

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号

特表2024-520243

(P2024-520243A)

(43)公表日 令和6年5月24日(2024.5.24)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード(参考)
<b>B 0 1 D 39/16 (2006.01)</b>	B 0 1 D 39/16	4 D 0 1 9
	B 0 1 D 39/16	E

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全50頁)

(21)出願番号	特願2023-535543(P2023-535543)	(71)出願人	591163214 ドナルドソン カンパニー、インコーポ レイテッド
(86)(22)出願日	令和4年5月26日(2022.5.26)		
(85)翻訳文提出日	令和5年6月23日(2023.6.23)		
(86)国際出願番号	PCT/US2022/031119		アメリカ合衆国 ミネソタ 5 5 4 3 1 , ブルーミントン, ウエスト ナインティ フォース ストリート 1 4 0 0
(87)国際公開番号	WO2022/251488	(74)代理人	110003281 弁理士法人大塚国際特許事務所
(87)国際公開日	令和4年12月1日(2022.12.1)		
(31)優先権主張番号	63/193,807	(72)発明者	ヨダー, ミケイラ エー. アメリカ合衆国 ミネソタ 5 5 4 3 1 , ブルーミントン, ウエスト ナインティ フォース ストリート 1 4 0 0
(32)優先日	令和3年5月27日(2021.5.27)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(72)発明者	コンクリン, クリストファー ピー. アメリカ合衆国 ミネソタ 5 5 4 3 1 , ブルーミントン, ウエスト ナインティ
(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,A T,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR ,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC, 最終頁に続く		最終頁に続く

(54)【発明の名称】 多孔質材料表面上にリエントラント形状を有する構造

(57)【要約】

フィルタ材料は、多孔質材料の層と、層の表面に配置された複数の構造とを有し、各構造はリエントラント形状を有する。複数の構造は、複数の秩序のある構造であってもよい。フィルタ材料は、多孔質材料の層と、層の表面に配置された複数のリエントラント構造とを含むことができ、リエントラント構造の各々はステム及びキャップを含み、隣接する構造のキャップは互いに取り付けられて複数の細孔を形成し、各細孔は隣接するリエントラント構造の間に配置される。

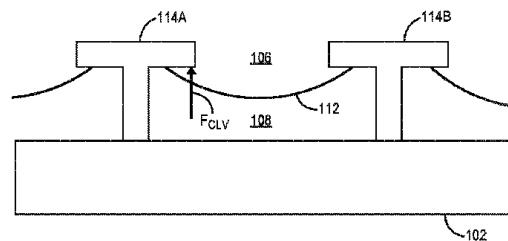


FIG. 1B

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

フィルタ材料であって、  
多孔質材料の層と、  
前記層の表面上に配置された複数の構造であって、前記構造の各々はリエントラント形状を含む、複数の構造と、  
を備える、フィルタ材料。

**【請求項 2】**

前記複数の構造は、複数の秩序のある構造である、請求項 1 に記載のフィルタ材料。

**【請求項 3】**

前記複数の構造は離散構造を含む、請求項 1 又は 2 に記載のフィルタ材料。

**【請求項 4】**

前記複数の構造は、連続的なりエントラント構造を形成する、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のフィルタ材料。

**【請求項 5】**

前記複数の構造の各々は、ステムと、前記ステム上に配置されたキャップとを含み、任意選択で、隣接する構造の前記キャップが互いに取り付けられ、任意選択で、隣接する構造の前記ステムが互いに付けられる、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載のフィルタ材料。

**【請求項 6】**

前記複数の構造の各々は、 $0.5 \sim 100 \mu\text{m}$  の範囲のステム半径、 $0 \sim 65 \mu\text{m}$  の範囲のステム高さ、 $0 \sim 200 \mu\text{m}$  の範囲の内側半径、 $0 \sim 100 \mu\text{m}$  の範囲の外側半径、 $-10 \sim 90$  度の範囲のフードゥー角、 $0 \sim 10 \mu\text{m}$  の範囲のキャップ高さ、 $1 \mu\text{m} \sim 1 \text{mm}$  の範囲の縁部間隔、及び  $45 \sim 90$  度の範囲の格子角のうちの一つ以上を含む、請求項 5 に記載のフィルタ材料。

**【請求項 7】**

前記複数の構造は、前記多孔質材料の層に結合された第 2 の層上に形成され、任意選択で、前記第 2 の層及び前記多孔質材料の層は同じ材料を含む、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載のフィルタ材料。

**【請求項 8】**

前記多孔質材料は膜であり、任意選択で、前記膜は、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリエステル、ポリエーテルスルホン、ポリスルホン、延伸ポリテトラフルオロエチレン、ポリフッ化ビニリデン、ポリアミド、ポリアクリロニトリル、ポリカーボネート、酢酸セルロース、及びナイロンのうちの一つ以上を含む、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載のフィルタ材料。

**【請求項 9】**

前記層の対向する表面に配置された第 2 の複数の構造を更に含む、請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載のフィルタ材料。

