

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012 年 10 月 18 日(18.10.2012)



(10) 国際公開番号

WO 2012/140927 A1

- (51) 国際特許分類:
F28F 21/02 (2006.01) *H01H 37/34* (2006.01)
B82Y 30/00 (2011.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/050952
- (22) 国際出願日: 2012 年 1 月 18 日(18.01.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2011-088535 2011 年 4 月 12 日(12.04.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 日本碍子株式会社(NGK INSULATORS, LTD.) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 Aichi (JP). 国立大学法人名古屋大学(National University Corporation Nagoya University) [JP/JP]; 〒4648601 愛知県名古屋市千種区不老町 1 番 Aichi (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 高橋 知典(TAKAHASHI Tomonori) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 大塚 春男(OTSUKA Haruo) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 楠

美智子(KUSUNOKI Michiko) [JP/JP]; 〒4648601 愛知県名古屋市千種区不老町 1 番 国立大学法人名古屋大学内 Aichi (JP). 乗松 航(NORIMATSU Wataru) [JP/JP]; 〒4648601 愛知県名古屋市千種区不老町 1 番 国立大学法人名古屋大学内 Aichi (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人 快友国際特許事務所(KAI-U PATENT LAW FIRM); 〒4500002 愛知県名古屋市中村区名駅二丁目 4 5 番 1 4 号 日石名駅ビル 7 階 Aichi (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

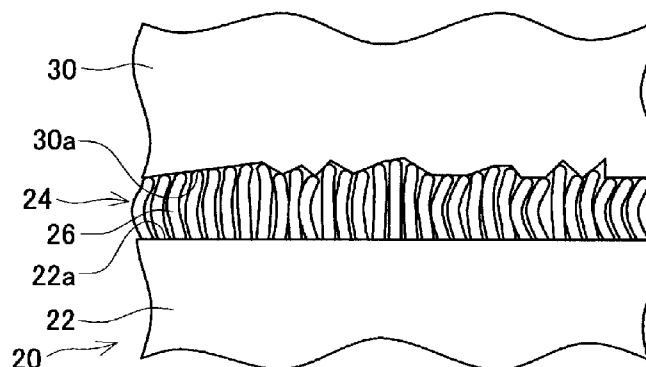
(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨー

[続葉有]

(54) Title: HEAT FLOW SWITCH

(54) 発明の名称: ヒートフローズイッチ

[図4]



(57) Abstract: This heat flow switch (10) has a first member (20) and a second member (30). The first member (20) has a base material (22) and a carbon nanotube layer (24) formed on the surface (22a) of that base material (22). The heat flow switch (10) switches between a connected state, wherein the carbon nanotube layer (24) of the first member (20) contacts the second member (30), and a disconnected state, wherein the carbon nanotube layer (24) of the first member (20) does not contact the second member (30).

(57) 要約: ヒートフローズイッチ 10 は、第 1 部材 20 と第 2 部材 30 を有している。第 1 部材 20 が、基材 22 と、その基材 22 の表面 22a に形成されたカーボンナノチューブ層 24 を有している。ヒートフローズイッチ 10 は、第 1 部材 20 のカーボンナノチューブ層 24 が第 2 部材 30 に接触する接続状態と、第 1 部材 20 のカーボンナノチューブ層 24 が第 2 部材 30 に接触しない非接続状態とを切り換える。

WO 2012/140927 A1



ロツパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： ヒートフロースイッチ

技術分野

[0001] 本出願は、2011年4月12日に出願された日本国特許出願第2011-088535号に基づく優先権を主張する。その出願の全ての内容はこの明細書中に参照により援用されている。

[0002] 本明細書が開示する技術は、2つの部材を接触させた状態と、これらを接触させない状態とを切り換えることで、熱伝導率を変更可能なヒートフロースイッチに関する。

背景技術

[0003] 日本国公表特許公報2009-531821号には、2つの部材を接触させた状態と、これらを接触させない状態とを切り換えるヒートフロースイッチが開示されている。2つの部材を接触させた状態（以下、接続状態という）では、これらの部材の間で熱が伝導する。2つの部材を接触させない状態では、これらの部材の間での熱伝導が遮られる。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ヒートフロースイッチは、接続状態における2つの部材の間の熱抵抗が低いことが好ましい（以下では、接続状態における2つの部材の間の熱抵抗を、ヒートフロースイッチの熱抵抗という。）。ヒートフロースイッチの熱抵抗を低くするためには、2つの部材の各接触面をなるべく平坦に形成する必要がある。各接触面に凹凸が存在すると、接続状態としたときに2つの部材の界面に隙間が生じ、これらの間の熱抵抗が高くなるためである。しかしながら、各接触面を平坦に加工したとしても、各接触面にナノメートルオーダーの凹凸が残ってしまう。この凹凸がヒートフロースイッチの熱抵抗を高める要因の一つとなっている。このため、ヒートフロースイッチの熱抵抗のさらなる低減が望まれている。したがって、本明細書では、熱抵抗がより低い

ヒートフロースイッチを提供する。

課題を解決するための手段

- [0005] 本明細書が開示するヒートフロースイッチは、第1部材と第2部材を有している。第1部材は、基材と、その基材の表面に形成されたカーボンナノチューブ層を有している。ヒートフロースイッチは、第1部材のカーボンナノチューブ層が第2部材に接触する接続状態と、第1部材のカーボンナノチューブ層が第2部材に接触しない非接続状態とを切り換える。
- [0006] なお、接続状態と非接続状態の切り換えは、電気的に行われてもよいし、他の方法により行われてもよい。例えば、電気的に制御されるアクチュエータによって第1部材と第2部材の少なくとも一方を移動させることで、接続状態と非接続状態を切り換えてもよい。また、第1部材と第2部材の熱膨張、熱収縮を利用して、接続状態と非接続状態を切り換えてもよい。
- [0007] このヒートフロースイッチでは、第1部材がカーボンナノチューブ層を有している。カーボンナノチューブは極めて高い熱伝導率を有している。また、カーボンナノチューブは弾性が高い。したがって、カーボンナノチューブ層は弾性的に変形することができる。このため、第2部材の接触面（接続状態においてカーボンナノチューブ層と接触する面）に微小な凹凸が存在していても、カーボンナノチューブ層が第2部材と接触する際に、カーボンナノチューブ層が第2部材の凹凸に合わせて変形することができる。したがって、このヒートフロースイッチでは、接続状態において、第1部材と第2部材の界面に隙間が生じ難い。すなわち、カーボンナノチューブ層は、第2部材の接触面に対して密着することができる。このように、このヒートフロースイッチでは、極めて高い熱伝導率を有するカーボンナノチューブ層が第2部材と密着する。したがって、このヒートフロースイッチは熱抵抗（接続状態における第1の部材と第2の部材の間の熱抵抗）が低い。
- [0008] なお、日本国公開特許公報2009-253123号には、半導体素子とヒートシンクの間の熱抵抗を低減させるために、カーボンナノチューブ層を介して半導体素子とヒートシンクを接続する技術が開示されている。しかし

