

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4077523号
(P4077523)

(45) 発行日 平成20年4月16日 (2008. 4. 16)

(24) 登録日 平成20年2月8日 (2008. 2. 8)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 23/34 (2006. 01)

H O 1 L 23/34

D

G O 1 R 31/26 (2006. 01)

G O 1 R 31/26

H

H O 5 K 7/20 (2006. 01)

G O 1 R 31/26

B

H O 5 K 7/20

D

請求項の数 24 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願平10-542958
 (86) (22) 出願日 平成10年4月3日 (1998. 4. 3)
 (65) 公表番号 特表2001-526837 (P2001-526837A)
 (43) 公表日 平成13年12月18日 (2001. 12. 18)
 (86) 国際出願番号 PCT/US1998/006701
 (87) 国際公開番号 W01998/046059
 (87) 国際公開日 平成10年10月15日 (1998. 10. 15)
 審査請求日 平成17年3月10日 (2005. 3. 10)
 (31) 優先権主張番号 08/833, 273
 (32) 優先日 平成9年4月4日 (1997. 4. 4)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 08/833, 368
 (32) 優先日 平成9年4月4日 (1997. 4. 4)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 591067923
 ユニシス コーポレーション
 UNISYS CORPORATION
 アメリカ合衆国 ペンシルバニア州 19
 424 ブルーベル, ピー, オー, ボ
 ックス 500 タウンシップ ライン
 アンド ユニオン ミーティング ローズ
 (番地なし)
 (74) 代理人 100064746
 弁理士 深見 久郎
 (74) 代理人 100085132
 弁理士 森田 俊雄
 (74) 代理人 100083703
 弁理士 仲村 義平

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子装置用温度制御システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電子装置の温度を設定された点温度付近に維持する温度制御システムであって、
 前記電子装置と接触するための第1の面と、前記第1の面に対向する第2の面とを有する
ヒータとを備え、前記ヒータは、前記第1の面と前記第2の面との間または前記第1およ
び第2の面上に電気抵抗器を含み、さらに、
 ヒートシンクとを備え、前記ヒートシンクは、前記ヒータが前記ヒートシンクと前記電子
 装置との間に配置されるように、前記ヒータの前記第2の面に結合され、さらに、
 前記電子装置に結合される温度センサと、
 前記温度センサと前記ヒータとに結合され、前記抵抗器に電力を送る制御回路とを含み、
前記制御回路は、前記電子装置の感知された温度が前記設定された点を上回る場合には前
記抵抗器に送る電力を低減し、逆の場合にはその逆を行ない、
 前記ヒータが前記電子装置と前記ヒートシンクとの間に配置されるために、安定した状態
 条件下で前記電子装置の感知された温度が前記設定された点にある場合に、前記電子装置
 によって発生する熱が前記ヒータを介して前記ヒートシンクに流れることを特徴とする、
 温度制御システム。

【請求項 2】

電子装置の温度を設定された点温度付近に維持する温度制御システムであって、
 前記電子装置と接触するための第1の面と、前記第1の面に対向する第2の面とを有する
ヒータとを備え、前記ヒータは、前記第1の面と前記第2の面との間または前記第1およ

10

20

び第 2 の面上にレーザ吸収材料を含み、さらに、
ヒートシンクとを備え、前記ヒートシンクは、前記ヒータが前記ヒートシンクと前記電子装置との間に配置されるように、前記ヒータの前記第 2 の面に結合され、さらに、
前記電子装置に結合される温度センサと、
前記温度センサと前記ヒータとに結合され、レーザで前記レーザ吸収材料を加熱する制御回路とを含み、

前記制御回路は、前記電子装置の感知された温度が前記設定された点を上回る場合には前記レーザを発生するための電力を低減し、逆の場合にはその逆を行ない、
前記ヒータが前記電子装置と前記ヒートシンクとの間に配置されるために、安定した状態条件下で前記電子装置の感知された温度が前記設定された点にある場合に、前記電子装置によって発生する熱が前記ヒータを介して前記ヒートシンクに流れることを特徴とする、
温度制御システム。

【請求項 3】

前記温度センサは前記電子装置に集積される、請求項 1 または 2 に記載の温度制御システム。

【請求項 4】

温度センサは前記電子装置の外部に取付けられる、請求項 1 または 2 に記載の温度制御システム。

【請求項 5】

前記ヒータの各面は一定の長さを有し、その長さに比較して前記ヒータの前記第 1 の面から前記第 2 の面までの間が薄い、請求項 1 または 2 に記載の温度制御システム。

【請求項 6】

前記ヒータは平坦でありかつ 4 分の 1 センチメートルの厚みである、請求項 1 または 2 に記載の温度制御システム。

【請求項 7】

前記ヒータの熱マスは前記電子装置の熱マスの 3 倍以下である、請求項 1 または 2 に記載の温度制御システム。

【請求項 8】

前記ヒータの熱マスは前記電子装置の熱マス未満である、請求項 1 または 2 に記載の温度制御システム。

【請求項 9】

前記ヒータから前記電子装置への熱抵抗は前記ヒータから前記ヒートシンクへの熱抵抗の 3 倍未満である、請求項 1 または 2 に記載の温度制御システム。

【請求項 10】

前記ヒータから前記電子装置への熱抵抗は前記ヒータから前記ヒートシンクへの熱抵抗未満である、請求項 1 または 2 に記載の温度制御システム。

【請求項 11】

前記電子装置は、入力信号に応じてオンおよびオフに切替わるトランジスタを含み、
前記電子装置からの熱散逸は、前記電子装置に与えられる前記入力信号に応じて変動し、
前記電子装置は、前記入力信号と、前記入力信号に応じてオンおよびオフに切替わる前記トランジスタに応じて出力される出力信号とに基づいてテストされる、請求項 1 または 2 に記載の温度制御システム。

【請求項 12】

前記ヒータの前記第 1 の面と前記電子装置との間に配されるのは、電子装置に損傷を与えない温度でいかなる残渣も残すことなく蒸発する液体である、請求項 1 または 2 に記載の温度制御システム。

【請求項 13】

電子装置の温度を調節する温度制御システムにおいて用いられる温度制御サブアセンブリであって、

前記電子装置と接触するための第 1 の面と、前記第 1 の面に対向する第 2 の面とを有する

10

20

30

40

50

ヒータと、

前記ヒータの前記第 2 の面に結合され、前記ヒータを介して前記電子装置から熱を吸収することによって前記電子装置を冷却するヒートシンクとを含み、

前記ヒータは、前記第 1 の面と前記第 2 の面との間または前記第 1 および第 2 の面上にレーザ吸収材料と、前記レーザ吸収材料にレーザビームを照射するレーザとを含む、温度制御アセンブリ。

【請求項 14】

電子装置の温度を調節する温度制御システムにおいて用いるための温度制御サブアセンブリであって、

前記電子装置と接触するための第 1 の面と、前記第 1 の面に対向する第 2 の面とを有するヒータを含み、前記ヒータは、前記第 1 の面と前記第 2 の面との間または前記第 1 および第 2 の面上にレーザ吸収材料を含み、さらに

赤外線レーザビームを発生するレーザと、

前記ヒータの前記第 2 の面に結合され、前記ヒータを介して前記電子装置から熱を吸収することによって前記電子装置を冷却するヒートシンクとを含み、

前記ヒートシンクは、前記レーザビームを前記ヒートシンクを介して前記電子装置に送る窓を有する、温度制御アセンブリ。

【請求項 15】

電子装置の温度を設定された点温度付近に維持する温度制御システムであって、

前記電子装置と接触するための第 1 の面と、前記第 1 の面に対向する第 2 の面とを有するヒータとを備え、前記ヒータは、前記第 1 の面と前記第 2 の面との間または前記第 1 および第 2 の面上に電気抵抗器を含み、さらに、

前記ヒータの前記第 2 の面に結合され、前記ヒータの前記第 2 の面を介して前記電子装置から熱を吸収するヒートシンクと、

前記ヒータおよび前記ヒートシンクに結合されるそれぞれの温度センサと、

前記温度センサに結合され、前記電子装置の温度を、感知されたヒータ温度および感知されたヒートシンク温度の予め定められた関数に基づいて推定する評価器回路と、

前記評価器回路および前記ヒータに結合され、前記抵抗器に電力を送る制御回路とを含み、

前記制御回路は、前記電子装置の推定された温度が前記設定された点を上回る場合には前記抵抗器に送る電力を減少させ、逆の場合にはその逆を行ない、

前記評価器回路が前記電子装置の温度 T_d を推定する前記関数は、

【数 1】

$$T_d = T_h + \theta_{d-h} [M_h \dot{T}_h - P_h + (T_h - T_s) \div (\theta_{h-s})]$$

であり、式中、 T_h は感知されたヒータ温度であり、 \dot{T}_h は T_h の変化割合であり、 T_s は感知されたヒートシンク温度であり、 θ_{d-h} は電子装置とヒータとの間の熱抵抗であり、 θ_{h-s} はヒータとヒートシンクとの間の熱抵抗であり、 P_h はヒータへのパワーであり、 M_h はヒータの熱マスである、

