

Topologische Isolatoren – Eine Klasse für sich

- Topologische Isolatoren leiten Ströme verlustfrei, allerdings ausschließlich an eng begrenzten Oberflächen
- Sie haben das Potenzial, Ausgangspunkte revolutionärer elektronischer Bauteile in der Computer- und Informationstechnik zu sein
- Forschung in Deutschland ist vorn mit dabei

Transistoren sind die Basis aller modernen Elektronik. In jedem Smartphone sind mehrere Milliarden dieser Halbleiterbauelemente verbaut. Angesichts des steigenden Energiebedarfs der Informationstechnologie – Schätzungen gehen von einem Anteil von über 20 Prozent am Energieverbrauch in den nächsten zehn Jahren aus – ist die Entwicklung energiesparender Elektronik nicht nur aus Kostengründen, sondern auch zur Erreichung der globalen CO₂-Klimaziele wichtig.

Topologische Isolatoren sind hierfür vielversprechende Kandidaten. Sie bilden

eine konzeptionell neue Materialklasse (Abb. 1). Obgleich in ihrem Kern isolierend, verfügen topologische Isolatoren über leitfähige Oberflächen und Grenzschichten („topologische Randzustände“), bei denen sich die Elektronen den quantenmechanischen Gesetzen folgend frei bewegen können – und das verlustfrei, also ohne Abwärme zu erzeugen. Streuprozesse, die einen Widerstand verursachen könnten, werden dort unterdrückt. Dies erlaubt die Konstruktion elektronischer Bauteile mit beispielloser Effizienz.

Zwei Namen sind mit der Entwicklung dieser neuen Materialklasse eng verbunden: Der Physiknobelpreisträger Klaus von Klitzing entdeckte 1980 den Quanten-Hall-Effekt, als er Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren aus Silizium bei tiefen Temperaturen und starken Magnetfeldern untersuchte. Sein wissenschaftlicher Nachfolger an der Universität Würzburg, Laurens Molenkamp, entdeckte 2007 eine quantisierte Hall-Leitfähigkeit in einer II-VI-Halbleiterstruktur aus Quecksilbertellurid und Cadmiumtellurid (Abb. 2). Diese benötigt kein äußeres Magnetfeld mehr, was eine breite Anwendung



„Topologische Isolatoren versprechen, einen Paradigmenwechsel in der modernen Festkörperphysik einzuläuten. Neben mikroelektronischen Bauelementen mit extrem geringen

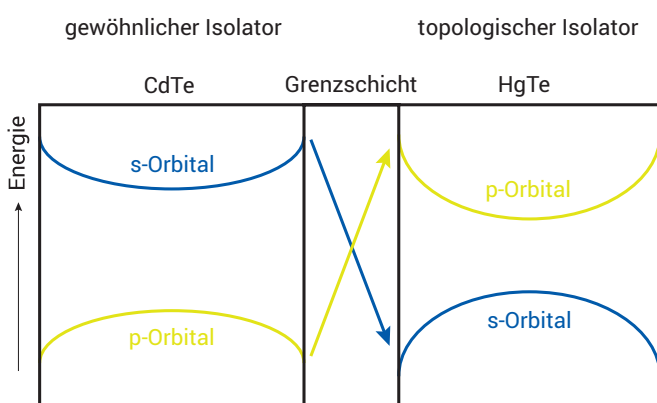
Verlusten erwartet die Wissenschaft die Entwicklung von Materialien mit ganz neuen Eigenschaften, z. B. für Anwendungen in der Quantentechnologie.“

Dieter Meschede, Präsident der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

als elektronisches Bauteil erst möglich macht. Solche II-VI-Heterostrukturen sind nun der Ausgangspunkt intensiver Forschung, die die künftige Festkörperphysik und damit den Bau leistungsstarker Elektronik entscheidend prägen könnte.

