(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
2020年3月26日(26.03.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/059541 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 23/373 (2006.01) *H05K 7/20* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2019/035193

(22) 国際出願日： 2019年9月6日(06.09.2019)

(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 2018-174954 2018年9月19日(19.09.2018) JP

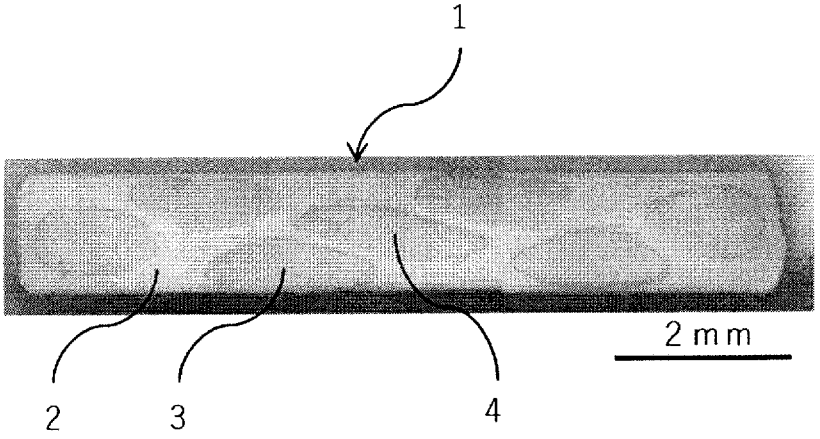
(71) 出願人: 日立金属株式会社 (**HITACHI METALS,LTD.**) [JP/JP]; 〒1088224 東京都港区港南一丁目２番７０号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 宮下 克己 (**MIYASHITA Katsumi**); 〒5640043 大阪府吹田市南吹田二丁目１９番１号 株式会社日立金属ネオマテリアル内 Osaka (JP). 児玉 健二 (**KODAMA Kenji**); 〒5640043 大阪府吹田市南吹田二丁目１９番１号 株式会社日立金属ネオマテリアル内 Osaka (JP). 外木 達也 (**TONOGI Tatsuya**); 〒5640043 大阪府吹田市南吹田二丁目１９番１号 株式会社日立金属ネオマテリアル内 Osaka (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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,

(54) **Title:** HEAT SINK AND MANUFACTURING METHOD FOR HEAT SINK

(54) 発明の名称： 放熱板およびその製造方法



(57) **Abstract:** The present invention provides a heat sink that has high thermal conductivity in the thickness direction, approximately the linear expansion coefficient of a semiconductor element, and low anisotropy of thermal expansion in the longitudinal direction and the width direction. The present invention also provides a manufacturing method for the heat sink. In the heat sink, a plurality of core materials comprising a low-thermal-expansion material are helically inserted in the longitudinal direction without contacting each other in the thickness direction, the width direction, and the longitudinal direction of a high-thermal-conductivity material. This heat sink can be obtained by a manufacturing method having: a compositing step, in which a plurality of core materials comprising a low-thermal-expansion material are inserted in the longitudinal direction of a wire comprising a high-thermal-conductivity material having a circular cross-section, and a composite wire in which there is no contact between the plurality of core materials in the longitudinal direction and the width direction of the wire is obtained; a twisting step in which twisting is implemented in the longitudinal direction of the composite wire to yield a twisted wire; and a rolling step in which the twisted wire material is rolled into the shape

WO 2020/059541 A1

[続葉有]

NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

of a plate. In this case, the twist pitch P of the twisted wire is preferably in a range of 1.5 D $\leq$ P $\leq$ 5.0 D with respect to the diameter D of the composite wire.

(57) 要約:厚さ方向に大きな熱伝導率を有し、半導体素子の線膨張率に近く、長手方向および幅方向に係る熱膨張の異方性が小さい、放熱板およびその製造方法を提供する 低熱膨張材からなる複数の芯材が、高熱伝導材の長手方向、幅方向および厚さ方向において互いに非接触で、長手方向に螺旋状に装入されている放熱板とする。この放熱板は、円形断面を有する高熱伝導材からなる線材の長手方向に低熱膨張材からなる複数の芯材を装入し、前記線材の長手方向および幅方向において、前記複数の芯材が互いに非接触となる複合線材を得る複合化工程と、前記複合線材の長手方向に捩じり加工を施して捩回線材を得る捩回工程と、前記捩回線材を板状に圧延する圧延工程を有する製造方法で得ることができる。この場合、前記捩回線材の捩じりピッチＰは、前記複合線材の直径Ｄに対して１．５Ｄ≦Ｐ≦５．０Ｄの範囲にすることが好ましい。

明　細　書

発明の名称 ： 放熱板およびその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、例えば、電力用パワー半導体素子や、高周波デバイスあるいはＣＰＵ等の半導体素子が実装される、放熱板およびその製造方法に関するものである。

背景技術

[0002] 例えば、図１に示すように、電力用パワー半導体素子や高周波デバイスあるいはＣＰＵ等の半導体素子８は、放熱板１上に配置された絶縁基板７上に実装される。半導体素子８は、例えば、シリコン（Ｓｉ）、炭化ケイ素（ＳｉＣ）、窒化ガリウム（ＧａＮ）、ガリウムひ素（ＧａＡｓ）などの材料により構成されている。ここで、半導体素子８の温度上昇に対応する長さの変化、すなわち線膨張率は、例えばＳｉにより構成されている場合は、概ね４×１０$^{-6}$（１／Ｋ）である。一方、放熱板１の線膨張率は、例えば、Ｃｕにより構成されている場合は概ね１７×１０$^{-6}$（１／Ｋ）であり、ＡｌにＩより構成されている場合は概ね２３×１０$^{-6}$（１／Ｋ）である。このため、半導体素子８を実装するときに、放熱板１としてＣｕまたはＡｌにＩより構成されている板材を用いると、半導体素子８との線膨張率の差に基づく熱応力の発生により、はんだまたはろう材で形成される接合部分で剥離が生じる場合がある。

[0003] これに対して、放熱板１には、上記の半導体素子８との線膨張率およびセラミックス等で構成される絶縁基板７との線膨張率を整合させる目的で、線膨張率がより小さいＣｕＷ、ＣｕＭｏ、ＣｕＣｒ等のＣｕ合金が用いられている。これらのＣｕ合金の中でもＣｕＷやＣｕＭｏは、伸延性に乏しいため、圧延やプレス等の加工が困難であり、加工性を確保するための中間熱処理等が必要となる。また、これらのＣｕ合金は、はんだおよびろう材との濡れ性に劣るため、表面にＮｉめっき等を必要とする場合がある。

[0004] 一方、放熱板１には、低熱膨張材料として著名な約３６質量％のＮｉを含むＦｅＮｉ合金（３６アロイ）からなるＦｅＮｉ層の両面に、Ｃｕからなる Ｃｕ層が圧接されて構成された、３層構造のクラッド材（以下、「ＣＩＣクラッド材」という。）も用いられている。このＣＩＣクラッド材は、加工性が良好で、かつ線膨張率は上記の半導体素子に近いものの、Ｃｕ層とＣｕ層の間に、熱伝導率が小さい３６アロイを介在させているために、放熱板１の厚さ方向の熱伝導率が低くなってしまうという問題がある。

[0005] また、特許文献１では、ＣＩＣクラッド材のＦｅＮｉ層を構成するためのＦｅＮｉ合金板にスリット孔を設けた板を採用して、厚さ方向の熱伝導性を改善した、ＣＩＣクラッド材の変形例（以下、「ＣＩＣ－αクラッド材」という。）からなる低熱膨張複合放熱板も提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開２０１１－３８００号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 上記したＣＩＣクラッド材は、特許文献１の開示によると、Ｃｕからなる Ｃｕ層の体積比率が５０体積％のときに、長手方向の線膨張率は８．４×１０$^{-6}$（１／Ｋ）であり、放熱板として好適な小さな線膨張率を示す一方、厚さ方向の熱伝導率は２１Ｗ／（ｍ・Ｋ）であり、放熱板として不満な小さな熱伝導率を示す。

[0008] また、上述したＣＩＣ－αクラッド材は、特許文献１の開示によると、高熱伝導材からなる高熱伝導層の体積比率が６８体積％のときに、厚さ方向の熱伝導率は２２１Ｗ／（ｍ・Ｋ）であり、放熱板として好適な大きな熱伝導率を示す一方、長手方向の線膨張率は１１．９×１０$^{-6}$（１／Ｋ）であり、放熱板として不満な大きな線膨張率を示す。

また、上記したＣＩＣ－αクラッド材は、ＦｅＮｉ合金板に形成されるス

リット部のサイズや配置によっては、放熱板の長手方向（圧延方向）の熱膨張量と幅方向の熱膨張量とに大きな差が生じる（以下、「熱膨張の異方性」という。）という、新たな問題が懸念される。

[0009] 本発明の目的は、厚さ方向に比較的大きな熱伝導率を有し、上記した半導体素子の線膨張率に比較的近く、長手方向および幅方向に係る熱膨張の異方性が比較的小さい、放熱板およびその製造方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明の放熱板は、低熱膨張材からなる複数の芯材が、高熱伝導材の長手方向、幅方向および厚さ方向において互いに非接触で、長手方向に螺旋状に装入されている。つまり、本発明の放熱板は、低熱膨張材からなる複数の芯材が、螺旋状をなし、かつ、互いに非接触な状態で、マトリックスとなる高熱伝導材と複合化されている。

[0011] 前記高熱伝導材は、ＣｕまたはＣｕ合金からなることが好ましい。

[0012] 前記低熱膨張材は、ＦｅＮｉ系合金からなることが好ましい。

[0013] 前記高熱伝導材の体積比率は、３５体積％以上８０体積％以下の範囲にあることが好ましい。

[0014] 本発明の放熱板は、円形断面を有する高熱伝導材からなる線材の長手方向に低熱膨張材からなる複数の芯材を装入し、前記線材の長手方向、幅方向および厚さ方向において、前記複層の芯材が互いに非接触となる複合線材を得る複合化工程と、前記複合線材の長手方向に捩じり加工を施して捩回線材を得る捩回工程と、前記捩回線材を板状に圧延する圧延工程を有する製造方法で得ることができる。なお、本発明では、高熱伝導材の構成材料の呼称を「線材」で代表するが、例えば「棒材」「丸棒」「バー材」などの呼称であってもよい。

