(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. Oktober 2017 (19.10.2017)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/178463 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01K 7/18 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/058631

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. April 2017 (12.04.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 106 675.3
12. April 2016 (12.04.2016) DE

(71) Anmelder: **INNOVATIVE SENSOR TECHNOLOGY IST AG** [CH/CH]; Stegrütistr. 14, 9642 Ebnat-Kappel (CH).

(72) Erfinder: **HOLOUBEK, Jiri**; Kulturni 1788, 756 61 Roznov pod Radhostem (CZ).

(74) Anwalt: **ANDRES, Angelika**; Colmarer Str. 6, Endress+Hauser (Deutschland) AG+Co. KG, 79576 Weil am Rhein (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: THIN-LAYER SENSOR ELEMENT FOR A RESISTANCE THERMOMETER

(54) **Bezeichnung** : DÜNNSCHICHTSENSORELEMENT FÜR EIN WIDERSTANDSTHERMOMETER

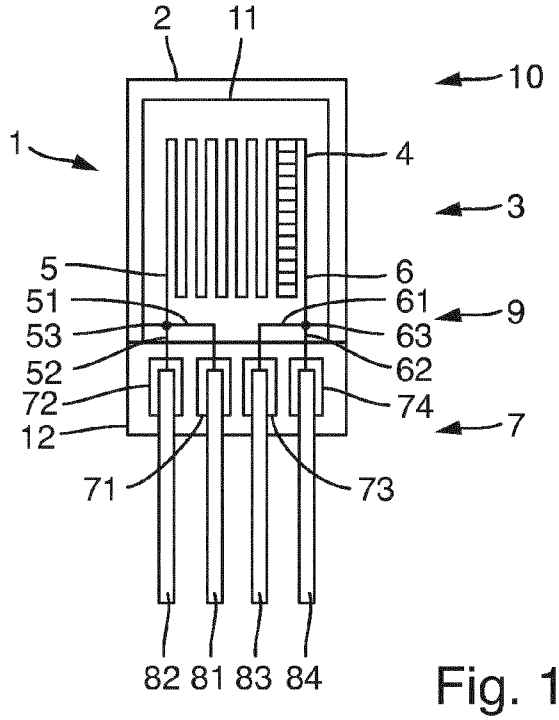


Fig. 1c

(57) **Abstract**: The invention relates to a thin-layer sensor element (1) for determining and/or monitoring temperature. To this end, a resistor structure (4) is provided that is arranged on a substrate (2) in a resistor area (3). The resistor structure (4) is structured such that a first section (5) of the resistor structure (4) branches into two paths (51, 52) at a first reference point (53), and that a second section (6) of the resistor structure branches into two further paths (61, 62) at a second reference point (63). In a contact area (7), the four paths are connected to four intermediate conductors (81, 82, 83, 84) in four contact pads (71, 72, 73, 74) that are insulated from one another. Therefore, the thin-layer sensor element (1) is a genuine four-conductor sensor element, the reference points (53, 63) of the four-conductor circuit being situated within the resistor area (3). The resistance thermometer (13) having the thin-layer sensor element (1) according to the invention is highly accurate.

(57) **Zusammenfassung**:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/178463 A1

IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Die Erfindung betrifft ein Dünnschichtsensorelement (1) zur Bestimmung und/oder Überwachung der Temperatur. Dazu ist eine Widerstandsstruktur (4) vorgesehen, die auf einem Substrat (2) in einem Widerstandsbereich (3) angeordnet ist. Die Widerstandsstruktur (4) ist so strukturiert ist, dass sich ein erster Abschnitt (5) der Widerstandsstruktur (4) in einem ersten Referenzpunkt (53) in zwei Zweige (51, 52) verzweigt, und dass sich ein zweiter Abschnitt (6) der Widerstandsstruktur in einem zweiten Referenzpunkt (63) in zwei weitere Zweige (61, 62) verzweigt. In einem Kontaktbereich (7) werden die vier Zweige mit vier Zwischenleitern (81, 82, 83, 84) in vier voneinander isolierten Kontaktflächen (71, 72, 73, 74) verbunden. Daher ist das Dünnschichtsensorelement (1) ist ein echtes Vierleitersensorelement, wobei die Referenzpunkte (53, 63) der Vierleiterschaltung innerhalb des Widerstandsbereichs (3) liegen. Das Widerstandsthermometer (13) mit dem erfindungsgemäßen Dünnschichtsensorelement (1) ist von großer Genauigkeit.

Dünnschichtsensorelement für ein Widerstandsthermometer

Die Erfindung betrifft einen Dünnschichtsensorelement zur Bestimmung und/oder Überwachung der Temperatur, sowie ein Widerstandsthermometer mit dem erfindungsgemäßen Dünnschichtsensorelement.

Für Widerstandsthermometern haben sich als Kaltleiter bezeichnete Materialen als besonders geeignet erwiesen, da bei Kaltleitern mit steigender Temperatur der Widerstand in erster Ordnung linear zunimmt. Unter den Kaltleitern ist wiederum Platin ein bevorzugtes Material, da Platin eine insgesamt höchstens quadratische Abhängigkeit des Widerstands von der Temperatur aufweist. Widerstandsthermometer sind üblicherweise darauf ausgelegt, dass sie bei einer Referenztemperatur von 0°C einen bestimmten nominellen Widerstand aufweisen. Hierbei sind die als Pt100 (100 Ohm) und Pt1000 (1 kOhm) bezeichneten Widerstandsthermometer weit verbreitet.

Aufgrund ihrer Miniaturisierbarkeit und der schnellen Ansprechzeit haben in den letzten Jahren auf Dünnschichtsensorelementen basierende Widerstandsthermometer gegenüber gewickelten Widerstandsthermometern an Bedeutung gewonnen. Die Dünnschichtsensorelemente bestehen dabei aus einer dünnen Widerstandsstruktur mit einer Dicke von einigen Mikrometern, welche auf einem elektrisch isolierenden Substrat (beispielsweise einer Keramik) angeordnet ist. Üblicherweise ist die Widerstandsstruktur durch eine Abdeckungsschicht (beispielsweise aus Glas) isoliert und geschützt. Der Widerstand wird im Wesentlichen über die Länge der Widerstandsstruktur eingestellt. Dabei weist die Widerstandsstruktur auf dem Substrat in der Regel einen mäanderförmigen Verlauf auf, um so die benötigte Länge für einen messbaren Widerstandswert zu erreichen. Derartige Dünnschicht-Widerstandsthermometer werden von der E+H Gruppe in unterschiedlichen Ausgestaltungen hergestellt und zum Einsatz in vielfältigen Anwendungen vertrieben.

Bei der Auslegung des Dünnschichtsensorelements wird die Widerstandsstruktur mit einer bestimmten Länge zunächst durch eine grobe Strukturierung aus einer Widerstandsschicht gewonnen. Für die Fein- Einstellung auf einen bestimmten Widerstandswert sind Trimmschleifen vorgesehen. Die Widerstandsschicht wird beispielsweise durch Ätzen oder Lasern strukturiert. In der Praxis ist diese genaue Auslegung sehr anspruchsvoll, schon alleine weil die Kontrolle über die Temperatur schwierig ist. Oftmals wird daher die Widerstandsstruktur auch bei einer anderen, von der nominellen Temperatur verschiedenen Temperatur ausgelegt und mit einer entsprechenden Korrektur rechnerisch nachkorrigiert.

Aufgrund der anspruchsvollen Auslegung können Produktionsschwankungen in der Fertigung von Widerstandsthermometern zu Temperaturabweichungen führen. Dabei

sollte der Hersteller ein Widerstandsthermometer einer genormten Genauigkeitsklasse zuordnen können. So klassifiziert die europäische Norm DIN EN 60751:2009-05 die Pt Widerstandsthermometer anhand von einer erlaubten maximalen Grenzabweichung tg des gemessenen Temperaturwert vom wahren Temperaturwert:

$$tg = t0 + \delta\,|t|$$

Dabei ist |t| durch den Betrag der Umgebungstemperatur vorgegeben, während $t0$ und δ innerhalb der Genauigkeitsklasse definiert sind. In der häufig verwendeten Klasse B ist beispielsweise $t0 = 0.3°C$ und $\delta = 0.005$, so dass bei einer Umgebungstemperatur von 100° C eine maximale Grenzabweichung von $tg = \pm 0.8°C$ erlaubt ist. In der Klasse AA (welche der früheren 1/3 DIN Norm entspricht), ist dagegen mit $t0 = 0.1°C$ und $\delta = 0.0017$ nur noch eine maximale Grenzabweichung von $tg = \pm 0.27°C$ erlaubt. Der anspruchsvollen Auslegung stehen also sehr hohe Anforderungen an die Genauigkeit des Widerstandsthermometers gegenüber.

