

“Neue Materialien: Durch Verständnis zur Anwendung”

In Rahmen von UNIINVEST 2004 wurde das Projekt NEUMAT gefördert und in den letzten 10 Monaten vom Institut für Festkörperphysik auch vollständig umgesetzt. Im Zusammenwirken mit Frau Prof. S. Bühler Paschen, die am 1.5.2005 ihren Dienst antritt, wurde das Labor zur Proben- und Einkristallherstellung umgebaut und mit neuem Gerät bestückt.

Ziel des Forschungsvorhabens "neue magnetische und thermoelektrische Materialien" ist die Entwicklung neuer Verbindungen, die für festkörperbasierte Technologien der Zukunft auf dem Gebiet des Magnetismus und der elektrischen Energieumwandlung eingesetzt werden können. Diese Verbindungen für umweltfreundliche, kühlmittelfreie Wärmepumpen und Generatoren haben darüber hinausgehend ein breites Anwendungspotential in mikro- oder nanostrukturierter Form. Ausgegangen werden soll von einer Untersuchung der elektronischen Korrelationen in Schwere-Fermionen-Systemen, um eine darauf aufbauende Maßschneidung der Eigenschaften für thermoelektrische und magnetische Substanzen zu ermöglichen.

Dazu ist ein tief greifendes Verständnis des Zusammenhanges zwischen der chemischen Zusammensetzung und Struktur eines Materials einerseits und seinen physikalischen Eigenschaften andererseits zu erlangen. Dies setzt höchste Materialqualität, detaillierte analytische Methoden und entsprechende theoretische Modellierung voraus, um die *intrinsischen* Eigenschaften auch bei extremen Skalen und Bedingungen zu verstehen.

Obwohl die Infrastruktur am Institut für Festkörperphysik der TU Wien eine breite physikalische Charakterisierung bei extremen Bedingungen, insbesondere bei sehr tiefen Temperaturen und hohen Magnetfeldern für dieses ambitionierte Vorhaben in ausgezeichneter Weise abdeckt, war jedoch ein Kernstück im Bereich Probenpräparation, eine Anlage zur Züchtung hochwertiger Einkristalle, bis dato nicht vorhanden. Das mit diesen hochreinen Kristallen erworbene Verständnis ist jedoch die Basis für eine gezielte („intelligente“) Entwicklung von Materialien für konkrete Anwendungen. Auch im Bereich der Grundlagenforschung, in dem das Institut derzeit auf den Erhalt hochwertiger Einkristalle anderer Institutionen angewiesen ist, wird diese größere Eigenständigkeit entscheidende Wettbewerbsvorteile bringen.

Wissenschaftliche Details

Die Festkörperphysik hat heute einen Stand erreicht, der es erlaubt in einfachen Systemen Materialeigenschaften auf quantenmechanischem Niveau zu verstehen und zu manipulieren. Der Trend bei den im praktischen Einsatz stehenden Werkstoffen geht gleichzeitig zu immer größerer Komplexität, die zunehmend aufwändigere Methoden für die Herstellung, Untersuchung und theoretische Beschreiben erfordern. Ein international besonders aktives Forschungsgebiet ist das der elektronisch hochkorrelierten Systeme, in denen Quanteneffekte zu außergewöhnlichen Eigenschaften führen, wie z.B. der Hochtemperatursupraleitung in Kupraten, dem “kolossalen” Magnetwiderstand in Manganaten, den riesigen Thermokräften in Kondoisolatoren, der Ladungsordnung und

orbitalen Ordnung in Übergangsmetalloxyden und intermetallischen Verbindungen oder den stark erhöhten Quasiteilchen-Massen und dem Nicht-Fermi-Flüssigkeitsverhalten in Schwere-Fermionen-Verbindungen. Einige dieser Eigenschaften werden bereits für industrielle Anwendung genutzt, wie z.B. die Hochtemperatursupraleitung in NMR-Geräten oder in SQUIDs zur Untersuchung von Biomagnetismus. In reduzierten Dimensionen führen starke elektronische Korrelationen zu besonders drastischen Effekten. Daher bergen elektronisch hochkorrelierte Materialien besonders in mikro- und nanostrukturierter Form ein gewaltiges Anwendungspotenzial. So kommt z.B. der "kolossale" Magnetwiderstand bereits in magnetischen "read-write" Bauelementen und MRAMs zur Anwendung.

