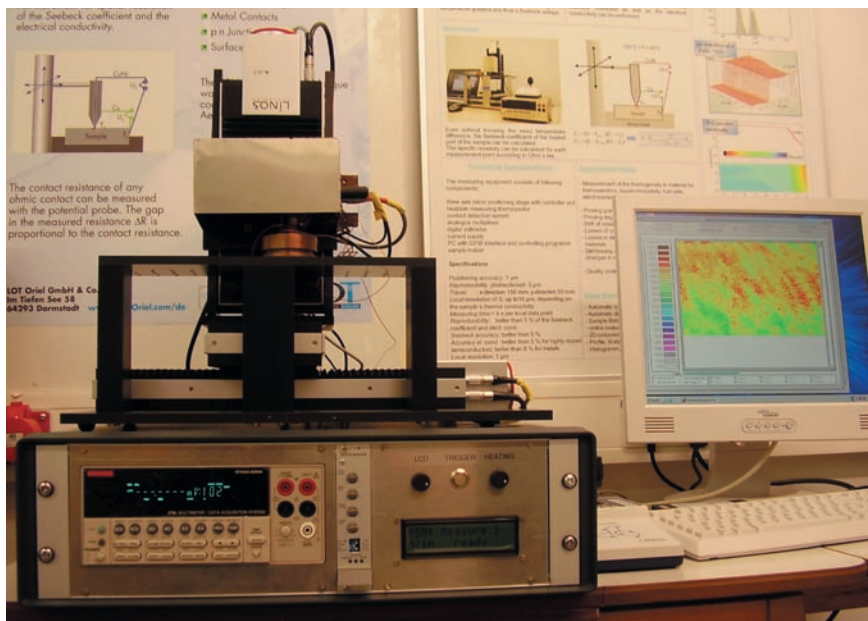


# Qualitätssicherung durch die PSM Potential-Seebeck-Mikrosonde Eine multidisziplinäre Messtechnik

Die Potential-Seebeck-Mikrosonde ist ein Instrument zur Messung des ortsaufgelösten Seebeck-Koeffizienten und der elektrischen Leitfähigkeit. Die für **optolines** beschriebene Messtechnik wurde von der **PANCO GmbH** in Zusammenarbeit mit dem Institut für Werkstoff-Forschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt entwickelt.



Versuchsaufbau mit LINOS Komponenten.

Eine Scanning Seebeck-Mikrosonde wurde mit der Messung des elektrischen Potentials entlang der Oberfläche von Halbleiterwerkstoffen oder metallischen Materialien kombiniert. Mit einer erhitzten Prüfspitze wird auf der Oberfläche der zu untersuchenden Probe der Seebeck-Koeffizient gemessen. Dabei wird eine speziell entwickelte Probenhalterung eingesetzt. So kann Wechselstrom an die Probe gelegt und der Spannungsabfall zwischen einem Stromkontakt und der beweglichen Prüfspitze ermittelt werden. Diese Spannung verhält sich proportional zur elektrischen Leitfähigkeit und der Position der Spitze. Daraus

erfolgt eine ortsaufgelöste Bildgebung des Seebeck-Koeffizienten sowie der elektrischen Leitfähigkeit. Darüber hinaus wird der Kontaktwiderstand zwischen verschiedenen Materialien sichtbar – in segmentierten thermoelektrischen und anderen Materialien.

## Der Seebeck-Koeffizient S

S ist ein Maß der elektrisch aktiven Komponenten in einem Material. Wird die Ortsauflösung S mit einer Scan-Temperatursonde gemessen, werden verschiedene Komponenten sichtbar und ermöglichen

eine Charakterisierung. Dies ist bei der Untersuchung vieler Materialien wichtig – beispielsweise bei funktionsgradienten Materialien und sogar zur Qualitätskontrolle von Halbleitern. Um Daten insbesondere zur Homogenität oder Verteilung der Komponenten zu erlangen ist die Seebeck Scan-Mikrosonde also ein geeignetes Gerät, um ortsaufgelöste Seebeck-Koeffizienten an der Oberfläche eines Probestückes zu messen.

