

Inhaltsangabe

In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse magnetischer Studien der Cr(001)-Oberfläche und des Fe/Cr(001)-Systems präsentiert, die mittels spinpolarisierter Rastertunnelmikroskopie und -spektroskopie (SP-RTM/RTS) erzielt wurden. Die SP-RTM/RTS bietet die einzigartige Möglichkeit, Informationen über strukturelle, elektronische und magnetische Eigenschaften zu gewinnen und mögliche Korrelationen direkt zu bestimmen.

Im ersten Teil der Arbeit werden Untersuchungen an der Cr(001)-Oberfläche vorgestellt, an Hand derer der Einfluss verschiedener struktureller Defekte auf die magnetische Struktur der Oberfläche bestimmt wird. Die ungestörte magnetische Struktur wird durch das Modell des topologischen Antiferromagnetismus beschrieben: auf jeder (001)-Terrasse ordnen sich die magnetischen Momente parallel an, während benachbarte Terrassen, die durch eine monoatomare Stufe getrennt sind, antiparallel koppeln. Schraubenversetzungen an der Oberfläche verursachen eine Frustration in der magnetischen Struktur, die zur Ausbildung von Domänenwänden mit Breiten von 120-170 nm führt. Von Interesse ist die Domänenwandbreite in Abhängigkeit vom Abstand zur Schraubenversetzung, wobei die experimentellen Daten mit Resultaten aus mikromagnetischen Simulationen verglichen werden. Deutlich wird dabei, dass die Größe und Form der Spinstruktur nur durch zwei Parameter bestimmt wird, der Austauschsteifigkeit und der effektiven Anisotropie. Vergrabene Stufenversetzungen verursachen eine s-förmige Deformation der Stufenkanten auf der Cr(001)-Oberfläche, jedoch ohne die topologisch bedingte antiferromagnetische Ordnung zu stören. Übersichtsaufnahmen zeigen den seltenen Fall einer Änderung des spinpolarisierten Anteils des Tunnelstroms, welcher sich durch die Vierfach-Symmetrie der Cr(001)-Oberfläche erklären lässt. In der Ebene liegen zwei leichte Richtungen vor ([100] und [010]), entlang derer die magnetischen Momente vorzugsweise orientiert sind. Da beide Richtungen gleichwertig sind, kommt es zur 90°-Entartung und der Bildung entsprechender Domänen auf der Cr(001)-Oberfläche.

Dem zweiten Teil liegt eine Studie des Fe/Cr(001)-Systems zugrunde, die die strukturellen, elektronischen und magnetischen Eigenschaften in Abhängigkeit der Fe-Bedeckung erfasst. Die Wachstumsuntersuchungen belegen ein fast perfektes Lagen-Wachstum des Eisens mit einer Ausnahme im Bedeckungsbereich $1.48 \text{ ML} < \theta < 3 \text{ ML}$. Hier kommt es zur simultanen Bildung der zweiten und dritten Lage. Durch Heizen des Fe/Cr(001)-Systems bei erhöhten Temperaturen wird ein Fe/Cr-Gemisch erzeugt, welches eine $c(2 \times 2)$ -Ordnung aufweist. RTS-Messungen am geordneten Gemisch zeigen, dass die Spektren eine signifikante Doppel-Peak-Struktur mit Peaks bei $U = -0.3 \text{ V}$ und $U = +0.15 \text{ V}$ aufweisen. Zeitabhängige RTS-Studien veranschaulichen, dass das Fe/Cr(001)-System instabil gegenüber dem Durchmischen an der Grenzschicht ist. Während Spektren kurz nach der Präparation durch einen einzelnen d_{z^2} -artigen Oberflächenzustand dominiert werden, belegt das schon bekannte Doppel-Peak-Spektrum am folgenden Tag das Auftreten eines Fe/Cr-Gemisches. Spinaufgelöste Messungen zeigen im niedrigen Submonolagenbereich ($\theta \leq 0.2 \text{ ML}$), dass die Fe-Inseln antiferromagnetisch an das darunter liegende Substrat koppeln. Die Verringerung des magnetischen Kontrastes ab $\theta > 0.2 \text{ ML}$ und der komplette Verlust ab $\theta \geq 0.4 \text{ ML}$ wird in Bezug auf eine Reduktion der Néel-Temperatur diskutiert, welche als Folge der Durchmischung angenommen wird. Für $\theta \geq 3 \text{ ML}$ erscheint erneut ein magnetischer Kontrast, der aber geringer ist als für den Fall $\theta \leq 0.2 \text{ ML}$. Ursächlich ist wahrscheinlich eine leichte Verkippung der magnetischen Momente aus einer 90°-Kopplung der Fe-Deckschicht zum Cr-

