

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4015634号

(P4015634)

(45) 発行日 平成19年11月28日(2007.11.28)

(24) 登録日 平成19年9月21日(2007.9.21)

(51) Int. Cl.	F I		
HO 1 L 23/473 (2006.01)	HO 1 L	23/46	Z
HO 1 L 25/07 (2006.01)	HO 1 L	25/04	C
HO 1 L 25/18 (2006.01)			

請求項の数 13 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2004-65277 (P2004-65277)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成16年3月9日(2004.3.9)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2005-259748 (P2005-259748A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成17年9月22日(2005.9.22)	(74) 代理人	100077816
審査請求日	平成18年2月16日(2006.2.16)		弁理士 春日 譲
		(72) 発明者	丹波 昭浩
			茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
			株式会社 日立製作
			所 日立研究所内
		(72) 発明者	齋藤 隆一
			茨城県ひたちなか市大字高場2520番地
			株式会社 日立製作
			所 オートモチブシステムグループ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

冷却媒体が通流される冷却媒体流路と、

パワー半導体素子が搭載され、底面に第1金属ベースを有する第1のパワー半導体モジュール及び底面に前記第1金属ベースと別体の第2金属ベースを有する第2のパワー半導体モジュールとを有し、

前記第1及び第2のパワー半導体モジュールが、前記冷却媒体流路の両面に搭載され、前記冷却媒体が、前記第1及び第2金属ベースに直接当てられる構造である半導体装置であって、

前記第1のパワー半導体モジュールに通電される電流は、前記第2のパワー半導体モジュールに通電される電流よりも大きく、前記第1のパワー半導体モジュールの底面の第1金属ベースの放熱能力は、前記第2のパワー半導体モジュールの底面の第2金属ベースの放熱能力よりも大きいことを特徴とする半導体装置。

【請求項2】

請求項1記載の半導体装置において、

前記第2金属ベースの冷却媒体流れ方向の長さは、前記第1金属ベースの冷却媒体流れ方向の長さよりも短く、かつ、前記第2金属ベースの一方と他方がそれぞれ、冷却媒体流れ方向において、前記第1金属ベースの内側に配置され、

前記半導体装置は、

第1リングを介して前記第1金属ベースに取り付けられた水冷ジャケットと、

10

20

第2リングを介して前記第1金属ベースに取り付けられた水冷ジャケットとを備え、前記第1リングは、冷却媒体流れ方向において、前記第2金属ベース及び前記第2リングの外側に配置されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項3】

請求項2記載の半導体装置において、

前記第1金属ベースは、冷却媒体が接触する面にフィンを有するフィン付金属ベースであり、

前記第2金属ベースは、平板である場合において、

前記第1のフィン付き金属ベースのフィン形状は、冷却媒体流れ方向の両端において切り欠き部が設けられ、

前記切り欠き部に前記第2リングが配置され、

前記第2リングを介して、前記第2金属ベースに前記水冷ジャケットを取り付けたことを特徴とする半導体装置。

【請求項4】

請求項2記載の半導体装置において、

前記第1及び第2金属ベースは、冷却媒体が接触する面にフィンを有するフィン付き金属ベースであり、

前記第1及び第2のフィン付き金属ベースのフィン高さは同じで、かつ、前記第1のフィン付き金属ベースのフィンピッチは、前記第2のフィン付き金属ベースのフィンピッチよりも小さい場合において、

前記第1のフィン付き金属ベースのフィン形状は、冷却媒体流れ方向の両端において切り欠き部が設けられ、

前記切り欠き部に前記第2リングが配置され、

前記第2リングを介して、前記第2金属ベースに前記水冷ジャケットを取り付けたことを特徴とする半導体装置。

【請求項5】

請求項1記載の半導体装置において、

前記第1及び第2金属ベースは、冷却媒体が接触する面にフィンを有するフィン付金属ベースであり、

前記第1のフィン付き金属ベースのフィン高さは、前記第2のフィン付き金属ベースのフィン高さよりも高いことを特徴とする半導体装置。

【請求項6】

請求項1記載の半導体装置において、

前記第1金属ベースは、冷却媒体が接触する面にフィンを有するフィン付金属ベースであり、

第2金属ベースは、平板であることを特徴とする半導体装置。

【請求項7】

請求項6記載の半導体装置において、

前記第1金属ベースの前記フィンによって形成される冷却媒体流路群に対して冷却媒体流れ方向の両側に位置している金属ベース部分と前記第2金属ベースが互いに接触し、この接触部を接着又は溶接することで冷却媒体を封止する構造であることを特徴とする半導体装置。

【請求項8】

請求項1記載の半導体装置において、

前記第1及び第2金属ベースは、冷却媒体が接触する面にフィンを有するフィン付金属ベースであり、

前記第1及び第2のフィン付き金属ベースのフィン高さは同じで、かつ、前記第1のフィン付き金属ベースのフィンピッチは、前記第2のフィン付き金属ベースのフィンピッチよりも小さいことを特徴とする半導体装置。

【請求項9】

10

20

30

40

50

請求項 1 記載の半導体装置において、

前記第 1 のパワー半導体モジュールは、ハイブリッド自動車に搭載されるインバータであり、駆動モータを駆動するためのモジュールであり、前記第 2 のパワー半導体モジュールは、ハイブリッド自動車に搭載されるインバータであり、発電機を制御するためのモジュールであることを特徴とする半導体装置。

【請求項 1 0】

請求項 6 記載の半導体装置において、

前記第 1 金属ベースの材質は銅であり、

前記第 2 金属ベースは、銅よりも線膨張係数が小さい金属であることを特徴とする半導体装置。

10

【請求項 1 1】

請求項 1 0 記載の半導体装置において、

前記第 2 のパワー半導体モジュールの第 2 金属ベースの材質は、アルミとシリコンカーバイドの合金、又は銅と酸化銅の合金であることを特徴とする半導体装置。

【請求項 1 2】

請求項 1 記載の半導体装置において、

前記冷却媒体流路は、境界壁により左右に流路が分割され、前記境界壁の両側では前記冷却媒体が流れる方向が異なることを特徴とする半導体装置。

【請求項 1 3】

請求項 1 記載の半導体装置において、

前記冷却媒体流路の高さは、1 c m 以下であることを特徴とする半導体装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ (Insulated Gate Bipolar Transistor (I G B T)) 等のパワー半導体素子を有する半導体装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、ハイブリッド自動車 (H E V) 用モータ等の大出力モータを制御するインバータ (電力変換装置) には、I G B T モジュール等のパワー半導体モジュールが使用される。H E V 用インバータ中の I G B T モジュールの冷却は、水冷が一般的である。高発熱であるため大きな冷却能力が必要であるにもかかわらず、車載のため、インバータ体積の小さいことが要求されるためである。さらには、冷却性能を向上させるため、パワー半導体モジュールの金属ベースにフィンを設け、フィン付金属ベースに直接冷却水を当てる構造 (直接水冷) も提案されている。

30

【0003】

また、H E V 用インバータは、発電機及び駆動モータを制御する 2 つのインバータから構成されるのが一般的である。この場合、2 インバータを構成する 2 セットの 3 相 I G B T モジュールは、同一平面状に配置され、このモジュール裏面にシリーズに冷却水を通流して冷却する。従って、冷却水路は I G B T モジュール裏面部のみでなく、2 セットの I G B T モジュールを繋ぐ部分の水路が必要となる。このような構成では、冷却流路全体の圧力損失は、給排水領域、I G B T モジュール 2 台の冷却部、及び 2 セットの I G B T モジュールのつなぎ部分の合計の圧力損失となる。一方、冷却水を通流させる電動ポンプは小型で、かつ、燃費向上のため、ポンプの動作電流は小さくすることが要求されるため、H E V 用インバータを冷却するための冷却水流量、及び冷却流路の圧力損失の制限は極めて厳しいものである。従って、2 セットの I G B T モジュールにシリーズに冷却水を通流すると、I G B T モジュール 1 台の場合と比べて、つなぎ部の損失も含め、圧力損失は 2 倍以上になってしまうため、冷却水流量を半減するか、モジュール冷却部のフィンピッチを大きくして、圧力損失を減らす必要が生じ、結果として、I G B T モジュールの冷却性

40

50

能を低下させることとなる。

【0004】

一方、パワー半導体モジュールのパワー密度を向上させるために、例えば、特開平11-121691号公報に記載されているように、冷却水路の両面にパワー半導体素子を配置する構造が知られている。この構造では、水路の片面のみにパワー半導体モジュールを配置した場合と比べて冷却水の利用効率を高くできるため、パワー密度を向上、即ち、小型化できる。

【0005】

【特許文献1】特開平11-121691号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特開平11-121691号公報に記載のように、2セットの3相モジュールを上下に鏡映配置して間に冷却水を通流して冷却した場合、次の問題が生じる。すなわち、HEVにおいて、インバータを冷却するための冷却水流量は極めて小流量（例えば、10L/min）としなければならないため、2つのモジュールを鏡映配置すると、流路の高さは1台の場合と比べて2倍となり、流速は1/2となり、熱伝達率が低下するため、熱抵抗が増大することとなり、HEV用インバータとして不適である。

【0007】

本発明の目的は、少なくとも2セットのパワー半導体モジュールを実装する場合において、制限された冷却水流量，圧力損失の元で効率よく冷却できる冷却構造を有し、しかも、小型な半導体装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

