



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 227 033.2**
(22) Anmeldetag: **30.12.2014**
(43) Offenlegungstag: **30.06.2016**

(51) Int Cl.: **H01L 35/22** (2006.01)
H01L 35/28 (2006.01)
H01L 35/34 (2006.01)
C04B 35/56 (2006.01)
G01K 7/02 (2006.01)
G01K 13/04 (2006.01)

(71) Anmelder:
Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München, DE

(72) Erfinder:
Anton, Reiner, 14193 Berlin, DE; Renteria, Arturo Flores, 10715 Berlin, DE; Laux, Britta, 14059 Berlin, DE

(56) Ermittelte Stand der Technik:

DE	11 2011 104 153	T5
US	2010 / 0 031 993	A1
US	2010 / 0 055 492	A1
US	2011 / 0 240 081	A1
US	2013 / 0 061 605	A1
CN	101 143 789	A

BARSOUM, Michel W.: The MN+1AXN phases: a new class of solids; thermodynamically stable nanolaminates. In: *Progress in solid state chemistry*, Vol. 28, 2000, No. 1-4, S. 201-281. - ISSN 0079-6786

CHAPUT, L. [et al.]: Thermopower of the 312 MAX phases Ti₃SiC₂, Ti₃GeC₂, and Ti₃AlC₂. In: *Physical Review B*, Vol. 75, 2007, No. 3, 5 S. (035107). - ISSN 0163-1829

HETTINGER, J. D. [et al.]: Electrical transport, thermal transport, and elastic properties of M₂AlC (M=Ti, Cr, Nb, and V). In: *Physical Review B*, Vol. 72, 2005, No. 11, 6 S. (115120). - ISSN 0163-1829

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

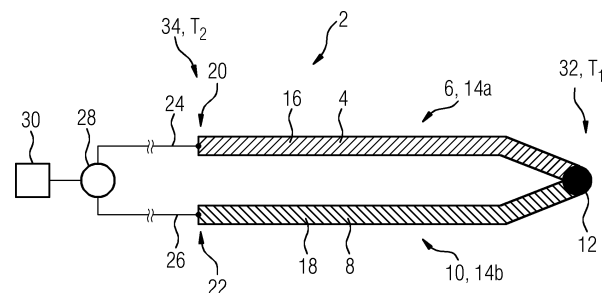
(54) Bezeichnung: **Thermoelement und Verfahren zum Aufbringen eines solchen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Thermoelement (2, 2a-e) mit einem ersten Leiter (4, 4a-c), bestehend aus einem ersten Leitermaterial (6, 6a, 6b), und einem zweiten Leiter (8, 8a-c), bestehend aus einem zweiten Leitermaterial (10, 10a, 10b), wobei der erste und der zweite Leiter (6, 6a, 6b), (10, 10a, 10b) an einer Kontaktstelle (12) elektrisch leitend miteinander verbunden und das erste Leitermaterial (6, 6a, 6b) und das zweite Leitermaterial (10, 10a, 10b) unterschiedlich sind.

Ein vorteilhaftes Thermoelement (2, 2a-e) wird erreicht, wenn zumindest ein Leitermaterial (6, 6a, 6b, 10, 10a, 10b) eine MAX-Phase (14, 14a-d) enthält.

Weiter betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Aufbringen eines solchen Thermoelements (2, 2a-e) auf eine Trägerfläche (36, 36a, 36b) sowie ein Bauteil (38, 38a-d) mit einer Trägerfläche (36, 36a, 36b).

Ein vorteilhaftes Verfahren zum Aufbringen eines solchen Thermoelements (2, 2a-e) und ein vorteilhaft messtechnisch instrumentiertes Bauteil (38, 38a-d) werden erreicht, sofern bei dem Verfahren zumindest ein Leiter (4, 4a-c, 8, 8a-c) des Thermoelements (2, 2a-e) unter Verwendung einer Beschichtungstechnik auf der Trägerfläche (36, 36a, 36b) ausgebildet wird und sofern das Bauteil (38, 38a-d) ein auf der Trägerfläche (36, 36a, 36b) angeordnetes Thermoelement (2, 2a-e) aufweist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Thermoelement mit einem ersten Leiter, bestehend aus einem ersten Leitermaterial, und einem zweiten Leiter, bestehend aus einem zweiten Leitermaterial, wobei der erste und der zweite Leiter an einer Kontaktstelle elektrisch leitend miteinander verbunden und das erste Leitermaterial und das zweite Leitermaterial unterschiedlich sind.

[0002] Weiter betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Aufbringen eines solchen Thermoelements auf eine Trägerfläche sowie ein Bauteil mit einer Trägerfläche.

[0003] Thermoelemente zur Ermittlung von Temperaturen bzw. Temperaturdifferenzen sind dem Fachmann bekannt. Ein Thermoelement weist üblicherweise zwei elektrische Leiter aus unterschiedlichen Leitermaterialien auf, die an einer Messstelle bzw. einer Kontaktstelle elektrisch leitend miteinander verbunden sind und an einer Vergleichsmessstelle jeweils ein Leiterende aufweisen.

[0004] Die Ermittlung der Temperatur an der Messstelle basiert auf der Messung einer temperaturabhängigen elektrischen Spannung an den Leiterenden. Diese elektrische Spannung resultiert aus der Umwandlung von thermischer Energie in elektrische Energie, welche sich gemäß dem Seebeck-Effekt aus einer Temperaturdifferenz zwischen der Temperatur der Messstelle und der Temperatur der Vergleichsmessstelle ergibt. Bei einer bekannten Temperatur der Vergleichsmessstelle, kann somit die Temperatur der Messstelle einfach ermittelt werden.

[0005] Als Leitermaterialien werden üblicherweise Metalle, Metalllegierungen oder Keramiken verwendet, die einen hohen Schmelzpunkt und weitgehend inerte Eigenschaften gegenüber oxidierenden Bestandteilen der Messatmosphäre aufweisen.

[0006] Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Thermoelemente bekannt.

[0007] Die US 703 698 3 B1 offenbart ein Thermoelement mit zwei Leitern bestehend aus zwei Metalllegierungen aus Rhodium und Platin, mit einem jeweiligen Anteil von 6 % bzw. 30 % Platin.

[0008] Die EP 174 639 7 A1 beschreibt ein Thermoelement zur Messung hoher Temperaturen mit nichtoxidischen keramischen Leitermaterialien, nämlich Molybdändisilicid (MoSi_2) und Siliciumcarbid (SiC).

[0009] Die DE 2008 007 740 B3 schlägt neben nichtoxidischer Keramik auch oxidische Keramiken, unter anderem Siciumdioxid (SiO_2), Titan(IV)-oxid (TiO_2), Zirkonoxid (ZrO_2), Hafniumoxid (HfO_2), als Leitermaterial vor.

[0010] Die DE 10 2011 054 803 A1 schlägt vor, einen ersten Leiter und einen zweiten Leiter des Thermoelements in Dickschichttechnik auf ein Substrat aufzubringen. Bei der Dichtsichttechnik werden Leiter als Leiterbahnen in Siebdrucktechnik auf ein keramisches Trägersubstrat aufgedruckt.

[0011] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein vorteilhaftes Thermoelement, ein vorteilhaftes Verfahren zum Aufbringen eines solchen Thermoelements und ein vorteilhaft messtechnisch instrumentiertes Bauteil vorzuschlagen.

[0012] Zudem liegt der Erfindung insbesondere die Aufgabe zugrunde, ein kostengünstiges, insbesondere ein kostengünstig herstellbares, Thermoelement vorzuschlagen.

[0013] Insbesondere liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine zuverlässige Temperaturmessung an Bauteilen unter besonders anspruchsvollen Randbedingungen zu ermöglichen.

[0014] Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß gelöst durch ein Thermoelement, ein Verfahren zum Aufbringung eines solchen Thermoelements sowie ein Bauteil der jeweils eingangs genannten Art mit den Merkmalen gemäß dem jeweiligen unabhängigen Patentanspruch.

[0015] Bei dem erfindungsgemäßen Thermoelement enthält zumindest ein Leitermaterial eines der Leiter eine MAX-Phase.

[0016] MAX-Phasen sind Karbide und/oder Nitride, die eine hexagonale Gitterstruktur und einen geschichteten Materialaufbau aufweisen können. Die Stoffverbindung einer MAX-Phase ist durch die generischen Formel $\text{M}_{n+1}\text{AX}_n$ abbildbar, wobei n einen Wert von 1, 2 oder 3 annehmen kann, M ein Übergangsmetall, A ein A-Gruppen Element, insbesondere ein Element der Gruppen IIIA, IVA, 13 oder 14, und X Kohlenstoff oder Wasserstoff sein kann (siehe bspw. http://en.wikipedia.org/wiki/MAX_phases).

