

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5565459号  
(P5565459)

(45) 発行日 平成26年8月6日(2014.8.6)

(24) 登録日 平成26年6月27日(2014.6.27)

(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 10 (全 41 頁)

(21) 出願番号	特願2012-511698 (P2012-511698)	(73) 特許権者	000005234
(86) (22) 出願日	平成23年4月21日 (2011.4.21)		富士電機株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2011/059831		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	W02011/132736	(74) 代理人	100092152
(87) 国際公開日	平成23年10月27日 (2011.10.27)		弁理士 服部 毅巖
審査請求日	平成24年10月3日 (2012.10.3)	(72) 発明者	郷原 広道
(31) 優先権主張番号	特願2010-97911 (P2010-97911)		神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
(32) 優先日	平成22年4月21日 (2010.4.21)		富士電機株式会社内
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	市村 武
			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	両角 朗
			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】 半導体モジュール及び冷却器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

冷却器を構成するウォータージャケットに外部から冷媒を供給して、前記冷却器の外面に配置された半導体素子を冷却する半導体モジュールにおいて、

前記半導体素子と熱的に接続されたヒートシンクと、

前記ウォータージャケット内に、冷媒導入口から延在され、かつ前記ヒートシンクの一の側面に向かって前記冷媒を誘導するための傾斜した一の面、及び他の面を少なくとも有するガイド部が配置された第1流路と、

前記第1流路と並列して前記ウォータージャケット内に配置され、冷媒排出口に延在され、かつ前記ヒートシンクの他の側面に平行な側壁が形成された第2流路と、

前記ウォータージャケット内の前記第1流路と前記第2流路とを連通する位置に形成され、前記ヒートシンクが配置された第3流路と、

を備え、

前記ガイド部の前記他の面は、前記ヒートシンクの前記一の側面に対し平行であり、前記第1流路の終端部近傍で凹形状が形成されていることを特徴とする半導体モジュール。

【請求項2】

冷却器を構成するウォータージャケットに外部から冷媒を供給して、前記冷却器の外面に配置された半導体素子を冷却する半導体モジュールにおいて、

前記半導体素子と熱的に接続されたヒートシンクと、

前記ウォータージャケット内に、冷媒導入口から延在され、かつ前記ヒートシンクの一

10

20

の側面に向かって前記冷媒を誘導するための傾斜した一の面、及び他の面を少なくとも有するガイド部が配置された第1流路と、

前記第1流路と並列して前記ウォータージャケット内に配置され、冷媒排出口に延在され、かつ前記ヒートシンクの他の側面に平行な側壁が形成された第2流路と、

前記ウォータージャケット内の前記第1流路と前記第2流路とを連通する位置に形成され、前記ヒートシンクが配置された第3流路と、

を備え、

前記ガイド部は、前記第1流路内で前記ヒートシンクに対向する面から離間した位置に配置された複数の傾斜角度を有する傾斜部材によって形成されていることを特徴とする半導体モジュール。

10

【請求項3】

前記冷却器は、その外面に前記冷媒の導入方向に沿って発熱特性の異なる複数の半導体素子が配置され、

前記ガイド部は、前記第1流路内で前記冷媒導入口から当該発熱特性が最高である半導体素子の配置領域に至る傾斜角度が最大になるよう形成されていることを特徴とする請求項2記載の半導体モジュール。

【請求項4】

前記ガイド部が、前記第1流路の底面から階段状に形成されていることを特徴とする請求項2記載の半導体モジュール。

【請求項5】

20

前記ヒートシンクの一の側面に向かって前記冷媒を誘導するよう傾斜した一の面と、他の面とを少なくとも有する第2のガイド部が、前記ガイド部の上面に重ねてガイド壁に沿って配置され、前記ガイド部の一の面の傾斜角度と前記第2のガイド部の一の面の傾斜角度が互いに異なることを特徴とする請求項4記載の半導体モジュール。

【請求項6】

前記ガイド部の一の面と他の面で挟まれる角部が、前記第2のガイド部の一の面と他の面とからなる角部より前記冷媒導入口側に位置することを特徴とする請求項5記載の半導体モジュール。

【請求項7】

前記ヒートシンクの一の側面に向かって前記冷媒を誘導するよう傾斜した一の面と、他の面とを少なくとも有する第3のガイド部が、前記ガイド部の上面に重ねてガイド壁に対して離間した位置に配置されたことを特徴とする請求項4記載の半導体モジュール。

30

【請求項8】

前記ガイド部及び第3のガイド部は、各々の段差間あるいは前記冷媒の導入方向にそれぞれ連続する曲面によって接続されていることを特徴とする請求項7記載の半導体モジュール。

【請求項9】

ウォータージャケットに外部から冷媒を供給して、その外面に配置された半導体素子を冷却する冷却器において、

前記半導体素子と熱的に接続されたヒートシンクと、

40

前記ウォータージャケット内に、冷媒導入口から延在され、かつ前記ヒートシンクの一の側面に向かって前記冷媒を誘導するための傾斜した一の面、及び他の面を少なくとも有するガイド部が配置された第1流路と、

前記第1流路と並列して前記ウォータージャケット内に配置され、冷媒排出口に延在され、かつ前記ヒートシンクの他の側面に平行な側壁が形成された第2流路と、

前記ウォータージャケット内の前記第1流路と前記第2流路とを連通する位置に形成され、前記ヒートシンクが配置された第3流路と、

を備え、

前記ガイド部の前記他の面は、前記ヒートシンクの前記一の側面に対し平行であり、前記第1流路の終端部近傍で凹形状が形成されていることを特徴とする冷却器。

50

## 【請求項 10】

ウォータージャケットに外部から冷媒を供給して、その外面に配置された半導体素子を冷却する冷却器において、

前記半導体素子と熱的に接続されたヒートシンクと、

前記ウォータージャケット内に、冷媒導入口から延在され、かつ前記ヒートシンクの側の側面に向かって前記冷媒を誘導するための傾斜した一の面、及び他の面を少なくとも有するガイド部が配置された第1流路と、

前記第1流路と並列して前記ウォータージャケット内に配置され、冷媒排出口に延在され、かつ前記ヒートシンクの他の側面に平行な側壁が形成された第2流路と、

前記ウォータージャケット内の前記第1流路と前記第2流路とを連通する位置に形成され、前記ヒートシンクが配置された第3流路と、

を備え、

前記ガイド部は、前記第1流路内で前記ヒートシンクに対向する面から離間した位置に配置された複数の傾斜角度を有する傾斜部材によって形成されていることを特徴とする冷却器。

10

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、半導体素子を冷却するための冷却器、及び冷却器を構成するウォータージャケットに外部から冷媒を供給して、冷却器の外面に配置された半導体素子を冷却する半導体モジュールに関する。

20

## 【背景技術】

## 【0002】

ハイブリッド自動車や電気自動車等の電気システムに代表される電力変換装置には、広く半導体モジュールが利用されている。省エネルギーのための制御装置を構成する半導体モジュールでは、大電流を制御するためにパワー半導体素子を備えている。

## 【0003】

こうしたパワー半導体素子は、大電流を制御する際の発熱量が増大する傾向にあって、とくにパワー半導体素子の小型化や高出力化が進むにつれて発熱量が非常に大きくなる。そこで、パワー半導体素子を複数備えた半導体モジュールでは、その冷却方法が大きな問題となる。

30

## 【0004】

半導体モジュールには、従来から一般に液冷式の冷却装置が用いられているが、半導体モジュールの冷却効率を向上させるうえでは、パワー半導体素子を効率よく冷却する必要がある。液冷式の冷却装置は、その冷却効率を向上させるために冷媒流量を増加する、放熱用のフィン（冷却体）を熱伝達率のよい形状とする、あるいはフィンを構成する材料の熱伝導率を高めるなど、様々な工夫がなされていた。

## 【0005】

ところで、冷却装置への冷媒流量を増加し、あるいは熱伝達率のよいフィン形状を採用する場合、装置内部で冷媒の圧力損失が増加するなどの不都合が生じやすい。とくに、複数のヒートシンクを用いて多数のパワー半導体素子を冷却する冷却装置では、冷媒の流路を直列接続する流路形状であると、冷媒に対する圧力損失の増加が顕著となる。冷媒の圧力損失を低減するには、少ない冷媒流量で冷却効率を高めるような冷却装置を構成することが理想的である。しかし、冷却装置を構成するフィン材料の熱伝導率を改善するために、新たなフィン材料を採用することとすれば、装置全体のコストアップに繋がるおそれがあった。

40

## 【0006】

そこで、近年の冷却装置では冷媒を導入するための冷媒導入流路と、それを排出するための冷媒排出流路とを互いに平行に並べ、それらの間で略直交する冷媒の流通方向に複数

50

のヒートシンクを配置するものが考えられている（特許文献 1～7 参照）。その場合、ヒートシンクを構成する各フィンの間を冷媒が並列に流れるようになって、圧力損失当たりの冷却性能を高くすることができ、また流路内での冷媒の圧力損失を低減できる（特許文献 5 参照）。

【 0 0 0 7 】

また、特許文献 6 には、ケーシングの後側壁の全体が、右側壁側から左側壁側に向かって前側に滑らかに傾斜しており、入口ヘッダ部の流路断面積が、冷却液入口側から左側壁側に向かって小さくなっている液冷式冷却装置が記載されている（段落番号 [ 0 0 2 4 ]、[ 0 0 3 1 ]、及び図 2 参照）。また、特許文献 3 には、冷媒を導入し排出する接続水路がモジュールの同一側面に配置され、各々の流路が断面積の変化なくフィンと直交方向に配置された液冷式冷却装置が記載されている（図 1 参照）。

10

【 0 0 0 8 】

また、特許文献 7 には、コンピュータ電子素子等に用いられるヒートシンク装置が記載されている。ここでは、複数の流路に向かう側の流入案内板の形状が流入口から遠くなるほど複数の流路側に凸面の曲線状に傾くように設けられていて、流入案内板の断面積が流入口から遠くなるほど順次狭くなっており、かつ、流出案内板の形状も流入案内板の形状と同一である（段落番号 [ 0 0 3 0 ]、及び図 6 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 9 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 1 - 3 5 9 8 1 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 7 - 1 2 7 2 2 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 8 - 2 0 5 3 7 1 号公報

【特許文献 4】特開 2 0 0 8 - 2 5 1 9 3 2 号公報

【特許文献 5】特開 2 0 0 6 - 8 0 2 1 1 号公報

【特許文献 6】特開 2 0 0 9 - 2 3 1 6 7 7 号公報

【特許文献 7】特開 2 0 0 6 - 2 9 5 1 7 8 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 0 】

しかし、これまでの冷却技術では、ヒートシンクや冷媒流路の形状、発熱素子の配置方法、あるいは冷媒の導入口、排出口の形状等に起因して、冷媒が偏って流れる偏流分布が生じる。従来の冷却装置では、こうした偏流分布は冷却性能に偏りをもたらすことから、均一かつ安定した冷却性能を得ることができなかつた。しかも、冷媒の排出口側と対極する位置に配置された半導体素子の発熱温度だけが顕著に上昇する等の不都合も生じるため、素子寿命が低下し、あるいは故障などが発生しやすいという問題があった。

30

【 0 0 1 1 】

また、特許文献 6、特許文献 7 に開示された冷却装置のように、入口ヘッダ部の流路断面積が、その延在する方向に向かって小さくなっているものでは、その流量分布に改善の傾向は見られるものの、冷媒の導入口近傍の温度上昇を抑制するには至っていない。

40

【 0 0 1 2 】

本発明は、このような点に鑑みてなされたものであり、冷媒の流路に生じる偏流を解消し、とくに冷媒の導入口近傍での流速を向上させて、その温度上昇を抑制することで半導体素子を均一かつ安定に冷却し、半導体素子の発熱による誤動作や破壊を確実に防止できる半導体モジュールを提供することを目的とする。

【 0 0 1 3 】

また、本発明は、半導体素子を効果的に冷却することのできる冷却器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 】

50

本発明では、上記問題を解決するために、冷却器を構成するウォータージャケットに外部から冷媒を供給して、前記冷却器の外面に配置された半導体素子を冷却する半導体モジュールが提供される。この半導体モジュールは、前記半導体素子と熱的に接続されたヒートシンクと、前記ウォータージャケット内に、冷媒導入口から延在され、かつ前記ヒートシンクの一の側面に向かって前記冷媒を誘導するための傾斜した一の面、及び他の面を少なくとも有するガイド部が配置された第1流路と、前記第1流路と並列して前記ウォータージャケット内に配置され、冷媒排出口に延在され、かつ前記ヒートシンクの他の側面に平行な側壁が形成された第2流路と、前記ウォータージャケット内の前記第1流路と前記第2流路とを連通する位置に形成され、前記ヒートシンクが配置された第3流路と、を備え、前記ガイド部の前記他の面は、前記ヒートシンクの前記一の側面に対し平行であり、前記第1流路の終端部近傍で凹形状が形成されていることを特徴とする。

10

## 【0015】

また、本発明の冷却器では、ウォータージャケットに外部から冷媒を供給して、その外面に配置された半導体素子を冷却する場合に、前記半導体素子と熱的に接続されたヒートシンクと、前記ウォータージャケット内に、冷媒導入口から延在され、かつ前記ヒートシンクの一の側面に向かって前記冷媒を誘導するための傾斜した一の面、及び他の面を少なくとも有するガイド部が配置された第1流路と、前記第1流路と並列して前記ウォータージャケット内に配置され、冷媒排出口に延在され、かつ前記ヒートシンクの他の側面に平行な側壁が形成された第2流路と、前記ウォータージャケット内の前記第1流路と前記第2流路とを連通する位置に形成され、前記ヒートシンクが配置された第3流路と、を備え、前記ガイド部の前記他の面は、前記ヒートシンクの前記一の側面に対し平行であり、前記第1流路の終端部近傍で凹形状が形成されていることを特徴とする。

20

## 【発明の効果】

## 【0016】

本発明の半導体モジュールによれば、ヒートシンクの一の側面に向かって冷媒を誘導するよう、冷媒導入路の断面積を排出路より小さくすることで、第1流路からヒートシンクに流入する冷媒の流速を調整できる。したがって、冷却器の外面に配置された半導体素子を効果的に冷却でき、半導体素子の安定した動作が可能になる。

## 【0017】

本発明の上記及び他の目的、特徴及び利点は本発明の例として好ましい実施の形態を表す添付の図面と関連した以下の説明により明らかになるであろう。

30

## 【図面の簡単な説明】

## 【0018】

【図1】本発明の半導体モジュールの一例を示す断面模式図である。

【図2】半導体モジュールの外観を示す斜視図である。

【図3】冷却器のウォータージャケットの要部構成を示す斜視図である。

【図4】2通りのフィンの形状を説明する図であって、(A)はブレードフィンを示す斜視図、(B)はコルゲートフィンを示す斜視図である。

【図5】半導体モジュールとして構成される電力変換回路の一例を示す図である。

【図6】従来の半導体モジュールの第1変形例を説明する図であって、(A)は回路素子の配置例を示す斜視図、(B)は冷却器のウォータージャケットの要部構成を示す斜視図である。

40

【図7】図6の半導体モジュールにおける冷媒の流速を回路基板の位置別に示す図である。

【図8】従来の半導体モジュールの第2変形例を説明する図であって、(A)は回路素子の配置例を示す斜視図、(B)は冷却器のウォータージャケットの要部構成を示す斜視図である。

【図9】図8の半導体モジュールにおける流路の形状を示す平面図である。

【図10】冷却器の一般的な冷却性能を説明する図であって、(A)は冷媒の流速と圧力との関係を模式的に示す図、(B)は冷媒の流速と素子温度の関係を模式的に示す図である

50

。【図 1 1】本発明の半導体モジュールにおける流路の形状を説明する図であって、(A) は冷却器のウォータージャケットの平面図、(B) はガイド部形状のタイプ別の説明図である。

【図 1 2】図 1 1 の半導体モジュールにおけるガイド部形状毎の冷媒の流速を回路基板の位置別に示す図である。

【図 1 3】図 1 1 の半導体モジュールにおけるガイド部形状毎の冷媒の流速を回路基板の位置別に示す図である。

【図 1 4】図 1 1 のウォータージャケットの性能を説明する図であって、(A) は回路素子の配置例を示す図、(B) は定常運転時の発熱 (B 1 列下流側) を示す図である。

10

【図 1 5】図 1 1 のウォータージャケットの性能を説明する図であって、(A) は回路素子の配置例を示す図、(B) は定常運転時の発熱 (B 4 列下流側) を示す図である。

【図 1 6】図 1 1 のウォータージャケットの性能を説明する図であって、(A) は回路素子の配置例を示す図、(B) は定常運転時の発熱 (B 7 列上流側) を示す図である。

【図 1 7】従来の半導体モジュールにおける、図 9 とは異なる流路形状のウォータージャケットを示す平面図である。

【図 1 8】2 つの異なる傾斜角度の面を有するガイド部を形成した流路形状のウォータージャケットを示す平面図である。

【図 1 9】図 1 8 とは異なる長さの 2 つの面を有するガイド部を形成した流路形状のウォータージャケットを示す平面図である。

20

【図 2 0】3 つの異なる傾斜角度の面を有するガイド部を形成した流路形状のウォータージャケットを示す平面図である。

【図 2 1】第 1 流路の終端部近傍の平行面に凹形状を有する流路形状のウォータージャケットを示す平面図である。

【図 2 2】図 1 7 に示す半導体モジュールにおいて、高さ方向に段差を有する流路の形状を示す図であって、(A) は冷却器のウォータージャケットの要部平面図、(B) は冷媒導入口近傍での L 2 - L 2 矢視断面図、(C) はタイプ別のガイド部形状の説明図である。

【図 2 3】図 2 2 の半導体モジュールにおけるガイド部形状毎の冷媒の流速を回路基板の位置別に示す図である。

30

【図 2 4】図 2 2 の半導体モジュールにおけるガイド部形状毎の冷媒の温度を回路基板の位置別に示す図である。

【図 2 5】図 2 2 のウォータージャケットの性能を説明する図であって、(A) は高さ方向に段差を有する流路の形状を示す図、(B) は定常運転時の発熱 (B 1 列下流側) を示す図である。

【図 2 6】図 2 2 のウォータージャケットの性能を説明する図であって、(A) は高さ方向に段差を有する流路の形状を示す図、(B) は定常運転時の発熱 (B 4 列下流側) を示す図である。

【図 2 7】図 2 2 のウォータージャケットの性能を説明する図であって、(A) は高さ方向に段差を有する流路の形状を示す図、(B) は定常運転時の発熱 (B 7 列下流側) を示す図である。

40

【図 2 8】図 2 2 に示す半導体モジュールとは別の、流路の高さ方向に段差を有する流路形状を説明する図であって、(A) は冷却器のウォータージャケットの要部平面図、(B) は冷媒導入口近傍での L 2 - L 2 矢視断面図である。

【図 2 9】図 2 2 に示す半導体モジュールとはさらに別の、流路の高さ方向に段差を有する流路形状を説明する図であって、(A) は冷却器のウォータージャケットの要部平面図、(B) は冷媒導入口近傍での L 2 - L 2 矢視断面図である。

【図 3 0】従来の半導体モジュールの冷却器であって、図 3 のものとは異なる形状を有するウォータージャケットの要部構成を示す斜視図である。

【図 3 1】図 3 0 とは異なる流路形状を有するウォータージャケットの要部構成を示す斜

50

視図である。

【図 3 2】ウォータージャケットの形状毎に冷媒の流速を回路基板の位置別に示す図である。

【図 3 3】第 5 の実施の形態に係る半導体モジュールにおける流路の形状を示す平面図である。

【図 3 4】第 5 の実施の形態に係る半導体モジュールにおける流路の形状を説明する図であって、(A)は冷却器のウォータージャケットの平面図、(B)はガイド部形状のタイプ別の説明図である。

【図 3 5】図 3 4 のウォータージャケットのタイプ毎での冷媒の流速を示す図である。

【図 3 6】ウォータージャケットの B 1 列下流側に配置された半導体素子の定常運転時の発熱をタイプ毎に示す図である。

10

【図 3 7】ウォータージャケットの B 4 列下流側に配置された半導体素子の定常運転時の発熱をタイプ毎に示す図である。

【図 3 8】ウォータージャケットの B 7 列上流側に配置された半導体素子の定常運転時の発熱をタイプ毎に示す図である。

【図 3 9】第 6 の実施の形態に係る半導体モジュールにおける流路の形状を示す平面図である。

【図 4 0】図 3 9 の半導体モジュールにおけるガイド部の形状毎に冷媒の流速を示す図である。

【図 4 1】図 3 9 のウォータージャケットについて、半導体素子の定常運転時の性能を説明する図であって、(A)は B 1 列下流側での発熱温度、(B)は B 4 列下流側での発熱温度、(C)は B 7 列上流側での発熱温度をタイプ毎に示す図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0019】

