

**Co-Autoren:**

Nanoskalige Metalle mit durchstimmbaren Eigenschaften

Nanophase Metals with Tunable Properties

Seit den Pionierarbeiten zur Herstellung nanokristalliner Materialien vor ca. 20 Jahren hat diese Materialklasse beträchtliche Bedeutung im Bereich Forschung und Entwicklung neuartiger Funktionsmaterialien erlangt. Auf Basis nanokristalliner Materialien ist es kürzlich erstmals gelungen, Metalle mit durchstimmbaren mechanischen, magnetischen und elektronischen Eigenschaften zu erzeugen.

Das Funktionsprinzip zahlreicher Halbleiterbauelemente beruht darauf, die Materialeigenschaften, wie beispielsweise die elektrische Leitfähigkeit, mit Hilfe elektrischer Felder zu steuern. Idee der vorliegenden Arbeiten war es, dieses aus der Halbleiterphysik wohl bekannte Prinzip auf Metalle anzuwenden. Im Gegensatz zu Halbleitern werden von außen angelegte elektrische Felder in Metallen aufgrund der hohen Ladungsträgerdichte effizient abgeschirmt. Daher ist es unter normalen Bedingungen nicht möglich, die Eigenschaften von Metallen durch elektrische Felder zu beeinflussen. Möglich wird dies aber mit Hilfe nanoskaliger Strukturen, die einen ausreichend hohen Anteil an Grenzflächen aufweisen. Ein wichtiger Vorteil gegenüber Halbleitern liegt darin, dass induzierte Ladungen aufgrund der

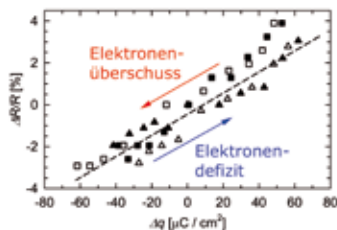


Abb. 1: Relative Änderung $\Delta R/R$ des elektrischen Widerstandes von nanokristallinem Platin mit der induzierten Oberflächenladung Δq . (Quelle: Institut für Materialphysik)

effizienten Abschirmung in Metallen auf eine lokalisierte Zone in der Nähe der Oberfläche konzentriert bleiben. Das bedeutet, dass die induzierte Ladungsdichte pro Atom sehr viel höher ist als in Halbleitern. Da die Elektronendichte ausschlaggebend für praktisch alle Materialeigenschaften ist, eröffnen sich mit diesem Konzept neue Wege für Materialien mit schaltbaren Eigenschaften.

Ausgangspunkt der Arbeiten war eine Kooperation mit dem Institut für

Nanotechnologie des Forschungszentrums Karlsruhe, in der das beschriebene Konzept erstmals am Beispiel der ladungsinduzierten Längenänderung von nanoskaligem Platin demonstriert werden konnte [1]. Im Rahmen einer Dissertation, die ebenfalls in Kooperation mit dem Karlsruher Nanotechnologie-Institut durchgeführt wurde, konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass auch die magnetischen Eigenschaften (Suszeptibilität) von nanoskaligen Metallen durch Aufbringen elektrischer Ladung verändert werden können [2,3]. Aufbauend auf diesen Arbeiten zielte die Diplomarbeit von M. Sagmeister auf die grundlagenphysikalisch hochinteressante Frage, inwieweit auch der elektrische Widerstand eines Metalls durch elektrische Felder beeinflusst werden kann [4]. Hierfür wurde hochporöses nanokristallines Pt verwendet, das durch Kompaktierung von 10 nm großen Pt-Partikeln hergestellt wurde. Der Festkörper wurde in eine leitfähige Flüssigkeit (Elektrolyt) getaucht, der die Hohlräume ausfüllt. Durch Anlegen einer Spannung können über den Elektrolyten elektrische Ladungen zu allen Nanopartikeln des Festkörpers transportiert werden, wodurch an den Oberflächen der Nanopartikel ebenfalls elektrische Ladungen induziert werden. Es stellte sich heraus, dass der elektrische Widerstand des porösen Metalls durch die induzierten Ladungen um fast 10% verändert werden kann. Der beobachtete Effekt, der vollständig auf der Nanoskaligkeit der verwendeten Strukturen basiert, kann unter Zugrundelegung entsprechender Leitfähigkeitsmodelle analysiert werden. Die Widerstands-

änderung ist eine Folge der veränderten Ladungsträgerdichte sowie der Änderung der Streuwahrscheinlichkeit der Ladungsträger, die mit der veränderten Ladungsträgerdichte einhergeht. Die Diplomarbeit wurde in fakultätsübergreifender Kooperation mit dem Institut für Physikalische Chemie durchgeführt. Die Ergebnisse wurden soeben in Physical Review Letters veröffentlicht [5].

Weitere Arbeiten des Institutes für Materialphysik im Bereich nanostrukturierte Materialien befassen sich u.a. mit der Synthese von Nanopartikeln mit Hilfe von Gasphasenmethoden sowie mit der chemisch empfindlichen Untersuchung atomarer Defekte in nanostrukturierten Materialien mit spezifischen Methoden der Positronen-Elektronen-Annihilationsspektroskopie (www.imp.tugraz.at).

- [1] J. Weismüller, R.N. Viswanath, D. Kramer, P. Zimmer, R. Würschum und H. Gleiter, Science 300 (2003) 312
- [2] H. Drings, Dissertation, TU Graz, 2004
- [3] H. Drings, R.N. Viswanath, D. Kramer, Chr. Lemier, J. Weismüller und R. Würschum, Applied Physics Letters, 88 (2006) 253103
- [4] M. Sagmeister, Diplomarbeit, TU Graz, 2005
- [5] M. Sagmeister, U. Brossmann, S. Landgraf und R. Würschum: Physical Review Letters 96 (2006) 156601

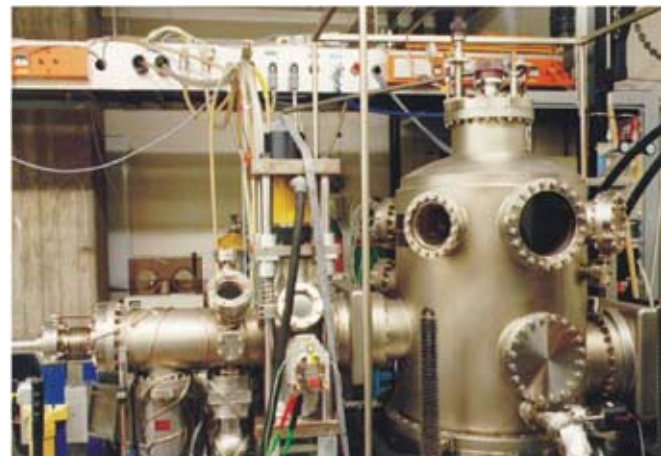


Abb. 2: Ultrahochvakuumanlage zur Gasphasensynthese von nanokristallinen Metallen. (Quelle: R. Würschum, Habilitationsschrift)

Nanophase Metals with Tunable Properties

Since the pioneering work on the synthesis of nanocrystalline materials some 20 years ago, this class of materials has become very important for the research and development of novel functional materials. Based on nanocrystalline materials, metals with tunable mechanical, magnetic, and electronic properties could recently be generated. Electric field-induced tuning of material properties is usually restricted to nonmetals such as semiconductors and piezoelectric ceramics. We show that variations of the electrical resistance of a metal (Platinum) in the range of several percent can be reversibly induced at low charging voltages making use of a nanocrystallite-electrolyte composite. The charge-induced resistance variation is due to the modification of the charge carrier density and scattering rate by surface charging.