

明 細 書

発明の名称： 拡散接合型熱交換器

技術分野

[0001] この発明は、拡散接合型熱交換器に関し、特に、溝状の流路が形成された複数の伝熱板が積層され拡散接合された構成の拡散接合型熱交換器に関する。

背景技術

[0002] 従来、溝状の流路が形成された複数の伝熱板が積層され拡散接合された構成の拡散接合型熱交換器が知られている。このような拡散接合型熱交換器は、例えば、特開 2 0 1 7 - 1 8 0 9 8 4 号公報に開示されている。

[0003] 上記特開 2 0 1 7 - 1 8 0 9 8 4 号公報には、第 1 伝熱板と第 2 伝熱板とを交互に積層して拡散接合したコアを備える熱交換器が開示されている。第 1 伝熱板および第 2 伝熱板は、ステンレス鋼材からなり、それぞれ複数の流体通路部が設けられている。流体通路部は、伝熱板の表面に凹状の溝として形成され流体の導入口と導出口との間をつなぐ流路（チャンネル）によって構成されている。流路は、導入口と導出口との間で複数本に分岐している。複数本に分岐した部分は、直線状に延びて互いに間隔を隔てて並んでいる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開 2 0 1 7 - 1 8 0 9 8 4 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上記特開 2 0 1 7 - 1 8 0 9 8 4 号公報のような拡散接合型の熱交換器は、金属製の伝熱板同士が拡散接合によって一体化されるため強度が高く、一般的な熱交換器と比較して小型の装置とされる。拡散接合型の熱交換器は、大きな熱応力にも耐えうるため、大きな温度差を有する流体間での熱交換用途に好適に用いられる。このような用途として、たとえば液化天然ガス（L

NG)や液体水素などの極低温の流体の気化または昇温がある。この場合、熱源となる高温流体として水や不凍液などが一般に用いられる。

[0006] しかしながら、低温流体として極低温の液化ガスなどを流通させる場合、伝熱板の流路内で水やエチレングリコール水溶液などの高温流体が凍結（凝固）して流路が部分的に閉塞してしまう場合がある。特に、低温流体の入口付近と重なる位置に配置された高温流体側の流路では、低温流体の入口温度が低いため凍結しやすい。拡散接合型の熱交換器は、小型に形成される分、全流路断面積も小さいため、一部の流路が閉塞した場合に熱交換器の性能に与える影響（性能低下）が大きくなるという不都合がある。また、一旦高温流体の凍結が発生すると、凍結部位の下流側で流れが抑制されるので、流路内で凍結部位を起点として凍結領域が拡大することもある。

[0007] このため、極低温の流体を扱う拡散接合型の熱交換器において、高温流体側の流路に凍結が発生することを抑制でき、たとえ凍結が発生しても凍結領域が拡大することを抑制できるようにすることが望まれている。

[0008] この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、この発明の1つの目的は、極低温の流体を扱う場合に、高温流体側の流路に凍結が発生することを抑制可能で、凍結が発生した場合でも凍結領域が拡大することを抑制可能な拡散接合型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

[0009] 上記目的を達成するために、この発明による拡散接合型熱交換器は、積層されて拡散接合された第1伝熱板および第2伝熱板を含むコアを備え、第1伝熱板は、流路幅方向に並んで設けられた溝状の複数のチャンネルを有し、高温流体を流通させる高温流路を含み、第2伝熱板は、低温流体を流通させる低温流路を含み、第1伝熱板の高温流路は、少なくとも第2伝熱板の流路入口から流路入口よりも下流側の位置までの所定範囲と積層方向に重なる範囲において、高温流体が複数のチャンネル間に跨がって流動可能に構成された連結チャンネル部を有する。なお、本明細書において、「高温流体」および「低温流体」は、両者の間での相対的な温度の違いを表したものであり、絶対値

としての特定の温度にあることを意味するものではない。また、本明細書において、「チャンネル」とは、流体の流通方向と直交する流路幅方向において、流路内を区画する隔壁によって仕切られた個々の通路部分を意味する。上記構成によれば、複数のチャンネルが少なくとも連結チャンネル部において相互に連通するため、各々のチャンネルは、流路入口から流路出口に至るまで独立した1本の通路ではない。つまり、各々のチャンネルは、流路入口から流路出口に至るまでに分岐したり別のチャンネルと合流したりしてもよい。

[0010] この発明による拡散接合型熱交換器では、上記のように、少なくとも第2伝熱板の流路入口から流路入口よりも下流側の位置までの所定範囲（低温流路の入口付近）と重なる高温流路の範囲に、高温流体が複数のチャンネル間に跨がって流動可能に構成された連結チャンネル部を設ける。これにより、高温流路のうち、最も低温となる所定範囲と重なる範囲では、各チャンネルが独立した構成と比較して、伝熱面積（チャンネル内表面積）を増大させるとともに、チャンネル間を跨がる流れによって乱流に近い流れが発生するため、連結チャンネル部における熱伝達率を向上させることができる。その結果、高温流路が形成された第1伝熱板への入熱量が増大して高温流路の内表面の温度を高くすることができるので、高温流路における凍結の発生を抑制することができる。また、たとえ連結チャンネル部において高温流体の凍結（凝固）が生じて一部のチャンネルが閉塞した場合でも、別のチャンネルを流れる高温流体がチャンネル間を跨いで閉塞したチャンネルの下流側へ回り込むことができる。その結果、凍結部分の周囲での高温流体の流れが抑制される事に起因する凍結部位の拡大を抑制できる。さらに、一部のチャンネルが凍結により閉塞すると、その分だけ高温流路の流路断面積が減少し、凍結していないチャンネルでは高温流体の流速が上昇する。その結果、凍結していないチャンネルにおける熱伝達率が向上して第1伝熱板への入熱量が増大するので、高温流体の凍結部位の拡大が抑制される。以上により、極低温の流体を扱う場合に、高温流体側の流路に凍結が発生することを抑制でき、凍結が発生した場合でも凍結領域が拡大することを抑制することができる。

- [0011] 上記発明による拡散接合型熱交換器において、好ましくは、連結チャンネル部は、第1伝熱板において高温流路の略全体に亘って形成されている。このように構成すれば、上記連結チャンネル部によって得られる効果を、所定範囲（低温流路の入口付近）のみならず高温流路全体に亘って実現することができる。高温流路内で凍結が発生する可能性が高い所定範囲は、設計仕様において定められた運転条件下での実験またはシミュレーションにより予め確定することができるが、実際の運転中には、予め把握できない各種の変動要因が存在し、凍結部位が想定よりも大きくなる事もあり得る。そのような場合に、上記構成では高温流路全体に連結チャンネル部が形成されていることにより、想定と異なる凍結部位が発生した場合でも凍結の発生および凍結部位の拡大を確実に抑制できる。
- [0012] 上記発明による拡散接合型熱交換器において、好ましくは、高温流路は、流路幅方向に複数並んだ線状のチャンネルを含み、連結チャンネル部では、隣り合うチャンネル間に跨がってチャンネル同士を連通させる溝状の連結通路が複数形成されている。このように構成すれば、線状溝からなるチャンネル同士を接続するように溝状の連結通路を形成するだけで、容易に連結チャンネル部を構成できる。特に、第1伝熱板に対してエッチングなどにより高温流路を形成する場合には、線状のチャンネルと連結通路とを構成する溝構造を一括して形成できるので、連結チャンネル部を設ける場合でも製造工程が複雑化することを抑制できる。
- [0013] この場合、好ましくは、複数の連結通路は、流路幅方向に隣り合う連結通路に対して、高温流体の流通方向における位置が互いにずれるように、千鳥状に配置されている。本明細書において、「千鳥状」とは互い違いになることを意味し、たとえば流路幅方向において奇数番目の連結通路の位置と、偶数番目の連結通路の位置とが、流通方向において互い違いになっていることである。このように構成すれば、たとえば連結通路が流路幅方向に直線状に並んでいる場合と比較して、より効率よく高温流体を流路幅方向に移動させることができる。この結果、連結チャンネル部の伝熱効率の向上および連結チ