[0017] Eine MAX-Phase kann eine Stoffverbindung nach der generischen Formel $\text{M}_{n+1}\text{AX}_n$ mit M, ausgewählt aus einer Gruppe bestehend aus Scandium (Sc), Titan (Ti), Vanadium (V), Chrom (Cr), Zirkon (Zr), Niob (Nb), Molybdän (Mo), Hafnium (Hf) und Tantal (Ta), A, ausgewählt aus einer Gruppe bestehend aus Aluminium (Al), Silizium (Si), Phosphor (P), Schwefel (S), Gallium (Ga), Germanium (Ge), Arsen (As), Cadmium (Cd), Indium (In), Zinn (Sn), Titan (Ti) und Blei (Pb), X, ausgewählt aus einer Gruppe bestehend aus Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N), sein, wobei n den Wert 1 oder 2 oder 3 aufweisen kann.

[0018] Insbesondere kann eine MAX-Phase eine Stoffverbindung, ausgewählt aus einer Gruppe be-

stehend aus Ti_2CdC , Sc_2InC , Ti_2AlC , Ti_2GaC , Ti_2InC , Ti_2TiC , V_2AlC , V_2GaC , Cr_2GaC , Ti_2AlN , Ti_2GaN , Ti_2InN , V_2GaN , Cr_2GaN , Ti_2GeC , Ti_2SnC , Ti_2PbC , V_2GeC , Cr_2AlC , Cr_2GeC , V_2PC , V_2AsC , Ti_2SC , Zr_2InC , Zr_2TiC , Nb_2AlC , Nb_2GaC , Nb_2InC , Mo_2GaC , Zr_2InN , Zr_2TiN , Zr_2SnC , Zr_2PbC , Nb_2SnC , Nb_2PC , Nb_2AsC , Zr_2SC , Nb_2SC , Hf_2InC , Hf_2TiC , Ta_2AlC , Ta_2GaC , Hf_2SnC , Hf_2PbC , Hf_2SnN , Hf_2SC , Ti_3AlC_2 , V_3AlC_2 , Ti_3SiC_2 , Ti_3GeC_2 , Ti_3SnC_2 , Ta_3AlC_2 , Ti_4AlN_3 , V_4AlC_3 , Ti_4GaC_3 , Ti_4SiC_3 , Ti_4GeC_3 , Nb_4AlC_3 und Ta_4AlC_3 , sein.

[0019] Die Erfindung geht insbesondere von der Erkenntnis aus, dass übliche Thermoelemente mit üblichen Leitermaterialien für Messanwendungen unter anspruchsvollen thermischen und/oder mechanischen Randbedingungen und/oder einer stark oxidierenden und/oder korrodierenden Messatmosphäre ungeeignet sein können. Beispielsweise können/kann die Temperaturbeständigkeit und/oder die Phasenstabilität und/oder die Thermoschockresistenz der verwendeten Leitermaterialien unter bestimmten Beanspruchungen nicht ausreichend sein. Somit kann es zu einer Beeinträchtigung des Leitermaterials bzw. dessen Leitfähigkeit, folglich zu einer Beeinträchtigung oder Zerstörung des Thermoelements und letztlich zu einer Beeinträchtigung oder einem Ausfall der Temperaturmessung kommen. Der Ersatz von unbrauchbar gewordenen Thermoelementen kann aufwändig sein und hohe Kosten verursachen. Dies gilt umso mehr, sofern hierfür Maschinen, Anlagen, oder Prozesse, bei denen die Temperaturmessung erfolgen soll, gestoppt und hiernach neu angefahren werden müssen.

[0020] Weiter geht die Erfindung von der Überlegung aus, dass MAX-Phasen – aufgrund ihrer speziellen chemischen und/oder physikalischen Materialeigenschaften – insbesondere als Leitermaterial bzw. als Bestandteil eines Leitermaterials eines Thermoelements herausragend geeignet sein können: Die Materialeigenschaften von MAX-Phasen, also der vorgenannten Karbide und/oder Nitride, vereinen vorteilhafte Attribute von Metallen und Keramiken. MAX-Phasen können insbesondere eine hohe Temperaturbeständigkeit und/oder Oxidationsbeständigkeit und/oder Korrosionsbeständigkeit und/oder Festigkeit aufweisen (siehe bspw. Barsoum, M.W., The Mn + 1AX_n Phases: a New Class of Solids; Thermodynamically Stable Nanolaminates. Prog. Solid State Chem 28, 201–281 (2000)).

[0021] Zudem sind MAX-Phasen aufgrund ihrer metallartigen Bindungsstruktur elektrisch und thermisch leitfähig, womit eine Grundvoraussetzung für die Verwendung als Leitermaterial in Thermoelementen erfüllt ist. Beispielsweise weisen einige der vorgenannten MAX-Phasen eine im Vergleich zu Titan höhere elektrische und thermische Leitfähigkeit auf.

[0022] Die vergleichsweise hohe Festigkeit der MAX-Phasen kann einhergehen mit einer vergleichsweise einfachen manuellen bzw. maschinellen Bearbeitbarkeit. Beispielsweise weisen einige MAX-Phasen eine im Vergleich zu Titan um etwa den Faktor drei höhere Festigkeit bei etwa vergleichbarer Dichte auf, wobei sie trotz dieser hohen Festigkeit manuell gesägt werden können. Durch die Verwendung von MAX-Phasen als Leitermaterial bzw. als Bestandteil des Leitermaterials kann demnach ein mechanisch hoch beanspruchbarer Leiter bei gleichzeitig leichter Bearbeitbarkeit erreicht werden.

[0023] Weiter weisen einige der MAX-Phasen eine besonders hohe Thermoschockresistenz auf. Unter der Thermoschockresistenz kann eine Widerstandsfähigkeit eines Materials gegenüber dem Einfluss eines hohen Temperaturgradienten über der Zeit verstanden werden. Durch die Verwendung von MAX-Phasen als Leitermaterial bzw. als Bestandteil eines Leitermaterials kann ein Thermoelement bereitgestellt werden, dass auch unter dem Einfluss besonders hoher Temperaturgradienten, wie sie beispielsweise bei der Schnellabschaltung und/oder dem Schnellstart von Gasturbinen auftreten können, zuverlässig eingesetzt werden kann.

[0024] Ferner weisen einige der MAX-Phasen eine hohe Resistenz gegenüber oxidierenden und/oder korrodierenden Einflüssen auf. Dadurch, dass das Leitermaterial eine solche MAX-Phase enthält bzw. aus einer solchen besteht, kann ein Thermoelement erreicht werden, das auch unter vorgenannten Einflüssen zuverlässig eingesetzt werden kann.

[0025] Zusammenfassend und vereinfacht ausgedrückt kann festgehalten werden, dass durch die Erfindung ein Leiter mit einer besonders hohen thermischen und/oder mechanischen und/oder chemischen Beanspruchbarkeit und folglich ein Thermoelement für besonders anspruchsvolle Messanwendungen erreicht werden kann, beispielsweise für Messanwendungen unter dem Einfluss einer hohen Temperatur, eines hohen Temperaturgradienten, einer stark oxidierenden und/oder korrodierenden Messatmosphäre und/oder einer hohen mechanischen Beanspruchung.

[0026] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird zumindest ein Leiter des erfindungsgemäßen Thermoelements unter Verwendung einer Beschichtungstechnik, insbesondere einer Dünnschichttechnik, auf der Trägerfläche ausgebildet.

[0027] Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass MAX-Phasen sich besonders vorteilhaft unter Verwendung einer Beschichtungstechnik zu Leitern, insbesondere Leiterbahnen, ausbilden lassen. Unter einer Beschichtungstechnik kann ein Prozess unter Verwendung einer physikalischen oder

chemischen Abscheidung und/oder Aufbringung verstanden werden, bei dem die MAX-Phase an bzw. auf der Trägerfläche abgeschieden und/oder aufgebracht wird und derart den Leiter ausbildet.

[0028] Durch die Ausbildung des Leiters unter Verwendung einer Beschichtungstechnik kann ein kompakter Aufbau des Thermoelements erreicht werden, was insbesondere für Messanwendungen mit beschränkten Platzverhältnissen vorteilhaft sein kann.

[0029] Durch die Verwendung einer Dünnschichttechnik kann ein besonders kompakt aufgebautes Thermoelement mit nochmals reduzierter Dicke erreicht werden.

[0030] Des Weiteren kann durch die Ausbildung des Leiters unter Verwendung einer Beschichtungstechnik bzw. als Schicht eine hoch beanspruchbare und dauerhafte Verbindung zwischen dem Thermoelement und der Trägerfläche erreicht werden. Ein unbeabsichtigtes Trennen des Thermoelements von der Trägerfläche kann derart vermieden werden.

[0031] Das erfindungsgemäße Bauteil weist ein auf der Trägerfläche angeordnetes erfindungsgemäßes Thermoelement auf. Das Bauteil kann ein Bauteil sein, das einer hohen thermischen und/oder mechanischen Beanspruchung und/oder einer oxidierenden und/oder korrodierenden Atmosphäre ausgesetzt ist.

