

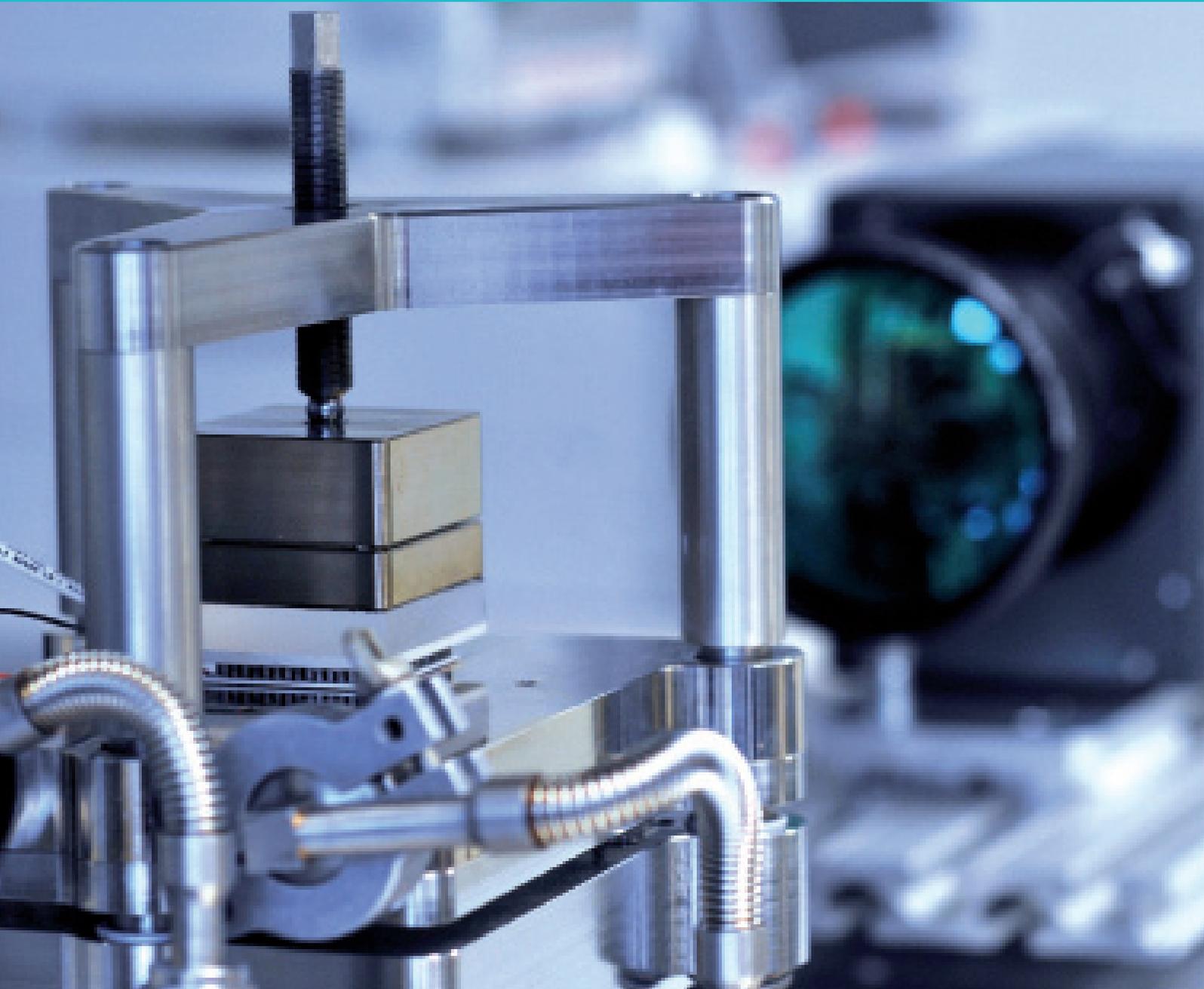


# Fraunhofer

IPM

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PHYSIKALISCHE MESSTECHNIK IPM