(1) 上記目的を達成するために、本発明は、冷却媒体が通流される冷却媒体流路と、パワー半導体素子が搭載され、底面に第1金属ベースを有する第1のパワー半導体モジュール及び底面に前記第1金属ベースと別体の第2金属ベースを有する第2のパワー半導体モジュールとを有し、前記第1及び第2のパワー半導体モジュールが、前記冷却媒体流路の両面に搭載され、前記冷却媒体が、前記第1及び第2金属ベースに直接当てられる構造である半導体装置であって、前記第1のパワー半導体モジュールに通電される電流は、前記第2のパワー半導体モジュールに通電される電流よりも大きく、前記第1のパワー半導体モジュールの底面の第1金属ベースの放熱能力は、前記第2のパワー半導体モジュールの底面の第2金属ベースの放熱能力よりも大きくしたものである。

かかる構成により、制限された冷却水流量，圧力損失の元で効率よく冷却できる冷却構造を有し、しかも、小型化し得るものとなる。

【0009】

(2) 上記(1)において、好ましくは、前記第2金属ベースの冷却媒体流れ方向の長さは、前記第1金属ベースの冷却媒体流れ方向の長さよりも短く、かつ、前記第2金属ベースの一方と他方がそれぞれ、冷却媒体流れ方向において、前記第1金属ベースの内側に配置され、前記半導体装置は、第1リングを介して前記第1金属ベースに取り付けられた水冷ジャケットと、第2リングを介して前記第1金属ベースに取り付けられた水冷ジャケットとを備え、前記第1リングは、冷却媒体流れ方向において、前記第2金属ベース及び前記第2リングの外側に配置されているものである。

【0010】

(3) 上記(2)において、好ましくは、前記第1金属ベースは、冷却媒体が接触する面にフィンを有するフィン付金属ベースであり、前記第2金属ベースは、平板である場合において、前記第1のフィン付き金属ベースのフィン形状は、冷却媒体流れ方向の両端において切り欠き部が設けられ、前記切り欠き部に前記第2リングが配置され、前記第2リングを介して、前記第2金属ベースに前記水冷ジャケットを取り付けたものである。

10

20

30

40

50

(4) 上記(2)において、好ましくは、前記第1及び第2金属ベースは、冷却媒体が接触する面にフィンを有するフィン付き金属ベースであり、前記第1及び第2のフィン付き金属ベースのフィン高さは同じで、かつ、前記第1のフィン付き金属ベースのフィンピッチは、前記第2のフィン付き金属ベースのフィンピッチよりも小さい場合において、前記第1のフィン付き金属ベースのフィン形状は、冷却媒体流れ方向の両端において切り欠き部が設けられ、前記切り欠き部に前記第2リングが配置され、前記第2リングを介して、前記第2金属ベースに前記水冷ジャケットを取り付けたものである。

【0011】

(5) 上記(1)において、好ましくは、前記第1及び第2金属ベースは、冷却媒体が接触する面にフィンを有するフィン付金属ベースであり、前記第1のフィン付き金属ベースのフィン高さは、前記第2のフィン付き金属ベースのフィン高さよりも高いものである。

10

【0012】

(6) 上記(1)において、好ましくは、前記第1金属ベースは、冷却媒体が接触する面にフィンを有するフィン付金属ベースであり、第2金属ベースは、平板である。

【0013】

(7) 上記(1)において、好ましくは、前記第1金属ベースの前記フィンによって形成される冷却媒体流路群に対して冷却媒体流れ方向の両側に位置している金属ベース部分と前記第2金属ベースが互いに接触し、この接触部を接着又は溶接することで冷却媒体を封止する構造である。

20

【0015】

(8) 上記(1)において、好ましくは、前記第1及び第2金属ベースは、冷却媒体が接触する面にフィンを有するフィン付金属ベースであり、前記第1及び第2のフィン付き金属ベースのフィン高さは同じで、かつ、前記第1のフィン付き金属ベースのフィンピッチは、前記第2のフィン付き金属ベースのフィンピッチよりも小さいものである。

【0016】

(8) 上記(1)において、好ましくは、前記第1及び第2金属ベースの材質は、銅又は銅合金、若しくはアルミニウムとシリコンカーバイドからなる合金である。

【0017】

(9) 上記(1)において、好ましくは、前記第1のパワー半導体モジュールは、ハイブリッド自動車に搭載されるインバータであり、駆動モータを駆動するためのモジュールであり、前記第2のパワー半導体モジュールは、ハイブリッド自動車に搭載されるインバータであり、発電機を制御するためのモジュールである。

30

【0018】

(10) 上記(6)において、好ましくは、前記第1金属ベースの材質は銅であり、前記第2金属ベースは、銅よりも線膨張係数が小さい金属である。

【0019】

(11) 上記(10)において、好ましくは、前記第2のパワー半導体モジュールの第2金属ベースの材質は、アルミとシリコンカーバイドの合金、又は銅と酸化銅の合金である。

40

【0020】

(12) 上記(1)において、好ましくは、前記冷却媒体流路は、境界壁により左右に流路が分割され、前記境界壁の両側では前記冷却媒体が流れる方向が異なるものである。

【0021】

(13) 上記(1)において、好ましくは、前記冷却媒体流路の高さは、1cm以下である。

【発明の効果】

50

【0026】

本発明によれば、少なくとも2セットのパワー半導体モジュールを実装する場合において、制限された冷却水流量、圧力損失の元で効率よく冷却できる冷却構造を有し、しかも、小型化することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

以下、図1～図6を用いて、本発明の第1の実施形態による半導体装置の構成について説明する。

以下に説明する例では、半導体装置として、ハイブリット自動車(HEV)用のモータを駆動するインバータ(電力変換装置)と発電機を駆動するインバータ(電力変換装置)を例にして説明する。

10

【0028】

冷却装置を備えた半導体装置の小型化を図るためには、冷却水路の両面に半導体モジュールを実装することは極めて有効である。そこで、本発明も両面実装構造としている。ただし、両面実装構造とすると、前述したように、冷却水流速を確保する必要があるという問題が生じる。ここで、HEVに搭載される駆動モータ定格(kW)は、一般に、発電機の定格(kW)よりも大きい。従って、駆動モータ用インバータのIGBTモジュール定格は、発電機用インバータのIGBTモジュール定格よりも、一般に、大きいものである。つまり、IGBTモジュールの損失は、駆動モータ用モジュールの方が発電機用モジュールよりも大きいいため、必要な冷却能力は、駆動モータ用モジュールの方が大きいものである。すなわち、水路を共通化して両面に配置されるモジュールの冷却能力は、モジュール毎に違えることができる。この点に着目して、本発明は構成されている。

20

【0029】

最初に、図1を用いて、本実施形態による半導体装置の断面構成について説明する。

図1は、本発明の第1の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。図1には、冷却水の流れに直交する方向の断面形状を示している。

【0030】

図1に示すように、IGBTモジュール101の銅ベース107には、フィン107Aが一体的に形成されている。一方、IGBTモジュール102の銅ベース109は、平板である。即ち、フィン付銅ベース107の冷却能力は、平板銅ベース109の冷却能力よりも大きいものである。また、モジュール101のIGBT103、FWD104のサイズは、モジュール102のIGBT105、FWD106よりも大きい。実装面積は同等である。即ち、パワーチップ単位面積当たりの実装面積は、モジュール102の方が大きいものである。IGBTモジュール101は、駆動モータ用インバータであり、IGBTモジュール102は、発電機用インバータである。具体的に例示すると、IGBTモジュール101は、定格電圧/電流=600V/400Aクラスの駆動モータ用の直接水冷型3相IGBTモジュールであり、IGBTモジュール102は、定格電圧/電流=600V/200Aクラスの発電機用の直接水冷型3相IGBTモジュールである。

30

【0031】

この構造とすることにより、両面冷却としても、フィン107Aの高さ110、即ち、冷却水流速を決定する高さは、IGBTモジュール101一台を独立で冷却した場合と変わらず、高流速を確保できる。従って、IGBTモジュール101の冷却能力は、両面配置としても損なわれることはないものである。IGBTモジュール102の冷却能力は、モジュール101よりも小さいが、損失がモジュール101よりも小さいこと、及び、単位チップ面積当たりの実装面積が大きいいため熱拡がりを大きく確保できる、即ち、低熱抵抗化できることと併せ、チップ温度は、モジュール101よりも高くなることはないものである。

40

【0032】

ここで、図2～図4を用いて、本実施形態による半導体装置に用いるIGBTモジュール101の平面構造について説明する。

50

図2は、本発明の第1の実施形態による半導体装置に用いるIGBTモジュール101の平面構造を示す平面図である。図3は、図2のA-A断面図である。図4は、図2のB-B断面図である。なお、図1は、B-B断面位置における半導体装置全体の断面構成を示している。また、図2～図4において、図1と同一符号は、同一部分を示している。

