



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 23 827 B4 2006.10.26**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 23 827.1**
 (22) Anmeldetag: **23.05.2003**
 (43) Offenlegungstag: **05.01.2005**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **26.10.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01N 25/18 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Bundesrepublik Deutschland, vertr. d. d.
 Bundesministerium für Wirtschaft und
 Technologie, dieses vertr. d. d. Präsidenten der
 Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116
 Braunschweig, DE**

(74) Vertreter:

**GRAMM, LINS & PARTNER GbR, 38122
 Braunschweig**

(72) Erfinder:

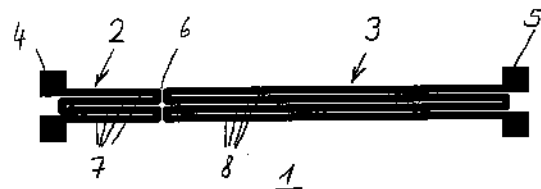
**Meier, Vladislav, 30455 Hannover, DE;
 Hammerschmidt, Ulf, Dr., 38112 Braunschweig, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

**US 46 24 137
 US 44 78 077
 WO 92/00 508 A1**

(54) Bezeichnung: **Sensor zur Messung der Wärmeleitfähigkeit einer Probe**

(57) Hauptanspruch: Sensor zur Messung der Wärmeleitfähigkeit einer Probe nach dem Heizstreifenverfahren, bei dem ein Heizstreifen (1) durch einen durchfließenden elektrischen Strom erhitzt und als Messsignale der elektrische Widerstand zweier unterschiedlicher Längen des Sensors bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Heizstreifen (1) durch einen ersten, einen ersten Heizkreis bildenden Leiterstreifen (2) mit zwei Anschlüssen (4) und durch einen zweiten, einen zweiten Heizkreis bildenden Leiterstreifen (3) mit zwei Anschlüssen (5) gebildet ist, wobei die beiden durch die Leiterstreifen (2, 3) unterschiedlicher Länge gebildeten Heizkreise durch einen schmalen Spalt (6) elektrisch voneinander getrennt sind, sich jedoch thermisch zu dem Heizstreifen (1) mit einer vorgegebenen Gesamtlänge und einer vorgegebenen Breite ergänzen und dass eine Subtraktion der Messsignale der beiden Leiterstreifen (2, 3) vorgesehen ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Sensor zur Messung der Wärmeleitfähigkeit einer Probe nach dem Heizstreifenverfahren, bei dem ein Heizstreifen durch einen durchfließenden elektrischen Strom erhitzt und als Messsignale der elektrische Widerstand zweier unterschiedlicher Längen des Heizstreifens bestimmt wird.

[0002] Bekanntlich wird die Wärmeleitfähigkeit einer Materialprobe, die ein Feststoff, ein Fluid oder ein Schüttgut sein kann, indirekt aus dem Temperaturanstieg ΔT der Probe bestimmt, den ein Wärmestrom Φ bekannter Stärke hervorruft. Im Prinzip werden hierzu eine Wärmequelle, eine Wärmesenke und ein oder mehrere Thermometer benötigt. Die Wärmequelle erzeugt den Wärmestrom, der auf dem Weg zur Wärmesenke durch die Probe fließt. Bei einem in-stationären Verfahren messen Thermometer in der Probe deren zeitlichen Temperaturanstieg. Den funktionalen Zusammenhang zwischen Φ und ΔT zur Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit λ liefert das zweite Fouriersche Gesetz.

Stand der Technik

[0003] WO 92/00508 offenbart einen Strömungsmesser, dessen Messprinzip auf einem Heizstreifen beruht. Dabei ist eine Anordnung vorgeschlagen, die aus zwei thermisch miteinander gekoppelten Heizstreifen besteht, wobei der eine Heizstreifen den anderen Heizstreifen auf eine vorgegebene Temperatur oberhalb der Umgebungstemperatur aufheizt. Durch eine Strömung, deren Strömungsgeschwindigkeit gemessen werden soll, wird die Temperatur des aufgeheizten Leiterstreifens reduziert. Über eine die Differenz zwischen der Temperatur des ersten Heizstreifens und des zweiten Heizstreifens konstant haltende elektrische Schaltung wird dafür gesorgt, dass der Temperaturabfall des zweiten Streifens durch einen durchfließenden Strom kompensiert wird. Der hierfür benötigte Strom bildet das Messsignal für die zu messende Strömung. Eine Anordnung zur Messung der Wärmeleitfähigkeit einer Probe ist hieraus nicht herleitbar.