## **THERMOELEKTRIK NACH MASS** Moderne Messtechnik für effiziente Materialien



# THERMOELEKTRIK NACH MASS

## Moderne Messtechnik für effiziente Materialien

Zuerst die gute Nachricht: Energie geht nie verloren, sie bleibt stets erhalten und wird lediglich umgewandelt. Doch leider wird Energie meist zu Abwärme und verpufft ungenutzt: Im Automobil beispielsweise gehen 60% der eingesetzten Primärenergie des Kraftstoffs als Abwärme verloren. Um diese Wärmeenergie wieder zu verwerten, entwickelt Fraunhofer IPM Bauelemente auf Basis thermoelektrischer Materialien. Sie machen Abwärme nutzbar, und zwar in Form elektrischer Energie. Zur Optimierung solcher Materialien hat Fraunhofer IPM spezielle Messsysteme entwickelt, mit denen sich relevante Materialparameter aussagekräftig bestimmen lassen. Das ist nicht nur für thermoelektrische Materialien interessant.

Im Jahr 1821 entdeckte Thomas Johann Seebeck, dass in einer geschlossenen Leiterschleife aus zwei unterschiedlichen Materialien ein elektrischer Strom fließt, wenn die zwei Verbindungsstellen auf unterschiedlicher Temperatur gehalten werden. Die Stärke des Stroms war abhängig von der Temperaturdifferenz und den verwendeten Materialien. Der nach ihm benannte Seebeck-Koeffizient  $\alpha$  beziffert die Stärke dieses Effekts. Er gibt die offene Klemmspannung an, die in einem Material entsteht, wenn an diesem eine Temperaturdifferenz von 1 K angelegt wird. Der Seebeck-Koeffizient ist ein wichtiger, jedoch nicht der einzige Materialparameter, der für die Qualität thermoelektrischer Materialien von Bedeutung ist.

### Messbare Materialqualität

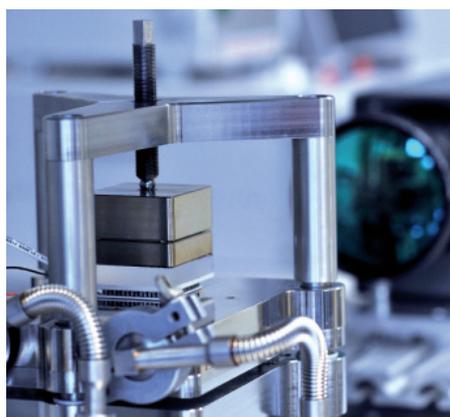
Zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts machte Edmund Altenkirch die Beobachtung, dass sich ein gutes thermoelektrisches Material durch drei Eigenschaften auszeichnet: einen hohen Seebeck-Koeffizienten  $\alpha$ , eine gute elektrische Leitfähigkeit  $\sigma$  und eine niedrige Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$ . Zusammengefasst wird diese Beobachtung in der dimensionslosen Gütezahl  $ZT$ :

$$ZT = \frac{(\alpha^2 \sigma) T}{\lambda}$$

Für die meisten kommerziellen Anwendungen sollte die Gütezahl  $ZT$  des thermoelektrischen Materials größer als eins sein. Das exakte Messen dieser Gütezahl ist jedoch auch heute noch eine Herausforderung: Beim klassischen Messprozess sind vier hintereinander durchgeführte, temperaturabhängige Messungen notwendig – im ungünstigsten Fall sogar mit einer zusätzlich zwischengeschalteten mechanischen Bearbeitung der Probe. Das Problem dabei: Durch die Wärmebehandlung oder auch durch Oxidation während der Gütezahlbestimmung verändern viele Materialien ihre thermoelektrische Eigenschaft, das Messergebnis wird wertlos.

### Nutzerspezifische Messsysteme und messtechnische Dienstleistungen

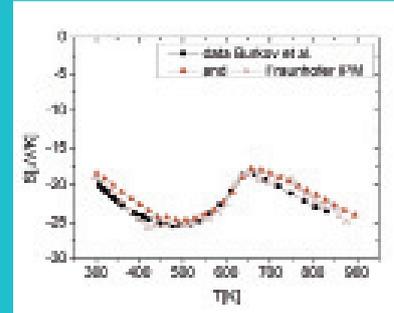
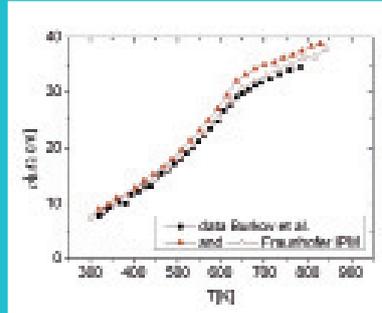
Fraunhofer IPM hat in den vergangenen Jahren die zur Gütezahlbestimmung notwendigen Messabläufe optimiert und durch eigene, neuentwickelte Messsysteme ergänzt. Inzwischen verfügt das Institut über das gesamte Messtechnik-Spektrum zur Entwicklung thermoelektrischer Materialien. Hier werden Materialproben im Auftrag von Kunden getestet und komplette Systeme