温度制御システム。

【請求項 16】

電子装置の温度を設定された点温度付近に維持する温度制御システムであって、

前記電子装置と接触するための第 1 の面と、前記第 1 の面に対向する第 2 の面とを有するヒータとを備え、前記ヒータは、前記第 1 の面と前記第 2 の面との間または前記第 1 および第 2 の面上にレーザ吸収材料を含み、さらに、

前記ヒータの前記第 2 の面に結合され、前記ヒータの前記第 2 の面を介して前記電子装置から熱を吸収するヒートシンクと、

前記ヒータおよび前記ヒートシンクに結合されるそれぞれの温度センサと、

前記温度センサに結合され、前記電子装置の温度を、感知されたヒータ温度および感知されたヒートシンク温度の予め定められた関数に基づいて推定する評価器回路と、

前記評価器回路および前記ヒータに結合され、レーザで前記レーザ吸収材料を加熱する制御回路とを含み、

前記制御回路は、前記電子装置の推定された温度が前記設定された点を上回る場合には前記レーザを発生するための電力を減少させ、逆の場合にはその逆を行ない、

前記評価器回路が前記電子装置の温度 T_d を推定する前記関数は、

【数 2】

$$T_d = T_h + \theta_{d-h} [M_h T_h - P_h + (T_h - T_s) \div (\theta_{h-s})]$$

であり、式中、 T_h は感知されたヒータ温度であり、 T_h は T_h の変化割合であり、 T_s は感知されたヒートシンク温度であり、 θ_{d-h} は電子装置とヒータとの間の熱抵抗であり、 θ_{h-s} はヒータとヒートシンクとの間の熱抵抗であり、 P_h はヒータへのパ
ワーであり、 M_h はヒータの熱マスである、

10

温度制御システム。

【請求項 17】

前記評価器回路は、(a) 前記ヒータの第 1 の面から前記装置への熱抵抗、(b) 前記ヒータの第 2 の面から前記ヒートシンクへの熱抵抗、および (c) 前記ヒータの熱マスのそれぞれの値を記憶するメモリを含み、前記評価器回路は前記記憶される値を前記関数において装置温度を推定するために用いる、請求項 15 または 16 に記載の温度制御システム。

【請求項 18】

前記評価器回路はデジタルマイクロプロセッサである、請求項 15 または 16 に記載の温度制御システム。

20

【請求項 19】

前記評価器回路はアナログ回路である、請求項 15 または 16 に記載の温度制御システム。

【請求項 20】

前記ヒートシンクは $0.1 \text{ cm}^2/\text{ワット}$ より大きい熱抵抗率を介して前記ヒータの前記第 2 の面に結合される、請求項 15 または 16 に記載の温度制御システム。

【請求項 21】

前記ヒータから前記電子装置への熱抵抗は前記ヒータから前記ヒートシンクへの熱抵抗の 3 倍未満である、請求項 15 または 16 に記載の温度制御システム。

30

【請求項 22】

前記ヒータの熱マスは前記電子装置の熱マスの 3 倍以下である、請求項 15 または 16 に記載の温度制御システム。

【請求項 23】

前記ヒータの各面は一定の長さを有し、その長さに比較して前記ヒータの前記第 1 の面から前記第 2 の面までの間が薄い、請求項 15 または 16 に記載の温度制御システム。

【請求項 24】

前記ヒータの前記第 1 の面と前記電子装置との間に配されるのは、電子装置に損傷を与えない温度でいかなる残渣も残すことなく蒸発する液体である、請求項 15 または 16 に記載の温度制御システム。

40

【発明の詳細な説明】

発明の背景

この発明は、電子装置がテストされている最中にその装置の温度を一定の設定された点の温度近くに維持する温度制御システムに関し、そのような温度制御システムの鍵となる部分を含むサブアセンブリに関するものである。

一定温度付近でテストされるべき必要がある電子装置の 2 つの具体例として、パッケージングされた集積チップ、またはパッケージングされていない露出したチップが挙げられる。それらのチップには、デジタル論理回路系またはメモリ回路系またはアナログ回路系といった任意のタイプの回路系が集積され得る。さらに、それらチップ内の回路系には、電界効果トランジスタまたはバイポーラトランジスタといった任意のタイプのトランジスタ

50

が含まれ得る。

チップがテストされる間にそのチップの温度を一定に保とうとする1つの理由は、そのチップが動作する速度が温度依存性であるかもしれない、というものである。たとえば、相補電界効果トランジスタ(CMOSトランジスタ)からなるチップは、典型的には、チップの温度が1 下がるごとに約0.3%その動作速度を増大させる。

特定のタイプのチップを大量生産し、次いでそれらを高速で仕分けして、より高速に動作するチップをより高価格で販売することは、チップ産業界における1つの慣習となっている。CMOSメモリチップおよびCMOSマイクロプロセッサチップはこのような態様で処理される。しかしながら、このようなチップの速度を適切に決定するためには、速度テストが行なわれている間に各チップの温度を一定近くに保たなければならない。

チップ温度を一定の設定された点付近に保つことは、速度テストが行なわれている最中にそのチップの瞬間的パワー散逸が一定であるかまたは狭い範囲内で変動する場合には、極めて容易である。その場合には、そのチップを、固定された温度にある熱マスに、固定された熱抵抗を介して結合することが必要であるにすぎない。たとえば、最大チップパワー変動が10ワットであり、チップと熱マスとの間が結合が0.2 /ワットである場合、そのチップの温度は最大2 変動する。

しかしながら、速度テストを行なっている最中にそのチップの瞬間パワー散逸が幅広い範囲で上下変動する場合には、チップの温度を一定の設定された点付近に維持することは非常に困難である。装置パワー散逸が大きく変化するたびに、その温度およびその速度も大きく変化する。

上記の問題はCMOSチップにおいて特に深刻であり、なぜならば、それらの瞬間パワー散逸は、ONまたはOFFに切換わるCMOSトランジスタの数が増大するにつれて、増大するからである。あるCMOSチップの速度テスト中では、切換わるトランジスタの数は常に変動し、したがって、そのチップのパワー散逸および温度および速度は常に変化している。さらに、これら変化の大きさはより多くのトランジスタが1つのチップに集積されるに従って増大し、なぜならば、任意の特定の瞬間に切換わるトランジスタの数はそのチップ上の0個からすべてのトランジスタの範囲まで変動するからである。

先行技術において、集積回路チップ用のいくつかの温度制御システムが以下の米国特許に開示されている：

5, 420, 521	5, 297, 621	5, 104, 661
5, 315, 240	5, 205, 132	5, 125, 656
5, 309, 090	5, 172, 049	4, 734, 872

しかしながら、上記の特許に開示されるいずれの温度制御システムにも、テスト中にパワー散逸を大きく変動させるチップにおいて速度テストを実行し得る能力はない。これは、上記の温度制御システムは、上述したような瞬間パワー変動を補償するほど十分高速には反応し得ないからである。

上記の特許 656および 661および 090および 240では、チップから熱を除去するための手段は全く与えられておらず、それらはチップに熱を加えるためのさまざまなヒータを含むにすぎない。これらの制御システムは、「バーンイン」テストが行なわれる200 を越えるような上昇されたレベルにまでチップの温度を上昇させる場合に対してのみ好適である。任意の上昇された温度で、チップ内の弱いまたは欠陥のある構成要素の障害が促進され、その「バーンイン」テストによってそのような構成要素は数時間の後動作しなくなる。

上記の特許 872および 132および 621では、温度制御されるガス噴射をチップに向けるか、または、温度制御された液体にチップを浸漬することによって、そのチップの温度を上昇または低下させる。しかしながら、これらの制御システムは、ガス噴射または液体の温度を上昇または低下させ得る速度により制限される。

特許 521では、チップを加熱するためのヒータと、チップを冷却するための、液体により冷却されるアルミニウムブロックとの両方を含む制御システムが図7に開示されている。しかしながら、この図7の制御システムも、テスト中にパワー散逸を大きく変動させ

るチップにおいて速度テストを行なうことを可能にする能力はなく、なぜならば、このシステムもそのようなパワー変動を補償すると十分に素早くには反応し得ないからである。このような欠点が生ずる理由については、図 8、図 9 および図 10 に関連して詳細に述べる。

したがって、ここに開示されるこれら発明の主な目的は、電子装置がテストされている最中にその装置内におけるパワー散逸の大きな変動に迅速に反応ししたがってその装置の温度を一定の設定された点の温度に維持する新規な温度制御システムおよびそのようなシステムのための新規なサブアセンブリを提供することである。

発明の概要

ドケット番号 550, 577 の発明に従うと、電子装置の温度をある設定された点付近に維持する温度制御システムは：電子装置と接触する第 1 の面と、その第 1 の面に対向する第 2 の面とを有する電気ヒータと；ヒータの第 2 の面に結合され、電子装置からの熱をヒータの第 2 の面を介して吸収するヒートシンクと；電子装置に結合され、装置温度 T_d を感知する温度センサと；温度センサおよびヒータに結合され、感知された電子装置の温度が設定された点を超えるとヒーターへのパワーを減少させ、逆の場合にはその逆を行なう制御回路とを含む。ヒータ温度 T_h が T_d よりも低い場合、熱は電子装置からヒータを介してヒートシンクに流れ、熱の流れの割合は $T_d - T_h$ が増大するにつれ増大する。 T_h が T_d よりも高い場合には、熱は電子装置からヒータに流れ、熱の流れの割合は $T_h - T_d$ が増大するにつれて増大する。ヒータのパワーのみを電氣的に制御することによって、電子装置への / からの熱の流れは迅速に調整され、次いでそれによって装置温度が迅速に調節される。