図 1 は、本発明の半導体モジュールの一例を示す断面模式図、図 2 は、半導体モジュールの外観を示す斜視図である。ここで、図 1 は図 2 の L 1 - L 1 矢視断面である。また、図 3 は、冷却器のウォータージャケットの要部構成を示す斜視図であって、矢印は冷媒の流れる方向を示す。

【0020】

半導体モジュール 1 0 は、図 1 及び図 2 に示すように、冷却器 2 及び冷却器 2 の上に配置された複数の回路素子部 3 A ~ 3 C から構成されている。この冷却器 2 は、フィンカバーとしてのウォータージャケット 2 A と、ヒートシンクとしてのフィン 2 C が複数本植設されたフィンベース 2 B とから構成され、複数のフィン 2 C をウォータージャケット 2 A の内部に収容するようにしている。

30

【0021】

以下の説明では、ウォータージャケット 2 A 及びその内部に収容されたフィン 2 C について、図 2 においてフィンベース 2 B が付けられる方を「上側」という。また、図 3 においてウォータージャケット 2 A の上側を上にして矢視方向から見たとき手前を「前側」、右の排出口 2 5 が形成されている方を「右側」等とし、冷却器 2 内の冷媒の流れに関して、導入口 2 4 に近い方を「上流側」とする。

40

【0022】

図 3 に示すように、冷却器 2 のウォータージャケット 2 A の外形は略直方体形状である。冷却器 2 の上側の主面には冷媒導入流路 2 1、導入口部 2 1 a、冷媒排出流路 2 2、排出口部 2 2 a 及び冷却用流路 2 3 が設けられている。さらに、ウォータージャケット 2 A には、その左側壁 2 A b に冷媒を内部に導入するための導入口 2 4 が、対向する右側壁 2 A d に冷媒を外部に排出するための排出口 2 5 がそれぞれ設けられている。すなわち、導入口 2 4 と排出口 2 5 はウォータージャケット 2 A の対角線上に配設されている。これら冷媒導入流路 2 1 等の空間は、前側壁 2 A a、左側壁 2 A b、後側壁 2 A c、右側壁 2 A d 及び底壁 2 A e により画定されている。なお、同図には説明の便宜のため、フィン 2 C が描かれている。

50

## 【 0 0 2 3 】

冷媒導入流路 2 1 は、第 1 流路として、冷媒の流入方向に沿うように、導入口 2 4 から導入口部 2 1 a を介して、ウォータージャケット 2 A の前側壁 2 A a と平行に、右側壁 2 A d まで延在されている。また、冷媒排出流路 2 2 は、第 2 流路として、冷媒の排出口 2 5 に向かうように、左側壁 2 A b から、後側壁 2 A c と平行に、排出口部 2 2 a を介して排出口 2 5 まで直線状に延在されている。冷媒導入流路 2 1 と冷媒排出流路 2 2 は略平行に設けられている。

## 【 0 0 2 4 】

冷却用流路 2 3 は、第 3 流路として、冷媒導入流路 2 1 と冷媒排出流路 2 2 との間に配設され、冷媒導入流路 2 1 及び冷媒排出流路 2 2 を連通するように形成されている。すなわち、冷却用流路 2 3 は、冷媒導入流路 2 1 の延在方向及び冷媒排出流路 2 2 の延在方向とそれぞれ直交する方向に延在される。冷却用流路 2 3 の境界を画定している左側壁 2 A b 及び右側壁 2 A d の内面は、それぞれ冷却用流路 2 3 の底面及び後側壁 2 A c の内面に対して垂直に形成されている。

10

## 【 0 0 2 5 】

冷却用流路 2 3 には、複数のフィン 2 C からなるヒートシンクが配置され、これらのフィン 2 C で画定される流路を冷媒が流れる。そして、導入口 2 4 から導入された冷媒は、ウォータージャケット 2 A 内で、冷媒導入流路 2 1、冷却用流路 2 3、及び冷媒排出流路 2 2 を通って排出口 2 5 から排出される。ヒートシンクは、その外形が略直方体であり、その左側側面、後側側面及び右側側面が、左側壁 2 A b、後側壁 2 A c 及び右側壁 2 A d の内面と平行になるよう冷却用流路 2 3 に配設されている。

20

## 【 0 0 2 6 】

このような構成を有するウォータージャケット 2 A は、例えばアルミニウム、アルミニウム合金、銅、銅合金等の金属材料を用いて形成することができる。このような金属材料を用いてウォータージャケット 2 A を形成する場合、例えばダイキャストによって、上記のような冷媒導入流路 2 1、冷媒排出流路 2 2、冷却用流路 2 3、導入口 2 4、及び排出口 2 5 を形成することができる。ウォータージャケット 2 A は、このほかカーボンファイラ含有する材料を用いることもできる。また、冷媒の種類やウォータージャケット 2 A 内に流れる冷媒の温度等によっては、セラミック材料や樹脂材料等を用いることも可能である。

30

## 【 0 0 2 7 】

また、ウォータージャケット 2 A は、冷媒導入流路 2 1、冷媒排出流路 2 2、及び複数の冷却用流路 2 3 の形成面側が、図 1 及び図 2 に示すように冷媒の導入口 2 4 及び排出口 2 5 を除いてフィンベース 2 B により封止されている。このフィンベース 2 B の下面に、例えば基材 2 6 を介在させて複数のフィン 2 C が植設されている。

## 【 0 0 2 8 】

つぎに、冷却器 2 のフィン 2 C の形状について説明する。

図 4 は、2 通りのフィンの形状を説明する図であって、( A ) はブレードフィンを示す斜視図、( B ) はコルゲートフィンを示す斜視図である。

## 【 0 0 2 9 】

冷却器 2 のフィン 2 C は、例えば図 4 ( A ) に示すように、板状のフィンが並設された複数のブレードフィン 2 C a として形成することができる。ブレードフィン 2 C a は、冷却用流路 2 3 に配置され、冷媒が図 4 ( A ) に矢印で示す方向に流通する。その際、こうしたブレードフィン 2 C a は、冷却用流路 2 3 内で基材 2 6 及びフィンベース 2 B によって保持される。

40

## 【 0 0 3 0 】

図 4 ( A ) にはブレードフィン 2 C a を例示しているが、同図 ( B ) に示すコルゲートフィン 2 C b を用いることもできる。

このようなブレードフィン 2 C a、あるいはコルゲートフィン 2 C b の形状をもつフィン 2 C は、例えば図 2 に示したように、フィンベース 2 B と一体化してフィン 2 C 側のウ

50



ウォータージャケット 2 A に向けて配置される。フィン 2 C は、その先端とウォータージャケット 2 A の底壁 2 A e との間に一定のクリアランス C が存在するような寸法（高さ）に形成される（図 1 参照）。

【 0 0 3 1 】

図 1 では、基材 2 6 がフィンベース 2 B と一体化して構成され、フィンベース 2 B のフィン 2 C 側をウォータージャケット 2 A に向けて配置したときに、フィン 2 C がウォータージャケット 2 A の冷却用流路 2 3 内に配置されるようになっている。なお、フィン 2 C をフィンベース 2 B 自体と一体に形成し、あるいはダイキャストによってフィンベース 2 B からフィン 2 C を凸形状に形成するなどのワイヤークット法によるフィン形状の形成も可能である。

10

【 0 0 3 2 】

このようなフィン 2 C のフィン形状については、従来公知の様々な形状のものを用いることが可能である。フィン 2 C は、冷却用流路 2 3 内を流れる冷媒の抵抗となるので、冷媒に対する圧力損失が小さいものが望ましい。また、フィン 2 C の形状及び寸法は、冷媒の冷却器 2 への導入条件（すなわち、ポンプ性能等）、冷媒の種類（粘性等）、目的とする除熱量等を考慮して、適宜設定することが好ましい。

【 0 0 3 3 】

また、フィン 2 C からなるヒートシンクの外形は略直方体であり、好ましくは直方体であり、発明の効果を損ねない範囲で面取りや変形された形状であってもよい。

フィン 2 C 及びフィンベース 2 B は、ウォータージャケット 2 A と同様に、例えばアルミニウム、アルミニウム合金、銅、銅合金等の金属材料を用いて形成することができる。フィン 2 C は、上述したブレードフィン 2 C a やコルゲートフィン 2 C b 等以外にも例えば金属材料を用いて形成された所定のピンや板体を金属製の基材 2 6 に接合することによって形成することができる。

20

【 0 0 3 4 】

このようにしてフィン 2 C が接合された基材 2 6 は、金属板等のフィンベース 2 B の所定領域、すなわち図 1 に示した冷却用流路 2 3 に対応する領域に接合される。このように予めフィン 2 C を接合した基材 2 6 をフィンベース 2 B に接合するだけでなく、フィンベース 2 B に直接、複数のフィン 2 C を接合してヒートシンクを構成することも可能である。

30

【 0 0 3 5 】

冷却器 2 の使用時には、例えば導入口 2 4 がその上流側に設けられるポンプに接続され、排出口 2 5 がその下流側に設けられる熱交換器に接続されて、これら冷却器 2、ポンプ及び熱交換器を含む閉ループの冷媒流路が構成される。冷媒は、このような閉ループ内をポンプによって強制循環される。

【 0 0 3 6 】

各回路素子部 3 A ~ 3 C は、例えば図 2 に示したように、いずれも基板 3 1 上に 2 種類の半導体素子 3 2 , 3 3 をそれぞれ 2 個ずつ、計 4 個搭載した構成を有する。基板 3 1 は、例えば図 1 に示したように、絶縁基板 3 1 a の両面に導体パターン 3 1 b , 3 1 c が形成された構成とされる。

40

【 0 0 3 7 】

基板 3 1 の絶縁基板 3 1 a には、例えば窒化アルミニウム、酸化アルミニウム等のセラミック基板を用いることができる。絶縁基板 3 1 a 上の導体パターン 3 1 b , 3 1 c は、銅等の金属（例えば、銅箔）を用いて形成することができる。

【 0 0 3 8 】

半導体素子 3 2 , 3 3 は、はんだ等の接合層 3 4 を用いて基板 3 1 の導体パターン 3 1 b 側に接合され、その導体パターン 3 1 b に直接、或いはワイヤ（図示せず）を介して、電氣的に接続される。半導体素子 3 2 , 3 3 を搭載した基板 3 1 は、もう一方の導体パターン 3 1 c 側で、接合層 3 5 を介して冷却器 2 のフィンベース 2 B に接合される。

【 0 0 3 9 】

50

こうして、基板 3 1 と基板 3 1 上に搭載された半導体素子 3 2 , 3 3 は、冷却器 2 と熱的に接続された状態になる。なお、導体パターン 3 1 b , 3 1 c の露出表面や、半導体素子 3 2 , 3 3 と導体パターン 3 1 b とを電氣的に接続するワイヤ表面には、ニッケルめっき等により、それらの表面を汚れ、腐食、外力等から保護するための保護層を形成するようにしてもよい。

【 0 0 4 0 】

図 5 は、半導体モジュールとして構成される電力変換回路の一例を示す図である。

このような基板 3 1 上に搭載される半導体素子 3 2 , 3 3 としては、ここではパワー半導体素子を用いている。一例として、図 5 に示すように、一方の半導体素子 3 2 をフリーホイールダイオード ( Free Wheeling Diode : FWD ) とし、他方の半導体素子 3 3 を絶縁ゲートバイポーラトランジスタ ( Insulated Gate Bipolar Transistor : IGBT ) とすることができる。

10

【 0 0 4 1 】

半導体モジュール 1 0 は、例えば 3 個の回路素子部 3 A ~ 3 C によってインバータ回路 4 0 を構成することが可能である。

図 5 では、直流電流を交流電流に変換して三相交流モータ 4 1 に供給するインバータ回路 4 0 を例示している。このインバータ回路 4 0 は、U 相、V 相、W 相の三相についてそれぞれ、IGBT である半導体素子 3 3 と、FWD である半導体素子 3 2 とのブリッジ回路を備える。半導体素子 3 3 のスイッチング制御を行うことで、直流電流を交流電流に変換し、三相交流モータ 4 1 を駆動することができるようになっている。

20

【 0 0 4 2 】

ここでは、上記のような構成を有する回路素子部 3 A ~ 3 C が、冷却器 2 のフィンベース 2 B の上に配置されている。これらの回路素子部 3 A ~ 3 C は、例えば冷却器 2 上でインバータ回路を構成するように接続することができる。

【 0 0 4 3 】

さて、このような電力変換回路の動作時に、各回路素子部 3 A ~ 3 C で発生した熱は、それが接合されているフィンベース 2 B へと伝わり、さらにその下のフィン 2 C へと伝わる。フィン 2 C は、上述したように冷却用流路 2 3 内に配置されているから、この冷却用流路 2 3 に冷媒が流通されることで、フィン 2 C が冷却される。発熱する回路素子部 3 A ~ 3 C は、このようにして冷却器 2 により冷却される。

30

【 0 0 4 4 】

以上の説明では、半導体モジュール 1 0 の回路素子部 3 A ~ 3 C を 3 個とした場合を例示した。しかし、つぎの図 6 などに示す半導体モジュールのように、回路素子部の個数は 3 個に限定されない。

【 0 0 4 5 】

図 6 は、従来の半導体モジュールの第 1 変形例を説明する図であって、( A ) は回路素子の配置例を示す斜視図、( B ) は冷却器のウォータージャケットの要部構成を示す斜視図である。

【 0 0 4 6 】

図 6 ( A ) に示す半導体モジュール 1 0 A では、冷却器 2 の長手方向に 7 列 ( B 1 ~ B 7 )、フィンベース 2 B の上下位置に 2 行、計 1 4 個の回路素子部 3 D が配置されている。これらの回路素子部 3 D を適当に組み合わせて、例えば図 5 に例示したようなインバータ回路 4 0 を複数構成するように接続することができる。

40

【 0 0 4 7 】

ウォータージャケット 2 A には、図 6 ( B ) に示すように、一方の主面側に冷媒導入流路 2 1、冷媒排出流路 2 2、及び冷却用流路 2 3 が設けられ、冷却用流路 2 3 がフィン 2 C に対応する大きさに形成されている。このフィン 2 C は、例えば図 2 に示したように、フィンベース 2 B と一体化してフィン 2 C 側のウォータージャケット 2 A に向けて配置される。そして、最終的にフィン 2 C と一体化されたフィンベース 2 B は、図 1 及び図 2 に示したようにウォータージャケット 2 A 上に配置される。

50

## 【 0 0 4 8 】

フィンベース 2 B とウォータージャケット 2 A とは、例えば適当なシール材（図示せず）を用いて接合される。これにより、ウォータージャケット 2 A、フィンベース 2 B 及びフィン 2 C を備える冷却器 2 が構成できる。ここで、導入口 2 4 から冷媒導入流路 2 1 に流入する冷媒の終端部、及び冷媒を排出口 2 5 に流出する冷媒排出流路 2 2 の始端部には、約 45° の傾斜角をなすガイド部 2 1 S o、2 2 S o を形成するように、それぞれ面取りが施されている。

## 【 0 0 4 9 】

図 7 は、図 6 の半導体モジュールにおける冷媒の流速を回路基板の位置別に示す図である。

10

図 7 のグラフには、一例として図 4 ( A ) に示すブレードフィン 2 C a を冷却用流路 2 3 内に配置して、導入口 2 4 から流量 10 L / min の冷媒を流したとき、フィン 2 C 間を流れる冷媒流速を示している。図 7 に示した特性は L 字形状となっており、7 列目の位置 B 7 に配置された回路素子部 3 D の基板下で、フィン 2 C 間に流れる冷媒の流速は、他の列に配置された回路素子部 3 D についての流速に比較して極端に大きくなる。

## 【 0 0 5 0 】

このように、冷媒導入流路 2 1 に対してフィン 2 C が略直交する形で、図 6 に示すように冷却用流路 2 3 内に配置されている場合、フィン 2 C 間を流れる冷媒には、導入口 2 4 から排出口 2 5 に向けて流速が上昇するという偏流特性がある。

## 【 0 0 5 1 】

20

図 8 は、従来の半導体モジュールの第 2 変形例を説明する図であって、( A ) は回路素子の配置例を示す斜視図、( B ) は冷却器のウォータージャケットの要部構成を示す斜視図である。

## 【 0 0 5 2 】

図 8 ( A ) に示す半導体モジュール 1 0 B は、図 6 のものと同様に、2 行 6 列の回路素子部 3 D、3 E が配置され、さらに 2 個の回路素子部 3 F u、3 F d が冷却器 2 上に配置されている。ここで追加された 2 個の回路素子部 3 F u、3 F d には、その他の 1 2 個の回路素子部 3 D、3 E とは異なる構成を有するものを用いることができる。

## 【 0 0 5 3 】

1 2 個の回路素子部 3 D、3 E は適当に組み合わせて、例えば図 5 に例示したようなインバータ回路 4 0 を複数構成するように接続することができる。また、回路素子部 3 F u、3 F d は、例えば所定数の I G B T と F W D を用いた昇圧コンバータ回路として構成できる。

30

## 【 0 0 5 4 】

このような場合には、例えば昇圧コンバータ回路の回路素子部 3 F u、3 F d をバッテリー及び上記インバータ回路 4 0 に接続し、バッテリー電圧を回路素子部 3 F u、3 F d で昇圧する。そして、その昇圧された直流電流をインバータ回路 4 0 によって交流電流に変換して三相交流モータ 4 1 に供給するような回路構成とすることが可能である。

## 【 0 0 5 5 】

なお、このような回路素子部 3 D、3 E とは種類の異なる回路素子部 3 F u、3 F d を新たに追加するには、回路の設計上、或いは製造上の配線レイアウト等を考慮すると、図 8 ( A ) に示すように、回路素子部 3 F u、3 F d を半導体モジュール 1 0 B の端部に配置することが比較的容易である。

40

## 【 0 0 5 6 】

このような半導体モジュール 1 0 B では、冷却器 2 には冷却用流路 2 3 を流れる冷媒の流通方向に沿ってフィン 2 C 内部に発熱箇所が 2 箇所ある。そして、これらの発熱箇所は冷媒の流れる方向に対して、それぞれ上流側と下流側とに分かれて位置する。このうち、下流側を流れる冷媒は、上流側での吸熱によって、その冷媒温度がすでに上昇している。そのため、上流側に配置された回路素子部 3 D、3 E の冷却効率が高くなる。

## 【 0 0 5 7 】

50

こうした事情を考慮すると、回路素子部 3 D , 3 E のうちその駆動時に発生する熱量が高いものほど冷媒導入流路 2 1 側に配置すれば、より容易に冷却することが可能である。また、冷却器 2 の冷却用流路 2 3 を流れる冷媒には、冷媒の導入口 2 4 側より、その排出口 2 5 に近い位置で冷媒流速が上昇するという偏流特性がある。しかも、冷却用流路 2 3 を冷媒が速く流れる箇所ほど、フィン 2 C による冷却効率は高くなる。

**【 0 0 5 8 】**

このように、半導体モジュール 1 0 B では、冷媒を回路素子部 3 D , 3 E , 3 F u , 3 F d で発生する熱量に応じて流すだけでなく、ある一定以上の流速で流通させることが求められる。ところが、低流速部の流速を上昇させれば、流速の速い部分では必要以上の冷媒が流れることになる。したがって、そのために冷却器 2 への冷媒流量を増加して供給しなければならず、高性能のポンプが必要となる。

10

**【 0 0 5 9 】**

図 9 は、図 8 の半導体モジュールにおける流路の形状を示す平面図である。

ここには、従来から採用されているガイド部 2 1 S o の第 2 変形例を示している。このガイド部 2 1 S o は、図 6 のガイド部 2 1 S o の形状とは異なり、冷媒導入流路 2 1 が冷却用流路 2 3 に面する全範囲で一様に傾斜したガイド壁 S 1 を構成している。

**【 0 0 6 0 】**

従来の冷却器 2 においては、図 6 に示すウォータージャケット 2 A のように、冷媒導入流路 2 1 の終端部にガイド部 2 1 S o が配置されているだけであった。これに対して図 8 、図 9 に示す冷却器 2 では、ヒートシンクに対向する前側壁 2 A a が冷媒導入流路 2 1 の全体に及ぶガイド壁 S 1 として構成され、その傾斜面が、図 6 のガイド部 2 1 S o より長く形成される。このようにガイド部 2 1 S o の形状を工夫することで、導入口 2 4 から冷却用流路 2 3 に流入する冷媒の流速分布をある程度調整可能であることは周知である。

