

(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
2019年12月19日(19.12.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/239484 A1

(51) 国際特許分類:
H02M 7/48 (2007.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/022420

(22) 国際出願日: 2018年6月12日(12.06.2018)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 東 芝 三 菱 電 機 産 業 シ ス テ ム 株式会社(TOSHIBA MITSUBISHI-ELECTRIC INDUSTRIAL SYSTEMS CORPORATION) [JP/JP]; 〒1040031 東京都中央区京橋三丁目1番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 中 野 俊 秀 (NAKANO, Toshihide); 〒1040031 東京都中央区京橋三丁目1番1号 東芝三菱電機産業システム株式会社内 Tokyo (JP). 鈴木 健治(SUZUKI, Kenji); 〒1040031 東京都中央区京橋三丁目1番1号 東芝三菱

電機産業システム株式会社内 Tokyo (JP). 中村 宏輝(NAKAMURA, Koki); 〒1040031 東京都中央区京橋三丁目1番1号 東芝三菱電機産業システム株式会社内 Tokyo (JP).

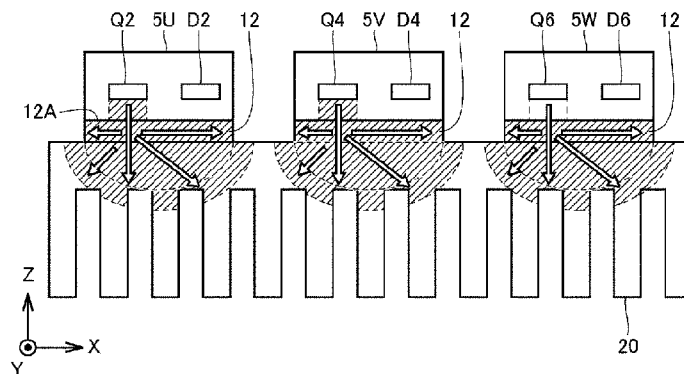
(74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所(FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島三丁目2番4号 中之島フェスティバルタワー・ウエスト Osaka (JP).

(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, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

(54) Title: SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体装置

FIG.5



(57) **Abstract:** This semiconductor device comprises semiconductor modules (5), a cooling member (20), and heat transfer members (12). The semiconductor modules (5) each have a switching element (Q) and a diode (D) that are connected to each other in an anti-parallel connection. The heat transfer members (12) are disposed between the semiconductor modules (5) and the cooling member (20), and the heat generated by the switching elements (Q) and the diodes (D) is transmitted to the cooling member (20). The heat transfer members (12) each have a mounting surface on which the switching element (Q) and the diode (D) are mounted next to each other, and the surface of the heat transfer member opposite the mounting surface is in contact with the cooling member (20). In the heat transfer members (12), the thermal conductivity in a first direction parallel to the mounting surface is greater than the thermal conductivity in a second direction perpendicular to the mounting surface.

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))

(57) 要約: この発明に係る半導体装置は、半導体モジュール(5)と、冷却部材(20)と、伝熱部材(12)とを備える。半導体モジュール(5)は、互いに逆並列に接続されたスイッチング素子(Q)およびダイオード(D)を有する。伝熱部材(12)は、半導体モジュール(5)および冷却部材(20)の間に配置され、スイッチング素子(Q)およびダイオード(D)が発生する熱を冷却部材(20)に伝達する。伝熱部材(12)は、スイッチング素子(Q)およびダイオード(D)が並んで搭載される搭載面を有し、搭載面と反対側の面が冷却部材(20)に接している。伝熱部材(12)において、搭載面に平行な第1の方向における熱伝導率は、搭載面に垂直な第2の方向における熱伝導率よりも高い。

明 細 書

発明の名称：半導体装置

技術分野

[0001] この発明は、半導体装置に関する。

背景技術

[0002] 例えば特開 2 0 1 2 - 5 1 9 4 号公報（特許文献 1）には、スイッチング素子および整流素子を有する半導体素子と、半導体素子を冷却する冷却器と、半導体素子と冷却器との間に介在して、両者の結合と相互の熱伝達とを行なう実装部材とを備える電力変換器が開示される。

[0003] 電力変換器においては、動作状態に依存してスイッチング素子の発熱と整流素子の発熱との間に偏りが生じる場合がある。スイッチング素子と整流素子との間の発熱の偏りに対して一定の冷却を保証するためには、各素子の発熱量が最大となった状態でも冷却できるだけの冷却能力が必要となる。そのため、冷却器が大型化するという問題があった。

[0004] この対策として、特許文献 1 では、実装部材に熱伝導率の異なる少なくとも 2 つの充填部材を内包する。発熱量の多い素子と冷却器との間に相対的に熱伝導率が高い充填部材を配置し、発熱量の少ない素子と冷却器との間に相対的に熱伝導率が低い充填部材を配置する。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献 1：特開 2 0 1 2 - 5 1 9 4 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 上記特許文献 1 では、熱伝導率の異なる 2 つの充填部材として、気体（例えば空気）および液体（例えば水）を用いており、厚みのある実装部材の内部に形成された密閉空間にこれらの流動体を充填させている。そして、電力変換器が搭載される車両の加減速時の重力によって、密閉空間内でこれらの

流動体を移動させることで、上述した充填部材の配置を実現している。

[0007] しかしながら、特許文献 1 に記載される技術は車両の走行状態による重力の変化を利用したものであるため、当該技術を適用することができる電力変換器が限定されることが懸念される。したがって、より簡素な構成で半導体素子の冷却効率を高めることができる構成が求められる。

[0008] それゆえ、この発明の主たる目的は、簡素な構成で半導体素子の冷却効率を高めることができる半導体装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0009] この発明に係る半導体装置は、半導体モジュールと、冷却部材と、伝熱部材とを備える。半導体モジュールは、互いに逆並列に接続されたスイッチング素子およびダイオードを有する。冷却部材は半導体モジュールを冷却する。伝熱部材は、半導体モジュールおよび冷却部材の間に配置され、スイッチング素子およびダイオードが発生する熱を冷却部材に伝達する。伝熱部材は、スイッチング素子およびダイオードが並んで搭載される搭載面を有し、搭載面と反対側の面が冷却部材に接している。伝熱部材において、搭載面に平行な第 1 の方向における熱伝導率は、搭載面に垂直な第 2 の方向における熱伝導率よりも高い。

発明の効果

[0010] この発明に係る半導体装置によれば、簡素な構成で半導体モジュールの冷却効率を高めることができる半導体装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]この発明の実施の形態に係る半導体装置が適用され得る電力変換装置の構成例を示す回路ブロック図である。

