



(10) **DE 10 2014 201 415 B3** 2015.03.19

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 201 415.8**  
(22) Anmeldetag: **27.01.2014**  
(43) Offenlegungstag: –  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **19.03.2015**

(51) Int Cl.: **G01K 7/02 (2006.01)**  
**G01K 15/00 (2006.01)**  
**H01L 35/32 (2006.01)**  
**H01L 35/02 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Bundesrepublik Deutschland, vertr. durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, dieses vertreten durch den Präsidenten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, DE**

(74) Vertreter:  
**GRAMM, LINS & PARTNER GbR, 38122 Braunschweig, DE**

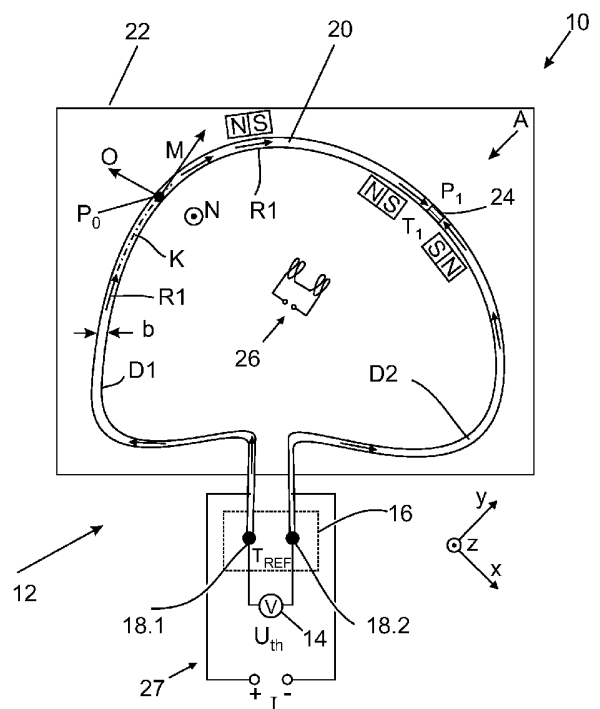
(72) Erfinder:  
**Krzysteczko, Patryk, Dr., 38159 Vechelde, DE;**  
**Schumacher, Hans Werner, Dr., 38159 Vechelde, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**EP 0 046 075 B1**  
**JP S57- 208 424 A**

(54) Bezeichnung: **Thermoelement und Verfahren zur orts aufgelösten Temperaturmessung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Thermoelement mit einem Leiter aus magnetisierbarem Leitermaterial, wobei das Leitermaterial einen Magneto-Seebeck-Koeffizienten ( $S$ ) hat, der von einer Magnetisierungsrichtung ( $R$ ) des Leitermaterials abhängt, und wobei der Leiter (20) so geformt ist, dass eine erste Domäne, in der das Leitermaterial eine erste Magnetisierungsrichtung ( $R$ ) hat, und eine zweite Domäne, in der das Leitermaterial eine von der ersten Magnetisierungsrichtung ( $R1$ ) verschiedene, zweite Magnetisierungsrichtung ( $R2$ ) hat, und die durch eine Domänenwand (24) von der ersten Domäne getrennt ist, ausbildbar ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Thermoelement und eine Temperaturmessvorrichtung mit diesem Thermoelement. Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zur orts aufgelösten Temperaturmessung.

**[0002]** Klassische Thermoelemente bestehen aus zwei miteinander verbundenen Metalldrähten. Aufgrund des Seebeck-Effekts entsteht eine Thermospannung, wenn die Kontaktstelle zwischen den beiden Metallen auf eine Temperatur gebracht wird, die sich von derjenigen Temperatur unterscheidet, die an den von der Verbindungsstelle abgewandten Enden der Leiter herrscht. Nachteilig an derartigen Thermoelementen ist, dass sie nur eine relativ geringe Ortsauflösung zulassen. Soll die Messstelle, an der die Temperatur gemessen wird, verändert werden, so ist es notwendig, das Thermoelement von der bisherigen Messstelle zu lösen und an der neuen Messstelle anzubringen. Das ist aufwändig. Aufgrund der räumlichen Ausdehnung des Kontaktbereichs zu den beiden Metallen ist es zudem nicht möglich, hohe Ortsauflösungen zu erreichen.

**[0003]** JP S 57-208424 a beschreibt ein Verfahren, um die Genauigkeit einer Temperaturmessung zu verbessern, indem ein mangelhafter Kontakt zwischen dem Temperaturmeselement und dem Gegenstand, dessen Temperatur bestimmt werden soll, erkannt wird, indem elektromotorische Kräfte, die bei einem solchen mangelhaften Kontakt auftreten, detektiert werden.

**[0004]** Die EP 0046075 B1 beschreibt ein ferromagnetisches Material vom Spin-Reorientierungstyp  $R_nCo_m$ , wobei R ein oder mehrere seltene Erdenelemente sind, das im gesinterten Zustand einen höheren Orientierungsgrad und besonders hohe Sättigungsmagnetisierungswerte aufweist. Der Temperaturbereich, in dem diese Eigenschaften auftreten, kann eingestellt werden.

