

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-229180

(P2006-229180A)

(43) 公開日 平成18年8月31日(2006.8.31)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 23/36 (2006.01)	HO 1 L 23/36 D	5 F 1 3 6
HO 1 L 25/07 (2006.01)	HO 1 L 25/04 C	
HO 1 L 25/18 (2006.01)		

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2005-189526 (P2005-189526)	(71) 出願人	000003207
(22) 出願日	平成17年6月29日 (2005.6.29)		トヨタ自動車株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2005-15744 (P2005-15744)		愛知県豊田市トヨタ町1番地
(32) 優先日	平成17年1月24日 (2005.1.24)	(74) 代理人	100064746
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 深見 久郎
		(74) 代理人	100085132
			弁理士 森田 俊雄
		(74) 代理人	100112852
			弁理士 武藤 正
		(72) 発明者	古田 紀文
			愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
		Fターム(参考)	5F136 BA03 BA06 BA24 BA30 BC06 CB07 DA22 FA02

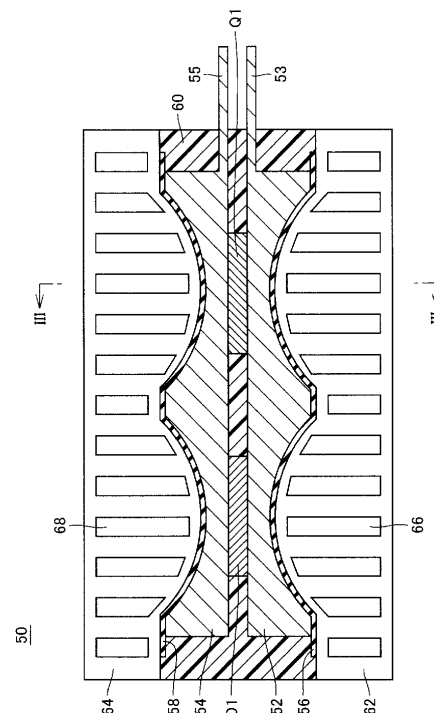
(54) 【発明の名称】 半導体モジュールおよび半導体装置

(57) 【要約】

【課題】 パワー素子が均一的に冷却される半導体モジュールおよび半導体装置を提供する。

【解決手段】 ヒートシンクとして機能する電極板52, 54は、パワートランジスタQ1およびダイオードD1を両側から挟み込むように配設される。電極板52(54)の冷却体62(64)との対向面は、パワートランジスタQ1およびダイオードD1に対向する部分において、パワートランジスタQ1およびダイオードD1の略中央部に対向する部分の厚みとその周辺部に対向する部分の厚みよりも薄くなるように形成される。そして、冷却体62, 64は、それぞれ電極板52, 54の形状に沿って電極板52, 54を両側から挟み込むように配設される。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

半導体素子と、

前記半導体素子と前記半導体素子を冷却する冷却体との間に配設され、前記半導体素子の略中央部に対向する部分の厚みが前記半導体素子の周辺部に対向する部分の厚みよりも薄いヒートシンクとを備える半導体モジュール。

## 【請求項 2】

前記ヒートシンクは、導体から成り、かつ、前記半導体素子の電極と接続される、請求項 1 に記載の半導体モジュール。

## 【請求項 3】

半導体素子と、

前記半導体素子の中央部近傍に対向する部分の放熱面積が前記半導体素子の周辺部に対向する部分の放熱面積よりも大きくなるように構成された複数の放熱フィンを含む冷却体とを備える半導体装置。

## 【請求項 4】

前記複数の放熱フィンは、前記半導体素子の中央部近傍に対向する部分の配置密度が前記半導体素子の周辺部に対向する部分の配置密度よりも高くなるように配設される、請求項 3 に記載の半導体装置。

## 【請求項 5】

前記複数の放熱フィンの各々は、板状フィンから成り、

前記複数の板状フィンは、前記半導体素子の中央部近傍に対向する部分の配置間隔が前記半導体素子の周辺部に対向する部分の配置間隔よりも狭くなるように配設される、請求項 4 に記載の半導体装置。

## 【請求項 6】

前記半導体素子の周辺部に対向する部分の放熱フィンは、複数の板状フィンから成り、

前記半導体素子の中央部近傍に対向する部分の放熱フィンは、複数のピンフィンから成る、請求項 3 に記載の半導体装置。

## 【請求項 7】

前記複数の放熱フィンの各々は、板状フィンから成り、

前記半導体素子の中央部近傍に対向する部分の板状フィンは、表面に凹凸形状を有する、請求項 3 に記載の半導体装置。

## 【請求項 8】

半導体素子と、

前記半導体素子を冷却する冷却体と、

前記半導体素子と前記冷却体との間に配設され、前記半導体素子の略中央部に対向する部分の厚みが前記半導体素子の周辺部に対向する部分の厚みよりも薄いヒートシンクとを備え、

前記ヒートシンクの前記半導体素子に対向する面は、平面から成り、

前記ヒートシンクの前記冷却体に対向する面は、前記半導体素子の略中央部に対向する部分の前記ヒートシンクの厚みが最も薄くなるように、前記半導体素子に対向する部分において凹形状に形成され、

前記冷却体の前記ヒートシンクに対向する面は、前記ヒートシンクの面形状に沿って形成される、半導体装置。

## 【請求項 9】

前記冷却体は、冷媒が流される冷媒路を含み、

前記冷媒路は、前記ヒートシンクの面形状に沿って形成される、請求項 8 に記載の半導体装置。

## 【請求項 10】

前記ヒートシンクの凹形状は、前記冷媒が流される方向に沿って流線形である、請求項 9 に記載の半導体装置。

10

20

30

40

50

## 【請求項 11】

前記冷却体は、前記半導体素子の中央部近傍に対向する部分の放熱面積が前記半導体素子の周辺部に対向する部分の放熱面積よりも大きくなるように構成された複数の放熱フィンを含む、請求項 8 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の半導体装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

この発明は、半導体モジュールおよび半導体装置に関し、特に、半導体モジュールにおけるパワー素子の冷却技術に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来より、半導体モジュールにおける半導体素子を効率的に冷却するための冷却構造が多数提案されている。たとえば、発明協会公開技報番号 2003-504490 号（非特許文献 1）は、ヒートシンクが冷却水などの冷却流体に浸漬している浸漬冷却型パワー素子の冷却構造を開示する。この浸漬冷却型パワー素子は、パワー素子と、パワー素子の両面に設けられ、かつ、冷却流体に浸漬されるヒートシンクとを備える。

## 【0003】

この浸漬冷却型パワー素子においては、ヒートシンクは、凹状の曲面に形成され、その曲面上には、複数の突起が設けられる。これにより、ヒートシンクにおける冷却表面積を増大させ、かつ、流水に乱流を発生させることによって、パワー素子の冷却効率を向上させる（非特許文献 1 参照）。

