

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6094687号  
(P6094687)

(45) 発行日 平成29年3月15日(2017.3.15)

(24) 登録日 平成29年2月24日(2017.2.24)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 23/473 (2006.01)	HO 1 L 23/46 Z
HO 1 L 23/36 (2006.01)	HO 1 L 23/36 D
HO 1 L 25/07 (2006.01)	HO 1 L 25/04 C
HO 1 L 25/18 (2006.01)	HO 5 K 7/20 T
HO 5 K 7/20 (2006.01)	

請求項の数 17 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2015-553419 (P2015-553419)	(73) 特許権者	000005234
(86) (22) 出願日	平成26年11月5日(2014.11.5)		富士電機株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2014/079322		神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
(87) 国際公開番号	W02015/093169	(74) 代理人	100086689
(87) 国際公開日	平成27年6月25日(2015.6.25)		弁理士 松井 茂
審査請求日	平成27年12月4日(2015.12.4)	(74) 代理人	100157772
(31) 優先権主張番号	特願2013-262227 (P2013-262227)		弁理士 宮尾 武孝
(32) 優先日	平成25年12月19日(2013.12.19)	(72) 発明者	郷原 広道
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
			富士電機株式会社内
		(72) 発明者	新井 伸英
			神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
			富士電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体モジュールおよび電気駆動車両

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1半導体素子と、

第2半導体素子と、

前記第1半導体素子の下面に電気的および熱的に接続された第1ヒートスプレッドと、  
前記第2半導体素子の下面に電気的および熱的に接続された第2ヒートスプレッドと、  
セラミック絶縁基板、前記セラミック絶縁基板の上面に配置された第1金属箔、および  
前記セラミック絶縁基板の下面に配置された第2金属箔を備え、前記第1金属箔が前記第1ヒートスプレッドの下面および前記第2ヒートスプレッドの下面に電気的および熱的に接合されたDCB基板と、

前記DCB基板の前記第2金属箔に熱的に接続された冷却器とを備え、

前記冷却器の冷媒の流れ方向に対して上流側に前記第1半導体素子を配置し、下流側に前記第2半導体素子を配置し、

前記第2ヒートスプレッドの面積を前記第1ヒートスプレッドの面積より大きくしたことを特徴とする半導体モジュール。

【請求項2】

請求項1に記載の半導体モジュールにおいて、

前記第2ヒートスプレッドの前記冷媒の流れに直交する方向の長さを前記第1ヒートスプレッドの前記冷媒の流れに直交する方向の長さより長くしたことを特徴とする半導体モジュール。

10

20

## 【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の半導体モジュールにおいて、

前記第 2 ヒートスプレッタの前記冷媒の流れ方向の長さを前記第 1 ヒートスプレッタの前記冷媒の流れ方向の長さより長くしたことを特徴とする半導体モジュール。

## 【請求項 4】

請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の半導体モジュールにおいて、

前記第 1 金属箔は、前記第 1 ヒートスプレッタの下面に配置した第 3 金属箔と、前記第 2 ヒートスプレッタの下面に配置した第 4 金属箔に分割されていることを特徴とする半導体モジュール。

## 【請求項 5】

請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の半導体モジュールにおいて、

前記第 1 半導体素子および / または前記第 2 半導体素子は、電氣的に並列接続で配置された複数の半導体素子で形成されたことを特徴とする半導体モジュール。

## 【請求項 6】

請求項 5 に記載の半導体モジュールにおいて、

前記第 1 ヒートスプレッタおよび / または前記第 2 ヒートスプレッタは、前記電氣的に並列接続で配置された複数の半導体素子毎に分割されていることを特徴とする半導体モジュール。

## 【請求項 7】

請求項 5 または 6 に記載の半導体モジュールにおいて、

前記第 1 金属箔は、前記電氣的に並列接続された複数の半導体素子間の領域に前記冷媒の流れの下流から上流へ向かう方向に突出した延在部を備えることを特徴とする半導体モジュール。

## 【請求項 8】

請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の半導体モジュールにおいて、

前記第 1 半導体素子と前記第 2 半導体素子との間の前記セラミック絶縁基板上に電極パッドを配置したことを特徴とする半導体モジュール。

## 【請求項 9】

請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の半導体モジュールにおいて、

前記第 1 ヒートスプレッタは、該第 1 ヒートスプレッタの端の各々が、それぞれに同じ側の前記第 1 半導体素子の端から 2 mm 以上 10 mm 以下の範囲内になる外形を有し、

前記第 2 ヒートスプレッタは、該第 2 ヒートスプレッタの端の各々が、それぞれに同じ側の前記第 2 半導体素子の端から 2 mm 以上 10 mm 以下の範囲内になる外形を有することを特徴とする半導体モジュール。

## 【請求項 10】

請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の半導体モジュールにおいて、

前記セラミック絶縁基板の上面から前記第 1 ヒートスプレッタの上面までの間の距離および前記セラミック絶縁基板の上面から前記第 2 ヒートスプレッタの上面までの間の距離がそれぞれ 0.8 mm 以上 2.5 mm 以下であり、

前記第 1 ヒートスプレッタは、該第 1 ヒートスプレッタの端の各々が、それぞれに同じ側の前記第 1 半導体素子の端から 2 mm 以上 5 mm 以下の範囲内になる外形を有し、

前記第 2 ヒートスプレッタは、該第 2 ヒートスプレッタの端の各々が、それぞれに同じ側の前記第 2 半導体素子の端から 2 mm 以上 5 mm 以下の範囲内になる外形を有することを特徴とする半導体モジュール。

## 【請求項 11】

請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の半導体モジュールにおいて、

前記セラミック絶縁基板の上面から前記第 1 ヒートスプレッタの上面までの間の距離および前記セラミック絶縁基板の上面から前記第 2 ヒートスプレッタの上面までの間の距離がそれぞれ 1.5 mm 以上 2.0 mm 以下であり、

前記第 1 ヒートスプレッタは、該第 1 ヒートスプレッタの端の各々が、それぞれに同じ

10

20

30

40

50

側の前記第1半導体素子の端から2mm以上5mm以下の範囲内になる外形を有し、  
前記第2ヒートスプレッドは、該第2ヒートスプレッドの端の各々が、それぞれに同じ側の前記第2半導体素子の端から2mm以上5mm以下の範囲内になる外形を有することを特徴とする半導体モジュール。

【請求項12】

請求項5に記載の半導体モジュールにおいて、

前記各第1半導体素子を形成する複数の半導体素子の間の距離、および、前記各第2半導体素子を形成する複数の半導体素子の間の距離は、それぞれ1mm以上13mm以下であることを特徴とする半導体モジュール。

【請求項13】

請求項1から12のいずれか一項に記載の半導体モジュールにおいて、

前記第1半導体素子または前記第2半導体素子の内の一方若しくは両方について、電流または電圧の内いずれか一方を計測する第1センサと、温度を計測する第2センサとを備えたことを特徴とする半導体モジュール。

【請求項14】

請求項1から13のいずれか一項に記載の半導体モジュールにおいて、

前記第2ヒートスプレッドの面積を前記第1ヒートスプレッドの面積より1.2倍以上2.4倍以下の範囲内で大きくしたことを特徴とする半導体モジュール。

【請求項15】

請求項14に記載の半導体モジュールにおいて、

前記第2ヒートスプレッドの面積を前記第1ヒートスプレッドの面積より1.5倍以上2.1倍以下の範囲内で大きくしたことを特徴とする半導体モジュール。

【請求項16】

請求項15に記載の半導体モジュールにおいて、

前記第2ヒートスプレッドの面積を前記第1ヒートスプレッドの面積より1.8倍以上2.0倍以下の範囲内で大きくしたことを特徴とする半導体モジュール。

【請求項17】

請求項1から16のいずれか一項に記載の半導体モジュールと、

半導体モジュールの出力する電力で駆動するモータと、

前記半導体モジュールを制御する中央演算装置と、

前記半導体モジュールを冷却する冷媒を輸送するポンプと、

前記冷媒を冷却する熱交換器と、

前記半導体モジュール、前記ポンプおよび前記熱交換器を閉回路状に接続して冷媒流路を形成する配管とを備えていることを特徴とする電気駆動車両。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、冷却能力に優れた半導体モジュールおよびそれを用いた電気駆動車両に関する。

【背景技術】

【0002】

複数の半導体素子を冷却する装置として下記特許文献1～6が知られている。

【0003】

特許文献1には、箱状のハウジングの頂面にアルミニウム等からなる熱伝達プレートが設けられ、その上に6個のパワー半導体配置され、ハウジング内部は連通孔を備えた中間プレートによって第1冷媒室と第2冷媒室とに仕切られ、第1冷媒室の一端部に冷媒入口が設けられ、第2冷媒室の他端部に冷媒出口が設けられ、前記連通孔は、各冷却領域に6個ずつ設けられ、冷媒入口に近い上流側ではその開口面積が小さく、冷媒入口から遠い下流側ではその開口面積が大きくなっており、6個のパワー半導体により均一に冷却されるインバータ回路の冷却装置が開示されている。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 4 】

特許文献 2 には、金属ベースの半導体チップの搭載面とは反対側の面に形成される放熱フィンの密度が、冷却媒体の流れ方向に高くなるように長さの異なる複数の板状フィンを配置して、冷却媒体および半導体チップがその流れ方向に沿って昇温する傾向を抑制し、冷却媒体の流れ方向に配置された半導体チップの温度を均一に近づけることが可能な半導体冷却器が開示されている。

