

(12)

Patentschrift

- (21) Anmeldenummer: A 1009/2007 (51) Int. Cl.⁸: **H01L 35/04** (2006.01)
H01L 35/32 (2006.01)
 (22) Anmeldetag: 2007-06-29
 (43) Veröffentlicht am: 2008-11-15

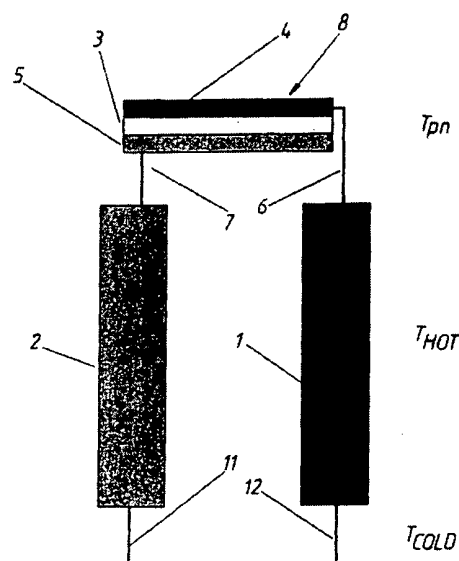
(56) Entgegenhaltungen:
 DE 10136667A1 EP 0339715A1
 GB 953339A

(73) Patentanmelder:
 SPAN GERHARD DIPL.ING. DR.
 A-6112 WATTENS (AT)

(54) THERMOELEKTRISCHES ELEMENT

- (57) Thermoelektrisches Element mit wenigstens einem Thermopaar und einem pn-Übergang, wobei das Thermopaar ein erstes Material mit einem positiven Seebeck-Koeffizienten und ein zweites Material mit einem negativen Seebeck-Koeffizienten aufweist, wobei das erste Material (1) über einen metallischen Leiter (6) selektiv mit der p-Seite (4) des pn-Übergangs (3) kontaktiert ist und dass das zweite Material (2) über einen metallischen Leiter (7) selektiv mit der n-Seite (5) des pn-Übergangs (3) kontaktiert ist.

Fig.1



Die vorliegende Erfindung betrifft ein thermoelektrisches Element mit wenigstens einem Thermopaar und einem pn-Übergang, wobei das Thermopaar ein erstes Material mit einem positiven Seebeck-Koeffizienten und ein zweites Material mit einem negativen Seebeck-Koeffizienten aufweist, sowie einen thermoelektrischen Generator und einen thermoelektrischen Kühler mit einem derartigen thermoelektrischen Element.

Der Stand der Technik gliedert sich in verschiedene Bereiche, die unterschiedliche Entwicklungsstufen zeigen.

Der thermoelektrische Effekt ist bereits seit mehr als 100 Jahren bekannt. Es gibt ein breites Spektrum an Materialien, die für die direkte Umwandlung einer Temperaturdifferenz in elektrischen Strom (thermoelektrischer Generator) oder für die Kühlung bei Anlegen einer externen Spannungsquelle (thermoelektrischer Kühler) verwendet werden können. Die technische Umsetzung des Generatoreffektes basierte bisher immer auf einem gemeinsamen grundsätzlichen Aufbau (Fig. 6). Zwei unterschiedliche Metalle oder zwei unterschiedlich (n- und p-) dotierte Halbleiter werden an einem, im Normalfall dem heißen Ende über einen metallischen Leiter verbunden, und am anderen, normalerweise kalten Ende kann dann der Strom abgegriffen werden. Die Energie zur Überwindung der Unterschiede im elektrostatischen Potential zwischen den Materialien an den Kontaktstellen wird aus der Umgebungswärme bezogen (Peltiereffekt).

Um eine möglichst effektive Umwandlung des Temperaturgradienten in elektrischen Strom zu erhalten, werden die thermoelektrischen Elemente so zu einem Modul zusammen gebaut, dass die einzelnen Elemente elektrisch in Serie, aber thermisch parallel geschaltet sind. Diese Module lassen sich wiederum zu größeren Einheiten zusammenfassen (Fig. 7). Eine derartige Vorrichtung geht beispielsweise aus der EP 339 715 A1 hervor.

Die Auswahl der verwendeten Materialien erfolgt nach dem Gesichtspunkt des maximal möglichen Wirkungsgrades im angestrebten Temperaturbereich. Der Wirkungsgrad wird im allgemeinen durch die *figure of merit* $Z = S^2/\rho\kappa$ charakterisiert (S ... Seebeck-Koeffizient oder absolute differentielle Thermokraft, ρ ... spezifischer Widerstand, κ ... Wärmeleitfähigkeit). Ein hoher Wirkungsgrad wird in einem Material mit hohem Seebeck-Koeffizient bei gleichzeitigem niedrigen spezifischen Widerstand und niedriger Wärmeleitfähigkeit erreicht.

Die thermoelektrischen Elemente basierend auf Paaren von n- und p-Typ Materialblöcken sind die dabei am weitesten entwickelt, haben aber auch nach mehr als 50 Jahren Entwicklungszeit kaum Fortschritte aufzuweisen. Diese thermoelektrischen Elemente sind seit Jahrzehnten als Produkt erhältlich und werden vor allem zur Kühlung verwendet (thermoelektrischer Kühler, Peltiermodule).

Der wesentliche Vorteil dieses Standes der Technik ist, dass die Herstellungsverfahren seit Jahrzehnten bekannt und ausgereift sind.

