

Title	Fano effect in double quantum dot and single electron dynamics studied with radio frequency
Author(s)	則元, 将太
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/72643
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論文内容の要旨

氏 名 (則元 将太)	
論文題名	Fano effect in double quantum dot and single electron dynamics studied with radio frequency (二重量子ドットにおけるファノ効果の観測と高周波測定を用いた単電子の伝導ダイナミクスの解明)
論文内容の要旨	
<p>メゾスコピック系は微小な固体素子の系であり、多彩な量子力学的効果や相互作用を観測・制御できる系である。特にGaAsとAlGaAsのヘテロ接合により実現する二次元電子系は、基板上のショットキーゲートを用いて様々な制御が可能である。例えば、高い制御性により局所的に閉じ込めた量子ドットと呼ばれる量子系が実現されており、単一準位の電気伝導や単一電子の操作が可能となっている。また測定手法としては通常の電気伝導度測定のほか、高周波を用いた高速測定が可能である。これらの技術を組み合わせれば、単一準位を透過する単電子伝導を実時間で測定することができる。本研究で目指したのは、メゾスコピック系の伝導ダイナミクスを単電子の透過・反射という理論的にも分かり易い形で実現することであり、量子系の非平衡領域における振る舞いを実験的に探索する基盤技術を構築することである。</p> <p>本講演では三つの事柄について発表する。一つ目は、量子ドットが直列に連結した二重量子ドットにおける典型的な干渉現象であるFano効果についてである。二つ目は、二重量子ドット内の電子数（電荷状態）の単電子トランジスタ（SET）を用いた測定である。三つ目は、クロック制御された単一電子源からの電流生成である。以下に、上記三つの研究内容について具体的な説明を行う。</p> <p>一つ目の二重量子ドットにおけるFano効果と二つ目の電荷状態の観測は、同一のサンプルを用いて行われたものである。まず二重量子ドットが形成されていることを、伝導度測定によって確認した。その状況下で、二重量子ドットそれぞれの離散準位に加え二重量子ドット全体に広がる空間的にもエネルギー的にも広がった準位（spread state）を導入した。伝導電子が離散準位とspread stateを量子的に透過した結果として、二重量子ドットにおけるFano効果を初めて観測し、論文として報告した。また、量子ドットを用いた電流標準の実現するにあたって課題となっているのが、単電子操作における誤動作である。予期しない電荷状態の変化に対応してフィードバック制御を行って一定の電流を生成することを目的として研究を行い、SETによる高周波の反射を用いて電荷状態を検出することに成功した。</p> <p>三つ目は単電子の伝導ダイナミクス解明のため、クロック制御された単電子源を用いた電流生成である。単電子源作製のため微細構造のエッチングや微小電流の検出など技術的な課題を解決し、単電子源の駆動を確認した。</p> <p>高周波測定と単電子源作製のための微細加工技術を確立した本研究は、今後の量子系の非平衡領域の研究を推し進めるものと位置付けられる。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (則 元 将 太)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 小林 研 介
	副 査	教授 浅野 建 一
	副 査	教授 大岩 顕
	副 査	教授 松野 丈 夫
	副 査	准教授 新見 康 洋

論文審査の結果の要旨

メゾスコピック系とは量子力学的な効果が発現する微小な固体素子のことである。その特徴は、多彩な量子力学的効果や相互作用を観測・制御できる点にある。特に AlGaAs/GaAs 半導体二次元電子系を用いることにより、基板上のショットキー電極を用いて様々な制御や測定に基づく研究が可能である。例えば、ショットキー電極により局所的に閉じ込めた量子ドットと呼ばれる量子系では、単一準位の電気伝導の観測や単一電子の操作が可能である。また測定手法としては、通常の電気伝導度測定だけでなく、高周波を用いた測定も可能である。これらの技術を組み合わせれば、単一準位を透過する単電子伝導を実時間で測定できると期待される。本研究で目指したのは、メゾスコピック系の伝導ダイナミクスを単電子の透過・反射という理論的にも分かり易い形で実現することであり、量子系の非平衡領域における挙動を実験的に探索する基盤技術を構築することである。

本研究では、量子系の非平衡領域にアプローチするために、AlGaAs/GaAs 二次元電子系上の量子ドットにおける伝導度を実験的に調査したものである。3つのテーマについて調べた。第一のテーマでは、量子ドットが直列に連結した二重量子ドットにおける典型的な干渉現象であるファノ効果を調べた。第二は、二重量子ドット内の電子数（電荷状態）の単電子トランジスタを用いた測定である。第三は、クロック制御された単一電子源からの電流生成である。以下、三つの研究内容について説明する。

第一のテーマでは、まず、二重量子ドットが形成されていることを、伝導度測定によって確認した。その状況下で、二重量子ドットそれぞれの離散準位に加え、二重量子ドット全体に広がる空間的にもエネルギー的にも広がった準位（“spread state”）を導入した。伝導電子が離散準位と spread state を量子的にコヒーレント伝導した結果として、二重量子ドットにおけるファノ効果を初めて観測した。本成果は論文として公表された。

第二のテーマは、第一のテーマと同一の素子を用いて行い、電荷状態の高速測定を扱った。量子ドットを用いた電流標準を実現するにあたって課題となっているのが、単電子操作における誤動作である。予期しない電荷状態の変化に対応してフィードバック制御を行って所望の電流を安定的に生成することを目的として研究を行った。その結果、単電子トランジスタによる高周波の反射を用いて電荷状態を検出することに成功した。

第三のテーマでは、単電子の伝導ダイナミクス解明のため、クロック制御された単電子源を用いた電流生成を行った。単電子源作製のために、微細構造のエッチングや微小電流の検出など技術的な課題を解決し、単電子源の駆動を確認した。

以上のように、本論文は3つのテーマに取り組み、ファノ効果に見られるコヒーレント伝導の普遍性を確立すると同時に、高周波測定と単電子源作製のための微細加工技術を確立した。これらの成果は今後の量子系の実験的研究の発展につながるものと位置付けられる。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。