## Leitfähigkeit und Widerstand

Bei vielen Materialien spielt die Homogenität der elektrischen Leitfähigkeit eine wichtige Rolle; das gilt besonders für die Qualität von Halbleitern. Mit Hilfe dieser Vorrichtung können nicht nur die elektrische Leitfähigkeit, sondern auch der ohmsche Kontaktwiderstand zwischen verschiedenen Materialien gemessen werden. Die Messdaten für Materialien mit niedrigen Widerstandswerten bewegen sich normalerweise im Bereich einiger  $\mu\text{V}$  und überlagern sich mit Störungen. Deshalb und um thermoelektrische Effekte zu vermeiden, ist der Strom ein niederfrequenter Wechselstrom, und die Daten werden mit Hilfe eines Lock-In Verstärkers gefiltert. Dazu wurde ein System zum Berühren des Probestückes mit der Tastspitze entwickelt: Der Kontaktdruck der Tastspitze kann gesteuert und systematisch variiert werden. Die Wärmeleitfähigkeit  $\kappa$  der Probe wirkt sich signifikant auf die physikalisch mögliche Lateralauflösung von S aus; ein niedriger  $\kappa$  von  $< 1 \text{ W/mK}$  ergibt die höchste Auflösung. ▶

> **Kontakt**  
[www.panco.de](http://www.panco.de)

**Funktionalität**

Eine erhitzte Tastspitze wird auf die Oberfläche einer Probe gebracht, die Sonde mit einem Thermoelement verbunden (in diesem Fall vom Type T, Cu-CuNi) und die Temperatur T1 gemessen. Die Probe befindet sich mit einer Wärmesenke in gutem elektrischem und thermischem Kontakt und wird ebenfalls mit einem Thermoelement zur Messung von T0 verbunden. Die Tastspitze erhitzt die Probe in der Nähe der Spitze, was zu einem Temperaturgefälle führt. Durch Kombination von Cu-Cu- und CuNi-CuNi-Drähten der Thermoelemente werden die Spannungen U0 und U1 gemessen. Daraus ergibt sich der Seebeck-Koeffizient S gemäß den Gleichungen:

$$U_0 = (S_s - S_{Cu}) \cdot (T_1 - T_0)$$

und

$$U_1 = (S_s - S_{CuNi}) \cdot (T_1 - T_0)$$

ergibt

$$S_s = \frac{U_0}{U_1 - U_0} (S_{Cu} - S_{CuNi}) + S_{Cu}$$

also der Seebeck-Koeffizient der Probe in der Position der Tastspitze.

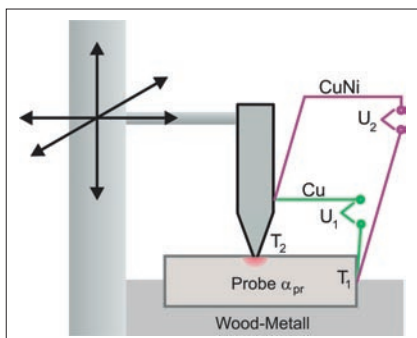


Abb. 1: Schematische Darstellung der Seebeck-Mikrosonde. Die Temperatur der Probe und der Tastspitze sowie die Seebeck-Spannung können gemessen werden. Die Tastspitze wird von LINOS Lineartischen positioniert.

Die spitz zulaufende Sonde ist auf einem dreidimensionalen Mikro-Positioniersystem von LINOS angebracht. Eine speziell entwickelte Kontaktdetektion lässt ein kontrolliertes Aufsetzen und damit auch einen kontrollierten Andruck der Spitze auf die Probe zu. Sie ermöglicht die Feststellung der individuellen Thermokraft jeder einzelnen Probenposition bei einer bestimmten Temperatur – im einfachsten Fall bei Raumtemperatur. Das Messergebnis liefert ein zweidimensionales Bild des Seebeck-Koeffizienten von der Probenoberfläche.

Ähnlich dem Seebeck-Oberflächen-Scan kann das elektrische Potenzial gemessen werden. Für diesen Zweck wurde eine Probenhalterung entwickelt, die nicht nur die Probe mechanisch hält, sondern auch einen elektrischen Strom an die Probe leitet. Zur Spannungsaufnahme wird dieselbe Tastspitze verwendet wie für die Messung des Seebeck-Koeffizienten. Die Bewegung der Spitze mit den LINOS Lineartischen erlaubt das Scannen der Probe. Die Veränderung des elektrischen Potentials kann an der Probe entlang gemessen werden. Der spezifische elektrische Widerstand kann für jeden Messpunkt nach dem Ohmschen Gesetz berechnet werden: mit der gemessenen Spannung U, dem an der Probe liegenden Strom I und

$$\rho = R \frac{I}{A}$$

mit dem Widerstand R, dem spezifischen Widerstand ρ, der Länge l und dem Querschnitt A der Probe.