[0015] 前記捩回線材の捩じりピッチＰは、前記複合線材の直径Ｄに対して１．５Ｄ≦Ｐ≦５．０Ｄの範囲にすることが好ましい。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、厚さ方向に比較的大きな熱伝導性を有し、上記した半導

体素子の線膨張率に比較的近く、長手方向および幅方向に係る熱膨張の異方性が比較的小さい、放熱板を提供することができる。本発明の放熱板を用いれば、この放熱板上に実装される、例えば、電力用パワー半導体素子や、高周波デバイスあるいはＣＰＵ等の半導体素子の安定性および信頼性が向上される。よって、本発明は有用な技術となる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明の放熱板の適用例を示す模式図。

[図2]本発明例となる放熱板の幅方向断面（横断面）を示す光学顕微鏡写真。

[図3]本発明例および比較例の放熱板における芯材の配置構成の一例を示す写真。

[図4]本発明の放熱板の製造方法における複合化工程を示す模式図。

[図5]本発明の放熱板の製造方法における捩回工程を示す模式図。

[図6]長手方向の線膨張率に係る捩じりの効果の評価に用いる図（グラフ）。

[図7]幅方向の線膨張率に係る捩じりの効果の評価に用いる図（グラフ）。

[図8]厚さ方向の熱伝導率に係る捩じりの効果の評価に用いる図（グラフ）。

[図9]１８本の芯材を用いた押出用ビレットの構成の一例を示す写真。

[図10]１８本の芯材を有する複合線材の構成の一例を示す写真。

[図11]本発明例となる放熱板の幅方向断面（横断面）を示す光学顕微鏡写真。

[図12]１８本の芯材を有する放熱板における芯材の配置構成の一例を示す写真。

発明を実施するための形態

[0018] 本発明の放熱板は、低熱膨張材からなる複数の芯材が、高熱伝導材の長手方向、幅方向および厚さ方向において互いに非接触で、その高熱伝導材の長手方向に螺旋状に装入されている。ここで、図２に、本発明の放熱板の一実施形態となる放熱板１の幅方向断面（横断面）の一例を示し、その外観を図３に示す。なお、図３では、高熱伝導材の一部をエッチングによって除去して、低熱膨張材からなる芯材を露出させ、その配置構成を示している。また

、本発明では、長手方向とは板材（線材、芯材）の圧延方向、すなわち、図２における紙面前後方向、および図３における紙面上下方向のことをいい、幅方向とは板材の幅方向、すなわち、図２および図３にける紙面左右方向のことをいう。

[0019] 本発明の放熱板１は、高熱伝導材からなる母材（以下、「高熱伝導材２」という。）と、低熱膨張材からなる複数の芯材３とにより構成されている。複数の芯材３は、高熱伝導材２の内部において、高熱伝導材２の長手方向に螺旋状で、互いに非接触となるように配置されている。つまり、本発明の放熱板１は、低熱膨張材からなる複数の芯材３が、螺旋状をなし、かつ、互いに非接触な状態で、マトリックスとなる高熱伝導材２と複合化されている。したがって、放熱板１は、その長手方向の全長において、複数の芯材３が長手方向には連続して配置されているのに対して、厚さ方向および幅方向には不連続となる配置構造を有するものになる。これにより、放熱板１は、厚さ方向において相応の熱伝導性を有することが可能になるとともに、長手方向および幅方向において相応の低熱膨張性を有する、すなわち熱膨張の異方性を抑制することが可能になる。その結果、放熱板１は、電力用パワー半導体素子や、高周波デバイスあるいはＣＰＵ等の半導体素子の実装に好適に用いることができるし、さらに低熱膨張性および放熱性の両特性が要求される用途に対しても有用なものとなる。

[0020] 図２に示す放熱板１は、７本の芯材３を有している。しかし、本発明の放熱板を構成する場合、芯材の本数は、特に制限されない。本発明の放熱板における芯材の本数は、放熱対象となる半導体素子のサイズに合わせるとともに、半導体素子の線膨張率に近似した線膨張率となるように調整することを目的に、例えば２本以上５０本以下の範囲で、適宜選択できる。また、本発明の放熱板は、放熱対象となる半導体素子のサイズに合わせて、例えば、厚さを０．３ｍｍ以上４．０ｍｍ以下の範囲で、幅を５ｍｍ以上４０ｍｍ以下の範囲で、適宜選択できる。

[0021] また、本発明の放熱板を構成する複数の芯材は、長手方向において螺旋状

に配置されている。しかし、高熱伝導材の中心部に芯材が配置された場合、その芯材（図２に示す中心芯材４を参照）が長手方向において螺旋状を呈しないことは、いうまでもない。例えば、放熱板１の幅方向断面（横断面）において中央部に位置する芯材（中心芯材４）は、後述する旋回工程および圧延工程を経て変形しているが、長手方向において螺旋状を呈していない。なお、本発明の放熱板において、芯材が高熱伝導材（線材または棒材）の中心部に配置されていなくてもよく、例えば、放熱板１の中心芯材４を配置せずに省略することもできる。

[0022] 図２に示す放熱板１は、複数の芯材３が螺旋状に配置されている。そのため、上記した中心芯材４以外の複数の芯材３は、長手方向に対して所定の角度を有するとともに、幅方向に対しても所定の角度を有して配置される構造になる。本発明の放熱板は、その長手方向および幅方向における熱膨張の異方性を抑制する観点から、芯材の長手方向および幅方向に対する上記所定の角度が概ね４５°であることが好ましい。この構成を有する放熱板を用いることにより、放熱対象となる半導体素子に、長手方向、幅方向および厚さ方向で異なる熱歪が加わり難くなるため、半導体素子の性能低下や、放熱板、絶縁基板、半導体素子の各接合面における剥離を抑制することができる。

[0023] 本発明の放熱板における高熱伝導材には、例えば、Ｃｕ（ＪＩＳ規定の１０００番台の銅）、Ｃｕ合金、あるいはＡＩ（ＪＩＳ規定の１０００番台のアルミニウム）、ＡＩ合金等を適用することができ、放熱対象の半導体素子の材質等により適宜選択できる。中でも、高熱伝導材として好ましくは、熱伝導性に優れるＣｕまたはＣｕ合金である。ここで、本発明におけるＣｕ合金およびＡＩ合金は、本発明の主旨である高熱伝導性を阻害せず、はんだやろう材との接合性や、熱膨張等を考慮して、ＣｕまたはＡＩに対して、例えば、Ａｇを０．０１質量％以上３．００質量％以下の範囲で含むＣｕ合金またはＡＩ合金、あるいはＺｒを０．０１質量％以上０．５０質量％以下の範囲で含むＣｕ合金またはＡＩ合金のことをいう。

[0024] 本発明の放熱板における低熱膨張材からなる芯材には、質量％で、例えば

、Ｆｅ－３６Ｎｉ（３６アロイ）およびＦｅ－３２Ｎｉ－５ＣｏなどのＦｅＮｉ系合金、Ｆｅ－５４Ｃｏ－９．５ＣｒなどのＦｅＣｏ系合金、Ｆｅ－２９Ｎｉ－１６ＣｏおよびＦｅ－２９Ｎｉ－１７ＣｏなどのＦｅＮｉＣｏ系合金を適用することができる。中でも、低熱膨張材として好ましくは、Ｆｅ－３６Ｎｉ、Ｆｅ－３２Ｎｉ－５Ｃｏ、Ｆｅ－２９Ｎｉ－１６ＣｏおよびＦｅ－２９Ｎｉ－１７Ｃｏなど、含有量が多い方から上位二つの元素がＦｅとＮｉであるＦｅＮｉ系合金である。

[0025] また、本発明の放熱板における低熱膨張材からなる芯材には、上記したシリコン（Ｓｉ）、炭化ケイ素（ＳｉＣ）、窒化ガリウム（ＧａＮ）、ガリウムひ素（ＧａＡｓ）等からなる半導体素子と線膨張率を近似させる観点から、例えば、Ｃｒ、Ｍｏ、Ｗなどの単一金属からなり、線膨張率が７．０×１０$^{-6}$（１／Ｋ）以下の線材を用いることができる。また、本発明の放熱板における低熱膨張材からなる芯材は、上記した各種半導体素子の線膨張率に応じて、ＦｅＮｉ系合金（例えば３６アロイ）からなる線材、ＦｅＮｉＣｏ系合金（例えばＦｅ－２９Ｎｉ－１６ＣｏまたはＦｅ－２９Ｎｉ－１７Ｃｏ）からなる線材、線膨張率が７．０×１０$^{-6}$（１／Ｋ）以下の単一金属（例えばＣｒ、Ｍｏ、Ｗ）からなる線材、または、上記した材質が異なる線材を複数組み合せるなど、適宜選択して用いることもできる。

[0026] 本発明の放熱板は、厚さ方向の高熱伝導性を確保し、かつ、長手方向と幅方向とで生じる熱膨張の異方性を抑制するには、線材（棒材）を構成する高熱伝導材と、低熱膨張材からなる複数の芯材との構成バランスを的確に決めることが好ましい。また、本発明の放熱板は、高熱伝導材の体積／（高熱伝導材の体積＋低熱膨張材の体積）で求まる値、すなわち、高熱伝導材と低熱膨張材の体積の合計を１００体積％としたときに、高熱伝導材の体積比率を３５体積％以上８０体積％以下の範囲にすることが好ましい。なお、高熱伝導材の熱伝導率は、組み合せる低熱膨張材（３６アロイの熱伝導率は１３Ｗ／（ｍ・Ｋ）程度）の例えば１０倍以上大きい値が好ましく、例えばＣ１０２０（ＪＩＳ規格）などの純Ｃｕの熱伝導率（約４００Ｗ／（ｍ・Ｋ））と

