

(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2021-527562

(P2021-527562A)

(43) 公表日 令和3年10月14日(2021.10.14)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 0 1 J 19/12 (2006.01)	B 0 1 J 19/12 C	4 G 0 7 5
B 0 1 J 19/00 (2006.01)	B 0 1 J 19/00 3 2 1	4 K 0 1 8
B 2 2 F 3/16 (2006.01)	B 2 2 F 3/16	
B 2 2 F 10/28 (2021.01)	B 2 2 F 10/28	
B 2 2 F 10/66 (2021.01)	B 2 2 F 10/66	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2020-570751 (P2020-570751)
(86) (22) 出願日 令和1年6月21日 (2019.6.21)
(85) 翻訳文提出日 令和2年12月17日 (2020.12.17)
(86) 国際出願番号 PCT/US2019/038584
(87) 国際公開番号 W02019/246586
(87) 国際公開日 令和1年12月26日 (2019.12.26)
(31) 優先権主張番号 62/688, 217
(32) 優先日 平成30年6月21日 (2018.6.21)
(33) 優先権主張国・地域又は機関
米国 (US)

(71) 出願人 513257937
バテル・メモリアル・インスティテュート
BATTELLE MEMORIAL I
NSTITUTE
アメリカ合衆国99352ワシントン州リ
ッチランド、ピー・オー・ボックス999
、バテル・ブールバード
Battelle Boulevard,
P. O. Box 999, Richlan
d, Washington 99352
U. S. A.
(74) 代理人 110000523
アクシス国際特許業務法人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 向上されたマイクロチャンネルデバイスまたはメソチャンネルデバイス、及びその添加製造方法

(57) 【要約】

化学的プロセッサは、質量を低減すること、太陽熱集中装置に関連する作業を行うこと、及び/または、多孔性インサートを添加製造によって形成されたマイクロチャンネルまたはメソチャンネルデバイスに収容することと、をできるように構成されている。添加製造によって多孔性インサートを含む化学的プロセッサを形成する方法も開示されている。

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

凹形状を有する太陽熱集中装置と、単位操作を実施するように適合されたドーム形状の化学的プロセッサであって、前記ドーム形状の化学的プロセッサの凸状面が前記太陽熱集中装置の前記凹状面に面するように、前記太陽熱集中装置と関連して配置されている、前記ドーム形状の化学的プロセッサと、を備え、前記化学的プロセッサの前記凸状面が、前記ドームの中心エリアへ、または前記中心エリアから前記ドームの周囲のエリアへの流体の通路のためのチューブまたは複数のチューブを備えている、太陽電力装置。

【請求項 2】

前記ドーム形状の化学的プロセッサの前記凸状面が、前記ドームの前記表面上に露出したチューブまたは複数のチューブを備えている、請求項 1 に記載の太陽電力装置。

【請求項 3】

前記ドーム形状の化学的プロセッサの凸状面が、メタン改質触媒または逆水性ガスシフト触媒を含むチューブまたは複数のチューブを備えている、請求項 1 から請求項 2 のいずれかに記載の太陽電力装置。

【請求項 4】

前記ドーム形状の化学的プロセッサの凸状面が、前記ドームの中心領域の近くの供給源入口または供給源マニホールドから、前記ドームの外辺部への径方向の流体流れを提供し、前記外辺部から受領用マニホールドへの径方向の流体流れを提供する複数のチャンネルを備えている、チューブまたは複数のチューブを備え、前記受領用マニホールドが、前記ドームの前記中心領域の近くに位置している、請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の太陽電力装置。

【請求項 5】

前記チューブまたは複数のチューブが、多孔性触媒インサート、好ましくはメタン改質触媒を備えている、請求項 1 から請求項 4 のいずれかに記載の太陽電力装置。

【請求項 6】

前記チューブまたは複数のチューブが、穴のない熱伝導性ディバイダによって分離された第 1 の部分と第 2 の部分との 2 つの部分とを備え、前記第 1 の部分が触媒を備え、前記ディバイスの前記外辺部が、前記ディバイダの開口を備え、それにより、前記第 1 の部分からの流れが前記第 2 の部分へ通ることができるようになっている、請求項 1 から請求項 5 のいずれかに記載の太陽電力装置。

【請求項 7】

供給源マニホールドから前記ディバイスの外辺部に径方向の流体流れを提供する第 1 の部分と、前記外辺部から受領用マニホールドへの径方向の流体流れを提供する第 2 の部分と、を有し、前記供給源マニホールド及び前記受領用マニホールドが、前記ディバイスの中心領域の近くに位置しており、前記ディバイスが、単位プロセスのために構成されている、チャンネルまたは複数のチャンネルを備えた化学的プロセッサであって、

各チャンネルの前記第 1 の部分と前記第 2 の部分とが、穴のない熱伝導性ディバイダによって分離され、前記第 1 の部分が触媒を備え、前記ディバイスの前記外辺部が、前記ディバイスの前記外辺部の近くで前記ディバイダの開口を備え、それにより、前記第 1 の部分からの流れが前記第 2 の部分へ通ることができるようになっている、前記化学的プロセッサ。

【請求項 8】

供給源マニホールドから前記ディバイスの外辺部に径方向の流体流れを提供する第 1 の複数のマイクロチャンネルまたはメソチャンネルと、前記外辺部から受領用マニホールドへの径方向の流体流れを提供する第 2 の複数のチャンネルと、を備え、前記供給源マニホールド及び前記受領用マニホールドが、前記ディバイスの中心領域の近くに位置しており、前記ディバイスが、単位プロセスのために構成されている、マイクロチャンネルまたはメソチャンネルデバイスであって、

10

20

30

40

50

前記チャンネル内の前記流れの方向が前記外辺部へ向かう方向から、前記外辺部から離れる方向に切り替わる、前記デバイスの前記外辺部周りに配置された、触媒インサートまたは複数の触媒インサートをさらに備え、また、前記触媒インサートまたは複数の触媒インサートを囲む前記デバイスの前記外周周りに配置されたリングと、前記チャンネル内の前記流れの方向が前記外辺部へ向かう方向から、前記外辺部から離れる方向に切り替わる流路とを備えている、前記マイクロチャンネルまたはメソチャンネルデバイス。

【請求項 9】

前記触媒インサートが楔形状である、請求項 8 に記載のマイクロチャンネルまたはメソチャンネルデバイス。

【請求項 10】

円形状を有する化学的プロセッサであって、前記プロセッサの中心領域の近くの供給源入口または供給源マニホールドから、前記プロセッサの外辺部へ径方向の流体流れを提供するチューブまたは複数のチューブであって、前記チューブまたは第 1 の複数のチューブが、前記デバイスの表面上で露出され、それにより、前記表面が平滑ではなくなっている、前記チューブまたは複数のチューブを備え、前記チューブまたは複数のチューブが、円形、卵形、または楕円形の断面を有し、前記プロセッサが単位プロセスのために構成されている、前記化学的プロセッサ。

【請求項 11】

前記外辺部から受領用マニホールドへの径方向の流体流れを提供する複数のチャンネルを備え、前記受領用マニホールドが、前記デバイスの中心領域の近くに位置している、請求項 10 に記載の化学的プロセッサ。

【請求項 12】

前記チューブ及びチャンネルが、1 cm 以下の内部の寸法を有している、請求項 10 または請求項 11 に記載の化学的プロセッサ。

【請求項 13】

前記チューブもしくは複数のチューブ、前記複数のチャンネル、またはこれらの両方が、径方向に延びるにつれて 2 つ以上のチャンネルに分かれる分岐チャンネルを備えている、請求項 10 から請求項 12 のいずれかに記載のプロセッサ。

【請求項 14】

前記チューブもしくは複数のチューブ、前記複数のチャンネル、またはこれらの両方が、直線状の径方向チャンネルを備えている、請求項 10 から請求項 13 のいずれかに記載のプロセッサ。

【請求項 15】

前記チューブもしくは複数のチューブ、前記複数のチャンネル、またはこれらの両方が、前記中心領域から前記外辺部に延びる湾曲したチャンネルを備えている、請求項 10 から請求項 13 のいずれかに記載のプロセッサ。

【請求項 16】

前記チューブまたは複数のチューブが、前記チューブまたは複数のチューブ内に組み込まれた多孔性インサートを備えている、請求項 10 から請求項 15 のいずれかに記載のプロセッサ。

【請求項 17】

前記多孔性インサートが、触媒材料、吸着材料、またはこれらの両方を備えている、請求項 16 に記載のプロセッサ。

【請求項 18】

前記多孔性インサートが、多孔性金属支持部であって、前記多孔性金属支持部の表面に溶接された穴のない金属フィルムを有する、前記多孔性金属支持部を備えている、請求項 16 に記載のプロセッサ。

【請求項 19】

前記多孔性インサートが、金属、ポリマ、または金属酸化物を備えている、請求項 16 から請求項 18 のいずれかに記載のプロセッサ。

10

20

30

40

50

【請求項 20】

ドーム状の構造を備えている、請求項 10 から請求項 20 のいずれかに記載のプロセッサ。

【請求項 21】

前記露出表面において収束された太陽エネルギーの焦点となるように配置された太陽熱集中装置をさらに備えている、請求項 10 から請求項 21 のいずれかに記載のプロセッサ。

【請求項 22】

前記チューブまたは複数のチューブが、熱膨張係数の勾配を有し、前記チューブまたは複数のチューブの前記露出表面上で前記熱膨張係数が低くなっている、請求項 10 から請求項 22 のいずれかに記載のプロセッサ。

10

【請求項 23】

添加製造プロセスを介してチャンネルの第 1 の部分を層毎に形成するステップと、多孔性インサートを前記チャンネルの前記第 1 の部分内に埋め込むステップと、前記多孔性インサートを保護層でカバーするステップと、前記第 1 の部分上に前記チャンネルの第 2 の部分を層毎に形成するステップと、を含む、マイクロチャンネルまたはメソチャンネルデバイスの製造方法。

【請求項 24】

前記マイクロチャンネルまたはメソチャンネルデバイスが、差動温度マイクロチャンネルまたはメソチャンネルデバイスである、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 25】

前記保護層が、前記第 1 の部分上に前記チャンネルの第 2 の部分を層毎に形成する前記ステップの後に除去される犠牲材料を備えている、請求項 23 に記載の方法。

20

【請求項 26】

前記保護層を前記多孔性インサート上にレーザー溶接するステップを含む、請求項 25 に記載の方法。

【請求項 27】

前記添加製造プロセスが、金属を直接レーザーで焼結させることを含む、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 28】

前記多孔性インサートが、触媒材料、吸着材料、またはこれらの両方を備えている、請求項 23 に記載の方法。

30

【請求項 29】

前記多孔性インサートが、金属、ポリマ、または金属酸化物である、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 30】