Substrat. Im Anschluss erfolgen Magnetkraftmikroskop- (MKM) Messungen an Fe-Filmen auf der Cr(001)-Oberfläche. Sie zeigen, dass bei Bedeckungen von $\theta = 4, 8$ und 12 ML die Fe-Filme eine Domänenstruktur aufweisen, die von der Terrassenbreite des darunter liegenden Substrates abhängt. Bei 16 ML dicken Fe-Filmen wurde ein konstantes magnetisches Signal detektiert, was auf einen eindomänigen Zustand oder aber auf Domänengrößen weitaus größer als die maximale Rasterfläche hindeutet.

Abstract

Spin-polarized scanning tunneling microscopy and spectroscopy (SP-STM/SP-STs) are utilized firstly to investigate the Cr(001) surface and the effect of various defects on the magnetic structure at the surface. The usual magnetic structure is determined by the antiferromagnetic ordering of Cr leading to the topological antiferromagnetism of the (001) surface. We found that screw dislocations result in the formation of domain walls with a width of 120-170 nm. The dependence of the domain wall width on the distance from the screw dislocation is studied experimentally and compared to micromagnetic simulations. Our results show that the size and shape of the spin structure is determined by two parameters, the exchange stiffness and the effective anisotropy. Subsurface step dislocations lead to a s-like bending of step edges on the sample surface. In spite of the step bending the topological antiferromagnetic order is strictly maintained. In some rare cases large scale images show a change of the spin-polarized part of the tunneling current. It is explained by the fourfold symmetry of the Cr(001) surface which leads to a 90° degeneracy and the formation of according domains.

Secondly SP-STM is applied to study the growth of Fe on Cr(001) as well as the electronic and magnetic structure in dependence of the Fe coverage. Topographic measurements show an almost perfect layer-by-layer growth except for the coverage range $1.48 \text{ ML} < \theta < 3 \text{ ML}$ where the second and the third layer grow simultaneously. By high-temperature annealing alloying between the Cr substrate and the Fe film is provoked. Scanning tunneling spectroscopy (STS) shows that the electronic structure of the resulting $c(2 \times 2)$ -ordered Fe/Cr alloy is governed by a double peaked dI/dU spectrum with maxima at $U = -0.3 \text{ V}$ and $U = +0.15 \text{ V}$. A time-dependent STS investigation of Fe/Cr(001) reveals that the interface is structurally unstable against alloying. While the spectra are dominated by a single d_{z^2} -like surface state at the day of preparation a double-peak spectrum indicating the presence of a Fe/Cr alloy was found one day after preparation. Spin-resolved measurements show that at small coverage ($\theta \leq 0.2 \text{ ML}$) the Fe islands couple antiferromagnetically to the underlying Cr(001) terraces. The magnetic contrast of the islands and the substrate starts to decrease for $\theta \geq 0.22 \text{ ML}$ and completely vanishes at $\theta \geq 0.4 \text{ ML}$. This observation is discussed in terms of a reduction of the Cr Néel-temperature due to interdiffusion of Fe into the interface-near region of the Cr substrate. For $\theta \geq 3 \text{ ML}$ a weak magnetic contrast reappears which is possibly caused by a spatial variation of the 90° -coupling between the Cr substrate and the Fe overlayer. At last magnetic force microscopy (MFM) measurements were performed to study the magnetic structure of Fe films on Cr(001) in dependence of the coverage. Fe films with 4 - 12 ML thickness exhibit a complex domain structure, which correlates with the terrace width of the underlying Cr(001) surface. A 16 ML Fe film leads to a constant magnetic signal, due to a single domain state or a domain size bigger than the scan area used.