

氏 名 梶 芳 功系兆
授与した学位 博 士
専攻分野の名称 理 学
学位授与番号 博甲第3377号
学位授与の日付 平成19年 3月23日
学位授与の要件 自然科学研究科基盤生産システム科学専攻
(学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目 一次元および単分子磁性体の極低温電子物性

論文審査委員 教授 大嶋 孝吉 教授 原田 勲 教授 野上 由夫

学位論文内容の要旨

本論文では、分子磁性体の極低温電子物性について報告をおこなった。対象とした試料は有機一次元分子磁性体 γ -*p*-NPNN 及び、単分子磁石 (Single-Molecular-Magnet) V_{15} , Cu_3 である。有機磁性体は、有機物から作られる磁性体で、原子内の電子の軌道が磁性に寄与する従来の無機磁性とは異なり、ラジカル分子間の相互作用によってスピン配列が起こり、磁性が発現する。分子は比較的自由に構造を設計することができ、近年、合成された分子を基に、スピンプラストレーションをもつ系や、磁場誘起相転移などの現象が観測されている。単分子磁石は、遷移金属原子の集合体であるスピנקラスターの系で、それぞれのクラスター間は、磁気的な相互作用を持たない系である。単分子磁石は特徴的なエネルギー準位構造を持ち、スピンの量子トンネリングが観測されており、量子コンピュータへの応用が理論的に提案されている。

有機一次元磁性体 γ -*p*-NPNN の物性を調べるために、極低温低周波電子スピン共鳴 (ESR) (1~3GHz) をおこない、反強磁性共鳴の観測に初めて成功した。反強磁性共鳴の角度変化から、スピン容易軸方向を決定した。また、4副格子モデルを仮定した磁気共鳴の計算から、磁気異方性定数、及び分子間の交換相互作用の大きさを決定した。カンチレバー法を用いた磁気トルクの測定では、スピン容易軸方向は、低周波 ESR から求められたスピン容易軸方向と一致し、磁気トルクの温度依存性から、極低温における磁気相図を決定した。磁気双極子-双極子エネルギーの計算から見積もられるスピン容易軸方向は、低周波 ESR 及び磁気トルクの測定から求められるスピン容易軸方向と一致し、このことから、磁気異方性は、 β 相の *p*-NPNN と同様に、ほとんど磁気双極子相互作用によって決定されることがわかった。

単分子磁石である V_{15} では、これまでの実験では、ゼロ磁場ギャップが非常に小さいことから、ギャップの起源が決定されていなかったが、極低温低周波電子スピン共鳴により、Dzyaloshinskii-Moriya Interaction が、ゼロ磁場ギャップに寄与していることを示した。また、ゼロ磁場ギャップの大きさを、初めて直接的に見積もった。

Cu_3 では、これまで報告のなかった 5K 以下の X-band-ESR (9GHz) を測定し、doublet 内の遷移の増加と quartet 内の遷移の減少がボルツマン分布に従うことを初めて確認した。X-band-ESR 及び低周波 ESR は、これまでに報告されている磁気パラメータによって再現された。これまで主に Q-band-ESR (34GHz) の結果を基に磁気パラメータが決定されていたが、さらに低周波においても、これまでのモデルによってエネルギーダイアグラムが説明できることを確認した。

論文審査結果の要旨

本論文では、分子磁性体の極低温電子物性について報告している。とくに、軽元素だけからなる強磁性体 β -*p*-NPNN と関連が深く、構造不安定性のために研究が進んでいなかった有機一次元磁性体 γ -*p*-NPNN の物性を調べるため、必要な、低周波電子スピン共鳴装置の開発を行い、反強磁性共鳴の観測に初めて成功した。また、4 副格子モデルを仮定した磁気共鳴の計算を行い、秩序状態のスピン構造を決定した。さらに原子間力顕微鏡用カンチレバー法を用いた磁気トルク精密測定装置を開発し、スピン容易軸方向が、低周波 ESR から求められたスピン容易軸方向と一致することを示し、スピン構造、極低温における磁気相図について磁気共鳴によるデータを補足する情報を与えた。磁気双極子-双極子エネルギーを見積もり、磁気異方性の起源は、ほとんど磁気双極子相互作用によって決定されることを示した。また、トルク測定によって磁場誘起構造相転移を示唆する結果を得た。

いっぽう量子コンピュータ素子への可能性で注目される単分子磁性体、 V_{15} や Cu_3 に極低温低周波電子スピン共鳴手法を適用し、 V_{15} についてはゼロ磁場ギャップの起源がジャロシンスキー・守谷相互作用であることを示した。また Cu_3 に提案されているモデルの妥当性を検討し、より広い温度範囲、周波数範囲で適用できる結果を得た。以上のように、有機分子磁性体及び単分子磁性体の極低温物性に新しい知見を与えた本論文は、博士の学位に値すると認められる。