Nachteile:

Die für die Thermoelektrizität wichtigen Eigenschaften eines Materials (S ... Seebeck-Koeffizient, ρ ... spezifischer Widerstand, κ ... Wärmeleitfähigkeit) lassen sich nur in sehr geringem Maße voneinander unabhängig beeinflussen. Dieser Zusammenhang begrenzt die derzeit realisierbaren Wirkungsgrade auf ca. 10 - 20% der Carnot-Effizienz.

Der Verlauf des Temperaturgradienten hat keinen Einfluss auf den Wirkungsgrad, da in konventionellen thermoelektrischen Elementen aufgrund des linearen Zusammenhangs zwischen Thermokraft und Temperaturdifferenz nur die Gesamtdifferenz der Temperaturen zwischen heißer und kalter Seite eine Rolle spielt.

Die Leistungsdichte ist zu gering, um größere Leistungen technisch und wirtschaftlich sinnvoll

umsetzen zu können.

Ein weiterer, vielversprechender Entwicklungszweig im Grenzbereich von Thermoelektrizität und Thermoionischen Effekt wird von der Firma Eneco, Inc. in Salt Lake City, Utah, USA (Yan
5 R. Kucherov und Peter L. Hagelstein) mit der Entwicklung eines thermoionischen Konverters und einer thermischen Diode begangen.

Ein thermoionischer Konverter (Fig. 8) besteht aus einer erwärmten Metallplatte und einer
10 gekühlten Metallplatte, getrennt durch ein Vakuum und einen externen Stromkreis. Durch die höhere Temperatur in der erwärmten Metallplatte haben dort mehr Elektronen genügend Energie, die Potentialbarriere in Richtung der Metallplatte zu überwinden als in umgekehrter Richtung. Damit kann Strom aus einer Temperaturdifferenz gewonnen werden. Aufgrund der hohen Potentialbarriere findet dieser Prozess allerdings nur bei sehr hohen Temperaturen statt.

15 Thermische Dioden haben dieselben funktionellen Komponenten, allerdings wird das Vakuum durch einen Halbleiter ersetzt. Ein schematischer Aufbau einer n-Typ thermischen Diode von Eneco, Inc. wird in Fig. 9 gezeigt. Der Halbleiter anstelle des Vakuums sorgt für eine niedrigere Potentialbarriere, daher funktioniert die thermische Diode auch bei niedrigeren Temperaturen.

20 Bei richtiger Anordnung von weiteren Potentialbarrieren zwischen Kollektor und Gap-Halbleiter wird verhindert, dass Elektronen wieder zurückfließen. Damit werden Elektronen akkumuliert und eine höhere Arbeitsspannung kann erreicht werden.

Vorteile dieses Standes der Technik:

25 Der Wirkungsgrad der Umwandlung von Wärme in Strom ist höher.

Im Gegensatz zu gattungsgemäßen thermoelektrischen Elementen können thermische Dioden
30 in Serie geschaltet werden, ohne dass die Effizienz darunter leidet. Damit ist es einfacher, die maximale theoretische Effizienz zu erreichen.

Nachteile dieses Standes der Technik:

35 Dieser Aufbau funktioniert nur mit Elektronen, für Löcher gibt es keine thermische Diode, daher muss der Stromkreis über einen elektrischen Leiter geschlossen werden, über den auch Wärme fließt und damit den Wirkungsgrad erniedrigt.

40 Der genutzte Effekt kommt nur zustande, wenn die Dicken der Barrieren im Bereich der Streulängen und damit bei einigen 100 Nanometern sind (beim verwendeten InSb 1.5 Mikrometer). Bei höheren Temperaturen ist die Diffusion von Materialien stärker, daher werden die Potentialbarrieren mit der Zeit verrundet und die für die Aufrechterhaltung des Effektes notwendigen Längen werden nicht mehr eingehalten. Deshalb sind die zur Stromerzeugung nutzbaren Temperaturen nach oben stark begrenzt.

45 Um die Generation von Elektron-Loch Paaren auszunutzen, kann bei bekannten thermoelektrischen Elementen ein pn-Übergang mit Temperaturgradient ausgenutzt werden (AT 410 492 B).

50 In dem in Fig. 10 gezeigten Aufbau werden Elektron-Loch Paare am heissen Ende erzeugt, da durch die Ladungsträgerdrift aufgrund des Temperaturgradienten das thermische Gleichgewicht zwischen Generation und Rekombination zugunsten der Generation verschoben ist. Der pn-Übergang ist hier ein Teil der Gesamtstruktur, der baulich nicht vom Ort des Temperaturgradienten getrennt sein kann.

Vorteile dieses Standes der Technik:

Die Betriebstemperaturen können je nach Material extrem hoch sein.

Einfacher Aufbau ähnlich einer Solarzelle Nachteile dieses Standes der Technik:

- 5 Die Rekombination von Ladungsträgern lässt sich nicht gänzlich verhindern, wodurch der Wirkungsgrad verkleinert wird.

Für den Transport der Ladungsträger sind dicke Schichten notwendig, die anspruchsvollere Herstellungsmethoden notwendig machen.

- 10 Die DE 101 36 667 A1 zeigt die Integration einer Diode in einen Schenkel eines Peltierelements.

- 15 Aus der der GB 953 339 A1 geht die bauliche Vereinigung eines Peltierelements mit einer Diode hervor.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein verbessertes thermoelektrisches Element zu schaffen.

- 20 Diese Aufgabe wird durch ein thermoelektrisches Element mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Die grundlegend neue Idee besteht darin, einen pn-Übergang (zum Beispiel einer Diode) als Generationszentrum von Elektronen und Löchern als Erweiterung eines bekannten Thermopaars zu verwenden.