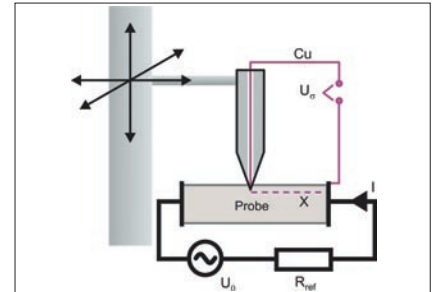
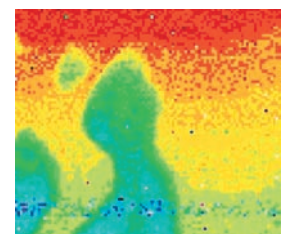


Abb. 2: Schematische Darstellung der Potenzialsonde. Ein elektrischer AC-Strom wird an die Probe gelegt, und eine Tastspitze scannt die Oberfläche der Probe und misst das elektrische Potenzial an jedem Punkt. Das führt zum spezifischen elektrischen Widerstand.

Mit Hilfe dieser Vorrichtung wird nicht nur die elektrische Leitfähigkeit, sondern auch der ohmsche Kontaktwiderstand zwischen verschiedenen Materialien gemessen, beispielsweise bei thermoelektrischen Materialien oder anderen Compounds. Mit Hilfe eines Lock-In Verstärkers können die Wechselstromsignale vom Rauschen getrennt werden und das elektrische Potential gemessen werden. Unter Einsatz einer speziellen Probenhalterung, über die ein elektrischer Strom an die Probe gelegt werden kann und die ebenso als Wärmesenke dient, kann der Seebeck-Koeffizient und das Potential zwischen dem einen Ende und der Tastspitze in einem Scanvorgang gemessen werden. Beide Messmethoden wurden in einem Computer-Programm mit einer speziellen Auslöseeinrichtung für ein digitales Voltmeter kombiniert. So kann nun eine ortsaufgelöste Bildgebung des Seebeck-



## BASICS

Koeffizienten sowie des spezifischen elektrischen Widerstands in einem Vorgang stattfinden. Die Informationen von  $S$  und  $\rho$  stammen von derselben Position der Probe. Die Messungen von  $S$  und  $\rho$  können auch separat genutzt werden. Bevor mit der Messung begonnen wird, lässt sich über die Software-Steuerung und eine adaptierte Kamera ein Foto des betreffenden Bereiches der Probe erstellen. Der entsprechende Bereich wird mausgesteuert ausgewählt, und die PSM beginnt in diesem Bereich zu messen. Dadurch kann eine Neupositionierung vorgenommen werden, wenn die Probe im selben Bereich gemessen werden soll. Darüber hinaus kann ein optisches Bild der Probe direkt mit einem Bild des Seebeck-Koeffizienten und der elektrischen Leitfähigkeit verglichen werden.

### Technischer Aufbau

Die Messausrüstung besteht aus folgenden Komponenten:

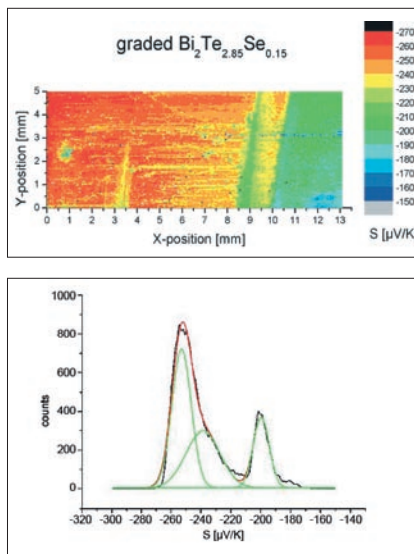
- dreiachsige Mikropositionierstufe von LINOS mit Steuereinheit x.act
- heizbare Thermo-Messsonde
- Kontakt-Detektionssystem
- analoger Multiplexer
- digitales Voltmeter
- Lock-In Verstärker
- Stromversorgung
- PC mit GPIB-Schnittstelle und Steuerprogramm
- Probenhalterung
- Kamera

Die Positionierpräzision der LINOS Lineartische beträgt  $1\ \mu\text{m}$ , die Reproduzierbarkeit (bidirektional) liegt bei  $3\ \mu\text{m}$ . Das Digital-Voltmeter in Kombination mit dem analogen Multiplexer hat eine Auflösung von  $100\text{nV}$ .

