

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5702988号
(P5702988)

(45) 発行日 平成27年4月15日(2015.4.15)

(24) 登録日 平成27年2月27日(2015.2.27)

(51) Int.Cl. F I
HO2M 7/48 (2007.01) HO2M 7/48 Z

請求項の数 9 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2010-253373 (P2010-253373)	(73) 特許権者	000233273
(22) 出願日	平成22年11月12日(2010.11.12)		株式会社 日立パワーデバイス
(65) 公開番号	特開2011-177004 (P2011-177004A)		茨城県日立市大みか町五丁目2番2号
(43) 公開日	平成23年9月8日(2011.9.8)	(74) 代理人	100100310
審査請求日	平成24年11月9日(2012.11.9)		弁理士 井上 学
(31) 優先権主張番号	特願2010-17592 (P2010-17592)	(72) 発明者	堀内 敬介
(32) 優先日	平成22年1月29日(2010.1.29)		茨城県ひたちなか市堀口832番地2
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		株式会社 日立製作
			所 機械研究所内
		(72) 発明者	日吉 道明
			茨城県日立市幸町三丁目1番1号
			株式会社 日立製作
			所 日立事業所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体パワーモジュール及びそれが搭載される電力変換装置並びに半導体パワーモジュール搭載用水路形成体の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

コンデンサモジュールに接続される直流端子を備えると共に、冷却用の水路形成体と組み合わせて使用する半導体パワーモジュールであって、

前記直流端子は前記水路形成体よりも前記コンデンサモジュール側に突出しており、更に前記水路形成体内の冷媒と接触することで該複数の電力用半導体素子から発生する熱を放熱するヒートシンクと、交流端子を備え、

前記直流端子及び前記交流端子は半導体パワーモジュール本体から突出し、前記ヒートシンクは前記半導体パワーモジュール本体のうち、前記半導体パワーモジュールが前記水路形成体と組み合わせる側に配置されており、

前記直流端子は前記半導体モジュールの外周の1辺に設けられ、

前記交流端子は前記直流端子とは反対側の辺に設けられ、

更に前記直流端子と前記交流端子の間に設けられる積層平板と、前記直流端子と前記交流端子が設けられる辺とは別の辺に設けられる弱電系の電極とを備え、

前記直流端子と前記積層平板との接触位置には、曲率を有する導体板が設けられ、

前記半導体パワーモジュールの内側にはゲルが封止されており、該ゲルは前記積層平板の最上部導体板の底面以上に封入されている

ことを特徴とする半導体パワーモジュール。

【請求項2】

請求項1に記載の半導体パワーモジュールと、前記水路形成体とを備えるインバータモ

ジュールまたはコンバータモジュール。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の半導体パワーモジュールと、前記直流端子で前記半導体パワーモジュールと接続される前記コンデンサモジュールとを備えた電力変換装置であって、

前記ヒートシンクは放熱フィンが形成されるベースを備えており、

前記電力変換装置は筐体壁に前記水路形成体を設けており、

前記半導体パワーモジュールは、複数の電力用半導体素子が搭載された絶縁基板を備えていると共に、該絶縁基板と前記ヒートシンクとは、前記ヒートシンクの前記ベースの前記放熱フィンが形成された面とは反対側の面に接合され、

かつ、前記放熱フィンが前記水路形成体の開口部に水没するように、前記筐体壁に取り付けられており、

前記コンデンサモジュールは前記半導体パワーモジュールと略同一平面上に配置されていると共に、前記コンデンサモジュールは、前記半導体パワーモジュールに隣接して配置されており、

前記水路形成体は入口パイプと出口パイプを備えており、

前記水路形成体のうち前記入口パイプと前記出口パイプを除く部分の床面積が、前記半導体パワーモジュールの床面積と同等もしくはそれ以下である

ことを特徴とする電力変換装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の電力変換装置であって、

前記入口パイプと前記出口パイプは前記水路形成体の片側の面に設けられていると共に、複数の半導体パワーモジュールが搭載される部位に複数の開口部が設けられ、該複数の開口部の各開口部には半導体パワーモジュールが搭載されると共に、

前記入口パイプから各前記半導体パワーモジュールへ冷媒を供給する流路と、各半導体パワーモジュールから出口パイプへ冷媒を排出する流路とを備えている

ことを特徴とする電力変換装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の電力変換装置であって、

前記入口パイプから各半導体パワーモジュールへ冷媒を供給する流路と前記各半導体パワーモジュールから出口パイプへ冷媒を排出する流路が、前記半導体パワーモジュールが搭載される開口部の下層に位置する

ことを特徴とする電力変換装置。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の電力変換装置であって、

前記入口パイプから各半導体パワーモジュールへ冷媒を供給する複数の流路と前記各半導体パワーモジュールから出口パイプへ冷媒を排出する複数の流路が、前記半導体パワーモジュールが搭載される開口部の下層で分岐合流する

ことを特徴とする電力変換装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の電力変換装置であって、

前記入口パイプまたは前記出口パイプが設けられている面から最も離れた場所に位置する半導体パワーモジュールから前記入口パイプや前記出口パイプが設けられている面に向かって、複数の半導体パワーモジュールを搭載される全ての開口部を繋ぐように流路が構成されている

ことを特徴とする電力変換装置。

【請求項 8】

請求項 3 ないし請求項 7 のいずれか一つに記載の電力変換装置であって、

前記直流端子及び前記交流端子直下には、前記水路形成体の開口部間を繋ぐ流路が設けられている

10

20

30

40

50

ことを特徴とする電力変換装置。

【請求項 9】

請求項 3 ないし請求項 8 のいずれか一つに記載の電力変換装置であって、
前記水路形成体と前記ヒートシンクには表面処理が設けられている

ことを特徴とする電力変換装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ（以下、IGBTという）などの電力用半導体素子が搭載された半導体パワーモジュール及びそれが搭載される電力変換装置並びに半導体パワーモジュール搭載用水路形成体の製造方法に関する。 10

【背景技術】

【0002】

風力発電機などに搭載されている電力変換装置に用いられる半導体パワーモジュールは、発熱量が大きいため効率よく冷却する必要があるが、その冷却手段として液体冷却が有効である。この液体冷却は、通常、半導体パワーモジュールに、例えば、熱伝導グリースなどを介して放熱フィンが接着され、その放熱フィンが冷却水の流路の中に浸されることで冷却するものである。ところが、熱伝導グリースは、金属に比べ熱抵抗が高いという欠点を有している。

【0003】

これに対して、より高い冷却能力を確保するために、熱伝導グリースを介することなく冷却部に熱を伝達し冷却する直接冷却方式の半導体パワーモジュールが知られている（例えば、特許文献 1，特許文献 2 参照）。 20