## 【 0 0 0 5 】

特許文献 3、4 には、2つの半導体チップ、2つの金属ブロック、3つの放熱板からなり、冷却性能を高めた半導体モジュールが開示されている。

## 【 0 0 0 6 】

特許文献 5 には、ユニット集合体の裏面と冷却体との密着性を向上させ、ユニット集合体の裏面と冷却体との接触熱抵抗を低減した半導体装置用ユニットが開示されている。

## 【 0 0 0 7 】

特許文献 6 には、パワー半導体素子を接着する導体層を有する絶縁基板の種類および材料特性、絶縁基板の表裏面に位置する導体層の材質と厚さを規定し、高温環境下においても動作安定性を維持し、組立性を向上させたパワーモジュールが開示されている。

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 0 8 】

【特許文献 1】特開 2 0 1 3 - 1 2 8 0 5 1 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 1 0 - 1 5 3 7 8 5 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 1 1 - 2 1 1 0 1 7 号公報

【特許文献 4】特開 2 0 1 1 - 2 2 8 6 3 8 号公報

【特許文献 5】特開 2 0 1 3 - 1 9 1 8 0 6 号公報

【特許文献 6】特開 2 0 1 0 - 1 0 5 0 5 号公報

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 9 】

特許文献 1 の冷却装置は、ハウジングを上下二段に仕切り、第 1 冷媒室と第 2 冷媒室を設けていることから、装置寸法が大きくなるという問題点があった。

## 【 0 0 1 0 】

特許文献 2 の半導体冷却器は、板状フィンの設置密度を変える複雑な構造を必要とすることから、製造コストが高くなるという問題点があった。

## 【 0 0 1 1 】

特許文献 3 および特許文献 4 の半導体モジュールでは、複数の半導体素子をセラミック基板上に平面配置できないという問題点があった。

## 【 0 0 1 2 】

特許文献 5 および特許文献 6 には、半導体モジュールと冷却器との接続部を改良し冷却能力を向上させる方法は記載されているが、該接続部の改良によって冷却能力の面内差を低減する方法は開示されていなかった。

## 【 0 0 1 3 】

上記の課題を解決するべく、本発明は、半導体モジュールの冷却器を流れる冷媒の流れ方向に起因する冷却能力の面内差を低減し、冷却効率の良い半導体モジュールを提供することを目的とする。

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 1 4 】

発明者は、熱の拡散の律速になるものがセラミック絶縁基板であることを見出し、上流側の半導体素子と下流側の半導体素子の温度差をなるべく均一化させることで半導体モジュールの大きさを小さくできることを見出し、本発明に至った。

## 【 0 0 1 5 】

10

20

30

40

50

上記課題を解決するため、本発明の半導体モジュールは、第1半導体素子と、第2半導体素子と、前記第1半導体素子の下面に電気的および熱的に接続された第1ヒートスプレッドと、前記第2半導体素子の下面に電気的および熱的に接続された第2ヒートスプレッドと、セラミック絶縁基板、前記セラミック絶縁基板の上面に配置された第1金属箔、および前記セラミック絶縁基板の下面に配置された第2金属箔を備え、前記第1金属箔が前記第1ヒートスプレッドの下面および前記第2ヒートスプレッドの下面に電気的および熱的に接合されたDCB基板と、前記DCB基板の前記第2金属箔に熱的に接続された冷却器とを備え、前記冷却器の冷媒の流れ方向に対して上流側に前記第1半導体素子を配置し、下流側に前記第2半導体素子を配置し、前記第2ヒートスプレッドの面積を前記第1ヒートスプレッドの面積より大きくしたことを特徴とする。

10

**【0016】**

このような構成によれば、冷媒は上流から下流に向かうにしたがい温度上昇するため、第2ヒートスプレッドと冷媒との温度差は、第1ヒートスプレッドと冷媒との温度差よりも小さくなるが、第2ヒートスプレッドの伝熱面積を、第1ヒートスプレッドの伝熱面積よりも大きくすることによって、伝熱量としては均等になり、モジュール全体の熱効率が良くなって、半導体モジュールの外形サイズを小さくできる。

**【0017】**

本発明の半導体モジュールにおいて、前記第2ヒートスプレッドの前記冷媒の流れに直交する方向の長さを前記第1ヒートスプレッドの前記冷媒の流れに直交する方向の長さより長くすることが好ましい。

20

**【0018】**

本発明の半導体モジュールにおいて、第2ヒートスプレッドの冷媒の流れ方向の長さを第1ヒートスプレッドの冷媒の流れ方向の長さより長くすることが好ましい。

**【0019】**

このような構成によれば、第2ヒートスプレッドの伝熱面積を、第1ヒートスプレッドの伝熱面積よりも大きくしたことになり、上記と同じ理由によりモジュール全体の熱効率が良くなって、半導体モジュールの外形サイズを小さくできる。

**【0020】**

本発明の半導体モジュールにおいて、前記第1金属箔は、前記第1ヒートスプレッドの下面に配置した第3金属箔と、前記第2ヒートスプレッドの下面に配置した第4金属箔に分割することができる。

30

**【0021】**

このような構成によれば、第1半導体素子及び第2半導体素子の裏面電極の接続先を個別に設定することができるため、1つの半導体ユニットの中に種類の異なる複数の半導体素子を組み込むことができる。

**【0022】**

本発明の半導体モジュールにおいて、前記第1半導体素子および/または前記第2半導体素子は、電気的に並列接続で配置された複数の半導体素子で形成することができる。

**【0023】**

このような構成によれば、第1半導体素子または前記第2半導体素子のどちらか一方、または第1半導体素子と前記第2半導体素子の両方を、電気的に並列接続で配置された複数の半導体素子で形成することができ、半導体ユニットを大容量化できる。

40

**【0024】**

本発明の半導体モジュールにおいて、前記第1ヒートスプレッドおよび/または前記第2ヒートスプレッドは、前記電気的に並列接続で配置された複数の半導体素子毎に分割することができる。

**【0025】**

このような構成によれば、第1ヒートスプレッドまたは前記第2ヒートスプレッドのどちらか一方、もしくは第1ヒートスプレッド及び前記第2ヒートスプレッドの両方について、半導体素子が電気的には並列接続されている場合であっても、ヒートスプレッドが半

50

導体素毎に分割されているので、半導体素子間の熱干渉が起こり難くなる。ここで、上記複数の半導体素子の並列接続は、異なる種類の半導体素子の並列接続であってもよく、例えば、IGBTとFWDを並列接続にする構造としてもよい。

【0026】

本発明の半導体モジュールにおいて、さらに、前記第1金属箔は、前記電氣的に並列接続された複数の半導体素子間の領域に前記冷媒の流れの下流から上流へ向かう方向に突出した延在部を備えることができる。

【0027】

このような構成によれば、ヒートスプレッドから離れた位置に第1金属箔が延長されるので、第1金属箔に配線を容易に接続できる。

【0028】

本発明の半導体モジュールにおいて、前記第1半導体素子と前記第2半導体素子との間の前記セラミック絶縁基板上に電極パッドを配置することができる。

【0029】

このような構成によれば、電極パッドは、第1半導体素子と前記第2半導体素子との相互の熱干渉を抑制するために設けた空き領域に配置されるので、敷地を有効利用できる。また、電極パッドは、半導体素子に近い位置に配置されるので、電極パッドから外部に信号を取り出す時の電流経路を短くできる。

【0030】

本発明の半導体モジュールにおいて、前記第1ヒートスプレッドは、該第1ヒートスプレッドの端の各々が、それぞれに同じ側の前記第1半導体素子の端から2mm以上10mm以下の範囲内になる外形を有し、前記第2ヒートスプレッドは、該第2ヒートスプレッドの端の各々が、それぞれに同じ側の前記第2半導体素子の端から2mm以上10mm以下の範囲内になる外形を有することが好ましい。

【0031】

このような構成によれば、ヒートスプレッドによって効率よく熱を分散できるので、半導体モジュールの外形サイズを小さくできる。

【0032】

本発明の半導体モジュールにおいて、前記セラミック絶縁基板の上面から前記第1ヒートスプレッドの上面までの間の距離および前記セラミック絶縁基板の上面から前記第2ヒートスプレッドの上面までの間の距離がそれぞれ0.8mm以上2.5mm以下であり、前記第1ヒートスプレッドは、該第1ヒートスプレッドの端の各々が、それぞれに同じ側の前記第1半導体素子の端から2mm以上5mm以下の範囲内になる外形を有し、かつ第2ヒートスプレッドは、該第2ヒートスプレッドの端の各々が、それぞれに同じ側の前記第2半導体素子の端から2mm以上5mm以下の範囲内になる外形を有することが好ましい。

【0033】

さらには、本発明の半導体モジュールにおいて、前記セラミック絶縁基板の上面から前記第1ヒートスプレッドの上面までの間の距離および前記セラミック絶縁基板の上面から前記第2ヒートスプレッドの上面までの間の距離がそれぞれ1.5mm以上2.0mm以下であり、前記第1ヒートスプレッドは、該第1ヒートスプレッドの端の各々が、それぞれに同じ側の前記第1半導体素子の端から2mm以上5mm以下の範囲内になる外形を有し、前記第2ヒートスプレッドは、該第2ヒートスプレッドの端の各々が、それぞれに同じ側の前記第2半導体素子の端から2mm以上5mm以下の範囲内になる外形を有することがより好ましい。