## 【0004】

また、特開平 7-189684 号公報（特許文献 6）は、放熱フィンの配設密度をファンによる冷却風の流速分布に応じて変化させた熱交換装置を開示する。この熱交換装置は、冷却器における高速風領域においては放熱フィンのピッチ間隔が狭くなるように構成され、低速風領域においては放熱フィンのピッチ間隔が広くなるように構成される。これにより、冷却器全体の通過風量がほぼ均一化され、熱交換率を向上させることができる（特許文献 6 参照）。

【特許文献 1】特開 2000-307042 号公報

【特許文献 2】特開 2003-204019 号公報

【特許文献 3】特開 2001-196775 号公報

【特許文献 4】特開平 4-372159 号公報

【特許文献 5】特開平 7-318296 号公報

【特許文献 6】特開平 7-189684 号公報

【特許文献 7】特開 2003-46046 号公報

【非特許文献 1】発明協会公開技報番号 2003-504490 号

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

しかしながら、上記の発明協会公開技報番号 2003-504490 号に開示されたパワー素子の冷却構造は、パワー素子全体の冷却効率の向上を図るものであるが、パワー素子における温度分布の均一化を図るものではない。

## 【0006】

一般的に、パワー素子においては、素子の中央部がその周辺部に比べて高温となり、この素子中央部の温度上昇を考慮してパワー素子に流される電流量が制限される。このため、素子の中央部がその周辺部に比べて高温となっているパワー素子においては、パワー素子の能力を十分に発揮させることができない。

## 【0007】

すなわち、パワー素子の能力を十分に発揮させるためには、パワー素子の冷却効率を向上させるとともに、パワー素子をできるだけ均一に冷却することが重要である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 8 】

また、パワー素子における温度分布が不均一であると、パワー素子内や、パワー素子を電極と接合する接合材などに応力が発生し、パワー素子や接合材などの劣化が促進される。しかしながら、上記の特開平 7 - 1 8 9 6 8 4 号公報や発明協会公開技報番号 2 0 0 3 - 5 0 4 4 9 0 号においては、このような問題については検討されていない。

## 【 0 0 0 9 】

そこで、この発明は、かかる課題を解決するためになされたものであり、その目的は、パワー素子が均一的に冷却される半導体モジュールおよび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】

## 【 0 0 1 0 】

この発明によれば、半導体モジュールは、半導体素子と、半導体素子と半導体素子を冷却する冷却体との間に配設され、かつ、半導体素子の略中央部に対向する部分の厚みが半導体素子の周辺部に対向する部分の厚みよりも薄いヒートシンクとを備える。

## 【 0 0 1 1 】

この発明による半導体モジュールにおいては、ヒートシンクの形状は、半導体素子の略中央部に対向する部分の厚みが半導体素子の周辺部に対向する部分の厚みよりも薄いので、ヒートシンクにおいて、半導体素子の略中央部に対向する部分の熱抵抗が半導体素子の周辺部に対向する部分の熱抵抗よりも低い。

## 【 0 0 1 2 】

したがって、この発明によれば、半導体素子の略中央部がその周辺部よりも冷却体によって効率的に冷却され、半導体素子の温度分布が均一化される。その結果、半導体素子の能力を十分に発揮させることができる。また、半導体素子の温度分布が均一化されることによって半導体素子内や半導体素子を電極と接合する接合材などに応力が発生するのを抑制し、半導体素子や接合材の劣化を抑制することができる。

## 【 0 0 1 3 】

好ましくは、ヒートシンクは、導体から成り、かつ、半導体素子の電極と接続される。

この半導体モジュールにおいては、ヒートシンクは、半導体モジュールの電極としても機能する。したがって、この半導体モジュールによれば、半導体モジュールを小型化することができる。

## 【 0 0 1 4 】

また、この発明によれば、半導体装置は、半導体素子と、半導体素子の中央部近傍に対向する部分の放熱面積が半導体素子の周辺部に対向する部分の放熱面積よりも大きくなるように構成された複数の放熱フィンを含む冷却体とを備える。

## 【 0 0 1 5 】

この発明による半導体装置においては、冷却体に設けられる複数の放熱フィンは、半導体素子の中央部近傍に対向する部分の放熱面積が半導体素子の周辺部に対向する部分の放熱面積よりも大きくなるように構成されているので、半導体素子の中央部近傍の方がその周辺部よりも放熱性に優れる。

## 【 0 0 1 6 】

したがって、この発明によれば、半導体素子の中央部近傍がその周辺部よりも効果的に冷却され、半導体素子の温度分布を均一化することができる。その結果、半導体素子内における電流密度を均一化することができ、半導体素子の能力を十分に発揮させることができる。また、半導体素子の温度分布が均一化されることによって半導体素子内や半導体素子を電極と接合する接合材などに応力が発生するのを抑制し、半導体素子や接合材の劣化を抑制することができる。

## 【 0 0 1 7 】

好ましくは、複数の放熱フィンは、半導体素子の中央部近傍に対向する部分の配置密度が半導体素子の周辺部に対向する部分の配置密度よりも高くなるように配設される。

## 【 0 0 1 8 】

10

20

30

40

50

この半導体装置においては、半導体素子の周辺部に対向する部分に比べて半導体素子の中央部近傍に対向する部分の放熱フィンの配置密度を高くしたので、半導体素子の中央部近傍の方がその周辺部よりも放熱性に優れる。したがって、この半導体装置によれば、簡易な構成で半導体素子の温度分布を均一化することができる。

【0019】

さらに好ましくは、複数の放熱フィンの各々は、板状フィンから成る。複数の板状フィンは、半導体素子の中央部近傍に対向する部分の配置間隔が半導体素子の周辺部に対向する部分の配置間隔よりも狭くなるように配設される。

【0020】

したがって、この半導体装置によれば、非常に簡易な構成で半導体素子の温度分布を均一化することができる。 10

【0021】

また、好ましくは、半導体素子の周辺部に対向する部分の放熱フィンは、複数の板状フィンから成る。半導体素子の中央部近傍に対向する部分の放熱フィンは、複数のピンフィンから成る。

【0022】

この半導体装置においては、複数のピンフィンは、複数の板状フィンよりも冷媒との接触面積を大きくとることができるので、半導体素子の中央部近傍の方がその周辺部よりも放熱性に優れる。したがって、この半導体装置によっても、簡易な構成で半導体素子の温度分布を均一化することができる。 20

【0023】

また、好ましくは、複数の放熱フィンの各々は、板状フィンから成る。半導体素子の中央部近傍に対向する部分の板状フィンは、表面に凹凸形状を有する。

【0024】

この半導体装置においては、表面に凹凸形状を有する板状フィンは、そのような形状を有しない板状フィンよりも冷媒との接触面積を大きくとることができるので、半導体素子の中央部近傍の方がその周辺部よりも放熱性に優れる。したがって、この半導体装置によっても、簡易な構成で半導体素子の温度分布を均一化することができる。

【0025】

また、この発明によれば、半導体装置は、半導体素子と、半導体素子を冷却する冷却体と、半導体素子と冷却体との間に配設され、半導体素子の略中央部に対向する部分の厚みが半導体素子の周辺部に対向する部分の厚みよりも薄いヒートシンクとを備える。ヒートシンクの半導体素子に対向する面は、平面から成る。ヒートシンクの冷却体に対向する面は、半導体素子の略中央部に対向する部分のヒートシンクの厚みが最も薄くなるように、半導体素子に対向する部分において凹形状に形成される。冷却体のヒートシンクに対向する面は、ヒートシンクの面形状に沿って形成される。 30