[図2]半導体モジュールの構成例を模式的に示す概略平面図である。

[図3]3つの半導体モジュールの素子配置を示す概略平面図である。

[図4]図3の I-V-I-V 線における断面図である。

[図5]本実施の形態に係る電力変換装置の断面図である。

[図6]半導体モジュールにおけるスイッチング素子の放熱経路を概念的に示す

図である。

[図7]伝熱部材の概略図である。

[図8]熱回路網モデルを示す図である。

[図9]シミュレーション結果を示す図である。

[図10]伝熱部材の厚みの設定方法を説明するためのフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0012] 以下に、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。なお、以下では図中または相当部分には同一符号を付してその説明は原則的に繰返さないものとする。

[0013] 図1は、この発明の実施の形態に係る半導体装置が適用され得る電力変換装置の構成例を示す回路ブロック図である。

[0014] 図1を参照して、電力変換装置10は、交流入力端子T1～T3および直流出力端子T4、T5を備える。交流入力端子T1～T3は、交流電源1から商用周波数の三相交流電力を受ける。直流出力端子T4、T5は負荷2に接続される。負荷2は電力変換装置10から供給される直流電力によって駆動される。

[0015] 電力変換装置10は、さらに、コンバータ3、直流正母線L1、直流負母線L2、コンデンサ4および制御装置6を備える。コンバータ3は、制御装置6によって制御され、商用交流電源から供給される三相交流電力を直流電力に変換して直流正母線L1および直流負母線L2間に出力する。

[0016] コンバータ3は、3つのレグ回路3U、3V、3Wを含む。レグ回路3U、3V、3Wは、直流正母線L1および直流負母線L2の間に並列に接続される。レグ回路3U、3V、3Wの各々は、直列接続された2つのスイッチング素子と、2つのダイオードとを有する。

[0017] 具体的には、レグ回路3Uは、直流正母線L1および交流入力端子T1の間に接続されたスイッチング素子Q1、交流入力端子T1および直流負母線L2の間に接続されたスイッチング素子Q2、およびダイオードD1、D2を有する。スイッチング素子Q1～Q6の各々は、IGBT (Insulated Gat

e Bipolar Transistor)、GCT (Gate Commutated Turn-off) サイリスタ等の任意の自己消弧型のスイッチング素子によって構成することができる。ダイオードD1、D2はFWD (Freewheeling Diode) であり、スイッチング素子Q1、Q2に対してそれぞれ逆並列に接続される。

[0018] レグ回路3Vは、直流正母線L1および交流入力端子T2の間に接続されたスイッチング素子Q3、交流入力端子T2および直流負母線L2の間に接続されたスイッチング素子Q4、およびダイオードD3、D4を有する。レグ回路3Wは、直流正母線L1および交流入力端子T3の間に接続されたスイッチング素子Q5、交流入力端子T3および直流負母線L2の間に接続されたスイッチング素子Q6、およびダイオードD5、D6を有する。以下では、スイッチング素子Q1～Q6およびダイオードD1～D6を総括的に説明する場合、スイッチング素子QおよびダイオードDとそれぞれ表記する。

[0019] 制御装置6は、交流入力端子T1～T3の交流電圧に同期して動作し、直流出力端子T4、T5間の直流電圧VDCが目標直流電圧VDCTになるように、コンバータ3を制御する。すなわち、制御装置6は、6個のスイッチング素子Q1～Q6を制御し、直流出力端子T4、T5間の直流電圧VDCを三相交流電圧に変換して交流入力端子T1～T3間に出力させる。このとき、制御装置6は、交流入力端子T1～T3に流れる交流電流をほぼ正弦波状に、かつ、交流入力端子T1～T3の交流電圧と同相になるように、6個のスイッチング素子Q1～Q6を制御することによって、力率をほぼ1にすることができる。

[0020] コンバータ3を構成する3つのレグ回路3U、3V、3Wの各々は、1つの半導体モジュールで構成されている。次に、半導体モジュールの構成例を詳細に説明する。

[0021] 図2は、半導体モジュールの構成例を模式的に示す概略平面図である。

図1の例では、3つのレグ回路3U、3V、3Wに対応して、3つの半導体モジュール5U、5V、5Wが配置されている。各相の半導体モジュールの構成は同一であるため、図2では、U相の半導体モジュール5Uの構成を

説明する。

[0022] 半導体モジュール5 Uは、平面状の基板上に、スイッチング素子Q 1, Q 2およびダイオードD 1, D 2が実装された構成を有している。スイッチング素子Q 1, Q 2およびダイオードD 1, D 2は図示しないボンディングワイヤまたは導電体からなる配線層によって電氣的に接続されている。スイッチング素子Q 1, Q 2およびダイオードD 1, D 2は、基板、ボンディングワイヤおよび配線層などとともに樹脂により封止されている。

[0023] なお、図2の例では、1つの半導体モジュール5 Uについて、スイッチング素子およびダイオードがそれぞれ2つずつ設ける構成を示しているが、スイッチング素子およびダイオードがそれぞれ4つずつ設ける構成としてもよい。この構成では、2つのスイッチング素子および2つのダイオードがそれぞれ並列に接続されている。

[0024] 図3は、3つの半導体モジュール5 U, 5 V, 5 Wの素子配置を示す概略平面図である。図4は、図3のI V-I V線における断面図である。

[0025] 半導体モジュール5 U, 5 V, 5 Wは、冷却フィン20のベース部分に並べて搭載される。半導体モジュール5 U, 5 V, 5 Wの各々と冷却フィン20との間には、伝熱部材100が塗布されている。伝熱部材100は、シリコン系樹脂などの絶縁性樹脂に銀、銅、アルミニウムなどの熱伝導率の高い金属、またはアルミナ、窒化アルミニウム、炭化珪素、グラファイトなどの熱伝導率の高いセラミックスをフィラーとして添加されたものである。これらの伝熱部材100としては、伝熱グリス、伝熱シート、または熱伝導性の接着剤である。伝熱部材100によって半導体モジュールと冷却フィン20との隙間を塞ぎ、半導体モジュール5から冷却フィン20に効率良く熱を伝導させることができる。

[0026] 半導体モジュール5 U, 5 V, 5 Wの各々は、その動作中にスイッチング素子QおよびダイオードDには導通損失およびスイッチング損失からなる損失が発生するため、その損失によりスイッチング素子QおよびダイオードDが発熱する。