- 25 Ohne die Erzeugung von Elektron-Loch-Paaren wirkt ein Thermopaar nur als Ladungsträgerpumpe, deren Eigenschaften durch die Wahl eines Materials bestimmt sind. Die Abmessungen oder andere äußere Eigenschaften haben nur einen begrenzten Einfluss. Durch die Erzeugung von neuen Elektron-Loch Paaren werden diese Grenzen umgangen und deutlich höhere Effizienzen möglich.
- 30

- Beim Einsatz des erfindungsgemäßen thermoelektrischen Elements in einem thermoelektrischen Generator mit den Merkmalen des Anspruchs 13 besteht der Erfindungsgedanke darin, dass die durch einen Temperaturunterschied hervorgerufene Thermospannung eines Thermopaars dazu genutzt wird, einen mit der heißen Seite elektrisch verbundenen pn-Übergang in Rückwärtsrichtung (Sperrrichtung) vorzuspannen. In diesem pn-Übergang werden durch thermische Anregung Elektron-Loch Paare erzeugt. Das Ausmaß dieser thermischen Anregung hängt von der Temperatur, der Bandlücke und der Anzahl von Generationszentren ab:
- 35

40

$$I_{\text{elektrisch}} \approx G \approx N_i \exp \left(-\frac{E_t - E_i}{kT} \right)$$

- 45 In einem pn-Übergang mit Vorspannung in Sperrrichtung fließt Strom aufgrund der Generation von Elektron-Loch Paaren, die durch das eingebaute elektrische Feld sofort getrennt werden und daher als Nettostrom in Erscheinung treten.

Vorteile der Erfindung:

- 50 Durch die Generation von Elektron-Loch Paaren können mehr Ladungsträger erzeugt werden, als durch die Dotierung vorgegeben sind. Damit ist eine höhere Leistungsdichte und Effizienz erreichbar.

- 55 Die Generation von Elektron-Loch Paaren ist räumlich vom Ort der Entstehung der Thermospannung getrennt und kann daher durch die Materialwahl oder einen anderen Herstellungs-

prozess unabhängig von der Wärmeleitung optimiert werden. Es ist auch kein Temperaturgradient notwendig.

Durch die Verwendung von einem Material mit niedrigerer Bandlücke im Vergleich mit dem Thermopaar kann sowohl der Transport als auch die Erzeugung der Ladungsträger optimiert werden.

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

Das Thermopaar und die Diode können räumlich getrennt voneinander nur durch einen elektrischen Leiter verbunden sein. Auch können das Thermopaar und die Diode aus verschiedenen Materialien sein, um die Generation von Ladungsträgern und den Transport derselben getrennt voneinander optimieren zu können. Für die thermische Generation sind sowohl die Anzahl an Generationszentren als auch das Verhältnis von thermischer Energie (Temperatur) und Energielücke ausschlaggebend. Der Transport der Ladungsträger im Thermopaar ist separat zu optimieren, z.B. durch Nutzung unterschiedlicher Materialien, Herstellungsmethoden und Materialstrukturen (Nanotechnologie zur Modulation der Wärmeleitfähigkeit durch Übergitter, Quantenpunkte, etc.).

Für die Optimierung des Stromes und damit der Ladungsträgergeneration sind die intrinsische Konzentration n_i (damit die Temperatur und Bandlücke) und die Generationslebensdauer τ_g (damit die Anzahl an Generationszentren, der Wirkungsquerschnitt und die Temperatur) die bestimmenden physikalischen Größen:

$$I \approx G = \frac{n_i}{\tau_g}$$

$$n_i = \sqrt{N_C N_V} \cdot e^{\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)}$$

$$\tau_g = \frac{2 \cosh\left(\frac{E_T - E_i}{kT}\right)}{v_{th} \sigma_0 N_T}$$

Für die Erfindung sind dieselben physikalischen Parameter wie beim Stand der Technik von Bedeutung. Allerdings können mit der Erfindung die Abhängigkeiten der Parameter untereinander aufgeweicht werden, da die laterale Änderung der Parameter einen Einfluss auf den Wirkungsgrad der Gesamtstruktur hat.

Zusätzlich eröffnet die Erfindung eine Fülle von neuen Kandidaten für gute thermoelektrische Materialien.

Die bevorzugten Materialien für die Ausübung der Erfindung sind Halbleiter, wobei der genutzte Temperaturbereich die Auswahl der Materialien bestimmt.

Verbindungshalbleiter sind aufgrund der niedrigen Wärmeleitfähigkeit die bevorzugten Materialien für thermoelektrische Module. Einige Beispiele für gute thermoelektrische Materialien sind: Bi_2Te_3 , $PbTe$, $SiGe$, Clathrate (Klathrate) und Materialien mit Perovskitstruktur und halbleitende Polymere.

Für den Aufbau des pn-Übergangs können die Materialien ohne Rücksicht auf eine niedrige Wärmeleitfähigkeit genutzt werden, da kein Temperaturgradient notwendig ist.

Es sind hohe bis sehr hohe Dotierungen bevorzugt, um den spezifischen Widerstand möglichst gering zu halten. Die Werte für die Dotierungen sind natürlich abhängig vom Material. Als Beispiel: bei *PbTe* sind Dotierungen von 10^{18}cm^{-3} und höher notwendig.

5 Es sind vor allem drei große Bereiche, in denen die Erfindung zur Anwendung gelangen kann:

1. Thermoelektrische Generatoren zur direkten Umwandlung einer Temperaturdifferenz in Strom. Mit diesem Konzept kann eine eventuell anfallende Restwärme, die ansonsten ungenutzt bliebe, genutzt werden.

10

2. Thermoelektrischer Kühler: Durch einen Stromfluss wird ein Ende heiß und das andere kalt. Dieser Effekt kann zur aktiven Kühlung (für die Erzielung von niedrigen Temperaturen oder zur Abführung von Wärme) verwendet werden.