Werden Kaltleiter für Tieftemperaturanwendungen, d.h. bei Umgebungstemperaturen von kleiner als 0°C, eingesetzt, so bedeutet eine hohe Genauigkeitsanforderung an die Temperaturmessung, dass eine hohe Genauigkeit der Widerstandmessung bei insgesamt sehr kleinen Widerständen erreichen werden muss. Insbesondere in diesem Fall ist daher die genaue Temperaturmessung sehr anspruchsvoll.

Typischerweise erfolgt die elektrische Kontaktierung der in einem Widerstandsbereich verlaufenden Widerstandsstruktur eines Dünnschichtsensorelements über zwei Zwischenleiter, d.h. in einer Zweileiterkontaktierung. Dabei ist in einem Kontaktbereich in jeweils zwei voneinander isolierten Kontaktflächen ein erster Abschnitt der Widerstandsstruktur mit einem ersten Zwischenleiter und ein zweiter Abschnitt der Widerstandsstruktur mit einem zweiten Zwischenleiter verbunden. Die zwei Zwischenleiter führen dann außerhalb des mit einer Abdeckungsschicht geschützten Kontaktbereichs. An diese beiden, außerhalb des Kontaktbereichs geführten Zwischenleiter ist jeweils eine Verbindung mit zwei Anschlussleitern vorgesehen. Durch die Verbindung der insgesamt vier Anschlussleiter mit den beiden nach außen führenden Zwischenleitern des Dünnschichtsensorelements werden so zwei Referenzpunkte einer Vierleiterschaltung ausgebildet. Die so gebildete Vierleiterschaltung eignet sich für sehr genaue Widerstandsmessungen, da im Fall einer konstanten Stromquelle und eines Spannungsmessgeräts mit einem sehr hohen Innenwiderstand nur der zwischen den Referenzpunkten vorliegende Widerstand gemessen wird, ohne dass ein Einfluss der Anschlussleiter berücksichtigt werden müsste.

Im Fall der oben beschriebenen üblicherweise verwendeten Vierleiterschaltung liegen die beiden Referenzpunkte der Vierleiterschaltung allerdings außerhalb der Widerstandsbereichs und des Kontaktbereichs, da die Referenzpunkte der Vierleiterschaltung erst durch die Verbindung der beiden nach außen führenden Zwischenleiter mit den jeweils zwei Anschlussleitern gebildet werden. Der gemessene Widerstand zwischen den Referenzpunkten setzt sich daher aus dem Gesamtwiderstand der Widerstandsstruktur, der Verbindung der Widerstandsstruktur mit den Zwischenleitern in den Kontaktflächen, sowie dem Widerstand der Zwischenleiter zusammen.

Für eine derartige Zweileiterkontaktierung übersetzten sich daher hohe Anforderungen an die Genauigkeit der Widerstandsmessung automatisch in hohe Anforderungen an die Genauigkeit bei der Auslegung des gesamten Widerstands, bestehend aus der Widerstandsstruktur, der Verbindung der Widerstandsstruktur mit den Zwischenleitern in den Kontaktflächen, sowie den Zwischenleitern. Eine kleine Schwankung in der Beschaffenheit der Zwischenleiter (z.B. deren Länge) kann daher eine große Auswirkung auf den Widerstand der Widerstandsmessung und damit letztendlich auf die Genauigkeit des Widerstandsthermometers haben.

Ein weiterer Einfluss auf die Genauigkeit kann auch aufgrund der Verkapselung der Widerstandsstruktur zwischen dem Substrat und der Abdeckung vorliegen. Dies liegt daran, dass die Kombination aus Substrat, Widerstandsstruktur bzw. Kontaktflächen und Abdeckungsschicht einen unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten als die Widerstandsstruktur selbst aufweist. Starke Temperaturschwankungen führen damit zwangsläufig zu starken mechanischen Spannungen, welche auf die Widerstandsstruktur wirken. Da kaltleitende Materialen wie beispielsweise Platin immer auch starke piezoresistive Eigenschaften aufweisen, können diese mechanischen Spannungen wiederum auf den Widerstand der Widerstandsstruktur rückwirken. Dadurch werden letztendlich unkontrollierbare Hystereseeffekte in der Widerstand/Temperatur Widerstandskennlinie verursacht. Die Hystereseeffekte können zu einem gewissen Grad dadurch reduziert werden, dass das verkapselte Dünnschichtsensorelement nach der Fertigung mehreren Heiz- und Kühlzyklen ausgesetzt wird.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, derartige mechanische Spannungen im Vorfeld auszuschließen. Dafür müssen die thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Substrats und der Abdeckung an den thermischen Ausdehnungskoeffizienten dem der Widerstandsstruktur angepasst werden. Dieser Ansatz wird in der DE 00 10 2007 02 34 34 A1 verfolgt. Eine derartige Anpassung der thermischen Ausdehnungskoeffizienten ist allerdings aufwendig. Dabei ist festzuhalten, dass insbesondere im Kontaktbereich der Einfluss von unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten besonders groß ist. Dies ist durch die große Dicke des Dünnschichtsensorelements im Kontaktbereich bedingt. Die

Dicke im Kontaktbereich ist beispielsweise aufgrund der Schweißstellen zur Verbindung der Widerstandsstruktur mit den Zwischenleitern in den Kontaktflächen erforderlich. Sie ist insbesondere im Verhältnis zur Dicke des Dünnschichtsensorelements im Widerstandsbereich groß.

Zusammenfassend wird die Genauigkeit eines Widerstandsthermometers mit einem Dünnschichtsensorelement nicht nur durch die Auslegung der Widerstandsstruktur selbst, sondern auch durch die Zwischenleiter sowie der Verkapselung der Widerstandsstruktur zwischen Substrat und Abdeckungsschicht maßgeblich bestimmt. Dies ist im Wesentlichen durch die Kontaktierung des Dünnschichtsensorelements bedingt, die dazu führt, dass die Referenzpunkte der Vierleiterschaltung außerhalb der Widerstandsstruktur des Dünnschichtsensorelements selbst liegen. Dadurch wird ein Großteil einer hohen theoretischen Genauigkeit, welche durch eine sehr sorgfältige Auslegung der Widerstandsstruktur selbst erreicht werden könnte, wieder zunichtegemacht.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Dünnschichtsensorelement und ein Widerstandsthermometer zur Bestimmung und/oder Überwachung der Temperatur von großer Genauigkeit bereitzustellen.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Dünnschichtsensorelement zur Bestimmung und/oder Überwachung der Temperatur, wobei das Dünnschichtsensorelement ein Substrat aufweist,
wobei in einem ersten Bereich des Substrats ein Widerstandsbereich mit einer Widerstandsstruktur vorgesehen ist, wobei die Widerstandsstruktur einen temperaturabhängigen elektrischen Widerstand aufweist, wobei die Widerstandsstruktur so strukturiert ist,
dass durch eine Verzweigung eines ersten Abschnitts der Widerstandsstruktur in einen ersten Zweig und in zumindest einen weiteren, zum ersten Zweig parallelen geschalteten zweiten Zweig ein erster Referenzpunkt im Widerstandsbereich gebildet wird und

- dass durch eine Verzweigung eines zweiten Abschnitts der Widerstandsstruktur in einen ersten Zweig und in zumindest einen weiteren, zum ersten Zweig parallelen geschalteten Zweig ein zweiter Referenzpunkt im Widerstandsbereich gebildet wird,

wobei auf dem Substrat zumindest ein an den Widerstandsbereich angrenzender Bereich als Kontaktbereich mit gegeneinander elektrisch isolierten Kontaktflächen vorgesehen ist, wobei im Kontaktbereich

- der erste Zweig des ersten Abschnitts der Widerstandsstruktur mit einem ersten Zwischenleiter in einer ersten Kontaktfläche,
- der zweite Zweig des ersten Abschnitts der Widerstandsstruktur mit einem zweiten Zwischenleiter in einer zweiten Kontaktfläche,

- der erste Zweig des zweiten Abschnitts der Widerstandsstruktur mit einem dritten Zwischenleiter in einer dritten Kontaktfläche und
- der zweite Zweig des zweiten Abschnitts der Widerstandsstruktur mit einem vierten Zwischenleiter in einer vierten Kontaktfläche verbunden ist.