ャネル部における凍結部位の周囲への高温流体の回り込みを促進することができる。

[0014] 上記発明による拡散接合型熱交換器において、好ましくは、高温流路は、連結チャネル部において、流路中に点在するように複数配置された島状の隔壁に沿って分岐し、互いに合流し合う複数のチャネルを含む。このように構成しても、高温流体が島状の隔壁によって分岐したり合流したりすることにより、複数のチャネル間に跨がって流動可能となるので、連結チャネル部を構成することができる。

[0015] 上記発明による拡散接合型熱交換器において、好ましくは、高温流路は、平面視において、第2伝熱板の低温流路と重複する重複領域と、少なくとも低温流路の流路入口側で重複領域よりも外側に設けられた非重複領域と、を含む。このように構成すれば、非重複領域では、低温流路側で低温流体が流通しない部分と重複するので、非重複領域を流れる高温流体は、高温流体と低温流体との熱交換にそれほど寄与せず、余剰の高温流体となる。そこで、この非重複領域を低温流路の流路入口側に配置することによって、高温流体の温度が低下する部位（低温流路の流路入口付近の所定範囲と重複する部位）に余剰の高温流体の流れを形成することができる。このため、非重複領域を流れる余剰の高温流体の分だけ高温流体の熱容量を増大させることができる。また、たとえ非重複領域が凍結しても、高温流体の回り込みにより凍結部位よりも下流側に高温流体の流れを形成することができる。その結果、凍結が発生しやすい領域の周辺および下流側に余剰の高温流体の流れを形成できるので、低温流路の流路入口付近の所定範囲と重複する部位での高温流路内の凍結の発生および凍結部位の拡大を、効果的に抑制することができる。

[0016] 上記発明による拡散接合型熱交換器において、好ましくは、低温流路は、第2伝熱板の所定範囲に設けられた第1部分と、第1部分よりも下流側の第2部分とを含み、第1部分は、第2部分よりも伝熱性能が低くなるように構成されている。なお、本明細書において、伝熱性能は、熱伝導、熱伝達（対流熱伝達）、熱放射の各々による熱の移動を含む総合的な性能とする。この

ように構成すれば、低温流路の流路入口から流路入口よりも下流側の位置までの所定範囲（最も低温となる低温流路の入口付近）では、第1部分によって低温流路の伝熱性能が抑制されるので、その分、所定範囲と重複する高温流路側の表面温度を上昇させることができる。その結果、低温流路の流路入口付近の所定範囲と重複する部位での高温流路内の凍結の発生を、効果的に抑制することができる。

[0017] この場合、好ましくは、低温流路は、低温流体を流通させる溝状の複数のチャンネルを含み、第1部分のチャンネルは、第2部分のチャンネルよりも伝熱性能が低くなるように平面形状が異なっている。このように構成すれば、たとえばチャンネル内表面積を小さくしたり、チャンネルの幅を大きくしたり、チャンネルを直線形状にしたりするなど、低温流路を構成するチャンネルの形状を異ならせるだけで、容易に第1部分の伝熱性能を第2部分の伝熱性能よりも低くすることができる。

[0018] 上記発明による拡散接合型熱交換器において、好ましくは、高温流路を流れる高温流体と、低温流路を流れる低温流体とが、互いに同じ方向に流れる並行流型の熱交換器である。このように構成すれば、高温流路の流路入口と、低温流路の流路入口とが流路の同じ側に設けられることになる。そのため、高温流路において低温流路の入口付近と重なる位置では、最も高温の状態の高温流体が流通することになるので、高温流体の凍結の発生を効果的に抑制できる。また、実際の熱交換器の運転中には、予め把握できない各種の変動要因によって、高温流体および低温流体の出口温度が想定よりも低温になることもあるが、入口温度についてはそのような変動要因の影響を受けにくい。そのため、各種の変動要因の影響を抑制して安定した凍結の抑制効果を得ることができる。

[0019] 上記発明による拡散接合型熱交換器において、好ましくは、第1伝熱板および第2伝熱板は、一对の第1側端面と第1側端面に隣接する一对の第2側端面とを含み、高温流路は、第1伝熱板の第1側端面に開口した流路入口から第2側端面に沿う方向に延びるように形成され、低温流路は、第2伝熱板

の一对の第2側端面にそれぞれ開口した流路入口からそれぞれ延びた後屈曲して、第2側端面に沿う方向に延びるように形成されている。このように構成すれば、第1側端面側の高温流体の流路入口に対して、左右の両側となる第2側端面に低温流体の流路入口をそれぞれ設ける事ができる。そのため、低温流体の流路入口を左右の片側に1つだけ設ける場合と比べて、個々の流路入口の開口面積を減少させることができるので、高温流路内で凍結が発生する可能性が高い領域を小さくしつつ、高温流路の左右両側に分散させることができる。これにより、凍結の発生を抑制し、凍結が発生する場合でも凍結部位を小さくすることができる。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、上記のように、極低温の流体を扱う場合に、高温流体側の流路に凍結が発生することを抑制可能で、凍結が発生した場合でも凍結領域が拡大することを抑制可能な拡散接合型熱交換器を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]第1実施形態による熱交換器を示した模式的な斜視図である。
[図2]図3および図4の500-500線に沿った断面図である。
[図3]第1伝熱板の高温流路の構成例を示した平面図である。
[図4]第2伝熱板の低温流路の構成例を示した平面図である。
[図5]連結チャネル部の構成例を示した平面図である。
[図6]高温流路の各部と低温流路の各部との位置関係を説明するための平面図である。
[図7]並行流型の熱交換器において流路に沿った流体の温度変化を説明するグラフである。
[図8]第2実施形態による熱交換器の第2伝熱板を示した模式図である。
[図9]第2実施形態による熱交換器の高温流路と低温流路との位置関係を説明するための平面図である。
[図10]連結チャネル部の他の構成例(A)および(B)を示した模式図であ

る。

[図11]低温流路の第1部分(A)および第2部分(B)の他の構成例を示した模式図である。

[図12]連結チャネル部の連結通路の配置に関する変形例を示した模式図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

[0023] (第1実施形態)

図1～図6を参照して、第1実施形態による熱交換器100の構成について説明する。第1実施形態による熱交換器100は、それぞれ溝状の流路が形成された第1伝熱板10および第2伝熱板20を積層し、拡散接合によって一体化することにより構成した拡散接合型のプレート式熱交換器である。熱交換器100は、特許請求の範囲の「拡散接合型熱交換器」の一例である。

[0024] 図1に示すように、熱交換器100は、積層されて拡散接合された第1伝熱板10および第2伝熱板20を含むコア1を備える。また、熱交換器100は、第1入口ポート2aおよび第1出口ポート2b(図3参照)と、第2入口ポート3a(図4参照)および第2出口ポート3bとを備えている。コア1は、複数の第1伝熱板10と、複数の第2伝熱板20とを含む。コア1は、第1伝熱板10を流れる高温流体HFと第2伝熱板20を流れる低温流体LFとの間で熱交換を行う熱交換部である。第1入口ポート2aおよび第1出口ポート2bは、第1伝熱板10に高温流体HFを導入するための入口および導出するための出口であり、入口側と出口側との対(ペア)で設けられている。第2入口ポート3aおよび第2出口ポート3bは、第2伝熱板20に低温流体LFを導入するための入口および導出するための出口であり、入口側と出口側との対(ペア)で設けられている。

[0025] 第1実施形態による熱交換器100は、高温流体HFと低温流体LFとの熱交換により低温流体LFを昇温させて気化させる気化装置として構成され

ている。熱交換器100は、気化を伴わない昇温装置でもよい。低温流体LFは、高温流体HFの凝固点よりも低温の流体である。高温流体HFは、低温流体LFよりも高温の流体である。第1実施形態では、低温流体LFは、極低温の液化ガスであり、たとえば液化天然ガス(LNG)である。高温流体HFとしては、たとえば、水または海水、不凍液などの液体である。