20

**【 0 0 6 1 】**

こうした流路特性をシミュレーションするには、冷媒の流れと熱伝導、熱伝達などの物理現象を含む熱流体解析が必要とされる。また、回路素子部 3 D , 3 E , 3 F u , 3 F d での発熱による冷媒の温度上昇を求める際、定常運転状態で発生する損失を与えて解析結果を得ることができる。

**【 0 0 6 2 】**

従来構造のウォータージャケット 2 A を用いて冷媒の流速分布をシミュレーションすると、導入口 2 4 からウォータージャケット 2 A 内に導入された冷媒は、導入口 2 4 から直線状に延在する冷媒導入流路 2 1 を大きな流速で流れる。そして、冷却用流路 2 3 に流れ込む冷媒は、とくに冷媒の排出口 2 5 に近い側において、比較的速い流れとなることが知られている。

30

**【 0 0 6 3 】**

一般に、複数配置された回路素子部 3 D , 3 E , 3 F u , 3 F d では、発生する損失に応じて半導体素子 3 2 , 3 3 の冷却に必要な冷媒の流速を維持することが求められるが、上述した偏流特性によって冷媒の流速分布が広がれば、その冷却性能も同様に偏った分布となる。とりわけ冷却用流路 2 3 において流速が速くなる排出口 2 5 側では、流速に対して冷却性能の変化は鈍く、流速が遅くなりやすい導入口 2 4 側ではその変化は大きい。これは、排出口 2 5 側に冷却性能の向上に寄与しづらい流速成分が生じることを意味している。そこで、このような偏流特性を改善することができれば、より安定した冷却性能が得られるだけでなく、全体的な冷却性能も向上させることも可能になる。

40

**【 0 0 6 4 】**

また、冷媒排出流路 2 2 や排出口 2 5 が、圧力損失を発生するような形状であったり、その偏流特性が大きすぎる場合には、ウォータージャケット 2 A 内で冷媒がトラック状に回転することがある。このような現象も偏流特性を調整することで抑制することが可能になる。すなわち、ポンプ機能の変更によるコストアップを抑えつつ、各々の回路素子部 3 D , 3 E , 3 F u , 3 F d の冷却に必要な流速を一定以上の大きさに確保するためには、圧力損失の小さい冷却器 2 を用い、かつ流速を確実に調整することが有効である。

50

## 【 0 0 6 5 】

上述した冷媒の偏流特性は、冷媒導入流路 2 1 と冷媒排出流路 2 2 とに挟まれた冷却用流路 2 3 を持つような並列流路において起こる現象である。そのため、冷媒導入流路 2 1 から冷却用流路 2 3 に配置された冷却用のフィン 2 C 間に流入する冷媒の流速は、冷媒導入流路 2 1 の断面積を狭めただけでは、直線状に流れる流速成分が強くなるだけで、偏流特性の調整としては不十分である。

## 【 0 0 6 6 】

とくに、冷却用流路 2 3 に配置される冷却用のフィン 2 C の間隔を広げた場合には、冷媒導入流路 2 1 からフィン 2 C に流れる冷媒に対する抵抗が小さくなって、冷媒が流れ込みやすくなる。したがって、フィン 2 C の間隔が広い形状であるほど、冷媒の流速分布が図 9 に示すような冷媒導入流路 2 1 の終端部におけるフィン 2 C との間隔  $y_0$  に依存することになる。

10

## 【 0 0 6 7 】

そこで、この点について詳細に説明する。まず、冷却器 2 の性能に影響を及ぼす因子について説明する。

- ( 1 ) 冷媒導入に用いるポンプの性能、
- ( 2 ) フィン 2 C の材質の形状及びその熱伝導率、
- ( 3 ) 冷媒自体の性質（粘性、熱伝導率、温度等）、
- ( 4 ) 冷媒導入流路 2 1 の形状（幅、深さ、平面形状等）、

等が冷却器 2 の性能因子として指摘できる。以下では、とくに第 4 の因子が冷却性能に及ぼす影響について考察する。

20

## 【 0 0 6 8 】

図 1 0 は、冷却器の一般的な冷却性能を説明する図であって、( A ) は冷媒の流速と圧力の関係を模式的に示す図、( B ) は冷媒の流速と素子温度との関係を模式的に示す図である。

## 【 0 0 6 9 】

図 1 0 ( A ) では、横軸に冷媒の流速を、縦軸に冷却器の圧力損失をとっている。ここで、曲線 X はポンプ性能を示す曲線であって、上述した因子 ( 1 )、すなわち実際に使用するポンプに固有の性能によって規定される。

## 【 0 0 7 0 】

図 1 0 ( A ) に示す曲線 Y 1 , Y 2 は、ある冷却器 2 のそれぞれ導入口 2 4、排出口 2 5 における冷媒の流速と圧力損失との関係を示している。これは上述した因子 ( 4 )、すなわち冷媒導入流路 2 1 の形状によって規定される曲線であって、使用する冷却器 2 毎に設計上、或いは実験的に求めることができる。

30

## 【 0 0 7 1 】

これらの曲線 X 及び Y 1 , Y 2 によって、それぞれの冷却器 2 において、実際に流通可能な冷媒の流速が決まる。すなわち、冷媒循環に使用するポンプ及び熱交換器の性能を示す曲線 X と、流速と圧力損失の関係を示す曲線 Y 1 又は曲線 Y 2 との交点の位置から、冷媒の流速  $Q_1$  ,  $Q_2$  が決まってくる。

## 【 0 0 7 2 】

例えば、図 1 0 ( A ) に示す例では、冷媒の流速の増加に対する圧力損失の増加が比較的小さい曲線 Y 1 を示す冷却器 2 であれば、曲線 X との交点より、その冷却器 2 に流通可能な冷媒の流速は  $Q_1$  となる。一方、冷媒の流速の増加に対する圧力損失の増加が比較的大きい曲線 Y 2 を示す冷却器 2 の場合、曲線 X との交点が左上に移行して、その冷却器 2 に流通可能な冷媒の流速  $Q_2$  はより小さくなる ( $Q_2 < Q_1$ ) 。

40

## 【 0 0 7 3 】

また、図 1 0 ( B ) では、横軸に冷媒の流速を、縦軸に冷却すべき半導体素子のジャンクション温度（素子温度）をとっている。同図 ( B ) に示す冷媒の流速と素子温度との関係について見ると、曲線 Z で示すように、素子温度は冷媒の流速の減少に伴って増加していく傾向にある。ここで、曲線 Z は上述した因子 ( 2 ) 及び ( 3 ) によって規定される曲

50

線である。そのため、冷媒の流速 $Q_1$ での素子温度 $T_1$ は、冷媒の流速 $Q_2$ での素子温度 $T_2$ より低くなる( $T_1 < T_2$ )。したがって、流通可能な冷媒の流速が $Q_2$ である場合より、流通可能な冷媒の流速が大きい流速 $Q_1$ の冷却器2を用いた方が、当然にも素子温度の上昇を抑えることが容易である。

【0074】

なお、圧力損失が大きくなる曲線 $Y_2$ のような挙動を示す冷却器2の場合であっても、より性能の優れたポンプを使用すれば、その冷却器2に流通可能な冷媒の流速が増加するから、素子温度の上昇を抑えることも可能になる。しかしながら、そのようなポンプを使用すれば、冷却器2によって冷却される半導体モジュールの、したがってそれを搭載した電子機器等の大幅なコストアップを招く。

10

【0075】

また、図10に示すように、圧力損失は流速の2乗に比例して増加するが、冷却性能は流速の二分の一乗に比例して増加するだけである。このことは、一般に冷媒の流速を増加させるのではなく、圧力損失の小さな流路を用いればメリットが大きくなることを意味する。したがって、ポンプに要求される負荷を抑えて、コストを低減するうえでは、圧力損失を小さくするような冷媒の流速調整が有効となる。

【0076】

以下では、上述した冷却器2の冷媒流速分布の調整法について説明する。これらは、いずれも冷媒自体の性質(冷媒特性)と冷却性能をシミュレーションすることによって検証された結果である。

20

【0077】

(第1の実施の形態)

第1の実施の形態では、半導体モジュールにおける偏流を調整するように冷媒導入流路21にガイド部が配置された冷却器2について説明する。

【0078】

図11は、本発明の半導体モジュールにおける流路の形状を説明する図であって、(A)は冷却器のウォータージャケットの平面図、(B)はガイド部形状のタイプ別の説明図である。

【0079】

最初に、冷媒導入流路21にガイド部21Sを有する流路形状について説明する。ここでは、冷却用流路23の流速分布を改善するため、同図(A)に示すように、ガイド部21Sは所定の傾きをもつ傾斜面Sと平坦面Fとから構成されている。

30

【0080】

本実施例のガイド部21Sは、ウォータージャケット2Aの前側壁2Aaに形成されており、フィン2Cからなるヒートシンクの前側側面に対向する傾斜面S及び平坦面Fが冷媒導入流路21の流路幅を規制している。傾斜面Sは、ヒートシンクの前側側面に向かって冷媒を誘導するように作用する。この傾斜面Sの傾斜角度は、ヒートシンクの前側側面に対して0度より大きく90度より小さい角度をなし、平坦面Fはヒートシンクの前側側面に対して平行である。ガイド部21Sの傾斜面Sと平坦面Fに挟まれる角部は鈍角をなしており、ガイド部21Sは冷媒導入流路21の途中においてヒートシンク側へ突出している。

40

【0081】

本実施の形態におけるウォータージャケット2Aの冷媒導入流路21は、その底壁2Ae面及びガイド部21Sとヒートシンクの前側側面とで画定される断面の面積が、冷媒導入流路21の導入口24から終端部に向かって一定の割合で小さくなる。しかも、冷媒導入流路21の途中においてその減少の割合が変化し、ゼロになる平坦面Fが形成されている。なお、本実施の形態において、ヒートシンクは、その前側側面が導入口24から流入する冷媒の流入方向と略平行となり、冷媒の流れを遮らないよう導入口部21aの内壁に面一となるよう配設されている。また、冷媒導入流路21の高さ、すなわち、ウォータージャケット2Aの底壁2Ae面とフィンベース2Bの間の間隔は一定である。

50

## 【 0 0 8 2 】

冷媒を排出口 2 5 に流出する冷媒排出流路 2 2 には、その始端部に、ヒートシンクの後側側面に対し約  $45^\circ$  の傾斜角をなすガイド部 2 2 S o を形成するよう面取りが施されており、続いて、下流側に向かってヒートシンクの後側側面と平行に後側壁 2 A c が形成されている。冷媒排出流路 2 2 の側壁を、ほぼ全長にわたって、ヒートシンクの後側側面に対し平行に形成することにより、ヒートシンクの下流側での圧力損失を小さくし、冷媒導入流路 2 1 側に設けたガイド部 2 1 S による流速調整の効果を得ることができる。

## 【 0 0 8 3 】

いま、冷却用流路 2 3 に厚さ  $1.2\text{ mm}$ 、ピッチ  $2.1\text{ mm}$ 、高さ  $10\text{ mm}$  のブレードフィンを配置し、導入口 2 4 から冷媒導入流路 2 1 に流量  $10\text{ L/min}$  で冷媒を導入すると仮定する。その場合に、異なるガイド部 2 1 S 形状の流路タイプ毎に、ガイド部 2 1 S の形状の違いが流速分布に与える影響を、シミュレーションにより確認した。

10

## 【 0 0 8 4 】

つぎに、図 9 のような流路形状を比較対象として実施されたシミュレーションの結果について説明する。

ここで、冷媒導入流路 2 1 の形状は、図 9 に示すガイド壁 S 1 と、A タイプ及び B タイプのガイド部 2 1 S のいずれも、フィン 2 C とガイド部 2 1 S との間隔（最小値） $y_0$  を  $3\text{ mm}$  とする。また、A タイプの終端側には、傾きが  $0^\circ$  の平坦面 F を配置して、その長さ  $x_0$  を  $30\text{ mm}$  とし、B タイプでも同様に平坦面 F を配置して、その長さ  $x_0$  を  $40\text{ mm}$  とする。冷媒導入流路 2 1 の全長を  $255\text{ mm}$ 、高さを  $10.5\text{ mm}$ 、幅を  $15\text{ mm}$  とする。

20

## 【 0 0 8 5 】

また、回路素子部 3 D 等に与える損失は、上述した図 8 ( A ) に示すように、導入口 2 4 側より B 1 ~ B 3 と B 4 ~ B 6 の 3 列ずつを 2 つのグループとして、各々の回路素子部 3 D , 3 E の直下で同様の大きさに設定する。7 列目だけで上流側の回路素子部 3 F u と下流側の回路素子部 3 F d とで、異なる損失が設定される。この発熱量に応じて設定される損失値については、冷媒流速と冷媒温度及び冷却性能との関係に基づいて、 $3 D < 3 E < 3 F u < 3 F d$  の関係に設定する。その際、1 列目 ( B 1 )、4 列目 ( B 2 ) の回路素子部 3 D , 3 E については、それぞれ下流側に配置された I G B T 素子を比較対象とし、7 列目の回路素子部 3 F については損失の大きい 3 F d を比較対象とする。

30

## 【 0 0 8 6 】

図 1 2 及び図 1 3 は、図 1 1 の半導体モジュールにおけるガイド部形状毎の冷媒の流速を回路基板の位置別に示す図である。これらはいずれも、前述した手法によるシミュレーション結果の一例である。

## 【 0 0 8 7 】

ここに示す流速分布は、7 列に配置された回路素子部 3 D , 3 E , 3 F u , 3 F d の基板中央部直下に配置されたフィン 2 C 間の流速をシミュレーションした結果である。ここでは、導入口 2 4 側から排出口 2 5 に向けて B 1 ~ B 7 まで順に流速を示している。

## 【 0 0 8 8 】

図 1 2 に示すシミュレーション結果によれば、図 9 のものよりも A タイプのガイド部 2 1 S、A タイプよりも B タイプのガイド部 2 1 S において、各比較位置での流速が向上している。A タイプ、B タイプともに、流速の低下しやすい導入口近傍に相当する 1 列目 ( B 1 ) を含め流速が向上している。

40

## 【 0 0 8 9 】

また、基板下のフィン 2 C の間を流れる冷媒流速の 7 箇所での平均値は、図 9 のもので  $0.0609\text{ m/s}$ 、A タイプで  $0.0805\text{ m/s}$ 、B タイプで  $0.081\text{ m/s}$  となっている。すなわち、傾斜面 S と平坦面 F により冷媒導入流路 2 1 に複数の傾きを与えることで、冷媒の平均流速が 25% 程度上昇することがわかる。

## 【 0 0 9 0 】

なお、ガイド部 2 1 S に設ける傾斜面 S の変化点（傾斜面 S と平坦面 F で挟まれる角部

50

の位置)から冷媒導入流路21の終端側に向かって冷媒流速が乱れ、その流速が低下する  
場合がある。そこで、設定流量、各回路素子部3D, 3E, 3Fu, 3Fdで発生する損  
失との関係に基づいて、平坦面Fの最適長さを求めることが望ましい。

【0091】

また、フィン2Cとガイド部21Sの間隔 $y_0$ も、ガイド部形状を規定する1つの要因  
として、冷媒に偏流特性をもたらすことになる。そこで、図11(B)に示すB~Dタイ  
プのガイド部21Sでは、平坦部F1の長さを共通の値40mmに設定して、フィン2C  
とガイド部21Sとの間隔 $y_0$ を、それぞれBタイプで3mm、Cタイプで2mm、Dタイ  
プで4mmに設定して偏流特性を比較している。

【0092】

図13には、偏流特性についてのシミュレーション結果の一例を示す。

回路素子部3D, 3E, 3Fu, 3Fdの基板中央部直下でのフィン2C間を流れる冷  
媒は、その流速の平均値がCタイプで $0.078\text{ m/s}$ 、Bタイプで $0.081\text{ m/s}$   
、Dタイプで $0.083\text{ m/s}$ となる。したがって、間隔 $y_0$ を2mmから4mmに広げ  
ることによっても、平均流速が向上することがわかる。また、全体が直線状のガイド壁S  
1を構成する従来のガイド部21So( $0.0609\text{ m/s}$ )と比較して、偏流を低減す  
るうえで約25%の改善効果が生じている。

【0093】

以上のように、ガイド部21Sにより複数タイプの傾斜面Sと平坦面Fを設けることで  
偏流を調整することができ、回路素子部3D, 3E, 3Fu, 3Fdの基板中央部直下の  
流速を全体的に向上させることが可能となった。このようなシミュレーション結果により  
、図11(B)に示すガイド部21Sを有する流路のうち、図9に示すガイド部、Bタイ  
プ及びDタイプのものについて、それぞれ回路素子部3D, 3E, 3Fu, 3Fdに対応  
する損失を与えて、パワー半導体素子の発熱状態を確認した。

【0094】

図14乃至図16は、いずれも図11のウォータージャケットの性能を説明する図であ  
って、(A)は回路素子の配置例を示す図、(B)は定常運転時の発熱を示す図である。  
ここでは、発熱値のシミュレーション結果の一例を示す。

【0095】

ガイド部形状を改善することで、回路素子部3D, 3E, 3Fu, 3Fdの基板中央部  
直下の流速が向上し、その効果によりパワー半導体素子のジャンクション温度を低減す  
ることが可能である。図14(B)に示すように、最も効果の高い1列目の位置B1に配置  
された回路素子部3Dのジャンクション温度は、従来形状(図9)で $123.6$ 、Bタイ  
プで $122.3$ 、Dタイプで $117.7$ となる。したがって、従来形状(図9)の  
ものに対して、Dタイプでは $5.9$ 低減することから、5%の冷却効率の向上が可能で  
ある。

【0096】

また、図12に示すように、設定された損失が高い4列目の位置B4の回路素子部3E  
では、他の位置より冷媒流速が低下しているが、そのジャンクション温度は図12に示す  
ように低減することができる。これは、ウォータージャケット2Aが損失値に対し冷却に  
必要な流速 $0.1\text{ m/s}$ を保っており、熱干渉の影響を低減した効果である。これにより  
、フィン2C間を流れる冷媒の流速が $0.05\text{ m/s}$ 以下では、流速が冷却能力に与える  
影響が大きく、 $0.1\text{ m/s}$ 以上で安定した冷却性能を得られることがわかる。図16(B)  
に示すように、7列目の位置B7における上流側のパワー半導体素子3Fuについて  
も、同様の冷却性能が得られる。

【0097】

なお、上述したA~Dタイプ以外に、図11(B)に示すE~Iタイプのガイド部形状  
についても、同様のシミュレーションにより所定の改善効果が確認されている。

こうしたシミュレーション結果によれば、冷媒流速分布の調整にあたって、以下のガイ  
ド部形状が好ましい。一つには、導入口24とフィン2Cに対面する冷媒導入流路21の

10

20

30

40

50



長手方向に対して、傾斜角の変化点、すなわち傾斜面 S と平坦面 F で挟まれる角部の位置を末端部側から 1 / 4 の範囲に配設することである。また、冷媒導入流路 2 1 の末端部におけるフィン 2 C とガイド部 2 1 S の間隔を 1 mm 以上であって、冷媒導入流路 2 1 の最大流路幅の 1 / 3 以下に設定することである。

【 0 0 9 8 】

( 第 2 の実施の形態 )

図 1 7 は、従来の半導体モジュールにおける、図 9 とは異なる流路形状のウォータージャケットを示す平面図である。なお、図 1 7 以降では、冷媒導入流路 2 1 や冷媒排出流路 2 2 の位置を、図 2、図 9 等で説明したものと前後方向で入れ替えて説明している。

【 0 0 9 9 】

ここでは、導入口部 2 1 a 及び排出口部 2 2 a がウォータージャケット 2 A I の左側壁 2 A b 及び右側壁 2 A d からそれぞれ突出して形成されており、ここに円筒状のパイプなどを接続してポンプから送られる冷媒を冷却器 2 に流入させ、排出口部 2 2 a から流出させている。冷媒導入流路 2 1 の側壁は、図 9 の冷媒導入流路 2 1 と同様に、冷却用流路 2 3 に面する全範囲に対して一様に傾斜したガイド壁 S 1 によって構成されている。

【 0 1 0 0 】

ポンプと冷却器 2 との接続の都合によって設けられた冷媒導入流路 2 1 の導入口部 2 1 a、冷媒排出流路 2 2 の排出口部 2 2 a は、その流路断面積などによっては導入口 2 4 と排出口 2 5 の圧力差のバランスを崩す原因となり、偏流特性が変化することがある。また、冷媒が冷媒導入流路 2 1、冷媒排出流路 2 2、冷却用流路 2 3 内をレーストラック状に回転することもある。とくに、排出口 2 5 やその前後に冷媒の乱れが生じやすい形状で、冷媒が排出されづらいような場合には顕著となる。