**【請求項 10】**

前記複数の構造の各々は、第 1 の寸法及び前記第 1 の寸法に対してある角度で配置された第 2 の寸法を有するアレイに配置され、前記アレイは、前記第 1 の寸法及び前記第 2 の寸法に格子ピッチを有し、任意選択で、前記アレイの前記第 1 の寸法における構造間の前記格子ピッチは、前記アレイの前記第 2 の寸法における構造間の格子ピッチとは異なる、請求項 2 ~ 9 のいずれか一項に記載のフィルタ材料。

**【請求項 11】**

フィルタ材料であって、  
多孔質材料の層と、  
前記層の表面上に配置された複数のリエントラント構造であって、前記リエントラント構造の各々はステム及びキャップを含み、隣接する構造の前記キャップは互いに取り付けられて複数の細孔を形成し、各細孔は隣接するリエントラント構造の間に配置されている

10

20

30

40

50

、複数のリエントラント構造と、  
を備える、フィルタ材料。

【請求項 1 2】

前記複数の構造は、前記多孔質材料とは異なる材料から形成される、請求項 1 1 に記載のフィルタ材料。

【請求項 1 3】

前記多孔質材料は膜であり、任意選択で、前記膜は、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリエステル、ポリエーテルスルホン、ポリスルホン、延伸ポリテトラフルオロエチレン、ポリフッ化ビニリデン、ポリアミド、ポリアクリロニトリル、ポリカーボネート、酢酸セルロース、及びナイロンのうちの 1 つ以上を含む、請求項 1 1 又は 1 2 に記載のフィルタ材料。

10

【請求項 1 4】

前記層の対向する表面に配置された第 2 の複数の構造を更に含む、請求項 1 1 ~ 1 3 のいずれか一項に記載のフィルタ材料。

【請求項 1 5】

前記複数の構造の各々は、第 1 の寸法と第 2 の寸法とを有するアレイに配置され、前記アレイの前記第 1 の寸法における構造間の第 1 の格子ピッチは、前記アレイの前記第 2 の寸法における構造間の第 2 の格子ピッチとは異なる、請求項 1 1 ~ 1 4 のいずれか一項に記載のフィルタ材料。

【請求項 1 6】

前記複数の構造は、第 1 の表面と前記第 1 の表面の反対側の第 2 の表面とを有する第 2 の層を画定する連続構造を形成し、前記第 2 の層は、前記複数の構造の構造間に形成された複数の細孔を含み、前記第 2 の表面は、前記細孔の間に配置された 1 つ以上の溝を含み、任意選択で、前記 1 つ以上の溝は連続形状を形成し、各連続形状は 1 つ以上の細孔を取り囲む、請求項 1 ~ 1 0 又は 1 1 ~ 1 5 のいずれか一項に記載のフィルタ材料。

20

【請求項 1 7】

請求項 1 ~ 1 6 のいずれか一項に記載のフィルタ材料を含むフィルタ要素。

【請求項 1 8】

疎液性材料であって、

第 1 の層であって、

第 1 の表面と、前記第 1 の表面の反対側の第 2 の表面とを有する格子と、

前記第 1 の表面から前記第 2 の表面まで延在する複数の細孔であって、各細孔は前記第 1 の表面に隣接するリエントラント構造を含み、前記第 1 の表面を疎液性にする、複数の細孔と、を含む、第 1 の層を備える、疎液性材料。

30

【請求項 1 9】

前記第 2 の表面に沿って配置された複数の排水構造を更に備え、任意選択で、前記複数の排水構造は、前記第 2 の表面から延在する突起を備え、任意選択で、前記複数の排水構造は、前記第 2 の表面に溝を備える、請求項 1 8 に記載の疎液性材料。

【請求項 2 0】

前記溝は連続形状を含み、各連続形状は 1 つ以上の細孔を取り囲む、請求項 1 9 に記載の疎液性材料。

40

【請求項 2 1】

前記第 1 の層の前記第 2 の表面に沿って配置された第 2 の層を更に備え、任意選択で、前記第 2 の層は濾過媒体を含む、請求項 1 8 ~ 2 0 のいずれか一項に記載の疎液性材料。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

関連出願

本出願は、2021年5月27日に提出された米国仮特許出願第 63 / 193 , 807 号の利益を主張し、その開示はその全体が参照により本明細書に組み込まれる。

50

## 【0002】

本開示は、一般に、材料の疎水性及び/又は疎油性を増加させるために多孔質材料の1つ以上の表面に配置されたリエントラント形状を有する複数の構造及びその形成方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0003】

いくつかの濾過用途では、液体による濾過媒体の濡れ及び汚染を防止することが望ましい場合がある。用途に応じて、液体は水性液体又は油性液体であってもよい。水性液体(例えば、疎水性)に対する撥水性は、濾過媒体をフッ素化ポリマーでコーティングすることによって達成され得る。しかしながら、フッ素化化学物質なしで撥水性を達成することは、環境上の理由から望ましい。更に、油性液体に対する撥油性(例えば、疎油性)を達成することが望ましい場合がある。