【0026】

この発明による半導体装置においては、冷却体のヒートシンクに対向する面は、ヒートシンクの面形状に沿って形成されるので、冷却器とヒートシンクとの位置決めが容易になる。したがって、この発明によれば、半導体装置の組付性が向上する。 40

【0027】

好ましくは、冷却体は、冷媒が流される冷媒路を含む。冷媒路は、ヒートシンクの面形状に沿って形成される。

【0028】

この半導体装置においては、冷却体の冷媒路は、凹形状を有するヒートシンクの面形状に沿って形成されるので、冷媒の流れが一様でなくなり、冷媒に乱流が発生する。したがって、この半導体装置によれば、冷媒路表面における冷媒の表面効果が向上し、冷却効率が向上する。

【0029】

好ましくは、ヒートシンクの凹形状は、冷媒が流される方向に沿って流線形である。 50

この半導体装置においては、ヒートシンクの面形状に沿って配設される冷媒路は、ヒートシンクの面形状に沿った流線形であるので、冷媒が冷媒路を流れる際の圧力損失が抑えられる。また、ヒートシンクの凹形状に対応する部分において冷媒の流速が速くなる。したがって、この半導体装置によれば、半導体素子の冷却効率がさらに向上する。

【0030】

好ましくは、冷却体は、半導体素子の中央部近傍に対向する部分の放熱面積が半導体素子の周辺部に対向する部分の放熱面積よりも大きくなるように構成された複数の放熱フィンを含む。

【0031】

この半導体装置においては、ヒートシンクにおいて、半導体素子の中央部近傍に対向する部分の厚みを半導体素子の周辺部に対向する部分の厚みよりも薄くしたことで、冷却体に設けられる複数の放熱フィンにおいて、半導体素子の中央部近傍に対向する部分の放熱面積を半導体素子の周辺部に対向する部分の放熱面積よりも大きくしたこととの相乗効果によって、半導体素子の中央部近傍がその周辺部に比べてより効果的に冷却される。

【0032】

したがって、この半導体装置によれば、中央部近傍と周辺部との温度差が特に大きい半導体素子であっても半導体素子の温度分布を均一化することができる。

【発明の効果】

【0033】

以上のように、この発明によれば、半導体素子の略中央部がその周辺部よりも効率的に冷却されるので、半導体素子の温度分布が均一化される。その結果、半導体素子に局所的な高温部が発生することによる電流制限を受けることなく、半導体素子の能力を十分に発揮させることができる。

【0034】

また、この発明によれば、半導体素子の温度分布が均一化されることによって、半導体素子内や半導体素子を電極と接合する接合材などに応力が発生するのを抑制し、半導体素子や接合材の劣化を抑制することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0035】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰返さない。

【0036】

[実施の形態1]

図1は、この発明の実施の形態1による半導体モジュールが用いられるインバータを含む負荷駆動装置の概略ブロック図である。図1を参照して、この負荷駆動装置100は、バッテリーBと、コンデンサCと、インバータ10と、制御装置20と、電源ラインPLと、接地ラインSLと、U相ラインULと、V相ラインVLと、W相ラインWLとを含む。インバータ10は、電源ラインPLおよび接地ラインSLを介してバッテリーBと接続される。また、インバータ10は、U、V、W各相ラインUL、VL、WLを介してモータジェネレータMGと接続される。

【0037】

この負荷駆動装置100によって駆動されるモータジェネレータMGは、たとえば、3相交流同期電動機からなる。そして、モータジェネレータMGは、力行動作時、インバータ10からU、V、W各相ラインUL、VL、WLを介して受ける3相交流電圧によって駆動トルクを発生する。また、モータジェネレータMGは、回生動作時、3相交流電圧を発生し、その発生した3相交流電圧をU、V、W各相ラインUL、VL、WLを介してインバータ10へ出力する。

【0038】

バッテリーBは、直流電源であって、たとえば、ニッケル水素やリチウムイオン等の二次電池からなる。バッテリーBは、発生した直流電圧を電源ラインPLを介してインバータ1

10

20

30

40

50

0へ出力する。また、バッテリーBは、モータジェネレータMGによって発生され、かつ、インバータ10によって整流された直流電圧を電源ラインPLを介してインバータ10から受け、その受けた直流電圧によって充電される。

#### 【0039】

インバータ10は、U相アーム12、V相アーム14およびW相アーム16を含む。U相アーム12、V相アーム14およびW相アーム16は、電源ラインPLと接地ラインSLとの間に並列に接続される。U相アーム12は、直列に接続されたパワートランジスタQ1、Q2からなり、V相アーム14は、直列に接続されたパワートランジスタQ3、Q4からなり、W相アーム16は、直列に接続されたパワートランジスタQ5、Q6からなる。各パワートランジスタQ1～Q6は、たとえばIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)からなる。各パワートランジスタQ1～Q6のコレクタ-エミッタ間には、エミッタ側からコレクタ側へ電流を流すダイオードD1～D6がそれぞれ接続される。そして、U、V、W各相アーム12、14、16における各パワートランジスタの接続点は、モータジェネレータMGのU、V、W各相コイルの中性点と反対側のコイル端にそれぞれ接続される。

10

#### 【0040】

このインバータ10は、制御装置20からの信号PWMに基づいて、電源ラインPLから供給される直流電圧を3相交流電圧に変換してモータジェネレータMGを駆動する。これにより、モータジェネレータMGは、トルク指令値によって指定されたトルクを発生するように駆動される。また、インバータ10は、モータジェネレータMGの回生動作時にモータジェネレータMGが発電した3相交流電圧を制御装置20からの信号PWMに基づいて直流電圧に変換し、その変換した直流電圧を電源ラインPLへ出力する。

20

#### 【0041】

コンデンサCは、電源ラインPLと接地ラインSLとの間に接続され、電源ラインPLと接地ラインSLとの間の電圧変動を平滑化する。制御装置20は、電源ラインPLと接地ラインSLとの間の電圧、ならびにモータジェネレータMGのモータ電流およびトルク指令値に基づいて、モータジェネレータMGを駆動するための信号PWMを生成し、その生成した信号PWMをインバータ10へ出力する。

#### 【0042】

図2、図3は、図1に示したインバータ10のU、V、W各相アームにおける上下各アームを構成する半導体モジュールの構造を示す。図2は、図1に示したインバータ10のU相上アームを構成する半導体モジュールの構造を示す断面図であり、図3は、図2に示した半導体モジュールの断面III-IIIの断面図である。なお、インバータ10のU、V、W各相アームにおける上下各アームの構造は、全て同じであり、この図2、図3では、インバータ10のU相上アームの構造が代表的に示される。

