

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第5部門第3区分

【発行日】令和2年4月16日(2020.4.16)

【公表番号】特表2018-503058(P2018-503058A)

【公表日】平成30年2月1日(2018.2.1)

【年通号数】公開・登録公報2018-004

【出願番号】特願2017-557275(P2017-557275)

【国際特許分類】

F 28 D 15/02 (2006.01)

F 28 D 15/04 (2006.01)

【F I】

F 28 D 15/02 101H

F 28 D 15/02 L

F 28 D 15/02 102A

F 28 D 15/04 E

【誤訳訂正書】

【提出日】令和2年3月9日(2020.3.9)

【誤訳訂正1】

【訂正対象書類名】特許請求の範囲

【訂正対象項目名】全文

【訂正方法】変更

【訂正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

サーマルグラウンドプレーンであって、

ウィッキング構造を形成する複数の微細構造を含む金属基板と、

前記複数の微細構造に連通する蒸気室と、

前記ウィッキング構造の少なくとも1つの領域におけるウィッキング構造の有効アスペクト比を増大させるように成形されている少なくとも1つの中間基板と、

前記サーマルグラウンドプレーンの少なくとも1つの領域の熱エネルギーを前記サーマルグラウンドプレーンの別の領域へ輸送するために、前記サーマルグラウンドプレーン内に含まれ、毛管力によって駆動される流体と
を含み、

　　 ウィッキングチャネルと前記中間基板との間の流体チャネルの前記有効アスペクト比は、
　　 有効チャネル幅wに対する有効チャネル高さhの比h/wとして定義され、

　　 少なくとも1つの前記中間基板は、前記サーマルグラウンドプレーンの少なくとも1つの領域において、前記ウィッキング構造に近接して配置されており、液相と蒸気相とを分離する、

サーマルグラウンドプレーン。

【請求項2】

さらに金属バックプレーンが設けられており、

前記蒸気室は前記金属基板と前記金属バックプレーンとによって包囲されている、
請求項1記載のサーマルグラウンドプレーン。

【請求項3】

前記金属基板は、前記金属バックプレーンに接合されて、気密に封止された蒸気室を形成している、

請求項2記載のサーマルグラウンドプレーン。

【請求項4】

少なくとも 1 つの前記中間基板が金属を含む、
請求項 1 記載のサーマルグラウンドプレーン。

【請求項 5】

少なくとも 1 つの前記中間基板の少なくとも 1 つの領域は、さらに、 $1 \mu\text{m} \sim 1000 \mu\text{m}$ の深さ、幅および間隔を有する複数の微細構造を含む、
請求項 1 記載のサーマルグラウンドプレーン。

【請求項 6】

少なくとも 1 つの前記中間基板の少なくとも 1 つの領域は、前記サーマルグラウンドプレーンの少なくとも 1 つの領域において、前記中間基板を含まない前記ウィッキング構造により得られる有効アスペクト比より高い有効アスペクト比のウィッキング構造を形成するように前記ウィッキング構造の少なくとも 1 つの領域に挟み込まれる複数の微細構造を含む、
請求項 1 記載のサーマルグラウンドプレーン。

【請求項 7】

少なくとも 1 つの前記中間基板は、前記サーマルグラウンドプレーンの少なくとも 1 つの領域において、前記ウィッキング構造と前記蒸気室とが直接に連通される程度に、前記微細構造よりも著しく大きい少なくとも 1 つの開口から形成されている、
請求項 5 記載のサーマルグラウンドプレーン。

【請求項 8】

前記金属バックプレーンはさらに、前記中間基板と前記金属基板とに連通した、前記サーマルグラウンドプレーンを構造的に支持する隔離柱を含む、
請求項 2 記載のサーマルグラウンドプレーン。

【請求項 9】

前記金属基板と少なくとも 1 つの前記中間基板と前記金属バックプレーンとは、チタンを含む、
請求項 2 記載のサーマルグラウンドプレーン。

【請求項 10】

前記金属基板としてのチタン基板は、レーザー溶接部によって、前記金属バックプレーンとしてのチタンバックプレーンに接合されて、気密に封止された蒸気室を形成している、
請求項 9 記載のサーマルグラウンドプレーン。

【請求項 11】

少なくとも 1 つの前記中間基板は、前記ウィッキング構造に共形的に適合する複数の凸部を備えた領域を有しており、これにより、前記流体が毛管力によって駆動されて通流する狭い流路が形成される、
請求項 1 記載のサーマルグラウンドプレーン。

【請求項 12】

前記凸部は、前記ウィッキング構造の形態に適合するように成形されている、
請求項 11 記載のサーマルグラウンドプレーン。

【請求項 13】

前記有効アスペクト比 h / w は 1 より大きい、
請求項 6 記載のサーマルグラウンドプレーン。

【請求項 14】

前記微細構造は、少なくとも 1 つのチャネル、ピラーおよびトレンチを含む、
請求項 1 記載のサーマルグラウンドプレーン。

【請求項 15】

前記サーマルグラウンドプレーンの少なくとも 1 つの領域の表面は、ナノ構造チタニア (NST) から形成されている、
請求項 1 記載のサーマルグラウンドプレーン。

【請求項 16】

1つもしくは複数の前記微細構造は、1 μm ~ 1 0 0 0 μmの高さ、1 μm ~ 1 0 0 0 μmの幅、1 μm ~ 1 0 0 0 μmの間隔を有する、

請求項 1 記載のサーマルグラウンドプレーン。

【請求項 1 7】

前記サーマルグラウンドプレーンは、蒸発器領域および断熱領域および凝縮器領域を有しており、

前記中間基板は、断熱領域の形状に対して異なる蒸発器領域の形状を有する、

請求項 1 記載のサーマルグラウンドプレーン。

【請求項 1 8】

前記中間基板は、前記ウィッキング構造に挟み込まれた複数の微細構造を含み、

該挟み込まれた複数の微細構造は、前記中間基板とは別個の横部材または前記中間基板に含まれる横部材または前記中間基板を構成する横部材を支持するために機械的に結合されている、

請求項 1 記載のサーマルグラウンドプレーン。

【請求項 1 9】

前記蒸気室は、可変の蒸気室高さを実現するために、1つもしくは複数の凹領域によって形成されている、

請求項 1 記載のサーマルグラウンドプレーン。

【誤訳訂正 2】

【訂正対象書類名】明細書

【訂正対象項目名】全文

【訂正方法】変更

【訂正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】高いパフォーマンスを有する2相冷却装置

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本願は2015年1月22日付の米国仮出願第62/106556号(U.S. Provisional application serial number 62/106556)の優先権を主張し、その全体が引用により本願に組み込まれるものとする。

【0002】

連邦政府資金による研究開発に関する陳述

不適用。

【0003】

マイクロフィッシュ補遺に関する陳述

不適用。

【背景技術】

【0004】

背景技術

本発明は、半導体デバイスの冷却に関しており、より具体的には、半導体デバイスおよび他のデバイスを冷却する冷却装置に関するものである。

【0005】

種々の半導体デバイスおよび集積回路を使用する電子回路は、種々の環境ストレスを受けるのがふつうである。こうした電子回路の適用分野はきわめて広汎であり、種々の半導体材料が利用されている。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

例えばモバイル機器またはラップトップコンピュータなどの多くのエレクトロニクス環

境が薄膜状 / プレーナ状の構成を有しており、多くの素子がきわめて限られた空間に効率的にパッケージングされている。結果として、冷却手段も薄膜状 / プレーナ状の構成に対して共形的でなければならない。薄膜状のサーマルグラウンドプレーン (TGP) の形態の放熱素子は、多くのエレクトロニクス冷却用途で所望されるであろう。