Das Dünnschichtsensorelement, welches zur Bestimmung und/oder Überwachung der Temperatur eingesetzt werden kann, zeichnet sich also dadurch aus, das durch die Verzweigung des ersten und des zweiten Abschnitts der Widerstandsstruktur in die jeweils zumindest zwei zueinander parallel geschalteten Zweige zwei Referenzpunkte gebildet werden, welche innerhalb des Widerstandsbereichs (d.h. des Bereichs, in dem die Widerstandsstruktur verläuft) angeordnet sind. Da die insgesamt mindestens vier Zweige in jeweils voneinander isolierten Kontaktflächen im Kontaktbereich mit mindestens vier Zwischenleitern verbunden sind, handelt es sich bei dem erfindungsgemäßen Dünnschichtsensorelement um ein echtes Vierleitersensorelement.

Über zwei der mindestens vier Zwischenleiter, welche jeweils anhand einer der beiden Zweige mit dem ersten und zweiten Abschnitt der Widerstandsstruktur verbunden sind, kann die Widerstandsstruktur des Dünnschichtsensorelements mit einem konstanten Strom beaufschlagt werden. Anhand der zwei weiteren Zwischenleiter, welche mit den zwei weiteren Zweigen des ersten und zweiten Abschnitts der Widerstandsstruktur verbunden sind, kann mit einem Spannungsmessgerät die über die beiden Referenzpunkte abfallende Spannung gemessen werden. Damit kann das erfindungsgemäße Dünnschichtsensorelement in einer echten Vierleiterschaltung betrieben werden. Echt bedeutet im Rahmen der Anmeldung, dass mit dem erfindungsgemäßen Dünnschichtsensorelement nur der Widerstand der Widerstandsstruktur zwischen dem ersten und zweiten Referenzpunkt gemessen werden kann, wobei die beiden Referenzpunkte der Vierleiterschaltung Bestandteil der Widerstandsstruktur selbst sind.

Die Referenzpunkte werden also nicht wie üblich erst durch die Verbindung von zwei außerhalb des Dünnschichtsensorelements angeordneten Zwischenleitern mit jeweils zwei Anschlussleitern gebildet. Somit sind im Wesentlichen auch die Einflüsse der Zwischenleiter auf das Spannungssignal der Vierleiterschaltung ausgeschlossen.

Ferner ist für das erfindungsgemäße Dünnschichtsensorelement auch der Einfluss des Kontaktbereichs, etwa durch mechanischen Spannungen im Bereich der Kontaktflächen, auf das Spannungssignal der Vierleiterschaltung minimiert. Dies wird aufgrund der vier voneinander isolierten Kontaktflächen ermöglicht, in denen die verschiedenen, zueinander parallel geschalteten Zweige der Widerstandsstruktur mit den Zwischenleitern kontaktiert sind.

Aus diesen Gründen sind bei dem erfindungsgemäßen Dünnschichtsensorelement die oben genannten Einflüsse auf die Genauigkeit der Widerstandsmessung im Vorhinein eliminiert. Somit wird ein Dünnschichtsensorelement bereitgestellt, welches auf einfache Art und Weise eine Temperaturmessung von hoher Genauigkeit ermöglicht.

Gegebenenfalls sind im Rahmen der Erfindung noch weitere Zweige des ersten und zweiten Abschnitts der Widerstandsstruktur vorgesehen, welche jeweils zu den zwei Zweige parallel geschaltet sind. Die weiteren Zweige können in weiteren Kontaktflächen mit weiteren Zwischenleitern verbunden sein. Dadurch können beispielsweise mehrere gleichzeitige Spannungsmessungen durchgeführt werden.

Die Verzweigung des ersten und des zweiten Abschnitts der Widerstandsstruktur in parallele Zweige und Ausbildung der Referenzpunkte kann im Rahmen der Strukturierung der Widerstandsschicht erfolgen. Dabei gibt es im Prinzip keine Einschränkung an die Anordnung der beiden Referenzpunkte innerhalb des Widerstandsbereichs. Je nach Art des Dünnschichtsensorelements bzw. Anzahl der Schichten, deren Dimensionierung und den verwendeten Materialen kann es dabei eine bevorzugte Anordnung der Referenzpunkte geben.

In einer Weiterbildung der Erfindung sind der erste und/oder der zweite Referenzpunkt in einem dem Kontaktbereich zugewandten Endbereich des Widerstandsbereichs angeordnet. In dieser Weiterbildung können die Referenzpunkte also beispielsweise nahe an der Verbindung des Widerstandsbereichs mit dem angrenzenden Kontaktbereich angeordnet sein.

In einer alternativen Weiterbildung der Erfindung sind der erste und/oder der zweite Referenzpunkt einem Bereich angeordnet sind,
welcher Bereich zwischen einem dem Kontaktbereich abgewandten Endbereich des Widerstandsbereichs und einem dem Kontaktbereich zugewandten Endbereich des Widerstandsbereichs liegt. Beispielsweise ist es möglich, die Referenzpunkte mittige zwischen dem dem Kontaktbereich abgewandten Endbereich des Widerstandsbereichs und dem dem Kontaktbereich zugewandten Endbereich des Widerstandsbereichs anzuordnen. Diese Anordnungen können beispielsweise von Vorteil sein, wenn im Übergangs zwischen Widerstandsbereich und Kontaktbereich hohe mechanische Spannungen vorliegen. Eine andere Möglichkeit ist, zwei verschiedene Kontaktbereiche vorzusehen, welche an sich gegenüberliegenden Endbereichen des Widerstandsbereich angrenzen.

In einer Weiterbildung der Erfindung besteht die Widerstandsstruktur aus einem kaltleitendem Material. Bevorzugt ist dieser Kaltleiter im Wesentlichen aus Platin und/oder Nickel.

In einer weiteren Weiterbildung der Erfindung ist im Widerstandsbereich eine erste Abdeckungsschicht zur Abdeckung der Widerstandsstruktur vorgesehen ist. Hierbei ist es auch möglich, dass die Abdeckungsschicht aus verschiedenen Schichten gebildet ist, wobei die die Widerstandsschicht abdeckende Abdeckungsschicht aus einem im Wesentlichen nicht-leitenden bzw. isolierenden Material ist, beispielsweise ein Glas und/oder eine Keramik.

In einer Ausgestaltung der Erfindung ist für den Kontaktbereich eine zweite Abdeckungsschicht vorgesehen. Auch diese Abdeckungsschicht kann aus unterschiedlichen Schichten bestehen

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist die Dicke des Dünnschichtsensorelements im Widerstandsbereich kleiner als im Kontaktbereich. Dabei ist typischerweise die Dicke im Widerstandsbereich um einen Faktor ½-4 kleiner als im Kontaktbereich.

Durch die Lage der Referenzpunkte des erfindungsgemäßen Dünnschichtsensorelements sind Einflüsse durch mechanische Spannungen im Kontaktbereich im Wesentlichen ausgeschlossen. Es gibt allerdings noch verbleibende mechanische Spannungen im Widerstandsbereich. Werden diese auch noch ausgeschlossen, kann mit dem erfindungsgemäßen Dünnschichtsensorelement ein besonders genaues Widerstandsthermometer gebildet werden. Daher beinhaltet eine besonders bevorzugte Weiterbildung der Erfindung, dass die Gesamtheit aus Substrat, Widerstandsstruktur und Abdeckungsschicht im Widerstandsbereich einen effektiven thermischen Ausdehnungskoeffizienten TCE_{eff} aufweist, der größer oder gleich dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Materials der Widerstandsstruktur als Bulk-Metall ist.