同等か、その値により近いほど好ましい。

[0027] ＦｅＮｉ系合金などからなる低熱膨張材は、線膨張率が小さく放熱板に適するが、熱伝導率が小さく放熱板には不満である。また、ＣｕまたはＣｕ合金などからなる高熱伝導材は、熱伝導率が大きく放熱板に適するが、線膨張率が大きく放熱板には不満である。このため、低熱膨張材の体積比率を大きくしすぎると、放熱板の熱伝導率が低下してしまい、半導体素子からの発熱を放熱する機能が低下する場合がある。また、高熱伝導材の体積比率を大きくしすぎると、放熱板の線膨張率が半導体素子の線膨張率と乖離してしまい、半導体素子が放熱板から剥離する場合がある。こうした観点から、本発明の放熱板における高熱伝導材の体積比率は、半導体素子の熱伝導率に近づけるために３５体積％以上とすることが好ましく、半導体素子の線膨張率と大きく乖離させないために８０体積％以下にすることが好ましい。

[0028] 本発明の放熱板は、（１）円形断面を有する高熱伝導材からなる線材（または棒材）の長手方向に低熱膨張材からなる複数の芯材を装入し、前記線材の長手方向、幅方向および厚さ方向において、前記複数の芯材が互いに非接触となる複合線材を得る複合化工程と、（２）前記複合線材の長手方向に捩じり加工を施して捩回線材を得る捩回工程と、（３）前記捩回線材を板状に圧延する圧延工程を有する、本発明の放熱板の製造方法で得ることができる。

[0029] （１）複合化工程

複合化工程では、図４に示すように、例えば、Ｃｕからなり円形断面を有する棒材を高熱伝導材２として準備し、Ｆｅ－３６％Ｎｉ（３６アロイ）からなる複数の芯材３を低熱膨張材として準備する。このとき、高熱伝導材２である棒材には、複数の芯材３を装入するための複数の穴を長手方向に設ける。高熱伝導材２である棒材に設ける複数の穴は、その穴に装入した複数の芯材３が長手方向、幅方向および厚さ方向において、互いに非接触となるように、穴開け加工する。なお、本発明の放熱板の製造方法では、後述する捩回工程で、複数の芯材３が装入された複合線材５に捩じり加工を施す観点か

ら、高熱伝導材２には円形断面を採用する。続いて、低熱膨張材からなる複数の芯材３を、高熱伝導材２である棒材に形成した複数の穴に装入し、複合線材５を得る。ここで、芯材３の断面形状およびそれに対応する高熱伝導材２の穴の断面形状は、特に制限されない。なお、芯材３の断面形状は、高熱伝導材２である棒材の穴開け性や、低熱膨張材である芯材３の入手性の観点から、円形断面を採用することが好ましい。

[0030] また、図４に示す複合線材５は、高熱伝導材２である棒材に形成された７つの穴のすべてに低熱膨張材である芯材３が装入されている、７芯構造である。なお、本発明の放熱板における芯材３の本数は、特に制限されるものではなく、放熱対象となる半導体素子のサイズに合わせるとともに、半導体素子の線膨張率に近似した線膨張率となるように調整することを目的に、適宜選択できる。また、上記した複合化工程では、低熱膨張材である芯材３の均一配置という観点から、複数の芯材３を、芯材３が互いに非接触となるように、高熱伝導材２である棒材の円形断面に内接して描ける六角形の輪郭の内側に等間隔で配置することが好ましい。

[0031] 上記した複合化工程では、複合線材５を得るために、Ｃｕからなる高熱伝導材２（棒材）と低熱膨張材である３６アロイからなる複数の芯材３との密着性を高める観点、および塑性変形能を考慮して加工性を向上させる観点から、押出し加工または伸線加工を加熱を伴って行うことが好ましい。これに加えて、上記の各工程内において、あるいは、複合化工程と捩回工程との間、捩回工程と圧延工程との間において、軟化焼鈍などの熱処理工程を行うことが好ましい。

[0032] （２）捩回工程

捩回工程では、図５に示すように、複合化工程で得た複合線材５に捩じり加工を施し、捩回線材６を得る。具体的には、一端を固定し、他端をチャックなどで把持した状態の複合線材５を、チャックを回転させて捩じることにより、捩回線材６を得る。これにより、互いに非接触の状態にある複数の芯材３を、長手方向に対して所定の角度および周期で螺旋状に配置することが

できる。捩回数工程では、量産性の観点から、例えば、コイル状に巻かれた複合線材５の先端部を巻出しながら、その先端部から順に捩じり加工を施す方法などが適用できる。

[0033] 捩回工程では、捩回線材６の捩じりピッチＰを、複合線材５の直径（線径）Ｄに対して１．５Ｄ≦Ｐ≦５．０Ｄの範囲にすることが好ましい。捩回線材６の捩じりピッチＰが複合線材５の線径Ｄに対して１．５Ｄ以上であることは好ましく、複合線材５が捩回限界、すなわち、せん断変形の限界を超えて破断する不具合が発生しにくい。また、捩回線材６の捩じりピッチＰが複合線材５の線径Ｄに対して５．０Ｄ以下であることは好ましく、十分な捩じり量（捩回角度）を有する捩回線材６が得られる。捩回線材６の捩じり量が十分であると、圧延工程で捩回線材６を板状に圧延して放熱板を得た際に、放熱板の長手方向および幅方向における線膨張率の差を小さくすることができるため、放熱板の熱膨張の異方性を抑制できる。これにより、本発明の放熱板は、放熱対象となる半導体素子に、長手方向と幅方向で異なる熱歪が加わることを抑えて、半導体素子の性能低下や放熱板、絶縁基板、半導体素子の各接合面における剥離を抑制することができる。

[0034] （３）圧延工程

圧延工程では、捩回工程で得た捩回線材６を板状に圧延し、最終的に放熱板の断面形状を有する板材が形成されるように圧延する。圧延工程では、例えば、上下一対のロールで構成される圧延スタンドを一段あるいは多段に配置した圧延機を用いて、１パスあるいは複数回のパスで、放熱板の形状寸法となるように、圧延することができる。圧延工程では、最終的に放熱板の断面形状を有する板材において、高熱伝導材の内部に配置された複数の芯材３が、その板材の長手方向、幅方向および厚さ方向において互いに非接触で、幅方向および厚さ方向で連なっていない構造となるように、圧下率などの圧延条件を適宜調整しながら常温（室温）で圧延することが好ましい。

実施例

[0035] ＜７芯構造の放熱板＞

本発明の放熱板の一実施形態となる、７芯構造の放熱板を作製した。まず、図４に示すように、高熱伝導材２として直径が２８ｍｍの純Ｃｕからなる棒材（線材）と、低熱膨張材として３６アロイからなる複数の芯材３（線材）を準備した。高熱伝導材２には、その長手方向に貫通する同径の貫通孔を、高熱伝導材２の円形断面内に略均一配置される７か所に形成した。高熱伝導材２に形成する貫通穴の直径は、８．３ｍｍ、７．５ｍｍ、６．４ｍｍ、５．０ｍｍの４水準とした。芯材３は、貫通穴の直径よりも０．３ｍｍ小さい直径（線径）とし、８．０ｍｍ、７．２ｍｍ、６．１ｍｍ、４．７ｍｍの４水準とし、長さを１５０ｍｍとした。上記した高熱伝導材２の７つの貫通孔のそれぞれに、これに対応する線径の芯材３を装入した。そして、この高熱伝導材２の長手方向の両端部にプラグを嵌め込み、４種類の押出し用ビレットを作製した。この場合、４種類の押出し用ビレットの高熱伝導材２の体積比率は、４種類の芯材３の線径に対応して、それぞれ、約４３体積％、約５２体積％、約６６体積％、約８０体積％となる。

[0036] 続いて、４種類の押出し用ビレットを、約４００℃に加熱した状態で、直径が１２ｍｍとなるように押出し加工して、４種類のビレットを作製した。続いて、直径が１２ｍｍの４種類のビレットのそれぞれを伸線加工して細径化し、直径（線径）が５ｍｍの４種類の複合線材５を作製した。そして、４種類の複合線材５のそれぞれについて、約７００℃で２時間の保持条件で熱処理して軟化させた後、その長さを５００ｍｍ毎に切り分けた。ここまでが複合化工程となる。

[0037] 次に、図５に示すように、４種類の複合線材５のそれぞれについて、捩じり加工を行った。具体的には、一端を万力で固定し、他端を３方チャックで固定した状態の複合線材５を、３方チャックを回転させて捩じることにより、捩回線材６を作製した。ここで、捩じりピッチＰは、複合線材５の直径Ｄ（線径５ｍｍ）に対して、１０倍のＰ＝１０Ｄ（５０ｍｍ）、５倍のＰ＝５Ｄ（２５ｍｍ）、および３倍のＰ＝３Ｄ（１５ｍｍ）の３水準とした。これにより、本発明例に係る１２種類（高熱伝導材２の体積比率の変化で４水準

、捩じりピッチＰの変化で３水準）の捩回線材６を作製することができた。ここまでが捩回工程となる。また、捩回工程を通さず、複合線材５を５００ｍｍの長さに切り分けた、比較例に係る４種類（高熱伝導材２の体積比率の変化で４水準）の複合線材も作製した。

[0038] 次に、本発明例に係る捩回線材６と、比較例に係る複合線材とについて、それぞれ、常温（室温）で板状に圧延して、厚さ１．４ｍｍ×幅８．６ｍｍの平角線材を作製した。この平角線材は本発明の放熱板の一実施形態である。続いて、平角線材のそれぞれについて、幅方向の両端部を０．３ｍｍずつ切断（スリッティング）し、圧延方向の長さが８ｍｍとなるように切り出し、厚さ１．４ｍｍ×幅８ｍｍ×長さ８ｍｍの放熱板１を作製した。ここまでが圧延工程となる。

[0039] 上記した製造方法により作製した、本発明例となる１２種類の放熱板および比較例となる４種類の放熱板について、それぞれ、線膨張率および熱伝導率を求めた。線膨張率は、株式会社リガク製の熱膨張測定装置（型式：ＴＭＡ８３１０）を用いて、２５℃～１７０℃の範囲における、放熱板の長さ方向および幅方向の熱膨張量の測定を行ない、その測定結果から算出した。熱伝導率は、放熱板の厚さ方向の電気抵抗を測定することにより電気抵抗率ρを求め、Ｗｉｅｄｅｍａｎｎ－Ｆｒａｎｔｚの法則に基づいて求めた。その結果を表１に示す。