[0004] Die US 4,478,077 beschreibt ein ähnliches Messprinzip. Symmetrisch zu einem Heizelement sind zwei thermische Sensoren angeordnet. Ein Luftstrom, der senkrecht zu der Symmetrieachse fließt, führt zu einer Abkühlung des einen Sensors und – wegen der Mitnahme der Hitze vom Heizelement – zu der Erhitzung des anderen Sensors. Auch diese Anordnung ist nur für eine Strömungsmessung, nicht für die Messung der Wärmeleitfähigkeit einer Probe geeignet.

[0005] US 4,624,137 beschreibt die Benutzung zweier Sensoren, um eine Strömungsrichtung bei der

Strömungsmessung feststellen zu können. Für diese Anwendung wie auch für andere Anwendungen der Sensorelemente als Feuchtigkeitsmesser, Druckmesser oder Sensor für brennbare Gase, wird ein Heizelement und wenigstens ein davon separiertes Sensorelement verwendet.

[0006] Für die gattungsgemäße Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit einer Probe ist es bekannt, in die Mitte der Probe einen dünnen Metallstreifen mit dem elektrischen Widerstand R_0 einzubetten und den Metallstreifen gleichzeitig als Joulesche Wärmequelle und als Widerstandsthermometer zu verwenden. Die Probe dient dabei als Wärmesenke. Wird der Metallstreifen mit einem elektrischen Strom der Stärke I aufgeheizt, erfährt er eine zeitliche Widerstandsänderung $R(T(t)) = R_0(1 + \alpha\Delta T(t))$, die seiner Temperaturzunahme $\Delta T(t)$ gegenüber der homogenen Anfangstemperatur T_0 entspricht, wobei α den Temperaturkoeffizienten des elektrischen Widerstands bezeichnet. Trägt man dieses Signal über einer logarithmischen Zeitachse, $\ln t$, auf, so läßt sich ein mittleres Intervall linearisieren. Die Steigung der Geraden ist das Maß für die Wärmeleitfähigkeit. Aus Steigung und Achsenabschnitt des Intervalls läßt sich zusätzlich die Temperaturleitfähigkeit der Probe bestimmen. Dieses Heizstreifenverfahren benötigt nur einen geringen apparativen Aufwand und kurze Messzeiten.

[0007] Nachteilig an dem Heizstreifenverfahren ist jedoch, dass es nur zu einem relativ kleinen Messsignal führt. Es eignet sich darüber hinaus nicht zur Messung elektrisch leitfähiger Proben, z. B. Metalle, Salzlösungen, die den Streifen elektrisch kurzschließen würden.

[0008] Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass der Metallstreifen an seinen beiden Enden stetig Wärme mit den elektrischen Zuleitungen austauschen kann. So kann entweder ein Teil der vorgegebenen Jouleschen Wärme vom Streifen abfließen oder zusätzliche Stromwärme in ihn eingeleitet werden. Dieser „Randeffekt“ stört den von der Theorie geforderten homogenen Verlauf der Temperatur längs des Streifens. Die Störung wirkt sich um so stärker aus, je kürzer der Streifen ist. Sie wirkt sich nachteilig auf die Reproduzierbarkeit des Messverfahrens und damit auf die Messunsicherheit aus.

[0009] Die Reduzierung des Randeffektes gelingt grundsätzlich durch eine Vergrößerung der Länge des Streifens, wodurch die inhomogenen Bereiche an den Rändern klein gegen die Gesamtlänge werden. Entsprechende Korrekturrechnungen zeigen, dass die übliche Streifen- und Probenlänge von üblicherweise 10 cm bis 20 cm mindestens zu verdreifachen wäre. Der gewünschte kompakte Messaufbau des Verfahrens ist dann nicht mehr möglich.

[0010] Es ist ferner erwogen worden, zur Messung

des elektrischen Widerstandes Potentialabgriffe mit Abstand von den Stromanschlüssen an dem Streifen anzubringen, um die Temperaturmessung im homogenen Bereich stattfinden zu lassen. Aber auch die Abgriffe selbst stören die Gleichförmigkeit des Temperaturverlaufs, da auch sie Wärme zu- oder abführen können. Eine gewisse, jedoch nicht prinzipielle Verbesserung entsteht dadurch, dass man nur einen Abgriff vorsieht, der den Streifen in zwei fiktive Teile von unterschiedlichen Längen aufteilt, sodass zwei Einzelwiderstände R_1 und R_k hintereinander geschaltet sind. Die Differenz der individuellen Signale bildet das Messsignal, das weitgehend unabhängig von Randeffekten ist. Aber auch der einzelne Abgriff stört die homogene Temperaturverteilung.