【0034】

このような構成によれば、セラミック絶縁基板の上面からヒートスプレッドの上面までの間の距離が0.8mm未満で電極の電気抵抗が高くなり通電時の温度が上昇するという問題、及び2.5mmを超えたところでDCB基板の製造が困難になるという問題を避けることができ、かつ第1ヒートスプレッドの伝熱量と第2ヒートスプレッドの伝熱量を均

10

20

30

40

50

等にすることができるので、熱効率が良くなり、半導体モジュールの外形サイズをより小さくできる。

【0035】

本発明の半導体モジュールにおいて、前記各第1半導体素子を形成する複数の半導体素子の間の距離、および、前記各第2半導体素子を形成する複数の半導体素子の間の距離は、それぞれ1mm以上13mm以下であることが好ましい。

【0036】

このような構成によれば、半導体素子を形成する複数の半導体素子の間の距離が1mm未満であると半導体素子間の熱干渉が大きくなる問題、13mmを超えると半導体素子間を広げることが難しくなって面積当たりの冷却効率が悪くなる問題を避けることができる。

10

【0037】

本発明の半導体モジュールにおいて、前記第1半導体素子または前記第2半導体素子の内の一方若しくは両方について、電流または電圧の内いずれか一方を計測する第1センサと、温度を計測する第2センサとを備えることができる。

【0038】

このような構成によれば、半導体素子の電流、電圧、温度を監視することができる。

【0039】

本発明の半導体モジュールにおいて、前記第2ヒートスプレッタの面積を前記第1ヒートスプレッタの面積より1.2倍以上2.4倍以下の範囲内で大きくすることが好ましい。

20

【0040】

さらには、本発明の半導体モジュールにおいて、前記第2ヒートスプレッタの面積を前記第1ヒートスプレッタの面積より1.5倍以上2.1倍以下の範囲内で大きくすることがより好ましい。

【0041】

本発明の半導体モジュールにおいて、前記第2ヒートスプレッタの面積を前記第1ヒートスプレッタの面積より1.8倍以上2.0倍以下の範囲内で大きくすることが特に好ましい。

【0042】

このような構成によれば、第1ヒートスプレッタおよび第2ヒートスプレッタの面積を最適化でき、半導体モジュールの外形サイズを小さくできる。

30

【0043】

本発明の電気駆動車両は、上記いずれか一項に記載の半導体モジュールと、半導体モジュールの出力する電力で駆動するモータと、前記半導体モジュールを制御する中央演算装置と、前記半導体モジュールを冷却する冷媒を輸送するポンプと、前記冷媒を冷却する熱交換器と、前記半導体モジュール、前記ポンプおよび前記熱交換器を閉回路状に接続して冷媒流路を形成する配管とを備えていることを特徴とする。

【0044】

このような構成によれば、半導体モジュールの外形サイズを小さくできるので、車両に搭載する際の占有体積を小さくできる。

40

【発明の効果】

【0045】

本発明によれば、半導体モジュールの冷却器を流れる冷媒の流れ方向に起因する、冷却能力の面内差を低減し、どの半導体素子も均等に冷却することができるため、冷却効率が良く、半導体モジュールの外形をより小さくすることができる。よって、本発明の半導体モジュールを車両に搭載する場合は、実装部品の配置設計が容易になり、車両内の居住空間を広くすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0046】

50

- 【図1】本発明の半導体モジュールの概略構成を示す鳥瞰図である。
- 【図2】図1に示された半導体モジュールの上面図である。
- 【図3】本発明の半導体ユニットの一実施例に係る上面図である。
- 【図4】図3に示された半導体ユニットのA-A断面の断面図である。
- 【図5】本発明の半導体ユニットの他の実施例に係る上面図である。
- 【図6】図5に示された半導体ユニットのA-A断面、B-B断面の断面図である。
- 【図7】本発明の半導体ユニットの更に他の実施例に係る上面図である。
- 【図8】図7に示された半導体ユニットのA-A断面、B-B断面の断面図である。
- 【図9】本発明の半導体ユニットの更に他の実施例に係る上面図である。
- 【図10】図9に示された半導体ユニットのA-A断面、B-B断面の断面図である。 10
- 【図11】本発明の半導体ユニットの更に他の実施例に係る上面図である。
- 【図12】図11に示された半導体ユニットのA-A断面、B-B断面の断面図である。
- 【図13】ヒートスプレッタ厚さ1mmでヒートスプレッタの面積を広げたシミュレーション結果を表した図である。
- 【図14】セラミック絶縁基板の上面から第2ヒートスプレッタの上面までの間の距離と半導体素子の最高温度 $T_j$ との関係を示した図である。
- 【図15】ヒートスプレッタの厚さ1mmと1.5mmについてヒートスプレッタの面積を広げていくシミュレーション結果を表した図である。
- 【図16】冷媒の流れる方向に直交する方向にヒートスプレッタの幅を広げたシミュレーション結果を表した図である。 20
- 【図17】上流側のヒートスプレッタの面積当たりの下流側のヒートスプレッタの面積の比に対する半導体素子の最高温度 $T_j$ の平均温度を示した図である。
- 【図18】冷媒の流れる方向に直交する方向に半導体素子間隔を広げたシミュレーション結果を表した図である。
- 【図19】下流側のヒートスプレッタの冷媒の流れる方向に直交する方向における半導体素子の端とヒートスプレッタの端との距離を広げたシミュレーション結果を表した図である。
- 【図20】下流側のヒートスプレッタの冷媒の流れる方向における、半導体素子の端とヒートスプレッタの端との距離を広げたシミュレーション結果を表した図である。
- 【図21】本発明の電気駆動車両の駆動系の一実施例を示す概略構成図である。 30
- 【図22】本発明の半導体モジュールのインバータの一実施例を示す回路図である。
- 【発明を実施するための形態】

#### 【0047】

以下、図面を参照しながら本発明に係る半導体モジュールの実施形態を説明する。同一の構成要素については、同一の符号を付け、重複する説明は省略する。なお、本発明は、下記の実施形態に限定されるものではなく、その要旨を変更しない範囲内で適宜変形して実施することができるものである。

#### 【0048】

本発明の各実施例において、半導体素子1は、特に限定されないが、例えば、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) やパワーMOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) やFWD (Free Wheeling Diode) であってもよく、これらを1つの半導体素子の中で実現したRC-IGBT (Reverse Conducting-Insulated Gate Bipolar Transistor) であってもよい。 40

#### 【0049】

図1は、本発明の半導体モジュールの概略構成を示す鳥瞰図である。また、図2は、その上面図である。一方、図4は、本発明の半導体ユニットの一実施例に係る断面図である。

#### 【0050】

なお、図1には、半導体モジュール100が、3つの半導体ユニット10, 11, 12を備えた例が示されている。半導体ユニットは、1つでもよく、2つ以上を備えていてもよい。

#### 【0051】

図1、図2および図4に示したように、冷却器5は、天板5a、トレー5b、フィン5c、冷媒入口配管5d、冷媒通路5g、冷媒出口配管5eを備え、冷却器5の天板5a上に半導体ユニット10, 11, 12が配置されている。冷却器5の天板5aは、半導体ユニット10, 11, 12の第2金属箔4a3に熱的に接続されており、半導体ユニット10, 11, 12の熱は、冷却器5の天板5aに伝熱される。天板5aの下にトレー5bが配置され、トレー5bの中に複数のフィン5cが配列されている。フィン5cはプレート状のものが図示されているが、これに限定されない。例えば、波状や格子状や多孔質のものであってもよい。フィン5cは、天板5aとトレー5bに接続されている。フィン5cの左右の端部とトレー5bの間には空間があり、冷媒入口配管側の分配部5fと、冷媒出口配管側の集合部5hとが形成されている。冷却器5において、冷媒は、冷媒入口配管5dを通過して冷媒の導入方向13から導入され、冷媒入口配管側の分配部で各フィン5c間に冷媒が分配され、各フィン5c間の冷媒通路5gで冷媒の流れ方向14に流れて天板5bやフィン5cで加熱され、冷媒出口配管側の集合部5hで各フィン間から出た冷媒が集められ、冷媒出口配管5eを通過して冷媒の排出方向15に排出される。冷媒は、冷却器5の冷媒出口配管5e、図示しない熱交換器およびポンプを経由して、冷却器5の冷媒入口配管5dに戻る循環経路に通流される。冷媒としては、特に限定されないが、例えば、エチレングリコール水溶液や水などの液体冷媒を用いることもでき、空気のような気体冷媒を用いることもでき、フロンのように冷却器で蒸発して気化熱で冷却器を冷やす相変化可能な冷媒を用いることもできる。

#### 【0052】

なお、図2には、半導体モジュール100に、図11の半導体ユニット10eを用いた例を示したが、半導体ユニットには、下記の各実施例で示すように様々なバリエーションがある。いずれの半導体ユニットもヒートスプレッドの下側にDCB基板を備えている。DCBとは、Direct Copper Bondingの略であり、セラミック絶縁基板に銅などの金属箔が直接接合されている。セラミック絶縁基板2aの材質は、絶縁性を確保できる材料であれば特に限定されないが、例えば、窒化アルミニウム(AlN)などのセラミック材料が用いられる。

