

# Kapitel 1

## Einleitung

Nanostrukturen an Oberflächen sind in den letzten Jahren intensiv untersucht worden. Neben dem fundamentalen Interesse an solchen Systemen besteht auch die technologische Notwendigkeit, die physikalischen Eigenschaften auf einer Nanometer- bzw. Ångström-Skala zu verstehen. Das Moore'sche Gesetz [Moo65], in den sechziger Jahren aufgestellt, sagt die Verdopplung der Transistoren pro Fläche in integrierten Schaltungen alle 18 Monate vorher. In absehbarer Zeit beziehungsweise schon heute wird damit die Grenze erreicht, ab der die atomare Struktur und eventuelle Quantisierungseffekte nicht mehr vernachlässigt werden können. Wesentliche Komponenten der Informationstechnologie sind bereits nur noch wenige Atomlagen dick, und rein quantenmechanische Effekte werden für neue Anwendungen ausgenutzt. Als Beispiele seien hier die Gate-Oxidschicht in Feldeffekt-Transistoren und die metallische Spacerschicht in GMR- (*giant magnetoresistance*) Leseköpfen von Festplatten erwähnt.

Die elektronischen Eigenschaften von Festkörpern werden durch die räumliche Beschränkung (*Confinement*) in Potentialen verändert. Eine Oberfläche stellt einen elementaren Fall eines solchen Potentials dar. Das Fehlen des Kristallgitters auf der Vakuumseite kann zur Ausbildung von Rekonstruktionen, Oberflächenzuständen und -resonanzen, Bildladungszuständen usw. führen. Die elektronische Oberflächenstruktur und ihre Veränderung durch Confinement in Nanostrukturen wiederum beeinflussen in erheblichem Maße physikalische und chemische Prozesse auf der Oberfläche wie etwa die Diffusions- und Wachstumseigenschaften [Mem95].

Epitaktische Aufdampfverfahren ermöglichen es, zweidimensionale Systeme etwa in Form von Halbleiterheterostrukturen oder dünnen metallischen Filmen auf Oberflächen zu realisieren. Erst in jüngerer Zeit richtet sich das Augenmerk auch auf eindimensionale Strukturen an Oberflächen, die vor allem durch Selbstorganisation erzeugt werden. In solchen Strukturen kann es im Vergleich zu höherdimensionalen Systemen zu andersartigen Effekten kommen, wie etwa das Auftreten von Ladungsdichtewellen aufgrund einer Peierls-Verzerrung [Yeo99] oder die Formation von neuen Quasiteilchen in einem kollektiven System wechselwirkender Elektronen (Luttinger-Flüssigkeit) [Seg99]. Kapitel 2 bietet einen kurzen Einblick in den Stand der Forschung auf diesem Gebiet und motiviert damit die Messungen, die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurden.

Die Rastertunnelmikroskopie ist in besonderer Weise geeignet, die elektronische Struktur von Systemen mit reduzierter Dimensionalität an Oberflächen zu untersuchen. Sie verbindet eine extrem hohe (d.h. atomare) räumliche Auflösung mit einer Vielzahl von spektroskopischen Messmethoden, welche Rückschlüsse auf die elektronischen Eigenschaften zulassen. Somit kann besonders die Abhängigkeit der elektronischen Struktur von den Dimensionen der Nanostrukturen bestimmt werden. Basierend auf dem quantenmechanischen Tunneleffekt, misst man im Wesentlichen die lokale Zustandsdichte (d.h. grob gesagt Ladungsdichte) der Probe. Dabei wird immer eine Faltung aus topografischen und elektronischen Effekten abgebildet werden, wie sie sich etwa im Smoluchowski-Effekt [Smo41] manifestiert. Daher stellt die kritische Analyse besonders von spektroskopischen Messungen eine Herausforderung in der Rastertunnelmikroskopie dar. Eine Einführung in die elementare Theorie und die konkrete experimentelle Realisierung wird in Kapitel 3 gegeben. Es zeigt sich, dass neu entwickelte Analysemethoden wie etwa die Fouriertransformations-Rastertunnelmikroskopie bessere Einblicke in die Dynamik der Elektronen erlauben.

Die Ergebnisse dieser Arbeit, die dem Studium niederdimensionaler Strukturen an Oberflächen in Hinblick auf ihre elektronischen Eigenschaften gewidmet ist, lassen sich in zwei Teile unterteilen.

Kapitel 4 und 5 stellen zwei unterschiedliche Ansätze dafür dar, eindimensionale Strukturen auf einer Oberfläche zu realisieren. Die reduzierte Dimensionalität lässt sich dabei anhand der Eigenschaften der Oberflächenzustände belegen. Die in Kapitel 4 vorgestellte Ba/Si(111)-Oberflächenrekonstruktion ist ein Beispiel für ein lineares Adsorbatsystem aus atomaren Ba-Ketten, dessen strukturelle und elektronische Eigenschaften untersucht wurden. In Kapitel 5 wird anhand vizinaler Kupferoberflächen deutlich, wie stark sich Oberflächenmorphologie und elektronische Struktur gegenseitig bedingen können. Mit Hilfe der Rastertunnelmikroskopie ist es erstmals möglich, zwischen ausgedehnten und lokalen Effekten der Stufenstruktur zu unterscheiden.

Im zweiten Teil, der die Kapitel 6 und 7 umfasst, stehen nicht Oberflächenzustände, sondern die Wechselwirkung von niederdimensionalen elektronischen Zuständen mit einer Oberfläche im Vordergrund. Die in Kapitel 6 besprochenen Feldzustände, die durch vertikales Confinement im Tunnelkontakt zwischen Spitze und Probe existieren können, eignen sich dazu, um die elektronische Bandstruktur einer Oberfläche oberhalb des Vakuumniveaus zu untersuchen. Die Projektion von Volumenzuständen auf die Oberfläche lässt sich unter bestimmten Umständen auch unterhalb des Vakuumniveaus mit dem Rastertunnelmikroskop (STM) messen, wie Kapitel 7 zeigt. Unsere STM-Messungen ermöglichen die Abbildung des Verlaufs von Volumenbandkanten im reziproken Raum.