



(10) **DE 10 2010 052 339 B4** 2015.05.28

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 052 339.9**
(22) Anmeldetag: **25.11.2010**
(43) Offenlegungstag: **31.05.2012**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **28.05.2015**

(51) Int Cl.: **G01K 7/16 (2006.01)**

Innerhalb von neun 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. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
VON ARDENNE GmbH, 01324 Dresden, DE

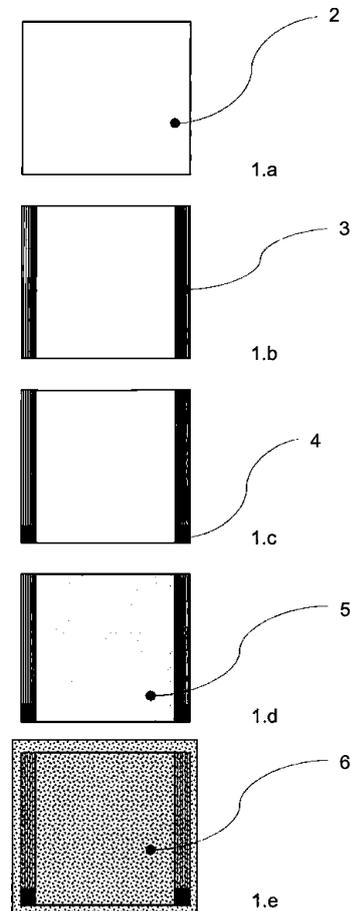
(72) Erfinder:
Linß, Volker, Dr., 01324 Dresden, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2007 020 176	B4
DE	37 24 005	A1
DE	10 2008 009 337	A1
US	6 022 142	A
EP	0 862 962	A2

(54) Bezeichnung: **Messmittel zur Temperaturbestimmung an Substraten**

(57) Hauptanspruch: Messmittel zur Bestimmung von Temperaturen, das verbunden ist mit einem für einen Prozesskammerdurchlauf ausgestalteten Substrat (2) und das die Temperaturen von Schichten am Substrat (2) erhebt, wobei auf dem Substrat (2) Dünnschichten, ausgeführt als elektrisch leitende Schicht auch als Leiterschicht (3) bezeichnet, als thermisch elektrisch sensitive Schicht auch als Messschicht (5) bezeichnet und als isolierende Schicht auch als Isolatorschicht (6) bezeichnet, angeordnet sind und mindestens ein Messelement (1) bilden, wobei das Messelement (1) derart gebildet ist, dass je zwei zueinander elektrisch isoliert ausgeführte Strukturelemente der Leiterschicht (3) als Leitbahnen mit Kontakten (4) und gegenüberstehend gleichflächig ein Strukturelement der Messschicht (5) kontaktierend angeordnet sind und die Isolatorschicht (6) das Messelement (1) seitlich umgebend und flächig mit Ausnahme der Kontakte (4) überdeckend vorgesehen ist, sodass das dünn-schichtige Messelement (1) auf dem Substrat (2) einen elektrisch isolierten und einzeln kontaktierbaren elektrischen Widerstand bildet, wobei die Messschicht (5) aus einem Material besteht, dessen spezifischer Widerstand sich temperaturabhängig ändert und sich mit der erreichten Materialtemperatur persistent einstellt, und wobei die Messschicht (5) aus Metalloxid besteht.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Mittel zur Bestimmung von Temperaturen an Substraten. Sie eignet sich zur Temperaturbestimmung dort, wo Substrate einem thermisch behandelnden Prozess insbesondere in einer Prozesskammer und auch in einer evakuierbaren Prozesskammer unterzogen werden. Mit ihr ließe sich beispielsweise die maximal erreichte Temperatur an einer Substratfläche nach Durchlaufen eines Temperprozesses feststellen und für dessen Einstellung bzw. für die Einstellung der Heizmittel – Kalibrierung – anwenden.

[0002] Unter Prozesskammern sind hier auch solche zu verstehen, die vor- oder nachgelagert der Prozesskammer angeordnet sein können wie Schleusen- und Transferkammern. Es kommen allgemein Kammern für flache flächige Substrate in Betracht, wo thermische Einflüsse zu messen sind.