30

#### 【0043】

図2、図3を参照して、この半導体モジュール50は、パワートランジスタQ1と、ダイオードD1と、電極52、54と、絶縁板56、58と、モールド樹脂60とを含む。そして、半導体モジュール50を両側から挟み込むように冷却体62、64が配設される。

40

#### 【0044】

パワートランジスタQ1およびダイオードD1は、平型のパワー素子であり、通電時、素子周辺部よりも素子中央部から多く発熱する。

#### 【0045】

電極板52、54は、パワートランジスタQ1およびダイオードD1を両側から挟み込むようにして設けられる。そして、電極板52は、端子53を介して図1に示した電源ラインPLに接続され、電極板54は、端子55を介して図1に示したU相ラインULに接続される。この電極板52、54は、たとえば、導電率および熱伝導率の高い銅などからなり、電極として機能するとともに、パワートランジスタQ1およびダイオードD1からの熱を冷却体62、64へそれぞれ伝熱するヒートシンクとして機能する。

50

## 【0046】

ここで、電極板52においては、パワートランジスタQ1に対向する部分において、パワートランジスタQ1の略中央部に対向する部分の厚みがパワートランジスタQ1の周辺部に対向する部分の厚みよりも薄くなるように、冷却体62に対向する面が略球面状に形成されている。また、ダイオードD1に対向する部分においても、ダイオードD1の略中央部に対向する部分の厚みがダイオードD1の周辺部に対向する部分の厚みよりも薄くなるように、冷却体62に対向する面が略球面状に形成されている。すなわち、この電極板52においては、パワートランジスタQ1およびダイオードD1の略中央部に対向する部分の熱抵抗が素子周辺部に対向する部分の熱抵抗よりも低くなるように形成されている。

## 【0047】

10

さらに、電極板54においても、パワートランジスタQ1に対向する部分において、パワートランジスタQ1の略中央部に対向する部分の厚みがパワートランジスタQ1の周辺部に対向する部分の厚みよりも薄くなるように、冷却体64に対向する面が略球面状に形成され、ダイオードD1に対向する部分において、ダイオードD1の略中央部に対向する部分の厚みがダイオードD1の周辺部に対向する部分の厚みよりも薄くなるように、冷却体64に対向する面が略球面状に形成されている。すなわち、この電極板54においても、パワートランジスタQ1およびダイオードD1の略中央部に対向する部分の熱抵抗が素子周辺部に対向する部分の熱抵抗よりも低くなるように形成されている。

## 【0048】

絶縁板56は、電極板52と冷却体62との間に設けられ、電極板52を冷却体62と絶縁する。絶縁板58は、電極板54と冷却体64との間に設けられ、電極板54を冷却体64と絶縁する。この絶縁板56、58は、たとえば、アルミナなどの高熱伝導率を有するフィラーを含有しており、それぞれ電極板52、54からの熱を低熱抵抗で冷却体62、64へ伝熱する。

20

## 【0049】

モールド樹脂60は、たとえば、エポキシ樹脂であって、パワートランジスタQ1、ダイオードD1、電極板52、54、および絶縁板56、58を一体的に固定封止する。

## 【0050】

冷却体62、64は、たとえば、熱伝導率の高いアルミなどからなり、パワートランジスタQ1、ダイオードD1、電極板52、54、絶縁板56、58、およびモールド樹脂60からなる半導体モジュール50を両側から冷却する。冷却体62は、電極板52の形状に沿って絶縁板56に密接して設けられ、内部に冷却水路66を有する。冷却体64は、電極板54の形状に沿って絶縁板58に密接して設けられ、内部に冷却水路68を有する。そして、冷却体62における冷却水路66および冷却体64における冷却水路68も、それぞれ電極板52、54の形状に沿うように形成される。

30

## 【0051】

図4は、図2に示した電極板54のパワートランジスタQ1との接合部近傍の拡大図である。なお、電極板54のダイオードD1との接合部、ならびに電極板52のパワートランジスタQ1およびダイオードD1との接合部の構造も、この図4に示される電極板54のパワートランジスタQ1との接合部の構造と同じであり、この図4では、電極板54のパワートランジスタQ1との接合部が代表的に示されている。

40

## 【0052】

図4を参照して、ヒートシンクとして機能する電極板54において、パワートランジスタQ1の周辺部に対向する部分の厚みは、a1からなる。一方、パワートランジスタQ1の略中央部に対向する部分の厚みは、素子周辺部に対向する部分の厚みa1よりも薄いa2からなる。

## 【0053】

ここで、パワートランジスタQ1の略中央部に対向する部分の厚みをその周辺部よりも薄くしたのは、パワートランジスタQ1の温度分布を略中央部と周辺部とで均一化するためである。すなわち、パワートランジスタQ1の略中央部においては、その周辺部により

50



も発熱量が多いところ、パワートランジスタQ1の略中央部に対向する部分の厚みをその周辺部に対向する部分よりも薄くすることによってパワートランジスタQ1の略中央部から冷却体までの距離を短くし、それによって、パワートランジスタQ1の略中央部に対向する部分の熱抵抗を周辺部に対向する部分の熱抵抗よりも低く抑えて、パワートランジスタQ1の略中央部に対向する部分の冷却効果を高めたものである。これにより、パワートランジスタQ1の略中央部の温度と周辺部の温度との均一化が図られる。

【0054】

なお、パワートランジスタQ1の略中央部の冷却効果を高めるために、電極板54を一律に薄くすることも考えられる。しかしながら、パワートランジスタQ1からの熱は、図4に示すように電極板54へ放射状に拡散するため、仮にパワートランジスタQ1の周辺部においても電極板54の厚みを薄くすると、電極板54における熱の拡がり幅が小さくなり、かえって電極板54の熱抵抗の増大を招く。そこで、パワートランジスタQ1の周辺部においては、電極板54の厚みを確保するようにしたものである。

10

【0055】

また、電極板54を一律に薄くすることなく、パワートランジスタQ1の略中央部に対向する部分の厚みをその周辺部に対向する部分に対して薄くすることは、以下の理由により、冷却体64によるパワートランジスタQ1の冷却効果をさらに高める。すなわち、図3に示すように、冷却体64において、パワートランジスタQ1に対向する部分が電極板54の形状に沿って略球面状に形成され、その形状に沿って冷却水が流されることにより、パワートランジスタQ1に対向する部分における冷却水の流速が速くなる。さらに、冷却水の流れが一様でなくなることにより冷却水に乱流が発生し、冷却水路と冷却水との表面効果が向上する。これにより、冷却体64によるパワートランジスタQ1の冷却効果が向上する。

20

【0056】

なお、上記においては、電極板52, 54におけるパワートランジスタQ1およびダイオードD1に対向する部分の形状は、略球面状としたが、パワートランジスタQ1およびダイオードD1の略中央部において電極板52, 54の厚みが最も薄くなるような略双曲面状や略放物面状などであってもよい。そして、このような略球面状や、略双曲面状、略放物面状などのように面形状を流線形にすることは、冷却水の圧力損失を抑えて冷却効率の低下を抑制する。