【課題を解決するための手段】

【0007】

概要

本願は2相冷却装置を開示する。2相冷却装置とは、きわめて高い効率での熱伝達が可能であり、ヒートパイプ、サーマルグラウンドプレーン、蒸気室およびサーマルサイフォンなどを含むことができるクラスである。

【0008】

幾つかの実施形態では、本願は、少なくとも3つの基板を含む2相冷却装置を提供する。幾つかの実施形態では、1つもしくは複数の基板が、微細作成された金属、例えば、これらに限定されるものではないが、チタン、アルミニウム、銅もしくはステンレス鋼から形成されている。幾つかの実施形態では、基板は、電子デバイスでの使用に適したサーマルグラウンドプレーン構造として形成することもできる。幾つかの実施形態では、2相装置は予め定められた量の少なくとも1つの適切な作動流体を含んでよく、当該作動流体は、液体と蒸気との間の相転移によって熱を吸収もしくは除去する。

【0009】

幾つかの実施形態では、本願は2相冷却装置を提供しうる。当該装置は、複数のエッチングされた微細構造を含む金属基板、例えばこれらに限定されるものではないがチタン、アルミニウム、銅もしくはステンレス鋼の基板を含み、この基板は1つもしくは複数の微細構造が約 $1\text{ }\mu\text{m} \sim 1000\text{ }\mu\text{m}$ の高さ、約 $1\text{ }\mu\text{m} \sim 1000\text{ }\mu\text{m}$ の幅および約 $1\text{ }\mu\text{m} \sim 1000\text{ }\mu\text{m}$ の間隔を有するウェーブニング構造を形成する。幾つかの実施形態では、蒸気室は、複数の金属の微細構造と連通可能である。幾つかの実施形態では、少なくとも1つの中間基板がウェーブニング構造と蒸気の領域とに連通可能である。幾つかの実施形態では、サーマルグラウンドプレーンの1つの領域の熱エネルギーをサーマルグラウンドプレーンの別の領域へ輸送するために、流体をウェーブニング構造および蒸気室の内部に含ませることができ、ここで、当該流体はウェーブニング構造内の毛管力によって駆動可能である。

【0010】

幾つかの実施形態では、ウェーブニング構造内の高い毛管力を得るために、液相と蒸気との間の大きな圧力差が支持され、ただしウェーブニング構造内を流れる液体の粘性損失が最小化されるよう、冷却装置を構成可能である。幾つかの実施形態では、冷却装置は、きわめて薄く製造可能であって、従来のTGPで達成可能であるより大きな熱エネルギーを伝達可能なサーマルグラウンドプレーンであってよい。幾つかの実施形態では、種々の構造素子を蒸発器領域および断熱領域および凝縮器領域に配置可能である。幾つかの実施形態では、蒸発器領域が、ウェーブニング構造と結合されて高いアスペクト比の構造を形成する複数の微細構造を含む中間基板を含むことができる。幾つかの実施形態では、中間基板形態はウェーブニング構造形態に挟み込まれ、これによりウェーブニング構造の有効アスペクト比が増大される。幾つかの実施形態では、断熱領域が、ウェーブニング構造内の液体から蒸気室の蒸気を分離するためにウェーブニング構造に近接して配置される中間基板を含むことができる。幾つかの実施形態では、凝縮器領域が、ウェーブニング構造と蒸気室とを直接に連通させることのできる(微細構造に比べて)大きな開口を有する中間基板を含むことができる。幾つかの実施形態では、ウェーブニング構造を直接に蒸気室に連通させるために、凝縮器領域は中間基板を含まない。

【図面の簡単な説明】

【0011】

添付図を参照しながら種々の例示の詳細を説明する。

【図1】図1は、ウェーブニング構造、バックプレーンおよび蒸気室を有するチタン基板を含む、従来のチタンベースのサーマルグラウンドプレーンの例示的形態である。

【図 2】図 2 は、ウィッキング構造を有する従来のチタン基板の例示的形態であり、(A) は複数のピラーを含むウィッキング構造、(B) はチャネルもしくは溝を含むウィッキング構造である。

【図 3 A】図 3 は、ウィッキング構造および蒸気室に連通する中間基板を備えた金属ベースのサーマルグラウンドプレーンの例示的形態である。中間層は微細構造を含みうる。図 3 A は、一実施形態による各素子の断面図を示している。

【図 3 B】図 3 B は、一実施形態による各構造素子の分解図を示している。

【図 4 A】図 4 は、蒸発器領域および断熱領域および凝縮器領域に配置された、例示的形態による種々の構造素子を示している。図 4 A は、中間基板がウィッキング構造に挟み込まれた複数の微細構造を含む形態の蒸発器領域を示している。

【図 4 B】図 4 B は、中間基板がウィッキング構造に近接して配置された形態の断熱領域を示している。

【図 4 C】図 4 C は、ウィッキング構造が蒸気室に直接に連通する形態の凝縮器領域を示している。

【図 4 D】図 4 D は、中間基板の一形態の詳細を示している。

【図 5】図 5 A は、各構造が液体で濡れていない（すなわち乾いた）形態および液体で濡れている形態の各構造素子の断面の例示的形態である。図 5 A は、蒸発器領域の濡れていない構造素子であり、図 5 B は、蒸発器領域の濡れた構造素子であり、図 5 C は、断熱領域の濡れていない構造素子であり、図 5 D は、断熱領域の濡れた構造素子であり、図 5 E は、凝縮器領域の濡れていない構造素子であり、図 5 F は、凝縮器領域の濡れた構造素子である。

【図 6】図 6 は、サーマルグラウンドプレーンの図示の形態の軸線方向位置の関数としての圧力分布を示している。各曲線は、蒸気室内の蒸気相の圧力とウィッキング構造内の液相の圧力を示している。このケースでは、蒸気相と液相との間の最大圧力差が蒸発器領域に生じている。蒸気相と液相との間の最小圧力差は凝縮器領域に生じている。

【図 7】図 7 は、熱負荷 $Q = 10\text{ W}$ および 20 W および 30 W でのサーマルグラウンドプレーンの例示的形態における軸線方向位置の関数としての温度分布を示している。この形態では、蒸発器領域が中央にあり、断熱領域と凝縮器領域とがその両側にある。

【図 8】図 8 は、チタンベースのサーマルグラウンドプレーンにおいて、種々の蒸発温度に対する最大熱伝達量を比較したものである。この比較は、従来のチタンサーマルグラウンドプレーンと中間基板を用いた本発明のサーマルグラウンドプレーンの例示的形態との間で行われたものである。

【図 9】図 9 は、1つもしくは複数の形態による1つもしくは複数の形態の本発明のチタンベース TGP（金属ベースのサーマルグラウンドプレーン）の製造法のフローチャートの例示的形態である。

【図 10】図 10 は、本発明のチタンベース TGP の1つもしくは複数の形態の製造法のフローチャートの例示的形態である。

【図 11】図 11 は、中間基板に連通するウィッキング構造の例示的形態を示している。有効アスペクト比は、有効チャネル幅 w に対する有効チャネル高さ h の比として定義される。(A) は中間基板の微細構造がウィッキング構造に挟み込まれた例示的形態を示しており、(B) は中間基板の微細構造がウィッキング構造の上方に位置する代替的な形態を示している。

