

DISS. ETH NO. 17077

Local Magnetic Field Generation

A dissertation submitted to the
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by

THOMAS MICHLMAYR

Dipl. Phys. ETH
born on January 8, 1972
citizen of Meggen, LU

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. D. Pescia, examiner
Prof. Dr. Ch. Back, co-examiner

2007

Abstract

The generation and application of magnetic fields which only act on a much delimited length scale is crucial to obtain local magnetic reversal. Such a technique represents a useful tool for research and technology. We developed the procedure for local magnetic field application from scratch and report about it in details. For this purpose the characteristic trait of a scanning tunnelling microscope (STM)-tip, namely the obtainable small apex dimension, can be exploited. STM-tips made from ferromagnetic Co are manufactured by electrochemical etching. By means of scanning electron microscopy with polarisation analysis (SEMPA) the Co STM-tips are investigated and their magnetic properties, like the domain structure at the surface, are imaged. Based on these measurements we calculate the stray field of a ferromagnetic STM-tip which provides us with an estimation of the magnetic impact range. With an STM-tip it is also possible to perform a controlled approach to a sample and establish a point like ohmic contact. A current injected into the contact produces a localised magnetic field (Oersted field) around the contact position. It is the aim to investigate the consequence of these local fields when they are applied to magnetic samples. The used samples are micrometre sized ultra-thin film magnetic particles of Fe on Cu(001), Co on Cu(001) and Co on Pt(111). The samples are first investigated with SEMPA to characterise their magnetic behaviour like the film thickness dependency of the magneto-crystalline anisotropy and the coercive field.

The magnetisation of a ferromagnetic STM-tip is found to be aligned mostly parallel to the tip axis due to the elongated shape of the tip. The front most part divides into several micrometre sized domains with alternating magnetisation directions which are aligned parallel or anti-parallel to the tip axis. This results in a confined magnetic stray field in front of the tip apex with field direction parallel to the tip axis. In contrast, the field generated by a localised current injected into a point contact shows a circular field around the contact position. In the first instance magnetisation reversal with a ferromagnetic STM-tip can be achieved on magnetic thin films with perpendicular anisotropy like Fe on Cu(001). On the other hand, local magnetic switching by local current injection is shown for thin films with in-plane magnetic anisotropy like Co on Cu(001). In addition the field of a local current injected from an STM-tip into a sample exhibits also a component perpendicular to the sample plane when the tip is tilted against the sample. Thus a local Oersted field also provokes a localised magnetic switch on perpendicular Fe on Cu(001). But in the same way no alternation of the domain pattern on a hard magnetic film like Co on Pt(111) with $H_c \approx 200$ Oe (compared to Fe on Cu(001) with $H_c \approx 10$ Oe)

can be achieved.

The capability to obtain atomic resolution with a ferromagnetic Co STM-tip is shown on the Si(111) 7×7 surface. Point contacts established with a W STM-tip are characterised in size and resistance depending on the penetration depth.

Zusammenfassung

Um die Magnetisierung eines Materials lokal verändern zu können ist es wesentlich, dass man Magnetfelder generieren und auch anwenden kann, welche nur auf diesen kurzen Längenskalen wirken. Solch eine Methode stellt ein nützliches Hilfsmittel dar in der Forschung wie auch in der Verfahrenstechnik. Wir entwickelten dazu die Vorgehensweise von Grunde auf und berichten darüber detailliert. Zu diesem Zweck wird die charakteristische Eigenschaft einer Rastertunnelmikroskop (RTM)-Spitze, nämlich die sehr kleine Ausdehnung am Apex, ausgenutzt. RTM-Spitzen aus ferromagnetischem Co werden in einem elektrochemischen Ätzprozess hergestellt und ihre magnetischen Eigenschaften untersucht. Mit Hilfe von Elektronenmikroskopie mit Polarisationsanalyse der Sekundärelektronen (SEMPA) wird die Domänenstruktur der Oberflächenmagnetisierung abgebildet. Basierend auf diesen Messungen können wir das Streufeld einer ferromagnetischen Co RTM-Spitze berechnen. Dies erlaubt uns eine Abschätzung für die effektive Reichweite des Streufeldes anzugeben. Mit Hilfe einer RTM-Spitze kann auch ein elektrischer Punktkontakt auf einer Probe hergestellt werden indem die Spitze kontrolliert in Berührung mit der Oberfläche gebracht wird. Ein Punktstrom injiziert in die Probe generiert ein lokales magnetisches Feld um den Kontaktpunkt. Das Ziel ist es, die Auswirkungen solcher lokaler magnetischer Felder auf eine magnetische Probe zu untersuchen. Die Proben bestehen aus Mikrometer grossen Inseln aus ultra-dünnen Schichten von Fe auf Cu(001), Co auf Cu(001) und Co auf Pt(111). Die Proben werden zuerst mit Hilfe von SEMPA auf ihre magnetischen Eigenschaften untersucht, insbesondere die Schichtdicken Abhängigkeit der magneto-kristallinen Anisotropie und des Koerzitivfeldes.

Die Magnetisierung einer ferromagnetischen RTM-Spitze ist, wegen ihrer länglichen Form, zum grössten Teil entlang der Spitzenachse ausgerichtet. Der vordere Teil der Spitze zerfällt in mehrere Mikrometer grosse Domänen mit abwechselnder Magnetisierungsrichtung. Das Resultat ist ein örtlich begrenztes Streufeld vor dem Apex der Spitze welches parallel zur Spitzenachse ausgerichtet ist. Im Gegensatz dazu, ist das Feld, welches durch einen Punktstrom injiziert in eine Probe hervorgerufen wird, zirkular um die Kontaktposition orientiert. Mit Hilfe einer ferromagnetischen RTM-Spitze kann die Magnetisierung einer Insel mit uniaxialer Anisotropie senkrecht zur Probenoberfläche, wie Fe auf Cu(001), umgedreht werden. Andererseits kann eine lokale Änderung der Magnetisierung durch einen Punktstrom auf magnetischen Filmen mit magneto-kristalliner Anisotropie in der Filmebene hervorgerufen werden. Zusätzlich beinhaltet das magnetische Feld eines lokalen Stromes, welcher von einer RTM-Spitze in eine Probe injiziert wird, eine zur Probenoberfläche senkrechte Kom-

ponente, falls die Spitze gegenüber der Probenoberfläche geneigt wird. Auf diese Weise kann die Magnetisierung von Inseln bestehend aus Fe auf Cu(001) ebenfalls lokal verändert werden. Dies gelingt jedoch nicht, wenn statt dessen ein harter magnetischer Film wie Co auf Pt(111) mit Koerzitivfeld $H_c \approx 200$ Oe (im Vergleich zu Fe auf Cu(001) mit $H_c \approx 10$ Oe) verwendet wird.

Es wird ebenfalls gezeigt, dass es möglich ist, mit Hilfe einer ferromagnetischen RTM-Spitze atomare Auflösung auf einer Si(111) 7×7 rekonstruierten Oberfläche zu erzielen. Punktkontakte welche mit einer RTM-Spitze auf einer Probenoberfläche erstellt werden, werden in Abhängigkeit der Eindringtiefe auf örtliche Ausdehnung und elektrischen Widerstand hin untersucht.