[0027] ここで、高力率の電力変換装置 10 においては、その動作中、電流の大部分がスイッチング素子 Q を流れるため、スイッチング素子 Q に発熱が集中する。その結果、半導体モジュール 5 U, 5 V, 5 W の各々において、ダイオード D の発熱量に比べて、スイッチング素子 Q の発熱量が多くなる傾向が現れる。この発熱により、スイッチング素子 Q の接合温度が定格温度を超えて上昇し続けると素子破壊に至るため、スイッチング素子 Q は冷却しながら動作させなければならない。

[0028] 図 4 の例では、矢印で示すように、スイッチング素子 Q で発生した熱は、半導体モジュールから伝熱部材 100 を経由して冷却フィン 20 に伝熱され、冷却フィン 20 から外部へ放熱される。このとき、図 4 に示すように、スイッチング素子 Q の熱は、スイッチング素子 Q の直下に位置する伝熱部材 100 および冷却フィン 20 を伝導する。したがって、主にスイッチング素子および冷却フィン 20 の間に垂直方向の放熱経路が形成される。

[0029] その一方で、発熱量が少ないダイオード D の直下、または、隣接する 2 個のスイッチング素子 Q の間に位置する伝熱部材 100 および冷却フィン 20 には熱が拡散されにくくなっており、結果的に冷却フィン 20 の放熱性能が有効に利用されていないことが懸念される。

[0030] 次に、図 5 を用いて、本実施の形態に係る電力変換装置 10 の構成について説明する。

図 5 は、本実施の形態に係る電力変換装置 10 の断面図であり、図 4 と対比される図である。本実施の形態に係る電力変換装置 10 および半導体モジュール 5 の概略平面図は、図 1 および図 2 とそれぞれ同じであるため詳細な説明は繰返さない。

[0031] 図 5 を参照して、本実施の形態に係る電力変換装置 10 においては、伝熱部材 100 に代えて、伝熱部材 12 を用いる。伝熱部材 12 は、スイッチング素子 Q およびダイオード D が並んで搭載される搭載面 12 A を有しており、搭載面 12 A と反対側の面（以下、裏面とも称する）が冷却フィン 20 に接している。

- [0032] 伝熱部材 1 2 は、搭載面 1 2 A に平行な第 1 の方向における熱伝導率が、搭載面 1 2 A に垂直な第 2 の方向における熱伝導率よりも高くなるように構成される。図 5 の例では、第 1 の方向は X-Y 平面に平行な方向であり、第 2 の方向は Z 方向である。なお、本願明細書において「熱伝導率 λ 」は、温度勾配によって伝熱部材 1 2 内を流れる、熱としてのエネルギー伝達量として定義される。熱伝導率 λ の単位は $[W / (m \cdot K)]$ である。第 1 の方向における熱伝導率を λ_h とし、第 2 の方向における熱伝導率を λ_v とすると、伝熱部材 1 2 は、 $\lambda_h > \lambda_v$ の関係を有している。
- [0033] このような伝熱部材 1 2 としては、例えばグラファイトシートを用いることができる。グラファイトシートは、層状の結晶構造を持つグラファイトで構成されており、層の方向（面を伝わる方向）の熱伝導率が、層の厚さ方向（層の上下に伝わる方向）の熱伝導率よりも高い（約 200 倍程度）という特性を有している。本実施の形態では、グラファイトシートの層の方向を伝熱部材 1 2 の第 1 の方向とし、かつ、グラファイトシートの層の厚さ方向を伝熱部材 1 2 の第 2 の方向とすることで、上述した熱伝導率 λ_h および λ_v の関係を実現する。
- [0034] このような構成とすることにより、スイッチング素子 Q で発生した熱は、半導体モジュール 5 から伝熱部材 1 2 に伝導すると、図中の矢印で示すように、Z 方向（第 2 の方向）に伝導するとともに、X-Y 平面に平行な方向（第 1 の方向）にも伝導する。したがって、発熱量が少ないダイオード D の直下、または、隣接する 2 個のスイッチング素子 Q の間に位置する伝熱部材 1 2 を経由して冷却フィン 20 に熱を拡散することができる。この結果、冷却フィン 20 の放熱性能を有効に利用することができるため、半導体モジュール 5 の冷却効率を高めることができる。
- [0035] 次に、図 5 に示した伝熱部材 1 2 の好適な形状について検討する。なお、伝熱部材 1 2 の搭載面 1 2 A の大きさ（すなわち、面積）は、通常、半導体モジュール 5 U, 5 V, 5 W の各々のチップ面積に応じて決まる。したがって、以下の検討では主に、伝熱部材 1 2 の第 2 の方向における厚みについて

検討する。

[0036] 図6には、半導体モジュール5Uにおけるスイッチング素子Q2の放熱経路が破線矢印で概念的に示されている。スイッチング素子Q2で発生した熱は、半導体モジュール5Uから伝熱部材12を経由して冷却フィン20に伝熱され、冷却フィン20から外部へ放熱される。

[0037] 図6において、スイッチング素子Q2の接合温度を T_j [K]、冷却フィン20の表面温度を T_f [K]とする。伝熱部材12の搭載面温度を T_a [K]、伝熱部材12の裏面温度を T_b [K]とする。接合温度 T_j と冷却フィン表面温度 T_f との間の熱抵抗は、接合温度 T_j および搭載面温度 T_a 間の熱抵抗 θ_p 、搭載面温度 T_a および裏面温度 T_b 間の熱抵抗 θ_s 、および裏面温度 T_b および冷却フィン表面温度 T_f 間の熱抵抗 θ_f の合計値($=\theta_p + \theta_s + \theta_f$)で表すことができる。

[0038] 熱抵抗の合計値($\theta_p + \theta_s + \theta_f$)が低ければ、スイッチング素子Q2で発生した熱は速やかに放出される。一方、熱抵抗の合計値が高ければ、半導体モジュール5U内部で熱が籠ってしまうため、スイッチング素子Q2の温度が上昇する。接合温度 T_j が上限値を超えると、スイッチング素子Q2が正常に動作しなくなる、あるいは、スイッチング素子Q2が破壊するおそれがある。

[0039] そこで、本実施の形態では、上記放熱経路における伝熱部材12に着目し、搭載面温度 T_a および裏面温度 T_b 間の熱抵抗 θ_s を低減するための好適な厚みを検討する。

[0040] 図7には、検討に用いた伝熱部材12の概略図が示される。簡単のため、伝熱部材12は直方体の形状を有するものとする。伝熱部材12の搭載面(X-Y平面)を一辺の長さが $2a$ [mm]の正形状とする。伝熱部材12の第2の方向(Z方向)における厚みを b [mm]とする。

