

Inhaltsangabe

Der erste Hauptteil der vorliegenden Arbeit beinhaltet die Entwicklung, den Aufbau sowie den Test einer 300 mK-Ultrahochvakuum (UHV)-Rastertunnelmikroskopie (RTM)-Anlage mit 14 Tesla-Magnet. In dieser Anlage sollen zukünftig verschiedene Elektronensysteme mit hoher Orts- und Energieauflösung mittels Rastertunnelspektroskopie (RTS) untersucht werden. Der hierzu verfügbare Temperaturbereich umfasst 0.3 K bis 100 K, wobei das Magnetfeld in senkrechter Richtung zur Probenoberfläche angelegt werden kann. Das Tieftemperatur-RTM ist mit einem insitu Proben- und Spitzenwechsel-Mechanismus ausgestattet. Verschiedene Methoden zur Charakterisierung und zur Präparation von RTM-Proben befinden sich in einem umfangreichen Raumtemperatur-UHV-System, das dem inneren UHV-Bereich des ^3He -Verdampfungskryostaten angegliedert ist. Zudem erlaubt die Anlage aufgrund implementierter Präparationstechniken zur Beschichtung der RTM-Spitze mit magnetischem Material, spinpolarisierte RTS-Messungen (SP-RTS) durchzuführen. Somit können strukturelle, elektronische und magnetische Probeneigenschaften miteinander korreliert werden.

Nach einer Übersicht über bereits bestehende Subkelvin-RTM-Anlagen sowie der Darstellung des Gesamtkonzepts der neu aufgebauten Apparatur werden die einzelnen Komponenten genau beschrieben. Abschließend werden eine separate Charakterisierung des RTM bei Raumtemperatur sowie erste Testmessungen bei Basistemperatur und im Magnetfeld vorgestellt, die bei Basistemperatur sowohl ohne als auch mit Magnetfeld ein z -Rauschniveau von nur 3 pm_{pp} zeigen.

Den zweiten Schwerpunkt der Arbeit bilden SP-RTS-Untersuchungen an dünnen ferromagnetischen Eisen-Inseln im Sub-Mikrometerbereich. Durch ein selbstorganisiertes Wachstum von Fe auf Wolfram(110) werden 3D-Inseln mit unterschiedlichen magnetischen Domänenkonfigurationen hergestellt. Eindomänige, nahezu zweidomänige sowie Vortexkonfigurationen mit einem oder zwei Ringschlüssen der Magnetisierung wurden beobachtet. An diesen Inseln konnte insbesondere die innere Spinstruktur des sogenannten Vortexkerns, einer wirbelartigen Magnetisierungsverteilung auf der nm-Skala, studiert werden. Durch Einsatz von Chrom-beschichteten Wolfram-Spitzen mit unterschiedlicher Schichtdicke wurde sowohl die Magnetisierungskomponente in der Ebene der Oberfläche als auch die hierzu senkrechte Komponente hochauflösend vermessen. Theoretische Vorhersagen der Spinorientierung im Bereich des Vortexkerns wurden hierdurch erstmals experimentell bestätigt. Mit einem externen Magnetfeld und einer Feldrichtung senkrecht zur Probenoberfläche wurde die magnetische Konfiguration des Vortexkerns in ihrer lateralen Ausdehnung verändert. Auch diesbezüglich erfolgt ein genauer Vergleich der experimentellen Daten mit theoretischen Vorhersagen im Rahmen des Mikromagnetismus sowie mit mikromagnetischen Simulationen mittels finiter-Elemente-Methoden.

Abstract

The first part of this thesis describes the development, construction, and test of a 300 mK ultra high vacuum (UHV) scanning tunneling microscope (STM). The system will be used to investigate the structure of electronic systems with high spatial and energy resolution. Magnetic fields up to 14 Tesla can be applied in both directions perpendicular to the sample surface. The temperature range for STM measurements extends from 300 mK to 100 K. The STM contains a sample and a tip exchange mechanism. The bakeable inner part of the the ^3He -evaporation cryostat is connected to a three-chamber UHV system operating at room temperature in which several methods for sample preparation and characterization are implemented. Due to the possibility to coat the STM tip insitu with magnetic material, the system is suited for spin-polarized spectroscopic measurements as well.

After a brief description of the concept and a comparison with existing sub-Kelvin STM facilities, the components of the system are described in detail. Finally, test measurements at base temperature and in magnetic field are presented, which show a z -noise level of only 3 pm_{pp} at base temperature with and without magnetic field.

The second part describes spin-polarized scanning tunneling spectroscopy (SP-STs) measurements on ferromagnetic thin film elements. A self organized growth of iron on tungsten(110) is used to prepare thin 3D-islands with lateral dimensions in the sub-micron range and a height of several nanometers. Different domain configurations, well known from other magnetically sensitive imaging techniques, are observed on the islands depending on the length and width to height ratio. In particular, single-domain and two-domain islands as well as particles with one or two flux-closure configurations are observed.

Especially the core region of the vortex configuration is studied in detail with high spatial resolution. Measurements of the in-plane magnetization of the swirl and of the out-of-plane magnetization inside the vortex core are obtained by using tips coated with a different amount of antiferromagnetic chromium. A very good agreement with a nearly 40-year old theoretical prediction is found. The lateral core width changes significantly in an applied magnetic field perpendicular to the island surface. These experimental data are also compared successfully with theoretical predictions and micromagnetic simulations. As a result of this analysis the size, shape, and the magnetic-field dependence of the vortex core is consistently described within the framework of micromagnetism. It turns out that only two material parameters, the exchange stiffness A and the saturation magnetization M_{sat} , determine the magnetic structure of the vortex core.