【0004】

その直接冷却方式の半導体パワーモジュールによれば、ヒートシンクの上面に絶縁層を介して電力用半導体素子が直接搭載され、かつ、ヒートシンクの下面に放熱フィンが設けられる。このとき、水路形成体の上面の開口部がヒートシンクの下面によって覆い塞がれている構造であるので、ヒートシンクの下面は、冷却水に直接に接触することになり、ヒートシンクの冷却効果が向上する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2007 - 295765 号公報

【特許文献 2】特開 2009 - 44891 号公報

【特許文献 3】特開 2008 - 206243 号公報

【特許文献 4】特開 2009 - 219270 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献 1 や特許文献 2 は、車両搭載の回転電機に接続することを想定しており、半導体モジュールのヒートシンクによって覆い塞がれている水路形成体の出入口パイプを除く床面積と同等の床面積で、かつ水路形成体と別の平面にコンデンサモジュールが設けられており、電力変換装置の床面積を最小にしている。 40

【0007】

しかし、水路形成体と別の平面にコンデンサモジュールが設けられているため、半導体モジュールの直流端子とコンデンサモジュールの直流端子を繋げる導体板の配線長が、水路形成体の平面とコンデンサモジュールの平面の高さの差だけ長くなってしまふ。導体板の配線距離が長くなると、長さに比例して抵抗値も大きくなり、損失が大きくなる。

【0008】

係る場合には、更に例えば直流回路の平滑コンデンサと IGBT との間では、電流抵抗 50

となる配線インダクタンスが大きくなるため、スイッチング時の電流の変化に伴って電圧の跳ね上がりが発生し、I G B Tの電圧定格を超える場合には、I G B Tの破壊を引き起こしてしまうといった可能性も示唆される。

【 0 0 0 9 】

特許文献3は、半導体モジュールのヒートシンクが横から覆い塞がれている水路形成体と略同一平面上にコンデンサモジュールを配置する構造である。特許文献1や特許文献2と比較し、コンデンサとI G B Tとの間の配線距離を短くしインダクタンスを低減することは可能であるが、横から半導体モジュールを取り付ける構造であるため、組立性が悪いことが問題である。

【 0 0 1 0 】

特許文献4は、2つのヒートシンクで電力用半導体素子を挟み込む両面直接冷却方式の半導体モジュールのフランジ部を用いて、水路形成体の上面の開口部を覆い塞いでおり、水路形成体と略同一平面上にコンデンサモジュールを配置する構造である。特許文献1や特許文献2と比較し、コンデンサとI G B Tとの間の配線距離を短くしインダクタンスを低減することは可能であるが、半導体モジュールの水路形成体に対する位置決め精度が高くない場合には、ヒートシンクと水路形成体との間の隙間公差が大きくなってしまいうため、冷却性能のバラツキが大きくなることが問題である。

【 0 0 1 1 】

本発明は、上記で例示した技術的な問題と関連して、主として目的とするところは、損失を低減できる半導体パワーモジュールを提供すること、及び半導体パワーモジュール搭載用水路形成体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】

【 0 0 1 2 】

本発明の半導体パワーモジュールは、上記目的を達成するために、コンデンサモジュールに接続される直流端子を備えると共に、冷却用の水路形成体と組み合わせて使用する半導体パワーモジュールであって、前記直流端子は前記水路形成体よりも前記コンデンサモジュール側に突出していることを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

更に、本発明の半導体パワーモジュール搭載用水路形成体の製造方法は、複数の電力用半導体素子を搭載した絶縁基板と、前記複数の電力用半導体素子から発生する熱を放熱するヒートシンクと、前記電力用半導体素子へ直流電流を供給する直流端子と、前記電力用半導体素子から交流電流を取り出す交流端子とを含んでなる半導体パワーモジュールの前記ヒートシンクが搭載される部位に開口部が設けられ、機械加工用チャックと入口パイプと出口パイプと前記半導体パワーモジュールを締結するためのボルト穴を持つ半導体パワーモジュール搭載用水路形成体の製造方法であって、

前記水路形成は、鋳造により一体成型された後、前記入口パイプと出口パイプ及び前記半導体パワーモジュールを締結するためのボルト穴が機械加工され、1°以上の抜き勾配を持つ壁面を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 1 4 】

本発明によれば、損失を低減できる半導体パワーモジュールを提供すること、及び半導体パワーモジュール搭載用水路形成体の製造方法を提供することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 5 】

【図1】本発明の実施形態1に係る電力変換装置の回路ブロック構成を示した図。

【図2】本発明の実施形態1に係る電力変換装置のコンデンサモジュールとインバータモジュールを示す外観斜視図。

【図3】本発明の実施形態1に係る単相分インバータモジュールを示す外観斜視図。

【図4】本発明の実施形態1に係る単相分インバータモジュールを示す分解斜視図。

【図5】本発明の実施形態1に係る水路形成体および冷媒の進行方向の例を示す斜視図。

10

20

30

40

50

【図 6】図 5 の水路形成体の A - A 断面図。

【図 7】本発明の実施形態 1 に係る半導体パワーモジュールを示す外観斜視図。

【図 8】図 7 の半導体パワーモジュールの B - B 断面図。

【図 9】図 3 の単相分インバータモジュールの C - C 断面図。

【図 10】ピンフィンヒートシンクを用いた場合におけるクリアランスと熱抵抗および圧損の関係を示すグラフ。

【図 11】本発明の実施形態 2 に係るフィンなしヒートシンクを実装した場合の単相分インバータモジュールの C - C 断面図。

【図 12】本発明の実施形態 3 に係るフィンなしヒートシンクを実装し、かつ流速増加用部材を設けた場合の単相分インバータモジュールの C - C 断面図。

【図 13】本発明の実施形態 4 に係る 2 つ以上の半導体モジュールを搭載した水路形成体および 3 分岐 3 合流する冷媒の進行方向の例を示す斜視図。

【図 14】図 13 の水路形成体および冷媒の進行方向の例を模式的に示した平面図。

【図 15】本発明の実施形態 5 に係る 2 つ以上の半導体モジュールを搭載した水路形成体および 2 分岐 2 合流する冷媒の進行方向の例を模式的に示した平面図。

【図 16】本発明の実施形態 6 に係る 2 つ以上の半導体モジュールを搭載した水路形成体および分岐合流しない冷媒の進行方向の例を模式的に示した平面図。

【図 17】本発明の実施形態 7 に係る 6 つの半導体モジュールを搭載した水路形成体および 6 分岐 6 合流する冷媒の進行方向の例を模式的に示した平面図。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

【0017】

(実施形態 1)

