OUKA
Osaka University Knowledge Archive

Title	超伝導/常伝導リードに繋がれた量子ドット系における輸送特性
Author(s)	田中, 洋一
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48638
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏　　名	田　中　洋　一（たなか　よういち）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学位記番号	第　２２００７　号
学位授与年月日	平成 20 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科精密科学・応用物理学専攻
学位論文名	**超伝導/常伝導リードに繋がれた量子ドット系における輸送特性**
論文審査委員	（主査） 准教授　菅　誠一郎 （副査） 招へい教授　川上　則雄　　教　授　岩崎　　裕　　教　授　八木　厚志 京都大学理学研究科准教授　藤本　　聡

論　文　内　容　の　要　旨

近年の微細加工技術の進歩によって、人工的なナノスケール電子系が作製可能になった。このような系では、電子の量子力学的二重性や相関効果に起因した新たな現象が次々と見つかっており、物性物理学のフロンティアとなっている。特に、電子を零次元の領域に閉じ込めた量子ドット系は、次世代電子デバイスへの応用が期待されているだけでなく、物理的にも近藤効果などの多体効果を系統的に調べられることから大変興味深い研究対象である。また、量子ドットなどのナノスケール電子系を組み合わせた量子複合系についても研究が進められている。量子複合系では、量子ドット・AB リング複合系におけるファノ効果に代表されるように、電子の多体効果と干渉効果の双方が織り成す輸送特性が見られる。また、量子コンピュータを実現する上で重要となる量子ビットやコヒーレンス制御についての研究など、応用的な観点からも量子複合系は注目を集めている。さらに最近では、ナノスケール電子系に超伝導体を接合した系が作製可能となった。このような系では、超伝導という巨視的な量子効果とナノスケールにおけるミクロな量子効果が共存する。そのため、これら両方の量子効果が絡み合った興味深い輸送現象が見られ、ナノスケール電子系の新たな研究舞台として最近活発に研究が進められている。以上の背景の下に、本研究では量子ドットに超伝導リードと常伝導リードを繋いだ系を考え、アンドレーエフ反射による輸送特性に関して理論的研究を行った。

第１章では、研究背景について紹介した後、本論文の目的について述べた。

第２章では、量子ドットに超伝導リードと常伝導リードを繋いだ系を考え、アンドレーエフ反射による輸送特性について解析を行った。その結果、系の基底状態はドット内のクーロン相互作用の大きさに依存して、超伝導相関または近藤効果によるスピン一重項状態をとり、これらのスピン一重項状態のクロスオーバーがコンダクタンスにピーク構造として現れることを明らかにした。また、ボゴリューボフ変換を適用することにより、この系における低エネルギー状態が局所フェルミ流体論で記述されることを証明した。

第３章では、二つのドットをリードに対して直列に繋いだ直列ダブルドット系を考え、アンドレーエフ反射による輸送特性について調べた結果を述べた。その結果、コンダクタンスのドット間トンネリング依存性に見られるピークは、クーロン相互作用がある程度大きくなると消失していくことを明らかにした。また、二つのドットのクーロン相互作用を互いに独立に変化させることにより、クーロン相互作用がアンドレーエフ反射に与える影響は、二つのドットで異なることが分かった。

第４章では、超伝導/常伝導リードに繋がれたT字型および並列型ダブルドット系を考え、それらの系における電子の多体効果・干渉効果に起因した輸送特性について調べた。その結果、干渉効果によって抑制されていたコンダクタンスが、ドット内のクーロン相互作用が大きくなるにつれて増大していくことを明らかにした。

最後に第５章において本論文を総括し、今後の展望について述べた。

論文審査の結果の要旨

ナノスケールの閉じ込め構造である量子ドットは、次世代電子デバイスへの応用が期待されているとともに、基礎科学としても電子の多体効果を系統的に調べられることから大変興味深い研究対象となっている。また最近では、量子ドットに超伝導体を接合した系が作製可能となっており、アンドレーエフ反射やジョセフソン効果など、超伝導接合系特有の輸送特性について盛んに研究が行われている。本研究では、量子ドットに超伝導リードと常伝導リードを繋いだ系を考え、アンドレーエフ反射による輸送特性について理論的研究を行っている。特に、ドット内におけるクーロン相互作用を考慮し、近藤効果などの多体効果と超伝導との競合に焦点を当てて輸送特性を考察している。

第１章では、研究背景について紹介した後、本論文の目的について述べている。

第２章では、量子ドットに超伝導リードと常伝導リードを繋いだ系を考え、アンドレーエフ反射による輸送特性について解析を行っている。その結果より、系の基底状態はドット内のクーロン相互作用の大きさに依存して、超伝導相関または近藤効果によるスピン一重項状態をとり、これらのスピン一重項状態のクロスオーバーがコンダクタンスのピーク構造に反映されることを明らかにしている。また、ボゴリューボフ変換を適用することにより、この系における低エネルギー状態が局所フェルミ流体論で記述されることを証明している。

第３章では、二つのドットをリードに対して直列に繋いだ直列ダブルドット系を考え、アンドレーエフ反射による輸送特性について調べた結果を述べている。その結果より、コンダクタンスのドット間トンネリング依存性に見られるピークは、クーロン相互作用がドット・超伝導リード間の混成幅の二倍程度に大きくなると消失していくことを明らかにしている。また、二つのドットのクーロン相互作用を互いに独立に変化させることにより、クーロン相互作用がアンドレーエフ反射に与える影響が二つのドットで異なることを示している。

第４章では、超伝導/常伝導リードに繋がれたT字型および並列型ダブルドット系を考え、それらの系における電子の多体効果・干渉効果に起因した輸送特性について調べている。その結果から、干渉効果によって抑制されていたコンダクタンスは、ドット内のクーロン相互作用が大きくなるにつれて増大していくことを明らかにしている。

最後に第５章において本論文を総括し、今後の展望について述べている。

以上のように、本論文は量子ドットに超伝導リードと常伝導リードを繋いだ系の輸送特性に関して理論的に研究したもので、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。