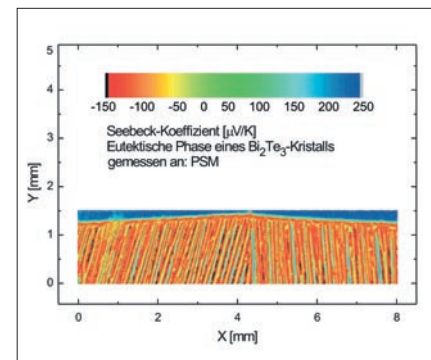
Spezifikationen	
Positionierungsgenauigkeit	$1\ \mu\text{m}$
Weg	x-Richtung 150 mm, y-Richtung 50 mm
Ortsauflösung von S	bis zu $10\ \mu\text{m}$ , in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit der Probe
Messzeit	< 4s pro lokalem Datenpunkt
Reproduzierbarkeit	besser als 3 %
Seebeck-Präzision	besser als 5 %
Präzision des el. Potentials	besser als 5 % für hochdotierte Halbleiter, besser als 8 % bei Metallen
Ortsauflösung	bis zu $1\ \mu\text{m}$

### Anwendungsbeispiele

#### Seebeck-Koeffizient in gradiertem Material

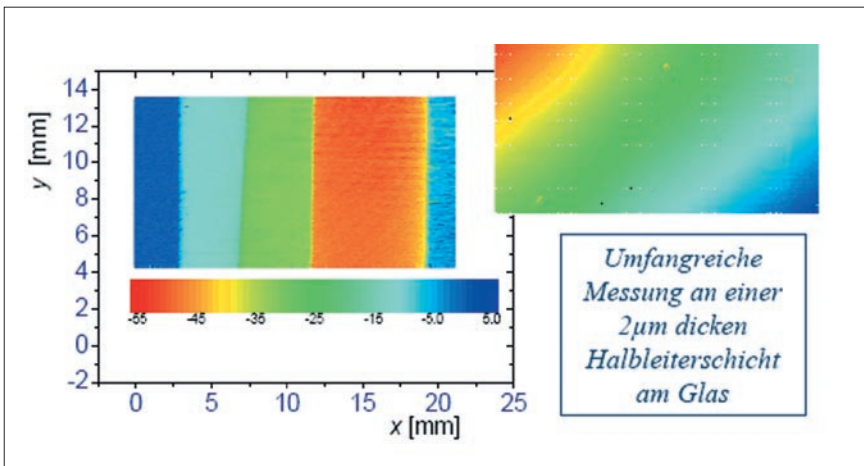


#### Im Bridgman-Verfahren gezüchtete $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ Kristalle mit Sb

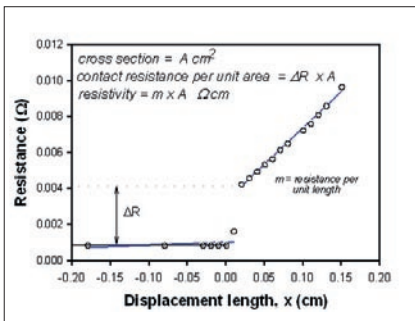


Visualisierung des Übergangs in eutektisches Wachstum – rot: 71 % Te, blau: 93 % Te, Lamellen geben Informationen zur Ortsauflösung:  $<10\ \mu\text{m}$

Dünnes thermoelektrisches Filmmaterial (Stärke 2 µm), gemessen in Schritten von 15 µm:



**Kontaktwiderstand**



Der Kontaktwiderstand eines Stromübergangs kann mit Hilfe der Potenzialsonde gemessen werden. Die Lücke im gemessenen Widerstand  $\Delta R$  ist proportional zum Kontaktwiderstand.

**Anwendungsbereiche**

- Messen der Homogenität in Materialien für Thermoelektrik, Supraleitfähigkeit, Brennstoffzellen, Elektrokeramik, Halbleiter und zahlreichen weiteren Bereichen
- Nachweis von Gradienten in funktionsgradierten Materialien
- Nachweis von Degradierung
- Widerstandsdrift in NTC/PTC
- Verluste an Leitfähigkeit in Trockenelektrolyten
- Abfall der Übergangstemperatur in GMR; Veränderungen des spezifischen Widerstandes
- Verluste an elektrischer Leitfähigkeit bei kathodischen Materialien
- Qualitätskontrolle

**FOKUS auf PANCO**

Die Firma PANCO, Physikalische Technik – Anlagenentwicklung & Consulting GmbH hat sich auf die Entwicklung und Vermarktung von Anlagen in der physikalischen Technik spezialisiert. Darunter fallen sowohl die Entwicklung von komplexen Meßgeräten für physikalische Größen als auch Steuerungseinrichtungen und Anlagen für Forschung und Industrie, die sich physikalische Effekte zunutze machen. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf dem Gebiet der Thermoelektrik.