【図面の簡単な説明】

図 1 は、ドケット番号 550, 577 を有する発明の好ましい実施例を構成する温度制御システムを示す。

図 2 は、図 1 の温度制御システムの動作を説明する一助となる概略図である。

図 3 は、図 2 の概略図を模したものであり、電子装置におけるパワー散逸が段階的に増大した場合の図 1 の制御システムの動作を示す。

図 4 は、図 2 の概略図を模したものであり、電子装置におけるパワー散逸が段階的に減少した場合の図 1 の制御システムの動作を示す。

図 5 は、図 1 の制御システムの動作を正確に定義する微分方程式の組である。

図 6 は、図 1 の制御装置が図 5 の方程式を介してシミュレーションされた場合にいくつかのパラメータがそのシステムにおいてどのように変動するかを示す。

図 7 は、図 1 の制御装置が図 5 の方程式を介してシミュレーションされた場合にいくつかのさらなるパラメータがそのシステムにおいてどのように変動するかを示す。

図 8 は、米国特許第 5,420,521 号に記載される先行技術の温度制御システムの動作を説明する一助となる、図 2 の概略図と同様の概略図である。

図 9 は、図 8 の温度制御システムの動作を正確に定義し、図 1 の制御システムの動作と図 8 の制御システムの動作とを区別する特徴を説明する一助となる、微分方程式の組である。

図 10 は、図 1 の制御システムの動作と図 8 の制御システムの動作とを区別する別の特徴を説明する一助となる微分方程式の組である。

図 11 は、ドケット番号 550, 578 を有する温度制御システムの基礎をなす微分方程式の組である。

図 12 は、図 11 の方程式に基づく温度制御システムの好ましい実施例を示す。

図 13 は、図 12 の温度制御システムのシミュレーションにより得られる曲線の組である。

図 14 は、特定のパラメータが誤差を伴って注入される図 12 の温度制御システムの第 2 のシミュレーションにより得られる別の曲線の組である。

図 15 は、図 14 のパラメータにおける誤差を検出および訂正し得るプロセスのステップをリスト化する。

10

20

30

40

50

図 1 6 は、図 1 5 のプロセスがどのように実行されるかを示す。

図 1 7 は、ドケット番号 5 5 0 , 5 7 9 を有する発明を構成するサブアセンブリの製造の最初の段階を示す。

図 1 8 は、どのようにして図 1 7 のアセンブリが完成され図 1 および図 1 2 の温度制御システムに組み入れられるかを示す。

図 1 9 は、図 1 8 のサブアセンブリ内の電子装置上の膜がどのように除去されるかを示す。

図 2 0 は、図 1 および図 1 2 の温度制御システム内におけるヒータ構成要素に対する変形例を示す。

図 2 1 は、図 1 8 のサブアセンブリに対する変形例を示す。

10

詳細な説明

図 1 において、参照番号 1 1 は、一定の設定された点付近にその温度が維持される間にテストを受ける電子装置を示す。この電子装置 1 1 の 2 つの具体例としては、セラミックまたはプラスチックでパッケージングされた集積チップ、または、パッケージングされていない露出したチップが挙げられる。この電子装置 1 1 には、デジタル論理回路系またはメモリ回路系またはアナログ回路系といった、テストされる必要がある任意のタイプの回路系を集積し得、その回路系は、任意のタイプのトランジスタ、たとえば、Nチャネル電界効果トランジスタまたはPチャネル電界効果トランジスタまたは相補電界効果トランジスタまたはバイポーラトランジスタを含み得る。

電子装置 1 1 上に含まれるのは何十もの入力 / 出力端子 1 1 a であるが、図 1 においては、単純化のため、それら端子のうちいくつかのみを示す。これらの端子 1 1 a は信号線 1 2 a、1 2 b および 1 2 c からなる 3 つの組に結合される。信号線 1 2 a 上では、電子装置 1 1 をテストする入力信号「TEST - IN」が受取られ、信号線 1 2 b 上では、出力信号「TEST - OUT」が電子装置 1 1 からそのテストへの応答として送られる。従来のテスト設備（図示せず）を信号線 1 2 a および 1 2 b に結合することにより、それらの信号をそれらの線上でそれぞれ授受する。信号線 1 2 c 上では、電子装置 1 1 の温度を示す出力信号「TEMP」が電子装置 1 1 から送られる。これら TEMP 信号は、その電子装置に組み込まれる、たとえば温度に対し感度を有する抵抗器またはダイオードのような、温度センサから発生する。

20

図 1 の他の構成要素 1 2 ~ 1 7 は、すべて、電子装置 1 1 がテストされている間その装置の温度を設定された点付近に保つ温度制御システムを構成する。その制御システムにおける各構成要素を以下に表 1 において説明する。

30

表 1

構成要素	説 明	
12 ...	構成要素 12 は、構成要素 11、16、17 および 18 を物理的に保持するプリント基板である。さらに、このプリント基板 12 は、信号およびパワー線 12 a ~ 12 g からなるいくつかの組を含む。	
13 ...	構成要素 13 は、構成要素 11 および 14 にそれぞれ抗する 2 つの主面 13 a および 13 b を有する薄い平坦な電気ヒータである。可変量の電力 P_h がヒータ 13 に 2 本のワイヤ 13 c を介して供給され、その電力はそのヒータ内で熱として散逸する。ヒータ 13 の一実施例は、導体 13 c からの電力を熱に変換するために電気抵抗器（図示せず）が一様に集積された窒化アルミニウムセラミックを含む。	10
14 ...	構成要素 14 は、冷却フィン（図示せず）が中に配される中空の基部 14 a を有する、液体により冷却されるヒートシンクである。液体冷媒 14 b はチューブ 14 c から基部 14 a に入り、別のチューブ 14 d を介してその基部から出る。この冷媒 14 b は、ポンプ（図示せず）によって、一定の流量で基部 14 a を通って循環し、一定温度 T_L に保持される。	
15 ...	構成要素 15 は、可変量の電力 P_h を電気ヒータ 13 に送る電子制御回路である。この制御回路は、パワー調節器 16 と、可変電源 17 とからなる。	20
16 ...	構成要素 16 は、信号線 12 c、12 d および 12 e からなる 3 つの組に結合されるパワー調節器である。電子装置 11 の現在の温度 T_d を示す TEMP 信号が信号線 12 c 上で受取られ、装置 11 に対する設定された点温度を示す SET-POINT 信号が信号線 12 d 上で受取られる。これら 2 つの温度およびそれらの変化割合に基づいて、装置 11 の温度がその設定された点付近に留まるようにヒータ 13 に送られるべきパワー量を示す制御信号 CTL がパワー調節器 16 によって信号線 12 e 上に発生される。	
17 ...	構成要素 17 は、信号線 12 e と、パワー線 12 f および 12 g からなる 2 つの組とに結合される可変電源である。信号線 12 e 上においてはパワー調節器 16 からの制御信号 CTL が受取られ、パワー線 12 f 上では供給電圧 +V および接地が受取られる。CTL 信号に応答して、電源 17 は、供給電圧 +V から利用可能なパワーの一部としてパワー線 12 g 上において可変量のパワー P_h を送る。	30
18 ...	構成要素 18 は、ヒータワイヤ 13 c を可変電源に相互結合するコネクタである。	
動作において、電子装置 11 は、信号線 12 a 上にて受取られる TEST-IN 信号によってテストされている最中、そのパワー散逸が変動する。このパワー変動が生ずるのは、TEST-IN 信号に応答して電子装置 11 内のトランジスタがオンおよびオフになり、したがってそれらのパワー散逸において変動するからである。その結果、電子装置 11 の温度はそのパワー散逸が増大するにつれて増大する傾向となり、逆の場合にはその逆が生ずる。		40
電子装置 11 内では、温度センサによって、その装置の現在の温度を示す TEMP 信号が、信号線 12 c 上にて発生される。それら TEMP 信号はパワー調節器 16 に送られ、そこでそれらは信号線 12 d 上の SET-POINT 信号と比較される。装置 11 の温度が設定された点温度よりも低い場合、調節器 16 は、ヒータ 13 への可変パワー P_h を増大するように制御信号 CTL を発生する。逆に、装置 11 の温度が設定された点温度よりも高い場合には、調節器 16 は、ヒータ 13 への可変パワー PWR を減少させるように制御信号 CTL を発生する。		
ここで、図 2、図 3 および図 4 を参照して、図 1 の制御装置の動作をさらに詳細に説明す		50

る。これらの図は図1の制御装置の概略図であり、そこでは、電子装置11は熱抵抗 d_{d-h} を介して電気ヒータ13に結合され、ヒータ13は熱抵抗 h_{h-s} を介してヒートシンクの基部14aに結合され、ヒートシンクの基部は熱抵抗 s_{s-l} を介して冷媒に結合される。さらに、図2～図4においては、電子装置11は可変量のパワー P_d を受取って散逸し、電気ヒータは可変量のパワー P_h を受取り散逸する。さらに

