

Kapitel 7

Zusammenfassung

Der Schwerpunkt dieser Arbeit lag auf dem Aufbau eines Ultrahochvakuum-Tieftemperatur-Rastertunnelmikroskopes. Auf der Grundlage in der Arbeitsgruppe bereits bestehender Anlagen wurde ein hochstabiles RTM entwickelt, das bei variablen Betriebstemperaturen zwischen 4.9 K und 300 K die Abbildung und Manipulation von Probenoberflächen auf atomarer Skala ermöglicht. Insbesondere konnte durch eine Optimierung des Scanners die Stabilität des RTM erhöht werden und durch eine verbesserte thermische Ankopplung die minimale Betriebstemperatur von 15 K auf 4.9 K abgesenkt werden. Der simultane optische Zugang während der Messungen erlaubt die Kombination des Tieftemperatur-RTM mit optischen Methoden und ist für die Zukunft geplant.

Die tatsächlich an der Probe erreichbare tiefste Temperatur wurde durch Spektroskopie der LDOS an der Oberfläche von supraleitenden Pb-Filmen auf einem Ag(111)-Substrat bestimmt. Das Einsetzen des supraleitenden Zustandes ist durch das Entstehen einer Bandlücke am Ferminiveau gekennzeichnet, die durch dI/dV -Spektroskopie direkt gemessen werden kann. Einerseits konnte dadurch eine hohe Energieauflösung von 2 meV demonstriert werden, andererseits kann unter der Annahme einer kritischen Temperatur im Pb-Film wie im Kristallvolumen eine minimale Temperatur der Probe von $T=4.9$ K als gesichert gelten. Das Pb-Wachstum auf dem Ag(111)-Substrat wurde bedeckungsabhängig charakterisiert.

Das Wachstum fraktaler Strukturen auf dichtgepackten Metalloberflächen erfolgt bei Temperaturen, bei denen die thermisch aktivierte Diffusion entlang Stufenkanten eingeschränkt ist, während die Adteilchen auf den Terrassen noch mobil sind. Die Untersuchung dieser fraktalen Strukturen muß bei tiefen Temperaturen erfolgen und kann optimal mit einem Tieftemperatur-RTM durchgeführt werden. An dem System LiF/Ag(111) wurde zum ersten Mal das fraktale Wachstum eines ionischen Isolators auf einem Metallsubstrat beobachtet. Die Daten sind konsistent mit dem Skalierungsgesetz für Inseln und der Inseldichteverteilung für die kritische Clustergröße $i = 1$, d.h. die kleinste stabile Clustergröße ist ein LiF-Dimer. Aus den Daten wurde eine Abschätzung für die Diffusionsbarriere von LiF-Monomeren auf Ag(111) von 30 - 47 meV erhalten. Die fraktale Dimension wurde zu $d=1.75\pm 0.01$ bestimmt und die lokale kubische Symmetrie zeigt eine (100)-Terminierung der LiF-Inseln. Obwohl der Fluß über einen weiten Bereich variiert wurde, konnte kein Übergang von fraktalem zu dendritischem Wachstum beobachtet werden. An den Stufenkanten schließlich wurde ein symmetrisches Wachstum zu beiden Seiten der Stufenkante gefunden. Dieses ungewöhnliche Verhalten läßt sich plausibel erklären, wenn man das elektrische Feld aufgrund der Ladungsdichteverteilung an den Stufenkanten parallel zur Oberfläche berücksichtigt. Die Coulombwechselwirkung der polaren LiF-Moleküle mit diesem Feld führt unabhängig von der Seite der Stufenkante zu einem Energiegewinn von der Größenordnung einiger Zehntel eV und kann so die beobachtete symmetrische Keimbildung erzeugen.

Tiefe Temperaturen ermöglichen es auch schwache Modulationen der Zustandsdichte auf Oberflächen abzubilden. Die Cr(110)-Oberfläche wurde bei Temperaturen zwischen 6 K und 145 K mit RTM untersucht und es konnte zum ersten Mal gezeigt werden, daß die Ladungsdichtewelle, die die Spindichtewelle in Cr begleitet, eine Modulation der Ladungsdichte an der Oberfläche erzeugt. Bei Tunnelspannungen zwischen ± 150 meV wurde eine Ladungsdichtewelle mit einer Wellenlänge von 42 \AA beobachtet, deren Wellenfronten entlang der [001]-Richtung verlaufen. Das beobachtete Wellenmuster konnte als die Projektion der Volumenladungsdichtewelle mit einem Wellenvektor $\vec{Q} \parallel [010]$ bzw. $\vec{Q} \parallel [100]$ erklärt werden. Die Ladungsdichtewelle mit $\vec{Q} \parallel [001]$

dagegen ist an der Oberfläche stark unterdrückt. Die Möglichkeit, diese Ladungsdichtemodulation mittels Tieftemperatur-RTM abzubilden ist bemerkenswert, da so die antiferromagnetische Domänenstruktur von Cr an der Oberfläche über die Kopplung mit Ladungsdichtewelle indirekt abgebildet werden kann.

Die Möglichkeit bei tiefen Temperaturen einzelne Atome mit einem RTM manipulieren zu können, wurde zur Bestimmung der Lebensdauer von Oberflächenelektronen eingesetzt. Dazu wurde durch atomare Manipulation eine dreieckige Streugeometrie aus 51 Ag-Atomen auf einer Ag(111)-Oberfläche aufgebaut und mit hoher Energieauflösung das Interferenzmuster der Elektronen des Oberflächenzustandes im Inneren vermessen. Das Wellenmuster wurde mittels Streutheorie [113][106] berechnet und aus der Anpassung an die Daten die Phasenabklinglänge gewonnen. Die energieabhängige Phasenabklinglänge zeigt für Energien unterhalb von +500 meV eine signifikante Absenkung im Vergleich zu dem für eine defektfreie Terrasse zu erwartenden Verlauf gemäß FLT. Die Ursache für diese Diskrepanz wurde durch die erhöhte Zustandsdichte im Dreieck interpretiert, welche insbesondere für niedrige Energien auftritt, bei denen die Elektronen stärker im Dreieck gebunden sind. Mit diesem Experiment konnte zum ersten Mal die Lebensdauer von Oberflächenelektronen nahe der Fermienergie mit einem RTM gemessen werden.