[0003] DE 37 24 005 A1 schlägt eine prozessgesteuerte Erwärmungseinrichtung für Reflow-Lötprozesse vor. Es kommt eine Testplatine zum Einsatz, mittels derer die Ist-Temperaturverteilung geprüft wird, wonach die Nachregulierung der Heizelemente erfolgt. Auf Temperaturbereiche und Materialien wie bei der Vakuumbeschichtung lässt sich dieser Vorschlag nicht anwenden.

[0004] Gemäß EP 0 862 962 A2 könnte man Infrarot-Scanner einbeziehen, um die Substratoberfläche berührungslos zu vermessen und um dementsprechend Heiz- oder Kühlmittel nachzuregulieren. Diese Idee leistet nicht, die Temperatur am Substrat bzw. selbige einer Schicht exakt wiederzugeben. Die räumliche Beabstandung zwischen Heizbereich und Messbereich bzw. die daraus erwachsende Messgenauigkeit muss durch Regelungen oder Steuerungen kompensiert werden. Der hierfür notwendige technische Aufwand steht einer schnellen Verwendung im Weg.

[0005] Praktisch sind Messsysteme wie das aus DE 10 2007 020 176 B4 bekannt. Mehrere Temperaturfühler sind auf einer Platte befestigt bzw. aufgeklebt. Die Messdaten werden durch elektronische Mittel erfasst und übertragen. Diese Lösung verzichtet innerhalb der Prozesskammer auf übliche Datenaufzeichnungsgeräte (Datenlogger) und nutzt ein drahtloses Verfahren.

[0006] Im Umfeld der Erfindung sind die letztgenannten Mittel (geklebte Thermoelemente, Datenlogger) üblich. Insbesondere bei Kalibrierungsvorgängen müssen flexibel einsetzbare und kostengünstige Mittel dem Bedarf genügen. Die Schwierigkeiten beginnen dort, wo die Prozesskammerinnentemperatur 400°C erreicht, denn das schadet jeglicher Elektronik. Kommen starke Gasströme hinzu, wie beispielsweise beim zügigen Belüften der Vakuumkam-

mer, stehen die geklebten Thermoelemente bzw. deren Befestigungsmittel auf dem Prüfstand. Klebemittel und Thermoelemente beeinträchtigen zudem mitunter den Prozess, da sie selbst Gase und Sonstiges absondern sowie eine eigene Wärmekapazität störend in den Prozess einbringen. Selbst der geringe Abstand, mit dem sich das Thermoelement vom Substrat abhebt, hat Messfehler zur Folge. Auch „Messaufbauten“ auf einem Substrat werden insofern immer problematischer, da partiell die Einbauten in Vakuumkammern bis auf wenige Zentimeter an das Substrat heran reichen sein können.

[0007] In DE 10 2008 009 337 A1 ist ein Verfahren beschrieben, bei dem unter anderem auf einem Substrat mit einer transparenten leitfähigen Metalloxid-Schicht bzw. die Schicht einen Flächenwiderstand aufweist, der sich temperaturabhängig einstellt. Der Effekt trägt hier dazu bei, dass die Wärmebehandlung solange vollzogen wird, bis sich ein charakterisierter Wert des Flächenwiderstandes, der als Äquivalent für eine ausreichende Wärmebehandlung steht, ergibt. Die Qualität der Metalloxid-Schicht zu bestimmen, unterlässt der erfindungsgemäße Ansatz.

[0008] Mit der Lösung gemäß der US 6 022 142 A kann ein Messmittel geschaffen werden, bei dem sich ein Flächenwiderstand in Abhängigkeit einer Temperatur persistent einstellt. Mithin ist die Temperatur bestimmbar, der das Messmittel ausgesetzt war. Ein solches Messmittel besteht beispielsweise aus zwei Metallschichten (Al, Ti), zwischen denen eine zusätzliche Schicht in Folge des Temperatureinflusses entsteht. Diese zusätzliche Schicht setzt sich aus den Metallen der zwei Metallschichten (Al_xTi_y) zusammen.