**[0005]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Nachteile im Stand der Technik zu vermindern.

**[0006]** Die Erfindung löst das Problem durch ein Thermoelement mit einem Leiter aus magnetisierbarem Leitermaterial, wobei das Leitermaterial einen Magneto-Seebeck-Koeffizienten hat, der von einer Magnetisierungsrichtung des Leitermaterials abhängt, und wobei der Leiter so geformt ist, dass eine erste Domäne, in der Leitermaterial eine erste Magnetisierungsrichtung hat, und eine zweite Domäne, in der das Leitermaterial eine von der ersten verschiedene, zweite Magnetisierungsrichtung hat, und die durch eine Domänenwand von der ersten Domäne getrennt ist, ausbildbar ist.

**[0007]** Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung das Problem durch ein Verfahren zur orts aufgelösten Temperaturmessung mit den Schritten: (a) Anordnen eines erfindungsgemäßen Thermoelements im thermischen Kontakt mit einem zu vermessenden Prüfling, so dass ein erster Teil des Prüflings in thermischem Kontakt mit der ersten Domäne ist und ein zweiter Teil des Prüflings in thermischem Kontakt mit der zweiten Domäne ist, (b) Bringen eines Abschnitts des Thermoelements, der vom Ort der Domänenwand beabstandet ist, auf eine bekannte Temperatur, (c) Messen einer ersten Thermospannung, (d) Verändern des Orts der Domänenwand, so dass ein vom ersten Teil des Prüflings zumindest teilweise verschiedener dritter Teil des Prüflings in thermischem Kontakt mit der ersten Domäne ist und/oder ein vom zweiten Teil des Prüflings zumindest teilweise verschiedener vierter Teil des Prüflings in thermischem Kontakt mit der zweiten Domäne ist, (e) Wiederholen von Schritt (c), so dass eine zweite Thermospannung erhalten wird, und (f) Berechnen einer orts aufgelösten Temperatur aus der ersten Thermospannung und der zweiten Thermospannung.

**[0008]** Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass der Ort, an dem die Temperatur gemessen wird, durch Verschieben der Domänenwand variiert werden kann. Es ist damit nicht mehr notwendig, das Thermoelement vom Prüfling zu lösen, um die Temperatur an einer anderen Stelle zu messen.

**[0009]** Ein weiterer Vorteil ist, dass eine hohe Ortsauflösung bei der Temperaturmessung erreicht werden kann, indem nämlich der Leiter so gewählt wird, dass die Domänenwand nur einen kleinen Raumbereich einnimmt. Beispielsweise kann der Leiter als Nanodraht ausgebildet sein. Bei zusätzlich kleiner Längsausdehnung der Domänenwand lassen sich Temperaturmessungen mit einer Ortsauflösung im Mikrometerbereich durchführen.

**[0010]** Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter dem Leiter insbesondere eine Struktur verstanden, die elektrischen Strom mit einer hinreichend hohen elektrischen Leitfähigkeit zu leiten vermag, so dass eine auswertbare Thermospannung messbar ist. Es ist möglich und vorteilhaft, nicht aber notwendig, dass der Leiter ein metallischer Leiter ist oder eine elektrische Leitfähigkeit besitzt, die einem elektrischen Leiter entspricht. Insbesondere werden unter einem Leiter auch Strukturen verstanden, deren elektrische Leitfähigkeit der eines dotierten Halbleiters entspricht. Unter dem Merkmal, dass der Leiter so geformt ist, dass die erste und die zweite Domäne ausbildbar sind, wird insbesondere verstanden, dass solche Domänen ausbildbar sind, in denen das Leitermaterial unterschiedliche Magneto-Seebeck-Koeffizienten besitzt. Die resultierende Thermospannung hängt dann von der Temperatur im Bereich der Domänenwand ab.

**[0011]** Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass die beiden Richtungen an allen Punkten der Domäne in die gleiche Magnetisierungsrichtung bezüglich eines kartesischen Koordinatensystems zeigen. Insbesondere ist es möglich und gemäß einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen, dass der Leiter sich entlang einer Kurve im mathematischen Sinn erstreckt. In diesem Fall kann die erste Magnetisierungsrichtung in einer Orientierung bezüglich einer Tangente an die Kurve verlaufe und die zweite Magnetisierungsrichtung die entgegen gesetzte Orientierung haben. Es kann daher sogar vorkommen, dass die beiden Richtungen an zwei voneinander beabstandeten Stellen bezüglich eines kartesischen Koordinatensystems durch den gleichen Richtungsvektor charakterisiert werden können, in Bezug auf die Erstreckungsrichtung entlang der Kurve jedoch unterschiedliche Orientierung haben.

**[0012]** Vorzugsweise ist das magnetisierbare Leitermaterial ein ferromagnetisches Leitermaterial. Ferromagnetika besitzt in der Regel einen besonders großen Magneto-Seebeck-Koeffizienten, so dass eine besonders hohe Messgenauigkeit erreichbar ist.

**[0013]** Vorzugsweise ist der Leiter eine Schicht oder ein Teil einer Schicht, die auf einem Substrat ausgebildet ist. Schichtsysteme können mit starken Magnetisierungen hergestellt werden, so dass eine hohe Thermospannung und damit eine hohe Messgenauigkeit erreicht werden können.