図 1 は、本発明の実施形態 1 に係る電力変換装置の回路ブロック構成の例を示した図である。図 1 に示すように、電力変換装置 1000 は、ブレード（回転羽根）500 と変圧器 600 とに接続され、風の力によって回転するブレード 500 と、ブレード 500 によって得た回転力から交流電流を発生させる発電機 400 と、発電機 400 から供給される交流電流を直流に変換するコンバータモジュール 300 と、前記コンバータモジュール 300 から供給される直流電流を安定化し、平滑化するためのコンデンサモジュール 200 と、直流電流から所定の周波数の交流電流を生成するためのインバータモジュール 100 を含んで構成される。電力変換装置から得た交流電流は、前記変圧器 600 により所定の電圧に変換され、外部電力系統 700 へ供給される。

【0018】

コンバータモジュール 300 やインバータモジュール 100 において、上下アーム直列回路 1 のそれぞれは、IGBT 2a とダイオード 2b との並列接続回路からなる 2 つの電流スイッチ回路が直列に配置されて構成される。上下アーム直列回路 1 の上下端は、それぞれ、コンデンサモジュール 200 の正極および負極に接続される。そして、その上側（正極側）に配置された IGBT 2a とダイオード 2b とからなる電流スイッチ回路は、いわゆる上アームとして動作し、下側（負極側）に配置された IGBT 2a とダイオード 2b とからなる電流スイッチ回路は、いわゆる下アームとして動作する。

【0019】

インバータモジュール 100 は、このような上下アーム直列回路 1 が 3 組設けられた、いわゆる、3 相ブリッジ回路によって構成される。そして、それぞれの上下アーム直列回路 1 の中点位置、すなわち、上下の電流スイッチ回路の接続部分からは、3 相の交流電流 u 、 v 、 w が出力され、その出力された 3 相の交流電流 u 、 v 、 w は、変圧器 600 へ供給される。

【0020】

また、コンバータモジュール 300 は、3 つの上下アーム直列回路 1 からなるインバータ回路を構成し、コンバータモジュール 300 を駆動制御するコンバータモジュール用ド

10

20

30

40

50

ライバ回路 800 と、コンバータモジュール用ドライバ回路 800 へ制御信号を供給するコンバータモジュール用制御回路 900 と、を含んで構成されている。同様に、インバータモジュール 100 も、3つの上下アーム直列回路 1 からなるインバータ回路を構成し、各相の IGBT 2a にゲート信号を供給し、インバータモジュール 300 を駆動制御するインバータモジュール用ドライバ回路 810 と、インバータモジュール用ドライバ回路 810 へ制御信号を供給するインバータモジュール用制御回路 910 と、を含んで構成されている。ここで、両ドライバ回路 800, 810 から出力されるゲート信号は、各相の IGBT 2a に供給され、交流電流 u, v, w の振幅や位相などを制御する。

【0021】

各制御回路 900, 910 は、各 IGBT 2a のスイッチングタイミングを演算処理するためのマイクロコンピュータを備えている。ちなみに、各アームの IGBT 2a のエミッタ電極は、各ドライバ回路 800, 810 に接続され、各ドライバ回路 800, 810 は、それぞれの IGBT 2a ごとにエミッタ電極における過電流検知を行い、過電流が検知された IGBT 2a については、そのスイッチング動作を停止させ、過電流から保護する。さらに、各制御回路 900, 910 には、上下アーム直列回路 1 に設けられた図示しない温度センサや、上下アーム直列回路 1 の両端に印加される直流電圧を検出する検出回路などからの信号が入力され、それらの信号に基づき、過温度、過電圧などの異常を検知する。そして、過温度、過電圧などの異常を検知した場合には、全ての IGBT 2a スwitching動作を停止させ、上下アーム直列回路 1 を過電流、過電圧、過温度などの異常から保護する。

【0022】

なお、以上に示した電力変換装置 1000 において、IGBT 2a およびダイオード 2b からなる電流スイッチ回路は、MOSFET (金属酸化物半導体型電界効果トランジスタ) を用いて構成してもよい。また、インバータモジュール 100 は、2つの上下アーム直列回路 1 を含んで構成され、2相の交流電流を出力するものとしてもよい。同様に、コンバータモジュール 300 は、2つの上下アーム直列回路 1 を含んで構成され、2相の交流電流を入力するものとしてもよい。さらに、電力変換装置 1000 は、図 1 の回路構成に加え、電池に充電する機能が入った装置であってもよい。また図 1 の回路構成に加え、風車の回転数から発電機の回転数に変換する増速機を設けてもよい。

【0023】

図 2 は、本発明の実施形態 1 に係る電力変換装置のコンデンサモジュール 200 とインバータモジュール 100 の外観斜視図の例を示した図である。図 2 に示すように、コンデンサモジュール 200 とインバータモジュール 100 は正極導体板 203a と負極導体板 203b によって電氣的に接続される。コンデンサモジュール 200 には、コンデンサセル 201 が複数搭載されており、各コンデンサセル 201 を挟み込むように正極導体板 202a と負極導体板 202b が配置され、それぞれの導体板は前記正極導体板 203a と負極導体板 203b に接続されている。インバータモジュール 100 は、主に半導体パワーモジュール 110 と半導体パワーモジュールによって開口部を塞ぐ水路形成体 101 からなる。水路形成体には入口パイプ 101a と出口パイプ 101b が一体成型されており、入口パイプ 101a から冷媒を供給し、出口パイプ 101b から取り出す。図 2 の例は、図 1 の上下アームの直列回路 1 に相当する箇所に、1相あたり 2in1 タイプの半導体パワーモジュール 110 を 2台設けている。この結果、3相の交流電流 u, v, w を出力するために、2in1 タイプの半導体パワーモジュール 1 を 6つ用意しており、2つのパワーモジュールを繋げるように交流電流供給用導体板 120 を設けている。

【0024】

3相を構成する水路形成体 101 と半導体モジュール 110 の構造は全て同じであるため、1相分の水路形成体に 2つの半導体パワーモジュール 110 が搭載された図 (図 3 ~ 図 10) を用いて詳細構造を説明する。

【0025】

図 3 は本発明の実施形態 1 に係る単相分インバータモジュール 100 の外観斜視図の例

10

20

30

40

50

を示した図であり、図4は図3の分解図の例を示した図である。インバータモジュール100は、水路形成体101の上面に位置する開口部101cを塞ぐように、リングを代表とするシール材130を介して、半導体パワーモジュール固定用ボルト穴103にボルトを通すことによって半導体パワーモジュール110を設けることで構成される。上面から、リング130と半導体パワーモジュール110を取り付けることにより、組み付け時にリング130がリング用溝102から外れることがないため、組立性が向上する。