【0033】

図2において、6個の窒化アルミ基板114(114A, 114B, 114C, 114D, 114E, 114F)が配置されている。各窒化アルミ基板114A, ..., 114Fの構成は同じである。IGBTモジュール101は、駆動モータ用インバータであり、窒化アルミ基板114Aは、例えば、U相のスイッチング素子モジュール用の上アームを構成し、窒化アルミ基板114Bは、U相のスイッチング素子モジュール用の下アームを構成する。窒化アルミ基板114C, 114Dは、例えば、V相のスイッチング素子モジュール用上下アームを構成し、窒化アルミ基板114E, 114Fは、例えば、W相のスイッチング素子モジュール用上下アームを構成する。

10

【0034】

ここで、窒化アルミ基板114A上の配置を例にして説明する。窒化アルミ基板114の大きさは2.6cm×5cmで、チップサイズ11mmのIGBTペレット103A, 103Bと、チップサイズ6mm×9mmのFWDペレット104A, 104Bとが、それぞれ各2チップずつ、融点300以上の高温はんだで接着されている。はんだの膜厚は、0.1mm程度である。各ペレット103A, 103B, 104A, 104Bの電圧/電流定格は600V/200Aであり、2並列接続されることにより、定格600V/400Aのモジュールとなっている。

20

【0035】

さらに、窒化アルミ基板114には、IGBTを並列駆動する場合の共振防止用ゲート抵抗ペレット803A, 803Bと、温度検出用サーミスタ804とが、はんだ接着されている。IGBTペレット103A, 103B及び、FWDペレット104A, 104Bと、窒化アルミ基板114の上の銅パタン812, 802は、アルミワイヤ808, 810, 811により接続されている。アルミワイヤ808, 810, 811の線径は、300μmである。アルミワイヤ808, 811は、全本数でなく、代表的なワイヤのみを図示している。

【0036】

パワー半導体搭載窒化アルミ基板114とフィン付銅ベース107は、融点183程度の共晶はんだで接着されている。はんだ膜厚は約0.15mmである。

30

【0037】

窒化アルミ基板114と主端子用電極パッド119及び制御端子用電極パッド805とも、同じくアルミワイヤ117, 806で接続される。アルミワイヤ117, 806の線径は500μmである。

【0038】

アルミワイヤ808, 810, 811は、半導体ペレット表面にボンディングされるため、低ダメージに配慮する必要がある。従って、300μmと比較的細いワイヤを使用している。しかし、アルミワイヤ117, 806はダメージに配慮する必要のないため、ボンディング本数の低減、かつ、電気抵抗低減に配慮して、太いワイヤを使用している。アルミワイヤ117は、各接続において20本としている。

40

【0039】

3相モジュールの各アームは、一枚の窒化アルミ基板114から構成され、合計6枚の基板114が、銅ベース107に、はんだ接着されている。銅ベース107の大きさは、例えば、10cm×23cmである。また、図3に示す銅ベース107の厚さH1は3mmである。銅ベース107の材質はタフピッチ銅であり、表面はNiメッキ処理されている。メッキの厚さは、概略6μmである。図4に示すように、フィン107Aの幅W1は1mmであり、間隔(ピッチ)W2は2mmであり、フィン本数は16本であり、全体のフィン幅W3は49mmである。図3に示すフィン107Aの長さL1は18cm、フィ

50

ン高さH2は8mmである。

【0040】

再び、図1に示すように、窒化アルミ基板114の上には、IGBTペレット103と、FWDペレット104が、それぞれ高温はんだ113で接着されている。パワー半導体搭載窒化アルミ基板114とフィン銅ベース107は、共晶はんだ115で接着されている。

【0041】

モジュールケース122には、主端子119及び制御端子(図示せず)がインサート成型されている。成型樹脂の材質は、ポリフェニレンサルファイド(PPS)を用いている。モジュールケース124も、同様の構成である。定格400A若しくは200Aという大電流を通電するモジュールであるため、モジュールケース122, 124には、主端子119への主配線取り付けをボルト締めとするため、M6ナット120及びボルト逃げ用空隙121が設けられている。

【0042】

モジュールケース122の内部には、モジュール101が配置されている。モジュール101は、図2で説明したように、IGBT103, FWDペレット104を備えている。モジュールケース122の内部には、モジュール内部を封止するため、モジュール101を覆うようにして、ゲル116が塗布されている。さらに、モジュールケース122の上部開口部には、モジュール蓋118が固定されている。モジュール蓋の材質は、ポリブチレンテレフタレート(PBT)である。

【0043】

モジュールケース124の内部には、モジュール102が配置されている。モジュール102は、図2で説明したモジュール101の構成と同様にして、IGBT105, FWDペレット106を備えている。窒化アルミ基板125の上には、IGBTペレット105と、FWDペレット106が、それぞれ高温はんだ126で接着されている。パワー半導体搭載窒化アルミ基板125と平板状の銅ベース109は、共晶はんだ128で接着されている。

【0044】

定格200Aであるモジュール102中のIGBT105, FWD106のペレットサイズは、各々、8mm, 6mmであり、チップ定格は各々100Aであり、モジュール101と同様に、2並列接続でモジュール定格は200Aとなっている。また、銅ベース109の厚さは3mmである。

【0045】

次に、図5を用いて、アルミダイカスト製水冷ジャケット130へのモジュール101, 102の取り付け部の構成について説明する。

【0046】

図5は、本発明の第1の実施形態による半導体装置の水冷ジャケット取り付け部の断面図である。図5は、図2のC-Cの位置における半導体装置の断面構成を示している。なお、図1~図4と同一符号は、同一部分を示している。

【0047】

水冷ジャケット130と、銅ベース107, 109とは、2本のリング129とともに、銅ベース107, 109に設けた取り付け穴301を介して、ボルト300及びナットを使用して伴締めしている。使用されたボルト300は、M6ボルトであり、締め付けトルクは2.45N・mとしている。このトルクは、通常モジュール取り付けトルクと同程度である。すなわち、締め付けトルクにより、機械的な応力が問題になるようなトルクではない。リング129の線径は1.9mmである。水冷ジャケット130中の溝123は幅2.5mm、深さ1.4mmであり、リング129に対して最適設計されている。尚、モジュール101は図2に示しているように、8箇所を取付けられている。一方、モジュール102も8箇所を取付けられており、モジュール中心領域の4本はモジュール101と共通とし、両端の4本は各々別の箇所を取付けている。

10

20

30

40

50

【0048】

次に、図6を用いて、IGBTモジュール101, 102の冷却部に冷却媒体を供給するための給排水領域構造について説明する。

【0049】

図6は、本発明の第1の実施形態による半導体装置の冷却媒体の流れに平行な方向の断面図である。なお、図1～図5と同一符号は、同一部分を示している。

【0050】

両面実装された2つのIGBTモジュールの間に冷却媒体を流す場合、2つのIGBTモジュールの間の流路に対して、入口側に給水流路構造体を、そして、出口側に排水流路構造体を別体として取り付ける必要がある。これは、給水流路構造体や排水流路構造体が、IGBTモジュールの基板と一体的には構成できないためである。

10

【0051】

ここで、HEV用水冷インバータの場合、冷却水流量を考慮すると、冷却能力を最大にできるフィン高さH2は最大で1cm以下、例えば、8mm程度である。一方、モジュール101, 102が搭載される銅ベース107, 109に対して、別体として取り付けられる給水流路構造体及び排水流路構造体となる水冷ジャケット902, 903の厚さH3, H4は、強度確保から3mm程度は必要である。モジュール101, 102を完全に対称に搭載すると、フィン領域への冷却水導入部906のフィン高さ方向の間隔は、 $8\text{mm} - (3\text{mm} \times 2) = 2\text{mm}$ となり、極めて狭い間隔になる。このことは、冷却水の排水領域907についても同様である。このような狭い間隔では、流路断面積の縮小、及び拡大による圧力損失が大幅に増大するため、実用に耐えない圧力損失となる。水冷ジャケットの外側からモジュール101, 102を実装する場合、仮にモジュール101, 102の長さが等しく、鏡映配置されると、フィン107Aの高さは8mmのため、冷却水給排水領域のフィン高さ方向の間隔は2mmとなり、前述の課題で述べた通り、実装することはできないものである。冷却水を実用的な圧力損失で給排水するためには、フィン107Aへの冷却水導入部906、排水部907のフィン高さ方向の幅は最小でも5mm程度必要であり、水冷ジャケットの肉厚6mmとで、フィン高さは最小でも11mmとする必要がある。このような高いフィンでは、冷却水流速を高くすることはできず、高熱伝達とすることはできなくなる。

20

【0052】

そこで、本実施形態では、モジュール102の長手方向長さをモジュール101よりも小さくし、モジュール102を対向面に配置したモジュール101よりも内側に配置することにより、2段階で冷却水を導入している。この構造で広い冷却水導入部906, 排出部907を確保している。

30

【0053】

以下、図6を用いて、給排水構造について、具体的に説明する。本実施形態は、モジュール102の銅ベース109の長さを17cmとし、銅ベース107の長さ(23cm)よりも短くしている。即ち、冷却水流れ方向において、モジュール102をモジュール101の内側に配置している。この構造で、まず、モジュール101のみに冷却水を導入し、しかるのちにモジュール102へ冷却水は導入されるため、フィン高さ110は8mmと小さくても冷却水導入領域906、排水領域907の幅は5mm以上と十分確保できるため、圧力損失を大幅に増大させることはないものである。このような構造を実現するため、冷却水給排水領域のフィン107Aには、切り欠き部107Bを設け、水冷ジャケット903の肉厚分だけ高さを低くしている。即ち、5mmとしている。フィン高さが低い分、モジュール両端部の冷却能力は小さくなるが、モジュール両端は、熱の干渉が片側のみとなるため、温度上昇は小さくなるため、問題となることはないものである。