**[0014]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist der Leiter auf einem Substrat ausgebildet und erstreckt sich entlang einer Kurve, wobei der Leiter so schmal ist, dass die lokale Magnetisierung entweder eine erste Magnetisierungsrichtung oder eine zweite Magnetisierungsrichtung einnimmt. In anderen Worten ist eine dritte Magnetisierungsrichtung, die sich von der ersten Magnetisierungsrichtung und der zweiten Magnetisierungsrichtung um mehr als einen Wert von beispielsweise  $15^\circ$  unterscheidet, aus physikalischen Gründen ausgeschlossen. Insbesondere verläuft die erste Magnetisierungsrichtung in Richtung einer Tangente an die Kurve und die zweite Magnetisierungsrichtung verläuft entgegen gesetzt zur ersten Magnetisierungsrichtung. In jedem Punkt der Kurve ist die zweite Magnetisierungsrichtung der ersten Magnetisierungsrichtung damit genau entgegen gesetzt. Ein derartiger Leiter hat senkrecht zur Erstreckungsrichtung entlang der Kurve eine geringe Ausdehnung, so dass eine hohe Ortsauflösung erreicht werden kann.

**[0015]** Besonders bevorzugt ist der Leiter ein Nanodraht. Unter einem Nanodraht wird insbesondere ein Leiter verstanden, der eine Breite von unter  $1 \mu\text{m}$  besitzt. Es lässt sich so eine besonders hohe Ortsauflösung erreichen.

**[0016]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform verläuft der Leiter mäanderförmig, so dass eine Temperaturmessung an einer Vielzahl an Punkten in einem Flächenabschnitt durch Verschieben der Domänenwand entlang des Leiters messbar ist.

**[0017]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist das Leitermaterial so gewählt, dass ein erster Magneto-Seebeck-Koeffizient für die erste Magnetisierungsrichtung zumindest das 1,1-fache, insbesondere das 1,2-fache, eines zweiten Magneto-Seebeck-Koeffizienten für die zweite Magnetisierungsrichtung beträgt. Je größer der Unterschied zwischen den beiden Magneto-Seebeck-Koeffizienten  $S_1$ ,  $S_2$  ist, desto größer ist die erreichbare Temperaturmessgenauigkeit. Hohe Unterschied zwischen den beiden Magneto-Seebeck-Koeffizienten  $S_1$ ,  $S_2$  werden in Riesenmagnetowiderstands-Schichtsystemen und Tunnelmagnetowiderstands-Schichtsystemen erreicht. Diese sind eine bevorzugte Ausführungsform für das Schichtsystem und sind aus dem Stand der Technik bekannt und werden daher hier nicht weiter erörtert.

**[0018]** Vorzugsweise ist der Leiter Teil eines Schichtsystems, wobei das Schichtsystem zudem eine ferromagnetische Referenzschicht und eine Kopplungsschicht, die zwischen dem Leiter und der zweiten Magnetschicht angeordnet ist, aufweist. Die nicht magnetische Kopplungsschicht kann zum Beispiel aus einem metallischen Material wie Kupfer, Gold oder Ruthenium bestehen, alternativ oder zusätzlich kann die Kopplungsschicht aus einem Isolator, beispielsweise einem Oxid wie Aluminiumoxid oder Magnesiumoxid, bestehen. Günstig ist es, wenn die Kopplungsschicht eine Schichtdicke von wenigen Nanometern besitzt. Die Kopplungsschicht hat vorzugsweise eine Schichtdicke von weniger als 5 Nanometer, insbesondere weniger als 1 Nanometer.

**[0019]** Besonders günstig ist es, wenn das Schichtsystem auf einem Substrat aufgebaut ist, dass sich entlang einer Substratebene erstreckt, wobei die Referenzschicht eine permanente Magnetisierung besitzt, die zumindest im Wesentlichen senkrecht zur Substratebene verläuft. Derartige Materialien besitzen eine senkrechte magnetische Anisotropie. Das Erreichen einer senkrechten magnetischen Anisotropie kann durch die Wahl der Schichtparameter wie der Schichtdicke und der Schichtfolge eingestellt werden, was aus dem Stand der Technik bekannt ist. Unter dem Merkmal, dass die Magnetisierung der Referenzschicht zumindest im Wesentlichen senkrecht zur Magnetebene verläuft, wird insbesondere verstanden, dass ein Winkel zwischen einem Magnetisierungsvektor der Magnetisierung der Referenzschicht und einem normalen Vektor auf die Substratebene höchstens  $15^\circ$  beträgt.

[0020] Eine erfindungsgemäße Temperaturmessvorrichtung umfasst neben einem erfindungsgemäßen Thermoelement eine Spannungsmessvorrichtung zum Messen einer Thermospannung, die von einer Temperatur am Ort der Domänenwand abhängt. Vorzugsweise besitzt die Temperaturmessvorrichtung zudem eine Referenztemperatur-Einstellvorrichtung, mittels der eine Referenz-Temperatur am Thermoelement einstellbar ist, so dass aus der Thermospannung und der Referenz-Temperatur die Temperatur am Ort der Domänenwand berechenbar ist.

[0021] Günstig ist es, wenn die Temperaturmessvorrichtung zudem eine Domänenwand-Verschiebevorrichtung besitzt, mittels der die Lage der Domänenwand entlang des Leiters verschiebbar ist. Hierbei handelt es sich beispielsweise um einen Magneten, mittels dem die Magnetisierung im Leiter von einer Magnetisierungsrichtung auf die andere Magnetisierungsrichtung geändert werden kann.