Der effektive Wärmeausdehnungskoeffizient TCE_{eff} ist im Wesentlichen durch folgende Formel näherungsweise gegeben

$$TCE_{eff} = \frac{\sum_{i=1}^{N} TCE_i * d_i * E_i * F_i}{\sum_{i=1}^{N} d_i * E_i * F_i} \quad ,$$

wobei N die Anzahl der Bestandteile des Dünnschichtsensorelement ist, wobei die Laufzahl i die einzelnen Bestandteile bezeichnet, wobei TCE_i den Wärmeausdehnungskoeffizienten, di die Dicke und Ei die Elastizität der einzelnen Bestandteile bezeichnet, und wobei Fi einen geometrischen Faktor berücksichtigt. Das Substrat kann auch aus mehreren Schichten bestehen, solange zumindest die Oberfläche des Substrats nicht-leitend ist.

Die Bestandteile des Dünnschichtsensorelements sind in dieser Weiterbildung der Erfindung also derartig ausgestaltet und aufeinander abgestimmt sind, dass der resultierende effektive thermische Ausdehnungskoeffizient TCE_{eff} einem vorgebbaren Wert entspricht. Der effektive thermische Ausdehnungskoeffizient kann durch die Wahl der Materialen sowie die Anzahl und Dimensionierung der Schichten eingestellt werden. Das Substrat hat in dieser Weiterbildung einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten, der im Wesentlichen größer als 10,5 ppm/K ist. Hierbei sei auf den Offenbarungsgehalt der DE 00 10 2007 02 34 34 A1 verwiesen.

In einer Weiterbildung der Erfindung ist das Substrat ein zumindest teilweise keramisches Substrat.

In einer weiteren Weiterbildung der Erfindung weist das Substrat Aluminiumoxid und/oder Zirkonoxid auf.

In einer Ausgestaltung der Erfindung ist die Oberflächenschicht des Substrats nicht-leitend, wobei die nicht-leitende Oberflächenschicht des Substrats eine minimale Schichtdicke von 10 Mikrometer aufweist.

In einer weiteren Ausgestaltung des Dünnschichtsensorelement sind die Zwischenleiter alle aus dem gleichen Material. Beispielsweise können in dieser Ausgestaltung die Zwischenleiter aus dem gleichem Material wie dem der Widerstandsschicht sein. Der Vorteil dieser Ausgestaltung ist, dass auf diese Art keine bzw. minimale Thermospannungseffekte im Kontaktbereich auftreten.
In einer anderen Ausgestaltung kann für das Material der Zwischenleiter ein anderes als das der Widerstandsschicht gewählt werden. In Betracht kommen hierbei beispielsweise Nickel, Silber, oder einige Metalllegierungen wie Neusilber, die man für Kompensationsleitungen bei Platinthermoelementen verwendet. Auf diese Weise werden nur geringe Thermospannungen erzeugt. Insbesondere kann weiter das Material für die Zwischenleiter so gewählt werden, dass es dem der Anschlussleiter entspricht. Als Anschlussleiter werden im Rahmen der Erfindung diejenigen Leiter bezeichnet, welche zum Betreiben des Dünnschichtsensorelements in Vierleiterschaltung an die nach außen führenden Zwischenleiter des Dünnschichtsensorelements angeschlossen werden. Diese

Ausgestaltung ist weiter vorteilhaft zur Minimierung der Thermospannungseffekte, da der Temperaturgradient in der Regel im Kontaktbereich geringer ist als im Bereich der Anschlüsse zwischen den Zwischenleitern und den Anschlussleitern.

In einer weiteren Ausgestaltung weist die Widerstandsstruktur eine Schichtdicke von 0.1 Mikrometer-10 Mikrometer auf.

Typischerweise erfordern die Schweißstellen der Kontaktflächen eine gewisse Dicke der Abdeckungsschicht des Kontaktbereich, so dass die Abdeckungsschicht im Kontaktbereich wesentlich größer als die Abdeckungsschicht im Widerstandsbereich ist. In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung weist daher die Abdeckungsschicht im Widerstandsbereich eine maximale Schichtdicke von 50 Mikrometer auf, während die Abdeckungsschicht im Kontaktbereich eine maximale Schichtdicke von 2.0 Millimeter aufweist.

Die Erfindung beinhaltet weiter ein Widerstandsthermometer mit dem erfindungsgemäßen Dünnschichtsensorelement. Dabei weist das Widerstandsthermometer eine Regel-/Auswerteeinheit auf, wobei die Zwischenleiter des Dünnschichtsensorelements mit der Regel-/Auswerteeinheit verbunden sind, und wobei die Regel-/Auswerteeinheit dazu ausgestaltet ist, mittels der zumindest vier Zwischenleiter das Dünnschichtsensorelement in einer Vierleiterschaltung zu betreiben, den Widerstand der Widerstandsstruktur zwischen dem ersten Referenzpunkt und dem zweiten Referenzpunkt zu ermitteln, und aus dem ermittelten Widerstand die an der Widerstandsstruktur vorliegende Temperatur zu bestimmen.

Die Erfindung betrifft zusammenfassend ein Dünnschichtsensorelement zur Bestimmung und/oder Überwachung der Temperatur. Dazu ist eine Widerstandsstruktur vorgesehen, die auf einem Substrat in einem Widerstandsbereich angeordnet ist. Die Widerstandsstruktur ist so strukturiert ist, dass sich ein erster Abschnitt der Widerstandsstruktur in einem ersten Referenzpunkt in zumindest zwei Zweige verzweigt, und dass sich ein zweiter Abschnitt der Widerstandsstruktur in einem zweiten Referenzpunkt in zumindest zwei weitere Zweige verzweigt. In einem Kontaktbereich werden die vier Zweige mit vier Zwischenleitern in vier voneinander isolierten Kontaktflächen verbunden. Daher ist das Dünnschichtsensorelement ist ein echtes Vierleitersensorelement, wobei die Referenzpunkte der Vierleiterschaltung innerhalb des Widerstandsbereichs liegen. Das Widerstandsthermometer mit dem erfindungsgemäßen Dünnschichtsensorelement ist von großer Genauigkeit.

Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1a-c: eine Aufsicht auf ein Dünnschichtsensorelement gemäß dem Stand der Technik und gemäß der Erfindung

Fig. 2: eine Seitenansicht des erfindungsgemäßen Dünnschichtsensorelements

Fig. 3: eine Aufsicht auf das erfindungsgemäße Widerstandsthermometer

Fig. 4: die Genauigkeit des erfindungsgemäßen Widerstandsthermometers

In Fig. 1a ist eine schematische Aufsicht auf ein Dünnschichtsensorelement 1 gemäß dem Stand der Technik gezeigt. Das Dünnschichtsensorelement 1 umfasst die auf dem Substrat 2 angeordnete, im Widerstandsbereich 3 mäanderförmig verlaufende Widerstandsstruktur 4. Deutlich erkennbar sind auch die Trimmschleifen im rechten Randbereich des Widerstandsbereichs 3. An den Widerstandsbereich 3 grenzt der Kontaktbereich 7 an, in dem der erste Abschnitt 5 der Widerstandsstruktur 4 mit dem ersten Zwischenleiter 81 in der ersten Kontaktfläche 71 verbunden ist, und in dem der zweite Abschnitt 6 der Widerstandsstruktur 4 mit dem zweiten Zwischenleiter 82 in der zweiten Kontaktfläche 72 verbunden ist. Der Widerstandsbereich 3 ist mit der ersten Abdeckungsschicht 11 zur Abdeckung der Widerstandsstruktur 4 und der Kontaktbereich mit der zweiten Abdeckungsschicht 12 zur Abdeckung der Kontaktflächen 71,72 geschützt. Außerhalb des Kontaktbereichs 3 sind die beiden Zwischenleiter 81,82 in den beiden Referenzpunkten 53, 63 mit jeweils zwei Anschlussleitern 53a,53b, 63a, 63b verbunden. In diesem Dünnschichtsensorelement 1 gemäß dem Stand der Technik setzt sich der Gesamtwiderstand zwischen den Referenzpunkten 53,63 aus dem Widerstand im Widerstandsbereich 4, dem Widerstand im Kontaktbereich 7 und dem Widerstand der Zwischenleiter 81,82 zusammen.