[0032] Durch die Anordnung des erfindungsgemäßen Thermoelements auf der Trägerfläche des Bauteils kann eine besonders platzsparende Instrumentierung erreicht werden, bei der aufgrund der geringen Dicke des Thermoelements zudem eine Beeinträchtigung der Kontur des Bauteils und/oder eines umgebenden Bauraums vermieden wird. Dies kann von besonderem Vorteil sein, wenn das Bauteil ein Bauteil mit einer aero- oder fluiddynamischen Funktion ist, beispielsweise eine Turbinenschaufel, eine Tragfläche oder dergleichen. Somit kann durch die Anordnung des erfindungsgemäßen Thermoelements zur Temperaturmessung vermieden werden, dass die aero- oder fluiddynamischen Eigenschaften des Bauteils durch die Instrumentierung beeinträchtigt und folglich die Funktion des Bauteils eingeschränkt und/oder die Qualität der Temperaturmessung verfälscht werden.

[0033] Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich auch aus den abhängigen Ansprüchen. Die Weiterbildungen beziehen sich sowohl auf das erfindungsgemäße Thermoelement, das erfindungsgemäße Verfahren wie auch auf das erfindungsgemäße Bauteil.

[0034] Es ist denkbar, dass lediglich das erste Leitermaterial eine MAX-Phase enthält oder aus einer solchen besteht, wohingegen das zweite Leitermate-

rial des Thermoelements aus einem Metall, einer Metalllegierung oder einer Keramik besteht. Derart können an sich bekannte Leitermaterialien, wie Metalle und dergleichen, mit den vorgenannten MAX-Phasen in einem Thermoelement kombiniert werden.

[0035] In einer vorteilhaften Ausführungsform enthalten beide Leitermaterialien jeweils eine MAX-Phase. Derart können beide Leitermaterialien mit gleichen Prozessen hergestellt und die Leiter mit gleichen Prozessen, vorzugsweise unter Verwendung einer Beschichtungstechnik, ausgebildet werden. In solcher Weise kann einem erhöhten Herstellungsaufwand entgegengewirkt werden.

[0036] Eine besonders hohe Beständigkeit des Leiters bzw. der Leiter gegenüber einer oxidierenden Atmosphäre kann erreicht werden, wenn das erste und/oder das zweite Leitermaterial eine MAX-Phase, ausgewählt aus einer Gruppe bestehend aus Ti_2CdC , Sc_2InC , Ti_2AlC , Ti_2GaC , Ti_2InC , Ti_2TiC , V_2AlC , V_2GaC , Cr_2GaC , Ti_2GeC , Ti_2SnC , Ti_2PbC , V_2GeC , Cr_2AlC , Cr_2GeC , V_2PC , V_2AsC , Ti_2SC , Zr_2InC , Zr_2TiC , Nb_2AlC , Nb_2GaC , Nb_2InC , Mo_2GaC , Zr_2SnC , Zr_2PbC , Nb_2SnC , Nb_2PC , Nb_2AsC , Zr_2SC , Nb_2SC , Hf_2InC , Hf_2TiC , Ta_2AlC , Ta_2GaC , Hf_2SnC , Hf_2PbC , Hf_2SC , Ti_3AlC_2 , V_3AlC_2 , Ti_3SiC_2 , Ti_3GeC_2 , Ti_3SnC_2 , Ta_3AlC_2 , V_4AlC_3 , Ti_4GaC_3 , Ti_4SiC_3 , Ti_4GeC_3 , Nb_4AlC_3 und Ta_4AlC_3 – also eine karbidische MAX-Phase –, enthalten/enthält.

[0037] In einer weiteren Ausgestaltung enthält zumindest ein Leitermaterial eine MAX-Phase, ausgewählt aus einer Gruppe bestehend aus Cr_2AlC , Ti_2AlC , Ti_3AlC_2 und Ta_2AlC . Vorgenannte MAX-Phasen basieren auf vergleichsweise kostengünstigen und leicht verfügbaren Stoffen und sind mit einfachen Mitteln in ausreichend großen Mengen herstellbar. Ferner weisen sie eine hinreichende Oxidationsbeständigkeit auf.

[0038] Vorteilhafte Kombinationen aus einem ersten und einem zweiten Leitermaterial können sich insbesondere ergeben, wenn das erste Leitermaterial Cr_2AlC und das zweite Leitermaterial Ti_2AlC enthält oder, wenn das erste Leitermaterial Cr_2AlC und das zweite Leitermaterial Ti_3AlC_2 enthält oder, wenn das erste Leitermaterial Cr_2AlC und das zweite Leitermaterial Ta_2AlC enthält oder, wenn das erste Leitermaterial Ti_2AlC und das zweite Leitermaterial Ti_3AlC_2 enthält oder, wenn das erste Leitermaterial Ti_2AlC und das zweite Leitermaterial Ta_2AlC enthält oder, wenn das erste Leitermaterial Ti_3AlC_2 und das zweite Leitermaterial Ta_2AlC enthält.

[0039] Es ist vorteilhaft, wenn das erste und/oder das zweite Leitermaterial zu einem gewissen Volumen- oder Massenanteil, beispielsweise 50 Massenprozent, eine MAX-Phase enthalten/enthält und der verbleibende Anteil ein Metall, eine Metalllegierung

oder eine Keramik ist. Durch eine derartige Zusammensetzung des Leitermaterials können die thermischen und/oder chemischen und/oder physikalischen Materialeigenschaften des Leitermaterials auf besonders einfache Weise angepasst werden.

[0040] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung besteht zumindest ein Leitermaterial im Wesentlichen aus einer MAX-Phase. Derart kann auf ein Zufügen weiterer Stoffe verzichtet und eine besonders homogene Zusammensetzung des Leitermaterials erreicht werden.

[0041] In einer vorteilhaften Weiterbildung ist zumindest ein Leiter als eine Schicht, insbesondere als eine Dünnschicht mit einer Schichtdicke im Bereich von 10 µm bis 100 µm, ausgebildet. Durch die Ausbildung des Leiters als eine Schicht bzw. eine Dünnschicht, wird eine geringe thermische Trägheit des Leiters und folglich eine besonders kurze Ansprechzeit des Thermoelements erreicht. Derart kann das Thermoelement auch vorteilhaft zur präzisen Ermittlung von hohen Temperaturgradienten verwendet werden. Ferner kann das Thermoelement auf diese Weise ohne hohen Materialverbrauch hergestellt werden.

[0042] In einer vorteilhaften Ausführungsform sind der erste und der zweite Leiter jeweils an einem Leitende zum Anschluss an jeweils einen Messleiter vorbereitet. Die Messleiter können Leiter sein, die zu einem Anschluss an eine Spannungsmesseinheit vorbereitet sind. Derart kann die Vergleichsmessstelle an einer hinreichend von der Messstelle entfernten Position angeordnet und eine ausreichende Temperaturdifferenz zwischen diesen beiden Stellen, die bedingt durch das Messprinzip basierend auf dem Seebeck-Effekt notwendig ist, gewährleistet werden.

[0043] In einer bevorzugten Ausführungsform wird/ werden zumindest der Leiter des Thermoelements, dessen Leitermaterial eine MAX-Phase enthält, insbesondere beide Leiter des Thermoelements, unter Verwendung der Beschichtungstechnik ausgebildet. Derart kann ein besonders kostengünstiges, insbesondere ein kostengünstig herstellbares, Thermoelement erreicht werden.

[0044] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung wird der zumindest eine Leiter unter Verwendung eines Laserstrahls, d.h. durch Laserstrahlverdampfen – auch: Laserdeposition – ausgebildet. Dabei kann das Leitermaterial, das bevorzugt aus einer der MAX-Phasen besteht und beispielsweise als ein Pulver oder ein Festkörper vorliegt, in einer Vakuumkammer mit einer gepulsten Laserstrahlung mit einer hohen Intensität bestrahlt und durch den Energieeintrag der Laserstrahlung verdampft werden. Das derart verdampfte Leitermaterial kann an der Trägerfläche kondensieren und den Leiter, beispielsweise in Form einer Leiterbahn, ausbilden. Durch ein Steuern der An-

zahl der Laserpulse kann die Menge des aufzutragenden Leitermaterials und damit die Ausbildung des Leiters besonders genau dosiert werden. Somit kann durch die Verwendung des Laserstrahlverdampfens der Leiter besonders präzise ausgebildet werden.

[0045] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung wird der zumindest eine Leiter unter Verwendung eines Elektronenstrahls, d.h. durch Elektronenstrahlverdampfung, ausgebildet. Dabei kann das Leitermaterial, das bevorzugt aus einer der MAX-Phasen besteht und beispielsweise als Pulver oder Festkörper vorliegt, in einer Vakuumkammer mit einem Elektronenstrahl mit hoher Intensität bestrahlt und durch den Energieeintrag des Elektronenstrahls verdampft werden. Das derart verdampfte Leitermaterial kann an der Trägerfläche kondensieren und den Leiter, beispielsweise in Form einer Leiterbahn, ausbilden. Da durch die Verwendung des Elektronenstrahls besonders hohe Energiedichten erreicht werden können, können auf diese Weise auch Leitermaterialien mit besonders hohen Schmelzpunkten verdampft werden.