図2～図4では、電子装置11は温度 T_d および熱マス M_d を有し、ヒータ13は温度 T_h および熱マス M_h を有し、ヒートシンク基部14aは温度 T_s および熱マス M_s を有する。好ましくは、ヒータの熱マス M_h は実用的である程度に小さくされる。この制約は、以下に示されるように、ヒータ13がその温度を上げ下げし得る速度を改善し、したがって、電子装置の温度 T_d を設定された点付近に維持する一助となる。熱マス M_h に対する1つの好適な上限は、それが電子装置の熱マス M_d のせいぜい3倍であることであり、好ましくは M_h は M_d よりも小さい。

さらに好ましくは、ヒータの熱抵抗 d_{d-h} も実用的である程度に小さくされる。この制約は、下に示されるように、ヒータ13から電子装置11へ伝達される熱の量を、ヒータ13からヒートシンク14に伝達される熱の量に比して増大させる一助となる。熱抵抗 d_{d-h} に対す好適な上限は、それがヒータとヒートシンク基部との間の熱抵抗 h_{h-s} のせいぜい3倍であることであり、好ましくは d_{d-h} は h_{h-s} よりも小さい。

安定した状態条件下では、図2に示されるように、熱は装置11から熱経路21に沿って液体冷媒に流れ、図2に示されるように、熱は熱経路22に沿ってヒータ13から液体冷媒に流れる。さらに、安定した状態条件下では、装置温度は設定された点温度に等しく、ヒータ温度は装置温度から $P_d \cdot d_{d-h}$ を引いたものに等しい。装置パワー散逸が0である場合には、経路21上の熱の流れは0であり、 T_d は T_h に等しい。

ここで、電子装置11がそのパワー散逸 P_d を増大させ、それによってその温度 T_d を設定された点を超えて上昇させると考える。これは、図3において、時点 t_1 および t_2 にて生ずるとして示される。設定された点を超える装置温度 T_d における上昇に応答して、ヒータ13へのパワー P_h は調節器16によって低減され、これは図3においては時間 t_3 で生ずるとして示される。ヒータ13は低い熱マス M_h を有し、したがって、時間 t_4 にて示されるように、ヒータのパワーが低減されるとヒータの温度 T_h は急激に降下する。ヒータ温度が低減されるにつれ、装置11から熱経路21に沿って冷媒へ伝達される熱の量が增大する。したがって、装置温度 T_d は時間 t_5 にて示されるように冷却され始める。装置温度 T_d が設定された点に近づくにつれ、ヒータのパワー P_h は時間 t_6 にて示されるように勾配をなして上昇する。したがって、ヒータ温度 T_h は上昇し、それによって、装置11から熱経路21に沿った熱の流れを低減する。ヒータのパワー P_h を適切なレベルにまで上昇させることによって、安定した状態が戻り、熱の流れは図2に示されるようになり、装置温度 T_d は設定された点になる。

逆に、電子装置11がそのパワー散逸 P_d を減少させ、それによってその温度 T_d を設定された点より下に降下させる場合を考える。これは、図4において、時点 t_1 および t_2 で生ずるとして示される。設定された点を下回る装置温度 T_d の降下に応答して、ヒータ13へのパワー P_h が調節器16によって増大され、これは図4においては時間 t_3 にて生ずるように示される。ヒータ13は低い熱マス M_h を有し、したがって、ヒータの温度 T_h は、時間 t_4 にて示されるように、ヒータのパワーが増大すると急激に上昇する。ヒータ温度 T_h が上昇して装置温度 T_d を超えると、ヒータからの熱の一部が図4の熱経路22aに沿って電子装置11に伝わり、ヒータからの熱の別の一部が熱経路22bに沿って液体冷媒に伝わる。さらに、経路22a上において電子装置11に伝わる熱の量は、 d_{d-h} が h_{h-s} に相対して減少するにつれ増大する。

上昇間 t_4 におけるヒータ温度の上昇に応答して、装置温度 T_d は時間 t_5 にて示されるように上昇し始める。装置温度 T_d が設定された点に近づくにつれ、ヒータのパワー P_h は時間 t_6 にて示されるように勾配をなして下降する。したがって、ヒータ温度 T_h は勾配をなして下降し、したがって、熱経路22aに沿ったヒータから装置11への熱の流れを低減する。ヒータのパワー P_h を適切なレベルに降下させることによって、安定した状態

10

20

30

40

50

が戻り、熱の流れは図 2 に示されるようになり、装置温度 T_d は設定された点温度になる。

図 2 ~ 図 4 の上記の説明から、ヒータ 1 3 は経路 2 1 および 2 2 a 上を流れる熱の量を制御することがわかる。 T_h が T_d に等しい場合、経路 2 1 および 2 2 a 上には熱は全く流れない。 T_h が T_d よりも小さい場合には、熱は経路 2 1 上を電子装置からヒータ 1 3 を介してヒートシンクに流れ、熱の流れの割合は $T_d - T_h$ が増大するにつれ増大する。 T_h が T_d よりも大きい場合には、熱は経路 2 2 a 上をヒータ 1 3 から電子装置へ流れ、熱の流れの割合は $T_h - T_d$ が増大するにつれ増大する。ヒータのパワー P_h を制御することによって、電子装置への / からの熱の流れが調節され、次いでそれによって装置温度が調節される。

10

図 1 の制御システムが動作する速度をさらに説明するために、ここで図 5、図 6 および図 7 を参照する。図 5 においては、等式 1、等式 2 および等式 3 と符号付される 3 つの微分方程式が与えられる。これらの方程式は、ある物体によって受取られる熱パワーの和はその物体の熱マスにその物体の温度の変動割合を掛けたものに等しいという原理に基づいている。

等式 1 は、参照番号 3 1 a、3 1 b および 3 1 c で識別される 3 つの項を含む。項 3 1 a は T E S T - I N 信号に応答して電子装置 1 1 が受取り散逸するパワーであり、項 3 1 b は電子装置 1 1 に熱抵抗 θ_{d-h} を介して伝達されるパワーであり、項 3 1 c は電子装置 1 1 の熱マスにその温度の変化割合を掛けたものである。

同様に、等式 2 は参照番号 3 2 a、3 2 b、3 2 c および 3 2 d で示される 4 つの項を含む。項 3 2 a は可変電源 1 7 から電気ヒータ 1 3 に供給されるパワーであり、項 3 2 b は電気ヒータ 1 3 に熱抵抗 θ_{h-s} を介して伝達されるパワーであり、項 3 2 c はヒータ 1 3 に熱抵抗 θ_{d-h} を介して伝達されるパワーであり、項 3 2 d はヒータの熱マスにヒータの温度の変化割合を掛けたものである。

20

同様に、等式 3 は参照番号 3 3 a、3 3 b および 3 3 c で示される 3 つの項を含む。項 3 3 a はヒートシンク基部 1 4 a に熱抵抗 θ_{s-l} を介して伝達されるパワーであり、項 3 3 b はヒートシンク基部に熱抵抗 θ_{h-s} を介して伝達されるパワーであり、項 3 3 c はヒートシンク基部のマスにその温度の変化割合を掛けたものである。

図 5 のこれら 3 つの等式を用いることにより、デジタルコンピュータ上でのシミュレーションを実行し、そのシミュレーションの結果を図 6 および図 7 に示す。このシミュレーションを実行するにあたり、図 5 の等式のさまざまなパラメータは下の表 2 に示される値を有した。

30

表 2

$\theta_{d-h}=0.1^{\circ}\text{C}/\text{ワット}$	$M_d=0.478 \text{ ジュール}/^{\circ}\text{C}$
$\theta_{h-s}=0.05^{\circ}\text{C}/\text{ワット}$	$M_h=0.80 \text{ ジュール}/^{\circ}\text{C}$
$\theta_{s-l}=0.1^{\circ}\text{C}/\text{ワット}$	$M_s=5.60 \text{ ジュール}/^{\circ}\text{C}$
最大 $P_h=500 \text{ ワット}$	
$T_L=\text{設定された点より } 40^{\circ}\text{C 下}$	

さらに、このシミュレーションでは、電子装置 1 1 はまず設定された点温度にされ、パワーを全く散逸していないものと仮定された。その後、2 秒に等しい時間で、電子装置 1 1 のパワー散逸が T E S T _ I N 信号に応答して 1 0 0 ワットのパワーにまで上昇された。このパワー散逸は電子装置 1 1 において 3 秒間一定のままにされ、その時間で装置 1 1 におけるパワー散逸は 0 に戻った。

40

上述した 1 0 0 ワットステップの対で電子装置 1 1 のパワー散逸を変化させることによって、設定された点付近に装置温度を維持する図 1 の制御システムの能力を最悪の場合の条件下でテストする。さらに、表 2 の熱マス M_d は露出した集積回路チップの熱マスであり、したがって、それはもう 1 つの最悪の場合のテスト条件を構成するものであり、なぜならば、その温度は（より大きな熱マスを本質的に有する）パッケージングされたチップの温度よりも速く変化するからである。