*Dieser Messplatz für thermoelektrische Module eignet sich auch zur Charakterisierung nicht-thermoelektrischer Materialien wie z. B. Hochleistungskeramiken.*

*(Bildquelle: Sigrid Gombert, Fraunhofer IPM)*

1



**1** Das Messsystem IPM-SRX-900K misst den Seebeck-Koeffizienten nahezu unabhängig von der Probengeometrie über einen weiten Temperaturbereich – von Raumtemperatur bis hinauf zu 900 K. Die beiden Diagramme zeigen eine Validierung des Messsystems anhand einer Nickelprobe.

(Bildquelle: Sigrid Gombert,

Fraunhofer IPM)

me nach spezifischen Anforderungen aufgebaut. In den Laboren von Fraunhofer IPM stehen nicht nur die derzeit kommerziell verfügbaren Geräte, sondern auch Eigenentwicklungen. So können die meisten Materialparameter mit verschiedenen Messmethoden bestimmt und somit auch validiert werden. Darüber hinaus bietet Fraunhofer IPM nutzerspezifische Schulungen zur thermoelektrischen Messtechnik und unterstützt seine Kunden so von der Rohmaterialentwicklung über die Modulfertigung bis hin zum fertigen thermoelektrischen System mit Messdienstleistungen, Beratungen und maßgeschneiderten Messsystemen. Neben den nutzerspezifischen Messlösungen zur Materialcharakterisierung bietet Fraunhofer IPM auch Lösungen zur Charakterisierung von Modulen sowie Prüfstände für thermoelektrische Systeme.

### Seebeck-Koeffizienten messen – unabhängig von der Probengeometrie

Der Seebeck-Koeffizient lässt sich auf verschiedene Weise messen: mittels einfacher Raumtemperatur-Messplätze für den Einsatz in Entwicklungslaboren, mit temperaturabhängigen Messplätzen oder mit vollautomatisierten Messständen für Screening-Messungen innerhalb einer industriellen Materialfertigung. Neben dem Seebeck-Koeffizienten bestimmen die Systeme auch den elektrischen Leitwert sowie den Ladungsträgertyp eines Materials schnell und kostengünstig. Der von Fraunhofer IPM entwickelte Seebeck-Messplatz IPM-SRX-900K ermöglicht in der Standardvariante die Messung des Seebeck-Koeffizienten von Raumtemperatur bis 900 K und dies nahezu unabhängig von der Probengeometrie (Abb. 1). Als weltweit einziges Gerät kann das IPM-SRX-900K mit ein und demselben Probenträger sowohl Dünnschicht- als auch Massivproben von  $3 \times 1 \text{ mm}^2$  oder Scheiben mit bis zu 25 mm Durchmesser charakterisieren. Die relative Genauigkeit für die Messung des Seebeck-Koeffizienten ist dabei besser als 5%, für die Messung der elektrischen Leitfähigkeit besser als 2%. Die Messsoftware liefert eine direkte grafische Kontrolle der Messergebnisse. Neben dem Standardsystem werden zusätzlich eine Tieftemperaturvariante von 20–300 K sowie eine Hochtemperaturvariante bis 1050 K angeboten.

#### Infobox Standardisierung der Messung des Seebeck-Koeffizienten

Die Messung des Seebeck-Koeffizienten ist sehr komplex. Sie beruht auf einer kombinierten, hochpräzisen Temperatur- und Spannungsmessung. Dabei greifen Experten internationaler metrologischer Institute auf die Expertise von Fraunhofer IPM zurück. Fraunhofer IPM arbeitet derzeit zusammen mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und anderen internationalen metrologischen Instituten an einer Standardisierung der Messung des Seebeck-Koeffizienten und an der Entwicklung von Seebeck-Standardproben (z. B. im Verbund des EURAMET und in Projekten des BMBF). Nicht nur in Deutschland und Europa, sondern auch in den USA und in Korea laufen zurzeit Projekte mit ähnlichen Zielsetzungen. An allen ist Fraunhofer IPM beteiligt.