前記多孔性インサートが、保護層を多孔性金属支持部上に結合し、次いで、前記多孔性金属支持部を、金属酸化物、及び、ニッケルまたは貴金属でコーティングして、メタン改質触媒を形成し、次いで、前記インサートを前記チャンネル内に配置する前にか焼することによって形成される、請求項 23 から請求項 27 のいずれかに記載の方法。

【請求項 31】

触媒インサートを前記デバイス内に挿入することと、プラグまたは溶接リングを溶接して、前記デバイスの前記外周で前記流路をシールすることと、を含む、請求項 8 に記載の化学的プロセッサの製造方法または改装方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

政府によるサポートの申告

本発明は、U . S . Department of Energy によって与えられた Contract DE - AC0576RL01830 の下、及び、STARS Technology Corporation と、Southern California

50

Gas Companyと、Oregon State Universityと、Pacific Northwest National Laboratoryとの間の、United States Department of Energyのために運用されるCooperative Research and Development Agreement (CRADA No. 387)の下で、政府のサポートを伴って成されたものである。政府は、本発明において一定の権利を有する。

【0002】

関連出願の相互参照

本出願は、2018年6月21日に出願された米国仮特許出願第62/688,217号の優先権を主張する。

【0003】

本発明のより広い態様において、本開示は、向上された化学的プロセッサ、好ましくはマイクロチャンネルデバイスまたはメソチャンネルデバイス、及びその添加製造方法に関する。より詳細な態様では、本発明は、太陽熱集中装置に関連する化学的プロセッサに関する。

【背景技術】

【0004】

添加製造(AM)は、パウダー材料を固体に局所的に固めることによる、デバイスの「プリント」の新規の方法である。本デバイスの構造の設計の柔軟性は、一定のプロセスの制限の中にはあるが、複雑な構造を構築するための新たなツールを提供する。元来、AMはプラスチックのために開発されたが、金属用に変化した。また、「プリント」できる金属のリストは増加し続け、現在はインコネル合金及びヘインズ合金を含む、高温の合金を含んでいる。金属の添加製造は、選択的レーザー溶融(SLM)、または、直接的金属レーザー焼結(DMLS)と称される。本発明は、デバイスの一タイプである化学反応器を対象とし、より詳細には、吸熱化学反応を通して太陽熱を化学的エネルギーに変換する太陽熱集中装置の焦点に配置された化学反応器を対象としている。特に関心が持たれている化学反応は、メタンの水蒸気改質である。この化学反応は、水 H_2O 及びメタン CH_4 を反応させて、水素 H_2 、一酸化炭素 CO 、及び二酸化炭素 CO_2 を発生させる。代替的な吸熱反応には、 H_2 及び CO_2 を H_2O 及び CO に変換する逆水性ガスシフト反応、及びアルカンのクラッキング(脱水素反応)が含まれる。

【0005】

発熱反応の反応器も、吸熱反応と発熱反応との両方に対応するハイブリッド反応器本体が可能であるように、水性ガスシフト反応、 H_2 及び N_2 からのアンモニア合成、サバティエプロセス反応、メタノール合成、ならびに燃焼反応などの反応に関し、AMを使用して製造することができる。

【0006】

AMとほとんどの従来の作製プロセスとの間の重要な差異は、「添加」方法と「減法」方法との間で大きく異なる、材料の利用である。「減法」方法では、材料の固形ピースが機械加工されて、最終的な部品の構造を提供するように材料を除去する。ミリングまたは光化学反応による加工などの方法では、材料利用量を多くすることができる押出延伸加工、打抜き加工、及び圧印加工の方法とは対照的に、最初の材料のかなりの部分が無駄になる。AM部品に関する材料の費用は、パーツの総質量に比例する。

【0007】

図1は、従来の「減法」加工と、DMLSとを使用した、TRL 6 Haynes 230 STARSの反応器の設計に関し、毎年1000ユニットで見積もった製造コスト間の比較を示している。これらコストは、全体としては評価されず、コストの構成要素が変化するにつれて経時的に導き出されるボトムアップモデルで得られたものである。このため、これらコストは、実際のものよりもより有益である。DMLSのより低いコストは、DMLSパウダーのポンド毎の費用が高いことに関わらず、より低い材料のコストに大きく起因する。慣習的な加工コストも、高温合金では高い。図1は、DMLS化学反応

10

20

30

40

50

器のコストを低減させる、主題となる本発明の動機を示している。対処されるべき第1のコスト増大要因は、反応器の質量である。反応器の質量を低減することには、パウダーのコスト(材料費)を低減することと、製造時間を短縮することとの両方の利点がある。製造時間の短縮により、処理量が増大し、パーツ毎のツールのコスト(DMLSマシンの償却される資本費用)が低減される。材料のコストとツールのコストとがともに、図1において製造されたDMLSのコストの63%を占めている。

【0008】

第2のコスト増大要因は、反応器内に触媒構造を挿入することに関連する部品数及び組立てステップ数である。我々の従来の反応器の設計の1つは、個別に機械加工され、触媒フォーム構造がチャンネル内に挿入されたのちに高温拡散ろう付けステップでともに組立てられる3つのプレートで構成されている。図1のレーザーカッティング及び拡散ろう付けステップは、製造コストの28%をさらに占めている。本発明には、製造ステップ数を低減すること、パーツ数を低減すること、及び/または組立てプロセスを簡略化することのためのアプローチが含まれる。

10

【0009】

性能及び耐用年数に関する新たな反応器の設計の他の潜在的な利点が存在する。反応器の外壁は、内圧に耐えるために十分な厚さでなければならず、より厚い壁は、同じ熱フラックスのために、壁の両側でさらなる温度差を必要とする。太陽熱集中装置からの熱など、反応器の壁を通して熱を受領する吸熱反応に関し、より大きな温度差は、反応器の表面温度を反応器の冶金学的限界より低く維持するために、より低温の触媒ベッド温度を意味する。メタンの水蒸気改質などの吸熱反応に関しては、より高い反応温度は、より高い平衡転化率及びより迅速な運動に繋がる。反応器の壁を薄くすることは、DMLSに関する構造の材料及び構築時間を節約するのみならず、触媒がより高温となり、ひいてはよりアクティブになることを可能にする。これにより、触媒のコストが節約され、反応器のサイズが低減される。より厚い壁は、反応器の耐用年数に不利益でもある。この理由は、温度差と構造的剛性との両方の増大に起因して、熱ストレスが高くなるためである。さらに、DMLSにより、熱膨張をより良好に許容することができる3D構造の設計がより柔軟になり、それにより、太陽電池の動作の間の構造の、日々のまたはより頻繁な加熱及び冷却のサイクルに関連する内部の応力及び低サイクルの疲労破壊が低減される。

20

【発明の概要】

30

【0010】

第1の態様では、本発明は、凹状形状を有する太陽熱集中装置と、単位操作を実施するように適合されたドーム形状の化学的プロセッサであって、ドーム形状の化学的プロセッサの凸状面が太陽熱集中装置の凹状面に面するように、太陽熱集中装置と関連して配置されている、ドーム形状の化学的プロセッサと、を備え、化学的プロセッサの凸状面が、ドームの中心エリアへ、または中心エリアからドームの周囲のエリアへの流体の通路のためのチューブまたは複数のチューブを備えている、太陽電力装置に関する。いくつかの好ましい実施形態では、本装置は、以下の特徴の1つまたは任意の組合せを含む場合がある。ドーム形状の化学的プロセッサの凸状面が、ドームの表面上に露出したチューブまたは複数のチューブを備えている。ドーム形状の化学的プロセッサの凸状面が、メタン改質触媒または逆水性ガスシフト触媒を含むチューブまたは複数のチューブを備えている。ドーム形状の化学的プロセッサの凸状面が、ドームの中心領域近くの供給源入口または供給源マニホールドから、ドームの外辺部への径方向の流体流れを提供し、外辺部から受領用マニホールドへの径方向の流体流れを提供する複数のチャンネルを備えている、チューブまたは複数のチューブを備え、受領用マニホールドが、ドームの中心領域の近くに位置している。チューブまたは複数のチューブが、多孔性触媒インサート、好ましくはメタン改質触媒を備えている。チューブまたは複数のチューブが、穴のない熱伝導性ディバイダによって分離された第1の部分と第2の部分との2つの部分を備えている。第1の部分が触媒を備え、デバイスの外辺部が、ディバイダの開口を備え、それにより、第1の部分からの流れが第2の部分へ通ることができるようになっている。

40

50

【 0 0 1 1 】

別の態様では、本発明は、供給源マニホールドからデバイスの外辺部に径方向の流体流れを提供する第1の部分と、外辺部から受領用マニホールドへの径方向の流体流れを提供する第2の部分と、を有し、供給源マニホールド及び受領用マニホールドが、デバイスの中心領域の近くに位置しており、デバイスが、単位プロセスのために構成されている、チャンネルまたは複数のチャンネルを備えた化学的プロセッサであって、各チャンネルの第1の部分と第2の部分とが、穴のない熱伝導性ディバイダによって分離され、第1の部分が触媒を備え、デバイスの外辺部が、デバイスの外辺部の近くでディバイダの開口を備え、それにより、第1の部分からの流れが第2の部分へ通ることができるようになっている、化学的プロセッサを提供する。化学的プロセッサは、本明細書の詳細な説明及び図面を通して記載される特徴のいずれかを有することができる。

10

【 0 0 1 2 】

さらなる態様では、本発明は、供給源マニホールドからデバイスの外辺部への径方向の流体流れを提供する第1の複数のマイクロチャンネルまたはメソチャンネルと、外辺部から受領用マニホールドへの径方向の流体流れを提供する第2の複数のチャンネルと、を備え、供給源マニホールド及び受領用マニホールドが、デバイスの中心領域の近くに位置しており、デバイスが、単位プロセスのために構成されている、マイクロチャンネルまたはメソチャンネルデバイスであって、チャンネル内の流れの方向が外辺部へ向かう方向から、外辺部から離れる方向に切り替わる、デバイスの外辺部周りに配置された、触媒インサートまたは複数の触媒インサートをさらに備え、また、触媒インサートまたは複数の触媒インサートを囲むデバイスの外周周りに配置されたリングと、チャンネル内の流れの方向が外辺部へ向かう方向から、外辺部から離れる方向に切り替わる流路とを備えている、マイクロチャンネルまたはメソチャンネルデバイスを提供する。いくつかの好ましい実施形態では、触媒インサートは、楔形状である。本デバイスは、本明細書の記載及び図面を通して記載される特徴にいずれかを有することができる。