【図 12】図 12 は、複数の支持用横部材を備えた中間基板の斜視図である。

【図 13 A】図 13 は、支持用横部材を備えた中間基板の斜視図である。図 13 A は、横部材に連通している微細構造を示している。

【図 13 B】図 13 B は、ウィッキング構造の直上に配置された微細構造および横部材を示している。

【図 14】図 14 は、1つもしくは複数の凹部領域を有する蒸気室の例示的な断面図である。

【0012】

図は必ずしも縮尺通りに描かれていないこと、および、同様の形態には同じ参照番号を付していることを理解されたい。

【発明を実施するための形態】

【0013】

詳細な説明

好ましい実施形態についての以下の説明では、その一部をなす添付図を参照するが、これは本発明を実施可能な特定の形態を説明するために示されるものである。他の実施形態も利用可能であり、本発明の観点から逸脱することなく種々の構造的変更を行えるものと理解されたい。

【0014】

幾つかの実施形態では、ここに開示されているサーマルグラウンドプレーンは、広汎な用途における半導体デバイスの冷却に対し、効率的な空間利用を達成するために利用可能である。ここでの用途には、これらに限定されるものではないが、航空機、衛星、ラップトップコンピュータ、デスクトップコンピュータ、モバイル機器、自動車、原動機付車両、加熱空調換気システム、データセンタなどが含まれる。

【0015】

微細作成される基板は、よりローバストで衝撃耐性の大きい2相冷却装置を形成するために利用可能であり、サーマルグラウンドプレーン（TGP）の形態であってよい。こうした基板には種々の材料を使用可能であるものの、引用文献に記載されているように、金属基板、例えばこれらに限定されないが、チタン、アルミニウム、銅またはステンレス鋼の基板がTGPに適することが判明している。

【0016】

金属の選択は種々の用途および費用事情に依存して行うことができる。有利な種々の金属が存在する。例えば、銅は全金属のうちで最高の熱伝導率を有する。アルミニウムは、高い熱伝導率と重量との双方が重要でありうる用途で有利であるはずである。ステンレス鋼は、或る程度粗野な環境において有利でありうる。

【0017】

チタンは多くの利点を有する。例えば、チタンは高い破壊靭性を有し、微細作成およびマイクロマシニング可能であり、高温耐性、粗野な環境への耐性および生体互換性を有しする。付加的に、チタンベースのサーマルグラウンドプレーンは、軽量かつ比較的薄く形成でき、高い熱伝達力を有する。チタンはパルスレーザー溶接可能である。チタンは高い破壊靭性を有するので、破断および欠陥の伝播に抗する薄い基板に成形できる。チタンは、約 $8.6 \times 10^{-6} / K$ の比較的低い熱膨張係数を有する。当該低い熱膨張係数は、薄い基板と組み合わされて、熱的不整合に起因するストレスの大幅軽減に寄与できる。チタンは酸化されればナノ構造チタニア（NST）を形成することもでき、これにより安定かつ超親水性の表面を形成できる。幾つかの実施形態では、インテグレーテッドナノ構造チタニア（NST）を含むチタン（Ti）基板がTGPに適することが判明している。

【0018】

金属は例えば、これらに限定されるものではないが、チタン、アルミニウム、銅またはステンレス鋼であって、最適なパフォーマンスのための、特定用途に対してカスタマイズされたウィッキング構造および中間基板を製造すべく、約 $1 \mu m \sim 1000 \mu m$ の制御された特徴寸法（深さ、幅および間隔）で微細作成可能である。幾つかの実施形態では、当該制御された特徴寸法（深さ、幅および間隔）は、最適なパフォーマンスのための、特定の適用分野に対してカスタマイズされたウィッキング構造を製造すべく、 $10 \mu m \sim 500 \mu m$ の範囲にあってよい。

【0019】

幾つかの実施形態では、チタンは、ナノ構造チタニア（NST）を形成するために酸化可能であり、これにより超親水性の表面ひいては毛管力の増大が達成され、さらに熱伝達量が高められる。幾つかの実施形態では、NSTは、 200 ナノメートル (nm) の正規化粗面性を有する毛髪状のパターンから形成可能である。幾つかの実施形態では、NST

は、1 nm ~ 1 0 0 0 nm の正規化粗面性を有する。

【 0 0 2 0 】

幾つかの実施形態では、アルミニウムは、親水性のナノ構造が形成されるように酸化可能であり、これにより超親水性コーティングが提供される。幾つかの実施形態では、焼結されたナノ粒子および / またはマイクロ粒子が超親水性の表面を形成するように使用可能であり、これにより毛管力が増大し、熱伝達量が高められる。

【 0 0 2 1 】

幾つかの実施形態では、チタンはチタン膜が形成されるよう、他のタイプの基板上にコーティング可能である。チタン膜は、ナノ構造チタニア (NST) が形成されるように酸化可能であり、これにより超親水性の表面が提供される。

【 0 0 2 2 】

チタンは、クリーンルーム処理技術を用いた微細作成、機械工場でのマクロマシニング、および、パルスレーザーマイクロ溶接技術を用いた気密パッケージングの可能な材料である。サーマルグラウンドプレーンが構造材料としてチタンまたはチタニアのみから形成されている場合、種々の素子を現場でレーザー溶接することができ、その際に凝縮不能気体を発生させうる汚染がもたらされ、パフォーマンス低下が起こって、場合によりエラーが生じるということがない。付加的に、チタンおよびチタニアは水と相溶性を有することが判明しており、これにより長い寿命と最小の凝縮不能気体の発生に寄与できる。したがって、チタン基板は、レーザー溶接によってチタンのバックプレーンに接合可能であり、これにより気密に封止された蒸気室が形成される。

【 0 0 2 3 】

金属は、気密封止部を形成するように接合可能である。幾つかの実施形態では、複数のチタン基板が相互にパルスレーザーマイクロ溶接され、気密封止部が形成される。別の実施形態では、銅、アルミニウムおよびステンレス鋼の基板が、種々の技術、例えば、これらに限定されるものではないが、はんだ付け、ろう付け、真空ろう付け、TIG、MIG および他の多くの周知の溶接技術を用いて溶接可能である。

【 0 0 2 4 】

本願は、金属ベースのサーマルグラウンドプレーン (TGP) の製造を説明している。一般性を失わない範囲で、本願は、3つ以上の金属基板から形成可能なサーマルグラウンドプレーンの実施形態を開示している。

【 0 0 2 5 】

一実施形態では、サーマルグラウンドプレーンを形成する3つの基板（そのうち1つもしくは複数の基板が金属を用いて形成可能であり、ここでの金属は例えば、これらに限定されるものではないが、チタン、アルミニウム、銅またはステンレス鋼である）が含まれる。幾つかの実施形態では、チタン基板を、サーマルグラウンドプレーンを形成するために用いることができる。幾つかの実施形態では、第1の基板は集積された超親水性ウェーハー構造 220 を支持し、第2の基板はディープエッチング（もしくはマクロマシニング）された蒸気室から形成され、第3の中間基板 110 は微細構造 112 から形成可能でありかつウェーハー構造 220 と蒸気室 300 とに連通する。各基板は相互にレーザーマイクロ溶接が可能であり、これによりサーマルグラウンドプレーンが形成される。

【 0 0 2 6 】

作動流体は、所望のパフォーマンス特性または動作温度または材料の相溶性または他の所望の特性に基づいて、選択可能である。幾つかの実施形態では、一般性を失わない範囲で、作動流体として水を使用可能である。幾つかの実施形態では、一般性を失わない範囲で、ヘリウム、窒素、アンモニア、高温有機物、水銀、アセトン、メタノール、Flutec P P2、エタノール、ヘプタン、Flutec PP9、ペンタン、セシウム、ポタシウム、ナトリウム、リチウムまたは他の材料を、作動流体として使用可能である。

