

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2006-506603

(P2006-506603A)

(43) 公表日 平成18年2月23日(2006.2.23)

(51) Int.C1.	F 1		テーマコード (参考)
F25D 9/00 (2006.01)	F 25 D 9/00	D	3 L 0 4 4
F28D 15/00 (2006.01)	F 25 D 9/00	B	5 F 1 3 6
H01L 23/473 (2006.01)	F 28 D 15/00 H01L 23/46	Z	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 46 頁)

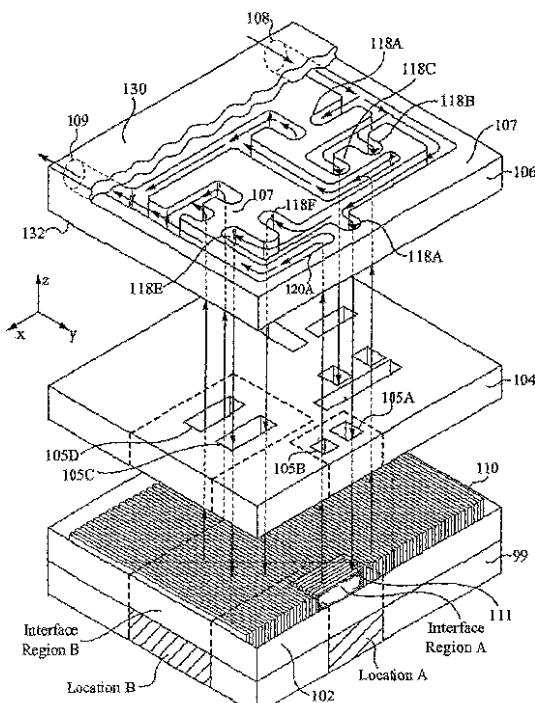
(21) 出願番号	特願2005-502185 (P2005-502185)	(71) 出願人	505163741 クーリギー インコーポレイテッド アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94 043 マウンテン ビュー チャールス トン 2370
(86) (22) 出願日	平成15年10月22日 (2003.10.22)	(74) 代理人	100067736 弁理士 小池 晃
(85) 翻訳文提出日	平成17年7月4日 (2005.7.4)	(74) 代理人	100086335 弁理士 田村 栄一
(86) 國際出願番号	PCT/US2003/033749	(74) 代理人	100096677 弁理士 伊賀 誠司
(87) 國際公開番号	W02004/042297		
(87) 國際公開日	平成16年5月21日 (2004.5.21)		
(31) 優先権主張番号	60/423,009		
(32) 優先日	平成14年11月1日 (2002.11.1)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	60/442,383		
(32) 優先日	平成15年1月24日 (2003.1.24)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	60/455,729		
(32) 優先日	平成15年3月17日 (2003.3.17)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】発熱デバイスを冷却するための効率的な垂直流体輸送のための方法及び装置

(57) 【要約】

熱交換器及びその製造方法は、熱源を冷却する接触層(102)を備える。接触層は、熱源に連結され、流体が流されるように構成される。更に、熱交換器は、接触層に連結されるマニホールド層(106)を備える。マニホールド層は個別化された孔の第1の組に連結され、第1の組を介して、流体を流通させる少なくとも1つの第1のポートを備える。更に、マニホールド層は、個別化された孔の第2の組(118E)に連結され、第2の組を介して流体を流通させる少なくとも1つの第2のポートを備える。第1の組の孔及び第2の組の孔は、熱源を適切に冷却するために、第1及び第2のポートの間で最短の流路距離を実現するように配置される。好ましくは、第1の組の各孔は、第2の組の各孔に対して、最も近い最適の距離に配置される。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

a . 热源に接触し、流体が流されて該热源を冷却する接触層と、
b . 上記接触層に連結され、該接触層に流体を流す个别化された流路の第1の組を有するマニホールド層とを備え、

上記マニホールド層は、

上記第1の組の個々の流路は、热交換器内の圧力降下を最小化するよう配置されている热交換器。

【請求項 2】

上記マニホールド層は、上記接触層から流体を受け取る个别化された流路の第2の組を備えることを特徴とする請求項1記載の热交換器。 10

【請求項 3】

上記マニホールド層は、上記个别化された流路の第1の組に流体を供給する第1のポートと、上記个别化された流路の第2の組から流体を取り除く第2のポートとを備えることを特徴とする請求項2記載の热交換器。

【請求項 4】

上記流路の第1の組は、上記热源の所定の領域を所望の温度に冷却するために、接触層に沿って、最短の流路距離を提供するよう構成されていることを特徴とする請求項1記載の热交換器。

【請求項 5】

上記流路の第1の組及び第2の組は、上記热源の所定の領域を所望の温度に冷却するために、第1及び第2のポートの間で最短の流路距離を提供するよう構成されていることを特徴とする請求項3記載の热交換器。 20

【請求項 6】

上記流体は、单相流状態にあることを特徴とする請求項1記載の热交換器。

【請求項 7】

上記流体の少なくとも一部は、二相流状態にあることを特徴とする請求項1記載の热交換器。

【請求項 8】

上記流体の少なくとも一部は、上記接触層において、单層流状態と二相流状態の間で遷移することを特徴とする請求項1記載の热交換器。 30

【請求項 9】

上記マニホールド層は、上記第1及び第2の流路を内部に有する循環レベルを備え、該循環レベルは、接触層に連結され、該流路の第1及び第2の組を介して、上記接触層に及び上記接触層から流体を独立して流すように構成されていることを特徴とする請求項2記載の热交換器。

【請求項 10】

上記第1の組内の各流路には、筒状の突起が接続され、該各筒状の突起は、上記循環レベルから、所定の高さに延びることを特徴とする請求項9記載の热交換器。

【請求項 11】

上記マニホールド層は、

a . 上記第1のポート及び上記流路の第1の組の間で流体を流すよう構成された第1のレベルと、

b . 上記第1のレベルに連結され、上記第2のポート及び上記流路の第2の組の間で流体を流すよう構成された第2のレベルとを備え、

上記マニホールド層において、上記第1のレベルを介して流される流体は、上記第2のレベルを介して流される流体から分離されていることを特徴とする請求項3記載の热交換器。

【請求項 12】

上記第1のレベルは、上記第1のポート及び上記流路の第1の組に接続された第1のコ

10

20

30

40

50

リダを備え、該第1のコリダ内の流体は、上記流路の第1の組に直接流れることを特徴とする請求項1記載の熱交換器。

【請求項13】

上記第2のレベルは、上記第2のポート及び上記流路の第2の組に接続された第2のコリダを備え、上記流路の第2の組内の流体は、該第2のコリダに直接流れることを特徴とする請求項1記載の熱交換器。

【請求項14】

上記流路の第1の組は、上記流路の第2の組から熱的に絶縁され、該流路の第1の組及び該流路の第2の組間での熱輸送が行われないことを特徴とする請求項2記載の熱交換器。

10

【請求項15】

上記流路の第1の組及び流路の第2の組は、少なくとも1つの寸法に沿って、均等に配設されていることを特徴とする請求項2記載の熱交換器。

【請求項16】

上記流路の第1の組及び流路の第2の組は、少なくとも1つの寸法に沿って、非均等に配設されていることを特徴とする請求項2記載の熱交換器。

【請求項17】

上記第1の組の各流路は、互いに最適な最短距離に配設されていることを特徴とする請求項1記載の熱交換器。

20

【請求項18】

上記流路の第1の組及び第2の組は、上記熱源における少なくとも1つの接触層ホットスポット領域を冷却するように配設していることを特徴とする請求項2記載の熱交換器。

【請求項19】

上記第1の流路の少なくとも1つのは、複数の第1の孔を介して流れ、該複数の第1の孔の少なくとも1つのは、実質的に上記流路の第2の組の少なくとも1つの孔の第2の寸法に実質的に等しい第1の寸法を有することを特徴とする請求項2記載の熱交換器。

【請求項20】

上記第1の流路の少なくとも1つのは、複数の第1の孔を介して流れ、該複数の第1の孔の少なくとも1つのは、実質的に上記流路の第2の組の少なくとも1つの孔の第2の寸法とは異なる第1の寸法を有することを特徴とする請求項2記載の熱交換器。

30

【請求項21】

上記接触層は、少なくとも $100\text{ W/m}\cdot\text{K}$ の熱伝導率を有する材料から形成されていることを特徴とする請求項1記載の熱交換器。

【請求項22】

上記接触層は、該接触層に沿って所定のパターンで構成された複数のピラーを更に備えることを特徴とする請求項1記載の熱交換器。

【請求項23】

上記複数のピラーの少なくとも1つのは、所定の方向に沿って、少なくとも1つの変化する寸法を有することを特徴とする請求項2記載の熱交換器。

40

【請求項24】

上記接触層に沿って、所定の領域に適切な数の上記ピラーが配設されていることを特徴とする請求項2記載の熱交換器。

【請求項25】

上記接触層の少なくとも一部は、粗面化された表面を有することを特徴とする請求項1記載の熱交換器。

【請求項26】

上記接触層は、少なくとも $10\text{ W/m}\cdot\text{K}$ の適切な熱伝導率を有するコーティングを備えることを特徴とする請求項2記載の熱交換器。

【請求項27】

50

上記接触層に沿って配設された、微孔構造を更に備える請求項1記載の熱交換器。

【請求項28】

上記微孔構造は、所定の方向に沿って様々な寸法を有する少なくとも1つの孔を備えることを特徴とする請求項27記載の熱交換器。

【請求項29】

上記接触層に沿って、所定の構成に配設された複数のマイクロチャネルを更に備える請求項1記載の熱交換器。

【請求項30】

上記接触層は、熱源に連結されていることを特徴とする請求項1記載の熱交換器。

【請求項31】

上記接触層は、上記熱源と一体に形成されていることを特徴とする請求項1記載の熱交換器。

【請求項32】

上記熱源は、集積回路であることを特徴とする請求項1記載の熱交換器。

【請求項33】

熱源を冷却するように構成された熱交換器において、

a. 热源に接触し、流体が流されるよう構成された接触層と、

b. 上記接触層に連結されたマニホールド層とを備え、

上記マニホールド層は、

1. 上記接触層に流体を流すよう構成され、互いの間で最適な流体移動距離を実現するように配置された複数の実質的に垂直なインレット流路を有する第1のレベルと、

2. 上記接触層から流体を取り除く少なくとも1つのアウトレット流路を有する第2のレベルとを有する熱交換器。

【請求項34】

上記第1のレベルは、上記インレット流路に流体を流すように構成された少なくとも1つの第1のポートを備えることを特徴とする請求項33記載の熱交換器。

【請求項35】

上記第2のレベルは、上記少なくとも1つのアウトレット流路からの流体を流すように構成された少なくとも1つの第2のポートを備え、該第2のレベルの流体は、上記第1のレベルを流体とは分離されて流れることを特徴とする請求項34記載の熱交換器。

【請求項36】

上記第2のレベルは、上記接触層から流体を取り除く複数の実質的に垂直なアウトレット流路を有し、上記複数のインレット及びアウトレット流路は、互いの間で最適な流体移動距離を実現するように配置されていることを特徴とする請求項35記載の熱交換器。

【請求項37】

上記マニホールド層は、上記接触層に連結され、内部に垂直に延び、上記インレット流路に沿って接触層に流体を流す複数の第1のアーチャと、内部に垂直に延び、上記アウトレット流路に沿って上記接触層から流体を受け取る複数の第2のアーチャとを有する循環レベルを備えることを特徴とする請求項36記載の熱交換器。

【請求項38】

上記第1のレベルは、上記第1のポートから上記第1のアーチャに水平に流体を流すインレット流体コリダを備えることを特徴とする請求項37記載の熱交換器。

【請求項39】

上記第2のレベルは、上記第2のアーチャから上記第2のポートに水平に流体を流すアウトレット流体コリダを備えることを特徴とする請求項38記載の熱交換器。

【請求項40】

上記第1及び第2のアーチャは、少なくとも1つの寸法に沿って、均等に配設されていることを特徴とする請求項37記載の熱交換器。

【請求項41】

上記第1及び第2のアーチャは、少なくとも1つの寸法に沿って、非均等に配設され

10

20

30

40

50

ていることを特徴とする請求項 3 7 記載の熱交換器。

【請求項 4 2】

上記インレット流路及び少なくとも 1 つのアウトレット流路は、上記マニホールド層において、互いに密閉されていることを特徴とする請求項 3 3 記載の熱交換器。

【請求項 4 3】

上記接触層は、熱源に連結されていることを特徴とする請求項 3 3 記載の熱交換器。

【請求項 4 4】

上記接触層は、上記熱源と一体に形成されていることを特徴とする請求項 3 3 記載の熱交換器。

【請求項 4 5】

上記熱源は、集積回路であることを特徴とする請求項 3 3 記載の熱交換器。 10

【請求項 4 6】

上記第 1 及び第 2 のアパーチャは、上記熱源の少なくとも 1 つの接触層ホットスポット領域を冷却するよう構成されていることを特徴とする請求項 3 7 記載の熱交換器。

【請求項 4 7】

上記第 1 のアパーチャの少なくとも 1 つのは、上記複数の第 2 のアパーチャの少なくとも 1 つのアウトレット寸法に実質的に等しいインレット寸法を有することを特徴とする請求項 3 7 記載の熱交換器。

【請求項 4 8】

上記第 1 のアパーチャの少なくとも 1 つのは、上記複数の第 2 のアパーチャの少なくとも 1 つのアウトレット寸法とは異なるインレット寸法を有することを特徴とする請求項 3 7 記載の熱交換器。 20

【請求項 4 9】

上記接触層は、少なくとも 100 W/m-K の熱伝導率を有する材料から形成されていることを特徴とする請求項 3 3 記載の熱交換器。

【請求項 5 0】

上記接触層は、該接触層に沿って所定のパターンで構成された複数のピラーを更に備えることを特徴とする請求項 3 3 記載の熱交換器。

【請求項 5 1】

上記複数のピラーの少なくとも 1 つのは、所定の方向に沿って、少なくとも 1 つの変化する寸法を有することを特徴とする請求項 5 0 記載の熱交換器。 30

【請求項 5 2】

上記接触層に沿って、所定の領域に適切な数の上記ピラーが配設されていることを特徴とする請求項 5 0 記載の熱交換器。

【請求項 5 3】

上記接触層の少なくとも一部は、粗面化された表面を有することを特徴とする請求項 3 3 記載の熱交換器。

【請求項 5 4】

上記接触層は、少なくとも 10 W/m-K の適切な熱伝導率を有するコーティングを備えることを特徴とする請求項 5 0 記載の熱交換器。 40

【請求項 5 5】

上記接触層に沿って配設された、微孔構造を更に備える請求項 3 3 記載の熱交換器。

【請求項 5 6】

上記微孔構造は、所定の方向に沿って様々な寸法を有する少なくとも 1 つの孔を備えることを特徴とする請求項 5 5 記載の熱交換器。

【請求項 5 7】

上記微孔構造の平均孔寸法は、30 ミクロン以上 300 ミクロン以下の範囲内であることを特徴とする請求項 5 5 記載の熱交換器。

【請求項 5 8】

上記微孔構造の少なくとも 1 つの領域は、0.3 以上 0.8 以下の多孔度を有すること 50

を特徴とする請求項 5 5 記載の熱交換器。

【請求項 5 9】

上記接触層は、適切なパターンで配設された複数のマイクロチャネルを備えることを特徴とする請求項 3 3 記載の熱交換器。

【請求項 6 0】

上記循環レベルから適切な高さに延び、上記第 1 のアーチャに接続された複数の筒状の突起を更に備える請求項 3 7 記載の熱交換器。

【請求項 6 1】

接触層と連結されてマイクロチャネル熱交換器を形成するマニホールド層において、
a . 第 1 の温度の流体を提供するインレットポートと、
b . インレット流路上記インレットポートに接続され、上記第 1 の温度の流体を接触層に流すインレット流路と、
c . 当該マニホールド層内で、上記第 1 の流路から独立して設けられ、上記接触層から第 2 の温度の流体を取り除くアウトレット流路と、
d . 上記アウトレット流路に接続され、上記第 2 の温度の流体を当該マニホールド層から排出するアウトレットポートとを備えるマニホールド層。

【請求項 6 2】

a . 上記アウトレットポート及びアウトレット流路に接続された流体流出コリダを有する第 1 の層と、
b . 上記第 1 の層に連結され、上記インレットポート及びインレット流路に接続された流体流入コリダを有する第 2 の層とを更に備える請求項 6 1 記載のマニホールド層。

【請求項 6 3】

上記第 1 の温度の流体を流す実質的に垂直な一連のインレット流路と、上記第 2 の温度の流体を流す実質的に垂直な一連のアウトレット流路とを有する第 3 の層を更に備え、各インレット流路は、インレットフロー経路に接続され、各アウトレット流路は、アウトレットフロー経路に接続され、該インレット及びアウトレット流路は、該インレット及びアウトレット流路間の圧力降下を最小化するように構成されていることを特徴とする請求項 6 2 記載のマニホールド層。

【請求項 6 4】

上記インレット及びアウトレット流路は、少なくとも 1 つの寸法に沿って、均等に配設されていることを特徴とする請求項 6 3 記載のマニホールド層。

【請求項 6 5】

上記インレット及びアウトレット流路は、少なくとも 1 つの寸法に沿って、非均等に配設されていることを特徴とする請求項 6 3 記載のマニホールド層。

【請求項 6 6】

上記インレット流路及びアウトレット流路は、互いに密閉されていることを特徴とする請求項 6 3 記載のマニホールド層。

【請求項 6 7】

上記インレット流路の少なくとも 1 つのは、上記アウトレット流路の少なくとも 1 つのアウトレット寸法に実質的に等しいインレット寸法を有することを特徴とする請求項 6 3 記載のマニホールド層。

【請求項 6 8】

上記インレット流路の少なくとも 1 つのは、上記アウトレット流路の少なくとも 1 つのアウトレット寸法とは異なるインレット寸法を有することを特徴とする請求項 6 3 記載のマニホールド層。

【請求項 6 9】

熱源を冷却するように構成された熱交換器の製造方法において、
a . 热源に接触し、流体が流されるよう構成された接触層を形成する工程と、
b . 上記接触層に沿って最適な最短距離で流体を流すように構成された少なくとも 1 つのインレット流路及び少なくとも 1 つのアウトレット流路を有するマニホールド層を形成す

る工程と

c . 上記接触層に上記マニホールド層に連結する工程とを有する熱交換器の製造方法。

【請求項 7 0】

a . 上記流体を熱交換器に受け入れる少なくとも 1 つのインレット流体ポートを上記少なくとも 1 つのインレット流路に配設する工程と、

b . 上記流体を熱交換器から排出する少なくとも 1 つのアウトレット流体ポートを上記少なくとも 1 つのアウトレット流路に配設する工程とを更に有する請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 7 1】

上記マニホールド層を形成する工程は、該マニホールド層の内部に垂直に延び、上記インレット流路に沿って接触層に流す複数のインレットアパーチャと、該内部に垂直に延び、上記アウトレット流路に沿って上記接触層から流体を受け取る複数のアウトレットアパーチャとを有する循環レベルを形成する工程を更に有することを特徴とする請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。 10

【請求項 7 2】

上記マニホールド層を形成する工程は、

a . 上記インレットコリダを介して、上記インレットポートからインレットアパーチャに流体を流すように構成されたインレットレベルを形成する工程と、

b . 上記インレットレベルを上記循環レベルに連結する工程とを有し、

上記インレットアパーチャは、封水的に上記インレットコリダに連結されることを特徴とする請求項 7 1 記載の熱交換器の製造方法。 20

【請求項 7 3】

上記マニホールド層を形成する工程は、

a . 上記アウトレットコリダを介して、上記アウトレットポートからアウトレットアパーチャに流体を流すように構成されたアウトレットレベルを形成する工程と、

b . 上記アウトレットレベルを上記循環レベルに連結する工程とを有し、

上記アウトレットアパーチャは、封水的に上記アウトレットコリダに連結されることを特徴とする請求項 7 2 記載の熱交換器の製造方法。 20

【請求項 7 4】

上記少なくとも 1 つのインレット流路及び少なくとも 1 つのアウトレット流路は、熱源の少なくとも 1 つの接触層ホットスポット領域を冷却するように配設されることを特徴とする請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。 30

【請求項 7 5】

上記マニホールド層において、少なくとも 1 つのインレット流路及び少なくとも 1 つのアウトレット流路を熱的に絶縁し、該インレット流路及びアウトレット流路間の熱輸送を最小化する工程を更に有する請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 7 6】

上記接触層は、少なくとも 100 W / m - K の熱伝導率を有する材料から形成されることを特徴とする請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 7 7】

上記接触層に熱伝導性を有するコーティングを施す工程を更に有する請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。 40

【請求項 7 8】

上記熱伝導性を有するコーティングは、電鋳法プロセスによって施されることを特徴とする請求項 7 7 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 7 9】

上記接触層に沿って所定のパターンで構成された複数のピラーを形成する工程を更に有する請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 8 0】

上記複数のピラーの少なくとも 1 つのは、所定の方向に沿って、少なくとも 1 つの変化 50

する寸法を有することを特徴とする請求項 7 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 8 1】

上記接触層の表面の少なくとも一部を粗面化する工程を更に有する請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 8 2】

上記接触層上に微孔構造を形成する工程を更に有する請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 8 3】

上記接触層上に複数のマイクロチャネルを形成する工程を更に有する請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 8 4】

上記複数のピラーに熱伝導性のコーティングを施す工程を更に有する請求項 7 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 8 5】

上記複数のピラーは、電鋳法プロセスによって形成されることを特徴とする請求項 7 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 8 6】

上記複数のピラーは、エッティングプロセスによって形成されることを特徴とする請求項 7 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 8 7】

上記エッティングプロセスは、ウエットエッティングプロセスを含むことを特徴とする請求項 8 6 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 8 8】

上記エッティングプロセスは、プラズマエッティングプロセスを含むことを特徴とする請求項 8 7 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 8 9】

上記エッティングプロセスは、光化学エッティングプロセスを含むことを特徴とする請求項 8 7 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 9 0】

上記エッティングプロセスは、化学エッティングプロセスを含むことを特徴とする請求項 8 7 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 9 1】

上記エッティングプロセスは、レーザを用いた化学エッティングプロセスを含むことを特徴とする請求項 8 7 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 9 2】

上記接触層は、レーザを用いた化学エッティングプロセスによって形成されることを特徴とする請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 9 3】

上記電鋳法プロセスは、熱エンボシング法と組み合わせて実行されることを特徴とする請求項 7 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 9 4】

上記電鋳法プロセスは、ソフトリソグラフィ技術を利用することを特徴とする請求項 7 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 9 5】

上記マニホールド層は、レーザ穴あけプロセスによって形成されることを特徴とする請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 9 6】

上記マニホールド層は、ソフトリソグラフィプロセスによって形成されることを特徴とする請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 9 7】

10

20

30

40

50

上記マニホールド層は、射出成形法によって形成されることを特徴とする請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 9 8】

上記マニホールド層は、切削加工によって形成されることを特徴とする請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 9 9】

上記マニホールド層は、放電加工プロセスによって形成されることを特徴とする請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 1 0 0】

上記マニホールド層は、スタンピングプロセスによって形成されることを特徴とする請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。 10

【請求項 1 0 1】

上記マニホールド層は、金属射出成形プロセスによって形成されることを特徴とする請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 1 0 2】

上記マニホールド層は、クロスカッティングプロセスによって形成されることを特徴とする請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。

【請求項 1 0 3】

上記マニホールド層は、のこ引きプロセスによって形成されることを特徴とする請求項 6 9 記載の熱交換器の製造方法。 20

【請求項 1 0 4】

熱を発生する電子デバイスにおいて、

a . 集積回路と、

b . 上記集積回路と一緒に形成され、流体が流されるように構成され、上記電子デバイスが発生した熱を冷却する接触層と、

c . 上記接触層に流体を供給する少なくとも 1 つのインレット流路と、上記接触層から流体を取り除く少なくとも 1 つのアウトレット流路とを有し、該少なくとも 1 つのインレット流路及び少なくとも 1 つのアウトレット流路が流体を最適な最短距離で移動させるような間隔で配設されており、上記接触層に流体を循環させるマニホールド層とを備える電子デバイス。 30

【請求項 1 0 5】

少なくとも 1 つの集積回路を冷却する循環システムにおいて、

a .