20

【 0 0 1 3 】

別の態様では、本発明は、円形形状を有する化学的プロセッサであって、プロセッサの中心領域の近くの供給源入口または供給源マニホールドから、プロセッサの外辺部へ径方向の流体流れを提供するチューブまたは複数のチューブであって、チューブまたは第1の複数のチューブが、デバイスの表面上で露出され、それにより、表面が平滑ではなくなっている、チューブまたは複数のチューブを備え、チューブまたは複数のチューブが、円形、卵形、または楕円形の断面を有し、プロセッサが単位プロセスのために構成されている、化学的プロセッサを提供する。本発明は、逆構成をも含み、供給源入口または供給源マニホールドと、受領用マニホールドとが、デバイスの外周の近くに配置されている。いくつかの好ましい実施形態では、本装置は、以下の特徴の1つまたは任意の組合せを含む場合がある。外辺部から受領用マニホールドへの径方向の流体流れを提供する複数のチャンネルを備え、受領用マニホールドが、デバイスの中心領域の近くに位置している。チューブ及びチャンネルが、1 cm以下の内部の寸法を有している。チューブもしくは複数のチューブ、複数のチャンネル、またはこれらの両方が、径方向に延びるにつれて2つ以上のチャンネルに分かれる分岐チャンネルを備えている。チューブもしくは複数のチューブ、複数のチャンネル、またはこれらの両方が、直線状の径方向チャンネルを備えている。チューブもしくは複数のチューブ、複数のチャンネル、またはこれらの両方が、中心領域から外辺部に延びる湾曲したチャンネルを備えている。チューブまたは複数のチューブが、チューブまたは複数のチューブ内に組み込まれた多孔性インサートを備えている。多孔性インサートが、触媒材料、吸着材料、またはこれらの両方を備えている。多孔性インサートが、多孔性金属支持部であって、多孔性金属支持部の表面に溶接された穴のない金属フィルムを有する、多孔性金属支持部を備えている。多孔性インサートが、金属、ポリマ、または金属酸化物を備えている。プロセスがドーム状の構造を有している。露出表面において収束された太陽エネルギーの焦点となるように配置された太陽熱集中装置をさらに備えている。チューブまたは複数のチューブが、熱膨張係数の勾配を有し、チューブまたは複数のチューブ

30

40

50

ブの露出表面上で熱膨張係数が低くなっている。

【0014】

本発明は、本デバイスの各々の用途を含む、1つまたは複数の単位操作を実施することに対応する方法をも含んでいる。好ましくは、単位プロセスは、発熱化学反応、吸熱化学反応（好ましくはメタン改質）、熱交換器、化学的分離法、及び熱分解で構成されたグループから選択される。

【0015】

さらなる態様では、本発明は、添加製造プロセスを介してチャンネルの第1の部分を層毎に形成するステップと、多孔性インサートをチャンネルの第1の部分内に埋め込むステップと、多孔性インサートを保護層でカバーするステップと、第1の部分上にチャンネルの第2の部分を層毎に形成するステップと、を含む、マイクロチャンネルまたはメソチャンネルデバイスの製造方法を提供する。いくつかの好ましい実施形態では、本発明は、以下の特徴の1つまたは複数を含んでいる。マイクロチャンネルまたはメソチャンネルデバイスが、差動温度マイクロチャンネルまたはメソチャンネルデバイスである。保護層が、第1の部分上にチャンネルの第2の部分を層毎に形成するステップの後に除去される犠牲材料を備えている。（犠牲材料は、第2の部分の融点の少なくとも100（または少なくとも300）下の温度で溶融する材料とすることができる。）保護層を多孔性インサート上にレーザー溶接するステップを含む。添加製造プロセスが、金属を直接レーザーで焼結させることを含む。多孔性インサートが、触媒材料、吸着材料、またはこれらの両方を備えている。多孔性インサートが、金属、ポリマ、または金属酸化物である。多孔性インサートが、保護層を多孔性金属支持部上に結合し、次いで、多孔性金属支持部を、金属酸化物、及び、ニッケルまたは貴金属でコーティングして、メタン改質触媒を形成し、次いで、インサートをチャンネル内に配置する前にか焼することによって形成される。

【0016】

本発明は、多孔性インサート（好ましくは触媒）をデバイス内に挿入することと、プラグまたは溶接リングを溶接して、デバイスの外周で流路をシールすることと、を含む、化学的プロセッサの製造方法または改装方法をも含んでいる。

【0017】

本発明の態様は、対流伝熱を向上させるため、及び/または、チャンネル間の流れの分配を向上させるために、構造を流体チャンネル内に配置することも含む場合がある。概して、本発明の態様のいずれかは、発明の詳細な説明に提供される任意の特徴または特徴の組合せに応じて変更することができる。

【0018】

様々な実施形態では、本発明の利点は、デバイスの質量を低減させることと、伝熱を向上させることと、耐久性及び耐用年数を向上させることと、より一様な熱プロファイルを促進するか、効率的な動作を達成するように反応の温度を別様に变化及び/または制御することと、を含むことができる。

【0019】

用語

標準的な特許の専門用語として、「備える（comprising）」は「含む（including）」を意味し、また、これら用語のいずれも、追加の構成要素または複数の構成要素が存在することを除外しない。代替的实施形態では、「備える（comprising）」の用語は、「基本的に～で構成されている（consisting essentially of）」、または「～で構成されている（consisting of）」の、より限定的なフレーズと置き換えることができる。

【0020】

「マイクロチャンネル」は、1mm以下であり、1μmより大（好ましくは、10μm）であり、いくつかの実施形態では、50μmから500μmである、少なくとも1つの内径（壁から壁の寸法であり、触媒を含まない）を有し得るチャンネルである。好ましくは、マイクロチャンネルは、少なくとも1cm、好ましくは少なくとも20cmの長さ

10

20

30

40

50

関し、これら寸法内にある。いくつかの実施形態では、5 cmから100 cmの長さの範囲であり、いくつかの実施形態では、10 cmから60 cmの範囲である。マイクロチャンネルは、少なくとも1つの出口とは別の少なくとも1つの入口の存在によって規定することもできる。マイクロチャンネルは、ゼオライトまたは多孔性材料を通るだけのチャンネルではない。マイクロチャンネルの長さは、マイクロチャンネルを通る流れの方向に対応している。マイクロチャンネルの高さ及び幅は、チャンネルを通る流れの方向に対して実質的に垂直である。メソチャンネルは、1 mmから1 cmの内径を有することを除き、同様に規定される。通常は、デバイスは、共通のヘッダー及び共通のフッターを共有する複数のマイクロチャンネルまたはメソチャンネルを備えている。しかし、いくつかのデバイスは単一のヘッダー及び単一のフッターを有している。マイクロチャンネルデバイスは、複数のヘッダー及び複数のフッターを有することができる。チャンネルまたはマニホールドの容積は、内部空間に依存する。チャンネルの壁は、容積の計算には含まれない。

10

【0021】

微粒子は、マイクロチャンネルまたはメソチャンネルにフィットする触媒粒子などの粒子に関する。好ましくは、(存在する場合)粒子は、(最大寸法で)2 mm以下、いくつかの実施形態では、1 mm以下のサイズを有している。粒子のサイズは、篩または顕微鏡または他の適切な技術によって測定することができる。比較的大きい粒子に関しては、篩い分けを使用する。微粒子は、触媒、吸着剤、または不活性材料である場合がある。

【0022】

本発明は、本明細書に記載の装置内で単位操作を実施する方法をも含んでいる。「単位操作」は、化学反応、蒸発、圧縮、化学的分離法、蒸留、凝縮、混合、加熱、または冷却を意味する。「単位操作」は、単に流体の移送を意味するものではないが、移送は単位操作とともに頻繁に行われる。いくつかの好ましい実施形態では、単位操作は、単なる混合ではない。

20

【0023】

触媒を含むチャンネルが、反応チャンネルである。より一般的には、反応チャンネルは、反応が生じるチャンネルである。反応チャンネルの壁は、好ましくは、鋼などの鉄ベースの合金、または、Haynesなどの、Ni、Co、もしくはFeベースの超合金で形成されている。反応チャンネルの壁のための材料の選択は、反応器が意図される反応に依存する場合がある。いくつかの実施形態では、反応チャンパの壁は、耐久性があり、良好な熱伝導性を有するステンレス鋼またはInconel(登録商標)で構成されている。通常は、反応チャンネル(通常はチューブ)の壁は、マイクロチャンネル装置のための主要な構造上の支持部を提供する材料で形成されている。

30

【0024】

熱交換流体は、処理チャンネル(好ましくは、反応マイクロチャンネルまたは反応メソチャンネル)に隣接する伝熱チャンネル(好ましくは、マイクロチャンネルまたはメソチャンネル)を通して流れる場合があり、また、気体、または液体、または二相性材料とすることができる。また、好ましい実施形態では、熱交換流体は、反応チャンネル内で発生した熱を回復するために使用される製品の流れである。

【0025】

「チューブ」は、円形、両端に一对の半円を有する矩形(これは、図8に示すような楕円の実施例である)、または卵形の断面を有する細長い部材の従来の意味を有している。内部にも外部にも角はなく、したがって、応力が集中する領域はない。チューブの壁厚は、好ましくは、一様であり、10%以下の範囲で変化するが、チューブの内部を2つ以上のチャンネルに分離する、異なる厚さを有する内部の分離壁(バリア)が含まれる場合がある。図示のように、分離壁とチューブ壁との間に角が存在する場合があるが、通常は、内部の分離壁の両側に大きい圧力差は存在しない。

40

【0026】

「露出した」チューブは、大気に対して露出した表面を有する。このチューブはプレートによってカバーされておらず、露出したチューブの表面は湾曲している。

50

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】A及びBは、2288米ドルの費用がかかった、従来の加工がされたHaynes 230の太陽熱化学反応器と、1682米ドルの費用がかかった、DMLSによって形成された太陽熱化学反応器との費用比較を示す図である。

【図2】Aは、図2Bの反応器の下部の断面図である。Bは、2片のアセンブリの太陽光反応器 - 受領器の図である。

【図3】円周応力を示す図である。印加された圧力に反作用することができる垂直方向にのみ作用する応力は、法線応力（実線） σ_r である。この応力は、木製のバレル周りの鋼の円周のように作用することから、「フープ応力」と呼ばれる。

【図4】分岐チューブの化学的プロセッサを示す図である。

【図5】分岐チューブを示す図である。

【図6】分岐チューブの化学的プロセッサの断面図である。

【図7】中心穴が0.5インチであり、最初の長さが1/2インチであるチューブの、チューブの半径が増大するにつれての、分岐チューブの反応器のチューブの数に対する、チューブの壁の質量及びチューブ内部の容量のグラフである。

【図8】断面がカプセル構造を有する場合の、3つの隣接するチューブの断面を示す図である。

【図9】中心穴が0.5インチであり、最初のチューブの長さが3インチであるチューブの、チューブの半径が増大するにつれての、Haynes 230の分岐チューブの反応器のチューブの数に対する、チューブの壁の質量のグラフである。