10

## 【発明の概要】

## 【課題を解決するための手段】

## 【0004】

本明細書に記載の実施形態は、フィルタ材料に関する。フィルタ材料は、多孔質材料の層と、層の表面に配置された複数の構造とを含む。構造はリエントラント形状を有する。他の実施形態は、このフィルタ材料を含むフィルタ要素に関する。

## 【0005】

更なる実施形態は、多孔質材料の層と、層の表面に配置された複数のフードゥー構造とを含むフィルタ材料に関する。フードゥー構造の各々は、ステム及びキャップを備え、隣接する構造のキャップは、複数の細孔を形成するように取り付けられ、各細孔は、隣接するフードゥー構造の間に配置される。他の実施形態は、このフィルタ材料を含むフィルタ要素に関する。

20

## 【0006】

上記の概要は、開示された各実施形態又は本開示の全ての実施態様を説明することを意図するものではない。以下の図面及び詳細な説明は、例示的な実施形態をより詳細に例示する。

## 【0007】

以下の説明は、以下の図を参照し、同じ参照番号を使用して複数の図の類似/同じ構成要素を識別することができる。しかしながら、所与の図の構成要素を指すための番号の使用は、同じ番号でラベル付けされた別の図の構成要素を限定することを意図するものではない。図面は必ずしも縮尺通りではない。

