

【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 2 8 D 15/02 (2006.01)

F 2 8 D 15/04 (2006.01)

【F I】

F 2 8 D 15/02 1 0 1 H

F 2 8 D 15/02 L

F 2 8 D 15/02 1 0 2 A

F 2 8 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 ~ 1000 μmの高さ、1 μm ~ 1000 μmの幅、1 μm ~ 1000 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17】

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18】

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19】

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している。

【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 $1\mu\text{m}$ ～ $1000\mu\text{m}$ の高さ、約 $1\mu\text{m}$ ～ $1000\mu\text{m}$ の幅および約 $1\mu\text{m}$ ～ $1000\mu\text{m}$ の間隔を有するウィッキ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つの中間基板がウィッキ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、流体をウィッキ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、当該流体はウィッキ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、ウィッキング構造内の高い毛管力を得るために、液相と蒸気相との間の大きな圧力差が支持され、ただしウィッキ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、ウィッキ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、中間基板形態はウィッキング構造形態に挟み込まれ、これによりウィッキ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、ウィッキ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ィッキ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、ウィッキ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、ウィッキ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、ウィッキング構造、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) はチャン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とを示している。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、有効チャンネル幅 w に対する有効チャンネル高さ 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、チタンは高い破壊靱性を有し、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。チタンは高い破壊靱性を有するので、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せられて、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、インテグレート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。

【0020】

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。

【0021】

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。

【0022】

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。

【0023】

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。

【0024】

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。

【0025】

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ィッキング構造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ィッキング構造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。

【0026】

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。

【0027】

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幅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、サーマルグラウン

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。

【 0 0 2 8 】

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 7 7 1 8 5 5 2 号明細書 (U S 7 7 1 8 5 5 2 B 2) 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 6 1 / 0 8 2 4 3 7 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 1 3 / 6 8 5 5 7 9 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。P C T 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 2 0 1 2 / 0 2 3 3 0 3 号明細書 (P C T / U S 2 0 1 2 / 0 2 3 3 0 3) 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 Meinhardt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 6 2 0 1 7 4 5 5 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。

【 0 0 2 9 】

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。

【 0 0 3 0 】

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 2 2 が複数のピラー 2 4 から形成されている従来の T G P が示されている。図 2 の (B) には、チタンウィッキング構造 2 2 ' がチタン基板 2 1 上の複数のチャネルまたは溝 2 8 から形成されている従来の T G P が示されている。

【 0 0 3 1 】

図 3 には、ウィッキング構造 2 2 0 と蒸気室 3 0 0 とに連通した中間基板 1 1 0 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 1 1 2 を含むことができる。図 3 A 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 3 B 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 2 1 0 は金属バックプレーン 1 2 0 に接合可能であり、これにより気密に封止された蒸気室 3 0 0 が形成される。したがって、蒸気室 3 0 0 は、金属基板 2 1 0 と金属バックプレーン 1 2 0 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 1 2 0 にパルスレーザーマイクロ溶接でき、これにより気密に封止された蒸気室が形成される。

【 0 0 3 2 】

幾つかの実施形態では、複数の中間基板 1 1 0 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 1 1 0 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 1 1 0 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。

【 0 0 3 3 】

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、多少に関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チング技術または（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 のチャン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 2 2 0 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 4 B には、中間基板 1 1 0 がウィッキング構造 2 2 0 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 4 C には、ウィッキング構造 2 2 0 が蒸気室 3 0 0 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 4 D には中間基板 1 1 0 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 4 A には、中間基板 1 1 0 が金属基板 2 1 0 のウィッキング構造 2 2 0 に挟み込まれた複数の微細構造 1 1 2 を含む実施形態が示されている。中間領域の微細構造 1 1 2 を金属基板 2 1 0 のウィッキング構造 2 2 0 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 4 B には、中間基板 1 1 0 がウィッキング構造 2 2 0 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 1 1 0 は、ウィッキング構造 2 2 0 から蒸気室 3 0 0 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 2 2 0 から蒸気室 3 0 0 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 2 2 0 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 2 2 0 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 3 0 0 の蒸気に直接に露出する従来の T G P 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 4 C には、ウィッキング構造 2 2 0 が蒸気室 3 0 0 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 2 2 0 が蒸気室 3 0 0 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 2 2 0 上に凝縮する。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はなく、中間基板 1 1 0 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 1 1 0 は凝縮器領域において同様の利点を提供できる。

【0046】

図 4 D には、上述した中間基板 1 1 0 を実現する例示的形態が示されている。中間基板 1 1 0 の蒸発器領域は、T G P を組み立てる際に図 4 A に示されているごとくフィンが基板のウィッキング微細構造 1 1 2 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 4 A では挟み込まれた構造が蒸気室 3 0 0 に露出している。中間基板 1 1 0 の断熱領域は、図 4 B に示されているように、ウィッキング微細構造 1 1 2 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 4 C に示されているように、中間基板 1 1 0 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 2 2 0 を通って流れる液体 1 4 0 が占有する領域の高さと幅との比を意味する。幾つかの実施形態では、中間基板 1 1 0 は、ウィッキング構造 2 2 0 と組み合わせられて、ウィッキング構造 2 2 0 による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 4 A 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 1 1 0

