

(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2004-71969

(P2004-71969A)

(43) 公開日 平成16年3月4日(2004.3.4)

(51) Int. Cl.⁷

H01L 35/30
F25B 21/02
F28D 15/02
H01L 23/38
H01L 23/427

F I

H01L 35/30
F25B 21/02 D
F25B 21/02 T
F28D 15/02 L
F28D 15/02 I O I H

テマコード (参考)

5 F 0 3 6

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2002-231750 (P2002-231750)

(22) 出願日 平成14年8月8日 (2002.8.8)

(71) 出願人 391025730

岡野電線株式会社

神奈川県大和市深見西1丁目5番28号

(74) 代理人 100093894

弁理士 五十嵐 清

(72) 発明者 賢川 潤

神奈川県大和市深見西1丁目5番28号

岡野電線株式会社内

Fターム(参考) 5F036 AA01 BA04 BA07 BA24 BA33
BB01 BB21 BB60 BC22 BF01
BF05

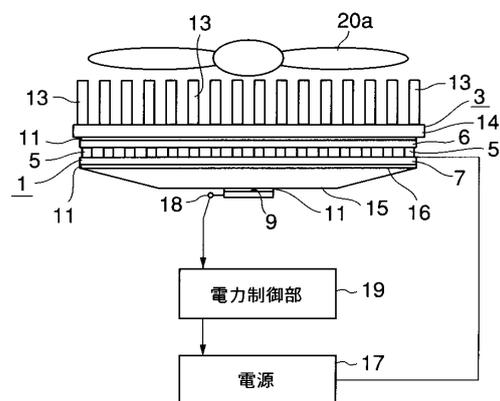
(54) 【発明の名称】 熱電冷却装置

(57) 【要約】

【課題】 高発熱密度で冷却が必要な電子部品の発熱部を効率的に冷却する熱電冷却装置を提供する。

【解決手段】 発熱部9より大きい伝熱面積を有する熱流束変換器8により発熱部9の熱を拡散する。熱流束変換器8と熱電冷却モジュール1を対向配置し、熱電冷却モジュール1の第1、第2の基板6, 7間に設けた熱電変換素子5に電流を流して、第2の基板7を吸熱側基板として熱流束変換器8により拡散した熱を吸熱する。この熱を熱電冷却モジュール1の第1の基板6から放熱し、さらに、この熱をヒートシンク3により放熱する。熱電冷却モジュール1の最大吸熱量を必要吸熱量の2.5倍以上(必要吸熱量/最大吸熱量が40%以下)とし、熱流束変換器8の熱電冷却モジュール1側の熱の授受面積を、熱電冷却モジュール1の熱流束変換器8側の熱授受面積と同程度(80%から120%程度)とする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

発熱部に直接または熱伝導性部材を介して熱流束拡散表面が接触対向配置される熱流束変換器を有し、該熱流束変換器は前記発熱部より大きい伝熱面積を有して前記発熱部の熱を拡散する構成と成し、前記熱流束変換器と直接または熱伝導性部材を介して熱電冷却モジュールが前記熱流束変換器の熱流束拡散背面に接触対向配置され、該熱電冷却モジュールは互いに間隔を介して対向配置された第1の基板と第2の基板を有し、該第2の基板は前記熱流束変換器の熱流束拡散背面と実質的に接触しており、前記熱電冷却モジュールの前記第1の基板と第2の基板間には複数の熱電変換素子が立設配置され、これらの熱電変換素子に電流を流すことにより前記第2の基板が吸熱側の基板と成して前記第1の基板が放熱側の基板と成し、該第1の基板側には該第1の基板と直接または熱伝導性部材を介してヒートシンクが接触対向配置されており、熱電冷却モジュールの最大吸熱量を必要吸熱量の2.5倍以上とし、熱流束変換器の熱電冷却モジュール側の熱の授受面積を熱電冷却モジュールの熱流束変換器側の熱授受面積の約80%以上約120%以下としたことを特徴とする熱電冷却装置。

10

【請求項 2】

熱流束変換器はヒートパイプと該ヒートパイプを組み込んだ平面型の熱拡散板とベーパーチャンバーの少なくとも1つの熱輸送部材を有しており、前記熱輸送部材は内部に作動液を有して該作動液の相変化を利用して熱輸送を行うことを特徴とする請求項1記載の熱電冷却装置。

20

【請求項 3】

発熱部と熱流束変換器の少なくとも一箇所に温度検出部が設けられ、該温度検出部の検出温度が予め設定された設定温度未満となるように、熱電冷却モジュールの投入電力を連続的または断続的に制御する電力制御部を設けたことを特徴とする請求項1または請求項2記載の熱電冷却装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えばパーソナルコンピュータや、サーバー、高性能電子計算機等の電子機器に取り付けて、電子機器の放熱を行うために用いられる熱電冷却装置に関するものである。

30

【0002】

【背景技術】

各種LSI (Large Scale Integration circuit)、コンピュータに使われるCPU (Central Processing Unit)等の電子機器の主要部品は、小型高性能化が著しい。また、LSIの配線間隔などが小さくなり、サブミクロン領域となると共に、ますます高集積化が進んでいる。このように、電気機器の主要部品の小型高性能化、配線の高集積化が進むと、電子機器内の発熱量が増え、さらに、単位面積当りの発熱量が増えて発熱密度が増大する、という新たな問題が大きな課題となってきた。

40

【0003】

図7は、電子機器の冷却構成の例として最も代表的、基本的な、CPUの空冷ヒートシンクの例を示したものである。この例ではCPUの発熱部9の大きさは10mm角で、発熱部9の発熱量は最大30Wである。ヒートシンク3と発熱部9は熱伝導性グリース11を介して接触対向配置され、熱的に接続されている。

【0004】

ヒートシンク3はアルミ(アルミニウム)製であり、ベース14とベース14から上側に張り出した複数のフィン13を有している。ベース14の大きさは70mm×70mm、ベース14の厚みは6.5mmである。フィン13は互いに間隔を介して配設されており、それぞれのフィン13の高さは30mm、フィン13の厚みは0.6mmである。

50

【0005】

この例は、冷却のため、単純に環境温度との温度差を利用して熱の移動放熱を行う（パッシブ冷却）方式である。ただし、電子機器の配設部には、一般に、複数の電子機器の冷却用としてシステムファン（図示せず）が設けられており、このファンの風の循環を利用して、ヒートシンク3のフィン13からの放熱は行われる。

【0006】

また、図7に示す構成において、フィン13の枚数は特に限定されるものではないが、例えばフィン13を24枚配列した例が提案されている。なお、図7ではフィン13の枚数を簡略化して示している。

【0007】

上記例において、ヒートシンク3に対する前面風速を2.6 m/sとすると、グリースの熱伝導率1 W/mK、グリースの厚さ100 μ、アルミの熱伝導率200 W/mK、環境温度40 としたとき、発熱部9の表面温度は約93 となる。

【0008】

また、従来、電子機器の発熱量の増大に対して、発熱部9の熱をより効率的に冷却しようとする試みが数多く研究され、例えば熱電冷却モジュールを用いた冷却装置等の、様々な冷却装置が提案されている。