【0026】

水路形成体101は鋳造（ダイキャスト含む）により一体成型され、リング用溝102や半導体パワーモジュール固定用ボルト穴103や入口パイプ101aや出口パイプ101bは鋳造後に機械加工される。機械加工用チャック105は機械加工時に水路形成体を加工機に固定する際使用され、リング用溝102の外側に機械加工用チャックを設けることにより、シールの信頼性を維持していることを特徴とする。また、水路形成体を一体成型することにより、シールの信頼性が向上し、小型化低コスト化にも繋がる。

【0027】

なお、シールにはリングを用いず液状シールや金属パッキンを用いても良い。

【0028】

図3に示すように、半導体パワーモジュール110は、半導体パワーモジュール本体と直流端子及び交流端子から構成されており、半導体パワーモジュール本体の片側の辺に正極直流端子111aと負極直流端子111bが設けられ、反対側の辺に交流端子111cが設けられている。これらの端子直下には、図8に示すように、電力用半導体素子（IGBT or ダイオード）2が存在しないため、ヒートシンク4を設ける必要がなく、半導体パワーモジュール本体の下側（水路形成体101と組み合わせる側）に配置すれば冷却効果を達成できる。故に、半導体パワーモジュール110の直流端子や交流端子直下に水路形成体の開口部間を繋ぐ流路106を配置することにより、流路106のスペース効率を上げ、半導体パワーモジュール110が搭載される水路形成体101の出入口パイプ101bを除く床面積（ $X_{channel} \times Y_{channel}$ ）を、半導体パワーモジュール110の床面積（ $X_{module} \times Y_{module}$ ）と同等もしくはそれ以下にできる。また、正極直流端子111aと負極直流端子111bはコンデンサモジュール200に接続されている。そして、正極直流端子111aと負極直流端子111bは水路形成体101よりもコンデンサモジュール200側に突出しており、コンデンサモジュールと接触するための配線長を短くしている。

【0029】

その結果、コンデンサモジュール200を半導体パワーモジュール110に面位置で隣接して配置することが可能となるため、コンデンサモジュール200と半導体パワーモジュール110を繋ぐ導体板203の長さを短くすることができ、電流抵抗となる配線インダクタンスを低減することができる。故に、装置としての損失を低減できると共に、更にスイッチング時の電流の変化に伴う電圧の跳ね上がりを抑制し、IGBTの破壊を防止することができる。

【0030】

図5は本発明の実施形態1に係る水路形成体101および冷媒の進行方向の例を示した図である。冷媒は、入口パイプ101aから入口パイプ内冷媒進行方向150aに従い水路形成体101に流入し、1つ目の半導体パワーモジュール110のヒートシンク4が挿入されている水路開口部101c内をヒートシンク内冷媒進行方向150cに従い進行し、水路形成体の開口部間を繋ぐ流路106を水路形成体の開口部間を繋ぐ流路内冷媒進行方向150dに従い進行方向を変え、1つ目のヒートシンク内冷媒進行方向150cに対向する方向に、2つ目の半導体パワーモジュール100のヒートシンク4が挿入されている水路開口部101c内をヒートシンク内冷媒進行方向150eに従い進行し、出口パイプ101bから出口パイプ内冷媒進行方向150bに従い水路形成体101から流出する。

10

20

30

40

50

【0031】

図6は図5の水路形成体のA-A断面を示す図である。水路形成体は鋳造で一体成型されるため、 1° 以上の抜き勾配108aを持ち、また抜き勾配が存在する部位の壁面厚さ108bは3mm以上であることを特徴とする。半導体パワーモジュール100のヒートシンク4が挿入されている水路開口部101cの開口部水路断面積107dが、入口/出口パイプ水路断面積107aやノズル最小部水路断面積107bやモジュール間水路断面積107cよりも小さくすることによって、冷却すべき箇所(ヒートシンク4が挿入されている水路開口部101c)のみ冷媒の流速を上げ冷却性能を向上させ、冷却に寄与しない箇所(入口パイプ101aや出口パイプ101bや水路形成体の開口部間を繋ぐ流路106)の冷媒の流速を下げ圧力損失を低減させる。故に、水路形成体底面には冷媒を輸送する必要がなくなるため、軽量化を目的として空間104を設けることができる。

10

【0032】

また、前記水路形成体の材料は一般にアルミ合金であり、ヒートシンク4は銅であるため、電界腐食抑制のために、水路形成体とヒートシンクには表面処理を施し腐食を抑制する。また含浸処理を施すことにより、鋳物の巣や焼結部品の隙間に樹脂を注入し、硬化させ、その不要な穴を塞ぐことができるため信頼性は向上する。

【0033】

図7は本発明の実施形態1に係る半導体パワーモジュール110の外観斜視図の例を示した図であり、図8は図7の半導体パワーモジュールのB-B断面を示す図である。半導体パワーモジュールの片方の辺には、正極直流端子111aと負極直流端子111bを設け、直流端子が配置される面とは反対の面に交流端子111cを設け、強電系の端子(直流や交流の端子111)が設けられている面とは別の面に弱電系(ゲート信号、温度検知信号、エミッタ信号)の電極112を設けることにより、強電系から弱電系を離すことができるため、各信号(ゲート信号、温度検知信号、エミッタ信号)のノイズを抑制することができる。

20

【0034】

強電系の端子(直流や交流の端子111)から電力用半導体素子2へ電流を供給するために、電力用半導体素子2の上方に積層平板113を設ける。積層平板113は、上から順に負極導体板113a、絶縁材113b、正極導体板113c、絶縁材113d、交流導体板113eがレイヤー状に積層されて構成されている。負極導体板113aと正極導体板113cは、絶縁材113bを介して並行して配置され、且つ逆向きの同一電流が流れる。その結果、負極導体板113aと正極導体板113cの間の空間では互いの電流によって発生する磁界が打ち消し合うことになり、結果として電流経路のインダクタンスが低下することとなる。なお、絶縁材113b(113d)は、各導体板(負極導体板113a、正極導体板113c、交流導体板113e)を電気的に絶縁する目的で設けられ、絶縁紙を導体板に接着する方法や、導体板にラミネートコーティングする方法によって実装される。

30

【0035】

また積層平板を上面から見た形状は、略台形型をしており、絶縁基板上的金属パターンと接続されている各端子に向かって低インダクタンスで電流が流れる形状であることを特徴とする。

40

【0036】

図8にのみ図示しているが、半導体パワーモジュール内側には電力用半導体素子2などの内部部品への埃付着防止、固定、絶縁性の確保などを目的としてゲルが封止されている。このゲルは積層平板113の最上部導体板(本実施例では負極導体板113a)の底面以上入れることにより、他の導体板との絶縁性を確保できる。