In Fig. 1b ist eine schematische Ansicht auf ein weiteres Dünnschichtsensorelement 1 gemäß dem Stand der Technik gezeigt. Im Gegensatz zu dem Dünnschichtsensorelement 1 aus Fig. 1a weist hier das Dünnschichtsensorelement 1 einen Vierleiteranschluss auf. Der Vierleiteranschluss wird allerdings durch die Verbindung des ersten Abschnitts 5 der Widerstandsstruktur 4 mit einem ersten Paar Zwischenleiter 81,82 und durch die Verbindung des zweiten Abschnitts 6 der Widerstandsstruktur 4 mit einem zweiten Paar Zwischenleiter 83,84 gebildet, wobei die Referenzpunkte 53,63 der Vierleiterschaltung auch in den Kontaktflächen 71,72 des Kontaktbereichs 7 angeordnet sind. Damit trägt für dieses Dünnschichtsensorelement auch der im Kontaktbereich verlaufende Teil der Widerstandsstruktur zum Gesamtwiderstand zwischen den beiden Referenzpunkten 53,63 bei.

Eine Aufsicht auf ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Dünnschichtsensorelements 1 ist in Fig. 1c gezeigt. Im Gegensatz zu den Dünnschichtsensorelementen 1 aus dem Stand der Technik ist die Widerstandsstruktur 4 im Widerstandsbereich 3 folgendermaßen strukturiert: Der erste Abschnitt 5 verzweigt sich in einen ersten Zweig 51 und in einen zweiten Zweig 52, wobei der zweite Zweig 52 zum ersten Zweig 51 parallel geschaltet ist. Auch der zweite Abschnitt 6 verzweigt sich in einen ersten Zweig 61 und in einen zweiten Zweig 62, wobei der zweite Zweig 62 zum ersten Zweig 61 parallel geschaltet ist. Alle Zweige 51,52,61,62 im Kontaktbereich 7 mit Zwischenleitern 81,82,83,84 in voneinander isolierten Kontaktflächen 71,72,73,74 jeweils verbunden. Die mit den zueinander parallel geschalteten Zweigen 51,52 (bzw. 61,62) Zwischenleiter 81,82 (bzw. 83,84) sind dabei in den Referenzpunkten 53,63 parallel geschaltet. Dadurch ist die Widerstandsstruktur 4 anhand der Zwischenleiter 81,82,83,84 in einer Vierleiterschaltung kontaktierbar, wobei im erfindungsgemäßen Dünnschichtsensorelement 1 der Gesamtwiderstand nur der Widerstand der Widerstandsstruktur 4 im Widerstandsbereich 3 zwischen den beiden Referenzpunkten 53,63. Sowohl die Zwischenleiter 81,82,83,84, als auch der Kontaktbereich 7 tragen nicht zum Gesamtwiderstand bei. Dies liegt daran, dass im erfindungsgemäßen Dünnschichtsensorelement 1 die Referenzpunkte 53,63 im Widerstandsbereich 3 liegen.

In diesem Ausführungsbeispiel der Erfindung sind die Referenzpunkte 53,63 in einem dem Kontaktbereich 7 zugewandten Endbereich 9 des Widerstandsbereichs 3 angeordnet. Im Rahmen der Erfindung ist es aber auch möglich, einen oder beide Referenzpunkte 53,63 im einem dem Kontaktbereich 7 abgewandten Endbereich 10 des Widerstandsbereichs 3 anzuordnen. Weiter ist es möglich, mehrere Kontaktbereiche 7, weitere parallel geschaltete Zweige und gegebenenfalls weitere Kontaktflächen vorzusehen.

In Fig. 2 ist eine Seitenansicht des Dünnschichtsensorelements 1 gezeigt. Der Einfachheit halber sind hier die Zwischenleiter 81,82,83,83 nicht dargestellt. Die Figur ist zwar keineswegs maßstabsgetreu, zeigt aber, dass die Schichtdicke d1 des Dünnschichtsensorelements 1 im Widerstandsbereich 3 kleiner als die Schichtdicke d2 des Dünnschichtsensorelements 1 im Kontaktbereich 7 ist. Aufgrund der Schweißstellen in den Kontaktflächen 71,72,73,74 ist die zweite Abdeckschicht 12 im Kontaktbereich 7 wesentlich größer als die erste Abdeckschicht 11 im Widerstandsbereich 3. Aus diesem Grund liegen bei Temperaturänderungen in der Regel im Kontaktbereich 7 stärkere mechanische Spannungen als im Widerstandsbereich 3 vor.

Durch die erfindungsgemäße Anordnung der Referenzpunkte 53,63 im Widerstandsbereich haben diese mechanischen Spannungen allerdings einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Widerstandsmessung, so dass nur noch die

wesentlich kleineren mechanischen Spannungen im Widerstandsbereich 3 im Falle einer Widerstandstruktur 4 aus einem Material mit piezoresistiven Eigenschaften die Widerstandsmessung beeinflussen können.

In der Variante der Erfindung, in der der effektive thermische Ausdehnungskoeffizient TCE_{eff} größer oder gleich dem der Widerstandsstruktur als Bulk-Metall ist, werden durch die Anpassung der thermischen Ausdehnungskoeffizienten piezoresistive Effekte im Vorfeld ausgeschlossen, da sich bei starken Temperaturschwankungen die Verkapselung (Substrat 2, erste und zweite Abdeckungsschicht 11,12) der Widerstandsstruktur 4 zumindest im gleichen Maße wie die Widerstandsstruktur 4 selbst ausdehnt. Dazu kann das Substrat 2 und/oder die Abdeckungsschicht 11,12 aus mehreren Schichten bestehen. Dabei sollte in einer Variante der Erfindung die nicht-leitende Oberflächenschicht des Substrats 2 eine minimale Schichtdicke diso von 1 Mikrometer aufweisen.

In Fig. 3 ist eine Aufsicht auf das erfindungsgemäße Widerstandsthermometer 13 gezeigt. Zusätzlich zu dem Dünnschichtsensorelement 1 mit der Widerstandstruktur 4 weist das Widerstandsthermometer 13 noch eine Regel-/Auswerteeinheit 13 aus. Die Regel-/Auswerteeinheit 14 weist dabei Elektronikkomponenten auf, die das Dünnschichtsensorelement 1 ansteuern, dessen elektronischen Signale auswerten und daraus eine Temperatur ermitteln. Dazu sind die Zwischenleiter 81,82,83,84 mit der Regel-/Auswerteeinheit 14 verbunden. In diesem Ausführungsbeispiel ist eine Stromquelle 15 vorgesehen, welche die Widerstandsstruktur 4 über die beiden Zwischenleiter 81,83 mit einem Strom beaufschlagt. Es ist weiter ein Spannungsmessgerät 16 vorgesehen, welches anhand der beiden weiteren Zwischenleiter 82,84 über die Widerstandsstruktur 4 abfallende Spannung zwischen den Referenzpunkten 53,63 bestimmt. Der Einfachheit halber sind der Widerstandsbereich 3 und der Kontaktbereich 7 hier nicht gezeigt; die Referenzpunkt liegen aber auch hier erfindungsgemäß im Widerstandsbereich. Die Regel-/Auswerteeinheit 14 bestimmt anhand des beaufschlagten Stromes der Stromquelle 15 und dem Spannungsabfall den Widerstand der Widerstandsstruktur 4 zwischen den Referenzpunkten 53,63. Anhand in der Regel-/Auswerteeinheit 14 hinterlegter Widerstandskennlinien kann so die Temperatur bestimmt werden.