[0040] ここで、特許文献１に開示され、従来例となるＣＩＣクラッド材およびＣＩＣ－αクラッド材について説明する。特許文献１の開示から、ＣＩＣクラッド材は、高熱伝導材の体積比率が５０体積％のときに長手方向の線膨張率が８．４×１０$^{-6}$（１／Ｋ）となり、放熱板として小さく好適な線膨張率を示す。しかし、ＣＩＣクラッド材の高熱伝導材の体積率が５０体積％のときの厚さ方向の熱伝導率は２１Ｗ／（ｍ・Ｋ）であり、放熱板としては小さく不満な熱伝導率を示す。また、同様に、低熱膨張材であるＦｅＮｉ合金板にスリット孔を設けてＦｅＮｉ層としたＣＩＣ－αクラッド材は、高熱伝導材の体積比率が６８体積％のときに厚さ方向の熱伝導率が２２１Ｗ／（ｍ・Ｋ

）となり、放熱板として大きく好適な熱伝導率を示す。しかし、ＣｌＣ－αクラッド材の高熱伝導材の体積比率が６８体積％のときの長手方向の線膨張率は１１．９×１０$^{-6}$（１／Ｋ）であり、放熱板としては大きくは不満な線膨張率を示す。これらの数値についても表１に併記する。

[0041] また、高熱伝導材と低熱膨張材とで単純に構成された放熱板を想定し、この放熱板の高熱伝導材の体積比率（V_C）が３５体積％の場合および８０体積％の場合の熱伝導率および線膨張率を、単純な複合則によって計算した結果について説明する。なお、高熱伝導材は純Ｃｕとし、熱伝導率（T_C）を３９０Ｗ／（ｍ・Ｋ）、線膨張率（K_C）を１６．８×１０$^{-6}$（１／Ｋ）とした。また、低熱膨張材は３６アロイとし、熱伝導率（T_F）を１３Ｗ／（ｍ・Ｋ）、線膨張率（K_F）を１．２×１０$^{-6}$（１／Ｋ）とした。この場合、単純な複合則によれば、放熱板の熱伝導率は$Tc \times V_C + T_F \times (1 - V_C)$により、線膨張率は$Kc \times V_C + K_F \times (1 - V_C)$により、求めることができる。その結果、$V_C$が３５体積％の場合、放熱板の熱伝導率は約１４５Ｗ／（ｍ・Ｋ）、線膨張率は約６．７×１０$^{-6}$（１／Ｋ）となった。また、V_Cが８０体積％の場合、放熱板の熱伝導率は約３１５Ｗ／（ｍ・Ｋ）、線膨張率は約１３．７×１０$^{-6}$（１／Ｋ）となった。なお、例えば、半導体素子に多用されるＳｉ基板（Ｓｉ単結晶）の熱伝導率は約１６８Ｗ／（ｍ・Ｋ）、線膨張率は約３．９×１０$^{-6}$（１／Ｋ）である。これらの数値についても表１に併記する。

[0042]

[表1]

試料 No	高熱伝導材の体積比率 [体積%]	捩じりピッチ [mm]	線膨張率 [×10⁻⁶(1／K)] 長手方向(a)	幅方向(b)	異方性(|a-b|)	厚さ方向の熱伝導率 [W/(m·K)]
本発明例 1	43	50	5.4	6.3	0.9	—
本発明例 2		25	5.3	5.7	0.4	—
本発明例 3		15	5.3	5.3	0.0	136
比較例 1		—	5.4	6.8	1.4	125
本発明例 4	52	50	6.7	8.2	1.5	—
本発明例 5		25	6.5	7.4	0.9	—
本発明例 6		15	6.3	6.3	0	167
比較例 2		—	6.8	8.4	1.6	160
本発明例7	66	50	7.2	10.5	3.3	—
本発明例8		25	7.4	9.1	1.7	—
本発明例9		15	7.8	8.0	0.2	221
比較例 3		—	7.3	10.9	3.6	212
本発明例 10	80	50	9.1	12.8	3.7	—
本発明例 11		25	9.3	11.4	2.1	—
本発明例 12		15	9.8	10.3	0.5	291
比較例 4		—	8.8	13.1	4.3	278
CICクラッド材	50	—	8.4	—	—	21
CIC-αクラッド材	68	—	11.9	—	—	221
Si基板(単結晶)	—	—	3.9	—	—	168
放熱板(複合則で算定)	35	—	6.7	—	—	145
	80	—	13.7	—	—	315

[0043] (長手方向の線膨張率)

表１において、高熱伝導材の体積比率が小さくなると、本発明例および比較例の長手方向の線膨張率が小さくなる傾向が確認される。この傾向が生じるのは、低熱膨張材よりも熱伝導率が大きい高熱伝導材の体積割合が減少するからである。ここで、本発明例１～３の長手方向の線膨張率は、高熱伝導

材の体積比率が大きい（４３体積％）にも拘わらず、単純な複合則によって求めた高熱伝導材の体積比率が３５体積％の線膨張率よりも小さくなった。

[0044] また、表１において、本発明例１～３と比較例１、本発明例４～６と比較例２、本発明例７～９と比較例３および本発明例１０～１２と比較例４との比較により、高熱伝導材の体積比率が４３体積％、５２体積％、６６体積％および８０体積％のそれぞれの場合において、長手方向の線膨張率は、本発明例と比較例との間に有意と考えるべき明確な差がないことが分かる。この結果から、長手方向の低熱膨張性は、捩じりの有無により有意と考えるべき明確な影響を受けないことが判明した。また、本発明例４～６の比較により、高熱伝導材の体積比率が５２体積％の場合、捩じりピッチが小さくなると長手方向の線膨張率が小さくなる傾向が認められる。この傾向が生じるのは、捩じりピッチが小さくなることで相対的に長手方向における低熱膨張材の密度が大きくなるためと考えられる。また、本発明例７～９および本発明例１０～１２の比較により、高熱伝導材の体積比率が６６体積％および８０体積％の場合、捩じりピッチが小さくなると長手方向の線膨張率が大きくなる特異な傾向が認められる。この傾向が生じるのは、高熱伝導材の体積比率が大きいため、捩じりピッチが小さくなって相対的に長手方向における低熱膨張材の密度が大きくなる影響を受けにくいためと考えられる。

[0045] ここで、本発明例１～１２の長手方向の線膨張率（K_{LI}）をそれぞれに対応する比較例１～４の長手方向の線膨張率（K_{LC}）で除して求めた値（K_{LI}/K_{LC}）を表２に示し、それに基づくグラフを図６に示す。図６において、高熱伝導材の体積比率を変化させたとき、K_{LI}/K_{LC}が１のラインを横切るのは、概ね４０体積％から４５体積％の間、および概ね６０体積％から７０体積％の間、と考えられる。長手方向の線膨張率が捩じりの影響を受けないと考えられるのはK_{LI}/K_{LC}が１のラインであり、捩じりの効果を得て長手方向の線膨張率が小さくなるのはK_{LI}/K_{LC}が１未満になる領域である。この観点において、本発明の放熱板の高熱伝導材の体積比率を、下限として、好ましくは４０体積％以上、より好ましくは４５体積％以上、より一層好ま

しくは５０体積％以上とし、上限として、好ましくは７０体積％以下、より好ましくは６５体積％以下、より一層好ましくは６０体積％以下とすれば、捩じりの効果を得て、長手方向の線膨張率をより小さくすることができる。なお、本発明の放熱板の高熱伝導材の体積比率の範囲は、上記した下限および上限を用途に応じて組み合わせることができる。

[0046] [表2]

	K_{LI}/K_{LC}			
本発明例 1, 4, 7, 10（捩じりピッチ50mm）	1.00	0.99	0.99	1.03
本発明例 2, 5, 8, 11（捩じりピッチ25mm）	0.98	0.96	1.01	1.06
本発明例 3, 6, 9, 12（捩じりピッチ15mm）	0.98	0.93	1.07	1.11
高熱伝導材の体積比率［体積％］	43	52	66	80

[0047] また、表１において、本発明例１～１２とＣＩＣクラッド材との比較により、本発明例の長手方向の線膨張率は、ＣＩＣクラッド材と同等またはＣＩＣクラッド材よりも小さいことが分かる。なお、この場合、本発明の放熱板の高熱伝導材の体積比率が８０体積％未満（好ましくは７５体積％以下、より好ましくは７０体積％以下）に設定することにより、長手方向の線膨張率がＣＩＣクラッド材よりも確実に小さくなることが分かる。また、本発明例１～１２とＣＩＣ－αクラッド材との比較により、本発明例の長手方向の線膨張率は、ＣＩＣ－αクラッド材よりも明らかに小さいことが分かる。この結果から、本発明の放熱板は、高熱伝導材の内部の低熱膨張材（図５に示す複数の芯材３を参照）が特別な螺旋状の形態に配置されていることにより半導体素子の線膨張率に比較的近く、従来のＣＩＣクラッド材およびＣＩＣ－αクラッド材と比較して、長手方向の線膨張率が半導体素子（Ｓｉ基板）の線膨張率により近いことが判明した。

[0048] （幅方向の線膨張率）

表１において、高熱伝導材の体積比率が大きくなると、本発明例および比較例の幅方向の線膨張率が大きくなる傾向が確認される。この傾向が生じる

のは、低熱膨張材よりも熱伝導率が大きい高熱伝導材の体積割合が増加するからである。また、本発明例１～３と比較例１、本発明例４～６と比較例２、本発明例７～９と比較例３および本発明例１０～１２と比較例４との比較により、高熱伝導材の体積比率に関わらず本発明例と比較例との間に有意と考えるべき明確な差があり、本発明例の幅方向の線膨張率が比較例よりも小さいことが分かる。なお、この場合、本発明例１～３、４～６、７～９および１０～１２の比較により、捩じりピッチが小さくなると幅方向の線膨張率が小さくなる傾向が認められる。この傾向が生じるのは、捩じりピッチが小さくなることで相対的に低熱膨張材の密度が大きくなるからである。この結果から、本発明の放熱板は、高熱伝導材の内部の低熱膨張材（図５に示す複数の芯材３を参照）が特別な螺旋状の形態に配置されていることにより、捩じりのない比較例の放熱板と比較して、幅方向の線膨張率が小さくなることが判明した。