【0037】

正極直流端子111aと負極直流端子111bの間の沿面距離は10mm以上とし、間に絶縁材を必要としない。一方、正極導体板113cと負極導体板113aは互いに隣接するため、絶縁性を確保するために間に絶縁材が必要となり、かつ少なくともどちらか片方

50

の導体板はゲルの中に入っている必要がある。よって、正極直流端子 1 1 1 a を正極導体板 1 1 3 c に繋げる部位 1 1 7 a や、負極直流端子 1 1 1 b を負極導体板 1 1 3 a に繋げる部位 1 1 7 b では、絶縁性を確保するために、ゲル面の高さ 1 1 4 は正極導体板と負極導体板の沿面距離が短くなる部位の高さ 1 1 5 よりも大きくする必要があり、

【 0 0 3 8 】

一方、正極直流端子 1 1 1 a を正極導体板 1 1 3 c に繋げる部位 1 1 7 a の最小くびれ部分の板幅 1 1 8 は、耐振動や低インダクタンスのために少なくとも 5 mm 以上にすべきである。そこで、最小くびれ部分を半円状に曲率がついた導体板 1 1 6 とすることで、半導体モジュール全体の高さを高くすることなくゲル面の高さ 1 1 4 を正極導体板と負極導体板の沿面距離が短くなる部位の高さ 1 1 5 よりも大きくすることが可能となり絶縁性を確保でき、かつ正極直流端子 1 1 1 a と積層平板 1 1 3 との距離を短くすることが可能となるため、その結果、図 4 に示すモジュール長さ X_{module} を短くすることができ、半導体パワーモジュール 1 1 0 の小型化が可能となる。なお、本実施例ではゲルを用いているが、ゲルの代わりにトランスファーマールドを用いても良い。

10

【 0 0 3 9 】

図 9 は、図 3 の単相分インバータモジュールの C - C 断面を示す図である。半導体パワーモジュール 1 1 0 を水路形成体 1 0 1 に挿入することでインバータモジュール 1 0 0 が構成されている。半導体モジュール 1 1 0 を水路形成体 1 0 1 に搭載する際、前記半導体モジュール 1 1 0 のヒートシンク 4 が水路形成体にぶつかった場合、リング 1 3 0 が十分に圧縮されず、シール性を確保できなくなるため、ヒートシンク 4 と水路形成体 1 0 1 との間には一定の距離 1 0 9 a を確保することが必要となる。一方、図 9 に示すヒートシンク 4 のフィン先端と水路形成体 1 0 1 との間の距離 1 0 9 a は、冷却性能（熱抵抗や圧力損失）に影響を与えるため、製造公差や取り付け公差を含め、ヒートシンク 4 のフィン先端と水路形成体 1 0 1 との間の距離 1 0 9 a の管理は重要である。

20

【 0 0 4 0 】

図 1 0 は、ヒートシンク 4 のフィン先端と水路形成体 1 0 1 との間の距離（クリアランスと表記）と熱抵抗や圧力損失（圧損と表記）の関係を示すグラフである。グラフは、横軸にクリアランス、縦軸にクリアランスがある場合の性能とクリアランスがゼロのときの性能の比を表わす。

【 0 0 4 1 】

図 1 0 からクリアランスを大きくすることにより、熱抵抗は大きくなり圧損は小さくなることわかる。またクリアランスが 2 . 0 mm 以内であれば、熱抵抗の増加量は、圧損の低減量に比べ大きくないことわかる。故に、ヒートシンク 4 のフィン先端と水路形成体 1 0 1 との間の距離（クリアランス）1 0 9 a は 0 . 1 mm 以上 2 . 0 mm 以内に製造公差や取り付け公差を指定することで、ヒートシンク 4 が水路形成体 1 0 1 にぶつからず、かつ冷却性能を維持できる。

30

【 0 0 4 2 】

本実施例では、正極直流端子 1 1 1 a と負極直流端子 1 1 1 b は水路形成体 1 0 1 よりもコンデンサモジュール 2 0 0 側に突出させ、コンデンサモジュールと接触するための配線長を短くすることにより、インダクタンスを低減し、損失について低減させている。

40

【 0 0 4 3 】

上記実施例はインバータモジュール 1 0 0 を例に示したが、コンバータモジュール 3 0 0 に置き換えても良い。また、ヒートシンクフィン 4 b はピンフィンをして図示したが、平板フィンやコルゲートフィンであっても良い。また上記実施例の電力変換装置 1 0 0 0 は、風力発電用として好適であるばかりでなく、自動車やトラックなどの電力変換装置、電車や船舶や航空機などの電力変換装置、工場設備を駆動する電動機の制御装置として用いられる産業用電力変換装置、家庭の太陽光発電システムや家庭の電化製品を駆動する電動機の制御装置に用いられる家庭用電力変換装置に対しても適用することができる。

【 0 0 4 4 】

（実施形態 2 ）

50

図11は、フィンなしヒートシンクを実装した場合の単相分インバータモジュールのC-C断面を示す図である。第1の実施例と比較し、ヒートシンクフィン4bをなくした分、伝熱面積が小さくなり冷却性能は劣るが、冷却対象である電力用半導体素子が必要量冷却されているのであれば、ヒートシンク4の形状を単純化できるため、低コスト化が見込める。この場合、ヒートシンクベース4aと水路形成体101との間の距離109bは、ゴミ詰まり防止やキャビテーション腐食防止を考慮し、0.5mm以上であることが好ましい。例えば、流路幅が30mmであり、流量が1.0L/minの場合、ヒートシンクベース4aと水路形成体101との間の距離109bが0.5mmであれば、平均流速は約1.1m/sとなり、一般に知られる許容流速(1.5m/s)よりも小さくなるため、キャビテーション腐食が発生する心配はない(〔参考文献〕“Anti corrosion guide for copper pipes used in building pipe lines”(建築配管用銅管腐食対策指針), Jpn. Copp. Develop. Assoc. p.15 (1987))。

10

【0045】

(実施形態3)

図12は、フィンなしヒートシンクを実装し、かつ流速増加用部材を設けた場合の単相分インバータモジュールのC-C断面を示す図である。本実施例(第3の変形例)は、実施形態の第2の変形例に追加して流速増加用部材5を設けることにより、レイノルズ数が2000以上となる乱流の状態が熱伝達が可能となり、冷却性能を向上させることができる。

【0046】

20

(実施形態4)

図13は2つ以上の半導体モジュールを搭載した水路形成体および3分岐3合流する冷媒の進行方向の例を示した図であり、図14は、図13の水路形成体および冷媒の進行方向の例を模式的に示した上面図である。