【 0 1 0 1 】

上述したように、冷却器 2 の冷却用流路 2 3 での偏流特性は、導入口 2 4 側で流速が遅く、排出口 2 5 側で流速は速い。そのため、冷媒排出流路 2 2 において、排出口 2 5 に向かう流速成分は、冷却用流路 2 3 の排出口 2 5 側でより大きくなり、導入口 2 4 側では、冷媒排出流路 2 2 の壁面に衝突して導入口 2 4 側にもどる流速成分によって小さくなりやすい。すなわち、冷媒排出流路 2 2 と排出口 2 5 に圧力損失が上昇する要素がある場合、冷却用流路 2 3 において導入口 2 4 側、排出口 2 5 側ともに同等の流速で流す工夫が必要である。

【 0 1 0 2 】

このように、冷媒導入流路 2 1、冷媒排出流路 2 2 がその末端部で冷媒の乱れが生じやすい形状の半導体モジュールにおいて、流路にガイド部を形成して偏流を調整する第 2 の実施の形態について説明する。

【 0 1 0 3 】

図 1 8 は、2つの異なる傾斜角度の面を有するガイド部を形成した流路形状のウォータージャケットを示す平面図である。

ここでは、偏流を調整するための冷却器 2 の流路形態のうち、平面形状が二等辺三角形をなす傾斜部材 S 2 によって、ガイド部が構成されている。ウォータージャケット 2 A I には、図 1 7 に示すものと同様、従来から用いられているガイド壁 S 1 によって冷媒導入流路 2 1 が形成され、このガイド壁 S 1 に傾斜部材 S 2 を重ねて配置して、2つの異なる傾斜角度をなす新たなガイド部を構成している。新たなガイド部を構成する傾斜部材 S 2 は、フィン 2 C からなるヒートシンクの前側側面に向かって冷媒を誘導するよう傾斜した第 1 の傾斜面と、同じく傾斜した第 2 の傾斜面とを有している。新たなガイド部は、冷却用流路 2 3 内のフィン 2 C と対面する冷媒導入流路 2 1 の上流側に位置する第 1 の傾斜面で最大傾斜角度を有し、傾斜角度の変化点 P から末端側に第 2 の傾斜面が連続して形成されている。第 1 の傾斜面及び第 2 の傾斜面で挟まれる角部はヒートシンク側へ突出している。

【 0 1 0 4 】

したがって、この冷媒導入流路 2 1 に形成されたガイド部は、複数の傾斜面を有し、か

10

20

30

40

50

つ導入口 2 4 での傾きを最も大きな傾斜面を構成した点で、図 1 7 のウォータージャケット 2 A I と異なっている。すなわち、図 8 ( A ) に示す回路素子部 3 D での損失が高くなるように、損失値の異なる回路素子部 3 D , 3 E , 3 F u , 3 F d が配置されている場合に、冷却器 2 の冷却性能を向上させることが可能になる。

【 0 1 0 5 】

このように、図 1 8 に示すガイド壁 S 1 に傾斜部材 S 2 を配置した冷媒導入流路 2 1 では、冷媒の導入方向に向かって断面積が連続して低減するように 2 つの傾斜面が配置されることで、冷却用流路 2 3 での流速分布が改善できる。なお、冷却器 2 の流速分布を改善するためのガイド部については、上記した二等辺三角形の傾斜部材 S 2 によるもののほか、以下に示すような構成も可能である。

10

【 0 1 0 6 】

つぎに、図 1 9 乃至図 2 1 により、偏流を調整するためのガイド部形状の変形例を示す。

図 1 9 は、図 1 8 とは異なる長さの 2 つの面を有するガイド部を形成した流路形状のウォータージャケットを示す平面図である。

【 0 1 0 7 】

ここで、ウォータージャケット 2 A I は、図 1 8 のものと同様に、冷媒導入流路 2 1 に傾斜部材 S 3 によって複数の傾斜面を有したガイド部が形成されている。ただし、冷媒導入流路 2 1 の中央部付近で傾斜面の傾斜角度が最も大きくなっている点で、図 1 8 のガイド部とは異なる。すなわち、傾斜部材 S 3 の平面形状は、冷却用流路 2 3 内のフィン 2 C と対面する頂点（変化点 P）が冷媒導入流路 2 1 の終端部側に近づいている。そのため、図 8 ( A ) に示す 4 列目の位置 B 4 での損失が高くなるように、損失値の異なる回路素子部 3 D , 3 E , 3 F u , 3 F d が配置されている場合に、冷却器 2 の冷却性能を向上させることが可能になる。

20

【 0 1 0 8 】

図 2 0 は、3 つの異なる傾斜角度の面を有するガイド部を形成した流路形状のウォータージャケットを示す平面図である。

このウォータージャケット 2 A I には、冷媒導入流路 2 1 に 3 つの傾斜面を構成するように傾斜部材 S 4 が配置されている。傾斜部材 S 4 は、第 2 の傾斜面 2 1 b の傾斜角度が最も大きくなるような平面形状に形成されている。また、第 2 の傾斜面 2 1 b の位置については、冷媒導入流路 2 1 の中央部に限られない。

30

【 0 1 0 9 】

また、3 つの傾斜面の傾斜角度は、それぞれ 5 ° 乃至 4 5 ° の範囲で設定できる。したがって、回路素子部 3 D , 3 E , 3 F u , 3 F d のいずれかが局所的に発熱するような場合、その位置に対応して第 2 の傾斜面 2 1 b を配置するように傾斜部材 S 4 を設けることで、効率のよい冷却が可能になる。

【 0 1 1 0 】

さらに、この冷媒排出流路 2 2 側の対応する位置には、所定の傾斜角度をもって冷媒を排出口 2 5 に導くガイド片 2 2 G を設けてもよい。これにより、排出口 2 5 に向かう冷媒の流速を一層高めることが可能である。なお、このガイド片 2 2 G は、冷媒排出流路 2 2 に対して 7 0 % 以下の高さに設定し、冷媒排出流路 2 2 上で、その長手方向に対して 6 0 度以下の傾斜角度で傾けるとともに、その幅方向中央からフィン 2 C 側に近接する位置に配置することが好ましい。

40

【 0 1 1 1 】

図 2 1 は、第 1 流路の終端部近傍の平行面に凹形状を有する流路形状のウォータージャケットを示す平面図である。

ここで、ウォータージャケット 2 A I は、図 1 8 のものと同様に、冷媒導入流路 2 1 に形成されるガイド部が複数の傾斜面を有する傾斜部材 S 5 によって構成されている。しかし、この傾斜部材 S 5 は、冷媒導入流路 2 1 の端部近傍において凹形状 2 1 c を有し、冷媒の導入方向に沿って逆転する傾斜面を構成している点で、図 1 8 のガイド部とは異なっ

50

ている。

【 0 1 1 2 】

ここでは、導入口 2 4 から流入した冷媒は、冷媒導入流路 2 1 の終端部で衝突する直前に位置する凹形状 2 1 c によって、図 2 1 の上下方向に向かう 2 つの冷媒に分かれることになる。したがって、直接フィン 2 C に流入する冷媒は、その反対方向の凹形状 2 1 c と衝突した冷媒と再度合流したとき、冷却用流路 2 3 に向かう冷媒の流速が高められるから、冷却性能を向上させることが可能になる。

【 0 1 1 3 】

( 第 3 の実施の形態 )

つぎに、冷媒導入流路 2 1 内で高さ方向に段差を有するように流路を形成して偏流を調整する方法について説明する。

【 0 1 1 4 】

図 2 2 は、図 1 7 に示す半導体モジュールにおいて、高さ方向に段差を有する流路の形状を示す図であって、( A ) は冷却器のウォータージャケットの要部平面図、( B ) は冷媒導入口近傍での L 2 - L 2 矢視断面図、( C ) はタイプ別のガイド部形状の説明図である。

【 0 1 1 5 】

本実施の形態のウォータージャケット 2 A I では、傾斜するガイド壁 S 1 によって構成された冷媒導入流路 2 1 内に、ガイド壁 S 1 の傾斜面に沿って傾斜部材 S 2 1 が重ねて配置されている。この傾斜部材 S 2 1 によって構成されたガイド部は、ヒートシンクの前側側面に対し傾斜した側壁となっており、傾斜部材 S 2 1 はこの前側側面に向かって冷媒を誘導するよう傾斜した 2 つの傾斜面を有している。この傾斜部材 S 2 1 は、ヒートシンクの前側側面に対するその傾斜角度がガイド壁 S 1 の傾斜角度と異なるだけでなく、その流路内の高さ方向でも段差を形成している。

【 0 1 1 6 】

すなわち、第 1 の実施の形態のガイド部 2 1 S の形状と対比すると、傾斜部材 S 2 1 は、ウォータージャケット 2 A I の底面から所定の高さの範囲内に帯状に形成されている。この傾斜部材 S 2 1 の傾斜面とヒートシンクの前側側面との間隔は、冷媒導入流路 2 1 の開口部から終端部にわたって小さくなり、かつその上流側傾斜面及び下流側傾斜面に挟まれる角部においてその減少の割合が変化し、小さくなっている。また、この角部はヒートシンク側へ突出するよう形成されている。これによって、ヒートシンクの前側側面とガイド壁 S 1 及び傾斜部材 S 2 1 とで画定される断面の面積も同様に減少するように変化している。

【 0 1 1 7 】

このように流路高さ方向に複数の段差を与えて、多段ガイド部形状にした場合には、冷媒導入流路 2 1 から冷却用流路 2 3 に流入する冷媒の流速分布を改善することができる。とともに、冷媒の逆流を防止することができる。

【 0 1 1 8 】

つぎに、これらガイド部形状の違いが流速分布に与える影響について説明する。

ここでは、一枚の板状ブレードの厚さを 1 . 2 mm、隣接するブレード間のピッチを 2 . 1 mm、板状ブレードの基材 2 6 からの高さを 1 0 mm として、冷却用流路 2 3 にブレードフィン 2 C a を配置する。そして、ブレードフィン 2 C a の先端とウォータージャケット 2 A I の底部との間隔を 0 . 5 mm、導入口 2 4 に流量 1 0 L / m i n の流量で冷媒を導入するものとしてシミュレーションを行った。

【 0 1 1 9 】

つぎに、図 1 7 に示す従来の半導体モジュールの流路形状を比較対象として実施されたシミュレーション結果について説明する。

図 1 7 に示されている半導体モジュールでは、ガイド壁 S 1 によって形成された冷媒導入流路 2 1 の形状が、冷却用流路 2 3 に面する全範囲において一直線の傾斜面を構成していた。これに対して傾斜部材 S 2 1 によって構成された第 2 のガイド部には、図 2 2 ( A

10

20

30

40

50

)に示すように2つの傾斜面が構成されており、この傾斜部材S21が、ガイド壁S1の傾斜面に沿って冷媒導入流路21の底面に配置されている。

【0120】

ここで、第2のガイド部としての傾斜部材S21の最初の傾斜面は、冷媒導入流路21内で導入口24からの冷媒が最初にフィン2Cに流入する箇所を基点として、この基点から傾斜角度の変化点までの距離x1を10.0mmに設定している。また、冷媒導入流路21の終端部における傾斜部材S21のガイド部とフィン2Cとの間隔y0は、4.0mmに設定した。冷媒導入流路21の全長は255mm、底面からの高さは10.5mm、幅は15mmである。

【0121】

さらに、図22(B)に示すように、傾斜部材S21の高さz1は、冷媒導入流路21の高さに対して1/2以下とすることが好ましい。そこで、ウォータージャケット2AIの冷媒導入流路21、冷媒排出流路22、及び冷却用流路23などが10mmの高さに形成されているものとした場合、図22(C)に示すように、Jタイプのガイド部形状では傾斜部材S21の高さz1を2.5mm、Kタイプでは5.0mmに設定する。

【0122】

図23は、図22の半導体モジュールにおけるガイド部形状毎の冷媒の流速を回路基板の位置別に示す図である。

ここに示す流速分布は、第1の実施の形態の図12等と同様、7列に配置された回路素子部3D~3Fの基板中央部直下に配置されたフィン2C間の流速をシミュレーションした結果である。ここでは、導入口24側から排出口25に向けてB1~B7まで順に流速を示している。

【0123】

ここに示す流速分布は、Jタイプ、Kタイプのように第2のガイド部としての傾斜部材S21を追加することによって、図17に示す従来タイプのものより、冷却用流路23の導入口24側から、より大きな流速で冷媒が流入するようになる。しかも、傾斜部材S21の高さz1を増大することによって、冷媒導入流路21の両端部で冷媒の流速が高くなることも示している。

【0124】

また、Jタイプ、Kタイプのいずれでも、冷媒導入流路21に沿った流速分布はU字形状を示していて、Kタイプの流速分布では冷媒導入流路21の両端部で顕著に大きな流速が得られる。なお、冷却用流路23内において、導入口24側の流速は排出口25側と同等である。これに対し、従来タイプの流速分布はL字形状となっており、導入口24付近での流速が小さい。

【0125】

さらに、回路素子部3D, 3E, 3Fu, 3Fdの基板中央部直下において、フィン2C間に流れる冷媒の流速は、B1~B7の各箇所での平均値でみると、従来タイプのもので0.064m/s、Jタイプ、Kタイプではそれぞれ0.082m/sと0.081m/sとなる。すなわち、流路高さ方向に複数の段差を有するものでは、冷媒の平均流速を20%程度まで上昇させ、かつ流速分布を調整することが可能となる。

【0126】

以上のように、冷媒導入流路21の高さ方向に多段の傾斜面を形成することによって、素子基板下での流速を低下させることなく、冷却用流路23に導入される冷媒の流速を高めて、冷却性能を向上させることが可能となる。

【0127】

図24は、図22の半導体モジュールにおけるガイド部形状毎の冷媒の温度を回路基板の位置別に示す図である。

Jタイプ、Kタイプのものでは、第2のガイド部としての傾斜部材S21を追加して配置して、回路素子部3D~3Fの基板中央部直下の流速を高めたことによって、パワー半導体素子のジャンクション温度が低減できる。とくに、冷媒導入流路21の上流側では顕

10

20

30

40

50

著に低下している。すなわち、図 2 4 のグラフに示すように、流速が改善した割合に応じて冷媒温度も低下している。したがって、ガイド部形状に複数の傾斜を設けるだけでなく段差を設けて、パワー半導体素子の損失に対応するそれぞれ安定した冷媒流速を実現できることが確認できる。

【 0 1 2 8 】

図 2 5 乃至図 2 7 は、図 2 2 のウォータージャケットの性能を説明する図であって、( A ) は高さ方向に段差を有する流路の形状を示す図、( B ) は定常運転時の発熱を示す図である。ここでは、発熱値のシミュレーション結果の一例を示す。

【 0 1 2 9 】

図 2 5 ( B ) に示すように、最も効果の高い 1 列目の位置 B 1 に配置された回路素子部 3 D のジャンクション温度は、従来タイプの 1 2 8 . 4 に比較して、J タイプでは 1 2 3 . 8 、K タイプで 1 2 0 . 9 となる。したがって、従来形状 ( 図 1 7 ) のものに対して、K タイプでは 7 . 5 低減するから、5 . 8 % の冷却効率の向上が可能である。

【 0 1 3 0 】

また、図 2 6 ( B ) に示すように、設定された損失が高い 4 列目の位置 B 4 のパワー半導体素子では、流速が 0 . 1 m / s を保っており、そのジャンクション温度は上昇していない。図 2 7 ( B ) に示すように、7 列目の位置 B 7 のパワー半導体素子 3 F d についても、同様の冷却性能が得られる。

【 0 1 3 1 】

以上述べたように、図 1 7 に示す従来タイプのガイド壁 S 1 に、傾斜部材 S 2 1 によって構成されるガイド部を追加して配置し、冷媒導入流路 2 1 での偏流を調整することができる。これにより、フィン 2 C 間に流れる冷媒流速を、回路素子部 3 D , 3 E , 3 F u , 3 F d の基板中央部で全体として向上させることが可能となった。

【 0 1 3 2 】

( 第 4 の実施の形態 )

図 2 8 は、図 2 2 に示す半導体モジュールとは別の、流路の高さ方向に段差を有する流路形状を説明する図であって、( A ) は冷却器のウォータージャケットの要部平面図、( B ) は冷媒導入口近傍での L 2 - L 2 矢視断面図である。

【 0 1 3 3 】

図 2 8 に示す冷媒導入流路 2 1 内には、冷媒導入流路 2 1 の端部においてガイド壁 S 1 、第 2 のガイド部としての傾斜部材 S 2 1 が配置され、さらにこの傾斜部材 S 2 1 の上面に傾斜部材 S 2 2 が第 3 のガイド部として配置されている。ここでは、高さ方向で 3 段の段差を有する流路が構成されている点で、図 2 2 に示す流路形状とは異なる。導入口 2 4 から流入した冷媒は、フィン 2 C を配置した冷却用流路 2 3 に対して流れ込みやすくなり、冷却性能を向上させることが可能になる。

【 0 1 3 4 】

図 2 9 は、図 2 2 に示す半導体モジュールとはさらに別の、流路の高さ方向に段差を有する流路形状を説明する図であって、( A ) は冷却器のウォータージャケットの要部平面図、( B ) は冷媒導入口近傍での L 2 - L 2 矢視断面図である。

【 0 1 3 5 】

図 2 9 に示す冷媒導入流路 2 1 内には、冷媒導入流路 2 1 の端部においてガイド壁 S 1 、第 2 のガイド部としての傾斜部材 S 2 1 が配置され、この傾斜部材 S 2 1 の上面に、平面形状が二等辺三角形をなす傾斜部材 S 2 3 によって構成された第 3 のガイド部がさらに配置されている。この第 3 のガイド部としての傾斜部材 S 2 3 は、ガイド壁 S 1 との間に所定の間隙を持たせて配置されている点で、図 2 8 に示す流路の形状とは異なる。

【 0 1 3 6 】

ここでは、導入口 2 4 から流入する冷媒が、局所的かつ選択的にフィン 2 C を配置した冷却用流路 2 3 に流れ込みやすくなる。

なお、第 2 のガイド部としての傾斜部材 S 2 1 の上面には、傾斜部材 S 2 3 を一つだけでなく複数配置してもよい。また、平面形状が二等辺三角形の傾斜部材 S 2 3 に代えて、

10

20

30

40

50

平行四辺形、あるいは楕円形状の板体を配置し、さらにはそれらを導翼などに置き換えることも可能である。

【0137】

(第5の実施の形態)

ここまでに説明した第1乃至第4の実施の形態では、冷媒の導入口24と排出口25が左側壁2Abと右側壁2Adにそれぞれ分かれて配置されたウォータージャケット2Aについて説明した。第5の実施の形態では、左右側壁2Ab, 2Adのいずれか一方側面のみに導入口24と排出口25を配置した場合の偏流調整について説明する。

【0138】

図30は、従来の半導体モジュールの冷却器であって、図3のものとは異なる形状を有するウォータージャケットの要部構成を示す斜視図である。図30において、ウォータージャケット2AR内の破線による矢印は冷媒の流れる方向を示す。

10

【0139】

半導体モジュール10は、図1及び図2に示した通り、冷却器2及び冷却器2の上に配置された複数の回路素子部3A~3Cから構成されている。この冷却器2は、フィンカバーとしてのウォータージャケット2ARと、ヒートシンクとしてのフィン2Cが複数本植設されたフィンベース2Bとから構成され、複数のフィン2Cをウォータージャケット2ARの内部に収容するようにしている。

【0140】

図30に示すように、冷却器2のウォータージャケット2ARの外形は略直方体形状であって、その上側の主面には冷媒導入流路21、冷媒排出流路22、及びフィンを配置する冷却用流路23が設けられている。ここでは、図3のウォータージャケット2ARとは異なり、内部に冷媒を導入するための導入口24が、冷媒を外部に排出するための排出口25と同一側面である右側壁2Adに設けられている。

20

【0141】

これら冷媒導入流路21等の空間は、前側壁2Aa、左側壁2Ab、後側壁2Ac、右側壁2Ad及び底壁2Aeにより画定されている。なお、同図には説明の便宜のため、フィン2Cが描かれている。

【0142】

冷媒導入流路21は、第1流路として、冷媒の流入方向に沿うように、導入口24から導入口部21aを介して、ウォータージャケット2ARの前側壁2Aaと平行に、左側壁2Abまで延在されている。また、冷媒排出流路22は、第2流路として、冷媒の排出口25に向かうように、左側壁2Abから、後側壁2Acと平行に、排出口25まで直線状に延在されている。冷媒導入流路21と冷媒排出流路22とは、ほぼ平行に設けられている。