[0049] ここで、本発明例１～１２の幅手方向の線膨張率（K_{WI}）をそれぞれに対応する比較例１～４の幅方向の線膨張率（K_{WC}）で除して求めた値（K_{WI}／K_{WC}）を表３に示し、それに基づくグラフを図７に示す。図７において、高熱伝導材の体積比率を変化させたとき、その全域で、K_{WI}／K_{WC}が１未満となった。また、捩じりピッチが小さいほど、幅方向の線膨張率が小さくなった。この結果から、高熱伝導材の体積比率に関わらず捩じりの効果が得られ、また、捩じりピッチが小さいほど多くの捩じりの効果が得られ、幅方向の線膨張率が小さくなることが判明した。この結果から、本発明の放熱板は、高熱伝導材の体積比率を３５体積％以上８０体積％以下とすることにより、捩じりの効果を得て、幅方向の線膨張率をより小さくすることができることが分かる。また、図７に示す線形近似線および２次近似線を考慮して高熱伝導材の体積比率の上限に着目すれば、好ましくは７５体積％以下、より好ましくは７０体積％以下、より一層好ましくは６５体積％以下であることが分かる。

[0050]

[表3]

	K_{WI}/K_{WC}			
本発明例 1, 4, 7, 10（捩じりピッチ50mm）	0.93	0.98	0.96	0.98
本発明例 2, 5, 8, 11（捩じりピッチ25mm）	0.84	0.88	0.83	0.87
本発明例 3, 6, 9, 12（捩じりピッチ15mm）	0.78	0.75	0.73	0.79
高熱伝導材の体積比率［体積%］	43	52	66	80

[0051]（線膨張の異方性）

表１に示す異方性は、長手方向の線膨張率（ａ）と幅方向の線膨張率（ｂ）との差の絶対値（｜ａ－ｂ｜）で評価したものである。表１において、本発明例および比較例の線膨張の異方性は、高熱伝導材の体積比率が小さくなると、長手方向および幅方向の線膨張率の変化傾向に基づいて、より抑制される傾向があることが分かる。また、本発明例１～３と比較例１、本発明例４～６と比較例２、本発明例７～９と比較例３および本発明例１０～１２と比較例４との比較により、高熱伝導材の体積比率に関わらず本発明例と比較例との間に有意と考えるべき明確な差があり、本発明例の線膨張の異方性が比較例よりも抑制されていることが分かる。なお、この場合、本発明例１～３、４～６、７～９および１０～１２の比較により、捩じりピッチが小さくなると線膨張の異方性がより抑制される傾向が認められる。この傾向が生じるのは、捩じりピッチが小さくなることで相対的に低熱膨張材の密度が大きくなるからである。この結果から、本発明の放熱板は、高熱伝導材の内部の低熱膨張材（図５に示す複数の芯材３を参照）が特別な螺旋状の形態に配置されていることにより熱膨張の異方性が比較的小さく、捩じりのない比較例の放熱板と比較して、線膨張の異方性が抑制されることが判明した。

[0052]（厚さ方向の熱伝導率）

表１において、高熱伝導材の体積比率が大きくなると、本発明例および比較例の厚さ方向の熱伝導率が大きくなる傾向が確認される。この傾向が生じ

るのは、低熱膨張材よりも熱伝導率が大きい高熱伝導材の体積割合が増加するからである。また、本発明例と比較例との比較により、高熱伝導材の体積比率に関わらず本発明例と比較例との間に有意と考えるべき明確な差があり、本発明例の厚さ方向の熱伝導率が比較例よりも大きいことが分かる。この結果から、本発明の放熱板は、高熱伝導材の内部の低熱膨張材（図５に示す複数の芯材３を参照）が特別な螺旋状の形態に配置されていることにより厚さ方向に比較的大きな熱伝導率を有し、捩じりのない比較例の放熱板と比較して、厚さ方向の熱伝導率が大きくなることが判明した。

[0053] ここで、本発明例３、６、９および１２の厚さ方向の熱伝導率（T_{TI}）をそれぞれに対応する比較例１～４の厚さ方向の熱伝導率（T_{TC}）で除して求めた値（T_{TI}/T_{TC}）を表４に示し、それに基づくグラフを図８に示す。図８において、高熱伝導材の体積比率を変化させたとき、T_{TI}/T_{TC}が１のラインを横切るのは、概ね７５体積%付近と考えられる。厚さ方向の熱伝導率が捩じりの影響を受けないと考えられるのはT_{TI}/T_{TC}が１のラインであり、捩じりの効果を得て厚さ方向の熱伝導率が大きくなるのはT_{TI}/T_{TC}が１を超える領域である。この観点において、本発明の放熱板の高熱伝導材の体積比率を、好ましくは３５体積%以上７５体積%以下とすることにより、捩じりの効果を得て、厚さ方向の熱伝導率を大きくすることができる。また、図８に示す３次近似線を考慮して高熱伝導材の体積比率の上限に着目すれば、好ましくは７０体積%、より好ましくは６５体積%であることが分かる。

[0054] [表4]

	T_{TI}/T_{TC}			
本発明例 3, 6, 9, 12（捩じりピッチ15mm）	1.09	1.04	1.04	0.98
高熱伝導材の体積比率［体積%］	43	52	66	80

[0055] また、表１において、本発明例とＣＩＣクラッド材との比較により、本発明例の厚さ方向の熱伝導率は、ＣＩＣクラッド材よりも特段に大きいことが分かる。例えば、高熱伝導材の体積比率が６６体積%の場合（本発明例９）

の厚さ方向の熱伝導率は、ＣＩＣクラッド材よりも約１０倍大きく、４３体積％の場合（本発明例３）でも６倍以上大きい。また、本発明例とＣＩＣ－αクラッド材との比較により、本発明例の厚さ方向の熱伝導率は、高熱伝導材の体積比率が６６体積％の場合（本発明例９）にＣＩＣ－αクラッド材と同等となり、８０体積％の場合（本発明例１２）にはＣＩＣ－αクラッド材よりも明らかに大きくなることが分かる。なお、この場合、本発明の放熱板の高熱伝導材の体積比率が６５体積％超（好ましくは７０体積％以上）に設定することにより、厚さ方向の線膨張率がＣＩＣ－αクラッド材よりも確実に大きくなることが分かる。この結果から、本発明の放熱板は、高熱伝導材の内部の低熱膨張材（図５に示す複数の芯材３を参照）が特別な螺旋状の形態に配置されていることにより、従来のＣＩＣ－αクラッド材と比較して、厚さ方向により大きな線膨張率を有する場合があることが判明した。なお、この場合、本発明の放熱板の厚さ方向の熱伝導率が半導体素子（Ｓｉ基板）の熱伝導率よりも大きくなるため、半導体素子からの抜熱および放熱に有効であることが分かる。

[0056] ＜１８芯構造の放熱板＞

本発明の放熱板の一実施形態となる、１８芯構造の放熱板を作製した。１８芯構造の放熱板の製造方法は、上記した７芯構造の場合と略同様である。具体的には、図４に示すように、高熱伝導材２として直径が６２ｍｍの純Ｃｕからなる棒材と、低熱膨張材として３６アロイからなる複数の芯材３を準備した。高熱伝導材２の長手方向の貫通孔は、高熱伝導材２の中心部を除く円形断面内に略均一配置される１８か所に形成した。貫通穴の直径は９ｍｍとした。芯材３の直径は８．６ｍｍとした。高熱伝導材２（棒材）の１８個の貫通孔のそれぞれに芯材３を装入し、高熱伝導材２（棒材）の長手方向の両端部にプラグを嵌め込み、図９に示す押出し用ビレットを作製した。この場合、押出し用ビレットの高熱伝導材２の体積比率は、約６２体積％となる。

[0057] 続いて、押出し用ビレットを、約４００℃に加熱した状態で、直径が２２

．５ｍｍとなるように押出し加工した。続いて、伸線加工して細径化し、図１０に示す横断面を有して成る、直径（線径）が６ｍｍの複合線材５を作製した。そして、その複合線材５を２ｍ毎の長さで切り分けた後、約７００℃で１時間の保持条件で熱処理して軟化させた。ここまでが複合化工程となる。

[0058] 次に、図５に示すように、複合線材５の捩じり加工を行った。具体的には、一端を万力で固定し、他端を３方チャックで固定した状態の複合線材５を、３方チャックを回転させて捩じることにより、捩回線材６を作製した。捩じりピッチＰは、複合線材５の直径Ｄ（線径５ｍｍ）に対して、３．５倍のＰ＝３．５Ｄ（２１ｍｍ）とした。ここまでが捩回工程となる。

[0059] 次に、捩回線材６を、常温（室温）で板状に圧延して、図１１に示す幅方向断面（横断面）を有して成る、厚さ１．４ｍｍ×幅１５ｍｍの平角線材を作製した。この平角線材は本発明の放熱板の一実施形態である。この平角線材の外観を図１２に示す。なお、図１２では、高熱伝導材２の一部をエッチングによって除去して、低熱膨張材からなる芯材３を露出させ、その配置構成を示している。続いて、平角線材の幅方向の両端部を０．５ｍｍずつ切断（スリッティング）し、圧延方向の長さが１４ｍｍとなるように切り出し、厚さ１．４ｍｍ×幅１４ｍｍ×長さ１４ｍｍの放熱板１を作製した。ここまでが圧延工程となる。