【0047】

冷媒は、入口パイプ101aから入口パイプ内冷媒進行方向150aに従い水路形成体101に流入し、入口パイプ101aから繋がる半導体パワーモジュールの下層を流れる流路内の冷媒進行方向151に従い半導体パワーモジュールの下層を流れ3つ(u, v, wそれぞれの相)に分岐し、半導体パワーモジュール100のヒートシンク4が挿入されている水路開口部101cへ向かって下から上へ流れ出し、ヒートシンク内冷媒進行方向150cに従い進行し、水路形成体の開口部間を繋ぐ流路106を水路形成体の開口部間を繋ぐ流路内冷媒進行方向150dに従い進行方向を変え、1つ目のヒートシンク内冷媒進行方向150cに対向する方向に、2つ目の半導体パワーモジュール100のヒートシンク4が挿入されている水路開口部101c内をヒートシンク内冷媒進行方向150eに従い進行し、出口パイプへ繋がる半導体パワーモジュールの下層を流れる流路内の冷媒進行方向152に従い半導体パワーモジュールの下層を流れ3流路(u, v, wそれぞれの相)から合流し、出口パイプ101bから出口パイプ内冷媒進行方向150bに従い水路形成体101から流出する。本構造は3相交流を得るために、6つの半導体モジュール110(各相2つ×3相=6つ)全てを1つの水路形成体101で冷却するため、入口パイプ101aと出口パイプ101bに取り付けられる図示しないカブラの数を減らすことが可能となり、シールの信頼性を向上させ、カブラの数を2つだけにするることによる低コスト化も実現する。また、3相(u, v, w)それぞれを同じ条件で均一に冷却できるメリットもある。なお、冷媒が各モジュールを通過して熱量を得ることにより、冷媒の液温が入口パイプ101aから出口パイプ101bに向かって上昇するが、その液温上昇の影響を相殺するように対向する方向に冷媒が流れているため、水路形成体は熱伝導率の高い金属で成形することが好適である。

30

40

【0048】

(実施形態5)

図15は2つ以上の半導体モジュールを搭載した水路形成体および2分岐2合流する冷媒の進行方向の例を模式的に示した上面図である。冷媒は、入口パイプ101aから入口

50

パイプ内冷媒進行方向 150 a に従い水路形成体 101 に流入し、入口パイプから繋がる半導体パワーモジュールの下層を流れる流路内の冷媒進行方向 151 に従い半導体パワーモジュールの下層を流れ 2 つに分岐し、半導体パワーモジュール 100 のヒートシンク 4 が挿入されている水路開口部 101 c へ向かって下から上へ流れ出し、ヒートシンク内冷媒進行方向 150 c に従い進行し、水路形成体の開口部間を繋ぐ流路 106 を水路形成体の開口部間を繋ぐ流路内冷媒進行方向 150 d に従い進行方向を変え、1 つ目のヒートシンク内冷媒進行方向 150 c に対向する方向に、2 つ目の半導体パワーモジュール 100 のヒートシンク 4 が挿入されている水路開口部 101 c 内をヒートシンク内冷媒進行方向 150 e に従い進行し、さらに水路形成体の開口部間を繋ぐ流路 106 を水路形成体の開口部間を繋ぐ流路内冷媒進行方向 150 d に従い進行方向を変え、2 つ目のヒートシンク内冷媒進行方向 150 e に対向する方向に、3 つ目の半導体パワーモジュール 100 のヒートシンク 4 が挿入されている水路開口部 101 c 内をヒートシンク内冷媒進行方向 150 f に従い進行し、出口パイプへ繋がる半導体パワーモジュールの下層を流れる流路内の冷媒進行方向 152 に従い半導体パワーモジュールの下層を流れ 2 流路から合流し、出口パイプ 101 b から出口パイプ内冷媒進行方向 150 b に従い水路形成体 101 から流出する。本構造は実施形態の第 4 の変形例と比較し、分岐数を少なくしたため、流量を各流路に均等に分配することが容易となり、かつ半導体パワーモジュール 100 のヒートシンク 4 が挿入されている部位での流速を上げることができるため熱抵抗を低減させることができる。

10

【0049】

20

(実施形態 6)

図 16 は 2 つ以上の半導体モジュールを搭載した水路形成体および分岐合流しない冷媒の進行方向の例を模式的に示した上面図である。冷媒は、入口パイプ 101 a から入口パイプ内冷媒進行方向 150 a に従い水路形成体 101 に流入し、入口パイプから繋がる半導体パワーモジュールの下層を流れる流路内の冷媒進行方向 151 に従い半導体パワーモジュールの下層を流れ、入口パイプ 101 a や出口パイプ 101 b が設けられている面から一番離れた場所に位置する半導体パワーモジュール 100 のヒートシンク 4 が挿入されている水路開口部 101 c へ向かって下から上へ流れ出し、ヒートシンク内冷媒進行方向 150 c に従い進行し、水路形成体の開口部間を繋ぐ流路 106 を水路形成体の開口部間を繋ぐ流路内冷媒進行方向 150 d に従い進行方向を変え、1 つ目のヒートシンク内冷媒進行方向 150 c に対向する方向に、2 つ目の半導体パワーモジュール 100 のヒートシンク 4 が挿入されている水路開口部 101 c 内をヒートシンク内冷媒進行方向 150 e に従い進行し、さらに水路形成体の開口部間を繋ぐ流路 106 を水路形成体の開口部間を繋ぐ流路内冷媒進行方向 150 d に従い進行方向を変え、2 つ目のヒートシンク内冷媒進行方向 150 e に対向する方向に、3 つ目の半導体パワーモジュール 100 のヒートシンク 4 が挿入されている水路開口部 101 c 内をヒートシンク内冷媒進行方向 150 f に従い進行し、この繰り返しにより、4 つ目・5 つ目・6 つ目の半導体パワーモジュール 100 のヒートシンク 4 が挿入されている水路開口部 101 c 内を隣り合うヒートシンク内冷媒進行方向 150 に対向する方向に冷媒を流し、最終的に出口パイプへ繋がる半導体パワーモジュールの下層を流れる流路内の冷媒進行方向 152 に従い半導体パワーモジュールの下層を流れ、出口パイプ 101 b から出口パイプ内冷媒進行方向 150 b に従い水路形成体 101 から流出する。本構造は実施形態の第 4 や第 5 の変形例と比較し、分岐合流せず全ての半導体パワーモジュールを一筆書き流路で繋げることを特徴とする。分岐合流させないことにより、流量均一分配の心配をしなくて済み、分岐合流させる他の実施例と比べ半導体パワーモジュール 100 のヒートシンク 4 が挿入されている部位での流速を最大することができるため熱抵抗を低減させることができる。

