

Title	High density excitation effect on magnetic polarons in semimagnetic semiconductors
Author(s)	片山, 浩一
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/47329
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏 名	かた 片 やま 山 こう 浩 いち 一
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 2 1 2 7 8 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 19 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科物質創成専攻
学 位 論 文 名	High density excitation effect on magnetic polarons in semimagnetic semiconductors (半磁性半導体における磁気ポーラロンの高密度励起効果)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 伊 藤 正 (副査) 教 授 宮 坂 博 教 授 北 岡 良 雄 助 教 授 草 部 浩 一 助 教 授 芦 田 昌 明

論 文 内 容 の 要 旨

半磁性半導体は半導体の陽イオンを磁性イオンで多量に置換した物質であり、半導体由来の遍歴電子と磁性イオン由来の局在電子が結びついた系として多くの研究者を惹きつけてきた。半磁性半導体に光を照射することにより生じた励起子の電子・正孔が $s,p-d$ 交換相互作用を通じて、電子・正孔波動関数の広がり範囲内にある磁性イオンのスピンの方向を揃えて安定化し、励起子磁気ポーラロンと呼ばれる状態を生成する。この励起子磁気ポーラロンを高密度に生成した場合、電子・正孔系が磁性イオンとの $s,p-d$ 交換相互作用によって高密度な励起状態でありながら秩序を保ち、安定な状態が出現する可能性がある。現在までに T. Kuroda らと Z. H. Chen らが半磁性半導体の高密度励起を試みたが、T. Kuroda らは高密度磁気ポーラロンは不安定と推定し、Z. H. Chen らが過渡吸収から観測した状態は電子・正孔が磁性イオンと十分に相互作用して磁性イオンのスピンを揃えるには寿命が短かすぎると考えられる。本研究ではエネルギー幅の狭いピコ秒のレーザーを用いて、磁性イオン濃度が高いサンプルを励起し、混晶および磁気ゆらぎによる深いポテンシャルポケットに高密度電子・正孔系を生成した結果、新たな発光帯を発見した。この発光はバンド間励起では現れず、励起強度に対して非線形に増大し、通常の磁気ポーラロンが示さない、磁場による低エネルギーシフトを示した。発光の時間発展は、零磁場下で電子・正孔プラズマを想起させる傾向を示すが、磁場の印加によりこの傾向は消失する。以上の実験事実からこの発光の起源として、多数の電子・正孔からなる系が磁性イオンとの $s,p-d$ 交換相互作用によって、スピンを一方向に揃えて安定化する高スピン配置モデルを提案した。本研究によって、クーロン相互作用が現象を支配する非磁性半導体の高密度電子・正孔系における多励起子状態、電子・正孔プラズマ、励起子ボース・アインシュタイン凝縮とは異なる、 $s,p-d$ 交換相互作用が重要な役割を果たす高密度電子・正孔・磁性イオン系の高スピン配置状態という新たな物理の研究を提示した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、化合物半導体に磁性イオンを大量にドーピングした半磁性半導体（希薄磁性半導体とも呼ばれる）の光物性、特に光励起により磁性イオンの磁気モーメントが局所的に整列する励起子磁気ポーラロンの高密度励起効果について研究したものである。この系では、光照射により生じた励起子の電子・正孔は s,p-d 交換相互作用を通じて、電子・正孔の波動関数範囲内にある磁性イオンの磁気モーメントの方向を揃えて安定化し、励起子磁気ポーラロンを生成する。励起子磁気ポーラロンを高密度に生成した場合、高密度電子・正孔系からマクロな磁気秩序状態が出現する可能性が議論されているが、現在までその確証に至っていなかった。本研究では、エネルギー幅の狭いピコ秒パルスレーザーを用いて磁性イオン濃度が高い試料を瞬時強励起し、混晶および磁気ゆらぎによる深いポテンシャルポケットに高密度電子・正孔系を直接生成し、高密度電子・正孔系と磁性イオンとの相互作用に基づく新たな協力現象を発見したものである。

第一章では、半磁性半導体 $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ を中心とする物質群における励起子磁気ポーラロン、および電子・正孔系の高密度励起効果に関するこれまでの研究の概要と問題点、本研究の目的が述べられている。

第二章では、本研究の実験方法、特にピコ秒パルスレーザーを用いた選択励起法による局在励起子の直接生成、時間分解磁気発光分光についてその特色を述べている。

第三章では、実験結果として半磁性半導体 $\text{Cd}_{0.8}\text{Mn}_{0.2}\text{Te}$ 中の局在励起子の高密度選択励起による新規非線形発光の発見、その励起強度依存性、巨大磁気光学効果、弱磁場下における特徴的な振動構造の出現とファラデー回転との関係、発光のピコ秒時間発展の磁場効果についてその特徴が明らかにされている。これらの実験結果とあわせて理論的考察から、局在励起子の局在の深さと励起子半径を用いて励起子がポテンシャルポケット中で個別閉じ込めを受けることを見出し、励起子磁気ポーラロンの高密度効果によって、磁気ポーラロン間のスピンを一方向に揃える励起子局在状態の高スピン配置状態が安定化することを提案している。

第四章は本論文のまとめと研究結果の意義である。クーロン相互作用が現象を支配する半導体中の高密度電子・正孔系の多励起子状態としては、これまで電子・正孔プラズマや励起子ボース・アインシュタイン凝縮が知られていたが、これらとは全く異なる新物質状態、即ち、s,p-d 交換相互作用が重要な役割を果たす高密度電子・正孔系の高スピン配置状態が光励起直後に極めて短時間で出現することが初めて示された。

本論文は、光励起による超高速時間応答を示す新物質層出現に関する基礎研究として意義深いのみならず、光スピントロニクスに関する応用研究にも寄与するものであり、博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。