ながら、この技術では、ヒートシンクは半導体素子に固定される（すなわち、常に接続された状態となる）のであり、接続状態と非接続状態とを切り換えるヒートフロースイッチに関する本明細書の技術とは異なる。本明細書が開示するヒートフロースイッチでは接続状態と非接続状態との切り換えが繰り返されるので、カーボンナノチューブ層に繰り返し圧力が加わる。つまり、本明細書が開示の技術は、繰り返し加わる圧力に対してカーボンナノチューブが実用的な耐久性を有することを見出し、この耐久性を利用して、実用レベルの耐久性を有し、かつ、熱抵抗が低いヒートフロースイッチを実現するものである。

[0009] 上述したヒートフロースイッチは、第2部材が、基材と、その基材の表面に形成されたカーボンナノチューブ層を有しており、接続状態において、第1部材のカーボンナノチューブ層が、第2部材のカーボンナノチューブ層に接触することが好ましい。

[0010] このように、第2部材の接触面にもカーボンナノチューブ層が形成されていると、接続状態において、第1部材と第2部材の両方のカーボンナノチューブ層が弾性的に変形することができる。このため、第1部材が第2部材に対してより密着することができる。したがって、この構成によれば、ヒートフロースイッチの熱抵抗をより低減させることができる。

[0011] 上述したヒートフロースイッチは、第1部材のカーボンナノチューブ層に含まれるカーボンナノチューブの30%以上が、基材の表面に対して60°以上の角度で立設されていることが好ましい。なお、上記の角度は、0°がカーボンナノチューブと基材の表面が平行であることを意味し、90°がカーボンナノチューブと基材の表面が垂直であることを意味する。

[0012] このように、第1部材のカーボンナノチューブ層に含まれるカーボンナノチューブの多くが基材の表面に対して垂直に近い角度で立設されていると、カーボンナノチューブの多くがその先端で第2部材と接触する。したがって、カーボンナノチューブ層が第2部材に密着し易くなる。

[0013] 上述したヒートフロースイッチは、第1部材のカーボンナノチューブ層に

樹脂が含浸されていることが好ましい。

[0014] このように、カーボンナノチューブ層内のカーボンナノチューブ同士の間隙間に樹脂が含浸されているとカーボンナノチューブ層の熱伝導率がより高くなるので、ヒートフロースイッチの熱抵抗をより低減させることができる。

[0015] 上述したヒートフロースイッチは、第1部材のカーボンナノチューブ層の厚さが0.5 μm 以上であることが好ましい。

[0016] カーボンナノチューブ層が0.5 μm 以上の厚さを有すれば、カーボンナノチューブ層が第2部材の接触面の形状に合わせて好適に変形することができる。

[0017] 上述したヒートフロースイッチは、第1部材の基材が、SiCにより構成されていることが好ましい。

[0018] SiCの基材を用いると、カーボンナノチューブと基材との接続強度が高くなり易い。したがって、上記の構成によれば、ヒートフロースイッチの耐久性を向上させることができる。なお、SiCの基材を用いる場合には、SiCの基材を減圧雰囲気中で加熱して基材表面のSi原子を酸化除去させることで、基材表面にカーボンナノチューブ層を形成することが好ましい。このようにカーボンナノチューブ層を形成すると、カーボンナノチューブと基材の接続強度をより向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]実施例1のヒートフロースイッチの側面図（非接続状態）。

[図2]実施例1のヒートフロースイッチの側面図（接続状態）。

[図3]実施例1のヒートフロースイッチの接触面近傍の拡大側面図（非接続状態）。

[図4]実施例1のヒートフロースイッチの接触面近傍の拡大側面図（接続状態）。

[図5]従来のヒートフロースイッチの接触面近傍の拡大側面図（接続状態）。

[図6]異物を挟み込んだときの、従来のヒートフロースイッチの接触面近傍の

拡大側面図。

[図7]異物を挟み込んだときの、実施例1のヒートフローズスイッチの接触面近傍の拡大側面図。

[図8]実施例2のヒートフローズスイッチの接触面近傍の拡大側面図（非接続状態）。

[図9]実施例2のヒートフローズスイッチの接触面近傍の拡大側面図（接続状態）。

[図10]各実験例のヒートフローズスイッチの熱抵抗の評価結果を示す表。

[図11]変形例のヒートフローズスイッチの接触面近傍の拡大側面図（非接続状態）。

[図12]変形例のヒートフローズスイッチの接触面近傍の拡大側面図（接続状態）。

[図13]カーボンナノチューブの立設角度の説明図。

発明を実施するための形態

[0020]（実施例1）

図1に示すように、実施例1のヒートフローズスイッチ10は、熱伝導部材20と、熱伝導部材30と、ガイド40と、アクチュエータ50を備えている。熱伝導部材20は接触面20aを有している。熱伝導部材30は接触面30aを有している。熱伝導部材20と熱伝導部材30は、接触面20aと接触面30aとが互いに対向する位置に配置されている。熱伝導部材20は、ガイド40に固定されている。熱伝導部材30は、ガイド40に規制されることによって、熱伝導部材20に対して横方向（接触面20aに平行な方向）に移動不可能とされている。また、熱伝導部材30は、ガイド40に案内されることによって、熱伝導部材20に対して進退動可能とされている。アクチュエータ50は、熱伝導部材30に接続されており、熱伝導部材30を熱伝導部材20に対して進退動させる。アクチュエータ50が熱伝導部材30を移動させることで、図1に示すように熱伝導部材20が熱伝導部材30に対して非接触となっている状態（以下、非接続状態という）と、熱伝導

部材 20 が熱伝導部材 30 に対して接触している状態（以下、接続状態という）が切り換えられる。アクチュエータ 50 の動作は、図示しない制御回路によって電氣的に制御される。

[0021] ガイド 40 は、断熱材により構成されている。後に詳述するが、熱伝導部材 20 は主に SiC により構成されており、熱伝導部材 20 の熱伝導率は高い。また、熱伝導部材 30 は Cu により構成されており、熱伝導部材 30 の熱伝導率は高い。熱伝導部材 20 は図示しない高温の部材に接続されており、熱伝導部材 30 は図示しない低温の部材に接続されている。したがって、接続状態においては熱伝導部材 20 から熱伝導部材 30 に向かって熱が伝導し、非接続状態においては熱伝導部材 20 から熱伝導部材 30 への熱伝導が遮られる。すなわち、ヒートフローズスイッチ 10 によって、熱伝導を制御することができる。