30

【0143】

冷却用流路23は、第3流路として、冷媒導入流路21と冷媒排出流路22との間に配設され、冷媒導入流路21及び冷媒排出流路22を連通するように形成されている。冷却用流路23は、冷媒導入流路21の延在方向及び冷媒排出流路22の延在方向とそれぞれ直交する方向に延在される。冷却用流路23の境界を画定している左側壁2Ab及び右側壁2Adの内面は、それぞれ冷却用流路23の底面及び後側壁2Acの内面に対して垂直に形成されている。

40

【0144】

冷却用流路23には、複数のフィン2Cからなるヒートシンクが配置され、これらのフィン2Cで画定される流路を冷媒が流れる。そして、導入口24から導入された冷媒は、ウォータージャケット2AR内で、冷媒導入流路21、冷却用流路23、及び冷媒排出流路22を通して排出口25から排出される。ヒートシンクは、その外形が略直方体であり、その左側側面、後側側面及び右側側面が、左側壁2Ab、後側壁2Ac及び右側壁2Adの内面と平行になるよう冷却用流路23に配設されている。

【0145】

50

このような構成を有するウォータージャケット2ARは、例えばアルミニウム、アルミニウム合金、銅、銅合金等の金属材料を用いて形成することができる。このような金属材料を用いてウォータージャケット2ARを形成する場合、例えばダイキャストによって、上記のような冷媒導入流路21、冷却用流路23、冷媒排出流路22、導入口24、及び排出口25を形成することができる。ウォータージャケット2ARは、このほかカーボンファイバーを含有する材料を用いることもできる。また、冷媒の種類やウォータージャケット2AR内に流れる冷媒の温度等によっては、セラミック材料や樹脂材料等を用いることも可能である。

【0146】

冷却器2の使用時には、例えば導入口24がその上流側に設けられるポンプに接続され、排出口25がその下流側に設けられる熱交換器に接続されて、これら冷却器2、ポンプ及び熱交換器を含む閉ループの冷媒流路が構成される。冷媒は、このような閉ループ内をポンプによって強制循環される。

10

【0147】

電力変換回路の動作時に、図8(A)に示す半導体モジュール10Bの各回路素子部3D、3E、及び3Fu、3Fdで発生した熱は、それが接合されているフィンベース2Bへと伝わり、さらにその下のフィン2Cへと伝わる。フィン2Cは、上述したように冷却用流路23内に配置されているから、この冷却用流路23に冷媒が流通されることで、フィン2Cが冷却される。発熱する回路素子部3D、3E、及び3Fu、3Fdは、このようにして冷却器2により冷却される。

20

【0148】

図31は、図30とは異なる流路形状を有するウォータージャケットの要部構成を示す斜視図である。

図31(A)に示すウォータージャケット2ALでは、一方の主面側に冷媒導入流路21、冷媒排出流路22、及び冷却用流路23が設けられ、破線で囲まれた冷却用流路23がフィン2Cに対応する大きさに形成されている。ウォータージャケット2ALの冷却用流路23には、例えば図2に示したように、フィンベース2Bと一体化したフィン2Cが配置される。フィン2Cは、その先端とウォータージャケット2ALの底壁2Aeとの間に一定のクリアランスCが存在するような寸法(高さ)に形成される(図1参照)。そして、最終的にフィン2Cと一体化されたフィンベース2Bは、図1及び図2に示したように例えば適当なシール材を用いてウォータージャケット2ALと接合される。これにより、ウォータージャケット2AL、フィンベース2B及びフィン2Cを備える冷却器2が構成できる。

30

【0149】

ここで、導入口24からの冷媒導入流路21を構成する前側壁2Aaには、その始端部から終端部で冷却用流路23の全面に対して傾斜するガイド壁S1が設けられている。また、冷媒を排出口25に流出する冷媒排出流路22の始端部には、傾斜角45度のガイド部22Soが配置されている。ガイド壁S1とガイド部22Soは、いずれも60度以下の傾斜を有するものであるが、冷媒導入流路21のガイド壁S1は冷却用流路23と接する全領域にわたって一様な傾斜をなしている。

40

【0150】

図31(A)には導入口24、及び排出口25が左側壁2Abの同一面側に配置されたLタイプのウォータージャケット2ALを示した。図30のものと同様に、同図(B)に示すRタイプのウォータージャケット2ARには、導入口24と排出口25を右側壁2Adの同一面側に配置している。すなわち、実際に冷媒を導入する配管接続の都合によって複数の形状が考えられるが、左右側壁2Ab、2Adに導入口24と排出口25をそれぞれ配置する前述の実施の形態の場合と同様、ウォータージャケットの形状ごとに流路形状の最適化が必要である。

【0151】

図32は、ウォータージャケットの形状毎に冷媒の流速を回路基板の位置別に示す図で

50

ある。なお、これらのグラフは、一例として図4(A)に示すブレードフィン2Caを冷却用流路23内に配置し、導入口24から流量10L/minの冷媒を流したとき、フィン2C間に流れる冷媒流速を示している。

【0152】

ここで、図31(A)に示すウォータージャケット2AL(Lタイプ)については、その流速分布を点線で示す。また、図31(B)に示すウォータージャケット2AR(Rタイプ)については、その流速分布を実線で示す。これに対して、図6(B)に示すウォータージャケット2Aのように、導入口24と排出口25を対称位置に配置したもの(LRタイプ)では、図32の一点鎖線で示す流速分布となる。

【0153】

これらの流速分布を比較すると、導入口24、排出口25を同一面側に配置したウォータージャケット2AL, 2ARでは、それぞれ配管が接続される側の回路基板B1, B7直下での流速が速くなるだけでなく、導入口24と排出口25を対称位置に配置した場合と比較して流速分布が不均一となっている。すなわち、冷媒導入流路21と冷媒排出流路22の間の冷却用流路23に並列にフィンを設置して流路を構成した場合に、排出口25側での冷媒の流速が速くなるという偏流特性が生じることがわかる。しかも、冷却用流路23を冷媒が速く流れる箇所ほど、フィン2Cによる冷却効率は高くなる。

【0154】

このように、図8(A)に示す半導体モジュール10Bでは、回路素子部3D, 3E, 3Fu, 3Fdで発生する熱量に応じて、冷媒をある一定以上の流速で流通させることが求められる。ところが、低流速部の流速の上昇を目的にして、単に導入口24からの流量を増した場合は、流速の速い部分で必要以上の冷媒が流れることになる。したがって、そのため冷却器に冷媒流量を増加して供給しなければならず、高性能のポンプが必要となる。

【0155】

従来構造のウォータージャケット2AL, 2ARを用いて冷媒の流速分布をシミュレーションすると、導入口24からウォータージャケット2AL, 2AR内に導入された冷媒は、排出口25の位置に引き寄せられるように流れ、冷却用流路23に流れ込む冷媒は、とくに冷媒の排出口25に近い側において、比較的速い流れとなる。

【0156】

一般に、複数配置された回路素子部3D, 3E, 3Fu, 3Fdでは、発生する損失に応じて半導体素子32, 33の冷却に必要な冷媒の流速を維持することが求められるが、上述した偏流特性によって冷媒の流速分布が大きくなれば、その冷却性能も同様に偏った分布となる。とりわけ、冷却用流路23において流速が速くなる排出口25側では、流速に対して冷却性能の変化は鈍く、流速の遅くなりやすい排出口側から離れた位置ではその変化は大きい。これは、排出口25側の冷却用流路23において、冷却性能の向上に寄与しづらい流速成分が生じることを意味している。そこで、このような偏流特性を改善することができれば、より安定した冷却性能が得られるだけでなく、全体的な冷却性能も向上させることも可能になる。

【0157】

また、図10(B)で説明したように、冷媒の流速と素子温度との関係について見ると、曲線Zで示すように、素子温度は冷媒の流速の減少に伴って急激に増加していく傾向にある。素子温度の上昇を抑えるうえで、安定した冷却性能を得るには、具体的には冷媒流速が0.1[m/s]以上であることが望ましい。

【0158】

なお、冷却器の圧力損失との関係だけで考えると、より性能の優れたポンプを使用すれば、その冷却器2に流通可能な冷媒の流速が増加するから、素子温度の上昇を抑えることも可能になる。しかしながら、そのようなポンプを使用すれば、冷却器2によって冷却される半導体モジュールの、したがってそれを搭載した電子機器等の大幅なコストアップを招く。

10

20

30

40

50



## 【 0 1 5 9 】

また、冷媒の偏流特性は、冷媒導入流路 2 1 と冷媒排出流路 2 2 とに挟まれた冷却用流路 2 3 を持つような並列流路において起こる現象である。とくに、冷却用流路 2 3 に配置される冷却用のフィン 2 C の間隔を広げた場合には、冷媒導入流路 2 1 からフィン 2 C に流れる冷媒に対する抵抗が小さくなって、冷媒が流れ込みやすくなる。したがって、フィン 2 C の間隔が広い形状であるほど偏流特性は拡大する。

## 【 0 1 6 0 】

上述した流路の偏流特性は、図 3 1 ( A )、( B ) に示した流路形状とフィンベースに配置する回路素子部での発生損失の分布とによって、必要とされる対策が異なる。以下では導入口 2 4、排出口 2 5 を同一面側に配置したウォータージャケット 2 A L, 2 A R における流速分布の調整法について説明する。なお、いずれも冷媒自体の性質（冷媒特性）と冷却性能をシミュレーションすることによって検証された結果に基づいている。

10

## 【 0 1 6 1 】

つぎに、半導体モジュールの冷媒導入流路 2 1 における偏流特性を調整可能なガイド部を有する冷却器 2 について説明する。

図 3 3 は、第 5 の実施の形態に係る半導体モジュールにおける流路の形状を説明する図である。図 3 4 もまた、第 5 の実施の形態に係る半導体モジュールにおける流路の形状を説明する図であって、( A ) は冷却器のウォータージャケットの平面図、( B ) はガイド部形状のタイプ別の説明図である。

## 【 0 1 6 2 】

図 3 3 ( A ) に示す L 1 タイプのウォータージャケット 2 A L は、冷媒の導入口 2 4 と排出口 2 5 が左側壁 2 A b に設けられ、冷媒導入流路 2 1 が前側壁 2 A a に沿って右側壁 2 A d に延在している。冷媒導入流路 2 1 の終端部には、平面形状が三角形をなす傾斜部材によってガイド部 2 1 S o が構成されている。

20

## 【 0 1 6 3 】

最初に、傾斜部材 S 2 によって構成される冷媒導入流路 2 1 の形状について説明する。ここでは、冷却用流路 2 3 の流速分布を改善するため、図 3 3 ( A ) ではガイド部 2 1 S o により、同図 ( B ) ではガイド壁 S 1 により、それぞれ所定の長さを有する傾斜面を構成している。これに対して、図 3 4 ( A ) には、2 つの異なる傾斜角度の面を有する傾斜部材 S 2 を一様に傾斜したガイド壁 S 1 に沿って配置した M タイプのウォータージャケットを示している。

30

## 【 0 1 6 4 】

M タイプのウォータージャケットでは、偏流を調整するための冷却器 2 の流路が、従来用いられているガイド壁 S 1 によって長さ x の傾斜面が形成され、このガイド壁 S 1 の傾斜面に沿って傾斜部材 S 2 を重ねて配置することで、2 つの異なる傾斜角度をなす新たなガイド部が構成されている。この傾斜部材 S 2 は、フィン 2 C からなるヒートシンクの前側側面に向かって冷媒を誘導するよう傾斜した第 1 の傾斜面と、同じく傾斜した第 2 の傾斜面とを有している。なお、傾斜部材 S 2 は、冷媒導入流路 2 1 の底面からの高さ z 1 がガイド壁 S 1 より低く形成されている。

## 【 0 1 6 5 】

こうして傾斜部材 S 2 をガイド壁 S 1 に沿って配置してなる新たなガイド部は、冷却用流路 2 3 内のフィン 2 C と対面する冷媒導入流路 2 1 の上流側の距離 x 1 で第 1 の傾斜面が最大傾斜角度を有し、さらに傾斜角度の変化点 P から終端側に第 2 の傾斜面が連続して形成されている。第 1 の傾斜面及び第 2 の傾斜面で挟まれる角部は、ヒートシンク側へ突出している。

40

## 【 0 1 6 6 】

したがって、この冷媒導入流路 2 1 にはガイド壁 S 1 以外に 2 つの傾斜面を有するガイド部が構成される。これは、導入口 2 4 側での傾きを最も大きく構成した点で、図 3 3 ( A )、( B ) の L 1 タイプ、L タイプの流路形状とは異なっている。すなわち、図 3 4 ( A ) に示す M タイプのガイド部形状の冷媒導入流路 2 1 では、冷媒の導入方向に向かって

50

断面積が連続して低減することで、冷却用流路 2 3 での流速分布を改善できる。

【 0 1 6 7 】

このように、第 5 の実施の形態におけるウォータージャケット 2 A L の冷媒導入流路 2 1 は、その底壁 2 A e 面、ガイド壁 S 1、及びヒートシンクの前側側面で断面の面積が画定される。そして、この断面の面積が、冷媒導入流路 2 1 の開口側から終端部に向かって一定の割合で小さくなり、かつ冷媒導入流路 2 1 内の傾斜部材 S 2 により、その途中においてその減少の割合が変化するように形成されている。なお、本実施の形態において、ヒートシンクは、その前側側面が導入口 2 4 から流入する冷媒の流入方向と略平行となり、冷媒の流れを遮らないよう導入口部 2 1 a の内壁に面一となるよう配設されている。また、ウォータージャケット 2 A L において、冷媒導入流路 2 1 の高さ、すなわちウォータージャケット 2 A L の底壁 2 A e 面とフィンベース 2 B の間の間隔は一定である。

10

【 0 1 6 8 】

冷媒を排出口 2 5 に流出する冷媒排出流路 2 2 には、その始端部に、ヒートシンクの後側側面に対し約 4 5 ° の傾斜角をなすガイド部 2 2 S o を形成するよう面取りが施されている。そして、冷媒排出流路 2 2 の下流側に向かってヒートシンクの後側側面と平行な側壁が形成されている。このように冷媒排出流路 2 2 の側壁をほぼ全長にわたって、ヒートシンクの後側側面に対し平行に形成することにより、ヒートシンクの下流側の圧力損失を小さくして、冷媒導入流路 2 1 側のガイド部による流速調整の効果を得ることができる。

【 0 1 6 9 】

ここでは、冷却用流路 2 3 の幅 2 5 5 mm、長さ 1 1 7 mm の領域内に、厚さ 1 . 2 mm、ピッチ 2 . 1 mm、高さ 1 0 mm のブレードフィンが配置され、導入口 2 4 から冷媒導入流路 2 1 に流量 1 0 L / m i n で冷媒を導入すると仮定する。その場合に、異なるガイド部の形状の流路タイプ毎に、ガイド部形状の違いが流速分布に与える影響を、シミュレーションにより確認した。

20

【 0 1 7 0 】

つぎに、図 3 4 ( B ) のように分類される流路形状を比較対象として実施されたシミュレーションの結果について説明する。

ここで用いる冷媒導入流路 2 1 は図 3 3、図 3 4 に示すスロープ形状とし、L タイプから M c タイプのガイド部では、いずれもフィン 2 C とガイド壁 S 1、あるいは傾斜部材 S 2 との間隔 ( 最小値 )  $y_0$  を 2 mm としている。また、図 3 4 ( A ) に示す M タイプのウォータージャケット 2 A L では、傾斜部材 S 2 の変化点までの距離  $x_1$  を 1 1 . 5 mm とし、M a タイプのみで 2 0 mm としている。また、傾斜部材 S 2 の変化点でのフィン 2 C との間隔  $y_1$  を 5 mm とし、M b タイプのみで 1 0 mm としている。さらに、傾斜部材 S 2 の高さ  $z_1$  は 2 . 5 mm とし、M c タイプのみで 5 mm としている。なお、冷却用流路 2 3 の流路の高さを 1 0 . 5 mm、導入口 2 4 での流路幅を 1 5 mm とする。

30

【 0 1 7 1 】

つぎに、上述した図 3 1 ( A ) に示すウォータージャケット 2 A L について、回路素子部 3 D 等から冷媒に与えられる熱損失について考察する。ここでは、導入口 2 4 側より B 1 ~ B 3 と B 4 ~ B 6 の 3 列ずつを 2 つのグループとして、各々の回路素子部 3 D、3 E で同様の大きさが設定され、7 列目だけで上流側の回路素子部 3 F d と下流側の回路素子部 3 F u とで異なる損失が設定される。この発熱量に応じて設定される損失値については、冷媒流速と冷媒温度及び冷却性能との関係に基づいて、 $3 D < 3 E < 3 F u < 3 F d$  の関係に設定する。

40

【 0 1 7 2 】

図 3 5 は、図 3 4 のウォータージャケットのタイプ毎での冷媒の流速を示す図である。また、図 3 6、図 3 7、及び図 3 8 には、半導体素子の定常運転時の発熱をタイプ毎に示す図である。これらはいずれも、前述した手法によるシミュレーション結果の一例であって、図 3 4 ( B ) に示すガイド部形状毎の冷媒の流速を回路基板の位置別に示している。

【 0 1 7 3 】

図 3 5 は、7 列に配置された回路素子部 3 D、3 E、3 F u、3 F d の基板中央部直下

50

に配置されたフィン 2 C 間の流速をシミュレーションした結果である。ここでは、導入口 2 4 側から導入路 2 0 a の終端部に向けて B 1 ~ B 7 まで順に流速を、さらに同図 ( B ) に流速の低い部分のみを拡大して示している。

【 0 1 7 4 】

図 3 5 に示すシミュレーション結果によれば、ガイド壁 S 1 によるひとつの傾斜面だけで流路の発生損失を高める場合には、冷却が最も必要とされる位置 B 7 での冷媒の流速が速くなる流路形状としては、L 1 タイプのものより傾斜面の長さ長いガイド形状を持つ L タイプが適している。しかし、傾斜部材 S 2 をガイド壁 S 1 に沿って配置した M タイプのウォータージャケット 2 A L では、図 3 3 ( A ) , ( B ) に示す L タイプ、L 1 タイプのもの以上に流速を高くすることができる。

10

【 0 1 7 5 】

また、L タイプ、L 1 タイプ及び M タイプのウォータージャケット 2 A L について、フィン 2 C の間を流れる冷媒流速の 7 箇所での平均値を比較すると、L タイプで 0 . 0 8 4 m / s、L 1 タイプで 0 . 0 8 3 m / s、L 2 タイプで 0 . 0 8 3 m / s、L 3 タイプで 0 . 0 8 4 m / s、そして M タイプでは 0 . 0 8 8 m / s となっている。すなわち、ガイド部 2 1 S の 1 つの傾斜面だけ、その長さを長くしても、L タイプ、L 1 ~ L 3 タイプの間でその平均流速にほとんど変化はない。しかし、M タイプのように複数の傾斜面を配置することによって、回路素子部での平均流速が向上している。したがって、ガイド壁 S 1 以外に複数の傾斜面を有する傾斜部材 S 2 によってガイド部を構成することで、より効率のよい冷却性能を得ることができることがわかる。

20

【 0 1 7 6 】

図 3 5 のシミュレーション結果から、排出口 2 5 の位置に依存して位置 B 1 での流速が高くなるという偏流特性については、いずれのタイプでもほとんど変わりはないことが確認できる。すなわち、冷媒導入流路 2 1 に傾斜部材 S 2 を配置しても、とくに偏流特性が助長されることなく、冷却効率を改善する効果があることは明らかである。

【 0 1 7 7 】

また、図 3 4 ( B ) における M タイプ、M a タイプ乃至 M c タイプまでのように、ガイド壁 S 1 の傾斜面に配置される傾斜部材 S 2 の変化点までの距離 x 1、変化点でのフィン 2 C との間隔 y 1、及び傾斜部材 S 2 の高さ z 1 を異ならせた場合でも、導入口 2 4 から終端部へ向かう冷媒の流速を損なわず、適切な流速分布となるよう調整することは可能である。

30

【 0 1 7 8 】

以上のように、同一の壁面に導入口 2 4、及び排出口 2 5 を配置するウォータージャケット 2 A L において、ガイド壁 S 1 の傾斜面に複数の傾斜面を有する傾斜部材 S 2 などを設けて偏流特性を調整することができる。また、回路素子部 3 D、3 E、3 F u、3 F d の基板中央部直下での流速を全体的に向上させることも可能となった。さらに、このようなシミュレーション結果に基づいて、L タイプ、L 1 ~ L 3 タイプ、及び M タイプの流路について、それぞれ回路素子部 3 D、3 E、3 F u、3 F d に対応する損失を与えて、パワー半導体素子の発熱状態を確認した。