[0046] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung wird der zumindest eine Leiter unter Verwendung eines Sputterprozesses, d.h. durch Sputterdeposition, ausgebildet. Durch die dem Fachmann an sich bekannte Sputterdeposition können eine Vielzahl von Leitermaterialien, insbesondere auch MAX-Phasen, vorteilhaft auf der Trägerfläche abgeschieden und derart der Leiter ausgebildet werden.

[0047] In einer vorteilhaften Weiterbildung wird der zumindest eine Leiter mit einer Deckschicht bedeckt. Die Deckschicht kann eine physikalisch oder chemisch auf dem Leiter abgeschiedene Beschichtung sein. Derart kann der Leiter vor einer Beschädigung und/oder Beeinträchtigung durch chemische oder mechanische Einflüsse der Messumgebung geschützt werden.

[0048] Außerdem ist es vorteilhaft, wenn der zumindest eine Leiter auf einem Hochtemperaturbauteil, insbesondere auf einer Turbinenschaufel und/oder einem Brenneinsatz und/oder einer Hitzeschildplatte und/oder einem Führungringsegment, ausgebildet wird. Derart kann das Hochtemperaturbauteil besonders präzise, dauerhaft und zudem platzsparend instrumentiert werden.

[0049] In einer weiteren Ausführungsform wird der zumindest eine Leiter auf einer MCrAlY-Zwischenschicht einer Turbinenschaufel ausgebildet und mit einer Wärmedämmschicht bedeckt. Die MCrAlY-Zwischenschicht kann eine Beschichtung der Turbinenschaufel zum Schutz gegen oxidierende und/oder korrodierende Einflüsse sein. Durch die derartige Ausbildung des Leiters kann die Temperatur unterhalb der Wärmedämmschicht bzw. oberhalb der

MCrAlY-Zwischenschicht besonders präzise ermittelt werden.

[0050] Des Weiteren ist es vorteilhaft, wenn der zumindest eine Leiter auf einer Wärmedämmschicht einer Turbinenschaufel ausgebildet wird. Durch die derartige Ausbildung des Leiters kann die Temperatur an der Wärmedämmschicht besonders präzise ermittelt werden.

[0051] In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist das Thermoelement zumindest teilweise mit einer Deckschicht bedeckt. Die Deckschicht kann eine Deckschicht sein, die das Bauteil in dessen hoch beanspruchten Bereichen zumindest überwiegend bedeckt. Beispielsweise kann die Deckschicht eine Wärmedämmschicht einer Heißgaskomponente einer Verbrennungskraftmaschine sein.

[0052] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform weist das Bauteil eine mit den Leitern des Thermoelements verbundene Spannungsmesseinheit und einen mit der Spannungsmesseinheit verbundenen Funksender zur Übermittlung eines Messsignals auf. Die Spannungsmesseinheit kann eine Messeinheit sein, die zur Ermittlung der Thermospannung an den Leiterenden bzw. an den Enden der Messleiter – also an der Vergleichsmessstelle – und zum Generieren eines Messsignals vorbereitet ist. Der Funksender kann zur Übermittlung des Messsignals an eine abseits des Bauteils angeordnete Empfangseinheit vorbereitet sein. Durch die derartige Ausgestaltung ist es möglich, dass die Messsignale unter Vermeidung einer festen Verdrahtung übermittelt werden, was insbesondere für die Temperaturmessung an rotierenden Bauteilen vorteilhaft ist. Ein solches Bauteil kann beispielsweise eine mit dem erfindungsgemäßen Thermoelement instrumentierte Laufschaufel einer Turbine sein.

[0053] Besonders vorteilhaft ist die Verwendung des erfindungsgemäßen Thermoelements zur in-situ Ermittlung einer Temperatur an einem Hochtemperaturbauteil einer Gasturbine. Unter einer in-situ Ermittlung ist eine Ermittlung einer Messgröße im eingebauten Zustand des Bauteils und während des laufenden Betriebes der Gasturbine innerhalb eines Betriebsintervalls zu verstehen.

[0054] Durch die vorgenannten vorteilhaften Eigenschaften des erfindungsgemäßen Thermoelements und des Verfahrens zu dessen Aufbringung ist es möglich, die Temperatur eines solchen Hochtemperaturbauteils ortgenau, präzise, zuverlässig und über einen langen Zeitraum unter realen Betriebsbedingungen zu erfassen. Unter Verwendung eines Berechnungsmodells zur analytischen Ermittlung der Bauteillebensdauer kann in Abhängigkeit des derart mittels des erfindungsgemäßen Thermoelements ermittelbaren Temperaturverlaufs über der Zeit die ver-

bleibende Lebensdauer des Bauteils mit gesteigerter Genauigkeit berechnet werden. Derart können ein vorzeitiger Austausch von Turbinenschaufeln und/oder anderer Hochtemperaturbauteile vermieden und folglich Kosten und Aufwand eingespart werden.

[0055] Außerdem vorteilhaft ist die Verwendung des erfindungsgemäßen Thermoelements zur in-situ Ermittlung einer Temperatur an einem Hochtemperaturbauteil eines Ofens, einer Verbrennungskraftmaschine oder zur Ermittlung der Temperatur einer Schmelze, insbesondere einer metallischen oder keramischen Schmelze, oder dergleichen.

[0056] In einer weiteren Ausführungsform wird das erfindungsgemäße Thermoelement zur Ermittlung einer Temperatur im Bereich von 500°C bis 2000°C, insbesondere zwischen 1000°C und 2000°C und bevorzugt zwischen 1500°C und 2000°C verwendet. Durch die hohe Temperaturbeständigkeit der MAX-Phasen kann derart eine besonders zuverlässige Ermittlung der Temperatur auch bei solch hohen Temperaturen erreicht werden.

[0057] Die bisher gegebene Beschreibung vorteilhafter Ausgestaltungen enthält zahlreiche Merkmale, die in den einzelnen Unteransprüchen teilweise zu mehreren zusammengefasst wiedergegeben sind. Diese Merkmale können jedoch zweckmäßigerweise auch einzeln betrachtet und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammenfasst werden. Insbesondere sind diese Merkmale jeweils einzeln und in beliebiger geeigneter Kombination mit dem erfindungsgemäßen Thermoelement, dem erfindungsgemäßen Verfahren sowie dem erfindungsgemäßen Bauteil gemäß den unabhängigen Ansprüchen kombinierbar.

[0058] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung, sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Die Ausführungsbeispiele dienen der Erläuterung der Erfindung und beschränken die Erfindung nicht auf die darin angegebene Kombination von Merkmalen, auch nicht in Bezug auf funktionale Merkmale. Außerdem können dazu geeignete Merkmale eines jeden Ausführungsbeispiels auch explizit isoliert betrachtet, aus einem Ausführungsbeispiel entfernt, in ein anderes Ausführungsbeispiel zu dessen Ergänzung eingebracht und/oder mit einem beliebigen der Ansprüche kombiniert werden.

[0059] Es zeigen:

[0060] Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Thermoelements,

[0061] Fig. 2 eine schematische Schnittdarstellung eines Thermoelements,

[0062] Fig. 3 eine mit einem Thermoelement instrumentierte Leitschaukel für eine Turbine,

[0063] Fig. 4 eine mit einem Thermoelement instrumentierte Laufschaufel für eine Turbine,

[0064] Fig. 5 ein Ausschnitt eines Bauteils mit einer Zwischen- und einer Deckschicht und einem auf der Deckschicht angeordneten Thermoelement und

[0065] Fig. 6 ein Ausschnitt eines weiteren Bauteils mit einem zwischen einer Zwischen- und einer Deckschicht angeordneten Thermoelement.

[0066] Fig. 1 zeigt ein Thermoelement **2** mit einem ersten Leiter **4**, bestehend aus einem ersten Leitermaterial **6**, und einem zweiten Leiter **8**, bestehend aus einem zweiten Leitermaterial **10**, wobei der erste Leiter **4** und der zweite Leiter **8** an einer Kontaktstelle **12** elektrisch leitend miteinander verbunden und das erste Leitermaterial **6** und das zweite Leitermaterial **10** unterschiedlich sind.

[0067] Zumindest eines der Leitermaterialien **6**, **10** enthält eine MAX-Phase **14**. Genauer, enthalten im vorliegenden Ausführungsbeispiel das erste Leitermaterial **6** eine MAX-Phase **14a** und das zweite Leitermaterial **10** eine MAX-Phase **14b**.

[0068] Bezüglich der Bezeichnung von Merkmalen mit alphanumerischen Bezugszeichen gilt, dass gleiche Merkmale, die jedoch geringfügige Unterschiede aufweisen können, beispielsweise in einem Betrag bzw. einem Zahlenwert, in einer Abmessung, einer Position, einer Funktion und/oder einer chemischen Zusammensetzung oder dergleichen, mit der gleichen Bezugsziffer und einem bzw. einem anderen Bezugsbuchstaben gekennzeichnet sind. Wird die Bezugsziffer alleine ohne einen Bezugsbuchstaben erwähnt, so sind die entsprechenden Bauteile aller Ausführungsbeispiele angesprochen.