[0026] 第1伝熱板10と第2伝熱板20との積層方向(Z方向)におけるコア1の両端には、それぞれサイドプレート4が設けられている。第1伝熱板10と第2伝熱板20とサイドプレート4とは、平面視で同一の矩形形状に形成された平板状の板部材である。コア1は、それぞれ溝状の流路が形成された第1伝熱板10および第2伝熱板20が交互に積層され拡散接合されて構成されている。すなわち、コア1は、交互に積層した第1伝熱板10と第2伝熱板20との積層体を一对のサイドプレート4により挟み込み、拡散接合により相互結合することにより、全体として矩形箱状(直方体形状)に形成されている。図1では便宜的に、5層(5枚)の第1伝熱板10と、4層(4枚)の第2伝熱板20とが交互に積層された例を示しているが、積層枚数はこれに限られず、任意の枚数を積層してよい。以下では、図1に示す第1伝熱板10および第2伝熱板20の積層方向をZ方向とする。また、図1に示すようにZ方向から見てコア1の長手方向をX方向とし、コア1の短手方向をY方向とする。

[0027] 第1伝熱板10および第2伝熱板20は、それぞれ、一对の第1側端面10a(図3参照)、20a(図4参照)と、第1側端面10a、20aと隣接する一对の第2側端面10b(図3参照)、20b(図4参照)とを有する。第1側端面10a、20aは、短辺側の側端面であり、第2側端面10b、20bは、長辺側の側端面である。第1伝熱板10および第2伝熱板20は、共に、第2側端面10b、20bの長さ(コア1の長さ)L0、第1側端面10a、20aの長さ(コア1の幅)W0を有する。第1伝熱板10および第2伝熱板20は、互いに略等しい厚みt(図2参照)を有するが、第1伝熱板10および第2伝熱板20の厚みtは互いに異なってもよい。

。第1伝熱板10および第2伝熱板20は、たとえばステンレス鋼材からなる。第1伝熱板10および第2伝熱板20は、拡散接合可能であれば、ステンレス鋼材以外の金属材料により形成されてもよい。

[0028] 図2に示すように、第1伝熱板10および第2伝熱板20には、それぞれ一方表面（上面）に溝状の流路が形成されており、他方表面（下面）は平坦面となっている。第1伝熱板10は、高温流体HFを流通させる高温流路11を含み、第2伝熱板20は、低温流体LFを流通させる低温流路21を含む。それぞれの流路は、たとえばエッチングにより所定形状に形成されている。第1伝熱板10および第2伝熱板20の一方表面（上面）において、流路の形成部分（溝部分）以外は平坦面となっており、拡散接合による接合面となっている。

[0029] （第1伝熱板）

図3に示すように、第1伝熱板10は、溝状の高温流路11と、高温流路11を区画する隔壁12とを含む。図3では便宜的に隔壁12にハッチングを付している。ハッチングを付した隔壁12の上面が拡散接合による接合面である。隔壁12は、第1伝熱板10の表面において流路を構成するための溝形成が行われていない部分である。

[0030] 高温流路11は、第1伝熱板10の第1側端面10aに開口した流路入口13aから第2側端面10bに沿う方向に延びるように形成されている。高温流路11は、第1伝熱板10の一对の第1側端面10aにそれぞれ開口した流路入口13aと流路出口13bとの間で直線状に延びる流路である。つまり、高温流路11は、第2側端面10b（コア1の長辺）に沿って直線状に延びている。

[0031] コア1の各第1側端面10a側には、一对のヘッダ部5が接合されている。一对のヘッダ部5は、それぞれ積層された第1伝熱板10の流路入口13aまたは流路出口13bを覆うように設けられている。一对のヘッダ部5には、第1入口ポート2aおよび第1出口ポート2bがそれぞれ設けられている。これにより、第1入口ポート2aから流入する高温流体HFがヘッダ部

5を介してそれぞれの第1伝熱板10の流路入口13aに流入し、高温流路11をX1方向に通過して、流路出口13bから流出し、ヘッダ部5を介して第1出口ポート2bから排出される。

[0032] (高温流路)

高温流路11は、流路幅方向に並んで設けられた溝状の複数のチャンネル14を有する。複数のチャンネル14は、流路幅方向において、高温流路11内に形成された隔壁12によって仕切られた個々の通路部である。図3の例では、16本のチャンネル14が流路幅方向に等間隔で並んでいる。チャンネル14の本数は複数であれば特に限定されない。

[0033] 高温流路11は、少なくとも第2伝熱板20の流路入口23aから流路入口23aよりも下流側の位置までの所定範囲PR（図4参照）と積層方向に重なる範囲において、高温流体HFが複数のチャンネル14間に跨がって流動可能に構成された連結チャンネル部11aを有する。つまり、各々のチャンネル14は、流路入口13aから流路出口13bに至るまで独立した1本の通路ではなく、複数のチャンネル14が少なくとも連結チャンネル部11aにおいて相互に連通している。所定範囲PRについては、後述する。

[0034] 第1実施形態では、連結チャンネル部11aは、第1伝熱板10において高温流路11の略全体に亘って形成されている。したがって、高温流路11は、流路入口13aから流路出口13bに至るまでの全範囲で、高温流体HFが複数のチャンネル14間に跨がって流動可能なように構成されている。

[0035] 具体的には、高温流路11は、流路幅方向に複数並んだ線状のチャンネル14を含んでおり、連結チャンネル部11aでは、隣り合うチャンネル14間に跨がってチャンネル14同士を連通させる溝状の連結通路15が複数形成されている。各チャンネル14は、X方向に直線状に形成されている。連結通路15は、隣り合うチャンネル14間を仕切る隔壁12を貫通（または分断）するように、流路幅方向（Y方向）に延びている。連結通路15は、高温流体HFの流通方向（X方向）に、間隔を隔てて複数設けられている。X方向に並んだ複数の連結通路15は、略等間隔で配列されている。

[0036] 図5に示すように、第1実施形態では、高温流路11の各チャンネル14は、略等しいチャンネル幅 $W1$ （流路幅方向の幅）を有する。また、各チャンネル14を仕切る隔壁12も、略等しい幅 $W2$ （流路幅方向の幅）を有する。各連結通路15は、略等しい通路幅 $W3$ （X方向の幅）を有する。なお、連結通路15については、流路幅方向に延びる通路であるので、通路幅 $W3$ を、高温流路11における流体の流通方向（X方向）の幅と定義する。連結通路15の流路幅方向の長さは、隔壁12の幅 $W2$ に一致する。X方向に並んだ複数の連結通路15のピッチ（間隔）は、 p である。X方向に並んだ連結通路15の間の隔壁12の長さ $L1$ は、 $(p - W3)$ となる。

[0037] 第1実施形態では、連結通路15の通路幅 $W3$ は、チャンネル14のチャンネル幅 $W1$ と略等しい（ $W3 \div W1$ ）。これにより、各連結通路15と各チャンネル14とを、同一のエッチングプロセスにより一括して形成することができるので、製造工程を簡素化できる。連結通路15のX方向のピッチ p は、チャンネル14のチャンネル幅 $W1$ の約2.5倍以上、約10倍以下であることが好ましい。または、X方向に隣り合う連結通路15の間の隔壁12の長さ $L1$ は、チャンネル14のチャンネル幅 $W1$ の約1.5倍以上、約9倍以下であることが好ましい。ピッチ p （隔壁12の長さ $L1$ ）が大きくなるほど、高温流体HFがチャンネル14間に跨がって流動し難くなるため、後述するように凍結部位に対する高温流体HFの回り込み効果が低下する。また、連結通路15間の隔壁12の上面は、他の伝熱板（第2伝熱板20）との接合面になるため、ピッチ p （隔壁12の長さ $L1$ ）が小さくなるほど、連結通路15間の隔壁部分における接合面積が小さくなって、接合強度が低下する。そこで、ピッチ p を上記範囲にすることにより、高温流体HFの回り込み効果とチャンネル14間の隔壁12における接合面積の確保とを両立することが可能である。

[0038] なお、図5では、連結通路15のX方向のピッチ p は、チャンネル幅 $W1$ （ $\div$ 連結通路15の通路幅 $W3$ ）の約2.5倍であり、隔壁12の長さ $L1$ は、チャンネル幅 $W1$ の約1.5倍であり、上記好ましい範囲の下限値の例を示

している。

[0039] 第1実施形態では、複数の連結通路15は、流路幅方向（Y方向）に隣り合う連結通路15に対して、高温流体HFの流通方向（X方向）における位置が互いにずれるように、千鳥状に配置されている。つまり、Y方向に隣り合う隔壁12に形成された連結通路15同士で、X方向の位置が互い違いになっている。言い換えると、連結通路15は、Y方向に隣り合う隔壁12と対向するように設けられている。なお、図5のように、Y方向に隣り合う隔壁12に形成された連結通路15同士は、X方向の形成位置が部分的に重複していても良いし、X方向の形成位置が完全に重複しないように形成されていてもよい。