15

3. Verstärkte Wärmeleitfähigkeit, die zu einer effizienten passiven Kühlung z.B. in Klimaanlage oder für die (Leistungs-)Elektronik dienen kann.

20

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich anhand der Figuren 1 bis 5 sowie der dazugehörigen Figurenbeschreibung. Jede der Figuren 1 bis 5 zeigt ein Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Der Stand der Technik ist zum besseren Verständnis der Erfindung in den Figuren 6 bis 10 dargestellt.

25

Fig. 1 zeigt ein thermoelektrisches Element mit einem Thermopaar, welches ein erstes Material 1 mit einem positiven Seebeck Koeffizienten und ein zweites Material 2 mit einem negativen Seebeck Koeffizienten aufweist. Weiters ist in einer Diode 8 ein pn-Übergang 3 ausgebildet. Das erste Material 1 ist über einen elektrischen Leiter 6 selektiv mit der p-Seite 4 des pn-Übergangs 3 kontaktiert. Das zweite Material 2 ist über den elektrischen Leiter 7 selektiv mit der n-Seite 5 des pn-Übergangs 3 kontaktiert.

30

35

Werden an die Kontakte 11, 12 die Pole einer nicht dargestellten externen Spannungsquelle angeschlossen, so arbeitet das dargestellte thermoelektrische Element als thermoelektrischer Kühler. In diesem Fall wird der pn-Übergang 3 durch die externe Spannungsquelle bei einer der beiden möglichen Polungen elektrisch in Sperrrichtung gepolt. Das eine Ende (T_{cold}) der Materialien 1, 2 kühlt dabei ab. Das andere Ende (T_{hot}) der Materialien 1, 2 erwärmt sich.

40

Wird hingegen das thermoelektrische Element als thermoelektrischer Generator eingesetzt, so wird das eine Ende (T_{cold}) der Materialien 1, 2 mit einer nicht dargestellten Wärmesenke kontaktiert, während das andere Ende (T_{hot}) der Materialien 1, 2 mit einer Wärmequelle kontaktiert wird. Hierdurch ergibt sich in den jeweiligen Materialien 1, 2 eine elektrische Spannung (im ersten Material 1 lädt sich die dem elektrischen Leiter 6 zugewandte Seite negativ auf; im zweiten Material 2 lädt sich die dem elektrischen Leiter 7 zugewandte Seite positiv auf). Hierdurch wird der pn-Übergang 3 in Sperrrichtung geschaltet. Das im pn-Übergang 3 realisierte elektrische Feld trennt dabei generierte Elektron-Loch-Paare räumlich, welche daher als Nettostrom in Erscheinung treten können. Eine Spannung kann über die Kontakte 11, 12 abgegriffen werden, wobei der Kontakt 11 der negative Pol und der Kontakt 12 der positive Pol ist.

45

50

Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in Fig. 2 dargestellt. Der pn-Übergang 3 ist in diesem Ausführungsbeispiel in einer Zwischenschicht 13 ausgebildet. Der pn-Übergang 3 sowie das erste Material 1 und das zweite Material 2 (hier p- bzw. n-dotierte Halbleiter) stehen dabei mit einer Wärmequelle 9 in thermischer Verbindung. Das erste Material 1 und das zweite Material 2 stehen an ihrem anderen Ende weiters mit einer Wärmesenke 10 in thermischer Verbindung.

55

Das erste Material 1 ist über den elektrischen Leiter 6 mit der p-Seite 4 des pn-Übergangs 3 kontaktiert. Das zweite Material 2 ist über den elektrischen Leiter 7 mit der n-Seite 5 des pn-Übergangs 3 kontaktiert.

- 5 Am jeweils anderen Ende der Materialien 1, 2 sind eine Anode 12 bzw. eine Kathode 11 vorgesehen, über welche im dargestellten Fall der Verwendung des thermoelektrischen Elements als thermoelektrischer Generator eine Spannung abgegriffen werden kann.

- 10 Bei dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist der pn-Übergang 3 räumlich getrennt vom Thermopaar angeordnet und mit diesem nur über elektrische Leiter 61 bis 63, bzw. 71 bis 73 verbunden.

- 15 Die Diode 8 ist dabei mit gesonderten Wärmequellen 14, 15 verbunden, während das Thermopaar mit einer eigenen Wärmequelle 9 thermisch kontaktiert ist. Das Thermopaar ist weiters mit einer Wärmesenke 10 thermisch kontaktiert.

- 20 Ein ähnlich konstruiertes thermoelektrisches Element ist in der Fig. 4 dargestellt. Das in Fig. 5 dargestellte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von jenem der Fig. 4 darin, dass einerseits eine gemeinsame Wärmequelle 9 vorgesehen ist und andererseits aufgrund der räumlich kompakten Bauweise eine Isolierschicht 16 vorgesehen ist.

- 25 Fig. 6 zeigt einen thermoelektrischen Generator nach dem Stand der Technik, wobei das erste Material 1 und das zweite Material 2 im Bereich der Wärmequelle 9 über einen elektrischen Leiter 17 miteinander verbunden sind. Im Bereich der Wärmesenke 10 sind eine Anode 12 und eine Kathode 11 vorgesehen. Durch die Temperaturdifferenz fließt ein elektrischer Strom I.

- 30 Die Fig. 7 bis 10 zeigen weiteren Stand der Technik, nämlich einerseits eine Prinzipdarstellung eines thermoelektrischen Moduls (Fig. 7), aufgebaut aus einzelnen thermoelektrischen Elementen nach der Fig. 6. In Fig. 8 ist die Prinzipskizze eines thermoionischen Konverters dargestellt. Fig. 9 zeigt eine thermische Diode. Fig. 10 zeigt ein thermoelektrisches Element, dessen pn-Übergang 3 einen Temperaturgradienten aufweist.

