



Doctoral Thesis

Transport experiments on p-GaAs quantum dots and point contacts

Author(s):

Komijani, Yashar

Publication Date:

2011

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007086792> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 20162

Transport experiments on p-GaAs quantum dots and point contacts

A dissertation submitted to the
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

Yashar Komijani

Master. Electrical Eng. University of Tehran
born September 14, 1980 in Tehran, Iran
citizen of Iran

accepted on the recommendation of:

Prof. Dr. Klaus Ensslin, examiner
Prof. Dr. Wolfgang Belzig, co-examiner
Prof. Dr. Thomas Ihn, co-examiner

December 2011

The cover design by Maria Alexandrova

Abstract

In this thesis we have investigated low-temperature hole transport through p-type GaAs quantum point contacts and quantum dots. The interest in p-type GaAs nano-structures arises primarily from the fact that the Coulomb interaction and spin-orbit interaction are strong in these devices. The more pronounced carrier-carrier interactions in low-dimensional hole systems compared to their n-type counterparts make p-doped systems especially suitable for investigating many-body effects such as the 0.7 conductance anomaly in quantum point contacts (QPCs).

We have used the local anodic oxidation lithography by an atomic force microscope and shallow chemical etching in combination with top-gates in order to define highly tunable nano-structures in two-dimensional hole gases (2DHGs). Electronic functionality of these devices is demonstrated by studying the 0.7 anomaly and the g-factor anisotropy in QPCs and the observation of excited states and the time-resolved charge detection of hole tunnelling in p-type GaAs quantum dots (QDs).

Experiments on hole QPCs demonstrate a strong anisotropic modification of the Landé g-factor of holes due to the confinement. Therefore studying the 0.7 anomaly in hole QPCs enables examining the conjectured connection between the anomaly and the spin of the subbands. Furthermore we have employed magnetic fields up to $B_{\perp} = 13$ Tesla perpendicular to the plane of the 2DHG in order to exploit localization phenomena which are potentially linked to the 0.7 anomaly. These experiments suggest the presence of a quasi-bound state in the QPC and support the explanation of the 0.7 anomaly based on the Coulomb blockade and the Kondo physics. The role of impurities in the QPC channel on the conductance is discussed and it is shown the conductance anomaly in another QPC can be understood as being due to an impurity coupled to the intrinsic Kondo impurity of the 0.7 anomaly.

On quantum dots, we have demonstrated the observation of excited states in a small hole QD and deviations from the constant interaction model. Integration of a QPC in the vicinity of a dot and the capacitive coupling of the two enables the time-averaged as well as time-resolved charge detection of hole tunneling in the QD. The time resolution provides information about the dense spectrum of the QD. Moreover, the statistics of the charge transfer has been analyzed in the framework of full counting statistics (FCS). Ordinary and factorial cumulants have been calculated and the role of interactions in the dot and the reservoir is discussed.

Zusammenfassung

In dieser Dissertation wird der Transport von Löchern durch Quantenpunktkontakte (QPC) und Quantenpunkte (QD) in p-dotiertem GaAs bei tiefen Temperaturen untersucht. Der Grund für das Interesse an p-dotierten GaAs-Strukturen ist in erster Linie die starke Coulombwechselwirkung und Spin-Bahn-Kopplung in diesen Systemen. Die verglichen mit n-dotiertem GaAs erhöhte Wechselwirkung zwischen den Ladungsträgern in niedrig-dimensionalen Löcher-Systemen macht diese zu geeigneten Teststrukturen für Vielteilchen-Effekte wie die 0.7-Anomalie in der Leitfähigkeit von Quantenpunktkontakten. ‘ Mit Lithographie durch lokale Oxidation mit Hilfe einer Rasterkraft-Mikroskopspitze oder mit chemischem Oberflächen-Ätzen kombiniert mit metallischen Gattern haben wir Nanostrukturen in zweidimensionalen Löchergasen hergestellt. Auf diese Weise haben wir Quantenpunktkontakte, in denen wir die 0.7-Anomalie und die g-Faktor-Anisotropie untersucht haben, und Quantenpunkte, in denen wir angeregte Zustände sowie das zeit-aufgelöste Tunneln von Löchern beobachtet haben, definiert.

Das Einschränkungspotential in einem Quantenpunktkontakt verursacht eine stark anisotrope Modifikation des Landéschen g-Faktors der Löcher. Deshalb ermöglicht die Untersuchung der 0.7-Anomalie in Löcher-Quantenpunktkontakten Rückschlüsse auf den vorgeschlagenen Zusammenhang zwischen Spins und Subbändern. Zudem haben wir mit senkrechten Magnetfeldern von bis zu 13 T Lokalisierungsphänomene betrachtet, welche möglicherweise ebenfalls mit der 0.7-Anomalie in Verbindung stehen. Diese Experimente deuten auf quasi-gebundene Zustände in den Quantenpunktkontakten hin und unterstützen die Theorien zur Erklärung der 0.7-Anomalie, welche auf Coulombblockade und dem Kondo-Effekt beruhen. Wir diskutieren die Rolle von Störstellen im QPC-Kanal und zeigen, dass die 0.7-Anomalie als Störstelle betrachtet werden kann, die im Rahmen eines Kondo-Modells verstanden werden kann.

In einem kleinen Quantenpunkt haben wir angeregte Zustände ausgemessen und Abweichungen vom Modell der konstanten Wechselwirkung beobachtet. Durch das Platzieren eines Quantenpunktkontaktes neben einem QD können wir zeitgemitteltes sowie zeitaufgelöstes Tunneln von Löchern im QD detektieren. Die Zeitauflösung gibt Aufschluss über das dichte Spektrum im Quantenpunkt. Schliesslich haben wir die Statistik des Ladungstransfers im Sinne einer vollständigen Zähl-Statistik analysiert. Dazu haben wir normale und faktorielle Kumulanten berechnet

und die diesbezügliche Rolle von Wechselwirkungen im Quantenpunkt und in den Reservoirs diskutiert.