

■ Neuer Goldrausch in der Supraleitung?

In einer Eisen-Arsenid-Verbindung wurde Supraleitung bei über 50 Kelvin gefunden.

Die Entdeckung einer neuen Klasse von Supraleitern in Japan [1] hat zu einem Wettlauf in den Materialwissenschaften geführt, der an die Anfänge der Hochtemperatur-Supraleitung vor über 20 Jahren erinnert. Die damals begonnene Erforschung der Kuprate in einer weltumspannenden und bis dato unbekanntem Intensität hat viele neue Aspekte des Phänomens Supraleitung ans Licht gebracht. Aufgrund der komplexen Materialeigenschaften der keramischen Oxide, wie z. B. Brüchigkeit, macht ihre Anwendung dagegen nur langsame Fortschritte. Nun tritt Supraleitung wieder in einem Materialsystem auf, in dem man sie nicht vermutet hat – nämlich in Verbindungen, die durch elektronische Zustände von Eisen geprägt sind. Wie bei den Kupraten handelt es sich bei den neuen Systemen um Schichtsysteme, deren elektronisch aktive Ebenen (FeAs statt CuO_2) mithilfe anderer Ebenen dotiert werden, die als Ladungsreservoir dienen (Abb. 1). Auch tritt die Supraleitung ebenfalls in unmittelbarer Nachbarschaft zu magnetischer Ordnung auf. Im Gegensatz zu den Kupraten scheinen für die theoretische Beschreibung elektronische Korrelationen aller-

dings weniger wichtig zu sein. Außerdem gibt es rein intermetallische Vertreter dieser neuen Supraleiter, was nicht zuletzt für technische Anwendungen wichtig ist.

Der erste Vertreter dieser neuen Klasse, Fluor-dotiertes LaOFeAs , zeigt Übergangstemperaturen bis etwa 30 K [1]. Unter hydrostatischem Druck [2] oder durch Ersetzen des unmagnetischen Lanthans durch kleinere Seltene Erden, z. B. Sm [3], gelang es, die Sprungtemperatur zur Supraleitung (T_c) in wenigen Wochen auf über 50 K zu steigern.

Bei der theoretischen Modellierung sind sowohl ein Paarungsmechanismus durch Phononen (mit einer ungewöhnlichen Elektron-Phonon-Wechselwirkung) als auch durch Spinfluktuationen in der Diskussion. Fest steht, dass die elektronische Bandstruktur in der Nähe der Fermi-Energie von fünf im Kristallfeld aufgespaltenen Fe-3d-Zuständen mit relativ geringen Beimischungen der As-Orbitale dominiert wird. Aufgrund einer starken Hybridisierung sind alle fünf Bänder partiell besetzt und es entsteht eine komplexe Fermi-Fläche. Die undotierten Systeme ROFeAs (R steht bislang für Ce, Pr, Nd, Sm

oder Gd) weisen innerhalb eines engen Temperaturintervalls um 140 K sowohl einen strukturellen Phasenübergang auf als auch einen magnetischen Phasenübergang in einen Spindichtewellen-Zustand mit einem kleinem geordneten Moment von ca. $0,3 \mu_B$ [4]. Solche Spindichtewellen sind typische magnetische Ordnungszustände in einem vorwiegend zweidimensionalen metallischen System. Da undotiertes ROFeAs bereits metallisch ist, besteht die Hoffnung, dass sich die elektronischen Eigenschaften des Systems innerhalb eines Fermi-Flüssigkeitsmodells theoretisch beschreiben lassen. Bei den Kupraten ist dies nicht möglich, da der Ausgangspunkt ein antiferromagnetischer Isolator ist, verursacht durch starke elektronische Korrelationen in einem einzigen Cu-3d-Band.

Die Eigenschaften des supraleitenden Zustands in den dotierten Verbindungen werden mit einer breiten Palette von experimentellen Methoden untersucht. Einige davon geben Hinweise auf eine d-Wellen-Symmetrie der Energielücke, andere Ergebnisse sind eher mit einer konventionellen BCS-s-Wellen-Symmetrie konsistent. Hinsichtlich des Verhältnisses aus

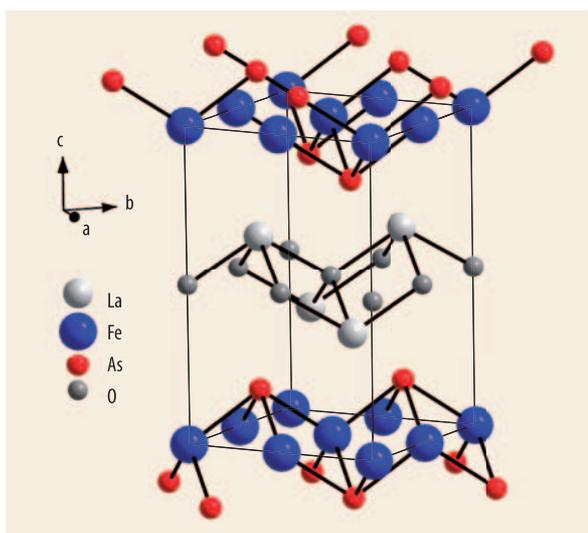


Abb. 1 Das wesentliche strukturelle Element in den neuen Supraleitern sind FeAs-Ebenen, in denen ein quadratisches Fe-Gitter durch darüber- und darunterliegende As-Ionen stabilisiert wird. Die LaO-Ebenen dienen bei Dotierung mit Fluor oder Strontium als Ladungsreservoir.