[0040] （第2伝熱板）

図4に示すように、第2伝熱板20は、溝状の低温流路21と、低温流路21を区画する隔壁22とを含む。図4では便宜的に隔壁22にハッチングを付している。ハッチングを付した隔壁22の上面が拡散接合による接合面である。隔壁22は、第2伝熱板20の表面において流路を構成するための溝形成が行われていない部分である。

[0041] 低温流路21は、第2伝熱板20の一对の第2側端面20bにそれぞれ開口した流路入口23aと流路出口23bとの間を接続する折れ曲がった流路である。低温流路21の流路入口23aは、一方の第2側端面20bにおいて、高温流路11の流路入口13aが配置された一方側（X2方向側）の端部に設けられている。低温流路21の流路出口23bは、他方の第2側端面20bにおいて、高温流路11の流路出口13bが配置された他方側（X1方向側）の端部に設けられている。

[0042] 低温流路21は、第2伝熱板20の一方の第2側端面20bに開口した流路入口23aからY方向に延びた後屈曲して、第2側端面20bに沿うX方向に延びるとともに、X1方向端部まで延びた後屈曲して、他方の第2側端面20bに開口した流路出口23bまでY方向に延びている。

[0043] コア1の各第2側端面20b側には、一对のヘッダ部5が接合されている

。一对のヘッダ部5には、第2入口ポート3 aおよび第2出口ポート3 bがそれぞれ設けられており、それぞれ積層された第2伝熱板2 0の流路入口2 3 aまたは流路出口2 3 bを覆うように設けられている。これにより、第2入口ポート3 aから流入する低温流体L Fがヘッダ部5を介してそれぞれの第2伝熱板2 0の流路入口2 3 aに流入し、低温流路2 1を通過して、流路出口2 3 bから流出し、ヘッダ部5を介して第2出口ポート3 bから排出される。

[0044] (低温流路)

低温流路2 1は、流路幅方向に並んで設けられた溝状の複数のチャネル2 4を有する。複数のチャネル2 4は、流路幅方向において、低温流路2 1内に形成された隔壁2 2によって仕切られた個々の通路部である。

[0045] 図4の構成例では、低温流路2 1のチャネル2 4は、流路の途中で平面形状が異なっている。つまり、低温流路2 1では、チャネル形状が、上流側の第1のパターンから、下流側の第2のパターンに切り替わっている。

[0046] 具体的には、低温流路2 1は、第2伝熱板2 0の所定範囲P Rに設けられた第1部分2 1 aと、第1部分2 1 aよりも下流側の第2部分2 1 bとを含み、第1部分2 1 aは、第2部分2 1 bよりも伝熱性能が低くなるように構成されている。第1実施形態では、この伝熱性能の相違が、チャネル2 4の形状パターンの相違によって実現されている。

[0047] 第1部分2 1 aは、第2伝熱板2 0の流路入口2 3 aから流路入口2 3 aよりも下流側の位置までの所定範囲P Rに設けられている。第1部分2 1 aの各チャネル2 4 aは、線状形状を有し、隔壁2 2によって互いに分離されている。このため、複数のチャネル2 4間に跨がって低温流体L Fが流動することはない。また、第1部分2 1 aの各チャネル2 4 aは、低温流路2 1の折れ曲がり部分を除いて直線状に形成されている。つまり、第1部分2 1 aの各チャネル2 4 aは、流路入口2 3 aからY方向に直線状に延びた後、低温流路2 1の折れ曲がり部分で屈曲してX方向に直線状に延びている。チャネル形状の第1のパターンは、個々のチャネル2 4が主として直線により

構成された１本の線状に形成されたパターンである。

[0048] 第２部分２１ｂは、第１部分２１ａ（所定範囲ＰＲ）の下流側端部から第２伝熱板２０の流路出口２３ｂまでの範囲に設けられている。第２部分２１ｂの各チャンネル２４ｂは、第１部分２１ａ（所定範囲ＰＲ）の下流側端部からＸ方向に直線状に延びた後、低温流路２１の折れ曲がり部分で屈曲してＹ方向に直線状に延びている。

[0049] 図４の例では、第２部分２１ｂの各チャンネル２４ｂは、高温流路１１の連結チャンネル部１１ａにおけるチャンネル形状と同様に、（低温流路２１の折れ曲がり部分を除いて）直線状に形成され、連結通路２５によって隣り合うチャンネル２４ｂ同士で接続されている。すなわち、チャンネル形状の第２のパターンは、個々のチャンネル２４ｂが主として直線により構成されつつ、千鳥状に配列された複数の連結通路２５により相互接続されたパターンである。第２部分２１ｂのチャンネル２４ｂの形状パターンは、低温流路２１が途中で折れ曲がっている点を除いて、上記第１部分２１ａの連結チャンネル部１１ａと同様である。

[0050] なお、図４において、第１部分２１ａのチャンネル幅と、第２部分２１ｂのチャンネル幅とは、略等しい。第１部分２１ａのチャンネル幅と、第２部分２１ｂのチャンネル幅とを異ならせても良い。

[0051] 第１部分２１ａと第２部分２１ｂとを比較すると、第２部分２１ｂの方が連結通路２５によって隔壁２２が分断されている分だけ伝熱面積が大きく、かつ、チャンネル２４ｂ間での低温流体ＬＦの流動が可能となる分流れが乱流に近くなるので、第１部分２１ａの方が伝熱性能が低い。

[0052] （高温流路と低温流路との位置関係）

図６では、高温流路１１の流路全体の外形を実線で示し、低温流路２１の流路全体の外形を破線で示すことにより、高温流路１１と低温流路２１とを重ねて図示している。低温流路２１の流路入口２３ａと高温流路１１の流路入口１３ａが、コア１のＸ方向の一方側（Ｘ２方向側）に配置され、低温流路２１の流路出口２３ｂと高温流路１１の流路出口１３ｂとが、コア１のＸ

方向の他方側（X 1 方向側）に配置されている。

[0053] このように、熱交換器 100 は、高温流路 11 および低温流路 21 の各流路入口が共に X 2 方向側端部に設けられ、高温流路 11 および低温流路 21 の各流路出口が共に X 1 方向側端部に設けられており、高温流路 11 を流れる高温流体 H F と、低温流路 21 を流れる低温流体 L F とが、互いに同じ方向（X 1 方向）に流れる並行流型の熱交換器である。上記高温流路 11 では、高温流体 H F が X 2 方向側の流路入口 13 a から X 1 方向側の流路出口 13 b に向けて X 1 方向に流れる。低温流路 21 では、X 2 方向側の流路入口 23 a から流入した低温流体 L F が 1 回屈曲して X 1 方向に流れた後、再度屈曲して X 1 方向側の流路出口 23 b へ流れる。

[0054] （低温流路の所定範囲）

次に、第 1 部分 21 a が形成された、第 2 伝熱板 20 の流路入口 23 a から流路入口 23 a よりも下流側の位置までの所定範囲 P R について説明する。図 6 に示すように、高温流路 11 と低温流路 21 とは、低温流路 21 の流路入口 23 a の直後の領域および低温流路 21 の流路出口 23 b の直前の領域を除いた、X 方向に延びる領域の略全体で重なっている。

[0055] ここで、第 1 部分 21 a が形成された、第 2 伝熱板 20 の流路入口 23 a から流路入口 23 a よりも下流側の位置までの所定範囲 P R は、X 方向における流路入口 23 a の一端（X 2 方向端部）の位置 P 1 から、X 方向における流路入口 23 a の他端（X 1 方向端部）よりも所定距離だけ下流側となる位置 P 2 までの範囲に設定されている。この所定範囲 P R は、入口温度が極低温となる低温流体 L F によって、高温流路 11 側で凍結が発生しやすい高リスク領域 E を内側に含むように設定されている。