40

【 0 1 7 9 】

図 3 6 ないし図 3 8 には、図 3 3 と図 3 4 ( A ) のウォータージャケットに配置された半導体素子の定常運転時の発熱値のシミュレーション結果の一例をタイプ毎に示す。発熱温度の比較対象は 1 列目 ( 位置 B 1 )、4 列目 ( 位置 B 4 ) のそれぞれ下流側に配置された回路素子部 3 D、3 E、7 列目では発生損失がより大きい回路素子部 3 F d の 3 箇所の I G B T 素子を比較対象とした。

【 0 1 8 0 】

図 3 8 に示すように、L 3 タイプのものではジャンクション温度が 1 4 4 . 6 であるのに対し、M タイプのものでは 1 4 1 . 8 と 3 低減し、もっとも低くなる。すなわち、ガイド壁 S 1 だけでなく傾斜部材 S 2 によって冷媒導入流路 2 1 の流路形状を改善する

50

ことで、特に損失値の高い上流側の回路素子部 3 F d の基板中央部直下 B 7 での流速が向上した効果が大きく、パワー半導体素子のジャンクション温度を低減することが可能である。その他の回路素子部での流速についても、位置 B 1 ~ B 6 での冷却性能は、その損失に対し十分な流速を確保できていることから、それぞれのタイプのものの中で、ジャンクション温度にほとんど相違はない。

#### 【 0 1 8 1 】

( 第 6 の実施の形態 )

上述した実施の形態は、傾斜部材 S 2 を用いることで、冷媒導入流路 2 1 の終端部での流速向上に寄与するが、冷媒導入流路 2 1 内を流れる冷媒の速度が排出口 2 5 側でより高くなる流速分布を改善するまでには至っていない。したがって、流速分布と回路素子部での損失との関係を合わせて考慮し、傾斜部材 S 1 , S 2 の配置する位置を決定することが望ましい。

10

#### 【 0 1 8 2 】

すなわち、ウォータージャケット 2 A R により回路素子部を冷却するには、図 3 9 ( A ) に示すように、流速分布の関係から損失の高い 3 F d 側に導入路を、3 F u 側に排出路を設ける必要がある。

#### 【 0 1 8 3 】

図 3 9 は、第 6 の実施の形態に係る半導体モジュールにおける流路の形状を示す平面図である。

図 3 9 ( A ) に示す R タイプのウォータージャケット 2 A R は、図 3 3 ( B ) に示した L タイプのものに対して導入口 2 4 、排出口 2 5 が左右対称に配置され、かつ一様に傾斜したガイド壁 S 1 により所定の長さの傾斜面を有している。また、同図 ( B ) に示す S タイプのウォータージャケット 2 A R は、図 3 4 ( A ) に示した M タイプのものに対して導入口 2 4 、排出口 2 5 が左右対称に配置され、かつガイド壁 S 1 に沿って配置された傾斜部材 S 2 1 により 2 つの異なる傾斜角度の面を有している。

20

#### 【 0 1 8 4 】

図 4 0 は、図 3 9 の半導体モジュールにおけるガイド部の形状毎に冷媒の流速を示す図である。

図 4 0 に示すシミュレーション結果によれば、R タイプ、M タイプのいずれも、冷却用流路 2 3 における流速分布は導入口 2 4 、排出口 2 5 側での流速ほど速くなっている。すなわち、排出口 2 5 近くに配置された回路素子部 3 F d の中央部直下のフィン間を流れる流速は、S タイプで  $0.141 \text{ m/s}$ 、R タイプで  $0.158 \text{ m/s}$  と、いずれのものでも回路素子部での損失に見合う流速分布が実現されている。

30

#### 【 0 1 8 5 】

また、冷却用流路 2 3 の低流速側の位置 B 1 での流速を S タイプと R タイプとで比較した場合、S タイプで  $0.052 \text{ m/s}$ 、R タイプで  $0.045 \text{ m/s}$  となっている。すなわち、ガイド壁 S 1 以外に 2 つの傾斜面を有するガイド部を冷媒導入流路 2 1 に構成した S タイプの方が、低流速となる位置 B 1 ~ B 3 での流速が高く、しかも高流速となる位置 B 6 , B 7 での流速は低くなっている。このことから、S タイプのものがより流速分布の均一化された状態へと改善できることがわかる。

40

#### 【 0 1 8 6 】

以上のように、回路素子部 3 D , 3 E , 3 F d , 3 F u の損失と基板サイズとの関係から、損失の大きくかつ基板サイズの大きな 3 F d , 3 F u 側に導入口 2 4 、排出口 2 5 を配置した方がより冷却効率は高くなる。そこで、回路素子部 3 D , 3 E , 3 F d , 3 F u に対応する損失を与えて、パワー半導体素子の発熱状態が確認した。

#### 【 0 1 8 7 】

図 4 1 は、図 3 9 のウォータージャケットについて、半導体素子の定常運転時の性能を説明する図であって、( A ) は B 1 列下流側での発熱温度、( B ) は B 4 列下流側での発熱温度、( C ) は B 7 列上流側での発熱温度をタイプ毎に示す図である。

#### 【 0 1 8 8 】

50

ここでは、流速分布の改善結果とジャンクション温度の結果に相関が見られ、回路素子部 3 D , 3 E , 3 F d , 3 F u の損失に対し、冷却に必要な流速の調整が可能になっていることがわかる。とくに、損失の高い回路素子部 3 F d において、S タイプ、R タイプは M タイプと比較して 8 . 6 の低減が可能であり、6 % の冷却効率が向上した。

【 0 1 8 9 】

また、S タイプと R タイプを比較した場合、回路素子部 3 F d のジャンクション温度は冷却十分な流速に向上したことから両者に相違はほとんどないが、低流速となる回路素子部 3 D の下流側において、S タイプで 1 3 0 . 4 , R タイプで 1 3 2 . 3 と約 2 の差がある。このことから、S タイプの冷媒導入流路 2 1 に配置した傾斜部材 S 2 1 は、流速分布を調整し、全体的な冷却性能を向上できるという効果を有することが明らかである

10

【 0 1 9 0 】

なお、本発明は上述した 6 つの実施の形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。

上記については単に本発明の原理を示すものである。さらに、多数の変形、変更が当業者にとって可能であり、本発明は上記に示し、説明した正確な構成及び応用例に限定されるものではなく、対応するすべての変形例及び均等物は、添付の請求項及びその均等物による本発明の範囲とみなされる。

【 符号の説明 】

【 0 1 9 1 】

20

2 冷却器

2 A , 2 A I , 2 A L , 2 A R ウォータージャケット

2 B フィンベース

2 C フィン

1 0 , 1 0 A , 1 0 B 半導体モジュール

2 1 冷媒導入流路

2 1 a 導入口部

2 1 b 第 2 の傾斜面

2 1 c 凹形状

2 1 S , 2 2 S , 2 1 S o , 2 2 S o ガイド部

30

2 2 冷媒排出流路

2 2 G ガイド片

2 3 冷却用流路

2 4 導入口

2 5 排出口

2 6 基材

3 A ~ 3 E , 3 F d , 3 F u 回路素子部

3 1 基板

3 1 a 絶縁基板

3 1 b , 3 1 c 導体パターン

40

3 2 , 3 3 半導体素子

3 4 , 3 5 接合層

4 0 インバータ回路

4 1 三相交流モータ

C クリアランス

B 1 ~ B 7 位置

F 平坦面

Q 1 , Q 2 流速

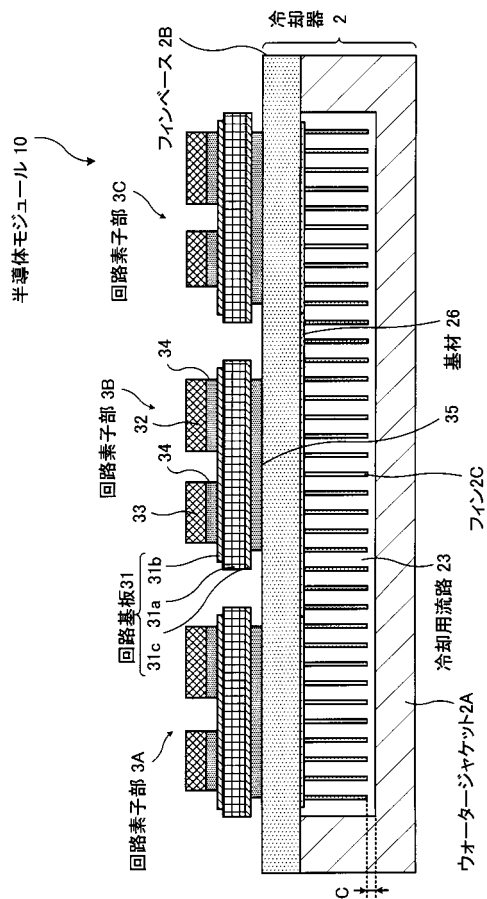
S 傾斜面

S 1 ガイド壁

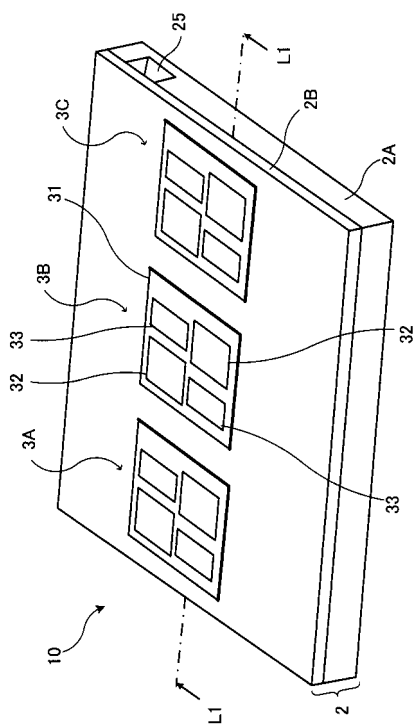
50

S 2 ~ S 5 , S 2 1 ~ S 2 3 傾斜部材  
T 1 , T 2 素子温度

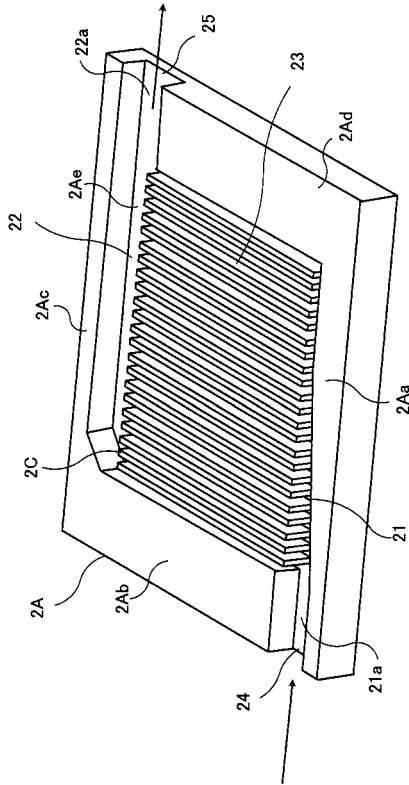
【図 1】



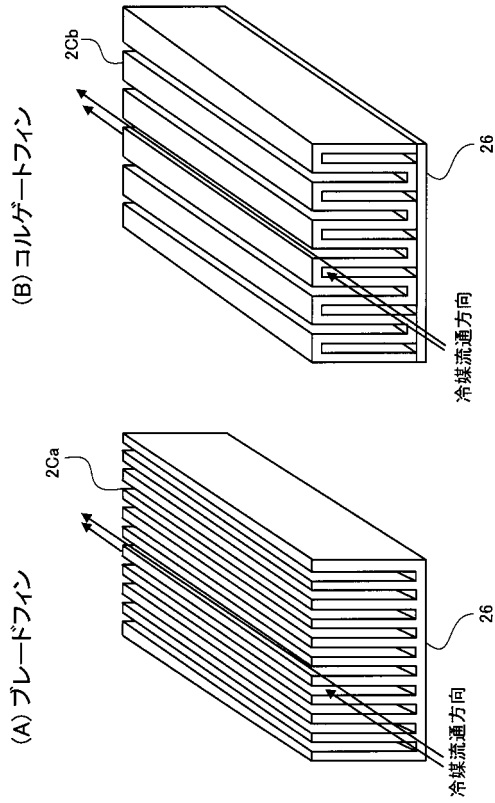
【図 2】



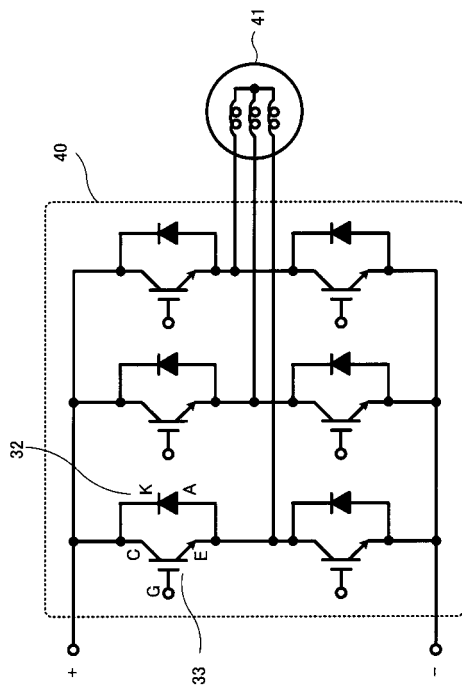
【図3】



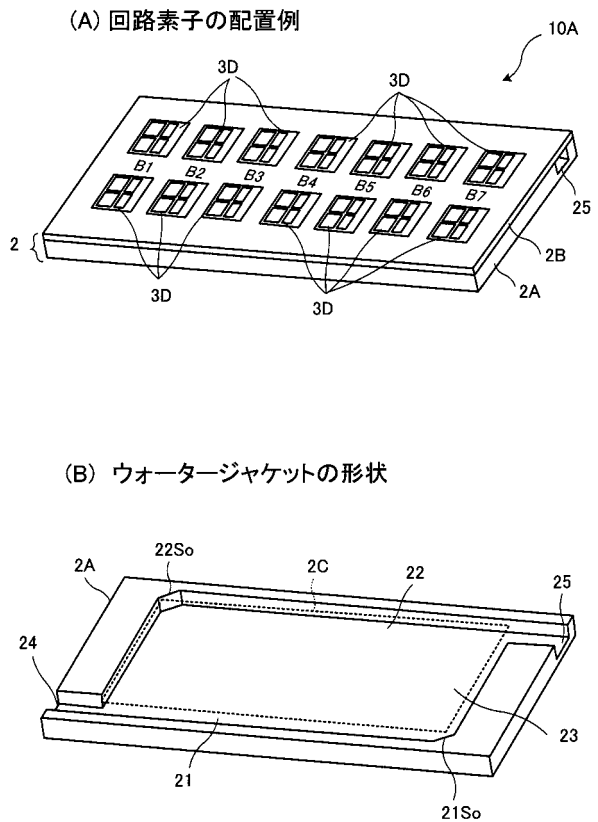
【図4】



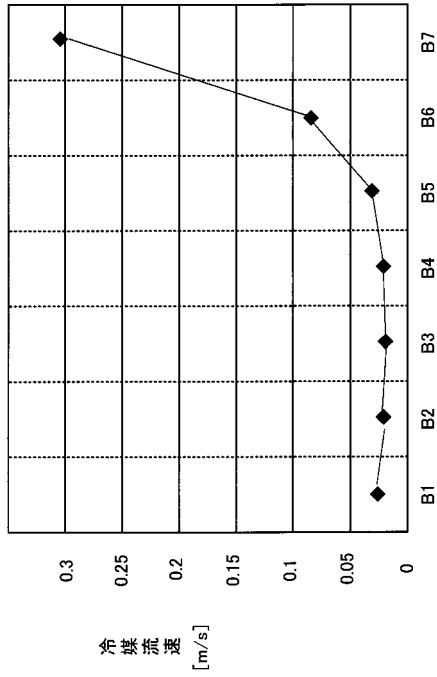
【図5】



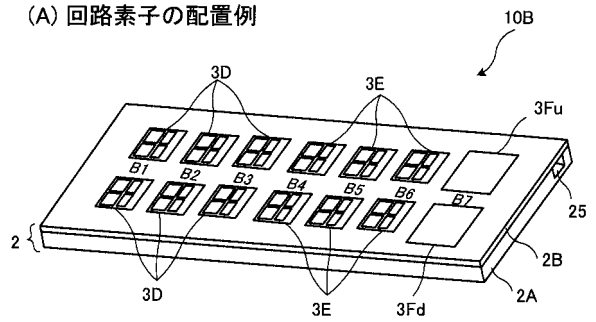
【図6】



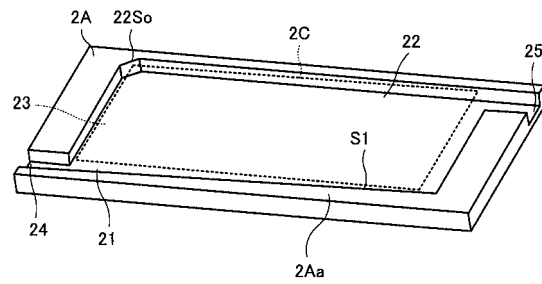
【図7】



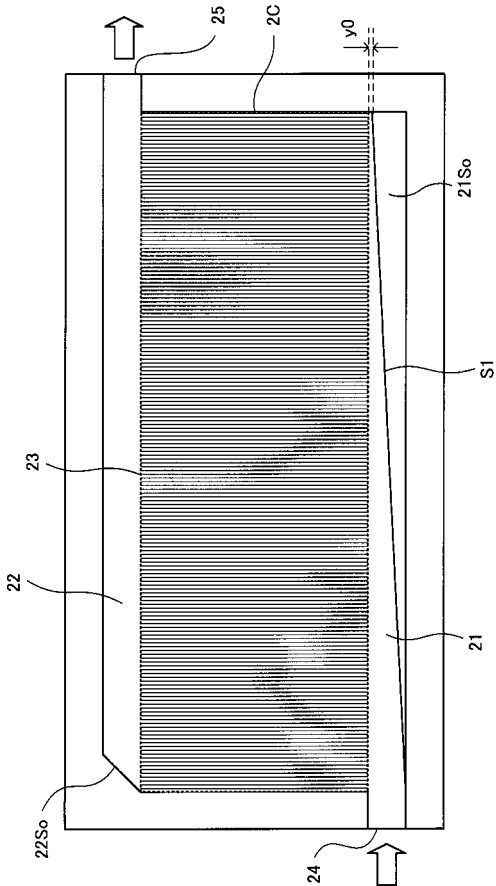
【図8】



(B) ウォータージャケットの形状

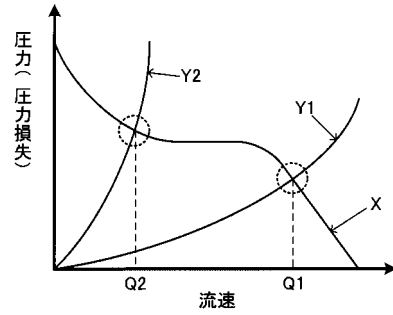


【図9】

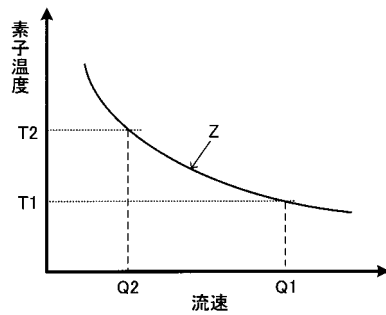


【図10】

(A) 冷却器の圧力損失



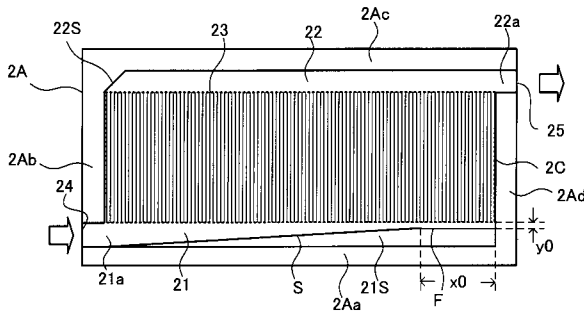
(B) 半導体素子の温度変化





【図11】

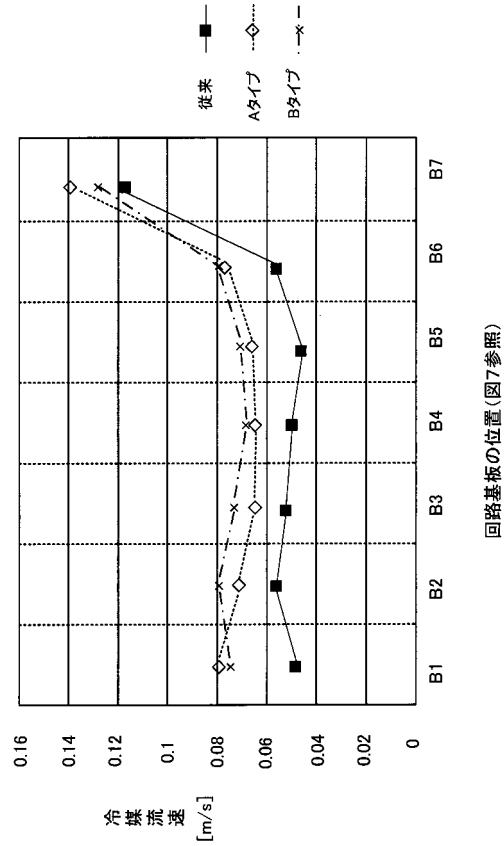
(A) 流路形状



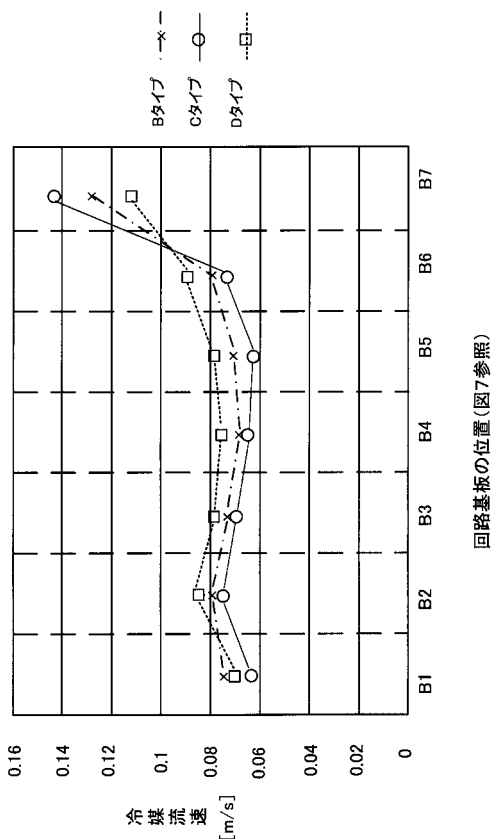
(B) タイプ別の流路寸法 (x0:距離、y0:フィンスローブ間隔)

	x0[mm]	y0[mm]
図9	-	3.0
Aタイプ	30	3.0
Bタイプ	40	3.0
Cタイプ	40	2.0
Dタイプ	40	4.0
Eタイプ	60	3.0
Fタイプ	90	3.0
Gタイプ	120	3.0
Hタイプ	20	1.0
Iタイプ	40	5.0