Aufgabenstellung

[0011] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Problemstellung zugrunde, einen Sensor für das Heizstreifenverfahren zu entwickeln, mit dem Randeffekte weitgehend ausgeschaltet werden können und eine höhere Genauigkeit unter Beibehaltung eines kompakten Aufbaus der Messanordnung erzielbar ist.

[0012] Zur Lösung dieses Problems ist ein Sensor der eingangs erwähnten Art erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, dass der Heizstreifen durch einen ersten, einen ersten Heizkreis bildenden Leiterstreifen mit zwei Anschlüssen und durch einen zweiten, einen zweiten Heizkreis bildenden Leiterstreifen mit zwei Anschlüssen gebildet ist, wobei die beiden durch die Leiterstreifen unterschiedlicher Länge gebildeten Heizkreise durch einen schmalen Spalt elektrisch voneinander getrennt sind, sich jedoch thermisch zu dem Heizstreifen mit einer vorgegebenen Gesamtlänge und einer vorgegebenen Breite ergänzen und dass eine Subtraktion der Messsignale der beiden Leiterstreifen vorgesehen ist.

[0013] Da sich die erfindungsgemäß ausgebildeten beiden Leiterstreifen thermisch wie ein einziger kompakter Streifen verhalten, ist sichergestellt, dass die Arbeitsgleichung des Heizstreifenverfahrens angewendet werden kann. Zur Messung werden die beiden Heizkreise elektrisch hintereinander geschaltet. Das Messsignal des einen (kürzeren) Leiterstreifens wird dann von dem Messsignal des anderen (längeren) Heizleiterstreifens subtrahiert, wobei Randeffekte praktisch vollständig eliminiert werden.

[0014] Die erfindungsgemäße Ausbildung der beiden Leiterstreifen bietet den Vorteil, dass die Leiterstreifen mehrfach abgewinkelt werden können, wobei insbesondere eine mäanderförmige Struktur mit zueinander in Längsrichtung parallelen Abschnitten ausgebildet werden kann. Dadurch kann die Länge der beiden Leiterstreifen deutlich vergrößert und damit der elektrische Widerstand erhöht werden. Dies

führt zu einer Vergrößerung der Temperatur-Messsignale, wodurch die erzielbare Genauigkeit der Messung verbessert wird. Zweckmäßig ist es dabei, die Abstände zwischen den parallelen Abschnitten der Mäanderstruktur klein gegen die Breite der Abschnitte zu wählen und darüber hinaus die Breite des schmalen Spalts zwischen den beiden Leiterstreifen klein gegen die Breite der Leiterstreifen auszubilden, um mit den beiden Leiterstreifen einen thermisch einheitlichen kompakten Heizstreifen zu gewährleisten.

[0015] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die Leiterstreifen zwischen zwei Isolierfolien eingebettet. Dabei können die Leiterstreifen aus einer Metallfolie ausgestanzt sein, bevorzugt ist jedoch deren Ausbildung als gedruckte Leiterbahn. Dabei werden so dünne Isolierfolien verwendet, dass diese mit ihrem thermischen Widerstand nicht signifikant in das Messergebnis eingehen. Dennoch erlauben die Isolierfolien eine Verwendung des erfindungsgemäßen Sensors auch bei elektrisch leitfähigen Proben, da die Gefahr eines Kurzschlusses der Leiterstreifen nicht besteht.

Ausführungsbeispiel

[0016] Die Erfindung soll im Folgenden anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert werden.

[0017] Die Zeichnung zeigt einen Heizstreifen 1 gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, der aus einem ersten Leiterstreifen 2 und einem zweiten Leiterstreifen 3 besteht. Der erste Leiterstreifen 2 ist deutlich kürzer ausgebildet als der zweite Leiterstreifen 3. Seine Länge beträgt weniger als ein Drittel, vorzugsweise weniger als ein Viertel der Gesamtlänge des Heizstreifens 1. Demgemäß ist die Länge des zweiten Leiterstreifens 3 zwei bis dreimal so groß wie die Länge des ersten Leiterstreifens 2.