[0009] Die Erfindung macht es sich zur Aufgabe, die aufgezeigten Probleme des Standes der Technik zu überwinden und ein Messmittel zu zeigen, mit dem sich ein Nachweis über die Intensität der Wärmebehandlung mit Rückschluss auf die erreichte Temperatur führen lässt und mit einer möglichst schichtäquivalenten Aussage – wie hat die Behandlung auf die Schicht am Substrat eingewirkt –. Nebst dem wird angestrebt, den Aufwand für Messmittel gering zu halten und räumlich hohe Anordnungen auf dem Substrat sowie Prozessstörgrößen zu vermeiden.

[0010] Die Aufgabe wird durch das Messmittel mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungsformen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

[0011] Mit anderen Worten bezieht sich der Erfindungsgedanke auf ein Messmittel zur Bestimmung von Temperaturen, das verbunden ist mit einem für einen Prozesskammerdurchlauf ausgestalteten Substrat und das die Temperaturen von Schichten am Substrat erhebt. Ferner sind auf dem Substrat Dünn-

schichten angeordnet, die mindestens ein Messelement bilden und die ausgeführt sind als elektrisch leitende Schicht, die als Leiterschicht bezeichnet wird, als thermisch elektrisch sensitive Schicht, die als Messschicht bezeichnet wird, und als isolierende Schicht, die als Isolatorschicht bezeichnet wird –. Ferner ist aus den Schichten das Messelement derart gebildet, dass je zwei zueinander elektrisch isoliert ausgeführte Strukturelemente der Leiterschicht als Leitbahnen mit Kontakten und gegenüberstehend gleichflächig ein Strukturelement der Messschicht kontaktierend angeordnet sind und die Isolatorschicht das Messelement seitlich umgebend und flächig mit Ausnahme der Kontakte überdeckend vorgesehen ist. Im Effekt ist ein dünnschichtiges Messelement auf dem Substrat gebildet, das eine elektrisch für sich isolierte und einzeln kontaktierbare Widerstandsanordnung ist. Ferner besteht die Messschicht aus einem Material, dessen spezifischer Widerstand sich temperaturabhängig ändert und sich mit der erreichten Materialtemperatur persistent einstellt, wobei die Messschicht aus Metalloxid besteht.

[0012] Vorteilhafterweise betragen demnach die Abweichung des spezifischen Widerstandes im Temperaturbereich von 20°C bis 400°C circa 600µΩcm, wobei zum gemessenen absoluten Widerstandswert die Temperatur vorbestimmt anhand von Werttabellen ableitbar ist. So lässt sich die maximal am Substrat erreichte Temperatur auf einem Widerstandswert ableiten, was auch mittels moderner Rechen-technik erfolgen kann. Einen höheren (doppelt oder dreifach) spezifischen Widerstandswert zu erreichen, ist mit dafür ausgelegten Materialien denkbar. Es eignet sich das Metalloxid ZnO. Vorteilhaft ist die ZnO-Verbindung mit Aluminium (ZnO:Al) oder mit Gallium (ZnO:Ga), da sich der spezifische Widerstand über den Temperaturbereich markant ändert. Nach einem weiteren Erfindungsmerkmal sind die Leiterschicht aus Cu und die Isolatorschicht aus SiO₂ hergestellt.

[0013] In einer vorteilhaften Form der Ausgestaltung der Erfindung sind geometrisch gleich bemessene Messelemente gesamtflächig auf dem Substrat gleichverteilt angeordnet.

[0014] Es bietet sich weiter an, dass ein Temperaturprofil oder eine Abweichung von einer substratwirksamen Temperaturhomogenität aufgrund der substratlokal eingestellten spezifischen Widerstandswerte und derer Abweichungen zueinander ermittelbar ist. Damit ist darauf abgezielt, die Temperaturhomogenität einzustellen, indem geringstmögliche Abweichungen zwischen den spezifischen Widerstandswerten im Fokus sind.

[0015] Nach einem weiteren Erfindungsmerkmal ist das Messmittel als Mittel zur Kalibrierung von Heizelementen in einer Prozesskammer angewandt.

[0016] Darauf aufbauend ist es von Vorteil, dass mindestens ein Messmittel prozessbegleitend an oder auf zum Endprodukt verwertbaren Substraten mitgeführt vorgesehen ist. Daraus ließen sich weitere vorteilhafte Merkmale ableiten, wie Teststrukturen, die im Prozessdurchlauf kontaktiert werden und Messdaten liefern, angebracht am Rand von üblichen Glassubstraten. Es ließen sich auch (kleinere) Messsubstrate, die lösbar mit den (großen) Glassubstraten befestigt sind, zusammen mit diesen im Prozessbereich mitführen.

[0017] Nachfolgend soll die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels näher beschrieben werden. Dazu sind in den Zeichnungen wie folgt dargestellt:

[0018] Fig. 1 Messelement in Teilschritten seine Herstellung (1.a–1.e)

[0019] Fig. 2 Ergebnisse von Vergleichsmessungen mit Messelement

[0020] Fig. 3 Ergebnisse zu Widerstandsänderungen

[0021] Fig. 4 Ergebnisse zum Schichtwiderstand; Flächenwiderstand nach Tempern

[0022] In Fig. 1 ist die Abfolge, wie die Schichten für ein Messelement 1 auszubringen wären, nacheinander von 1.a bis 1.e dargestellt. Während in 1.a nur das Substrat 2 im Ausgangszustand zu sehen ist, weist es in 1.b bereits die Leiterschicht 3 in Form von Leitbahnen auf, die an den Rändern z.B. aus Kupfer (Cu) aufgesputtert sind (Magnetronsputtern mit Abdeckung). In 1.c sind die für Kontakte 4 vorgesehenen Bereiche zunächst abgedeckt (z.B. mit Markerstift), da wie es 1.d zeigt, durch Kaltabscheidung (Zimmertemperatur) mit ZnO:Al die Messschicht 5 primär zwischen die Leiterschicht 3 eingebracht ist (folglich mit elektrischem Kontakt zu den dünnen Metallrändern). Es folgt das Abdecken mit der Isolatorschicht 6 mit beispielsweise SiO₂ bei Zimmertemperatur; gezeigt zu 1.e. Vom Prinzip handelt es sich nun um ein Glassubstrat, in welches eine kaltabgeschiedene ZnO:Al-Schicht eingebettet ist, die am Rand an zwei Metallelektroden kontaktiert ist. Durch ggf. späteres Entfernen der Abdeckung auf der Metallschicht bzw. an den Kontakten 4, ließe sich zwischen diesen beiden Punkten der elektrische Widerstand messen.

[0023] Die Grafik in Fig. 2 zeigt die an einer ZnO:Al-Probe gemessenen Widerstände nach Erwärmen dieser Probe mit einem Temperaturgradienten sowie die zugehörigen Temperaturen.

[0024] Die Grafik in Fig. 3 macht die relative Widerstandsänderung der ZnO:Al-Probe in Abhängigkeit der Temperatur deutlich.

[0025] Der Schichtwiderstand einer ungeheizt hergestellten ZnO:Al-Probe in Abhängigkeit der Temperatur ist grafisch in **Fig. 4** visualisiert. Der erste Messwert stellt steht für die Herstellungstemperatur 7.

[0026] Die Idee nutzt die Eigenschaftsänderungen des ZnO:Al selbst. Eine ZnO:Al-Schicht, die bei einer bestimmten Substrattemperatur hergestellt wurde, ändert ihren Widerstand, wenn sie auf eine höhere Temperatur als ihre Herstellungstemperatur geheizt (getempert) wird. Der sich einstellende Widerstand ist dabei eindeutig abhängig von der erreichten Tempertemperatur, wie das in **Fig. 2** dargestellt ist. Diesen Effekt macht man sich umgekehrt zunutze, um die erreichte Temperatur des Aufheizens zu bestimmen. Dabei tritt eine Widerstandsänderung nur für Tempertemperaturen oberhalb der Herstellungstemperatur auf. Bis zu einer bestimmten Temperatur ist die Abhängigkeit des Widerstands bzw. der Widerstandsänderung von der erreichten Tempertemperatur eindeutig (nimmt mit steigender Temperatur ab), danach kehrt sich der Effekt um. Für einen möglichst großen Temperaturbereich müssen also bei Zimmertemperatur hergestellte Proben genommen werden. **Fig. 4** zeigt für eine ohne Heizen hergestellte ZnO:Al-Probe den monotonen Zusammenhang zwischen Tempertemperatur und Widerstand. Der Widerstand ändert sich dabei von knapp 20 Ohm auf weniger als 5 Ohm. Er kann als Maß für die erreichte Temperatur im Bereich bis ca. 400...500°C genutzt werden. Der verbleibende Widerstand hängt dabei von der erreichten Maximaltemperatur ab, so dass die ZnO:Al-Schicht ähnlich einem Thermolabel die Maximaltemperatur in ihrem Widerstand speichert. So ließe sich beispielsweise die Abscheide-Temperatur (Prozesstemperatur) irgendeiner gesputterten Schicht ermitteln. Ausgehend davon, dass die Schicht bei einem Magnetrondurchlauf hergestellt und während der Beschichtung die Maximaltemperatur erreicht wird, können dabei auch mehrere Messelemente **1** mitgeführt sein. Die eingebettete ZnO:Al-Schicht ändert ihren Widerstand entsprechend der Abscheide-Temperatur. Die Messung des Widerstandes erfolgt über die Kontakte **4**.

[0027] Da die Metallschicht bzw. Leiterschicht **3** besser leitet als die eingebettete ZnO:Al-Schicht (Messschicht **5**), ist der Widerstand hauptsächlich durch die ZnO:Al-Schicht bestimmt. Im Fall eines quadratischen Substrates liefert eine Widerstandsmessung folglich den Flächenwiderstand direkt. Der bestimmte Widerstand ließe sich mit dem eines Referenzsubstrates (z.B. ohne Wärmeeinwirkung vorab) vergleichen und/oder mittels einer vorher bestimmten Temperkurve auf die erreichte Maximaltemperatur schließen. Die Temperatur der ZnO:Al-Schicht dürfte nahezu identisch sein wie die der Sputterschicht während der Abscheidung, da nur eine dünne SiO₂-Schicht dazwischen liegt. Die geschilderte Methode

hat den Vorteil, dass neben der Temperaturmessung auch noch einige Eigenschaften der abgeschiedenen Schicht gemessen werden können. Beispielsweise der Widerstand, wenn die abgeschiedene Schicht selbst ZnO:Al ist, da durch die SiO₂-Schicht eine isolierende Barriere zur „Temperaturmess-ZnO:Al-Schicht“ existiert.

[0028] Ist hauptsächlich die Temperaturverteilung während der Beschichtung eines großen Substrates von Interesse, braucht man auch keine Eichkurve für die Absoluttemperatur. Es reicht, die geschilderten „Temperaturmesssubstrate“ zu verteilen und nach der Beschichtung deren Widerstände auszuwerten.

Bezugszeichenliste

1	Messelement
1.a	Messelement – Substrat (Basis)
1.b	Messelement – 1.a mit Leiterschicht am Rand
1.c	Messelement – 1.b mit abgeschirmten Kontaktbereichen
1.d	Messelement – 1.c mit Messschicht
1.e	Messelement – 1.d mit Isolatorschicht
2	Substrat
3	Leiterschicht
4	Kontakt
5	Messschicht
6	Isolatorschicht
7	Herstellungstemperatur

Patentansprüche

1. Messmittel zur Bestimmung von Temperaturen, das verbunden ist mit einem für einen Prozesskammerdurchlauf ausgestalteten Substrat (**2**) und das die Temperaturen von Schichten am Substrat (**2**) erhebt, wobei auf dem Substrat (**2**) Dünnschichten, ausgeführt als elektrisch leitende Schicht auch als Leiterschicht (**3**) bezeichnet, als thermisch elektrisch sensitive Schicht auch als Messschicht (**5**) bezeichnet und als isolierende Schicht auch als Isolatorschicht (**6**) bezeichnet, angeordnet sind und mindestens ein Messelement (**1**) bilden, wobei das Messelement (**1**) derart gebildet ist, dass je zwei zueinander elektrisch isoliert ausgeführte Strukturelemente der Leiterschicht (**3**) als Leitbahnen mit Kontakten (**4**) und gegenüberstehend gleichflächig ein Strukturelement der Messschicht (**5**) kontaktierend angeordnet sind und die Isolatorschicht (**6**) das Messelement (**1**) seitlich umgebend und flächig mit Ausnahme der Kontakte (**4**) überdeckend vorgeesehen ist, sodass das dünnschichtige Messelement (**1**) auf dem Substrat (**2**) einen elektrisch isolierten und einzeln kontaktierbaren elektrischen Widerstand bildet,

wobei die Messschicht (5) aus einem Material besteht, dessen spezifischer Widerstand sich temperaturabhängig ändert und sich mit der erreichten Materialtemperatur persistent einstellt, und wobei die Messschicht (5) aus Metalloxid besteht.

2. Messmittel nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abweichung des spezifischen Widerstandes im Temperaturbereich von 20°C bis 400°C circa $600\mu\Omega\text{cm}$ beträgt, wobei zum gemessenen absoluten Widerstandswert die Temperatur vorbestimmt anhand von Werttabellen ableitbar ist.

3. Messmittel nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messschicht (5) aus ZnO-Verbindungen hergestellt ist.

4. Messmittel nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messschicht (5) aus ZnO-Verbindungen mit Ga oder Al hergestellt ist.

5. Messmittel nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leiterschicht (3) aus Cu und die Isolatorschicht (6) aus SiO_2 hergestellt sind.

6. Messmittel nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die geometrisch gleich bemessenen Messelemente (1) gesamtflächig auf dem Substrat (2) gleichverteilt angeordnet sind.

7. Messmittel nach Anspruch 3 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Temperaturprofil oder eine Abweichung von einer substratwirksamen Temperaturhomogenität aufgrund der substratlokal eingestellten spezifischen Widerstandswerte und derer Abweichungen zueinander ermittelbar sind.

8. Messmittel nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass es als Mittel zur Kalibrierung von Heizelementen in einer Prozesskammer angewandt ist.

9. Messmittel nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens ein Messmittel prozessbegleitend an oder auf zum Endprodukt verwertbaren Substraten mitgeführt vorgesehen ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

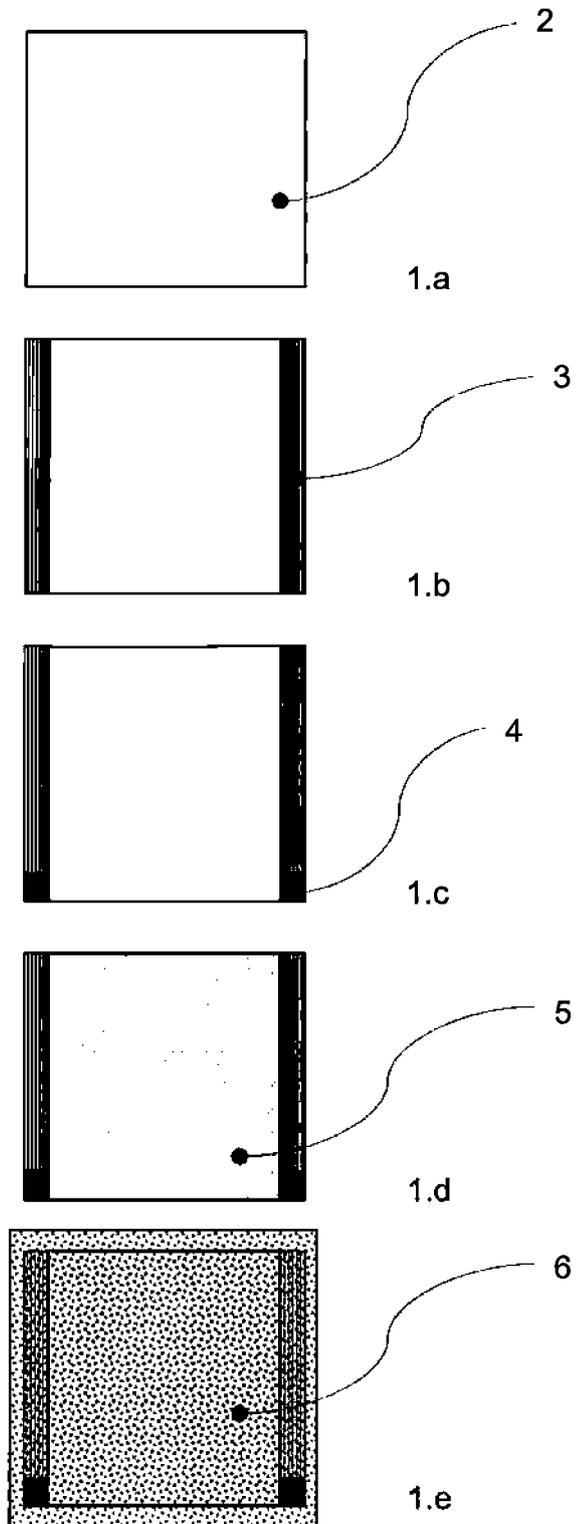


Fig. 2

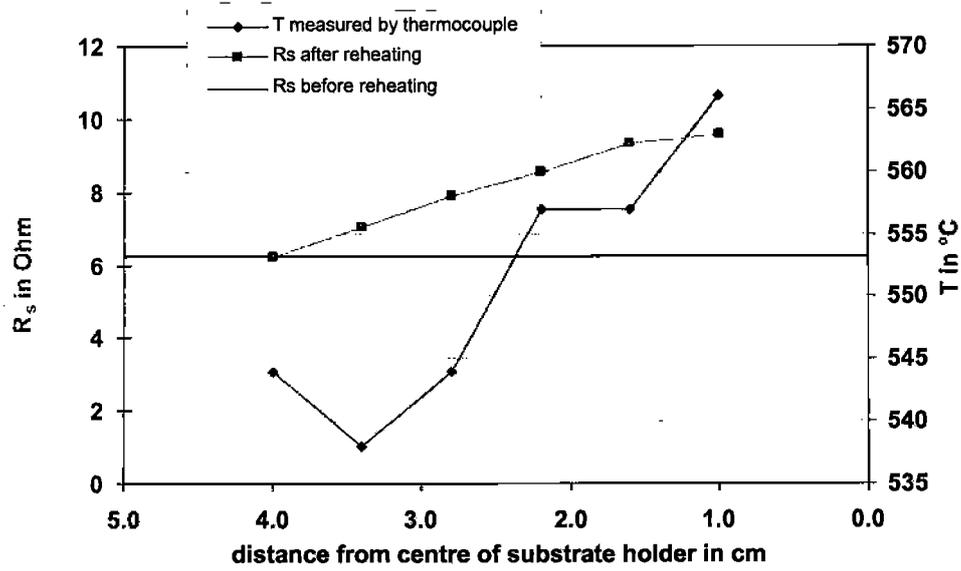


Fig. 3

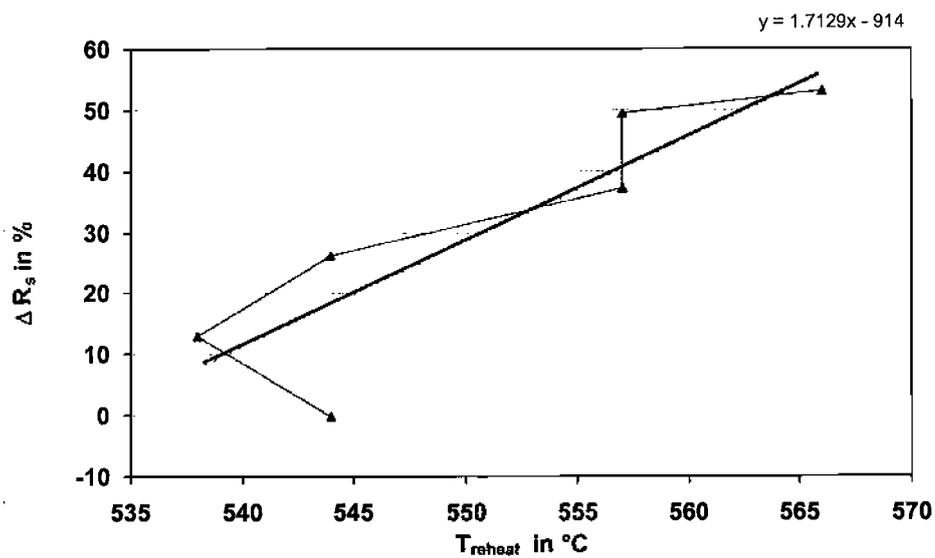


Fig. 4