[0060] 上記した製造方法により作製した、本発明例となる放熱板の線膨張率および熱伝導率を求めた。熱膨張率は、株式会社リガク製の熱膨張測定装置（型式：ＴＭＡ８３１０）を用いて、２５℃～１７０℃の範囲における、放熱板の長さ方向および幅方向の熱膨張量の測定を行ない、その測定結果から算出した。熱伝導率は、放熱板の厚さ方向の電気抵抗を測定することにより電気抵抗率ρを求め、Ｗｉｅｄｅｍａｎｎ－Ｆｒａｎｔｚの法則に基づいて求めた。その結果、１８芯構造の放熱板の長手方向（圧延方向）の線膨張率は約８．５×１０$^{-6}$（１／Ｋ）、幅方向の線膨張率は約８．８×１０$^{-6}$（１／Ｋ）となった。この場合、線膨張の異方性は、約０．３×１０$^{-6}$（１／Ｋ）と

なる。また、１８芯構造の放熱板の厚さ方向の熱伝導率は、約２６０Ｗ／（ｍ・Ｋ）となった。

[0061] これにより、１８芯構造の放熱板は熱膨張の異方性が小さく抑制されており、長手方向の線膨張率が、表１に示すＣＩＣ－αクラッド材（高熱伝導材の体積比率が６８体積％）よりも約３０％小さく、半導体素子に多用される例えばＳｉ基板（Ｓｉ単結晶）の線膨張率に近くなることが確認された。また、１８芯構造の放熱板は、厚さ方向の熱伝導率が、表１に示すＣＩＣ－αクラッド材（高熱伝導材の体積比率が６８体積％）よりも約１８％大きく、半導体素子に多用される例えばＳｉ基板（Ｓｉ単結晶）の熱伝導率よりも約５５％大きくなることが確認された。この結果から、本発明の放熱板は、高熱伝導材の内部の低熱膨張材（図５に示す複数の芯材３を参照）が特別な螺旋状の形態に配置されていることにより、線膨張の異方性が緩和され、長手方向の線膨張率が従来のＣＩＣ－αクラッド材よりも半導体素子（Ｓｉ基板）に近づき、厚さ方向の熱伝導率が大きくなるため、半導体素子からの抜熱および放熱に有効であることが判明した。

符号の説明

[0062] １．放熱板

２．高熱伝導材

３．芯材

４．中心芯材

５．複合線材

６．捩回線材

７．絶縁基板

８．半導体素子

請求の範囲

[請求項1] 低熱膨張材からなる複数の芯材が、高熱伝導材の長手方向、幅方向および厚さ方向において互いに非接触で、長手方向に螺旋状に装入されている放熱板。

[請求項2] 前記高熱伝導材は、ＣｕまたはＣｕ合金からなる請求項１に記載の放熱板。

[請求項3] 前記低熱膨張材は、ＦｅＮｉ系合金からなる請求項１または請求項２に記載の放熱板。

[請求項4] 前記高熱伝導材の体積比率が３５体積％以上８０体積％以下である請求項１ないし請求項３のいずれか１項に記載の放熱板。

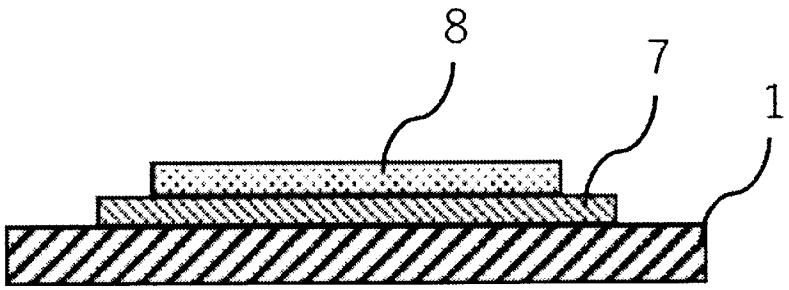
[請求項5] 円形断面を有する高熱伝導材からなる線材の長手方向に低熱膨張材からなる複数の芯材を装入し、前記線材の長手方向、幅方向および厚さ方向において、前記複数の芯材が互いに非接触となる複合線材を得る複合化工程と、

前記複合線材の長手方向に捩じり加工を施して捩回線材を得る捩回工程と、

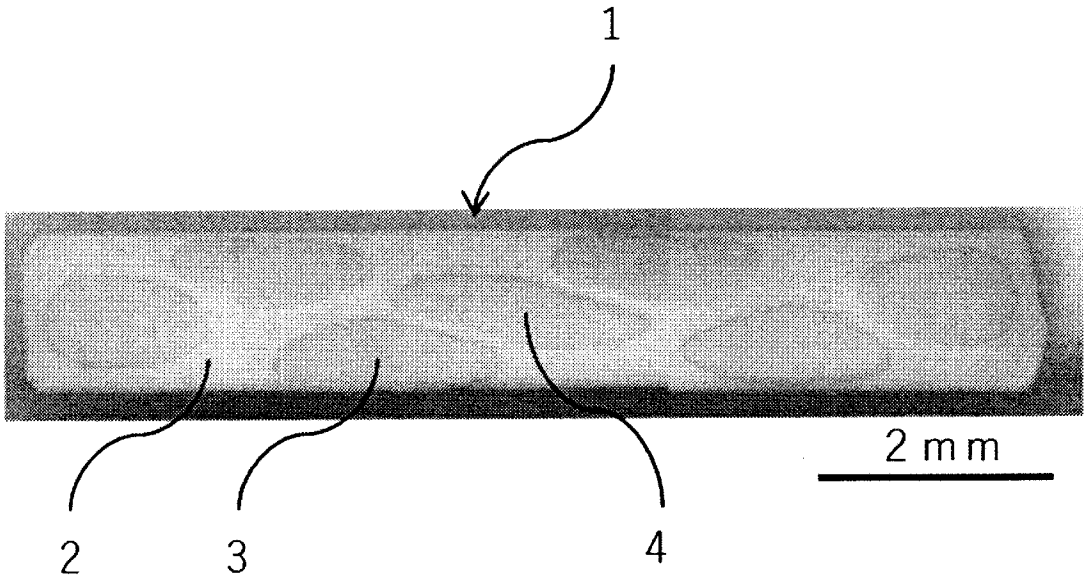
前記捩回線材を板状に圧延する圧延工程を有する放熱板の製造方法。

[請求項6] 前記捩回線材の捩じりピッチＰを、前記複合線材の直径Ｄに対して１．５Ｄ≦Ｐ≦５．０Ｄの範囲にする請求項５に記載の放熱板の製造方法。

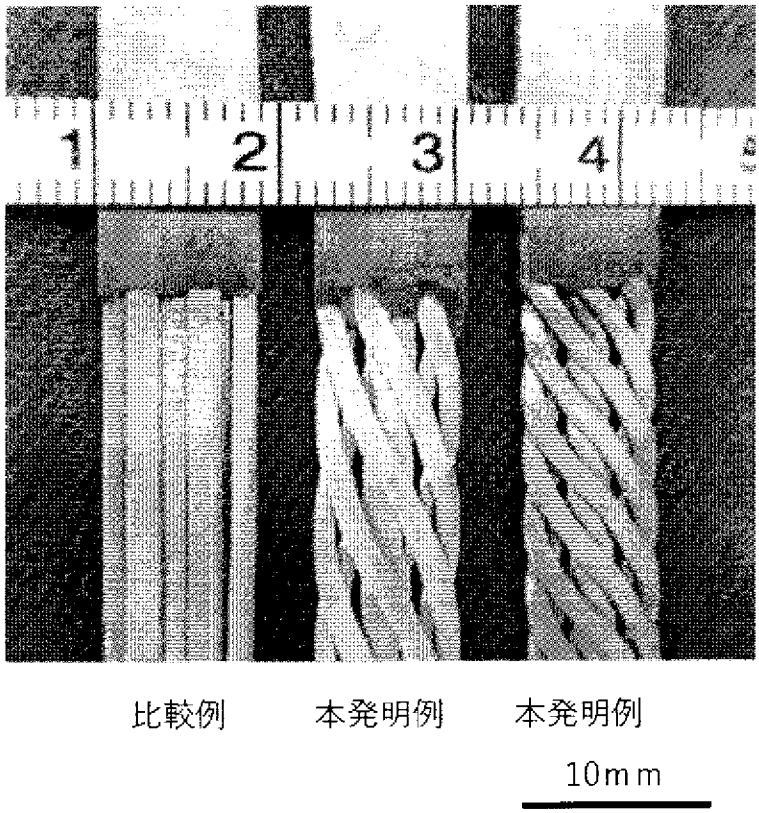
[図1]



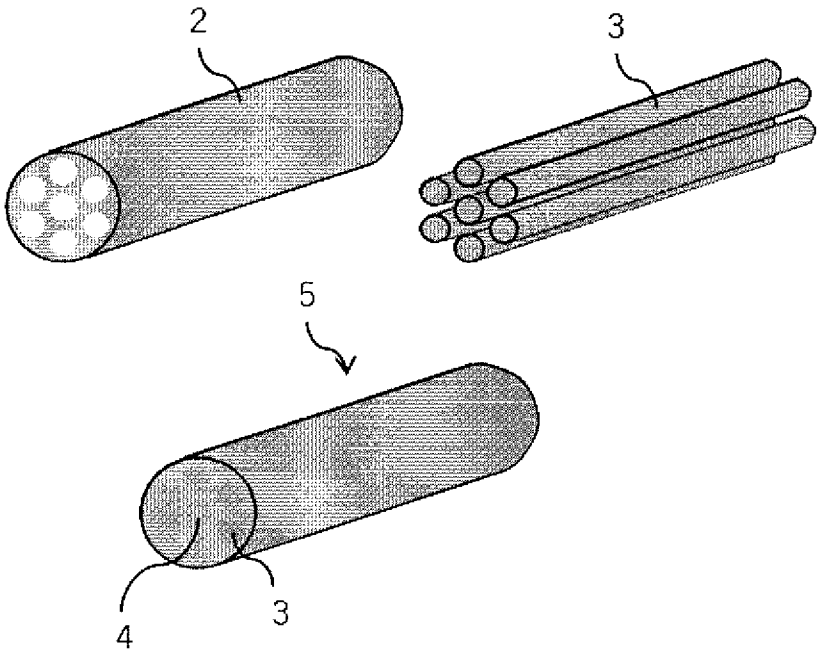
[図2]



