

1 Grundprinzip der TDTR-Methode. Ein »Pump«-Strahl erwärmt die Probe lokal. Durch die Temperaturänderung entsteht eine Reflektivitätsänderung der Schicht. Nach einer Zeitspanne  $\Delta t$  trifft der »Probe«-Strahl ein und fragt diese Änderung ab.

## TIME DOMAIN THERMAL REFLECTANCE (TDTR) MESSUNG DER WÄRMELEITFÄHIGKEIT DÜNNER SCHICHTEN

In vielen High-Tech-Produkten werden Materialien als nur wenige Mikro- oder Nanometer dünne Schichten auf ein Substrat aufgebracht und übernehmen dort bestimmte Funktionen. Die genaue Kenntnis der Wärmeleitfähigkeit dieser Materialien ist für viele Anwendungen von Bedeutung. Die Wärmeleitfähigkeit von Dünnschicht-Materialien unterscheidet sich im Allgemeinen allerdings deutlich von der Wärmeleitfähigkeit des entsprechenden Volumen-Materials. Für die Charakterisierung dünner Schichten sind daher spezielle Messverfahren gefragt.

### Die TDTR-Methode

Eine effektive, kostengünstige und relativ schnelle Methode zur Messung der Wärmeleitfähigkeit von Dünnschichten ist die Time Domain Thermal Reflectance

Methode (TDTR), die auf Basis eines »Pump-Probe« Messprinzips zwei Laserstrahlen mit unterschiedlichen Strahlengängen nutzt. Ein »Pump«-Strahl wird zunächst auf die Oberfläche der Probe gerichtet. Diese wird durch Absorption eines Teils der Strahlleistung erwärmt. Die Ausbreitung der Wärme und die Temperatur auf der Probenoberfläche sind abhängig von den Eigenschaften der Probe, insbesondere der Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Schichten. Die Reflektivität, d. h. der Anteil der Laserstrahlung der von der Probenoberfläche reflektiert wird, ist temperaturabhängig. So kann die Oberflächentemperatur von einem »Probe«-Strahl abgefragt werden, der um  $\Delta t$  zeitlich versetzt auf die Probe gerichtet wird. Der reflektierte »Probe«-Strahl trägt also die Information über die Oberflächentemperatur der Probe und damit auch deren thermische Eigenschaften in sich. Eine Photodiode erfasst den

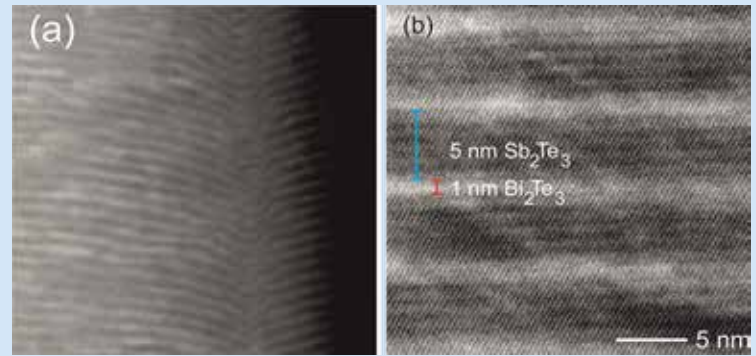
#### Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

Georges-Köhler-Allee 301  
79110 Freiburg

#### Ansprechpartner

Dr. Markus Winkler  
Projektleiter  
Telefon +49 761 8857-611  
markus.winkler@ipm.fraunhofer.de

[www.ipm.fraunhofer.de](http://www.ipm.fraunhofer.de)



2

3

reflektierten »Probe«-Strahl. Aus dem Signal werden die Messdaten abgeleitet. An die Messdaten wird ein mathematisches Modell angepasst, mit dem die Wärmeleitfähigkeit der interessierenden Schicht ermittelt wird.

oder für höhere Proben temperaturen bis zu 550 °C durchgeführt werden (maximal erreichbare Temperatur abhängig von Probe).

werden mit einer Hartstoff-Schutzschicht wie z. B. Titan-Nitrid (TiN) geschützt, um Verschleiß und Korrosion zu vermindern (Abbildung 2). Während der Materialbearbeitung entstehen an den Werkzeugen oft hohe Temperaturen. Um das Verhalten der Schutzschichten unter Temperatureinfluss verstehen zu können und die Schutzschichten zu optimieren, müssen die thermophysikalischen Eigenschaften der Schichten wie z. B. die Wärmeleitfähigkeit bekannt sein. Diese sind aber für die verwendete Abscheidemethode oftmals nicht in der Literatur zugänglich. In einem kürzlich durchgeführten Kooperationsprojekt konnten durch eine TDTR-Messung die Wärmeleitfähigkeiten der unterschiedlichen Beschichtungen ermittelt werden (Abbildung 4).

### Vorteile der TDTR-Methode

Mit der TDTR-Methode können einzelne Schichten ebenso wie mehrlagige Schichtsysteme charakterisiert werden. Die Schichtdicke kann dabei wenige nm, aber auch Mikrometer bis Millimeter betragen. Auch die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Volumenmaterialien ist möglich. Grundsätzlich können sämtliche Materialarten gemessen werden – Polymere ebenso wie Keramiken, Metalle oder Gläser. Die Probenpräparation ist sehr einfach: Vor der Messung muss lediglich eine dünne Al-Schicht aufgedampft werden, die nicht weiter strukturiert werden muss. Die Messungen können bei Raumtemperatur

### Anwendungsbeispiele

#### Thermoelektrische Dünnschichten

Die Leistung thermoelektrischer Bauteile ist abhängig vom Verhältnis der elektrischen Leitfähigkeit zur Wärmeleitfähigkeit. Zurzeit finden Versuche statt, die Wärmeleitfähigkeit thermoelektrischer Materialien durch das Einbringen von Nanostrukturen zu senken. Ein Beispiel sind sogenannte Übergittersysteme, d. h. Stapel aus Schichten mit Dicken im Nanometerbereich (Abbildung 3). Mit der TDTR-Methode konnte nachgewiesen werden, dass solche Übergitter die Wärmeleitfähigkeit der Schicht um etwa die Hälfte reduzieren.

#### Hartstoffschichten

Werkzeuge zur Materialbearbeitung

### Auftragsmessungen

Wir bestimmen die Wärmeleitfähigkeit Ihrer Materialien. Sprechen Sie uns an!

### 4 MIT TDTR ERMITTELTE WÄRMELEITFÄHIGKEITEN VERSCHIEDENER HARTSCHICHTEN.