30

## 【図面の簡単な説明】

## 【0008】

【図1A】平坦面における液滴の垂直接触線力を示す模式図である。

【図1B】特定の実施形態による、リエントラント形状を有する複数の構造上の液滴の垂直接触線力を示す概略図である。

【図1C】特定の実施形態による接触線力を示す図である。

【図2A】特定の実施形態による、球体リエントラント形状の断面図である。

40

【図2B】特定の実施形態による、逆球状リエントラント形状の断面図である。

【図2C】特定の実施形態による、フードゥーリエントラント形状の断面図である。

【図3A】特定の実施形態による、一方の表面上にリエントラント層を有する多孔質材料の断面図である。

【図3B】特定の実施形態による、対向する表面上にリエントラント層を有する多孔質材料の断面図である。

【図4】特定の実施形態による、リエントラント形状を有する構造間の間隔の上面斜視図である。

【図5A】特定の実施形態による、様々な寸法を示すフードゥー形状を有する構造の断面図である。

50

【図 5 B】特定の実施形態による、様々な寸法を示す二重リエントラントフードゥー構造の半分の断面図である。

【図 5 C】特定の実施形態による、様々な寸法を示す単一のリエントラントフードゥー構造の半分の断面図である。

【図 5 D】特定の実施形態による、液滴に対する接触線力を示す一对のフードゥー構造の断面図である。

【図 5 E】特定の実施形態による、様々な寸法を示す連続フードゥー構造の断面斜視図である。

【図 6 A】特定の実施形態による、低いブレークスルー圧力を有するフードゥー構造形状の接触線力の概略図である。

【図 6 B】特定の実施形態による、高いブレークスルー圧力を有するフードゥー構造形状の接触線力の概略図である。

【図 7 A】特定の実施形態による、ブレークスルー圧力故障モードを示す一对の秩序のあるフードゥー構造の断面図である。

【図 7 B】特定の実施形態による、別のブレークスルー圧力故障モードを示す一对の秩序のあるフードゥー構造の断面図である。

【図 8】特定の実施形態による、9つのフードゥー形状の様々な寸法及び対応する計算されたブレークスルー圧力を示すチャートである。

【図 9】特定の実施形態による、様々なフードゥー寸法の関数としてブレークスルー圧力を示すグラフである。

【図 10】特定の実施形態による、モデル化されたブレークスルー圧力と比較した測定されたブレークスルー圧力を示すグラフである。

【図 11 A】特定の実施形態によるリエントラント構造の様々な図である。

【図 11 B】特定の実施形態によるリエントラント構造の様々な図である。

【図 11 C】特定の実施形態によるリエントラント構造の様々な図である。

【図 12 A】特定の実施形態による、リエントラント構造の斜視図である。

【図 12 B】図 12 A のリエントラント構造の断面底面図である。

【図 13 A】特定の実施形態による、リエントラント構造の斜視図である。

【図 13 B】図 13 A のリエントラント構造の側面図である。

【図 13 C】図 13 A のリエントラント構造の断面底面図である。

【図 14 A】特定の実施形態による、リエントラントフードゥー構造及び排水チャンネルを有する連続格子の断面側面図である。

【図 14 B】図 14 A の連続格子の底面斜視図である。

【図 14 C】図 14 A の連続格子の底面図である。

【図 15 A】特定の実施形態による、リエントラントフードゥー構造及び排水チャンネルを有する連続格子の底面斜視図である。

【図 15 B】図 15 A の連続格子の断面側面図である。

【図 16 A】特定の実施形態による、リエントラントフードゥー構造及び排水チャンネルを有する連続格子の底面斜視図である。

【図 16 B】図 16 A の連続格子の断面側面図である。

【図 17】特定の実施形態による、リエントラントフードゥー構造及び排水チャンネルを有する連続格子の概略底面図である。

【図 18】特定の実施形態による、リエントラントフードゥー構造及び排水チャンネルを有する連続格子の概略底面図である。

【図 19】特定の実施形態による、リエントラントフードゥー構造及び排水チャンネルを有する連続格子の概略底面図である。

【図 20】特定の実施形態による、リエントラントフードゥー構造及び排水チャンネルを有する連続格子の概略底面図である。

【図 21】特定の実施形態による、リエントラントフードゥー構造及び排水チャンネルを有する連続格子の概略底面図である。

10

20

30

40

50

【図 2 2】 特定の実施形態による、複数のゾーンを有するリエントラント層の概略上面図である。

【図 2 3】 特定の実施形態による、スルーフローチャンネル及びクロスフローチャンネルを形成する複数のゾーンを有するリエントラント層の概略上面図である。

【図 2 4 A】 実施例 5 の試験材料の単一の細孔の概略断面側面図である。

【図 2 4 B】 図 2 4 A の試験材料の単一の細孔の顕微鏡画像である。

【図 2 4 C】 図 2 4 A の試験材料の単一の細孔の顕微鏡画像である。

【図 2 5】 特定の実施形態による、実施例 6 で使用される試料試験装置の概略側面図である。

【図 2 6 A】 図 2 5 の試料試験装置で試験されている、リエントラントフードゥー構造を有する連続格子を有する試料の顕微鏡画像である。 10

【図 2 6 B】 図 2 5 の試料試験装置で試験されている、リエントラントフードゥー構造を有する連続格子を有する試料の顕微鏡画像である。

【図 2 6 C】 図 2 5 の試料試験装置で試験されている、リエントラントフードゥー構造を有する連続格子を有する試料の顕微鏡画像である。

【図 2 7 A】 図 2 5 の試料試験装置で試験されている、リエントラントフードゥー構造及び排水チャンネルを有する連続格子を有する試料の顕微鏡画像である。

【図 2 7 B】 図 2 5 の試料試験装置で試験されている、リエントラントフードゥー構造及び排水チャンネルを有する連続格子を有する試料の顕微鏡画像である。

【図 2 7 C】 図 2 5 の試料試験装置で試験されている、リエントラントフードゥー構造及び排水チャンネルを有する連続格子を有する試料の顕微鏡画像である。 20

【図 2 8】 特定の実施形態による、試料試験装置の概略側面図である。

【図 2 9 A】 図 2 8 の試料試験装置で試験されている、リエントラントフードゥー構造及び排水チャンネルを有する連続格子を有する試料の顕微鏡画像である。

【図 2 9 B】 図 2 8 の試料試験装置で試験されている、リエントラントフードゥー構造及び排水チャンネルを有する連続格子を有する試料の顕微鏡画像である。

【図 2 9 C】 図 2 8 の試料試験装置で試験されている、リエントラントフードゥー構造及び排水チャンネルを有する連続格子を有する試料の顕微鏡画像である。

【図 2 9 D】 図 2 8 の試料試験装置で試験されている、リエントラントフードゥー構造及び排水チャンネルを有する連続格子を有する試料の顕微鏡画像である。 30

【図 2 9 E】 図 2 8 の試料試験装置で試験されている、リエントラントフードゥー構造及び排水チャンネルを有する連続格子を有する試料の顕微鏡画像である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

定義

本明細書で提供される全ての見出しは、読者の便宜のためのものであり、特に明記しない限り、見出しに続くいかなるテキストの意味も限定するために使用されるべきではない。

【0010】

「1つの(a)」、「1つの(an)」、及び「その(the)」などの用語は、単一のエンティティのみを指すことを意図するものではなく、特定の例を説明に使用することができる一般的なクラスを含む。「a」、「an」、及び「the」という用語は、「少なくとも1つ」という用語と互換的に使用される。リストが続く語句「のうちの少なくとも1つ(at least one of)」及び「のうちの少なくとも1つを含む(comprises at least one of)」は、リスト内の項目のいずれか1つ、及びリスト内の2つ以上の項目の任意の組み合わせを指す。 40

【0011】

本明細書で使用される場合、「又は(or)」という用語は、一般に、内容が明らかにそうでないことを指示しない限り、「及び/又は(and/or)」を含むその通常の意味で使用される。(使用される場合)「及び/又は(and/or)」という用語は、列 50

挙された要素の1つ若しくは全て、又は列挙された要素の任意の2つ以上の組み合わせを意味する。更に、「例えば(e.g.)」は、ラテン語句 *exempli gratia* の略語として使用され、「例えば(for example)」を意味する。

【0012】

終点による数値範囲の使用は、その範囲内の全ての数(例えば、1~5は、1、1.5、2、2.75、3、3.80、4、及び5を含む)及びその範囲内の任意の範囲を含む。更に、別段の指示がない限り、本明細書及び特許請求の範囲における量を表す全ての数、及び方向/向き(例えば、垂直、水平、平行、垂直など)を表す全ての用語は、全ての場合において用語「約」によって修飾されていると理解されるべきである。したがって、反対のことが示されない限り、前述の明細書及び添付の特許請求の範囲に記載された数値パラメータは、本明細書に開示された教示を利用して当業者が得ようとする所望の特性に応じて変化し得る近似値である。「約」という用語は、当業者によって予想されるような測定値の通常の変動を含むために数値と組み合わせてここで使用され、「おおよそ」と同じ意味を有し、記載された値の±5%などの典型的な誤差範囲をカバーすると理解される。