[0069] Der erste Leiter **4** und der zweite Leiter **8** sind jeweils als eine Schicht **16** bzw. **18**, d.h. unter Verwendung einer Beschichtungstechnik, ausgebildet.

[0070] Der erste Leiter **4** und der zweite Leiter **8** sind an jeweils einem Leiterende **20** bzw. **22** mit jeweils einem Messleiter **24** bzw. **26** elektrisch leitend verbunden.

[0071] Eine Spannungsmesseinheit **28** ist mit den Messleitern **24** und **26** verbunden und zur Messung einer zwischen den Messleitern **24** und **26** bzw. zwischen den Leiterenden **20** und **22** anliegenden elektrischen Spannung vorbereitet.

[0072] Die im Bereich der Messleiter **24**, **26** dargestellten Bruchkanten illustrieren, dass die Spannungsmesseinheit **28** um eine gewisse Distanz, insbesondere 50 cm bis 10 m, von dem Thermoelement **2** entfernt angeordnet sein kann.

[0073] Ein Funksender **30** ist mit der Spannungsmesseinheit **28** verbunden und zur drahtlosen Übermittlung eines Messsignals unter Verwendung der von der Spannungsmesseinheit **28** ermittelbaren elektrischen Spannung vorbereitet.

[0074] Zur Ermittlung einer Temperaturdifferenz zwischen einer Messstelle **32** mit einer Temperatur T_1 und einer Vergleichsmessstelle **34** mit einer Temperatur T_2 wird die Kontaktstelle **12** des Thermoelements **2** an der Messstelle **32** positioniert. Zudem werden die Leiterenden **20** und **22** an der Vergleichsmessstelle **34** positioniert bzw. an der Vergleichsmessstelle **34** mit den Messleitern **24** und **26** verbunden.

[0075] Unter Verwendung der Spannungsmesseinheit **28** wird eine elektrische Spannung, die zwischen den Leiterenden **20** und **22** bzw. zwischen den Messleitern **24** und **26** anliegt, ermittelt.

[0076] Diese elektrische Spannung resultiert aus der Umwandlung von thermischer Energie in elektrische Energie, welche sich gemäß dem Seebeck-Effekt, welcher dem Fachmann bekannt ist, aus der Temperaturdifferenz $\Delta T = T_1 - T_2$ zwischen der Temperatur T_1 der Messstelle **32** und der Temperatur T_2 der Vergleichsmessstelle **34** ergibt.

[0077] Bei einer bekannten Temperatur T_2 der Vergleichsmessstelle **34**, kann somit die Temperatur T_1 der Messstelle **32** gemäß der Bestimmungsgleichung $T_1 = \Delta T + T_2$ ermittelt werden.

[0078] Zudem wird der Wert der derart ermittelten Temperatur T_1 und/oder der Wert der Temperaturdifferenz ΔT unter Verwendung des Funksenders **30** drahtlos als ein Messsignal an einen Empfänger übermittelt. Es ist auch denkbar und vorteilhaft, dass lediglich der Wert der derart ermittelten elektrischen Spannung unter Verwendung des Funksenders **30** übermittelt und die Temperatur T_1 bzw. die Temperaturdifferenz ΔT empfängerseitig ermittelt wird.

[0079] Das Thermoelement **2** kann Bestandteil eines Sensors bzw. eines Temperaturmessfühlers sein, der eine Hülle, ein Gehäuse oder dergleichen aufweist, in die/das die Leiter **4** und **8**, insbesondere – mit Ausnahme der Kontaktstelle **12** – elektrisch isolierend und gegen Umwelteinflüsse geschützt, eingebettet sein können. Das Thermoelement **2** bzw. der vorgenannte Sensor kann zusammen mit den Messleitern **24**, **26**, der Spannungsmesseinheit **28** und dem Funk-

sender **30** Bestandteil einer Temperaturmeseinrichtung sein.

[0080] Die Beschreibungen nachfolgender Ausführungsbeispiele beschränken sich generell im Wesentlichen auf die Unterschiede zu dem Ausführungsbeispiel aus **Fig. 1**, auf das bezüglich gleich bleibender Merkmale und Funktionen verwiesen wird. Im Wesentlichen gleich bleibende Bauteile sind grundsätzlich mit den gleichen Bezugszeichen beziffert und nicht erwähnte Merkmale sind in den folgenden Ausführungsbeispielen übernommen, ohne dass sie erneut beschrieben sind.

[0081] **Fig. 2** zeigt eine schematische Schnittdarstellung eines Thermoelements **2a**, das auf einer Trägerfläche **36** aufgebracht ist. In **Fig. 2** sind insbesondere die als Schichten **16a** und **18a** ausgebildeten Leiter **4a** und **8a** ersichtlich.

[0082] Die Trägerfläche **36** ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel eine Oberfläche eines Bauteils **38**.

[0083] Die Leiter **4a** und **8a** sind mit einer Deckschicht **40** bedeckt. Die Deckschicht **40** ist elektrisch isolierend und dient dem Schutz der Leiter **4a**, **8a** bzw. des Thermoelements **2a** gegenüber einem ungewollten Einfluss aus einer Messumgebung **42**.

[0084] Die Leiter **4a**, **8a** bzw. die Schichten **16a**, **18a** sind als Dünnschichten **44** und **46** ausgebildet, die jeweils eine Schichtdicke d_1 bzw. d_2 von etwa $10 \mu\text{m}$ aufweisen.

[0085] Zum Aufbringen des Thermoelements **2a** auf die Trägerfläche **36** des Bauteils **38** werden die Leiter **4a** und **8a** unter Verwendung einer Beschichtungstechnik ausgebildet.

[0086] Genauer, werden die Leiter **4a** und **8a** unter Verwendung eines Laserstrahls, d.h. durch Laserstrahlverdampfen – auch: Laserdeposition – ausgebildet. Dabei werden die Leitermaterialien **6a**, **10a** in einer Vakuumkammer mit einer gepulsten Laserstrahlung mit einer hohen Intensität bestrahlt und durch den Energieeintrag der Laserstrahlung verdampft. Die derart verdampften Leitermaterialien **6a**, **10a** kondensieren an der Trägerfläche **36** des Bauteils **38** und bilden die Leiter **4a** und **8a** aus.

[0087] Zudem werden die Leiter **4a** und **8a** mit der Deckschicht **40** bedeckt. Die Deckschicht **40** kann unter Verwendung einer Beschichtungstechnik, beispielsweise einer physikalischen oder chemischen Abscheidung, einer Lacktechnik oder dergleichen aufgebracht werden.

[0088] Das Leitermaterial **6a** besteht im Wesentlichen aus der MAX-Phase **14c**, welche Cr_2AlC ist.

Das Leitermaterial **10a** besteht im Wesentlichen aus der MAX-Phase **14d**, welche Ti_2AlC ist.

[0089] **Fig. 3** zeigt ein Bauteil **38a** mit einer Trägerfläche **36a**, auf welcher ein Thermoelement **2b** angeordnet ist.

[0090] Das Bauteil **38a** ist eine Leitschaufel **48** für einen Leitapparat einer Turbine, insbesondere einer Gasturbine.

[0091] Die Leitschaufel **48** weist beidseits eine Befestigungseinheit **50**, **52** zur Befestigung der Leitschaufel **48** im Leitapparat bzw. in der Turbine auf.

[0092] Das Thermoelement **2b** ist an einer Messstelle **32a** mit einer Temperatur T_3 auf der Trägerfläche **36a**, die durch die Oberfläche der Leitschaufel gebildet ist, angeordnet.

[0093] Die Leiter **4b** und **8b** des Thermoelements **2b** sind mittels einer Beschichtungstechnik auf die Trägerfläche **36a** der Leitschaufel **48** aufgebracht.

[0094] Das Leitermaterial **6b** besteht im Wesentlichen aus Ti_3AlC_2 , das Leitermaterial **10b** im Wesentlichen aus Ta_2AlC .

[0095] Die Leiter **4b** und **8b** des Thermoelements **2b** sind mit den Messleitern **24a** und **26a** elektrisch leitend verbunden. Die Leiter **4b**, **8b** sind im Bereich der Messstelle **32a** mäanderförmig, wobei generell auch andere Formgebungen, beispielsweise die in **Fig. 1** dargestellte, der Leiter **4** und **8** im Bereich der Kontaktstelle **12** denkbar sind. Die Messleiter **24a**, **26a** verlaufen zu einer – nicht detailliert dargestellten – Vergleichsmessstelle **34a** mit einer Temperatur T_4 .

[0096] Eine Temperaturdifferenz zwischen der Temperatur T_3 der Messstelle **32a** und der Temperatur T_4 der Vergleichsmessstelle **34a** wird auf die im Ausführungsbeispiel **Fig. 1** beschriebene Weise ermittelt.

