

6 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurden die Morphologie und die elektronischen Eigenschaften von magnetischen Nanostrukturen untersucht und die Ergebnisse im Zusammenhang mit den magnetischen Eigenschaften der Systeme diskutiert. Im Mittelpunkt der Studie standen die Lanthanidmetalle, die als Systeme mit lokalen magnetischen Momenten von besonderem Interesse für die Grundlagenforschung sind. Darüber hinaus sind sie auch in technologischer Hinsicht bedeutend.

Als geeignete Methoden wurden die Rastertunnelmikroskopie und -spektroskopie eingesetzt. Im Mikroskopiemodus kann die Topographie einer Oberfläche mit atomarer Auflösung und, wie in dieser Arbeit am Beispiel Gd/W(110) demonstriert, mit element-spezifischem Kontrast abgebildet werden. Im Spektroskopiemodus wiederum kann die lokale Zustandsdichte in der unmittelbaren Nähe zur Fermikante untersucht werden.

Hierzu wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Tieftemperatur-RTM für den Betrieb im Ultrahochvakuum entwickelt und aufgebaut. Das Mikroskop kann bei variabler Temperatur zwischen derzeit 10 K und 295 K betrieben werden. Durch eine verbesserte thermische Anbindung der Strahlungsschilde an den Kryostaten können aber sicherlich noch tiefere Temperaturen erreicht werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden hauptsächlich bei einer Temperatur von 10 K erzielt, bei der das Mikroskop unter außerordentlich stabilen Bedingungen funktioniert. So besitzt die schärfste Struktur, die im Spektroskopiemodus vermessen wurde, eine Breite von 9 meV (FWHM) bei einer durch die thermische Verbreiterung der Spitze limitierten experimentellen Auflösung von etwa 2,7 meV (FWHM). Vermutlich können noch schärfere Linien mittels der Spektroskopie beobachtet werden. Ein geeignetes System hierfür stellen Supraleiter dar, die eine kleine von der Temperatur abhängige Bandlücke besitzen.

Die untersuchten Systeme wurden *in situ* in Form von dünnen Metallfilmen mit Dicken zwischen 0,3 und 14 ML auf W(110) präpariert. Anschließendes Tempern führt zu einem Stranski-Krastanov-Wachstum, was exemplarisch am System Co/W(110) beschrieben wird. Hier zeigen Morphologie und Magnetismus ein interessantes Wechselspiel, welches einen Übergang von einem ferromagnetischen zu einem superparamagnetischen System zur Folge hat. Dieser Übergang wird mit Hilfe eines einfachen Modells quantitativ erklärt.

Bei der Untersuchung der magnetischen Austauschspaltung der *d*-artigen Oberflächenzustände der (0001)-Oberfläche von dreiwertigen Lanthanidmetallen konnte die Schicht-dickenabhängigkeit der Aufspaltung durch die Präparation von Inseln mit unterschied-

licher Höhe an einer Probe untersucht werden. Die systematische Untersuchung der Austauschspaltung dieses Oberflächenzustands für Gd, Ho und Lu ergab Aufschluß über die Stärke der Kopplung zwischen dem lokalen $4f$ -Moment und dem lokalisierten Zustand, die eine lineare Abhängigkeit von der Größe des $4f$ -Spins zeigte. Allerdings konnte eine aufgrund des *finite-size*-Effekts erwartete Abnahme der Austauschspaltung mit der Schichtdicke nicht nachgewiesen werden. Dies bedeutet, dass die Aufspaltung bei einer bestimmten Temperatur unabhängig vom T_C der Filme ist, was als *spin-mixing*-Verhalten interpretiert wird. Hieraus ergibt sich unmittelbar die Frage, inwieweit die temperaturabhängige Aufspaltung, die an diesem Zustand beobachtet wurde, zu interpretieren ist. Die Ergebnisse machen neue Experimente notwendig, die in dieser Arbeit vorgeschlagen werden, um die noch nicht vollständig verstandenen Zusammenhänge aufzuklären.

Als eine weitere Eigenschaft der Oberflächenzustände wurde deren Lebensdauer aus den Spektren bestimmt. Lebensdauermessungen mit RTS wurden erst vor kurzer Zeit erstmals an Oberflächenzuständen von Edelmetallen durchgeführt [Li 98b]. In dieser Arbeit wurde die Methode zum ersten Mal auf schwach dispergierende Zustände angewandt. Für die Untersuchung ist ein Verständnis der Linienform notwendig, die ebenfalls erstmals an Spektren mit hoher Auflösung diskutiert wird. Die aus den Linienbreiten berechneten Lebensdauern nehmen linear mit der Bindungsenergie ab, was eine Abweichung von der Fermi-Liquid-Theorie bedeutet. Im Vergleich zu anderen Metallen wurden relativ kurze Lebensdauern der Oberflächenzustände festgestellt. Es ist aber nicht bekannt, welche Wechselwirkung die Lebensdauern der Zustände begrenzt. Mit einem Modell, welches die Bandstruktur der Elemente berücksichtigt, ließen sich die kurzen Lebensdauern möglicherweise erklären. Gleichzeitig ist es interessant, die gefundene Abhängigkeit durch eine weitere systematische Untersuchung über die gesamte Serie der Lanthanidmetalle zu überprüfen. So bieten die in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Ergebnisse einen spannenden Ausgangspunkt für eine enge Zusammenarbeit zwischen Theorie und Experiment.

Das RTM bietet die einzigartige Kombination von hoher energetischer und lateraler Auflösung. Die Möglichkeit zur atomaren Auflösung wurde in dieser Arbeit allerdings nicht genutzt. Es ist jedoch eine besondere Eigenschaft der Rastertunnelmikroskopie, quantenmechanische Phänomene auf atomarer Skala untersuchen und veranschaulichen zu können. Hierzu zählt vielleicht eines Tages auch die magnetische Kopplung zwischen zwei Atomen, die in den untersuchten Systemen eine große Rolle spielt.