[0022] 図 3 は、接触面 20a 及び 30a の近傍のヒートフローズスイッチ 10 の拡大側面図を示している。図 3 に示すように、熱伝導部材 20 は、基材 22 と、カーボンナノチューブ層 24 を有している。基材 22 は、SiC により構成されている。基材 22 の熱伝導部材 30 側の表面 22a 上には、多数のカーボンナノチューブ 26 が立設されている。これらのカーボンナノチューブ 26 によって、カーボンナノチューブ層 24 が形成されている。各カーボンナノチューブ 26 の先端によって、上述した接触面 20a が形成されている。

[0023] 図 3 に示すように、熱伝導部材 30 の接触面 30a には、凹凸が形成されている。この凹凸は、深さがナノメートルオーダーの凹凸であり、接触面 30a を平坦化加工しても除去することができない凹凸である。

[0024] 図 4 に示すように、ヒートフローズスイッチ 10 を接続状態にすると、熱伝導部材 20 のカーボンナノチューブ層 24 が、熱伝導部材 30 の接触面 30a と接触する。このとき、大部分のカーボンナノチューブ 26 が、その先端部分で接触面 30a と接触する。各カーボンナノチューブ 26 は、先端が接触面 30a と接触して軸方向（長手方向）に加圧される。これによって、各

カーボンナノチューブ 26 が撓む。このため、カーボンナノチューブ層 24 は全体として接触面 30a の凹凸形状に合わせて弾性的に変形する。

[0025] 一方、図 5 は、従来のヒートフローズスイッチの接触面近傍の拡大側面図を示している。従来のヒートフローズスイッチでは、接触面 320a、330a の何れにもカーボンナノチューブ層が形成されていない。また、接触面 320a、330a には、ナノメートルオーダーの凹凸が存在している。したがって、接続状態において、熱伝導部材 320 と熱伝導部材 330 の境界に隙間 350 が形成されてしまう。

[0026] 図 4 と図 5 を比較することで明らかなように、実施例 1 のヒートフローズスイッチ 10 では、接続状態において、熱伝導部材 20 と熱伝導部材 30 との境界部に隙間が形成され難い。すなわち、ヒートフローズスイッチ 10 では、カーボンナノチューブ層 24 が接触面 30a に密着する。また、カーボンナノチューブ 26 は、熱伝導率が高い。特に、カーボンナノチューブ 26 は、その長手方向において極めて高い熱伝導率を有する（約 3000 W/mK ）。また、基材 22 は SiC により構成されているため、基材 22 の熱伝導率も高い（約 150 W/mK ）。また、カーボンナノチューブ 26 は、SiC からなる基材 22 上に立設されている。このような構成では、カーボンナノチューブ 26 と基材 22 との接続部分（カーボンナノチューブ層 24 と基材 22 の境界）における熱伝導率も高い。したがって、接続状態における熱伝導部材 20 と熱伝導部材 30 の間の熱抵抗は低い。すなわち、実施例 1 のヒートフローズスイッチ 10 は、従来のヒートフローズスイッチに比べて熱抵抗が低い。

[0027] また、実施例 1 のヒートフローズスイッチ 10 では、カーボンナノチューブ層 24 が容易に変形する。このため、接続状態において、熱伝導部材 30 を熱伝導部材 20 に向かって加圧する力が小さくても、カーボンナノチューブ層 24 を熱伝導部材 30 に密着させることができる。すなわち、ヒートフローズスイッチ 10 では、小さい加圧力でも、低い熱抵抗が得られる。したがって、加圧能力が小さいアクチュエータ 50 を使用することができる。これに

よって、ヒートフローズスイッチ10の小型化を図ることができる。

[0028] また、ヒートフローズスイッチ10は接続状態と非接続状態との切り換えを繰り返し行う。このため、カーボンナノチューブ26は、熱伝導部材30によって繰り返し加圧される。しかしながら、カーボンナノチューブ26は繰り返される加圧に対して高い耐久性を有している。したがって、実施例1のヒートフローズスイッチ10は、十分な耐久性を有している。

[0029] なお、上述したカーボンナノチューブ26は、減圧雰囲気中においてSiCの基材22を1400℃以上（例えば、1600℃）に加熱することによって形成されている。このように基材を加熱すると、 $\text{SiC (solid)} + \text{O (gas)} \rightarrow \text{SiO (gas)} + \text{C (solid)}$ の反応式により、基材22の表面側のSiCが分解される。すなわち、SiC結晶中のSi原子が選択的に酸化除去され、表面に残ったC原子がカーボンナノチューブを自己構築する。この方法によれば、SiCの基材22に対して略垂直にカーボンナノチューブ26が成長する。また、この方法でカーボンナノチューブ26を成長させると、カーボンナノチューブ26とSiCの接続部分で共有結合性が維持され则认为られる。このため、カーボンナノチューブ26と基材22との接続部分で高い強度が得られるとともに、その接続部分で高い熱伝導率が得られる。このように、カーボンナノチューブ26は、基材22との接続部分の強度が高いため、繰り返される加圧に対してより高い耐久性を有している。これによって、実施例1のヒートフローズスイッチ10の耐久性がより向上されている。

[0030] また、ヒートフローズスイッチが接続状態となるとときに、ヒートフローズスイッチに微小な異物が挟み込まれることがある。図6は、従来のヒートフローズスイッチの2つの熱伝導部材320、330の間に、微小な異物360が挟まれた状態を示している。このように異物360が挟まれると、熱伝導部材320と熱伝導部材330とが全面で接触することができず、ヒートフローズスイッチの熱抵抗が大幅に高くなる。これに対し、実施例1のヒートフローズスイッチ10では、図7に示すように、熱伝導部材20と熱伝導部材30の

間に異物 60 が挟まれると、異物 60 と接触する領域のカーボンナノチューブ 26 が圧縮され、異物 60 と接触しない領域のカーボンナノチューブ 26 は熱伝導部材 30 と接触する。このように、異物 60 が存在する領域を除けば、カーボンナノチューブ 26 が熱伝導部材 30 と接触できるので、ヒートフローズスイッチ 10 では異物 60 を挟み込んだ場合でも熱抵抗が上昇し難い。このため、ヒートフローズスイッチ 10 は、よりクリーン度が低い環境でも使用することができる。

[0031] なお、カーボンナノチューブ層 24 には、樹脂が含浸されていてもよい。カーボンナノチューブ層 24 に樹脂を含浸すると、各カーボンナノチューブ 26 の間に樹脂が入り込む。これによって、カーボンナノチューブ層 24 の熱伝導率をより高くすることができる。なお、含浸する樹脂は、カーボンナノチューブ 26 の変形を阻害しない程度に柔らかいことが好ましく、ゲル状の樹脂（例えば、ゲル状の熱伝導グリス）が好ましい。

