

Forschung und Entwicklung

Neue thermoelektrische Materialien entdeckt

An der TU Wien wurde eine neue Klasse thermoelektrischer Materialien erforscht, die sich dank eines überraschenden physikalischen Effekts zur äußerst effizienten Erzeugung von Strom eignen.

Wenn Maschinen heiß werden, wird oft viel Energie nutzlos an die Umgebung abgegeben. Ein Teil dieser Abwärme könnte mit Hilfe thermoelektrischer Materialien wieder zurückgewonnen werden: Sie erzeugen eine elektrische Spannung, wenn man mit ihnen heiße und kalte Objekte verbindet.

An der TU Wien konnte nun eine neue, deutlich effektivere Klasse solcher thermoelektrischer Materialien hergestellt werden. Der Trick liegt in der ganz besonderen Kristallstruktur und einem erstaunlichen neuen physikalischen Effekt: In unzähligen mikroskopisch kleinen Käfiggittern werden einzelne Cer-Atome gefangen gehalten. Das ständige Rütteln dieser eingesperrten magnetischen Atome am Kristall-Käfig scheint für die außerordentlich guten Materialeigenschaften verantwortlich zu sein.

»Clathrate« heißen die Kristallverbindungen, bei denen einzelne Gast-Atome in käfigartigen Hohlräumen eingesperrt sind. »Diese Clathrate zeigen ganz bemerkenswerte Wärme-Eigenschaften«, sagt Prof. Silke Bühler-Paschen vom Institut für Festkörperphysik der TU Wien. »Wie sich das Material genau verhält, hängt davon ab, wie die eingesperrten Einzelatome mit dem Gitterkäfig rundherum wechselwirken. Wir hatten daher die Idee, Cer-Atome in die Käfige einzusperren, weil ihre magnetischen Eigenschaften ganz besondere Arten von Wechselwirkungen erwarten ließen.«

Lange schien das unmöglich: Alle früheren Versuche, magnetische Atome wie das Selten-Erd-Metall Cer in solche Strukturen einzubauen, scheiterten. Mit Hilfe eines ausgeklügelten Kristallzuchtverfahrens in einem Spiegelofen gelang nun Prof. Andrey Prokofiev (ebenfalls Festkörperphysik, TU Wien) das Kunststück, Clathrate aus Barium, Silizium und Gold herzustellen, die Cer-Atome enthalten.

Strom aus Hitze und Kälte

Das neue Material wurde dann auf seine Einsetzbarkeit als Thermoelektrikum überprüft. Mit Thermoelektrika verbindet man einen heißen mit einem kalten Bereich. »Die thermische Bewegung der Elektronen im Material hängt von der Temperatur ab«, erklärt Bühler-Paschen. »Auf der heißen Seite des Materials bewegen sich die Elektronen stärker als auf der kalten, wodurch sie zur kalten Seite diffundieren. So entsteht zwischen den beiden Seiten des Thermoelektrikums eine elektrische Spannung.«

Die Experimente zeigten, dass durch die eingesperrten Cer-Atome eine um 50 Prozent höhere Spannung erzielt werden kann – das

»Clathrate« heißen die Kristallverbindungen, bei denen einzelne Gast-Atome in käfigartigen Hohlräumen eingesperrt sind.

Wie sich das Material genau verhält, hängt davon ab, wie die eingesperrten Einzelatome mit dem Gitterkäfig rundherum wechselwirken.

neue Material hat eine extrem hohe Thermokraft. Außerdem ist die Wärmeleitfähigkeit der Clathrate extrem gering. Auch das ist wichtig, sonst würden sich die unterschiedlichen Temperaturen auf beiden Seiten des Materials rasch angleichen, und schließlich würde keine elektrische Spannung mehr übrigbleiben.

Der heißeste Kondo-Effekt der Welt

»Die Ursache für die außergewöhnlich guten Materialeigenschaften dürfte in einer bestimmten Art von Elektronen-Korrelation liegen – dem so genannten Kondo-Effekt«, vermutet Bühler-Paschen: Die Elektronen der Cer-Atome sind mit den Kristallgitter-Atomen quantenmechanisch eng verbunden. Den Kondo-Effekt kannte man eigentlich aus der Tieftemperaturphysik, in der Gegend des absoluten Nullpunkts. Doch überraschenderweise spielen diese quantenphysikalischen Korrelationen im neuen Clathrat-Material auch bei hunderten Grad Celsius eine Rolle. »Das Rütteln des eingesperrten Cer-Atoms am Gitter wird bei hoher Temperatur stärker«, erklärt Bühler-Paschen. »Und es ist genau dieses Rütteln, das den Kondo-Effekt bei hohen Temperaturen stabilisiert. Wir beobachten den heißesten Kondo-Effekt der Welt.«

Das Forschungsteam wird an der TU Wien nun versuchen, diesen neuen Effekt auch auf andere Clathrate zu übertragen. Um das Material industriell noch interessanter zu machen, könnte man vielleicht das teure Gold durch andere Metalle ersetzen – etwa durch Kupfer. Cer könnte durch Mischmetall, eine billige Mischung aus Selten-Erd-Elementen ersetzt werden. Man darf sich also realistische Hoffnungen machen, dass solche maßgeschneiderten Clathrate in Zukunft industriell verwendet werden können, um aus Abwärme wertvolle elektrische Energie zurückzugewinnen.

Die Erfindung des neuen Materials und dessen Herstellungsverfahren wurde von der TU Wien bereits zum Patent angemeldet – unterstützt vom Forschungs- und Transfersupport der TU Wien. (nw)