[0018] Beide Leiterstreifen 2, 3 weisen jeweils zwei Anschlussflächen 4, 5 auf, wodurch die beiden Leiterstreifen 2, 3 jeweils einen eigenen Heizkreis bilden. Die beiden Leiterstreifen 2, 3 sind elektrisch durch einen schmalen Spalt 6 voneinander getrennt.

[0019] Beide Leiterstreifen 2, 3 sind durch ihre Ausbildung in Mäanderform mit einer deutlich vergrößerten Länge ausgebildet. Im dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Mäander so ausgebildet, dass sich bei beiden Leiterstreifen in Längsrichtung des Heizstreifens 1 erstreckende parallele Abschnitte 7, 8 ergeben. Die parallelen Abschnitte 7, 8 sind durch schmale Zwischenräume voneinander getrennt, deren Breite klein gegenüber der Breite der parallelen Abschnitte 7, 8 sind. In gleicher Weise ist die Breite des Spaltes 6 klein gegenüber der Breite der Leiterstreifen 2, 3 im Bereich des Spaltes 6. Die Bedingung „klein gegenüber“ ist hier als erfüllt anzusehen, wenn

die Breite kleiner als halb so groß wie die Bezugsbreite ist.

[0020] Die Zeichnung lässt erkennen, dass die Leiterstreifen **2, 3** aufgrund der schmalen Zwischenräume thermisch einen kompakten, länglichen und rechteckigen Heizstreifen **1** bilden.

[0021] Die Leiterstreifen **2, 3** sind zweckmäßigerweise als gedruckte Leiterbahn ausgeführt und besonders bevorzugt zwischen zwei Isolierfolien eingebettet und dadurch gegenüber der Umgebung isolierend abgeschlossen, sodass der mit dem Heizstreifen **1** gebildete Sensor auch für die Messung an elektrisch leitfähigen Proben geeignet ist. In Frage kommende Isolierfolien sind beispielsweise Polyimid, Polytetrafluorethylen, Glimmer und Keramik, die extrem dünn herstellbar sind, wie dies für die vorliegende Erfindung vorteilhaft ist.

Patentansprüche

1. Sensor zur Messung der Wärmeleitfähigkeit einer Probe nach dem Heizstreifenverfahren, bei dem ein Heizstreifen (**1**) durch einen durchfließenden elektrischen Strom erhitzt und als Messsignale der elektrische Widerstand zweier unterschiedlicher Längen des Sensors bestimmt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Heizstreifen (**1**) durch einen ersten, einen ersten Heizkreis bildenden Leiterstreifen (**2**) mit zwei Anschlüssen (**4**) und durch einen zweiten, einen zweiten Heizkreis bildenden Leiterstreifen (**3**) mit zwei Anschlüssen (**5**) gebildet ist, wobei die beiden durch die Leiterstreifen (**2, 3**) unterschiedlicher Länge gebildeten Heizkreise durch einen schmalen Spalt (**6**) elektrisch voneinander getrennt sind, sich jedoch thermisch zu dem Heizstreifen (**1**) mit einer vorgegebenen Gesamtlänge und einer vorgegebenen Breite ergänzen und dass eine Subtraktion der Messsignale der beiden Leiterstreifen (**2, 3**) vorgesehen ist.

2. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Leiterstreifen (**2, 3**) mehrfach abgewinkelt ausgebildet sind.

3. Sensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Leiterstreifen (**2, 3**) mäanderförmig sind.

4. Sensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die mäanderförmigen Leiterstreifen (**2, 3**) mit in Längsrichtung parallelen Abschnitten (**7, 8**) ausgebildet sind.

5. Sensor nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstände zwischen den parallelen Abschnitten (**7, 8**) klein gegen die Breite der Abschnitte (**7, 8**) sind.

6. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Breite des schmalen Spalts (**6**) klein gegen die Breite der Leiterstreifen (**2, 3**) ist.

7. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass Leiterstreifen (**2, 3**) zwischen zwei Isolierfolien eingebettet sind.

8. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Leiterstreifen (**2, 3**) gedruckte Leiterbahnen sind.

9. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Leiterstreifen (**2, 3**) bis auf ihre unterschiedliche Länge spiegelsymmetrisch zum Spalt (**6**) aufgebaut sind.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