[0032] （実施例 2）

実施例 2 のヒートフローズスイッチ 110 は、熱伝導部材 30 以外については、実施例 1 のヒートフローズスイッチ 10 と同じ構成を有している。図 8 に示すように、実施例 2 のヒートフローズスイッチ 110 では、熱伝導部材 30 が、基材 32 とカーボンナノチューブ層 34 を有している。基材 32 は、SiC により構成されている。基材 32 の熱伝導部材 20 側の表面 32a 上には、多数のカーボンナノチューブ 36 が立設されている。これらのカーボンナノチューブ 36 によって、カーボンナノチューブ層 34 が形成されている。各カーボンナノチューブ 36 の先端によって、熱伝導部材 30 の接触面 30a が構成されている。

[0033] 実施例 2 のヒートフローズスイッチ 110 では、熱伝導部材 20 の接触面 20a と熱伝導部材 30 の接触面 30a の両方がカーボンナノチューブ層により形成されている。したがって、図 9 に示すようにヒートフローズスイッチ 110 を接続状態とすると、カーボンナノチューブ層 24 とカーボンナノチューブ層 34 の両方が弾性的に変形する。したがって、熱伝導部材 20 と熱伝

導部材 30 の境界に隙間がより形成され難い。このため、ヒートフロースイッチ 110 は、熱抵抗が低い。

[0034] なお、実施例 2 のヒートフロースイッチ 110 においても、カーボンナノチューブ層 24、34 に樹脂が含浸されていてもよい。

[0035] 図 10 は、上述した実施例 1、2 の構成を有するヒートフロースイッチの熱抵抗（図 10 に示す熱伝導部材 1 と熱伝導部材 2 の間の界面熱抵抗）をシミュレーションにより評価した結果を示している。

[0036] 実験例 1～4 では、実施例 1 の構成を有するヒートフロースイッチについて評価した。すなわち、熱伝導部材 1 として SiC により構成された基材上にカーボンナノチューブ層が形成されたものを用い、熱伝導部材 2 として Cu により構成された部材（カーボンナノチューブ層なし）を用いた構成について評価を行った。また、実験例 1～4 では、カーボンナノチューブ層の厚さを、 $0.5\mu\text{m}$ ～ $4\mu\text{m}$ の間で変化させて評価を行った。実験例 1～4 に示すように、カーボンナノチューブ層が厚くなるほど、熱抵抗が小さくなるという結果が得られた。

[0037] 実験例 5、6 では、実施例 2 の構成を有するヒートフロースイッチについて評価した。すなわち、熱伝導部材 1 と熱伝導部材 2 の両方に、カーボンナノチューブ層が形成されている熱伝導部材を採用したものについて評価を行った。実験例 5 では、熱伝導部材 1、2 のそれぞれのカーボンナノチューブ層の厚さを $4\mu\text{m}$ とした。この場合には、実験例 4 よりもさらに熱抵抗が低下するという結果が得られた。また、実験例 6 では、実験例 5 の各カーボンナノチューブ層にシリコングリスを含浸した構成について評価を行った。この場合には、実験例 5 よりもさらに熱抵抗が低下するという結果が得られた。

[0038] さらに、図 10 に、従来のヒートフロースイッチの構成を有する比較例 1、2 の評価結果を示した。比較例 1 では、両方の熱伝導部材が Cu（カーボンナノチューブ層なし）により構成されている構成について評価した。また、比較例 2 では、比較例 1 の熱伝導部材の各接触面に、シリコングリスを塗

布した構成について評価を行った。図10から明らかな様に、実験例1～6の構成では、比較例1及び2の何れの構成に対しても、圧倒的に低い熱抵抗が得られる。図10の結果から、カーボンナノチューブ層の厚さが $0.5\mu\text{m}$ 以上であれば十分な熱抵抗の低減効果が得られることが分かった。特に、カーボンナノチューブ層の厚さが $1.0\mu\text{m}$ 以上であれば、熱抵抗をより効果的に低減できることが分かった。

[0039] さらに、従来のヒートフローズスイッチは、2つの熱伝導部材が金属により構成されているため熱伝導部材の表面が熱抵抗の高い酸化皮膜で覆われることがあり、熱伝導部材間の熱抵抗が経時的に高くなってしまう場合がある。上述した実施例のヒートフローズスイッチでは、少なくとも一方の熱伝導部材の接触面にカーボンナノチューブ層により構成されているため、その接触面に酸化被膜が形成されることが防止される。これによって、熱伝導部材の間の熱抵抗が高くなることを抑制することができる。さらに、従来のヒートフローズスイッチでは、熱伝導部材が金属であるために、繰り返しの使用により接触面に磨耗が生じることがあった。上述した実施例のヒートスイッチでは、接触面を構成しているカーボンナノチューブ層の耐摩耗性が高いために、磨耗が生じることが抑制することもできる。また、従来のヒートフローズスイッチでは、低い熱抵抗を得るために2つの熱伝導部材を大きな力で接続することから、金属により構成された2つの熱伝導部材が互いに癒着してしまうことがあった。上述した実施例のヒートフローズスイッチでは、それほど大きな力を用いなくても低い熱抵抗が得られること、及び、金属同士を接触させるわけではないことから、癒着の問題が生じることが防止することができる。

[0040] なお、実施例1、2のヒートフローズスイッチは、2つの熱伝導部材を有していたが、3つ以上の熱伝導部材を有するヒートフローズスイッチに本明細書が開示する技術を適用することもできる。例えば、図11、12は、3つの熱伝導部材220、230、及び、240を有するヒートフローズスイッチ210を示している。このヒートフローズスイッチ210では、熱伝導部材22

0の接触面220aがカーボンナノチューブ層224により構成されているので、接続状態において熱伝導部材220と熱伝導部材230の間の熱抵抗が小さくなる。また、熱伝導部材240の接触面240aがカーボンナノチューブ層244により構成されているので、接続状態において熱伝導部材240と熱伝導部材230の間の熱抵抗が小さくなる。なお、図11、12のヒートフロースイッチ210においては、熱伝導部材230側の接触面にカーボンナノチューブ層が形成されていてもよい。

[0041] また、上述した実施例1、2では、一方の熱伝導部材を他方の熱伝導部材に対して平行移動させることで、非接続状態と接続状態とを切り換えた。しかしながら、非接続状態から接続状態へ切り替えるときに、一方の熱伝導部材にねじりや横滑りなどを加えることで、熱伝導部材間にせん断力が生じるようにしてもよい。このように接続すると、カーボンナノチューブ層が相手方の接触面に対してより密着し易くなり、熱抵抗をさらに低下させることができる。特に両方の熱伝導部材の接触面がカーボンナノチューブ層により構成されている場合には、両熱伝導部材のカーボンナノチューブがお互いに絡まるように接続されるため、結果として接触面積を大きくすることができる。このため、熱抵抗をさらに低下させることができる。

