

Kapitel 1

Einleitung

Die Rastertunnelmikroskopie hat sich seit ihrer Erfindung [1], für die Binnig und Rohrer 1986 den Nobelpreis erhielten, zu einer weitverbreiteten Methode entwickelt, die es erlaubt Oberflächen in atomarer Auflösung abzubilden. Inzwischen ist sie eine der dominierenden Analysemethoden in der Oberflächenphysik. Weitere Rastersondenmethoden sind aus ihr hervorgegangen, die optische Eigenschaften, Reibungen und Temperaturgradienten abbilden können. Darüber hinaus können diese Methoden aber auch zur gezielten Oberflächenstrukturierung eingesetzt werden. Schon bei der Entwicklung des ersten Rastertunnelmikroskops (RTM) wurden die Vorteile erkannt, bei tiefen Temperaturen zu arbeiten. So erlaubt es die eingeschränkte Mobilität der Oberflächenatome und Adsorbate, Diffusionsprozesse auf großer Zeitskala zu untersuchen. Bei noch tieferen Temperaturen ist die thermisch aktivierte Diffusion vollständig unterbunden und ermöglicht die kontrollierte Manipulation von einzelnen Atomen und Molekülen. Durch gezieltes Positionieren von Adteilchen können so atomare Strukturen auf einer Substratoberfläche aufgebaut werden, die mehrere Wochen lang stabil bleiben. Durch Manipulation kann aber auch kontrolliert der Tunnelkontakt durch ein Adteilchen modifiziert werden, um auch bei sehr kleinen Korngattungen die atomare Auflösung zu erreichen. Ein RTM kann ebenfalls zur Spektroskopie der elektronischen Zustände der Oberfläche eingesetzt werden. Tiefe Temperaturen führen dabei aufgrund der schmaleren Fermiverteilung zu einer wesentlich

höheren Energieauflösung.

Gegenwärtig gibt es nur wenige Arbeitsgruppen, die Rastertunnelmikroskope bei tiefen Temperaturen betreiben. Kommerziell zu erwerbende Instrumente sind sehr kostenintensiv und teilweise wenig ausgereift. In der Arbeitsgruppe von Prof. Rieder wurde mir die Möglichkeit gegeben ein Tieftemperatur-RTM aufzubauen. Auf der Grundlage zweier bereits existierender Instrumente konnte so ein hochstabiles RTM entwickelt werden, das mit verbesserten Temperatureigenschaften die experimentellen Möglichkeiten erweitert.

Tiefe Temperaturen schränken die Mobilität von Adteilchen auf Oberflächen ein. Auf dichtgepackten Metalloberflächen ist die Mobilität von Adteilchen auf der Terrasse wesentlich größer als entlang von Stufenkanten, die bei Reduzierung der Temperatur zuerst eingeschränkt wird. Diese eingeschränkte Kantendiffusion verändert den Wachstumsmodus und führt zum Entstehen von fraktalen Strukturen. Wachstumsstudien in diesem Regime müssen bei tiefen Temperaturen durchgeführt werden, daher ist das aufgebaute RTM ideal für solche Untersuchungen geeignet. Das System LiF/Ag(111) bietet aufgrund der unterschiedlichen Wechselwirkungen von Adteilchen untereinander und mit der Substratoberfläche interessante Fragestellungen.

Die elektronische Struktur von Metalloberflächen kann sich bei tiefen Temperaturen durch die Kopplung von Elektronen untereinander verändern. Das Entstehen einer Bandlücke kennzeichnet den supraleitenden Zustand und kann mit einem RTM direkt gemessen werden. Diese Möglichkeit wurde an Pb-Filmen auf einem Ag(111)-Substrat zur Bestimmung der exakten Proben temperatur ausgenutzt. Die kritische Temperatur hängt dabei von der Filmqualität und Filmdicke ab, die bei verschiedenen Bedeckungen charakterisiert wurden.

Die verbesserte Energieauflösung bei tiefen Temperaturen ermöglicht es auch schwache Modulationen der Zustandsdichte der Oberfläche zu spektroskopieren. Im antiferromagnetischen Cr führt die Spindichtewelle zu einer räumlichen Modulation der Ladungsdichte im Volumen. Zum ersten Mal konnte die Projektion dieser Volumenladungsdichtewelle auf einer Cr(110)-Oberfläche abgebildet werden.

Die Manipulation von Adatomen setzt tiefe Temperaturen voraus und ermöglicht es atomare Strukturen aufzubauen. Die Interferenz von Oberflächenelektronen nach der Streuung an Adteilchen ergeben Friedeloszillationen, deren Abklinglänge durch Elektron-Elektron-Streuung mitbestimmt wird. Durch Aufbau einer Dreiecksstruktur aus 51 Ag-Atomen auf einer Ag(111)-Oberfläche konnte eine geeignete Streuergeometrie aufgebaut werden, die geringe Effekte der Elektron-Elektron-Streuung verstärkt. Auf diese Weise konnte zum ersten Mal die Lebensdauer von Oberflächenelektronen in einer künstlichen Nanostruktur gemessen werden.

Die Untersuchung einzelner Moleküle auf Oberflächen kann ebenfalls nur bei tiefen Temperaturen erfolgen. Hier ergeben sich aufgrund der zusätzlichen Freiheitsgrade gegenüber Atomen erweiterte Möglichkeiten der Manipulation. Die Untersuchung von Phosphangulene auf einer Ag(111)-Oberfläche erfolgte in Kooperation mit der Arbeitsgruppe von Prof. Stockbro in Lyngby, Dänemark und wird in dieser Arbeit nicht dargestellt.