【0009】

なお、例えば図11に示すように、ペルチェモジュール等の熱電冷却モジュール1は、互いに間隔を介して上下に対向配置された第1の基板6と第2の基板7の間に複数の熱電変換素子5を立設配設固定して形成されている。第1、第2の基板6、7の対向表面には、それぞれ通電用の電極2が互いに間隔を介して複数配列形成されている。

【0010】

前記熱電変換素子5は対応する電極2を介して直列に接続されており、熱電変換素子5の接続回路が形成されている。なお、熱電変換素子5は、例えば図示されていない半田によって電極2に固定されている。

【0011】

熱電冷却モジュールの熱電変換素子5（5a、5b）は、熱電変換素子として一般的に知られており、P型半導体により形成されたP型の熱電変換素子5aと、N型半導体により形成されたN型の熱電変換素子5bとを有する。P型の熱電変換素子5aとN型の熱電変換素子5bは交互に配置され、電極2を介して直列に接続されてPN素子対が形成されている。

【0012】

第2の基板7に形成された、熱電変換素子5の接続回路の端部に位置する電極2（2a）にはリード線10が半田付けされて接続されている。この熱電冷却モジュール1において、通電手段（図示せず）によってリード線10から電極2aに電流を流すと、P型の熱電変換素子5aとN型の熱電変換素子5bに電流が流れる。

【0013】

そして、熱電変換素子5（5a、5b）と電極2との接合部（界面）で冷却・加熱効果が生じる。つまり、前記接合部を流れる電流の方向によって熱電変換素子5（5a、5b）の一方の端部が発熱せしめられると共に他方の端部が冷却せしめられるいわゆるペルチェ効果が生じる。

【0014】

このペルチェ効果によって熱電変換素子5（5a、5b）の一方の端部、例えば熱電変換素子5（5a、5b）の下端部が冷却せしめられると、第2の基板7側に第2の基板7と接触させて設けられた部材の冷却（吸熱）が行われる。このときペルチェ効果によって熱電変換素子5（5a、5b）の上端部が発熱せしめられ、第1の基板6側から放熱が行われる。

【0015】

上記熱電冷却モジュール1を用いた電子機器の冷却装置の例を挙げると、以下に示すもの

10

20

30

40

50

がある。例えば、特開平 5 - 2 4 3 4 3 8 号公報には、発熱部 9 に熱的に接触させて熱電冷却モジュール 1 を配置し、発熱部 9 からの熱をいったん熱電冷却モジュール 1 で受けると共に、熱電冷却モジュール 1 の高温部で発生する熱を、高温側の基板 6 からヒートパイプに伝え、ヒートパイプより熱を移動させて放熱する構成としている。

【 0 0 1 6 】

また、特開平 7 - 1 0 6 6 4 0 号公報には、熱電冷却モジュール 1 の冷却効果を冷却用の冷風発生に用いた構成が提案されている。特開平 1 0 - 1 3 2 4 7 8 号公報には、熱電冷却モジュール 1 を使用して CPU を冷却する構成が提案されている。

【 0 0 1 7 】

なお、上記特開平 5 - 2 4 3 4 3 8 号公報は、熱電冷却モジュール 1 と共にヒートパイプを用いているが、ヒートパイプを用いた冷却装置は、この他に、例えば、特開 2 0 0 0 - 1 6 5 0 7 7 公報に記載されているように、発熱部 9 からの熱を、ヒートパイプを用いて熱電冷却モジュールの低温側へ移動することで発熱源と放熱部を分離しようとした構成が提案されている。

【 0 0 1 8 】

また、特開平 1 0 - 1 0 3 8 8 号公報にはヒートパイプを活用して CPU の雰囲気温度を下げる方策が提案されている。なお、これらの提案におけるヒートパイプの使用は、熱を例えば一方側から他方側に移動するために用いられていた。

【 0 0 1 9 】

さらに、電子機器の冷却装置の別の例として、特願平 8 - 2 8 1 8 5 1 では、図 9 に示すように、軸流ファン 2 0 とヒートシンク 3 を組み合わせ、ヒートシンク 3 のベース 1 4 に熱電冷却モジュール 1 の第 1 の基板 6 の面を接触させ、熱電冷却モジュール 1 の第 2 の基板 7 の面には熱良導性の金属板 2 5 を設けた構成が提案されている。

【 0 0 2 0 】

この提案においては、ヒートシンク 3 のフィン 1 3 部に水分吸収体 2 6 を設けることが記述されている。なお、図 9 の図中、2 7 はヒートシンク 3 の配置部であり、このヒートシンク 3 はファン 2 0 を一体配置して形成されている。

【 0 0 2 1 】

さらに、特願平 2 0 0 0 - 2 3 3 6 9 7 では、図 1 0 に示すように、発熱部 9 と、熱媒手段としての低温熱媒ヒートパイプ 2 4 と、放熱手段としての熱電冷却モジュール 1 と、ヒートシンク 3 との組み合わせが提唱されている。なお、この提案では、ヒートシンク 3 の代わりに、水冷ジャケットを設けた構成も提案されている。

【 0 0 2 2 】

特願平 8 - 2 8 1 8 5 1、特願平 2 0 0 0 - 2 3 3 6 9 7 は、いずれも熱電冷却モジュール 1 の吸熱機能を用い、さらに、低温熱媒ヒートパイプ 2 4 や水分吸収体 2 6 を組み合わせている。

【 0 0 2 3 】

【 発明が解決しようとする課題 】

ところで、上記提案のうち多くは熱電冷却モジュール 1 を用いている。一般に、ペルチェモジュール等の熱電冷却モジュール 1 の吸熱量を Q_c 、放熱量を Q_h 、熱電冷却モジュールに投入した電力を P とすると、 $Q_h = P + Q_c$ となる。また、投入電力に対する吸熱量の比を η とすると、 $\eta = Q_c / P$ となり、 $Q_h = Q_c (1 / \eta + 1)$ で表される。なお、 η の値は高温側基板と低温側基板の温度差 (ΔT) により変化する。

【 0 0 2 4 】

上式から $Q_h > Q_c$ であり、熱電冷却モジュール 1 を冷却に用いると、必ず熱電冷却モジュール 1 の冷却に必要な熱量以上の熱を放熱しなければならないが、ペルチェモジュール等の熱電冷却モジュール 1 は電子機器が用いられる一般的環境において容易に部分的に比較的低い温度を作り出すことができる特徴がある。

【 0 0 2 5 】

つまり、ペルチェモジュール等の熱電冷却モジュール 1 を用いて冷却装置を構成すると、

発熱部 9 の温度と環境温度との間に急勾配の温度差を作り出すことができるという意味で所謂アクティブな冷却方式の冷却構成にできるので、熱電冷却モジュール 1 を用いない構成の冷却装置に比べて発熱部 9 のみに着目した部分的冷却としては効率的に行えるメリットがある。

【0026】

しかしながら、従来の一般的な熱電冷却モジュール 1 の使用方法としては、高温側基板と低温側基板の温度差 (T) を大きく設計し、活用するため、熱電冷却モジュール 1 の最大投入電力を発熱部の最大発熱量 (熱電冷却モジュールの吸熱量) の 1.0 ~ 2.5 倍 (100% ~ 250%) 程度として使用することが一般的であり、熱電冷却モジュール 1 への投入電力に対する吸熱量は少なかった。