10

【0013】

本開示では、説明を簡単にするために、近位、遠位、左、右、前方、後方、頂部、底部、側部、上部、下部、水平、垂直などの相対的な用語を使用することができる。しかしながら、そのような相対的な用語は、決して本発明の範囲を限定するものではない。左、右、前、後、上、下、横、上部、下部、水平、垂直などの用語は、特定の図で観察される視点からのものである。

20

【0014】

「最上部」、「底部」、「左」、「右」、「上部」、「下部」、及び他の方向又は向きなど、本明細書で言及される任意の方向は、明確さ及び簡潔さのために本明細書に記載されているが、実際のデバイス又はシステムを限定することを意図するものではない。本明細書に記載のデバイス及びシステムは、いくつかの方向及び向きで使用することができる。

【0015】

本明細書で使用される場合、「有する(have)」、「有する(having)」、「含む(include)」、「含む(including)」、「備える(comprise)」、「備える(comprising)」などは、オープンエンドの意味で使用され、一般に「限定されないが含む」を意味する。「から本質的になる(consisting essentially of)」、「からなる(consisting of)」などは、「含む(comprising)」などに包含されることが理解されよう。本明細書で使用される場合、組成物、製品、方法などに関する「から本質的になる」とは、組成物、製品、方法などの成分が、列挙された成分、及び組成物、製品、方法などの基本的且つ新規な特徴に実質的に影響を及ぼさない任意の他の成分に限定されることを意味する。

30

【0016】

「好ましい」及び「好ましくは」という用語は、特定の状況下で特定の利益をもたらし得る実施形態を指す。しかしながら、同じ又は他の状況下では、他の実施形態も好ましい場合がある。更に、1つ以上の好ましい実施形態の列挙は、他の実施形態が有用でないことを意味するものではなく、特許請求の範囲を含む本開示の範囲から他の実施形態を除外することを意図するものではない。

40

【0017】

本明細書で使用される「実質的に」という用語は、「有意に」と同じ意味を有し、少なくとも約90%、少なくとも約95%、又は少なくとも約98%後に続く用語を修飾すると理解することができる。本明細書で使用される「実質的にない」という用語は、「有意でない」と同じ意味を有し、「実質的に」の逆の意味を有する、すなわち、10%以下、5%以下、又は2%以下だけ後に続く用語を修飾すると理解することができる。

【0018】

50

本開示は、一般に、多孔質材料の1つ以上の表面に配置されたリエントラント形状を有する複数の構造に関する。そのような構造は、材料の液体疎水性（例えば、疎水性又は疎油性）を選択的に増加させるために利用することができる。本開示はまた、そのような材料及び構造を作製する方法に関する。

#### 【0019】

場合によっては、汚染に耐える能力又は液体による汚染をはじく能力を有する多孔質材料を提供することが望ましい場合がある。例えば、多孔質材料（通気媒体又は濾過媒体など）が液体（例えば、極性液体、例えば水性液体、又は非極性液体）をはじくことが望ましい場合がある。したがって、意図される用途に応じて、「汚染物質」は、水若しくは水性（水溶性）液体若しくは別の極性液体、又は油系若しくは有機溶媒系液体などの非極性液体であり得る。

10

#### 【0020】

一般に、多孔質材料は、非撥液（すなわち、親液性）から撥液（すなわち、疎水性）及び非常に撥液（すなわち、超疎水性）に及ぶ一連の撥液性を提供することができる。撥液性は、多孔質材料に対する液体の接触角を測定することにより求めることができる。接触角は、液体-蒸気界面が固体表面と交わる液滴を通して測定される角度である。疎液性（例えば、疎水性及び疎油性）材料は、 $90^\circ$ を超える接触角を有する材料として定義され、超疎水性材料は、 $150^\circ$ を超える接触角を有する。多孔質表面の撥液性は、表面化学（表面エネルギー）及び表面構造の両方によって決定される。本明細書に記載の実施形態は、材料の表面構造を修正することによって多孔質材料の撥水性を修正することに関する。

20

#### 【0021】

多孔質材料の表面を複数の特定の構造でパターンニングすることにより、材料の撥液性を高めることができる。例えば、複数の秩序のある構造を材料の表面に配置することによって、液状の多孔質材料などの湿潤材料を疎水性にすることができる。他の例では、疎水性多孔質材料は、材料の表面に複数の構造を配置することによって疎油性にすることができる。これは、コーティングの使用を低減又は回避することによって、特に環境に優しくない生物学的に難分解性の化学的コーティングなどのフッ素を含むコーティングの使用を回避することによって行うことができる。多孔質材料に所定のパターンを適用することにより、疎水性及び疎油性を改善することができるが、これらの撥液特性は、得られた表面がそれぞれリエントラント形状を有する複数の構造を含む場合に改善することができる。

