



1 Messaufbau zur Charakterisierung und Optimierung von Halbleitermaterial bei Temperaturen von 20 bis 800°C.

2 Gassensor-Mikrostruktur: Die Eigenschaften der verwendeten Halbleiter müssen bei der Entwicklung genau eingestellt werden.

HALL-MESSPLATZ

MATERIALCHARAKTERISIERUNG BEI HOHEN TEMPERATUREN

Hall-Messungen ermöglichen tiefe Einblicke in die Eigenschaften von Materialien: Neben der Identifizierung der Ladungsträger lassen sich deren Mobilität und Konzentration bestimmen. Hall-Messungen haben sich daher als wichtiges Messverfahren bei der Entwicklung moderner Materialien etabliert.

Kommerziell verfügbare Geräte, so genannte »Physical Property Measurement Systems«, messen bei Temperaturen von 4 K bis maximal 400 K. Fraunhofer IPM erschließt mit dem Hall-Messsystem »IPM-HT-Hall« erstmals den Temperaturbereich von 20 bis 800 °C für Hall-Messungen. Dank des neuartigen Messaufbaus lassen sich elektrische, thermische oder magnetische Materialeigenschaften von Proben verschiedener Geometrien über einen weiten Temperaturbereich und bei bis zu fünf verschiedenen Magnetfeldstärken sehr exakt messen – schnell, einfach und zuverlässig.

Charakterisierung von Halbleitern und anderen Festkörpern

Die Eigenschaften moderner Halbleiter (HL) werden gezielt beeinflusst, um für die spätere Anwendung gewünschte Materialeigenschaften zu erzielen. Ein wichtiges Verfahren ist das Dotieren des Materials: Dabei werden Anzahl, Mobilität und Art der Ladungsträger im Material durch die gezielte Zugabe von Fremdatomen exakt eingestellt. Bei thermoelektrischen HL-Materialien beispielsweise wird die Ladungsträgerkonzentration durch Dotieren so beeinflusst, dass elektrische Leitfähigkeit und Seebeck-Koeffizient in einem optimalen Verhältnis stehen und somit eine möglichst hohe Materialgüte erreicht wird. Dabei kommt in der Regel weniger als ein Dotieratom auf eine Million Materialatome. Für die Überprüfung von Dotierung und Ladungsträgerkonzentration sind also hochempfindliche Messgeräte nötig.

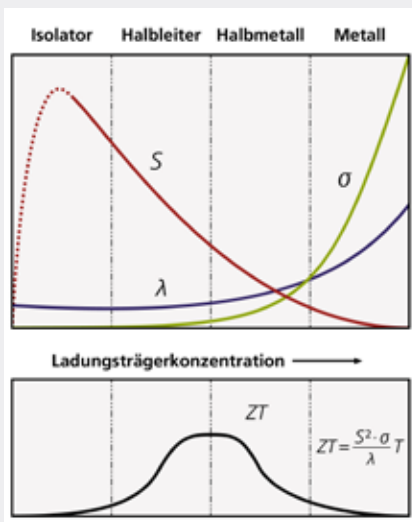
Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

Georges-Köhler-Allee 301
79110 Freiburg

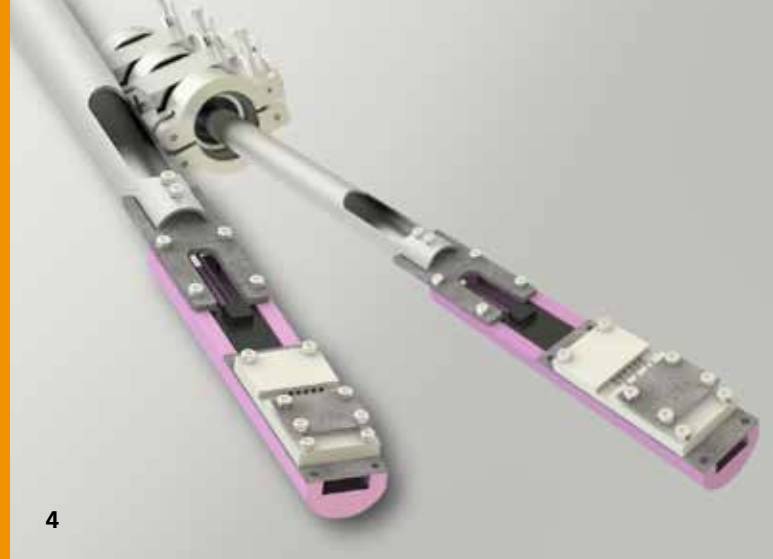
Ansprechpartner

Martin Jägle
Gruppenleiter
Thermische Messtechnik und Systeme
Telefon +49 761 8857-345
martin.jaegle@ipm.fraunhofer.de

www.ipm.fraunhofer.de



3



4

»IPM-HT-Hall« misst hochempfindlich und erfasst bereits minimale Änderungen der Ladungsträgerkonzentration und darüber hinaus den Einfluss der Temperatur auf die Dotierung des Materials.