10

【0027】

つまり、従来は、熱電冷却モジュール 1 を使う場合の最大の欠点である消費電力の低減に対しては何ら考慮されてこなかった。そのため、熱電冷却モジュール 1 を用いた上記各提案において、従来熱電冷却モジュール 1 の設計を適用して冷却装置を構成しても、熱電冷却モジュール 1 の投入電力が大きくなり、冷却装置の消費電力が大きくならざるを得ないといった問題があった。

【0028】

本発明は、上記課題を解決するために成されたものであり、その目的は、コンピュータの CPU のような高発熱密度で冷却が必要な電子部品の発熱部を、ペルチェモジュール等の熱電冷却モジュールを用いて低消費電力で効率的に冷却する熱電冷却装置を提供すること

20

【0029】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は次のような構成をもって課題を解決するための手段としている。すなわち、第 1 の発明は、発熱部に直接または熱伝導性部材を介して熱流束拡散表面が接触対向配置される熱流束変換器を有し、該熱流束変換器は前記発熱部より大きい伝熱面積を有して前記発熱部の熱を拡散する構成と成し、前記熱流束変換器と直接または熱伝導性部材を介して熱電冷却モジュールが前記熱流束変換器の熱流束拡散背面に接触対向配置され、該熱電冷却モジュールは互いに間隔を介して対向配置された第 1 の基板と第 2 の基板を有し、該第 2 の基板は前記熱流束変換器の熱流束拡散背面と実質的に接触

30

【0030】

また、第 2 の発明は、上記第 1 の発明の構成に加え、前記熱流束変換器はヒートパイプと該ヒートパイプを組み込んだ平面型の熱拡散板とペーパーチャンバーの少なくとも 1 つの熱輸送部材を有しており、前記熱輸送部材は内部に作動液を有して該作動液の相変化を利用して熱輸送を行う構成をもって課題を解決する手段としている。

40

【0031】

さらに、第 3 の発明は、上記第 1 または第 2 の発明の構成に加え、前記発熱部と熱流束変換器の少なくとも一箇所に温度検出部が設けられ、該温度検出部の検出温度が予め設定された設定温度未満となるように、熱電冷却モジュールの投入電力を連続的または断続的に制御する電力制御部を設けた構成をもって課題を解決する手段としている。

【0032】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を、図面を参照して説明する。なお、本実施形態例の説明にお

50

いて、従来例と同一名称部分には同一符号を付し、その重複説明は省略又は簡略化する。

【0033】

図1には、本発明に係る熱電冷却装置の第1実施形態例が示されている。図1に示すように、本実施形態例の熱電冷却装置は、発熱部9に熱伝導性グリース11を介して接触対向配置される熱流束変換器8を有している。発熱部9はCPUである。

【0034】

熱流束変換器8は、熱流束拡散表面15と熱流束拡散背面16を有しており、熱流束拡散表面15が前記発熱部9に接触対向配置される。熱流束変換器8の熱流束拡散表面15および熱流束拡散背面16は、それぞれ前記発熱部9より大きい伝熱面積を有して発熱部9の熱を拡散する構成と成している。

10

【0035】

また、本実施形態例の熱電冷却装置は、前記熱流束変換器8と熱伝導性グリース11を介して接触対向配置された熱電冷却モジュール1を有している。熱電冷却モジュール1は、互いに間隔を介して対向配置された第1の基板6と第2の基板7を有している。

【0036】

第1、第2の基板6、7は熱流束変換器8の熱流束拡散背面16の面積とほぼ同じ面積を有している。第2の基板7は熱流束変換器8の熱流束拡散背面16と実質的に接触している。

【0037】

本実施形態例に適用されている熱電冷却モジュール1は、従来の熱電冷却モジュール1と同様に、第1の基板6と第2の基板7の間に複数の熱電変換素子5を立設配置して形成されている。また、これらの熱電変換素子5に電流を流すことにより前記第2の基板7が吸熱側(低温側)の基板と成して前記第1の基板6が放熱側(高温側)の基板と成す。

20

【0038】

さらに、本実施形態例の熱電冷却装置は、前記熱電冷却モジュール1と熱伝導性グリース11を介して接触対向配置されたヒートシンク3を有している。ヒートシンク3は、例えば複数の電子機器を冷却するために設けられたシステムファン20aの風の循環を利用して放熱を行う強制風冷型のヒートシンクであり、冷却用の風速は2.6m/sである。なお、ヒートシンク3の構造は、図7に示したヒートシンク3と同様であるので、その説明は省略する。

30

【0039】

前記熱流束変換器8は、ペーパーチャンバーといわれる、いわゆる平面型のヒートパイプにより形成されている。このペーパーチャンバーは、熱輸送部材の一つであり、厚さ5mmの銅製の容器と、容器内部に設けられる少量の作動液としての純水と作動液と、この作動液をヒートパイプ内部で円滑に移送するためのウィックを備える。

【0040】

このペーパーチャンバーは、その一部に熱が加わったとき、ペーパーチャンバー内部の作動液の蒸発、凝縮作用により、つまり、前記作動液としての純水の相変化を利用して熱輸送を行い、ペーパーチャンバー内全体にわたり、均一な温度になるよう熱を移動することができるものである。

40

【0041】

電子機器の発熱部9の最高許容温度は一般的に80~100程度となっている。そのため、その発熱部9に接する熱流束変換器8の作動温度も両者間の接触抵抗による温度降下を差し引いた50~80となる場合が多い。そこで、本実施形態例では、熱流束変換器8として最も効率の良い作動液である水を用いたペーパーチャンバーを適用した。

【0042】

熱流束変換器8の熱流束拡散背面16は、一辺が70mmの大きさを持ち、その面積は4900mm²である。CPUの発熱面9の面積が100mm²であるから、熱流束変換器8は発熱面9の熱を拡散し、それにより、熱流束を1/49に減少させることができる。熱流束変換器8の熱流束拡散表面15は熱流束拡散背面16よりも狭く形成されている。

50

【0043】

前記熱電冷却モジュール1はP、Nの熱電半導体から成る熱電変換素子5を40対設けて形成されている。前記半導体素子のひとつの大きさは、それぞれ、断面が2mm角、高さが1mmである。

【0044】

熱電冷却モジュール1の第1、第2の基板6、7は70mm角の大きさであり、アルミナ製のセラミック基板である。低温側の基板となる第2の基板7の温度を42に設定している。また、高温側基板と低温側基板の温度差が15となるように、つまり、第1の基板6の温度が57となるように、電極(図示せず)を介して通電する電流を調節する。

【0045】

なお、本実施形態例に適用している熱電冷却モジュール1に、さらなる高性能化を求める場合には、第1、第2の基板6、7を、窒化アルミ(AlN)やボロンナイトライド(BN)、炭化珪素(SiC)等により形成することも可能である。

【0046】

本実施形態例は、以上のように、電子機器のCPU等の発熱部9からの熱を効率良く除去するため、発熱部9の熱を拡散する(熱流束を拡げる)熱流束変換器8を発熱部9と熱的に接触して設け、さらに、この熱を熱電冷却モジュール1による吸熱するために、熱電冷却モジュール1の吸熱側を熱流束変換器8と熱的に接触させて配置している。

