

Title	Theoretical Study of Coulomb Interaction Effects on Tunneling Current through Small Systems
Author(s)	三井, 隆志
Citation	大阪大学, 1998, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/40670
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	三井隆志
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 13964 号
学位授与年月日	平成10年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学位論文名	Theoretical Study of Coulomb Interaction Effects on Tunneling Current through Small Systems (微小系を介したトンネル電流におけるクーロン相互作用の効果についての理論的研究)
論文審査委員	(主査) 教授 張 紀久夫 (副査) 教授 鈴木 直 教授 三宅 和正 姫路工業大学教授 馬越 健次

論文内容の要旨

本論文では、非平衡電子分布の下での Anderson 模型に基づいて、微小系を介した2つの電極間のトンネル電流の電圧特性を理論的に研究した。特に、微小系内での電子間のクーロン相互作用の影響を調べる事により Coulomb 閉塞と近藤ピークを介した電流(非平衡近藤効果)を議論する事が出来た。この理論は、馬越による走査トンネル顕微鏡 (STM)の理論においてチップ先端での電子間のクーロン相互作用を取り入れた場合への拡張になっている為、STM 電流におけるチップ先端での電子間に Coulomb 相互作用の影響も調べることが出来る。

非平衡系を扱う為に Mahanthappa, Baksi, Keldysh 等による非平衡 Green 関数法を用いて定常電流の表式を導いた。これは、Landauer の公式の電子間に相互作用がある場合への拡張になっている。この表式に基づいて非線形の電流電圧特性を数値計算で求めた。まず、Hartree-Fock 近似を採用した。その際、Hartree-Fock 方程式はいくつかの解が存在することが平衡系の場合においても知られているが、非平衡系においては更に多くの解が存在する可能性があり、それらの中から物理的に正しい解を選ぶ為に自由エネルギー最小の原理を非平衡系にも拡張し、それにより唯一の解を選んだ。次に、対称 Hartree-Fock 解を用いて自己エネルギーに関して Coulomb 相互作用についての摂動展開を行った。この方法により以下の事を示せた。

Coulomb 閉塞に関しては、2次摂動まで考慮してはじめて合理的な結論が導かれる。さらに、既知の振舞とは異なった電流電圧特性(負性電気伝導率)を示す可能性を理論的に示した。これは多体効果によって生じるものである。

近藤ピークを介した電流については、平衡系の時に生じていたフェルミ面での近藤ピークが、電位差がかかる事によって壊されていく様子を数値計算で確認し、それを介した電流の電圧特性を求めた。さらに電位差についての線形応答では、この系の電気伝導度が、金属中の磁性不純物による近藤効果の電気抵抗と対応していることを解析的に示した。

論文審査の結果の要旨

申請者は、非常に狭い領域を通して流れるトンネル電流に対する電子間相互作用の効果を、拡張した Anderson 模型を用いて理論的に研究した。試料・プローブ・微小領域から成る系全体をコヒーレントに扱い、非平衡系の取扱い

が可能なグリーン関数法を用いて、有限のバイアス電圧下の定常電流を求めた。まず、このグリーン関数を用いた定常電流の表式を導き、Hartree-Fock 近似、および（その非磁性解を非摂動系とした）相互作用に関する 3 次までの摂動展開により電流値を評価した。2 次摂動の範囲で、印加電圧の関数として、電流の階段状の変化と（クーロン相互作用の大きさに相当する幅の）プラトー領域の存在、いわゆるクーロン閉塞現象が導出されることを示した。その中でも特に興味深い振る舞いをするパラメーター領域について詳しい解析を行い、電流の階段状変化の直後に負の電気伝導率の領域が存在することと、微小電位差領域に、近藤ピークを介したトンネル電流が存在し、電位差が増加するとそれが消失することを示した。これらの現象は、電位差の変化に伴う電子状態とその占有数の変化を通して局所的電子相関の効果が 1 電子状態密度の変化として現れるため、として物理的に説明されている。以上のように、当研究は、微小系の非平衡定常電流に対する電子相関効果の基礎理論を展開しただけでなく、局所的電子相関の効果による負電気伝導率の存在を初めて指摘するなど興味ある現象の予言も行っており、博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。