- 35 In der gesamten Figurenbeschreibung bezeichnen dieselben Bezugszeichen dieselben Komponenten.

Patentansprüche:

- 40 1. Thermoelektrisches Element mit wenigstens einem Thermopaar und einem pn-Übergang, wobei das Thermopaar ein erstes Material mit einem positiven Seebeck-Koeffizienten und ein zweites Material mit einem negativen Seebeck-Koeffizienten aufweist, *dadurch gekennzeichnet*, dass das erste Material (1) über einen metallischen Leiter (6) selektiv mit der p-Seite (4) des pn-Übergangs (3) kontaktiert ist und dass das zweite Material (2) über einen metallischen Leiter (7) selektiv mit der n-Seite (5) des pn-Übergangs (3) kontaktiert ist.
- 45 2. Thermoelektrisches Element nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass das erste Material (1) ein p-dotierter Halbleiter ist.
- 50 3. Thermoelektrisches Element nach Anspruch 1 oder 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass das zweite Material (2) ein n-dotierter Halbleiter ist.
4. Thermoelektrisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass der pn-Übergang (3) in einer Diode (8) ausgebildet ist.
- 55 5. Thermoelektrisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 3, *dadurch gekennzeichnet*,

dass der pn-Übergang (3) in einer Solarzelle ausgebildet ist.

6. Thermoelektrisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 5, *dadurch gekennzeichnet*, dass das Thermopaar und der pn-Übergang (3) aus unterschiedlichen Materialien bestehen.
7. Thermoelektrisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 6, *dadurch gekennzeichnet*, dass das Thermopaar und der pn-Übergang (3) räumlich voneinander getrennt angeordnet sind.
8. Thermoelektrisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 7, *dadurch gekennzeichnet*, dass das Thermopaar und der pn-Übergang (3) nur durch die metallischen Leiter (6, 7) miteinander verbunden sind.
9. Thermoelektrisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 8, *dadurch gekennzeichnet*, dass der pn-Übergang (3) zur Vergrößerung der internen Fläche texturiert ausgebildet ist.
10. Thermoelektrisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass der pn-Übergang (3) dotiert ist.
11. Thermoelektrisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 10, *dadurch gekennzeichnet*, dass der pn-Übergang (3) Kristallfehler aufweist.
12. Thermoelektrisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 11, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Querschnitt des Thermopaars verschieden vom Querschnitt des pn-Übergangs (3) ist.
13. Thermoelektrischer Generator mit wenigstens einem thermoelektrischen Element nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wenigstens einer Wärmequelle (9) und wenigstens einer Wärmesenke (10), wobei das Thermopaar des thermoelektrischen Elements zur Erzeugung einer Thermospannung mit der wenigstens einen Wärmequelle (9) und der wenigstens einen Wärmesenke (10) gekoppelt ist und wobei die Thermospannung den pn-Übergang (3) über die metallischen Leiter (6, 7) elektrisch in Sperrrichtung polt.
14. Thermoelektrischer Generator nach Anspruch 13, *dadurch gekennzeichnet*, dass der pn-Übergang (3) mit wenigstens einer Wärmequelle (9) gekoppelt ist.
15. Thermoelektrischer Generator nach Anspruch 14, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Temperatur des pn-Übergangs (T_{pn}) verschieden von der Temperatur (T_{hot}) der heißen Seite des Thermopaars ist.
16. Thermoelektrischer Generator nach einem der Ansprüche 13 bis 15, *dadurch gekennzeichnet*, dass der pn-Übergang (3) mit wenigstens einer Wärmesenke (10) gekoppelt ist.
17. Thermoelektrischer Kühler mit wenigstens einem thermoelektrischen Element nach einem der Ansprüche 1 bis 12 und einer wenigstens zweipoligen Spannungsquelle, wobei das Thermopaar mit zwei Polen der Spannungsquelle kontaktiert ist, sodass die Spannungsquelle den pn-Übergang (3) elektrisch in Sperrrichtung polt.
18. Verfahren zur Herstellung eines thermoelektrischen Elements nach einem der Ansprüche 1 bis 12, *dadurch gekennzeichnet*, dass das Thermopaar und/oder der pn-Übergang (3) durch ein Aufdampfverfahren, vorzugsweise Sputtern, hergestellt wird bzw. werden.