[0042] また、上述した実施例1、2では、電氣的に制御されるアクチュエータにより接続状態と非接続状態が切り換えられるヒートフロースイッチについて説明した。しかしながら、2つの熱伝導部材の熱変形によって接続状態と非接続状態が切り換えられるヒートフロースイッチに本明細書の技術を適用してもよい。例えば、ヒートフロースイッチの温度が低い場合には2つの熱伝導部材が互いに非接触となっており、少なくとも一方の熱伝導部材の温度が上昇するとその熱伝導部材が膨張して2つの熱伝導部材が接触するヒートフロースイッチに適用してもよい。または、ヒートフロースイッチの熱伝導部材とは別に熱膨張する部材を少なくとも一方の熱伝導部材に接続してもよい。このようなヒートフロースイッチにおいても、2つの熱伝導部材の接触面の何れかまたは両方にカーボンナノチューブ層を設けることで、このヒート

フロースイッチの熱抵抗を低減することができる。なお、このようなヒートフロースイッチにおいては、各熱伝導部材の熱膨張係数が大きいことが好ましい。また、一方の熱伝導部材と他方の熱伝導部材とで、熱膨張係数が異なっているとしてもよいし、等しくてもよい。

[0043] なお、カーボンナノチューブ層内のカーボンナノチューブの密度が小さすぎると、カーボンナノチューブ層が相手方の熱伝導部材に対して接触する面積が少なくなる。また、カーボンナノチューブ層内のカーボンナノチューブの密度が高すぎると、各カーボンナノチューブが変形し難くなり、カーボンナノチューブ層の弾性が失われる。したがって、カーボンナノチューブが立設されている基材の表面において、カーボンナノチューブの密度（カーボンナノチューブと基材との接続部分の総面積を、カーボンナノチューブが立設されている基材の表面積で除算した値）は、20%以上であり、かつ、90%以下であることが好ましい。また、上述した実施例では、カーボンナノチューブの大部分がその先端で相手側の熱伝導部材と接触することを説明した。上記の通り、カーボンナノチューブはその長手方向において極めて高い熱伝導率を有するため、このようにカーボンナノチューブが先端で相手側と接触することが好ましい。このために、カーボンナノチューブが基材に対してなるべく垂直に立設されていることが好ましいが、例えば、カーボンナノチューブが基材の表面に対して 45° 以上の角度で立設されていれば、その効果を発揮することができる。但し、カーボンナノチューブ層に含まれるカーボンナノチューブの30%以上が、基材の表面に対して 60° 以上の角度で立設されていれば、特に高い効果を得ることができる。なお、この角度は、図13に示すように、カーボンナノチューブの中心軸C1と基材の表面S1との間の角度 θ_1 を意味する。なお、基材の表面S1には微小な凹凸が存在していることがあるが、カーボンナノチューブが立設されている領域の基材の表面全体を平面近似して上記の角度を観測することができる。

[0044] また、上述した実施例では、基材がSiCにより構成されていたが、基材が他の部材により構成されていてもよい。但し、基材であるSiCを減圧雰

囲気中で加熱してS i 原子を選択的に酸化除去させることによって、基材表面にカーボンナノチューブを形成する場合には、カーボンナノチューブの長さが4 μ m以下であることが好ましい。すなわち、カーボンナノチューブ層の厚さは4 μ m以下であることが好ましい。

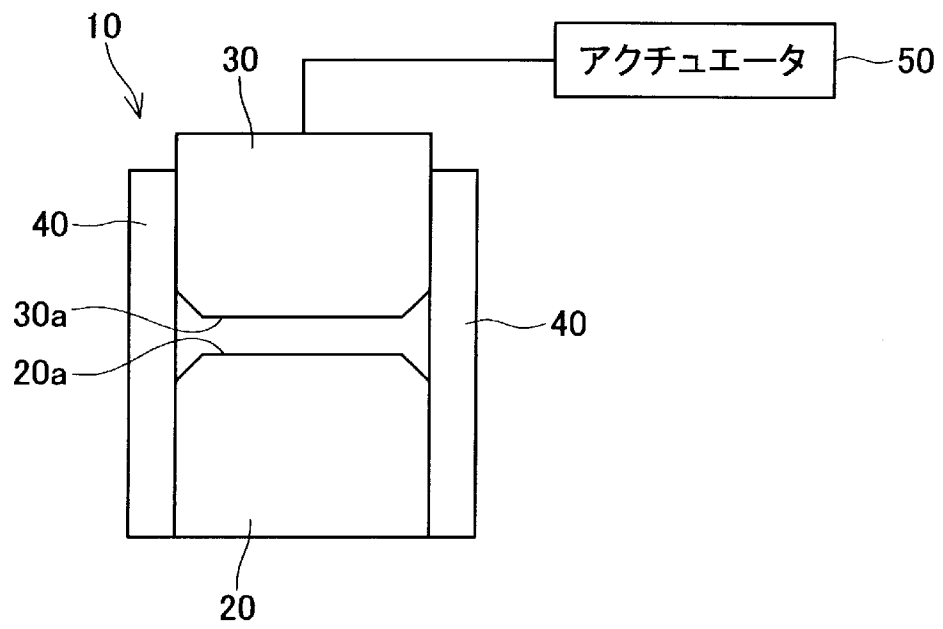
[0045] 以上、本発明の具体例を詳細に説明したが、これらは例示にすぎず、特許請求の範囲を限定するものではない。特許請求の範囲に記載の技術には、以上に例示した具体例をさまざまに変形、変更したものが含まれる。

[0046] 本明細書または図面に説明した技術要素は、単独であるいは各種の組み合わせによって技術的有用性を発揮するものであり、出願時請求項記載の組み合わせに限定されるものではない。また、本明細書または図面に例示した技術は複数目的を同時に達成するものであり、そのうちの一つの目的を達成すること自体で技術的有用性を持つものである。