30

【0057】

以上のように、この実施の形態1によれば、ヒートシンクとして機能する電極板52, 54において、パワートランジスタQ1およびダイオードD1の略中央部に対向する部分の厚みをその周辺部に対向する部分の厚みよりも薄くし、略中央部に対向する部分の熱抵抗を周辺部に対向する部分の熱抵抗よりも低くなるようにしたので、パワートランジスタQ1およびダイオードD1の略中央部がその周辺部に比べて効果的に冷却され、パワートランジスタQ1およびダイオードD1の温度分布を均一ができる。したがって、パワートランジスタQ1およびダイオードD1の有する能力を有効に利用することができる。

【0058】

また、電極板52の面形状に合わせて冷却体62, 64を形成したので、半導体モジュール50への冷却体62, 64の位置決めが容易となる。したがって、半導体モジュール50および冷却体62, 64からなる半導体装置の組付性が向上する。

40

【0059】

さらに、冷却体62, 64内の冷却水路66, 68も電極板52の面形状に合わせて形成したので、パワートランジスタQ1およびダイオードD1の略中央部に対向する部分における冷却水の流速が向上し、さらに、冷却水と冷却水路との間の表面効果も向上する。したがって、パワートランジスタQ1およびダイオードD1の冷却効率が向上する。

【0060】

また、さらに、電極板52, 54のパワートランジスタQ1およびダイオードD1に対向する部分の形状を、冷却体62, 64において冷却水が流される方向に沿って流線形に

50

なるようにしたので、冷却体 6 2 , 6 4 における冷却水の圧力損失が抑制される。したがって、冷却効率の低下が抑制される。

【 0 0 6 1 】

[ 実施の形態 2 ]

図 5 は、この発明の実施の形態 2 による半導体モジュールの構造を示す断面図である。なお、実施の形態 2 による半導体モジュールが用いられるインバータを含む負荷駆動装置の回路構成は、図 1 に示した負荷駆動装置 1 0 0 の回路構成と同じである。また、この実施の形態 2 においても、インバータの U , V , W 各相アームにおける上下各アームの構造は、全て同じであり、この図 5 では、インバータの U 相上アームの構造が代表的に示される。また、この図 5 は、実施の形態 1 で説明した図 2 に対応するものである。

10

【 0 0 6 2 】

図 5 を参照して、この半導体モジュール 5 0 A は、図 2 に示した実施の形態 1 における半導体モジュール 5 0 の構成において、電極板 5 2 , 5 4 および絶縁板 5 6 , 5 8 に代えて、電極板 5 2 A , 5 4 A および絶縁板 5 6 A , 5 8 A を含む。

【 0 0 6 3 】

電極板 5 2 A は、冷却体 6 2 A に対向する面の形状が図 2 に示した実施の形態 1 における電極板 5 2 の形状と異なり、冷却体 6 2 A に対向する面において、パワートランジスタ Q 1 およびダイオード D 1 に対向する部分が略円柱曲面状に形成されている。すなわち、この半導体モジュール 5 0 A の断面 A - A の断面図は、図 3 に示される断面形状を有しており、パワートランジスタ Q 1 およびダイオード D 1 に対向する部分において、冷却体 6 2 A 内で冷却水が流される方向に略円柱曲面が形成される。

20

【 0 0 6 4 】

また、電極板 5 4 A も、電極板 5 2 A と同様の形状を有し、パワートランジスタ Q 1 およびダイオード D 1 に対向する部分において、冷却体 6 4 A 内で冷却水が流される方向に略円柱曲面が形成される。

【 0 0 6 5 】

絶縁板 5 6 A は、電極板 5 2 A の冷却体 6 2 A との対向面に沿って電極板 5 2 A と冷却体 6 2 A との間に設けられる。絶縁板 5 8 A は、電極板 5 4 A の冷却体 6 4 A との対向面に沿って電極板 5 4 A と冷却体 6 4 A との間に設けられる。

【 0 0 6 6 】

なお、図 5 に示されるように、電極板 5 2 A , 5 4 A における凹部の幅は、パワートランジスタ Q 1 およびダイオード D 1 の素子幅内に収まることが好ましい。これは、上述したように、パワートランジスタ Q 1 およびダイオード D 1 の略中央部の冷却効果を高めつつ、パワートランジスタ Q 1 およびダイオード D 1 からの熱を電極板 5 2 A , 5 4 A においてより広い領域に拡散させ、電極板 5 2 A , 5 4 A の熱抵抗を低減させるためである。

30

【 0 0 6 7 】

そして、冷却体 6 2 A は、電極板 5 2 A の形状に沿って絶縁板 5 6 A に密接して設けられ、冷却体 6 4 A は、電極板 5 4 A の形状に沿って絶縁板 5 8 A に密接して設けられる。

【 0 0 6 8 】

この半導体モジュール 5 0 A においても、ヒートシンクとして機能する電極板 5 2 A , 5 4 A において、パワートランジスタ Q 1 およびダイオード D 1 の略中央部に対向する部分の厚みが、その周辺部に対向する部分の厚みよりも薄い。したがって、パワートランジスタ Q 1 およびダイオード D 1 の各々において、素子周辺部に比べて略中央部が効果的に冷却され、素子の略中央部と周辺部との温度分布の均一化が図られる。

40

【 0 0 6 9 】

また、冷却体 6 2 A , 6 4 A において、パワートランジスタ Q 1 およびダイオード D 1 に対向する部分が電極板 5 2 A , 5 4 A の形状に沿って略円柱曲面状に形成され、その形状に沿って冷却水が流されることにより、パワートランジスタ Q 1 およびダイオード D 1 に対向する部分における冷却水の流速が速くなる。さらに、冷却水の乱流効果により、冷却水路と冷却水との表面効果も向上する。これにより、冷却体 6 2 A , 6 4 A によるパワ

50

ートランジスタQ 1 およびダイオードD 1 の冷却効果が向上する。

【0070】

以上のように、この実施の形態2によっても、実施の形態1と同様の効果を得ることができる。

【0071】

なお、この発明による半導体モジュールにおける電極板（ヒートシンク）の形状は、上記の各実施の形態1, 2の形状に限られるものではない。たとえば、図6に示すように、電極板（ヒートシンク）の冷却体との対向面において、パワートランジスタ（ダイオード）に対向する部分が略円錐形状に形成されてもよいし、図7に示すように、電極板（ヒートシンク）の冷却体との対向面において、パワートランジスタ（ダイオード）と対向する部分が略矩形に形成されてもよい。

10

【0072】

〔実施の形態3〕

図8は、この発明の実施の形態3による半導体装置の構造を示す断面図である。図8を参照して、この半導体装置51は、パワートランジスタQ1と、ダイオードD1と、電極板52D, 54Dと、絶縁板56D, 58Dと、モールド樹脂60と、冷却体62D, 64Dとを含む。

【0073】

電極板52D, 54Dは、パワートランジスタQ1およびダイオードD1を両側から挟み込むようにして設けられる。この実施の形態3における電極板52D, 54Dは、図2に示した実施の形態1における電極板52, 54のような形状は有しておらず、一般的な平板形状から成る。この電極板52D, 54Dも、電極板52, 54と同様に、導電率および熱伝導率の高い部材からなり、たとえば銅から成る。そして、電極板52D, 54Dは、電極として機能するとともに、パワートランジスタQ1およびダイオードD1からの熱を冷却体62D, 64Dへそれぞれ伝熱するヒートシンクとして機能する。