50

図 6 の曲線 4 1 は、上述したように、電子装置 1 1 におけるパワー散逸が時間とともにどのように変化するかを示す。さらに、図 6 および図 7 において、曲線 4 2 は電子装置 1 1 の温度が時間とともにどのように変化するかを示し、曲線 4 3 はヒータのパワーが時間とともにどのように変化するかを示し、曲線 4 4 はヒータの温度が時間とともにどのように変化するかを示し、曲線 4 5 はヒートシンク基部の温度が時間とともにどのように変化するかを示す。

曲線 4 2 を調べると、2 秒に等しい時間で、電子装置 1 1 の温度における最大偏差がその装置内のパワー散逸におけるステップ状の増大により約 4 であることがわかる。最大温度偏差に到達した後、電子装置 1 1 の温度は次いで勾配をなして下降し、設定された点に約 0.4 秒以内に戻る。

10

同様に、曲線 4 2 を調べると、5 秒に等しい時間で、電子装置 1 1 の温度における最大偏差がその装置内のパワー散逸における負のステップにより約 3.6 であることがわかる。この最大温度偏差に到達した後、電子装置 1 1 の温度は勾配をなして上昇し、設定された点に 0.3 秒以内に戻る。

上述の制御システムの 1 つの主な特徴は、その制御システムによって、装置温度の設定された点からの偏差が訂正される速度であり、それによって、最大偏差を相対的に小さく保つことである。この動作速度がどのように達成されるかは図 5 の等式から以下のように理解され得る。

装置温度における設定された点からの各偏差は、等式 2 の項 3 2 a で与えられるヒータのパワー P_h における変更によって訂正される。項 3 2 a が変化すると、ヒータの温度は等式 2 の項 3 2 d で示されるように変化する。ヒータ温度の変化は次いで等式 1 において項 3 1 b を変化させる。次いで、項 3 1 b におけるこの変更によって、装置温度が等式 1 の項 3 1 c によって示されるように変化する。図 5 においては、上記事象の連鎖は下線 5 1 で示される。

20

これに比して、先行技術特許第 5,420,521 号では、ヒータのパワーにおける変化と装置温度における結果的な変化との間に生ずる事象の連鎖ははるかにより長く、これを図 8 および図 9 に示す。図 8 は、先行技術特許 521 の図 7 および図 8 の制御システムに対する概略図である。この概略図では、参照番号 140、116、124、126 および 82 は、特許 521 の図 7 の同じ参照番号である。

構成要素 140 は冷却されることになる電子装置 1 1 に接するヒータブロックであり、構成要素 116 はヒータブロックに接するアルミニウムブロックであり、構成要素 82 は温度 T_L で液体冷媒を運ぶ冷媒チューブであり、構成要素 124 はアルミニウムブロック 116 に接するヒータアセンブリであり、構成要素 126 はヒータアセンブリ内にある加熱素子である。図 8 における各構成要素は図に示されるようにそれぞれの熱マス M およびそれぞれの温度 T を有する。さらに、図 8 の構成要素はすべて図示されるようにそれぞれの熱抵抗 R を介して相互結合される。

30

図 8 の概略図から、6 つの微分方程式 11 ~ 15 の組が図 9 に示されるように導き出され得る。これらの図 9 の等式は図 5 の等式と同様であり、なぜならば、それらは、ある物体によって受取られる熱パワーの和はその物体の熱マスにその物体の温度の変化割合を掛けたものに等しいという原理に基づいているからである。

40

等式 15 においてヒータのパワー P_h が変化すると、それによって、温度 T_3 が等式 15 の項 6 1 によって示されるように変化する。温度 T_3 における変化は、次いで、項 6 2 を等式 14 にて変化させる。次いで、項 6 2 におけるこの変化によって、温度 T_2 が等式 14 の項 6 3 によって示されるように変化する。温度 T_2 における変化は、次いで、項 6 4 を等式 13 にて変化させる。次いで、項 6 4 におけるこの変化によって、温度 T_1 が等式 13 の項 6 5 によって示されるように変化する。温度 T_1 における変化によって、次いで、項 6 6 が等式 12 において変化する。次いで、この項 6 6 における変化によって、温度 T_h が等式 12 の項 6 7 によって示されるように変化する。温度 T_h における変化は、次いで、項 6 8 を等式 11 にて変化させる。次いで、項 6 8 におけるこの変化によって、装置温度 T_d が等式 11 の項 6 9 によって示されるように変化する。

50

図 9 において、上記の事象の連鎖は参照番号 5 1 で示される。この事象の連鎖 5 1 では、ヒータのパワー P_h を変動させることによって装置温度を調節するために温度 T_3 、 T_2 、 T_1 、 T_h および T_d の各々はシーケンスで変化しなければならない。その結果、ヒータのパワーを変動させることは装置温度を間接的に変化させるにすぎない。これに比して、図 5 の事象の連鎖 5 1 では、ヒータのパワーを変動させることによって装置温度を調節するために温度 T_h および T_d のみをシーケンスで変化させればよい。したがって、図 1 の制御システムにおいてヒータのパワーを変動させることは、特許 5 2 1 においてそうするよりも、はるかにより直接的に、およびしたがってより速やかに装置温度に影響する。図 1 の制御システムにおいてヒータのパワーを変動させることが特許 5 2 1 においてそうするよりもより速やかに装置温度に影響するもう 1 つの理由は、図 10 の等式 20 および 21 から理解され得る。等式 20 は、図 5 の等式 2 および 3 を加算し、その結果得られた項を、項 3 2 d のみが = 記号の左側に来るように並べ替えることによって得られたものである。同様に、等式 21 は、図 9 の等式 1 2 ~ 1 6 を加算し、その結果得られた項を、項 6 7 のみが = 記号の左側に来るように並べ替えることによって得られたものである。等式 20 の項 3 2 d において、熱マス M_h は、冷却されるべき電子装置 1 1 に直接接触している図 1 のヒータ 1 3 の熱マスである。同様に、等式 21 の項 6 7 では、熱マス M_h は、冷却されるべき電子装置 1 1 に直接接触している図 8 のヒータブロック 1 4 0 の熱マスである。したがって、電子装置 1 1 の温度を速やかに調節するためには、ヒータのパワー P_h を変動させることによってマス M_h の温度 T_h を速やかに変化させ得ることが重要である。

ヒータのパワー P_h が等式 20 にて増大すると、マス M_h の温度 T_h に対するそのパワー増大の影響は、等式 20 の右手側に生ずる負の項 3 3 c によって減少される。これに比して、等式 21 においてヒータのパワー P_h が増大されると、マス M_h の温度 T_h に対するそのパワー増大の影響は、等式 21 の右手側にある負の項 6 0、6 1、6 3 および 6 5 によって減少される。

等式 21 の項 6 0 は等式 20 の項 3 3 c と同様であり、したがって、ヒータのパワー P_h を変動させることによって温度 T_h を変化させることに対するそれらの負の影響は同様である。しかしながら、等式 21 における残りの負の項 6 1、6 3 および 6 5 は等式 20 においては完全に除去される。したがって、ヒータのパワー P_h を変化させることは、特許 5 2 1 においてそうするよりも、図 1 の制御システムにおける温度 T_h の変化割合に対してはるかにより大きな影響を有する。

ここで図 1 1 および図 1 2 を参照して、第 2 の温度制御システムについて説明する。図 1 のシステムに対するこの第 2 の温度制御システムにおける大きな相違点は、温度センサを含まない電子装置 1 1 の温度をこのシステムによって調節するという点である。したがって、電子装置 1 1 は、信号線 1 2 a 上の TEST_IN 信号に応答してその温度がどのように変動しているかを示す温度信号 TEMP を発生させることはできない。この相違点は非常に重要であり、なぜならば先行技術におけるほとんどではないとしても多くの集積回路チップは温度センサを含まないからである。

等式 2 は、先に説明したように、この第 2 の温度制御システムが基づく原理を与えるものであり、便宜上、等式 2 は図 1 1 に再生される。等式 2 の項を代数的に再配列することによって、= 記号の右側にあるいくつかのパラメータの項で装置温度 T_d が表現される別の等式 3 1 が得られる。

等式 3 1 では、各特定の装置 1 1 がテストされている最中、パラメータ

$$T_h, \dot{T}_h, P_h$$

および T_s が時間とともに変動し、残りのパラメータ T_{d-h} 、 M_h および T_{h-s} は本質的に一定である。したがって、装置 1 1 をテストする前にそれら一定のパラメータ T_{d-h} 、 M_h および T_{h-s} を測定し、装置 1 1 がテストされている間にパラメータ

$$T_h, \dot{T}_h, P_h$$

10

20

30

40

50

および T_s を感知することによって、等式 3 1 から装置温度 T_d が評価され得る。次いで、その評価された装置温度が設定された点よりも上である場合にはヒータ温度を減少させ、逆の場合にはその逆を行なう。

図 1 2 は上記の原理で動作する温度制御システムのすべての構成要素を示す。図 1 2 において、ヒータ 1 3 は、ヒータ温度 T_h を感知するセンサ 1 3 d を含む点を除き、図 1 のヒータ 1 3 と同じである。同様に、図 1 2 においては、ヒートシンク 1 4 は、ヒートシンク温度 T_s を感知するセンサ 1 4 f を含む点を除き、図 1 のヒートシンク 1 4 と同じである。