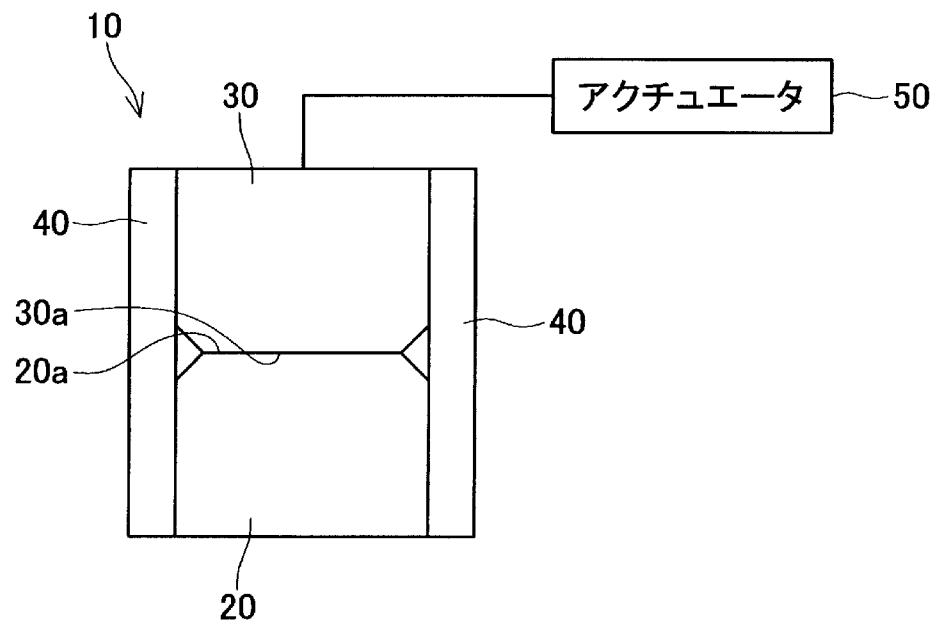
請求の範囲

- [請求項1] 第1部材と第2部材を有しており、
 第1部材が、基材と、その基材の表面に形成されたカーボンナノチューブ層を有しており、
 第1部材のカーボンナノチューブ層が第2部材に接触する接続状態と、第1部材のカーボンナノチューブ層が第2部材に接触しない非接続状態とを切り換えるヒートフロースイッチ。
- [請求項2] 第2部材が、基材と、その基材の表面に形成されたカーボンナノチューブ層を有しており、
 接続状態において、第1部材のカーボンナノチューブ層が、第2部材のカーボンナノチューブ層に接触することを特徴とする請求項1に記載のヒートフロースイッチ。
- [請求項3] 第1部材のカーボンナノチューブ層に含まれるカーボンナノチューブの30%以上が、基材の表面に対して60°以上の角度で立設されていることを特徴とする請求項1または2に記載のヒートフロースイッチ。
- [請求項4] 第1部材のカーボンナノチューブ層に樹脂が含浸されていることを特徴とする請求項1～3の何れか一項に記載のヒートフロースイッチ。
- [請求項5] 第1部材のカーボンナノチューブ層の厚さが0.5 μm 以上であることを特徴とする請求項1～4の何れか一項に記載のヒートフロースイッチ。
- [請求項6] 第1部材の基材が、SiCにより構成されていることを特徴とする請求項1～5の何れか一項に記載のヒートフロースイッチ。

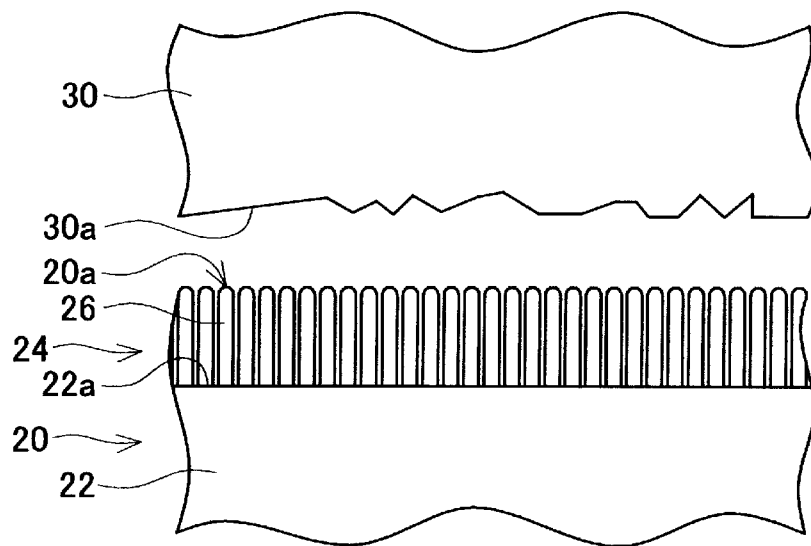
[図1]



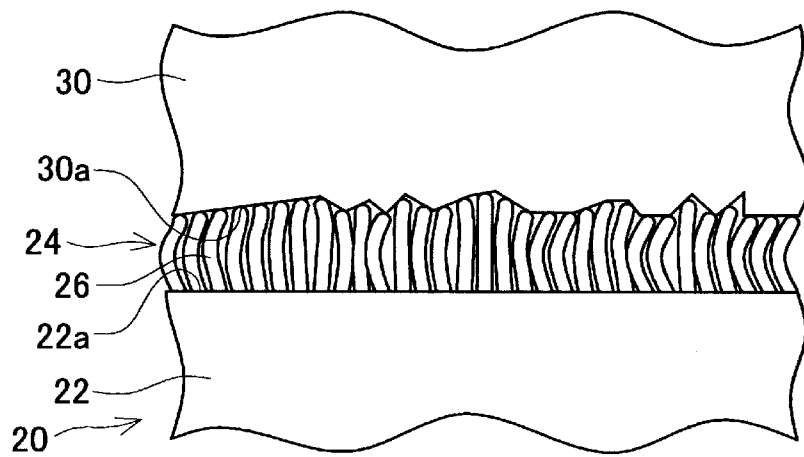
[図2]



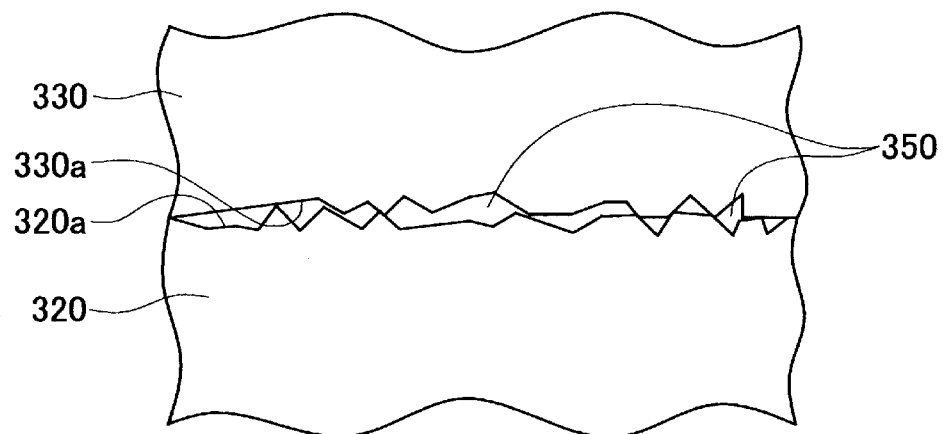
[図3]