1 . 流体が流されるように構成され、上記集積回路に接触する接触層と、

2 . 上記接触層に流体を供給する少なくとも 1 つのインレット流路と、上記接触層から流体を取り除く少なくとも 1 つのアウトレット流路とを有し、該少なくとも 1 つのインレット流路及び少なくとも 1 つのアウトレット流路が流体を最適な最短距離で移動させるような間隔で配設されており、上記接触層に連結されるマニホールド層とを備え、

上記集積回路が発生した熱を吸収する少なくとも 1 つの熱交換器と、

b . 上記少なくとも 1 つの熱交換器に連結され、当該循環システムに流体を循環させる少なくとも 1 つのポンプと、 40

c . 上記ポンプ及び熱交換器に連結され、上記熱交換器から排出された加熱された液体を冷却する除熱器とを備える循環システム。

【発明の詳細な説明】

【関連出願】

【0 0 0 1】

この特許出願は、引用により本願に援用される、2002年11月1日に出願され、係属中の米国仮特許出願第 6 0 / 4 2 3 , 0 0 9 号、発明の名称「柔軟な流体輸送及びマイクロチャネルヒートシンクによるホットスポットの冷却方法 (METHODS FOR FLEXIBLE FLUID DELIVERY AND HOTSPOT COOLING BY MICROCHANNEL HEAT SINKS)」、引用により本願に 50

援用される、2003年1月24日に出願され、係属中の米国仮特許出願第60/442,383号、発明の名称「CPU冷却用に最適化されたプレートフィン熱交換器(OPTIMIZED PLATE FIN HEAT EXCHANGER FOR CPU COOLING)」及び引用により本願に援用される、2003年3月17日に出願され、係属中の米国仮特許出願第60/455,729号、発明の名称「多孔構成を有するマイクロチャネル熱交換器装置及びその製造方法」CPU冷却用に最適化されたプレートフィン熱交換器(MICROCHANNEL HEAT EXCHANGER APPARATUS WITH POROUS CONFIGURATION AND METHOD OF MANUFACTURING THEREOF)」について、米国特許法第119条(e)項に基づく優先権を主張した、引用により本願に援用される、2003年3月16日に出願され、係属中の米国仮特許出願第60/439,635号、発明の名称「発熱デバイスにおいて必要なホットスポットを冷却するための柔軟な流体輸送のための方法及び装置(METHOD AND APPARATUS FOR FLEXIBLE FLUID DELIVERY FOR COOLING DESIRED HOT SPOTS IN A HEAT PRODUCING DEVICE)」の一部継続出願である。更に、この特許出願は、引用により本願に援用される、2002年11月1日に出願され、係属中の米国仮特許出願第60/423,009号、発明の名称「柔軟な流体輸送及びマイクロチャネルヒートシンクによるホットスポット冷却のための方法(METHODS FOR FLEXIBLE FLUID DELIVERY AND HOTSPOT COOLING BY MICROCHANNEL HEAT SINKS)」、引用により本願に援用される、2003年1月24日に出願され、係属中の米国仮特許出願第60/442,383号、発明の名称「CPU冷却用に最適化されたプレートフィン熱交換器(OPTIMIZED PLATE FIN HEAT EXCHANGER FOR CPU COOLING)」、及び引用により本願に援用される、2003年3月17日に出願され、係属中の米国仮特許出願第60/455,729号、発明の名称「多孔質構造を有するマイクロチャネル熱交換装置及びその製造方法(MICROCHANNEL HEAT EXCHANGER APPARATUS WITH POROUS CONFIGURATION AND METHOD OF MANUFACTURING THEREOF)」について、米国特許法第119条(e)項に基づく優先権を主張する。

10

20

30

40

50

【技術分野】

【0002】

本発明は、包括的には、発熱デバイスを冷却する方法及び装置に関し、詳しくは、熱交換器内における圧力降下を最小限に抑えながら、電子デバイス内の所望のホットスポットを冷却するための効率的な垂直流体輸送(vertical fluid delivery)のための方法及び装置に関する。

【背景技術】

【0003】

マイクロチャネルヒートシンクは、1980年代前半に登場して以来、高い熱流束の冷却用途への適用可能性を示し、産業界において使用されてきた。しかしながら、既存のマイクロチャネルでは、従来の平行チャネル構成(parallel channel arrangements)が用いられており、これは、熱負荷が空間的に変化する発熱デバイスの冷却には適していない。このような発熱デバイスは、他の領域よりも多くの熱を発生する領域を有する。本明細書では、このような、より熱い領域を「ホットスポット(hot spot)」と呼び、ホットスポットより発熱量が少ない領域を「ウォームスポット(warm spot)」と呼ぶ。

【0004】

図1A及び図1Bは、それぞれ、従来の熱交換器10の側面図及び平面図を示している。熱交換器10は、サーマルインターフェース材料(thermal interface material)98を介して、例えば、マイクロプロセッサ等の電子デバイス99に連結されている。図1A及び1Bに示すように、流体は、通常、矢印によって示すように、単一のインレットポート12から流れ込み、平行なマイクロチャネル14を底面11に沿って流れ、アウトレットポート16から流れ出る。熱交換器10は、電子デバイス99を冷却するが、流体は、インレットポート12からアウトレットポート16まで、均一に流れる。換言すれば、流体は、熱交換器10の底面11の全体に沿って実質的に一様に流れ、デバイス99のホットスポットに対応する底面11の領域により多くの流体が供給されることはない。更に、通常、インレットポート12から流入した液体の温度は、熱交換器10の底面11に沿つ

て流れるにつれて、高くなる。したがって、熱源 9 9 の下流側、すなわちアウトレットポート 1 6 に近い領域には、冷たい流体は供給されず、実際には、上流側で加熱された、より温かい流体又は二相流体が供給される。このように、加熱された流体は、熱交換器 1 0 の底面 1 1 の全体と熱源 9 9 の領域に亘って熱を輸送し、アウトレットポート 1 6 の近傍では、流体が非常に熱くなり、熱源 9 9 を冷却する効力がなくなる。このような温度の上昇によって、底面 1 1 に流れる液体が沸騰することにより、最も多くの熱が発生している領域から流体が離れる二相流不安定性 (two-phase flow instabilities) が生じる。更に、1 つのインレットポート 1 2 と1 つのアウトレットしか有さない熱交換器 1 0 では、流体は、熱交換器 1 0 の全長に亘って、底面 1 1 の長い平行なマイクロチャネル 1 4 に沿って移動し、この結果、流体が移動する長さのために大きな圧力降下が生じる。熱交換器 1 0 において大きな圧力降下が生じると、熱交換器 1 0 に流体をポンピングすることが困難になり、不安定性が高まる。

10

【0 0 0 5】

図 1 C は、従来のマルチレベル熱交換器 2 0 の側面図である。流体は、ポート 2 2 を通ってマルチレベル熱交換器 2 0 に流入し、中間層 2 6 の複数の噴出口 2 8 を通って下方向に進み、底面 2 7 及び排出ポート 2 4 から排出される。更に、噴出口 2 8 に沿って底面 2 7 に移動する流体は、一様には流れない。更に、この図 1 C に示す熱交換器 2 0 は、図 1 A 及び図 1 B の熱交換器 1 0 に関して説明した問題と同じ問題を有している。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 6】

本発明の目的は、インレットポートとアウトレットポートの間の圧力降下を小さくできる熱交換器を提供することである。更に、本発明の目的は、熱源における適切な温度均一性を実現するよう構成されたマイクロチャネル熱交換器を提供することである。更に、本発明の目的は、熱源のホットスポットの観点から適切な温度均一性を実現する熱交換器を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0 0 0 7】

本発明に係る熱交換器は、熱源を冷却する接触層を備える。接触層は、熱源に接触し、流体が流されるように構成されている。また、熱交換器は、接触層に連結されたマニホールド層を備える。マニホールド層は、接触層に流体を供給するための個別化された孔の第 1 の組と、接触層からチャネル流体を取り除くための個別化された孔の第 2 の組とを備える。更に、マニホールド層は、個別化された孔の第 1 の組に流体を供給する第 1 のポートと、個別化された孔の第 2 の組から流体を受け取る第 2 のポートとを備える。孔の第 1 の組及び孔の第 2 の組は、第 1 及び第 2 のポートの間で熱源を適切に冷却するための最短の流路距離を実現するように配設される。好ましくは、第 1 の組の各孔は、第 2 の組の隣接する孔に最も近い最適の距離に配設される。熱交換器を流れる流体は、単相流であっても二相流であっても、或いはこれらの組合せであってもよい。更にマニホールド層は、内部に延びる第 1 及び第 2 の孔を有する循環レベルを備える。循環レベルは、接触層に連結され、第 1 及び第 2 の組の孔を介して接触層に / から流体を個別に流通させるように構成される。第 1 の組及び第 2 の組の孔は、それぞれ筒状の突起が接続され、各筒状の突起は、循環レベルに対して実質的に垂直に延びる。更に、マニホールド層は、循環レベル及び第 1 のポートに連結される第 1 のレベルを備える。第 1 のレベルは、第 1 のポート及び第 1 の組の孔の間に流体を流通させるように構成される。第 2 のレベルは、第 1 のレベル及び第 2 のポートに連結される。第 2 のレベルは、第 2 のポート及び第 2 の組の孔の間に流体を流通させるように構成され、第 1 のレベルを介して流れる流体は、第 2 のレベルを介して流れる流体とは分離される。第 1 のレベルは、第 1 のポートに連結された第 1 のコリダを備え、第 1 の組の孔は、第 1 のコリダに封水的に連結される。更に、第 1 のレベルは、第 2 のポートに連結された第 2 のコリダを備え、第 2 の組の孔は、第 2 のコリダに封水的に連結される。第 1 の組及び第 2 の組の孔は、互いに熱的に絶縁され、これらの間の熱輸送が防がれ

20

30

40

50

る。一実施形態では、第1の組及び第2の組の孔は、循環レベルの少なくとも1つの寸法に沿って均等に配置される。他の実施形態では、第1の組及び第2の組の孔は、循環レベルの少なくとも1つの寸法に沿って非均等に配置される。第1の組及び第2の組の孔は、好ましくは、互いに封水的に分離される。これに代えて第1の組及び第2の組の孔は、熱源の少なくとも1つの接触層ホットスポット領域を冷却するように配置してもよい。一実施形態においては、第1の組の孔の少なくとも1つのは、第2の組の少なくとも1つの孔の第2の寸法に実質的に等しい第1の寸法を有する。他の実施形態においては、第1の組の孔の少なくとも1つのは、第2の組の少なくとも1つの孔の第2の寸法とは異なる第1の寸法を有する。接触層は、少なくとも 100 W/m-K の熱伝導率を有することが好ましい。接触層は、好ましくは、接触層に沿って所定のパターンで構成された複数のピラーを更に備える。これに代えて接触層に沿う所定の領域に適切な数のピラーを配置してもよい。これに代えてピラーに少なくとも 10 W/m-K の適切な熱伝導率を有するコーティングを施してもよい。これに代えて、接触層上には、微孔構造を設けてもよい。これに代えて、接触層は、粗面化された表面を有していてもよい。これに代えて接触層には、適切な構成を有する複数のマイクロチャネルを形成してもよい。

【0008】

本発明の他の側面である熱交換器は、熱源に連結されるように構成される。熱交換器は、熱源に接触し、流体が流される接触層を備える。流体は、熱源から発生した熱を熱交換によって受け取る。更に、熱交換器は、接触層に連結され、少なくとも1つの流体インレットポートを有するマニホールド層を備える。流体インレットポートは、流体を接触層に供給する実質的に垂直なインレット流路に連結される。熱交換器は、接触層から流体を取り除く実質的に垂直なアウトレット流路に連結される少なくとも1つの流体アウトレットポートを更に備える。インレット流路及びアウトレット流路は、流体を最適な最短距離で移動させるような間隔で配設されている。マニホールド層は、更に、接触層に連結された循環レベルを備える。循環レベルは、循環レベル内で垂直に延び、インレット流路に沿って接触層に流体を供給するための複数のインレットアーチャを有する。更に、循環レベルは、循環レベル内で垂直に延び、アウトレット流路に沿って接触層から流体を受け取るための複数のアウトレットアーチャを有する。マニホールド層は、循環レベル及びインレットポートに連結されたインレットレベルを備える。インレットレベルは、インレットポートからインレットアーチャに流体を流通させるように構成される。また、マニホールド層は、循環レベル及びアウトレットポートに連結されたアウトレットレベルを備える。アウトレットレベルは、アウトレットアーチャからアウトレットポートに流体を流通させるように構成される。インレットレベルを介して流れる流体は、アウトレットレベルを介して流れる流体とは別個に流通する。更に、インレットレベルの流路は、インレットポートからインレットアーチャに水平に流体を流通させるインレットコリダを備える。更に、アウトレットレベルの流路は、アウトレットアーチャからアウトレットポートに水平に流体を流通させるアウトレットコリダを備える。一実施形態では、インレット及びアウトレットアーチャは、循環レベルの少なくとも1つの寸法に沿って、均等に配設される。他の実施形態では、インレット及びアウトレットアーチャは、循環レベルの少なくとも1つの寸法に沿って、非均等に配設される。インレット及びアウトレット流路は、好ましくは、互いに封水的に分離することが望ましい。これに代えて、インレット及びアウトレットアーチャは、熱源の少なくとも1つの接触層ホットスポット領域を冷却するよう構成してもよい。一実施形態においては、インレットアーチャの少なくとも1つのは、少なくとも1つのアウトレットアーチャのアウトレット寸法に実質的に等しいインレット寸法を有する。他の実施形態においては、インレットアーチャの少なくとも1つのは、少なくとも1つのアウトレットアーチャのアウトレット寸法とは異なるインレット寸法を有する。接触層は、少なくとも 100 W/m-K の熱伝導率を有することが好ましい。接触層は、接触層に沿って所定のパターンで構成された複数のピラーを更に備え、この場合、接触層に沿って、所定の領域に適切な数のピラーが配設される。これに代えて、接触層は、粗面化された表面を有していてもよい。複数のピラーは、少なくとも 10 W/m-K

10

20

30

40

50

の適切な熱伝導率を有するコーティングを備えていてもよい。更に、接触層は、接触層に沿って配設された、微孔構造を備えていてもよい。熱交換器は、好ましくは、循環レベルから適切な高さに延びる複数の筒状の突起を備え、各突起は、第1の組及び第2の組のアーチャに接続される。好ましくは、筒状の突起は、筒状の突起間の熱輸送を防ぐために、熱的に絶縁される。

【0009】

本発明の他の側面においては、接触層に連結され、マイクロチャネル熱交換器を形成するマニホールド層は、第1の温度の流体を提供するインレットポートを備える。また、マニホールド層は、インレットポートに接続されたインレット流路を備え、インレット流路は、第1の温度の流体を接触層に流す。マニホールド層は、接触層から第2の温度の流体を受け取るアウトレット流路を備え、マニホールド層内では、第1の温度の流体及び第2の温度の流体は分離される。マニホールド層は、アウトレット流路に接続されたアウトレットポートを備える。第2の温度の流体は、アウトレットポートを介してマニホールド層から排出される。各インレット流路は、第1のポートから接触層に直接的なインレット流路を提供し、各アウトレット流路は、接触層から第2のポートに直接的なアウトレット流路を提供する。インレット及びアウトレット流路は、インレット及びアウトレット流路間の流体の移動距離を最短化するように配置される。インレット及びアウトレット流路は、第3の層の少なくとも1つの寸法に沿って、均等に配置するとよい。これに代えて、インレット及びアウトレット流路は、第3の層の少なくとも1つの寸法に沿って、非均等に配置してもよい。インレット及びアウトレット流路は、好ましくは、互いに封水的に分離される。これに代えて、インレット及びアウトレット流路は、第3の層において、熱源の少なくとも1つの接触層ホットスポット領域を冷却するように配置してもよい。インレット流路の少なくとも1つのは、アウトレット流路の少なくとも1つのアウトレット寸法に実質的に等しいインレット寸法を有する。これに代えて、インレット流路の少なくとも1つのは、アウトレット流路の少なくとも1つのアウトレット寸法とは異なるインレット寸法を有してもよい。更に、マニホールド層は、循環レベルから適切な高さに延びる複数の筒状の突起を備え、各突起は、インレット及びアウトレット流路に個別に接続される。好ましくは、筒状の突起は、筒状の突起間の熱輸送を防ぐために、熱的に絶縁される。インレット流路に接続された突起は、流体流入コリダに封水的に連結され、アウトレット流路に接続された突起は、流体流出コリダに封水的に連結される。

【0010】

本発明の他の側面として、本発明は、熱源を冷却するように構成された熱交換器の製造方法を提供する。熱交換器の製造方法は、熱源に接触し、流体が流されるよう構成された接触層を形成する工程を有する。更に、熱交換器の製造方法は、実質的に垂直な複数のインレット流路と、実質的に垂直な複数のアウトレット流路とを備えるマニホールド層を形成する工程を有する。インレット及びアウトレット流路は、接触層に沿って、インレット及びアウトレット流路の間を流体が最適な最短距離で流れるように構成されている。更に、熱交換器の製造方法は、接触層にマニホールド層を連結する工程を有する。更に、この製造方法は、インレット流体ポートを介して流体が熱交換器に入る少なくとも1つのインレット流体ポートをインレット流路に連結する工程を有する。更に、この製造方法は、アウトレット流体ポートを介して流体が熱交換から排出される少なくとも1つのアウトレット流体ポートをアウトレット流路に連結する工程を有する。更に、マニホールド層を形成するステップは、接触層に垂直に延びる複数のインレットアーチャを内部に有する循環レベルを形成する工程を有し、インレットアーチャは、インレット流路を介してインレット流体を流通させる。循環レベルは、更に、接触層に垂直に延びる複数のアウトレットアーチャを内部に備え、アウトレットアーチャは、アウトレット流路を介して、アウトレット流体を流通させる。マニホールド層を形成する工程は、更に、インレットコリダを介してインレットポートからインレットアーチャに流体を流通させるインレットレベルを形成する工程を有する。更に、マニホールド層を形成する工程は、インレットレベルを循環レベルに連結する工程を有し、ここでは、インレットアーチャは、インレットコリダに封水