【0047】

そして、本実施形態例は、以下に述べる構成により、熱電冷却モジュール1の消費電力を抑えつつ必要な冷却機能が得られるようにしたことを最も特徴的な構成としている。

【0048】

つまり、本実施形態例において、用いる熱電冷却モジュールの最大吸熱量を必要吸熱量の2.5倍以上(必要吸熱量/最大吸熱量が40%以下)とし、熱流束変換器の熱電冷却モジュール側の熱の授受面積を熱電冷却モジュールの熱流束変換器側の熱授受面積の約80%以上約120%以下としたことにより、電子機器からの熱を効率よく熱電冷却モジュールへ入力するため熱流束変換器により熱密度を下げつつ面積を拡大することとしている。本実施形態例は、これらの構成により熱電冷却モジュール1の消費電力を小さくしながら発熱部9を十分に冷却できるようにしている。

【0049】

本実施形態例では、このように、熱電冷却モジュール1の最大吸熱量が発熱部9の発熱量すなわち必要吸熱量の2.5倍以上なる熱電冷却モジュールを設計選択し、かつ熱電冷却モジュールの両側温度差が必要以上大きくなならないよう、すなわち、あまり低温側基板の温度設定が低くならないよう、あるいは高温側基板の熱を速やかに除去するように、第1、第2の基板6、7の温度を前記の如く(それぞれ57、42に)設定している。

【0050】

また、本実施形態例において、前記発熱部9と熱流束変換器8の少なくとも一箇所(ここでは発熱部9)に温度検出部18が設けられている。さらに、本実施形態例において、温度検出部18の検出温度が予め設定された設定温度未満となるように、熱電冷却モジュール1の投入電力を連続的または断続的に制御する電力制御部19が設けられている。

【0051】

電力制御部19は、温度検出部18の検出温度と予め定められた制御データとを比較し、例えば温度検出部18の検出温度が設定温度以上の時には熱電冷却モジュール1の投入電力を大きく制御し、温度検出部18の検出温度が設定温度以下の時には熱電冷却モジュール1の投入電力を小さくするといったような制御を行う。また、電力制御部19の制御は、熱電冷却モジュール1の電源17のオン・オフにより行うこともできる。

【0052】

本実施形態例では、上記温度検出部18による温度検出と電力制御部19による制御によって、発熱部9の必要な冷却能力の確保と熱電冷却モジュール1の不必要な電力消費を抑えるという機能を果たし、熱電冷却モジュール1の消費電力を抑えつつ必要な冷却機能が

10

20

30

40

50

得られるようにした。

【0053】

ところで、熱電冷却モジュール1は、投入電力(電流)を増やしていくと、徐々にジュール熱による発熱分の影響が大きくなり、ついにある電流値で低温側吸熱量からジュール熱を差し引いた熱量がピークとなる。したがって、図2に示すように、熱電冷却モジュール1への投入電力に対して、前記、つまり、 Q_c / P がピークを有する関係となる。

【0054】

したがって、熱電冷却モジュール1の投入電力が発熱部9(冷却対象である電子機器)の発熱量に比して大きすぎると消費電力増や無駄なコスト増となる。なお、熱電冷却モジュール1の投入電力が発熱部9の発熱量に比して小さすぎると冷却が追いつかず、十分な冷却を行うことができない。

10

【0055】

熱電冷却モジュール1の能力は、あくまで発熱部9の発熱量をもとに決められるべきで、本発明者が様々に検討した結果、用いる熱電冷却モジュール1の最大吸熱量を必要吸熱量の2.5倍以上(必要吸熱量/最大吸熱量が40%以下)とし、熱流束変換器8の熱電冷却モジュール1側の熱の授受面積を熱電冷却モジュール1の熱流束変換器8側の熱授受面積の約80%以上約120%以下とし、熱電冷却モジュール1を大きく形成したことにより電子機器の発熱部9からの熱を効率よく熱電冷却モジュールへ入力するため熱流束変換器により熱密度を下げつつ面積を拡大することが効果的であることを見出した。

【0056】

つまり、本発明者の検討の結果、熱電冷却モジュール1の最大吸熱量を必要吸熱量の2.5倍以上に設定することで、消費電力の過度の増大を抑えながら冷却が可能であることが分かった。

20

【0057】

以下、この点について、さらに詳しく説明する。熱電冷却モジュール1の吸熱量は、その熱電冷却モジュール1を構成するP-N半導体の断面積や長さ、P-N接合の対数、素子の熱電性能などにより変化する。ただし、例えば図12に示すように、横軸に電流値(あるいは消費電力)、縦軸に低温側吸熱量をとると、一般に、ピークをもった曲線となる。

【0058】

なお、図12は、熱電冷却モジュール1を構成するP-N半導体の断面を1mm角とし、長さを0.7mmとし、P-N接合の対数を100とした結果であり、さらに、吸熱側基板と発熱側基板の温度差(T)を15.0としてシミュレーションした結果である。

30

【0059】

従来は、熱電変換の性能から、一般に、熱電冷却モジュール1の最大吸熱量の70~80%程度が目的とする吸熱量となるような熱電冷却モジュールを選定していた。なぜなら、吸熱量に対し、最大吸熱量の大きい熱電変換を選定することは、多くの場合、不必要な大きさの熱電冷却モジュールを選定することになるからであり、さらにそれはコスト上も好ましくないとわれていたからである。

【0060】

図12において、吸熱量は最大58w程度であり、従来の熱電冷却モジュール1の設計を適用した場合、45w程度での吸熱に用いることになる。このときの熱電冷却モジュール1の大きさは25mm角で熱電冷却モジュール1に入力される熱の熱流束密度は約7w/cm²となる。このように熱電冷却モジュール1はそれ自体吸熱能力が高く、小型でも高い熱流束に対応できることが分かる。

40

【0061】

しかしながら、この熱電冷却モジュール1の電流(消費電力)と成績係数(吸熱量/消費電力)との関係は、図13に示すようになり、45w程度の吸熱に対応する電流値5.5A付近では成績係数が1以下となることがわかる。

【0062】

本発明は、消費電力を低減しつつ、吸熱量を確保するために提案されたものである。すな

50

わち、本発明者は、例えば図13に示す成績係数が1以上となり、かつ放熱に必要な温度差を確保するため使用する熱電冷却モジュール1の大きさ、吸熱量を設計することにした。

【0063】

そのためには、同時に吸熱密度を下げる必要があり、これらを勘案すると、本発明者の検討の結果、熱電冷却モジュール1の設計を必要吸熱量/最大吸熱量が40%以下となるようにすることが適当であることがわかった。この場合、熱電冷却モジュール1の大きさは従来の選定基準より大きくなるが、消費電力を減らしつつ必要な吸熱量と温度差を確保できる。

【0064】

例えば、上記に基づき、熱電冷却モジュール1の設計を必要吸熱量/最大吸熱量が40%以下となるように熱電冷却モジュール1を設計すると、45wの吸熱量に対し、最大吸熱量は、 $45 \div 0.4 = 112.5$ より大きくなるようにする必要がある。そのため、図13に示す成績係数を1以上とし、かつ、放熱に必要な温度差を確保するためには、例えば最大吸熱量が125Wとなる熱電冷却モジュール1を設計するとよいことが分かる。