[0041] このような伝熱部材12において、X方向における熱抵抗を θ_h [K/W]とすると、

θ_h は次式(1)で与えられる。

[0042] $\theta_h = a / (\lambda_h \cdot 2a \cdot b) \quad \dots (1)$

また、Z方向における熱抵抗を θ_v [K/W] とすると、 θ_v は次式(2)で与えられる。

[0043] $\theta_v = b / (\lambda_v \cdot a \cdot a) \quad \dots (2)$

式(1), (2)から分かるように、伝熱部材12の厚み b を大きくすれば、X方向の熱抵抗 θ_h を下げることができるが、その一方で、Z方向における熱抵抗 θ_v が大きくなる。すなわち、伝熱部材12は、Z方向(第2の方向)における厚み b を大きくするに従って、X-Y平面に平行な方向(第1の方向)における熱抵抗 θ_h が小さくなる一方で、第2の方向における熱抵抗 θ_v が大きくなるというトレードオフ関係を有している。

[0044] これによると、伝熱部材12の厚み b を大きくすれば、X-Y平面に平行な方向により多くの熱を拡散することができるが、Z方向に熱が拡散されにくくなる。したがって、伝熱部材12の特徴を活かして半導体モジュール5の冷却効率を向上させるために、搭載面温度 T_a および裏面温度 T_b 間の熱抵抗 θ_s が最小となるように伝熱部材12の厚み b を決定する。

[0045] 伝熱部材12の最適な厚み b を導出するために、本実施の形態では、図8に示すような抵抗ラダーによる熱回路網モデルを作成する。この熱回路網モデルでは、 Q_i はスイッチング素子Qの発熱量を示し、 V_1 は搭載面温度 T_a と冷却フィン表面温度 T_f との温度差を示す。簡単のため、発熱は、伝熱部材12の搭載面の中央の1点(図7の原点に相当)に集中させるとともに、X-Y方向の熱伝導についてX方向のみを考慮する。

[0046] 図8に示すように、伝熱部材12の第1の方向における単位面積(1 mm²)当たりの熱抵抗が抵抗値 R_h [K/W・mm²]に置き換えられている。伝熱部材12の第2の方向における単位面積当たりの熱抵抗が抵抗値 R_v [K/W・mm²]に置き換えられている。冷却フィン20の第2の方向における単位面積当たりの熱抵抗が抵抗値 R_f [K/W・mm²]に置き換えられている。なお、抵抗値 R_h , R_v の大きさは伝熱部材12の材質(主に伝熱部材12の熱伝導率 λ_h , λ_v)で決まり、抵抗値 R_f の大きさは冷却フィン2

0の材質（主に冷却フィン20の熱伝導率）で決まる。

[0047] 図8に示した熱回路網モデルでは、X方向の正方向および負方向の各々に沿って、a個の抵抗値 R_h が直列に接続されている。抵抗値 R_h の個数aは伝熱部材12の搭載面の大きさで決まる。Z方向の負方向にb個の抵抗値 R_v が直列に接続されている。抵抗値 R_v の個数bは、伝熱部材12の厚みbを表している。抵抗値 R_v の直列回路に対して、さらに抵抗値 R_f が直列に接続されている。

[0048] この熱回路網モデルについて熱伝導方程式を導出することにより、搭載面温度 T_a と冷却フィン表面温度 T_f との温度差 V_1 を演算する。搭載面温度 T_a と冷却フィン表面温度 T_f との間の熱抵抗が小さくなるほど、温度差 V_1 も小さくなる。熱回路網モデルにおいてbを変数として、伝熱部材12の厚みbと温度差 V_1 との関係を導出する。

[0049] 図9にシミュレーション結果を示す。シミュレーションでは、 $R_h = R_v = 1 \text{ [K/W} \cdot \text{mm}^2]$ 、 $R_f = 10 \text{ [K/W} \cdot \text{mm}^2]$ 、 $a = 10 \text{ mm}$ とした。この条件の下でbを2mm～7mmの範囲で1mmずつ変化させながら、温度差 V_1 を演算した。図9は、伝熱部材12の厚みbと温度差 V_1 との関係を示すグラフである。図9の横軸は伝熱部材12の厚みbを示し、縦軸は温度差 V_1 を示す。

[0050] 図9に示すように、伝熱部材12の厚みbを変化させると、温度差 V_1 も変化する。図9の例では、厚みbを2mmから増やすに従って温度差 V_1 が徐々に小さくなっている。この傾向は、厚みbの増加によりX-Y方向における熱抵抗が小さくなるという特徴を表している。

[0051] しかしながら、伝熱部材12の厚みbが5mmを超えると、温度差 V_1 は増加に転じている。この傾向は、伝熱部材12の厚みbの増加によりZ方向における熱抵抗が大きくなるという特徴を表している。その結果、図9のグラフでは、特定の厚み $b = 5 \text{ mm}$ のときに、温度差 V_1 が最小となっている。

[0052] 図9のシミュレーション結果によれば、伝熱部材12の厚みbと温度差 V_1

1 との関係を示すグラフには極小点が出現することが分かる。図 9 の例では、伝熱部材 12 の厚み $b = 5 \text{ mm}$ に設定したときに、伝熱部材 12 の搭載面温度および冷却フィン 20 の表面温度間の熱抵抗 ($\theta_s + \theta_f$) が最小となる。伝熱部材 12 に着目すると、厚み $b = 5 \text{ mm}$ のときに、搭載面温度および裏面温度間の熱抵抗 θ_s を最小にすることができる。

[0053] 図 10 は、伝熱部材 12 の厚みの設定方法を説明するためのフローチャートである。

図 10 を参照して、最初に、ステップ S 10 により、伝熱部材 12 の熱回路網モデル (図 8) を生成する。ステップ S 10 では、伝熱部材 12 に固有の抵抗値 R_h , R_v および冷却フィン 20 に固有の抵抗値 R_f を取得する。伝熱部材 12 の搭載面の形状に基づいて、抵抗値 R_h , R_v , R_f からなる抵抗ラダー回路を形成する。

[0054] 次に、ステップ S 20 により、ステップ S 10 で形成した抵抗ラダー回路における熱伝導方程式を導出する。

[0055] ステップ S 30 では、ステップ S 20 で導出した熱伝導方程式を用いて、伝熱部材 12 の厚み b と、搭載面温度 T_a および冷却フィン表面温度 T_f の温度差 V_1 との関係 (図 9 のグラフ) を導出する。