10

20

30

40

50

的に連結される。更に、マニホールド層を形成する工程は、アウトレットコリダを介してアウトレットアパーチャからアウトレットポートに流体を流通させるアウトレットレベルを形成する工程を有する。また、マニホールド層を形成する工程は、アウトレットレベルを循環レベルに連結する工程を有し、ここでは、アウトレットアパーチャは、アウトレットコリダに封水的に連結される。インレットレベルを介して流れる流体は、アウトレットレベルを介して流れる流体から分離される。インレット流路及びアウトレット流路は、熱源の少なくとも1つの接触層ホットスポット領域を冷却するように配設される。更に、この製造方法は、マニホールド層において、インレット流路と、アウトレット流路とを熱的に絶縁し、これらの流路間の熱輸送を最小化する工程を有する。接触層は、好ましくは、100 W / in - K の熱伝導率を有する。更に、製造方法は、接触層に熱伝導性を有するコーティングを施す工程を有していてもよい。更に、製造方法は、接触層に沿って所定のパターンで構成された複数のピラーを形成する工程を有していてもよい。これに代えて、製造方法は、接触層の表面を粗面化する工程を有していてもよい。これに代えて、製造方法は、接触層上に微孔構造を形成する工程を有していてもよい。これに代えて、製造方法は、接触層上に複数のマイクロチャネルを形成する工程を有していてもよい。更に、複数のピラーに熱伝導性のコーティングを施してもよい。複数のピラーは、電鋳法プロセスによって形成してもよく、例えば、ウエットエッティング、プラズマエッティング、光化学エッティング、化学エッティング、レーザで補助された化学エッティング等のエッティングプロセスによって形成してもよい。電鋳法プロセスは、熱エンボシング法又はソフトリソグラフィパターニング技術と組み合わせて実行してもよい。マニホールド層は、レーザ穴あけプロセス (laser drilling process) によって形成してもよい。また、マニホールド層は、ソフトリソグラフィプロセスによって形成してもよい。マニホールド層は、切削加工によって形成してもよい。これに代えて、マニホールド層は、射出成形、放電加工 (electrical discharge machining: EDM) 、スタンピング、金属射出成形 (metal injection molding: MIM) 、クロスカッティング、のこ引きプロセス等によって形成してもよい。

10

20

30

40

【0011】

本発明のこの他の特徴及び利点は、以下に示す好適な実施形態の詳細によって明らかとなる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

熱交換器は、包括的に言えば、好ましくは熱源と連結された接触層の選択的な領域に流体を通過させることによって、熱源から発生した熱エネルギーを捕捉する。詳しくは、流体は、熱交換器内の圧力降下を小さく保ちながら、熱源に亘って、温度均一性を実現するよう、ホットスポット及びホットスポットの周囲の領域を冷却するために接触層に特定の領域に流される。後述する様々な実施形態で説明するように、熱交換器は、マニホールド層内で複数のアパーチャ、チャネル及び/又はフィンガを用いて、並びに中間層内の導管を用いて、接触層の選択されたホットスポット領域に及びこの領域から流体を流通及び循環させる。これに代えて、熱交換器は、ホットスポットに流体を直接流入させ、及びホットスポットから流体を排出することによって、効果的に熱源を冷却するために所定の位置に特別に配置された幾つかのポートを備えていてもよい。

【0013】

ここでは、デバイスのホットスポット位置を冷却するためのマイクロチャネル熱交換器を説明するが、これに代えて、本発明の熱交換器は、デバイスのコールドスポット位置を加熱するために用いてもよいことは、当業者にとって明らかである。更に、本発明は、マイクロチャネル熱交換器として説明するが、本発明は、この説明に制限されず、他の用途にも用いることができる。

【0014】

図2Aは、本発明に基づく、封水的に密閉された好適な柔軟な流体輸送マイクロチャネル熱交換器 (flexible fluid delivery microchannel heat exchanger) 100を備える循環型冷却装置30の概略を示している。更に、図2Bは、本発明に基づく複数のポート

50

108、109を有する他の柔軟な流体輸送マイクロチャネル熱交換器100を備える循環型冷却装置30の概略を示している。なお、システムは、ここに示す熱交換器100に制限されず、他の熱交換器の実施形態を備えていてもよい。

【0015】

図2Aに示すように、流体ポート108、109は、流体ライン38に連結され、流体ライン38は、ポンプ32及び熱コンデンサ30に連結されている。ポンプ32は、循環型冷却装置30内で流体をポンピングし、循環させる。一実施形態においては、流体を熱交換器100に供給するために、1つの流体ポート108を用いる。更に、熱交換器100から流体を排出するために、1つの流体ポート109を用いる。一実施形態においては、各流体ポート108、109を介して、均一で一定の流量の流体が熱交換器100に流入し、熱交換器100から排出される。これに代えて、所定の時刻に、各流体ポート108、109を介して、流量の異なる流体を熱交換器100に流入させ及び熱交換器100から排出してもよい。これに代えて、図2Bに示すように、1つのポンプが複数の指定されたインレットポート108に流体を提供してもよい。これに代えて、複数のポンプ(図示せず)がそれぞれの対応するインレット及びアウトレットポート108、109に流体を提供してもよい。更に、これに代えて、このシステムにおいて、様々なホットスポット又はホットスポット位置の熱量の変化、及びホットスポットの位置に応じて、動的感知及び制御モジュール34を用いて好適な又は代替の熱交換器に入り出す流体の流量を動的に変化させ、及び制御してもよい。

【0016】

図3Bは、本発明に基づく好適なマニホールド層を備える好適な三層式熱交換器100の分解図である。図3Bに一実施形態として示す三層式熱交換器100は、接触層102と、少なくとも1つの中間層104と、少なくとも1つのマニホールド層106とを備える。これに代えて、後述するように、熱交換器100は、接触層102とマニホールド層106を含む2層の装置であってもよい。図2A及び図2Bに示すように、熱交換器100は、例えば、これらに限定されるのではないが、マイクロチップ又は集積回路等の電子デバイスである熱源99に連結され、熱源99と熱交換器100の間には、好ましくは、サーマルインターフェイス材料98が挟み込まれる。これに代えて、熱交換器100は、熱源99の表面に直接連結してもよい。また、これに代えて、熱交換器100を熱源99に一体に形成し、すなわち、熱交換器100と熱源99を1つの部品として形成してもよいことは当業者にとって明らかである。この場合、接触層102は、熱源99と一体に設けられ、熱源99と同じ部品に含まれるように形成される。

【0017】

好ましくは、本発明に基づく熱交換器100は、図に示すように、長方形状の熱源99に直接又は間接的に、接触するように構成される。但し、熱交換器100が熱源99の形状に応じた他の如何なる形状を有していてもよいことは、当業者にとって明らかである。例えば、本発明に基づく熱交換器は、半円状の形状を有するように構成してもよく、これにより、熱交換器(図示せず)は、対応する半円状の熱源(図示せず)に直接又は間接的に接触することができる。更に、熱交換器100は、0.5ミリメートル以上5.0ミリメートル以下の範囲で、熱源より僅かに大きい寸法を有していることが好ましい。

【0018】

図3Aは、本発明に基づく好適なマニホールド層106の平面図である。詳しくは、マニホールド層106は、図3Bに示すように、上面130及び底面132に加えて、4つの側面を備えている。但し、図3Aでは、マニホールド層106の機能を適切に表し、説明するために、上面130を取り除いて示している。図3Aに示すように、マニホールド層106は、一連のチャネル又は流路116、118、120、122と、これらの流路内に形成されたポート108、109とを備える。図3Bに示すように、フィンガ118、120は、マニホールド層106のボディを完全に貫通して、Z-方向に延びている。これに代えて、図3Aに示すように、フィンガ118、120は、マニホールド層106の一部に形成され、Z-方向に延び、アパーチャを有していてもよい。更に、流路116、122を、

10

20

30

40

50

マニホールド層 106 の一部に延びるように形成してもよい。インレット及びアウトレット流路 116、120 の間の残りの領域 107 は、上面 130 から底面 132 まで延び、マニホールド層 106 のボディを構成する。

【0019】

図 3A に示すように、流体は、インレットポート 108 を介してマニホールド層 106 に入り、インレットチャネル 116 に沿って流れ、チャネル 116 から X 方向及び Y 方向として示す幾つかの方向に分岐する幾つかのフィンガ 118 に流れ込み、これにより、接触層 102 の選択された領域に流体が供給される。フィンガ 118 は、異なる所定の方向に形成され、熱源のホットスポット及びその近傍の領域に対応する接触層 102 の位置に流体を提供する。接触層 102 のこれらの位置を、以下では、接触層ホットスポット領域 (interface hot spot regions) と呼ぶ。フィンガは、静止した接触層ホットスポット領域を冷却するとともに、時間的に変換する接触層ホットスポット領域をも冷却するよう構成される。図 3A に示すように、チャネル 116、122 及びフィンガ 118、120 は、マニホールド層 106 において、X 方向及び Y 方向に配設される。このようにチャネル 116、122 及びフィンガ 118、120 を様々な方向に形成することにより、流体を輸送し、熱源 99 のホットスポットを冷却し、及び / 又は熱交換器 100 内の圧力降下を最小化することができる。これに代えて、図 4 及び図 5 の具体例に示すように、マニホールド層 106 内でチャネル 116、122、フィンガ 118、120 を一定の間隔で配置し、所定のパターンを形成してもよい。

【0020】

フィンガ 118、120 の構成及び寸法は、冷却する必要がある熱源 99 のホットスポットに応じて決定される。マニホールド層 106 は、ホットスポットの位置及び各ホットスポット又はその近傍で発生する熱量に基づき、フィンガ 118、120 が接触層 102 内の接触層ホットスポット領域上又はその近傍に配置されるように構成される。マニホールド層 106 は、熱交換器 100 とシステム 30 (図 2A) 内で実質的な圧力降下を生じさせることなく、単相流体及び / 又は二相流体を接触層 102 に循環させる。接触層ホットスポット領域に流体を輸送することにより、接触層ホットスポット領域に隣接した熱源の領域と同様に、接触層ホットスポット領域の温度が均一になる。

【0021】

チャネル 116 とフィンガ 118 の数及び寸法は、多くの要因に基づいて決定される。一実施形態においては、インレット及びアウトレットフィンガ 118、120 は、同じ幅寸法を有する。これに代えて、インレット及びアウトレットフィンガ 118、120 は、異なる幅寸法を有していてもよい。フィンガ 118、120 の幅寸法は、好ましくは、0.25 ミリメートル以上 0.50 ミリメートル以下の範囲とする。一実施形態においては、インレット及びアウトレットフィンガ 118、120 は、同じ長さ及び深さ寸法を有する。これに代えて、インレット及びアウトレットフィンガ 118、120 は、異なる長さ及び深さ寸法を有していてもよい。他の実施形態においては、インレット及びアウトレットフィンガ 118、120 は、フィンガの長さに沿って様々な幅寸法を有していてもよい。インレット及びアウトレットフィンガ 118、120 の長さ寸法は、0.5 ミリメートル以上熱源の長さ寸法の三倍以内の範囲内に形成するとよい。更に、フィンガ 118、120 は、0.25 ミリメートル以上 0.50 ミリメートル以下の範囲内の高さ又は深さ寸法を有するように形成するとよい。更に、マニホールド層 106 内では、1 センチメートルあたり 10 個未満又は 30 個より多くのフィンガを配設する。但し、マニホールド層において、1 センチメートルあたり、10 個 ~ 30 個のフィンガを設けてもよいことは、当業者にとって明らかである。

【0022】

また、本発明においては、熱源のホットスポットの冷却効率を最適化するために、フィンガ 118、120 及びチャネル 116、122 を不規則な構成に形成してもよい。熱源 99 に亘る均一な温度を実現するために、流体への熱輸送の空間的分布は、熱の発生の空間的分布に一致させるとよい。流体は、接触層に沿って、マイクロチャネルを流れるにつ

10

20

30

40

50

れて、温度が高くなり、二相条件の下で、蒸気に変化し始める。したがって、流体は、著しく膨張し、この結果、流速が著しく速くなる。接触層から流体への熱輸送の効率は、通常、流体の流速が速くなると向上する。したがって、熱交換器 100 における流体の流入及び排出のためのフィンガ 118、120 及びチャネル 116、122 の横断面の寸法を調整することによって、流体への熱輸送効率を調整することができる。

【0023】

例えば、インレットの近傍でより高い熱が発生する熱源のために特定のフィンガを設計してもよい。更に、液体と蒸気の混合が予想される領域については、フィンガ 118、120 及びチャネル 116、122 の断面を大きくした方が有利である場合がある。図には示さないが、フィンガの断面をインレット側で小さくすることによって、流体の流速を速めることもできる。また、特定のフィンガ又はチャネルの断面を下流のアウトレット側で大きくすることにより、流体の流速を遅めることもできる。フィンガ又はチャネルをこのように設計することにより、熱交換器内の、二相流における液体から蒸気への変化のために、流体の体積、加速度及び速度が増加する領域において、圧力降下を最小化でき、及びホットスポット冷却効率を最適化できる。

【0024】

更に、フィンガ 118、120、及びチャネル 116、122 をそれらの長さに沿って、一時的に広く、続いて再び狭くすることにより、マイクロチャネル熱交換器 100 内の異なる所望の位置で流体の流速を速めることができる。これに代えて、フィンガとチャネルの寸法を大から小、小から大と幾度も変化させることで、熱源 99 に亘る予想された熱消散分布に応じて、熱輸送効率を調整することが適切である場合もある。なお、フィンガとチャネルの寸法の変化に関する説明は、この実施形態に制限されず、後に説明する他の実施形態にも同様に適用することができる。

【0025】

これに代えて、図 3A に示すように、マニホールド層 106 は、インレットフィンガ 118 内に 1 以上のアーチャ 119 を備えていてもよい。三層式熱交換器 100 では、フィンガ 118 に沿って流れる流体は、アーチャ 119 を介して、中間層 104 に流れ込む。これに代えて、二層式熱交換器 100 では、フィンガ 118 に沿って流れる流体は、アーチャ 119 から接触層 102 に直接流れ込む。更に、図 3A に示すように、マニホールド層 106 は、アウトレットフィンガ 120 内にアーチャ 121 を備えている。三層式熱交換器 100 では、中間層 104 から流れ出る流体は、アーチャ 121 を介して、アウトレットフィンガ 120 に流れ込む。これに代えて、二層式熱交換器 100 では、接触層 102 から流れ出る流体は、アーチャ 121 を介して、アウトレットフィンガ 120 に直接流れ込む。

【0026】

変形例では、インレット及びアウトレットフィンガ 118、120 は、アーチャを有さないオープンチャネルである。マニホールド層 106 の底面 103 は、三層式熱交換器 100 では、中間層 104 の上面に当接し、二層式熱交換器では、接触層 102 に当接する。このようにして、三層式熱交換器 100 では、流体は、中間層 104 とマニホールド層 106 の間を自由に行き来することができる。流体は、中間層 104 の導管 105 によって、適切な接触層ホットスポット領域に適切に出入りするように流される。当業者にとって明らかであるが、導管 105 は、後述するように、フィンガに直接整列するように配設してもよく又は三層式システム内の他の場所に配設してもよい。

【0027】

図 3B は、変形例として示すマニホールド層を有する三層式熱交換器 100 を示しているが、これに代えて、熱交換器 100 は、マニホールド層 106 と接触層 102 からなる二層構造を有していてもよく、この場合、流体は、中間層 104 を介さず、マニホールド層 106 と接触層 102 の間を直接行き来する。ここに示すマニホールド層、中間層及び接触層の構成は、例示的なものであり、実際の構成は、ここに示した構成に制限されないことは当業者にとって明らかである。

10

20

30

40

50

【0028】

図3Bに示すように、中間層104は、好ましくは、中間層104自体を貫通して伸びる複数の導管105を備えている。流入導管(inflow conduit)105は、マニホールド層106から接触層102の指定された接触層ホットスポット領域に流体を流通させる。同様にアパー・チャ105は、接触層102から流体排出ポート109に流体を流通させる。このようにして、中間層104は、接触層102から、マニホールド層106に連結された流体排出ポート109への流体の輸送を提供している。

【0029】

導管105は、多くの因子に基づいて、所定のパターンで中間層104内に配設される。これらの因子とは、以下に限定されるものではないが、接触層ホットスポット領域の位置、接触層ホットスポット領域において熱源99を適切に冷却するために必要な流量、流体の温度等である。他の部分の幅寸法は、最大で数ミリメートルに設計されるが、導管105は、数百ミクロン程度の幅寸法を有することが好ましい。但し、導管105は、少なくとも上述した因子に基づいて、この他の寸法に形成してもよい。中間層104の各導管105は、同じ形状及び／又は寸法を有しているが、この条件は、必ずしも必要ではないことは当業者にとって明らかである。例えば、上述したフィンガと同様、導管は、この実施形態に代えて、様々に変化する長さ及び／又は幅寸法を有していてもよい。或いは、導管105は、中間層104を通して一定の深さ又は高さ寸法を有していてもよい。これに代えて、導管105は、異なる深さ寸法を有していてもよく、例えば、中間層104の厚さ方向において、台形又はノズル形の形状を有していてもよい。導管105の水平方向の形状は、図2Cでは、長方形として示しているが、この導管105の水平方向の形状は、円形(図3A)、曲線を含む形状、橢円形等、他の如何なる形状であってもよい。これに代えて、1又は複数の導管105を上部の1又は複数のフィンガの一部又は全体の形状に応じた形状に成形してもよい。

10

20

30

【0030】

中間層104は、好ましくは、導管105が垂直になるように、熱交換器100内で水平に配置される。これに代えて、中間層104は、以下に限定されるものではないが、斜めに又は湾曲させる等、熱交換器100内で他の如何なる方向に配置してもよい。これに代えて、導管105は、中間層104内で、水平に、斜めに、湾曲させて、又は他の如何なる方向に配設してもよい。更に、中間層104は、好ましくは、熱交換器100の全長に沿って、水平に延び、中間層104は、接触層102をマニホールド層106から完全に分離し、これにより流体を強制的に導管105に流通させてもよい。これに代えて、熱交換器100の一部は、マニホールド層106と接触層102の間に中間層104を含まず、これにより、マニホールド層106と接触層102の間で流体を自由に行き来させるようにしてもよい。更に、これに代えて、中間層104は、マニホールド層106と接触層102の間で垂直に延び、独立した、個別の中間層領域を形成するようにしてもよい。これに代えて、中間層104は、マニホールド層106から接触層102までに完全には延びていなくてよい。

【0031】

図10Aは、本発明に基づく接触層302の好適な実施形態の斜視図である。図10Aに示すように、接触層302は、接触層302の底面301から上方に延びる一連のピラ-303を備える。更に、図10Aは、接触層302の底面に設けられた微孔構造301を示している。なお、接触層302は、微孔構造301のみを備えていてもよく、この微孔構造と共に、他の如何なる接触層構造体(例えば、マイクロチャネル、ピラー等)を備えていてもよいことは明らかである。

40

【0032】

好適な接触層302は、好適なマニホールド層302'(図12A)におけるインレットアパー・チャから周囲のアウトレットアパー・チャへの流体のフローのために、マイクロチャネルではなく、ピラー303を備える。後により詳細に説明するように、流体は、一連のインレットアパー・チャを介して接触層302に移動し、インレットアパー・チャに対して最

50

適な距離だけ離間して配設されている一連のアウトレットアーチャを介して接触層 302 から排出される。換言すれば流体は、各インレットアーチャから、最も近いアウトレットアーチャに向かって流れる。好ましくは、各インレットアーチャは、アウトレットアーチャに取り囲まれている。このようにして接触層 302 に入る流体は、周囲のアウトレットアーチャに向かう方向に流れる。したがって、流体に十分な熱を輸送するとともに、流体がインレットアーチャからアウトレットアーチャに流れる際の流体の圧力降下を最小化するために、接触層 302 には、ピラー 303 を設けることが好ましい。

【0033】

接触層 302 は、好ましくは、底面 301 から垂線に延び、マニホールド層の底面に接触する、高くて幅狭のピラー 303 の高密度なアレイを備える。これに代えてピラー 303 は、マニホールド層の底面に接触していなくてもよい。更に、ピラー 303 の少なくとも 1 つのは、接触層 302 の底面 301 に対して所定の角度で延びてもよい。また、ピラー 303 は、好ましくは、接触層 302 に沿って互いから等距離の間隔で配設され、これにより、底面 301 に亘って、接触層 302 の熱輸送能力を一定にするとよい。これに代えて、ピラー 303 は、非等間隔に配置してもよく、例えば図 10B に示す具体例では、接触層 302 の中央のピラー 303 は、周縁のピラー 303 より間隔を広く空けて配設されている。ピラー 303 の間隔は、熱源 99 の寸法、流体への抵抗、ホットスポットのサイズ及び位置、並びに熱源 99 からの熱流束密度等に基づいて決定される。例えば、ピラー 303 の密度を下げると、流体抵抗は小さくなるが、接触層 302 から流体への熱輸送のための表面積は小さくなる。なお、非等間隔に配設されたピラー 303 の構成は、図 10B の実施形態には制限されず、熱源に関する条件及び冷却装置 30 (図 2A) の必要な動作に応じて、他の如何なる構成としてもよい。

