ETH zürich

ETH Library

Optimization of the cleaved edge overgrowth method for quantum wire fabrication

Doctoral Thesis

Author(s):
Riedi, Stefan

Publication date:
2016

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-010852593

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. 23874

Optimization of the cleaved edge overgrowth method for quantum wire fabrication

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

Stefan Riedi

MSc ETH Physics
born on 25.04.1985
citizen of Trun, GR

accepted on the recommendation of:

Prof. Dr. Werner Wegscheider, examiner
Prof. Dr. Dominik Zumbühl, co-examiner

2016

Abstract

In this thesis we study magnetotransport in high-mobility 2D and 1D electron systems (2DESs/1DESs) based on MBE grown GaAs/AlGaAs multilayer structures. Starting from a 2DES confined in a 24 nm wide quantum well, quantum wires (QWRs) are fabricated using the cleaved edge overgrowth (CEO) method. With a length of a few microns, they are excellent candidates to explore electron-electron interaction phenomena in ballistic 1D conductors, best described in the Luttinger Liquid model.

We successfully reestablished the challenging fabrication process of these structures after the relocation of our research group and highlight new insights on crucial process steps. One prerequisite for this multiple growth technique is high-quality growth on both standard (0 0 1) and the relatively unusual (1 1 0) GaAs surface. We demonstrate that 2DESs grown on *ex situ* and *in situ* cleaved (1 1 0) facets have a high quality comparable to a 2DES on a simultaneously overgrown (1 1 0) monitor wafer where magnetotransport characteristics are more readily accessible. We also show that the roughness of the *in situ* cleaved facets is decisive for the quality of the induced 2DESs. The study of the involved complex fracture mechanics features leads to several measures for an increased percentage of atomically flat cleave facets.

Several gate designs to tune the electron density and the electrostatic confinement in CEO QWRs are explored. The two refractory metals Ta and W have served as MBE-compatible top gate material in previous CEO experiments. Our tests, however, lead to a preference for W, since thin Ta films tend to blister at temperatures necessary for overgrowth, which could be a cause for an inhomogeneous gate potential. Successful gating was also demonstrated by novel patterned back gates compatible with high-mobility overgrowth using oxygen ion implantation as well as by MBE grown bulk doped side gates. By combining these top and back gate technologies with high quality 2DES bilayer structures, Coulomb drag between closely spaced CEO QWRs could be probed in future experiments.

Self-consistent band structure simulations confirm a 1D subband spacing in our CEO QWRs of up to 20 meV which should guarantee that several quantized conductance steps can be observed at liquid helium temperatures. However, none of the investigated samples shows such clear signatures of ballistic 1D transport although all requirements for its observation are met. Some samples are characterized by a long gate voltage range at low conductance values associated with 1D edge conductance, while others show distinct resonances and narrow plateau-like features associated with disorder induced deviations from quantized conductance. All the evidence suggests that the lateral confinement potential is levered out by disorder or a positive surface potential of unknown origin related to the overgrowth in the MBE chamber.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit untersuchen wir Magnetotransport in hochbeweglichen 2D und 1D Elektronensystemen (2DESs/1DESs), welche auf GaAs/AlGaAs Heterostrukturen basieren, die mittels MBE gewachsen werden. Ausgehend von einem 2DES, das in einem 24 nm breiten Quantentrog eingeschlossen ist, werden Quantendrähte (QWRs) mittels Spaltenüberwachsen (*cleaved edge overgrowth* – CEO) hergestellt. Mit einer Länge von wenigen Mikrometern sind diese Drähte exzellente Kandidaten um Elektron-Elektron-Wechselwirkungsphänomene, die im Luttinger-Flüssigkeitsmodell beschrieben werden, in ballistischen 1D Leitern zu untersuchen.

Es ist uns gelungen den anspruchsvollen Herstellungsprozess dieser Proben nach dem Umzug unserer Forschungsgruppe wieder zu etablieren. Im Zuge dessen beleuchten wir neue Erkenntnisse zu entscheidenden Prozessschritten. Eine Voraussetzung für diese aus mehreren Wachstumsschritten bestehende Methode ist eine hohe Wachstumsqualität sowohl auf der standartmässigen (0 0 1) als auch auf der eher unüblichen (1 1 0) GaAs Oberfläche. Wir zeigen, dass 2DESs, welche auf *ex situ* und *in situ* gespaltenen (1 1 0) Facetten gewachsen wurden, eine hohe Qualität aufweisen, vergleichbar mit einem 2DES auf einem gleichzeitig überwachsenen Kontrollwafer. Letzterer kann einfacher via Magnetotransport charakterisiert werden. Wir zeigen auch, dass die Rauigkeit der *in situ* gespaltenen Facetten entscheidend für die Qualität des induzierten 2DES ist. Die Untersuchung der komplexen Ausprägungen der involvierten Bruchmechanik führt zu verschiedenen Massnahmen zugunsten einer höheren Ausbeute an atomar glatten Spaltflächen.

Verschiedene Gate-Designs wurden untersucht, welche es erlauben die Elektronendichte und das elektrostatische Einschlusspotential durchzustimmen. Die beiden Refraktärmetalle Ta und W haben bereits bei früheren CEO-Experimenten als MBE-kompatible Topgate-Materialien gedient. Unsere Tests führen aber zu einer Präferenz für W, da Ta-Filme bei Temperaturen, die für das Überwachsen notwendig sind, dazu neigen Blasen zu bilden. Dies könnte zu einem inhomogenen Gate-Potential führen. Auch Proben mit neuartigen strukturierten Backgates, welche auf der Implantation von Sauerstoffionen basieren und kompatibel mit dem Überwachsen von hochbeweglichen Strukturen sind, und Proben ausgestattet mit MBE-gewachsenen bulkdotierten Sidegates konnten erfolgreich gegated werden. Durch Kombination der erwähnten Top- und Backgates mit hochbeweglichen 2DES-Doppelschichten, könnte in zukünftigen Experimenten Coulomb drag zwischen benachbarten CEO QWRs untersucht werden.

Selbstkonsistente Bandstruktur-Simulationen bestätigen einen 1D-Subband-Abstand von bis zu 20 meV in unseren CEO QWRs. Dies sollte garantieren, dass mehrere quantisierte Leitwertstufen bei Temperaturen um 4 K beobachtbar sind. Jedoch zeigte

keine der untersuchten Proben klare Anzeichen für ballistischen Transport, obwohl alle Voraussetzungen dafür gegeben sind. Einige Proben zeigen einen weiten Gatespannungsbereich bei geringen Leitfähigkeitswerten, welcher einer 1D Leitfähigkeit an der Spaltkante zugeordnet werden kann. Andere Proben zeichnen sich durch ausgeprägte Resonanzen und plateauähnliche Merkmale aus, die als Abweichungen von der exakt quantisierten Leitfähigkeit infolge von Störstellen verstanden werden können. Die Gesamtheit unserer Ergebnisse deutet darauf hin, dass das laterale Einschlusspotential durch Störstellen oder ein Oberflächenpotential unbekannten Ursprungs, welches mit dem Überwachsen in der MBE-Kammer assoziiert ist, ausgehebelt wird.