

Title	量子ドット系での軌道近藤効果による輸送特性
Author(s)	阪野, 壘
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/48450">https://hdl.handle.net/11094/48450</a>
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">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a>〉</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	さかの野 皇
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 21155 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 工学研究科応用物理学専攻
学位論文名	量子ドット系での軌道近藤効果による輸送特性
論文審査委員	(主査) 教授 川上 則雄 (副査) 教授 小栗 章 大阪市立大学理学研究科教授 小栗 章 教授 笠井 秀明 助教授 菅 誠一郎

#### 論文内容の要旨

近年の微細加工技術の発展により様々なメゾスコピック系についての研究が行われるようになった。ナノメートルサイズの金属や半導体の塊は量子ドットと呼ばれ、その量子力学的性質が注目されている。本論文では、この量子ドット系を舞台にスピンと軌道自由度の競合が引き起こす電子相関現象、近藤効果による電子輸送現象の解明を目的として、議論を行った。

まず第 1 章では導入として本研究の背景にある量子ドットの特性と近藤効果のメカニズムについて述べた。第 2 章では本論文で用いる解析手法について述べた。非平衡グリーン関数を用いた量子ドット系の輸送係数の取り扱い方法を述べ、さらに近藤効果の取り扱い方法としてベーテ仮説による厳密解法と、ダイアグラム摂動法として **Noncrossing Approximation (NCA)** について述べた。特に軌道による近藤効果を解析するために軌道自由度も取り込んだ系の解析方法について述べた。第 3 章では多重量子ドット系での軌道近藤効果による輸送特性を解明した。多重量子ドット系では、量子ドット間の電荷の揺らぎによって近藤効果がおこる。この近藤効果の幾何的構造に起因した輸送特性の磁場、ゲート電圧依存性を議論し、このメカニズムと輸送特性を明らかにした。第 4 章では、単一量子ドット系での軌道近藤効果による輸送特性、特にコンダクタンスについて議論した。二軌道近藤効果の実験の説明を行い、更に三軌道を有する系に特有のコンダクタンスの振る舞いを明らかにすることで、一般の多数の軌道を有する量子ドット系の近藤効果によるコンダクタンスを系統的に明らかにした。ここでは厳密解による絶対零度系での解析と **NCA** による有限温度系での解析を行うことで、相補的に軌道近藤効果によるコンダクタンスについて議論をおこなった。続く第 5 章では単一量子ドット系の軌道近藤効果による輸送特性について熱起電力を中心に議論した。コンダクタンスはフェルミ面付近の状態密度そのものを反映するが、熱起電力は状態密度、特に近藤効果が起こっている場合は近藤共鳴ピークの非対称性を強く反映する。ここでは軌道分裂や価数揺動による近藤ピークのシフトを反映した熱起電力特性を明らかにした。このことによりコンダクタンスと熱起電力の観測を相補的に行うことで、量子ドット中の電子状態をより詳しく解明できることを指摘した。ここでは前章同様に厳密解による低温での解析と、**NCA** による有限温度系での解析を行った。最後に第 6 章で本論文内容をまとめ総括した。

以上の議論を通して様々な量子ドット系でのスピンや軌道自由度による近藤効果が誘起するコンダクタンスや熱起電力の特性を明らかにした。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、半導体量子ドット系を舞台にスピンと軌道自由度の競合が引き起こす近藤効果とこれに起因する電子輸送現象を解明することを目的として理論研究を行い、それらをまとめたものである。主な成果を要約すると以下のとおりである。

1. まず、本研究の背景となる量子ドットの特性と、典型的な電子相関効果である近藤効果のメカニズムについて詳細な解説を行っている。

2. 本論文で用いる解析手法として、ケルディシュ非平衡グリーン関数法、近藤効果に対する厳密解、ダイアグラム摂動法である **Noncrossing Approximation** について解説している。特に、軌道自由度による近藤効果の解析方法について詳しく述べている。

3. 多重量子ドット系における軌道近藤効果を解析している。多重量子ドット系では、量子ドットそのものがあたかも軌道自由度のように振る舞い、ドット間の電荷の揺らぎによって近藤効果がおこる。この近藤効果の幾何学的構造に起因した輸送特性の磁場、ゲート電圧依存性を議論し、この近藤効果のメカニズムと輸送特性を明らかにしている。

4. 単一量子ドット系での軌道近藤効果による輸送特性、特にコンダクタンスについて理論解析を行っている。2軌道および3軌道を有する量子ドット系のコンダクタンスに特徴的な温度変化が現れることを示し、これがそれぞれの軌道近藤効果に特有のものであることを指摘している。さらに多数軌道の場合の性質を系統的に明らかにしている。2軌道および3軌道近藤効果の解析結果は最近の実験事実をうまく説明している。

5. 単一量子ドット系の軌道近藤効果による輸送特性について熱起電力を中心に調べている。ここでは軌道分裂や価数揺動による近藤ピークのシフトを反映した熱起電力の特性を明らかにしている。コンダクタンスと熱起電力の観測を相補的に行うことで、量子ドット中の電子状態をより詳しく解明できることを指摘している。

以上のように、本論文は軌道縮退のある量子ドット系における電子相関と量子輸送現象について理論的に解析したもので、基礎的な面のみならず、応用の面でも有益な知見を得ており、応用物理学、特に物性物理学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。