【0034】

更に、ピラー 303 は、図 10A に示すように、円筒状に形成することが好ましく、これにより、流体は、最小限の抵抗でインレットアーチャからアウトレットアーチャに流れる。但し、ピラー 303 は、以下に限定されるものではないが、方形 303B (図 10B)、ダイヤモンド形、楕円形 303C (図 10C)、六角形 303D (図 10D) 又は他の如何なる形状を有していてもよい。更に、接触層 302 は、底面 301 に沿って、異なる形状のピラーの組合せを備えていてもよい。

【0035】

例えば、図 10E に示すように、接触層 302 は、矩形フィン 303E の幾つかの組を備え、各組内の矩形フィン 303E を互いに放射状に配置してもよい。更に、接触層 302 は、一組の矩形フィン 303E の間に配置された複数のピラー 303B を備えていてもよい。一実施形態においては、放射状に構成された矩形フィン 303E 内の開いた円形の領域を各インレットアーチャの下に配置し、フィン 303E によって、流体をアウトレットアーチャに誘導することを助けてもよい。このように、放射状に構成されたフィン 303E は、接触層 302 において、冷却用の流体の略々均一な供給を実現しながら圧力降下を最小化することに寄与する。インレット及びアウトレットアーチャのサイズ及び相対的な位置に応じて、ピラー及び / 又はフィンの構成は様々に選択でき、及び流体が単相流であるか二相流であるかに応じて、接触層 302 の最適の構成を選択できる。ここに説明する如何なる実施形態及びその変形例にも、様々なピン 303 構成を組み合わせることができることは当業者にとって明らかである。

【0036】

図 3B は、本発明に基づく接触層 102 の変形例の斜視図を示している。図 3B に示すように、接触層 102 は、底面 103 と、好ましくは、複数のマイクロチャネル壁 110 とを備え、マイクロチャネル壁 110 の間の領域は、流体の流路に沿って、流体を流し、又は流通させる。底面 103 は、平坦であり、熱源 99 からの十分な熱輸送を実現する高い熱伝導率を有している。これに代えて、底面 103 は、特定の位置に流体を集め、又は特定の位置から流体を退けるために設計された凹面 (troughs) 及び / 又は凸面 (crests) を備えていてもよい。マイクロチャネル壁 110 は、図 3B に示すように、平行に形成

10

20

30

40

50

され、これにより、流体は、流路に沿って、マイクロチャネル壁 110 間を流れる。

【0037】

また、これに代えて、上述した因子に基づき、他の如何なる適切な構成でマイクロチャネル壁 110 を構成してもよいことは、当業者にとって明らかである。例えば、図 8 C に示すように、接触層 102 では、マイクロチャネル壁 110 のセクションの間に溝を設けてもよい。更に、マイクロチャネル壁 110 は、接触層 102 内の圧力降下又は圧力差を最小化するための寸法を有していてもよい。また、以下に限定されるものではないが、粗い表面、例えば、焼結金属及びシリコン泡 (silicon foam) 等の微孔構造等、マイクロチャネル壁 110 以外の他の構造を用いてもよいことは明らかである。但し、ここでは、例示的に、図 3 B に示す平行なマイクロチャネル壁 110 を用いて、本発明における接触層 102 を説明する。これに代えて、マイクロチャネル壁 110 は、非平行な構成を有していてもよい。

10

【0038】

マイクロチャネル壁 110 により、流体は、接触層ホットスポット領域の選択されたホットスポット位置に沿って、熱交換を行い、その位置で熱源 99 を冷却する。マイクロチャネル壁 110 は、好ましくは、熱源 99 の熱量に応じて、20 ~ 300 ミクロンの範囲内の幅寸法と、100 ミクロン ~ 1 ミリメートルの範囲内の高さ寸法とを有する。マイクロチャネル壁 110 は、熱源の寸法及びホットスポットのサイズ及び熱源からの熱流束密度に応じて、100 ミクロンから数センチメートルの範囲内の長さ寸法を有する。これに代えて、他の如何なるマイクロチャネル壁寸法を用いてもよい。マイクロチャネル壁 110 は、熱源 99 の熱量に応じて、50 ~ 500 ミクロンの範囲内の間隔で区切られるが、この間隔は、他の如何なる値に設定してもよい。

20

【0039】

図 3 B では、マニホールド層 106 のボディ内のチャネル 116、122 及びフィンガ 118、120 を示すために、マニホールド層 106 の上面を切り取って示している。ここでは、高い熱を発生する熱源 99 の位置をホットスポットとし、これより低い熱を発生する熱源 99 の位置をウォームスポットとする。図 3 B に示すように、熱源 99 は、ホットスポット領域である位置 A と、ウォームスポット領域である位置 B とを有する。ホットスポット及びウォームスポットに当接する接触層 102 の領域は、接触層ホットスポット領域として示されている。すなわち、図 3 B に示すように、接触層 102 は、位置 A 上の接触層ホットスポット領域 A と、位置 B 上の接触層ホットスポット領域 B とを含む。

30

【0040】

図 3 A 及び図 3 B に示すように、流体は、まず、好ましくは、1 つのインレットポート 108 を介して、熱交換器 100 に流入する。そして、流体は、好ましくは 1 つのインレットチャネル 116 に流入する。これに代えて、熱交換器 100 は、2 つ以上のインレットチャネル 116 を備えていてもよい。図 3 A 及び図 3 B に示すように、インレットポート 108 からインレットチャネル 116 に沿って流れる流体は、まず、フィンガ 118 A に分岐する。更に、インレットチャネル 116 の残りの部分に沿って流れる流体は、フィンガ 118 B 及びフィンガ 118 C 等の個々のフィンガに注ぎ込まれる。

40

【0041】

図 3 B に示す具体例では、流体をフィンガ 118 A に注ぎ込むことによって、接触層ホットスポット領域 A に流体を供給する。すなわち、流体は、フィンガ 118 A を介して、中間層 104 に流れ下る。流体は、フィンガ 118 A の下に配設されたインレット導管 105 A を介して、接触層 102 に流れ込み、熱源 99 と熱交換を行う。上述のように、接触層 102 のマイクロチャネルは、如何なる方向に配設してもよい。例えば、接触層領域 A のマイクロチャネル 111 は、接触層 102 の他のマイクロチャネル壁 110 に直交する方向に配設されている。これにより、導管 105 A からの流体は、図 3 B に示すように、マイクロチャネル 111 に沿って移動し、接触層 102 の他の領域では、流体は異なる方向に移動する。そして、加熱された流体は、アウトレット導管 105 D を介してアウトレットフィンガ 120 A に流れ上がる。

50

【0042】

同様に、流体は、フィンガ118E及び118Fを介して、中間層104に、Z-方向に流れ下る。次に、流体は、Z-方向に、インレット導管105Cを介して、接触層102に流れ下る。そして、加熱された流体は、接触層102からアウトレット導管105Dを介してアウトレットフィンガ120E、120Fに、Z-方向に流れ上がる。熱交換器100は、アウトレットフィンガ120を介して、マニホールド層106で加熱された流体を取り除き、アウトレットフィンガ120は、アウトレットチャネル122に連結されている。アウトレットチャネル122により、流体は、好ましくは、1つのアウトレットポート109を介して、熱交換器から排出される。

【0043】

また、好ましくは、流入及び流出導管105は、適切な接触層ホットスポット領域上に直接又は略々直接、配設され、熱源99のホットスポットに流体を直接供給する。更に、圧力降下を最小化するために、各アウトレットフィンガ120は、特定の接触層ホットスポット領域に対応する各インレットフィンガ119の近傍に配設される。このように、流体は、インレットフィンガ118Aを介して接触層102に流入し、接触層102の底面103に沿って、接触層102からアウトレットフィンガ120Aに最短の距離を移動する。流体が底面103に沿って移動する距離により、不要な量の圧力降下を発生させることなく、熱源99から熱が適切に取り除かれることは明らかである。更に、図3A及び図3Bに示すように、フィンガ118に沿って流れる流体の圧力降下を減少させるために、フィンガ118、120内のコーナ部分は、好ましくは、曲面となるように形成する。

【0044】

当業者にとって明らかなように、図3A及び3Bに示すマニホールド層106の構成は、例示的なものに過ぎない。マニホールド層106内のチャネル116とフィンガ118の構成は、以下に限定されるものではないが、接触層ホットスポット領域の位置、接触層ホットスポット領域への及び接触層ホットスポット領域からの流体の流量、接触層ホットスポット領域の熱源が発生する熱量等の多くの要因に依存する。例えば、図4～図7Aに示し、後述するように、マニホールド層106の1つの可能な構成として、平行なインレットフィンガ及びアウトレットフィンガをマニホールド層の幅に沿って交互に配置された、相互に組み合うようなパターン(interdigitated pattern)に構成してもよい。但し、チャネル116とフィンガ118は、他の如何なる構成で配設してもよい。

【0045】

図4は、本発明に基づく熱交換器の他のマニホールド層406の斜視図である。図4のマニホールド層406は、互いに組み合う又は噛み合う複数の平行な流体フィンガ411、412を備え、これにより、熱交換器400とシステム30(図2A)内で実質的な圧力降下を生じることなく、単相流体及び/又は二相流体を接触層402に循環させることができる。図4に示すように、インレットフィンガ411とアウトレットフィンガ412とは、交互に配置されている。但し、任意の数のインレットフィンガ又はアウトレットフィンガを連続して隣り合うように配置してもよく、したがって、本発明は、図4に示す交互の構成に制限されないことは、当業者にとって明らかである。更に、平行なフィンガが他の平行なフィンガから分岐し、又は平行なフィンガが他の平行なフィンガに連結されるようにフィンガを交互に配置してもよい。したがって、アウトレットフィンガより多くのインレットフィンガを設けてもよく、逆にインレットフィンガより多くのアウトレットフィンガを設けてもよい。

【0046】

インレットフィンガ又は流路411は、熱交換器に流入する流体を接触層402に供給し、アウトレットフィンガ又は流路412は、熱交換器400から排出される流体を接触層402から取り出す。ここに示すマニホールド層406の構成により、流体は、接触層402に流入し、接触層402において非常に短い距離を移動した後、アウトレット流路412に流入することができる。流体が接触層402に沿って移動する長さを実質的に短くすることにより、熱交換器400及びシステム30(図2A)における圧力降下を実質的

10

20

30

40

50

に低減することができる。

【0047】

図4及び図5に示すように、変形例として示すマニホールド層406は、2つのインレット流路411に連結され、ここに流体を供給するための流路414を備える。また、図8及び図9に示すマニホールド層406は、流路418に連結された3つのアウトレット流路412を備える。マニホールド層406の流路414は、フィンガ411、412に流体を流通させる平らな底面を有する。これに代えて、選択された流体流路411に流体を流通させるために、流路414には、緩やかな斜面を設けてもよい。これに代えて、流体の一部を接触層402に流れ落とすために、インレット流路414の底面に1以上のアパー チャを設けてもよい。同様にマニホールド層の流路418は、流体を収容し、流体をポート408に流通させるフラットな底面を有していてもよい。これに代えて、選択されたアウトレットポート408に流体を流通させるために、流路418には、緩やかな斜面を設けてもよい。更に、この具体例では、流路414、418の幅を約2ミリメートルとする。但し、他の具体例では、他の如何なる幅寸法を用いてもよい。

10

【0048】

流路414、418は、ポート408、409に連結され、ポート408、409は、システム30の流体ライン(fluid lines)38(図2A)に連結される。マニホールド層406は、水平方向に配設された流体ポート408、409を備える。これに代えて、図4～図7には示していないが、マニホールド層406は、後述するように、垂直及び／又は斜めに構成された流体ポート408、409を備えていてもよい。これに代えて、マニホールド層406は流路414を備えていなくてもよい。この場合、流体は、ポート408からフィンガ411に直接供給される。更に、これに代えて、マニホールド層411は、流路418を備えていなくてもよく、この場合、フィンガ412内の流体は、ポート408を介して、熱交換器400から直接排出される。ここでは、2つのポート408が流路414、418に連結されているが、これに代えて、他の如何なる数のポートを設けてもよい。

20

【0049】

インレット流路411は、流路411及びシステム30(図2A)に沿って大きな圧力降下を発生させることなく、流体が接触層に移動できるようにするための寸法を有する。インレット流路411の幅寸法は、例えば、0.25ミリメートル以上5.00ミリメートル以下の範囲とする。但し、他の如何なる寸法を用いてもよい。更に、インレット流路411の長さ寸法は、0.5ミリメートル以上熱源の長さ寸法の三倍以内の範囲内に形成するとよい。これに代えて、この長さ寸法は、如何なる値としてもよい。更に、上述のように、流体がマイクロチャネル410に直接流れるように、インレット流路411は、マイクロチャネル410に向けて下方に延び、又はマイクロチャネル410の高さより僅かに高い位置に延びる。インレット流路411の高さ寸法は、0.25ミリメートル以上5.00ミリメートル以下の範囲内とするとよい。なお、流路411は、マイクロチャネル410に向けて下方に延びていなくてもよく、ここに示した以外の如何なる高さ寸法を用いてもよいことは、当業者にとって明らかである。また、ここでは、インレット流路411は、同じ寸法を有しているが、インレット流路411は、異なる寸法を有していてもよいことは、当業者にとって明らかである。更に、これに代えて、インレット流路411は、幅、横断面の寸法及び／又は隣接するフィンガの間の距離を様々に変化させててもよい。特に流路411は、長手方向に沿って、より広い幅又はより深い深さを有する領域と、より狭い幅又はより浅い深さを有する領域とを備えていてもよい。このように寸法を変化させることにより、より広い部分を介して、接触層402内の所定の接触層ホットスポット領域に多くの流体を提供するとともに、狭い部分によって、ウォームスポット接触層ホットスポット領域への流量を制限することができる。

30

【0050】

更に、アウトレット流路412は、システム30(図2A)及び流路412に沿って大きな圧力降下を発生させることなく、流体を接触層に移動させるために適した寸法を有す

40

50

る。このアウトレット流路 412 は、0.25 ミリメートル以上 5.00 以下ミリメートルの範囲内の幅寸法を有するが、他の如何なる幅寸法を用いてもよい。更に、アウトレット流路 412 の長さ寸法は、0.5 ミリメートル以上熱源の長さ寸法の三倍以内の範囲内に形成するとよい。更に、流体がマイクロチャネル 410 に沿って水平に流れた後に、アウトレット流路 412 に容易に流れ上るよう、アウトレット流路 412 は、マイクロチャネル 410 の高さまで下方に延びている。アウトレット流路 412 の幅寸法は、例えば、0.25 ミリメートル以上 5.00 ミリメートル以下の範囲とする。但し、他の如何なる寸法を用いてもよい。また、ここでは、アウトレット流路 412 は、同じ寸法を有しているが、アウトレット流路 412 は、異なる寸法を有していてもよいことは、当業者にとって明らかである。更に、これに代えて、アウトレット流路 412 は、幅、横断面の寸法及び／又は隣接するフィンガの間の距離が様々に変化する不規則な形状を有していてもよい。

10

【0051】

図 4 及び 5 に示すように、インレット及びアウトレット流路 411、412 は、それぞれセグメント化され、互いに分離されているため、これらの流路内の流体は、混じり合うことはない。詳しくは、図 4 に示すように、2つのアウトレット流路 412 は、マニホールド層 406 の外側のエッジ側に設けられ、1つのアウトレット流路 412 は、マニホールド層 406 の中央に設けられている。更に、2つのインレット流路 411 は、中央のアウトレット流路 412 の両側に隣接するように設けられている。この特定の構成により、接触層 402 に入る流体は、アウトレット流路 412 を介して接触層 402 から流れ出る前に接触層 402 内で短い距離を移動する。但し、インレット流路及びアウトレット流路は、他の如何なる適切な構成に配置してもよく、したがって、これらは、ここに示し及び説明する構成に制限されることは、当業者にとって明らかである。マニホールド層 406 内のインレット及びアウトレットフィンガ 411、412 の数は、3 個より多いことが望ましく、マニホールド層 406 における 1 センチメートルあたり 10 個未満であることが望ましい。また、インレット流路とアウトレット流路の数は、ここに示し、説明した構成に制限されるものではなく、他の如何なる数としてもよいことは、当業者にとって明らかである。

20

【0052】

マニホールド層 406 は、中間層（図示せず）に連結され、中間層（図示せず）は、接触層 402 に連結され、これにより三層式熱交換器 400 が形成される。この中間層は、図 3B に示す実施形態に関連して説明したものである。これに代えて、図 7A に示すように、マニホールド層 406 を接触層 402 に連結し、接触層 402 上に配置して、二層式熱交換器 400 を形成してもよい。二層式熱交換器の接触層 402 に連結される好適なマニホールド層 406 の断面を図 6A～図 6C に示す。詳しくは、図 6A は、図 5 の線 A-A に沿った熱交換器 400 の断面図である。更に、図 6B は、図 5 の線 B-B に沿った熱交換器 400 の断面図であり、図 6C は、図 5 の線 C-C に沿った熱交換器 400 の断面図である。上述のように、インレット及びアウトレット流路 411、412 は、マニホールド層 406 の上面から底面に延びる。マニホールド層 406 及び接触層 402 が互いに連結される場合、インレット及びアウトレット流路 411、412 は、接触層 402 のマイクロチャネル 410 の高さと同じ高さか、僅かに高い高さを有する。この構成により、インレット流路 411 からの流体は、マイクロチャネル 410 を介してインレット流路 411 から容易に流れ出る。更に、この構成により、マイクロチャネル 410 を介して流れる流体は、マイクロチャネル 410 を流れた後に、アウトレット流路 412 に容易に流れ上がる。

30

【0053】

図には示さないが、変形例として、中間層 104（図 3B）は、マニホールド層 406 及び接触層 402 の間に配設してもよい。中間層 104（図 3B）は、接触層 402 内の指定された接触層ホットスポット領域に流体を流通させる。更に、中間層 104（図 3B）を用いて、接触層 402 に流体の均一なフローを供給することができる。また中間層 104 を用いて、接触層 402 の接触層ホットスポット領域に流体を提供し、ホットスポット

40

50

を適切に冷却し、熱源 9 9 における温度を均一にすることができる。インレット及びアウトレット流路 4 1 1、4 1 2 は、必ずしも必要ではないが、適切にホットスポットを冷却するために、熱源 9 9 のホットスポット上又はその近傍に配設される。

【 0 0 5 4 】

図 7 A は、本発明に基づく他の接触層 1 0 2 を備える他のマニホールド層 4 0 6 の分解図である。接触層 1 0 2 は、図 3 B に示すように、マイクロチャネル壁 1 1 0 の連続した構成を含んでいる。この構成では、概略的に言えば、図 3 B に示す好適なマニホールド層 1 0 6 と同様に、流体は、流体ポート 4 0 8 を介してマニホールド層 4 0 6 に流入し、流路 4 1 4 を移動し、流体フィンガ又は流路 4 1 1 に向かう。流体は、インレットフィンガ 4 1 1 の開口 (opening) に流入し、矢印によって示すように、X - 方向に、フィンガ 4 1 1 の長さに沿って流れる。更に、流体は、Z - 方向に、マニホールド層 4 0 6 の下に設けられた接触層 4 0 2 に流れ下る。図 7 A に示すように、接触層 4 0 2 において、流体は、接触層 4 0 2 の X 及び Y 方向の底面に沿って流れ、熱源 9 9 と熱交換を行う。加熱された流体は、アウトレットフィンガ 4 1 2 を介して Z - 方向を上向きに流れ上がって接触層 4 0 2 から流出し、アウトレットフィンガ 4 1 2 は、X - 方向に沿って、マニホールド層 4 0 6 の流路 4 1 8 に加熱された流体を流す。そして、流体は、流路 4 1 8 に沿って流れ、ポート 4 0 9 から流れ出ることによって熱交換器から排出される。10

【 0 0 5 5 】

図 7 A に示すように、接触層は、一組のマイクロチャネル 4 1 0 間に配置された一連の溝 4 1 6 を備え、これらの溝 4 1 6 によって、流体は、流路 4 1 1、4 1 2 へ流れ込み及び流路 4 1 1、4 1 2 から流れ出る。詳しくは、溝 4 1 6 A は、他のマニホールド層 4 0 6 のインレット流路 4 1 1 の真下に位置し、これにより、接触層 4 0 2 に入る流体は、インレット流路 4 1 1 を介して、溝 4 1 6 A に隣接するマイクロチャネルに直接流入する。このように、溝 4 1 6 A により、流体は、図 5 に示すように、インレット流路 4 1 1 から特定の指定された流路に直接流通される。同様に接触層 4 0 2 は、Z 方向に、アウトレット流路 4 1 2 の真下に設けられた溝 4 1 6 B を有する。これにより、アウトレット流路に向かってマイクロチャネル 4 1 0 に沿って水平に流れる流体は、溝 4 1 6 B に水平に流れ、及び溝 4 1 6 B の上のアウトレット流路 4 1 2 に垂直に流れる。20