30

#### 【0022】

リエントラント構造は、直線が構造の一部を通過して引かれると、その線が構造の少なくとも2つの界面を通過する任意の構造である。リエントラント性は、平面に対して定義されてもよい。すなわち、構造は、水平面（例えば、基材の平面）に対してリエントラントであり得、水平面（すなわち、垂直線）に垂直な線は、構造の少なくとも2つの界面を横切る。リエントラント構造は、リエントラント形状を有すると呼ばれることがある。構造はまた、多重リエントラントであってもよい。例えば、構造は、二重リエントラントであってもよい。二重リエントラント構造では、構造の一部を通過して引かれた第1の線（例えば、垂直線）は、構造の2つの界面を通過し、構造の少なくとも4つの界面を通過する構造の一部を通過して引かれた、第1の線に垂直な少なくとも1/2の線が存在する。

40

#### 【0023】

フードゥーは、リエントラント構造のサブカテゴリである。フードゥーは、一般に、ステムアンドキャップ構造を有し、キャップはステムよりも広い。フードゥーは、例えば、図2C及び図5A～図5Eに関して以下で更に論じられる。

#### 【0024】

リエントラント構造は、リエントラント構造を含む材料に液体が濡れると、液体（例えば、液滴）のメニスカスを反転させることができる。反転されたメニスカスは、液体が下にある表面を通して濡れるのを低減、最小化、又は防止することができる。同様に、二重リエントラント形状を有するリエントラント構造は、接触線が表面に沿って移動するとき液体界面の接触線が構造の張り出し部分上で垂直方向に移動する張り出し部分と共にリ

50

エントラント形状の上記の特性を有する。メニスカスの反転を図 1 A 及び図 1 B に示す。図 1 A において、液滴 106 は、基材 102 の実質的に平坦な表面上の気体環境 108 に配置されている。液滴は基材 102 の表面に付着し、液滴 106 のメニスカス 104 は、接触線力  $F_{CL}$  の垂直成分  $F_{CLV}$  が基材 102 に向かって、又は基材 102 内に向けられるように、基材の表面から外方に湾曲する。液体は、基材 102 上で接触角  $\theta$  を有する。基材 102 が多孔質材料である場合、液滴 106 は、液滴 106 によって覆われた任意の細孔に濡れ、場合によっては閉塞し、詰まらせる可能性がある。図 1 B では、リエントラント形状を有する複数の構造 114 A、114 B が基材 102 の表面上に配置されている。ここで、構造 114 A、114 B には、液滴 106 が付着しており、メニスカス 112 は、メニスカス 104 と比較して反転している。反転は、構造 114 A、114 B の間の液滴 106 と基材 102 の表面との間にガスのポケット 108 を残す。これは、基材 102 の多孔性を維持するために、基材 102 が多孔質材料である場合に特に望ましい場合がある。矢印 116 によって示される接触線力の垂直成分もまた、基材 102 から離れるように向けられるように反転される。接触線力  $F_{CL}$  の垂直成分  $F_{CLV}$  は、構造 114 A、114 B に向かって、又は構造 114 A、114 B 内に向けられる。

10

【0025】

接触線力  $F_{CL}$  の垂直成分  $F_{CLV}$  は、式 1 によって記述される：

【数 1】

$$F_{CLV} = \gamma_{LG} l \sin(\theta_{\text{平衡}} - a) \quad \text{式 1}$$

20

ここで、 $\gamma_{LG}$  は液体と気体との間の表面張力であり、 $l$  は接触線の長さであり、 $\theta_{\text{平衡}}$  は平坦な非多孔質表面のヤングの式 ( $\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cos \theta_{\text{平衡}}$ 、ここで  $S =$  固体、 $L =$  液体、 $G =$  気体) によって記述される平衡時の接触角であり、 $a$  は固体境界が水平面となす角度であり、上線は、正弦関数が接触線の全ての点にわたって平均化されることを表す。接触線は、液体 (例えば、液滴)、固体表面 (例えば、リエントラント構造の表面)、及び周囲環境 (例えば、空気) の界面における連続線である。液体に影響を及ぼす力が平衡状態にあるとき、接触線は一組のピンニング点で表面にピンニングされる。平衡時に、接触線は、液滴の周囲に沿ってピンニング点を接続する連続線と考えることができる。接触線力  $F_{CL}$  及び液滴 106 の反転されたメニスカスは、図 1 C に更に示されており、固体表面 114 上のピンニング位置における接線ベクトル  $v_T$  も示し、水平面 (水平ベクトル  $v_H$  に平行) に対する固体境界の角度  $a$  を示す。