[0056] ステップ S 40 では、ステップ S 30 で導出された関係において、搭載面温度 T_a および冷却フィン表面温度 T_f の温度差 V_1 が最小となる厚みを、伝熱部材 12 の厚み b に設定する。

[0057] 以上説明したように、本実施の形態に従う半導体装置では、搭載面に平行な第 1 の方向における熱伝導率が搭載面に垂直な第 2 の方向における熱伝導率よりも高い特性を有する伝熱部材 12 を用いて、半導体モジュールで発生した熱を冷却フィンに伝達させる。これによると、半導体モジュール内部のスイッチング素子で発生した熱を、第 2 の方向だけでなく、伝熱部材 12 を経由して第 1 の方向にも拡散させることができる。その結果、冷却フィンの放熱性能を有効に利用できるため、半導体モジュールの冷却効率を高めることができる。

[0058] さらに、伝熱部材 12 の第 2 の方向における厚み b を、搭載面温度 T_a および裏面温度 T_b 間の熱抵抗 θ_s が最小となる厚みに基づいて設定することで、半導体モジュールの冷却効率をさらに向上させることができる。

[0059] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0060] 1 交流電源、2 負荷、3 コンバータ、3U, 3V, 3W レグ回路、4 コンデンサ、5, 5U, 5V, 5W 半導体モジュール、6 制御装置、10 電力変換装置、12, 100 伝熱部材、20 冷却フィン、Q, Q1~Q6 スイッチング素子、D1~D6 ダイオード、T1~T3 交流入力端子、T4, T5 直流出力端子、L1 直流正母線、L2 直流負母線。

請求の範囲

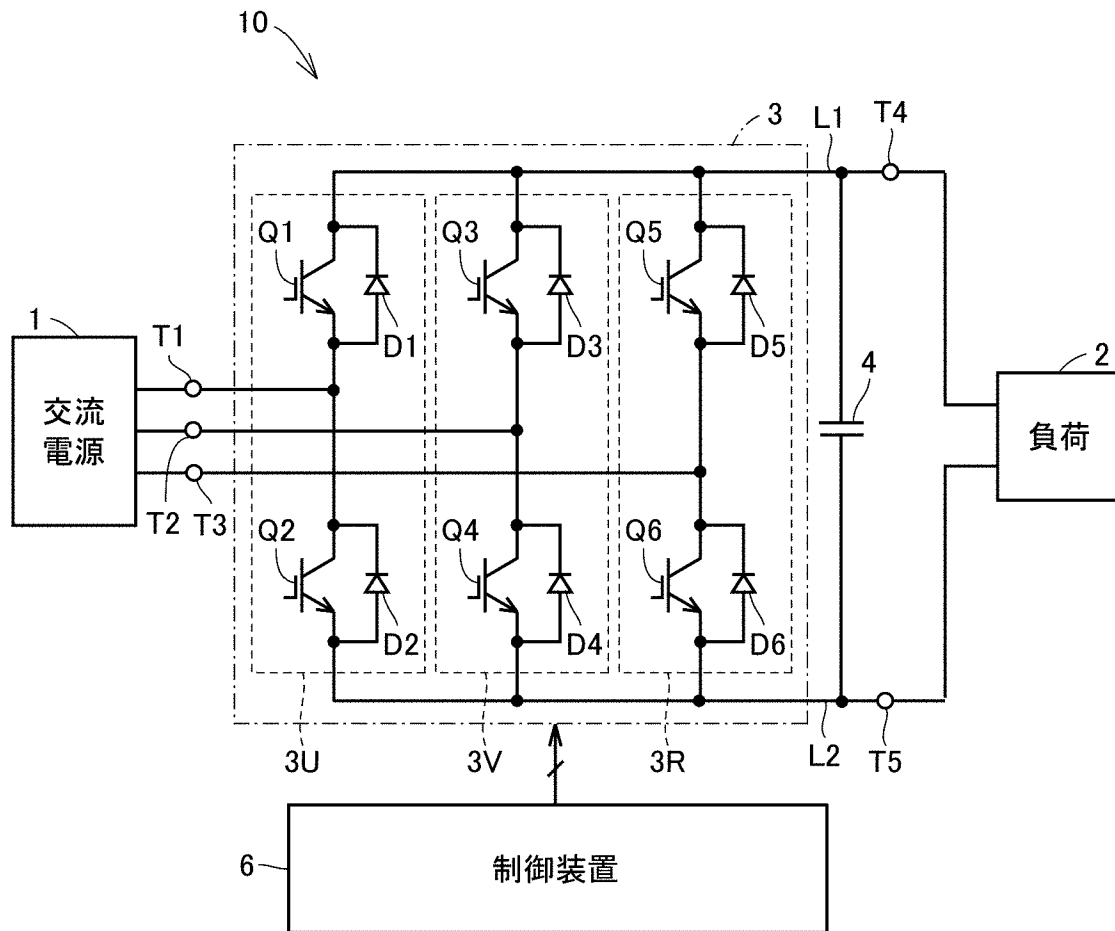
- [請求項1] 互いに逆並列に接続されたスイッチング素子およびダイオードを有する半導体モジュールと、
前記半導体モジュールを冷却する冷却部材と、
前記半導体モジュールおよび前記冷却部材の間に配置され、前記スイッチング素子および前記ダイオードが発生する熱を前記冷却部材に伝達する伝熱部材とを備え、
前記伝熱部材は、前記スイッチング素子および前記ダイオードが並んで搭載される搭載面を有し、前記搭載面と反対側の面が前記冷却部材に接しており、
前記伝熱部材において、前記搭載面に平行な第1の方向における熱伝導率は、前記搭載面に垂直な第2の方向における熱伝導率よりも高い、半導体装置。
- [請求項2] 前記伝熱部材は、前記第2の方向における厚みを大きくするに従って、前記第1の方向における熱抵抗が小さくなる一方で、前記第2の方向における熱抵抗が大きくなるという関係を有する、請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項3] 前記伝熱部材の前記第2の方向における厚みは、前記第1の方向における熱抵抗および前記第2の方向における熱抵抗を有する抵抗ラダーによる熱回路網モデルから導出される、前記伝熱部材の前記搭載面の温度および前記冷却部材の表面温度間の温度差と前記厚みとの関係に基づいて設定される、請求項1または2に記載の半導体装置。
- [請求項4] 前記伝熱部材の前記第2の方向における厚みは、導出された前記関係において、前記伝熱部材の前記搭載面の温度および前記冷却部材の表面温度間の温度差が最小となる厚みに設定される、請求項3に記載の半導体装置。
- [請求項5] 前記半導体装置は、前記スイッチング素子をオンオフさせることにより直流電力および交流電力の間で電力変換を行なう電力変換器であ