【 0 0 5 6 】

図 6 A は、マニホールド層 4 0 6 及び接触層 4 0 2 を備える熱交換器 4 0 0 の断面図である。詳しくは、図 6 A は、アウトレット流路 4 1 2 と相互に組み合わされたインレット流路 4 1 1 を示しており、これにより、流体は、インレット流路 4 1 1 に流れ下り、及びアウトレット流路 4 1 2 に流れ上がる。更に、図 6 A に示すように、流体は、インレット流路及びアウトレット流路の間に配置され、溝 4 1 6 A、4 1 6 B によって分離されたマイクロチャネル 4 1 0 を介して水平に流れる。これに代えて、マイクロチャネル壁は、マイクロチャネルによって分離されず、連続していてもよい (図 3 B)。図 6 A に示すように、インレット及びアウトレット流路 4 1 1、4 1 2 の両方又は一方は、溝 4 1 6 の近くの位置の端部に曲面 4 2 0 を有する。この曲面 4 2 0 により、流体は、流路 4 1 1 に隣接するマイクロチャネル 4 1 0 に向かって、流路 4 1 1 を流れ下る。このように、接触層 1 0 2 に入る流体は、溝 4 1 6 A に直接流入させるより、より容易にマイクロチャネル 4 1 0 に向かって流れる。同様にアウトレット流路 4 1 2 の曲面 4 2 0 によって、流体は、マイクロチャネル 4 1 0 から外側の流路 4 1 2 に向けられる。3040

【 0 0 5 7 】

変形例では、図 7 B に示すように、接触層 4 0 2' は、マニホールド層 4 0 6 (図 8 及び図 9) に関して上述したように、インレット流路 4 1 1 及びアウトレット流路 4 1 2 を備える。変形例では、流体は、ポート 4 0 8' から接触層 4 0 2' に直接供給される。流体は、流路 4 1 4' に沿って、インレット流路 4 1 1' に向けて流れる。次に、流体は、一組のマイクロチャネル 4 1 0' を横切り、熱源 (図示せず) と熱交換を行い、アウトレット流路 4 1 2' に流れ込む。次に、流体は、アウトレット流路 4 1 2' に沿って流路 4 1 8' に流れ、ポート 4 0 9' を介して、接触層 4 0 2' から排出される。ポート 4 0 8' 50

、409'は、構成される'接触層402'に形成してもよく、或いはマニホールド層406(図7A)に形成してもよい。

【0058】

なお、本発明に基づく熱交換器は、ここでは全てが水平方向に動作するように示しているが、この熱交換器は、垂直方向に動作してもよいことは、当業者にとって明らかである。熱交換器は、垂直方向に動作する場合、各インレット流路が隣接するアウトレット流路の上に位置するように構成される。したがって、流体は、インレット流路を介して接触層に入り、アウトレット流路に自然に流れ込む。熱交換器を垂直方向に動作させるために、マニホールド層及び接触層の他の如何なる構成を用いてもよいことは明らかである。

【0059】

図8A～図8Cは、本発明に基づく熱交換器の他の実施形態の平面図である。詳しくは、図8Aは、本発明に基づく他のマニホールド層206の平面図である。また、図8B及び図8Cは、それぞれ中間層204及び接触層202の平面図である。更に、図9Aは、他のマニホールド層206を用いた三層式熱交換器を示し、図9Bは、他のマニホールド層206を用いた二層式熱交換器を示す。

【0060】

図8A及び図9Aに示すように、マニホールド層206は、水平及び垂直に構成された複数の流体ポート208を備える。これに代えて、流体ポート208は、マニホールド層206に対して斜めに又は他の如何なる方向に配設してもよい。流体ポート208は、熱交換器200の所定の接触層ホットスポット領域に流体を効果的に提供するよう、マニホールド層206内の選択された位置に配設される。複数の流体ポート208は、熱交換器200に大きな圧力降下を発生させることなく、流体ポートから特定の接触層ホットスポット領域に直接流体を提供できるという重要な利点を有している。更に、流体ポート208は、接触層ホットスポット領域内の流体が、排出ポート208までの最短距離距離を移動できるように、マニホールド層206内に配設され、これにより、流体は、インレット及びアウトレットポート208の間で最小の圧力降下を維持しながら、温度均一性を実現する。更に、マニホールド層206を用いることにより、接触層202に亘って均等に均一なフローを提供しながら、熱交換器200内の二相フローを安定化できる。なお、これに代えて、2つ以上のマニホールド層206を熱交換器200に設け、一方のマニホールド層206が熱交換器200へ及び熱交換器200から流体を流通させ、他方のマニホールド層(図示せず)が熱交換器200への流体循環の速度を制御するようにしてもよい。これに代えて、複数のマニホールド層206の全てが、接触層202内の対応する選択された接触層ホットスポット領域に流体を循環させるようにしてもよい。

【0061】

変形例として示すマニホールド層206は、接触層202の寸法に対応する横寸法を有する。更に、マニホールド層206は、熱源99と同じ寸法を有している。これに代えて、マニホールド層206は、熱源99より大きくてよい。マニホールド層206の垂直寸法は、0.1～10ミリメートルの範囲内とするとよい。更に、流体ポート208に連結されるマニホールド層206内のアバーチャの寸法は、1ミリメートルから熱源99の全幅又は全長の間の範囲内とするとよい。

【0062】

図11は、本発明に基づく他のマニホールド層206を有する三層式熱交換器200の一部を切欠いて示す透視図である。図11に示すように、熱交換器200は、熱源99のボディに沿って発生する熱量に基づいて個別の領域に分割される。これらの領域は、垂直な中間層204及び/又は接触層202のマイクロチャネル壁構造体210によって分離される。但し、当業者には明らかであるが、本発明の構成は、図11に示すアセンブリに制限されず、このアセンブリは、例示的な目的のために示しているに過ぎない。熱交換器200は、1つの以上のポンプに連結され、一方のポンプは、インレット208Aに連結され、他方のポンプは、インレット208Bに連結されている。

【0063】

10

20

30

40

50

図3に示すように、熱源99は、位置Aのホットスポットと、位置Bのウォームスポットとを有し、位置Aのホットスポットは、位置Bのウォームスポットより高い熱を発生する。なお、熱源99は、如何なる時刻及び如何なる位置において、2つ以上のホットスポット及びウォームスポットを有していてもよいことは明らかである。この具体例では、位置Aがホットスポットであり、位置Aから、より多くの熱が位置A上の接触層202(図11では、接触層ホットスポット領域Aとして示している。)に輸送されるので、熱交換器200では、位置Aを適切に冷却するために、より多くの流体及び/又はより高い流量の流体を接触層ホットスポット領域Aに提供する。なお、この具体例では、接触層ホットスポット領域Bは、接触層ホットスポット領域Aより大きく示されているが、熱交換器200内の接触層ホットスポット領域A、B及び他のあらゆる接触層ホットスポット領域は、如何なるサイズを有していてもよく及び/又は相対的に如何なる構成を有していてもよいことは明らかである。

10

20

30

【0064】

これに代えて、図11に示すように、流体は、流体ポート208Aを介して熱交換器に入り、中間層204に沿って流入導管205Aに流れることによって接触層ホットスポット領域Aに流入させてもよい。次に、流体は、流入導管205AをZ-方向に流れ下り、接触層202の接触層ホットスポット領域Aに至る。流体は、マイクロチャネル210Aの間を流れ、これにより、位置Aからの熱は、接触層202を介した熱伝導によって、流体に輸送される。加熱された流体は、接触層ホットスポット領域A内の接触層202に沿って、アウトレットポート209Aに向かって流れ、熱交換器200から排出される。特定の接触層ホットスポット領域又は一組の接触層ホットスポット領域について、如何なる数のインレットポート208及びアウトレットポート209を用いてもよいことは、当業者にとって明らかである。更に、排出ポート209Aは、接触層202Aの近くに配設されているが、これに代えて、排出ポート209Aは、以下に限定されるものではないが、例えばマニホールド層209B等の他の如何なる位置に垂直に配設に設けてもよい。

20

30

【0065】

また、図11に示す具体例では、熱源99は、熱源99の位置Aより低い熱を発生するウォームスポットを位置Bに有している。ポート208Bを介して流入する流体は、中間層204Bに沿って流入導管205Bに流れることによって、接触層ホットスポット領域Bに供給される。次に、流体は、流入導管205BをZ-方向に流れ下り、接触層202の接触層ホットスポット領域Bに至る。流体は、X方向及びY方向に、マイクロチャネル210Aの間を流れ、これにより、位置Bからの熱は、接触層202を介した熱伝導によって、流体に輸送される。加熱された流体は、中間層204の流出導管205Bを介して接触層ホットスポット領域B内の全体の接触層202Bに沿って、排出ポート209BをZ方向に流れ上がり、熱交換器200から排出される。

30

【0066】

これに代えて、図9Aに示すように、熱交換器200は、接触層202上に配設された蒸気透過膜214を備えていてもよい。蒸気透過膜214は、熱交換器200の内壁に封水的に接觸している。蒸気透過膜214は、幾つかの小さいアーバーチャを有し、接触層202に沿って発生した蒸気は、このアーバーチャを介してアウトレットポート209に流入する。また、膜214は、疎水性を有するように構成され、これにより、膜214は、接触層202に沿って流れる液体がアーバーチャを通り抜けることを防いでいる。蒸気透過膜214のこの他の詳細については、2003年2月12日に出願された、同時に係属中である米国特許出願番号第10/366,128号、発明の名称、「蒸気透過マイクロチャネル熱交換器(VAPOR ESCAPE MICROCHANNEL HEAT EXCHANGER)」に開示されており、この文献は、引用により本願に援用されるものとする。

40

【0067】

図12Aは、本発明に基づく好適な熱交換器300の分解図である。図12Bは、本発明に基づく他の熱交換器300'の分解図である。図12A及び図12Bに示すように、熱交換器300、300'は、接触層302、302'及びこれらに連結されるマニホール

50

ド層 306、306' を備える。上述のように、熱交換器 300、300' は、熱源（図示せず）に連結されていてもよく、熱源と一体に構成されていてもよい（例えば、マイクロプロセッサに組み込まれていてもよい）。なお、接触層 302、302' は、実質的に外部には露出しないが、図 12A では、説明のために、接触層 302、302' を露出させて示していることは当業者にとって明らかである。好ましくは、接触層 302、302' は、底面 301 に沿って配設された複数のピラー 303 を備える。更に、ピラー 303 は、図 10A～図 10E を用いて説明したように、如何なる形状を有していてもよく、及び／又は放射状に構成されたフィン 303E を設けててもよい。更に、接触層 302 は、（例えば、マイクロチャネル、粗い表面等）上述した他の如何なる特徴を有していてもよい。接触層 302 及び接触層 302' 内の構造体は、好ましくは、好適な実施形態に関して上述したように、同じ熱伝導率特性を有し、ここでは同じ説明は繰り返さない。ここに示す具体例では、接触層 302 は、マニホールド層 306 に比べて小さな寸法を有しているが、接触層 302 及びマニホールド層 306 の寸法は、互いに及び熱源 99 に対して、他の如何なる関係を有していてもよいことは当業者にとって明らかである。接触層 302、302' は、上述した接触層と同じ特性を有しており、ここでは同じ説明は繰り返さない。

10

20

30

40

【0068】

多くの場合、好適な熱交換器 300 は、マニホールド層 306 の輸送チャネル（delivery channels）322 を用いて、熱交換器内での圧力降下を最小化する。輸送チャネル 322 は、マニホールド層 306 内で垂直方向に配設され、接触層 302 に垂直に流体を供給して、熱交換器 300 での圧力降下を低減する。上述のように、流体が少なくない時間及び／又は距離に亘って、接触層に沿って X 方向及び Y 方向に流れると、熱交換器 300 において圧力降下が発生又は上昇する。マニホールド層 306 は、幾つかの輸送チャネル 322 によって、接触層 302 に垂直に流体を長くことによって、X 方向及び Y 方向におけるフローを最小化する。換言すれば接触層 302 には、上方から、流体が個別に直接吹き付けられる。輸送チャネル 322 は、相互に最適な距離に配設され、これにより、X 方向及び Y 方向の流体の流れを最小限にし、多くが接触層 302 に対して垂直に流れるようとする。したがって、最適に配置されたチャネル 322 からの個々の流路の力により、流体は、接触層 302 から離れる上向きの方向に流れる。更に、個々のチャネル 322 は、接触層 302 内で流量を幾つかのチャネル 322 に最大限に分割し、これにより、熱源 99 を効果的に冷却しながら、熱交換器 300 における圧力降下を低減させることができる。更に、好適な熱交換器 300 の構成では、熱源 99 を適切に冷却するために、流体が水平方向である X 方向及び Y 方向に移動する距離を短くできるので熱交換器 300 は、他の熱交換器より小さくすることができる。

【0069】

図 12A に示す好適なマニホールド層 306 は、2 つの独立したレベルを有している。具体的には、マニホールド層 306 は、レベル 308 及びレベル 312 を有している。レベル 308 は、接触層 302 及びレベル 312 に連結されている。図 12A では、レベル 312 は、レベル 308 の上に配設されているが、レベル 308 をレベル 312 の上に配設してもよいことは当業者にとって明らかである。また、本発明に基づいて、幾つのレベルを設けてもよいことも当業者にとって明らかである。

【0070】

図 12B に変形例として示すマニホールド層 306' は、3 つの独立したレベルを有する。具体的には、マニホールド層 306' は、循環レベル 304'、レベル 308' 及びレベル 312' を有している。循環レベル 304' は、接触層 302' 及びレベル 308' に連結されている。レベル 308' は、循環レベル 304' 及びレベル 312' に連結されている。図 12B では、レベル 312' は、レベル 308' の上に配設されているが、レベル 308' をレベル 312' の上に配設してもよいことは当業者にとって明らかである。また、本発明に基づいて、幾つのレベルを設けてもよいことも当業者にとって明らかである。

図 12C は、本発明に基づく循環レベル 304' の斜視図である。循環レベル 304'

50

は上面 304A' 及び底面 304B' を有する。また、図 12B 及び図 12C に示すように、循環レベル 304' は内には、幾つかのアーチャ 322' が開設されている。一実施形態においては、アーチャ 322' の開口は、底面 304B' と同一平面に設けられる。これに代えてアーチャ 322' は、底面 304B' を超えて突出し、より近くから接触層 302' に流体を供給するようにしてよい。更に、循環レベル 304' は、上面 304A' から底面 304B' に垂直に貫通する幾つかのアーチャ 324' 有していてもよく、アーチャ 324' は、Z- 方向に、所定の距離だけ突出してもよい。或いは、アーチャ 322'、324' は、循環レベルにおいて、所定の角度で延びていてもよく、完全に垂直である必要はないことは当業者にとって明らかである。上述のように、一実施形態では、接触層 302' (図 12B) は、循環レベル 304' の底面 304B' に連結される。このように、流体は、Z- 方向にアーチャ 322' を介して接触層 302' に流入し、Z- 方向にアーチャ 324' のみを介して、接触層 302' から排出される。後述するように、アーチャ 322' を介して接触層 302' に入る流体は、循環レベル 304' のアーチャ 324' を介して接触層 302' から排出される流体とは分離される。

10

20

30

40

50

【0071】

図 12C に示すように、アーチャ 324' の一部は、好ましくは、循環レベル 304' の上面 304A' から、Z- 方向に延びる筒状の部材を有し、これにより、流体は、アーチャ 324' を介して、レベル 312' のコリダ 326' (図 12F 及び図 12G) に直接流れる。筒状の突起の断面は、図 12C のように円形であることが好ましいが、この形状は如何なる形状であってもよい。なお、流体は、接触層 302' に沿って各アーチャ 322' から隣接するアーチャ 324' に水平方向及び垂直方向に流れる。アーチャ 322' 及びアーチャ 324' は、互いに熱的に絶縁することが好ましく、これにより、マニホールド層 306' を介して接触層 302' から排出された加熱された流体からの熱は、マニホールド層 306' を介して接触層 302' に注ぐ冷却された流体に伝播しない。

【0072】

図 12D は、本発明に基づくレベル 308 の好適な実施形態を示している。図 12D に示すように、レベル 308 は、上面 308A 及び底面 308B を有している。好ましくは、レベル 308 の底面 308B は、図 12A に示すように、接触層 302 に直接連結される。レベル 308 は、窪んだコリダ 320 を備え、コリダ 320 は、好ましくは、流体を接触層 302 に供給する数個の流体輸送チャネル 322 を備える。窪んだコリダ 320 は、接触層 302 に封水的に接触し、接触層 302 から排出される流体は、コリダ 320 内のチャネル 322 の周り及びチャネル 322 間を流れ、ポート 314 を介して外に排出される。なお、接触層 302 から排出される流体は、輸送チャネル 322 には流入しない。

【0073】

図 12E は、本発明に基づくレベル 308' の裏面の斜視図である。レベル 308' は、上面 308A' 及び底面 308B' を有し、レベル 308' の底面 308B' は、循環レベル 304' (図 12C) に直接連結される。レベル 308' は、好ましくは、ポート 314'、コリダ 320' 及び底面 308B' 側の複数のアーチャ 322'、324' を有する。レベル 308' に幾つのポート及びコリダを設けてよいことは当業者にとって明らかである。図 12E に示すアーチャ 322'、324' は、循環レベル 304' に面するように構成される。具体的には、図 12E に示すように、アーチャ 322' は、コリダ 320' に流入する流体を接触層 302' に流し、アーチャ 324' は、接触層 302' からの流体をレベル 312' に流す。アーチャ 324' は、レベル 308' のコリダ 320' を貫通して延びている。アーチャ 324' は、個別に分離され、これにより、アーチャ 324' を介して流れる流体は、アーチャ 324' に関連するシリンドラを介して流れる流体に接触したり混じり合ったりすることはない。また、各アーチャ 324' を分離することにより、各アーチャ 324' を介して流れ込む流体が、アーチャ 324' によって提供される流路に沿って流れることを確実にすることができます。

アパー・チャ 324' は、垂直に構成することが好ましい。これにより、流体は、マニホールド層 306' の大部分において、垂直に流れる。特に、接触層及びレベルの間にアパー・チャ 322' を設ける場合、アパー・チャ 322' にも同様の手法を適用できることは明らかである。

【0074】

この具体例では、各アパー・チャ又は孔 322 は、同じサイズを有しているが、各アパー・チャ 322 は、長さに沿って異なる又は変化する径を有していてもよい。例えば、ポート 314 に近いアパー・チャ 322 の径を小さくし、ここを通る流量を制限してもよい。アパー・チャ 322 を小さくすると、流体は、ポート 314 から遠い、アパー・チャ 322 の下側に流れやすくなる。アパー・チャ 322 の径をこのように変化させることにより、流体を接触層 302 に、より一様に供給することができる。接触層 302 における既知の接触層ホットスポット領域を効果的に冷却するためにアパー・チャ 322 の径を変更してもよいことは当業者にとって明らかである。上の説明は、アパー・チャ 324' にも適用でき、アパー・チャ 324' の寸法を異ならせ又は変化させて、接触層 302 から流出する流体を一定にしてもよいことは当業者にとって明らかである。

【0075】

好適な実施形態では、ポート 314 は、レベル 308 及び接触層 302 に流体を提供する。図 12D に示すポート 314 は、好ましくは、上面 308A から、レベル 308 のボディの一部を介してコリダ 320 に延びる。これに代えてポート 314 は、レベル 308 の側面又は底面からコリダ 320 に接続されてもよい。好ましくは、ポート 314 は、レベル 312 (図 12A、図 12B) においてポート 315 に連結される。ポート 314 は、図 12C に示すように、密閉され、又は図 12D に示すように、窪みとして形成されたコリダ 320 に接続される。コリダ 320 は、好ましくは、接触層 302 からポート 314 に流体を流す役割を果たす。或いは、コリダ 320 は、ポート 314 から接触層 302 に流体を流す。

【0076】

図 12F 及び図 12G に示すように、レベル 312 のポート 315 は、好ましくは、ポート 314 に揃えられ、接続される。図 12A に示すように、流体は、好ましくは、ポート 316 を介して熱交換器 300 に流入し、コリダ 328 を介して、レベル 308 の輸送チャネル 322、そして最終的に接触層 302 に流れ下る。或いは、図 12B に示すように、流体は、好ましくは、ポート 315' を介して、熱交換器 300' に流入し、レベル 308' のポート 314' を介して、接触層 302' に流れる。図 12F に示すポート 315 は、好ましくは、上面 312A からレベル 312 のボディに延びる。これに代えてポート 315 は、レベル 312 の側面から延ばしてもよい。これに代えて、レベル 312 は、ポート 315 を有していないなくてもよく、この場合、流体は、ポート 314 (図 12D 及び図 12E) を介して熱交換器 300 に入る。更に、レベル 312 は、ポート 316 を備え、ポート 316 は、好ましくは、コリダ 328' に流体を流す。このレベルは、幾つのポート及びコリダを含んでいてもよいことは当業者にとって明らかである。コリダ 328 は、好ましくは、輸送チャネル 322 から、最終的に接触層 302 に流体を流通させる。

【0077】

図 12G は、本発明に基づくレベル 312' の変形例の裏面の斜視図である。レベル 312' は、好ましくは、図 12E に示すレベル 308' に連結される。図 12F に示すように、レベル 312' は、底面 312B' に沿って露出する窪んだコリダ 328' をボディ内に備えている。窪んだコリダ 328' は、ポート 316' に接続され、流体は、窪んだコリダ 328' からポート 316' に直接移動する。窪んだコリダ 328' は、レベル 308' の上面 308A' の上に配設され、これにより、流体は、アパー・チャ 324' からコリダ 328' に自由に移動することができる。窪んだコリダ 320' 及び底面 312B' の周囲はレベル 312' の上面 308A' に対して密封されており、これにより、アパー・チャ 324' からの流体の全てがコリダ 328' を介してポート 316' に流入する。底面 312B' の各アパー・チャ 330' は、レベル 308' (図 12E) のアパー・チャ

