

Forschungsschwerpunkte – Professor Laurens W. Molenkamp

Prof. Molenkamps wissenschaftlicher Background ist sehr breit gefächert. Am Anfang stand die Promotion in Physikalischer Chemie über ultraschnelle kohärente optische Experimente an molekularen Misch-Kristallen. Nach der Promotion ging er an das Philips Research Laboratorium in Eindhoven (Niederlande), ein industrielles Forschungslabor. Hier arbeitete er anfangs an den optischen Eigenschaften von III-V-Halbleitern und wandte sich bald den Transport-Eigenschaften von Nanostrukturen aus diesen Materialien zu. Das waren die Pioniertage der Nanostruktur-Physik, und schließlich wurde er Projektleiter der Nanostruktur-Gruppe, die die Techniken auf andere Materialien wie z. B. magnetische Metalle und Halbleiter ausweitete. In den frühen 90er-Jahren wurden die Möglichkeiten für Grundlagenforschung in der Industrie immer begrenzter und er entschied sich für eine akademische Laufbahn. An der Universität Würzburg hat er eine Position inne, die es ihm erlaubt, viele der Forschungsgebiete aus seinen Anfangsjahren miteinander zu verbinden; er leitet einen großen Lehrstuhl (ca. 100 Mitarbeiter), der das gesamte Spektrum der Halbleiterphysik abdeckt, vom Kristallwachstum über Nanolithographie bis hin zu optischen und Transport-Experimenten. In den vergangenen zehn Jahren hat sich der Lehrstuhl zu einer der führenden Forschungsstätten auf dem Gebiet der Halbleiterspintronik entwickelt.

Größere wissenschaftliche Beiträge

Es folgt eine Auflistung seiner Hauptbeiträge auf dem Gebiet des Quantentransports in Nanostrukturen.

Thermoelektrische Eigenschaften von Nanostrukturen

Durch Quantisierungseffekte zeigen Nanostrukturen sehr große thermoelektrische Koeffizienten. Experimente an einzelnen Strukturen sind jedoch wegen der großen Temperaturunterschiede, die noch benötigt werden, um ein messbares Signal zu beobachten, sehr schwierig. In seiner Zeit bei Philips hat Prof. Molenkamp eine Stromheizungs-Technik entwickelt, die sich bestens für genau diese Art von Experimenten eignet. Mittlerweile wird diese angewendet, um die thermoelektrischen Koeffizienten von Quantenpunktkontakten und Quantenpunkten in verschiedenen Transportbereichen zu messen. Diese Arbeit hat in letzter Zeit wieder erneut Aufmerksamkeit erregt wegen der aktuellen Bedeutung von energierelevanter Forschung.

Transport in Einzel- und Doppel-Quantenpunkten

Sein Team bei Philips war unter den Pionieren, als es darum ging, die Auswirkungen von Coulomb-Blockaden auf Halbleiterquantenpunkte zu studieren. Eine natürliche Folge war die Arbeit an Doppel-Quantenpunkten, mit der er zu der Zeit beschäftigt war, als er die akademische Laufbahn einschlug. Die Doppelquantenpunktsysteme, die Mitte der 90er-Jahre erstmals untersucht wurden, haben sich mittlerweile als eine sehr vielversprechende Herangehensweise an Quantencomputing in Festkörpersystemen erwiesen.

Elektrische Spin-Injektion in Halbleitern

Der Wechsel nach Würzburg machte es Prof. Molenkamp möglich, seinen wissenschaftlichen Background im Nanotransport mit den magnetischen II-VI-Halbleitern, für die der Würzburger Lehrstuhl sehr gut ausgestattet ist, zu kombinieren. Die Würzburger Gruppe war die erste, die elektrische Spin-Injektion in Halbleitern experimentell nachweisen konnte. Kurze Zeit später stellte die Gruppe den „Impedance mismatch“ (ein Unterschied im spezifischen Widerstand) zwischen Metallen und Halbleitern vor, der erklärt, warum ferromagnetische Metalle sich nicht als Spininjektoren eignen.

Tunnel Anisotroper Magnetowiderstand (Tunnel Anisotropic Magneto Resistance TAMR)

Prof. Molenkamp übertrug seine Erfahrung auf dem Gebiet der Nanostrukturherstellung auf den ferromagnetischen Halbleiter (Ga,Mn)As und konnte so verschiedene neuartige – und sehr starke - Magnetowiderstand-Effekte zeigen, von denen der TAMR wahrscheinlich den breitesten Anwendungsbereich aufweist. Der Effekt ergibt ein Schalten zwischen zwei Widerstands-Zuständen, wie man es von einem Spin-Ventil kennt, nur dass in diesem Fall lediglich eine magnetische Schicht involviert ist. Es hat sich in der Folge gezeigt, dass TAMR ebenso gut in vielen anderen magnetischen Materialien auftritt. In letzter Zeit hat Prof. Molenkamps Gruppe erforscht, wie man die magnetische Anisotropie von (Ga,Mn)As kontrollieren kann, was es der Gruppe ermöglichte, eine weitere Kategorie von neuen Bauelementen zu entwickeln.

Quantum-Spin-Hall-Effekt und Topologische Isolatoren

In den letzten Jahren verlagerte sich die Halbleiterspintronik mehr und mehr auf die Anwendung von Spin-Bahn-Kopplungs-Effekten. In Würzburg wurde eine Nanoherstellungstechnologie für das narrow gap (kleine Bandlücke) II-VI-Material Quecksilbertellurid entwickelt, was eine sehr starke Spin-Bahn-Kopplung sowie eine besondere, „invertierte“ Bandstruktur vorweist. Diese Technologie ermöglichte es, die erste Beobachtung der topologischen Aharonov-Casher-Phase zu zeigen, ein Spin-Bahn-Verwandter des Aharonov-Bohm-Effekts.

Die invertierte Bandstruktur führt aktuell zu noch exotischeren, topologischen, Effekten. Im Jahr 2007 wurde von der Gruppe in diesem Materialsystem der Quantum-Spin-Hall-Effekt beobachtet, ein neuer Quantenzustand der Materie. Der Effekt führt zum Auftreten von nicht-dissipativem Transport in Randkanälen, ähnlich dem Quanten-Hall-Effekt, aber ohne dass die Anwendung eines großen Magnetfeldes notwendig ist. Die Arbeit am Quanten-Spin-Hall-Effekt war der Anfang der Erforschung der topologischen Isolatoren, zurzeit ein sehr wichtiger Forschungsschwerpunkt in der Physik der Kondensierten Materie.

Die Molenkamp-Gruppe zeigte, dass Quecksilbertellurid sowohl in zwei- (durch den Quanten-Spin-Hall-Effekt), wie auch in drei-dimensionalen Strukturen ein topologischer Isolator ist, der vorzügliche Transporteigenschaften vorweist. Aktuell werden in diesen Strukturen magnetische und supraleitende „proximity“-Effekte erforscht.