る、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の半導体装置。

[請求項6] 前記伝熱部材は、グラファイトシートである、請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の半導体装置。

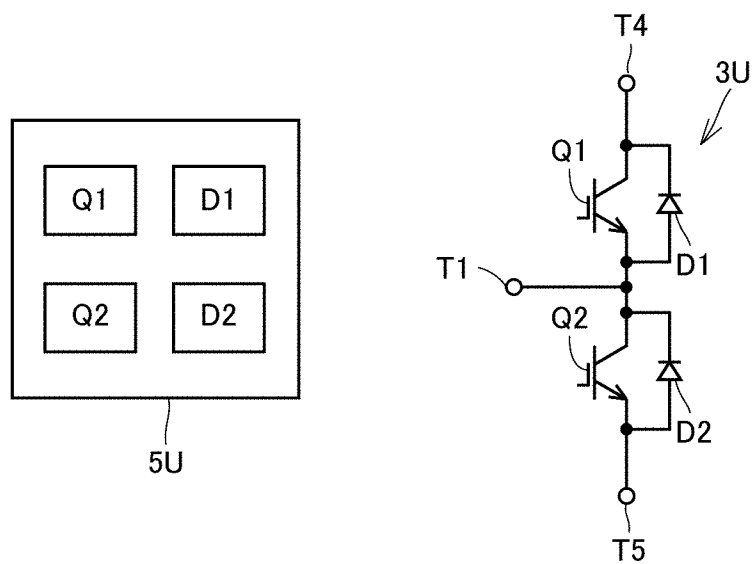
[図1]

FIG.1



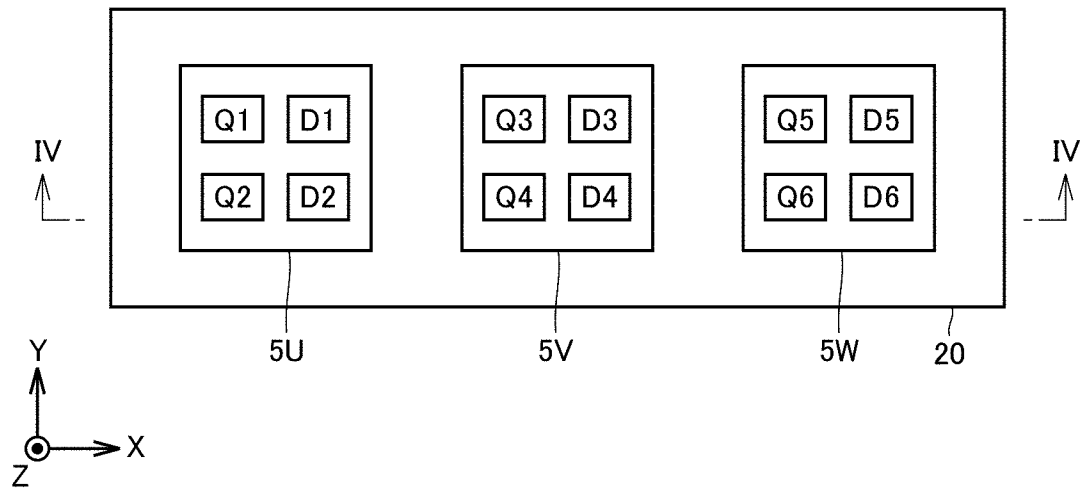
[図2]

FIG.2



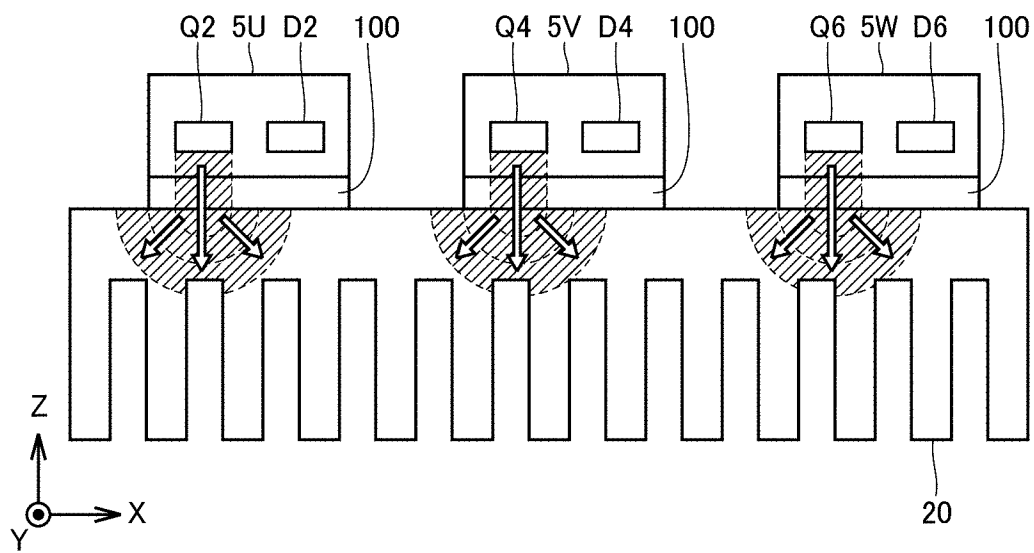
[図3]

FIG.3



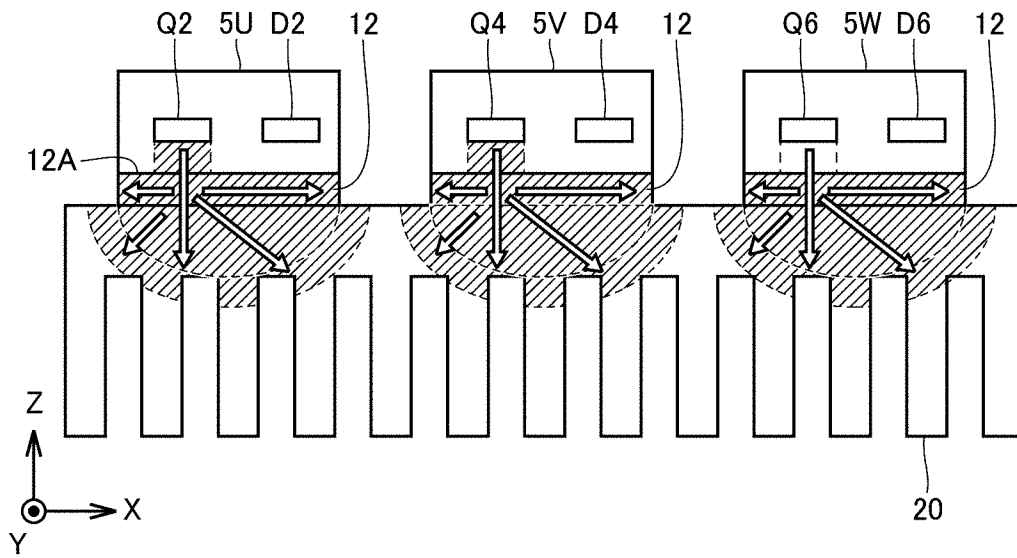
[図4]