は、ウィッキング構造 2 2 0 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 2 2 0 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 2 2 0 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ブ的に配置すれば、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 1 1 0 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 2 2 0 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 1 1 0 が上述した微細構造 1 1 2 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 2 2 0 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 1 1 0 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ぞれにおいて、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 2 2 0 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 2 2 0 は、ドライエッチング、ウェットケミカルエッチング、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、ドライエッチングは、チャン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ンネルを形成することができる。ただし、ドライエッチングは、ウェットエッチ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チングは、相対的に大きなエッチ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、ドライエッチングまたはウェットエッチ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 2 2 0 は、標準ウェットケミカルエッチ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チングによって、ウィッキングチャンネル幅に対するウィッキングチャン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。ウェットエッチングを利用する幾つかの実施形態では、ウィッキングチャンネルの幅がウィッキングチャンネルのエッチング深さよりも少なくとも 2 倍～2.5 倍広くなりうる。ウィッキングチャンネルの幅がウィッキングチャンネルのエッチ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ン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、

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

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。

【0054】

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。

【0055】

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。

【0056】

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。

【0057】

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。

【0058】

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す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 のウェットエッチ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。

【0059】

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。

【0060】

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 5 C 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 5 D 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ることがある。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 1 4 0 から分離し、ウィッキング構造 2 2 0 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。

【 0 0 6 6 】

図 5 E には、ウィッキング構造 2 2 0 が蒸気室 3 0 0 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 2 2 0 が蒸気室 3 0 0 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 2 2 0 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 1 1 0 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 2 2 0 のアスペクト比を増大させる効果を有する微細構造 1 1 2 を含む少なくとも 1 つの中間基板 1 1 0 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 1 8 0 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 1 8 0 の支持しうる圧力量が増大する。

【 0 0 6 7 】

図 5 F には、ウィッキング構造 2 2 0 が蒸気室 3 0 0 に直接に連通しており、ウィッキング構造 2 2 0 が液体 1 4 0 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 3 0 0 とウィッキング構造 2 2 0 内の液体 1 4 0 との間に大きな圧力差が存在しえないので、中間基板 1 1 0 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 2 2 0 のアスペクト比を増大させかつメニスカス 1 8 0 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 1 1 2 から相当の利益を得ることができる。

【 0 0 6 8 】

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 3 0 0 内の蒸気相およびウィッキング構造 2 2 0 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。

【 0 0 6 9 】

ウィッキング構造 2 2 0 は、チャンネル、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 2 2 0 は、低いアスペクト比のチャン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 2 2 0 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 1 8 0 をチャンネルの底部へ向かって拡大し、これにより、チャンネルを占有する液体 1 4 0 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 2 2 0 の乾燥をまねきかねない。

【 0 0 7 0 】

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、T G P 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 3 0 0 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 3 0 0 により、蒸発器から断熱領域を経て凝縮器へ、蒸気室 3 0 0 内を流れる蒸気に相当の粘性損失が生じうる。蒸気室 3 0 0 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 2 2 0 のアスペクト比を増大させる中間基板 1 1 0 の構造は、上述したように、液体 蒸気界面のメニスカス 1 8 0 の長さを低減する効果を有し、ウィッキング構造 2 2 0 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 1 8 0 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）、T G P 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。

【0071】

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220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TGP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110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。

【0072】

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に、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。

【0073】

図7には、熱伝達率 $Q = 10\text{ W}$ 、 20 W および 30 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110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。

【0074】

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110を用いたサーマルグラウンドプレーンの例示的な形態との間で行われたものである。

【0075】

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110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220が動作蒸発温度 30°C 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°C および 70°C 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 $15\text{ W} \sim 20\text{ W}$ 大きくなる。

【0076】

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、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S110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S110では、蒸気室を形成可能である。ステップS120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S130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S140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 1 0 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 S 2 0 0 では、第 1 の基板が形成される。ステップ S 2 1 0 では、第 2 の基板が形成される。ステップ S 2 2 0 では、少なくとも 1 つの中間基板が形成される。ステップ S 2 3 0 では、各基板が接合される。ステップ S 2 4 0 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 1 1 には、中間基板 1 1 0 に連通しているウィッキング構造 2 2 0 の例示的形態が示されている。有効アスペクト比は、有効チャンネル幅 w に対する有効チャンネル高さ h との比で定められ、(A) には、中間基板 1 1 0 の微細構造 1 1 2 がウィッキング構造 2 2 0 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 1 1 0 の微細構造 1 1 2 がウィッキング構造 2 2 0 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 1 1 に示されている例示的形態により、中間基板 1 1 0 を含まないウィッキング構造 2 2 0 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 2 2 0 がウェットエッチングプロセスまたは他の等方性エッチング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 1 1 0 を用いると、ウィッキング構造 2 2 0 と中間基板 1 1 0 との間の流体チャン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 は流体チャンネルの有効高さ（または深さ）であり、 w は幅である。

【 0 0 8 0 】

図 1 1 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 1 2 には、中間基板 3 1 0 がウィッキング構造 3 2 0 に挟み込まれた複数の微細構造 3 1 2 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 3 1 2 は、横部材 3 3 0 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 3 1 2 と横部材 3 3 0 とは単独の基板から形成される。横部材 3 3 0 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 3 3 0 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 3 1 2 と横部材 3 3 0 とは、ケミカルエッチング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 3 3 0 は、挟み込まれた微細構造 3 1 2 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 3 3 0 は、挟み込まれた微細構造 3 1 2 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 3 3 0 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 3 3 0 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 1 3 には、中間基板 4 1 0 が複数の横部材 4 3 0 を含む例示的形態が示されている。ウィッキング構造 4 1 2 は、金属基板 4 2 0 から形成されている。図 1 3 A 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ボ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 乗 $\sim h^3$ によってスケールアップされている。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 乗 $\sim h^3$ に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、変化形態、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。