[0097] Diese Ermittlung kann besonders vorteilhaft im eingebauten Zustand der Leitschaufel **48** und während eines Betriebs der Turbine, d.h. in-situ, erfolgen. Ein Funksender **30** zur Übermittlung eines Messsignals, wie in **Fig. 1** dargestellt, ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel nicht zwingend notwendig. Da die Leitschaufel **48** keine Relativbewegungen zur Gasturbine ausführt, ist eine ortsfeste Verdrahtung zwischen der Messstelle und einem Messempfänger, der beispielsweise an einer Leitwarte der Turbine angeordnet sein kann, möglich.

[0098] **Fig. 4** zeigt ein weiteres Bauteil **38b** mit einer Trägerfläche **36b**, wobei auf der Trägerfläche **36b** ein Thermoelement **2c** angeordnet ist.

[0099] Das Bauteil **38b** ist eine Laufschaufel **54** für einen Turbinenläufer einer Turbine, insbesondere einer Gasturbine.

[0100] Die Laufschaufel **54** weist eine Befestigungseinheit **56** zur Befestigung der Laufschaufel **54** am Turbinenläufer der Turbine auf.

[0101] Das Thermoelement **2c** ist an einer Messstelle **32b** mit einer Temperatur T_5 auf der Trägerfläche **36b**, die durch die Oberfläche der Laufschaufel **54** gebildet ist, angeordnet.

[0102] Die Leiter **4c** und **8c** des Thermoelements **2c** sind mittels einer Beschichtungstechnik auf die Trägerfläche **36b** der Laufschaufel **54** aufgebracht.

[0103] Es ist aber auch denkbar und vorteilhaft, dass die Leiter **4** und **8** als Schichten auf einem Trägersubstrat ausgebildet werden, beispielsweise auf einer Folie oder dergleichen, und dass das Trägersubstrat hiernach auch die Trägerfläche **36b** aufgebracht wird, beispielsweise durch eine Klebetechnik oder dergleichen.

[0104] Das Leitermaterial **6c** besteht im Wesentlichen aus Cr_2AlC , das Leitermaterial **10c** im Wesentlichen aus Ti_3AlC_2 .

[0105] Die Leiter **4c** und **8c** des Thermoelements **2c** sind an den Leiterenden **20c**, **22c** mit den Messleitern **24b** und **26b** elektrisch leitend verbunden. Die Messleiter **24b**, **26b** verlaufen in radialer Richtung zum Schaufelfuß **58** der Laufschaufel **54** und sind an einer Vergleichsmessstelle **34b**, welche eine Temperatur T_6 aufweist, mit zwei weiteren Messleitern **24c**, **26c** verbunden.

[0106] Zudem ist eine Spannungsmesseinheit **28a** mit den Messleitern **24c** und **26c**, also mittelbar mit den Messleitern **24b**, **26b** und den Leitern **4c** und **8c**, verbunden. Die Spannungsmesseinheit **28a** ist zur Ermittlung einer Spannung zwischen den Messleitern **24c** und **26c** vorbereitet.

[0107] Ein Funksender **30a** ist mit der Spannungsmesseinheit **28** verbunden und zur drahtlosen Übermittlung eines Messsignals **60** an einen Empfänger **62**, der beispielsweise in einer Leitwarte der Turbine angeordnet sein kann, vorbereitet.

[0108] Eine Temperaturdifferenz zwischen der Temperatur T_5 der Messstelle **32b** und der Temperatur T_6 der Vergleichsmessstelle **34b** wird auf die im Ausführungsbeispiel **Fig. 1** beschriebene Art und Weise ermittelt.

[0109] Dabei kann die Temperatur der Vergleichsmessstelle **34b** beispielsweise unter Verwendung eines Drahtthermometers ermittelt werden.

[0110] Diese Ermittlung der Temperatur T_5 bzw. der Temperaturdifferenz zwischen den Temperaturen T_5 und T_6 kann besonders vorteilhaft im eingebauten Zustand der Laufschaufel **54** und während eines Betriebs der Turbine, d.h. in-situ, erfolgen. Dabei ist die Übermittlung des Messsignals **60** unter Verwendung des Funksenders **30a** besonders vorteilhaft, da die Laufschaufel **54** eine rotierende Bewegung ausführt und eine ortsfeste Verdrahtung zwischen der Messstelle **32b** und dem Empfänger **62** nicht ohne Weiteres technisch möglich ist.

[0111] **Fig. 5** zeigt einen Ausschnitt eines Bauteils **38c** mit einem Thermoelement **2d**. In **Fig. 5** ist insbesondere eine Art der Anordnung eines Thermoelements **2** auf bzw. an einem mehrschichtigen Bauteil illustriert.

[0112] Das Bauteil **38c** weist einen Grundwerkstoff **64**, eine Zwischenschicht **66** und eine Deckschicht **68** auf.

[0113] Das Thermoelement **2d** ist auf der Deckschicht **68** angeordnet. Der Grundwerkstoff **64** ist eine Titan-Legierung, eine Nickel-Superlegierung oder eine Wolfram-Molybdän-Legierung oder dergleichen.

[0114] Die Zwischenschicht **66** ist eine MCrAlY-Zwischenschicht **70**, die Nickel und/oder Chrom und Aluminium und Yttrium aufweist und sich durch eine besonders hohe Korrosions- und/oder Oxidationsfestigkeit auszeichnet.

[0115] Die Deckschicht **68** ist eine Wärmedämmschicht **72** – auch: thermal barrier coating oder TBC –, die einen besonders niedrigen Wärmeleitwert aufweist.

[0116] Der in **Fig. 5** schematisch gezeigte Schichtaufbau kann ein Aufbau einer Randschicht einer Heißgaskomponente einer Gasturbine, beispielsweise eines Brenneinsatzes, einer Hitzeschildplatte, eines Führungringsegments oder dergleichen, bevorzugt einer Turbinenschaufel sein.

[0117] Durch Anordnung des Thermoelements **2d** auf der Wärmedämmschicht **72** kann eine unmittelbare Messung der Oberflächentemperatur des Bauteils **38c** erfolgen. Dabei kann insbesondere ein Verlust des durch das Thermoelement **2d** ermittelbaren Messsignals als ein Indikator für das Überschreiten einer Grenztemperatur verwendet werden.

[0118] **Fig. 6** zeigt einen Ausschnitt eines weiteren Bauteils **38d** mit einem Thermoelement **2e**. In **Fig. 6** ist eine weitere Art der Anordnung eines Thermoelements **2** auf bzw. an einem mehrschichtigen Bauteil illustriert.

[0119] Das Bauteil **38d** weist einen Grundwerkstoff **64a**, eine Zwischenschicht **66a** und eine Deckschicht **68a** auf. Die Zwischenschicht **66a** ist eine MCrAlY-Zwischenschicht **70a**, die Deckschicht **68a** eine Wärmedämmschicht **72a**.

[0120] Das Thermoelement **2e** ist zwischen der Zwischenschicht **66a** und der Deckschicht **68a** bzw. zwischen der MCrAlY-Zwischenschicht **70a** und der Wärmedämmschicht **72a** angeordnet.

[0121] Durch Anordnung des Thermoelements **2e** auf der Zwischenschicht **66a** kann eine unmittelbare Ermittlung der Temperatur der Zwischenschicht **66a** erfolgen, wobei das Thermoelement **2e** durch die darüberliegende Deckschicht **68a** gegen einen schädlichen Einfluss aus einer Messumgebung geschützt wird. Dabei muss die Deckschicht **68a** nicht zwingend eine Wärmedämmschicht sein, sondern kann stattdessen eine Schicht mit einer Schutzwirkung gegen korrodierende und/oder oxidierende Einflüsse aus einer Messumgebung sein.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 7036983 B1 [0007]
- EP 1746397 A1 [0008]
- DE 2008007740 B3 [0009]
- DE 102011054803 A1 [0010]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- http://en.wikipedia.org/wiki/MAX_phases
[0016]
- Barsoum, M.W., The Mn + 1AX_n Phases: a New Class of Solids; Thermodynamically Stable Nanolaminates. Prog. Solid State Chem 28, 201–281 (2000) [0020]

Patentansprüche

1. Thermoelement (2, 2a–e) mit einem ersten Leiter (4, 4a–c), bestehend aus einem ersten Leitermaterial (6, 6a, 6b), und einem zweiten Leiter (8, 8a–c), bestehend aus einem zweiten Leitermaterial (10, 10a, 10b), wobei der erste und der zweite Leiter (6, 6a, 6b), (10, 10a, 10b) an einer Kontaktstelle (12) elektrisch leitend miteinander verbunden und das erste Leitermaterial (6, 6a, 6b) und das zweite Leitermaterial (10, 10a, 10b) unterschiedlich sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Leitermaterial (6, 6a, 6b, 10, 10a, 10b) eine MAX-Phase (14, 14a–d) enthält.

2. Thermoelement (2, 2a–e) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass beide Leitermaterialien (6, 6a, 6b, 10, 10a, 10b) jeweils eine MAX-Phase (14, 14a–d) enthalten.