【図12】

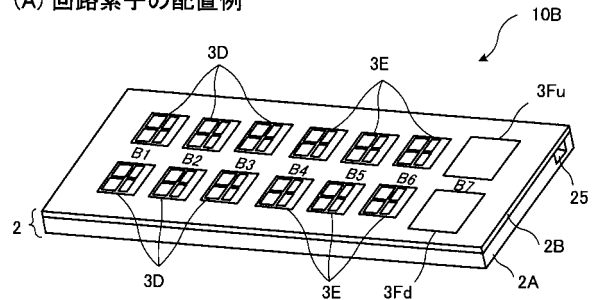


【図13】

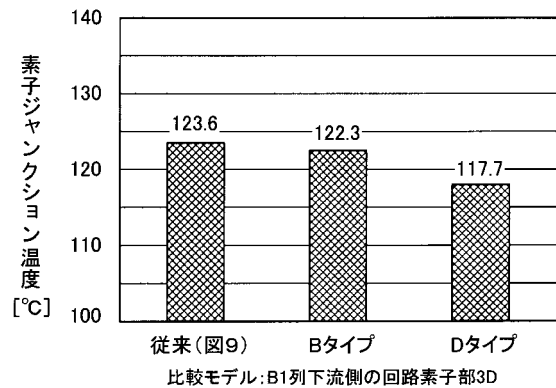


【図14】

(A) 回路素子の配置例

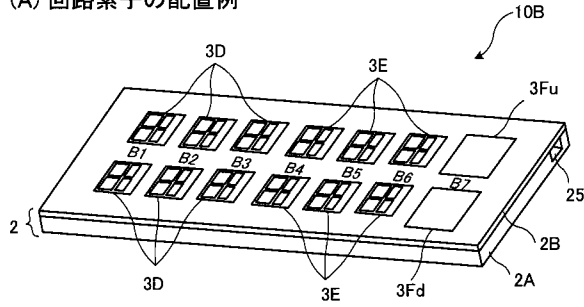


(B) 定常運転時の発熱

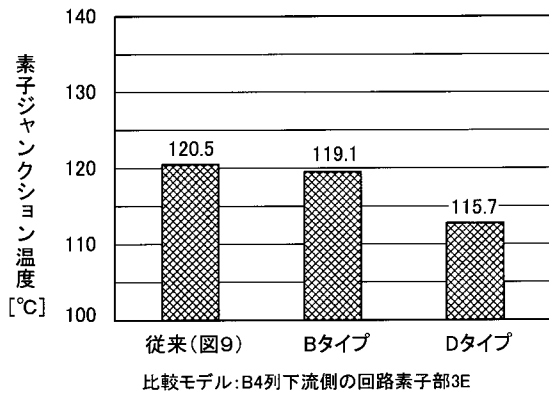


【図15】

(A) 回路素子の配置例

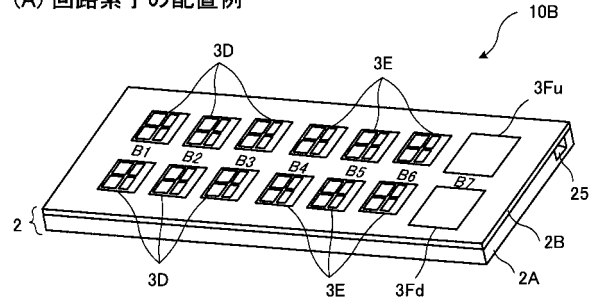


(B) 定常運転時の発熱

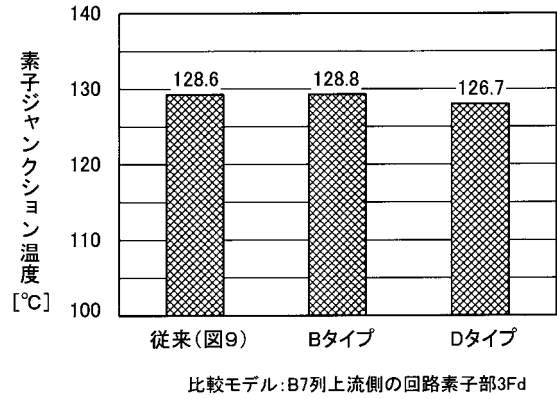


【図16】

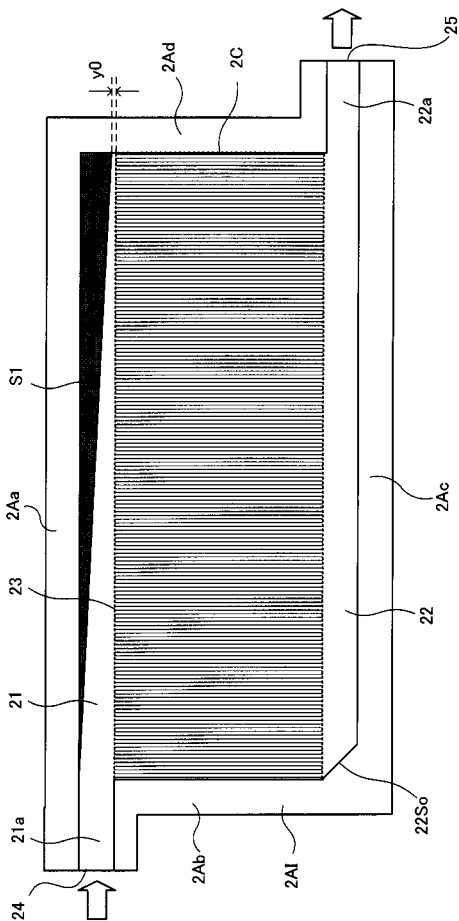
(A) 回路素子の配置例



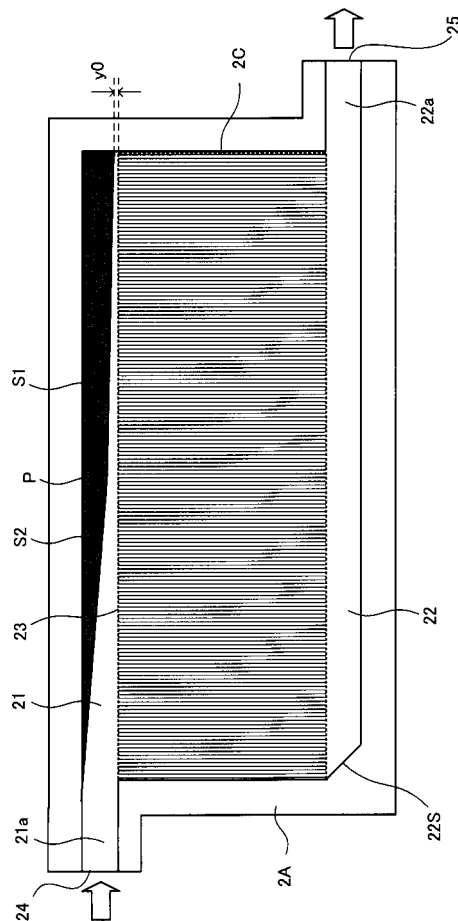
(B) 定常運転時の発熱



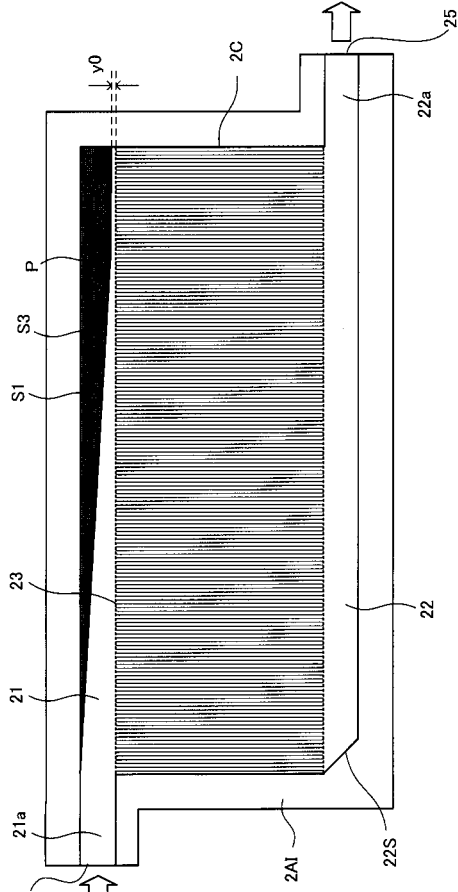
【図17】



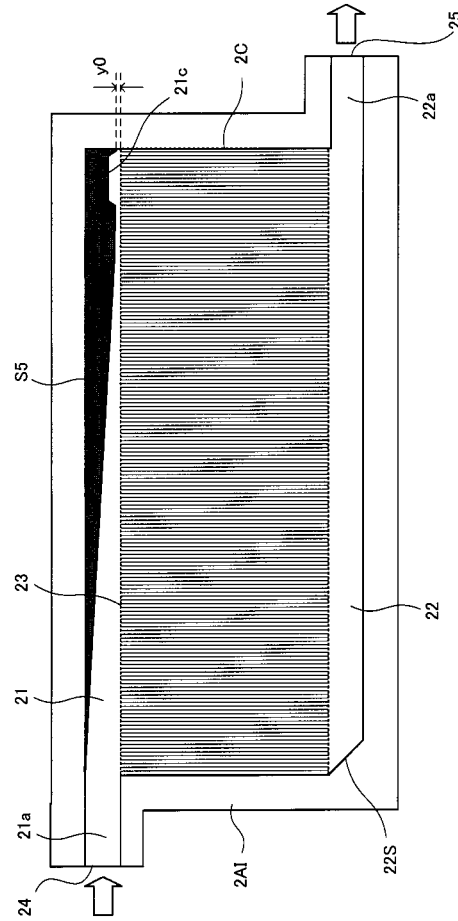
【図18】



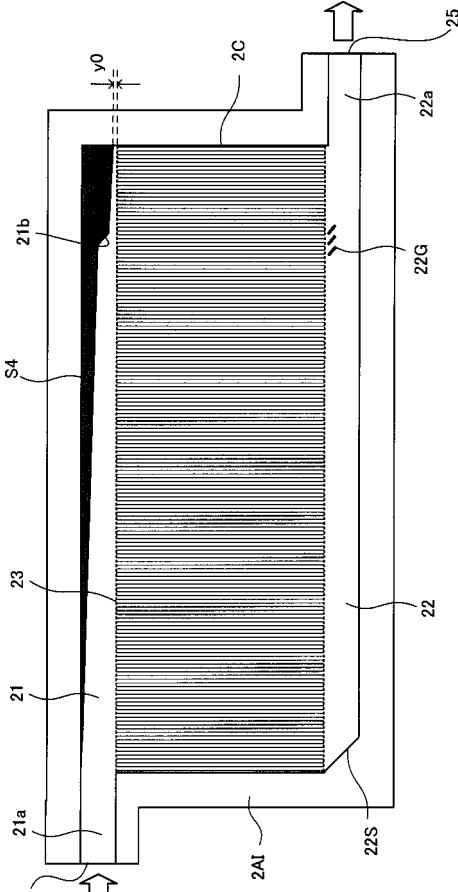
【図19】



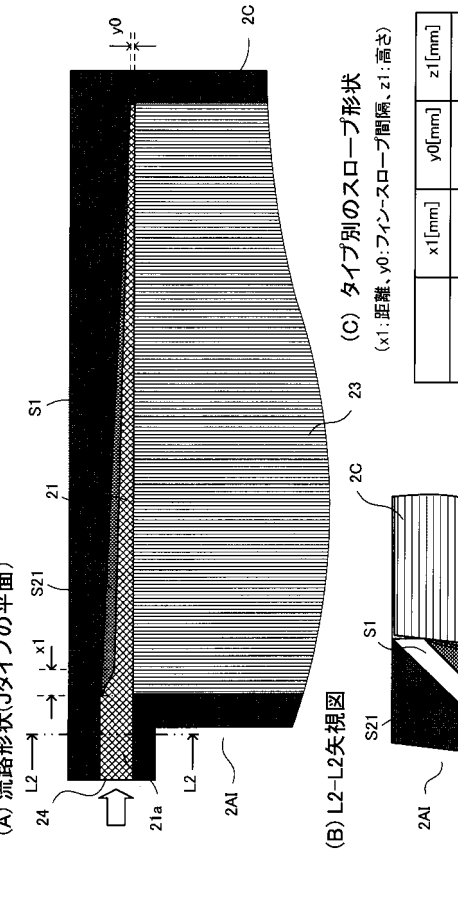
【図21】



【図20】



【図22】



(A) 流路形状(Jタイプの平面)

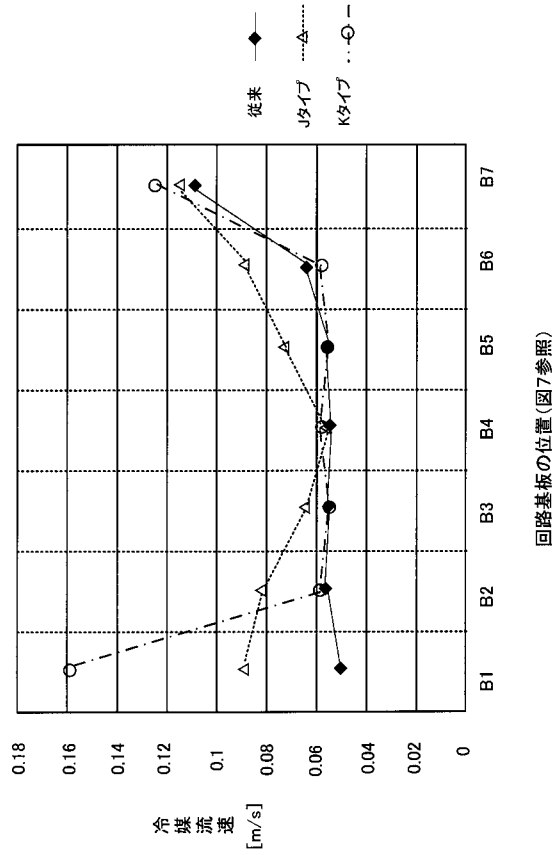
(B) L2-L2矢視図

(C) タイプ別のスロープ形状

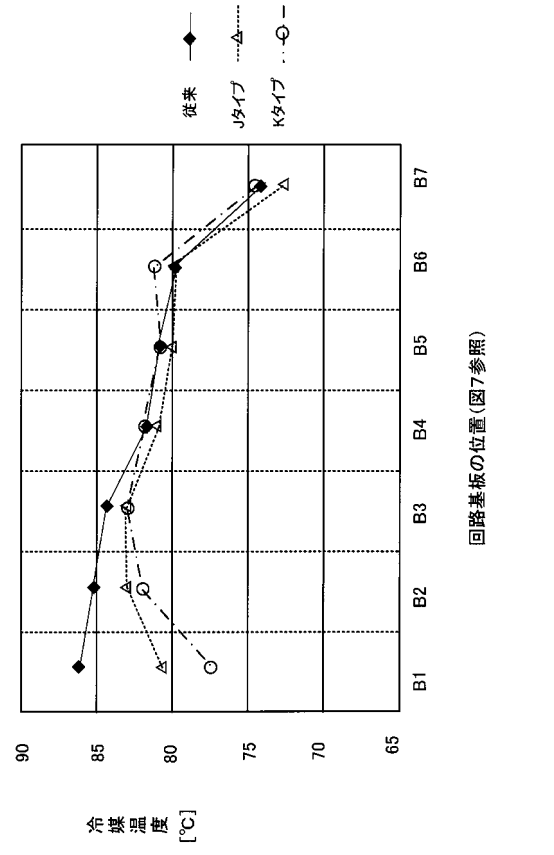
(x1:距離、y0:フィン-スロープ間隔、z1:高さ)

	x1[mm]	y0[mm]	z1[mm]
図17	-	4.0	-
Jタイプ	10.0	4.0	2.5
Kタイプ	10.0	4.0	5.0

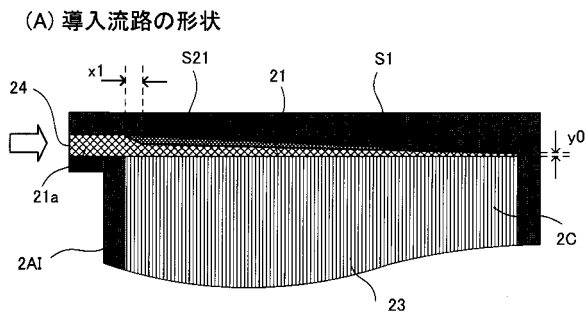
【図23】



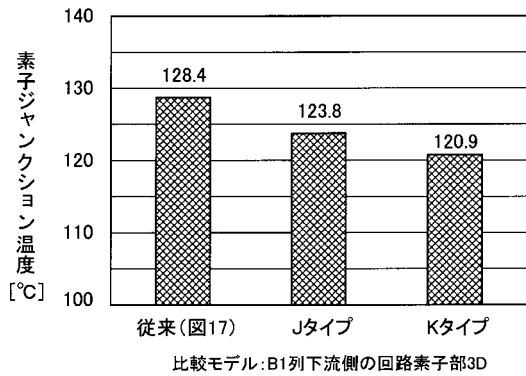
【図24】



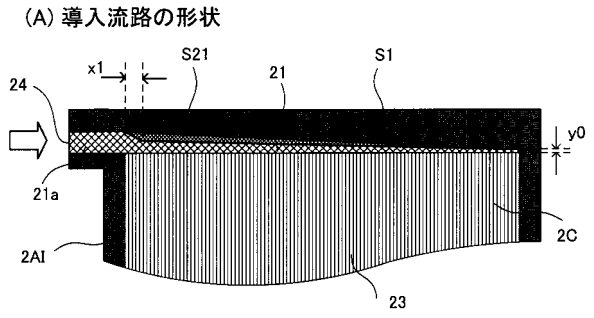
【図25】



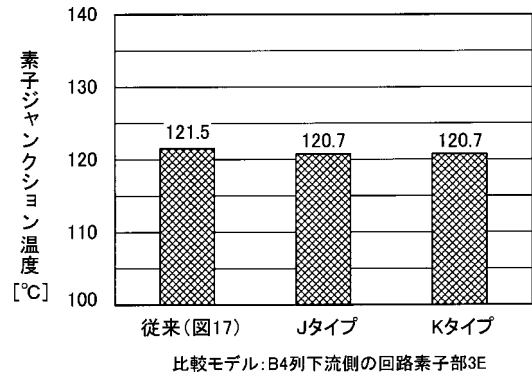
(B) 定常運転時の発熱(図14参照)