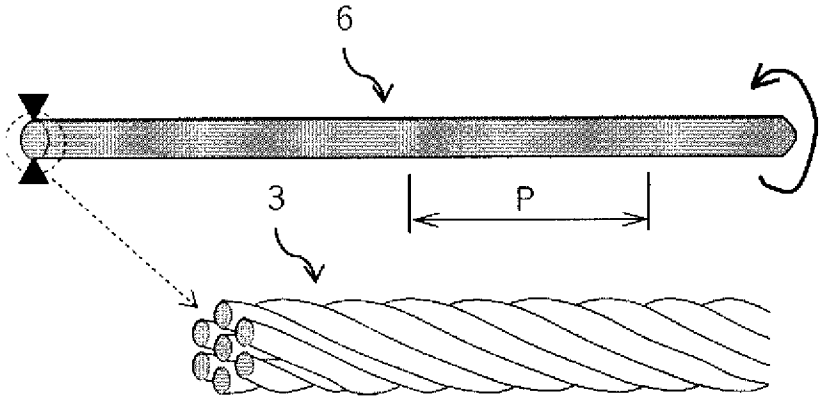
[図3]



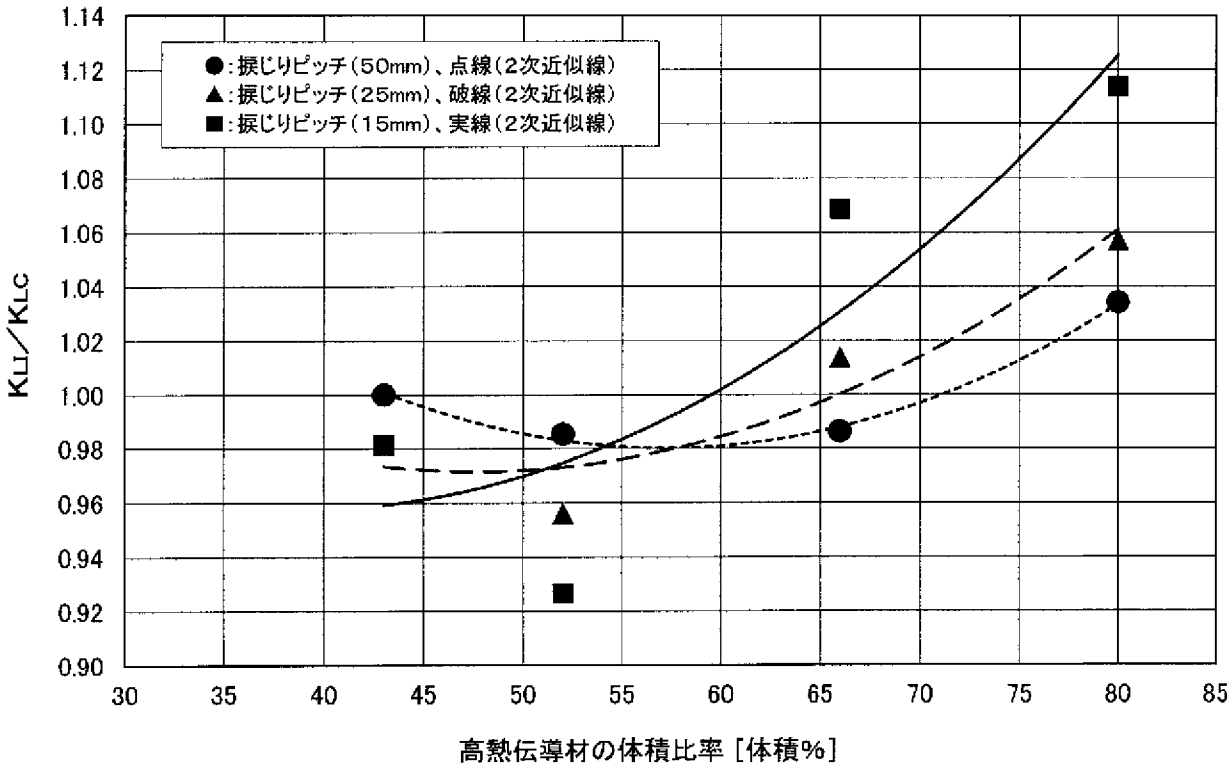
[図4]



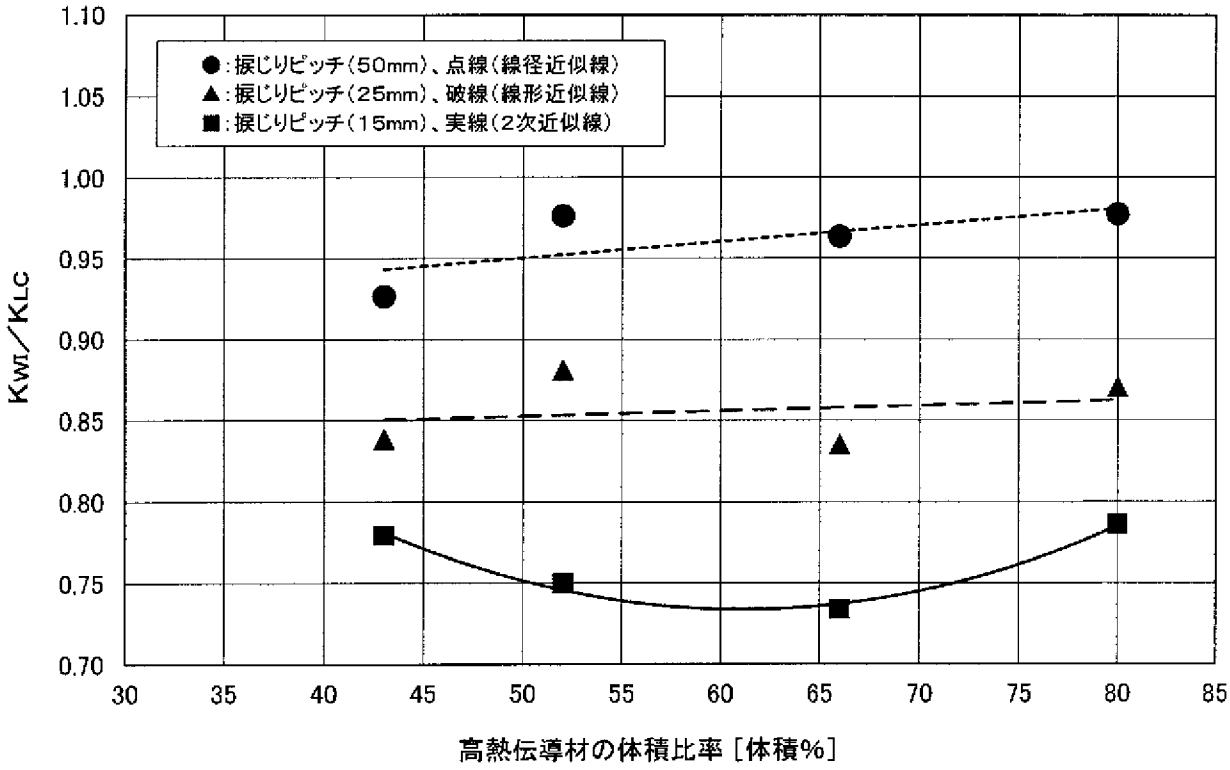
[図5]


6
3
P

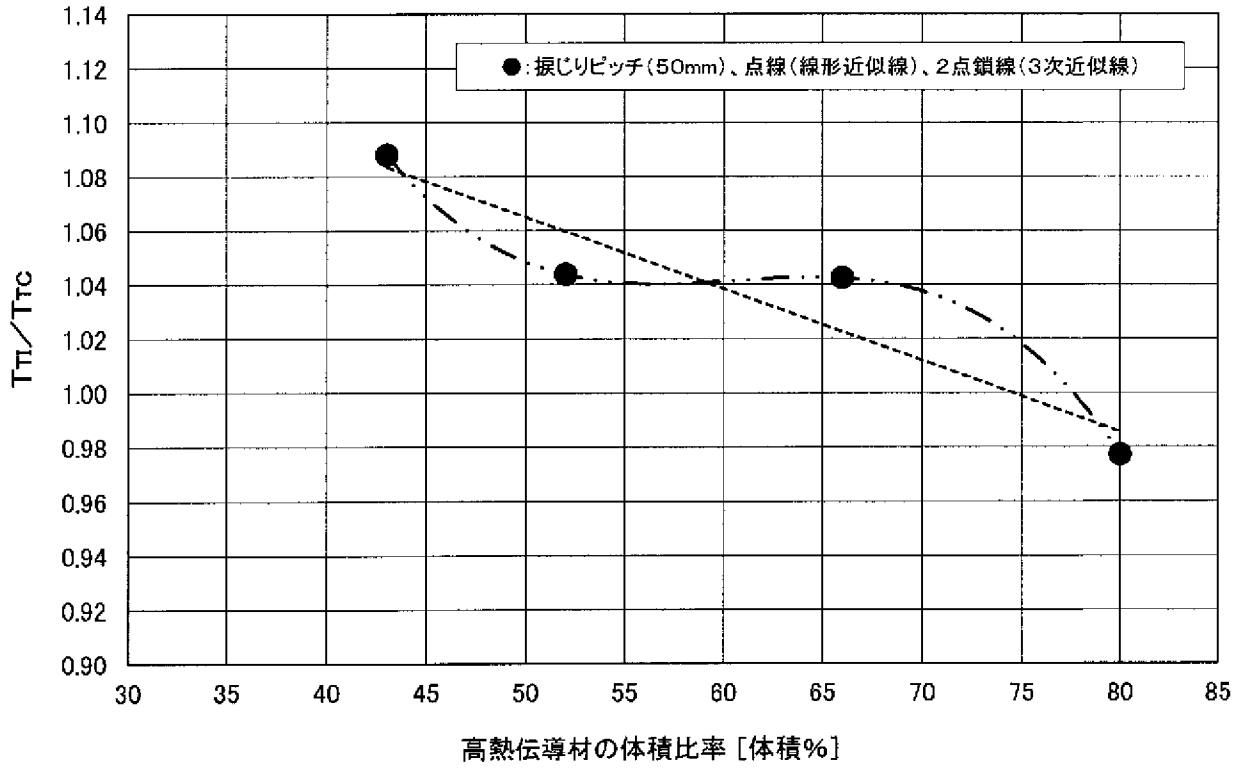
[図6]