[0022] Die Domänenwand-Verschiebevorrichtung kann zudem eine Stromquelle umfassen, mittels der ein elektrischer Strom in den Leiter eingespeist werden kann. Durch Anlegen eines Strompulses geeigneter Stärke kann die Domänenwand um eine vorgegebene Strecke entlang des Leiters verschoben werden. Durch mehrfaches Anlegen eines Strompulses kann die Domänenwand auf beliebig vorgegebene Stellen positioniert werden. Die Stärke des Strompulses, die zum Verschieben der Domänenwand um eine vorgegebene Strecke notwendig ist, wird in Vorversuchen ermittelt.

[0023] Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren umfasst das Verändern des Orts der Domänenwand vorzugsweise ein Verändern eines Magnetfelds. Insbesondere erfolgt das Verändern des Orts der Domänenwand durch Anlegen eines externen Magnetfelds an den Leiter, so dass sich in der Umgebung des Magneten die Magnetisierung ändert und dadurch die Domänenwand verschiebt.

[0024] Alternativ oder zusätzlich umfasst das Verändern des Orts der Domänenwand ein Anlegen eines Strompulses an den Leiter, der so gewählt ist, dass sich die Domänenwand um eine vorgegebene Strecke entlang des Leiters verschiebt.

[0025] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert.

[0026] Dabei zeigt

[0027] Fig. 1 schematisch eine erfindungsgemäße Temperaturmessvorrichtung mit einem erfindungsgemäßen Thermoelement,

[0028] Fig. 2 die Temperaturmessvorrichtung und das Thermoelement gemäß Fig. 1, nachdem die Lage einer Domänenwand verschoben wurde,

[0029] Fig. 3 einen Querschnitt durch ein Schichtsystem, von dem der Leiter des Thermoelements ein Teil ist und

[0030] Fig. 4 ein alternatives Schichtsystem eines erfindungsgemäßen Thermoelements.

[0031] Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Temperaturmessvorrichtung 10, die ein erfindungsgemäßes Thermoelement 12 und eine Spannungsmessvorrichtung 14 umfasst. Die Temperaturmessvorrichtung 10 besitzt zudem eine Referenztemperatur-Einstellvorrichtung 16, mittels der zwei offene Enden 18.1, 18.2 eines Leiters 20 des Thermoelements 12 auf eine Referenz-Temperatur  $T_{REF}$  bringbar sind. Die Referenztemperatur-Einstellvorrichtung ist so ausgebildet, dass die Referenz-Temperatur  $T_{REF}$  mit hoher Genauigkeit bekannt ist und vorzugsweise konstant bleibt.

[0032] Das Thermoelement 12 umfasst ein Substrat 22, auf das der Leiter 20 aufgebracht ist. Die Herstellung des Leiters 20 ist weiter unten mit Bezug auf die Fig. 3 und Fig. 4 näher erläutert. Der Leiter erstreckt sich entlang einer Kurve K, die in einem Abschnitt des Leiters 20 als Strichpunktlinie dargestellt ist. Die Kurve K ist im mathematischen Sinne eine stetige Abbildung des Intervalls von 0 bis 1 auf den dreidimensionalen oder zweidimensionalen Raum.

[0033] Die Kurve K ist in aller Regel in jedem Punkt differenzierbar, so dass in jedem Punkt eine Tangente existiert. So existiert im Punkt  $P_0$  die Tangente M. Senkrecht zur Tangente M verläuft eine Orthogonale O. Senkrecht auf dem Substrat steht eine Normale N. In Magnetisierungsrichtung der Orthogonalen O hat der Leiter 20 eine Breite B, die gemäß einer bevorzugten Ausführungsform zumindest im Wesentlichen konstant ist. Hierunter ist zu verstehen, dass die lokale Breite von einer durchschnittlichen Breite um höchstens 15% abweicht. Es ist aber auch möglich, dass die Breite entlang der Kurve K schwankt, wenngleich dies in der Regel keinen Vorteil bringt.

[0034] Der Leiter 20 ist aus einem magnetisierbaren Leitermaterial aufgebaut und hat eine Breite b, die so klein ist, dass die Magnetisierung lediglich zwei Richtungen einnehmen kann. Die erste Magnetisierungsrichtung R1 weist in die gleiche Magnetisierungsrichtung wie die Tangente M, die zweite Magnetisierungsrichtung R2 ist der Tangente M genau entgegengesetzt. Die erste Magnetisierungsrichtung R1 ist einerseits durch Pfeile und andererseits schematisch durch angedeutete Elementarmagnete mit Nord- und Südpol angedeutet. Es ist zu erkennen, dass der Leiter 20 in Fig. 1 genau zwei Domänen besitzt. In der

ersten Domäne D1, die vom ersten offenen Ende **18.1** bis zu einer Domänenwand **24** verläuft, hat das Leitermaterial die erste Magnetisierungsrichtung R1. Im Bereich zwischen der Domänenwand **24** und dem zweiten offenen Ende **18.2** hat der Leiter **20** die zweite Magnetisierungsrichtung R2. Die Domänenwand **24** trennt beide Domänen D1, D2. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass die Magnetisierungsrichtungen R1 und R2 nicht mit Richtungen in einem kartesischen Koordinatensystem gleichgesetzt werden können.

