

# Electronic properties of graphene nanostructures

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**

Molitor, Françoise

**Publication date:**

2010

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006246208>

**Rights / license:**

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. ETH No. 19153

# Electronic properties of graphene nanostructures

A dissertation submitted to  
ETH ZURICH

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by

**Françoise Molitor**

Dipl. Phys. ETH  
born December 30, 1981  
citizen of Luxembourg

accepted on the recommendation of:

Prof. Dr. Klaus Ensslin, examiner  
Prof. Dr. Alberto Morpurgo, co-examiner  
Prof. Dr. Thomas Ihn, co-examiner

2010

# Abstract

This work focuses on the fabrication and investigation of different graphene nanostructures. First, a graphene flake with contacts in Hallbar geometry is studied, and the mobility is extracted using a semi-classical Drude model. Magnetoresistance measurements present clear Shubnikov-de Haas oscillations, and the half-integer quantum Hall effect, characteristic for graphene, is observed. An etched graphene Hall bar is used to characterize the effect of graphene in-plane side gates. As expected, a side gate voltage leads to inhomogeneous doping of the graphene, which can be well described by a simple model based on two parallel resistors. The side gate induced electric potential is shown to penetrate  $\approx 90$  nm into the graphene flake.

A graphene ring structure is used to characterize the interference between charge carriers by the Aharonov-Bohm effect.  $h/e$  oscillations are clearly visible, and their phase can be changed by the voltage applied to the back or side gate.

By cutting graphene into a narrow constriction, a region in back gate voltage of suppressed conductance is created. This transport gap, however, does not reflect a clean band gap created in the band structure, but there are many sharp resonances within the region of suppressed conductance. In a simple model, we relate this transport gap to the disorder potential and the formation of localizations. We define the energies characterizing this transport gap and use them to compare constrictions of different geometries and study the influence of an applied side gate voltage.

In a next step, we show that such constrictions can be used to confine carriers in a tunable all-graphene quantum dot. Despite the dirty nature of the constrictions, regular Coulomb peaks and well defined Coulomb diamonds can be measured. By comparing the lever arms of the different graphene in-plane gates, we can prove that the detected Coulomb blockade really comes from the central dot island, where the dot is expected to form.

In the last part, we present a graphene double quantum dot. The typical honeycomb charge stability pattern can be seen, and is continuous over many triple points. The coupling between both dots, and also between dots and leads, can be tuned by the back gate and graphene in-plane gates, and is a non-monotonous function of gate voltage. The tunnel coupling between both dots is below the experimental resolution. Inside the finite bias triangles, additional structure can be seen, which

could result from excited dot states.

# Zusammenfassung

Der Schwerpunkt dieser Doktorarbeit liegt in der Herstellung und Untersuchung der elektrischen Transporteigenschaften von Nanostrukturen aus Graphen.

Zuerst wird eine Graphen-Probe mit Kontakten in Hallbar Geometrie untersucht, und die Beweglichkeit mit einem semiklassischen Drudemodell bestimmt. Magnetowiderstandsmessungen zeigen klare Shubnikov-de Haas Oszillationen, und der halbzahlige Quantenhalleffekt, der charakteristisch für Graphene ist, ist klar sichtbar. Wir benutzen eine geätzte Hallbar aus Graphen um den Einfluss von seitlichen Gates aus Graphen zu untersuchen. Wie erwartet führt eine Spannung, die an einem seitlichen Gate angelegt ist, zu einem Dotierungsgradienten des Graphens. Dies kann gut beschrieben werden in einem Modell basierend auf zwei parallelen Widerständen. Wir zeigen, dass das Potential von den seitlichen Gates etwa 90 nm weit ins Graphen eindringt.

Mit einem Quantenring aus Graphen untersuchen wir Interferenzeffekte anhand des Aharonov-Bohm Effekts. Die  $h/e$  Oszillationen sind klar sichtbar und ihre Phase kann verändert werden durch eine Spannung, die an das Back Gate oder das seitlich Gate aus Graphen angelegt wird.

Indem man aus Graphen Verengungen oder Bänder mit einer Breite von unter 100 nm herstellt entsteht ein Bereich in der Backgatespannung wo der Strom stark unterdrückt ist. Diese Transportlücke stammt aber nicht von einer einfachen Bandlücke, sondern viele scharfe Resonanzen können in diesem Bereich beobachtet werden. In einem einfachen Modell erklären wir diese Unterdrückung des Stroms mit der Unordnung im Potential und der Entstehung von Lokalisierung in der Verengung. Wir definieren die Energien um die Transportlücke zu beschreiben, und untersuchen damit Verengungen von verschiedenen Geometrien und den Einfluss von Spannungen an den seitlichen Gates.

In einem weiteren Schritt werden solche Verengungen benutzt, um die Barrieren für einen Quantendot aus Graphen herzustellen. Trotz der schlecht kontrollierten Eigenschaften der Barrieren messen wir regelmässige Coulombpeaks und klar definierte Coulombdiamanten. Durch Vergleich der Hebelarme der verschiedenen seitlichen Gates können wir beweisen, dass die Coulombblockade wirklich von der mittleren Insel stammt, wo man erwartet, dass der Dot entsteht.

Im letzten Teil stellen wir einen Doppeldot aus Graphen vor. Wir beobachten

das sechseckige Muster im Stabilitätsdiagramm, das typisch für Doppeldots ist, und es ist kontinuierlich über viele nachfolgenden Ladungszustände. Die verschiedenen Kopplungen zu den Dots können abgestimmt werden durch die Spannungen am Backgate und den seitlichen Gates, und verändern sich nicht monoton mit der angelegten Spannung. Die Tunnelkopplung zwischen beiden Dots kann experimentell nicht aufgelöst werden. Innerhalb der Dreiecke, die durch die endliche Biasspannung entstehen, befindet sich zusätzliche Struktur, die von angeregten Dotzuständen stammen könnte.