【0065】

125wの最大吸熱量を有する熱電冷却モジュール1を設計すると、例えば熱電冷却モジュール1の大きさは、この場合、約35mm角であり、P-N半導体の対数は、 $15 \times 15 = 225$ 対となる。今、P-N熱電半導体の特性、およびP-N接合の形状、大きさなどを、図12のシミュレーションに用いた値と同じとすると、図14のような吸熱曲線が

【0066】

この場合、熱電冷却モジュール1の最大吸熱量は125wにも達しながら、実際に使用するのは吸熱量45wとしているため、電流値は2.5Aである。熱電冷却モジュール1に入力される熱の熱流束密度は約 3.7 w/cm^2 となり、このときの成績係数は図13から分かるように約2となる。つまり、この熱電冷却モジュール1は、投入電力の2倍の吸熱量を確保できることになる。

【0067】

また、熱電冷却モジュール1が大きくなったことにより、電子機器等の発熱部9からの熱を効率よく熱電冷却モジュール1へ入力するため、熱流束変換器8は、発熱部9の熱密度を下げつつ、熱電冷却モジュール1への熱の授受面積を拡大することが必要となる。

【0068】

上記例からわかるように、実際には、熱電冷却モジュール1の最大吸熱量の50~60%程度が必要吸熱量である場合でも成績係数は1を越え、電力消費低減には結びつくものの、効果としては、必要吸熱量/最大吸熱量が小さい方がよく、必要吸熱量/最大吸熱量を40%以下とすることが望ましい。

【0069】

また、図3には、上記検討に基づいて、図1に示す本実施形態例の熱電冷却装置の基本構成を有する熱伝冷却装置を設計製作し、検証した例を示す。この時用いた熱電冷却モジュール1は必要吸熱量(Q_r)35wに対し、最大吸熱量(Q_{max})が120w($Q_r/Q_{max} = 19\%$)となるものを選定した。そして、最大発熱量が35Wの発熱部9の冷却を行う際の、熱電冷却モジュール1への投入電力を様々に代えて、この投入電力と発熱部9の熱抵抗との関係を求めた。

【0070】

熱電冷却モジュール1への投入電力が大きいほど発熱部9の熱抵抗を小さくできるが、その熱抵抗の減少割合は、熱電冷却モジュール1への投入電力が大きくなると小さくなり、熱電冷却モジュール1への投入電力を発熱部9の最大発熱量(必要吸熱量)の100%より大きくしても熱抵抗はそれほど小さくならない。

【0071】

図3から明らかかなように、本実施形態例のような熱電冷却モジュール1と熱流束変換器8

10

20

30

40

50

の形態とすることにより、熱電冷却モジュール 1 への投入電力の低減を図った効率的な冷却が可能となった。

【0072】

また、図 6 には本発明に係る熱電冷却装置について、例えば本実施形態例の基本構成を有する装置における熱抵抗値に対する熱電冷却モジュール 1 の消費電力 P と吸熱量 Q の比を測定した結果が示されている。なお、図 6 においては、本実施形態例と異なり、 θ_{ja} は発熱部 9 の発熱量を 27 W とし、 θ_{jc} は発熱部 9 の発熱量を 18 W としている。この図に示すように $P/Q < 100$ (%) のところで、冷却装置の能力はほぼ安定したものが得られており、消費電力を抑えることに成功していることがわかる。

【0073】

本実施形態例は、以上のような検討に基づいて構成したものであり、本実施形態例において、発熱部 9 を形成する CPU の最大消費電力は 30 W、発熱部 9 の面積は $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} = 100\text{ mm}^2$ ($= 1\text{ cm}^2$) である。したがって、発熱部 9 の発熱密度は $30\text{ W}/\text{cm}^2$ である。

【0074】

また、発熱部 9 の発熱量が 30 W のときは、熱電冷却モジュール 1 にその 30 W の熱を吸熱させることになり、この場合の熱電冷却モジュール 1 に印加する電流は 7 A、所要電力は 15 W である。

【0075】

したがって、ヒートシンク 3 は発熱部 9 での発生熱量 30 W に加えて熱電冷却モジュール 1 の消費電力分である 15 W との合計 45 W を放熱する必要がある。

【0076】

ここで、環境温度が 40°C とすると、ヒートシンク 3 での T_c は 17°C となり、これが熱電冷却モジュール 1 の高温側基板である第 1 の基板 6 の温度となる。熱電冷却モジュール 1 に上記の電流を流した場合、熱電冷却モジュール 1 の両側の温度差は 15°C が得られるので、熱電冷却モジュール 1 の低温側基板である第 2 の基板 7 の温度は 42°C となる。

【0077】

このとき CPU の表面温度、つまり、発熱部 9 の温度はグリース部の接触抵抗により 30 $^\circ\text{C}$ 上がり、結局、 72°C となる。したがって、本実施形態例では従来例の CPU 表面の発熱部 9 の温度 93°C と比較してわかるように大幅な温度低減が可能となった。

【0078】

また、本発明者は、図 8 に示すように、発熱部 9 に熱流束変換器 8 を接触させて設け、この熱流束変換器 8 の熱をヒートシンク 3 で放熱する構成を形成し、発熱部 9 の温度を求めた。その結果、その温度は 84°C であり、この例と比べても、本実施形態例は発熱部 9 を非常に効率的に冷却できることが確認できた。

【0079】

なお、例えば冷却対象である電子部品等の発熱部 9 の面積が熱電冷却モジュール 1 の面積と同程度であれば、発熱部 9 と熱電冷却モジュール 1 を直接または熱伝導グリース等を介して実質的に接触させ、熱流束の変換機能が無くても、原理的には、熱電冷却モジュール 1 によって発熱部 9 の熱を十分に吸熱できると考えられる。

【0080】

しかし、近年は、電子部品の小型化、高集積化が進んでおり、発熱部 9 の面積が小さくなってきており、発熱部 9 と熱電変換モジュール 1 との接触面積が発熱部 9 の吸熱のために必要な面積に満たないことが多くなり、そうになると、熱電冷却モジュール 1 が発熱部 9 の熱を十分に吸熱できない。

【0081】

それに対し、本実施形態例は、熱電冷却モジュール 1 の吸熱側基板である第 2 の基板 7 と発熱部 9 との間に、熱流束変換器 8 を設け、発熱部 9 の熱を熱流束変換器 8 により拡散し、熱電冷却モジュール 1 への熱入力密度を小さくしてから熱電冷却モジュール 1 により冷却を行うことにより、発熱部を非常に効率的に冷却することができる。

10

20

30

40

50

【0082】

なお、例えば高性能サーバーなどに使われるCPU等、小型高集積化により発熱部9の熱密度が 20 W/cm^2 を越えるものの場合、従来技術では空冷では冷却しきれず水冷、冷媒による冷却などに頼らざるを得なかったが、本実施形態例を適用すれば、水漏れ等の危険性を有する水冷等に頼ることなく、上記のように効率的に発熱部9の冷却を行うことができる。