Messen bei bis zu 800 °C

Viele HL-Materialien werden bei Temperaturen deutlich über Raumtemperatur eingesetzt, etwa in HL-Gassensoren oder thermoelektrischen Hochtemperaturmodulen. Um die Funktionsfähigkeit des Materials bei den im Einsatz vorherrschenden Temperaturen sicherzustellen, müssen Materialeigenschaften auch bei hohen Temperaturen gemessen werden. Denn nicht nur die Dotierung, sondern auch die Umgebungstemperatur hat Einfluss auf die Anzahl der Ladungsträger: Je höher die Temperatur, desto mehr Ladungsträger werden aktiviert. HL-Gassensoren arbeiten bei Temperaturen von 200–400 °C. Ihre sensitiven Schichten ändern je nach Temperatur und

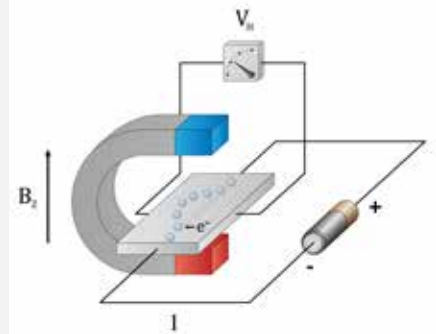
anwesenden Gasen ihre elektrischen Eigenschaften. IPM-HT-Hall bietet dank seiner einstellbaren Messatmosphäre die Möglichkeit, diese Materialien vor dem Aufbringen auf eine komplexe Sensorstruktur detailliert zu untersuchen. Das System misst bis zu vier Materialparameter gleichzeitig bei Temperaturen von etwa 20 bis 800 °C. Neben dem Standardmesskopf zur Hall-Messung lassen sich eigene Messköpfe und selbstentwickelte Messelektronik in den Messplatz integrieren.

3 Die Parameter elektrische Leitfähigkeit (σ), Seebeckkoeffizient (S) und thermische Leitfähigkeit (λ) hängen von der Ladungsträgerkonzentration ab. Im thermoelektrischen Material müssen sie so optimiert werden, dass eine maximale Materialgüte ZT erreicht wird. Dies ist abhängig von der Temperatur.

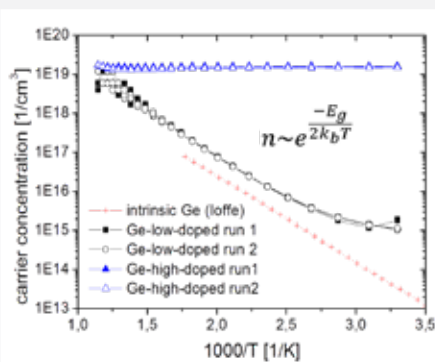
4 Vollkeramischer Messkopf für Messungen bis über 800 °C.

Hall-Effekt

Edwin Herbert Hall entdeckte 1879 den nach ihm benannten Hall-Effekt. Er beobachtete, dass der Strom in einem Leiter durch das Anlegen eines Magnetfeldes beeinflusst werden kann. Die dabei entstehende Spannung ermöglicht tiefe Einblicke in das untersuchte Leitermaterial. Messen kann man diesen Effekt über die Spannung, die senkrecht zum Strom wie auch dem Magnetfeld am Leiter abgegriffen wird.



Hochtemperatur-Messung



Die Messkurve zeigt temperaturabhängige Messungen der Ladungsträgerkonzentration an drei verschiedenen Germanium-Proben. Reines, auch intrinsisches Germanium genannt, zeigt den linearen Anstieg der Ladungsträger mit steigender Temperatur. Die Ladungsträger werden durch die Temperaturerhöhung thermisch aktiviert. Leicht dotiertes Material hat bei Raumtemperatur mehr Ladungsträger als das Reinmaterial, zeigt aber bei höheren

Temperaturen den gleichen linearen Anstieg der Ladungsträger, da auch hier mehr und mehr Ladungsträger thermisch aktiviert werden. Sehr hoch dotiertes Material zeigt die höchste Ladungsträgerkonzentration bei Temperaturen nahe 600 °C konstant.

< Ladungsträgerkonzentration am Beispiel von Germanium-Proben