40

【0054】

以上の構成のモジュール及び水路に、主成分がエチレングリコールのロングライフクーラント(LLC)50vol.%の冷却水を、流量10L/minで通流し、冷却性能及び圧力損失を測定した。冷却水温度は60である。上述の冷却流路構造より、冷却水の

50

平均流速は、 0.6 m/s である。まず、冷却性能の指標である、冷却水からIGBTチップジャンクションまでの熱抵抗 $R_{th(j-w)}$ を、モジュール101, 102の各々について測定した。測定は1アームのIGBTチップのみに通電して行った。つまり、6アーム分の伝熱面積に対し、1アームのみを発熱させているわけであり、FWDも含め、各モジュール6アーム、計12アームが発熱するインバータ動作時の熱抵抗とは異なる。結果、冷却水温度60の場合、1アーム当たり $R_{th(j-w)} = 0.12 \text{ K/W}$ (モジュール101)、 0.22 K/W (モジュール102)となった。前述のように、モジュール101, 102の定格は、各々、 400 A , 200 A であり、インバータ動作時の電流は、モジュール101はモジュール102の概略倍に設定される。つまり、モジュール101の損失はモジュールの倍である。従って、熱抵抗 $R_{th(j-w)}$ の測定結果から、モジュール102の熱抵抗 $R_{th(j-w)}$ はモジュール101の1.8倍であるため、モジュール102のIGBTジャンクション温度は、モジュール101よりも高くないことが明らかになった。FWDチップについても、IGBTの場合と同様の結果になる。

10

【0055】

圧力損失の測定結果は、以下の通りである。冷却水条件は、熱抵抗測定の場合と同じ、 60 、 10 L/min である。内径 17 mm 、長さ 5 cm の給排水管を含み、圧力損失は 1.5 kPa であった。従来のように、モジュール2台にシリーズに冷却水を通流した場合、2台のモジュールのU字型つなぎ配管を含め、全圧力損失は 3 kPa 程度となるため、本実施形態の構造では、圧力損失も、従来よりも半減できることが確認できた。このことは、仮に圧力損失が従来システム通りで良い場合、冷却水流量を増大できることを意味し、低熱抵抗化に寄与する。例えば、圧力損失を2倍まで許せる場合、流量は約1.4倍にできる。この場合、熱伝達率は約1.3倍にでき、本実施形態の場合、全熱抵抗 $R_{th(j-w)}$ は約1割低減できる。

20

【0056】

以上の構造では、IGBTモジュール101, 102の銅ベース材質は、いずれもタフピッチ銅であった。しかしながら、セラミックス基板接着はんだ層の熱歪を低減し、寿命を向上するため、例えば、IGBTモジュール102の平板ベース材質を線膨張係数が銅と比べて半分以下のAlSiC、又は、銅/酸化銅複合材とすることもできる。

【0057】

以上説明したように、本実施形態によれば、一方の面に搭載されるIGBTモジュール101に通電される電流は、他方の面に搭載されるIGBTモジュール102に通電される電流よりも大きい場合に、IGBT101側の銅ベース107はフィン107Aが付いた構造とし、他方の銅ベース109はフィンなしとして、モジュール101の底面の金属ベース107の放熱能力を、モジュール102の放熱能力よりも大きくすることにより、制限された冷却水流量、圧力損失の元で効率よく冷却できる冷却構造とし、しかも、小型にすることができる。

30

【0058】

また、冷却水路両面に対向して搭載されるIGBTモジュール101, 102の冷却水流れ方向の形状は、モジュール102はモジュール101よりも長さが短く、かつ、モジュール102はモジュール101の内側に配置される構成とすることで、広い冷却水導入部906, 排出部907を確保し、圧力損失を低減し、必要な冷却水流速を確保することができる。

40

【0059】

次に、図7及び図8を用いて、本発明の第2の実施形態による半導体装置の構成について説明する。

図7は、本発明の第2の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。図7は、図1と同様に、冷却水の流れに直交する方向の断面形状を示している。図8は、本発明の第2の実施形態による半導体装置の冷却媒体の流れに平行な方向の断面図である。なお、図1～図6と同一符号は、同一部分を示している。

【0060】

50

本実施形態では、図1に示した実施形態とは異なり、対向して両面に実装されるIGBTモジュール101A, 102の定格の差が小さいものである。具体的には、モジュール101A, 102の定格電流は、各々、300A, 200Aである。モジュール102中のIGBTチップ105、FWDチップ106のサイズは、図1に示したモジュール102と同じである。一方、モジュール101A中のIGBTチップ103Cは10mm、FWDチップ104Cは6.5mmであり、定格電流は150Aである。2つが並列接続で300Aとなる。モジュール定格の差が小さいため、損失の差も小さいものである。従って、必要な放熱能力の差も小さいものである。

【0061】

そこで、図7に示すように、本実施形態では、銅ベース107Bは、フィン107BAが一体的に成形された銅ベースとし、また、銅ベース109Bも、フィン109BAが一体的に成形された銅ベースとしている。そして、モジュール101Aのフィン付き銅ベース107Bのフィン107BAの高さは5mmとし、モジュール102のフィン付き銅ベース109Bのフィン109BAの高さは3mmとしている。フィン幅、間隔は、図4に示したものと同様であり、各々、1, 2mmである。2台のモジュールのフィン高さの合計は8mmであり、図1に示したフィン107Aの高さ8mmと等しいものである。従って、流路断面積は、図1に示したものと同様である。

【0062】

さらに、図8に示すように、フィン付銅ベース109Bのフィン109BAの高さは、水冷ジャケット903の肉厚3mmと等しいなっている。従って、水冷ジャケットへの取り付けを考慮すると、フィン形状は単純な矩形にできる。フィン付銅ベース109Bのフィン高さが3mmと異なると、図6に示したように、対向面のモジュールのフィン形状は、矩形ではなく、水冷ジャケット及び対向面のモジュール形状を考慮した切り欠き部を有する形状にする必要がある。フィン高さは、熱設計から決定されるが、水冷ジャケットへの実装時の構造をも考慮して決定されるのが好ましいものである。

【0063】

この構造に、実施例1と同条件、即ち、60、10L/minのLLC50%の冷却水を通流して、熱抵抗 $R_{th(j-w)}$ を測定した。冷却水の流速は、0.6m/sである。以下の測定結果は、第1の実施形態と同様、1アームのIGBTのみに通電した場合の値である。モジュール102の熱抵抗 $R_{th(j-w)}$ は、モジュール102の平板銅ベースと異なり、高さ3mmのフィンが形成されたため低減し、0.19K/Wとなった。一方、モジュール101Aの熱抵抗 $R_{th(j-w)}$ は、チップサイズが小さくなったこと、フィン高さが低くなったことの両者の影響で、0.16K/Wになった。モジュール102の熱抵抗は、モジュール101Aの1.2倍である。しかしながら、モジュール102の損失は、モジュール101Aの概略2/3倍のため、ジャンクション温度はモジュール102の方が低くなり、モジュール101Aの概略0.8倍になる。従って、フィン107BAを高く、フィン109BAを低くすれば、モジュールの寿命を決定する最大のジャンクション温度は低くすることができる。圧力損失は、流速、流路断面積とも、第1の実施形態と同じため、1.5kPaと同じであった。

【0064】

以上説明したように、本実施形態によっても、2つのIGBTモジュール101A, 102に通電される電流に応じて、銅ベース109Bと銅ベース107Bとの放熱能力を異ならせることにより、制限された冷却水流量、圧力損失の元で効率よく冷却できる冷却構造とし、しかも、小型にすることができる。

【0065】

また、冷却水路両面に対向して搭載されるIGBTモジュール101, 102の冷却水流れ方向の形状は、モジュール102はモジュール101よりも長さが短く、かつ、モジュール102はモジュール101の内側に配置される構成とすることで、広い冷却水導入部906, 排出部907を確保し、圧力損失を低減し、必要な冷却水流速を確保することができる。

10

20

30

40

50

【0066】

次に、図9を用いて、本発明の第3の実施形態による半導体装置の構成について説明する。

図9は、本発明の第3の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。図9は、図1と同様に、冷却水の流れに直交する方向の断面形状を示している。なお、図1～図8と同一符号は、同一部分を示している。

【0067】

図1若しくは図7に示した実施形態では、フィン高さによって冷却能力（フィン表面積）を調整している。それに対して、本実施形態では、フィンピッチを変えて冷却能力を調整している。

10

【0068】

モジュール101A、102は、図7にて説明したものと同様であり、定格電流300Aのモジュールであるモジュール101A中のIGBTチップ103C、FWDチップ104Cの定格電流は実施例2のモジュール101Aの場合と同じで150Aである。一方、定格電流200Aのモジュールであるモジュール102中のIGBTチップ105、FWDチップ106の定格電流は100Aであり、同じく2パラ構成である。各IGBT、FWDのチップサイズは、上述の通りである。