Fig. 4a-4c zeigen experimentelle Untersuchungen bezüglich der Genauigkeit des erfindungsgemäßen Widerstandsthermometers 13, wobei einmal die Ausführungsform Pt100 (gefüllte Punkte) und einmal die Ausführungsform Pt1000 (ungefüllte Punkte) untersucht wurde. Es handelt sich jeweils um experimentelle Untersuchungen an einer Reihe von Widerstandsthermometern 13 gleicher Bauart. In den Figuren 4a-d sind verschiedene Gütekriterien für die Genauigkeit dieser Reihe von Widerstandsthermometern 13 dargestellt. Dabei ist auf der x-Achse jeweils die

Abweichung von einem Sollwert aufgetragen. Auf der y-Achse ist die Häufigkeit bzw. die Anzahl von Widerstandsthermometern 13 aufgetragen, bei denen eine gewisse Abweichung festgestellt wurde. Anhand dieser Häufigkeitsverteilungen kann so über die Untersuchungen bezüglich kann der Fertigungstoleranz gleichartiger Widerstandsthermometers 13 die Güteklasse des erfindungsgemäßen Widerstandsthermometers 13 geschätzt werden.

In Fig. 4a ist dabei die Häufigkeitsverteilung der Abweichung des Widerstandswerts des Widerstandsthermometers 13 vom nominellen Widerstandswert R_{soll} (d.h. 100 Ohm und 1000 Ohm) in Prozent gezeigt. Die experimentellen Untersuchungen zeigen, dass ein Großteil der erfindungsgemäßen Widerstandsthermometer 13 um weniger als 0.02 % von nominellen Widerstandswert R_{soll} abweicht.

In Fig. 4b ist die Häufigkeitsverteilung der Abweichung des mittleren. Temperaturkoeffizienten (TCR-Wert) von einem Sollwert TCR_{soll} gezeigt. Der mittlere Temperaturkoeffizient ist dabei definiert als die Differenz der Widerstände geteilt durch den Widerstand bei 0°C und geteilt durch die Differenz der Temperaturen in der Spanne zwischen 0°C und 100°C also:

$$TCR = \frac{R_{T1} - R_{T2}}{(T_1 - T_2) \cdot R_{T2}},$$

wobei gilt: T_1 = 100 °C, T_2 = 0 °C, und wobei R_{T1} der Widerstand bei T_1 und R_{T2} der Widerstand bei T_2 sind.

Es zeigt sich, dass für das erfindungsgemäße Widerstandsthermometer 13 eine Abweichung des TCR-Werts von einem Sollwert TCR_{soll} von unter 5 ppm K^{-1} vorliegt.

Der vom Widerstandsthermometer 13 ermittelte Widerstandswert wird im Temperaturbereich 0° < T < 200°C anhand einer Widerstandskennlinie von quadratischer Ordnung beschrieben.

$$R(T) = R_{T=0°C}\,(1 + a \times T + b \times T^2)$$

In Figur 4c und 4d ist die Häufigkeitsverteilung der Abweichung des linearen Koeffizienten (Fig. 4c) und des quadratischen Koeffizienten (Fig. 4d) der Widerstandskennlinie aufgetragen. Es zeigt sich, dass der lineare Koeffizient a der Widerstandskennlinie um weniger als 10^{-5} °C^{-1} von einem Sollwert a_{soll} abweicht (siehe Fig. 4c) und dass der quadratische Koeffizient b der Widerstandskennlinie um weniger als 10^{-7} °C^{-2} von einem Sollwert b_{soll} abweicht.

Die experimentellen Untersuchungen zeigen, dass das erfindungsgemäße Widerstandsthermometer 13 von sehr großer Genauigkeit ist. Erfahrungsgemäß bedeutet dies, dass unter üblichen Produktionsbedingungen ein Widerstandsthermometer 13 mit dem erfindungsgemäßen Dünnschichtsensorelement 1 in über 50% der Fälle in der Genauigkeitsklasse 1/5 B nach DIN EN 60751:2009-05 liegt.

In der besonders vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Dünnschichtsensorelement 1, in der die thermischen Ausdehnungskoeffizienten TCE_{eff} aneinander angepasst sind, ist aufgrund der verschwindenden Hystereseeffekte sogar eine Widerstandsthermometer 13 mit einer normentreuen Kennlinie zu erwarten, so dass ein Großteil der derartigen Widerstandsthermometer 13 in der Genauigkeitsklasse 1/10 B nach DIN EN 60751:2009-05 liegt.

Bezugszeichenliste

1	Dünnschichtsensorelement
2	Substrat
3	Widerstandsbereich
4	Widerstandsstruktur
5	erster Abschnitt
51	erster Zweig
52	zweiter Zweig
53	erster Referenzpunkt
53a,b	Anschlussleiter
6	zweiter Abschnitt
61	erster Zweig
62	zweiter Zweig
63	zweiter Referenzpunkt
63a,b	Anschlussleiter
7	Kontaktbereich
71-74	erste-vierte Kontaktfläche
81-84	erster-vierter Zwischenleiter
9	dem Kontaktbereich zugewandter Endbereich
10	dem Kontaktbereich abgewandter Endbereich
11	erste Abdeckungsschicht
12	zweite Abdeckungsschicht
13	Widerstandsthermometer
14	Regel-/Auswerteeinheit
15	Stromquelle
16	Spannungsmessgerät
d1	Schichtdicke im Widerstandsbereich
d2	Schichtdicke im Kontaktbereich
diso	Schichtdicke der nicht-leitenden Schicht des Substrats
TCE_{eff}	effektiver thermischer Ausdehnungskoeffizient
TCR	Temperaturkoeffizient
a	linearer Koeffizient der Widerstandskennlinie
b	quadratischer Koeffizient der Widerstandskennlinie

Patentansprüche

1. Dünnschichtsensorelement (1) zur Bestimmung und/oder Überwachung der Temperatur,
wobei das Dünnschichtsensorelement (1) ein Substrat (2) aufweist,
wobei in einem ersten Bereich des Substrats (2) ein Widerstandsbereich (3) mit einer Widerstandsstruktur (4) vorgesehen ist,
wobei die Widerstandsstruktur (4) einen temperaturabhängigen elektrischen Widerstand aufweist, wobei die Widerstandsstruktur (4) so strukturiert ist,

- dass durch eine Verzweigung eines ersten Abschnitts (5) der Widerstandsstruktur (4) in einen ersten Zweig (51) und in zumindest einen weiteren, zum ersten Zweig (51) parallelen geschalteten zweiten Zweig (52) ein erster Referenzpunkt (53) im Widerstandsbereich (3) gebildet wird und
- dass durch eine Verzweigung eines zweiten Abschnitts (6) der Widerstandsstruktur in einen ersten Zweig (61) und in zumindest einen weiteren, zum ersten Zweig parallelen geschalteten Zweig (62) ein zweiter Referenzpunkt (63) im Widerstandsbereich (3) gebildet wird,

wobei auf dem Substrat zumindest ein an den Widerstandsbereich (3) angrenzender Bereich als Kontaktbereich (7) mit gegeneinander elektrisch isolierten Kontaktflächen (71;..) vorgesehen ist, wobei im Kontaktbereich (7)

- der erste Zweig des ersten Abschnitts (51) der Widerstandsstruktur (4) mit einem ersten Zwischenleiter (81) in einer ersten Kontaktfläche (71),
- der zweite Zweig des ersten Abschnitts (52) der Widerstandsstruktur (4) mit einem zweiten Zwischenleiter (82) in einer zweiten Kontaktfläche (72),
- der erste Zweig des zweiten Abschnitts (61) der Widerstandsstruktur (4) mit einem dritten Zwischenleiter (83) in einer dritten Kontaktfläche (73) und
- der zweite Zweig des zweiten Abschnitts (62) der Widerstandsstruktur (4) mit einem vierten Zwischenleiter (84) in einer vierten Kontaktfläche (74) verbunden ist.
-

2. Dünnschichtsensorelement (1) nach Anspruch 1,
wobei der erste und/oder der zweite Referenzpunkt (53,63) in einem dem Kontaktbereich (7) zugewandten Endbereich (9) des Widerstandsbereichs (3) angeordnet sind.

3. Dünnschichtsensorelement (1) nach Anspruch 1,
wobei der erste und/oder der zweite Referenzpunkt (53,63) in einem Bereich angeordnet sind,
welcher Bereich zwischen einem dem Kontaktbereich (4) abgewandten Endbereich (10) des Widerstandsbereichs (3) und einem dem Kontaktbereich (7) zugewandten Endbereich (9) des Widerstandsbereichs (3) liegt.