10

20

30

40

50

321'に拘えられ、接続され、アパー チャ 330'は、レベル レベル 308'の上面 308A'（図 12E）と同一平面に設けられる。これに代えてアパー チャ 330'は、対応するアパー チャ 324'の直径より僅かに大きい直径を有していてもよく、これにより、アパー チャ 324'は、アパー チャ 330'を貫いてコリダ 328'に延びる。

【0078】

図 12H は、本発明に基づく図 12A の好適な熱交換器の線 H - H における断面を示している。図 12H に示すように、接触層 302 は、熱源 99 に連結される。上述のように、熱交換器 300 は、1 つのコンポーネントとして熱源 99 と一体に形成してもよい。接触層 302 は、レベル 308 の底面 308B に連結される。更に、レベル 312 は、好ましくは、レベル 308 に連結され、レベル 308 の上面 308A は、レベル 312 の底面 312B に対して密封されている。レベル 308 のコリダ 320 の周縁は、接触層 302 に接続されている。更に、レベル 312 のコリダ 328 は、レベル 308 のアパー チャ 322 に連結されている。レベル 312 の底面 312B は、流体が 2 つのレベル 308、312 間で漏れないように、レベル 308 の上面 308A に対して密封されている。

【0079】

図 12I は、本発明に基づく図 12B に示す熱交換器の変形例の線 I - I における断面を示している。図 12I に示すように、接触層 302' は、熱源 99' に連結されている。接触層 302' は、循環レベル 304' の底面 304B' に連結されている。また、循環レベル 304 は、レベル 308' に連結され、循環レベル 304' の上面 304A' は、レベル 308' の底面 308B' に対して密封されている。更に、レベル 312' は、好ましくは、レベル 308' に連結され、レベル 308' の上面 308A' は、レベル 312' の底面 312B' に対して密封されている。流体が 2 つのレベル 308'、304' 間で漏れないように、レベル 308' のコリダ 320' の周縁は、循環レベル 304' の上面 304A' のアパー チャに接続されている。更に、流体が 2 つのレベル 312'、308 間で漏れないように、レベル 312' のコリダ 328' の周縁は、循環レベル 308' の上面 308A' のアパー チャに接続されている。

【0080】

好適な動作では、図 12A 及び図 12H の矢印で示すように、冷却された流体は、レベル 312' のポート 316 を介して熱交換器 300 に入る。冷却された流体は、ポート 316 からコリダ 328 に流れ下り、更に輸送チャネル 322 を介して接触層 302 に注ぎ込まれる。コリダ 320 内の冷却された流体は、熱交換器 300 から排出される加熱された流体に接触したり混じり合ったりすることはない。接触層 302 に入る流体は、熱源 99 と熱交換を行い、熱源 99 から発生した熱を吸収する。アパー チャ 322 の構成は、熱源 99 を効果的に冷却するとともに、接触層 302 において、流体が X 方向及び Y 方向で最短距離を移動し、熱交換器 300 における圧力降下を最小化するように最適化される。加熱された流体は、接触層 302 からレベル 308 のコリダ 320 に、Z - 方向に流れ上がる。マニホールド層 306 から排出される加熱された流体は、マニホールド層 306 に流入する冷却された流体に接触したり混じり合ったりすることはない。加熱された流体は、コリダ 320 に流入し、ポート 314、315 を介して、熱交換器 300 から排出される。なお、本発明の範囲から逸脱することなく、図 12A 及び図 12H に示す方向とは反対の方向に流体を流してもよいことは当業者にとって明らかである。

【0081】

変形例における動作では、図 12B 及び図 12I の矢印で示すように、冷却された流体は、レベル 312' のポート 316' を介して熱交換器 300' に入る。冷却された流体は、ポート 315' からレベル 308' のポート 314' に流れ下る。次に、流体は、コリダ 320' に流れ込み、循環レベル 304' のアパー チャ 322' を介して接触層 302' に流れ下る。但し、コリダ 320' の冷却された流体は、熱交換器 300' から排出される加熱された流体に接触したり混じり合ったりすることはない。接触層 302' に入る流体は、熱源 99 と熱交換を行い、熱源 99 から発生した熱を吸収する。後述するよう、アパー チャ 322' 及びアパー チャ 324' の構成は、熱源 99 を効果的に冷却する

10

20

30

40

50

とともに、接触層 302' に沿って流体が各アーチャ 322' から隣接するアーチャ 324' まで、最短距離を移動し、この間の圧力降下を最小化するように最適化される。するように最適化される。加熱された流体は、レベル 308' を介して、接触層 302' から Z 方向に流れ上がり、幾つかのアーチャ 324' を介してレベル 312' のコリダ 328' に至る。加熱された流体は、アーチャ 324' を流れ上がる際、マニホールド層 306' に流入する冷却された流体に接触したり混じり合ったりすることはない。加熱された流体は、レベル 312' のコリダ 328' に入り、ポート 316' を介して熱交換器 300' から排出される。なお、本発明の範囲から逸脱することなく、図 12B 及び図 12I に示す方向とは反対の方向に流体を流してもよいことは当業者にとって明らかである。

10

【0082】

好適なマニホールド層 306 では、アーチャ 322 は、熱源 99 を適切に冷却しながら、流体が接触層 302 を流れる距離を最短にするように構成される。変形例として示すマニホールド層 306' では、アーチャ 322' 及びアーチャ 324' は、流体が接触層 302' を流れる距離を最短にするように構成される。具体的には、アーチャ 322' 及び 324' は、実質的に垂直な流路を提供し、熱交換器 300' における流路の長さは、水平方向である X 方向及び Y 方向において最短にされる。これにより、熱交換器 300'、300' は、熱源 99 を適切に冷却するとともに、流体が流れる距離を大幅に短縮し、したがって、熱交換器 300'、300' 及びシステム 30'、30' (2A-2B について計算する) 内における圧力降下を大幅に低減させることができる。アーチャ 322 及び / 又はアーチャ 324 の特定の構成及び断面寸法は、以下に限定されるものではないが、例えば、フロー条件、温度、熱源 99 から発生する熱量、流体の流量等の様々な要素に基づいて決定される。なお、以下、アーチャ 322、324 に関する説明を行うが、この説明は、アーチャ 322 又はアーチャ 324 の何れか一方のみに適用してもよい。

20

【0083】

アーチャ 322、324 は、熱源 99 を所望の温度に適切に冷却するとともに、圧力降下を最小化するように、互いから最適な距離だけ離間して配設される。アーチャ 322 及び / 又はアーチャ 324 の構成及び最適な距離の好適な実施形態では、個々のアーチャの寸法及び位置を変えることによって、アーチャ 322、324 及び多くの場合接触層 302 を介した流路を個別に最適化できる。更に、好適な実施形態におけるアーチャの構成により、接触層に入る流体の全流量及び各アーチャ 322 を介して流入する流体によって冷却される面積を最適化することができる。

30

【0084】

一実施形態においては、アーチャ 322、324 は、図 13 及び 14 に示すように、マニホールド層 306 において、交互の構成、すなわち市松模様状のパターンで構成してもよい。アーチャ 322、324 は、それぞれ流体が市松模様状のパターン内で移動する必要がある最短距離だけ離間して配設される。但し、アーチャ 322、324 は、十分な時間、接触層 302 に冷却液を供給するために十分な距離だけ、互いから離間している必要がある。図 13 及び図 14 に示すように、接触層 302 に入る流体が接触層 302 から排出される前に、接触層 302 に沿って最短距離を移動するために、1 つの以上のアーチャ 322 を対応する数のアーチャ 324 に隣接させ、またこの逆も成立するような構成とすることが好ましい。このため、図 13 及び図 14 に示すように、アーチャ 322、324 は、互いの周囲に放射状に配置され、流体が全てのアーチャ 322 から最も近いアーチャ 324 に、最短距離を移動するようになるとよい。例えば、図 13 に示すように、1 つの特定のアーチャ 322 を介して接触層 302 に入る流体は、隣接するアーチャ 324 までに、最小の抵抗を受けることになる。更に、アーチャ 322、324 の断面は円形であることが好ましいが、この断面は、他の如何なる形状であってもよい。

40

【0085】

更に、上述のように、先に説明した図に示すアーチャ 324 は、筒状の部材として、

50

循環レベル304又はレベル308、312から突出しているが、アパーイヤは、マニホールド層306の何れのレベルからも突出していなくてもよい。また、マニホールド層306は、流体が方向を変える領域の付近に丸められた表面を有していることが好ましく、これにより、熱交換器300における圧力降下の低減の効果を高めることができる。

【0086】

アパーイヤ322、324の寸法及び最適な距離構成は、流体が接触層302に沿って晒される温度の高さに依存する。また、アパーイヤ322、324における流路の断面寸法は、熱交換器300での圧力降下を低減させるために十分な大きさを有する必要がある。接触層302に沿って流体が単相流の状態のみである場合、各アパーイヤ322は、好ましくは、図13に示すように、対称性を有する六角形の構成で複数の隣接するアパーイヤ324に囲まれる。更に、単相流の場合、循環レベル304におけるアパーイヤの数は、略々等しいことが望ましい。更に、単相流の場合、アパーイヤ322、324は、好ましくは、同じ直径を有することが好ましい。但し、アパーイヤ322、324の構成及び比率は、これに上述の実施形態に限定されないことは当業者にとって明らかである。

【0087】

接触層302に沿って、流体が二相流状態となる場合、アパーイヤ322、324は、二相流の加速度に対応するために、非対称構成にすることが望ましい。但し、二相流の場合であってもアパーイヤ322、324を対称的な構成としてもよい。例えば、循環レベル304において、アパーイヤ322、324を対称的に配置し、アパーイヤ324の開口をアパーイヤ322の開口より大きくしてもよい。これに代えて二相流について、循環レベル304において、図13に示す六角形の対称的な構成を用いて、循環レベル304において、アパーイヤ324の数をアパーイヤ322よりも多くしてもよい。

【0088】

なお、循環レベル304のアパーイヤ322、324を交互に配置して、熱源99のホットスポットを冷却してもよい。すなわち、例えば、循環レベル304において、2つのアパーイヤ322を互いに隣接させて交互に配置し、両方のアパーイヤ322を接触層ホットスポット領域又は接触層ホットスポット領域近傍の上に位置するように構成してもよい。両方のアパーイヤ322に適切な数のアパーイヤ324を隣接して配置し、接触層302での圧力降下を減少させることは言うまでもない。したがって、2つのアパーイヤ322は、接触層ホットスポット領域に冷たい流体を供給し、上述のように、接触層ホットスポット領域を均一で実質的に等しい温度に冷却する。

【0089】

上述のように、好適な熱交換器300は、他の熱交換器に対して重要な利点を有している。好適な熱交換器300の構成では、垂直な流路を用いるために、圧力降下が低減されるため、比較的性能が低いポンプを用いることができる。更に、好適な熱交換器300の構成により、接触層302に沿ってインレット及び流路を個別に最適化することができる。更に、個別のレベルによって、カスタマイズ可能な設計が実現され、熱輸送の均質性、圧力降下の低減、及び個々のコンポーネントの寸法を最適化することができる。また、好適な熱交換器300の構成により、流体が二相流状態となるシステムにおける圧力降下を低減することができ、したがって、この構成は、単相流システム及び二相流システムの何れでも用いることができる。更に、後述するように、好適な熱交換器は、多くの異なる製造方法に対応し、公差を補正するためにコンポーネントの幾何学的構造を調整することができる。

【0090】

以下、熱交換器100及び熱交換器100の個々の層を製造及び組立方法を説明する。以下では、説明を簡潔にするために、本発明に基づく好適な及び代替の熱交換器について、図3Bの熱交換器100及びその個々の層を用いて説明する。また、以下では、本発明に関連して組立/製造の詳細を説明するが、この組立及び製造の詳細は、図1A-図1Cに示すような1つの流体インレットポートと、1つの流体アウトレットポートとを用いる二層式熱交換器及び三層式熱交換器、並びに従来の熱交換器にも同様に適用されること

、当業者にとって明らかである。

【0091】

接触層は、好ましくは、熱源99に等しい又は近似する熱膨張率 (coefficient of thermal expansion: 以下、CTEという。) を有する。これにより、接触層は、好ましくは、熱源99の伸縮に応じて同様に伸縮する。これに代えて、接触層302の材料は、熱源99の材料のCTEとは異なるCTEを有していてもよい。シリコン等の材料から作成された接触層302は、熱源99のCTEに対応するCTEを有し、及び熱源99から流体に適切に熱を輸送するために十分な熱伝導率を有している。但し、これに代えて、熱源99のCTEに一致するCTEを有する他の材料を用いて接触層302を形成してもよい。

【0092】

接触層302は、熱源99がオーバーヒートしないように、熱源99と、接触層302に沿って流れる流体との間で十分な熱伝導を実現する高い熱伝導率を有することが好ましい。接触層302は、好ましくは、100W/m·K程度の高い熱伝導率を有する材料から形成される。但し、接触層302の熱伝導率は、100W/m·K以上でも以下でもよく、この値に制限されることは当業者にとって明らかである。

【0093】

好適な高い熱伝導率を達成するために、接触層102は、好ましくは、シリコン等の半導体基板から形成される。これに代えて、接触層は、これらに限定されるものではないが、単結晶誘電材料、金属、アルミニウム、ニッケル銅、コバー(Kovar:商標)、黒鉛、ダイヤモンド、これらの複合体及びあらゆる適切な合金を含む他の如何なる材料から作成してもよい。接触層302の他の材料としては、パターン化され又は成型された有機メッシュ(patterned or molded organic mesh)がある。

【0094】

図15に示すように、接触層302は、接触層302の材料を保護し、及び接触層302の熱交換特性を向上させるために、コーティング材料層112でコーティングする。具体的には、コーティング材料層112は、流体及び接触層302の間の化学的相互作用を防ぐ化学保護を提供する。例えば、アルミニウムから形成された接触層302は、これに接触する流体によって削られ、接触層302は、時間が経つにつれて劣化する虞がある。

【0095】

ここで、約25ミクロンのニッケル薄膜によるコーティング材料層112を接触層302の表面に電気メッキすることにより、接触層302の熱的性質を大幅に変化させることなく、化学的な如何なる潜在的反応も防止することができる。なお、接触層302の材料に応じて、適切な層厚を有する他の如何なるコーティング材料を用いてもよいことは明らかである。P38接触層302は、好ましくは、接触層302を保護するために、ニッケル薄膜でコーティングされた銅材をエッチング加工することによって形成される。これに代えて、接触層302は、アルミニウム、シリコン基板、プラスチック又は他の如何なる適切な材料から形成してもよい。また、熱伝導率が低い材料から形成されている接触層302は、接触層302の熱伝導率を向上させるために、適切なコーティング材料でコーティングするとよい。接触層を電気鋳造する一手法として、クロム又は他の適切な材料のシード層を接触層302の底面に沿って適用し、このシード層に適切な電圧の電気的接続を適用してもよい。この電気的接続により、接触層302上に熱伝導性コーティング材料層112の層が形成される。また、電気鋳造法によって、10~100ミクロンの範囲の様々な構造体を形成することができる。接触層302は、パターン化された電気メッキ等の電気鋳造法によって形成できる。更に、これに代えて、接触層は、光化学エッチング又は化学切削を単独で、又はこれと電気鋳造法とを組み合わせて形成してもよい。化学切削のための標準リゾグラフィセットを用いて、接触層302内の構造を加工してもよい。更に、レーザで補助された化学切削処理を用いることで、アスペクト比を変更し及び公差の精度を高めることができる。

【0096】

上述したピラー303は、様々な手法で製造できる。但し、ピラー303は、高い熱伝

10

20

30

40

50

導率を有するように形成する必要がある。好ましくは、ピラー 303 は、例えば、銅等の非常に熱伝導率が高い材料で形成する。但し、ここで、例えば、シリコン等の他の材料を用いてもよいことは、当業者にとって明らかである。ピラー 303 は、以下に限定されるものではないが、例えば、電気鋳造、放電加工ワイヤ法、スタンピング、MIM 及び機械加工を含む様々な手法で形成できる。更に、のこ盤及び / 又はフライス盤を用いた切断によって、接触層 302 を所望の構成に形成してもよい。シリコン製の接触層 302 の場合、ピラー 303 は、接触層 302 におけるピラー 303 の必要なアスペクト比 303 に応じて、例えば、プラズマエッティング、ソーリング、リトグラフによるパターニング、様々なウエットエッティング等、様々な手法で形成することができる。放射状に構成された矩形フィン 303E (図 10E) は、リトグラフによるパターニングを用いて形成でき、リトグラフによって確定された鋳型内では、プラズマエッティング又は電気メッキ法を採用することができる。

【0097】

変形例においては、接触層 302 において用いられるマイクロチャネル壁 110 をシリコンから形成する。また、これに代えて、マイクロチャネル壁 110 は、以下に限定されるものではないが、パターン化されたガラス、ポリマ及び成型されたポリマメッシュを含む他の如何なる材料で形成してもよい。マイクロチャネル壁 110 は、接触層 102 の底面 103 の材料と同じ材料から形成されているが、これに代えて、マイクロチャネル壁 110 は、接触層 102 の他の部分の材料とは異なる材料から形成してもよい。

【0098】

変形例では、マイクロチャネル壁 110 は、少なくとも 10 W / m - K の熱伝導率特性を有する。これに代えて、マイクロチャネル壁 110 は、10 W / m - K より大きい熱伝導率特性を有していてもよい。当業者にとって明らかであるが、これに代えて、マイクロチャネル壁 110 は、10 W / m - K 未満の熱伝導率特性を有していてもよく、この場合、図 15 に示すように、マイクロチャンネル壁 110 の熱伝導率を向上させるために、マイクロチャネル壁 110 にコーティング材料層 112 を適用するとよい。また、既に高い熱伝導率を有する材料から形成されたマイクロチャネル壁 110 に対して、マイクロチャネル壁 110 の表面を保護する少なくとも 25 ミクロンの厚さのコーティング材料層 112 を適用してもよい、熱伝導率が低い材料から形成されたマイクロチャネル壁 110 については、少なくとも 50 W / m - K の熱伝導率と、25 ミクロン以上の厚さを有するコーティング材料層 112 を適用するとよい。他の種類及び他の厚さのコーティング材料を用いてもよいことは当業者にとって明らかである。

【0099】

少なくとも 10 W / m - K の適切な熱伝導率を有するマイクロチャネル壁 110 を形成するためには、マイクロチャネル壁 110 は、例えば、ニッケル又は上述した他の金属のコーティング材料層 112 (図 15) によって電気鋳造される。また、少なくとも 50 W / m - K の適切な熱伝導率を有するマイクロチャネル壁 110 を形成するためには、マイクロチャネル壁 110 は、薄膜金属フィルムシード層上に銅を電気メッキすることによって形成される。これに代えて、マイクロチャネル壁 110 をコーティング材料でコーティングしなくてもよい。

【0100】

マイクロチャネル壁 110 は、熱エンボシング法によって形成され、これにより、接触層 102 の底面 103 に沿ってチャネル壁 110 の高アスペクト比が実現される。これに代えて、マイクロチャネル壁 110 は、ガラス表面に蒸着されたシリコン構造体として形成してもよく、この構造体は、ガラス上で所望の構成にエッティングされる。また、これに代えて、マイクロチャネル壁 110 は、標準リゾグラフィ法、スタンピング又は鋳造法、又は他の如何なる適切な技術によって形成してもよい。また、マイクロチャネル壁 110 は、接触層 102 とは別に作成し、陽極結合又はエポキシ樹脂接着によって接触層 102 に連結してもよい。これに代えて、マイクロチャネル壁 110 は、電気メッキ等の従来の電鋳技術によって接触層 102 に連結してもよい。

10

20

30

40

50

【 0 1 0 1 】

中間層 104 は、様々な手法を用いて形成できる。中間層は、好ましくは、シリコンによって形成される。また、中間層には、以下に限定されるものではないが、ガラス又はレーザでパターン化されたガラス、ポリマ、金属、ガラス、プラスチック、成形された有機材料又はこれらの複合体を含む他の如何なる適切な材料を用いてもよいことは当業者にとって明らかである。これに代えて、中間層 104 は、プラズマエッティング技術を用いて形成してもよい。これに代えて、中間層 104 は、化学エッティング法を用いて形成してもよい。他の手法として、機械加工、エッティング、押出及び／又は鍛造等によって金属を所望の構成に形成してもよい。また、これに代えて、中間層 104 は、プラスチックメッシューの射出成形によって所望の構成に形成してもよい。これに代えて、中間層 104 は、ガラス板に対するレーザドリルによって所望の構成に形成してもよい。

10

【 0 1 0 2 】

マニホールド層 106 は、様々な手法で作成することができる。好適なマニホールド層 306 は、完全に一体に形成してもよい。これに代えて、図 12 に示すように、複数の独立した部品を形成した後、これらを連結して好適なマニホールド層 306 を形成してもよい。マニホールド層 106 は、プラスチック、金属、ポリマ複合体又は他の何らかの適切な材料を用いた射出成形法によって形成され、ここで、各層は、同じ材料から形成することが好ましい。これに代えて、上述したように、各層は、異なる材料から形成してもよい。マニホールド層 106 は、機械加工又はエッティング等の金属加工技術を用いて形成してもよい。マニホールド層 106 を他の如何なる適切な手法により形成してもよいことは当業者にとって明らかである。