【0069】

銅ベース107C、109Cは、ともに、冷却フィン107CA、109CAが一体的に形成されている。モジュール101Aのフィン付銅ベース107Cには高さ8mm、幅1mmのフィン107CAが12本形成されている。間隔は2mmで、2本毎に1本間引いて形成されている。つまり、フィン1本が間引かれている箇所では、フィン間隔は5mmである。

20

【0070】

一方、モジュール102のフィン付銅ベース109Cには高さ8mm、幅1mmのフィン109CAが6本形成されている。間隔は8mmである。この間隔は、図より明らかのように、フィン付銅ベース107Cと重ね合わせた時に、流路間隔が2mm一定になるようにしている。つまり、流路断面積は、第1、第2の実施形態と同様、 16mm^2 である。但し、第1、第2の実施形態よりも全体流路幅を大きくしており56mmとしている。

【0071】

以上より、モジュール101Aの放熱能力は、モジュール102の概略1.5倍である。冷却水給排水領域であるモジュール両端部では、モジュール101Aのフィン107CAは、水冷ジャケット領域が削り取られた切り欠き部を備えた形状になっているのは、図6に示した実施形態と同じである。即ち、高さは5mmとなっている。

30

【0072】

第1、第2の実施形態と同じ冷却水条件、及び測定方法でIGBTの熱抵抗を測定した結果は、以下の通りである。熱抵抗 $R_{th(j-w)} = 0.15\text{K/W}$ （モジュール101A）、 0.20K/W （モジュール102）であった。モジュール102の熱抵抗はモジュール101Aの1.3倍であった。従って、第2の実施形態よりも差は小さくなるが、定格が小さいモジュール102の方がジャンクション温度は小さいのは、第2の実施形態と同様である。

40

【0073】

圧力損失は、全体流路が若干広がったため、縮小・拡大損失がわずかに増大したため、 1.7kPa であった。

【0074】

以上説明したように、本実施形態によっても、2つのIGBTモジュール101A、102に通電される電流に応じて、銅ベース109Cと銅ベース107Cとの放熱能力を異ならせることにより、制限された冷却水流量、圧力損失の元で効率よく冷却できる冷却構造とし、しかも、小型にすることができる。

【0075】

50

また、冷却水路両面に対向して搭載される IGBT モジュール 101, 102 の冷却水流れ方向の形状は、モジュール 102 はモジュール 101 よりも長さが短く、かつ、モジュール 102 はモジュール 101 の内側に配置される構成とすることで、広い冷却水導入部、排出部を確保し、圧力損失を低減し、必要な冷却水流速を確保することができる。

【0076】

次に、図 10 を用いて、本発明の第 4 の実施形態による半導体装置の構成について説明する。

図 10 は、本発明の第 4 の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。図 10 は、図 1 と同様に、冷却水の流れに直交する方向の断面形状を示している。なお、図 1 と同一符号は、同一部分を示している。

10

【0077】

第 1 ~ 第 3 の実施形態では、IGBT モジュールの水冷ジャケットへの取り付けに Oリングを使用していたが、本実施形態では、接着により実装するようにしている。

【0078】

モジュール 101 の定格電圧 / 電流は、図 1 に示したモジュール 101 と同じであり、IGBT チップ 103, FWD チップ 104 の損失、モジュールの冷却能力は、図 1 のモジュール 101 と同じである。なお、図 1 に示したモジュール 101 では、フィン付き銅ベース 107 と水冷ジャケット 130 を別体としたが、本実施形態では、フィン付き銅ベース 107D として一体化している。モジュール 102 も、図 1 に示したモジュール 102 と同じ性能である。第 1 の実施形態と異なるのは、その実装方法である。

20

【0079】

本実施形態では、フィン付銅ベース 107D と銅ベース 109 をはんだ接着している。界面 405 がはんだ接着領域である。即ち、モジュール 101, 102 を組み立てた後、低温はんだで接着している。はんだ接着領域 405 には、はんだ厚さ確保用の溝を銅ベース 107D, 109 中に設けて、はんだ接着信頼性を確保している。

【0080】

IGBT モジュールの水冷ジャケットへの取り付けに Oリングを使用した場合、Oリングはゴム製であるため、劣化は必ず発生し、漏水の懸念を完全に払拭することはできないものである。それに対して、本実施形態では、Oリングを削除することができ、漏水に対する信頼性を増大させることができる。

30

【0081】

なお、本実施形態では、接着にはんだを使用したか、信頼性さえ確保できれば、樹脂製の接着材での接着も用いることができる。さらには、比較的低温で溶接できる攪拌摩擦接合 (Friction stir welding) 等による溶接でもよいものである。

【0082】

以上説明したように、本実施形態によっても、2つの IGBT モジュール 101, 102 に通電される電流に応じて、銅ベース 109C と銅ベース 107C との放熱能力を異ならせることにより、制限された冷却水流量、圧力損失の元で効率よく冷却できる冷却構造とし、しかも、小型にすることができる。

【0083】

次に、図 11 を用いて、本発明の第 5 の実施形態による半導体装置の構成について説明する。

40

図 11 は、本発明の第 5 の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。図 11 は、図 1 と同様に、冷却水の流れに直交する方向の断面形状を示している。なお、図 1 と同一符号は、同一部分を示している。

【0084】

これまでの実施形態は、全て、両面実装する IGBT モジュールを個別に製造し、完成したモジュールを両面実装するものであった。それに対して、本実施形態では、ヒートシンクである銅ベース 108 は、モジュール 101, 102 共通であり、一体で形成されている。すなわち、銅ブロックに複数の冷却流路 108B が穿かれた形状になっており、冷

50

却通路108Bの中は、フィン108Aで仕切られて形状となっている。すなわち、図1に示したフィン101Aの付いた銅ベース101と、銅ベース102を一体化した形状としている。このように、表裏面にモジュール101, 102が接着される一体のヒートシンク108とすることにより、給排水管の接着部以外では漏水の可能性はなくなる。

【0085】

本実施形態の構成の半導体装置は、銅製ヒートシンク108の両面にパワーチップが搭載されたAlN基板114, 125をはんだ接着し、さらには、PPS製ケース122, 124を熱硬化性接着材で接着するというように、ヒートシンク108両面にモジュール部品を組み上げる形で製造される。

【0086】

フィン108Aの幅, 高さ, 間隔, 本数は、図1に示した実施形態と同じである。モジュール101, 102の定格は各々600A, 200Aであり、第1の実施形態と同じである。すなわち、冷却能力(熱抵抗), 発生損失とも、第1の実施形態と同じである。従って、パワーチップの最高温度は、第1の実施形態の場合とほぼ同等である。さらには、圧力損失も第1の実施形態と同等である。

【0087】

ただし、第1の実施形態と熱的な挙動が異なり、第1の実施形態よりも優れているのは以下の点である。本実施形態では、モジュール2台に対して一体のヒートシンクであるため、モジュール101, 102間で熱のやりとりが可能なのが特徴である。損失によって、モジュール101の熱は、モジュール102でも放熱される。例えば、極端な場合、モジュール102が通電されておらず損失がない場合には、モジュール101の熱は、下側(モジュール102に接する側)の銅ベースでも放熱されるのである。即ち、第1の実施形態よりも低温化できる。もちろん逆の場合も考えられる。このように、本実施形態は、動作条件によって、自動的にモジュール101, 102間で熱のやりとりが行われ、低温化できる。

【0088】

以上説明したように、本実施形態によっても、2つのIGBTモジュール101, 102に通電される電流に応じて、銅ベース108の放熱能力を異ならせることにより、制限された冷却水流量, 圧力損失の元で効率よく冷却できる冷却構造とし、しかも、小型にすることができ、また、さらに、低温化できる。

【0089】

次に、図12を用いて、本発明の第6の実施形態による半導体装置の構成について説明する。

図12は、本発明の第6の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。図12は、図1と同様に、冷却水の流れに直交する方向の断面形状を示している。なお、図1と同一符号は、同一部分を示している。

【0090】

前述した第1~第5の実施形態では、HEV用インバータ中の駆動モータ用、発電機用モジュールを水路に両面実装している。ここで、HEV用インバータは、例えば300Vから600Vというように、バッテリー電圧、即ち、電源電圧を昇圧して駆動するタイプも存在する。つまり、電圧を増大することにより電流を減少し、ハーネスを小型、軽量化することを目的として、昇圧型DC-DCコンバータを用いるタイプである。この場合、DC-DCコンバータを構成するIGBTモジュールも発熱するため、冷却が必要となる。

【0091】

本実施形態では、図示の左半分は、図1と同様の構成であり、駆動モータ用モジュール101と発電機用モジュール102を両面実装している。一方、図示の右半分には、DC-DCコンバータ用モジュール201を片面実装している。

【0092】

DC-DCコンバータ用モジュール201の定格電圧/電流は、1.2kV/200A

10

20

30

40

50

である。一般的に、耐圧が倍になると、IGBTチップの電流密度は半減する。オン電圧の増大を抑制し、損失の大幅な増大を抑制するためである。IGBTチップ103Eのサイズは11mm、FWDチップ104Eのサイズは6mm×9mmである。つまり、モジュール101のチップサイズと同じである。チップの電流定格は、IGBT103E、FWD104Eとも100Aである。これらのチップが2並列で1アームが構成される。一方、モジュール101、102の定格電圧/電流は、図1に示した第1の実施形態1と同じであり、IGBT103、105、FWD104、106のチップ定格、サイズも同じである。