Hiezu 10 Blatt Zeichnungen



Fig.1

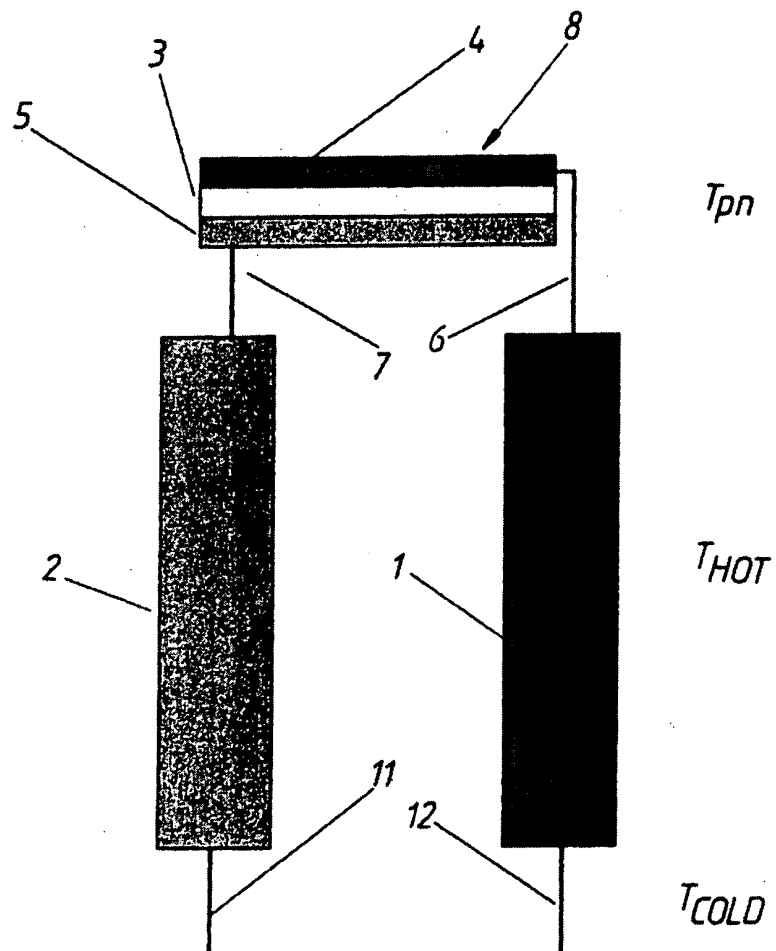




Fig. 2

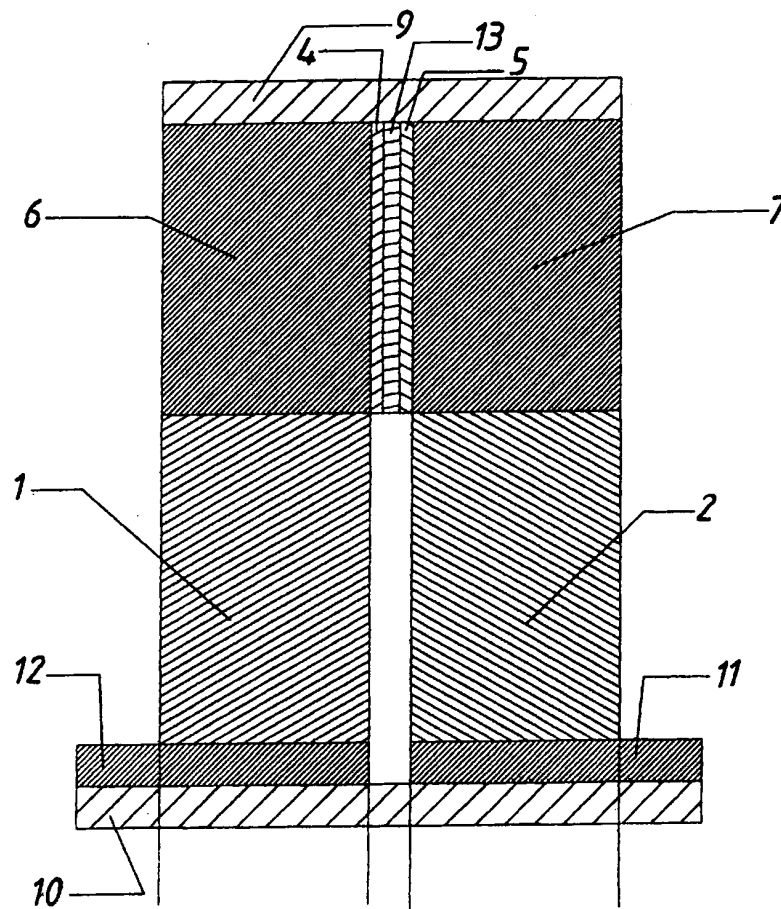




Fig. 4