図 1 2 の構成要素 1 2 は、信号線 1 2 c 、 1 2 e 、 1 2 h 、 1 2 i および 1 2 j からなる 5 つの異なる組に 2 つのコネクタ 7 1 および 7 2 を加えたものを含むことを除き、図 1 のプリント基板 1 2 と同じである。信号線 1 2 h は感知されたヒータ温度 T_h を搬送し、信号線 1 2 i は感知されたヒートシンク温度 T_s を搬送し、信号線 1 2 j は測定されたパラメータ $d-h$ 、 M_h 、 $h-s$ を搬送し、信号性 1 2 e はヒータのパワー P_h を示す制御信号 C T L を搬送し、信号線 1 2 c は評価された装置温度 T_d を搬送する。

図 1 2 の構成要素 7 3 は、等式 3 1 および信号線 1 2 e 、 1 2 i 、 1 2 j および 1 2 h 上にて受取られるパラメータのすべてに基づいて装置温度を評価する。構成要素 7 3 は等式 3 1 から装置温度をデジタルで計算するデジタルマイクロプロセッサチップであってもよく、または代替的に、構成要素 7 1 はアナログ態様で等式 3 1 から装置温度を計算するアナログ回路であってもよい。

構成要素 1 6 、 1 7 および 1 8 は同じ参照番号を有する図 1 の構成要素と同一である。構成要素 1 6 、 1 7 および 1 8 は、ともに、信号線 1 2 c 上の評価された装置温度を受取りかつ信号線 1 2 d 上の設定された点温度を受取る制御回路 1 5 を構成する。評価された装置温度が設定された点温度を超える場合には、制御回路 1 5 はヒータ 1 3 へのパワー P_h を低減し、逆の場合にはその逆を行なう。

図 2 の温度制御システムのデジタルシミュレーションを図 1 3 に示す。このシミュレーションでは、シミュレーション時間が 3 秒に等しかったときに、電子装置 1 1 はパワーにおいてステップ状の増大を有し、シミュレーション時間が 6 秒に等しかったとき、パワーにおいてステップ状の減少を有した。図 1 3 の曲線 9 1 (一連の小さな円からなる) は、そのシミュレーションの間にその評価された装置温度が時間とともにどのように変動したかを示し、図 1 3 の曲線 9 2 (実線である) は、装置が温度センサを有する場合に実際の装置温度がどのように感知されるであろうかを示す。

図 1 3 の上述のシミュレーションが実行されたとき、等式 3 1 の右側のパラメータはすべて誤差を全く伴わずに感知または測定されるものとされた。これは $h-s$ および M_h に対しては有効な仮定であり、なぜならば、それらは本質的に固定されるものであり正確に測定され得るからである。さらに、 T_h および T_s は適切な温度センサを用いることによって所望されるように正確にされ得、 P_h は制御信号 C T L から既知である。しかしながら、数多くの電子装置が一度に 1 つテストされる大量生産環境では、ヒータ 1 3 と各装置 1 1 との間の物理的接触における微視的変動のため、パラメータ $d-h$ は平均値からいくらかの範囲内で変動するかもしれない。

$d-h$ の平均値が評価器構成要素 7 3 に送られる一方で、 $d-h$ の実際の値はその平均値とは異なる場合、その評価された装置温度において誤差が生ずる。この結果、図 1 2 の制御システムによって調節された装置 1 1 の実際の温度と設定された点温度との間にずれが生ずる。このことは図 1 4 から明らかであり、曲線 9 1 (一連の小さな円からなる) は、実際の $d-h$ が平均 $d-h$ より 20 % 小さい場合に評価された装置温度が時間とともにどのように変動するかを示し、曲線 9 2 (実線である) は、実際の装置温度が時間とともにどのように変動するかを示す。

あるタイプの装置 1 1 がテストされる場合、実際の装置温度と設定された点温度との間におけるいくらかのずれは受入れ可能であってもよく、その場合には、 $d-h$ の平均値を評価器 7 3 に送れば十分である。しかしながら、そのずれ量が受入れ可能でない場合には、テストされる各装置ごとに実際の $d-h$ を測定することによってそのずれを低減し得る

10

20

30

40

50

。実際の \dot{T}_{d-h} が各装置ごとに測定され得る 1 つの好ましい方法を図 15 および図 16 に示す。ステップ 1 ~ 3 を含むこの方法は、これも図 15 に再生される等式 2 に基づく。 \dot{T}_{d-h} がその平均値よりも小さい場合、 $T_d - T_h$ は減少する。したがって、項 3 2 c は減少し、したがって、項 3 2 d におけるヒータ温度の変化割合も減少する。逆に、 \dot{T}_{d-h} がその平均値よりも大きい場合には、項 3 2 d におけるヒータ温度の変化割合が増大する。図 15 のプロセスのステップ 1 において、装置 1 1 のパワー散逸は 0 にセットされる。次いで、ステップ 2 において、ヒータのパワー P_h をある所定の態様にて変動させる。好適には、ヒータのパワーは、段階的に増大されるか、または段階的に減少されるか、または正弦波として変動される。次に、ステップ 3 において、ヒータのパワーを変動させるこ

10

とが
 \dot{T}_h
 に対して有する影響を感知して \dot{T}_{d-h} に相関付ける。

\dot{T}_h
 が平均よりも速く変動する場合、実際の \dot{T}_{d-h} はその平均値よりも大きく、
 \dot{T}_h

が平均よりも遅く変動する場合には、 \dot{T}_{d-h} はその平均値よりも小さい。これは図 16 において曲線 9 3、9 4 および 9 5 により示される。曲線 9 3 は、 \dot{T}_{d-h} をその平均値に等しくセットし、 P_h を設定された点にまで上昇させて装置温度がその設定された点に到達するまで待機し、次いで P_h を 0 に降下させることによって得られた。曲線 9 4 および 9 5 も同様にして得られたが、実際の \dot{T}_{d-h} は平均 \dot{T}_{d-h} から 20 % 偏差した。平均からの任意の偏差に対して \dot{T}_{d-h} の実際の値を測定するために、ヒータ温度を、 P_h が 0 に降下した後のある時間、たとえば 0.04 秒に等しい時間にて感知する。次いで、曲線 9 3、9 4 および 9 5 からの外挿によって実際の \dot{T}_{d-h} を得る。

20

次に、図 17 ~ 図 19 を参照して、図 1 および図 12 の温度制御システムにおいて熱抵抗 \dot{T}_{d-h} を最小限にするための好ましいプロセスを説明する。このプロセスは重要なものであり、なぜならば、 \dot{T}_{d-h} を減少させるにつれ、ヒータから電子装置に伝達され得る熱の量は、ヒータからヒートシンクに伝達される熱の量に対して増大するからである。このような熱伝達は、図 14 に関連して先に説明されたように、ヒータ温度が装置温度を超える場合に生ずる。

30

電子装置 1 1 (または 1 1') とヒータ 1 3 (または 1 3') との間に乾接点となされ、その接触面が非常に平坦 (つまり完全な面から 5 μm 未満の偏差) である場合、それら接触面間にて得られうる抵抗率は約 1.3 $\text{cm}^2/\text{ワット}$ である。この抵抗率は、接触面がより平坦でない場合にはより大きくなる。2 つの平坦でない面の間に熱パッドを置くことによって、それらの間の抵抗率は低減されるが、熱パッドを介して得られ得る実際的な抵抗率は約 1.0 $\text{cm}^2/\text{ワット}$ である。これに比して、図 17 ~ 図 19 の方法を用いると、電子装置からヒータへの抵抗率は 0.07 $\text{cm}^2/\text{ワット}$ にまで低減された。これは、 $1.0 \div 0.07$ 、つまり 1000 % を超える改善である。

40

まず、図 17 ~ 図 19 のプロセスにおいて、ヒータ 1 3 (または 1 3') に接触させられる電子装置 1 1 (または 1 1') の表面に、特定のタイプの液体 1 0 1 を 1 滴滴下する。このステップを図 17 に示す。液体 1 0 1 の 2 つの制限的特性は、a) 空気に対して十分な熱伝導体であること、および b) 電子装置に損傷を与えない非常に低い温度でいかなる残渣も残さず蒸発すること、である。好ましくは、液体 1 0 1 は摂氏 200 度未満の温度で蒸発する。

液体 1 0 1 の 1 つの好ましい例は水である。液体 1 0 1 の第 2 の例は、水と揮発性原料 (たとえばエチレングリコール) との混合物であり、この揮発性原料はその混合物の沸点を水の沸点を超えて上昇させるような原料である。液体 1 0 1 の第 3 の例は、水と揮発性原

50

料（たとえばメタノール）との混合物であって、その揮発性原料はその混合物の凝固点を水の凝固点より下に抑えるような原料である。液体 101 の第 4 の例は、水と揮発性原料（たとえばエタノール）との混合物であって、その揮発性原料はその混合物の湿潤度が水の湿潤度を超えるように高められるような原料である。