【0083】

また、例えば従来例での発熱部9の温度(93)まで最高温度が許容できるとすれば、本実施形態例と同様の構成を有する熱電冷却装置を、発熱量が40WのCPUを適用することができる。つまり、本実施形態例の熱電冷却装置を用いて効率的に冷却することにより、発熱密度で 40 W/cm^2 のCPUを電子機器に適用することができる。

10

【0084】

図4には、本発明に係る熱電冷却装置の第2実施形態例の要部構成が示されている。第2実施形態例は上記第1実施形態例とほぼ同様に構成されており、第2実施形態例が上記第1実施形態例と異なる特徴的なことは、熱電冷却モジュール1を、15個のペルチェモジュール12を並設して形成したことである。

【0085】

また、第2実施形態例では、熱流束変換器8の熱流束拡散表面15と熱流束拡散背面16の面積を互いに等しくしており、ヒートシンク3はファン20を有するファン一体型ヒートシンクである。

20

【0086】

第2実施形態例の熱電冷却装置は、電力変換用のIGBTの発熱部9を冷却対象としている。発熱部9の大きさは $40\text{ mm} \times 70\text{ mm}$ 、発熱量は500Wであり、発熱密度は 18 W/cm^2 に達する。

【0087】

この発熱部9の発熱密度は上記第1実施形態例において冷却対象とした発熱部9の発熱密度より小さいが、必要放熱量ははるかに大きい。この必要放熱量(=必要吸熱量)に対し熱電冷却モジュール群全体としての最大吸熱量を求めると $500 \times 2.5 = 1240\text{ W}$ となる。

【0088】

そこで、第2実施形態例では、この放熱量を効率よく吸熱し、上記最大吸熱量を確保するために、 3×5 個、合計15個のペルチェモジュール12を並列した熱電冷却モジュール1を適用した。1つのペルチェモジュール12は 40 mm 角、厚さ 2.2 mm で最大吸熱量約 100 W ($I = 16.5\text{ A}$)のものを選定した。

30

【0089】

また、第2実施形態例では、特に図示しないが、熱流束変換器8は長さ 200 mm 外径が 8 mm の直線状ヒートパイプを12本ほとんど隙間なく並列に等間隔で並べ、熱の出入りする両面は 0.8 mm 厚さのアルミ板で構成し、ヒートパイプ間のわずかな隙間およびアルミ板ヒートパイプの間隙は熱伝導性の樹脂で充填している。

【0090】

ヒートシンク3に設けられているファン20の容量は、前面風速で 3.0 m/s 以上確保できるものである。

40

【0091】

第2実施形態例は以上のように構成されており、第2実施形態例も上記第1実施形態例と同様の効果を奏することができる。なお、第2実施形態例は、ヒートシンク3の大きさがやや大きくなるものの、熱流束変換器8と熱電冷却モジュール1の吸熱作用により発熱部9の温度、つまり、IGBTの表面温度を80レベルに保つことが出来た。

【0092】

次に、本発明に係る熱電冷却装置の第3実施形態例について説明する。第3実施形態例は図5に示す構成を有し、上記第1実施形態例とほぼ同様に構成されている。第3実施形態

50

例が上記第1実施形態例と異なる特徴的なことは、ヒートシンク3を軸流ファン20付きのヒートシンクとしたことである。なお、第3実施形態例において、熱流束変換器8の熱流束拡散表面15と熱流束拡散背面16の面積を互いに等しく形成している。

【0093】

本発明者は、この第3実施形態例を用い、この第3実施形態例と従来例を比較して、冷却方式によるヒートシンク熱抵抗の違いを求めた。その結果が表1に示されている。

【0094】

【表1】

	30watts	40watts
第3実施形態例	0.70	1.14
従来例1	1.23	1.57
従来例2	1.09	1.35

10

【0095】

表1において、従来例1は、図7に示したような、従来最も一般的に使われているファン付アルミ製のヒートシンク3を用いた冷却構成であり、ヒートシンク3の上に40×40×20mmの軸流ファンを載せたものである。

【0096】

従来例2は、図8に示したような、発熱部9とアルミ製のヒートシンク3の間に熱流束変換器8を設けた冷却構成であり、ヒートシンク3の上には40×40×20mmの軸流ファン20を載せている。また、従来例2において、熱流束変換器8はペーパーチャンバーにより形成している。

20

【0097】

第3実施形態例は、上記従来例2に加えてペーパーチャンバーの熱流束変換器8とアルミ製のヒートシンク3の間に熱電冷却モジュール1の熱電冷却モジュール1を設けている。

【0098】

表1に示す第3実施形態例、従来例1, 2は、いずれもファンの回転数を同一条件で行なっている。また、いずれも、発熱部9の大きさは10mm×10mm、ヒートシンク3はアルミ製でフィン13の高さは25mm、底部(ベース)14の大きさ100×50mm、熱流束変換器8の大きさもヒートシンク3の底部と同様な大きさである。

30

【0099】

表1から明らかなように従来例1では発熱部9の負荷が40ワットのと看、ヒートシンク3の熱抵抗が1.57/Wなので、 $T = 62.8 \text{ deg}$ となり、環境温度が40のとき、発熱部9の温度は100を越えてしまう。一方、第3実施形態例では、発熱部9の負荷が40ワットのと看でも、ヒートシンク3の熱抵抗が1.14/Wなので、 $T = 45.6 \text{ deg}$ となり、発熱部9の温度は86に抑えることができた。

【0100】

次に、本発明に係る熱電冷却装置の第4実施形態例について説明する。第4実施形態例の熱電冷却装置は、超小型LSIとして、5mm角の大きさで5w発熱する発熱部9の冷却装置に本発明を適用した例であり、発熱部9の発熱密度は20w/cm²となる。第4実施形態例の基本構成は上記第1実施形態例と同様である。

40

【0101】

なお、熱流束変換器8は、厚さが3mm、一辺の大きさ15mmの銅板を有し、この銅板の一方の面全体にダイヤモンド層が厚さ30μmでコーティングされており、他方の面には薄い金メッキが施されている。熱流束変換器8のダイヤモンド層形成側の面を発熱部9に接し、熱流束変換器8の金メッキ側の面は熱電冷却モジュール1に熱的に接するように配置している。

【0102】

熱電冷却モジュール1の大きさは銅板と同じ一辺が15mmの大きさであり、厚さは両側

50

のセラミック基板を含み2.5mmである。セラミック基板の材質には熱伝導性が約230w/mKと良好な窒化アルミが用いられている。熱電冷却モジュール1の最大吸熱量は必要吸熱量の3倍、すなわち15w以上が得られるようにした。具体的には、熱電冷却モジュール1の熱電素子是对数35、一つのPあるいはN型の熱電半導体断面積は1.44mm²とした。

【0103】

このとき熱電冷却モジュール1は11アンペア付近で最大吸熱量23wを出せるが、今必要な吸熱量は5wのため、このときの熱電冷却モジュールへの投入電力はわずか2wである。このとき熱電冷却モジュール1の両側の温度差は約17℃つけることができる。