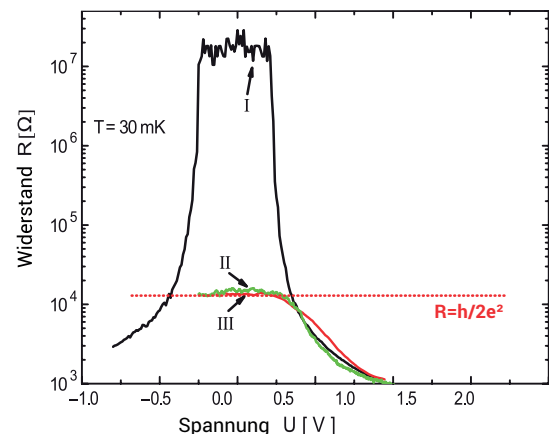
Ob die topologischen Isolatoren halten, was sie versprechen, ist noch nicht abzusehen. Ihr großes Potenzial ist alle Mühen intensiver Forschung wert.

Abb. 1



Schematische Darstellung der Bandstrukturen eines gewöhnlichen Isolators (links) und eines topologischen Isolators (rechts). Im topologischen Isolator ist die gewöhnliche energetische Position der durch ein p-Orbital und ein s-Orbital charakterisierten Bänder vertauscht. Beide Materialien sind für sich genommen Isolatoren. Fügt man sie zusammen, kreuzen sich die Bänder an der Grenzfläche; dort verschwindet die Bandlücke und die Grenzschicht wird elektrisch leitend. (Quelle: Spektrum der Wissenschaft / Manon Bischoff)

Abb. 2



Entdeckung des Quanten-Spin-Hall-Effekts: Bei einer Temperatur von 30 mK wurden in drei verschiedenen Proben (I, II, III) der Widerstand R als Funktion der angelegten Spannung U (relativ zu einer Schwellenspannung) gemessen. Die Probe I zeigt mit einem hohen fluktuativen Widerstand das Verhalten eines gewöhnlichen Isolators. Die Proben II und III liegen dagegen bei einem Wert von $R = h/2e^2$. Das entspricht genau dem Wert, den man von einem Quanten-Spin-Hall-Isolator erwartet. (Quelle: Molenkamp)

Deutsche **Physikalische** Gesellschaft

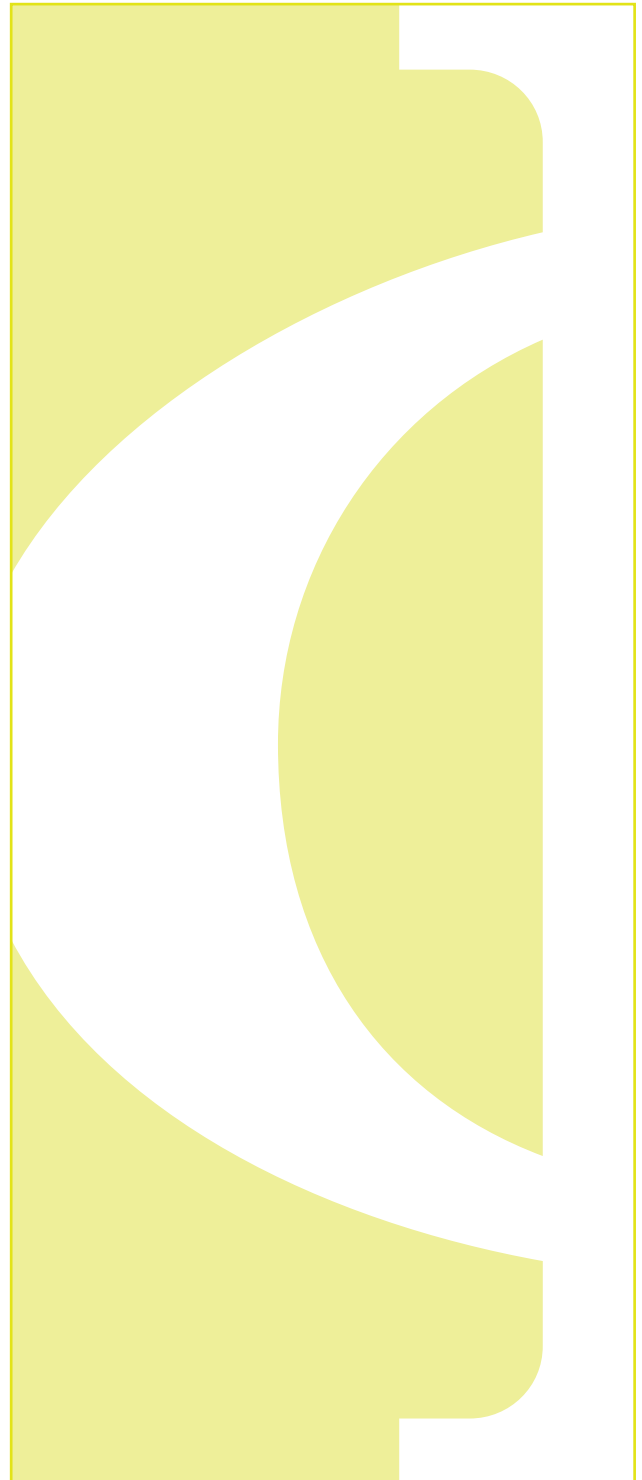
Die Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V. (DPG), deren Tradition bis in das Jahr 1845 zurückreicht, ist die älteste nationale und mit mehr als 60.000 Mitgliedern auch die größte physikalische Fachgesellschaft weltweit. Sie versteht sich als Forum und Sprachrohr der Physik und verfolgt als gemeinnütziger Verein keine wirtschaftlichen Interessen. Die DPG unterstützt den Gedankenaustausch innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft mit Tagungen und Publikationen. Sie engagiert sich in der gesellschaftspolitischen Diskussion zu Themen wie Nachwuchsförderung, Chancengleichheit, Klimaschutz, Energieversorgung und Rüstungskontrolle. Sie fördert den Physikunterricht und möchte darüber hinaus allen Neugierigen ein Fenster zur Physik öffnen.