液体 101 が上述のように電子装置上に滴下された後、ヒータの表面 13a をその液体に押付ける。このステップを図 18 に示す。この結果、もともと滴下された液体 101 のうちいくらかは絞り出され、残りの液体 101 は電子装置とヒータとの間に本質的に存在する微視的な隙間を満たす。これらの隙間は、ヒータの表面 13a とそれに係合する電子装置の面とが完全に平坦でないために生ずるものである。

液体 101 の存在により、ヒータ 13（または 13'）から電子装置 11（または 11'）への熱抵抗率は、液体が存在しない他の態様におけるよりも実質的に低減される。液体 101 が水であり、係合する面の平坦度が $5\text{ }\mu\text{m}$ 未満である場合、上述した約 $0.07\text{ }\text{cm}^2/\text{ワット}$ の抵抗率が得られる。

電子装置とヒータとの係合面の間の隙間の大きさを低減する 1 つの方法は、それら 2 つの面が押付け合わされる圧力を増大させることであり、次いで、これによって d_{eff} を減少させることになる。しかしながら、あまりに大きな圧力が与えられると、電子装置またはそれへの相互接続がひび割れ得る。したがって、電子装置が露出した集積回路ダイである場合に対しては、それとヒータとの間の圧力は好ましくは 10 psi 未満である。

図 18 も、ヒータとヒートシンクとの間の係合面が完全に平坦ではないことを示す。しかしながら、それら 2 つの面は、好ましくは、永久的な態様、たとえば熱伝導性エポキシからなる層 102 によって接合される。層 102 に対する好適な厚みは $50\text{ }\mu\text{m} \sim 80\text{ }\mu\text{m}$ である。

電子装置とヒータとヒートシンクとがすべて図 18 に示されるようにともに結合される一方で、電子装置がテストされ、その温度が図 1 または図 12 の制御システムによって設定された点付近に保たれる。この後、テストが完了すると、電子装置はヒータから分離される。次いで、液体 101 が電子装置から蒸発によって除去され、これを図 19 において矢印 103 で示す。

液体 101 のすべてを蒸発させるのにかかる総時間は、露出される液体 101 の面積に比例する。電子装置が寸法 L を各辺に伴う方形である場合、図 19 における露出した面積は L^2 である。これに比して、電子装置が図 18 の構造にてテストされている最中である場合、液体 101 の露出した面積は $(4L)(5\text{ }\mu\text{m})$ に大きく低減される。

電子装置が典型的な集積回路チップである場合には、 L は 2 分の 1 インチ未満である。この場合、液体 101 は、図 18 の構造において、図 19 におけるよりも 500 倍以上速く蒸発する。したがって、短いテストの間では（つまり 1 時間未満）、蒸発によって図 18 の構造から有意な量の液体 101 が失われることはない。

上述のプロセスの 1 つの特徴は、液体 101 を蒸発させた後、電子装置上に残渣が全く残らないという点である。この結果、その電子装置はいかなる付加的な清浄工程も伴うことなく最終製品に組込まれ得る。

上記のプロセスのもう 1 つの特徴は、それが非常に容易かつ安価に実行されるという点である。図 17 に示されるように、電子装置上に液体 101 を 1 滴滴下するのにはわずか 1 つの工程を必要とするにすぎず、図 18 に示されるように、ヒータを電子装置に押付けるにはわずか 1 つの工程しか必要としない。

これら別個ではあるが関連した発明を、ここで、より詳細に、それぞれ、図 1 ~ 図 10、図 11 ~ 図 16、および図 17 ~ 図 19 に関連して説明した。これに加えて、これら図の詳細に対し、これらの発明の性質および精神から逸脱することなく、さまざまな変更および修正をなすことも可能である。

たとえば、図 20 は、レーザを用いることによって、電子装置 11（または 11'）の温度を、設定された点付近に保つ変形例を示す。この図 20 の変形例は、先に説明した図 1、図 12 および図 18 の温度制御システムに組入れられ得る。

図 20 において、参照番号 13 は変形された電気ヒータを示し、参照番号 14 は変形

10

20

30

40

50

されたヒートシンクを示す。変形されたヒータ 13 に含まれるのは、赤外線レーザービーム 13b を発生するレーザー 13a と、一片の薄い平らな赤外線レーザービーム吸収材料 13c である。この材料 13c は、電子構成要素 11 (または 11) およびヒートシンク 14 にそれぞれ抗する 2 つの主面 13d および 13e を有する。

変形されたヒートシンク 14 は、基部 14a が 2 つの窓 14e および 14f を含み、その基部においてそれら窓の間には冷却フィンが配されないという点を除き、図 1 または図 12 の先に記載されたヒートシンクと同じである。窓 14e は赤外線レーザービーム 13b に対して透過性があり、熱伝導性を有する。窓 14f もレーザービーム 13b に対して透過性を有するが、熱伝導性を有する必要はない。好適には、これらの窓は単結晶シリコンからなる。

10

動作において、電子装置 11 (または 11) の温度は、図 1 の制御装置のように直接感知されるか、または図 12 の制御装置のように評価される。次いで、装置温度 T_d が設定された点を上回る場合には、線 13f 上におけるレーザーへのパワー P_h が、図 1 の制御回路 15 または図 12 の制御回路 15 によって低減される。逆に、装置温度が設定された点を下回る場合には、レーザーへのパワー P_h を増大させる。

もう 1 つの変形例として、図 18 に示される向上した熱インタフェースを、図 1 および図 12 以外の温度制御システム内に組み込み得る。この変形例の一例を図 21 に示す。図 1 の制御システムにおいては、ヒータ 13 (または 13 または 13) およびヒータのパワー P_h を制御するための対応の回路系を除去し、ヒートシンク 14 (または 14) を液体膜 101 が間に配される状態で電子装置に押付ける。

20

図 21 の変形例では、電子装置 11 (または 11) の温度は、ヒータ 13 (または 13 または 13) が存在する場合よりも、設定された点から実質的により大きく変動する。しかしながら、一方では、電子装置の温度は、図 21 の変形例では、液体膜 101 が存在しない場合に生ずる変動よりも実質的に小さく変動する。パワー散逸において小さな変動を伴うチップなどのような特定の電子装置に対する特定のテストに対しては、図 21 の変形例で達成される温度調整量で十分であり、ヒータおよびその制御回路に関連付けられるすべての費用が削減される。

もう 1 つの変形例として、図 1 の温度制御システムを変化させることにより、電子装置 11 がパワー調節器 16 に $TEMP$ 信号を全く送らない開ループ制御システムを与えることができる。この変形例では、テストが電子装置 11 に送る各特定の $TEST_IN$ 信号ごとに、テストがパワー調節器 16 に信号線 12d で一連の予測される温度をシーケンスで送る。これにตอบสนองして、パワー調節器 16 は予測される電子装置 11 の温度を設定された点温度と比較する。予測される温度が設定された点温度未満である場合には、調節器 16 は、ヒータ 13 への可変パワー P_h を増大するように制御信号 CTL を発生する。逆に、予測される温度が設定された点温度を超える場合には、調節器 16 は、ヒータ 13 への可変パワー P_h を減少するように制御信号 CTL を発生する。

30

さらに別の変形例として、赤外線レーザービーム吸収材料 13c を除去するように図 20 の電気ヒータ 13 を変更し得る。この変形例では、窓 14e が電子装置 11 (または 11) に抗して配され、レーザービーム 13b は電子装置によって直接吸収される。

別の変形例として、図 1 の温度制御システムは、電子装置 11 の外表面に取付けられる温度センサから信号線 12c 上の $TEMP$ 信号が発生するように変更され得る。この変形例は、温度センサが電子装置 11 内に集積されない場合に有用である。

40

別の変形例として、図 1 および図 12 の温度制御システムは、信号線 12d 上の設定された点温度が時間とともに変動するように変更され得る。たとえば、設定された点温度は 1 つのレベルから他のレベルにステップ状に進んでもよく、または勾配を伴うかもしくは正弦波態様で連続的に変動してもよい。

したがって、これらの発明は任意の 1 つの図における任意の 1 つの実施例の詳細に限定されるものではなく、請求の範囲により規定されるものであることを理解されたい。