20

【0074】

絶縁板56Dは、電極板52Dと冷却体62Dとの間に設けられ、電極板52Dを冷却体62Dと絶縁する。絶縁板58Dは、電極板54Dと冷却体64Dとの間に設けられ、電極板54Dを冷却体64Dと絶縁する。

【0075】

冷却体62Dは、複数の冷却水路66Dおよび各々が板状の複数の放熱フィン67を有するマイクロチャネル冷却器から成る。冷却体62Dは、絶縁板56Dに密接して設けられる。すなわち、冷却体62Dの絶縁板56Dとの接触面は、電極板52Dの形状に沿った平面形状である。冷却体64Dは、複数の冷却水路68Dおよび複数の放熱フィン69を有するマイクロチャネル冷却器から成る。冷却体64Dは、絶縁板58Dに密接して設けられる。すなわち、冷却体64Dの絶縁板58Dとの接触面は、電極板54Dの形状に沿った平面形状である。

30

【0076】

ここで、この冷却体62D（または64D）においては、複数の放熱フィン67（または69）は、パワートランジスタQ1およびダイオードD1の各々（以下、単に「パワー素子」とも称する。）の中央部近傍に対向する部分の配置間隔がパワー素子の周辺部に対向する部分の配置間隔よりも狭くなるように配設される。すなわち、パワー素子の中央部近傍に対向する部分の配置密度がパワー素子の周辺部に対向する部分の配置密度よりも高くなるように配設される。

40

【0077】

したがって、この冷却体62D, 64Dにおいては、パワー素子の中央部近傍に対向する部分の放熱フィンによる放熱面積がパワー素子の周辺部に対向する部分の放熱フィンによる放熱面積よりも大きいので、パワー素子の中央部近傍の方がその周辺部よりも放熱性に優れる。つまり、パワー素子の中央部近傍の方がその周辺部よりも冷却効果が高い。これにより、パワー素子の中央部近傍の温度とその周辺部の温度との均一化を図ることがで

50

きる。

【0078】

以上のように、この実施の形態3によれば、パワー素子の中央部近傍がその周辺部よりも効果的に冷却される。したがって、パワー素子の温度分布を均一化することができる。その結果、パワー素子内における電流密度を均一化することができ、パワー素子の能力を十分に発揮させることができる。

【0079】

また、パワー素子の温度分布が均一化されることによって、パワー素子内やパワー素子を電極と接合する半田などの接合材（図示せず）などに応力が発生するのを抑制し、パワー素子や接合材の劣化を抑制することができる。

10

【0080】

さらに、冷却体62D、64Dにおいて、パワー素子の周辺部に対向する部分およびパワー素子の非対向部分における放熱フィンを減らすことができるので、部品コストを低減できる。また、さらに、放熱フィンを減らすことにより、冷却水路66D、68Dを流れる冷却水の圧力損失を低減でき、パワー素子の冷却効率も向上する。

【0081】

[実施の形態4]

図9は、この発明の実施の形態4による半導体装置における冷却体の構造を示す断面図である。この図9では、この実施の形態4による半導体装置の特徴を示す関係上、冷却体のパワー素子と対向する面に平行な冷却体の断面構造が示される。なお、図9では、パワートランジスタQ1と対向する部分近傍の構造が代表的に示されるが、ダイオードD1と対向する部分の構造も同じである。

20

【0082】

図9を参照して、この実施の形態4による半導体装置51Aにおける冷却体62Eは、複数の冷却水路66E、各々が板状の複数の放熱フィン67Aおよび複数のピンフィン70を有するマイクロチャネル冷却器から成る。

【0083】

複数のピンフィン70は、パワートランジスタQ1の中央部近傍に対向する部分に配設される。各ピンフィン70は、ピン状（棒状）の放熱体であり、冷却体のパワー素子と対向する面に略垂直な方向（図9では紙面法線方向）に伸びるように配設される。そして、パワートランジスタQ1の周辺部に対向する部分には、板状の放熱フィン67Aが配設される。

30

【0084】

複数のピンフィン70は、板状の放熱フィン67Aが同面積に配設される場合よりも冷却水との接触面積を大きくとることができる。したがって、この冷却体62Eにおいては、複数のピンフィン70に対向するパワートランジスタQ1の中央部近傍の方がその周辺部よりも放熱性に優れる。つまり、パワートランジスタQ1の中央部近傍の方がその周辺部よりも冷却効果が高い。これにより、パワートランジスタQ1の中央部近傍の温度とその周辺部の温度との均一化を図ることができる。

【0085】

なお、パワートランジスタQ1と同様に、ダイオードD1の中央部近傍の温度とその周辺部の温度との均一化も図られる。

40

【0086】

以上のように、この実施の形態4によっても、パワー素子の温度分布を均一化することができる。その結果、パワー素子内における電流密度を均一化することができ、パワー素子の能力を十分に発揮させることができる。

【0087】

[実施の形態5]

図10は、この発明の実施の形態5による半導体装置の構造を示す断面図である。図10を参照して、この半導体モジュール51Bは、図8に示した実施の形態3における半導

50

体装置 5 1 の構成において、冷却体 6 2 D , 6 4 D に代えてそれぞれ冷却体 6 2 F , 6 4 F を含む。

【 0 0 8 8 】

冷却体 6 2 F は、複数の冷却水路 6 6 F および各々が板状の複数の放熱フィン 6 7 B , 6 7 C を有するマイクロチャネル冷却器から成る。冷却体 6 2 F は、絶縁板 5 6 D に密接して設けられる。すなわち、冷却体 6 2 F の絶縁板 5 6 D との接触面は、電極板 5 2 D の形状に沿った平面形状である。

【 0 0 8 9 】

放熱フィン 6 7 B は、パワー素子の中央部近傍に対向する部分に配設される。放熱フィン 6 7 C は、パワー素子の周辺部に対向する部分を含むその他の部分に配設される。放熱フィン 6 7 B は、表面に凹凸形状を有しており、たとえば、表面にさらに細かなフィンが設けられる。これにより、放熱フィン 6 7 B は、放熱フィン 6 7 C よりも高い放熱性を有する。

【 0 0 9 0 】

冷却体 6 4 F は、複数の冷却水路 6 8 F および各々が板状の複数の放熱フィン 6 9 B , 6 9 C を有するマイクロチャネル冷却器である。冷却体 6 4 F の構成は、冷却体 6 2 F と同様である。すなわち、パワー素子の中央部近傍に対向する部分に配設される放熱フィン 6 9 B は、パワー素子の周辺部に対向する部分を含むその他の部分に配設される放熱フィン 6 9 C よりも高い放熱性を有する。

【 0 0 9 1 】

したがって、この冷却体 6 2 F , 6 4 F においても、パワー素子の中央部近傍の方がその周辺部よりも冷却効果が高い。これにより、パワー素子の中央部近傍の温度とその周辺部の温度との均一化を図ることができる。