【0104】

この熱電冷却モジュール1の高温側にはヒートシンク3が設けられている。ヒートシンク3のベース14の大きさは15mm角、厚さは3mmであり、ベース14には、アルミ製の複数のフィン13が互いに間隔を介して設けられている。ヒートシンク3の仕様は、フィン13のピッチが1.7mm、フィン13の肉厚が0.6mm、フィン13の高さが15mmである。

10

【0105】

第4実施形態例において、システムファン20aにより、雰囲気温度が40度において、0.5~0.8m/sの風を生じさせる場合、ヒートシンク3のベース部14の最高温度が57℃、熱電冷却モジュール1の吸熱側基板の温度が40℃となり、熱流束変換器8を経て発熱部9の温度は約75℃とすることが出来た。

20

【0106】

このように、第4実施形態例によれば、極めて発熱密度が局所的に高い電子部品の発熱部9に対しても、わずか2wの消費電力の増大で効果的な冷却を実現することが出来た。

【0107】

なお、本発明は上記各実施形態例に限定されるものではなく、適宜設定されるものである。例えば、上記各実施形態例では、発熱部9と熱流束変換器8と熱電冷却モジュール1とヒートシンク3のそれぞれの接触面に熱伝導性グリース11を設けたが、熱伝導性グリース11の代わりに、熱伝導性グリース11以外の熱伝導部材を設けてもよいし、熱伝導性部材を介さずに上記接触面を直接接触させてもよい。

【0108】

また、上記第1、第3実施形態例では、熱流束変換器8はペーパーチャンバー(平面型ヒートパイプ)とし、上記第2実施形態例では、熱流束変換器8は複数のヒートパイプを筏状に組んだものを用い、第4実施形態例では、熱流束変換器8は銅板を用いた。

30

【0109】

しかし、熱流束変換器8の構成は特に限定されるものではなく適宜設定されるものであり、熱流束拡散表面15の面方向の熱拡散機能を有する適宜の熱流束変換器8を適用することができる。熱流束変換器8は、例えばダイヤモンド、高熱伝導性カーボン、グラファイトおよびそれらの複合部材を用いた熱伝導板、またはヒートパイプを有する構成とすることができる。

【0110】

なお、熱流束変換器8に平面型ヒートパイプ以外のヒートパイプを用いる場合、小面積の電子部品発熱体から熱を面状に拡げるため、複数本のヒートパイプを組み合わせて板状に形成することもできる。つまり、熱流束変換器8は、何本かのパイプ状ヒートパイプを銅板やアルミ板に貼り付け、あるいは埋め込み面方向に熱移動しやすくしたものが適用できる。

40

【0111】

いずれにしる最大限の熱流束拡大効果を得るためには、熱流束変換器8は、水を作動液とし、ペーパーチャンバーまたはヒートパイプおよびそれらの複合部材を用いた熱伝導板、あるいは振動型ヒートパイプといわれる面状のもの等により形成できる。

【0112】

50

さらに、熱流束変換器 8 は、面方向熱伝導性カーボンファイラーをアルミ合金中に含浸した複合部材によっても形成できる。この種の複合部材は、そのカーボンファイラーの高熱伝導特性により面方向の熱伝導率が約 1000 W/mK であるもの等もある。

【0113】

なお、熱流束変換器 8 は、等価的熱伝導率で 500 W/mK 以上のものが好ましい。ここで、等価的熱伝導率とはヒートパイプ等の固体熱伝導でない場合、厚さ、長さ等を固体での熱伝導と同様に見立てた場合の熱伝導率を言う。

【0114】

また、熱電冷却モジュール 1 を構成するペルチェモジュール 12 の個数や配列形態、熱電冷却モジュール 1 に設けられる熱電変換素子 5 の個数等は特に限定されるものでなく適宜設定されるものであり、熱電冷却モジュール 1 の少なくとも第 2 の基板 7 が熱流束変換器 8 の熱流束拡散背面 16 とほぼ同じ面積を有していて、吸熱側基板と成していればよい。

10

【0115】

さらに、ヒートシンク 3 の構成は特に限定されるものでなく適宜設定されるものであり、例えば銅製のヒートシンクとしてもよいし、フィン 13 を曲線形状としたヒートシンクとしてもよい。また、ファン 20 は一体型にする場合は軸流ファンが組み合わせ易いが、そのほかにもシロッコファンなど他の型式でもよいし、一体型ではなく電子機器の他のシステム冷却との併用でもよい。

【0116】

【発明の効果】

本発明によれば、熱電冷却モジュールを用いた冷却方式でも特に消費電力を抑えつつ、最大限の冷却効果を得ることが出来る。

20

【0117】

また、本発明によれば、発熱部に接触対向配置した熱流束変換器によって発熱部の熱を拡散し、熱密度を小さくしてから熱電冷却モジュールにより冷却を行い、さらに、熱電冷却モジュールの放熱をヒートシンクにより放熱することにより、高発熱密度の発熱部を非常に効率的に冷却することができる。

【0118】

さらに、本発明によれば、電子部品の機能として重要な長期信頼性についても熱電冷却モジュールの両側の温度差を大きく設定する必要がないため熱電モジュールにかかる熱歪を小さく抑えられ、これにより熱電モジュールの寿命も伸ばすことが出来る。

30

【0119】

また、本発明において、ヒートパイプと該ヒートパイプを組み込んだ平面型の熱拡散板とベーパーチャンバーの少なくとも 1 つの熱輸送部材を有しており、前記熱輸送部材は内部に作動液を有して該作動液の相変化を利用して熱輸送を行う構成によれば、熱流束変換器によって発熱部の熱を効率的に拡散することができ、上記効果をより一層効率的に発揮できる。

【0120】

さらに、本発明において、発熱部と熱流束変換器の少なくとも一箇所に温度検出部が設けられ、該温度検出部の検出温度が予め設定された設定温度未満となるように、熱電冷却モジュールの投入電力を連続的または断続的に制御する電力制御部を設けた構成によれば、電力制御部の制御によって、熱電冷却モジュールの投入電力を適切に制御でき、上記効果を発揮することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る熱電冷却装置の第 1 実施形態例を示す要部構成図である。

【図 2】熱電冷却モジュールへの投入電力と投入電力に対する吸熱量の比との関係を示すグラフである。

【図 3】上記第 1 実施形態例において、発熱部の最大発熱量を 35 W としたときの熱電冷却モジュールへの投入電力と熱抵抗との関係を示すグラフである。

【図 4】本発明に係る熱電冷却装置の第 2 実施形態例を示す要部構成図である。

50

【図5】本発明に係る熱電冷却装置の第3実施形態例を示す要部構成図である。

【図6】本発明に係る熱電冷却装置での冷却性能と消費電力の関係例を示す図である。

【図7】従来提案された電子部品の発熱部の冷却構成例を示す説明図である。

【図8】電子部品の発熱部の冷却構成の別の例を示す説明図である。

【図9】電子部品の発熱部の冷却構成の別の例を示す説明図である。

【図10】電子部品の発熱部の冷却構成のさらに別の例を示す説明図である。

【図11】熱電冷却モジュールの構成例を示す説明図である。

【図12】熱電冷却モジュールの消費電力（消費電力）と低温側吸熱量の関係例を示すグラフである。

【図13】熱電冷却モジュールの電流と成績係数の関係例を示すグラフである。

10

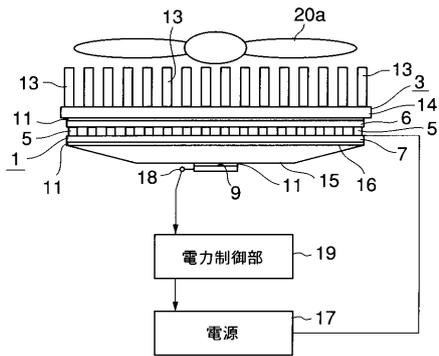
【図14】熱電冷却モジュールの消費電力と低温側吸熱量の別の例を示すグラフである。