【図10】らせん方向とz方向との両方においてチューブ形状、分岐、及び湾曲を組み合わせたチャンネル構造の実施例を示す図である。

【図11】単一のチャンネルを有する化学的プロセッサを示す図である。

【図12】AMプロセスにおいて化学的プロセッサに挿入するために適合された多孔性インサートを形成するプロセスの概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0028】

本発明は、デバイス、製造方法、及び添加製造プロセスを使用して形成されたデバイスを伴うプロセスを含んでいる。製造方法には、触媒または他の構造を外部の物体としてデバイス内に、それらが添加製造方法を使用して形成されるものとして組み込む方法が含まれる場合がある。代替的には、多孔性または他の表面積が広い構造を、製造時にAMプロセスによって構築することができ、次いで、コーティング、含浸、または除去プロセスを通して構築後に活性化される。放物面皿型の太陽熱集中装置の受領器として適切な添加製造によって形成することができる様々な構造が記載される。

【0029】

AMによって形成された装置を記載する、文献におけるいくつかの記事が存在する。たとえば、Gutmann et al., React. Chem. Eng., 2017, 2, 919-927, "Design and 3D printing of a stainless steel reactor for continuous difluoromethylations using fluoroform.", Stark, AIChE Journal, (2018) 64(4): 1162-1173, "Manufactured Chemistry: Rethinking Unit Operation Design in the Age of Additive Manufacturing.", Capel et al., Lab Chip, 2013, 13, 4583, "Design and additive manufacture for flow chemistry Article in Lab on a Chip."である。「Method of using additive materials for production of fluid flow channels」と題する米国特許出願第2015/01

10

20

30

40

50

37412号のSchalanskyには、流体チャンネルを形成するいくつかのAM方法が記載されている。この公開された特許出願の内容は、以下に完全に再現されたかのように、本明細書に組み込まれる。AMによって製造可能ないくつかのグレードが付された金属構造が、Khodabakhshiet al.により、“Dissimilar metals deposition by directed energy based on powder-fed laser manufacturing,” J. Manufacturing Processes 43 (2019) 83-97に記載されている。本発明では、チューブの壁は、熱膨張などのグレードが付された特性を伴って形成することができる。好ましい実施形態では、太陽光源に面するチューブの側部が、太陽光源とは離れた方向に向くチューブの側部より低い熱膨張係数を有している。勾配は、底部（太陽光源から離れている）のもっとも高い膨張係数から、頂部のもっとも低い膨張係数まで連続している場合があるか、2、3、または任意の選択された数の領域である場合がある。いくつかの実施形態では、グレードが付された熱膨張係数は、太陽熱集中装置からの熱を受領するチューブの側部にのみある場合がある。

10

20

30

40

50

【0030】

本発明は、入射する太陽光放射を受領し、吸熱化学反応、流体の加熱、及び分離プロセスを含む、吸熱プロセスのために吸収されたエネルギーを使用するように適合されたデバイスをも含んでいる。概略的な配置は、中心マニホールドから外に、プレートの外辺部に向かう径方向の流れであり、次いで、デバイスを出る前にその流れをチャンネルの第2のセットを通して、中心付近の第2の受領用マニホールドに戻す。

【0031】

構造には、分岐チューブが含まれる。この分岐チューブは、円形プロファイルのすべてまたは大部分をカバーすることを促すように径方向に延びるにつれて、2つ以上（好ましくは2つ）のチューブに分かれる。チューブは、円の半径に沿って直線状とする、または湾曲させることができる。湾曲したチャンネル構造の限界は、中心を始点とし、外辺部に向かって外に延びる単一のコイル状のチャンネルである。返還チャンネルは、外向き流れチャンネルを模倣するものとしてでき、隣接するチャンネルを通して同じ流路に沿うように流体を戻すことを可能にする。より一様な温度のため、及び向上された流体の混合のために、熱の拡散を促す、外向きの流れ及び返還流れに関する様々な構造を有する多くの代替的構造が予期される。本発明は、チャンネルの基本的な流れの軸が平面上にある平らな構造、または、「z軸」方向に平面から外れて湾曲したチャンネルを有する3次元構造を含んでいる。

【0032】

本発明のいくつかの態様は、対流伝熱を向上させるため、及び/または、チャンネル間の流れの分配を向上させるために、構造を流体チャンネル内に配置することも含んでいる。向上された伝熱構造には、フィン、ルーバー付きフィン、拡大された伝熱エリアのためのピン、及び流体の混合の対流のための構造が含まれる。

【0033】

2つのパーツのアセンブリ：

図2は、アセンブリを2つのパーツに減らすため、及び、ラムプレスが備えられた炉内での長いサイクル時間を要する高温の拡散ろう付けステップを除去するための実施形態を示している。炉を徐々に加熱及び冷却すること、ならびに、パーツの接着を可能にする温度の時間は、何日も要することになり得、生産能力が比較的低下することに繋がる。反応器-受領器の本体を単一のパーツとして添加製造で構築することにより、実質的に材料を節約することになる。図2Bは、化学的プロセッサの2つのパーツのアセンブリを示している。第1のステップでは、チャンネルを包含する化学的プロセッサパーツ35をAMによって形成することができる。次に、触媒ピース（矩形、または、図示のパイ形状のピースなど、他の形状である場合がある）35は、次いで、シーリングリング34を定位置に溶接することによって反応器を閉じる前に、図2Bに示すように、外辺部の周りの開口内に挿入される。別の実施形態では、反応器-受領器の本体の大部分は、図2Bに示すよう

な添加製造で構築されるが、チャンネル開口は、円形穴の形であり、それにより、これらチャンネル開口を、すべてのチャンネルに関する単一の溶接リングの代わりに、たとえば、個別の楔形のプラグで個別にシールできるようになっている。チャンネル端部は、触媒の挿入の後に、図2Bに示すように溶接リングでシールすることによってシールすることができる。いくつかの好ましい実施形態では、溶接リングは、回転摩擦溶接によって定位置に溶接される。代替的实施形態では、プラグを、たとえば、楔形プラグを同様に楔形の穴に挿入する際に楔形プラグを回転させることによって生じる溶接効果により、定位置に溶接することができる。溶接リングは、他の結合プロセスの実施例、すなわち、レーザー溶接または電子ビーム溶接のように、従来の溶接または摩擦攪拌溶接によって定位置に溶接することができる。完成したデバイスでは、熱エネルギー（光子の衝突など）が、露出されたチャンネルまたはチューブの壁22を通してシステムに入る。図2Aは、露出された壁22、触媒インサート28、ジョイント26によって定位置に固定されたチャンネルプラグ24、及び返還チャンネル32を示す断面図である。触媒インサート28から流れ出る化学的製品は、開口30を通して返還チャンネル32に流れる。代替的实施形態では、多孔性インサート28（吸収剤など）が、触媒インサート28の位置で使用される。

10

20

30

40

50

【0034】

この設計の顕著な利点の1つは、触媒ピースにアクセスし、交換するために、リングまたは個別のチャンネルエンドキャップを除去することにより、反応器を改装するための可能性である。このことは、長期間にわたって交換コストを節約しつつ、反応器のハードウェアの耐用年数を延長させ、かつ触媒構造の材料のリサイクルを容易にする。本発明は、プロセッサを形成する方法、プロセッサを改装する方法、化学的装置の方法、及び装置内の単位操作を実施する方法が含まれる。

【0035】

筒状設計：

本発明のいくつかの実施形態では、フラットな壁に対する丸いチューブの固有の強度を利用するために、筒状構造が利用される。フラットな壁は、一方側に高い圧力がかけられると、曲げる力がかけられる。この力は通常、壁を厚くすること、または支持材もしくは補強材を追加することによって耐えなければならない。一方、加圧された丸いチューブの壁82（図8参照）には、図3に示すように、フープ応力と称される引張応力が基本的に掛けられる。その結果、丸いチューブは、同じ強度の材料で形成される場合、フラットな壁よりもかなり薄い壁とすることができる。したがって、フラットな壁を有する矩形チャンネルの代わりに筒状のチャンネルで構成されたAMの設計は、薄い壁に起因した顕著な重量の節約の可能性がある。チューブの内径（または最大の内部の寸法）は、好ましくは、0.1mmから3cmの範囲、好ましくは1mmから1.0cmの範囲である。たとえば、降伏応力が450psiである、0.4インチの幅の矩形プレート（982でのHaynes 230）は、10barの圧力に耐えるために、0.165インチの厚さが必要である。代替的には、同じ降伏応力のチューブの壁の厚さは、10barの圧力に耐えるためには、わずか0.065インチである。分岐チューブのAM方法は、より小型のチューブをも可能にする。中心ヘッダーの10のチューブから始め、必要な壁厚は、チューブの長さの始点における0.025インチから変化し、チューブの長さの端部における0.049インチまで継続的に増大する。AMの別の利点は、重量を最適化するために、壁の厚さを局所的に変化させる能力である。押出し成形されたチューブは、一定の直径及び壁の厚さを有することになる。AMチューブは、分岐チューブの設計で実施される、様々な直径及び壁の厚さを有することができる。

【0036】

筒状幾何学形状の利点は、チューブの外壁が、反応器の外壁でもある場合に顕著であり、チューブの壁が外壁ではない場合に低減される。反応器の外壁は、外部から加熱される反応器及び/または吸熱反応チャンネルに関し、内圧に耐えるために十分な厚さでなければならず、より厚い壁は、同じ熱フラックスに関し、壁の両側のさらなる温度差を必要とする。より大きい温度差は、反応器の表面温度を反応器の冶金学的限界より低く維持する

ために、より低温の触媒ベッド温度を意味する。メタンの水蒸気改質などの吸熱反応に関しては、より高い反応温度は、より高い平衡転化率及びより迅速な運動に繋がる。反応器の壁を薄くすることは、AMに関する構造の材料及び構築時間を節約するのみならず、触媒がより高温となり、ひいてはよりアクティブになることを可能にする。これにより、触媒のコストが節約される。より厚い壁は、反応器の耐用年数に不利益でもある。この理由は、温度差と構造的剛性との両方の増大に起因して、熱応力が高くなるためである。さらに、DMLSにより、熱膨張をより良好に許容することができる3D構造の設計がより柔軟になり、それにより、太陽光動作の間の構造の、日々のまたはより頻繁な加熱及び冷却のサイクルに関連する内部の応力及び低サイクルの疲労破壊が低減される。性能及び耐用年数に関連するこれらの太陽光動作の潜在的な利点が考慮される。