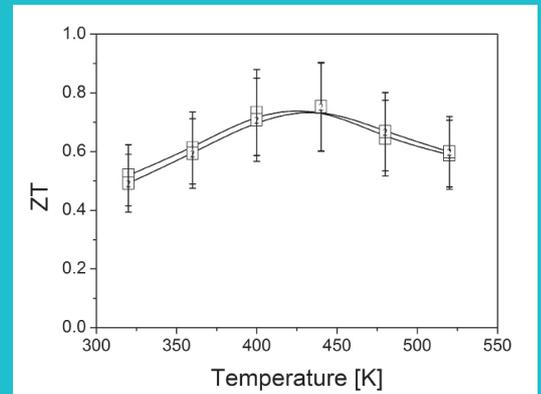
**2** Das IPM-ZT-Meter-870K misst gleichzeitig den Seebeck-Koeffizienten, die elektrische Leitfähigkeit sowie die Wärmeleitfähigkeit. Daraus ergibt sich der ZT-Wert für jeden Temperaturschritt mit einer relativen Gesamtgenauigkeit von besser als 25%. Das Diagramm zeigt zwei nacheinander durchgeführte ZT(T)-Messungen derselben Probe.

(Bildquelle: Sigrid Gombert, Fraunhofer IPM)

### Messung der Gütezahl ZT über die Zeit

Um das Problem der vielen separaten Messungen bei der Bestimmung des ZT-Wertes zu umgehen, hat Fraunhofer IPM ein spezielles Messsystem entwickelt: das IPM-ZT-Meter-870K (Abb. 2). Damit ist es nun direkt möglich, von Raumtemperatur bis 870 K den ZT-Wert einer Massivmaterialprobe im zeitlichen Verlauf zu bestimmen. Seit über einem Jahr versieht das ZT-Meter seinen Dienst für die Materialentwicklung bei Fraunhofer IPM. Dabei wurde es neben der Charakterisierung von klassischen Materialien wie  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ - und  $\text{PbTe}$ -Verbindungen auch bei der Messung von Skutteruditen, Siliziden und Halb-Heusler-Materialien eingesetzt. Das IPM-ZT-Meter-870K misst gleichzeitig den Seebeck-Koeffizienten, die elektrische Leitfähigkeit sowie die Wärmeleitfähigkeit. Daraus ergibt sich der ZT-Wert für jeden Temperaturschritt mit einer relativen Gesamtgenauigkeit besser als 25%. Aktuell arbeiten Wissenschaftler von Fraunhofer IPM an einer messtechnischen Lösung für die direkte ZT-Messung von Dünnschichtproben.

Mehr Information finden Sie in unserem Produktblatt „Wide experience in measuring technology and systems“ oder im Internet unter [www.ipm.fraunhofer.de](http://www.ipm.fraunhofer.de)



#### Kontakt:

Fraunhofer-Institut für  
Physikalische Messtechnik  
Heidenhofstraße 8  
79110 Freiburg  
[www.ipm.fraunhofer.de](http://www.ipm.fraunhofer.de)



Martin Jäggle  
Telefon +49 761 8857-345  
[martin.jaegle@ipm.fraunhofer.de](mailto:martin.jaegle@ipm.fraunhofer.de)

#### Infobox Optimierung von Temperprozessen

Bei der Herstellung der meisten thermoelektrischen Materialien ist ein Tempersschritt oder sind mehrere Tempersschritte nötig, um gute Materialeigenschaften zu erhalten. Unter Verwendung temperaturabhängiger Messplätze lassen sich lange Prozesszeiten für die Durchführung von Temperserien einsparen. Alle Fraunhofer IPM-Messplätze erlauben das Abfahren benutzerdefinierter Temperaturrampen in einer einstellbaren Atmosphäre – ähnlich einem klassischen Temperofen. Gleichzeitig werden wichtige Materialparameter wie der Seebeck-Koeffizient oder der ZT-Wert gemessen. Dies erlaubt die Optimierung von Temperprozessen innerhalb weniger Tage, was auf klassischem Weg mehrere Wochen in Anspruch nehmen würde.