【符号の説明】

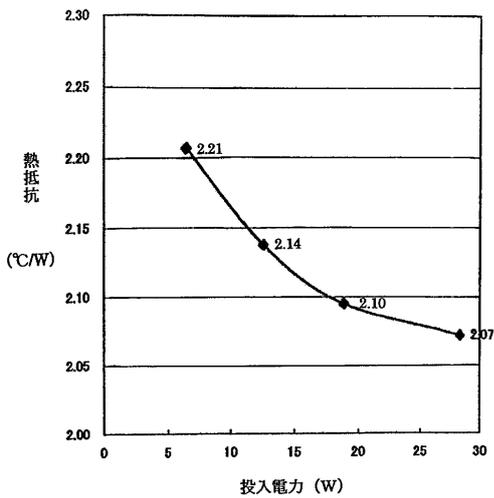
- 1 熱電冷却モジュール
- 2 電極
- 3 ヒートシンク
- 5, 5a, 5b 熱電変換素子
- 6 第1の基板
- 7 第2の基板
- 8 熱流束変換器
- 9 発熱部
- 11 熱伝導性グリース
- 15 熱流束拡散表面
- 16 熱流束拡散背面

20

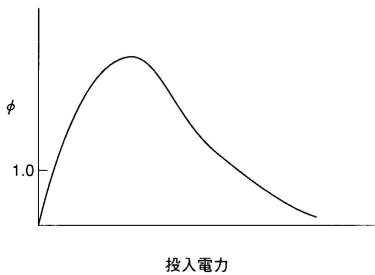
【図1】



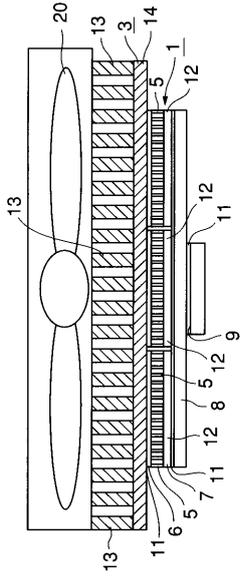
【図3】



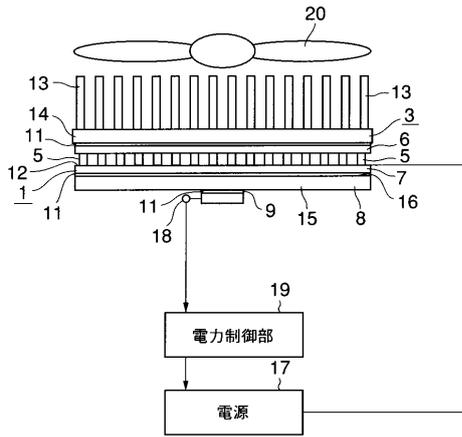
【図2】



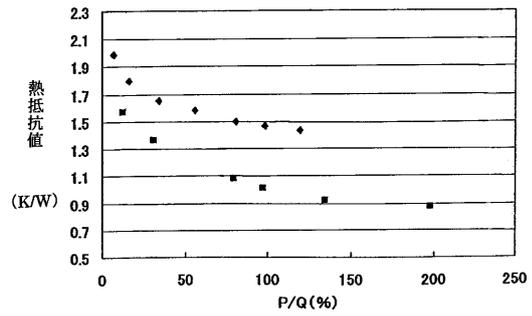
【 図 4 】



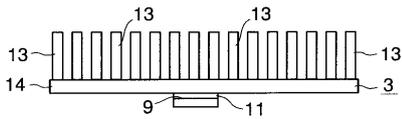
【 図 5 】



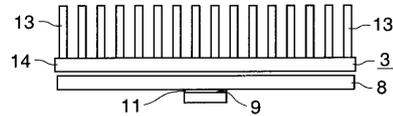
【 図 6 】



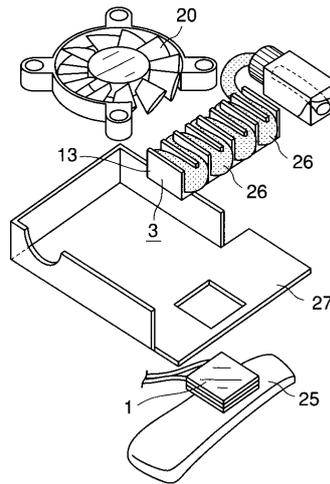
【 図 7 】



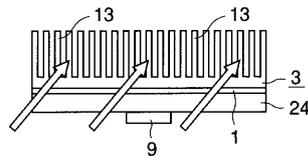
【 図 8 】



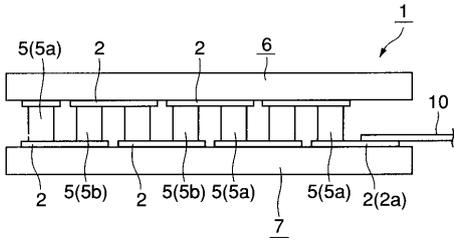
【 図 9 】



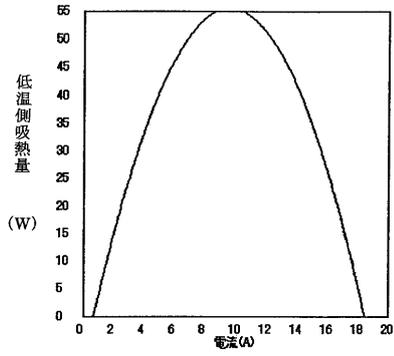
【 図 10 】



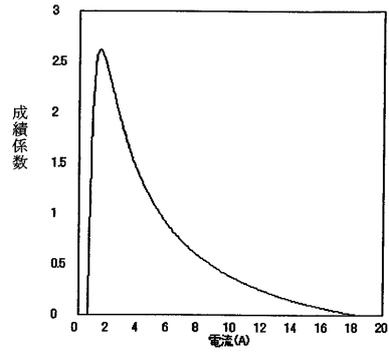
【 図 1 1 】



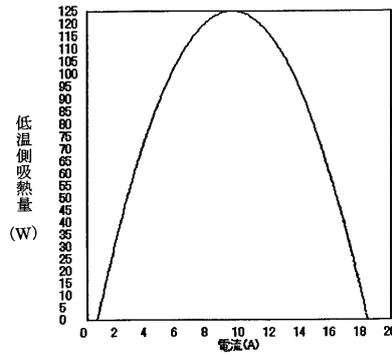
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 L 35/34

F I

H 0 1 L 23/38

H 0 1 L 35/34

H 0 1 L 23/46

テーマコード(参考)

B