

Inhaltsangabe

Die Erforschung immer kleinerer magnetischer Strukturen bis hinab zur atomaren Skala ist aktuell von großem wissenschaftlichen Interesse. Zugleich ist dieser Forschungszweig von höchster technologischer Bedeutung für die Entwicklung magnetischer Datenspeicher extremer Dichte sowie für die Erschließung des neuen Gebiets der Magneto-Elektronik. Die in der vorliegenden Arbeit vorgestellte magnetisch sensitive Mikroskopie-Methode der spin-polarisierten Rastertunnelspektroskopie ist ein neues, äußerst leistungsfähiges Forschungswerkzeug, dessen routinemäßiger Einsatz hier zum ersten Mal zusammenhängend dargestellt wird. In seinem räumlichen Auflösungsvermögen übertrifft das Verfahren die bislang eingesetzten Methoden höchstauflösender magnetischer Mikroskopie um zwei Größenordnungen.

Nach einer im Kapitel 1 gegebenen allgemeinen Einführung werden die theoretischen Grundlagen der spin-polarisierten Rastertunnelmikroskopie im Kapitel 2 dargestellt. Es folgt in Kapitel 3 eine eingehende Beschreibung des instrumentellen Aufbaus des speziell für magnetische Untersuchungen konzipierten Rastertunnelmikroskops. An dicken (50 Monolagen) und dünnen (7 Monolagen) Gd-Filmen, epitaktisch gewachsen auf W(110), werden erste Untersuchungen zur magnetischen Sensitivität des Mikroskops durchgeführt und wichtige Erkenntnisse hinsichtlich der Anisotropie ferromagnetisch beschichteter Tunnelspitzen gewonnen; dies wird in Kapitel 4 beschrieben. Zur Einführung in die Untersuchung des Systems nano-skaliger Eisenstreifen auf einem gestuften W(110) Substrat wird in Kapitel 5 ein Überblick über bereits publizierte Ergebnisse gegeben, auf die im Weiteren aufgebaut wird. Das System von Eisenstreifen wird dann im Kapitel 6 als Modell genutzt, an dem praxisnah der magnetische Kontrastmechanismus des Mikroskops erläutert wird. Mit einem auf höchste laterale Auflösung optimierten Verfahren wird das magnetische Domänensystem der Eisenstreifen sodann im Detail untersucht, das durch ein kompliziertes Wechselspiel widerstreitender Anisotropien auf der Nanometer-Skala bestimmt ist. Es wird sowohl die in der Filmebene liegende Magnetisierung von Fe-Streifen einer Dicke von lediglich einer atomaren Lage beobachtet, als auch die senkrecht zur Filmebene stehende Magnetisierung von Streifen, die zwei atomare Lagen dick sind. Diese Ergebnisse sind im Kapitel 7 dargestellt. Das Kapitel 8 ist Beobachtungen gewidmet, die am System der Eisenstreifen in variablen magnetischen Feldern erzielt wurden. Es konnte eine vollständige Hysteresekurve bestimmt werden; die der Hysterese zugrunde liegenden Prozesse werden im Detail beobachtet. Damit wird zugleich die wichtige Tatsache demonstriert, dass spin-polarisierte Rastertunnelmikroskopie auch in starken Magnetfeldern uneingeschränkt einsetzbar ist.

Abstract

The exploration of magnetic structures at an ever smaller – ultimately atomic – scale is currently a topic of great scientific interest. It is also of highest technological relevance in engineering extreme density magnetic data storage devices and developing the new field of magneto-electronics. In this present work spin polarized scanning tunneling spectroscopy (SP-STS) is introduced as a new, extremely versatile investigation tool. For the first time, its application on a routine basis is comprehensively demonstrated. Regarding spatial resolution, this method surpasses other high resolution magnetic microscopy techniques by two orders of magnitude.

After a general introduction given in Chapter 1 the theoretical foundations of SP-STM will be presented in Chapter 2. The instrumental setup of a scanning tunneling microscope, custom designed for the purpose of magnetic investigations, is described in Chapter 3. First results in the study of the microscope's magnetic sensitivity were obtained on thick (50 monolayers) and thin (7 monolayers) Gd films grown epitaxially on W(110). These measurements also provided important insights into the magnetic anisotropies of tunneling tips coated by ferromagnetic thin films and will be discussed in Chapter 4. As an introduction to the investigation of the system of nano-scale iron wires grown on a stepped W(110) substrate an overview of previously published results will be given in Chapter 5. Arrays of Fe nanowires will then be used in Chapter 6 as a model to discuss the practical application and the magnetic contrast mechanism of the microscope. Optimized for highest spatial resolution, the method will then be applied to a detailed study of the magnetic domain structure of the Fe stripes which are characterized at the nanometer scale by a complicated interplay of competing anisotropies. In Chapter 7 observations of stripes of single atomic layer thickness and stripes of two layers thickness are described, the magnetization being in the film plane for the former, and perpendicular to the film plane for the latter. Chapter 8 is dedicated to observations made on the array of Fe stripes in variable external magnetic fields. A complete hysteresis loop is presented, acquired at the nano-scale. Also, details of the remagnetization process like domain wall motion, domain creation and annihilation, are observed. These results highlight the important fact that SP-STS can routinely be applied in strong magnetic fields.