FIG.4



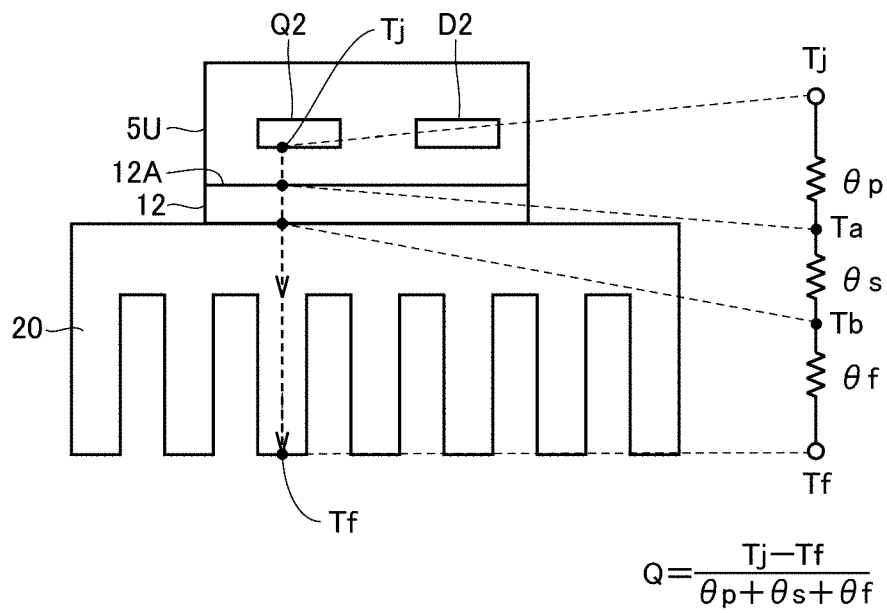
[図5]

FIG.5



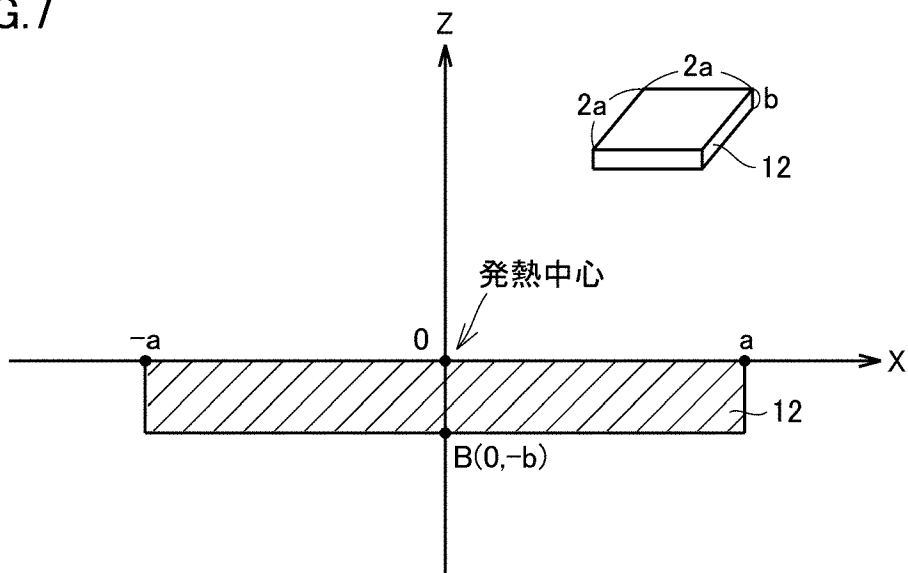
[図6]

FIG.6



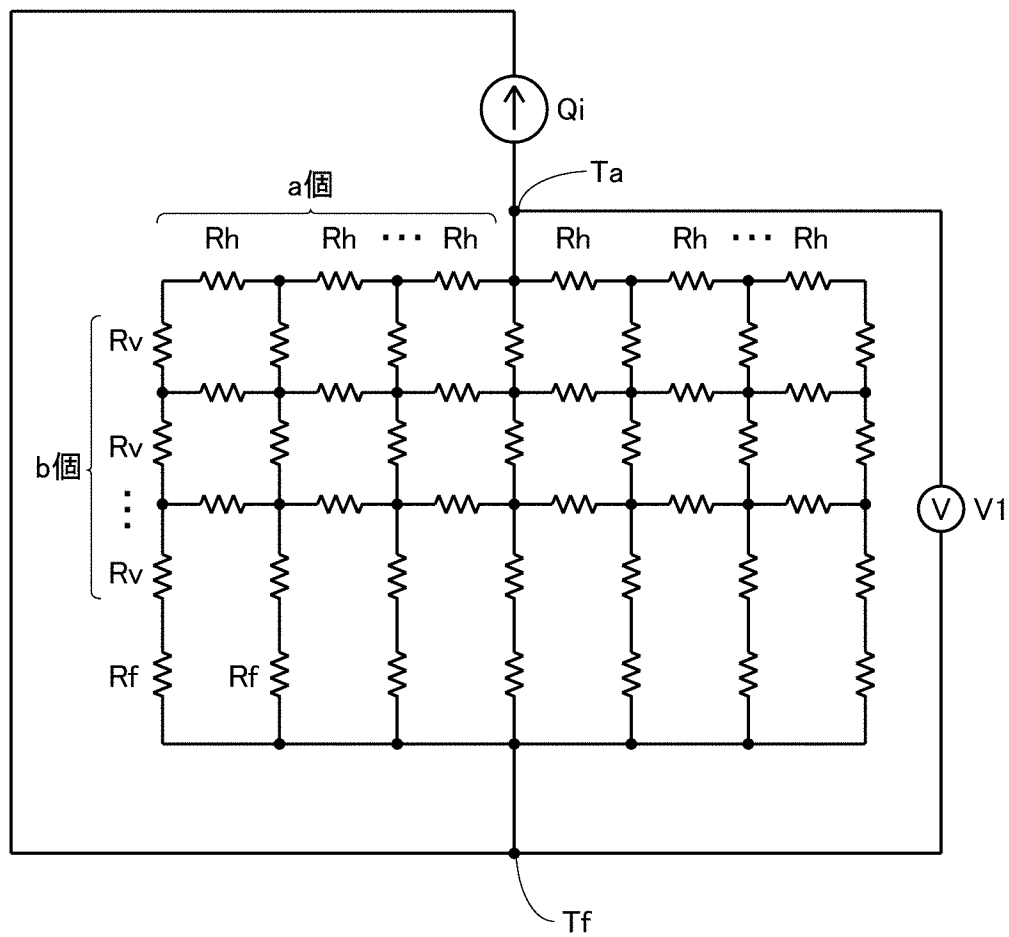
[図7]