30

【0026】

特定のリエントラント形状を使用して、液滴のメニスカスを反転させることができる。そのような形状は、以下で更に説明される。

【0027】

図 2 A ~ 図 2 C は、多孔質材料の表面に適用され得る様々なリエントラント構造の例を示す。リエントラント構造は、以下で更に説明するように、任意の適切な形状、サイズ、パターン、及び互いからの距離 (例えば、格子ピッチ) を有することができる。いくつかの実施形態では、リエントラント構造は、秩序のあるパターンで適用されてもよい。図 2 A は、パターンの構造が多孔質材料基材 202 の表面上に配置された規則的に離間した球 204 である球形状の断面を示す。図 2 B は、構造 208 が多孔質材料基材 202 の表面上の隣接する構造 208 の間に球状空隙 206 を形成する逆球形状の断面を示す。図 2 A 及び図 2 B の構造は球体 (例えば、単一の長さの半径を有する構造又は空隙) として示されているが、構造はまた、様々な寸法 (例えば、異なる長さの少なくとも 2 つの半径を有する構造又は空隙) の 3 次元楕円又は球体から修正された他の形状を形成するように修正されてもよい。図 2 C は、多孔質材料基材 202 の表面上に配置された、フードウー形状を有するリエントラント構造 210 の断面を示す。これらの 3 つの幾何学的形状のそれぞれの曲面及び張り出し構成は、液体のメニスカスを反転させることを可能にする。反転

40

50

されたメニスカスは、液体が基材 202 の下にある表面を通して濡れるのを低減、最小化、又は防止することができる。

【0028】

単純な力平衡方程式を使用して、液体がいつ、及びなぜ反発するか、又はいつ液体がリエントラント構造を通して濡れるかを説明することができる。接触線力 ( $F_{CLV}$ ) の垂直成分が、リエントラント形状 ( $F_{IN}$ ) の細孔内への液滴 (例えば、重力を含む外部から加えられる圧力) に対する外力の垂直成分よりも大きい限り、液滴は反発される。リエントラント形状の細孔内への液滴上の外部垂直力 ( $F_{IN}$ ) が構造外を指し示す接触線の垂直成分に打ち勝つと、液体は構造を通して濡れる。これは、式 2 及び 3 として表すことができる：

$$F_{CLV} < F_{IN} \quad \text{濡れ} \quad \text{式 2}$$

$$F_{CLV} > F_{IN} \quad \text{撥液性 (濡れなし)} \quad \text{式 3}$$

【0029】

一実施形態によれば、リエントラント構造は、多孔質材料の 1 つ以上の表面に適用される。多孔質基材上に配置されたリエントラント構造を論じる場合、2 つの異なるタイプの細孔を区別することができる。すなわち、リエントラント構造によって又はリエントラント構造の間に形成される細孔、及び多孔質基材自体の固有の細孔である。本開示において、細孔の任意の議論は、特に明記しない限り、リエントラント構造によって又はリエントラント構造間に形成される細孔を指す。

【0030】

多孔質材料の適用に応じて、図 3 A のように層の第 1 の側面に、又は図 3 B のように 2 つ以上の側面に、複数のリエントラント構造を適用することができる。特定の用途では、図 3 B に示すように、第 1 の複数のリエントラント構造が第 1 の側面に配置され、第 2 の複数のリエントラント構造が多孔質材料の同じ層の第 2 の対向する側面に配置される。図 3 A 及び図 3 B は、構造化された又はリエントラント性の層 304、304A、304B が下にある多孔質材料層 302 と結合されている複合材料又は多層材料を示す。リエントラント層を下にある多孔質材料層に設けることにより、下にある多孔質材料の透過性を失うことなくリエントラント構造を組み込むことができ、透過性並びに液体 (例えば、水) 侵入圧力及び粒子効率に関する多孔質材料の元の仕様を特定の用途のために実質的に維持することができる。

【0031】

図 3 A において、多孔質材料の第 1 の層 302 が提供される。1 つ以上のリエントラント形状を有する複数のリエントラント構造を含む材料の第 2 の層 304 は、二重層複合材料を形成するために第 1 の層 302 上に配置され、及び / 又はそれに結合される。リエントラント構造は、撥液に関して本明細書で論じられる利点を提供する。リエントラント構造は、層を結合して複合材料を形成する前に、又は第 1 の層 302 と第 2 の層 304 とが互いに貼り合わされた後に、第 2 の層 304 上に形成されてもよい。第 1 の層 302 は、所望の用途 (例えば、通気又は濾過) に必要な空気流及び / 又は液体 (例えば、水) の流入圧力仕様を満たすように設計することができ、変更せずにそのまま使用することができる多孔質材料である。第 2 のリエントラント層 304 は、複合材料の濡れ性を低減し、接触角ヒステリシス (すなわち、放出) を低減又は最小化するために、所望の用途における 1 つ以上の予想される汚染物質用に設計される。材料の第 2 のリエントラント層 304 がなければ、多孔質材料は汚染物質を放出することができず、液体が基材の細孔を詰まらせ、空気流及び通気能力を低下させる可能性がある。第 2 のリエントラント層 304 はまた、第 1 の層 302 と同じ材料、又は異なる種類の多孔質材料のいずれかの多孔質材料であってもよい。特定の実施形態では、第 2 のリエントラント材料は、ポリマー繊維、金属メッシュ、膨張したポリテトラフルオロエチレン、レーザエッチングされた材料、コロイド若しくは他の無機 / 硬質粒子、又は別のポリマー材料のうち少なくとも 1 つを含み得る。