30

40

【0050】

(実施形態 7)

図 17 は 6 つの半導体モジュールを搭載した水路形成体および 6 分岐 6 合流する冷媒の進行方向の例を模式的に示した上面図である。冷媒は、入口パイプ 101 a から入口パイ

50

プ内冷媒進行方向150aに従い水路形成体101に流入し、入口パイプから繋がる半導体パワーモジュールの下層を流れる流路内の冷媒進行方向151に従い半導体パワーモジュールの下層を流れ全てのモジュール(6つ)に分岐し、半導体パワーモジュール100のヒートシンク4が挿入されている水路開口部101cへ向かって下から上へ流れ出し、ヒートシンク内冷媒進行方向150cに従い進行し、出口パイプへ繋がる半導体パワーモジュールの下層を流れる流路内の冷媒進行方向152に従い半導体パワーモジュールの下層を流れ6流路から合流し、出口パイプ101bから出口パイプ内冷媒進行方向150bに従い水路形成体101から流出する。本実施例は、モジュールの数と分岐合流する流路の数が同じであることを特徴とし、特にモジュールの数が多い場合には、液温上昇の影響をモジュールごとに、ばらつかせない様にする事ができるため好適である。さらに、水路形成体の開口部間を繋ぐ流路106は冷媒の進行方向を変えずに繋げることができ、実施形態6に比べ半導体パワーモジュール100のヒートシンク4が挿入されている部位での流速を小さくすることができるため圧力損失を低減させることができる。

10

【0051】

なお実施形態4~7は、半導体パワーモジュール100の数が6つであることを前提に説明したが、半導体パワーモジュール100の数が2つ以上であれば同じ考え方で流路を設計することが可能である。

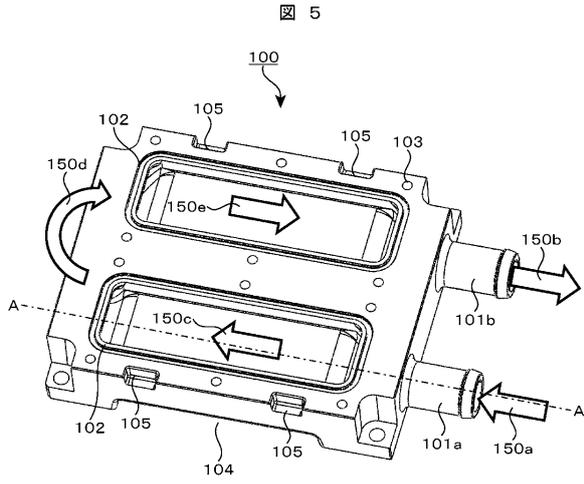
【符号の説明】

【0052】

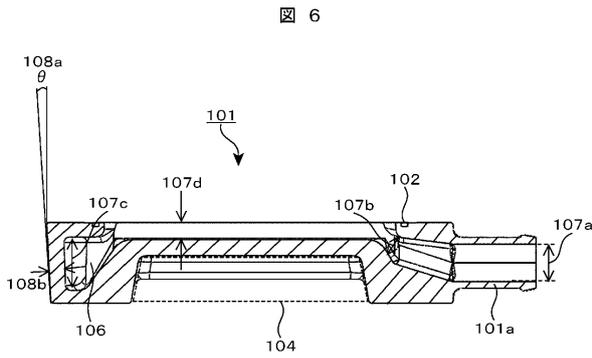
- 1 上下アーム直列回路 20
- 2 電力用半導体素子
- 2a IGBT
- 2b ダイオード
- 3 絶縁基板
- 4 ヒートシンク
- 4a ヒートシンクベース
- 4b ヒートシンクフィン
- 5 流速増加用部材
- 100 インバータモジュール
- 101 水路形成体 30
- 101a 入口パイプ
- 101b 出口パイプ
- 101c 水路開口部
- 102 Oリング用溝
- 103 半導体パワーモジュール固定用ボルト穴
- 104 水路形成体底面空間
- 105 機械加工用チャック
- 106 水路形成体の開口部間を繋ぐ流路
- 107a 入口/出口パイプ水路断面積
- 107b ノズル最小部水路断面積 40
- 107c モジュール間水路断面積
- 107d 開口部水路断面積
- 108a 水路形成体抜き勾配
- 108b 抜き勾配が存在する部位の壁面厚さ
- 109 ヒートシンクと水路形成体との間の距離
- 109a ヒートシンクフィン先端と水路形成体との間の距離(クリアランス)
- 109b ヒートシンクベースと水路形成体との間の距離
- 110 半導体パワーモジュール
- 111a 正極直流端子
- 111b 負極直流端子 50

1 1 1 c	交流端子	
1 1 2	弱電系（ゲート信号，温度検知信号，エミッタ信号）の電極	
1 1 3	積層平板	
1 1 3 a , 2 0 2 b , 2 0 3 b	負極導体板	
1 1 3 b , 1 1 3 d	絶縁材	
1 1 3 c , 2 0 2 a , 2 0 3 a	正極導体板	
1 1 3 e	交流導体板	
1 1 4	ゲル面の高さ	
1 1 5	正極導体板と負極導体板の沿面距離が短くなる部位の高さ	
1 1 6	半円状に曲率がついた導体板	10
1 1 7 a	正極直流端子を正極導体板に繋げる部位	
1 1 7 b	負極直流端子を負極導体板に繋げる部位	
1 1 8	正極直流端子を正極導体板に繋げる部位の最小くびれ部分の板幅	
1 2 0	交流電流供給用導体板	
1 3 0	リング	
1 5 0 a	入口パイプ内冷媒進行方向（流入方向）	
1 5 0 b	出口パイプ内冷媒進行方向（吐出方向）	
1 5 0 c , 1 5 0 e , 1 5 0 f , 1 5 0 g , 1 5 0 h , 1 5 0 i	ヒートシンク内冷媒進行方向	
1 5 0 d	水路形成体の開口部間を繋ぐ流路内冷媒進行方向	20
1 5 1	入口パイプから繋がる半導体パワーモジュールの下層を流れる流路内の冷媒進行方向	
1 5 2	出口パイプへ繋がる半導体パワーモジュールの下層を流れる流路内の冷媒進行方向	
2 0 0	コンデンサモジュール	
2 0 1	コンデンサセル	
3 0 0	コンバータモジュール	
4 0 0	発電機	
5 0 0	ブレード（回転羽根）	
6 0 0	変圧器	30
7 0 0	外部電力系統	
8 0 0	コンバータモジュール用ドライバ回路	
8 1 0	インバータモジュール用ドライバ回路	
9 0 0	コンバータモジュール用制御回路	
9 1 0	インバータモジュール用制御回路	
1 0 0 0	電力変換装置	