FIG.7



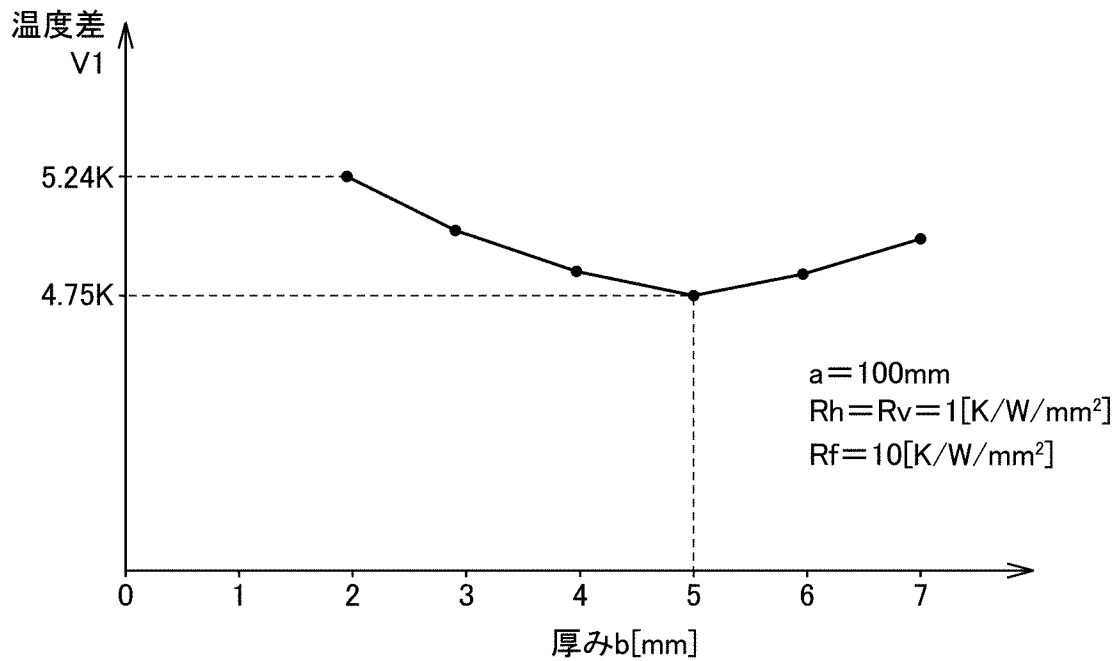
[図8]

FIG.8



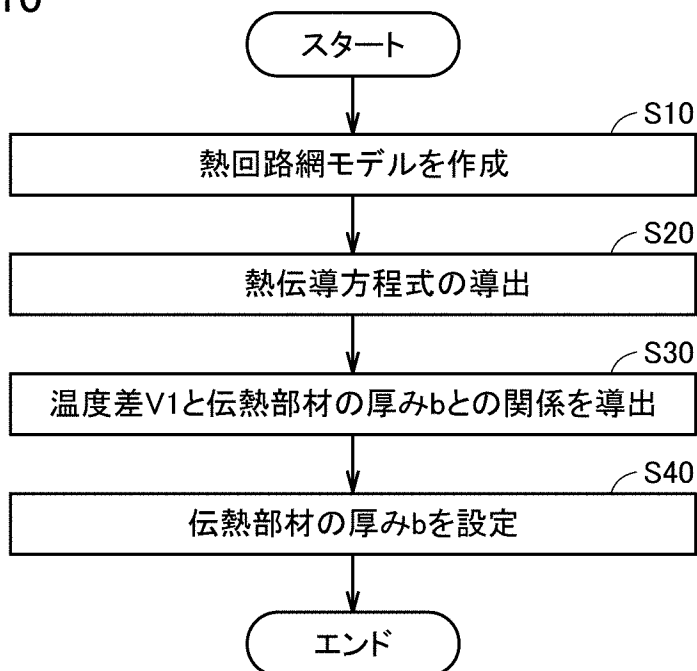
[図9]

FIG.9



[図10]

FIG.10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/022420

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H02M7/48 (2007.01) 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. H02M7/48

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 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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 A	JP 2004-31485 A (NISSAN MOTOR CO., LTD.) 29 January 2004, paragraphs [0009]-[0020], [0028]- [0033], fig. 1-4, 9-11 (Family: none)	1, 2, 5, 6 3, 4
Y	JP 2014-49516 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 17 March 2014, paragraphs [0017]-[0023], fig. 1-4 & US 2014/0063747 A1, paragraphs [0026]-[0033], fig. 1-4 & DE 102013212444 A1	1, 2, 5, 6
A	JP 2012-28520 A (DENSO CORP.) 09 February 2012, 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
14.08.2018

Date of mailing of the international search report
28.08.2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H02M7/48 (2007.01) 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. H02M7/48

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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 A	JP 2004-31485 A (日産自動車株式会社) 2004.01.29, [0009]-[0020], [0028]-[0033], 図 1-4, 9-11 (ファミリーなし)	1, 2, 5, 6 3, 4
Y	JP 2014-49516 A (三菱電機株式会社) 2014.03.17, [0017]-[0023], 図 1-4 & US 2014/0063747 A1, [0026]-[0033], 図 1-4 & DE 102013212444 A1	1, 2, 5, 6
A	JP 2012-28520 A (株式会社デンソー) 2012.02.09, 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

14.08.2018

国際調査報告の発送日

28.08.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

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)

麻生 哲朗

5 G

2953

電話番号 03-3581-1101 内線 3526