【図26】

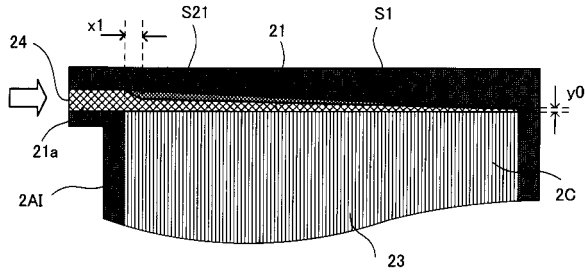


(B) 定常運転時の発熱(図15参照)

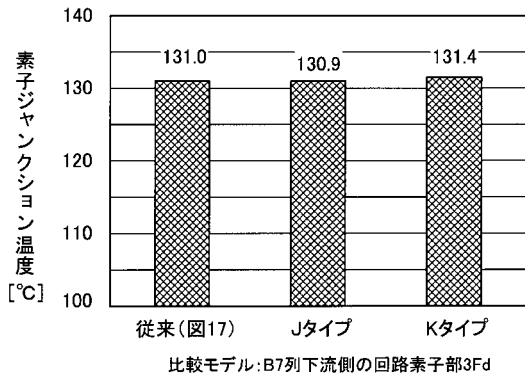


【図 27】

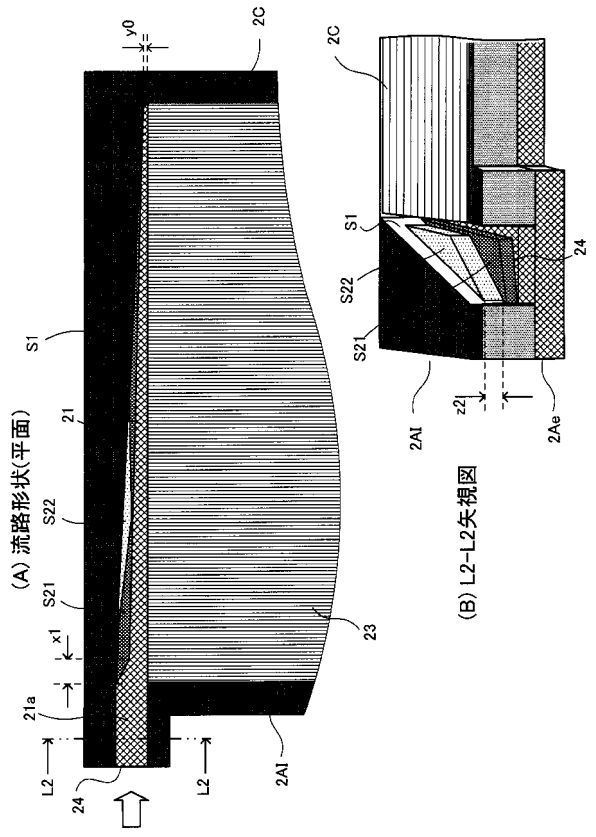
(A) 導入流路の形状



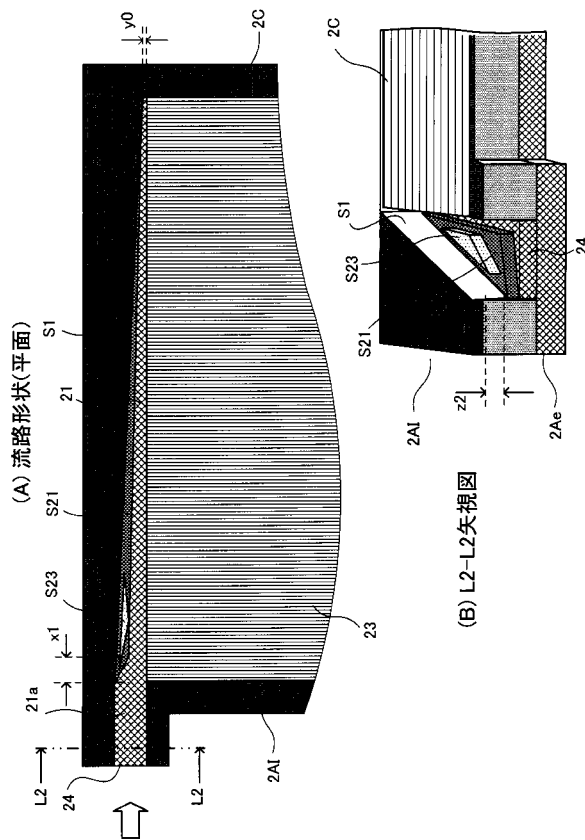
(B) 定常運転時の発熱(図16参照)



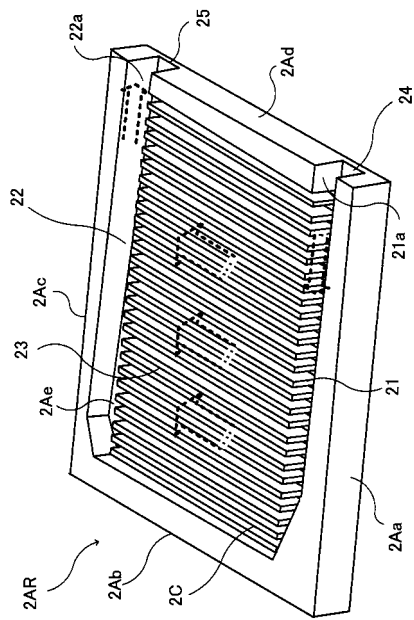
【図 28】



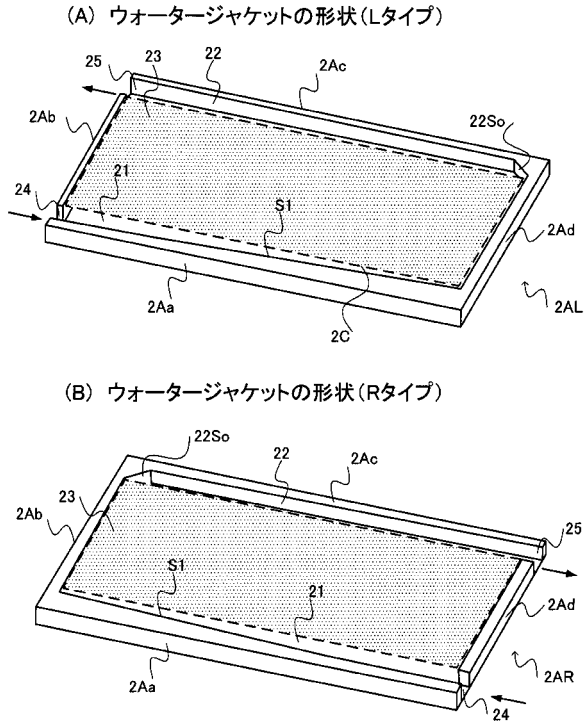
【図 29】



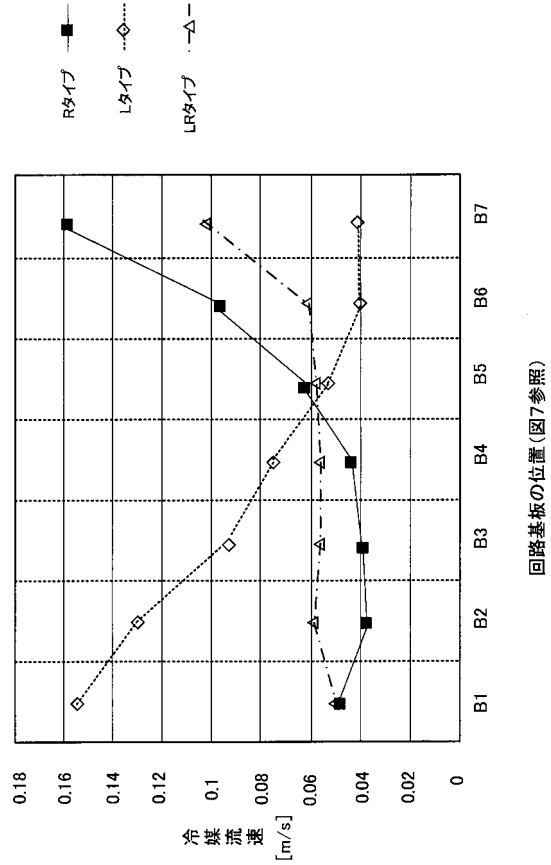
【図 30】



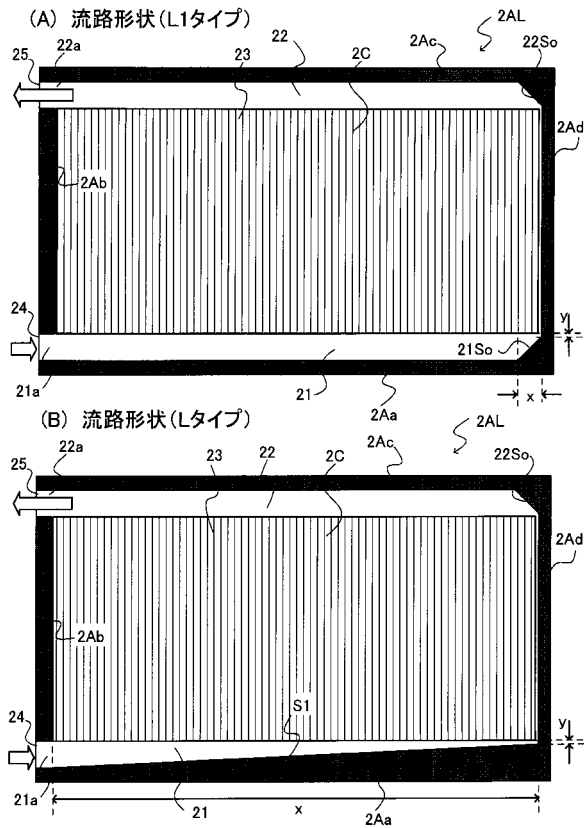
【図31】



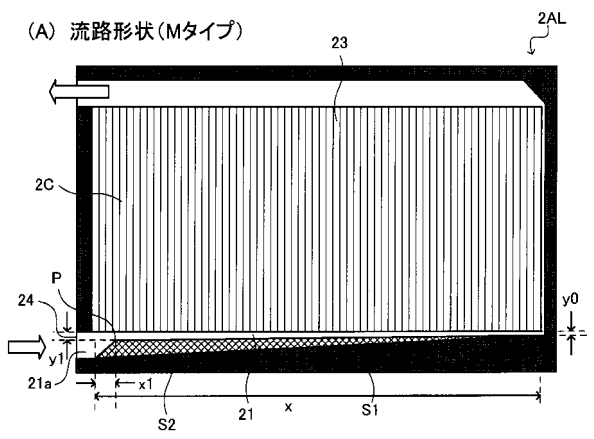
【図32】



【図33】



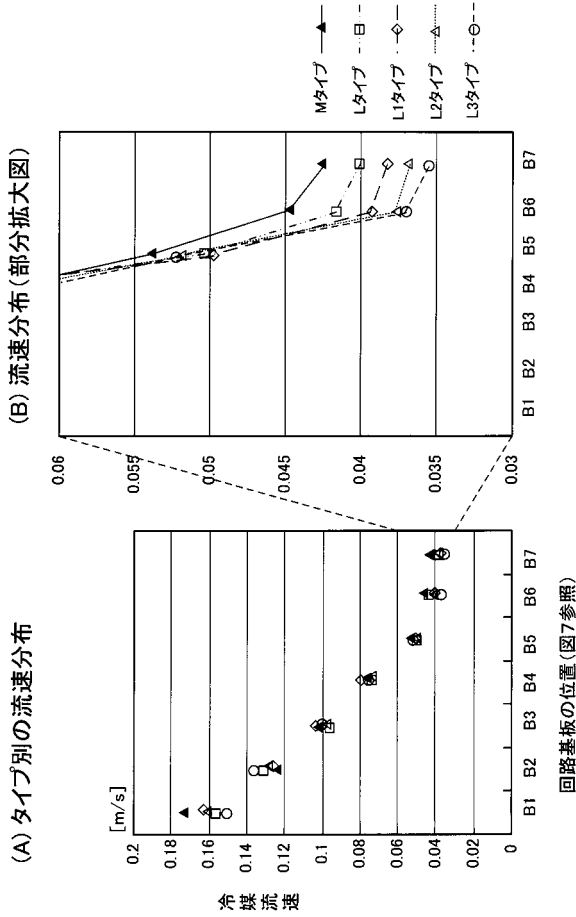
【図34】



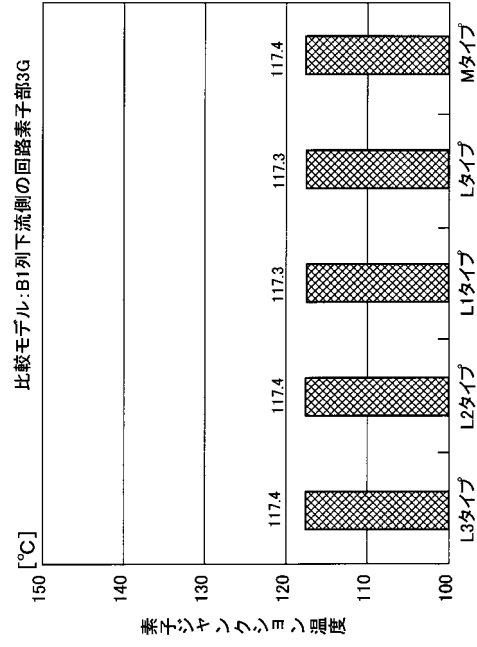
(x, x1: 距離、y0, y1: フィンスロープ間隔、z1: 高さ)

形状	x[mm]	y0[mm]	x1[mm]	y1[mm]	z1[mm]
Lタイプ	255	2	-	-	-
L1タイプ	183	2	-	-	-
L2タイプ	98	2	-	-	-
L3タイプ	13	2	-	-	-
Mタイプ	255	2	11.5	5	2.5
Maタイプ	255	2	20	5	2.5
Mbタイプ	255	2	11.5	10	2.5
Mcタイプ	255	2	11.5	5	5

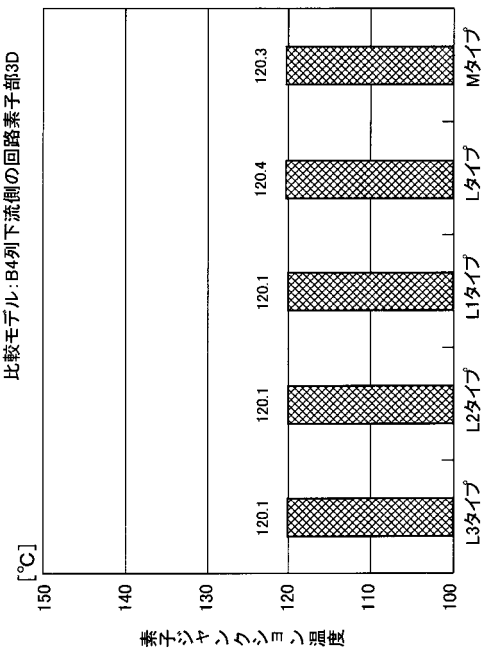
【図 35】



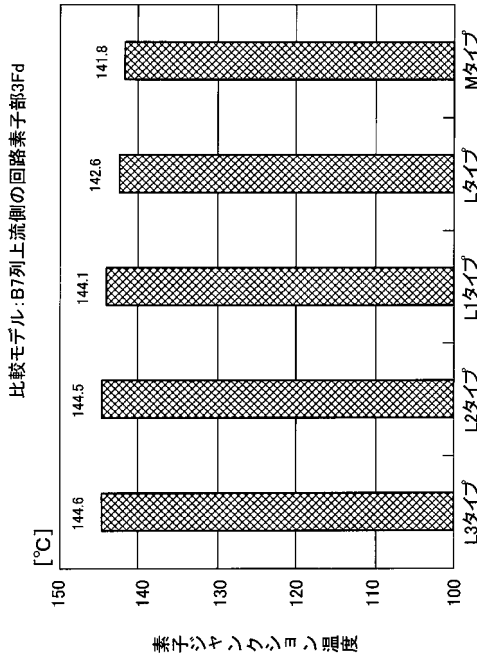
【図 36】



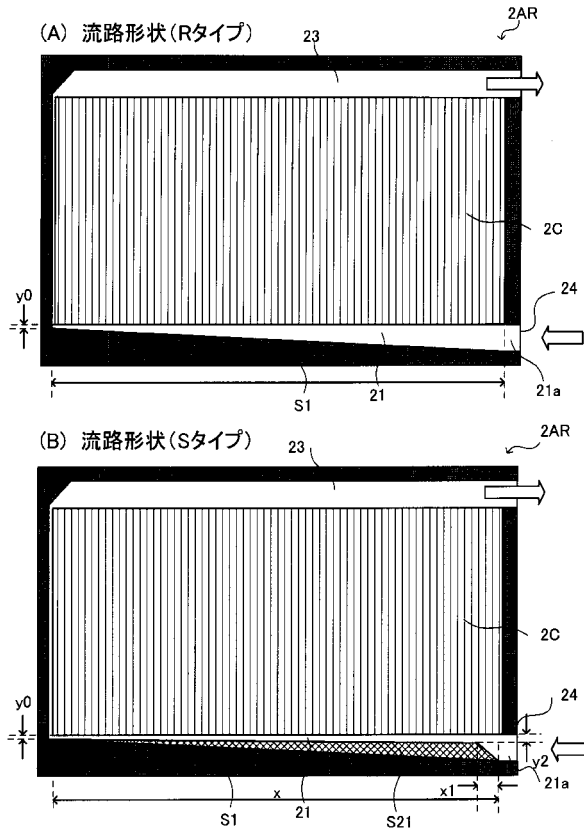
【図 37】



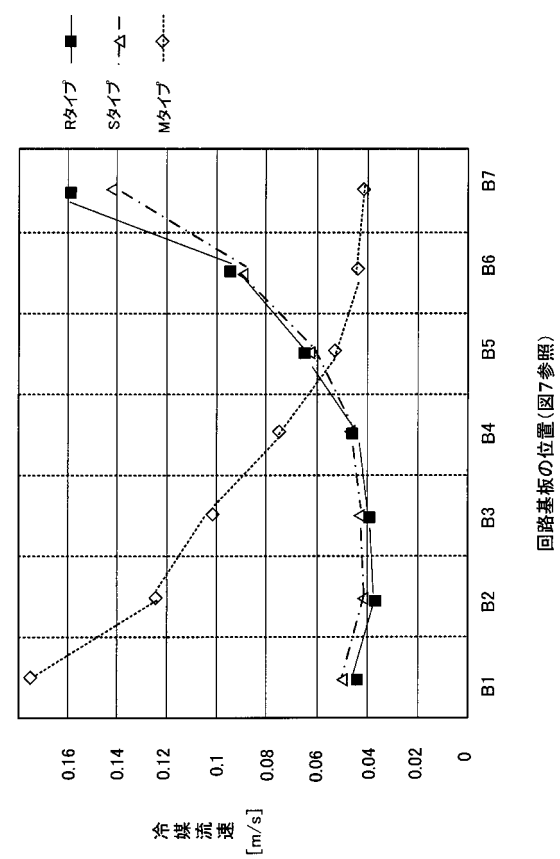
【図 38】



【図39】

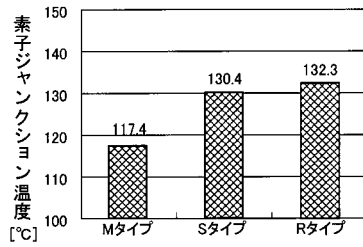


【図40】

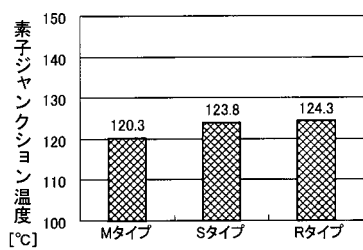


【図41】

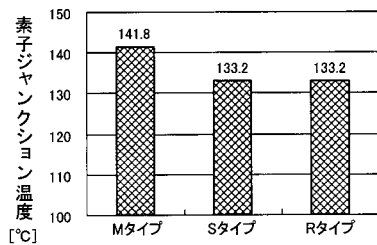
(A) B1列下流側の回路素子部3D



(B) B4列下流側の回路素子部3G



(C) B7列上流側の回路素子部3Fd





---

フロントページの続き

審査官 今井 拓也

- (56)参考文献 特開2006-295178(JP,A)  
国際公開第2009/069578(WO,A1)  
特開2010-056131(JP,A)  
特開2001-352025(JP,A)  
特開2008-235725(JP,A)

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