【 0 0 9 2 】

以上のように、この実施の形態 5 によっても、パワー素子の温度分布を均一化することができる。その結果、パワー素子内における電流密度を均一化することができ、パワー素子の能力を十分に発揮させることができる。

【 0 0 9 3 】

[ 実施の形態 6 ]

図 1 1 は、この発明の実施の形態 6 による半導体装置の構造を示す断面図である。図 1 1 を参照して、この半導体装置 5 1 C は、図 2 に示した実施の形態 1 による半導体モジュール 5 0 と、冷却体 6 2 G , 6 4 G とを含む。

【 0 0 9 4 】

冷却体 6 2 G は、複数の冷却水路 6 6 G および各々が板状の複数の放熱フィン 6 7 D を有するマイクロチャネル冷却器から成る。冷却体 6 2 G は、電極板 5 2 の形状に沿って絶縁板 5 6 に密接して設けられる。冷却体 6 4 G は、複数の冷却水路 6 8 G および各々が板状の複数の放熱フィン 6 9 D を有するマイクロチャネル冷却器から成る。冷却体 6 4 G は、電極板 5 4 の形状に沿って絶縁板 5 8 に密接して設けられる。

【 0 0 9 5 】

ここで、複数の放熱フィン 6 7 D ( または 6 9 D ) は、パワー素子の中央部近傍に対向する部分の配置間隔がパワー素子の周辺部に対向する部分の配置間隔よりも狭くなるように配設される。すなわち、パワー素子の中央部近傍に対向する部分の配置密度がパワー素子の周辺部に対向する部分の配置密度よりも高くなるように配設される。

【 0 0 9 6 】

したがって、この半導体装置 5 1 C においては、パワー素子の中央部近傍に対向する部分において、電極板 5 2 , 5 4 の厚みをパワー素子の周辺部に対向する部分の厚みよりも薄くしたことによる効果と、冷却体 6 2 G , 6 4 G の放熱面積をパワー素子の周辺部に対向する部分よりも大きくしたことによる効果との相乗効果によって、パワー素子の中央部近傍をその周辺部に比べてより効果的に冷却することができる。

【 0 0 9 7 】

10

20

30

40

50

以上のように、この実施の形態 6 によれば、電極板 5 2 , 5 4 の形状および冷却体 6 2 D , 6 4 D における放熱フィンの構成を上記のようにすることによって、パワー素子の中央部近傍の冷却効果をさらに高めることができる。したがって、中央部近傍と周辺部との温度差が特に大きいパワー素子においても、パワー素子の温度分布を均一化することができる。

【 0 0 9 8 】

[ 実施の形態 7 ]

図 1 2 は、この発明の実施の形態 7 による半導体装置の構造を示す断面図である。図 1 2 を参照して、この半導体装置 5 1 D は、図 2 に示した実施の形態 1 による半導体モジュール 5 0 と、冷却体 6 2 H , 6 4 H とを含む。

10

【 0 0 9 9 】

冷却体 6 2 H は、複数の冷却水路 6 6 H および各々が板状の複数の放熱フィン 6 7 E , 6 7 F を有するマイクロチャネル冷却器から成る。冷却体 6 2 H は、電極板 5 2 の形状に沿って絶縁板 5 6 に密接して設けられる。放熱フィン 6 7 E は、パワー素子の中央部近傍に対向する部分に配設される。放熱フィン 6 7 F は、パワー素子の周辺部に対向する部分を含むその他の部分に配設される。放熱フィン 6 7 E は、表面に凹凸形状を有しており、たとえば、表面にさらに細かなフィンが設けられる。これにより、放熱フィン 6 7 E は、放熱フィン 6 7 F よりも高い放熱性を有する。

【 0 1 0 0 】

冷却体 6 4 H は、複数の冷却水路 6 8 H および各々が板状の複数の放熱フィン 6 9 E , 6 9 F を有するマイクロチャネル冷却器から成る。冷却体 6 4 H は、電極板 5 4 の形状に沿って絶縁板 5 8 に密接して設けられる。冷却体 6 4 H の構成は、冷却体 6 2 H と同様である。すなわち、パワー素子の中央部近傍に対向する部分に配設される放熱フィン 6 9 E は、表面に凹凸形状を有しており、パワー素子の周辺部に対向する部分を含むその他の部分に配設される放熱フィン 6 9 F よりも高い放熱性を有する。

20

【 0 1 0 1 】

したがって、この半導体装置 5 1 D においても、実施の形態 6 による半導体装置 5 1 C と同様に、電極板 5 2 , 5 4 の各々の厚み差による効果と冷却体 6 2 H , 6 4 H の各々における放熱フィンの放熱面積差による効果とによって、パワー素子の中央部近傍をその周辺部に比べてより効果的に冷却することができる。

30

【 0 1 0 2 】

以上のように、この実施の形態 7 によっても、パワー素子の中央部近傍の冷却効果がその周辺部の冷却効果に比べてさらに高められる。したがって、中央部近傍と周辺部との温度差が特に大きいパワー素子においても、パワー素子の温度分布を均一化することができる。

【 0 1 0 3 】

なお、上記においては、半導体モジュールは、両面冷却型であり、パワー素子（パワートランジスタおよびダイオード）が電極板によって両側から挟み込まれるものとしたが、この発明の適用範囲は、両面冷却型の半導体モジュールに限定されるものではなく、片面冷却の半導体モジュールにも適用可能である。

40

【 0 1 0 4 】

また、両面冷却型の半導体モジュールにおいて、パワー素子の略中央部において厚みを薄くした電極板を片面の電極板のみに適用したものであってもよい。

【 0 1 0 5 】

さらに、上記においては、半導体モジュールは、液冷型の冷却体によって冷却されるものとしたが、この発明の適用範囲は、冷却体が液冷型のものに限定されるものではなく、冷却体が空冷型のものであってもよい。

【 0 1 0 6 】

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。本発明の範囲は、上記した実施の形態の説明ではなくて特許請求の範