【 0 0 2 7 】

本発明の TGP は、従来のチタンベースのサーマルグラウンドプレーンの大変な改善を提供しうる。例えば、本発明では、熱伝達量を著しく高くできること、サーマルグラウ

ドプレーンをより薄くできること、サーマルグラウンドプレーンが重力の作用を受けにくくなるようにすること、および、他の多くの利点を提供できる。

【0028】

以下の、共通に提出された同時係属中の各米国特許出願は本願に関連しており、引用によりその全体がここに組み込まれるものとする。すなわち、Samah, et alによるタイトル「NANOSTRUCTURED TITANIA」、2010年5月18日付の米国特許第7718552号明細書(US 7718552 B2)の出願は、引用によりここに組み込まれるものとする。Noel C. MacDonald et al.によるタイトル「TITANIUM-BASED THERMAL GROUND PLANE」、2008年7月21日付の米国特許出願第61/082437号(U.S. Patent Application Serial No. 61/082437)の出願も、引用によりここに組み込まれるものとする。Payam Bozorgi et al.によるタイトル「TITANIUM-BASED THERMAL GROUND PLANE」、2012年11月26日付の米国特許出願第13/685579号(U.S. Patent Application Serial No. 13/685579)の出願も、引用によりここに組み込まれるものとする。PCT出願である、Payam Bozorgi and Noel C. MacDonaldによるタイトル「USING MILLISECOND PULSED LASER WELDING IN MEMS PACKAGING」、2012年1月31日付の米国特許出願公開第2012/023303号明細書(PCT/US2012/023303)の出願も、引用によりここに組み込まれるものとする。Payam Bozorgi and Carl Meinhartによるタイトル「TWO-PHASE COOLING DEVICES WITH LOW-PROFILE CHARGING PORTS」、2014年6月26日付の米国特許仮出願第62017455号(U.S. Patent Provisional Application Serial No. 62017455)の出願も、引用によりここに組み込まれるものとする。

【0029】

図1には、ウィッキング構造を含むチタン基板およびバックプレーンおよび各引用文献に記載されている蒸気室を含むサーマルグラウンドプレーンが示されており、これは、幾つかの実施形態では、チタンベースのサーマルグラウンドプレーンであってよい。当該デバイスでは、気密封止部を形成するために、パルスマイクロ溶接を行うことができる。サーマルグラウンドプレーンには、作動流体、例えば熱力学的飽和状態にある水を導入可能であり、これにより、ウィッキング構造には主に液相が存在し、蒸気室には主に蒸気相が存在する。

【0030】

各引用文献に記載されているように、ウィッキング構造は複数のピラー、チャネル、溝、トレンチまたは他の幾何学的構造から形成可能である。例えば、図2の(A)には、チタンウィッキング構造22が複数のピラー24から形成されている従来のTGPが示されている。図2の(B)には、チタンウィッキング構造22'がチタン基板21上の複数のチャネルまたは溝28から形成されている従来のTGPが示されている。

【0031】

図3には、ウィッキング構造220と蒸気室300とに連通した中間基板110を有する、新規な金属ベースのサーマルグラウンドプレーンの一実施形態が示されている。中間層は微細構造112を含むことができる。図3Aには一実施形態の各素子を示す断面図が示されており、図3Bには一実施形態の構造素子の分解図が示されている。金属基板210は金属バックプレーン120に接合可能であり、これにより気密に封止された蒸気室300が形成される。したがって、蒸気室300は、金属基板210と金属バックプレーン120とによって包囲可能である。例えば、一実施形態では、チタン基板はチタンバックプレーン120にパルスマイクロ溶接でき、これにより気密に封止された蒸気室が形成される。

【0032】

幾つかの実施形態では、複数の中間基板110を使用可能であり、ここで、少なくとも1つの異なる中間基板110をサーマルグラウンドプレーンのそれぞれ異なる領域に対して使用可能である。複数の中間基板110は相互に近接して配置可能であり、これによって集合的にサーマルグラウンドプレーンの機能に対する全体的な利益が提供される。

【0033】

幾つかの実施形態では、中間基板 110 は、 $1 \mu\text{m} \sim 1000 \mu\text{m}$ の範囲の特徴寸法（深さ、幅および間隔）を有する複数の微細構造 112 から形成される領域を含むことができる。幾つかの実施形態では、中間基板 110 は、 $10 \mu\text{m} \sim 500 \mu\text{m}$ の範囲の寸法（深さ、幅および間隔）を有する複数の微細構造 112 から形成される領域を含むことができる。

【0034】

少なくとも 1 つの中間基板 110 は、複数の微細構造 112 から形成される領域と、固体基板から形成される領域と、少なくとも 1 つの中間基板 110 の（微細構造 112 に比べて大きい）少なくとも 1 つの開口から形成される領域とを含むことができ、例えば開口は $1 \text{mm} \sim 100 \text{mm}$ の範囲または $1 \text{mm} \sim 1000 \text{mm}$ の範囲の寸法を有することができる。

【0035】

幾つかの実施形態では、サーマルグラウンドプレーンの選択された領域に対する、中間基板 110 の開口は、当該領域に中間基板 110 を単純に設けることによるのみでは達成できない。熱エネルギーは熱源 250 によって供給されうるし、ヒートシンク 260 によって除去もされうる。熱エネルギーは、金属基板 210 の 1 つの領域（蒸発器領域）から金属基板 210 の別の領域（凝縮器領域）へ伝達可能である。蒸発器領域では、局所温度が液体／蒸気混合物の飽和温度より高く、液体 140 が蒸発して蒸気となることにより、蒸発の潜在熱によって熱エネルギーが吸収される。

【0036】

蒸気室 300 に存在する蒸気は、蒸発器領域から断熱領域を経て凝縮器領域へ流れることができる。ヒートシンク 260 は、凝縮器領域から熱を吸収し、局所温度を液体／蒸気混合物の飽和温度よりも低くして、蒸気相を液相へ凝縮させることで、蒸発の潜在熱によって熱エネルギーを解放する。

【0037】

凝縮した液体 140 は主にウィッキング構造 220 内に存在することができ、毛管力にしたがって、凝縮器領域から断熱領域を経て蒸発器領域へ流れることができる。

【0038】

結果として、（1）ウィッキング構造 220 を通って流れる液体 140 に対する最小の粘性損失と、（2）蒸発器領域における最大毛管力とを示す、高いパフォーマンスのヒートパイプが有利でありうる。実際の多くのサーマルグラウンドプレーンの形態では、最小の粘性損失と最大の毛管力とを同時に達成することは困難である。3 つの領域それぞれにおいて適切に構成された複数の微細構造 112 を中間基板 110 に導入することにより、幾つかの領域においてサーマルグラウンドプレーンが粘性損失を低下させることのできる手段を提供でき、さらに、多少に關わらず内部の大半が同じ構造である従来技術の TGP に比べて別の領域での毛管力の増大が示される。

【0039】

幾つかの実施形態では、バックプレーン 120 とウィッキング構造 220 および／または中間基板 110 との間隔を機械的に支持するために、支持ピラー（隔離柱）が用いられる。幾つかの実施形態では、支持ピラー（隔離柱）により、蒸気室 300 のための制御された間隔が提供される。支持ピラー（隔離柱）は、ケミカルウェットエッティング技術または（上述したような）他の作成技術を用いて微細作成可能である。したがって、バックプレーンは、サーマルグラウンドプレーンを構造的に支持するための中間基板および／または金属基板と連通した隔離柱を含むことができる。

【0040】

図 4 には、種々の構造素子が蒸発器領域および断熱領域および凝縮器領域に配置された実施形態の各構造素子が示されており、図 4A には、中間基板 110 がウィッキング構造 220 の有効アスペクト比を増大するように配置された複数の微細構造 112 を含む実施形態の蒸発器領域が示されている。中間基板 110 のフィンガ（微細構造 112）は、ウィッキング構造 220 のチャネルに挟み込まれており、これにより、中間基板 110 なし