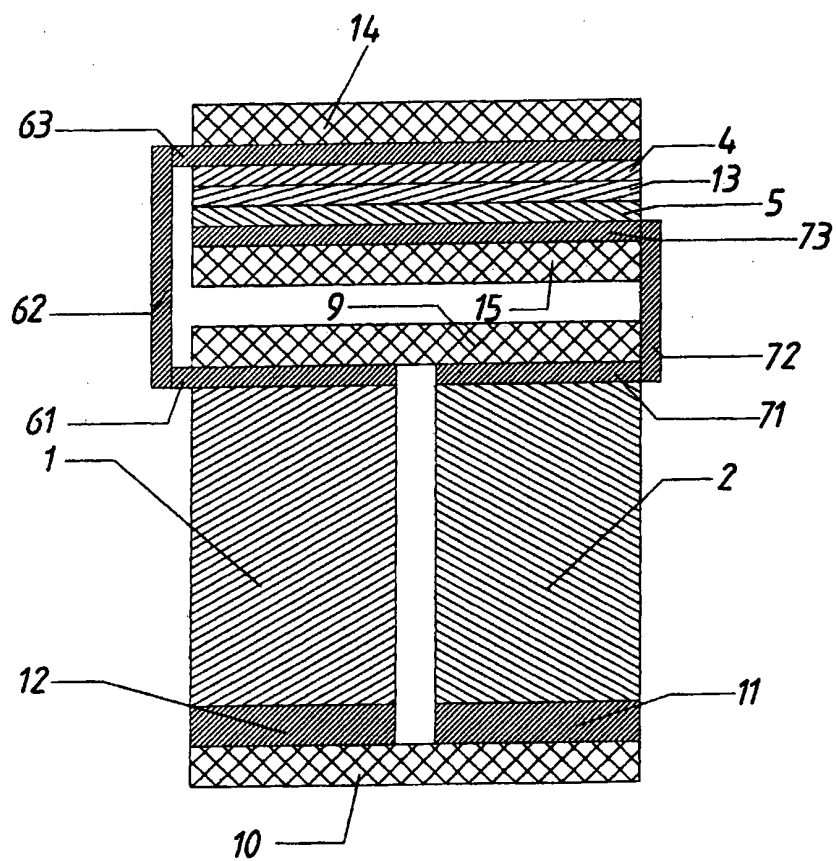


Fig. 5

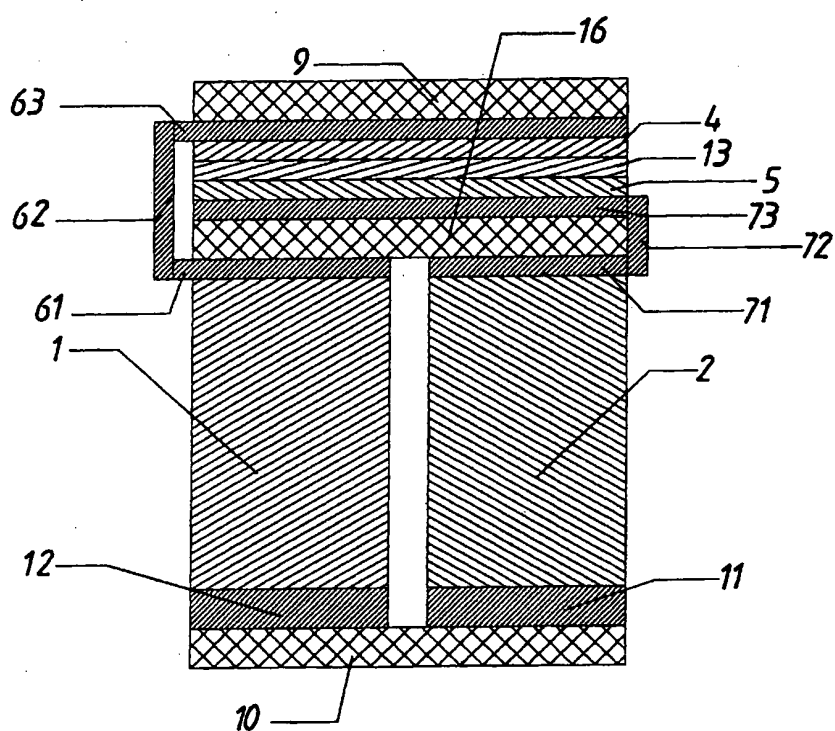




Fig. 6

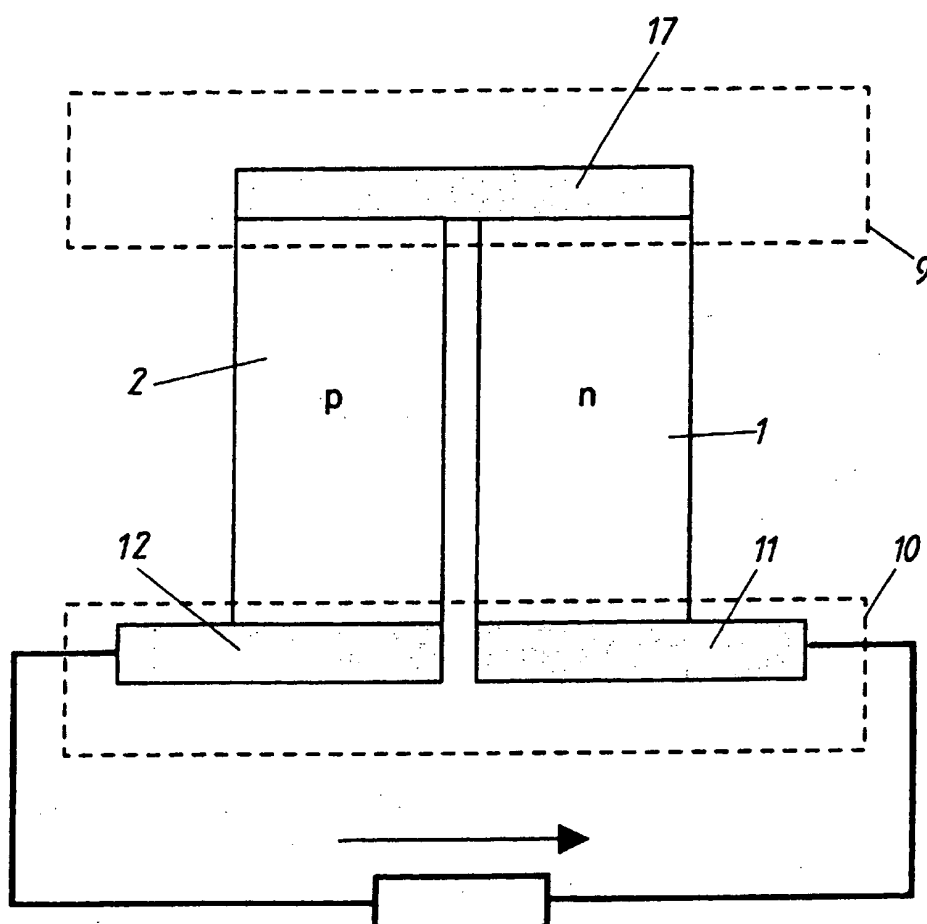


Fig. 7