10

【0037】

筒状の実施形態に関連する別の新たな革新は、添加構築の間に、触媒構造を反応器内に挿入することである。このことは、設計が、パーツが構築された後の触媒の挿入に対応する必要がないことによる、さらなる設計の柔軟性を与えるのみならず、製造ステップ数も低減される。ステップのシーケンスは、1) 反応器がAM(好ましくはDMLS)によって部分的に製造されることと、2) 構築が停止され、プラテンが上昇し、パウダーが触媒チャンネルから吸引されることと、3) 触媒ピースが触媒チャンネル内に挿入されることと、4) 構築を完了するためにAMプロセスが再開されることと、である。好ましくは、触媒ピースの頂縁部は、AM構築の継続に対応するように、1つの平面で平滑である。構築を停止するステップと、パウダーを触媒チャンネルから除去するステップと、触媒ピースを挿入するステップとにより、触媒を挿入することと、反応器を閉じることとが必要とされる構築後のステップの代わりに、構築のサイクル時間が長くなる。

20

【0038】

筒状設計の新規の革新のいくつかの実施形態が、以下に記載される。

【0039】

触媒構造：

複数のタイプの触媒構造を、本発明のデバイスに組み込むことができる。いくつかの例では、多孔性フォームまたはフェルトなどの触媒構造が、上述のコンセプトの1つで、チャンネル内に挿入される。パウダーまたは微粒子の触媒の媒体も、乾燥媒体またはスラリーとして添加することもできる。アクティブ触媒は、か焼、蒸着、及びウォッシュコーティングを含む様々な方法を使用して、補強材を付ける際に構造内に埋め込むことができるか、組立てが完了した後に添加することができる。代替的には、多孔性の触媒構造を、プロセスパラメータを変更することにより、構築の間にプリントすることができる。このことは、焼結された表面積の広い多孔性媒体を出るパウダーを部分的に固める。代替的には、表面エリアに、触媒でコートされることになるフィンまたはピラーなどの追加の内部構造をチャンネルの内側に構築することによって添加することができる。このことは、伝熱を向上させるために拡大されたエリアとしての役割も果たす。

30

【0040】

最初に保護層1202を触媒インサート構造1204(FeCrAlYのフォームシート)上に配置することにより、触媒のメタン水蒸気改質が準備された。保護シートは、保護された多孔性構造1206を形成するように、多孔性構造1204にタック溶接するかレーザー溶接することができる。多孔性構造は、たとえば、MgAl₂O₄上のRh触媒で構造をウォッシュコーティングし、後に500°Cでか焼して、多孔性の触媒インサート1208を形成することにより、メタン改質触媒に変化させることができる。このプロセスは図12に示されている。触媒をチャンネルに配置し、AMによってチャンネルを完成させた。デバイスのテストは、少なくとも750°Cの温度での使用の2サイクルの後に、動作に損失を伴わずに、優れたメタン改質及び水素の生成を示した。

40

【0041】

DMLSプロセスが再開した後にカバーを過度に加熱することにより、カバーを平面ではなくするようにねじれさせ、カバーがパウダー拡散バーの障害になることから、プロセ

50

スを失敗させることになることを見出された。レーザーは、カバーを通して穴も開けて、カバー及びカバーの下のインサートに損傷を生じ、また、パウダーをキャビティ内に入り込ませる。

【0042】

これら問題に対する解決策は、カバーを構築された構造にタック溶接するために、レーザー（我々のテストではDMLSレーザー）を使用することを含むものであった。このことは、構造及びカバーが挿入された後、かつパウダーがパーツ上に後方に広げられる前に行う。試験により、カバーを定位置に保持するか、外辺部全体をステッチ溶接して、外辺部をパウダーから効果的にシールするためにちょうど十分であるように、タック溶接を制御しなければならないことが示された。向上された結果が、スポット溶接を可能にするように外辺部の周りにいくつかの通路を形成して、同じ付近に再度溶接する前に十分に冷却することによって得られた。別の解決策は、DMLS構築プロセスが再開された後に、レーザーの出力及びパウダー層の厚さを変更することである。これにより、AM構造を構築して、インサート及びカバーの頂部で、これらパーツに損傷を与えることなく、再開することが可能になる。

10

【0043】

完全な反応器が、触媒が埋め込まれた状態でAMによって形成される場合、触媒キャビティは、端部及び「頂部」を通してAMパウダーが侵入することから保護しなければならない。端部は、流れを許容しなければならない、それにより、触媒チャンバは、流れを許容する多孔性の壁を使用して閉じることができるようになっている。多孔性の壁の1つは、中心の入口マニホールドに向かう入口端部に置かれる。その側部上のパウダーは、マニホールドを通して外に出る場合がある。第2の多孔性の壁は、返還層に落ちる開口の前に、触媒チャンネルのちょうど端部に位置している。外辺部のヘッダー及び返還チャンネルにおけるかなりの量のパウダーが、返還チャンネルの中心ヘッダーの外に出なければならない。多孔性の壁のさらなる利点は、これらが、複数チャンネルのデバイス内の良好の流れの分布に関し、圧力低下を生じ、こうして、複数のチャンネルを通る流れを制御する（通常は均等にする）ためのオリフィスまたは他の特徴を不要とすることである。

20

【0044】

触媒構造を挿入し、触媒構造にAMパウダーが実質的に侵入することを防止するさらに別の方法が、犠牲材料を使用することによって可能になる場合がある。触媒構造に、（流体を形成するように）加熱または反応させた後に除去することができる固体材料を含浸させることにより、多孔性の壁及び「頂部」のピースの使用が不要になる。たとえば、高分子量のオイル（たとえばパラフィン）は、触媒構造内の空隙を埋めることができ、次いで、構築プロセスが完了した反応器を加熱させて、溶融したまたはガス状の材料が除去される。

30

【0045】

分岐する一定半径のチューブ：

図4は、チューブのセットが中心のマニホールドから径方向外側に延びる筒状設計の第1の実施形態を示している。円形エリアを完全にカバーするために、チューブは、このチューブが径方向に延びるにつれて分岐する。この特定の実施形態では、チューブの直径は一定であり、それにより、反応器の厚さがエリア全体で一定である。チューブの分割のプロセスが図5に示されている。チューブは、丸い断面で始まり、すぐに分岐し始め、分岐が完了すると図8の断面へと徐々に展開される。この図8の断面から、両方のチューブがさらに外に延びるにつれて、これら両方のチューブが分岐プロセスを繰り返し始める。

40

【0046】

数学的には、円形の中心からの距離が2倍になる毎にチューブが分岐する。図6は、チューブがどのように定期的に分岐するかをさらに示している。

【0047】

このコンセプトの一実施形態では、内壁はチューブ内にあり、チャンネルを2つの半体に分割する。これらは図4から図6には示されていない。触媒構造は、分離壁が構築され

50

る前の D M L S の構築の間にチャンネルの半体の一方内に挿入されることになる。チューブの反対側は、入ってくる反応物の予熱、または、触媒構造内の反応の熱に関し、製品の流れから熱を回復するなど、熱交換のために使用され得る。

【 0 0 4 8 】

他の実施形態では、触媒構造は、D M L S の構築が完了した後に触媒でコーティングされる、焼結された多孔性媒体、壁、またはピラーなど、チューブ内に構築される。

【 0 0 4 9 】

分岐する、半径が増大するチューブ：

筒状設計の別の実施形態は、半径が増大するチューブである。チューブが径方向外側に延びるにつれて徐々に分岐する代わりに、チューブはそのままであり、直径が増大し、次いで、中心からいくらかの半径の位置で半分の直径の2つのチューブに分割される。2つのチューブの各々は、これら2つのチューブが同様に2つのチューブに分かれるまで、径方向に延びるにつれて直径が増大する。最小の量の壁材料が、内壁の応力とその材料に関する許容可能な応力において一定に維持される際に使用される。チューブに関し、最大の応力は、薄い壁であると仮定された関係では、以下のフープ応力である。

$$\sigma = \frac{pr}{t} \quad (1)$$

【 0 0 5 0 】

ここで、p は設計圧力であり、r はチューブの半径であり、t はチューブの壁の厚さである。チューブの直径を増大させつつ一定の壁の応力を維持することには、壁の厚さを増大させることが必要である。方程式 1 を、直径 D 1 から D 2 に増大するチューブの長さ l で積分すると、所与の許容可能な応力 に関する最小の壁の体積が与えられる。

$$V_w = \frac{\pi pl}{6 \sigma} (D_2^2 + D_2 D_1 + D_1^2)$$

【 0 0 5 1 】

分岐チューブ構造に組み込まれるパラメータは、中心穴の半径、中心穴から延びる最初のチューブの数、及び第 1 のセグメントの長さである。図 7 は、1 / 2 インチの中心穴及び 1 / 2 インチの第 1 の長さに関する、中心穴から延びるチューブの数に対する、チューブの壁の質量を示している。D O E E E R E S o l a r p r o j e c t 上に構築された T R L 6 反応器の質量は、4 . 5 8 k g であった。反応器の質量、及び、添加製造された反応器の後の費用を大幅に低減する余地がある。しかし、他の設計の考慮事項は、触媒の総量と、反応器壁から触媒への熱の伝達である。T R L 6 反応器は、2 4 3 . 2 5 c m 3 の触媒構造を有しており、チューブの体積の半分のみが触媒を含む場合、その触媒の体積の量は、図 7 に示すように、この反応器のチューブの内側にはフィットしない。さらに、チューブの直径は、アレイが 1 0 未満のチューブで始まる場合、0 . 5 インチより大きくなる。このことは、T R L 6 の触媒の 5 m m (1 / 5 インチ) の厚さよりもかなり大きい。結果として伝熱距離が増大することは問題である。触媒の体積と伝熱距離との両方の問題は、チューブの断面を円形から、図 8 に示すカプセル形状に変更することによって克服される。カプセル形状のチューブを分割する壁は、同じ最大壁応力を維持するためには、丸い壁の厚さの 2 倍である。直線状の壁の高さは、所望の触媒の体積を収容するために十分な内部の体積を提供するように変化させることができるパラメータとなる。図 9 は、4 8 7 . 5 c m 3 の一定の内部体積の、カプセル形状の分岐チューブの反応器に関する壁の質量を示している。壁の質量の計算は、4 . 5 8 k g の T R L 6 反応器から、壁の質量を 2 / 3 まで節約する可能性を示している。質量の節約により、中心穴から延びるチューブを約 3 0 より多く減少させる。最初のチューブが 2 0 であると、入射太陽光の方向における最大の触媒の厚さは、6 ~ 7 m m である。これは、T R L 6 の触媒厚さである 5 m m に近い。外側表面及び薄い壁上の丸い「円丘」は、名目上より厚い触媒を補償する以

上ものとなる。1 / 2 インチの中心穴から 1 / 4 インチの最初のチューブの長さで延びる 20 のチューブでは、チューブの壁の質量は 1 . 8 3 k g、最小直径は 0 . 1 0 1 インチ、最大直径は 0 . 2 0 2 インチ、内壁の高さは 0 . 3 3 3 インチ、触媒の厚さは 6 . 8 m m となる。