#### 【0053】

また、下記実施例では、第1半導体ユニット10、第2半導体ユニット11および第3半導体ユニット12は、図示しない封止樹脂で封止されている。第1半導体ユニット10、第2半導体ユニット11および第3半導体ユニット12は、個々に樹脂封止されてもよく、これらをまとめて1つに樹脂封止してもよい。製造上のミスによるロスコストを低減するには、個々に樹脂封止する方がより望ましい。封止樹脂は、所定の絶縁性能があり、成形性がよいものであれば特に限定されないが、例えば、エポキシ樹脂などが好適に用いられる。

#### 【0054】

本発明の半導体モジュールの各実施例では、第1半導体素子と、第2半導体素子と、前記第1半導体素子の下面に電気的および熱的に接続された第1ヒートスプレッドと、前記第2半導体素子の下面に電気的および熱的に接続された第2ヒートスプレッドと、セラミック絶縁基板、前記セラミック絶縁基板の上面に配置された第1金属箔、および前記セラミック絶縁基板の下面に配置された第2金属箔を備え、前記第1金属箔が前記第1ヒートスプレッドの下面および前記第2ヒートスプレッドの下面に電気的および熱的に接合されたDCB基板と、前記DCB基板の前記第2金属箔に熱的に接続された冷却器とを備え、前記冷却器の冷媒の流れ方向に対して上流側に前記第1半導体素子を配置し、下流側に前記第2半導体素子を配置し、前記第2ヒートスプレッドの面積を前記第1ヒートスプレッドの面積より大きくした。

10

20

30

40

50

## 【0055】

以下の各実施例では、第1半導体ユニット10の様々な変形例を示したものである。第1半導体素子および第2半導体素子を横切るA-A断面またはB-B断面を見た断面図を用いて本発明の実施例に係る半導体モジュールの構造を説明している。第1金属箔、第2金属箔、第3金属箔、および第4金属箔は、厚さ0.4mmのものを用いた。

## 【0056】

(実施例1)

本発明に係る第1の実施例について説明する。

## 【0057】

本発明の第1の実施例に係る半導体モジュール100は、第1半導体ユニット10、第2半導体ユニット11、第3半導体ユニット12、および冷却器5を備えている。第1半導体ユニット10、第2半導体ユニット11、および第3半導体ユニット12には、下記に説明する第1半導体ユニット10aが用いられている。冷却器5については、上記で説明したとおりであるので説明を省略する。

10

## 【0058】

図3には、本発明の第1実施例に係る半導体ユニット10aの上面図が示されている。また、図4には、図3に示した半導体ユニット10aと冷却器5のA-A断面の断面図が示されている。

## 【0059】

第1半導体ユニット10aは、第1半導体素子1a、第2半導体素子1b、第1ヒートスプレッド2a、第2ヒートスプレッド2b、ハンダ3a1、ハンダ3a2、ハンダ3a3、ハンダ3b1、ハンダ3b2、DCB基板4、セラミック絶縁基板4a1、第1金属箔(回路層)4a2、第2金属箔4a3、電極パッド4a8、電極パッド4a9を備えている。

20

## 【0060】

DCB基板4は、少なくともセラミック絶縁基板4a1と第1金属箔(回路層)4a2と第2金属箔4a3からなり、セラミック絶縁基板4a1のおもて面に第1金属箔(回路層)4a2が配置され、セラミック絶縁基板4a1の裏面に第2金属箔4a3が配置されている。

## 【0061】

第1ヒートスプレッド2aの上面は、ハンダ3a1を介して第1半導体素子1aの下面に接合されている。第1ヒートスプレッド2aの下面は、ハンダ3a2を介してDCB基板4の第1金属箔(回路層)4a2の上面に接合されている。

30

## 【0062】

第2ヒートスプレッド2bの上面は、ハンダ3b1を介して第2半導体素子1bの下面に接合されている。第2ヒートスプレッド2bの下面は、ハンダ3b2を介してDCB基板4の第1金属箔(回路層)4a2の上面に接合されている。

## 【0063】

なお、図3には図示しないが、第1半導体ユニット10aは、半導体素子1aまたは1bの内の一方もしくは両方について、内部回路として、電流または電圧の内いずれか一方を計測する第1センサ、もしくは温度を計測する第2センサを備えることができる。前記センサは、外部に信号を取り出すためのピンを立てた電極パッド4a8、4a9にワイヤで接続することができる。

40

## 【0064】

このような構成によれば、半導体素子の電流、電圧、温度を監視することができる。

## 【0065】

(実施例2)

本発明に係る第2の実施例について説明する。実施例2では、半導体ユニット10bが実施例1で説明した態様で半導体モジュールに組み付けられている。

## 【0066】

50

図5には、本発明の第2実施例に係る半導体ユニット10bの上面図が示されている。また、図6(A)には図5に示した半導体ユニット10bと冷却器5のA-A断面の断面図が、図6(B)にはB-B断面の断面図が、それぞれ示されている。

【0067】

実施例1との主な相違点は、第1半導体素子1aを第1半導体素子1aと第3半導体素子1cに分割した点と、第2半導体素子1bを第2半導体素子1bと第4半導体素子1dに分割した点と、電極パッド4a10および電極パッド4a11を増設した点である。

【0068】

第1半導体ユニット10bは、第1半導体素子1a、第2半導体素子1b、第3半導体素子1c、第4半導体素子1d、第1ヒートスプレッド2a、第2ヒートスプレッド2b、ハンダ3a1、ハンダ3a2、ハンダ3a3、ハンダ3b1、ハンダ3b2、ハンダ3c1、ハンダ3d1、DCB基板4、セラミック絶縁基板4a1、第1金属箔(回路層)4a2、第2金属箔4a3、電極パッド4a8、電極パッド4a9、電極パッド4a10、電極パッド4a11を備えている。

10

【0069】

DCB基板4は、少なくともセラミック絶縁基板4a1と第1金属箔(回路層)4a2と第2金属箔4a3からなり、セラミック絶縁基板4a1のおもて面に第1金属箔(回路層)4a2が配置され、セラミック絶縁基板4a1の裏面に第2金属箔4a3が配置されている。

【0070】

第1ヒートスプレッド2aの上面は、ハンダ3a1を介して第1半導体素子1aの下面に接合され、さらに、ハンダ3c1を介して第3半導体素子1cの下面に接合されている。第1ヒートスプレッド2aの下面は、ハンダ3a2を介してDCB基板4の第1金属箔(回路層)4a2の上面に接合されている。

20

【0071】

第2ヒートスプレッド2bの上面は、ハンダ3b1を介して第2半導体素子1bの下面に接合され、さらに、ハンダ3d1を介して第4半導体素子1dの下面に接合されている。第2ヒートスプレッド2bの下面は、ハンダ3b2を介してDCB基板4の第1金属箔(回路層)4a2の上面に接合されている。

【0072】

なお、図5には図示しないが、第1半導体ユニット10bは、第1半導体素子1a、第2半導体素子1b、第3半導体素子1c、または第4半導体素子1dの内の一つ、もしくは二つ以上に、内部回路として、電流または電圧の内いずれか一方を計測する第1センサと、温度を計測する第2センサを備え、センサからの信号が電極パッド4a8、電極パッド4a9、電極パッド4a10、電極パッド4a11のいずれかを經由して、外部に取り出すことができる。

30

【0073】

(実施例3)

本発明に係る第3の実施例について説明する。実施例3では、半導体ユニット10cが実施例1で説明した態様で半導体モジュールに組み付けられている。

【0074】

図7には、本発明の第3実施例に係る半導体ユニット10cの上面図が示されている。図8(A)には図7に示した半導体ユニット10cと冷却器5のA-A断面の断面図が、図8(B)にはB-B断面の断面図が示されている。

40

【0075】

実施例2との主な相違点は、図5と図7を比較すると判るように、図5の第1金属箔(回路層)4a2が、図7では第1ヒートスプレッド2aの下面に配置した第3金属箔4a4と、第2ヒートスプレッド2bの下面に配置した第4金属箔4a5に分割されている点と、電氣的に並列接続された複数の半導体素子間の領域に冷媒の流れの下流から上流へ向かう方向に突出した延在部7を有する点と、第1半導体素子1aと第2半導体素子1bと

50

の間および第3半導体素子1cと第4半導体素子1dとの間のセラミック絶縁基板4a1上に電極パッド4a9、4a11を配置された点である。

【0076】

第1半導体ユニット10cは、第1半導体素子1a、第2半導体素子1b、第3半導体素子1c、第4半導体素子1d、第1ヒートスプレッド2a、第2ヒートスプレッド2b、ハンダ3a1、ハンダ3a2、ハンダ3a3、ハンダ3b1、ハンダ3b2、ハンダ3c1、ハンダ3d1、DCB基板4、セラミック絶縁基板4a1、第2金属箔4a3、第3金属箔(回路層)4a4、第4金属箔(回路層)4a5、電極パッド4a8、電極パッド4a9、電極パッド4a10、電極パッド4a11を備えている。