In der DPG sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Studierende, Lehrerinnen und Lehrer, in der Industrie tätige oder einfach nur an Physik interessierte Personen ebenso vertreten wie Patentanwälte oder Wissenschaftsjournalisten. Gegenwärtig hat die DPG neun Nobelpreisträger in ihren Reihen. Weltberühmte Mitglieder hatte die DPG immer schon. So waren Albert Einstein, Hermann von Helmholtz und Max Planck einst Präsidenten der DPG.

Die DPG finanziert sich im Wesentlichen aus Mitgliedsbeiträgen. Ihre Aktivitäten werden außerdem von Bundes- und Landesseite sowie von gemeinnützigen Organisationen gefördert. Besonders eng kooperiert die DPG mit der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung.

Die DPG-Geschäftsstelle hat ihren Sitz im Physikzentrum Bad Honnef in unmittelbarer Nähe zur Universitäts- und Bundesstadt Bonn. Das Physikzentrum ist nicht nur ein Begegnungs- und Diskussionsforum von herausragender Bedeutung für die Physik in Deutschland, sondern auch Markenzeichen der Physik auf internationalem Niveau. Hier treffen sich Studierende und Spitzenwissenschaftler bis hin zum Nobelpreisträger zum wissenschaftlichen Gedankenaustausch. Auch Lehrerinnen und Lehrer reisen immer wieder gerne nach Bad Honnef, um sich in den Seminaren der DPG fachlich und didaktisch fortzubilden.

In der Bundeshauptstadt Berlin ist die DPG ebenfalls präsent. Denn seit ihrer Vereinigung mit der Physikalischen Gesellschaft der DDR im Jahre 1990 unterhält sie dort das Magnus-Haus. Dieses 1760 vollendete Stadtpalais, das den Namen des Naturforschers Gustav Magnus trägt, ist eng mit der Geschichte der DPG verbunden: Aus einem Gelehrntreffen, das hier regelmäßig stattfand, ging im Jahre 1845 die „Physikalische Gesellschaft zu Berlin“, später die DPG hervor. Heute finden hier Kolloquien und Vorträge zu physikalischen und gesellschaftspolitischen Themen statt. Gleichzeitig befindet sich im Magnus-Haus Berlin auch das historische Archiv der DPG.



Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V.

Geschäftsstelle Tel.: 02224 / 92 32 - 0
Hauptstraße 5 Fax: 02224 / 92 32 - 50
53604 Bad Honnef E-Mail: dpg@dpg-physik.de

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft dankt Mathias Kläui von der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz sowie Ronny Thomale von der Julius-Maximilians-Universität Würzburg für die wissenschaftliche Beratung.