

Zusammenfassung:

Die magnetischen Eigenschaften der Ni- und Fe-Cluster auf Saphir und die Korrelation mit deren geometrischen Strukturen sind der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit. Um diesen Zusammenhang herzustellen, wurde neben den magnetischen Eigenschaften, die mit Hilfe von ferromagnetischen Resonanz-Experimenten untersucht wurden, auch die geometrische Struktur der Deponate mit Hilfe von AFM-Messungen unter UHV-Bedingung und ex-situ SEM-Messungen für Ni-Proben untersucht. Im System Ni auf $\text{Al}_2\text{O}_3(11\bar{2}0)$ findet man oberhalb einer bestimmten Schichtdicke ein schmales ferromagnetisches Resonanzsignal. Die Analyse der Linienbreite zeigt, daß es sich dabei um einen magnetisch gut geordneten, zweidimensionalen Film handelt. Dieser Film ist durch eine große uniaxiale out-of-plane-Anisotropie charakterisiert, wobei die leichte Achse der Magnetisierung in der Filmebene liegt. Als Ursache für die starke Anisotropie kann eine substratinduzierte Anisotropie aufgrund der Gitterfehlpassung zwischen Ni und der Substrat-Oberfläche genannt werden. Das Tempern führt zum Aufbrechen des Films und zur Bildung von großen Clustern in der Größenordnung von 50 bis 100 nm. Die Cluster-Bildung führt zu einer Zunahme der FMR-Linienbreite, die als Einfluß der Cluster verschiedener Größe und Form verstanden wird. Zusätzlich wird eine Abnahme des gemessenen effektiven Anisotropiefeldes beobachtet. Kühlt man die Probe ab, so wird eine Reorientierung der Magnetisierung von einer parallelen zu einer senkrechten Ausrichtung zur Substratebene beobachtet. Dieser Spin-Reorientierungsübergang läßt sich durch eine Konkurrenz zwischen der Form-Anisotropie und der magnetokristallinen Anisotropie erklären. Neben etwas dickeren Filmen und großen Clustern wurden auch kleine Cluster im Bereich einiger weniger Å nomineller Schichtdicke untersucht. Die AFM-Messungen von Ni auf der rekonstruierten $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$ -Oberfläche zeigen ein dreidimensionales Wachstum. Nach dem Tempern findet man eine Zunahme der FMR-Intensität. Diese hat zwei Gründe: Der eine ist die Koaleszenz der Teilchen. Die kleinen Partikel, die aufgrund ihres ausgeprägten, superparamagnetischen Charakters wenig zur Signalintensität beitragen, existieren nach dem Tempern nicht mehr in der Häufigkeit, sondern sind mit größeren Teilchen verschmolzen, die einen stärkeren ferromagnetischen Charakter erhalten. Der andere Grund ist die Kristallisation der Teilchen: Die Atome nehmen ihre Gitterplätze ein. Das hat zur Folge, daß die atomaren magnetischen Momente eines Teilchens effektiver aneinander gekoppelt sind und damit das magnetische Moment des Teilchens steigt. Diese Interpretation läßt sich in einem direkten Vergleich mit den morphologischen Ergebnissen aus den AFM-Messungen für Ni bestätigen. Die Temperaturabhängigkeit des magnetischen Moments eines Ensembles der Ni-Teilchen auf einer Saphir-Oberfläche weist ein Curie-artiges Verhalten auf, wobei die Curie-Temperatur der Teilchen von der Teilchengröße abhängt. Die Curie-Temperatur der Ni-Teilchen ist deutlich niedriger als die im Volumen und höher als die der Ni-Filme vergleichbarer Schichtdicke, was aufgrund der mittleren Koordinationszahl in den jeweiligen Systemen verstanden werden kann. Die Temperaturabhängigkeit des magnetischen Moments eines Ensembles kleiner Fe-Teilchen auf der $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$ -Oberfläche zeigt im Gegensatz zu Ni ein Langevin-artiges Verhalten, das sich anhand eines Modells thermisch aktivierter Fluktuation des magnetischen Moments (superparamagnetischer Effekt) erklären läßt.

Abstract:

The magnetic properties and the correlation between the magnetic and geometric structures of Ni and Fe clusters on sapphire were studied. The magnetic properties were investigated by ferromagnetic resonance under UHV conditions, and the geometrical structures were conducted for Ni samples by AFM experiments under UHV conditions and ex-situ SEM experiments. The system of high coverage of Ni on $\text{Al}_2\text{O}_3(11\bar{2}0)$ shows a narrow ferromagnetic resonance signal due to a magnetic well ordered two-dimensional film. This film is characterized by a strong uniaxial out-of-plane anisotropy which aligns the magnetisation parallel to the substrate. The origin of this strong anisotropy is a substrate induced anisotropy due to the misfit between Ni and the surface of the substrate. After annealing the film breaks up and forms large clusters in the range of 50 - 100 nm, causing an increase in the FMR linewidth which can be understood as the influence of clusters with different sizes and shapes. Concurrently, we observe a decrease of effective anisotropy. Cooling of this system leads to a reorientation of magnetisation from the parallel to the perpendicular direction relative to the substrate. This spin reorientation transition is due to the balance of shape anisotropy which favours a magnetisation parallel to the substrate and the magnetocrystalline anisotropy which favours in this case a magnetisation perpendicular to the substrate. Additionally, we investigated the small cluster in the range of a few Å nominal coverage. AFM measurements performed on Ni on $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)(\sqrt{31} \times \sqrt{31})\text{R} \pm 9^\circ$ revealed a three-dimensional growth mode. After annealing the FMR intensity increased, due to coalescence and crystallisation of clusters. The coalesced clusters were larger as compared to clusters in the non-annealed sample. Larger clusters show a smaller superparamagnetic effect. This leads to an increase of the intensity. The crystalline structure of clusters showed the formation of ordered, low index surfaces with relatively high packing density compared with the non-annealed sample. This causes a more effective ferromagnetic coupling of the atoms in the cluster and an increase of the magnetic moment of the cluster. This interpretation was confirmed by AFM measurements of Ni. A splitting of the FMR signal was observed after annealing, which was interpreted as the influence of the magnetocrystalline anisotropy. The temperature dependence of the magnetic moment of an ensemble of small Ni clusters on sapphire shows a Curie-like behaviour. The Curie temperature of clusters depends on the cluster size and is lower than the Curie temperature of Ni in the bulk and higher than the Curie temperature of Ni thin films of comparable coverage. This can be understood by a model which connects the Curie temperature with the average coordination number. In contrast to Ni, the temperature dependence of the magnetic moment of an ensemble of small Fe clusters on reconstructed $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)(\sqrt{31} \times \sqrt{31})\text{R} \pm 9^\circ$ exhibit a Langevin-like behaviour. This can be interpreted by a model based on the thermal fluctuation of the magnetic moment of small single domain clusters (superparamagnetic effect).