Besonders viel versprechend erscheint der Einsatz von Kondoisolatoren in thermoelektrischen Bauelementen, die elektrische Energie in Wärme (Wärmepumpen) oder Wärme in elektrische Energie (Generatoren) umwandeln. Sie sind umweltfreundlich, da sie kühlmittel- und emissionsfrei arbeiten. State-of-the-art Bauelemente auf der Basis von konventionellen Halbleitern können bei Raumtemperatur und oberhalb davon effizient genug betrieben werden, um als Nischen-Anwendungen Einsatz zu finden, z.B. als Generatoren in der Raumfahrt, zur Kühlung von Infrarot-Detektoren oder als Kühlelemente in der Automobilbranche. Für Großanwendungen wie Kühlschränke ist aber ein weit besserer Wirkungsgrad erforderlich. Die Mikro- und Nanostrukturierung sind vielversprechende Methoden zur Erhöhung des Wirkungsgrads. Vor allem aber sind neuartige Materialien gefragt. Dies gilt in besonderem Maße für Anwendungen unterhalb von Raumtemperatur, für die es derzeit noch keine kompetitiven Materialien gibt. Ein Ansatzpunkt hier sind die oben erwähnten Kondoisolatoren. Sie haben meist unterhalb Raumtemperatur riesige Thermokräfte, die in den thermoelektrischen Wirkungsgrad quadratisch eingehen. Von Nachteil sind die hohen thermischen Leitfähigkeiten, die es bisher verhindern, einen großen Temperaturgradienten im Material aufzubauen. Die Suche nach Kondoisolatoren mit niedriger thermischer Leitfähigkeit stellt daher einen wichtigen Aspekt unseres Forschungsvorhabens dar.

Derzeit besteht noch kein tiefgreifendes Verständnis der physikalischen Prozesse, die den außergewöhnlichen Eigenschaften von Kondoisolatoren und von elektronisch hochkorrelierten Materialien im Allgemeinen zu Grunde liegen. Die Ursache dafür ist, dass die starke lokale Coulombwechselwirkung in diesen Systemen grundlegende Konzepte der Festkörperphysik in Frage stellt. So zeigen viele elektronisch hochkorrelierte Materialien z.B. ein Verhalten, das nicht mit dem Konzept der Landau-Fermi-Flüssigkeit vereinbar ist. Dieses sog. Nicht-Fermi-Flüssigkeitsverhalten wird derzeit intensiv im Zusammenhang mit quantenkritischen Punkten untersucht. Dies sind Orte im Phasenraum, an denen beim absoluten Nullpunkt der Temperatur ein Übergang zwischen einem geordneten und einem ungeordneten Zustand auftritt. In dieser Hinsicht sind Schwere-Fermionen-Verbindungen am eingehendsten untersucht worden. Am quantenkritischen Punkt liegt hier ein Übergang von einem antiferromagnetischen in einen paramagnetischen Zustand vor. Die Resultate detaillierter Tieftemperaturexperimente an diesen Systemen stellen derzeit die treibende Kraft für theoretische Arbeiten dar und sind somit für das Aufstellen neuer Konzepte unerlässlich.

Es ist zu erwarten, dass der Einfluss der Entwicklung auf diesem Gebiet weit über die Grenzen der Festkörperphysik hinausgehen wird. Unser Ziel ist es, diese Entwicklung mitzugestalten und die neuesten Erkenntnisse unmittelbar in die Herstellung von Materialien mit spezifischen quantenmechanischen Eigenschaften einfließen zu lassen.

Zur Erreichung dieses Zieles sind hochwertige Einkristalle unabdingbar. Für deren Präparation sind ein Spiegel-Ofen, sowie eine Probenvorbereitung unter Schutzgas eine nicht verzichtbare Voraussetzung. Durch den Ausbau des Computerclusters am CMS wird die begleitende theoretische Modellierung ermöglicht.