【 0 0 5 2 】

代替的なアプローチは、直径が変化するにつれて、分離壁の高さを変化させることにより、一定の反応器の厚さを維持することである。このことは、触媒の厚さが一樣になることから、製造がより容易である場合がある。

【 0 0 5 3 】

らせんチューブ：

図 4 から図 6 に示す構造は、中心穴から径方向に延びる直線状のチューブを有している。他の実施形態では、チューブは湾曲し、中心から外側縁部に向かってらせん状になっている。図 10 を参照されたい。らせん構造は、反応器の表面の非一様な入射太陽光のフラックスに対応するように、太陽光反応器 - 受領器に予め適合されている。限界では、図 11 のようなコイル状の単一のらせんチューブが、入射太陽光のフラックスを受領するエリア全体をカバーする。コイル形状は、隣接するチャンネルが、前述のように別々のチューブの代わりに同じチューブの隣接するコイルを示すことを除き、図 8 に示すカプセル状の断面でも形成することができる。同様の反応器の質量の節約が、他の構造に関して前述したように、薄い壁を有することによって予期される。単一のコイル状のチューブまたはカプセル状のチューブの困難性は、かなり長いチャンネルの長さが圧力低下を増大させることである。このことは、中心を始点とし、外辺部に向かって外にコイル状になっている 2 つ以上のコイルを有することによって緩和させることができる。さらに別の実施形態では、コイルは、らせんの 1 つまたは複数のポイントで分岐することができる。このため、直線状の分岐チューブから、分岐している湾曲したチューブ、単一のコイル状のチューブまで、無数の構造の組合せが存在する。構造の選択は、性能、圧力低下、製造コスト、ならびに、反応器の信頼性及び耐用年数による。

【 0 0 5 4 】

返還チャンネル：

径方向の流体チャンネルを有する反応器の設計は、通常、中心のマニホールド（穴）から外辺部のマニホールドに外向きに流れ、次いで、反応器を出る前に第 2 の中心マニホールドに径方向に戻るように流れる処理流体を有している。実施形態には、外に流れるチャンネルと返還チャンネルとの両方の同じであるか異なる触媒、外に流れるチャンネルのみの触媒、または返還チャンネルのみの触媒を配置するためのオプションが含まれている。図 8 は、いずれかに配置された触媒 88 を伴う外向きに流れるチャンネルと返還チャンネルとを分割するための、チューブまたはカプセルチューブの内側の内壁 86 を示す。図 8 は、外向きに流れるチャンネル 88 と返還チャンネル 84 との間で体積を等しく分割した、対称的なチャンネルを示している。他の実施形態は、それぞれ外向きのチャンネルの体積を増大させるか、返還チャンネルの体積を増大させるように、下方にシフトしたか、上方にシフトした壁を有している。さらに他の実施形態は、1 つのプロファイルが外向き流れチャンネルのためのものであり、異なるプロファイルが返還チャンネルのためのものである、非対称の構造を有している。たとえば、返還チャンネルは、異なるピッチを有することができる。たとえば、ピッチを 2 倍にすることにより、各外向き流れチャンネルに関して 2 つの返還チャンネルを有して、返還チャンネル内の伝熱を向上させる。

【 0 0 5 5 】

図 4 から図 6、及び図 8 は、図 8 に示す分割チューブなどの、外向き流れチャンネルと同じ経路をたどる返還チャンネルを示している。他の実施形態では、返還チャンネルの構造の設計は、外向き流れチャンネルから切り離すことができる。一実施例は、前に使われていた IDR, Solar Thermochemical Reactor with Reaction and Thermal Recuperation Channels Arranged in Counter Spirals の、逆らせん構造

10

20

30

40

50

である。返還流れチャンネルを交差させ、複数の外向き流れチャンネルと熱的に接触させることには、反応器内で熱が拡散し、かつ温度がより一様になる利点がある。加圧された反応器の機械的支持部に関する2つの流体チャンネル構造を構成するための様々な方法が想定される。外辺部のマニホールドは、構造が対称である場合に、所与の外向き流れチャンネル内の流体を隣接する返還チャンネルを通して単純に返還するように設計することができる。代替的には、マニホールドは、別の外向き流れチャンネルの返還チャンネルを通して流体を返還することができる。理由の1つは、反応器のエリア間の熱の伝達、及び熱の拡散を提供することである。他の実施形態は、開いたマニホールドを有することになり、返還チャンネルに入る前に複数の外向き流れチャンネルからの流体を混合することを可能にする。外辺部マニホールドは、2つ以上の外向き流れチャンネルから、外向き流れチャンネル全体までの流体を混合することが可能である。

10

【0056】

向上された熱交換：

吸熱性の不均一反応及び他のプロセスを支持するための、反応器の表面から、外壁及び触媒構造を通しての入射太陽光のフラックスの伝熱は、反応器の性能に関して重要である。本発明の重要な態様は、外壁を通しての伝熱抵抗を低減するために、外壁を薄くすることである。開いた返還チャンネル内の伝熱も重要であり得る。たとえば、返還チャンネル内の高温流体から外向き流れチャンネル内の触媒構造に熱を伝えることにより、太陽光から化学的エネルギーへの変換を向上させ、システム全体のエネルギー効率を向上させる。外向き流れチャンネルと返還チャンネルとのいずれかで伝熱を向上させるための様々な技術が

20

【0057】

非平滑構造：

図2から図6に示す反応器の構造は平滑であり、チャンネルの主要な軸がすべて2次元平面内にあることを意味している。添加製造の柔軟性により、流体チャンネルを反応器の主要な平面から外に湾曲させる3-D構造、いわゆるZ方向の湾曲とすることが可能になる。3-D構造の利点には、入射太陽エネルギーを受領するための、より大きい外側表面積が含まれ、それにより、反応器内への平均的な局所的熱フラックスを低減させる。別の利点は、構造の熱膨張に関連する熱応力を低減させることである。3-D構造の一実施形態は、ドーム状または半球状の構造である。この種類の構造の実施例を図10に示す。この凸構造により、入射太陽光を受領するもっとも高温の外側表面が、より低温の下側よりも大きく膨張することを可能にし、それにより、構造内の応力を低減させる。円形断面の半球は、複数の可能性のある3-D構造の1つにすぎない。他の構造には、パラボラ状及びS状が含まれる。代替的形状により、反応器の外側表面上のフラックスの入射角を局所的に調整する機会が作り出され、対になった太陽熱集中装置の特性を良好にマッチさせ、かつ、光学的に不完全であることに起因するホットスポットを緩和する。

30

40

【0058】

圧力低下構造：

チャンネル間の一様な流れの分布は、一定の滞留時間及び触媒への暴露、ならびに伝熱のために所望される。流れを一様に分配することを補助する圧力低下を生じさせるために、入口または出口（または流路内の任意の場所とすることができる）にしばしば特徴が追加される。特徴には、オリフィスまたは他の流れを制限するもの、蛇行した小さいチャンネルなどの延長された流路長さ、または多孔性の壁が含まれ得る。これら特徴は、添加製造の作製プロセスの間に追加することができる。

【0059】

50

他のプロセス：

本発明の主要な用途は、吸熱性のメタンの水蒸気改質反応のための異種の触媒のために熱を提供するように、入射太陽光の放射を使用する太陽熱化学反応器である。CO₂によるメタンの乾燥改質または逆水性ガスシフト反応などの他の吸熱化学反応を含む、他の吸熱プロセスも予想される。本明細書に記載の技術を使用して製造できる、吸熱反応及び発熱反応のための差動温度反応器を含む反応器の設計の実施例、及び対応する反応が、米国特許第7,297,324号に記載されている。この文献は、以下に全体が複写されるかのように、本明細書に組み込まれる。差動温度反応器は、実質的な温度依存性を示す、平衡が限られた反応に関し、断熱反応器に比べ、向上された化学変換を達成する。差動温度のマイクロチャンネルまたはメソチャンネル反応器には、熱交換用の流体が流れるか別の反応が発生する隣接するチャンネルを使用することなどにより、(吸熱反応に関して)熱を追加するか、(発熱反応に関して)熱を除去することが含まれる。好ましくは、熱交換の機能は、より大きい化学変換を促す反応チャンネルの長さにある温度の経路を達成する。

10

20

30

40

50

【0060】

本発明の態様は、太陽光受領器でも使用することができる。太陽光受領器では、太陽エネルギーが、伝熱流体内の顕熱または潜熱に変換される。他の実施例は、ヒートポンプまたは化学的分離法のための収着プロセスである。たとえば、太陽光ヒートポンプは、より低い温度からより高い温度に、吸収(液体の溶剤)または吸着(固体の溶剤)のヒートポンプサイクルを使用して熱を伝える。実施例は、上述の発明の触媒を、低い温度及び圧力で冷媒を吸着させ、太陽エネルギーを使用して高い温度及び圧力で脱着させる固体の吸着剤と交換することである。用途には、建物の暖房、換気、及び空調(HVAC)、ならびに冷房が含まれる。同様に、吸着剤を温度スイング吸着(TSA)プロセス、または、熱的に高められた圧力スイング吸着(PSA)プロセスにおける化学的分離法のために使用することができる。ある用途は、空気中、発電所の流出物、または他の潜在的なソースから二酸化炭素を取得することとなる。

【0061】

触媒化学反応は、非常によく知られており、適切な条件及び触媒は、非常によく知られており、本明細書で記載する必要はない。改変触媒として、またはサバティエ触媒(通常はNiもしくはRu/Al₂O₃)、アンモニア合成(通常はRu、もしくは酸化鉄、もしくはCo-Mo-N)、または逆水性ガスシフト反応(一般的な触媒は、鉄、クロム、及び任意選択的にはマグネシウムの酸化物を含んでいる)として触媒を識別することで十分である。

【0062】

いくつかの好ましい実施形態では、本発明は、メタンまたは他のアルカンまたは炭化水素の混合物を、水蒸気改質または乾燥改質によって水素に変換する。水蒸気改質プロセスは、炭化水素(または複数の炭化水素)及び水蒸気(H₂O)を必要とする。反応物の混合物には、COなどの他の構成要素、または、窒素もしくは他の不活性ガスなどの非反応性の希釈剤が含まれ得る。いくつかの好ましいプロセスでは、反応物の流れが、基本的に炭化水素及び水蒸気で構成されている。いくつかの好ましい実施形態では、反応物の流れ内の水蒸気対炭素比は、3対1から1対1であり、いくつかの実施形態では、1.5対1以下である。炭化水素には、アルカン、アルケン、アルコール、芳香族化合物、及びこれらの組合せが含まれる。炭化水素は、天然ガスとすることができる。好ましいアルカンは、メタン、エタン、プロパン、ブタン、及びイソオクタンなどのC₁からC₁₀のアルカンである。水蒸気改質触媒は、好ましくは、ルテニウム、ロジウム、イリジウム、ニッケル、パラジウム、白金、及びこれらの組合せの、触媒としてアクティブな材料の1つまたは複数を含んでいる。ロジウムが特に好ましい。いくつかの好ましい実施形態では、触媒(すべてのサポート材料を含む)は、0.5質量パーセントから10質量パーセントのRh、より好ましくは、1質量パーセントから3質量パーセントのRhを含んでいる。触媒は、触媒としてアクティブな材料に関し、アルミナ担体をも含んでいる場合がある。「アル