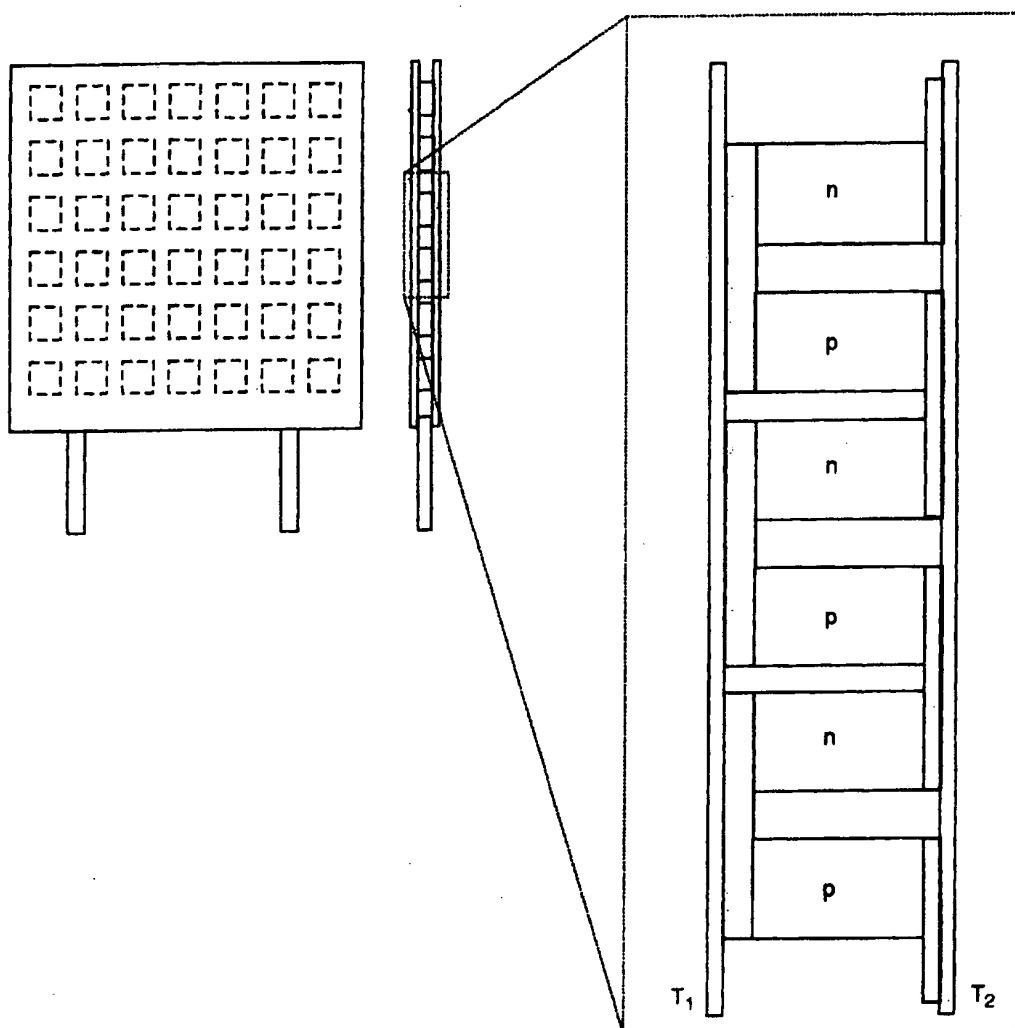




Fig. 8

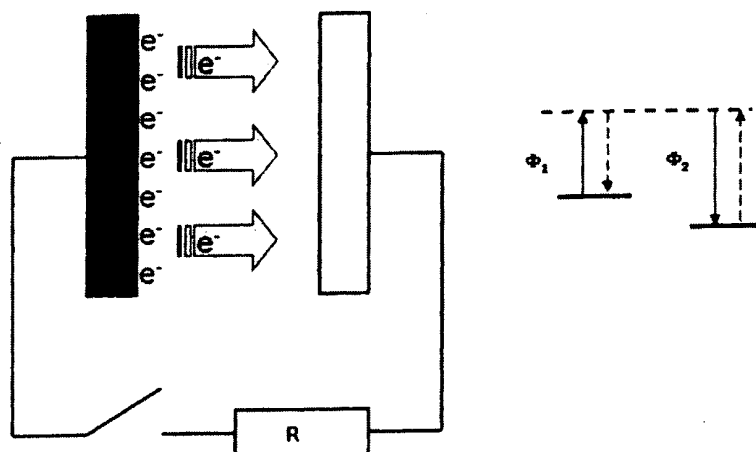




Fig. 9

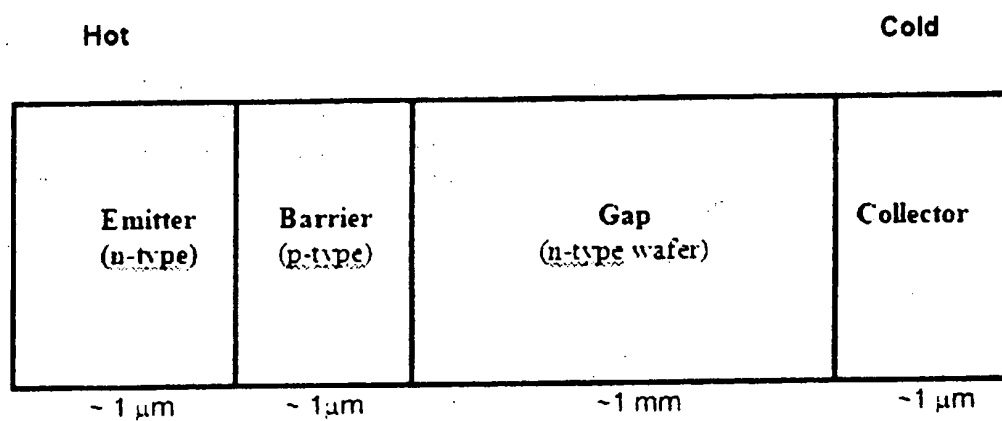


Fig. 10

