



Doctoral Thesis

## **Anisotropy and phase transitions in atomically thin magnetic microstructures**

**Author(s):**

Marty, Andreas Beat Alfred

**Publication Date:**

2000

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004003698> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 13728

# Anisotropy and Phase Transitions in Atomically Thin Magnetic Microstructures

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of  
Doctor of Natural Sciences

presented by

Andreas Beat Alfred Marty  
Dipl. Phys. ETH  
born on April 6<sup>th</sup>, 1970  
citizen of Bürglen (UR)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. D. Pescia,                    examiner  
Prof. Dr. H.-C. Siegmann,        co-examiner

2000

## Abstract

A recently developed technique allows the *in situ* fabrication of real two dimensional ferromagnetic particles. In this thesis a Scanning Kerr Microscope (SKEM) with a lateral resolution of about  $1\mu\text{m}$  is used to study the in-plane magnetization of such ultrathin particles on the micrometer size scale.

The SKEM provides the possibility to measure the temperature dependent magnetization not only in zero magnetic field, but also in an applied external field. Magnetization loops  $M(H)$  can be collected at different spots on the sample. In addition, by scanning an interesting area we are able to map the magnetization in any external magnetic field along an in-plane direction.

In the first part of this thesis a detailed study of the magnetization of ultrathin Co particles evaporated on a Cu(100) single crystal is presented. The outstanding property is their single domain remanent state. They show square hysteresis loops along the easy magnetization axis with slightly varying fields  $H_C$ . The single domain state is stable and independent on the lateral extent of the structures, at least down to  $1\mu\text{m}$ . Hysteresis loops are collected on particles of various lateral sizes and shapes to measure the switching behavior and the influence of their shape on their magnetization. We found that local changes in the substrate dominates over eventual size or shape dependence. No mutual interaction was observed for particles with a distance between each other down to  $2\mu\text{m}$ .

In the second part of this thesis the critical behavior of in-plane magnetized Co/Cu(100) films and particles are investigated. The system exhibits a second-order phase transition from a ferromagnetic phase to a paramagnetic phase. In addition to the fourfold symmetry breaking field, a misfit in the Cu substrate causes a weak twofold anisotropy field. Both anisotropies scales differently with temperature and the transition is probably dominated by the uniaxial crystal field. However, the fourfold symmetry breaking cannot be neglected and causes non-universal behavior. Simultaneously collected  $M(H)$  curves parallel and perpendicular to the easy magnetization axis during phase transition reveal an anisotropic behavior up to about 10 Kelvin above  $T_C$  and pronounced peaks in both susceptibilities at  $T_C$ . An analysis of the shape of the magnetization curves indicates that the fourfold symmetry breaking vanish slightly below  $T_C$  while the twofold field persists.

The relevant length at phase transition - the correlation length of the electron spins - develops to the maximum of about  $1\mu\text{m}$  in our system. This is about the maximal particle

size detectable with the SKEM. Finite size effects are therefore hard to observe. The values for the critical exponents  $\beta$ ,  $\delta$  and  $\gamma$  measured at  $10 \times 6 \mu\text{m}^2$  and  $4 \times 4 \mu\text{m}^2$  particles are slightly enhanced compared with the extended film values. In addition they exhibit a slightly different scaling function.

## Zusammenfassung

Eine kürzlich entwickelte Technik erlaubt die Herstellung von zweidimensionalen ferromagnetischen Teilchen im Ultrahochvakuum. In dieser Arbeit wird ein Scanning Kerr Mikroskope (SKEM) mit  $1\mu\text{m}$  Auflösung benutzt, um die in-plane Magnetisierung dieser Teilchen auf Mikrometer Skala zu untersuchen.

Mit dem SKEM kann man die temperaturabhängige Magnetisierung sowohl ohne, als auch mit einem extern angelegten Feld messen. Auf diese Weise können Magnetisierungskurven  $M(H)$  an beliebigen Stellen auf der Probe gemessen werden. Zusätzlich kann durch rastern ein Bild der in-plane Magnetisierung entlang einer beliebigen Richtung in beliebigem Feld erstellt werden.

Der erste Teil dieser Arbeit präsentiert eine detaillierte Untersuchung der Magnetisierung von ultradünnen Co Teilchen, aufgewachsen auf einem Cu(100) Einkristall. Die auffallendste Eigenschaft dieser Teilchen ist die eindomänige remanente Magnetisierung. Die Magnetisierungskurven sind quadratische Hysteresen mit leicht unterschiedlichem  $H_C$ . Dieser eindomänige Zustand ist stabil und unabhängig von der lateralen Ausdehnung der Teilchen (zumindest bis zu  $1\mu\text{m}$ ). Um das Ummagnetisierungsverhalten dieser Teilchen und ein eventueller Einfluss der Form auf ihre Magnetisierung zu untersuchen, wurden Teilchen mit unterschiedlicher Form und Grösse untersucht. Es zeigte sich jedoch, dass lokale Änderungen in der Oberfläche des Cu Kristall die Magnetisierung viel stärker beeinflussen als eine eventuelle Grössen- oder Formabhängigkeit. Teilchen mit Abständen bis zu  $2\mu\text{m}$  beeinflussen sich gegenseitig nicht.

Der zweite Teil dieser Arbeit befasst sich mit dem kritischen Verhalten der Magnetisierung von Co/Cu(100) Filmen und atomar dünnen Strukturen. Der Uebergang von der ferromagnetischen zur paramagnetischen Phase ist zweiter Ordnung. Zusätzlich zur vierfachen Symmetriebrechung verursacht eine schief polierte Cu-Oberfläche eine uniaxiale Symmetriebrechung im aufgedampften Co-Film. Die Stärke dieser beiden Anisotropien ist unterschiedlich temperaturabhängig. Die uniaxiale Anisotropie ist wahrscheinlich dominant beim Phasenübergang. Trotzdem kann man die vierfache Symmetriebrechung nicht vernachlässigen. Sie verursacht, dass sich unser System am Phasenübergang nicht durch ein universelles Modell beschreiben lässt. Während einem Phasenübergang parallel und senkrecht zur leichten Achse gemessene Magnetisierungskurven zeigen ein nicht isotropes Verhalten des Systems bis ungefähr 10 Kelvin über  $T_C$ . Beide Suszeptibilitäten zeigen einen starken Peak bei  $T_C$ . Eine Analyse der Magnetisierungskurven  $M(H)$  führt zum Schluss, dass die vierfache Symmetriebrechung leicht unter  $T_C$  verschwindet, während die zweifache über  $T_C$  hinaus besteht.

Die relevante Länge beim Phasenübergang - die Korrelationslänge der Elektronenspins - beträgt in unserem System maximal etwa  $1\mu\text{m}$ . Unglücklicherweise ist  $1\mu\text{m}$  auch ungefähr die Partikelgrösse, die man mit dem SKEM noch detektieren kann. Ein eventueller

Effekt, der von der Teilchengrösse herrührt, ist deshalb schwer nachzuweisen. Die an  $10 \times 6 \mu\text{m}^2$  und  $4 \times 4 \mu\text{m}^2$  Teilchen gemessenen Werte für die kritischen Exponenten  $\beta$ ,  $\delta$  und  $\gamma$  sind leicht grösser verglichen mit den Werten gemessen an einem ausgedehnten Film. Die Teilchen zeigen auch eine leicht andere Scaling Funktion.