4. Dünnschichtsensorelement (1) nach Anspruch 2 oder 3,
wobei die Widerstandstruktur (4) ein metallischer Kaltleiter, vorzugsweise aus Platin und/oder Nickel ist.

5. Dünnschichtsensorelement (1) nach Anspruch nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche,
wobei im Widerstandsbereich (3) eine erste Abdeckungsschicht (11) zur Abdeckung der Widerstandsstruktur (4) vorgesehen ist.

6. Dünnschichtsensorelement (1) nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche,
wobei im Kontaktbereich (7) eine zweite Abdeckungsschicht (11) zur Abdeckung der Kontaktflächen (71,72,73,74) vorgesehen ist.

7. Dünnschichtsensorelement (1) nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die Schichtdicke (d1) des Dünnschichtsensorelements (1) im Widerstandsbereich (3) kleiner als die Schichtdicke (d2) des Dünnschichtsensorelements (1) im Kontaktbereich (7) ist.

8. Dünnschichtsensorelement (1) nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die Gesamtheit aus Substrat (2), Widerstandsstruktur (4) und Abdeckungsschicht (11) im Widerstandsbereich (3) einen effektiven thermischen Ausdehnungskoeffizienten (TCE_{eff}) aufweist und wobei der effektive thermische Ausdehnungskoeffizient (TCE_{eff}) größer oder gleich dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Materials der Widerstandsstruktur (4) als Bulk-Metall ist.

9. Dünnschichtsensorelement (1) nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Substrat (2) ein zumindest teilweise keramisches Substrat (2) ist.

10. Dünnschichtsensorelement (1) nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Substrat (2) Aluminiumoxid und/oder Zirkonoxid aufweist.

11. Dünnschichtsensorelement (1) nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die Oberflächenschicht des Substrats (2) nicht-leitend ist,
wobei die nicht-leitende Oberflächenschicht des Substrats (2) eine minimale Schichtdicke (diso) von 1 Mikrometer aufweist.

12. Dünnschichtsensorelement (1) nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die Zwischenleiter (81,82,83,84) aus dem gleichen Material sind.

13. Dünnschichtsensorelement (1) nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Widerstandsstruktur (4) eine Schichtdicke von 0.1-10 Mikrometer aufweist.

14. Dünnschichtsensorelement (1) nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Abdeckungsschicht (11) im Widerstandsbereich (3) eine maximale Schichtdicke von 50 Mikrometer aufweist,
und wobei die Abdeckungsschicht (12) im Kontaktbereich (7) eine maximale Schichtdicke von 2.0 Millimeter aufweist.

15. Widerstandsthermometer (13), aufweisend ein Dünnschichtsensorelement (1) nach zumindest einem der vorherigen Ansprüche sowie eine Regel-/Auswerteeinheit (14), wobei die Zwischenleiter (81,82,83,84) des Dünnschichtsensorelements (1) mit der Regel-/Auswerteeinheit verbunden sind,
und wobei die Regel-/Auswerteeinheit (14) dazu ausgestaltet ist,
mittels der zumindest vier Zwischenleiter (81,82,83,84) das Dünnschichtsensorelement (1) in einer Vierleiterschaltung zu betreiben und den Widerstand der Widerstandsstruktur (4) zwischen dem ersten Referenzpunkt (53) und dem zweiten Referenzpunkt (63) zu ermitteln,
und aus dem ermittelten Widerstand die an der Widerstandsstruktur (4) vorliegende Temperatur zu bestimmen.

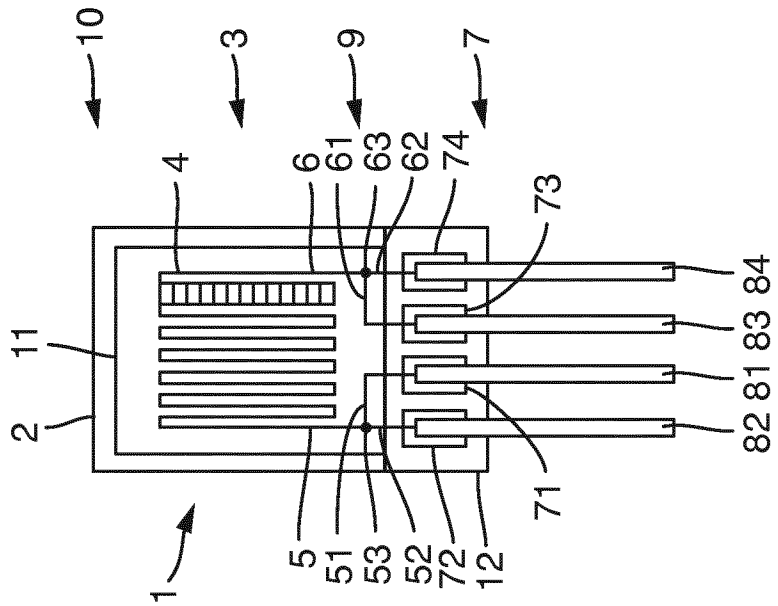


Fig. 1c

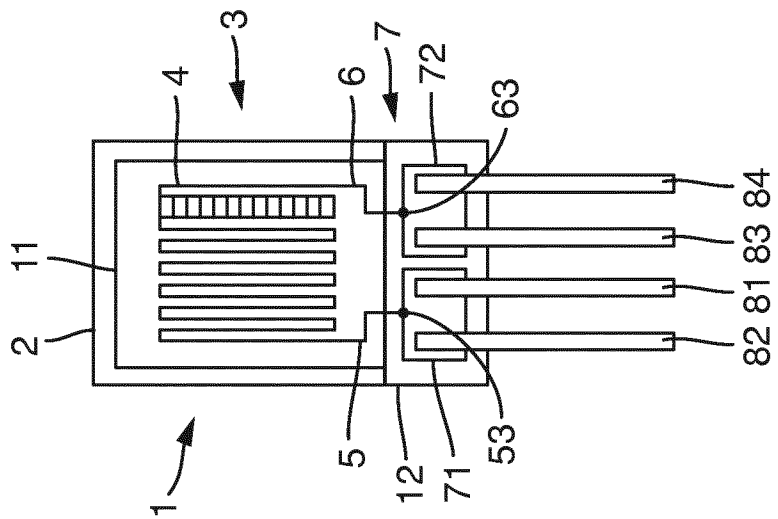


Fig. 1b
(St.d.T)

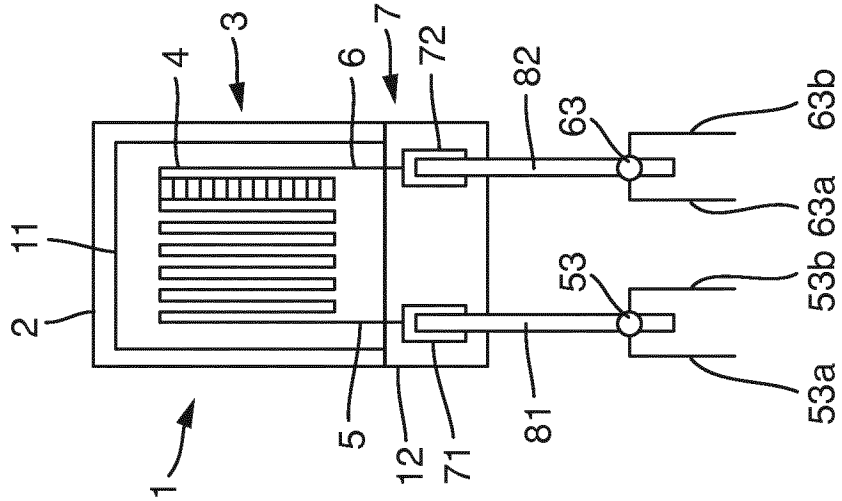


Fig. 1a
(St.d.T)