[0056] ここで、第 1 実施形態の熱交換器 100 は、任意の運転条件で用いられる汎用的な熱交換器ではなく、予め設定された所定の運転条件において、所定の熱交換性能を達成するように設計されるタイプの熱交換器である。そのため、高リスク領域 E の位置および範囲は、予め特定された運転条件および設計条件に基づいて、実験的手法またはシミュレーション等の解析的手法によ

り、予め把握される。高リスク領域Eは、低温流路21と高温流路11との重複部分であって、かつ、低温流体LFの温度が最も低くなる流路入口23aの近傍の位置と重なる、高温流路11内の位置となる。低温流路21の所定範囲PR（第1部分21a）は、高リスク領域Eを内側に含むとともに、高リスク領域Eよりも下流側まで延びる範囲として設定されている。

[0057] したがって、高温流路11の連結チャネル部11aは、少なくとも低温流路21の所定範囲PR（第1部分21a）と重複する範囲に亘って形成される。この結果、連結チャネル部11aは、高温流路11において凍結が発生しやすい高リスク領域Eを、内側に含む範囲で設けられる。また、連結チャネル部11aは、高リスク領域Eよりも低温流路21の下流側方向（X1方向）まで延びるように設けられる。

[0058] また、第1実施形態では、低温流路21の所定範囲PRに設けられた第1部分21aを構成するチャネル24a（図4参照）の形状は、高温流路11の高リスク領域Eにおける流路の内表面温度Tsが、高温流体HFの凝固点FP以上となる条件を満たすように設定されている。並行流型の熱交換器100におけるX方向の位置に応じた典型的な温度分布を図7に示す。図7の横軸は、各流路のX方向における位置を示し、縦軸が温度を示している。

[0059] 高温流路11を流れる高温流体HFの平均温度および低温流路21を流れる低温流体LFの平均温度は、図7のように下流側（X1方向）に向かうに従って、熱交換により相互に近付く。並行流型の熱交換器100では、上流側端部である低温流路21の流路入口23aの近傍の位置（所定範囲PR）では、流体間の温度差が最も大きい。しかし、図7に示した高温流路11の内表面温度Tsは高温流体HFの平均温度よりも低く、内表面温度Tsが高温流体HFの凝固点FPよりも低くなると、流路内表面に局所的な凍結が発生する可能性がある。高温流路11の内表面温度Tsは、高温流路11の伝熱性能が高いほど上昇し、低温流路21の伝熱性能が低いほど上昇する。そのため、第1実施形態では、第1部分21aの伝熱性能を第2部分21bよりも伝熱性能を低くすることによって、高リスク領域Eにおける内表面温度

T_sが高温流体H_Fの凝固点F_Pよりも高くなるように熱交換器100が構成されている。

[0060] (重複領域および非重複領域)

図6に示すように、第1実施形態では、高温流路11は、平面視において、第2伝熱板20の低温流路21と重複する重複領域11bと、少なくとも低温流路21の流路入口23a側で重複領域11bよりも外側に設けられた非重複領域11cと、を含む。低温流路21の流路入口23a側は、図6の例では、Y方向のうちY1方向側である。

[0061] 具体的には、各流路がX方向に延びる部分において、第2伝熱板20の低温流路21は流路幅W12を有しており、第1伝熱板10の高温流路11は流路幅W12よりも大きい流路幅W11を有している。したがって、高温流路11は、低温流路21よりも流路幅方向の外側まではみ出すように設けられており、低温流路21よりもはみ出した部分が非重複領域11cである。非重複領域11cには、少なくとも1つのチャンネル14(図3参照)が設けられている。図6の例では、非重複領域11cは、低温流路21の流路入口23a側(Y1方向側)の外側のみならず、低温流路21の流路出口23b側(Y2方向側)の外側にも設けられている。低温流路21の流路入口23a側に設けられた非重複領域11cは、平面視において流路入口23a側で低温流路21のY方向の外縁に隣接するため、高リスク領域Eおよび高リスク領域Eの近傍に配置される。

[0062] 重複領域11bでは、高温流路11と低温流路21とが積層方向に重複しているので、各流路を流れる高温流体H_Fと低温流体L_Fとの間で熱交換が行われる。

[0063] 一方、非重複領域11cでは、高温流路11と、低温流路21の外縁を区画する隔壁22の部分(低温流体L_Fが流れない部分)とが積層方向に重複している。重複領域11bと比較すると、非重複領域11cに設けられたチャンネル14(図3参照)は、低温流体L_Fとの熱交換に対する寄与度が低い余剰の高温流体H_Fを流通させる。そのため、低温流路21と重なる重複領

域 1 1 b の流路幅方向の外側（Y 1 方向側）に非重複領域 1 1 c が配置されることによって、高リスク領域 E および高リスク領域 E の近傍に、通常の熱交換への寄与度の低い余剰の高温流体 H F を流通させることが可能である。

[0064] 低温流路 2 1 の流路入口 2 3 a 側に設けられる非重複領域 1 1 c の幅は、高温流路 1 1 のチャンネル 1 4（図 3 参照）が 1 つ以上 3 つ以下設けられる程度が好ましい。1 つのチャンネル 1 4 は、チャンネル 1 4 間の隔壁 1 2 を考慮して（ $W 1 + W 2$ ）の幅を占めるので、非重複領域 1 1 c の幅は、（ $W 1 + W 2$ ）の約 1 倍以上約 3 倍以下程度とされる。上記の通り非重複領域 1 1 c を流れる高温流体 H F は通常の熱交換に対する寄与度が低いので、必要以上に設けると熱交換器 1 0 0 の体積当たりの熱交換性能が低下するためである。

[0065] （第 1 実施形態の作用）

次に、図 6 を参照して、第 1 実施形態の熱交換器 1 0 0 による作用について説明する。各流路の形状はそれぞれ図 3 および図 4 を参照するものとする。図 6 に示したように、高温流路 1 1 および低温流路 2 1 の各々に高温流体 H F および低温流体 L F が流入すると、各流路が重複する領域において高温流体 H F と低温流体 L F との熱交換が行われる。高温流体 H F は、低温流路 2 1 の所定範囲 P R と重なる位置を通過する過程で高リスク領域 E を通る。

[0066] この際、低温流路 2 1 の所定範囲 P R に設けられた第 1 部分 2 1 a では、伝熱性能が相対的に低いため、高温流路 1 1 の内表面温度 T_s （図 7 参照）が低下することが抑制される。また、低温流路 2 1 の所定範囲 P R と重なる高温流路 1 1 の範囲には、連結チャンネル部 1 1 a が設けられているため、高い伝熱性能を有し、高温流路 1 1 の内表面温度 T_s が低下することが抑制される。

[0067] 熱交換器 1 0 0 の運転中には各種の変動要因があり、運転条件の変化によって設計仕様よりも流体（流路内表面）の温度が低下する可能性がある。その場合には、高温流路 1 1 内の高リスク領域 E において、凍結が発生することがあり得る。そこで、高リスク領域 E に凍結が発生し、高リスク領域 E の部分のチャンネル 1 4 が閉塞したと仮定する。

- [0068] この場合、チャンネル 1 4 が閉塞した分だけ、凍結部位では高温流路 1 1 の流路幅が W 1 3 まで減少する。その結果、凍結していないチャンネル 1 4 では、高温流体 H F の流速が上昇し、熱伝達率が向上する。これにより、凍結部位の Y 方向への拡大が抑制される。
- [0069] 一方、凍結によって閉塞したチャンネル 1 4 では、凍結部位よりも下流側へは高温流体 H F が流れない。しかし、連結チャンネル部 1 1 a では高温流体 H F がチャンネル 1 4 間に跨がって流動可能である。凍結部位の側方を通過すると高温流路 1 1 の流路幅 W 1 3 から W 1 1 に拡大するので、図 6 の流れ線で示したように、高温流体 H F の流れは、チャンネル 1 4 を跨いで流路幅方向に広がる。つまり、凍結部位の周囲の凍結していないチャンネル 1 4 から、高温流体 H F が凍結部位よりも下流側（裏側）の位置まで凍結部位に沿って流路幅方向（Y 方向）に回り込むように流れる。その結果、閉塞したチャンネル 1 4 の凍結部位よりも下流側で高温流体 H F の流れが滞ることが抑制されるので、凍結部位の X 方向への拡大が抑制される。
- [0070] さらに、高温流路 1 1 の凍結部位の周辺には、低温流路 2 1 とは重複しない非重複領域 1 1 c があり、余剰の高温流体 H F が流通する。このため、非重複領域 1 1 c のチャンネル 1 4 に流入する余剰の高温流体 H F の分だけ高温流体 H F の熱容量が増大する。また、非重複領域 1 1 c のチャンネル 1 4 が凍結により高リスク領域 E において閉塞しても、高温流体 H F の回り込みによって、非重複領域 1 1 c において凍結部位よりも下流側には高温流体 H F の流れが形成される。非重複領域 1 1 c を流れる高温流体 H F は、低温流体 L F との熱交換への寄与度が低い分、高温流体 H F の持つ余剰の熱量によって凍結部位の拡大が抑制される。
- [0071] また、運転条件の変動によって、仮に高リスク領域 E を超えて凍結部位が拡大したとしても、第 1 実施形態の熱交換器 1 0 0 では、高温流路 1 1 の全面に連結チャンネル部 1 1 a が設けられているため、高温流体 H F の回り込みによる凍結部位の拡大抑制の効果は継続して維持される。
- [0072] 低温流路 2 1 において、第 1 部分 2 1 a の伝熱性能が第 2 部分 2 1 b より