【0077】

第1半導体素子1a及び第3半導体素子1cが配置された第3金属箔(回路層)4a4と、第2半導体素子1b及び第4半導体素子1dが配置された第4金属箔(回路層)4a5との間の領域には、第4金属箔(回路層)4a5に、冷媒の流れの下流から上流へ向かう方向に突出した延在部7が設けられ、配線が接続できるようになっている。延在部7は、この位置に設けることにより、他所に配置した時のスペースの無駄を避けつつ、第1半導体素子1aと第2半導体素子1bとの距離、及び第3半導体素子1cと第4半導体素子1dとの距離を適度に保って温度の均一化をはかることができる。

【0078】

DCB基板4は、少なくともセラミック絶縁基板4a1と第3金属箔(回路層)4a4と第4金属箔(回路層)4a5と第2金属箔4a3からなり、セラミック絶縁基板4a1のおもて面に第3金属箔(回路層)4a4と第4金属箔(回路層)4a5が配置され、セラミック絶縁基板4a1の裏面に第2金属箔4a3が配置されている。

【0079】

第1ヒートスプレッド2aの上面は、ハンダ3a1を介して第1半導体素子1aの下面に接合されている。さらに、第1ヒートスプレッド2aの上面は、ハンダ3c1を介して第3半導体素子1cの下面に接合されている。第1ヒートスプレッド2aの下面は、ハンダ3a2を介してDCB基板4の第3金属箔(回路層)4a4の上面に接合されている。

【0080】

第2ヒートスプレッド2bの上面は、ハンダ3b1を介して第2半導体素子1bの下面に接合されている。さらに、第2ヒートスプレッド2bの上面は、ハンダ3d1を介して第4半導体素子1dの下面に接合されている。第2ヒートスプレッド2bの下面は、ハンダ3b2を介してDCB基板4の第4金属箔(回路層)4a5の上面に接合されている。

【0081】

なお、図7には図示しないが、第1半導体ユニット10cは、第1半導体素子1a、第2半導体素子1b、第3半導体素子1c、または第4半導体素子1dの内の一つ、もしくは二つ以上に、内部回路として、電流または電圧の内いずれか一方を計測する第1センサと、温度を計測する第2センサとを備え、センサからの信号が電極パッド4a8、電極パッド4a9、電極パッド4a10、電極パッド4a11のいずれかを經由して、外部に取り出すことができる。

【0082】

(実施例4)

本発明に係る第4の実施例について説明する。実施例4では、半導体ユニット10dが実施例1で説明した態様で半導体モジュールに組み付けられている。

【0083】

図9には本発明の第4実施例に係る半導体ユニット10dの上面図が示されている。図10(A)には、図9に示された半導体ユニット10dと冷却器5のA-A断面の断面図が、図10(B)にはB-B断面の断面図が、それぞれ示されている。

【0084】

実施例3との主な相違点は、図7と図9を比較すると判るように、図9の第4金属箔(回路層)4a7が、第3金属箔(回路層)4a6よりも、面積が大きくなっている点であ

10

20

30

40

50

る。

【0085】

第2ヒートスプレッタ2bの面積を第1ヒートスプレッタ2aの面積よりも大きくしたので、ヒートスプレッタによる熱の広がりをより均等にするため、第2ヒートスプレッタ2bの下方にある第4金属箔(回路層)4a7を、第1ヒートスプレッタ2aの下方にある第3金属箔(回路層)4a6よりも面積を大きくした。

【0086】

第3金属箔(回路層)4a6および第4金属箔(回路層)4a7は、セラミック絶縁基板4a1上に配置されている。第3金属箔(回路層)4a6の上面は、ハンダ3a2を介して第1ヒートスプレッタ2aの下面に接続されている。第4金属箔(回路層)4a7の上面は、ハンダ3b2を介して第2ヒートスプレッタ2bの下面に接続されている。

10

【0087】

その他の点は、実施例3と同様なので、説明を省略する。

【0088】

(実施例5)

本発明に係る第5の実施例について説明する。実施例5では、半導体ユニット10eが実施例1で説明した態様で半導体モジュールに組み付けられている。

【0089】

図11には、本発明の第5実施例に係る半導体ユニット10eの上面図が示されている。図12(A)には本発明の図11に示された半導体ユニット10eと冷却器5のA-A断面の断面図が、図12(B)にはB-B断面の断面図が、それぞれ示されている。

20

【0090】

実施例3との主な相違点は、図7と図11を比較すると判るように、図7の第1ヒートスプレッタ2aが、図11では第1ヒートスプレッタ2aと第3ヒートスプレッタ2cに分割されている点と、および図7の第2ヒートスプレッタ2bが、図11では第2ヒートスプレッタ2bと第4ヒートスプレッタ2dに分割されている点である。

【0091】

第1ヒートスプレッタ2aは、ハンダ3a2を介して第3金属箔(回路層)4a4上に配置されている。第1ヒートスプレッタ2aの上面は、ハンダ3a1を介して第1半導体素子1aに接続されている。

30

【0092】

第2ヒートスプレッタ2bは、ハンダ3b2を介して第4金属箔(回路層)4a5上に配置されている。第2ヒートスプレッタ2bの上面は、ハンダ3b1を介して第2半導体素子1bに接続されている。

【0093】

第3ヒートスプレッタ2cは、ハンダ3c2を介して第3金属箔(回路層)4a4上に配置されている。第3ヒートスプレッタ2cの上面は、ハンダ3c1を介して第3半導体素子1cに接続されている。

【0094】

第4ヒートスプレッタ2dは、ハンダ3d2を介して第4金属箔(回路層)4a5上に配置されている。第4ヒートスプレッタ2dの上面は、ハンダ3d1を介して第4半導体素子1dに接続されている。

40

【0095】

その他の点は、実施例3と同様なので、説明を省略する。

【0096】

(シミュレーションによる伝熱解析)

本発明の半導体モジュールの伝熱特性をシミュレーションによって解析したので、その結果について説明する。

【0097】

図2に示したように、4個の半導体素子を1つの半導体ユニットに備える半導体ユニッ

50

ト 10, 11, 12 を、冷媒の流れ方向 14 と平行になるように、冷却器 5 上に配置した。

#### 【 0098 】

図 13 には、上流側および下流側に配置された矩形のヒートスプレッドについて、各半導体素子の端からヒートスプレッドの端までの距離を 1 mm、1.5 mm、2 mm と変更して計算した、半導体素子の最高温度  $T_j$  が、半導体素子毎に示されている。図 13 のシミュレーションでは、ヒートスプレッドの厚さを 1 mm で固定している。半導体ユニット 12 の 4 つの半導体素子は、UP1、UN1、UP2、UN2 の記号名で表されている。UP1 と UP2 は、下流側の半導体素子であり、UN1 と UN2 が上流側の半導体素子である。同様に、半導体ユニット 11 の 4 つの半導体素子は、VP1、VN1、VP2、VN2 の記号名で表されている。VP1 と VP2 は、下流側の半導体素子であり、VN1 と VN2 が上流側の半導体素子である。半導体ユニット 10 の 4 つの半導体素子は、WP1、WN1、WP2、WN2 の記号名で表されている。WP1 と WP2 は、下流側の半導体素子であり、WN1 と WN2 が上流側の半導体素子である。各半導体素子の端からヒートスプレッドの端までの距離が大きくなる程、ヒートスプレッドの面積が増えることになり、すべての半導体素子において、最高温度  $T_j$  が低減されている。上記距離が 1 mm の場合、上流側の半導体素子の平均温度は、159.0 であり、下流側の半導体素子の平均温度は、161.7 である。上記距離が 1.5 mm の場合、上流側の半導体素子の平均温度は、157.5 であり、下流側の半導体素子の平均温度は、160.2 である。上記距離が 2 mm の場合、上流側の半導体素子の平均温度は、156.5 であり、下流側の半導体素子の平均温度は、159.2 である。このように、下流側の半導体素子の方が、上流側の半導体素子よりも温度が高くなる傾向がある。

#### 【 0099 】

図 14 には、セラミック絶縁基板の上面から第 2 ヒートスプレッドの上面までの間の距離と半導体素子の最高温度  $T_j$  との関係が示されている。セラミック絶縁基板の上面から第 2 ヒートスプレッドの上面までの距離が大きくなる程、半導体素子の最高温度  $T_j$  が低減できるが、ヒートスプレッドの体積が大きくなって重量が重くなり、材料費も高くなるので好ましくない。よって、セラミック絶縁基板の上面から第 1 ヒートスプレッドの上面までの間の距離、およびセラミック絶縁基板の上面から第 2 ヒートスプレッドの上面までの間の距離は、それぞれ 0.8 mm 以上 2.5 mm 以下であることが望ましく、それぞれ 1.5 mm 以上 2.0 mm 以下であることがより望ましい。今回のシミュレーションでは、金属箔とヒートスプレッドとの接合にハンダを用いることを仮定したが、これに限定されない。例えば、金属箔とヒートスプレッドの間に樹脂中に銀のナノ粒子を含有したペーストを配置しリフロー炉でペーストを焼結させて接合してもよく、ろう付けまたは直接接合させてもよい。