●:捩じりピッチ(50mm)、点線(2次近似線)
▲:捩じりピッチ(25mm)、破線(2次近似線)
■:捩じりピッチ(15mm)、実線(2次近似線)
KLI／KLC
1.14
1.12
1.10
1.08
1.06
1.04
1.02
1.00
0.98
0.96
0.94
0.92
0.90
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
高熱伝導材の体積比率[体積%]

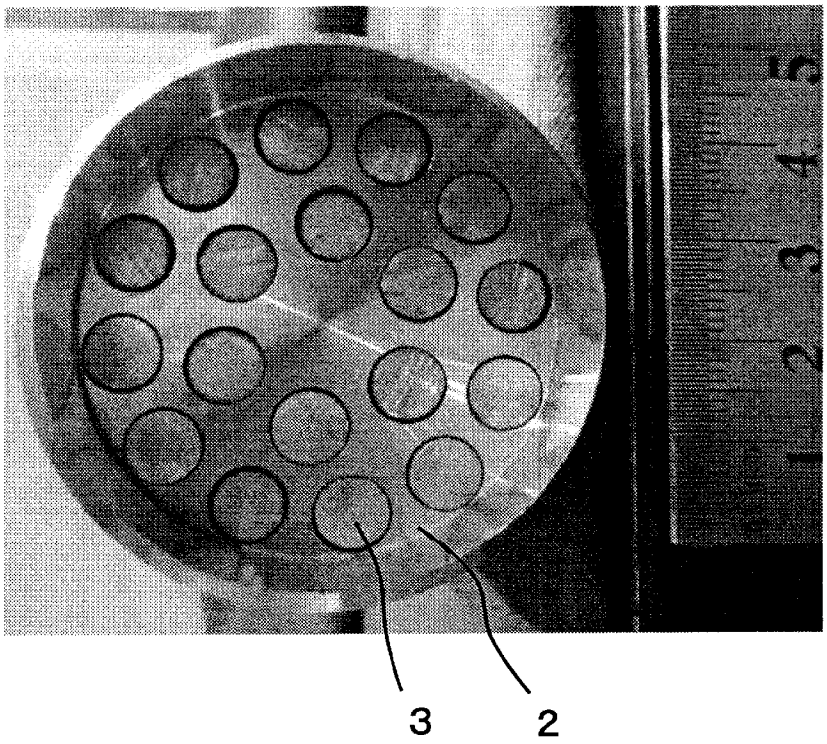
[図7]


●:捩じりピッチ(50mm)、点線(線径近似線)
▲:捩じりピッチ(25mm)、破線(線形近似線)
■:捩じりピッチ(15mm)、実線(2次近似線)
KWI／KLC
1.10
1.05
1.00
0.95
0.90
0.85
0.80
0.75
0.70
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
高熱伝導材の体積比率 [体積%]

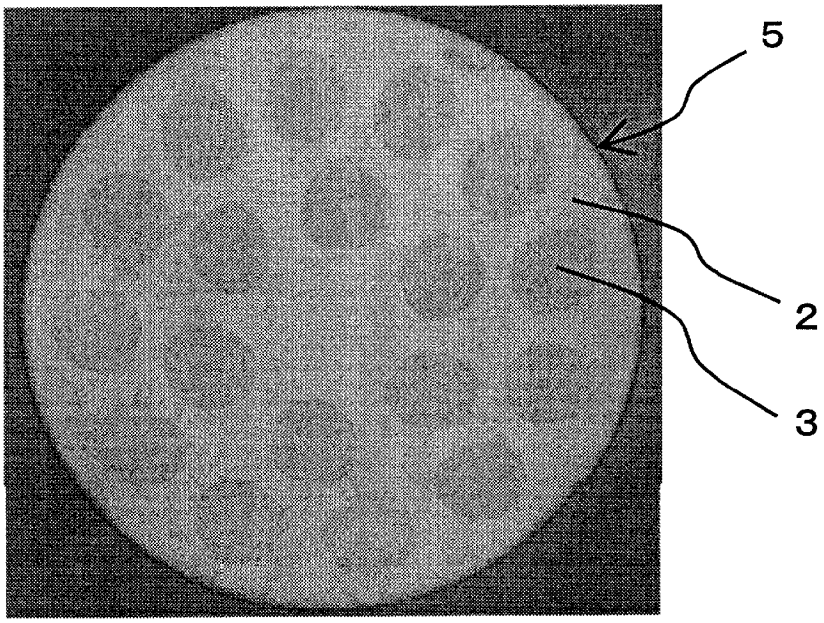
[図8]


●:捩じりピッチ(50mm)、点線(線形近似線)、2点鎖線(3次近似線)
TTI／TTC
1.14
1.12
1.10
1.08
1.06
1.04
1.02
1.00
0.98
0.96
0.94
0.92
0.90
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
高熱伝導材の体積比率 [体積%]

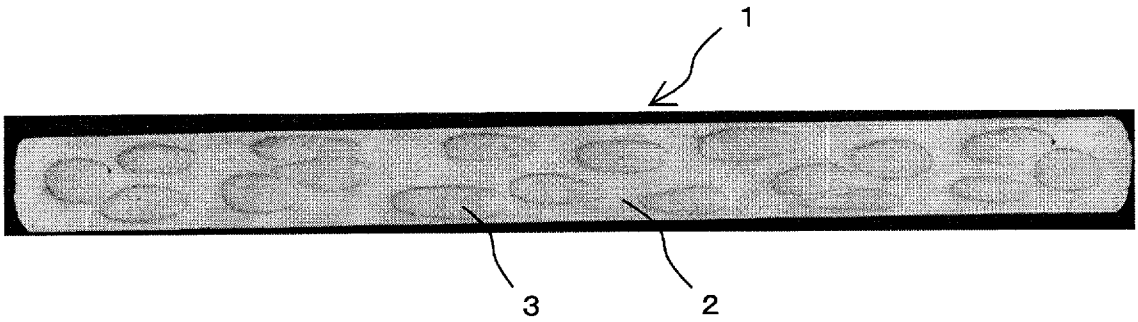
[図9]



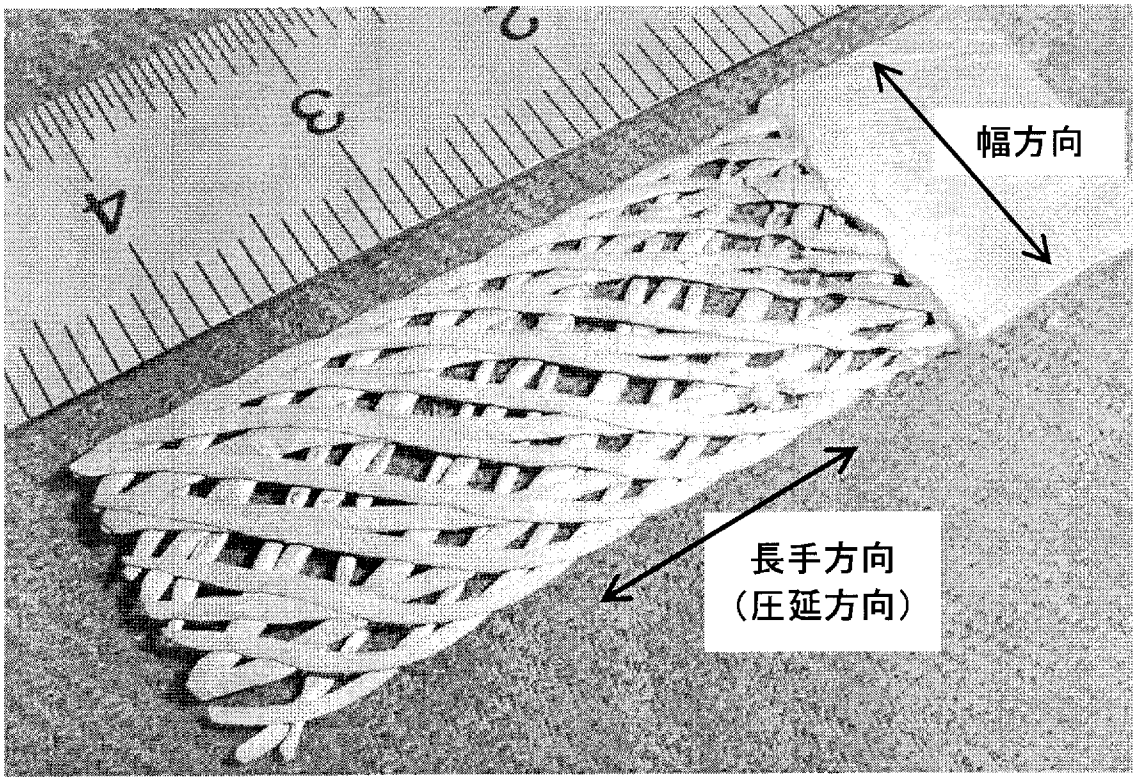
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/035193

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. H01L23/373(2006.01)i, H05K7/20(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)
Int.Cl. H01L23/373, H05K7/20

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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.
A	US 6326685 B1 (JIN, Sung-Ho) 04 December 2001, entire text, all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 7-249717 A (TOHO KINZOKU CO., LTD.) 26 September 1995, entire text, all drawings (Family: none)	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	Date of mailing of the international search report
11 November 2019 (11.11.2019)	19 November 2019 (19.11.2019)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１９／０３５１９３

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L23/373(2006.01)i, H05K7/20(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（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L23/373, H05K7/20

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	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１９年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１９年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１９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
A	US 6326685 B1 (JIN, Sungho) 2001.12.04, 全文,全図 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 7-249717 A (東邦金属株式会社) 1995.09.26, 全文,全図 (ファミリーなし)	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	国際調査報告の発送日
１１．１１．２０１９	１９．１１．２０１９

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
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）　５Ｆ　１２１５
庄司　一隆
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５１６