Anlagenspezifische Details

Kernstück der Anlage ist ein hochwertiger 4-Spiegel-Ofen der Firma Crystal Systems Corp., Japan, in dem die Einkristallzucht nach dem Zonenschmelzverfahren erfolgt. Das polykristalline Ausgangsmaterial in Form eines mehrere Zentimeter langen Stäbchens wird von intensivem, genau fokussiertem Licht (s.h. Abb.1.) lokal geschmolzen und kristallisiert unter geeigneten Bedingungen in einkristalliner Form. Der Vorteil des Verfahrens ist vor allem darin zu sehen, dass Verunreinigungen durch das Tiegelmateriale ausgeschlossen sind. Im Vergleich zur Zucht im Lichtbogen-Ofen sind weiters Temperatur und Gasdruck wesentlich besser kontrollierbar. Diese Methode, die zur Herstellung keramischer Materialien weit verbreitet ist, wurde weltweit erst von wenigen Gruppen zur Züchtung von intermetallischen Verbindungen verwendet. Die Erfahrungen dieser Gruppen sind aber überaus positiv. Wichtig für unser Forschungsvorhaben ist die Hochdruck-Option. Sie erlaubt, die Kristallzucht unter Argondruck von bis zu 10 bar durchzuführen. Damit kann das Verdampfen von Elementen mit niedrigem Dampfdruck reduziert werden. Die Vakuum-Option erlaubt die Zucht hochreiner niedrigschmelzender Verbindungen (s.h. Abb.2.). Für die Vorbereitung der Ausgangselemente unter hochreinem Inertgas (Wiegen, Mischen und zu einer kompakten Pille pressen), ist nunmehr eine entsprechend ausgestattete "glove box" vorhanden. Dadurch ist es möglich Verunreinigungen bereits im Ausgangszustand zu vermeiden. Zum Schmelzen des Ausgangsmaterials bestehen am Institut Anlagen, in denen die für die Einkristallzucht benötigten polykristallinen Stäbchen hergestellt werden können ("cold-boat" Anordnung, s.h. Abb.3. und "Hukin-type cold crucible" Anordnung, s.h. Abb.4.). Die Adaption dieser Anlagen für die Herstellung geeigneter dünner Stäbchen, zur Reduktion der Kosten für die Ausgangsmaterialien, ist eines der nächsten Ziele unserer Bemühungen.

Abb.1: 4-Spiegel – Ofen zur Kristallzucht nach dem „floating zone“ Verfahren:



Abb.2.: Detail der Zugvorrichtung des 4-Spiegel – Ofens, Vakuum- bzw. Hochdruckfederbalgabdichtung:

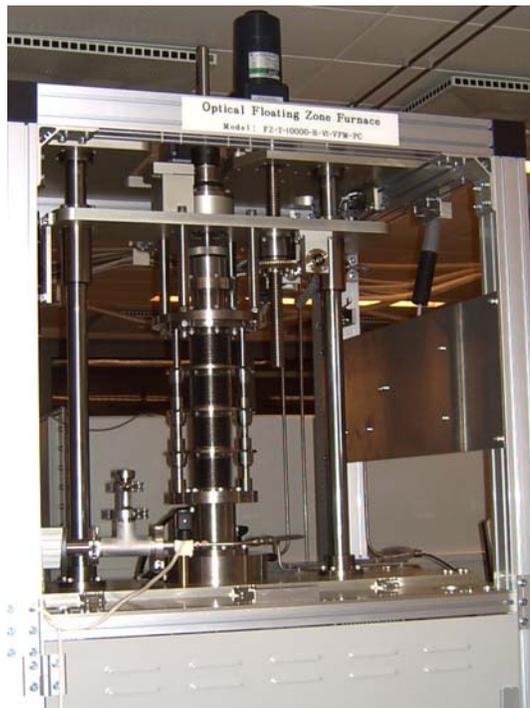


Abb.3.: Kalte Rinne, Cold-boat, zur Herstellung polykristalliner Materialien in kurzer Stäbchenform:



Abb.4.: Hukin Tiegel, Cold-cruzible, zur Herstellung größerer Mengen polykristalliner Materialien in „Knopfform“:

