

(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  
29. August 2013 (29.08.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2013/124094 A2**

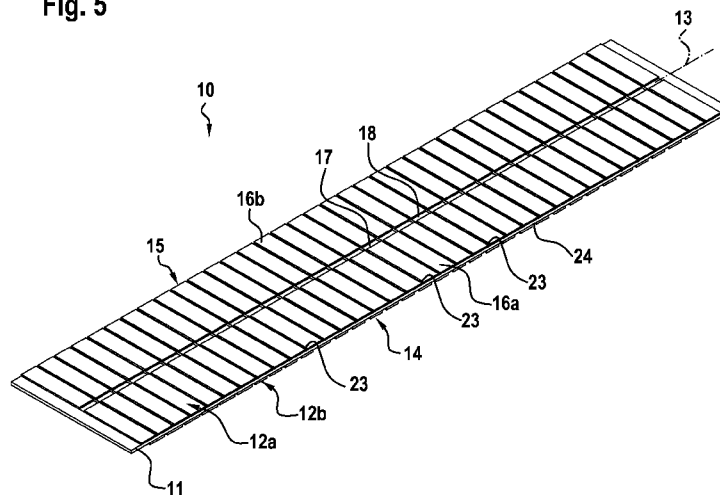
- (51) **Internationale Patentklassifikation:** Nicht klassifiziert
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2013/050702
- (22) **Internationales Anmeldedatum:** 16. Januar 2013 (16.01.2013)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**  
10 2012 101 492.2  
24. Februar 2012 (24.02.2012) DE  
10 2012 105 367.7 20. Juni 2012 (20.06.2012) DE
- (71) **Anmelder:** O-FLEXX TECHNOLOGIES GMBH [DE/DE]; Auf der Höhe 49, 47059 Duisburg (DE).
- (72) **Erfinder:** SPAN, Gerhard; Himmelreichweg 4, A-6112 Wattens (AT). SIEGLOCH, Arwed; Schreiberstraße 24, 47058 Duisburg (DE). HAFERKAMP, Juergen; Eltener Straße 90, 45478 Mülheim/Ruhr (DE). IOSAD, Nikolay; Gottfried-Keller-Straße 37, 65232 Taunusstein (DE).
- (74) **Anwalt:** KOHLMANN, Kai; Donatusstraße 1, 52078 Aachen (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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, 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, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** THERMOELECTRIC MODULE AND MANUFACTURING METHOD

(54) **Bezeichnung :** THERMOELEKTRISCHES MODUL UND HERSTELLUNGSVERFAHREN

Fig. 5



(57) **Abstract:** A thermoelectric module having a compact design and high thermal resistance, which requires less semiconductor material in comparison to a conventional thermoelectric module with comparable output comprises - a substrate (11) having a substrate front side (11a) and a substrate rear side (11b) opposite the substrate front side (11a), - a plurality of thermoelectric elements (12a) having a first thermoelectrically active material (18) and contacts (16a, 16b) for electrically and thermoelectrically contacting the first thermoelectrically active material (18) on the hot and cold side (14, 15), wherein each thermoelectric element (12a) is applied as a layer to the substrate front side (11a), - a plurality of thermoelectric elements (12b) having a second thermoelectrically active material (21) and contacts (19a, 19b) for electrically and thermally contacting the thermoelectrically active material (21) on the hot and cold side (14, 15), wherein each thermoelectric element (12b) is applied as a layer to the substrate rear side (11b), - and electrically conductive connections between the thermoelectric elements (12a, 12b) on the substrate front side (11a) and substrate rear side (11b). A method for cost-effectively producing such a thermoelectric module is also disclosed.

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2013/124094 A2



SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i)
- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)

— hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii)

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

**Veröffentlicht:**

- ohne internationalen Rechenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

---

Ein kompakt bauendes thermoelektrisches Modul mit hohem thermischem Widerstand, das gegenüber einem herkömmlichen thermoelektrischen Modul mit vergleichbarer Leistung weniger Halbleitermaterial benötigt, umfasst - ein Substrat (11) mit einer Substratvorderseite (11a) und einer der Substratvorderseite (11a) gegenüberliegenden Substratrückseite (11b), - mehrere thermoelektrische Elemente (12a) mit einem ersten thermoelektrisch wirksamen Material (18) und Kontakten (16a, 16b) zur elektrischen und thermischen Kontaktierung des ersten thermoelektrisch wirksamen Materials (18) an der heißen und kalten Seite (14, 15), wobei jedes thermoelektrische Element (12a) als Schicht auf der Substratvorderseite (11a) aufgebracht ist, - mehrere thermoelektrische Elemente (12b) mit einem zweiten thermoelektrisch wirksamen Material (21) und Kontakten (19a, 19b) zur elektrischen und thermischen Kontaktierung des thermoelektrisch wirksamen Materials (21) an der heißen und kalten Seite (14, 15), wobei jedes thermoelektrische Element (12b) als Schicht auf der Substratrückseite (11b) aufgebracht ist, - sowie elektrisch leitende Verbindungen zwischen den thermoelektrischen Elementen (12a, 12b) auf der Substratvorderseite (11a) und Substratrückseite (11b). Außerdem wird ein Verfahren zur preiswerten Herstellung eines derartigen thermoelektrischen Moduls offenbart.

## Thermoelektrisches Modul und Herstellungsverfahren

Die Erfindung betrifft ein thermoelektrisches Modul sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung.

5 Um ausreichend hohe Spannungen zu erzeugen, werden mehrere thermoelektrische Elemente zu einem thermoelektrischen Modul zusammengefasst und elektrisch in Reihe und ggf. auch parallel geschaltet.

10 Die Wirkungsweise thermoelektrischer Elemente beruht auf dem thermoelektrischen Effekt:

Durch den thermoelektrischen Effekt, auch als Seebeck-Effekt bezeichnet, entsteht zwischen zwei Punkten eines elektrischen  
15 Leiters bzw. Halbleiters, die eine verschiedene Temperatur haben, eine elektrische Spannung. Der Seebeck-Effekt beschreibt die umkehrbare Wechselwirkung zwischen Temperatur und Elektrizität. Die Seebeck-Spannung wird bestimmt durch:

$$20 \quad U_{\text{Seebeck}} = \alpha \times \delta T$$

mit

$\delta T$  Temperaturdifferenz zwischen heißer und kalter Seite  
25  $\alpha$  - Seebeck - Koeffizient bzw. Thermokraft

Der Seebeck-Koeffizient hat die Dimension einer elektrischen Spannung pro Temperaturdifferenz (V/K). Die Größe des Seebeck-Koeffizienten ist maßgeblich für die Höhe der  
30 Seebeck-Spannung verantwortlich.

Die thermoelektrischen Elemente bestehen vorzugsweise aus unterschiedlich dotierten Halbleitermaterialien, wodurch sich die Effizienz gegenüber Thermoelementen aus Metallen,  
35 wesentlich steigern lässt. Gebräuchliche

Halbleitermaterialien sind  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{PbTe}$ ,  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{SiGe}$ ,  $\text{BiSb}$  oder  $\text{FeSi}_2$ .

Während der Seebeck-Effekt das Entstehen einer Spannung  
5 beschreibt, tritt der Peltier-Effekt ausschließlich durch das  
Fließen eines äußeren Stromes auf. Der Peltier-Effekt tritt  
auf, wenn zwei Leiter oder Halbleiter mit unterschiedlichen  
elektronischen Wärmekapazitäten in Kontakt gebracht werden  
und durch einen elektrischen Strom Elektronen aus dem einen  
10 Leiter / Halbleiter in den anderen fließen. Mit geeigneten  
Materialien, insbesondere Halbleiter-Materialien gelingt es,  
mit elektrischem Strom Temperaturdifferenzen oder umgekehrt  
aus Temperaturdifferenzen elektrischen Strom zu erzeugen.

15 Ein in Abbildung 1 dargestelltes thermoelektrisches  
Peltier-Modul besteht aus mehreren in Reihe geschalteten  
thermoelektrischen Elementen. Die thermoelektrischen Elemente  
(1) bestehen jeweils aus kleinen Quadern (2a, 2b) aus p- und  
n-dotiertem Halbleitermaterial, die abwechselnd oben und  
20 unten mit Metallbrücken (3a, 3b) versehen sind. Die  
Metallbrücken (3a, 3b) bilden die thermischen und  
elektrischen Kontakte der thermoelektrischen Elemente (1) auf  
einer heißen bzw. einer kalten Seite (4, 5) des  
thermoelektrischen Moduls und sind zumeist zwischen zwei im  
25 Abstand zueinander angeordneten Keramikplatten (6a, 6b)  
angeordnet. Die unterschiedlich dotierten Quader (2a, 2b)  
sind durch die Metallbrücken (3a, 3b) derart miteinander  
verbunden, dass sie eine Reihenschaltung ergeben.

30 Sofern den Quadern (2a, 2b) ein elektrischer Strom zugeführt  
wird, kühlen sich abhängig von der Stromstärke und  
Stromrichtung die Verbindungsstellen der Quader (2a, 2b) auf  
der einen Seite (4, 5) ab, während sie sich auf der  
gegenüberliegenden Seite (4, 5) erwärmen. Der angelegte Strom  
35 erzeugt damit eine Temperaturdifferenz zwischen den  
Keramikplatten (6a, 6b). Wird indessen eine unterschiedlich

hohe Temperatur an den gegenüberliegenden Keramikplatten (6a, 6b) angelegt, wird abhängig von der Temperaturdifferenz ein Stromfluss in den Quadern (2a, 2b) jedes thermoelektrischen Elementes (1) des Moduls hervorgerufen.

5

Die Kantenlänge (7) der Quader (2a, 2b) senkrecht zu den Keramikplatten (6a, 6b) beträgt etwa 3 - 5 mm. Die große Kantenlänge (7) bedingt einen hohen thermischen Widerstand zwischen der heißen und kalten Seite (4, 5), so dass die Seebeck-Spannung und die Leistung des Moduls gegenüber einem in Abbildung 2 dargestellten Peltier-Modul mit geringerer Kantenlänge (7) der Quader (2a, 2b), jedoch gleichem Querschnitt der Quader (2a, 2b) größer ist. Die Quader (2a, 2b) mit größerer Kantenlänge (7) benötigen jedoch mehr Halbleitermaterial.

10  
15

Die Umwandlungseffizienz der üblichen, oben genannten thermoelektrischen Materialien liegt derzeit im Bereich unterhalb von 5%. Das bedeutet, dass der Wärmestrom mehr als das 20-fache der benötigten elektrischen Leistung betragen muss. Da die spezifische Wärmeleitfähigkeit der üblichen, oben genannten thermoelektrischen Materialien im Bereich von 1-5 W/mK liegt, muss die spezifische Wärmeleitfähigkeit der thermischen Kontakte der Quader deutlich über 20 - 100 W/mK liegen.

20  
25

Der Wärmestrom in den Quadern nimmt bei gleichem Querschnitt der Quader (2a, b) mit zunehmender Kantenlänge (7) ab. Die erzielbaren thermischen Widerstände sind daher nur von der spezifischen Wärmeleitfähigkeit und der Kantenlänge (7) der Quader (2a, b) abhängig. Daher sind thermoelektrische Module, wie in Figur 2 dargestellt, noch schwieriger mit Wärme zu versorgen.

30

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zu Grunde, ein kompakt bauendes

35

thermoelektrisches Modul mit hohem thermischem Widerstand vorzuschlagen, das gegenüber einem herkömmlichen thermoelektrischen Modul mit vergleichbarer Leistung weniger Halbleitermaterial benötigt. Des Weiteren soll ein Verfahren zur kostengünstigen Herstellung eines derartigen thermoelektrischen Moduls angegeben werden.

Im Einzelnen wird die Aufgabe durch ein thermoelektrisches Modul umfassend

10

- ein Substrat mit einer Substratvorderseite und einer der Substratvorderseite gegenüberliegenden Substratrückseite,

15

- mehrere thermoelektrische Elemente mit einem ersten thermoelektrisch wirksamen Material und Kontakten zur elektrischen und thermischen Kontaktierung des ersten thermoelektrisch wirksamen Materials an der heißen und kalten Seite, wobei jedes thermoelektrische Element als Schicht auf der Substratvorderseite aufgebracht ist,

20

- mehrere thermoelektrische Elemente mit einem zweiten thermoelektrisch wirksamen Material und Kontakten zur elektrischen und thermischen Kontaktierung des thermoelektrisch wirksamen Materials an der heißen und kalten Seite, wobei jedes thermoelektrische Element als Schicht auf der Substratrückseite aufgebracht ist

25

- sowie elektrisch leitende Verbindungen zwischen den thermoelektrischen Elementen auf der Substratvorderseite und Substratrückseite

30

gelöst.

Ein Vorteil des erfindungsgemäßen thermoelektrischen Moduls besteht darin, dass unter Berücksichtigung der technischen Grenzen der Abstand zwischen den Kontakten zur elektrischen

35

und thermischen Kontaktierung des thermoelektrisch wirksamen Materials und damit der thermische Widerstand frei wählbar ist, obwohl das thermoelektrisch wirksame Material der einzelnen thermoelektrischen Elemente als Schicht, insbesondere Dünnschicht ausgeführt ist. Trotz des hohen thermischen Widerstandes ist der Platzbedarf des thermoelektrischen Moduls außerordentlich gering, da sowohl die Kontakte als auch das thermoelektrisch wirksame Material als Schichten in einer Ebene auf der Substratvorderseite und der Substratrückseite aufgebracht sind. Des Weiteren wird für die zwischen jeweils zwei Kontakten abgeschiedene Schicht aus thermoelektrisch wirksamem Material, trotz des mit herkömmlichen thermoelektrischen Elementen nach Abbildung 1 vergleichbaren thermischen Widerstandes, deutlich weniger thermoelektrisches Material benötigt.

Durch die Ein- bzw. Auskopplung der Wärme über seitliche Begrenzungsflächen der thermoelektrisch wirksamen Schicht jedes thermoelektrischen Elementes des Moduls, werden die Nachteile des Standes der Technik ausgeräumt, wonach die Ein- und Auskopplung über den unabhängig von ihrer Kantenlänge stets gleich bleibenden Querschnitt der Quader erfolgt. Bei dem erfindungsgemäßen Modul kann die Größe der Anlagefläche zwischen den seitlichen Begrenzungsflächen und den Kontakten auf der heißen und kalten Seite variiert werden.

Das erste thermoelektrisch wirksame Material auf der Substratvorderseite ist von dem zweiten thermoelektrisch wirksamen Material auf der Substratrückseite verschieden. Es kann sich beispielsweise um n-dotiertes und p-dotiertes Halbleitermaterial handeln. Als gebräuchliche thermoelektrische Materialien kommen insbesondere  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{PbTe}$ ,  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{SiGe}$ ,  $\text{BiSb}$  oder  $\text{FeSi}_2$  in Betracht.

Wenn die thermoelektrisch wirksamen Schichten mehrere Lagen aus einem Haftmaterial und mehrere Lagen aus einem

thermoelektrischen Material aufweisen und sich die Lagen aus Haftmaterial und thermoelektrischem Material zwischen der Ober- und Unterseite jeder thermoelektrisch wirksamen Schicht abwechseln, wird hierdurch bewirkt, dass die thermoelektrisch wirksame Schicht jedes thermoelektrischen Elementes mechanisch stabiler als eine Schicht ausschließlich aus thermoelektrischem Material ist und zugleich einen geringeren thermischen Ausdehnungs-Koeffizienten aufweist. Hierdurch wird insbesondere ein Ablösen der seitlichen Begrenzungsflächen der thermoelektrisch wirksamen Schichten von den jeweiligen Kontakten der thermoelektrischen Elemente verhindert. Als Haftmaterial eignet sich insbesondere Titan (Ti).

Eine kostengünstige Herstellung des erfindungsgemäßen Moduls mit wenigen, insbesondere geradlinigen Strukturierungen der Metallisierungsschichten auf der Substratvorderseite und der Substratrückseite wird dadurch gefördert, dass

- jedes thermoelektrische Element auf der Substratvorderseite einen ersten Kontakt an der kalten Seite und einen zweiten Kontakt an der heißen Seite sowie eine in einer Längsrichtung des Moduls verlaufende Unterbrechung zwischen dem ersten und zweiten Kontakt aufweist, die den ersten und zweiten Kontakt thermisch und elektrisch voneinander trennt,
- wobei die Schicht aus dem ersten thermoelektrisch wirksamen Material derart in der Unterbrechung angeordnet ist, dass die Schicht aus dem ersten thermoelektrisch wirksamen Material jeweils an dem ersten Kontakt und dem zweiten Kontakt anliegt,

- jedes thermoelektrische Element auf der Substratrückseite einen dritten Kontakt an der kalten Seite und einen vierten Kontakt an der heißen Seite sowie eine in der Längsrichtung des Moduls verlaufende Unterbrechung  
5 zwischen dem dritten und vierten Kontakt aufweist, die den dritten und vierten Kontakt thermisch und elektrisch voneinander trennt,
- wobei die Schicht aus dem zweiten thermoelektrisch wirksamen Material derart in der Unterbrechung angeordnet  
10 ist, dass die Schicht aus dem zweiten thermoelektrisch wirksamen Material jeweils an dem dritten Kontakt und dem vierten Kontakt anliegt.

Die Unterbrechung jeweils zwischen einem Kontakt an der kalten Seite und einem Kontakt an der heißen Seite ist insbesondere als Graben zwischen den Kontakten ausgeführt. Die den Graben beidseitig begrenzenden seitlichen Ränder der Kontakte sind gegenüber der Substratvorderseite bzw. der Substratrückseite vorzugsweise geneigt. Die in Richtung des Grabeninneren geneigten Ränder begünstigen das Abscheiden des thermoelektrisch wirksamen Materials in der Unterbrechung. Die Unterbrechung kann geradlinig ausgeführt sein. Um die Länge der Unterbrechung zu vergrößern, kann diese in einer Ausgestaltung nicht geradlinig, sondern insbesondere wellen- oder mäanderförmig ausgeführt. Bei unterstellter  
25 gleichbleibender Schichtdicke vergrößern sich gegenüber einem gradlinigen Verlauf die seitlichen Begrenzungsflächen der thermoelektrisch wirksamen Schicht, die an dem Kontakt an der kalten Seite und dem Kontakt an der heißen Seite anliegen.  
30 Hierdurch wird der elektrische Widerstand zwischen den Kontakten und der thermoelektrischen wirksamen Schicht reduziert. Der thermische Widerstand bleibt indes gegenüber einem geradlinigen Verlauf der Unterbrechung bei unterstellter übereinstimmender Breite der Unterbrechung  
35 hinreichend hoch. Hieraus resultiert eine verbesserte Leistung des thermoelektrischen Elementes.

Die elektrisch leitenden Verbindungen zwischen den thermoelektrischen Elementen auf der Substratvorderseite und der Substratrückseite sind vorzugsweise als erste und zweite  
5 Durchkontaktierungen ausgeführt, wobei die ersten Durchkontaktierungen jeweils ein thermoelektrisches Element auf der Substratvorderseite und ein thermoelektrisches Element auf der Substratrückseite auf der kalten Seite elektrisch miteinander verbinden und die zweiten  
10 Durchkontaktierungen jeweils ein thermoelektrisches Element auf der Substratvorderseite und ein thermoelektrisches Element auf der Substratrückseite auf der heißen Seite elektrisch miteinander verbinden. Die Durchkontaktierungen zwischen Vorder- und Rückseite des Substrats können  
15 beispielsweise als eine innen metallisierte Bohrung durch das Substrat ausgeführt werden.

Mit Hilfe der Durchkontaktierungen werden die thermoelektrischen Elemente auf der Substratvorderseite und  
20 der Substratrückseite zu p/n - Paaren verschaltet. Hierzu sind die ersten und zweiten Durchkontaktierungen derart angeordnet, dass die thermoelektrischen Elemente eine Reihenschaltung bilden, wobei sich in der Reihenschaltung die thermoelektrischen Elemente auf der Substratvorderseite und  
25 die thermoelektrischen Elemente auf der Substratrückseite abwechseln.

Der bekannte mäandrische Aufbau thermoelektrischer Module ergibt sich bei dem erfindungsgemäßen Modul, wenn

30 - sich sämtliche thermoelektrischen Elemente auf der Substratvorderseite und Substratrückseite quer zu einer Längsrichtung des Moduls zwischen der heißen und kalten Seite des Moduls erstrecken und in Längsrichtung des  
35 Moduls nebeneinander angeordnet sind,

- sich zwischen sämtlichen thermoelektrischen Elementen auf der Substratvorderseite und Substratrückseite quer zur Längsrichtung verlaufende Querunterbrechungen befinden, die die Kontakte der thermoelektrischen Elemente
- 5 elektrisch voneinander trennen,
- die thermoelektrischen Elemente auf der Substratvorderseite in Längsrichtung versetzt zu den thermoelektrischen Elementen auf der Substratrückseite angeordnet sind und
- 10 - jeweils aufeinander folgende erste und zweite Durchkontaktierungen der Reihenschaltung an gegenüberliegenden Seiten einer der Querunterbrechungen angeordnet sind.

15 Die Kontakte sind in der Aufsicht vorzugsweise rechteckig, zumindest jedoch gleichförmig ausgebildet. Die Erstreckung sämtlicher Kontakte in Längsrichtung des Moduls sowie quer zur Längsrichtung stimmt vorzugsweise überein. Die

20 Erstreckung sämtlicher Querunterbrechungen in Längsrichtung des Moduls sowie quer zur Längsrichtung des Moduls stimmt vorzugsweise ebenfalls überein. Bei derart ausgebildeten gleichförmigen Kontakten und Querunterbrechungen entspricht

25 der Versatz der thermoelektrischen Elementen zwischen der Substratvorderseite und der Substratrückseite der Hälfte der Erstreckung eines Kontaktes in Längsrichtung des Moduls zuzüglich der Erstreckung einer Querunterbrechung in Längsrichtung.

30 Die in Längsrichtung verlaufenden geradlinigen oder auch wellenförmigen Unterbrechungen zwischen den Kontakten zur Aufnahme des thermoelektrisch wirksamen Materials sind um ein vielfaches kleiner als die zugehörigen, an dem Material beidseitig anliegenden Kontakte. Die von der heißen und kalten Seite gut zugänglichen, großflächigen Kontakte

35 erlauben daher eine einfache und gute thermische Anbindung des Moduls in unterschiedlichen Anwendungen. Das Modul lässt

sich beispielsweise durch Kleben oder Klemmen der Kontakte auf der heißen Seite an eine Wärmequelle anbinden, deren Abwärme in dem Modul in elektrischen Strom gewandelt werden soll.

5

Um den Materialverbrauch für das thermoelektrische Modul weiter zu reduzieren, sind sämtliche Schichten auf der Substratvorderseite und auf der Substratrückseite vorzugsweise als Dünnschichten aufgebracht. Die Dicke der im Wege der Dünnschichttechnologie abgeschiedenen Schichten liegt typischerweise im Bereich von wenigen Mikrometern, höchstens jedoch 100 µm. Ein Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen thermoelektrischen Moduls umfasst die Schritte

15

- Aufbringen einer Metallisierungsschicht auf einer Substratvorderseite eines Substrats sowie auf einer der Substratvorderseite gegenüberliegenden Substratrückseite,
- 20 - Strukturierung jeweils einer in Längsrichtung des Moduls verlaufenden geradlinigen, wellen- oder mäanderförmigen Unterbrechung auf der Substratvorderseite und der Substratrückseite durch gezieltes Entfernen der Metallisierungsschicht,
- 25 - Abscheiden eines ersten thermoelektrisch wirksamen Materials in der Unterbrechung auf der Substratvorderseite und Abscheiden eines zweiten thermoelektrisch wirksamen Materials in der Unterbrechung auf der Substratrückseite,
- 30 - Strukturierung von mehreren quer zu Längsrichtung verlaufenden Querunterbrechungen auf der Substratvorderseite und der Substratrückseite zur Ausbildung von Kontakten zur elektrischen und thermischen Kontaktierung des zwischen jeweils zwei
- 35 Kontakten zuvor abgeschiedenen thermoelektrisch wirksamen Materials auf der heißen und kalten Seite,

wodurch mehrere sich zwischen der heißen und kalten Seite des Moduls erstreckende thermoelektrische Elemente auf der Substratvorderseite und der Substratrückseite gebildet werden sowie

- 5       -   Herstellen leitender Verbindungen zwischen den thermoelektrischen Elementen auf der Substratvorderseite und der Substratrückseite.

Als Substrat wird beispielsweise eine Platte oder Folie, insbesondere aus Polyimid verwendet. Die Platte kann insbesondere glasfaserverstärkt sein. Als Metallisierungsschicht wird auf der Substratvorder- und rückseite insbesondere Kupfer oder ein anderes thermisch- und elektrisch gut leitendes Metall aufgebracht. Als thermoelektrisch wirksames Material wird in die zuvor strukturierten Unterbrechungen auf der Substratvorder- und rückseite unterschiedlich dotiertes thermoelektrisches Material, insbesondere Bismuth Tellurid oder ein anderes, der eingangs genannten gebräuchlichen Halbleitermaterialien  
20   abgeschieden.

Die elektrisch leitenden Verbindungen zwischen den thermoelektrischen Elementen auf der Substratvorderseite und der Substratrückseite werden vorzugsweise als  
25   Durchkontaktierungen hergestellt. Hierzu können Bohrungen in das Substrat eingebracht werden, die ihrerseits metallisiert werden, um die auf der Vorder- und Rückseite aufgetragenen Metallisierungsschichten elektrisch leitend miteinander zu verbinden.

30   Das Abscheiden der Schichten als Dünnschichten erfolgt vorzugsweise mit Verfahren der physikalischen oder chemischen Gasphasenabscheidung. Als bevorzugtes Verfahren der physikalischen Gasphasenabscheidung kommt insbesondere das  
35   Sputtern in Betracht.

Die Strukturierung der Unterbrechungen in den  
Metallisierungsschichten erfolgt vorzugsweise im Rahmen des  
in der Halbleitertechnik üblichen Ätzens. Selbstverständlich  
liegt es im Rahmen der Erfindung, die Strukturierung im Wege  
5 anderer, insbesondere mechanischer Abtragsverfahren  
durchzuführen.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand der Figuren näher  
erläutert. Es zeigen:

10

**Abbildung 3:** Eine Seitenansicht eines erfindungsgemäßen  
thermoelektrischen Moduls,

15

**Abbildung 4:** eine Aufsicht auf das Modul nach Abbildung 3,

**Abbildung 5:** eine perspektivische Ansicht auf die  
Vorderseite des Moduls nach Abbildung 3,

20

**Abbildung 6:** eine perspektivische Ansicht auf die Rückseite  
des Moduls nach Abbildung 3,

25

**Abbildung 7:** eine schematische, überhöhte Darstellung einer  
Kontaktstruktur des Moduls nach Abbildung 3  
auf einer heißen Seite,

**Abbildung 8:** eine schematische, überhöhte Darstellung einer  
Anordnung des thermoelektrisch wirksamen  
Materials des Moduls nach Abbildung 3,

30

**Abbildung 9:** eine schematische, überhöhte Darstellung einer  
Kontaktstruktur des Moduls nach Abbildung 3  
auf einer kalten Seite sowie

35

**Abbildung 10:** eine schematische, überhöhte perspektivische  
Darstellung des Moduls mit eingezeichnetem  
Strompfad.

Ein erfindungsgemäßes thermoelektrisches Modul (10) umfasst ein Substrat (11) mit einer Substratvorderseite (11a) und einer der Substratvorderseite (11a) gegenüberliegenden Substratrückseite (11b). Auf der Substratvorderseite (11a) sind mehrere thermoelektrische Elemente (12a) und auf der Substratrückseite mehrere thermoelektrische Elemente (12b) nebeneinander angeordnet. Die thermoelektrischen Elemente (12a, 12b) erstrecken sich quer zu einer Längsrichtung (13) des Moduls (10) zwischen einer kalten Seite (14) und einer heißen Seite (15) des Moduls (10).

Jedes thermoelektrische Element (12a) auf der Substratvorderseite (11a) weist einen ersten, in der Aufsicht rechteckigen und als Schicht ausgebildeten Kontakt (16a) an der kalten Seite (14) und einen zweiten, in der Aufsicht rechteckigen und als Schicht ausgebildeten Kontakt (16b) an der heißen Seite (15) des Moduls (10) auf.

Zwischen dem ersten Kontakt (16a) und dem zweiten Kontakt (16b) jedes thermoelektrischen Elementes (12a) befindet sich eine in Längsrichtung (13) verlaufende Unterbrechung (17), die den ersten und zweiten Kontakt (16a, 16b) thermisch und elektrisch voneinander trennt. Eine Schicht aus einem ersten thermoelektrisch wirksamen Material (18) ist derart in der Unterbrechung (17) auf der Substratvorderseite (11a) angeordnet, dass die Schicht aus dem ersten thermoelektrisch wirksamen Material (18) sowohl an dem ersten Kontakt (16a) als auch dem zweiten Kontakt (16b) anliegt, wobei die Schicht aus dem ersten thermoelektrisch wirksamen Material (18) mit ihren in der Abbildung 8 überhöht dargestellten seitlichen Begrenzungsflächen an den seitlichen Begrenzungsflächen der in der Abb. 7 und 9 überhöht dargestellten Kontakte (16a bzw. 16b) anliegt. Bei dem ersten thermoelektrisch wirksamen Material (18) handelt es sich beispielsweise um ein n-

dotiertes Halbleitermaterial, wie dies in den Abbildungen 8 und 10 angedeutet ist.

Quer zur Längsrichtung (13) verlaufen über die gesamte Breite der Substratvorderseite (11a) geradlinige Querunterbrechungen (23) zwischen sämtlichen thermoelektrischen Elementen (12a), die einen Stromfluss zwischen den thermoelektrischen Elementen (12a) auf der Substratvorderseite (11a) unterbinden.

10

Die thermoelektrischen Elemente (12a) auf der Substratvorderseite (11a) sind in Längsrichtung (13) versetzt zu den thermoelektrischen Elementen (12b) auf der Substratrückseite (11b) angeordnet, wie dies insbesondere aus den Abbildungen 3, 5, 6, 7 und 9 erkennbar ist.

15

Jedes thermoelektrische Element (12b) auf der Substratrückseite (11b) weist einen dritten, in der Aufsicht rechteckigen und als Schicht ausgebildeten Kontakt (19a) an der kalten Seite (14) und einen vierten, in der Aufsicht rechteckigen und als Schicht ausgebildeten Kontakt (19b) an der heißen Seite (15) des Moduls (10) auf.

20

Zwischen dem dritten Kontakt (19a) und dem vierten Kontakt (19b) jedes thermoelektrischen Elementes (12b) befindet sich eine in Längsrichtung (13) verlaufende Unterbrechung (20), die den dritten und vierten Kontakt (19a, 19b) thermisch und elektrisch voneinander trennt. Eine Schicht aus einem zweiten thermoelektrisch wirksamen Material (21) ist derart in der Unterbrechung (20) auf der Substratrückseite (11b) angeordnet, dass die Schicht aus dem zweiten thermoelektrisch wirksamen Material (21) sowohl an dem dritten Kontakt (19a) als auch dem vierten Kontakt (19b) anliegt, wobei die Schicht aus dem zweiten thermoelektrisch wirksamen Material (21) mit ihren in der Abbildung 8 überhöht dargestellten seitlichen Begrenzungsflächen an den seitlichen Begrenzungsflächen der

30

35

in der Abb. 7 und 9 überhöht dargestellten Kontakte (19a bzw. 19b) anliegt. Bei dem zweiten thermoelektrischen Material handelt es sich beispielsweise um ein p-dotiertes Halbleitermaterial, wie dies in den Abbildungen 8 und 10  
5 angedeutet ist.

Quer zur Längsrichtung (13) verlaufen über die gesamte Breite der Substratrückseite (11b) geradlinige Querunterbrechungen (24) zwischen sämtlichen thermoelektrischen Elementen (12b),  
10 die einen Stromfluss zwischen den thermoelektrischen Elementen (12b) auf der Substratrückseite (11b) unterbinden.

Die thermoelektrischen Elemente (12a) auf der Substratvorderseite (11a) und die thermoelektrischen Elemente  
15 (12b) auf der Substratrückseite (11b) sind elektrisch leitend miteinander verbunden, so dass die thermoelektrischen Elemente (12a, 12b) eine Reihenschaltung bilden, wobei sich in der Reihenschaltung die n-dotierten thermoelektrischen Elemente (12a) auf der Substratvorderseite (11a) und die p-dotierten thermoelektrischen Elemente (12b) auf der  
20 Substratrückseite (11b) abwechseln. Erste Durchkontaktierungen (22a) verbinden jeweils ein thermoelektrisches Element (12a) auf der Substratvorderseite (11a) und ein thermoelektrisches Element (12b) auf der  
25 Substratrückseite (11b) auf der kalten Seite (14) elektrisch miteinander, wie dies in Abbildung 9 dargestellt ist. Zweite Durchkontaktierungen (22b) verbinden jeweils ein thermoelektrisches Element (12a) auf der Substratvorderseite (11a) und ein thermoelektrisches Element (12b) auf der  
30 Substratrückseite (11b) auf der heißen Seite (15) elektrisch miteinander, wie dies in Abbildung 7 dargestellt ist.

Die in der Reihenschaltung abwechselnd an der heißen (15) und kalten Seite (14) aufeinanderfolgenden Durchkontaktierungen  
35 (22b, 22a) liegen, wie dies insbesondere aus der Zusammenschau der Abbildungen 7 und 9 erkennbar ist, jeweils

auf gegenüberliegenden Seiten einer der Querunterbrechung (23) auf der Substratvorderseite (11a) bzw. auf gegenüberliegenden Seiten einer der Querunterbrechung (24) auf der Substratrückseite (11b). Durch diese Anordnung der  
5 Durchkontaktierungen ergibt sich der an sich bekannte mäandrische Aufbau des erfindungsgemäßen Moduls, wie er insbesondere aus der Abbildung 10 erkennbar ist.

Abbildung 10 verdeutlicht den Stromlauf in dem  
10 erfindungsgemäßen Modul (10), wenn ein Temperaturgradient zwischen der heißen Seite (15) und der kalten Seite (14) angelegt wird.

In der Pseudo- 3D-Darstellung der Abbildung 10 sind sämtliche  
15 Schichten lediglich als Rechtecke in der Ebene der Substratvorderseite (11a) bzw. der Substratrückseite (11b) dargestellt. Die ersten und zweiten Durchkontaktierungen (22a, 22b) zwischen den als Schichten ausgebildeten Kontakten (16, 19) sind in der Ebene des der Übersichtlichkeit halber  
20 in Abbildung 10 nicht dargestellten Substrats (11) lediglich als Rechtecke dargestellt.

Der mäandrierende Verlauf des Stromflusses abwechselnd durch die versetzt zueinander angeordneten thermoelektrischen  
25 Elemente (12a, 12b) auf der Substratrückseite und der Substratvorderseite (11a, 11b) ist durch die in schwarzen Linien ausgezogenen Pfeile verdeutlicht. Demnach läuft der Strom von der kalten Seite (14) durch den dritten Kontakt (19a) eines ersten thermoelektrischen Elementes (12b) auf der  
30 Substratrückseite (11b) durch die Schicht mit p-dotiertem Halbleitermaterial (21), den vierten Kontakt (19b) und eine zweite Durchkontaktierung (22b) durch das nicht dargestellte Substrat in das folgende thermoelektrische Element (12a) auf der Substratvorderseite (11a). Die Durchkontaktierung (22b)  
35 befindet sich von der kalten Seite (14) aus betrachtet, auf der linken Seite der Querunterbrechung (24). Von dem zweiten

Kontakt (16b) des folgenden thermoelektrischen Elementes (12a) durchläuft der Strom die Schicht mit n-dotiertem Halbleitermaterial (18) und gelangt auf der gegenüberliegenden, rechten Seite der Querunterbrechung (24) durch die erste Durchkontaktierung (22a) in das folgende thermoelektrische Element (12b) auf der Substratrückseite (11b).

Diese Anordnung der Durchkontaktierungen (22a, 22b) bewirkt, dass der Strom abwechselnd die n-dotierten thermoelektrischen Elemente (12a) auf der Substratvorderseite (11a) und die p-dotierten thermoelektrischen Elemente (12b) auf der Substratrückseite (11b) durchfließt.

Ein erfindungsgemäßes thermoelektrisches Modul (10) wird vorzugsweise in folgenden Schritten hergestellt:

(A) Aufbringen einer Metallisierungsschicht, beispielsweise im Wege des Sputterns, auf einer Substratvorderseite (11a) und einer Substratrückseite (11b) eines beispielsweise rechteckigen Substrats (11).

(B) In einem anschließenden Schritt wird beispielsweise auf halber Breite des Substrats entlang der Längsrichtung (13) eine geradlinige Unterbrechung (17) auf der Substratvorderseite und eine geradlinige Unterbrechung (20) auf der Substratrückseite (11b) strukturiert. Die Strukturierung erfolgt beispielsweise im Wege des Ätzens bzw. durch mechanischen Abtrag der Metallisierungsschicht.

(C) Anschließend wird eine Schicht aus einem ersten, insbesondere n-dotierten Halbleitermaterial (18) sowie eine Schicht aus einem zweiten, insbesondere p-dotierten Halbleitermaterial (21) in den Unterbrechungen (17 bzw. 20) abgeschieden, wobei das Abscheiden zunächst auf der Substratvorderseite (11a) und sodann auf der Substratrückseite (11b) bzw. in umgekehrter Reihenfolge erfolgen kann.

10 (D) Anschließend werden vorzugsweise in regelmäßigen Abständen Querunterbrechungen (23) auf der Substratvorderseite (11a) und Querunterbrechungen (24) auf der Substratrückseite (11b) strukturiert, die quer zur Längsrichtung (13) verlaufen. Die Querunterbrechungen (23, 24) erstrecken sich zumindest über die gesamte Breite der Metallisierung, die im dargestellten Ausführungsbeispiel der Breite des Substrats (11) entspricht. Durch die Strukturierung der Querunterbrechungen (23, 24) werden Kontakte (16, 19) zur elektrischen und thermischen Kontaktierung des zwischen jeweils zwei Kontakten (16a, 16b bzw. 19a, 19b) zuvor abgeschiedenen thermoelektrisch wirksamen Materials (18 bzw. 21) auf der heißen und kalten Seite (14, 15) ausgebildet, wodurch sich auf der Vorder- und Rückseite (11a, 11b) des Substrats (11) n- bzw. p-dotierte thermoelektrische Elemente (12a, 12b) bilden.

Durch in Längsrichtung (13) des Moduls (10) versetztes Strukturieren der Querunterbrechungen (23, 24) auf der Substratvorderseite (11a) und der Substratrückseite (11b) wird der gewünschte Versatz zwischen den thermoelektrischen Elementen (11a, 11b) erzielt.

(E) Herstellen von leitenden Verbindungen zwischen den thermoelektrischen Elementen (12a, 12b) auf der Substratvorderseite (11a) und der Substratrückseite (11b)

durch Setzen von ersten und zweiten Durchkontaktierungen (22a, 22b). Um die thermoelektrischen Elemente auf der Substratvorderseite und Substratrückseite in Reihe zu schalten, werden jeweils in Längsrichtung (13) 5 aufeinanderfolgend erste Durchkontaktierungen (22a) an der kalten Seite (14) und zweite Durchkontaktierungen (22b) an der heißen Seite an gegenüberliegenden Seiten einer der zuvor strukturierten Querunterbrechung (23 bzw. 10 24) angeordnet. Die Durchkontaktierungen (22a, 22b) können im Anschluss an Schritt (D) oder bereits vor der Metallisierung im Schritt (A) in das Substrat (11) eingebracht werden.

15

### Bezugszeichenliste

Nr.	Bezeichnung	Nr.	Bezeichnung
1	thermoelektrisches Element	13	Längsrichtung
2 a, b	Quader	14	kalte Seite
3 a,b	Metallbrücken	15	heiße Seite
4	heiße Seite	16a	erster Kontakt
5	kalte Seite	16b	zweiter Kontakt
6 a,b	Keramikplatten	17	Unterbrechung
7	Kantenlänge	18	erstes thermoelektrisch wirksames Material
-		19a	dritter Kontakt
-		19b	vierter Kontakt (
10	thermoelektrisches Modul	20	Unterbrechung
11	Substrat	21	Zweites thermoelektrisch wirksames Material
11a	Substratvorderseite	22a	erste Durchkontaktierung
11b	Substratrückseite		
12	thermoelektrische Elemente		
12a	thermoelektrische Elemente auf der Substratvorderseite	22b	zweite Durchkontaktierung
12b	thermoelektrische Elemente auf der Substratrückseite	23	Querunterbrechungen auf der Substratvorderseite
		24	Querunterbrechung auf der Substratrückseite

**Patentansprüche:**

1. Thermoelektrisches Modul (10) mit einer heißen Seite (15)  
5 und einer kalten Seite (14) umfassend
- ein Substrat (11) mit einer Substratvorderseite (11a)  
und einer der Substratvorderseite (11a)  
gegenüberliegenden Substratrückseite (11b),
  - 10 - mehrere thermoelektrische Elemente (12a) mit einem  
ersten thermoelektrisch wirksamen Material (18) und  
Kontakten (16a, 16b) zur elektrischen und thermischen  
Kontaktierung des ersten thermoelektrisch wirksamen  
Materials (18) an der heißen und kalten Seite (14,  
15), wobei jedes thermoelektrische Element (12a) als  
Schicht auf der Substratvorderseite (11a) aufgebracht  
ist,
  - mehrere thermoelektrische Elemente (12b) mit einem  
zweiten thermoelektrisch wirksamen Material (21) und  
20 Kontakten (19a, 19b) zur elektrischen und thermischen  
Kontaktierung des thermoelektrisch wirksamen  
Materials (21) an der heißen und kalten Seite (14,  
15), wobei jedes thermoelektrische Element (12b) als  
Schicht auf der Substratrückseite (11b) aufgebracht  
25 ist,
  - sowie elektrisch leitende Verbindungen zwischen den  
thermoelektrischen Elementen (12a, 12b) auf der  
Substratvorderseite (11a) und Substratrückseite  
(11b).
  - 30
2. Thermoelektrisches Modul nach Anspruch 1, **dadurch**  
**gekennzeichnet**, dass
- jedes thermoelektrische Element (12a) auf der  
35 Substratvorderseite (11a) einen ersten Kontakt (16a)  
an der kalten Seite (14) und einen zweiten Kontakt

- (16b) an der heißen Seite (15) sowie eine in einer Längsrichtung (13) des Moduls (10) verlaufende Unterbrechung (17) zwischen dem ersten und zweiten Kontakt (16a, 16b) aufweist, die den ersten und zweiten Kontakt (16a, 16b) thermisch und elektrisch voneinander trennt,
- 5
- wobei die Schicht aus dem ersten thermoelektrisch wirksamen Material (18) derart in der Unterbrechung (17) angeordnet ist, dass die Schicht aus dem ersten thermoelektrisch wirksamen Material (18) jeweils an dem ersten Kontakt (16a) und dem zweiten Kontakt (16b) anliegt,
  - jedes thermoelektrische Element (12b) auf der Substratrückseite (11b) einen dritten Kontakt (19a) an der kalten Seite (14) und einen vierten Kontakt (19b) an der heißen Seite (15) sowie eine in der Längsrichtung (13) des Moduls (10) verlaufende Unterbrechung (20) zwischen dem dritten und vierten Kontakt (19a, 19b) aufweist, die den dritten und vierten Kontakt (19a, 19b) thermisch und elektrisch voneinander trennt,
  - wobei die Schicht aus dem zweiten thermoelektrisch wirksamen Material (21) derart in der Unterbrechung (20) angeordnet ist, dass die Schicht aus dem zweiten thermoelektrisch wirksamen Material (21) jeweils an dem dritten Kontakt (19a) und dem vierten Kontakt (19b) anliegt.
- 10
- 15
- 20
- 25
3. Thermoelektrisches Modul nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektrisch leitenden Verbindungen
- 30
- erste Durchkontaktierungen (22a), die jeweils ein thermoelektrisches Element (12a) auf der Substratvorderseite (11a) und ein thermoelektrisches Element (12b) auf der Substratrückseite (11b) auf der
- 35

kalten Seite (14) elektrisch miteinander verbinden und

- zweite Durchkontaktierungen (22b) umfassen, die jeweils ein thermoelektrisches Element (12a) auf der Substratvorderseite (11a) und ein thermoelektrisches Element (12b) auf der Substratrückseite (11b) auf der heißen Seite (15) elektrisch miteinander verbinden, umfassen.

10 4. Thermoelektrisches Modul nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ersten und zweiten Durchkontaktierungen (22a, 22b) derart angeordnet sind, dass die thermoelektrischen Elemente 12a, 12b) eine Reihenschaltung bilden, wobei sich in der Reihenschaltung die thermoelektrischen Elemente (12a) auf der Substratvorderseite (11a) und die thermoelektrischen Elemente (12b) auf der Substratrückseite (11b) abwechseln.

20 5. Thermoelektrisches Modul nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- sich sämtliche thermoelektrischen Elemente (12a, 12b) auf der Substratvorderseite (11a) und Substratrückseite (11b) quer zur Längsrichtung (13) des Moduls (10) zwischen der heißen und kalten Seite (14, 15) erstrecken und in Längsrichtung (13) des Moduls (10) nebeneinander angeordnet sind,
- sich zwischen sämtlichen thermoelektrischen Elementen (12a, 12b) auf der Substratvorderseite (11a) und Substratrückseite (11b) quer zur Längsrichtung (13) verlaufende Querunterbrechungen (23, 24) befinden, die die Kontakte (16, 19) der thermoelektrischen Elemente (12a, 12b) elektrisch voneinander trennen,
- die thermoelektrischen Elemente (12a) auf der Substratvorderseite (11a) in Längsrichtung (13)

- versetzt zu den thermoelektrischen Elementen (12b) auf der Substratrückseite (11b) angeordnet sind und
- jeweils aufeinander folgende erste und zweite Durchkontaktierungen (22a, 22b) der Reihenschaltung an gegenüberliegenden Seiten einer der  
5 Querunterbrechungen (23, 24) angeordnet sind.
6. Thermoelektrisches Modul nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass sämtliche Schichten auf  
10 der Substratvorderseite (11a) und auf der Substratrückseite (11b) Dünnschichten sind.
7. Verfahren zur Herstellung eines thermoelektrischen Moduls (10) mit einer heißen und einer kalten Seite (15, 14)  
15 umfassend die Schritte
- Aufbringen einer Metallisierungsschicht auf einer Substratvorderseite (11a) eines Substrats (11) sowie auf einer der Substratvorderseite (11a)  
20 gegenüberliegenden Substratrückseite (11b),
  - Strukturierung jeweils einer in Längsrichtung (13) des Moduls (10) verlaufenden Unterbrechung (17, 20) auf der Substratvorderseite (11a) und der Substratrückseite (11b) durch gezieltes Entfernen der  
25 Metallisierungsschicht,
  - Abscheiden eines ersten thermoelektrisch wirksamen Materials (18) in der Unterbrechung (17) auf der Substratvorderseite (11a) und Abscheiden eines zweiten thermoelektrisch wirksamen Materials (21) in  
30 der Unterbrechung (20) auf der Substratrückseite (11b),
  - Strukturierung von mehreren quer zu Längsrichtung (13) verlaufenden Querunterbrechungen (23, 24) auf der Substratvorderseite (11a) und der  
35 Substratrückseite (11b) durch gezieltes Entfernen der Metallisierungsschicht, so dass mehrere sich zwischen

der heißen und kalten Seite (14, 15) des Moduls (10) erstreckende thermoelektrische Elemente (12a, 12b) auf der Substratvorderseite (11a) und der Substratrückseite (11b) gebildet werden,

- 5        - Herstellen leitender Verbindungen zwischen den thermoelektrischen Elementen (12a, 12b) auf der Substratvorderseite (11a) und der Substratrückseite (11b).
- 10    8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektrisch leitenden Verbindungen durch
- 15        - erste Durchkontaktierungen (22a), die jeweils ein thermoelektrisches Element (12a) auf der Substratvorderseite (11a) und ein thermoelektrisches Element (12b) auf der Substratrückseite (11b) auf der kalten Seite (14) elektrisch miteinander verbinden und
- 20        - zweite Durchkontaktierungen (22b), die jeweils ein thermoelektrisches Element (12a) auf der Substratvorderseite (11a) und ein thermoelektrisches Element (12b) auf der Substratrückseite (11b) auf der heißen Seite (15) elektrisch miteinander verbinden,
- 25        hergestellt werden.
- 30    9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ersten und zweiten Durchkontaktierungen (22a, 22b) derart angeordnet werden, dass die thermoelektrischen Elemente (12a, 12b) eine Reihenschaltung bilden, wobei sich in der Reihenschaltung die thermoelektrischen Elemente (12a) auf der Substratvorderseite (11a) und die thermoelektrischen Elemente (12b) auf der Substratrückseite (11b) abwechseln.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass  
jeweils aufeinander folgende erste und zweite  
Durchkontaktierungen (22a, 22b) der Reihenschaltung an  
gegenüberliegenden Seiten in Bezug zu einer der  
5 Querunterbrechungen (23, 24) angeordnet werden.

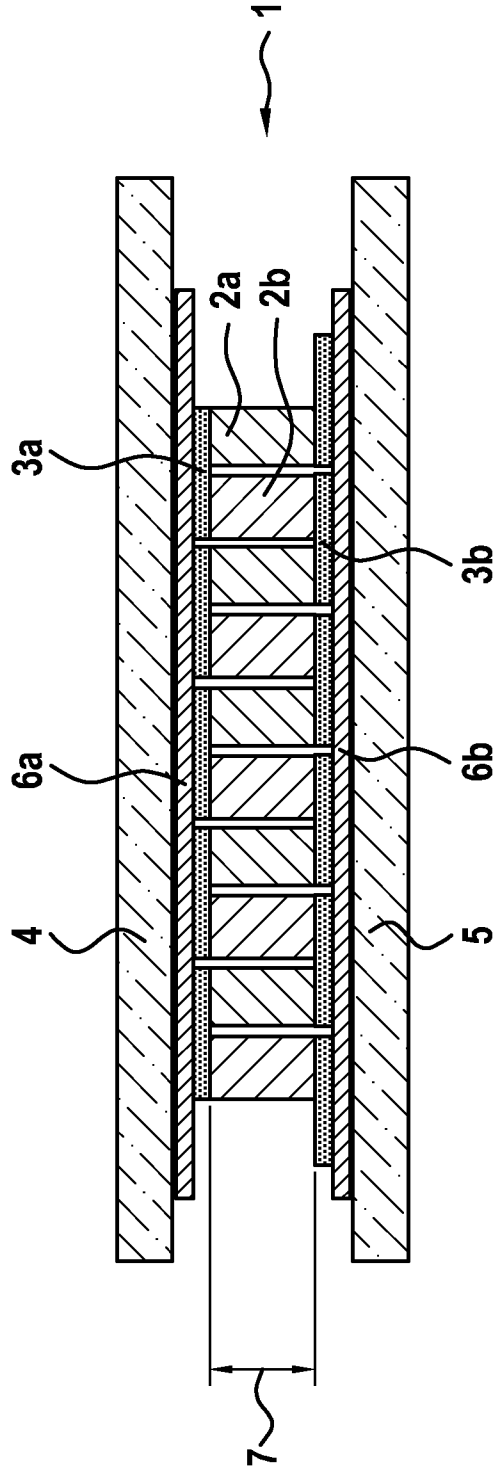


Fig. 1

Fig. 2

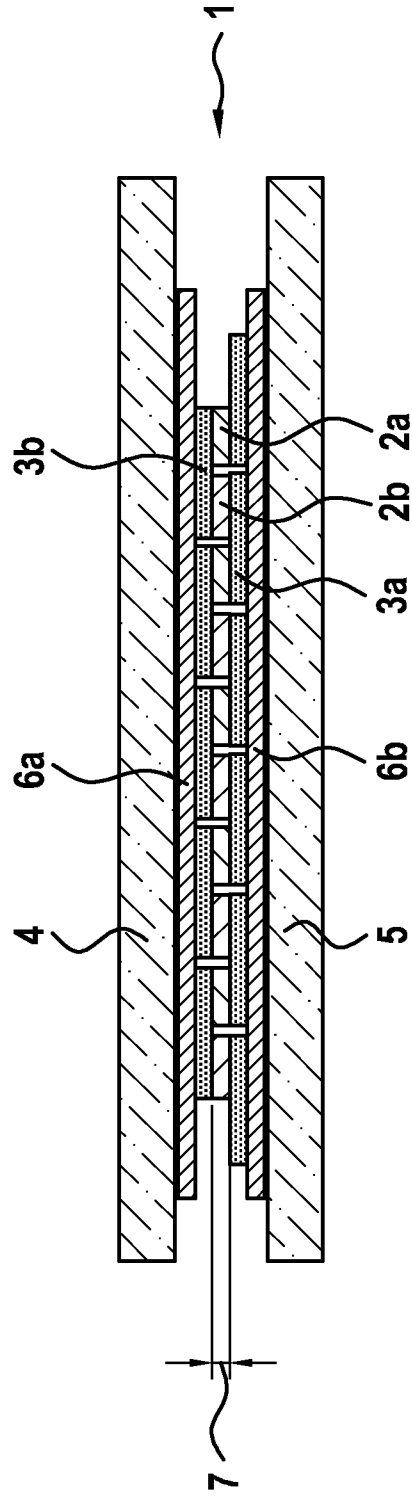


Fig. 3

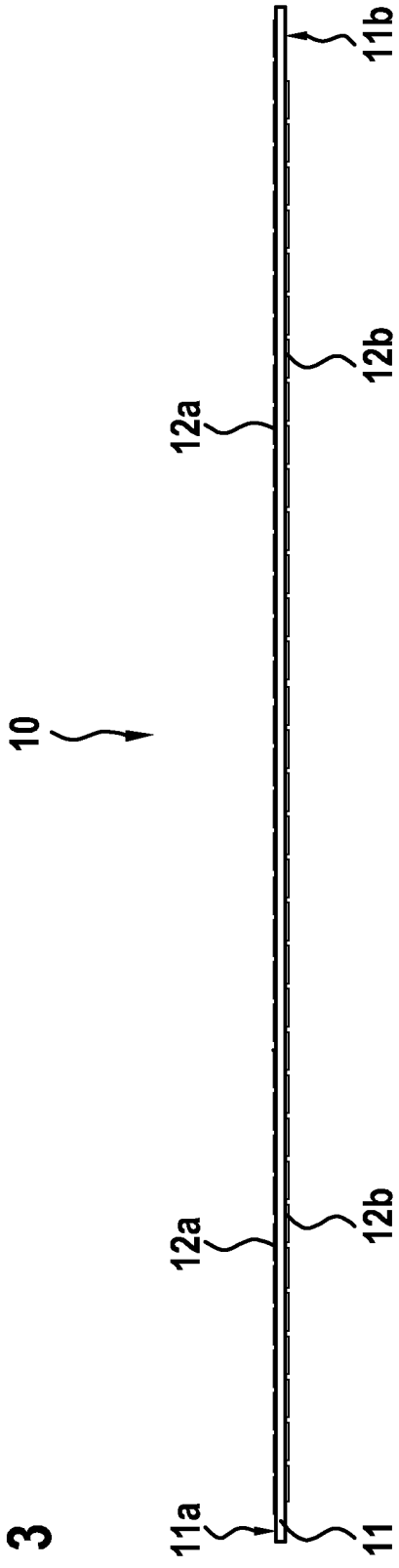


Fig. 4

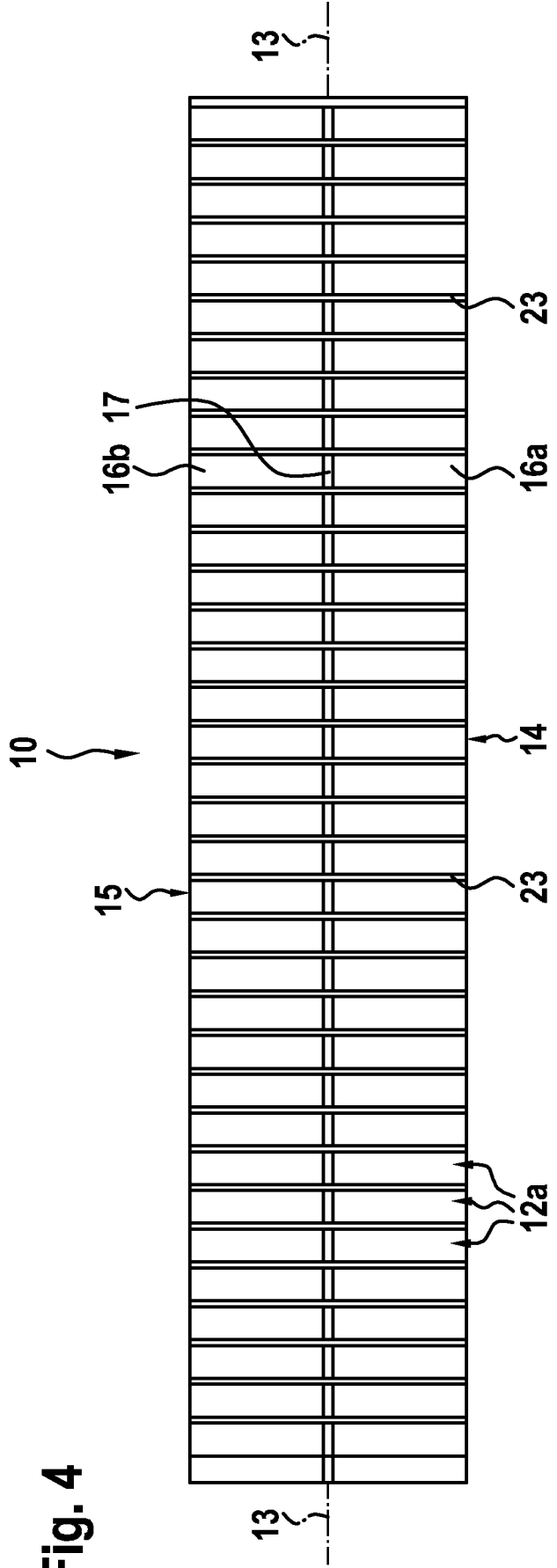


Fig. 5

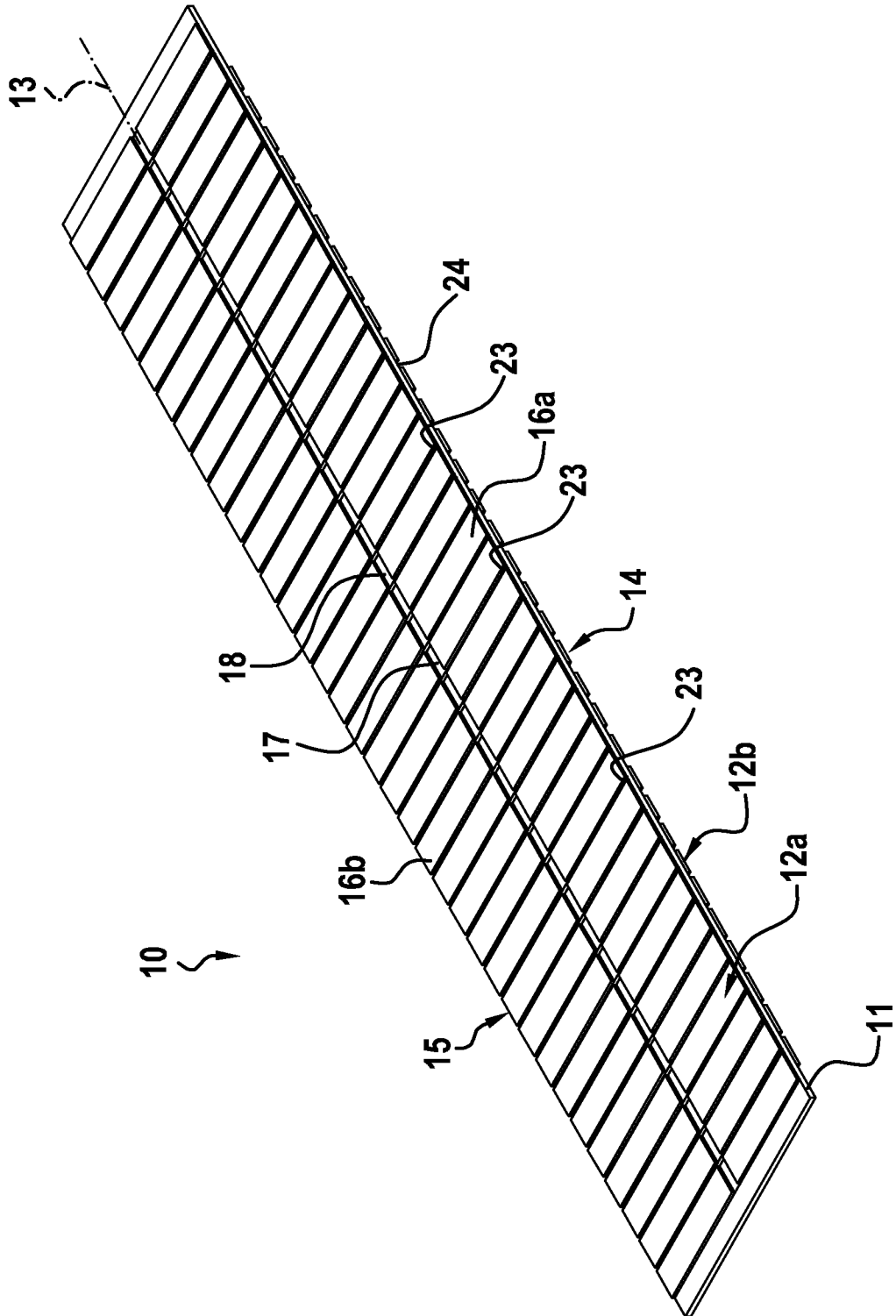


Fig. 6

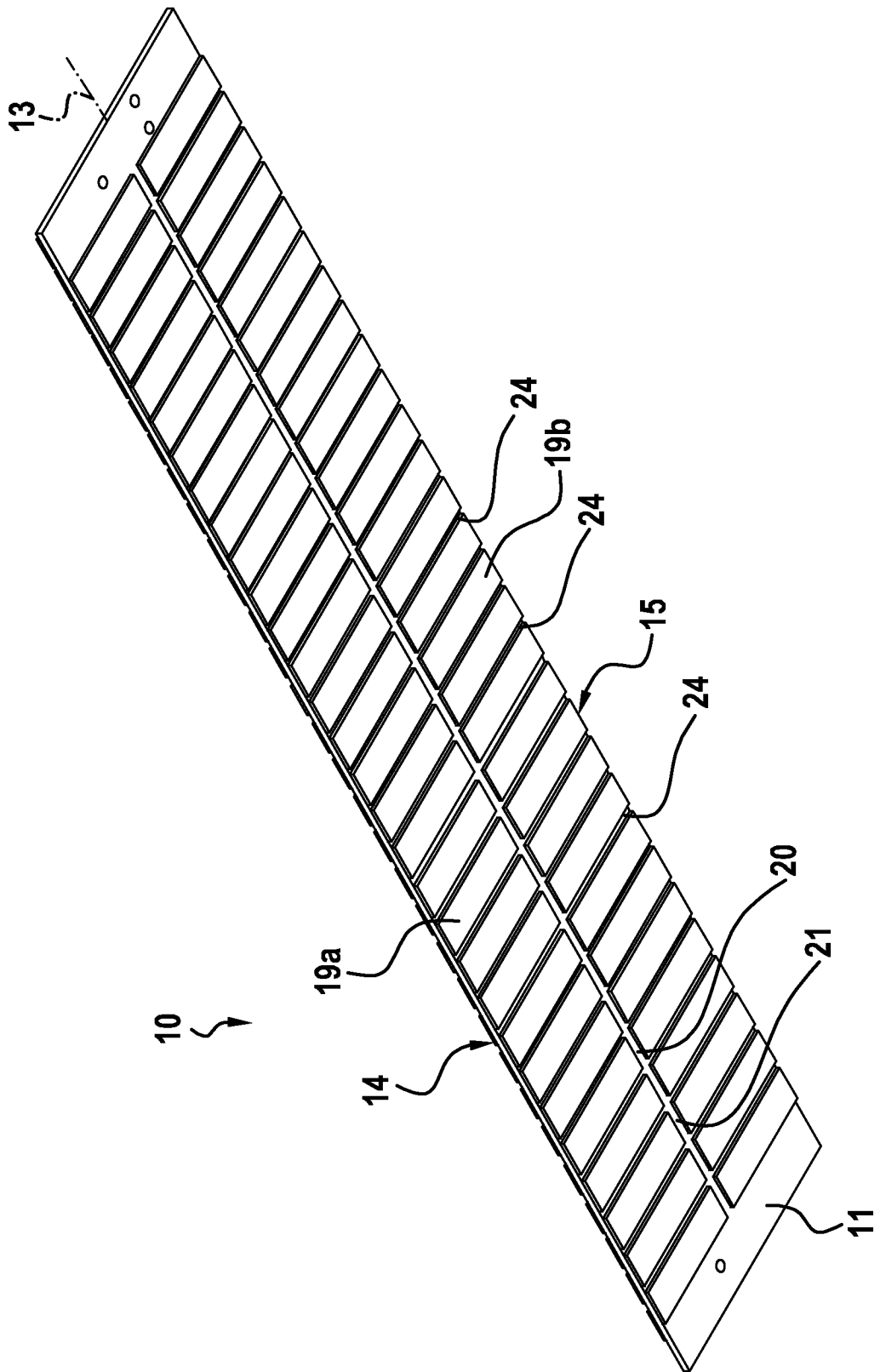


Fig. 7

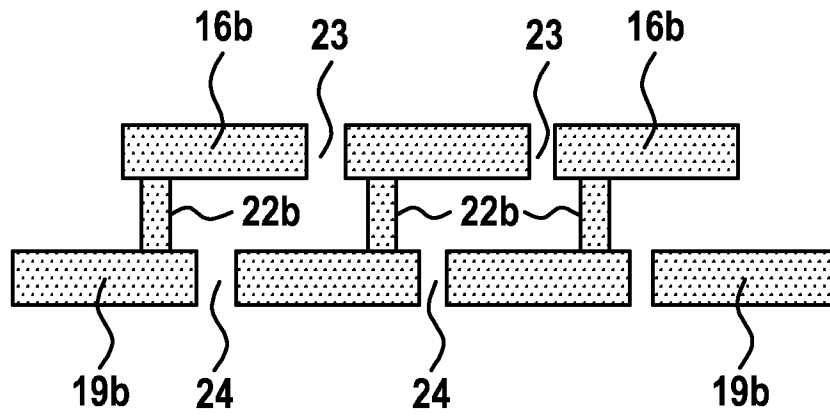


Fig. 8

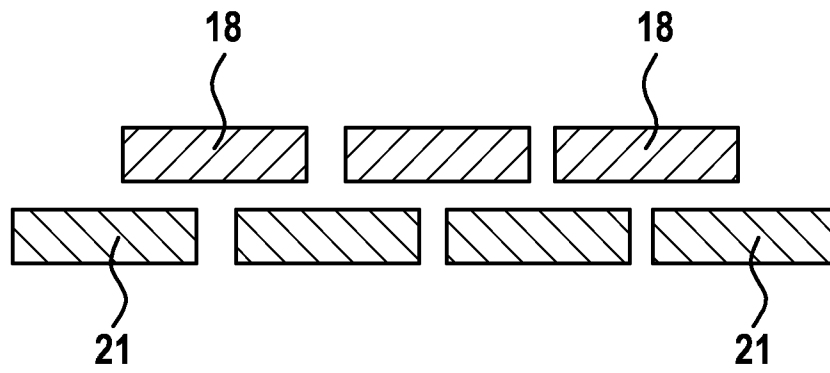


Fig. 9