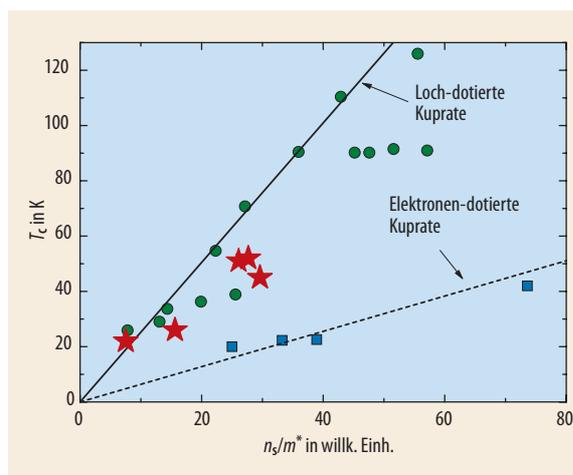


Abb. 2 FeAs-Supraleiter im sog. Uemura-Plot (rote Sterne). Ähnlich wie bei den Loch-dotierten Kupraten ist das Verhältnis aus supraleitender Sprungtemperatur (T_c) und Cooper-Paar-dichte (n_s/m^3) in den FeAs-Supraleitern ungewöhnlich hoch, was auf unkonventionelle Supraleitung und auf ein weiteres Steigerungspotenzial der Sprungtemperatur hinweist (nach [5]).

kritischer Temperatur und Cooper-Paardichte liegen die bisher untersuchten Proben nahe an der sog. Uemura-Linie für lochdotierte Kuprate [5]. Das deutet auf unkonventionelle Supraleitung hin. Vor allem belegt es aber ein weiteres Steigerungspotenzial für die Sprungtemperatur der Supraleitung, da sich die Dichte der Cooper-Paare vermutlich noch steigern lässt (durch Doppel- oder Dreifachebenen wie bei den Kupraten).

Die Eisen-Arsenide oder allgemeiner die Eisen-Pniktide, d. h. Eisen-Verbindungen mit Elementen aus der Hauptgruppe V, zeichnet eine sehr große Vielfalt der möglichen chemischen Zusammensetzungen aus. Viele dieser intermetallischen Verbindungen enthalten vergleichbare FePn-Ebenen. Hinsichtlich Universalität und Variabilität steht dieses Materialsystem der Klasse der Übergangsmetall-oxide, zu denen die Hochtemperatur-Supraleiter gehören, nicht nach. Kürzlich wurde berichtet, dass auch

BaFe_2As_2 , das Ba-Ebenen statt der LaO-Ebenen enthält, denselben magnetischen Grundzustand wie LaOFeAs zeigt. Auch dieses System wird durch Dotierung mit Kalium supraleitend mit einem T_c von 38 K [6]. Bemerkenswerterweise stimmt die Struktur des BaFe_2As_2 -Systems überein mit der des ersten Schwer-Fermionen-Supraleiters, CeCu_2Si_2 . Da sich diese intermetallischen Verbindungen bereits seit vielen Jahren als hochwertige Einkristalle herstellen lassen, sollten entsprechende Proben der FeAs-Supraleiter in Kürze erhältlich sein.

Auch die Perspektiven für die Anwendung sind vielversprechend. Da die Materialien nur wenig oder gar keinen Sauerstoff enthalten, sollten sie sich ähnlich bearbeiten lassen wie andere intermetallische Verbindungen, um z. B. Drähte zu ziehen. Erste Experimente an kleinen einkristallinen Proben deuten darauf hin, dass die Anisotropie wesentlich kleiner ist als bei den Kupraten. Auch eine weitere Vo-

oraussetzung für technische Anwendungen ist vorhanden: Das obere kritische Magnetfeld liegt mit Werten oberhalb von 60 Tesla in einem technologisch interessanten Bereich [7]. Heutige supraleitende Magnete, deren Kabel z. B. aus Nb_3Sn bestehen, sind auf Felder bis ca. 25 Tesla limitiert. Die neuen FeAs-basierten Supraleiter begeistern deshalb mit Recht die Festkörperphysiker und Materialwissenschaftler.

**Hans-Henning Klauss
und Bernd Büchner**

Prof. Dr. Hans-Henning Klauss, Institut für Festkörperphysik, Technische Universität Dresden, 01069 Dresden, und **Prof. Dr. Bernd Büchner**, Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW) Dresden, 01171 Dresden

- [1] Y. J. Kamihara et al., J. Am. Chem. Soc. **130**, 3296 (2008)
- [2] H. Takahashi et al., Nature **453**, 376 (2008)
- [3] X. H. Chen et al., Nature doi :10.1038/nature07045 (2008)
- [4] C. de la Cruz et al., Nature doi :10.1038/nature07057 (2008), H.-H. Klauss et al., arXiv.org/abs/0805.0264
- [5] H. Luetkens et al., arXiv.org/abs/0804.3115
- [6] M. Rotter et al., arXiv.org/abs/0805.4630
- [7] F. Hunte et al., Nature doi :10.1038/nature07058 (2008)