も小さいため、第1部分21aでは低温流体LFの温度上昇が相対的に抑制される。つまり、第1部分21aを第2部分21bと同じ形状パターンのチャンネルで構成した場合と比較して、低温流体LFの温度上昇が緩やかになる。一方、低温流体LFが所定範囲PR（第1部分21a）を超えて第2部分21bに流入すると、第2部分21bでは伝熱性能が高くなるため、高温流体HFとの熱交換が促進され、低温流体LFは流路出口23bに到達する過程で目標温度まで昇温される。低温流体LFが第2部分21bに到達した段階では、高温流路11側で高温流体HFを凍結させない程度まで低温流体LFが昇温されるため、高温流路11の第2部分21bと重なる領域では、凍結が発生するような高リスク領域Eとはならない。

[0073] （第1実施形態の効果）

第1実施形態では、以下のような効果を得ることができる。

[0074] 第1実施形態では、上記のように、少なくとも第2伝熱板20の流路入口23aから流路入口23aよりも下流側の位置までの所定範囲PRと重なる高温流路11の範囲に連結チャンネル部11aを設けたので、連結チャンネル部11aにおける熱伝達率を向上させることができる。その結果、高温流路11が形成された第1伝熱板10への入熱量が増大して高温流路11の内表面温度Tsを高くすることができるので、高温流路11における凍結の発生を抑制することができる。また、連結チャンネル部11aにおいて高温流体HFの凍結が発生した場合でも、別のチャンネル14を流れる高温流体HFが閉塞したチャンネル14の下流側へ回り込むことができるので、凍結部位がX方向に拡大することを回避できる。さらに、一部のチャンネル14が凍結により閉塞すると、凍結していないチャンネル14での高温流体HFの流速が上昇する。その結果、凍結していないチャンネル14における熱伝達率が向上して第1伝熱板10への入熱量が増大するので、凍結部位のY方向の拡大が抑制される。以上の結果、極低温の流体を扱う場合に、高温流体HF側の流路に凍結が発生することを抑制でき、凍結が発生した場合でも凍結領域が拡大することを抑制することができる。

- [0075] また、連結チャネル部 11a が、第 1 伝熱板 10 において高温流路 11 の略全体に亘って形成されているので、上記連結チャネル部 11a によって得られる効果を、所定範囲 PR のみならず高温流路 11 全体に亘って実現することができる。その結果、想定と異なる凍結部位が発生した場合でも凍結の発生および凍結部位の拡大を確実に抑制できる。
- [0076] また、高温流路 11 の連結チャネル部 11a では、隣り合うチャネル 14 間に跨がってチャネル 14 同士を連通させる溝状の連結通路 15 が複数形成されているので、容易に連結チャネル部 11a を構成できる。特に、第 1 伝熱板 10 に対してエッチングにより高温流路 11 を形成する際に、チャネル 14 と連結通路 15 とを一括して形成できるので、連結チャネル部 11a を設ける場合でも製造工程が複雑化することを抑制できる。
- [0077] また、連結チャネル部 11a において、複数の連結通路 15 が、流路幅方向（Y 方向）に隣り合う連結通路 15 に対して、高温流体 HF の流通方向における位置が互いにずれるように、千鳥状に配置されているので、連結通路 15 が流路幅方向に直線状に並んでいる場合と比較して、より効率よく高温流体 HF を流路幅方向に移動させることができる。この結果、連結チャネル部 11a の伝熱効率の向上および連結チャネル部 11a における凍結部位の周囲への高温流体 HF の回り込みを促進することができる。
- [0078] また、高温流路 11 が、少なくとも低温流路 21 の流路入口 23a 側で重複領域 11b よりも外側に設けられた非重複領域 11c を含むので、非重複領域 11c を流れる熱交換への寄与度の低い余剰の高温流体 HF の流れを、低温流体 LF の流路入口 23a の近傍と重複する高リスク領域 E の周辺に形成できる。このため、非重複領域 11c を流れる余剰の高温流体 HF の分だけ高温流体 HF の熱容量を増大させることができる。また、たとえ非重複領域 11c が凍結しても、高温流体 HF の回り込みにより凍結部位よりも下流側に高温流体 HF の流れを形成することができる。その結果、余剰の高温流体 HF の流れを高リスク領域 E の周辺および下流側に形成できるので、高リスク領域 E における高温流体 HF の凍結の発生および凍結部位の拡大を、効

果的に抑制することができる。

[0079] また、低温流路 2 1 において所定範囲 P R に設けられた第 1 部分 2 1 a が、第 2 部分 2 1 b よりも伝熱性能が低くなるように構成されているので、第 1 部分 2 1 a によって低温流路 2 1 の伝熱性能が抑制され、その分、所定範囲 P R と重複する高温流路 1 1 の内表面温度 T s を上昇させることができる。その結果、所定範囲 P R と重複する部位における高温流路 1 1 内の凍結の発生を、効果的に抑制することができる。

[0080] また、第 1 部分 2 1 a のチャンネル 2 4 a が、第 2 部分 2 1 b のチャンネル 2 4 b よりも伝熱性能が低くなるように平面形状が異なっているので、図 4 のように低温流路 2 1 を構成するチャンネル 2 4 の形状を異ならせるだけで、容易に第 1 部分 2 1 a の伝熱性能を第 2 部分 2 1 b の伝熱性能よりも低くすることができる。

[0081] また、第 1 実施形態の熱交換器 1 0 0 を並行流型の熱交換器としたことにより、高温流路 1 1 において所定範囲 P R と重なる位置では、最も高温の状態の高温流体 H F が流通することになるので、高温流体 H F の凍結の発生を効果的に抑制できる。また、実際の熱交換器 1 0 0 の運転中に予め把握できない各種の変動が発生した場合でも、入口温度についてはそのような変動要因の影響を受けにくいため、凍結が発生しやすい所定範囲 P R における変動要因の影響を抑制して安定した凍結の抑制効果を得ることができる。

[0082] (第 2 実施形態)

次に、図 8 および図 9 を参照して、第 2 実施形態について説明する。この第 2 実施形態では、第 2 伝熱板 2 0 の低温流路 2 1 に 1 つの流路入口 2 3 a を設けた上記第 1 実施形態と異なり、低温流路 2 1 に複数の流路入口 1 2 3 a を設けた例について説明する。なお、第 2 実施形態において、第 2 伝熱板 1 2 0 および第 2 入口ポート 3 a および第 2 出口ポート 3 b 以外は上記第 1 実施形態と同様であるので、同一の符号を用いるとともに説明を省略する。

[0083] 図 8 に示すように、第 2 実施形態の熱交換器 2 0 0 では、第 2 伝熱板 1 2 0 には、複数 (2 つ) の流路入口 1 2 3 a が設けられている。また、第 2 伝

熱板 120 には、複数（2つ）の流路出口 123 b が設けられている。

[0084] 2つの流路入口 123 a は、第2伝熱板 120 の一对の第2側端面 20 b にそれぞれ開口するように、対で（一对）設けられている。一对の流路入口 123 a は、第2伝熱板 120 の X2 方向側の端部において、Y 方向に互いに対向する位置に形成されている。