のウィッキング構造 220 の低いアスペクト比の形態に比べて、2倍の高さのアスペクト比の形態を形成できる。図4Bには、中間基板110がウィッキング構造220に近接して配置される実施形態の断熱領域が示されており、図4Cには、ウィッキング構造220が蒸気室300に直接に連通している実施形態の凝縮器領域が示されている。図4Dには中間基板110が全体として示されている。

【0041】

したがって、サーマルグラウンドプレーンは、蒸発器領域および断熱領域および凝縮器領域を有することができる。また、中間基板は、種々の領域、特に断熱領域の形状に対して異なる蒸発器領域の形状を有することができる。

【0042】

図4Aには、中間基板110が金属基板210のウィッキング構造220に挟み込まれた複数の微細構造112を含む実施形態が示されている。中間領域の微細構造112を金属基板210のウィッキング構造220に挟み込むことにより、固体と液体との間の界面面積を大幅に増大させることができる。これにより、液体に加えられる毛管力も上昇し、金属の固体から液体への熱移動量も増大させることができる。

【0043】

図4Bには、中間基板110がウィッキング構造220に近接して配置されている実施形態の断熱領域が示されている。固体の中間基板110は、ウィッキング構造220から蒸気室300を分離するために用いることができる。ウィッキング構造220から蒸気室300を分離することにより、固体　液体界面の面積が増大し、かつ液体がウィッキング構造220をほぼ満たすことができ、メニスカスがチャネルをふさぐことはなく、ウィッキング構造220の液体が液体　蒸気界面に存在するメニスカスを有する蒸気室300の蒸気に直接に露出しうる従来のTGPに比べて、粘性圧力損失の小さい液体に対する高い質量流量を得ることができる。

【0044】

図4Cには、ウィッキング構造220が蒸気室300に直接に連通している実施形態の凝縮器領域が示されている。ウィッキング構造220が蒸気室300に直接に連通している場合、蒸気は容易にウィッキング構造220上に凝縮しうる。また、凝縮器などの領域では、液相と蒸気相との間に大きな圧力差が生じることではなく、中間基板110は大きな利点を提供しない。

【0045】

しかし、他の実施形態として、凝縮器領域が比較的大きく、そのために液相と蒸気相との間の圧力差が大きい場合には、中間基板110は凝縮器領域において同様の利点を提供できる。

【0046】

図4Dには、上述した中間基板110を実現する例示的形態が示されている。中間基板110の蒸発器領域は、TGPを組み立てる際に図4Aに示されているごとくフィンガが基板のウィッキング微細構造112に挟み込まれるよう、両端にわたって支持された楔状のフィンガ列を含む。なお、図4Aでは挟み込まれた構造が蒸気室300に露出している。中間基板110の断熱領域は、図4Bに示されているように、ウィッキング微細構造112の一部に重なるカバーである。凝縮器領域は、幾つかの実施形態では、図4Cに示されているように、中間基板110を必要としない。

【0047】

アスペクト比は、通常、或る構造の1つの主寸法に対する別の主寸法の比として定義されている。ヒートパイプの用途に用いられるピラー、チャネル、トレンチ、溝もしくは他の形態では、有効アスペクト比とは、流体、例えばウィッキング構造220を通って流れれる液体140が占有する領域の高さと幅との比を意味しうる。幾つかの実施形態では、中間基板110は、ウィッキング構造220と組み合わされて、ウィッキング構造220によるのみのアスペクト比より著しく大きな有効アスペクト比を形成する（図4Aに例示されているような）1つのセクションを含むことができる。言い換えれば、中間基板110

は、ウィッキング構造 220に共形的に適合する複数の凸部を含む領域を有することができ、これにより、毛管力によって液体が駆動される狭い流路が形成される。当該凸部は、図 4 A に示されているように、ウィッキング構造 220 の形態に適合するように成形可能である。

【0048】

幾つかの所望のマイクロマシニングプロセス、例えばウェットケミカルエッチングなどでは、ウィッキング構造 220での高いアスペクト比を達成するのが困難なことがある。2つの構造をインタリープ式に配置すれば、ウィッキング構造内に、単独のウェットエッチング構造を用いて達成されるよりも高いアスペクト比を達成することができる。中間基板 110 は、粘性損失を最小化するため、かつ上部近傍の蒸気から液体を分離するため、かつ流量を高めるために、基本的にはウィッキング構造 220のキャップとしての（図 4 B に例示されているような）別のセクションを含むことができる。中間基板 110 が上述した微細構造 112 より大きく開放された開口から形成されている（図 4 C に例示されているような）第 3 のセクションは、ウィッキング構造 220と蒸気領域との直接の連通を可能にし、凝縮を促進するために設けられている。したがって、中間基板の各開口は、サーマルグラウンドプレーンの少なくとも 1 つの領域において、ウィッキング構造と蒸気室とを直接に連通させることができる程度に、微細構造よりも著しく大きく開放させることができる。

【0049】

このように、中間基板 110 を追加することにより、冷却装置の 3 つの動作領域のそれにおいて、ウェットエッチング技術および組み立て技術などのマイクロマシニングプロセスと互換性を有しうる方式で、ウィッキング構造 220の最適化が可能となる。

【0050】

一般性を失わない範囲で、ウィッキング構造 220は、ドライエッティング、ウェットケミカルエッティング、他の形式のマイクロマシニング、マクロマシニング、ダイシングソーを用いたソー切削、および、他の多くのタイプのプロセスによって形成可能である。幾つかの実施形態では、ドライエッティングは、チャネルの深さが幅と同等かまたは幾らか大きい、高いアスペクト比のチャネルを形成することができる。ただし、ドライエッティングは、ウェットエッティングプロセスに比べて小さい領域に制限され、大スケールの製造にとっては望ましくないことがある。マスクをベースとしたウェットエッティングは、相対的に大きなエッティング領域に適用可能であるので望ましく、コスト効率が良いことが多く、大ボリュームの製造にも互換性を有しうる。幾つかの実施形態では、フォトリソグラフィベースの手法を、ドライエッティングまたはウェットエッティングに利用可能である。

【0051】

幾つかの実施形態では、ウィッキング構造 220は、標準ウェットケミカルエッティング技術によって形成可能である。幾つかの実施形態では、ウェットケミカルエッティングによって、ウィッキングチャネル幅に対するウィッキングチャネル深さの比としてのアスペクト比が制限されることがある。ウェットエッティングを利用する幾つかの実施形態では、ウィッキングチャネルの幅がウィッキングチャネルのエッティング深さよりも少なくとも 2 倍～2.5 倍広くなりうる。ウィッキングチャネルの幅がウィッキングチャネルのエッティング深さよりも少なくとも 2 倍～2.5 倍広くなりうる幾つかの実施形態では、低いアスペクト比のウィッキングチャネルに対する重大な欠点が生じうる。

【0052】

蒸気相と液相との間の圧力は、ラプラス圧力、すなわち、

$$P = P_v - P_l = 2 / R$$

によって記述可能であり、ここで、 P_v は蒸気圧、 P_l は液圧、 γ は表面張力、 R は表面の曲率半径である。液相と蒸気相との間の高い圧力差は、曲率半径 R を低下させることにより得られる。