#### 【 0100 】

図 15 は、ヒートスプレッドの厚さ 1 mm と 1.5 mm についてヒートスプレッドの面積を広げていくシミュレーション結果を表した図である。半導体素子の端とヒートスプレッドの外形との間隔が大きくなると、ヒートスプレッドの大きさが大きくなり、伝熱面積も広がる。半導体素子の端とヒートスプレッドの外形との間隔は、2 mm 以上 5 mm 以下が望ましい。2 mm 未満では、半導体素子の最高温度  $T_j$  が高くなり、半導体素子を十分に冷却できない。5 mm を超えるとヒートスプレッドが大きくなるため装置が重くなり、材料費が高くなるので好ましくない。半導体素子の端とヒートスプレッドの外形との間隔 1 mm 当たり 1 の割合で低温化できない場合は、上記のデメリットのため望ましくない条件である。例えば、ヒートスプレッドの厚さをパラメータとして比較すると、厚さ 1 mm の場合より、厚さ 1.5 mm の方が温度を低下できることが分かる。このような視点で、ヒートスプレッドの厚さ等を最適化することができる。

#### 【 0101 】

以下、半導体素子の最高温度  $T_j$  に目標温度を 154 として、最適化した結果について説明する。

10

20

30

40

50

## 【0102】

図16には、冷媒の流れる方向に直交する方向にヒートスプレッドの幅を広げたシミュレーション結果のうち、下流側のシミュレーション結果のみが示されている。凡例の10\*11.6、11\*12.6、12\*13.6、30.6\*13.6は、ヒートスプレッドの(横の長さ)\*(縦の長さ)を表しており、(横の長さ)とは冷媒の流れる方向に直交する方向のヒートスプレッドの長さを意味する。長さの単位は、mmである。凡例の10\*11.6、11\*12.6、12\*13.6については、ヒートスプレッド1個につき半導体素子1個が配置されている。凡例の12\*13.6、30.6\*13.6を比較すると、冷媒の流れる方向に直交する方向のヒートスプレッドの長さが長くなる程、半導体素子の最高温度 $T_j$ を低減できることが分かる。凡例の30.6\*13.6については、ヒートスプレッド1個につき半導体素子を2個に分割して並列に配置されている。半導体素子を2個に分割して並列に配置し、ヒートスプレッドを拡げた場合は、熱流を効率的に広げることができ、最高温度 $T_j$ を、さらに低減できることが分かる。

10

## 【0103】

図17には、図16のデータに基づく、上流側ヒートスプレッドの面積に対する下流側ヒートスプレッドの面積比と、半導体素子の最高温度 $T_j$ の平均温度との関係が示されている。前記面積比は、1.2倍以上2.4倍以下が望ましく、1.5倍以上2.1倍以下がより望ましく、1.8倍以上2.0倍以下が特に望ましいことが分かる。前記面積比が、1.2倍未満の場合は、下流側の半導体素子の最高温度 $T_j$ の平均値を十分に低下させることができない。前記比が、2.4倍を超える場合は、下流側のヒートスプレッドの面積が大きくなるため、装置が大きくなるので好ましくないことが分かる。

20

## 【0104】

図18には、冷媒の流れる方向に直交する方向に半導体素子間隔を広げたシミュレーション結果が示されている。半導体素子の間隔を2mmずつ増やしてシミュレーションを行なっているが、10.6mmから12.6mmにした場合の方が、12.6mmより大きい値にした場合よりも影響が大きいことが分かる。半導体素子の間隔が小さいほど装置の大きさを小さくできるので、半導体素子の間隔は、13mm以下が望ましく、12.6mmとすることがより望ましいことが分かる。

## 【0105】

図19には、下流側のヒートスプレッドの冷媒の流れる方向に直交する方向に、半導体素子の端とヒートスプレッドの端との距離を1.5mm、2.5mm、3.5mm、4.5mmと、1mmずつ変更して、半導体素子の最高温度 $T_j$ を計算した結果が示されている。1.5mmと2.5mmとの温度変化が最も大きく、2.5mmよりもさらに大きくしても、 $T_j$ は大きくは低減できないことが分かる。半導体素子の間隔を拡げ過ぎると、半導体モジュールが大きくなってしまいうので、トレードオフを考えると、2.5mmとすることが望ましいことが分かる。

30

## 【0106】

図20には、下流側のヒートスプレッドの冷媒の流れる方向における、半導体素子の端とヒートスプレッドの端との距離を広げたシミュレーション結果が示されている。半導体素子の端とヒートスプレッドの端との距離を広げる程、半導体素子の最高温度 $T_j$ を低減できることが分かる。目標値以下にするには、4.5mmにすることが望ましいことが分かる。

40

## 【0107】

なお、本発明の実施例では、ヒートスプレッドと、第1金属箔、第3金属箔、および第4金属箔とを別々に設けているが、ヒートスプレッドと各金属箔を一体とした厚さのある1枚の金属板をエッチングで加工してこれらを形成してもよい。

## 【0108】

(実施例6)

次に、本発明の半導体モジュールを用いた電気駆動車両の一実施形態を、図21と図2

50

2を参照して説明する。

【0109】

図21は、電気駆動車両の駆動系の概略構成図である。電気駆動車両200は、少なくとも、上記で述べたいずれか1つの半導体モジュール100と、半導体モジュール100の出力する電力で駆動するモータ17と、半導体モジュール100を制御する中央演算装置18と、半導体モジュール100を冷却する冷媒を輸送するポンプ19と、冷媒を冷却する熱交換器20と、半導体モジュール100、ポンプ19および熱交換器20を閉回路状に接続して冷媒流路を形成する配管21とを備えている。モータ17は、機械的に駆動力を車輪16に伝達させる機構を用いて車輪16を回転させている。

【0110】

図22は、本発明の実施例6に係る半導体モジュールのインバータの回路図である。この回路図では、図3の半導体モジュールに関して、半導体素子1a、半導体素子1bにRC-IGBTを使用した例を示している。RC-IGBTは、1つの半導体素子1aの内部にIGBT22aとFWD23aが並列接続で作られている。半導体素子1bも同様に内部にIGBT22bとFWD23bが並列接続で作られている。

【0111】

半導体素子1aと半導体素子1bは、直列に接続されている。半導体素子1aの他端と半導体素子1bの他端は、バッテリー24にそれぞれ接続されている。バッテリー24の両端子間には、コンデンサ25が接続されている。半導体素子1aと半導体素子1bとの間の配線からモータ17へ出力配線が接続されている。半導体素子1aと半導体素子1bをセットとして、合計3セット設置され、各セットから出た出力配線が3相のモータ17へ接続されている。制御信号入力端子26は、各半導体素子のゲートに接続しており、外部の中央演算装置18ともそれぞれ接続されている。中央演算装置18で各半導体素子のゲートに入力される信号を切り替えることで、バッテリー24から供給される直流電流をモータ17へ出力される3相交流電流に変換している。

【0112】

上記実施例では、ヒートスプレッタ上に半導体素子を1個配置したが、他の変形例として、図5、図7、図9、図11に示すように、ヒートスプレッタ上に半導体素子を複数並列に配置してもよい。

【0113】

本発明の半導体モジュールを用いた電気駆動車両は、冷却器の冷媒の流れ方向に対して上流側に第1半導体素子を配置し、下流側に第2半導体素子を配置し、第2ヒートスプレッタの面積を第1ヒートスプレッタの面積より大きくしたため、従来の半導体モジュールよりも冷却能力が高く、コンパクトであるという優れた効果がある。よって、冷却器もコンパクトになり、冷却器の剛性が上がり、電気駆動車両の移動によって生じる振動に耐えることができる。

【0114】

以上のように、本発明の実施例によれば、冷却能力を向上できる半導体モジュールおよびそれを用いた電気駆動車両を提供できる。

【符号の説明】

【0115】

- 1 a 第1半導体素子
- 1 b 第2半導体素子
- 1 c 第3半導体素子
- 1 d 第4半導体素子
- 2 a 第1ヒートスプレッタ
- 2 b 第2ヒートスプレッタ
- 2 c 第3ヒートスプレッタ
- 2 d 第4ヒートスプレッタ
- 3 a 1, 3 a 2, 3 a 3, 3 b 1, 3 b 2, 3 c 1, 3 c 2, 3 d 1, 3 d 2 ハンダ