50

囲によって示され、特許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。

【図面の簡単な説明】

【0107】

【図1】この発明の実施の形態1による半導体モジュールが用いられるインバータを含む負荷駆動装置の概略ブロック図である。

【図2】図1に示すインバータのU相上アームを構成する半導体モジュールの構造を示す断面図である。

【図3】図2に示す半導体モジュールの断面III-IIIの断面図である。

【図4】図2に示す電極板のパワートランジスタとの接合部近傍の拡大図である。

10

【図5】この発明の実施の形態2による半導体モジュールの構造を示す断面図である。

【図6】この発明による半導体モジュールの他の構造を示す断面図である。

【図7】この発明による半導体モジュールのさらに他の構造を示す断面図である。

【図8】この発明の実施の形態3による半導体装置の構造を示す断面図である。

【図9】この発明の実施の形態4による半導体装置における冷却体の構造を示す断面図である。

【図10】この発明の実施の形態5による半導体装置の構造を示す断面図である。

【図11】この発明の実施の形態6による半導体装置の構造を示す断面図である。

【図12】この発明の実施の形態7による半導体装置の構造を示す断面図である。

【符号の説明】

20

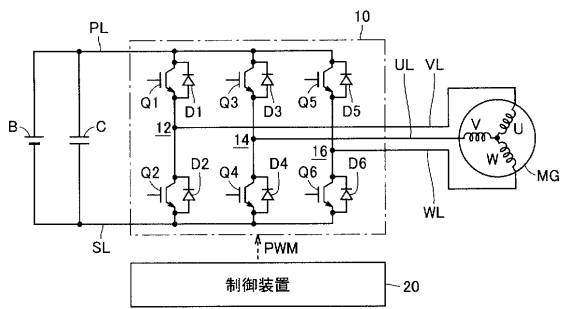
【0108】

10 インバータ、12 U相アーム、14 V相アーム、16 W相アーム、20 制御装置、50, 50A 半導体モジュール、51, 51A~51D 半導体装置、52, 52A, 52D, 54, 54A~54D 電極板、53, 55 端子、56, 56A, 56D, 58, 58A~58D 絶縁板、60 モールド樹脂、62, 62A, 62D~62H, 64, 64A~64H 冷却体、66, 66A, 66D~66H, 68, 68A, 68D~68H 冷却水路、67, 67A~67F, 69, 69A~69F 放熱フィン、70 ピンフィン、B バッテリ、C コンデンサ、MG モータジェネレータ、Q1~Q6 パワートランジスタ、D1~D6 ダイオード、PL 電源ライン、SL 接地ライン、UL U相ライン、VL V相ライン、WL W相ライン。

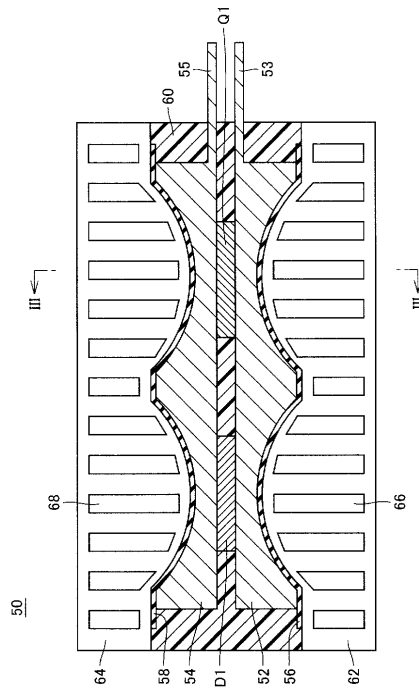
30

【図 1】

100

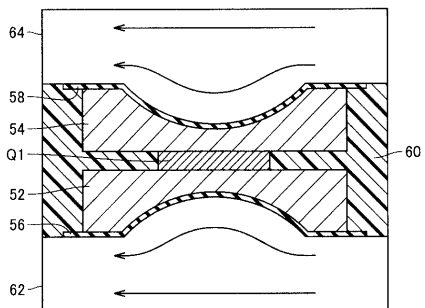


【図 2】

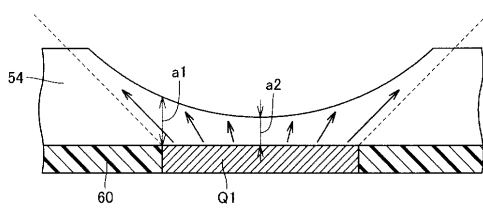


【図 3】

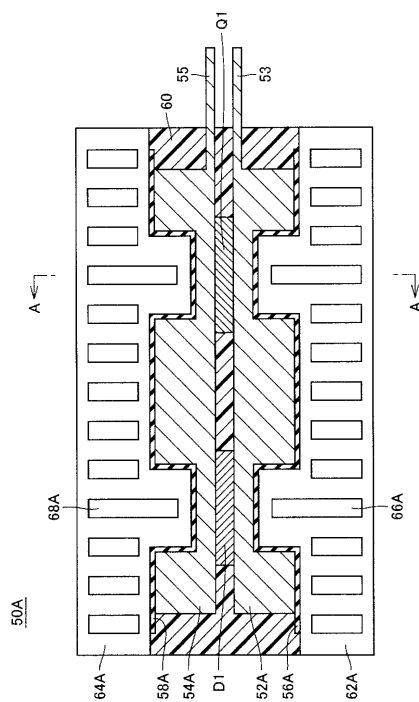
50



【図 4】

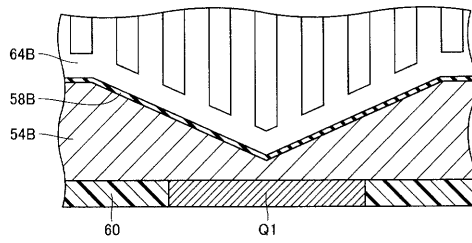


【図 5】

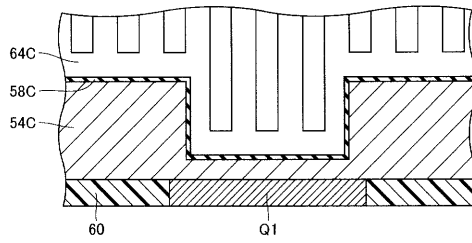




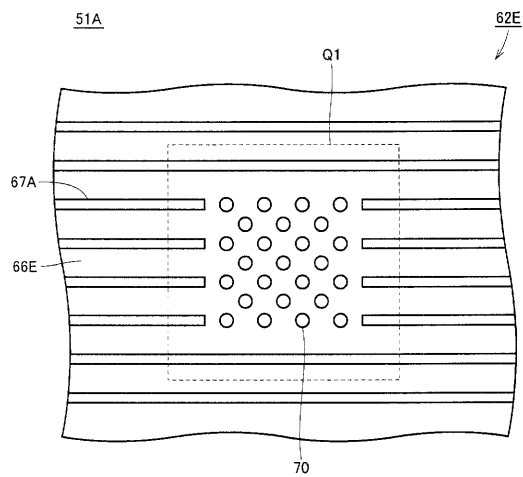
【 図 6 】



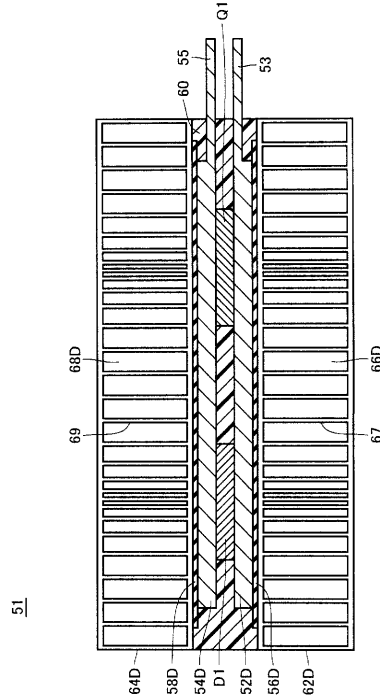
【 図 7 】



【 図 9 】



【 図 8 】



【 図 10 】