3. Thermoelement (2, 2a–e) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Leitermaterial (6, 6a, 6b, 10, 10a, 10b) eine MAX-Phase (14, 14a–d), ausgewählt aus einer Gruppe bestehend aus Cr_2AlC , Ti_2AlC , Ti_3AlC_2 und Ta_2AlC , enthält.

4. Thermoelement (2, 2a–e) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Leitermaterial (6, 6a, 6b, 10, 10a, 10b) im Wesentlichen aus einer MAX-Phase (14, 14a–d) besteht.

5. Thermoelement (2, 2a–e) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Leiter (4, 4a–c, 8, 8a–c) als eine Schicht (16, 16a, 18, 18a), insbesondere als eine Dünnschicht (44, 46) mit einer Schichtdicke (d_1 , d_2) im Bereich von 10 μm bis 100 μm , ausgebildet ist.

6. Thermoelement (2, 2a–e) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Leiter (4, 4a–c) und der zweite Leiter (8, 8a–c) jeweils an einem Leiterende (20, 20c, 22, 22c) zum Anschluss an jeweils einen Messleiter (24, 24a–c, 26, 26a–c) vorbereitet sind.

7. Verfahren zum Aufbringen eines Thermoelements (2, 2a–e) nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6 auf eine Trägerfläche (36, 36a, 36b), **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Leiter (4, 4a–c, 8, 8a–c) des Thermoelements (2, 2a–e) unter Verwendung einer Beschichtungstechnik auf der Trägerfläche (36, 36a, 36b) ausgebildet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest der Leiter (4, 4a–c, 8, 8a–c) des Thermoelements (2, 2a–e), dessen Leitermaterial eine MAX-Phase (14, 14a–d) enthält, unter Verwendung der Beschichtungstechnik ausgebildet wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zumindest eine Leiter (4, 4a–c, 8, 8a–c) unter Verwendung eines Laser- und/oder eines Elektronenstrahls und/oder eines Sputterprozesses ausgebildet und/oder der zumindest eine Leiter (4, 4a–c, 8, 8a–c) mit einer Deckschicht (40, 68a) bedeckt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zumindest eine Leiter (4, 4a–c, 8, 8a–c) auf einem Hochtemperaturbauteil (38a–d), insbesondere auf einer Turbinenschaufel (48, 54) und/oder einem Brenneinsatz und/oder einer Hitzeschildplatte und/oder einem Führungsringsegment, ausgebildet wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zumindest eine Leiter (4, 4a–c, 8, 8a–c) auf einer MCrAlY-Zwischenschicht (70a) einer Turbinenschaufel (48, 54) ausgebildet und mit einer Wärmedämmschicht (72a) bedeckt wird.

12. Bauteil (38, 38a–d) mit einer Trägerfläche (36, 36a, 36b) gekennzeichnet durch ein auf der Trägerfläche (36, 36a, 36b) angeordnetes Thermoelement (2, 2a–e) nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 6.

13. Bauteil (38, 38a–d) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Thermoelement (2, 2a–e) zumindest teilweise mit einer Deckschicht (40, 68a) bedeckt ist.

14. Bauteil (38b) nach einem der Ansprüche 12 bis 13, gekennzeichnet durch eine mit den Leitern (4, 4c, 8, 8c) des Thermoelements (2c) verbundene Spannungsmesseinheit (28, 28a) und einen mit der Spannungsmesseinheit (28, 28a) verbundenen Funksender (30, 30a) zur Übermittlung eines Messsignals (60).

15. Thermoelement (2, 2a–e) nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 6, verwendet zur in-situ Ermittlung einer Temperatur (T_1 , T_3 , T_5) an einem Hochtemperaturbauteil (38a, 48, 38b, 54) einer Gasturbine.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