【0093】

次に冷却構造について説明する。モジュール101は、フィン付き銅ベース107を備え、モジュール102は、平板状銅ベース109を備えている。また、モジュール201は、フィン107EAが一体成形された銅ベース107Eを備えている。アルミダイカスト製水冷ジャケット130Aは、モジュール101、102、210に対して共通のものである。モジュール201に対しては、水冷ジャケット130Aがカバーとなり、冷却水路を形成している。モジュール101、102用水路と、モジュール201用水路とは、U字型に接続されており、最初に、モジュール201用水路に対して紙面の手前側から奥方向に冷却媒体が流れると、その冷却媒体はU字型に折り返して、モジュール101、102用水路に対して紙面の奥側から手前側に流れる構成となっている。

【0094】

本実施形態の構成において、前述の各実施形態と同じ条件の冷却水を通流し、熱抵抗 $R_{th(j-w)}$ 、圧力損失を測定した。モジュール101、102に対しては、第1の実施形態と同様に、熱抵抗 $R_{th(j-w)} = 0.12 \text{ K/W}$ (モジュール101)、 0.22 K/W (モジュール102)であった。一方、モジュール201の熱抵抗 $R_{th(j-w)}$ は、 0.12 K/W と、モジュール101と同じであった。定格は異なるものの、チップサイズ、放熱構造はモジュール101と全く同じためである。圧力損失は 3.5 kPa であった。これまでの実施例と比べ、モジュール冷却部の損失が2倍になったためと、モジュールのつなぎ部であるU字管部の損失が加えられたためである。

【0095】

以上説明したように、本実施形態によれば、制限された冷却水流量、圧力損失の元で効率よく冷却できる冷却構造とし、しかも、小型にすることができる。さらに、DC-DCコンバータ用モジュール201も同様にして冷却することができる。

【0096】

次に、図13及び図14を用いて、本発明の第7の実施形態による半導体装置の構成について説明する。

図13は、本発明の第7の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。図13は、図1と同様に、冷却水の流れに直交する方向の断面形状を示している。図14は、本発明の第7の実施形態による半導体装置の平面図である。

【0097】

図13に示すように、本実施形態は、1相モジュール202、203、204と、DC-DCコンバータ用モジュール201とを同一筐体内に配置したものである。本実施形態では、パワーモジュール202は、上下アームが搭載された1相モジュールであり、例えばインバータのU相である。パワーモジュール203は、V相、パワーモジュール204はW相になっている。パワーモジュール203とパワーモジュール204は、水路を挟んで積層された構造となっている。パワーモジュール203を冷却するための銅ベース207は、冷却フィン付きであり、また、パワーモジュール204を冷却するための銅ベース209も、冷却フィン付きである。但し、パワーモジュール203とパワーモジュール204の発熱量は同じであるので、フィンの長さは、それぞれ等しいものとする。

【0098】

また、パワーモジュール202の水路を挟んだ対向面には、DC-DCコンバータ用モジュール201が配置されている。DC-DCコンバータ用モジュール201の発熱量は

10

20

30

40

50

、パワーモジュール202の発熱量よりも大きいため、パワーモジュール202を冷却するための銅ベース207Aは、平板状の銅ベースであり、また、モジュール201を冷却するための銅ベース209Aは、冷却フィン付きである。

【0099】

このような構造とすることにより、インバータ・コンバータ体積を大幅に低減できる。

【0100】

図14に示すように、冷却水路は、冷却水路入口210inからパワーモジュール202と201の間の冷却フィン211Aの間を通り、U字型の曲がり部212を通過して、パワーモジュール203と204の間の冷却フィン211間を通り、冷却水路出口211outに至る。このように、水路を挟んで積層された構造とすることにより、冷却水路入口210inと出口211outを同一側面にすることができるため、車両への搭載が容易となる。

10

【0101】

以上説明したように、本実施形態によれば、制限された冷却水流量、圧力損失の元で効率よく冷却できる冷却構造とし、しかも、小型にすることができる。さらに、DC-DCコンバータ用モジュール201も同様にして冷却することができる。

【0102】

次に、図15を用いて、本発明の第8の実施形態による半導体装置の構成について説明する。

図15は、本発明の第8の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。図15は、図1と同様に、冷却水の流れに直交する方向の断面形状を示している。なお、図13と同一符号は、同一部分を示している。

20

【0103】

本実施形態は、1相モジュール202、203、204と、コンデンサ205とを同一筐体内に配置したものである。本実施形態では、パワーモジュール202は、上下アームが搭載された1相モジュールであり、例えばインバータのU相である。パワーモジュール203は、V相、パワーモジュール204はW相になっている。パワーモジュール203とパワーモジュール204は、水路を挟んで積層された構造となっている。パワーモジュール203を冷却するための銅ベース207は、冷却フィン付きであり、また、パワーモジュール204を冷却するための銅ベース209も、冷却フィン付きである。但し、パワーモジュール203とパワーモジュール204の発熱量は同じであるので、フィンの長さは、それぞれ等しいものとする。

30

【0104】

また、パワーモジュール202の水路を挟んだ対向面には、コンデンサ205が配置されている。コンデンサ205の発熱量は、パワーモジュール202の発熱量よりも大きいため、パワーモジュール202を冷却するための銅ベース207Aは、平板状の銅ベースであり、また、モジュール201を冷却するための銅ベース209Aは、冷却フィン付きである。

【0105】

このような構造とすることにより、インバータ・コンデンサ体積を大幅に低減できる。

【0106】

また、図14に示したような冷却水路の構成とすることにより、冷却水路入口と出口を同一側面にすることができるため、車両への搭載が容易となる。

40

【0107】

以上説明したように、本実施形態によれば、制限された冷却水流量、圧力損失の元で効率よく冷却できる冷却構造とし、しかも、小型にすることができる。さらに、コンデンサ205も同様にして冷却することができる。

【0108】

次に、図16を用いて、本発明の第9の実施形態による半導体装置の構成について説明する。

図16は、本発明の第9の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。

50

図16は、図1と同様に、冷却水の流れに直交する方向の断面形状を示している。なお、図1と同一符号は、同一部分を示している。

【0109】

発熱体であるモジュール101と、モジュール102は、水路211C、211Dを挟んで積層された構造となっている。モジュール101は、銅ベース107'にフィン107Aが形成され、冷却水で直接冷却する構造となっている。モジュール102は、平板状の銅ベース109によって冷却される。

【0110】

流路の略中央部には、シール部を介さずに形成された境界壁130Fにより、右側の流路211Cと左側の流路211Dに分けられ、境界壁の両側の流路211Cと211Dでは流路方向が異なっている。例えば、流路211Cには、紙面の手前側から奥側に向かって冷却水が流れ、流路211Dには、紙面の奥側から手前側に向かって冷却水が流れる。このため、冷却流速を増加することができ、冷却能力が向上する。

【0111】

以上説明したように、本発明の各実施形態によれば、冷却水路の両面にモジュールを実装して冷却する際、モジュールの定格電流が大きい（損失が大きい）モジュールと、小さいモジュールとをペアで実装する。この場合、必要な冷却能力が異なるため、モジュールのヒートシンク能力が大小のペア、例えば、フィン高さが高いものと低いもののペアで実装できる。この結果、モジュールを冷却水路の片面のみに実装した場合と比べて、フィン高さの増大を最小限に抑制することができるので、冷却水流量を増大させることなく、かつ、冷却水流速を減少させることを防ぐことができ、モジュールの温度を低温化できる。さらに、フィン方向、即ち、冷却水流れ方向の構造は、定格電流が大きい（損失が大きい）モジュールを、定格電流が小さい（損失が小さい）モジュールよりも長くし、定格電流が小さいモジュールを内側に配置しているため、2段階で冷却水を導入することにより、より広い冷却水導入部、排出部を確保できるため、冷却水路の圧力損失を大幅に低減できる。

【0112】

次に、図17を用いて、本発明の各実施形態による電力変換装置を用いた自動車の一つであるハイブリッド電気自動車のパワートレインの構成について説明する。

図17は、本発明の各実施形態による電力変換装置を搭載したハイブリッド自動車のパワートレインの構成を示すシステム構成図である。

【0113】

図17に示すハイブリッド電気自動車は、内燃機関であるエンジンENGを動力源とするエンジンパワートレインと、モータジェネレータMG1を動力源とする電気的パワートレインの両方を備えたものである。ハイブリッド自動車の代表的なタイプとしては、エンジンパワートレインを主に自動車の駆動源とし、電気的パワートレインを主にエンジンENGの始動源、エンジンENGのアシスト源及び自動車の電力源とするマイルドハイブリッドと、エンジンパワートレインと電気的パワートレインの両方を主に自動車の駆動源とするストロングハイブリッドがある。本実施例では、後者のタイプを採用した場合を例にとり説明する。また、ハイブリッド自動車の代表的な駆動方式としては、シリーズ方式、パラレル方式及びシリーズ・パラレル方式がある。本実施例では、シリーズ・パラレル駆動方式を採用した場合を例にとり説明する。

