

1 Einleitung

Das Rastertunnelmikroskop (RTM) bietet die einzigartige Möglichkeit, die Struktur von leitenden Oberflächen mit einer Auflösung bis in den atomaren Bereich abbilden zu können. Der Abbildungsmechanismus beruht auf dem quantenmechanischen Tunneleffekt, wobei die Tunnelwahrscheinlichkeit für Elektronen zwischen einer Spitze und der Probe spektroskopische Informationen über die beiden Elektroden enthält. Die Abhängigkeit des Tunnelstroms von der angelegten Spannung erlaubt es, die Zustandsdichte an einer Oberfläche beiderseits der Fermikante mit hoher lokaler Auflösung zu untersuchen. Die entsprechende Methode bezeichnet man als Rastertunnelspektroskopie (RTS).

Während in der Vergangenheit RTS-Experimente vor allem an Halbleiteroberflächen und Edelmetallen durchgeführt wurden, erschien erst kürzlich eine Reihe von Arbeiten, in denen RTS an metallischen Systemen mit stark korrelierten Elektronen angewendet wurde [Bod 99, Yaz 97, Li 98a, Mad 98]. In solchen Systemen bestimmen die Wechselwirkungen zwischen den Elektronen die physikalischen Eigenschaften und sind verantwortlich für Phänomene wie Magnetismus, Supraleitung oder Kondoeffekt. Durch Veränderungen in der Zustandsdichte nahe der Fermikante, die der RTS zugänglich ist, können diese Phänomene mit dem RTM indirekt untersucht werden.

Beispielsweise liefern austauschaufgespaltene Oberflächenzustände Informationen über die magnetischen Eigenschaften der Oberfläche. Bei allen Lanthaniden mit dichtgepackter Oberfläche ist ein solcher Oberflächenzustand mit einer d_{z^2} -Symmetrie gefunden worden [Kai 95]. Besondere Bedeutung gewinnt dieser Zustand aufgrund seines Modellcharakters für lokalisierte Valenzelektronen in einem System mit lokalen magnetischen Momenten, wie sie beispielsweise bei den $4f$ -Metalle zu finden sind [Wes 96]. Mit der RTS kann dieser Oberflächenzustand besonders erfolgreich untersucht werden, da hier in einem Experiment sowohl der besetzte als auch der unbesetzte Teil des Zustands studiert werden kann und gleichzeitig die Qualität und Beschaffenheit der Oberflächentopografie perfekt kontrolliert wird.

Um Veränderungen in der Zustandsdichte oder um Phasenübergänge, die oft erst bei niedrigen Temperaturen stattfinden, nachweisen zu können, benötigt man ein Mikroskop, welches bei tiefen Temperaturen mit hoher Stabilität arbeitet. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein RTM aufgebaut, welches diese Anforderungen erfüllt und das derzeit im Temperaturbereich zwischen 10 K und Zimmertemperatur betrieben werden kann. Mit der aufgebauten Apparatur wurden die Morphologie von magnetischen Nanostrukturen und die elektronische Struktur von Seltenerd-Oberflächen studiert.

1 Einleitung

Die Arbeit besitzt drei Schwerpunkte. Nach einer kurzen Einführung in die Messmethode wird in Kapitel 3 der Aufbau des neuen Tieftemperatur-RTMs beschrieben sowie dessen wichtigste Eigenschaften charakterisiert. Anschließend werden die experimentellen Ergebnisse dieser Arbeit vorgestellt. In Kapitel 4 wird geschildert, wie durch die Variation der Schichtdicke und der Temperatur des Temperns die Morphologie von dünnen, auf einen W(110)-Einkristall aufgewachsenen Filmen gezielt verändert werden kann. Dies wird ausgenutzt, um interessante magnetische Modellsysteme zu präparieren, wobei vor allem die abbildende Fähigkeit des RTMs ausgenutzt wird, um die Herstellung zu kontrollieren. Das 5. Kapitel dieser Arbeit widmet sich der elektronischen Struktur der Oberfläche von Lanthanidmetallen. Mit der RTS werden die Oberflächenzustände von ferromagnetischem Gadolinium, antiferro- und ferrimagnetischem Holmium und paramagnetischem Lutetium, welches als nicht magnetisch ordnendes Referenzsystem dient, untersucht. Aus dem systematischen Studium der Aufspaltung bei 10 K kann das $5d-4f$ -Austauschintegral bestimmt und mit theoretischen Resultaten verglichen werden. Schließlich erlauben es hochaufgelöste Spektren bei tiefen Temperaturen eine Analyse der Linienform und Linienbreite vorzunehmen. Ein Ergebnis dieser Auswertung ist die experimentelle Bestimmung der Lebensdauer dieser Oberflächenzustände, die sich in unmittelbarer Nähe zur Fermikante befinden.