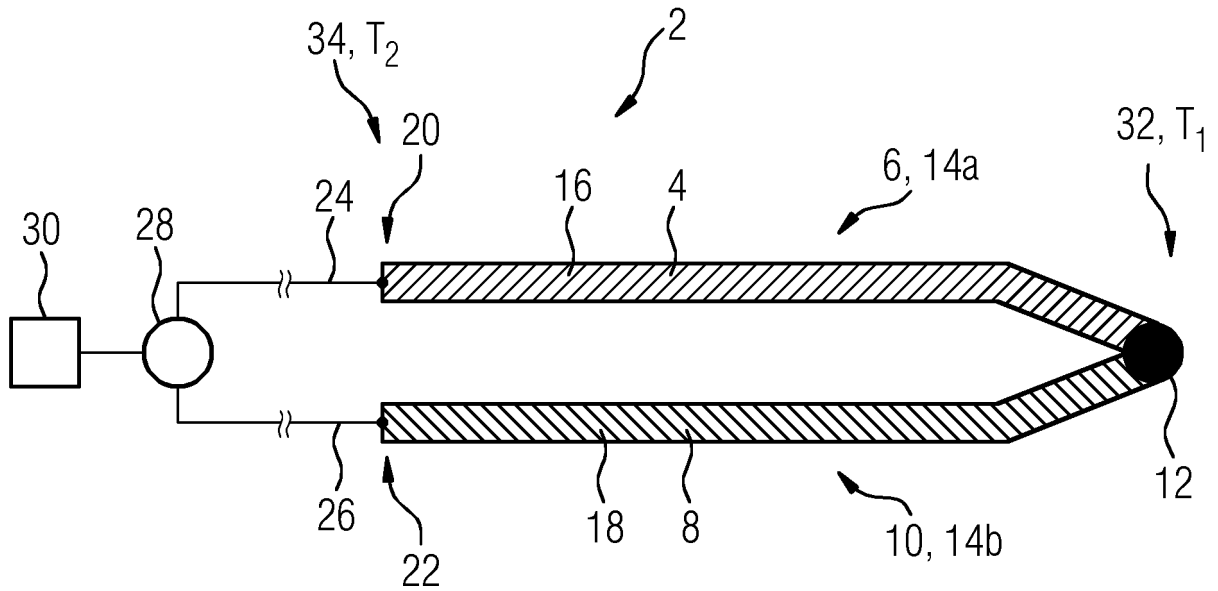


FIG 2

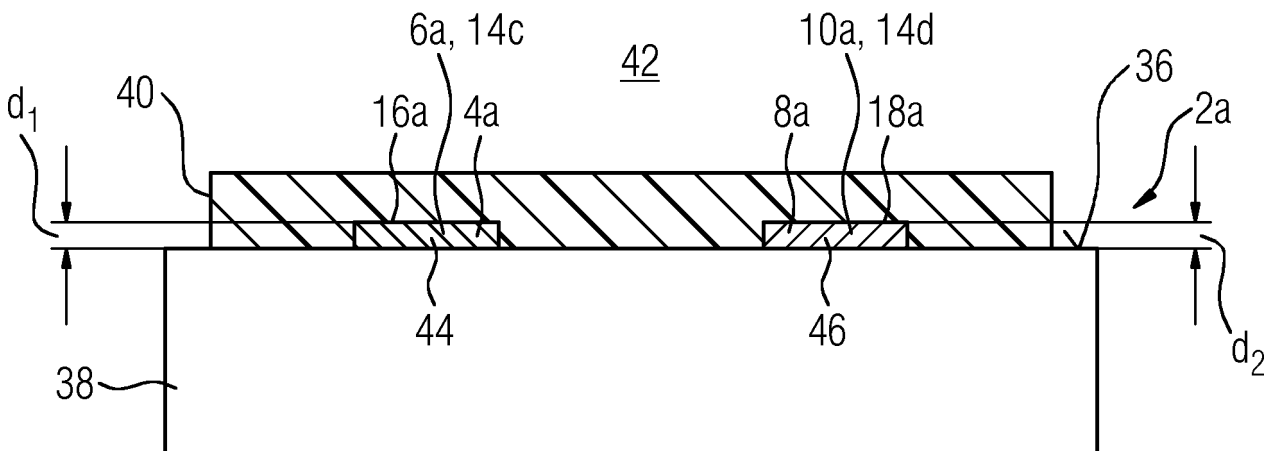


FIG 3

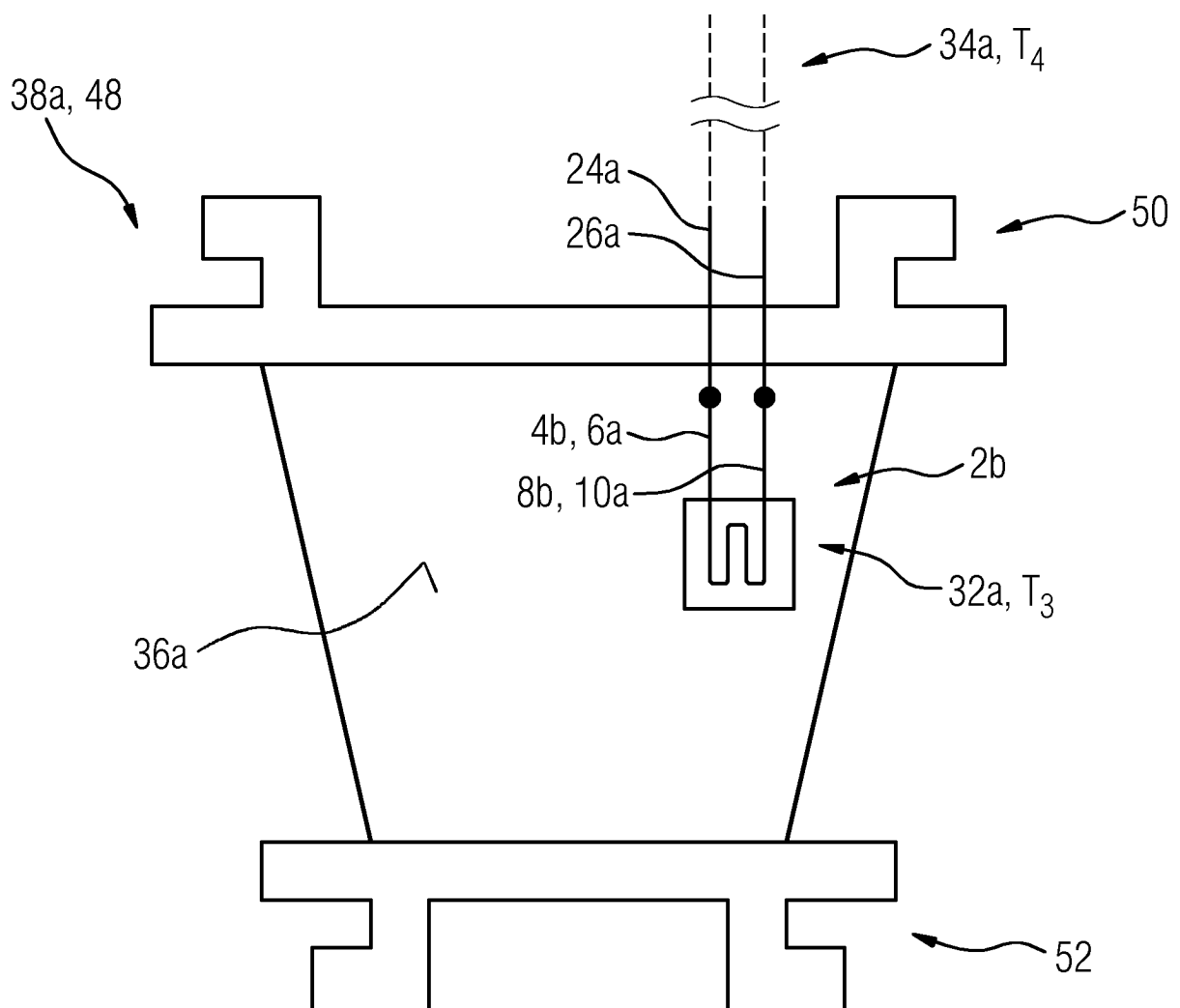


FIG 4

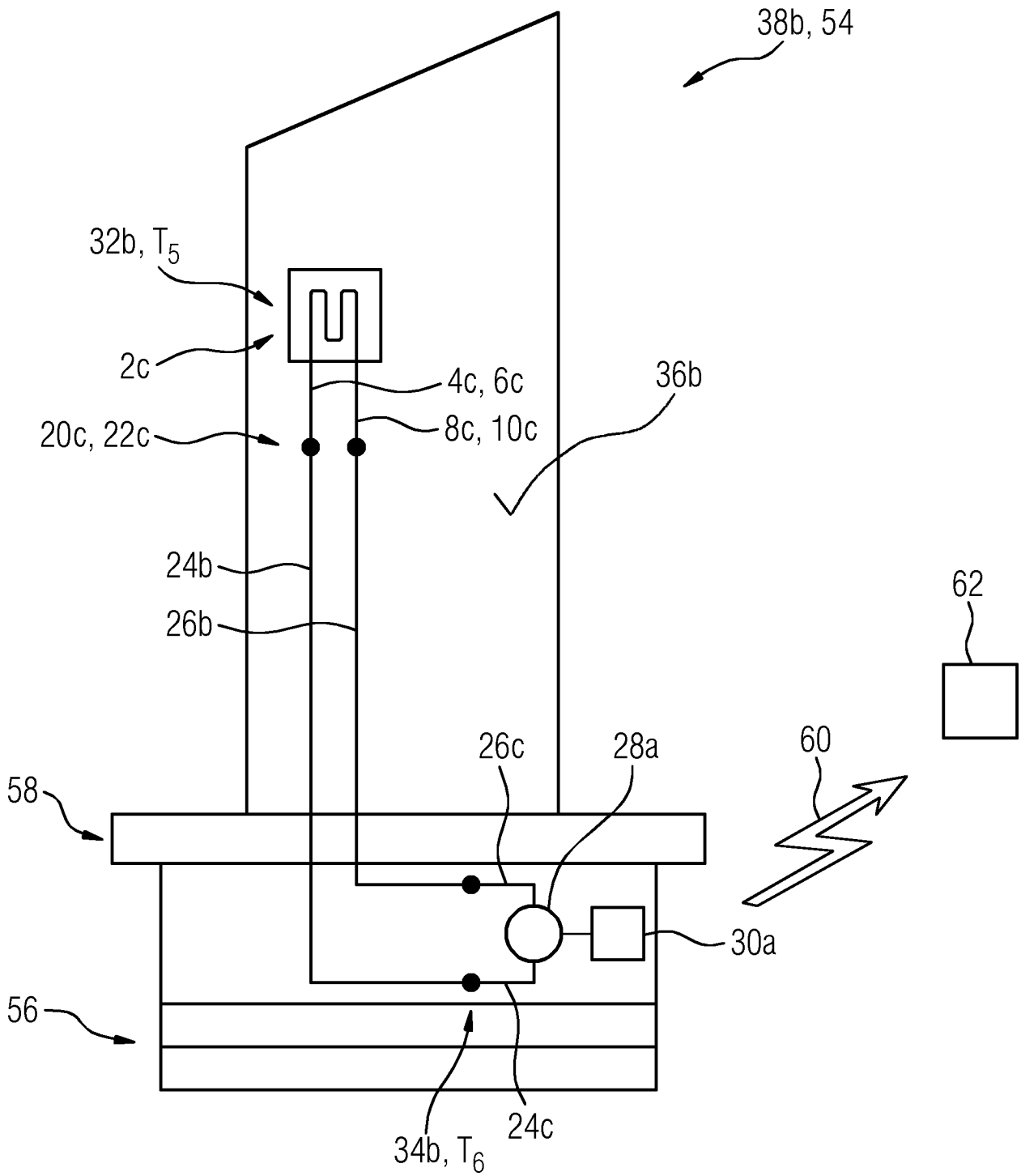


FIG 5

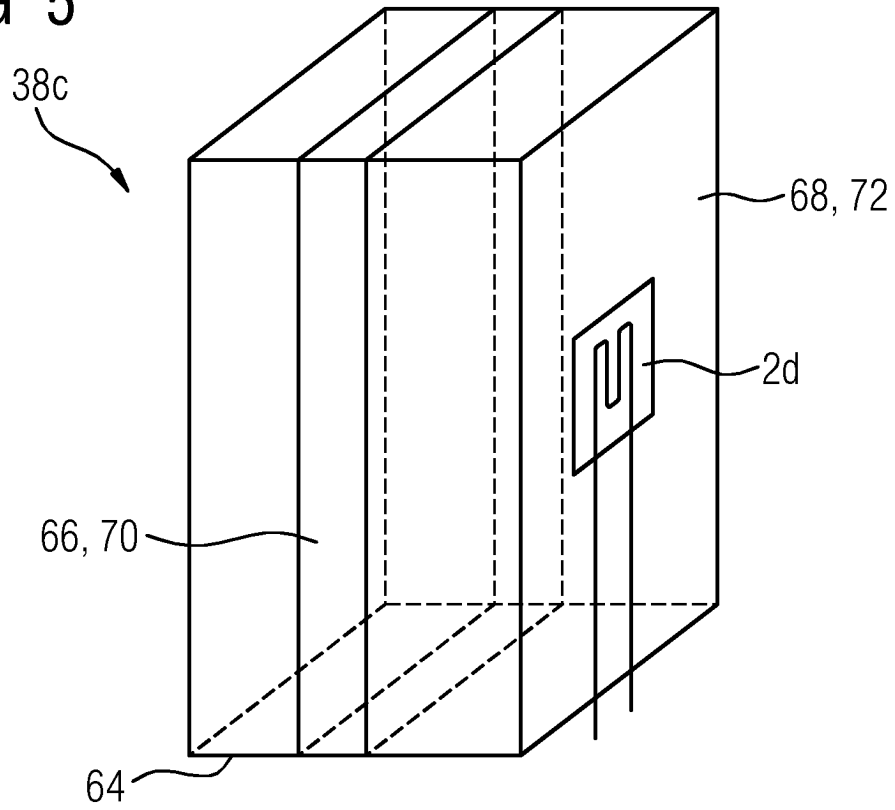


FIG 6

