配置し、エッジガイドモードが生じ無い状態で、磁場をマイクロ波の伝播方向と平行に印加して測定を行った。測定の結果、磁気カイラル効果である可能性が高い非相反な伝播特性が観測された。

第5章では、磁気カイラルメタ分子の電気伝導測定から電流に対する磁気カイラル効果の観測を試みた。磁性金属を用いることで電気抵抗値に異方性が観測されたが、磁気カイラル効果のように極性の反転は観測されなかった。

以上のように本論文では、磁気カイラルメタ分子の作製法を確立し、その電磁波応答と電気伝導特性について研究した。作製した磁気カイラルメタ分子で、磁気カイラル効果であると考えられる非相反なマイクロ波の伝播現象を確認した。メタ分子の更なる微小化により、更なる高周波帯での磁気カイラル効果の応用も期待され、学術的に十分な意義がある。よって審査委員一同は、本論文が博士(理学)論文として価値あるものと認めた。