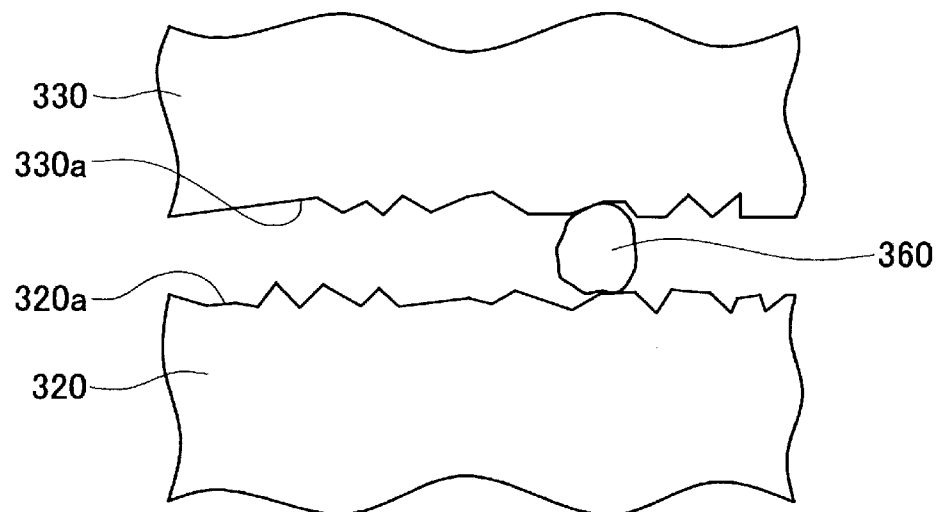
[図4]



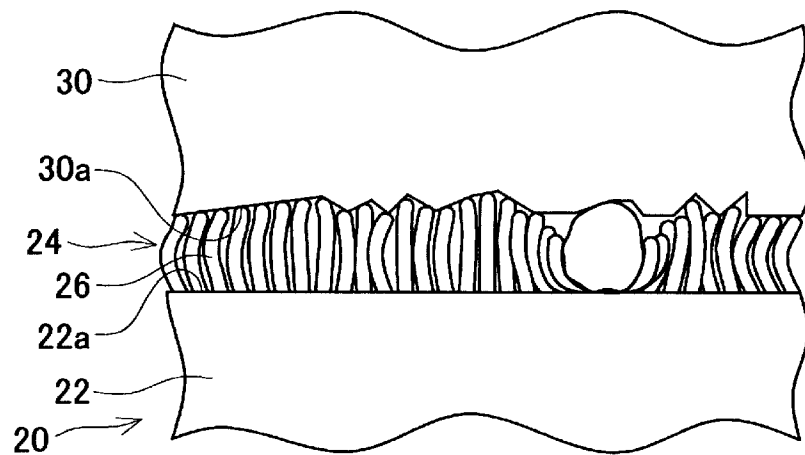
[図5]



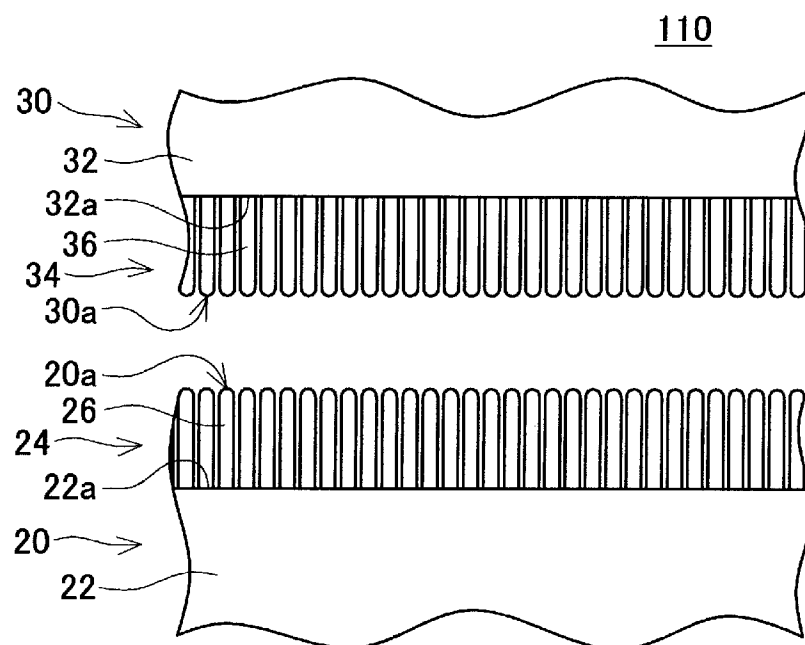
[図6]



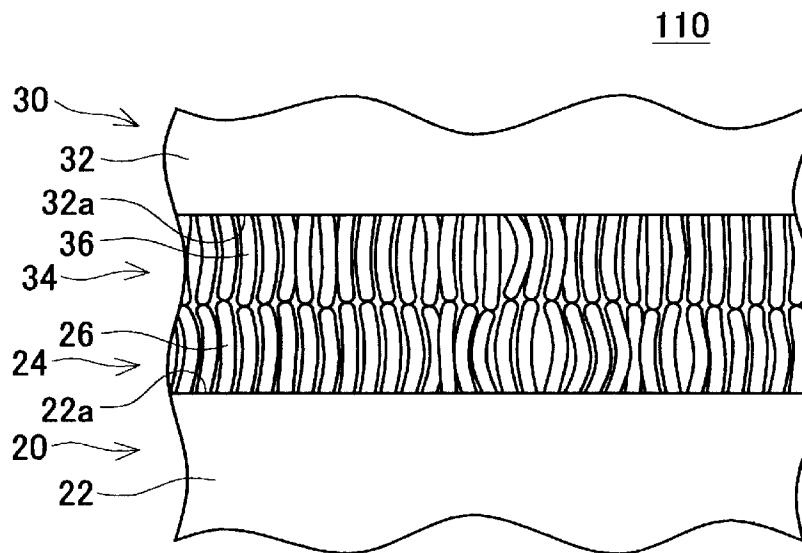
[図7]



[図8]