10

20

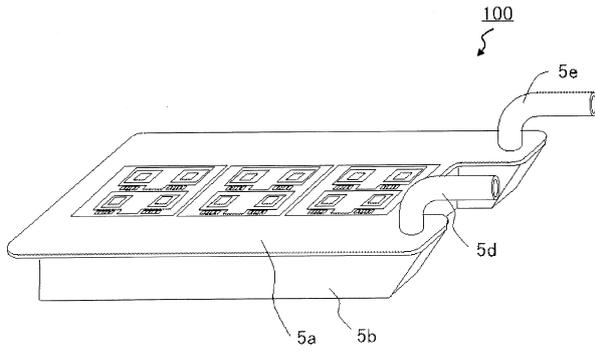
30

40

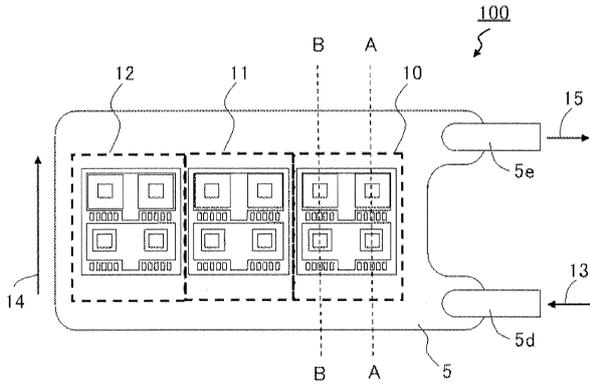
50

4	D C B 基板	
4 a 1	セラミック絶縁基板	
4 a 2	第 1 金属箔 (回路層)	
4 a 3	第 2 金属箔	
4 a 4 , 4 a 6	第 3 金属箔 (回路層)	
4 a 5 , 4 a 7	第 4 金属箔 (回路層)	
4 a 8 , 4 a 9 , 4 a 1 0 , 4 a 1 1	電極パッド	
5	冷却器	
5 a	天板	
5 b	トレー	10
5 c	フィン	
5 d	冷媒入口配管	
5 e	冷媒出口配管	
5 f	分配部	
5 g	冷媒通路	
5 h	集合部	
7	延在部	
1 0 , 1 0 a , 1 0 b , 1 0 c , 1 0 d , 1 0 e	第 1 半導体ユニット	
1 1	第 2 半導体ユニット	
1 2	第 3 半導体ユニット	20
1 3	冷媒の導入方向	
1 4	冷媒の流れ方向	
1 5	冷媒の排出方向	
1 6	車輪	
1 7	モータ	
1 8	中央演算装置	
1 9	ポンプ	
2 0	熱交換器	
2 1	配管	
2 2 a , 2 2 b	I G B T	30
2 3 a , 2 3 b	F W D	
2 4	バッテリー	
2 5	コンデンサ	
2 6	制御信号入力端子	
1 0 0	半導体モジュール	
2 0 0	電気駆動車両	