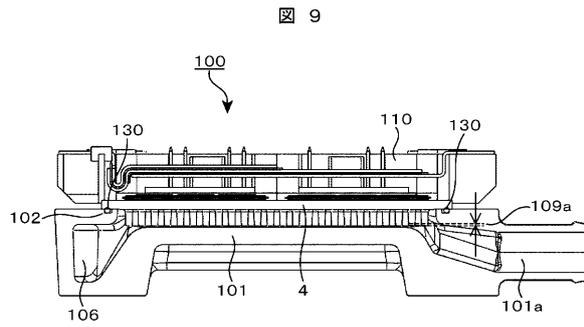
【図5】



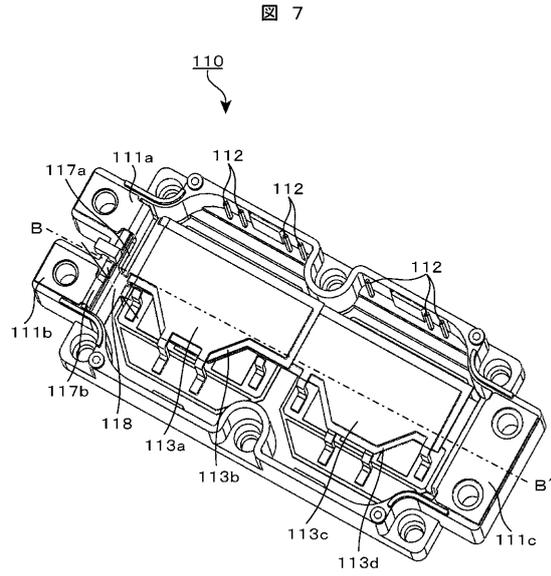
【図6】



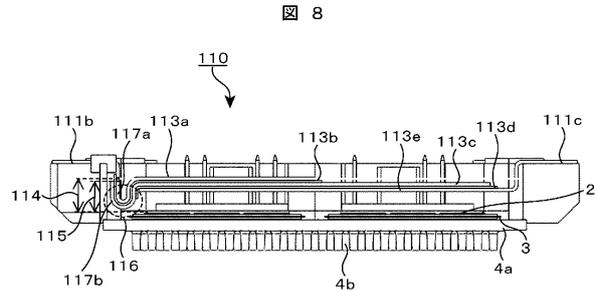
【図9】



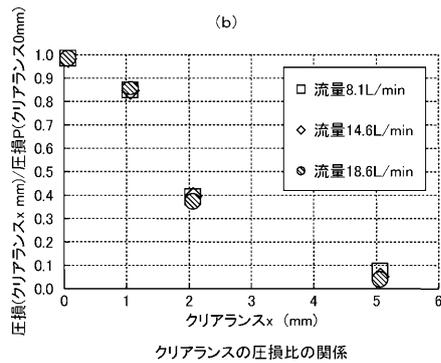
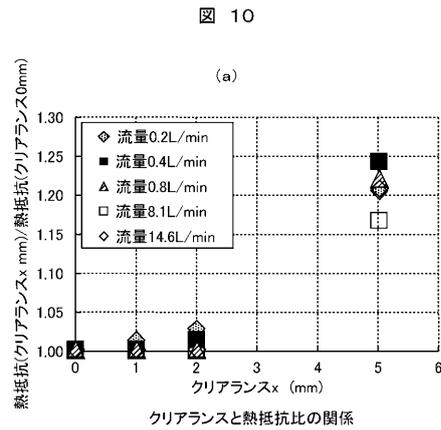
【図7】



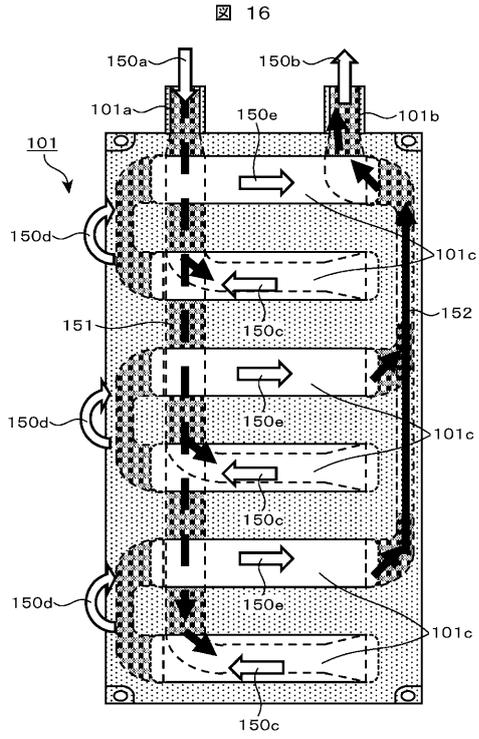
【図8】



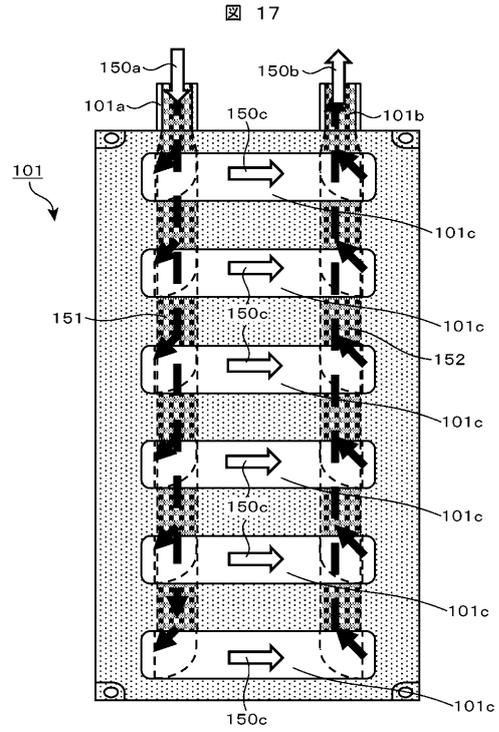
【図10】



【図 16】



【図 17】



フロントページの続き

(72)発明者 佐々木 康二

茨城県日立市幸町三丁目1番1号
所内

株式会社 日立製作所 日立事業

審査官 服部 俊樹

(56)参考文献 特開2009-005462(JP,A)

特開2007-295765(JP,A)

特開2009-005512(JP,A)

特開2007-143272(JP,A)

特開2008-259267(JP,A)

特開2005-012940(JP,A)

特開2006-179771(JP,A)

特開2002-315358(JP,A)

特開2003-336585(JP,A)

特開2001-308246(JP,A)

特開2006-257908(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02M 7/48