[0085] 2つの流路出口 123 b は、第2伝熱板 120 の一对の第2側端面 20 b にそれぞれ開口するように、対で（一对）設けられている。一对の流路出口 123 b は、流路入口 123 a とは反対側の X1 方向側の端部において、Y 方向に互いに対向する位置に形成されている。

[0086] 各一对の流路入口 123 a および流路出口 123 b に対応して、それぞれの開口を覆うようにヘッダ部 5 が合計4箇所設けられている。流路入口 123 a を覆う2つのヘッダ部 5 には、低温流体 L F を導入するための第2入口ポート 3 a がそれぞれ設けられている。流路出口 123 b を覆う2つのヘッダ部 5 には、低温流体 L F を導出するための第2出口ポート 3 b がそれぞれ設けられている。

[0087] 第2実施形態では、低温流路 121 は、第2伝熱板 120 の一对の第2側端面 20 b にそれぞれ開口した流路入口 123 a からそれぞれ延びた後屈曲して、第2側端面 20 b に沿う方向に延びるように形成されている。このように、第2実施形態では、第1伝熱板 10 の第1側端面 20 a に流路入口 13 a が設けられた高温流路 11（図9参照）に対して、高温流路 11 の左右両側となる一对の第2側端面 20 b に、低温流路 121 の一对の流路入口 123 a がそれぞれ設けられている。

[0088] 低温流体 L F は、低温流路 121 において、一对の流路入口 123 a から Y 方向中央に向けて流入した後屈曲して、X1 方向に進み、X1 方向端部で Y 方向両側に分岐して、Y 方向両側の流路出口 123 b からそれぞれ流出する。このように Y 方向の両側に一对の流路入口 123 a を設けた場合に、同様に Y 方向の両側に一对の流路出口 123 b を設ける事によって、低温流路 121 内で低温流体 L F の流れの偏りが生じることを抑制できる。個々の流

路入口 1 2 3 a の開口面積（開口幅）が小さくできるので、低温流路 1 2 1 に重なる高温流路 1 1 において内表面温度 T_s が局所的に低下することが抑制される。

[0089] 低温流路 1 2 1 には、上記第 1 実施形態と同様に、第 2 伝熱板 1 2 0 の流路入口 1 2 3 a から流路入口 1 2 3 a よりも下流側の位置までの所定範囲 P R に、第 1 部分 2 1 a（低温流路 1 2 1 内のハッチング部分）が設けられ、第 1 部分 2 1 a よりも下流側に第 2 部分 2 1 b が設けられている。そして、第 1 部分 2 1 a は、第 2 部分 2 1 b よりも伝熱性能が低くなるように構成されている。第 1 部分 2 1 a および第 2 部分 2 1 b における具体的なチャネルの形状は、上記第 1 実施形態の低温流路 2 1 の構成を、Y 方向の左右に分岐させたものと同様であるため、図示を省略する。そのため、第 1 部分 2 1 a のチャネルは、第 2 部分 2 1 b のチャネルよりも伝熱性能が低くなるように平面形状が異なっており、詳細な説明は省略する。

[0090] 図 9 は、高温流路 1 1（実線）と低温流路 1 2 1（破線）とを重ねて示したものである。第 2 実施形態では、低温流路 1 2 1 に一对の流路入口 1 2 3 a を設けているため、個々の流路入口 1 2 3 a の開口面積（開口幅）が、上記第 1 実施形態の流路入口 2 3 a の開口面積（開口幅）と比較して、略半分となっている。極低温の状態の低温流体 L F の流入位置が分散され、個々の流路入口 1 2 3 a における流量が抑制されるため、これに対応して、高温流路 1 1 の高リスク領域 E も、2 箇所分散されて面積が小さくなっている。したがって、第 2 実施形態の熱交換器 2 0 0 では、高温流路 1 1 において凍結が発生しやすい高リスク領域 E を分散させると共に小さくして、凍結の発生をさらに抑制している。また、仮にそれぞれの高リスク領域 E で凍結が発生した場合でも、より小型の凍結部位が流路幅方向（Y 方向）に互いに離れた位置に形成されるので、個々の凍結部位が拡大することも効果的に抑制される。

[0091] 高温流路 1 1 における連結チャネル部 1 1 a によって得られる効果は、上記第 1 実施形態と同様である。図 3 および図 9 から分かるように、2 箇所の

高リスク領域Eのいずれに凍結が発生した場合でも、高温流体HFは連結チャンネル部11aにおいてチャンネル14間を跨いで流動することによって、凍結部位を回り込むように流れる事が可能である。

[0092] 第2実施形態では、低温流路121において、Y方向の両側に流路入口123aがそれぞれ設けられているので、高温流路11のうち低温流路121と重複しない非重複領域11cも、流路入口123aが設けられたY方向の両側にそれぞれ設けられている。

[0093] 第2実施形態のその他の構成は、上記第1実施形態と同様である。

[0094] (第2実施形態の効果)

第2実施形態でも、上記第1実施形態と同様に、少なくとも第2伝熱板120の流路入口123aから流路入口123aよりも下流側の位置までの所定範囲PRと重なる高温流路11の範囲に連結チャンネル部11a(図3および図9参照)を設けたので、極低温の流体を扱う場合に、高温流体HF側の流路に凍結が発生することを抑制でき、凍結が発生した場合でも凍結領域が拡大することを抑制することができる。

[0095] また、第2実施形態では、低温流路121を、第2伝熱板120の一对の第2側端面20bにそれぞれ開口した流路入口123aからそれぞれ延びた後屈曲して、第2側端面20bに沿うX方向に延びるように形成したので、高温流体HFの流路入口13aに対して、低温流体LFの流路入口123aを左右の両側の第2側端面20bに設ける事ができる。そのため、低温流体LFの流路入口123aを左右の片側に1つだけ設ける場合と比べて、個々の流路入口123aの開口面積を減少させることができるので、高温流路11内で高リスク領域Eを小さくしつつ、高温流路11の左右両側に分散させることができる。これにより、凍結の発生を抑制し、凍結が発生する場合でも凍結部位を小さくすることができる。

[0096] 第2実施形態のその他の効果は、上記第1実施形態と同様である。

[0097] (流路の構成例)

次に、流路およびチャンネルの構成例について説明する。上記第1および第

2実施形態では、高温流路11の連結チャンネル部11aを、直線状のチャンネル14と、隣り合うチャンネル14同士を連通させる連結通路15とによって構成した例を示したが、連結チャンネル部11aの構成はこれに限られない。

[0098] たとえば図10(A)および(B)に示したように、チャンネルが直線状に形成されていなくてもよい。図10(A)および(B)の構成例では、高温流路11は、連結チャンネル部11aにおいて、流路中に点在するように複数配置された島状の隔壁212に沿って分岐し、互いに合流し合う複数のチャンネル214を含む。これらの構成例においては、チャンネル214は、高温流体HFの流通方向(X方向)と直交する流路幅方向(Y方向)において、隣り合う隔壁212によって区画された隔壁212間の部分を1本のチャンネルとして定義する。

[0099] 図10(A)および(B)の構成例では、高温流路11が、連結チャンネル部11aにおいて、流路中に点在するように複数配置された島状の隔壁212に沿って分岐し、互いに合流し合う複数のチャンネル214を含むので、高温流体HFが島状の隔壁212によって分岐したり合流したりすることにより、複数のチャンネル214間に跨がって流動可能となる。そのため、このような構成によっても、連結チャンネル部11aを構成することが可能である。

[0100] 図10(A)の例では、高温流路11中に、平面視で円形状の隔壁212が島状に点在するように設けられている。それぞれの隔壁212は、高温流路11の流通方向(X方向)に所定間隔で直線状に配列されているが、流路幅方向(Y方向)に隣り合う列を構成する隔壁212同士では、X方向の位置が互いにずれるように千鳥状に配置されている。そのため、各チャンネル214は、隔壁212に沿って蛇行するとともに、分岐および合流を繰り返すように形成されており、隣り合うチャンネル214に跨がって高温流体HFが流動できる。

[0101] 図10(B)の例では、高温流路11中に、平面視で翼型の隔壁212が島状に点在するように設けられている。「翼型」とは、航空機等の翼の断面形状のことであり、基本的に前縁(流通方向の上流側端縁)が丸く、後縁(

