

Diss. ETH No. 17243

# Manipulation of electron spins in quantum wells with magnetic and electric fields

A dissertation submitted to

ETH ZÜRICH

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by

**Lorenz Meier**

Dipl. Phys. ETH  
born 11.03.1977  
citizen of Bülach (ZH)

accepted on the recommendation of:

Prof. Dr. Klaus Ensslin, examiner  
Prof. Dr. Atac Imamoglu, co-examiner  
Dr. Gian Salis, co-examiner

2007

# Zusammenfassung

Diese Doktorarbeit behandelt die Beeinflussung von Elektronenspins in einem GaAs/InGaAs Quantentopf. Die hier beschriebenen Experimente wurden im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojekts zwischen dem IBM Forschungslaboratorium in Rüschlikon und der Gruppe für Nanophysik am Laboratorium für Festkörperphysik der ETH Zürich durchgeführt. Alle optischen Experimente wurden im IBM-Labor ausgeführt, Transportmessungen und die Probenherstellung an der ETH.

Die Arbeit beginnt mit einer Einführung in das Gebiet der ‘Spintronik’ und einer kurzen Übersicht über bisherige Erkenntnisse (Kapitel 1). In Kapitel 2 wird der experimentelle Aufbau samt dessen physikalischen Grundlagen sowie die Probenherstellung erläutert. Die Resultate sind aufgeteilt in drei Kapitel: Elektronenspinmanipulation mit magnetischen Feldern (Kapitel 3), mit magnetischen und elektrischen Feldern (Kapitel 4) und mit ausschliesslich elektrischen Feldern (Kapitel 5).

Kapitel 3 beschreibt die kohärente Präzession von Elektronenspins im magnetischen Streufeld unter einem Gitter aus Eisenstreifen in einem veränderlichen, externen Magnetfeld. Verglichen mit unter Streifen aus nichtmagnetischem Gold ist die Präzessionsfrequenz proportional zur Magnetisierung des Eisens erhöht, was wir auf das magnetische Streufeld der Eisenstreifen zurückführen. Indem wir benachbarte Eisenstreifen auf ein gegensätzliches elektrisches Potential setzen, bewegen wir die Elektronen im inhomogenen magnetischen Streufeld und können dadurch deren Präzessionsfrequenz verändern. Die Abstimmbarekeit beträgt ungefähr 0.5 GHz/V. Wenn wir die Spannung mit Gigahertz-Frequenzen modulieren, können wir die Spinpräzessionsfrequenz auf der Zeitskala von einer Nanosekunde beeinflussen.

In Kapitel 5 stellen wir eine neue Methode vor, welche die separate Bestimmung der Rashba- und Dresselhaus-Beiträge zum Spin-Bahn-Magnetfeld ermöglicht. Mittels eines externen elektrischen Wechselfeldes bringen wir die Elektronen in eine oszillierende Bewegung in der Ebene des Quantentopfs. Das Spin-Bahn-Magnetfeld, welches die Elektronen aufgrund ihrer Bewegung erfahren, hängt vom Winkel zwischen dieser Bewegung und dem Kristallgitter ab. Indem wir die Elektronenspinpräzessionsfrequenz als Funktion dieses Winkels messen, können wir das Spin-Bahn-Feld und dessen Rashba- und Dresselhaus-Komponenten ermitteln. In einem weiteren Experiment verwenden wir Spin-Bahn-Felder, um Elektronenspinresonanz mit ausschliesslich elektrischen Feldern zu erzeugen.

# Abstract

This thesis reports on the manipulation of electron spins confined in a GaAs/InGaAs quantum well. The experiments were performed in the frame of a joint-research project between the IBM Zurich Research Laboratory and the nanophysics group at the Laboratory for Solid State Physics at ETH Zürich. All optical experiments were conducted at the IBM lab, while transport measurements and sample processing were done at ETH.

After a general introduction into the field of spintronics and an overview on previous achievements (chapter 1), the experimental set-up including the underlying physical principles of the measurement techniques and the fabrication of the samples are described in chapter 2. The results of this thesis are split into three chapters, describing electron spin manipulation with only magnetic fields (chapter 3), with magnetic and electric fields (chapter 4) and with solely electric fields (chapter 5).

In chapter 3, the coherent precession of electron spins in the magnetic stray field below an array of Fe stripes is measured for varying external magnetic fields and stripe sizes. Comparing with reference stripes made of non-magnetic Au, we find an enhancement of the spin precession frequency proportional to the Fe magnetization, which we can attribute to the effect of the magnetic stray field emanating from the magnetized Fe bars. By applying a gate voltage to an interdigitated grating of Fe stripes (chapter 4), the electrons are moved within the inhomogeneous magnetic stray field and we achieve electrical control of the spin precession frequency, with a tunability on the order of 0.5 GHz/V. Modulating the gate voltage at gigahertz frequencies allows the spin precession to be controlled on a nanosecond timescale.

In chapter 5, we present a novel method that allows the separate determination of both Rashba and Dresselhaus contributions to the effective spin-orbit magnetic field. We use an external a.c. electric field to bring the electrons into an in-plane oscillatory motion. Depending on the orientation of this motion with respect to the crystal lattice, the electrons are subject to a varying spin-orbit magnetic field. By investigating the electron spin precession frequency as a function of their movement direction, the strength of the Rashba and Dresselhaus spin-orbit magnetic fields, and their coupling constants, can be extracted. In another experiment, we use these spin-orbit fields to trigger electron spin resonance with solely electric fields, in this context referred to as ‘electric-dipole-induced spin resonance’.