【0053】

一般に、小さい曲率半径は、小さい接触角を示す材料表面を設けることによって、かつ

相対的に小さい幾何学寸法を有するジオメトリを形成することによって、得ることができる。多くの実施形態では、ウィッキング構造 220 を通って流れる液体の粘性損失を低くすることが望ましいはずである。ウィッキング構造 220 の幾何学寸法が小さいことにより、ウィッキング構造 220 を通って流れる液体の粘性損失が著しく増大しうる。したがって、幾つかの実施形態では、低い粘性損失を達成して、蒸気相と液相との間の高い圧力差を支持できる小さい曲率半径を有するメニスカスを設けることは困難なことがある。本願では、最大の毛管力、および、例えば蒸発器領域における液相と蒸気相との間の大きな圧力差の支持のために構成可能な幾つかの実施形態における手段を開示する。本願は、種々の領域において種々の構造を用いることにより、ウィッキング構造 220 内を流れる液体の粘性損失を最小化するように構成可能な幾つかの実施形態の手段を開示する。

【 0 0 5 4 】

図 5 には、濡れていない（すなわち乾いた）構造を有する例示的形態と液体で濡れた構造とを有する例示的形態の各構造素子の断面図が示されている。図 5 A には蒸発器領域の濡れていない構造素子が示されており、図 5 B には蒸発器領域の濡れた構造素子が示されており、図 5 C には断熱領域の濡れていない構造素子が示されており、図 5 D には断熱領域の濡れた構造素子が示されており、図 5 E には凝縮器領域の濡れていない構造素子が示されており、図 5 F には凝縮器領域の濡れた構造素子が示されている。

【 0 0 5 5 】

図 5 A には、中間基板 110 が金属基板 210 のウィッキング構造 220 に挟み込まれた複数の微細構造 112 を含む例示的形態の断面図が示されている。

【 0 0 5 6 】

図 5 B には、中間基板 110 が金属基板 210 のウィッキング構造 220 に挟み込まれた複数の微細構造 112 を含み、微細構造 112 とウィッキング構造 220 とが液体 140 で濡らされている例示的形態の断面図が示されている。

【 0 0 5 7 】

中間基板 110 の微細構造 112 を金属基板 210 のウィッキング構造 220 に挟み込むことにより、固体と液体 140 との界面の面積を著しく増大できる。これにより、液体 140 に適用される毛管力も増大できるし、金属の固体から液体 140 への熱伝達量も増大できる。

【 0 0 5 8 】

図 5 B には、液体 蒸気界面のメニスカス 180 が示されている。幾つかの実施形態では、中間基板 110 に含まれている複数の微細構造 112 とウィッキング構造 220 との間の空隙を、ウィッキング構造 220 の深さよりも著しく小さくなるように成形可能である。幾つかの実施形態では、中間基板 110 に含まれる複数の微細構造 112 とウィッキング構造 220 との間の空隙が相対的に小さいことにより、単独の金属基板 210 のウェットエッティングによってウィッキング構造 220 が成形される幾つかの実施形態（通常の形態、図 4 C に示されている）に比べて有意に高いアスペクト比のウィッキングチャネルを形成可能である。

【 0 0 5 9 】

幾つかの実施形態では、チタンを基板材料として用いることができる。チタンの熱伝導率はおおよそ $k_{Ti} = 20 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ 、液体の水の熱伝導率はおおよそ $k_w = 0.6 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ である。チタンの熱伝導率は液体の水の熱伝導率よりおおよそ 30 倍高いため、中間基板 110 は付加的な熱伝導経路を形成でき、これによってサーマルグラウンドプレーンの外面とウィッキング構造 220 内に存在する液体 140 との間の熱抵抗を低減できる。さらに、中間基板 110 内に含まれる微細構造 112 は、固体 液体界面の面積を増大させて熱抵抗を低減でき、さらにチタンの固体と液体 140 との間に発生しうる主要な熱流束を増大できる。

【 0 0 6 0 】

幾つかの実施形態では、ウィッキング構造 220 と中間基板 110 との組み合わせにより、ウィッキング構造 220 内のチャネルのアスペクト比を有意に増大できる。液相と蒸

気相との圧力差がきわめて大きいので、メニスカス 180 が押し下げられ、ウィッキング構造 220 の上部が濡れることはない。しかし、幾つかの実施形態では、中間基板 110 の微細構造 112 をウィッキング構造 220 に挟み込むことで形成された複合ウィッキング構造 220 の形状を、メニスカス 180 にかかる大きな圧力差のもとで、ウィッキング構造 220 の乾燥が部分的にしか生じず（または少なくとも乾燥が著しく遅れ）、（TGP が動作を続行し、）サーマルグラウンドプレーンが破局的な乾燥を起こさないように、選定可能である。

【0061】

従来の 2 相熱伝達装置では、液相が蒸気相へ変化する際の蒸発および / または沸騰によって不安定状態が発生することがある。こうした不安定状態はウィッキング構造 220 の局所的な乾燥を生じさせ、サーマルグラウンドプレーンのパフォーマンスを低下させうる。こうした不安定状態は、本発明の幾つかの実施形態において大幅に低減できる。例えば、幾つかの実施形態では、中間基板 110 の微細構造 112 をウィッキング構造 220 に挟み込むことで形成されたウィッキング構造 220 の形状を、このウィッキング構造 220 内の液流を抑制する相当の粘性抵抗が得られるように選定可能である。当該粘性抵抗は、蒸発器において発生する蒸発および / または沸騰のプロセスの安定性を増大できるので、有利でありうる。

【0062】

図 5C には、中間基板 110 がウィッキング構造 220 に近接して配置されている例示的形態の断熱領域の断面図が示されている。幾つかの実施形態では、中間基板 110 はウィッキング構造 220 の直上に配置可能である。幾つかの実施形態では、中間基板 110 は微細構造 112 を含みうる。幾つかの実施形態では、固体の中間基板 110 は、ウィッキング構造 220 から蒸気室 300 を分離するために使用可能である。蒸気室 300 をウィッキング構造 220 から分離することにより、固体 液体界面の面積を増大させ、液体 140 によってウィッキング構造 220 をほぼ満たしうるので、従来のウィッキング構造 220 に比べて、粘性圧力損失の小さい液体の、より大きな質量流量を得ることができる。

【0063】

図 5D には、中間基板 110 がウィッキング構造に近接して配置されており、液体 140 がウィッキング構造 220 内を濡らしている例示的形態の断熱領域の断面図が示されている。固体の中間基板 110 は、蒸気室 300 をウィッキング構造 220 から分離するために用いることができる。蒸気室 300 をウィッキング構造 220 から分離することにより、固体 液体界面の面積を増大させることができ、液体 140 によって実質的にウィッキング構造 220 を満たすことができる。これにより、従来のウィッキング構造 220 に比べて、粘性圧力損失の小さい液体の、より大きな質量流量を得ることができる。

【0064】

高い熱エネルギー伝達力が所望される幾つかの実施形態では、断熱領域での液体の粘性損失を低減することが重要となりうる。幾つかの実施形態では、中間基板 110 を用いて、蒸気室 300 をウィッキング構造 220 内の液体 140 から分離することができる。ウィッキング構造 220 内の蒸気と液体との間の圧力差が大きい幾つかの実施形態では、蒸気室 300 を固体の中間基板 110 によってウィッキング構造 220 内の液体から分離可能であり、これにより、大きな圧力差がウィッキング構造 220 内を流れる液体に対して負の影響を及ぼすことを防止できる。

【0065】

従来の TGP では、ウェットエッチングされたウィッキングチャネルのアスペクト比が低くなる（すなわちチャネル幅に対するチャネル高さの比が小さくなる）ことがある。幾つかの実施形態において、蒸気相と液相との間の圧力差が大きい場合、液相が完全にウィッキングチャネルを満たせず、ウィッキング構造 220 を通る液体 140 の流れが負の影響を受け、ウィッキングチャネルの乾燥が生じことがある。本発明で開示している幾つかの実施形態では、中間基板 110 を用いて蒸気室 300 をウィッキング構造 220 内の