**[0035]** Am Punkt der Domänenwand **24**, der in **Fig. 1** als  $P_1$  gekennzeichnet ist, herrscht eine Temperatur  $T_1$ . Weicht diese Temperatur  $T_1$  von der Temperatur  $T_{REF}$  ab, so entsteht eine Thermospannung  $U_{th}$ , für die

$$U_{th} = (S1 - S2)(T_1 - T_{REF}) \quad \text{Formel 1}$$

gilt. Darin sind S1 der Magneto-Seebeck-Koeffizient des Leitermaterials in der ersten Domäne D1 und S2 der Magneto-Seebeck-Koeffizient des Leitermaterials in der zweiten Domäne D2. S1 und S2 werden in Vorversuchen ermittelt. Bei Kenntnis der Referenztemperatur  $T_{REF}$  kann folglich die Temperatur  $T_1$  am Punkt  $P_1$  berechnet werden.

**[0036]** Um die Lage der Domänenwand **24** zu verändern, wird mittels einer schematisch eingezeichneten Domänenwand-Verschiebevorrichtung **26**, die beispielsweise ein Paar an Helmholtzspulen umfasst, ein externes Magnetfeld B angelegt. Dadurch verschiebt sich die Domänenwand **24** entlang des Leiters **20**. Die Domänenwand-Verschiebevorrichtung **26** kann zudem zwei Helmholtzspulenpaare umfassen, die senkrecht zueinander angeordnet sind, so dass durch anlegen unterschiedlich starker elektrischer Ströme an die Helmholtzspulenpaare beliebig in der Substratebene orientierte Magnetfelder aufgebaut werden können.

**[0037]** Eingezeichnet ist zudem eine zweite Domänenwand-Verschiebevorrichtung **27** in Form einer Stromquelle zum Abgeben eines Strompulses. Durch den Strompuls verschiebt sich die Domänenwand **24**. Die Stromquelle umfasst eine Ansteuereinheit, in der ein Kennfeld abgelegt ist, das jeder Strecke, um die die Domänenwand **24** verschoben werden soll, eine Dauer und/oder eine Stromstärke zuordnet, die in Vorversuchen ermittelt wurden. Durch Anlegen mehrerer Strompulse kann die Domänenwand entlang des Leiters an mehrere Messstellen positioniert werden.

**[0038]** **Fig. 2** zeigt den Zustand nach dem Verschieben der Domänenwand **24**, die sich nun am Punkt  $P_2$  befindet. Wenn eine Temperatur  $T_2$  an diesem Ort  $P_2$  von der Temperatur  $T_1$  am Ort  $P_1$  (vgl. **Fig. 1**) abweicht, so ändert sich die Thermospannung  $U_{th}$ .

**[0039]** **Fig. 3** zeigt einen Querschnitt durch das Thermoelement **12** in Bezug auf die Blickrichtung A (vgl. **Fig. 1**). Es ist zu erkennen, dass der Leiter **20** Teil eines Schichtsystems **28**, das neben dem Substrat **22** eine ferromagnetische Referenzschicht **30** und eine auf der Referenzschicht **30** angeordnete Kopplungsschicht **32** umfasst. Der Leiter **20** ist auf der Kopplungsschicht **32** aufgebracht.

**[0040]** Das Substrat **22** ist beispielsweise ein Einkristall, insbesondere ein Halbleiterkristall wie vorzugsweise Silizium oder mit einem Isolator beschichtetes Silizium. Alternative Substratmaterialien sind Siliziumnitrit und  $Al_2O_3$ .

**[0041]** Die Referenzschicht **30** ist aus einem ferromagnetischen Stoff aufgebaut, beispielsweise Kobalt, Eisen, Kobalt-Eisen-Legierungen, Kobalt-Eisen-Bor-Legierungen. Die nicht magnetische Kopplungsschicht **32** kann zum Beispiel aus einem metallischen Material, insbesondere Kupfer, Gold, Ruthenium oder einem ähnlichen Metall, aufgebaut sein. Alternativ kann die nichtmagnetische Kopplungsschicht aus einem Isolator, insbesondere einem Oxid, aufgebaut sein. Es ist auch möglich, dass die Kopplungsschicht aus zwei oder mehreren Teil-Schichten aufgebaut ist. Wenn das Schichtsystem eine magnetische Referenzschicht und eine Kopplungsschicht aufweist, ändert sich der Seebeck-Koeffizient des Leitermaterials besonders stark bei Änderung der relativen Magnetisierung der Kopplungsschicht **32**.

**[0042]** **Fig. 3** zeigt, dass die Referenzschicht **30** eine dauerhafte Magnetisierung  $R_{30}$  besitzt.

**[0043]** Diese Magnetisierungsrichtung  $R_{30}$  verläuft stets in einer Ebene, die parallel zu derjenigen Ebene verläuft, in der sich das Substrat **22** erstreckt. Wegen der geringen Breite b (vgl. **Fig. 1**) des Leiters **20** können sich im Leiter **20** nur zwei Magnetisierungsrichtungen einstellen, nämlich entweder parallel zur Magnetisierung  $R_{30}$  der Referenzschicht **30** oder antiparallel dazu. Der Leiter **20** wird so präpariert, dass er lediglich zwei Domänen D1 und D2 aufweist, die durch die Domänenwand **24** voneinander getrennt sind. Die Domänenwand hat eine Breite  $b_{DW}$ , die in der Regel kleiner als 100 Nanometer ist. Um lediglich zwei Domänen im Leiter **20** einzustellen, werden die Bereiche beidseits der Domänenwand **24** jeweils mit einem Magneten auf entgegen gesetzte Magnetisierungsrichtungen gebracht.