20

【 0 1 0 3 】

中間層 104 は、様々な手法で接触層 102 及びマニホールド層 106 に連結され、これにより、熱交換器 100 が形成される。接触層 102、中間層 104 及びマニホールド層 106 は、陽極結合、接着材又は共晶結合法等によって互いに連結される。或いは、中間層 104 は、マニホールド層 106 及び接触層 102 の構造体内に一体に形成してもよい。中間層 104 は、化学結合処理によって接触層 102 に連結させてもよい。これに代えて、中間層 104 は、熱エンボシング又はソフトリソグラフィ技術によって形成してもよく、ここで、ワイヤ放電加工機 EDM 又はシリコンマスターを用いて中間層 104 をスタンプしてもよい。更に、必要であれば、中間層 104 を金属又は他の適切な材料で電気メッキし、中間層 104 の熱伝導率を向上させてもよい。

30

【 0 1 0 4 】

これに代えて、中間層 104 は、射出成形法によって、接触層 102 内のマイクロチャネル壁 110 の作成と同時に形成してもよい。これに代えて、他の何らかの適切な手法によって、マイクロチャネル壁 110 の作成と共に中間層 104 を形成してもよい。熱交換器を形成する他の手法としては、以下に限定されるものではないが、はんだ付け、融接、共晶接合、金属間接合 (intermetallic bonding) 及び各層で用いられる材料の種類に応じた他の如何なる適切な技術を用いてもよい。

40

【 0 1 0 5 】

本発明に基づく熱交換器の他の製造方法を図 16 に示す。図 16 に示すように、この熱交換器の他の製造方法は、接触層として、シリコン基板から形成されたハードマスクを製造する工程（ステップ 500）を有する。ハードマスクは、酸化シリコン又はスピノンガラスから形成される。一旦、ハードマスクを形成した後、ハードマスク内に複数のアンダーチャネル (under-channels) を形成する。これらのアンダーチャネルは、マイクロチャネル壁 110 間で流路を形成する（ステップ 502）。アンダーチャネルは、以下に限定されるものではないが、HF エッティング技術、化学切削、ソフトリソグラフィ、ニフッ化キセノンエッティング等の如何なる適切な手法によって形成してもよい。更に、隣接するアンダーチャネルが互いにブリッジされないように、各アンダーチャネル間には、十分な間隔を設ける必要がある。次に、何らかの周知の手法を用いて、ハードマスクの上面上に、スピノンガラスを設け、中間体及びマニホールド層を形成する（ステップ 504）。続

50

いて、橋かけ法 (curing method) によって、中間層及びマニホールド層を強化する (ステップ 506)。中間層及びマニホールド層を完全に形成し、強化した後に、この強化された層に 1 又は複数の流体ポートを形成する (ステップ 508)。流体ポートは、マニホールド層をエッティングし又は穿孔することによって形成される。以上、接触層 102、中間層 104 及びマニホールド層 106 を作成するための特定の手法を説明したが、当分野で周知の他の手法を用いて熱交換器 100 を製造してもよい。

【0106】

本発明に基づく熱交換器の変形例を図 17 に示す。図 17 に示す変形例では、2つの熱交換器 200、200' が 1 つの熱源 99 に連結されている。詳しくは、電子デバイス等の熱源 99 は、回路板 96 に連結され、垂直に配設され、熱源 99 の両面は、必然的に外部に晒される。本発明に基づく熱交換器 200、200' は、それぞれ、熱源 99 の晒された面に連結され、この熱交換器 200、200' によって、熱源 99 の冷却効率が最大化される。これに代えて、熱源が水平に回路板に連結されている場合、2つ以上の熱交換器 (図示せず) を熱源 99 上にスタックし、各熱交換器を熱源 99 に電気的に連結してもよい。この実施形態に関するこの他の詳細は、2002年2月7日に出願された、同時に係属中である米国特許出願第 10/072,137 号、発明の名称「電力調整モジュール (POWER CONDITIONING MODULE)」に開示されており、この文献は、引用により本願に援用される。

【0107】

図 17 に示す具体例では、2つの層を有する熱交換器 200 が熱源 99 の左側に連結され、3つの層を有する熱交換器 200' が熱源 99 の右側に連結されている。熱源 99 の何れの面に好適な又は代替の熱交換器を連結してもよいことは当業者にとって明らかである。また、変形例として、他の熱交換器 200' を熱源 99 の側面に連結してもよいことは当業者にとって明らかである、図 17 に示す変形例では、熱源 99 の厚さに沿って存在するホットスポットを冷却するように流体を供給することによって、熱源 99 のホットスポットをより正確に冷却することができる。すなわち、図 17 に示す実施形態では、熱源 99 の両面で熱交換を行うことによって、熱源 99 の中心でホットスポットを適切に冷却することができる。なお、図 17 に示す実施形態では、図 2A 及び図 2B の冷却装置 30 を用いているが、他の循環システムを用いてもよいことは当業者にとって明らかである。

【0108】

上述のように、熱源 99 は、熱源 99 において実行する必要がある異なるタスクのために、1 又は複数のホットスポットの位置が変化する場合がある。熱源 99 を適切に冷却するために、システム 30 (図 2A 及び図 2B) は、ホットスポットの位置の変化に応じて、熱交換器 100 に入る流体の流量及び / 又は流速を動的に変更する感知及び制御モジュール 34 を備える。

【0109】

詳しくは、図 17 に示すように、熱交換器 200 内の各接触層ホットスポット領域に及び / 又は熱源 99 の各潜在的なホットスポット位置に 1 つ以上のセンサ 124 を配設する。これに代えて、熱源及び熱交換器の間で及び / 又は熱交換器自体の中に、複数のセンサを均等に配置してもよい。また、制御モジュール 34 (図 2A 及び図 2B) を熱交換器 100 への流体のフローを制御する循環型冷却装置 30 内の 1 又は複数のバルブに連結してもよい。この具体例では、これらの 1 つ以上のバルブは、流体ライン内に配設されるが、これに代えて、他の如何なる箇所に配設してもよい。複数のセンサ 124 は、制御モジュール 34 に連結され、制御モジュール 34 は、好ましくは、図 2 に示すように、熱交換器 100 のアップストリーム側に配設される。これに代えて、制御モジュール 34 は、循環システム 30 内の他の如何なる位置に配設してもよい。

【0110】

センサ 124 は、以下に限定されるものではないが、例えば、接触層ホットスポット領域を流れる流体の流量、接触層 102 及び / 又は熱源 99 のホットスポット領域の温度、流体の温度等の情報を制御モジュール 34 に提供する。例えば、図 17 に示す具体例では

10

20

30

40

50

、接触層 124 上に配設されたセンサは、熱交換器 200 の特定の接触層ホットスポット領域の温度が高くなり、熱交換器 200' の特定の接触層ホットスポット領域の温度が低くなっているといった情報を制御モジュール 34 に提供する。これに応じて、制御モジュール 34 は、熱交換器 200 への流体の流量を増加させ、熱交換器 200' への流体の流量を減少させる。これに代えて、制御モジュール 34 は、センサ 118 から受け取った情報に応じて、1 又は複数の熱交換器内の 1 又は複数の接触層ホットスポット領域への流体の流量を変更してもよい。図 14 に示す具体例では、センサ 118 を 2 つの熱交換器 200、200' に接続しているが、これに代えて、センサ 118 を 1 つの熱交換器だけに接続してもよいことは明らかである。

【0111】

10

本発明の構成及び動作原理を明瞭に説明するために、様々な詳細を含む特定の実施例を用いて本発明を説明した。このような特定の実施例の説明及びその詳細は、特許請求の範囲を制限するものではない。本発明の主旨及び範囲から逸脱することなく、例示的に選択された実施例を変更できることは、当業者にとって明らかである。

【図面の簡単な説明】

【0112】

【図 1A】従来の熱交換器の側面図である。

【図 1B】従来の熱交換器の平面図である。

【図 1C】従来のマルチレベル熱交換器の側面図である。

【図 2A】本発明に基づく柔軟な流体輸送マイクロチャネル熱交換器の好適な実施形態を組み込んだ循環型冷却装置の概略図である。 20

【図 2B】本発明に基づく柔軟な流体輸送マイクロチャネル熱交換器の変形例を組み込んだ循環型冷却装置の概略図である。

【図 3A】本発明に基づく熱交換器のマニホールド層の変形例の平面図である。

【図 3B】図 3B は、本発明に基づくマニホールド層の変形例を備える熱交換器の分解図である。

【図 4】本発明に基づく互いに組み合うマニホールド層の斜視図である。

【図 5】本発明に基づく接触層及び互いに組み合うマニホールド層の平面図である。

【図 6A】本発明に基づく接触層及び互いに組み合うマニホールド層の線 A - A に沿った断面図である。 30

【図 6B】本発明に基づく接触層及び互いに組み合うマニホールド層の線 B - B に沿った断面図である。

【図 6C】本発明に基づく接触層及び互いに組み合うマニホールド層の線 C - C に沿った断面図である。

【図 7A】本発明に基づく接触層及び互いに組み合うマニホールド層の分解図である。

【図 7B】本発明に基づく接触層の変形例の斜視図である。

【図 8A】本発明に基づくマニホールド層の変形例の平面図である。

【図 8B】本発明に基づく接触層の平面図である。

【図 8C】本発明に基づく接触層の平面図である。

【図 9A】本発明に基づく三層式熱交換器の変形例の側面図である。 40

【図 9B】本発明に基づく二層式熱交換器の変形例の側面図である。

【図 10A】本発明に基づく超小型ピニアレイを有する接触層の斜視図である。

【図 10B】本発明に基づく超小型ピニアレイを有する接触層の斜視図である。

【図 10C】本発明に基づく超小型ピニアレイを有する接触層の斜視図である。

【図 10D】本発明に基づく超小型ピニアレイを有する接触層の斜視図である。

【図 10E】本発明に基づく超小型ピニアレイを有する接触層の斜視図である。

【図 11】本発明に基づく熱交換器の変形例の一部切欠透視図である。

【図 12A】本発明に基づく好適な熱交換器の分解図である。

【図 12B】本発明に基づく熱交換器の変形例の分解図である。

【図 12C】本発明に基づく循環レベルの変形例の斜視図である。 50

- 【図 12 D】本発明に基づく好適なインレットレベルの底面側からの斜視図である。
- 【図 12 E】本発明に基づくインレットレベルの変形例の底面側からの斜視図である。
- 【図 12 F】本発明に基づく好適なアウトレットレベルの底面側からの斜視図である。
- 【図 12 G】本発明に基づくアウトレットレベルの変形例の底面側からの斜視図である。
- 【図 12 H】本発明に基づく好適な熱交換器の断面図である。
- 【図 12 I】本発明に基づく熱交換器の変形例の断面図である。
- 【図 13】単相流フローのための本発明に基づくインレット及びアウトレットアパーチャの好適な構成を有する循環レベルの平面図である。
- 【図 14】二相流フローのための本発明に基づくインレット及びアウトレットアパーチャの好適な構成を有する循環レベルの平面図である。
- 【図 15】コーティング材料が適用された本発明に基づく熱交換器の接触層の側面図である。
- 【図 16】本発明に基づく熱交換器の製造手順を示すフローチャートである。
- 【図 17】熱源に 2 つの熱交換器を連結する本発明の他の実施形態を示す図である。

10

【図 1 A】

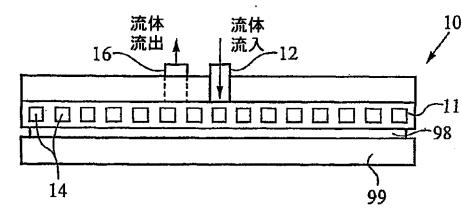


Fig. 1A (PRIOR ART)

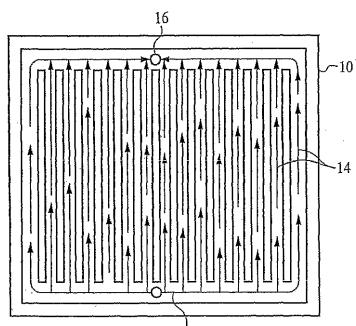
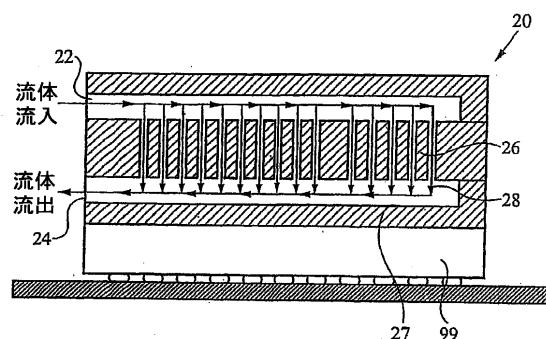
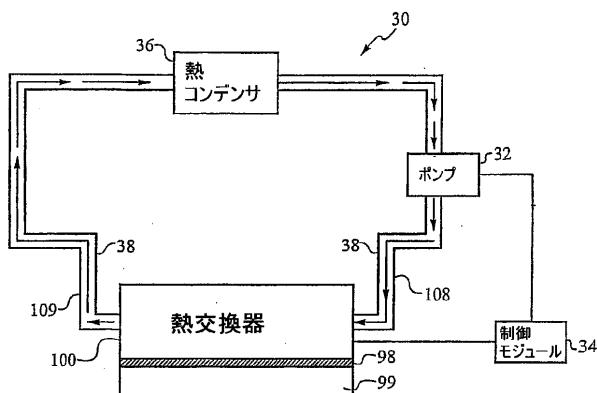


Fig. 1B (PRIOR ART)

【図 1 C】



【図 2 A】



【 図 2 B 】

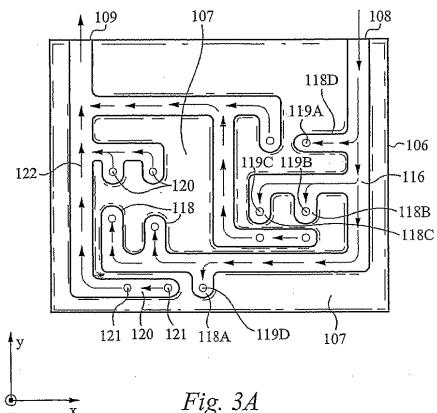
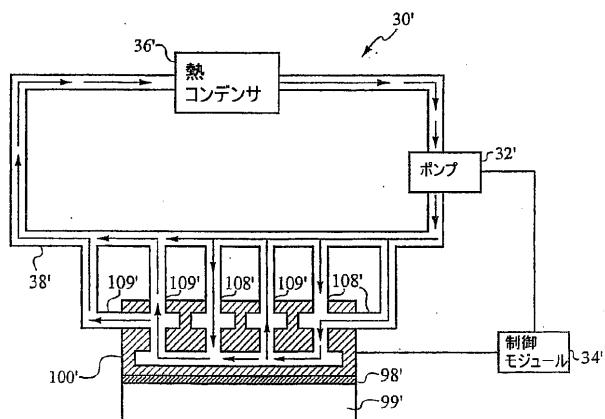
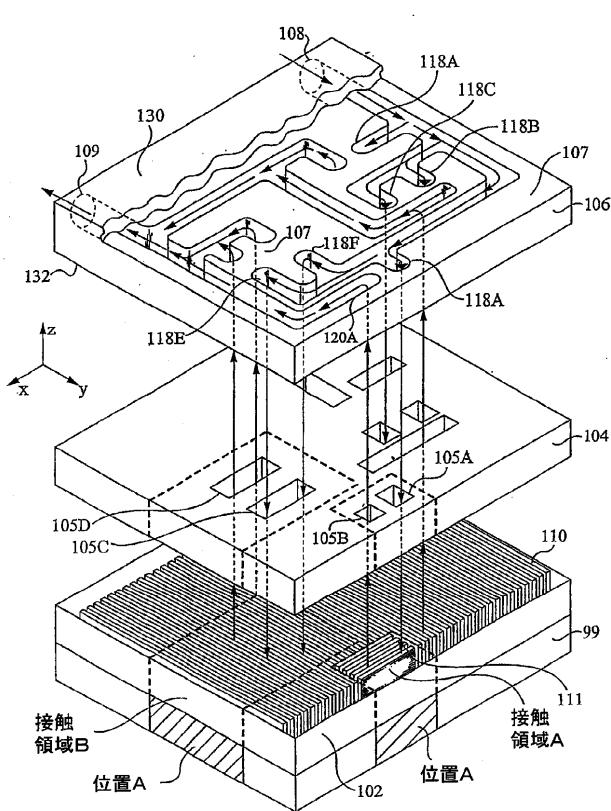


Fig. 3A

【図3B】



【 四 4 】

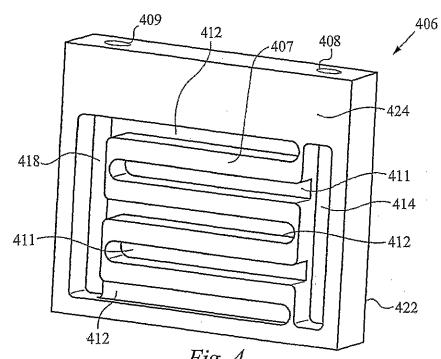


Fig. 4

【 図 5 】

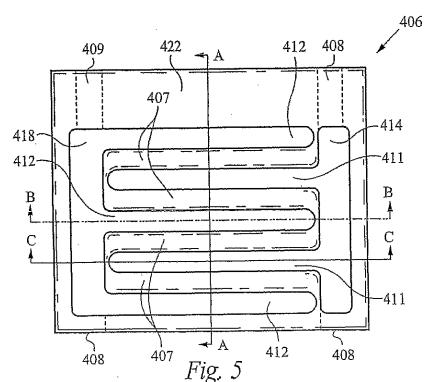


Fig. 5

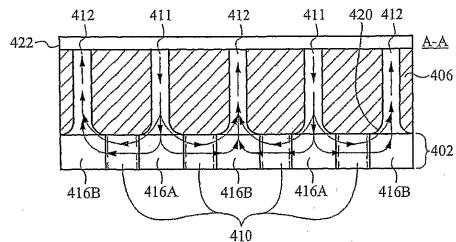


Fig. 6A

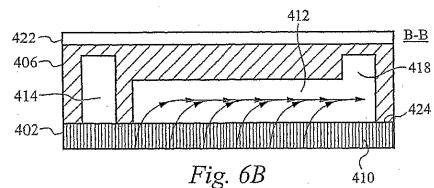


Fig. 6B

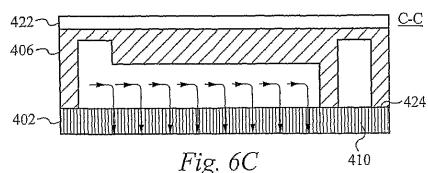


Fig. 6C

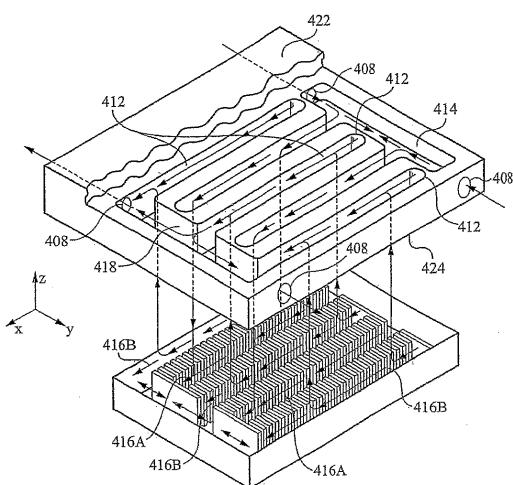


Fig. 7A

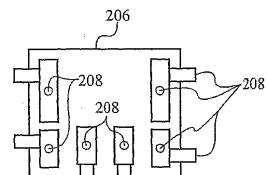
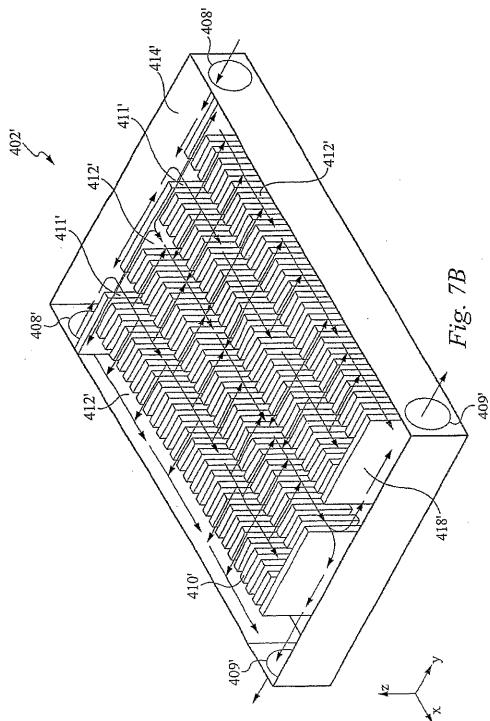