液体 140 から分離し、ウィッキング構造 220 の乾燥を遅延させることができ、もしくは、防止することさえ可能である。

【0066】

図 5 E には、ウィッキング構造 220 が蒸気室 300 に直接に連通している例示的形態の凝縮器領域の断面図が示されている。ウィッキング構造 220 が蒸気室 300 に直接に連通している場合、蒸気はより容易にウィッキング構造 220 上に凝縮しうる。さらに、例えば凝縮器の領域において、液相と蒸気相との間に大きな圧力差が存在しえないので、中間基板 110 は大きな利点を提供できない。ただし、凝縮器領域が大きい場合には、液相と蒸気相との間に大きな圧力差が生じることができ、相応に、凝縮器領域が、ウィッキング構造 220 のアスペクト比を増大させる効果を有する微細構造 112 を含む少なくとも 1 つの中間基板 110 から相当の利益を得ることができる。これにより、メニスカス 180 の長さが短縮されるので、蒸発器領域に即して上述したように、メニスカス 180 の支持しうる圧力量が増大する。

【0067】

図 5 F には、ウィッキング構造 220 が蒸気室 300 に直接に連通しており、ウィッキング構造 220 が液体 140 で濡らされている例示的形態の凝縮器領域の断面図が示されている。幾つかの実施形態では、蒸気室 300 とウィッキング構造 220 内の液体 140 との間に大きな圧力差が存在しえないので、中間基板 110 は大きな利点を提供できない。ただし、凝縮器領域が大きい場合には、液相と蒸気相との間に大きな圧力差が存在することができ、相応に、蒸発器領域について上述したのと同様に、凝縮器領域が、ウィッキング構造 220 のアスペクト比を増大させかつメニスカス 180 が支持できる圧力量を増大させる効果を有する微細構造 112 から相当の利益を得ることができる。

【0068】

図 6 には、サーマルグラウンドプレーンの例示的形態の軸線方向位置の関数としての圧力特性が示されている。曲線は、蒸気室 300 内の蒸気相およびウィッキング構造 220 内の液相の圧力を示している。例示的形態では、液相と蒸気相との間の最大圧力差は蒸発器領域において生じうる。例示的形態では、液相と蒸気相との間の最小圧力差は凝縮器領域において生じうる。

【0069】

ウィッキング構造 220 は、チャネル、ピラーまたは他の構造から形成されうる。これらの構造がウェットエッチングまたは他の製造プロセスによって形成される場合、これらは低いアスペクト比を有する形態から形成されることがある。従来のウィッキング構造 220 は、低いアスペクト比のチャネルまたはピラーから形成されることがあり、中間構造は含まない。従来の低いアスペクト比のウィッキング構造 220 では、液相と蒸気相との間の大きな圧力差が 2 相の間のメニスカス 180 をチャネルの底部へ向かって拡大し、これにより、チャネルを占有する液体 140 の量が低下して、液体の質量流量が大幅に低下してしまう。このことは熱伝達力の低下を生じさせることがあり、ウィッキング構造 220 の乾燥をまねきかねない。

【0070】

図 6 に示されているように、最大蒸気圧は典型的には蒸発器領域において発生し、蒸気圧は、粘性損失によって、TGP による熱伝達量にともなって増大する。また、サーマルグラウンドプレーンの全体厚さを実用上できるだけ薄くすることが所望されることがあるが、これは蒸気室 300 を相対的に薄くすることで達成可能である。相対的に薄い蒸気室 300 により、蒸発器から断熱領域を経て凝縮器へ、蒸気室 300 内を流れる蒸気に相当の粘性損失が生じうる。蒸気室 300 内を流れる蒸気の高い粘性損失も、蒸発器内の液相と蒸気相との間の大きな圧力差に寄与できる。ウィッキング構造 220 のアスペクト比を増大させる中間基板 110 の構造は、上述したように、液体 蒸気界面のメニスカス 180 の長さを低減する効果を有し、ウィッキング構造 220 の当該箇所での曲率半径を小さくするので、これにより、メニスカス 180 は高いメニスカス圧力に対するいっそう大きな耐性を有し (図 5 B) 、TGP が従来の構成よりも著しく大きな圧力を支持できるよう

になる。したがって、少なくとも 1 つの中間基板の少なくとも 1 つの領域は、ウィッキング構造の少なくとも 1 つの領域に挟み込まれた複数の微細構造を有することができ、これにより高いアスペクト比のウィッキング構造がサーマルグラウンドプレーンの少なくとも 1 つの領域に形成される。さらに、少なくとも 1 つの中間基板をウィッキング構造に近接して配置可能であり、これによりサーマルグラウンドプレーンの少なくとも 1 つの領域において、液相と蒸気相とを分離することができる。

【 0 0 7 1 】

蒸気相と液相との間の高い圧力差を支持することにより、ウィッキング構造 2 2 0 を乾燥させることなく、より大きな熱を伝達でき、さらに、より薄いデザインに起因する粘性損失への T G P の耐性をより大きくすることができる。こうして、中間基板 1 1 0 の追加により、大きな熱伝達量と薄いグラウンドプレーンとの双方を同時に達成できる。

【 0 0 7 2 】

幾つかの実施形態では、凝縮器内の蒸気相と液相との間の圧力差が良好に制御されるよう、サーマルグラウンドプレーンを、飽和した液体 蒸気混合物の比重によって満たすことができる。幾つかの実施形態では、液体 蒸気混合物の質量は、凝縮器領域の一部が隣接する蒸気よりも高い圧力の液体を含みうるように選定可能である。

【 0 0 7 3 】

図 7 には、熱伝達率 $Q = 10 \text{ W}, 20 \text{ W} \text{ および } 30 \text{ W}$ のもとでのサーマルグラウンドプレーンの例示的形態の、軸線方向位置の関数としての温度分布が示されている。当該例示的形態では、蒸発器が中央に、断熱領域と凝縮器領域とがその両側に位置している。中間基板 1 1 0 を含むチタンのサーマルグラウンドプレーンの実施形態の利用の結果が示されている。

【 0 0 7 4 】

図 8 では、種々の蒸発温度に対する、チタンベースのサーマルグラウンドプレーンの最大熱伝達量が比較されている。当該比較は、従来のチタンサーマルグラウンドプレーンと、本発明の中間基板 1 1 0 を用いたサーマルグラウンドプレーンの例示的な一形態との間で行われたものである。

【 0 0 7 5 】

図 7 でテストされている実施形態と同様の寸法を有する、従来のチタンサーマルグラウンドプレーンは、中間基板 1 1 0 を用いた本発明のサーマルグラウンドプレーンの例示的形態の 30 W に比べて、ウィッキング構造 2 2 0 が動作蒸発温度 30 で乾燥を示すまでに、約 10 W の熱エネルギーしか伝達できない。同様に、蒸発温度が上昇すると、動作蒸発温度 50 および 70 に対して、本発明のサーマルグラウンドプレーンの例示的形態で伝達される最大熱エネルギーもそれぞれ 35 W および 40 W へ増大する。いずれのケースにおいても、本発明のサーマルグラウンドプレーンの例示的形態で伝達される最大熱エネルギーは、従来のサーマルグラウンドプレーンで観察されるものより 15 W ~ 20 W 大きくなる。