**[0044]** **Fig. 3** zeigt zudem schematisch einen Prüfling **23**, der in thermischem Kontakt mit dem Thermoelement **12** angeordnet ist. So kann am Prüfling **23** in der Substratebene, die senkrecht auf der Papierebene steht, ortsaufgelöst die Temperatur gemessen werden.

[0045] Fig. 4 zeigt eine alternative Ausführungsform eines Schichtsystems **28**. Es ist zu erkennen, dass die Referenzschicht **30** eine Magnetisierung  $R_{30}$  besitzt, die senkrecht zu der Substratebene E, die im vorliegenden Fall die x-y-Ebene ist, verläuft. Zudem besitzt der Leiter **20** eine Magnetisierung  $R_{20}$ , die senkrecht zur Substratebene E verläuft. Der Leiter **20** besitzt auch in diesem Fall lediglich zwei Magnetisierungsrichtungen, nämlich parallel oder antiparallel zur Magnetisierungsrichtung  $R_{30}$  der Referenzschicht **30**. Die senkrechte Magnetisierung der Referenzschicht **30** und des Leiters **20** kann durch Wahl eines Materialsystems mit einer ausreichend starken senkrechten magnetischen Anisotropie des Materials erreicht werden.

[0046] Bei einem in Fig. 4 gezeigten Schichtsystem, bei dem die Magnetisierungsrichtung  $R_{30}$  der Referenzschicht senkrecht zur Substratebene verläuft, ist die Breite  $b_{DW}$  der Domänenwand **24** kleiner als bei Schichtsystemen gemäß Fig. 3.

[0047] Die Referenzschicht **30** wie auch der Leiter **20** können zum Beispiel Kobalt-Platin-Multilagen, Kobalt-Palladium-Multilagen oder Eisen-Platin-Multilagen oder Eisen-Palladium-Multilagen oder Multilagen aus Legierungen, die Kobalt, Platin, Eisen und/oder Palladium enthalten, gebildet sein.

#### Bezugszeichenliste

<b>10</b>	Temperaturmessvorrichtung
<b>12</b>	Thermoelement
<b>14</b>	Spannungsmessvorrichtung
<b>16</b>	Referenztemperatur-Einstellvorrichtung
<b>18</b>	offenes Ende
<b>20</b>	Leiter
<b>22</b>	Substrat
<b>24</b>	Domänenwand
<b>26</b>	Domänenwand-Verschiebevorrichtung
<b>27</b>	Domänenwand-Verschiebevorrichtung
<b>28</b>	Schichtsystem
<b>30</b>	Referenzschicht
<b>32</b>	Kopplungsschicht
<b>A</b>	Blickrichtung
<b>b</b>	Breite
<b>B</b>	Magnetfeld
<b>E</b>	Substratebene
<b>K</b>	Kurve
<b>M</b>	Tangente
<b>N</b>	Normale
<b>O</b>	Orthogonale
<b>R1</b>	erste Magnetisierungsrichtung
<b>R2</b>	zweite Magnetisierungsrichtung
<b>S</b>	Magneto-Seebeck-Koeffizient
<b>T<sub>REF</sub></b>	Referenz-Temperatur
<b>U<sub>th</sub></b>	Thermospannung

#### Patentansprüche

1. Thermoelement mit
  - (a) einem Leiter (**20**) aus magnetisierbarem Leitermaterial,
  - (b) wobei das Leitermaterial einen Magneto-Seebeck-Koeffizienten (S) hat, der von einer Magnetisierungsrichtung (R) des Leitermaterials abhängt, und
  - (c) wobei der Leiter (**20**) so geformt ist, dass
    - eine erste Domäne, in der das Leitermaterial eine erste Magnetisierungsrichtung (R1) hat, und
    - eine zweite Domäne, in der das Leitermaterial eine von der ersten Magnetisierungsrichtung (R1) verschiedene, zweite Magnetisierungsrichtung (R2) hat, und die durch eine Domänenwand (**24**) von der ersten Domäne getrennt ist, ausbildbar sind.
2. Thermoelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Leiter (**20**)
  - auf einem Substrat (**22**) ausgebildet ist,
  - sich entlang einer Kurve (K) erstreckt und
  - so schmal ist, dass die lokale Magnetisierung jenseits der Domänenwand (**24**) entweder die erste Magnetisierungsrichtung (R1) oder die zweite Magnetisierungsrichtung (R2) einnimmt.
3. Thermoelement nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Magneto-Seebeck-Koeffizient ( $S_1$ ) für die erste Magnetisierungsrichtung (R1) zumindest das 1, 1-fache des zweiten Magneto-Seebeck-Koeffizienten ( $S_2$ ) für die zweite Magnetisierungsrichtung (R2) beträgt.
4. Thermoelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass
  - der Leiter (**20**) Teil eines Schichtsystems (**28**) ist, wobei das Schichtsystem (**28**) zudem eine ferromagnetische Referenzschicht (**30**) und eine Kopplungsschicht (**32**), die zwischen dem Leiter (**20**) und der ferromagnetischen Referenzschicht (**30**) angeordnet ist, aufweist.
5. Thermoelement nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass
  - das Schichtsystem (**28**) auf einem Substrat (**22**) aufgebracht ist, das sich entlang einer Substratebene erstreckt, und dass
  - die Referenzschicht (**30**) eine permanente Magnetisierung besitzt, die zumindest im Wesentlichen senkrecht zur Substratebene verläuft.
6. Temperaturmessvorrichtung mit
  - (i) einem Thermoelement (**12**) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
  - (ii) einer Spannungsmessvorrichtung (**14**) zum Messen einer Thermospannung ( $U_{th}$ ), die von einer Temperatur am Ort der Domänenwand (**24**) abhängt.