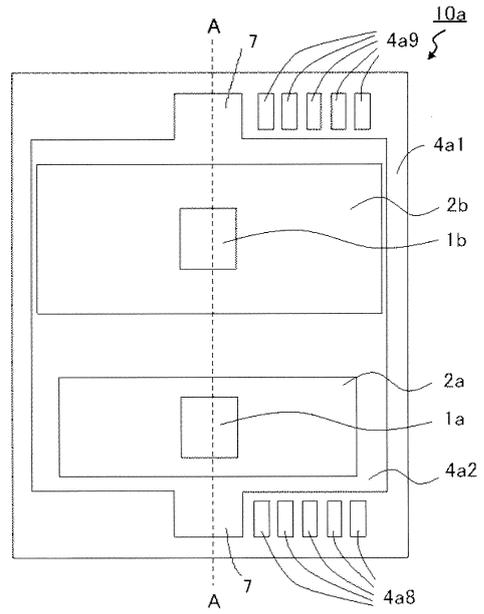
【図1】



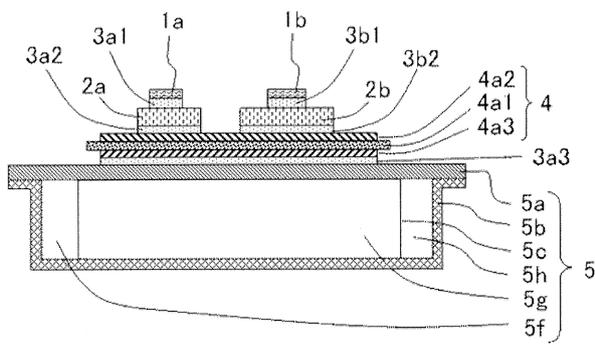
【図2】



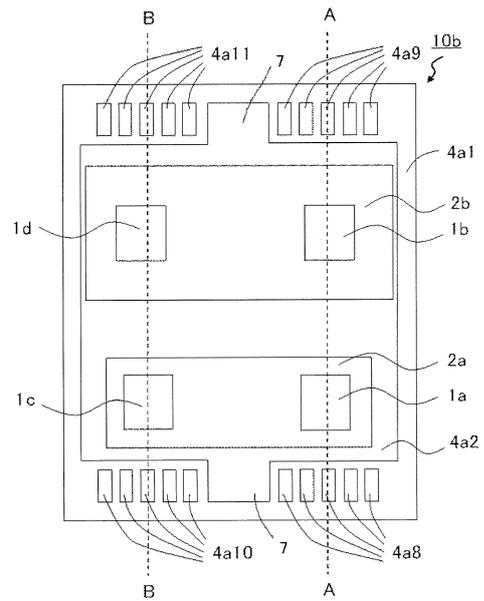
【図3】



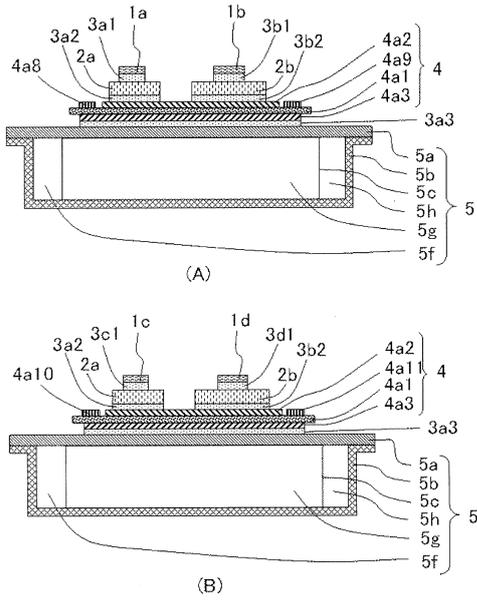
【図4】



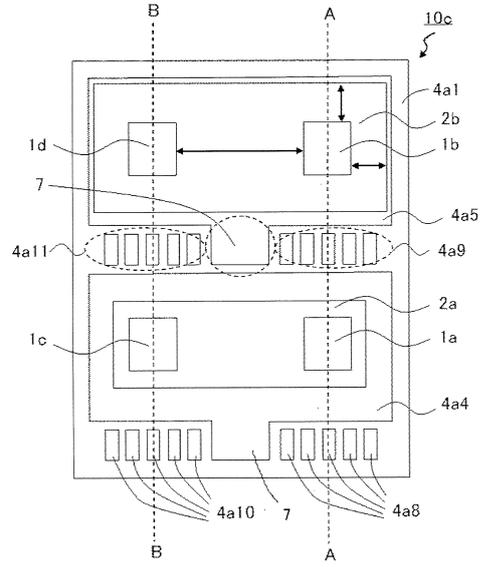
【図5】



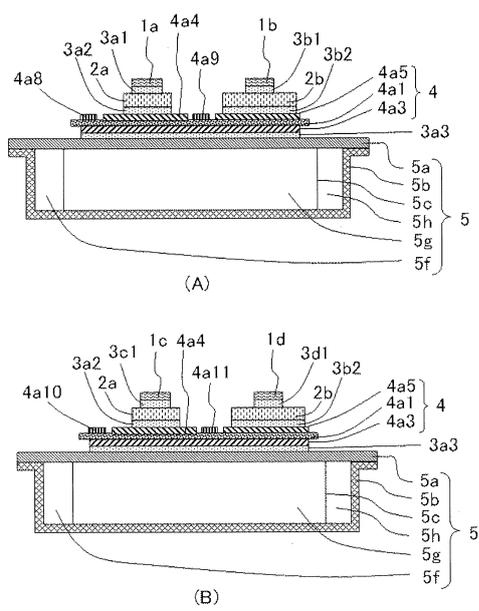
【図6】



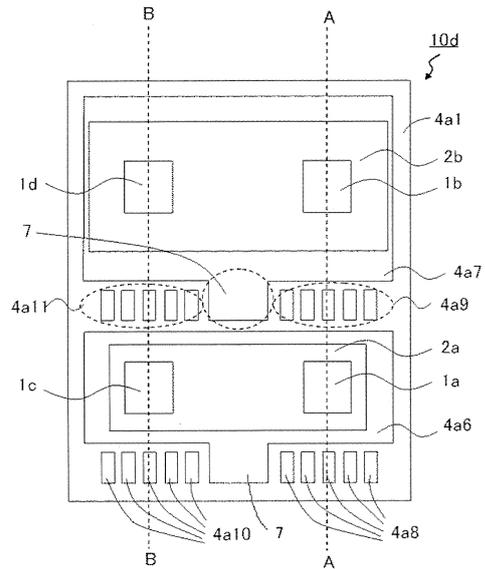
【図7】



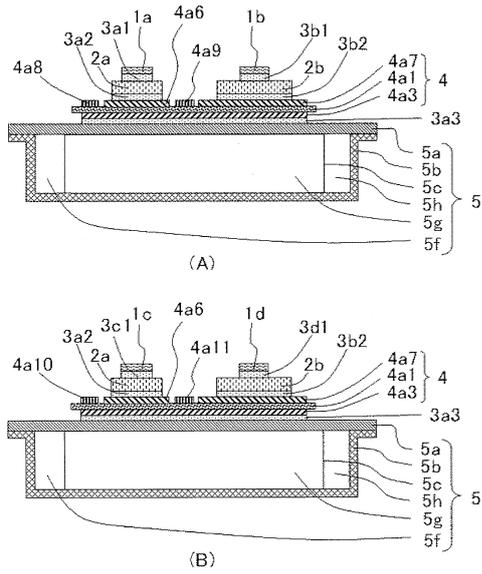
【図8】



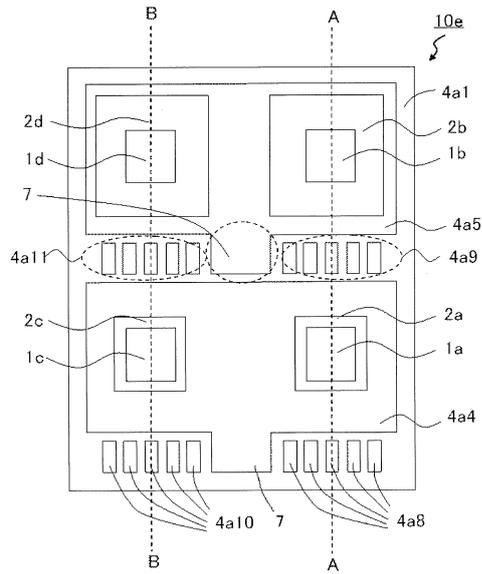
【図9】



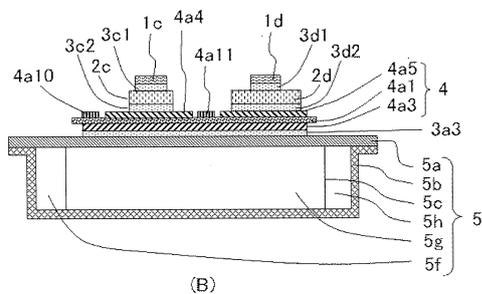
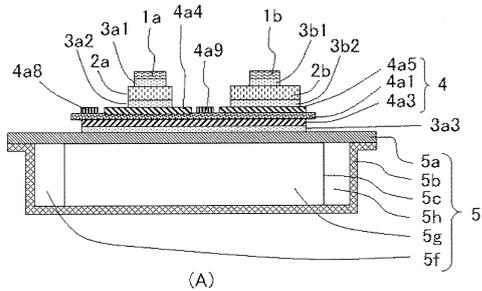
【図10】



【図11】



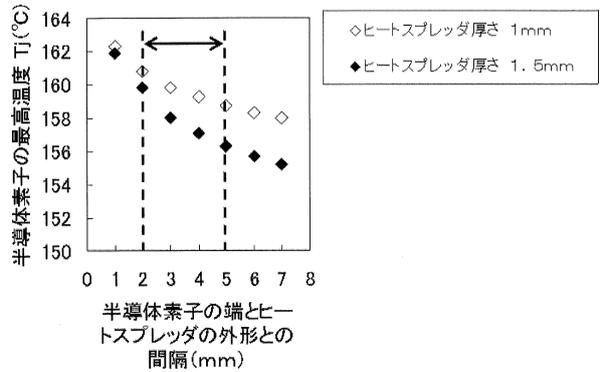
【図12】



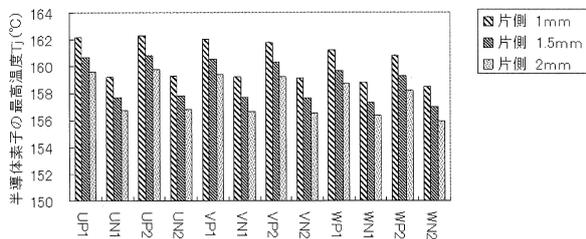
【図14】

	ヒートスプレッタの厚さ(mm)	ハンダの厚さ(mm)	金属箔の厚さ(mm)	セラミック絶縁基板の上面から第2ヒートスプレッタの上面までの間の距離(mm)	半導体素子の最高温度Tj(°C)
No.1	0.1	0.1	0.4	0.6	-
No.2	0.3	0.1	0.4	0.8	171.6
No.3	0.7	0.1	0.4	1.2	164.4
No.4	1.0	0.1	0.4	1.5	162.2
No.5	1.5	0.1	0.4	2.0	161.8
No.6	2.0	0.1	0.4	2.5	160.8
No.7	2.5	0.1	0.4	3.0	159.8

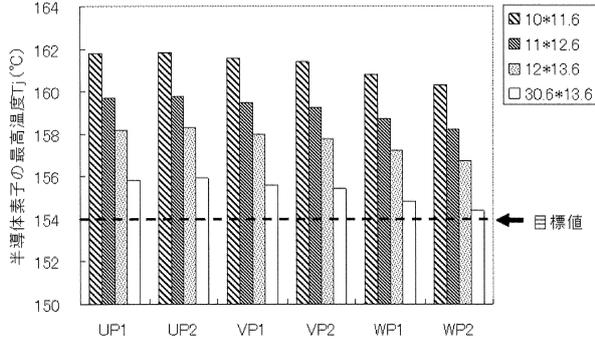
【図15】



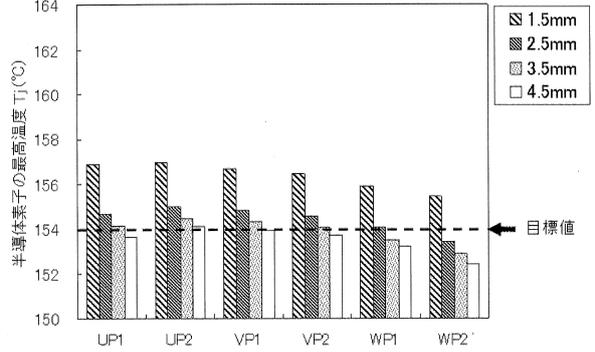
【図13】



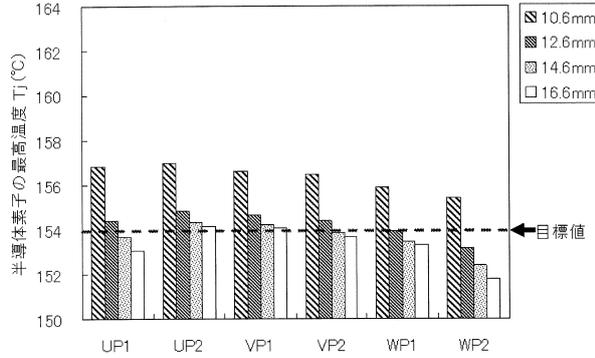
【図16】



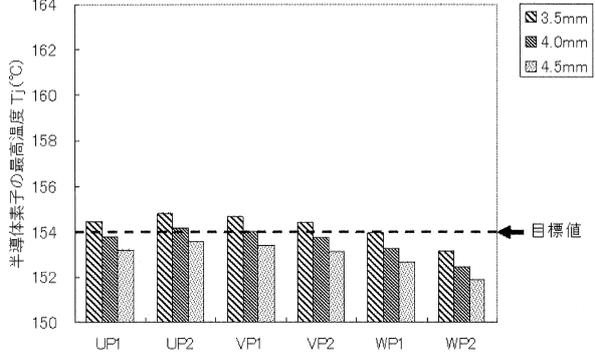
【図19】



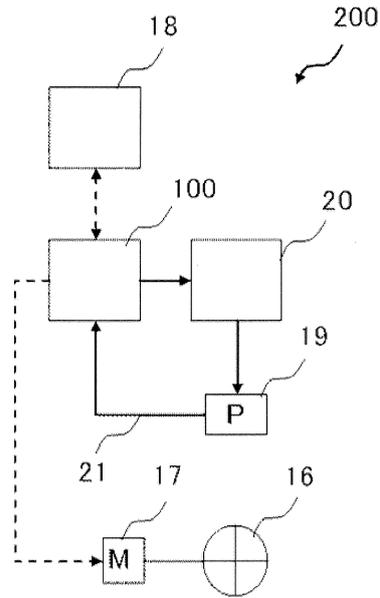
【図18】



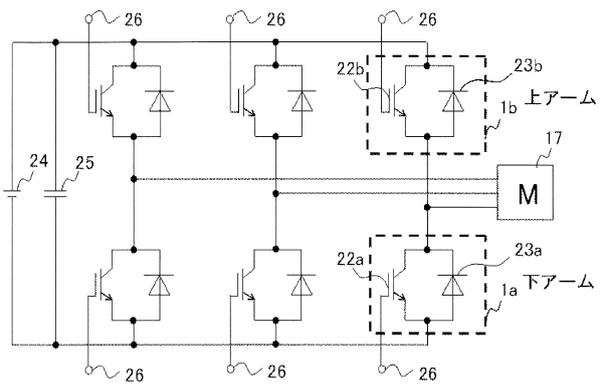
【図20】



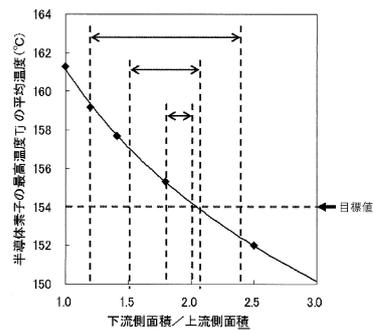
【図21】



【図22】



【図17】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 安達 新一郎  
神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内
- (72)発明者 西村 芳孝  
神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内

審査官 秋山 直人

- (56)参考文献 特開2002-314278(JP,A)  
特開2001-237356(JP,A)  
特開2012-44140(JP,A)  
特開2010-56333(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- |      |        |
|------|--------|
| H01L | 23/473 |
| H01L | 23/36  |
| H01L | 25/07  |
| H01L | 25/18  |
| H05K | 7/20   |