【 0 0 7 6 】

図 9 には、本発明の 1 つもしくは複数の実施形態による、本発明のチタンベースの T G P の 1 つもしくは複数の形態の製造法のフローチャートが示されている。幾つかの実施形態では、熱エネルギーは（1）複数の金属の微細構造をサーマルグラウンドプレーンの金属基板に形成し、ステップ S 1 0 0 でウィッキング構造を形成することにより輸送可能である。ステップ S 1 1 0 では、蒸気室を形成可能である。ステップ S 1 2 0 では、ウィッキング構造および蒸気室に連通された中間基板内に、少なくとも 1 つの構造および / または少なくとも 1 つの微細構造が形成される。ここで、中間基板は、ウィッキング構造の少なくとも 1 つの領域においてウィッキング構造の有効アスペクト比が増大されるように成形および配置される。ステップ S 1 3 0 では、流体をサーマルグラウンドプレーン内に含ませることができる。ステップ S 1 4 0 では、複数の微細構造から得られる毛管力によって駆動される流体の運動により、金属基板の少なくとも 1 つの領域の熱エネルギーを金属基板の少なくとも 1 つの別の領域へ輸送可能である。

【 0 0 7 7 】

図10には、本発明の1つもしくは複数の実施形態による、本発明のチタンベースのTGPの1つもしくは複数の形態の製造法のフローチャートが示されている。幾つかの実施形態では、金属ベースのサーマルグラウンドプレーンを以下のプロセスによって形成可能である。ステップS200では、第1の基板が形成される。ステップS210では、第2の基板が形成される。ステップS220では、少なくとも1つの中間基板が形成される。ステップS230では、各基板が接合される。ステップS240では、サーマルグラウンドプレーンが形成される。

【 0 0 7 8 】

図11には、中間基板110に連通しているウィッキング構造220の例示的形態が示されている。有効アスペクト比は、有効チャネル幅wに対する有効チャネル高さhとの比で定められ、(A)には、中間基板110の微細構造112がウィッキング構造220に挟み込まれている例示的形態が示されており、(B)には、中間基板110の微細構造112がウィッキング構造220の上方に配置されている代替的な実施形態が示されている。

【 0 0 7 9 】

図11に示されている例示的形態により、中間基板110を含まないウィッキング構造220によって得られるであろう有効アスペクト比よりも大きな有効アスペクト比を得ることができる。例えば、ウィッキング構造220がウェットエッ칭プロセスまたは他の等方性エッ칭プロセスによって形成される場合、アスペクト比h/wは1単位より小さいかまたは1単位より大幅に小さくなることがある。中間基板110を用いると、ウィッキング構造220と中間基板110との間の流体チャネルのより大きな有効アスペクト比を達成できる。例えば、幾つかの実施形態では、h/w > 1であり、ここでhは流体チャネルの有効高さ(または深さ)であり、wは幅である。

【 0 0 8 0 】

図11の(B)には、相対的に小さい粘性損失が所望される場合に有利となりうる代替的な実施形態が示されている。

【 0 0 8 1 】

図12には、中間基板310がウィッキング構造320に挟み込まれた複数の微細構造312を含む例示的形態が示されている。挟み込まれた微細構造312は、横部材330に機械的に接合されている。幾つかの実施形態では、挟み込まれた微細構造312と横部材330とは単独の基板から形成される。横部材330は金属または他の材料から形成可能である。幾つかの実施形態では、金属の横部材330は、チタン、銅、アルミニウム、ステンレス鋼または他の金属を含むことができる。幾つかの実施形態では、挟み込まれた微細構造312と横部材330とは、ケミカルエッ칭された金属膜によって、例えばチタン金属膜、銅金属膜、ステンレス鋼金属膜、アルミニウム金属膜などによって形成可能である。

【 0 0 8 2 】

幾つかの実施形態では、横部材330は、挟み込まれた微細構造312に対する機械的支持を行うことができる。幾つかの実施形態では、横部材330は、挟み込まれた微細構造312またはサーマルグラウンドプレーン全体の間の熱伝導によって熱エネルギーを伝達可能である。幾つかの実施形態では、横部材330は、毛管力によって横部材に沿って液体を輸送可能なように濡れ面を形成できる。これにより、挟み込まれた微細構造間の流体連通が可能となる。

【 0 0 8 3 】

幾つかの実施形態では、横部材330は、蒸気の凝縮を可能にする表面積を形成できる。

【 0 0 8 4 】

図13には、中間基板410が複数の横部材430を含む例示的形態が示されている。ウィッキング構造412は、金属基板420から形成されている。図13Aには、微細構

造 4 1 4 が横部材 4 3 0 に連通している例示的形態が示されている。別の例示的形態では微細構造 4 1 4 と横部材 4 3 0 とをウィッキング構造 4 1 2 の上方に直接に配置できる。図 1 3 B には、横部材 4 3 0 が直接にウィッキング構造 4 1 2 上に配置された例示的形態が示されている。

【 0 0 8 5 】

幾つかの実施形態では、中間基板 4 1 0 は横部材 4 3 0 によって構成可能であり、サーマルグラウンドプレーンの凝縮器領域に配置可能である。幾つかの実施形態では、中間基板 4 1 0 は横部材 4 3 0 によって構成可能であり、サーマルグラウンドプレーンの断熱領域に配置可能である。幾つかの実施形態では、中間基板 4 1 0 は横部材 4 3 0 によって構成可能であり、サーマルグラウンドプレーンの蒸発器領域に配置可能である。

【 0 0 8 6 】

図 1 4 には、蒸気室が 1 つもしくは複数の凹領域 5 4 0 , 5 4 2 , 5 4 4 を含む例示的形態の断面図が示されている。蒸気室内の蒸気の粘性流はポアズイユの流れによって定義可能であり、ここでは、所定の圧力損失および密度および粘性に対して、蒸気の質量流量が蒸気室の高さの $3 \text{ 乗 } h^3$ によってスケーリングされている。きわめて薄い蒸気室に対しては、粘性損失が大きくなり、サーマルグラウンドプレーンの全体的なパフォーマンスが制限されてしまうことがある。幾つかの実施形態では、蒸気室 3 0 0 は 1 つもしくは複数の凹領域 5 4 0 によって構成可能であり、これにより、サーマルグラウンドプレーンの選択された領域において、蒸気室の有効高さ h が増大する。蒸気の質量流量は h^3 にともなって変化しうるので、選択された領域における蒸気室の高さの増大により、所定の圧力損失に対して、蒸気室を通る蒸気の質量流量を著しく増大させることができる。

【 0 0 8 7 】

幾つかの実施形態では、1 つもしくは複数の凹領域 5 4 4 を金属基板内に形成し、ウィッキング構造に隣接するように配置可能である。幾つかの実施形態では、1 つもしくは複数の凹領域 5 4 0 , 5 4 2 は、バックプレーン 5 3 0 に形成可能である。幾つかの実施形態では、1 つもしくは複数の凹領域を金属基板とバックプレーンとの組み合わせによって形成可能である。幾つかの実施形態では、蒸気室での粘性損失を最小化するために、凹領域は他の凹領域に連通するように構成可能である。幾つかの実施形態では、当該領域における蒸気室の全体深さが凹領域 5 4 0 と凹領域 5 4 4 との組み合わせによって増大されるよう、凹領域 5 4 0 を凹領域 5 4 4 に対して位置調整できる。蒸気の質量流量は蒸気室の高さの $3 \text{ 乗 } h^3$ にともなって変化しうる。したがって、凹領域 5 4 0 と凹領域 5 4 4 との組み合わせは、粘性損失の低減に対して非線形の作用を及ぼすことができ、これにより全体的な質量流量が増大される。

【 0 0 8 8 】

種々の詳細を、上で概述した例示的な各実施形態に関連して説明したが、種々の代替形態、修正形態、変形形態、構成形態および / または実質的な等価形態が、既知であってもまたは現在知られていなくても、本明細書を検討することで明らかとなるはずである。したがって、上述した例示的な構成形態は説明のためのものであり、限定を意図していない。