7. Temperaturmessvorrichtung nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch

- (iii) eine Referenztemperatur-Einstellvorrichtung (**16**) zum Einstellen einer Referenztemperatur ( $T_{\text{Ref}}$ ) an zumindest einem Teil des Thermoelements (**12**), so dass die Temperatur am Ort der Domänenwand (**24**) aus der Referenztemperatur ( $T_{\text{Ref}}$ ) und der Thermospannung ( $U_{\text{th}}$ ) berechenbar ist, und/oder
- (iv) eine Domänenwand-Verschiebevorrichtung (**26**), mittels der eine Lage der Domänenwand (**24**) entlang des Leiters (**20**) verschiebbar ist.

8. Verfahren zur orts aufgelösten Temperaturmessung, mit den Schritten:

- (a) Anordnen eines Thermoelements (**12**) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 in thermischem Kontakt mit einem zu vermessenden Prüfling, so dass
  - ein erster Teil des Prüflings in thermischem Kontakt mit der ersten Domäne ist und
  - ein zweiter Teil des Prüflings in thermischem Kontakt mit der zweiten Domäne ist,
- (b) Bringen eines Abschnitts des Thermoelements (**12**), der vom Ort der Domänenwand (**24**) beabstandet ist, auf eine bekannte Temperatur,
- (c) Messen einer ersten Thermospannung ( $U_{\text{th1}}$ ),
- (d) Verändern des Orts der Domänenwand (**24**), so dass
  - ein vom ersten Teil des Prüflings zumindest teilweise verschiedener dritter Teil des Prüflings in thermischem Kontakt mit der ersten Domäne ist und/oder
  - ein vom zweiten Teil des Prüflings zumindest teilweise verschiedener vierter Teil des Prüflings in thermischem Kontakt mit der zweiten Domäne ist,
- (e) Wiederholen von Schritt (c), so dass eine zweite Thermospannung ( $U_{\text{th2}}$ ) erhalten wird, und
- (f) Berechnen einer orts aufgelösten Temperatur aus der ersten Thermospannung ( $U_{\text{th1}}$ ) und der zweiten Thermospannung ( $U_{\text{th2}}$ ).

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verändern des Orts der Domänenwand (**24**) ein Verändern eines Magnetfeldes umfasst.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