流通方向の下流側端縁）が尖った形状を有するものである。それぞれの隔壁 2 1 2 は、高温流路 1 1 の流通方向（X 方向）に所定間隔で直線状に配列されているが、流路幅方向（Y 方向）に隣り合う各列を構成する隔壁 2 1 2 同士では、X 方向の位置が互いにずれるように千鳥状に配置されている。また、X 方向に直線状に並んだそれぞれの隔壁 2 1 2 は、X 方向に対して Y 方向の一方側または他方側に傾斜しており、一方側に傾斜した隔壁 2 1 2 と他方側に傾斜した隔壁 2 1 2 とが交互に並ぶように配置されている。なお、翼型の隔壁 2 1 2 は、Y 方向に傾斜せずに全て同じ向きで設けられてもよい。

[0102] 図 1 0（B）の構成例においても、各チャンネル 2 1 4 は、隔壁 2 1 2 に沿って蛇行するとともに、隔壁 2 1 2 間で分岐および合流を繰り返すように形成されており、隣り合うチャンネル 2 1 4 に跨がって高温流体 H F が流動できる。

[0103] （第 1 部分および第 2 部分の構成例）

また、上記第 1 および第 2 実施形態では、低温流路 2 1 の第 1 部分 2 1 a を互いに独立した線状のチャンネル 2 4 a により構成したパターンとし、第 2 部分 2 1 b を連結チャンネル部 1 1 a と同様に直線状のチャンネル 2 4 b 同士を複数の連結通路 2 5 により連通させたパターンとした例を示したが、第 1 部分 2 1 a および第 2 部分 2 1 b の各チャンネルを、それぞれ図 1 1（A）および（B）に示すパターンとしてもよい。

[0104] 図 1 1（A）は、第 1 部分 2 1 a のパターンであり、上記第 1 および第 2 実施形態と同様に、隔壁 2 2 2 により互いに独立した線状のチャンネル 2 2 4 a が構成されている。これに対して、図 1 1（B）は、第 2 部分 2 1 b のパターンであり、各チャンネル 2 2 4 b は、上記第 1 および第 2 実施形態とは異なり、隔壁 2 2 2 により互いに独立した線状のチャンネルとなっている。ただし、図 1 1（B）のチャンネル 2 2 4 b は、流路幅方向（Y 方向）に交互に傾斜することにより、ジグザグに蛇行した形状を有する。この場合でも、第 1 部分 2 1 a のチャンネル 2 2 4 a は、第 2 部分 2 1 b のジグザグのチャンネル 2 2 4 b と比較して経路長が小さく、チャンネルの内表面積が小さいので、伝熱

性能が相対的に低くなる。この他、第2部分21bのチャンネル224bを、図10(A)または(B)に示した形状としてもよい。

[0105] (変形例)

なお、今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更(変形例)が含まれる。

[0106] たとえば、上記第1および第2実施形態では、第1伝熱板10を通過する流体と第2伝熱板20を通過する流体とが互いに同じ方向に流れる並行流型の熱交換器100の例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、熱交換器は、第1伝熱板10を通過する流体と第2伝熱板20を通過する流体とが互に対向する方向に流れる対向流型、または、互いに交差する直交流型などであってもよい。

[0107] また、上記第1および第2実施形態では、高温流路11および低温流路21を、流体が伝熱板の一端側(X2方向側)から流入して他端側(X1方向側)から流出するように構成した例を示したが本発明はこれに限られない。高温流路および低温流路は、1回または複数回折り返して逆向きに延びるように構成してもよい。たとえば、高温流路11および低温流路21を、流体が伝熱板の一端側(X2方向側)から流入して他端側(X1方向側)で1回折り返し、一端側(X2方向側)に戻って流出するように構成してもよい。

[0108] また、上記第1および第2実施形態では、複数の第1伝熱板10および複数の第2伝熱板20を、交互に積層することによりコア1を構成した例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、第1伝熱板と第2伝熱板とを必ずしも交互に積層しなくともよい。たとえば、Z方向に沿って、第2伝熱板、第1伝熱板、第2伝熱板、第2伝熱板、第1伝熱板・・・、となるように、1層の第1伝熱板に対して2層(複数層)の第2伝熱板を積層させてもよい。逆に、2層(複数層)の第1伝熱板に対して1層の第2伝熱板を積層させてもよい。

- [0109] また、上記第1および第2実施形態では、高温流路11の全体に亘って連結チャネル部11aを設けた例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、高温流路11のうちで少なくとも上記所定範囲PRと重なる範囲に連結チャネル部11aが設けられていればよく、所定範囲PRと重ならない範囲において連結チャネル部11aが設けられなくてもよい。したがって、高温流路11を、低温流路21と同じように第1部分と第2部分とに分けて、第1部分については連結チャネル部11aを設けて、第2部分については高温流体HFがチャネル間に跨がって流動できない独立したチャネル（たとえば図11（A）および（B）参照）を設けてもよい。
- [0110] また、上記第1および第2実施形態では、連結チャネル部11aの複数の連結通路15を、千鳥状の配置となるように設けた例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、複数の連結通路15が流路幅方向（Y方向）に直線状に並んでいてもよいし、千鳥状とも直線状とも異なった態様で規則的に分布していてもよいし、不規則的に（ランダムに）分布していてもよい。
- [0111] また、上記第1および第2実施形態では、図5に示したように、連結通路15のX方向のピッチpをチャネル幅W1の約2.5倍とし、隔壁12の長さL1をチャネル幅W1の約1.5倍とした例を示したが、本発明はこれに限られない。連結通路15のX方向のピッチpは、チャネル14のチャネル幅W1の約2.5倍以上、約10倍以下の範囲内の任意の値としてよい。また、隣り合う連結通路15の間の隔壁12の長さL1は、チャネル14のチャネル幅W1の約1.5倍以上、約9倍以下の範囲内の任意の値としてよい。たとえば図12では、連結通路15のX方向のピッチpは、チャネル幅W1の約10倍であり、隔壁12の長さL1は、チャネル幅W1（＝連結通路15の通路幅W3）の約9倍であり、上記範囲の上限値の例を示している。連結通路15のX方向のピッチpまたは隣り合う連結通路15の間の隔壁12の長さL1を、上記範囲以外としてもよい。
- [0112] また、上記第1および第2実施形態では、高温流路11に、重複領域11

bよりも外側に設けられた非重複領域11cを設けた例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、非重複領域を設けなくてもよい。

[0113] また、上記第1および第2実施形態では、低温流路21に第1部分21aと第2部分21bとを設けた例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、低温流路21に第1部分21aと第2部分21bとを設けずに、低温流路21を単一のパターンのチャンネル14によって構成してもよい。

[0114] また、上記第1および第2実施形態では、第1部分21aと第2部分21bとでチャンネル14の平面的な形状を異ならせる事によって、第1部分21aの伝熱性能を相対的に低くした例を示したが、本発明はこれに限られない。たとえば、第1部分21aのチャンネル14の内表面にだけコーティングなどの伝熱性能を低下させる表面処理を施すなどにより、第1部分21aの伝熱性能を相対的に低くしてもよい。

符号の説明

- [0115] 1 コア
- 10 第1伝熱板
 - 10a 第1側端面
 - 10b 第2側端面
 - 11 高温流路
 - 11a 連結チャンネル部
 - 11b 重複領域
 - 11c 非重複領域
 - 13a 流路入口（高温流路の流路入口）
 - 13b 流路出口（高温流路の流路出口）
 - 14、214 チャンネル
 - 15 連結通路
 - 20、120 第2伝熱板
 - 20a 第1側端面
 - 20b 第2側端面

2 1、1 2 1 低温流路

2 1 a 第 1 部分

2 1 b 第 2 部分

2 3 a、1 2 3 a 流路入口（低温流路の流路入口）

2 3 b、1 2 3 b 流路出口（低温流路の流路出口）

2 4、2 4 a、2 4 b、2 2 4 a、2 2 4 b チャンネル

1 0 0、2 0 0 熱交換器（拡散接合型熱交換器）

2 1 2 隔壁（島状の隔壁）

H F 高温流体

L F 低温流体

P R 所定範囲