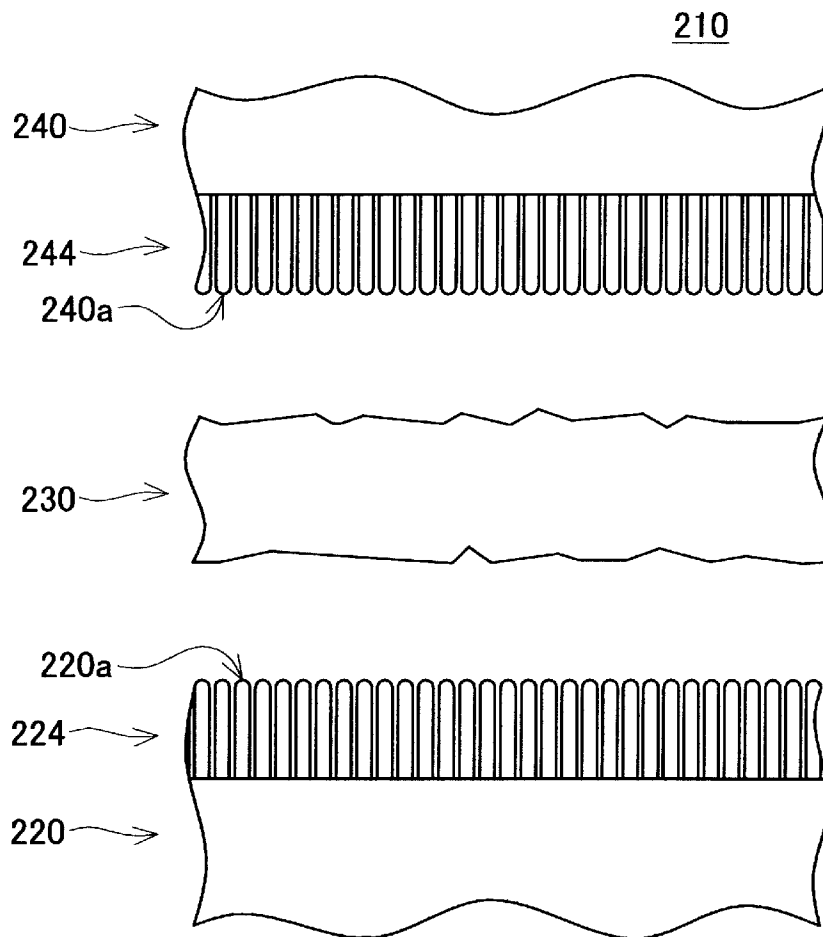
[図9]



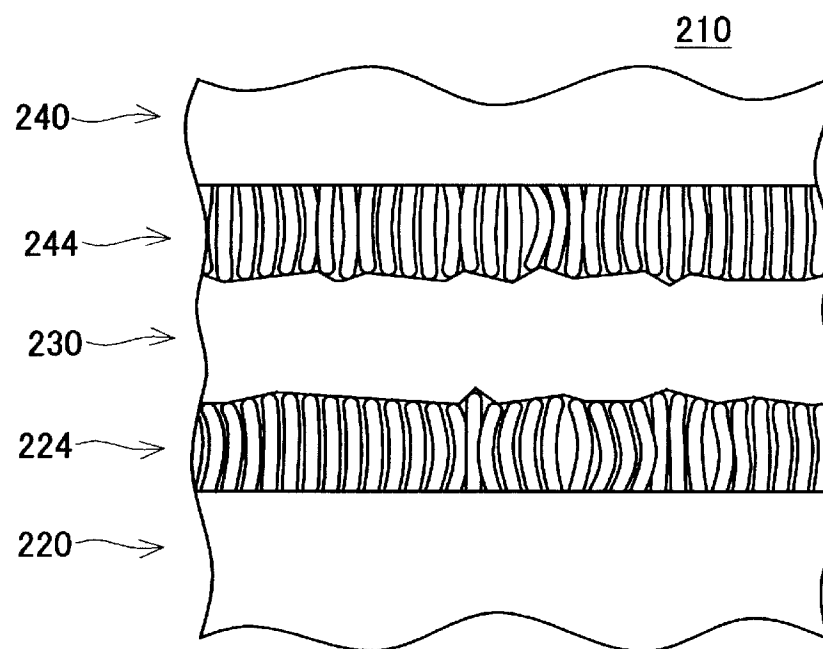
[図10]

	熱伝導部材1	熱伝導部材2	界面熱抵抗(K/W)
実験例1	SiC+CNT(0.5 μ m)	Cu	0.0440
実験例2	SiC+CNT(1.0 μ m)	Cu	0.0135
実験例3	SiC+CNT(2.0 μ m)	Cu	0.0085
実験例4	SiC+CNT(4.0 μ m)	Cu	0.0070
実験例5	SiC+CNT(4.0 μ m)	SiC+CNT(4.0 μ m)	0.0047
実験例6	SiC+CNT(4.0 μ m) (Siグリス含浸)	SiC+CNT(4.0 μ m) (Siグリス含浸)	0.0025
比較例1	Cu	Cu	0.7435
比較例2	Cu (Siグリス塗布)	Cu (Siグリス塗布)	0.3135

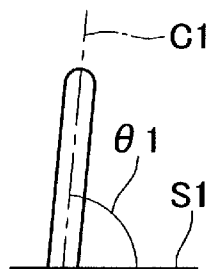
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/050952

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F28F21/02 (2006.01) i, B82Y30/00 (2011.01) i, H01H37/34 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F28F21/02, B82Y30/00, H01H37/34

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2009-524190 A (ASTC Aerospace AB.), 25 June 2009 (25.06.2009), paragraphs [0019] to [0021]; fig. 1 & US 2009/0040007 A1 & EP 1979939 A & WO 2007/084070 A1 & CA 2637414 A	1-6
Y	JP 2009-523992 A (Rexorce Thermionics, Inc.), 25 June 2009 (25.06.2009), paragraph [0086] & US 2007/0089449 A1 & US 2009/0139234 A1 & WO 2007/082103 A2 & CA 2637488 A & CN 101506596 A	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
16 April, 2012 (16.04.12)

Date of mailing of the international search report
24 April, 2012 (24.04.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/050952

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2010-118502 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 27 May 2010 (27.05.2010), paragraphs [0012] to [0023] (Family: none)	2-4, 6
A	WO 2010/047398 A1 (Teijin Ltd.), 29 April 2010 (29.04.2010), page 1, line 6 to page 4, line 25 (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. F28F21/02 (2006.01)i, B82Y30/00 (2011.01)i, H01H37/34 (2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. F28F21/02, B82Y30/00, H01H37/34

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2009-524190 A (オー・エス・テー・セー・エアロスペース・アクチボラゲット) 2009.06.25, 【0019】 - 【0021】, 図1 & US 2009/0040007 A1 & EP 1979939 A & WO 2007/084070 A1 & CA 2637414 A	1 - 6
Y	JP 2009-523992 A (レクソース サーミオニクス, インコーポレイテッド) 2009.06.25, 【0086】 & US 2007/0089449 A1 & US 2009/0139234 A1 & WO 2007/082103 A2 & CA 2637488 A & CN 101506596 A	1 - 6

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 6 . 0 4 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

2 4 . 0 4 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

新井 浩士

3 M

4 4 8 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 7 7

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2010-118502 A (住友電気工業株式会社) 2010.05.27, 【0012】－【0023】 (ファミリーなし)	2－4, 6
A	WO 2010/047398 A1 (帝人株式会社) 2010.04.29, 第1頁第6行－第4頁第25行 (ファミリーなし)	1－6