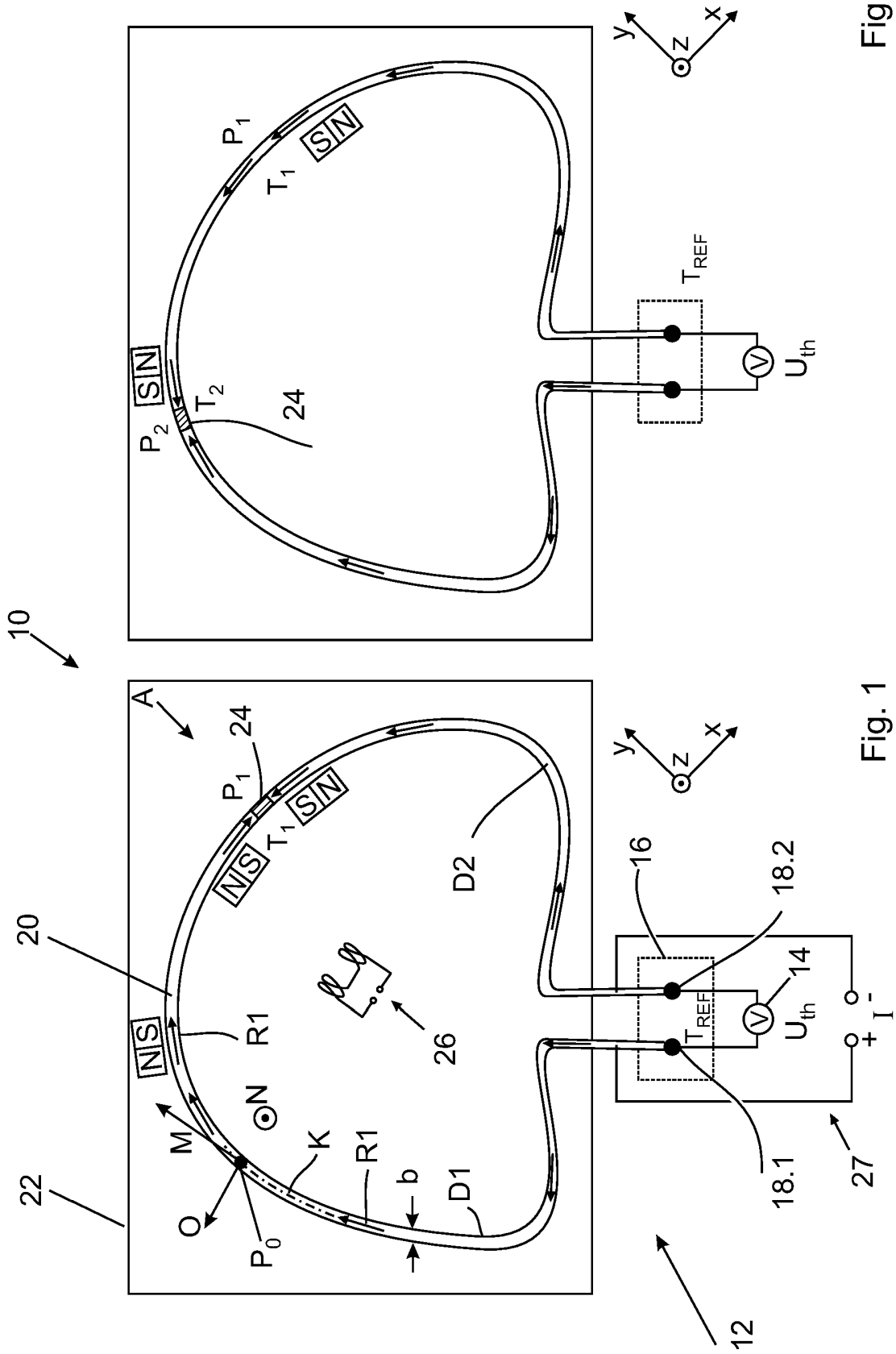


Fig. 2

Fig. 1



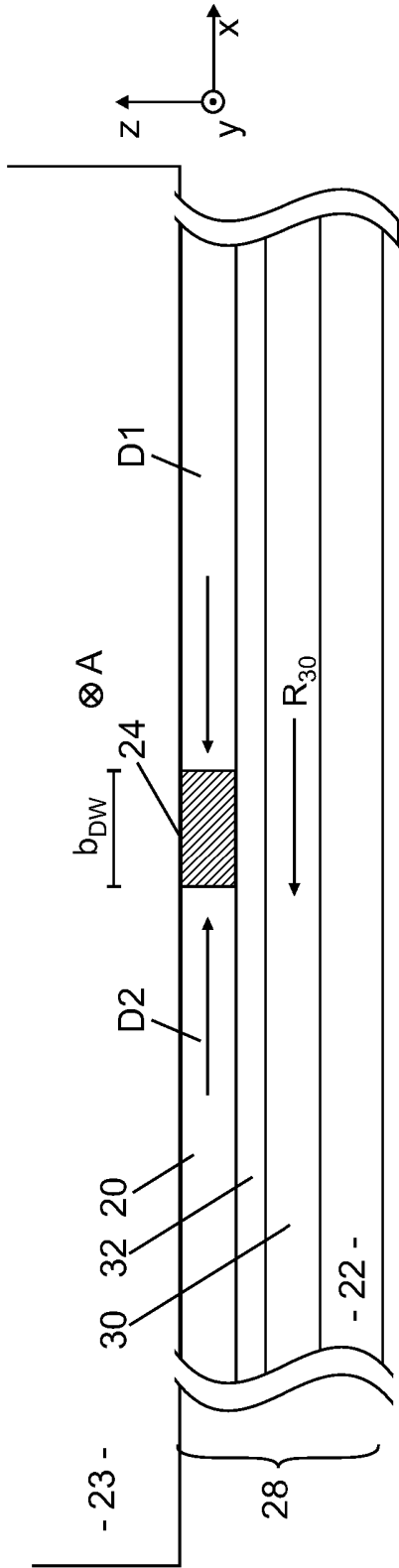


Fig. 3

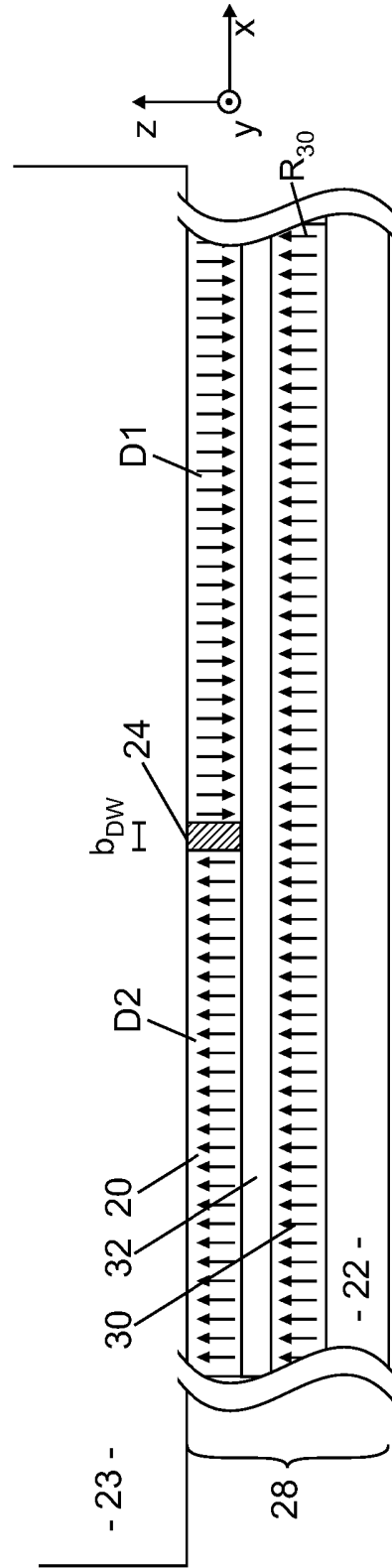


Fig. 4