ミナ担体」には、酸素原子に付着したアルミニウム原子が含まれ、追加の要素が存在し得る。好ましくは、アルミナ担体は、熱水条件で触媒の安定性を向上させる安定化要素または複数の安定化要素を含んでいる。安定化要素の実施例は、Mg、Ba、La、及びY、ならびにこれらの組合せである。好ましくは、触媒としてアクティブな材料（Rhなど）は、アルミナ担体の表面上の小さい粒子の形態で存在する。水蒸気改質反応は、好ましくは、400より高い温度、より好ましくは500から1000、さらにより好ましくは650から900で実施される。反応は、大気圧以下から、非常に高い圧力まで、幅広い圧力で実施することができる。いくつかの実施形態では、プロセスは、10アトムから30アトムの圧力、より好ましくは12アトムから25アトムの圧力で実施される。H₂Oの分圧は、好ましくは少なくとも0.2アトムであり、いくつかの実施形態では、少なくとも2アトムであり、いくつかの実施形態では、5アトムから20アトムの範囲である。

10

【0063】

いくつかの好ましい構成では、触媒（水蒸気改質または他の化学反応に関する）には、下にある大きい孔の基板が含まれる。好ましい大きい孔の基板の実施例には、商業利用可能な金属のフォーム材、より好ましくは金属フェルトが含まれる。任意のコーティングを堆積させる前に、大きい孔の基板は、少なくとも5%、より好ましくは30%から99%、さらにより好ましくは70%から98%の多孔性を有している。いくつかの好ましい実施形態では、大きい孔の基板が、BETによって測定して、0.1μm以上、より好ましくは1μmから500μmの間の、体積測定による平均孔サイズを有している。多孔性基板の好ましい形態は、フォーム材またはフェルトであり、これらは好ましくは、熱的に安定である導電材料、好ましくはステンレス鋼またはFeCrAlY合金などの金属で形成されている。これら多孔性基板は、0.1cmから1cmの間など、薄くすることができる。フォーム材は、構造全体に孔が画定された、連続した壁を有する連続した構造である。代替的には、触媒は、パウダーまたはペレットなどの、任意の従来の形態を取る場合がある。

20

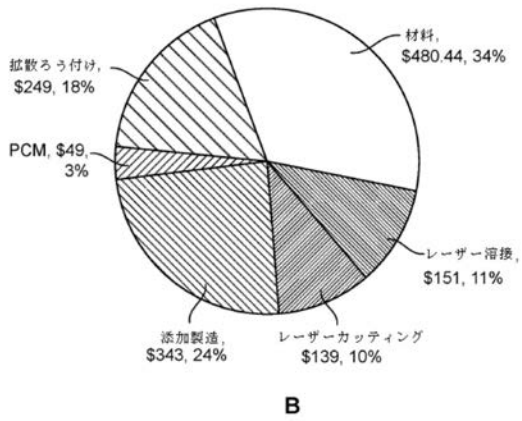
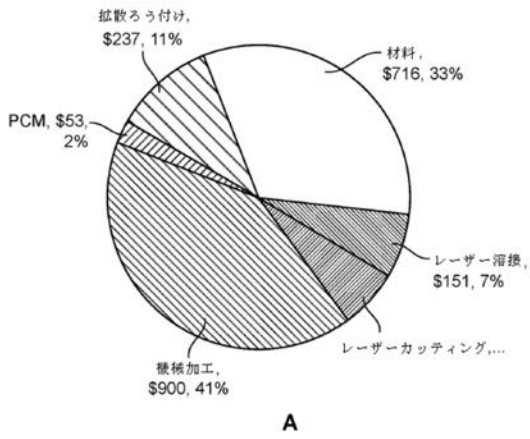
【0064】

大きい孔を有する触媒は、好ましくは、孔の容積が、多孔性材料の全体の体積の5%から98%、より好ましくは30%から95%である。好ましくは、材料の孔の容積の少なくとも20%（より好ましくは少なくとも50%）が、0.1ミクロンから300ミクロン、より好ましくは0.3ミクロンから200ミクロン、さらにより好ましくは1ミクロンから100ミクロンの範囲のサイズ（直径）の孔で構成されている。孔の容積及び孔のサイズの分布は、水銀ポロシメトリー（円筒状の孔の幾何学形状を想定する）及び窒素吸着によって測定した。既知であるように、水銀ポロシメトリーと窒素吸着とは、相補的な技術であり、水銀ポロシメトリーは大きい孔のサイズ（30nmより大）の測定に関してより正確であり、窒素吸着は、小型の孔（50nm未満）に関してより正確である。約0.1ミクロンから300ミクロンの範囲の孔サイズにより、ほとんど気相の触媒の条件下で、材料を通して分子が分子的に発散することを可能にする。触媒インサートは、好ましくは、1cm以下の高さであり、いくつかの実施形態では、高さ及び幅が0.1cmから1.0cmである。いくつかの実施形態では、多孔性インサートは、マイクロチャンネルの断面積の少なくとも60%、いくつかの実施形態では、少なくとも90%を占める。代替的な好ましい実施形態では、触媒は、反応チャンネルまたは複数のチャンネル内の材料のコーティング（ウォッシュコーティング）である。

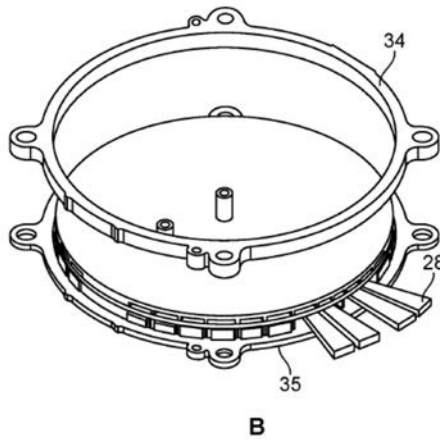
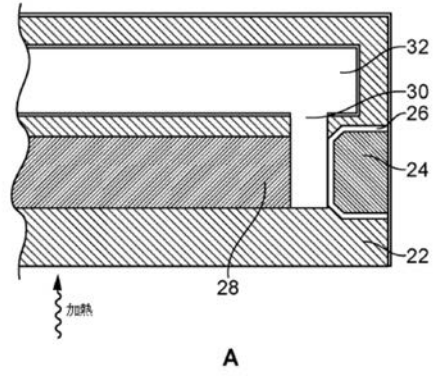
30