【図 1】

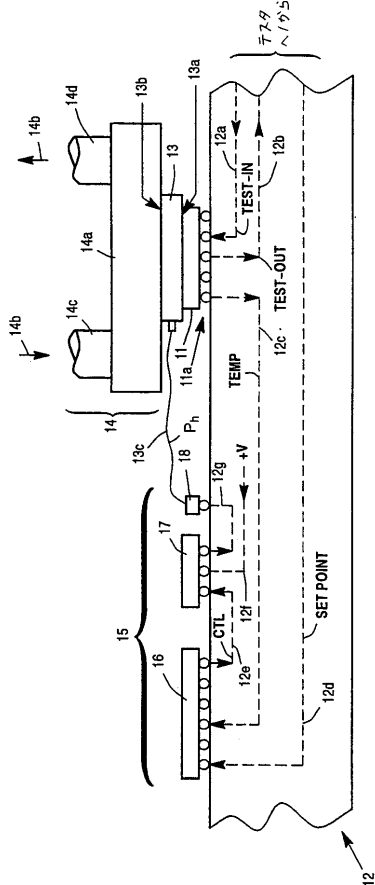


Figure 1

【図 2】

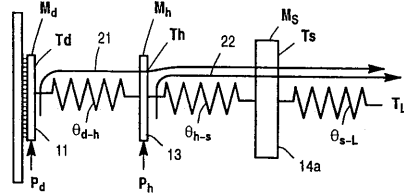


Figure 2

【図 3】

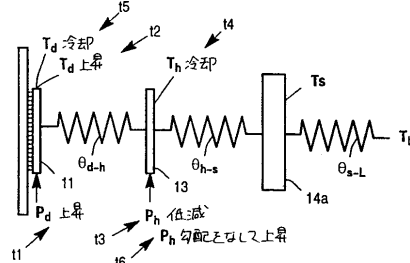


Figure 3

【図 4】

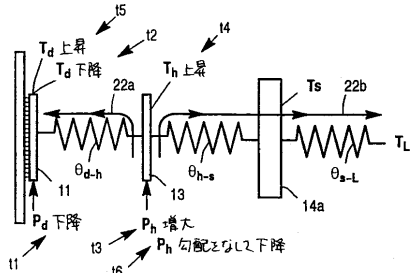


Figure 4

【図 5】

等式 1

$$M_d \dot{T}_d = (T_h - T_d) / \theta_{d-h} + P_d$$

等式 2

$$M_h \dot{T}_h = (T_d - T_h) / \theta_{d-h} + (T_s - T_h) / \theta_{h-s} + P_h$$

等式 3

$$M_s \dot{T}_s = (T_h - T_s) / \theta_{h-s} + (T_L - T_s) / \theta_{s-L}$$

Figure 5

【図 6】

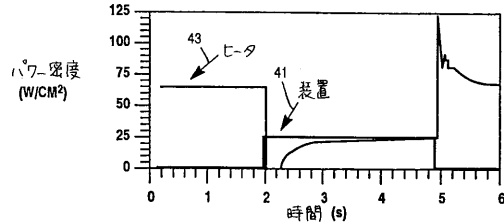


Figure 6

【図 7】

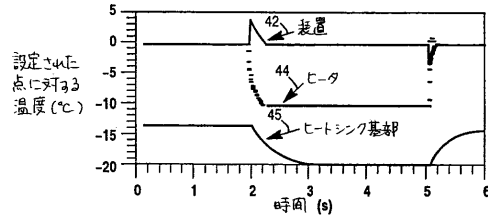


Figure 7

【図 8】

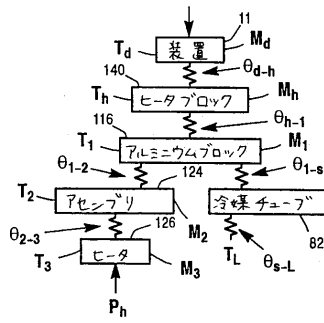


Figure 8
(Prior Art)

【図 9】

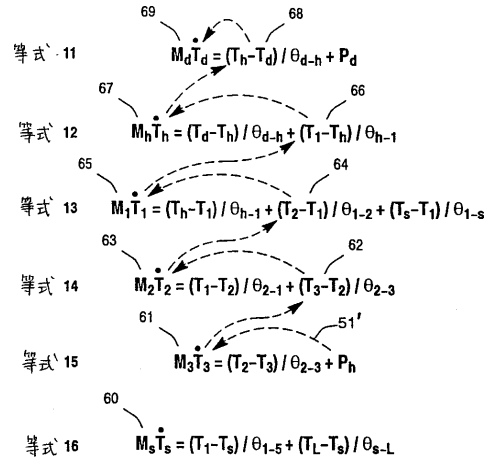


Figure 9
Prior Art

【図 10】

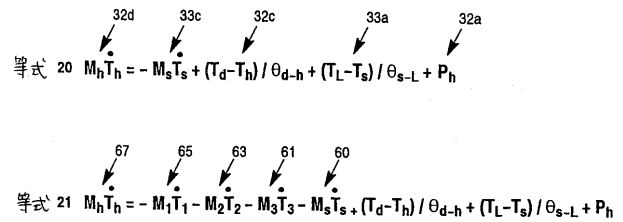


Figure 10

【図 11】

$$\text{等式 } 2 \quad M_h \dot{T}_h = (T_d - T_h) / \theta_{d-h} + (T_s - T_h) / \theta_{h-s} + P_h$$

$$\text{等式 } 31 \quad T_d = T_h + \theta_{d-h} [M_h \dot{T}_h - P_h + (T_h - T_s) / \theta_{h-s}]$$

Figure 11

【図 12】

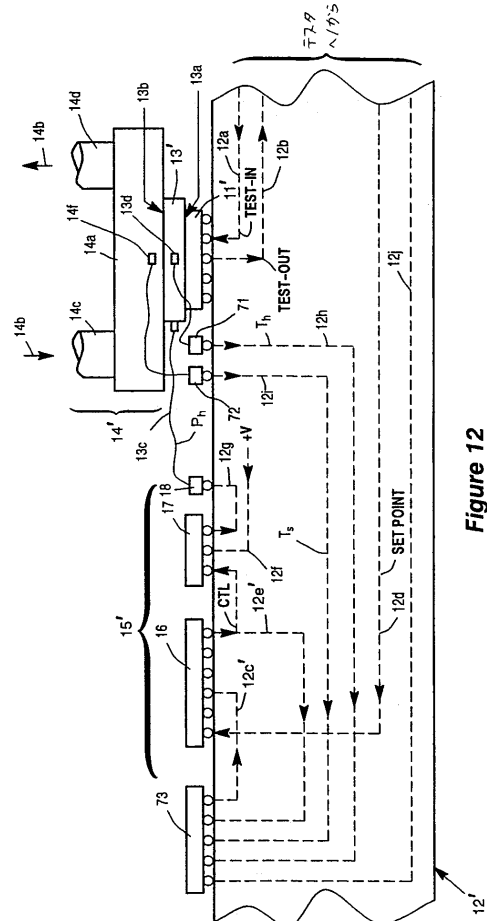


Figure 12

Figure 1 is a cross-sectional view of a substrate assembly. It consists of a top layer labeled "ヒートシンク 143E141" (Heat Sink 143E141), a middle layer labeled "ヒータ 133E131" (Heater 133E131), and a bottom layer labeled "電子装置 113E111" (Electronic Device 113E111). The bottom layer is supported by a base with circular mounting points. Reference numerals 101, 101', and 102 are used to indicate specific regions and interfaces.

等式 2 $\rightarrow M_h \dot{T}_h = (T_d - T_h) / \theta_{d-h} + (T_s - T_h) / \theta_{h-s} + P_h$

ステップ 1 $\rightarrow P_D = 0$ にする

ステップ 2 $\rightarrow P_h$ を変更

ステップ 3 $\rightarrow \begin{cases} \theta_{d-h} \text{ が「小さい」場合、} \dot{T}_h \text{ (} \dot{T}_h \text{ が「ゆへり」変動する} \\ \theta_{d-h} \text{ が「大きい」場合、} \dot{T}_h \text{ は「速く」変動する} \end{cases}$

Figure 10 is a line graph showing the relationship between the logarithm of the rate of change of temperature ($\log \dot{T}$) and time (t) for three different points (93, 94, 95) on the specimen. The y-axis is labeled $\log \dot{T} (^{\circ}\text{C})$ and ranges from -8 to 0. The x-axis is labeled 時間 (s) and ranges from 0 to 0.04. Three curves are plotted: a solid line for point 93, a line with open circles for point 94, and a line with open squares for point 95. All curves show a decreasing trend over time, with point 93 having the highest $\log \dot{T}$ values and point 95 having the lowest.

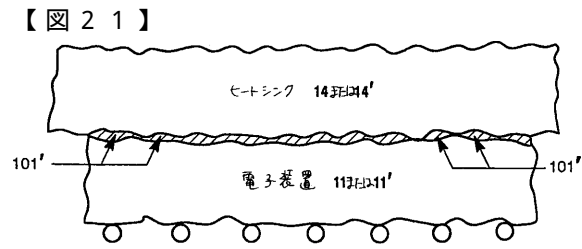


Figure 21

フロントページの続き

(31)優先権主張番号 08/833,369

(32)優先日 平成9年4月4日(1997.4.4)

(33)優先権主張国 米国(US)

(74)代理人 100096781

弁理士 堀井 豊

(72)発明者 バブコック, ジェイムズ・ウィトマン

アメリカ合衆国、9 2 0 2 9 カリフォルニア州、エスコンディド、ピア・センデロ・ビスタ、1
2 4 8

(72)発明者 タスタニウスキ, ジェリー・イホー

アメリカ合衆国、9 2 6 9 1 カリフォルニア州、ミッション・ピエホ、アベニダ・ドミンゴ、2
6 8 2 2

審査官 日比野 隆治

(56)参考文献 特開昭51-104272(JP, A)

特開平01-286322(JP, A)

特開平02-001577(JP, A)

特開平04-104072(JP, A)

特開平05-087873(JP, A)

特開平06-196443(JP, A)

特開平07-209373(JP, A)

特開平08-321530(JP, A)

特開平10-142289(JP, A)

実開平06-046389(JP, U)

米国特許第05325052(US, A)

米国特許第04848090(US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/66

H01L 23/34

G01R 31/26

H05K 7/20