Fig. 8A

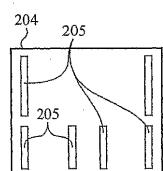


Fig. 8B

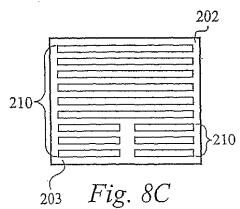
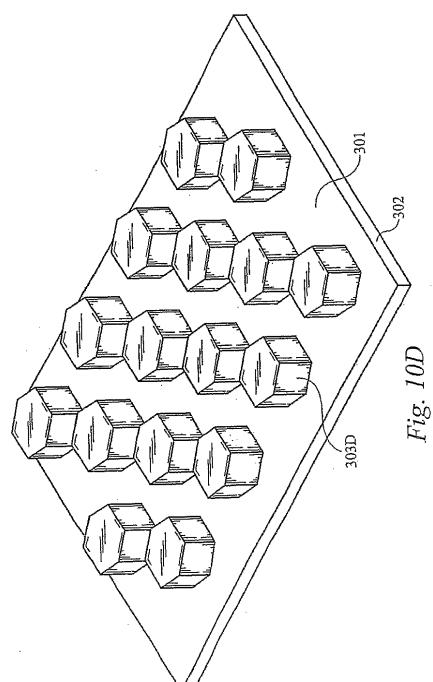
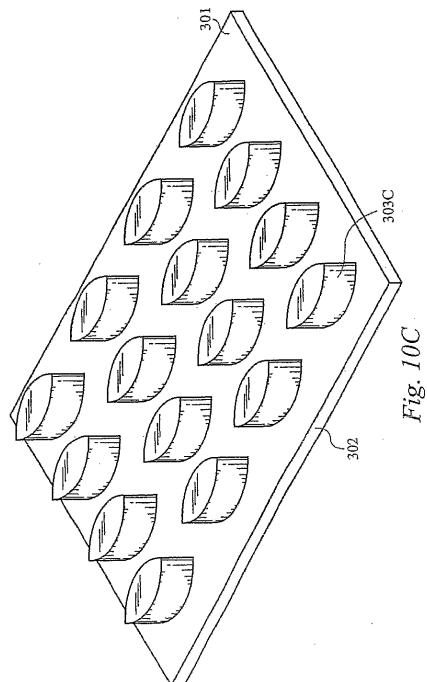
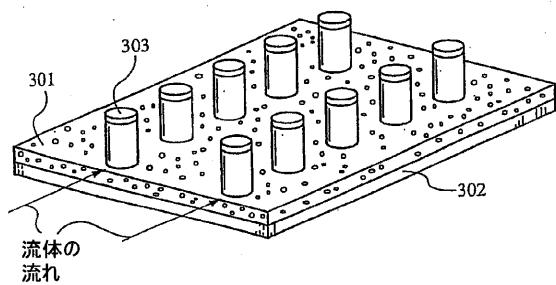
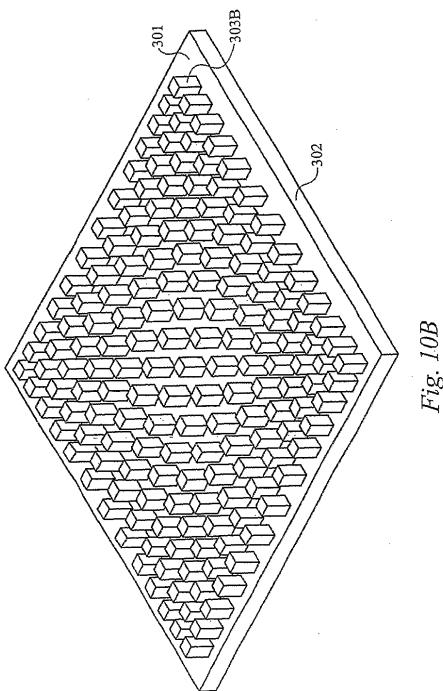
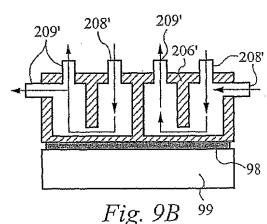
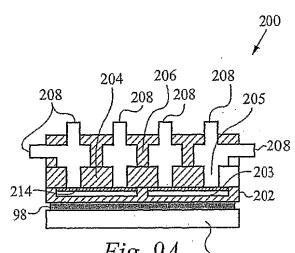
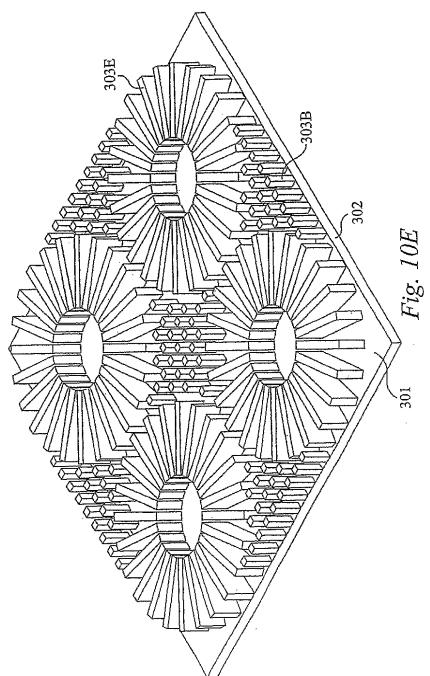


Fig. 8C





301 Fig. 10E

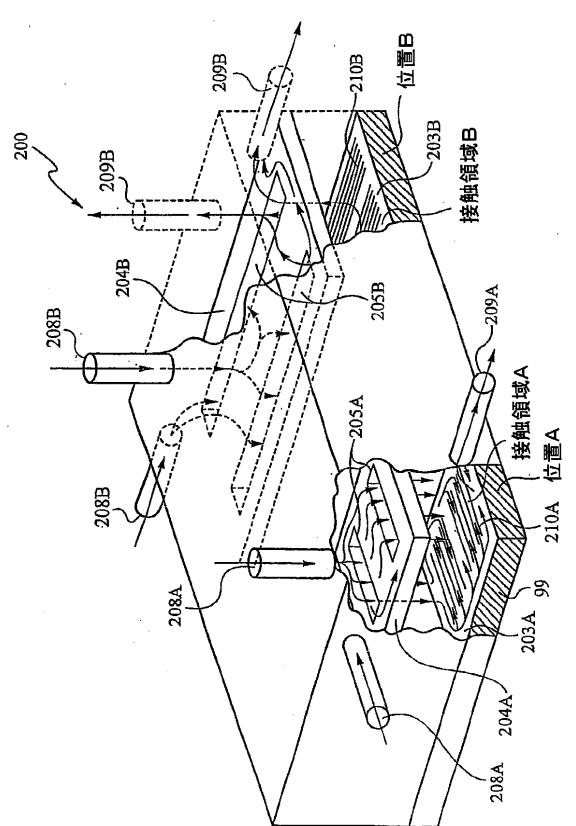


Fig. 11

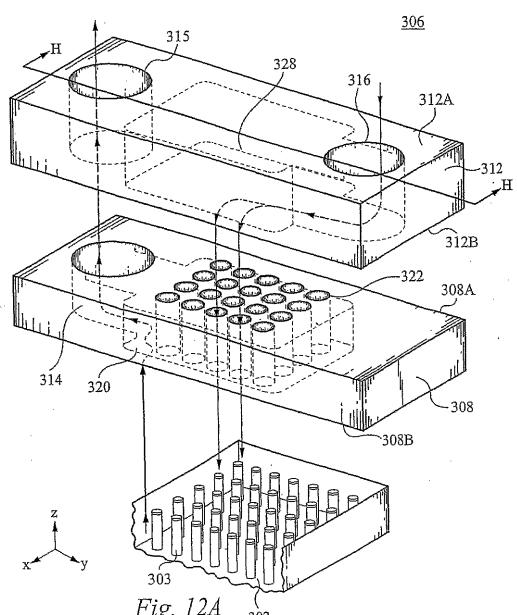


Fig. 12A

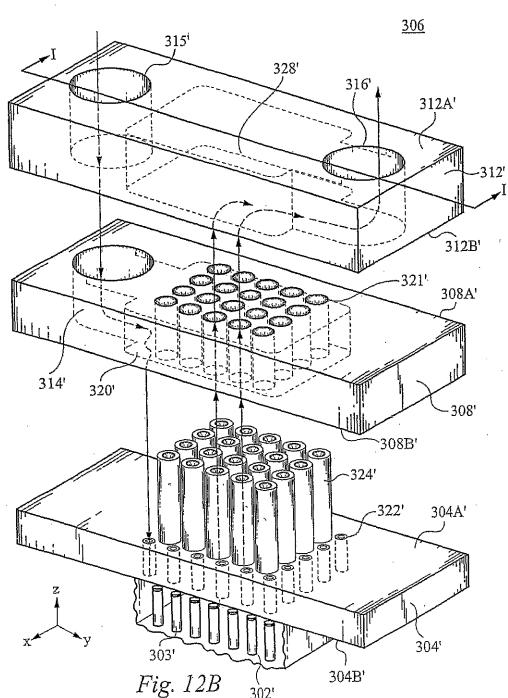
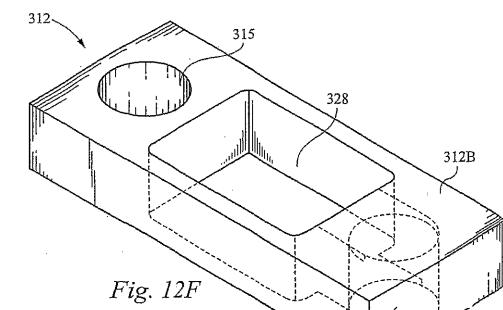
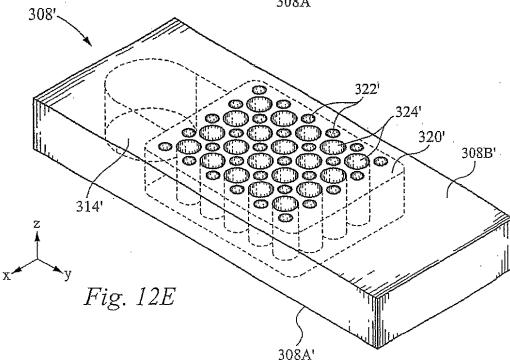
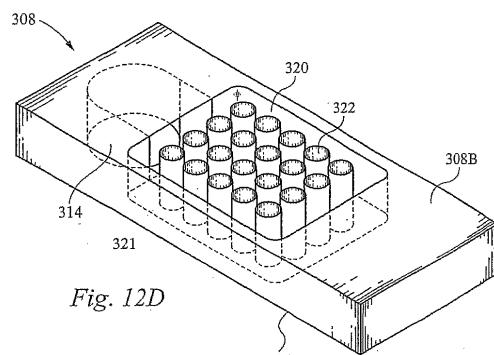
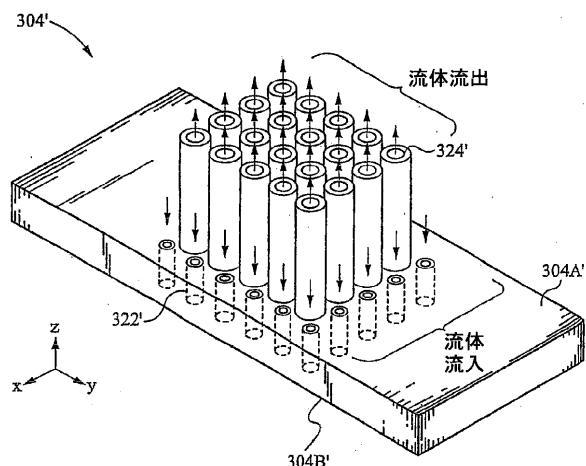
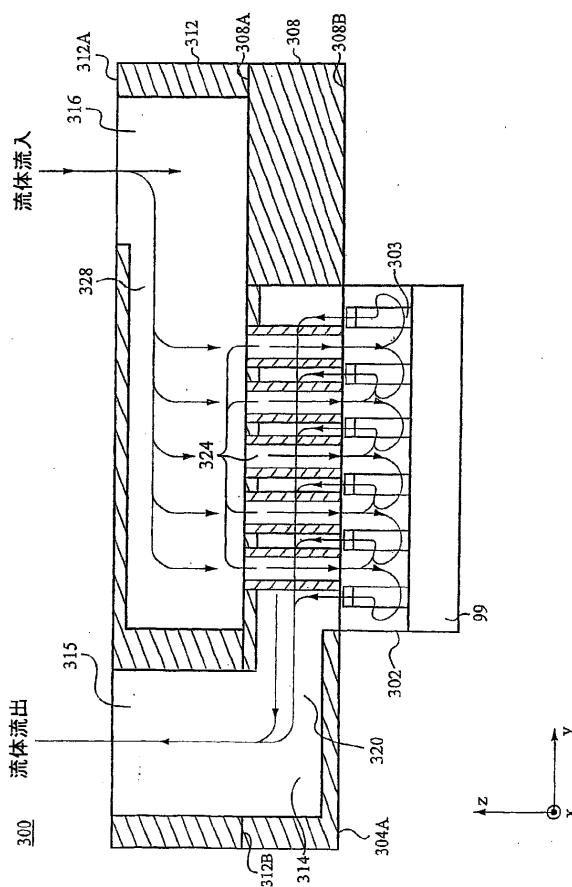
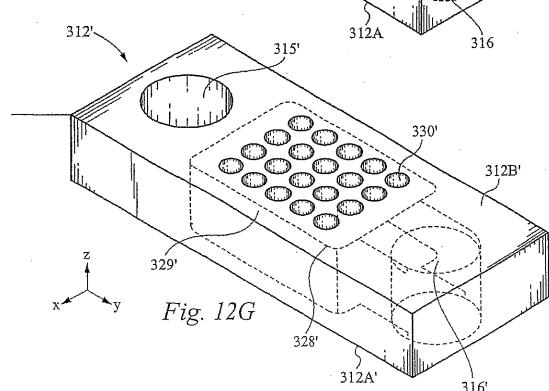


Fig. 12B

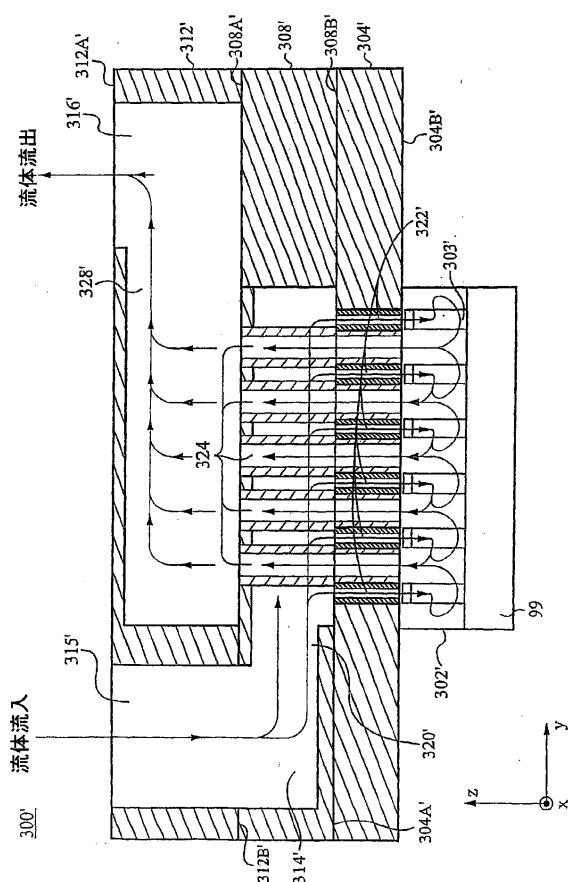
【図 12C】



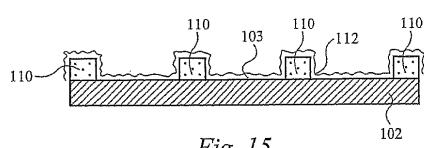
【図 12H】



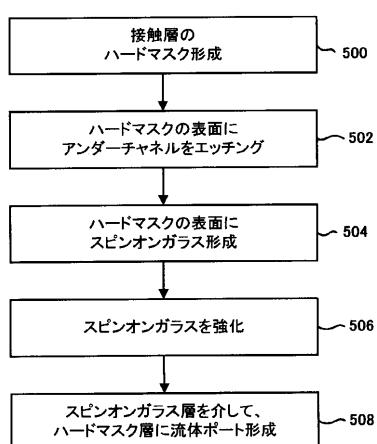
【図121】



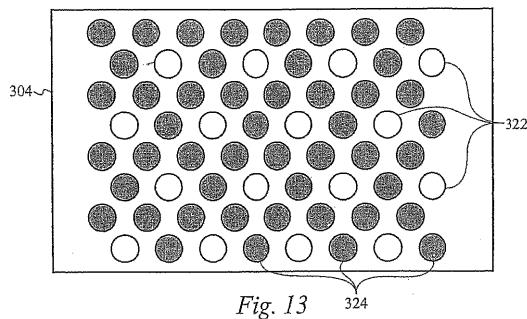
(15)



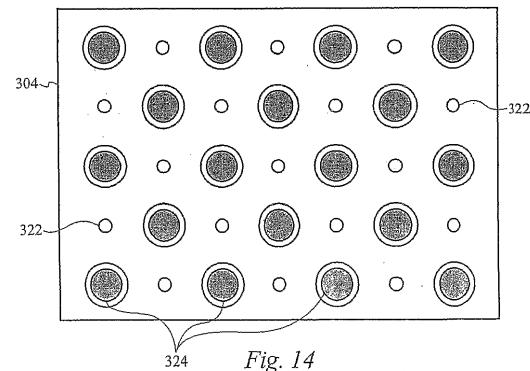
【图 1-6-1】



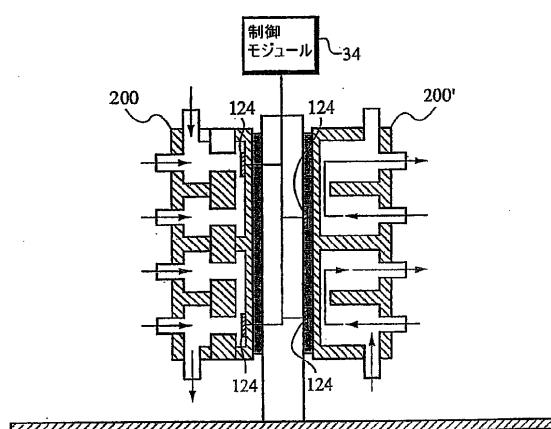
【 図 1 3 】



【図 1 4】



【 四 17 】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US03/33749
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
IPC(7) : F28F 7/00 US CL : 165/80.4, 185; 361/699; 257/714, 174/15.1 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 165/80.4, 185; 361/699; 257/714, 174/15.1		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EAST		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 6,253,835 B1 (Chu et al.) 03 July 2001, Entire patent.	1-105
Y	US 6,367,544 B1 (Calaman) 09 April 2002, Entire patent.	1-105
Y, P	US 6,536,516 B2 (Davies et al.) 25 March 2003, Entire patent.	1-105
Y	US 5,269,372 A (Chu et al.) 14 December 1993, Entire patent.	1-105
Y	US 6,366,462 B1 (Chu et al.) 02 April 2002, Entire patent.	1-105
Y	US 5,016,090 A (Galyon et al.) 14 May 1991, Entire patent.	1-105
Y	US 5,275,237 A (Rolfson et al.) 04 January 1994, Entire patent.	1-105
Y, P	US 6,519,151 B2 (Chu et al.) 11 Februaray 2003, Entire patent.	1-105
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input type="checkbox"/> See patent family annex.
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>		
<p>Date of the actual completion of the international search 12 March 2004 (12.03.2004)</p> <p>Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (703) 305-3230</p>		<p>Date of mailing of the international search report 27 APR 2004</p> <p>Authorized officer Terrell L McKinnon Telephone No. 703-308-1148</p> <p><i>Sheila H. Veney</i> Paralegal Specialist Tech. Center 3700</p>

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)

フロントページの続き

- (31) 優先権主張番号 10/439,635
(32) 優先日 平成15年5月16日(2003.5.16)
(33) 優先権主張国 米国(US)
- (31) 優先権主張番号 10/680,584
(32) 優先日 平成15年10月6日(2003.10.6)
(33) 優先権主張国 米国(US)
- (81) 指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,M,W,MX,MZ,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW
- (72) 発明者 ケニー、トーマス、ウィリアム、ジュニア。
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94070 サン カルロス デボンシャー ブルバード
132
- (72) 発明者 ムンチ、マーク
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94070 ロス ガトス リーンダー ドライブ 127
58
- (72) 発明者 ゾウ、パン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94706 アルバニー ジャクソン 110
- (72) 発明者 シュック、ジェームズ、ギル
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95060 サンタ クルーズ モントクレア ドライブ
179
- (72) 発明者 ウバダヤ、ギリッシュ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94040 マウンテン ビュー レンゲストーフ アベニ
ュー 575 エス. ナンバー 60
- (72) 発明者 ケニス、グッドソン、イー。
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94002 ベルモント ウィンディング ウェイ 155
9
- (72) 発明者 コービン、デイブ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94022 ロス アルトス オーチャード ヒル レーン
26950
- (72) 発明者 マックマスター、マーク
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94306 パロ アルト ルテルマ ストリート 425
6
- (72) 発明者 ロベッテ、ジェームズ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94107 サンフランシスコ サザン ハイツ 8
- F ターム(参考) 3L044 AA04 CA14 DB02 DD03 KA02 KA04
5F136 CB07 CB08 CB13 CB15