【0114】

図において、車体のフロント部には、前輪用の駆動車軸DS-Fが回転可能に軸支されている。駆動車軸DS-Fの両端には、前輪WF-R、WF-Lが設けられている。車体のリア部には、図示省略した後輪用の駆動車軸が回転可能に軸支されている、後輪用の駆動車軸の両端には後輪WR-R、WR-Lが設けられている。図17に示すように、本実施例のハイブリッド電気自動車においては、前輪駆動方式を採用している。なお、駆動方式として、後輪駆動方式を採用してもよいものである。駆動車軸DS-Fの中央部には、デファレンシャルギアDEFが設けられている。デファレンシャルギアDEFは動力分配

10

20

30

40

50

機構であり、エンジンENGとモータジェネレータMG1から減速機RGを介して伝達された回転駆動力を左右の駆動車軸DS-Fに分配するようになっている。減速機RGは、エンジンENGとモータジェネレータMG1から伝達された回転駆動力の回転速度を減速してデファレンシャルギアDEFに伝達する。

【0115】

エンジンENG、モータジェネレータMG1、MG2は、動力分配機構PDMに機械的に接続されている。このように、エンジンENG、モータジェネレータMG1、MG2を動力分配機構PDMに接続することによって、エンジンENGの回転駆動力をモータジェネレータMG2に伝達して、モータジェネレータMG2を発電機として動作させることができると共に、エンジンENGの回転駆動力及びモータジェネレータMG1の回転駆動力を、減速機RG及びデファレンシャルギアDEFを介して駆動車軸DS-Fに伝達することができる。

10

【0116】

モータジェネレータMG1、MG2は、それぞれインバータ装置INVに電氣的に接続されている。インバータ装置INVは、前述した実施形態のいっれかのものであり、直流電力を三相交流電力に変換すると共に、三相交流電力を直流電力に変換（整流）することができるIGBTモジュール変換回路IGBTM1、IGBTM2を備えている。IGBTモジュール変換回路IGBTM1の交流端子はモータジェネレータMG1の固定子巻線とに電氣的に接続されている。IGBTモジュール変換回路IGBTM2の交流端子はモータジェネレータの固定子巻線に電氣的に接続されている。IGBTモジュール変換回路IGBTM1、IGBTM2の直流端子は、お互い同じ極もの同士が電氣的に接続され、バッテリーBATの対応する極の端子に電氣的に接続されている。IGBTモジュール変換回路のIGBTM1、IGBTM2の直流側正極端子と直流側負極端子との間には平滑用の電解コンデンサCが電氣的に接続されている。バッテリーBATには、例えば端子電圧が200V～400Vのリチウムイオンバッテリー、鉛バッテリー、ニッケル水素バッテリーのいっれかを用いている。

20

【0117】

なお、インバータ装置INVにはモータ制御装置や駆動回路が備えられているが、ここでは図示省略している。モータ制御装置はマイクロコンピュータなどから構成されたものであり、上位制御装置から出力されたトルク指令値や、モータジェネレータMG1、MG2に供給される電流値などの信号を入力とし、この入力信号に基づいてIGBTモジュール変換回路IGBTM1、IGBTM2の複数のパワー半導体スイッチング素子をそれぞれ駆動するための電圧指令値を演算し、それを駆動回路に出力するものである。駆動回路は複数の電子部品から構成されたものであり、モータ制御装置から出力された電圧指令値に基づいてIGBTモジュール変換回路IGBTM1、IGBTM2の複数のパワー半導体スイッチング素子をそれぞれ駆動するための駆動信号を生成し、それを対応するパワー半導体スイッチング素子に出力するものである。パワー半導体スイッチング素子は、対応する駆動信号を受けてオン・オフする。

30

【0118】

モータジェネレータMG1は、専ら、モータジェネレータMG2の発電電力或いはバッテリーBATの出力電力をインバータ装置INVを介して受けて電動機として動作し、車両を駆動するための回転駆動力を発生すると共に、駆動車軸DS-Fからの回転力を受けて発電機として動作し、発電した電力をインバータ装置INVを介してバッテリーBATに供給する。モータジェネレータMG2は、専ら、エンジンENGの回転駆動力を受けて発電機として動作し、発電した電力をインバータ装置INVを介してバッテリーBAT或いはモータジェネレータMG1に供給する。本実施例のモータジェネレータMG1、MG2は三相交流同期式のもの、すなわち回転子の鉄心の内部に複数の永久磁石を埋め込んだ或いは回転子の鉄心の外周表面に複数の永久磁石を配置した永久磁石回転電機である。尚、モータジェネレータMG1、MG2としては、三相交流誘導式回転電機やリラクタンス式回転電機などのものを用いてもよいものである。

40

50

【 0 1 1 9 】

エンジンパワートレインを構成するエンジン E N G、エレクトリックパワートレインを構成するモータジェネレータ M G 1、M G 2 及びインバータ装置 I N V は、冷却媒体である冷却水（不凍液）によって冷却されている。このため、車両には冷却システムが搭載されている。冷却システムは、冷却水を冷却するラジエータ R と、ラジエータ R によって冷却された冷却水を循環する循環ポンプ C P と、冷却回路を構成する冷却水配管 W P によって構成されている。本実施例では、エンジンパワートレインの冷却回路とエレクトリックパワートレインの冷却回路が共用化されており、ラジエータ R によって冷却されかつ循環ポンプ C P によって送水された冷却水が、インバータ装置 I N V を冷却し、次にモータジェネレータ M G 1、M G 2 を冷却し、次にエンジン E N G を冷却し、再びラジエータ R に戻るように、冷却回路が構成されている。ここで、図中に示した矢印は、冷却水の流れ方向を示す。

10

【 0 1 2 0 】

尚、本実施例では、エンジンパワートレインの冷却回路とエレクトリックパワートレインの冷却回路を共用化した場合について説明したが、それぞれの冷却回路を独立させてもよい。また、本実施例では、モータジェネレータ M G 1、M G 2 を並列に冷却する場合について説明したが、モータジェネレータ M G 1、M G 2 を直列に冷却してもよい。この場合、冷却順番は、モータジェネレータ M G 1、M G 2 のそれぞれの発熱量に応じて適宜設定すればよいものである。また、モータジェネレータ M G 2 は専ら、発電機として動作し、発熱量がモータジェネレータ M G 1 よりも小さいので、モータジェネレータ M G 2 のみを空気によって冷却して 1 もよいものである。

20

【 0 1 2 1 】

図 1 7 に示すハイブリッド自動車では複数の運転モードを有し、各運転モードに応じてエレクトリックパワートレインの駆動を制御している。まず、車両の発進時や低速走行時においては、主にモータジェネレータ M G 1 を電動機として動作させ、モータジェネレータ M G 1 で発生した回転駆動力を、減速機 R G 及びデファレンシャルギア D E F を介して駆動車軸 D S - F に伝達する。これにより、駆動車軸 D S - F がモータジェネレータ M G 1 の回転駆動力によって回転駆動されて前輪 W F - R、W F - L が回転駆動し、車両が走行する、この時、モータジェネレータ M G 1 には、バッテリー B A T からの出力電力（直流電力）がインバータ装置 I N V（I G B T モジュール変換回路 I G B T M 1）によって三相交流電力に変換されて供給される。

30

【 0 1 2 2 】

次に、車両の通常走行時（中速、高速走行時）においては、エンジン E N G とモータジェネレータ M G 1 を併用し、エンジン E N G で発生した回転駆動力と、モータジェネレータ M G 1 で発生した回転駆動力とを、減速機 R G 及びデファレンシャルギア D F F を介して駆動車軸 D - S - F に伝達する。これにより、駆動車軸 D S - F がエンジン E N G とモータジェネレータ M G 1 の回転駆動力によって回転駆動されて前輪 W F - R、W F - L が回転駆動し、車両が走行する。また、エンジン E N G で発生した回転駆動力の一部は動力分配機構 P D M によって分配され、モータジェネレータ M G 2 に供給される。この動力の分配により、モータジェネレータ M G 2 は、エンジン E N G で発生した回転駆動力の一部によって回転駆動され、発電機として動作し、発電する。モータジェネレータ M G 2 によって発電された三相交流電力はインバータ装置 I N V に供給され、I G B T モジュール変換回路 I G B T M 2 によって直流電力に整流されて I G B T モジュール変換回路 I G B T M 1 に供給される。I G B T モジュール変換回路 I G B T M 1 は、供給された直流電力を再び三相交流電力に変換し、モータジェネレータ M G 1 に供給する。これにより、モータジェネレータ M G 1 は回転駆動力を発生する、

40

次に、車両の加速時、特にエンジン E N G に供給される空気量を制御するスロットル弁の開度が全開になる急加速時（例えば急勾配坂の登坂時で、アクセルの踏み込み量が多い時）においては、前述した通常走行時の動作に加え、バッテリー B A T からの出力電力をインバータ装置 I N V（I G B T モジュール変換回路 I G B T M 1）によって三相交流

50

電力に変換してモータジェネレータMG1に供給し、モータジェネレータMG1によって発生する回転駆動力を増加させる。

【0123】

次に、車両の減速・制動時においては、前輪WF-R, WF-Lの回動による駆動車軸DS-Fの回絵駆動力をデファレンシャルギアDFD、減速機RGを介してモータジェネレータMG1に供給して、モータジェネレータMG1を発電機として動作させ、発電させる、発電によって得られた三相交流電力(回生エネルギー)は、インバータ装置INVのIGBTモジュール変換回路IGBTM1によって直流電力に整流され、バッテリーBATに供給される。これにより、バッテリーBATは充電される。車両の停止時は、基本的にはエンジンENG及びモータジェネレータMG1, MG2の駆動は停止されるが、バッテリーBATの残量が少ない場合には、エンジンENGを駆動してモータジェネレータMG2を発電機として動作させ、得られた発電電力をインバータ装置INVを介してバッテリーBATに供給する。