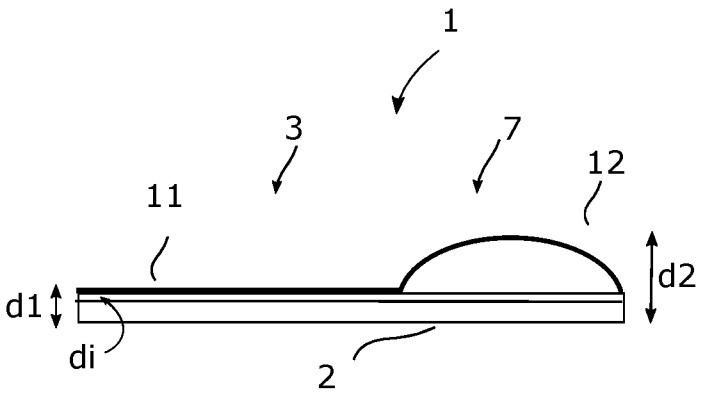


Fig. 2

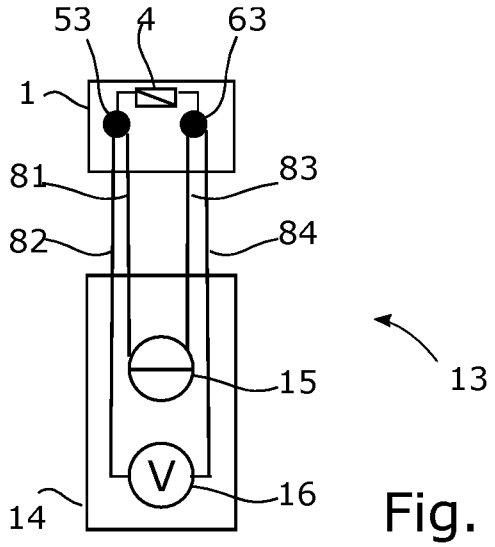


Fig. 3

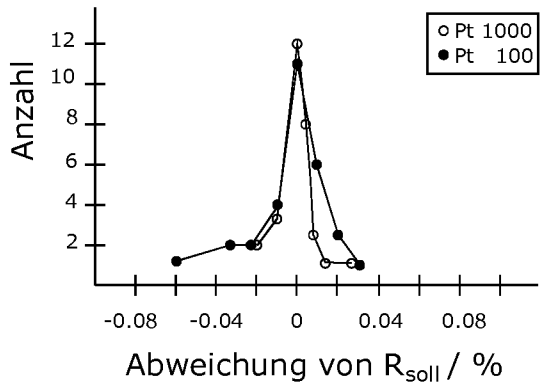


Fig. 4a

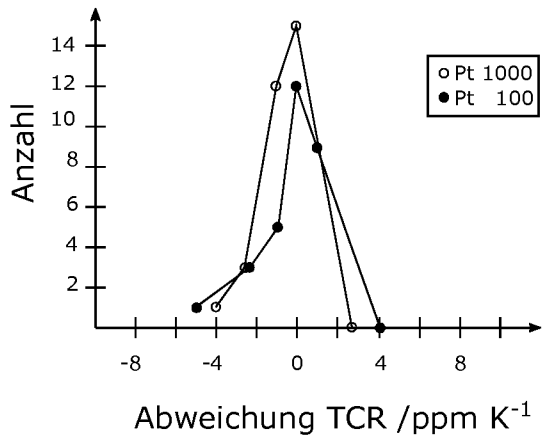


Fig. 4b

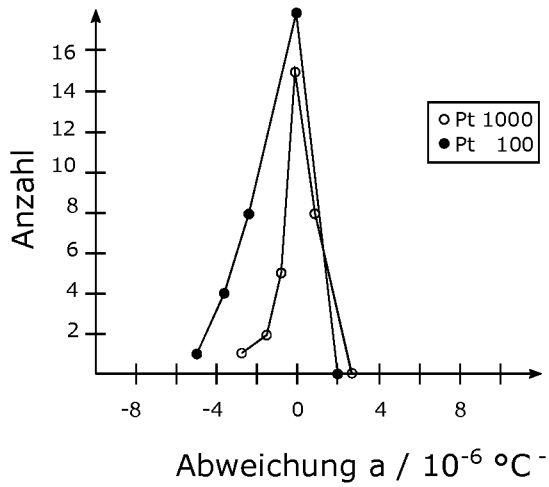


Fig. 4c

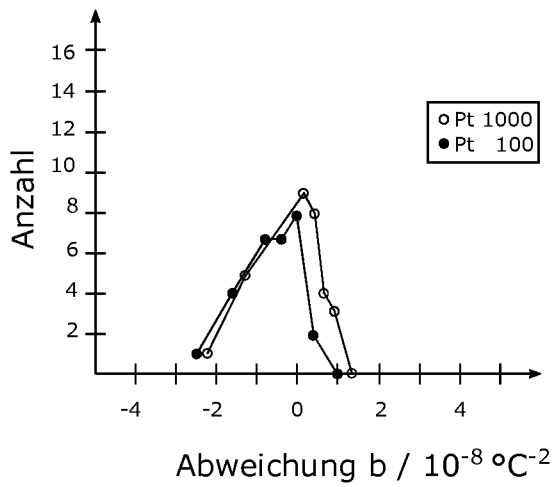


Fig. 4d

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/058631

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01K7/18
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 446 667 A2 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 18 September 1991 (1991-09-18) abstract figures 1, 2, 4, 5 column 4, line 41 - column 8, line 41	1-15
X	US 3 781 749 A (ILES G ET AL) 25 December 1973 (1973-12-25) abstract figure 1 column 4, lines 1-56	1-15
A	DE 10 2012 204817 A1 (PGT THERMPROZESSTECHNIK GMBH [DE]) 12 September 2013 (2013-09-12) abstract figures 1-4 paragraphs [0028] - [0029]	1-15

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
9 May 2017	16/05/2017

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Totò, Nicola

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/058631

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 2 261 624 A1 (SIEMENS AG [DE]) 15 December 2010 (2010-12-15) abstract figures 1, 2 paragraphs [0013] - [0019] -----	1-15

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2017/058631

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0446667 A2	18-09-1991	DE 4007129 A1	12-09-1991
		EP 0446667 A2	18-09-1991
US 3781749 A	25-12-1973	CA 962087 A	04-02-1975
		CH 554061 A	13-09-1974
		DE 2256203 A1	24-05-1973
		FR 2160474 A1	29-06-1973
		GB 1415644 A	26-11-1975
		IT 971096 B	30-04-1974
		NL 7215561 A	22-05-1973
		US 3781749 A	25-12-1973
DE 102012204817 A1	12-09-2013	NONE	
EP 2261624 A1	15-12-2010	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/058631

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01K7/18
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01K

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 446 667 A2 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 18. September 1991 (1991-09-18) Zusammenfassung Abbildungen 1, 2, 4, 5 Spalte 4, Zeile 41 - Spalte 8, Zeile 41 -----	1-15
X	US 3 781 749 A (ILES G ET AL) 25. Dezember 1973 (1973-12-25) Zusammenfassung Abbildung 1 Spalte 4, Zeilen 1-56 -----	1-15
A	DE 10 2012 204817 A1 (PGT THERMPROZESSTECHNIK GMBH [DE]) 12. September 2013 (2013-09-12) Zusammenfassung Abbildungen 1-4 Absätze [0028] - [0029] -----	1-15

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
9. Mai 2017	16/05/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Totò, Nicola

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/058631

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 2 261 624 A1 (SIEMENS AG [DE]) 15. Dezember 2010 (2010-12-15) Zusammenfassung Abbildungen 1, 2 Absätze [0013] - [0019] -----	1-15

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/058631

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0446667 A2	18-09-1991	DE 4007129 A1	12-09-1991
		EP 0446667 A2	18-09-1991
US 3781749 A	25-12-1973	CA 962087 A	04-02-1975
		CH 554061 A	13-09-1974
		DE 2256203 A1	24-05-1973
		FR 2160474 A1	29-06-1973
		GB 1415644 A	26-11-1975
		IT 971096 B	30-04-1974
		NL 7215561 A	22-05-1973
		US 3781749 A	25-12-1973
DE 102012204817 A1	12-09-2013	KEINE	
EP 2261624 A1	15-12-2010	KEINE	