40

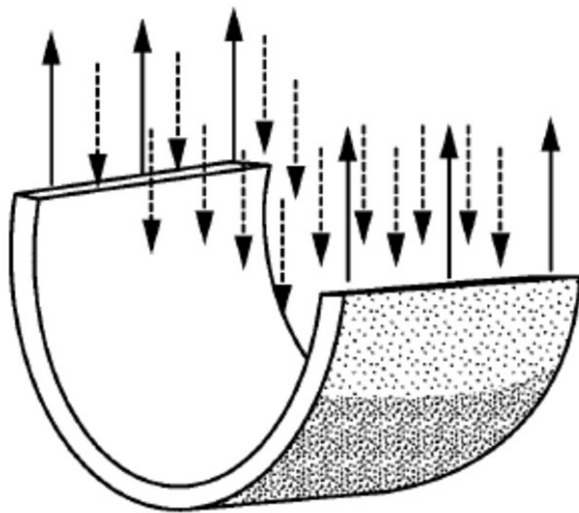
【 図 1 】



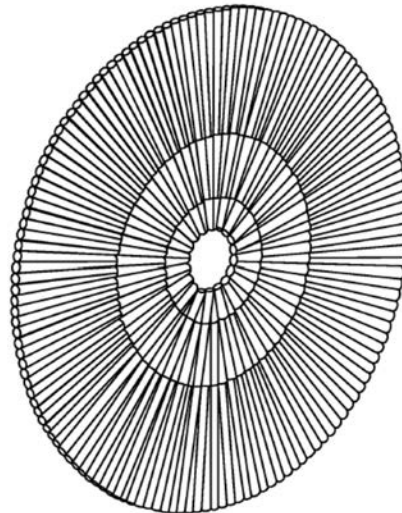
【 図 2 】



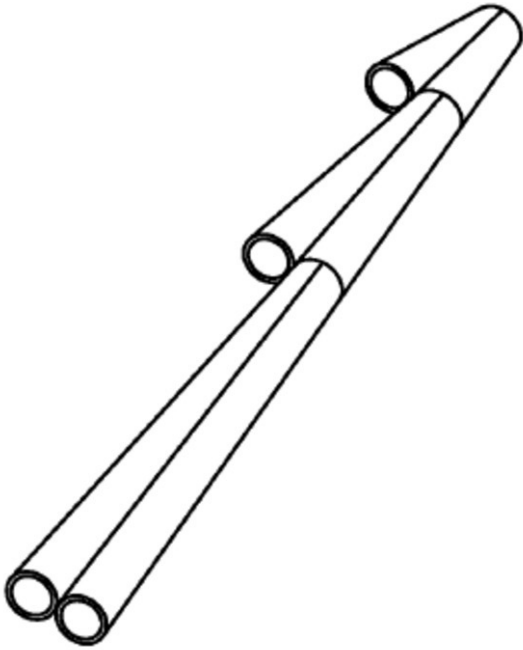
【 図 3 】



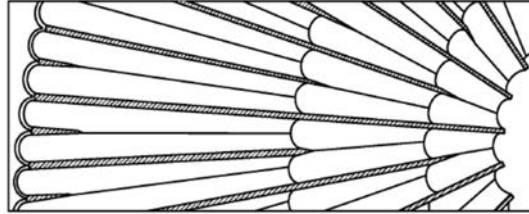
【 図 4 】



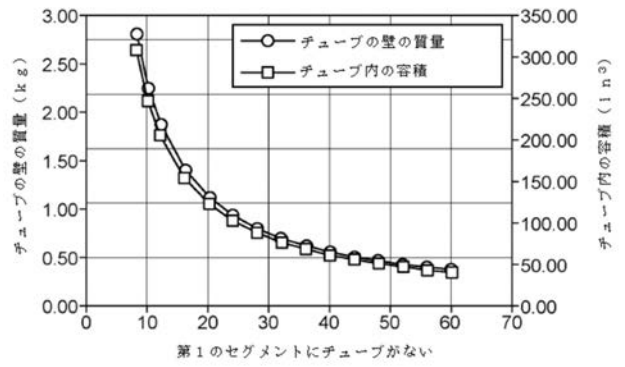
【 図 5 】



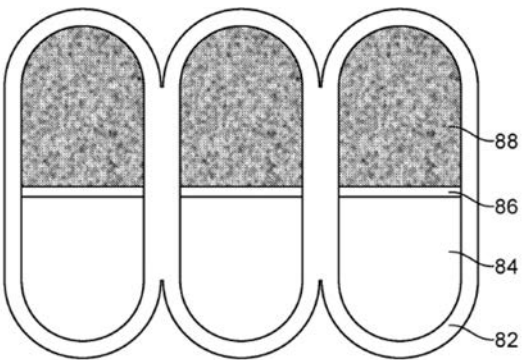
【 図 6 】



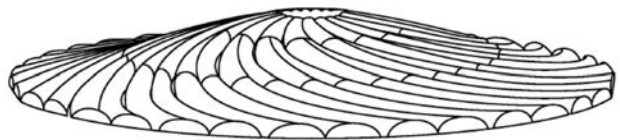
【 図 7 】



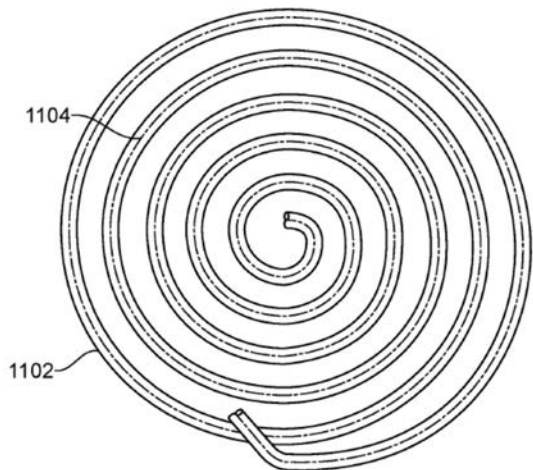
【 図 8 】



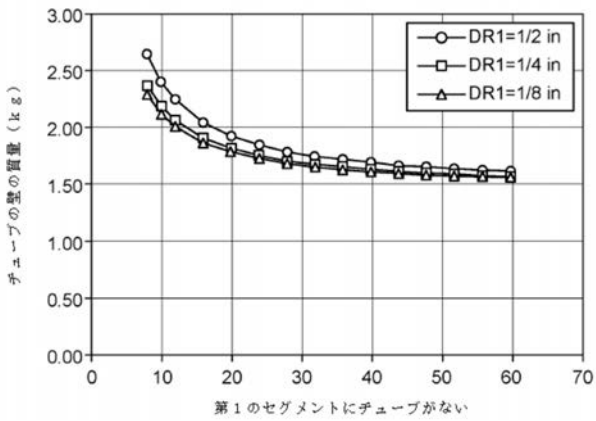
【 図 10 】



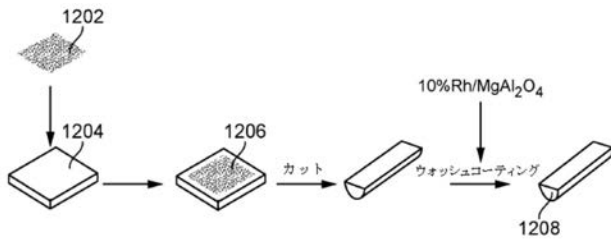
【 図 11 】



【 図 9 】



【 図 1 2 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/US2019/038584

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. B01J19/12 C01B3/48 C10K3/04 F24S20/20 ADD.		
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) B01J		
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) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 105 776 133 B (INST ENG THERMOPHYSICS CAS) 17 November 2017 (2017-11-17)	1-3,5
Y	figure 1	4,6
X	----- QUENTIN BELLOUARD ET AL: "A high temperature drop-tube and packed-bed solar reactor for continuous biomass gasification", AIP CONFERENCE PROCEEDINGS, vol. 1850, 27 June 2017 (2017-06-27), page 100001, XP055627043, NEW YORK, US ISSN: 0094-243X, DOI: 10.1063/1.4984458 figure 1 ----- -/--	1
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "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) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
4 October 2019		16/12/2019
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Pasanisi, Andrea

3

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/US2019/038584**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.

2. As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.

3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

1-6

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2019/038584

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>ELYSIA J. SHEU ET AL: "A review of solar methane reforming systems", INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY., vol. 40, no. 38, 1 October 2015 (2015-10-01), pages 12929-12955, XP055627046, GB ISSN: 0360-3199, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.08.005 figures 13, 14</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1
A	<p>CN 107 930 552 A (UNIV WUHAN) 20 April 2018 (2018-04-20) the whole document</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-6
A	<p>WO 2013/021509 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]; TOYOTA JIDOSHOKKI KK [JP]) 14 February 2013 (2013-02-14) the whole document</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-6
Y	<p>WO 2014/018878 A2 (BATTELLE MEMORIAL INSTITUTE [US]) 30 January 2014 (2014-01-30) figure 6</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	4,6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2019/038584

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
CN 105776133	B	17-11-2017	NONE

CN 107930552	A	20-04-2018	NONE

WO 2013021509	A1	14-02-2013	CN 103732531 A 16-04-2014
			DE 112011105524 T5 08-05-2014
			JP 5737407 B2 17-06-2015
			JP WO2013021509 A1 05-03-2015
			WO 2013021509 A1 14-02-2013

WO 2014018878	A2	30-01-2014	AU 2013295581 A1 05-02-2015
			AU 2017213532 A1 21-09-2017
			AU 2019204168 A1 04-07-2019
			CA 2879159 A1 30-01-2014
			CN 104603402 A 06-05-2015
			CN 106984252 A 28-07-2017
			US 2013025192 A1 31-01-2013
			US 2018339283 A1 29-11-2018
			WO 2014018878 A2 30-01-2014

International Application No. PCT/ US2019/ 038584

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-6

The technical features of the invention 1 are: A solar-powered apparatus, comprising a solar concentrator having a concave shape and a dome-shaped chemical processor is adapted to conduct a unit operation is disposed in relation to the solar collector so that the convex face of the dome-shaped chemical processor faces the concave face of the solar concentrator; and wherein the convex face of the chemical processor comprises a tube or tubes for passage of a fluid to or from a central area of the dome to the peripheral area of the dome (Claim 1).

2. claims: 7, 10-22

The technical features of the invention 2 are: a chemical processor comprising a channel or a plurality of channels having a first portion providing radial fluid flow from a source manifold to a perimeter of the device and a second portion providing radial fluid flow from the perimeter to a receiving manifold, wherein the source manifold and the receiving manifold are located near a central region of the device, and wherein the device is configured for a unit process; and wherein the first portion and the second portion in each channel are separated by a non-porous, thermally conductive divider, wherein the first portion comprises a catalyst and wherein the perimeter of the device comprises an opening in the divider near the perimeter of the device so that flow from the first portion can pass into the second portion (claim 7).

A chemical processor having a circular shape comprising a tube or a plurality of tubes providing radial fluid flow from a source inlet or source manifold near a central region of the processor to a perimeter of the processor, wherein the tube or first plurality of tubes is exposed on a surface of the device so that the surface is not smooth; wherein the tube or plurality of tubes have a cross-section that is circular, oval, or oblate circular, and wherein the processor is configured for a unit process (claim 10).

3. claims: 8, 9, 23-29

The technical features of the invention 3 are: a microchannel device comprising a first plurality of microchannels providing radial fluid flow from a source manifold to a perimeter of the device and a second plurality of channels providing radial fluid flow from the perimeter to a receiving manifold, wherein the source manifold and the receiving manifold are located near a central region of the device, and wherein the device is configured for a unit

International Application No. PCT/ US2019/ 038584

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

process; and further comprising a catalyst insert or plurality of catalyst inserts disposed around the perimeter of the device where the direction of flow in the channels switches from toward the perimeter to away from the perimeter, and comprising a ring disposed around the periphery of the device that encloses the catalyst insert or plurality of catalyst inserts and a flow path where the direction of flow in the channels switches from toward the perimeter to away from the perimeter (claim 8).

A method of fabricating a microchannel or mesochannel device comprising the steps of forming layer-by-layer a first portion of a channel via an additive manufacturing process; embedding a porous insert into the first portion of the channel; covering the porous insert with a protective layer; and forming layer-by-layer a second portion of the channel over the first portion (claim 23).

フロントページの続き

(81) 指定国・地域 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT

(72) 発明者 ワード・イー・テグロテンフィス
アメリカ合衆国 9 9 3 5 2 ワシントン州リッチランド、エムエスアイエヌ・ケイ 4 - 1 8、ピーオー
ー・ボックス 9 9 9、パテル・ブルーバード 9 0 2、パシフィック・ノースウエスト・ナショナル
・ラボラトリーズ

(72) 発明者 クリストファー・ケイ・クレイトン
アメリカ合衆国 9 9 3 5 2 ワシントン州リッチランド、エムエスアイエヌ・ケイ 4 - 1 8、ピーオー
ー・ボックス 9 9 9、パテル・ブルーバード 9 0 2、パシフィック・ノースウエスト・ナショナル
・ラボラトリーズ

(72) 発明者 ポール・エイチ・ハンブル
アメリカ合衆国 9 9 3 5 2 ワシントン州リッチランド、エムエスアイエヌ・ケイ 4 - 1 8、ピーオー
ー・ボックス 9 9 9、パテル・ブルーバード 9 0 2、パシフィック・ノースウエスト・ナショナル
・ラボラトリーズ

(72) 発明者 ティモシー・ジー・フェルトマン
アメリカ合衆国 9 9 3 5 2 ワシントン州リッチランド、エムエスアイエヌ・ケイ 4 - 1 8、ピーオー
ー・ボックス 9 9 9、パテル・ブルーバード 9 0 2、パシフィック・ノースウエスト・ナショナル
・ラボラトリーズ

(72) 発明者 ロバート・エス・ウェジェン
アメリカ合衆国 9 9 3 5 4 ワシントン州リッチランド、ハリス・アベニュー 2 6 0 3、シーノオー
・スターズ・テクノロジー・コーポレーション

(72) 発明者 リチャード・エフ・チョン
アメリカ合衆国 9 9 3 5 2 ワシントン州リッチランド、エムエスアイエヌ・ケイ 4 - 1 8、ピーオー
ー・ボックス 9 9 9、パテル・ブルーバード 9 0 2、パシフィック・ノースウエスト・ナショナル
・ラボラトリーズ

F ターム(参考) 4G075 AA03 AA13 AA39 AA56 BA01 BA05 BB02 BB04 BB05 CA02
CA03 CA32 CA36 CA54 DA02 DA18 EB25 EB32 EB50 EC07
FA05 FA12 FA14 FB02 FB12 FC11
4K018 AA09 BA20 CA44 EA51 EA60 KA01