10

【0124】

本実施形態のハイブリット自動車によれば、前述したいずれかの実施形態に記載の半導体装置を備えているので、車両への搭載省スペース化を図ることができ、車両の小型化、軽量化及び低コスト化に寄与することができる。

【図面の簡単な説明】

【0125】

【図1】本発明の第1の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。

20

【図2】本発明の第1の実施形態による半導体装置に用いるIGBTモジュール101の平面構造を示す平面図である。

【図3】図2のA-A断面図である。

【図4】図2のB-B断面図である。

【図5】本発明の第1の実施形態による半導体装置の水冷ジャケット取り付け部の断面図である。

【図6】本発明の第1の実施形態による半導体装置の冷却媒体の流れに平行な方向の断面図である。

【図7】本発明の第2の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。

【図8】本発明の第2の実施形態による半導体装置の冷却媒体の流れに平行な方向の断面図である。

30

【図9】本発明の第3の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。

【図10】本発明の第4の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。

【図11】本発明の第5の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。

【図12】本発明の第6の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。

【図13】本発明の第7の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。

【図14】本発明の第7の実施形態による半導体装置の平面図である。

【図15】本発明の第8の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。

【図16】本発明の第9の実施形態による半導体装置の断面構成を示す断面図である。

【図17】本発明の各実施形態による半導体装置を搭載したハイブリット自動車の構成を示すシステム構成図である。

40

【符号の説明】

【0126】

101, 101A, 102, 202, 203, 204... IGBTモジュール

103, 103C, 103E, 105... IGBTチップ

104, 104C, 104E, 106... FWDチップ

107, 107B, 107C, 107D, 109B, 109C... フィン付銅ベース

107A, 107BA, 109BA, 107CA, 108A... フィン

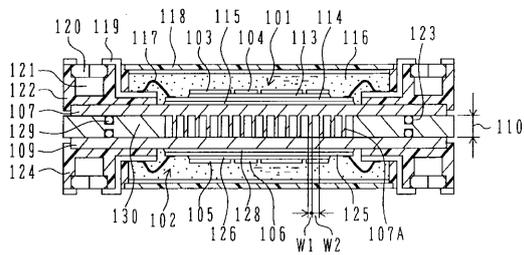
108, 109, 109... 銅ベース

113, 115, 126, 128... 接着はんだ、

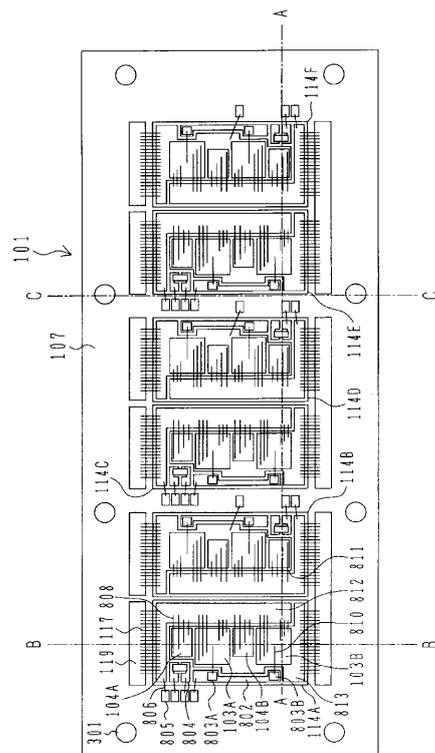
50

- 1 1 4 , 1 2 5 ... 窒化アルミ基板
- 1 1 6 ... シリコングル
- 1 1 7 ... アルミワイヤ
- 1 1 8 , 2 0 6 ... モジュールカバー
- 1 1 9 ... 主端子
- 1 2 0 ... 主配線取り付け用ナット
- 1 2 2 , 1 2 4 ... I G B T モジュールケース
- 1 2 9 ... Oリング、
- 1 3 0 ... 水冷ジャケット
- 2 0 1 ... D C D C コンバータ
- 2 0 5 ... コンデンサ

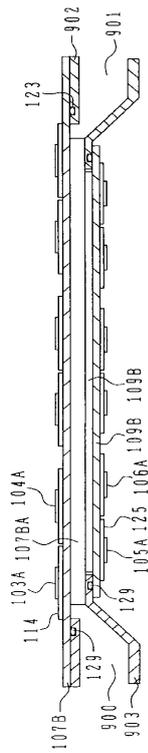
【 図 1 】



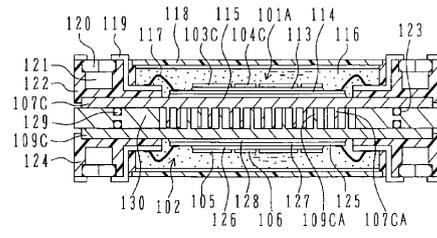
【 図 2 】



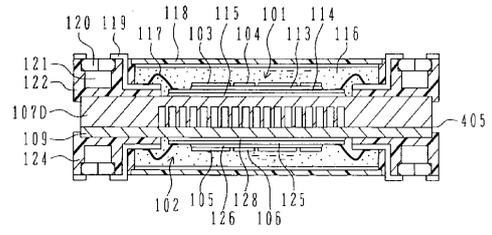
【 図 8 】



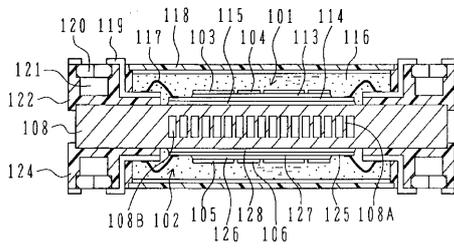
【 図 9 】



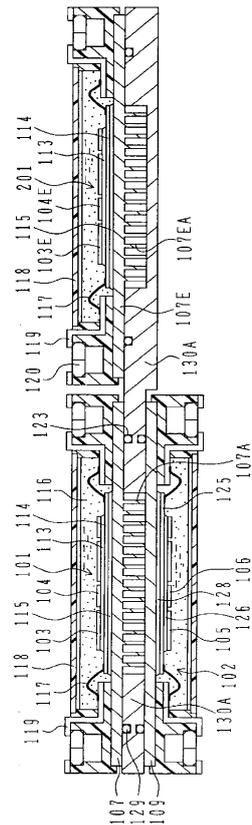
【 図 10 】



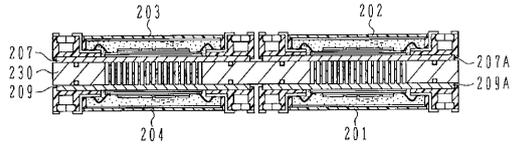
【 図 11 】



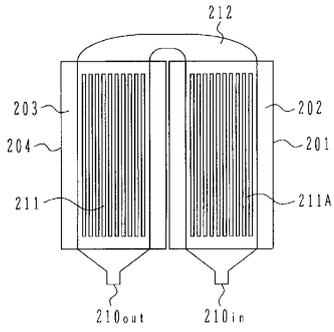
【 図 12 】



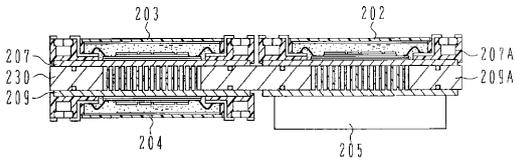
【 図 1 3 】



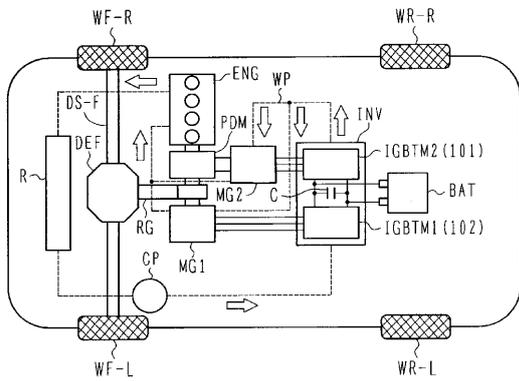
【 図 1 4 】



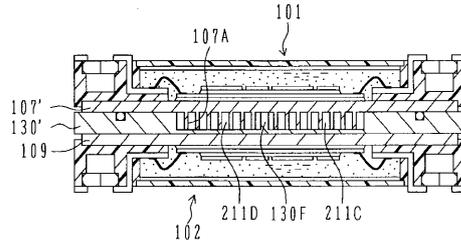
【 図 1 5 】



【 図 1 7 】



【 図 1 6 】



フロントページの続き

(72)発明者 石田 一仁

茨城県ひたちなか市高場2 4 7 7 番地
ング内

株式会社 日立カーエンジニアリ

審査官 日比野 隆治

(56)参考文献 特開2002 - 124608 (JP, A)

特開2002 - 093974 (JP, A)

特開2001 - 015675 (JP, A)

特開平06 - 303704 (JP, A)

特開平10 - 284685 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 23/473

H01L 25/07

H01L 25/18