【0032】

。

複合材料は、2つの材料層を一緒に積層することによって形成することができ、又は任意の様々な方法で組み合わせることができる。複合材料は二重層材料として説明されているが、多孔質材料は、多孔質材料の1つ以上の表面上に直接、又は多孔質材料の表面に結合された1つ以上の材料層上のいずれかで、対向する表面上にリエントラント構造を支持し得る。これらの構造化表面を形成するための技術を以下に説明する。例えば、リエントラント構造は、構造の底部と第1の層302の上面との間に第2の層304の残留厚さを含むように、又は含まないように形成されてもよい。

#### 【0033】

複合材料はまた、材料の任意の様々な組み合わせを含むことができる。例えば、特定の実施形態では、リエントラント層は、多孔質材料と同じ材料、又は多孔質材料とは異なる材料であってもよい。2つのリエントラント層が存在する場合、リエントラント層は同じ材料であっても異なる材料であってもよく、一方、両方、又はどちらも多孔質材料層と同じ材料であってもなくてもよい。例えば、多孔質材料層は、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリエステル、ポリエーテルスルホン、ポリスルホン、延伸ポリテトラフルオロエチレン、ポリフッ化ビニリデン、ポリアミド、ポリアクリロニトリル、ポリカーボネート、酢酸セルロース及びナイロンのうちの少なくとも1つを含んでもよい。リエントラント層304は、固体（すなわち、非多孔質）材料であってもよい。リエントラント層304は、金属、熱可塑性ポリマー（例えば、アクリル、ポリテトラフルオロエチレン、ポリエーテルスルホン、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリエチレンテレフタレート、ポリカーボネート、ポリアミド、ポリメチルメタクリレートなど）、熱硬化性ポリマー（例えば、エポキシ、アクリレート、ウレタン、チオールなど）、セラミック、又はそれらの組み合わせを含むことができる。2つ以上のリエントラント層が存在する場合、2つ以上の層の材料は独立して選択されてもよい。リエントラント層の材料は、所定量の可撓性を提供するように選択されてもよい。リエントラント層の材料は、層の疎油性を高めるコーティング、例えばシリコン系、パリレン系、アクリル系、ワックス系、又はフッ素化学コーティングを含んでもよい。いくつかの実施形態では、材料はフッ素化学コーティングを含まない。

#### 【0034】

特定の実施形態では、リエントラント材料層304の材料は、多孔質材料を含むことができる。適切な多孔質材料の一例は、膨張したポリテトラフルオロエチレンである。更なる実施形態では、層は、膨張したポリテトラフルオロエチレンの非構造化層と結合されてもよい。より高い透過性を提供するために整列したノードを有する開放構造を有する特定の材料は、リエントラント層304として構造化することができる。そのような開放構造材料の例は、2021年4月2日に米国仮特許出願第63/170,104号明細書として出願された、「Patterned Porous Material Surfaces」という名称の同時係属出願に記載されている。リエントラント材料層を調製するために使用される材料は、圧縮可能であるように設計されてもよい。好ましくは、構造を適用又は形成する前に非常に開いた初期細孔構造を必要とすることを回避するために、材料は細孔構造を崩壊させるほど圧縮性ではない。一般に、高い空気流及び良好な圧縮性を有する材料は、層304として構成することができる。特定の実施形態では、多くの節及びフィブリルを有する材料を使用して節を圧縮して層304の構造を作成し、フィブリル/細孔の圧縮を回避することによって透過性の損失を回避することができる。代替的な材料は、リエントラント構造を生成するためのレーザエッチングされた媒体、リエントラント構造を生成するための単離されたポリエステル又は他のポリマー、積層不織布材料、アパーチャフィルム、及び整列した電界紡糸繊維を含むことができる。汚染物質（例えば、 $< 90^\circ$ ）の濡れに応じて、リエントラント層304は、本明細書で説明するように様々な形状及び寸法のリエントラント構造を含むことができる。層304の構造の向きは、本明細書に記載の予想される液体汚染物質に対する撥液性を提供するように設計されてもよい。リエントラント及び基材材料並びに予想される汚染物質の表面張力は、設計上の考慮事項に寄与し得る。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 5 】

リエントラント構造の層に対する1つの設計上の考慮事項は、リエントラント構造間の格子ピッチ（中心間隔）である。特定の実施形態では、リエントラント構造は、複数の秩序のある構造として配置される。本明細書で使用される場合、「秩序のある」とは、隣接するリエントラント構造間に規則的な、所定の、少なくとも部分的に均一な格子ピッチを有する複数のリエントラント構造を指す。そのため、秩序のある構造は多孔質材料の表面にランダムに配置されない。しかしながら、所定の格子ピッチは、構造間の異なる方向又は表面の異なる領域において異なり得る。例えば、構造は、平面に沿ったx方向の第1の格子ピッチと、平面に沿ったy方向の第2の異なる格子ピッチとを有することができる。更なる実施形態では、構造が以下で更に説明する連続的なリエントラント構造を形成する場合など、構造は必ずしも秩序のある構造として配置されなくてもよい。

10

## 【 0 0 3 6 】

特定の実施形態では、複数の秩序のある構造が材料表面上にパターンを形成する。パターンは、一貫した格子ピッチを有するリエントラント構造のアレイであってもよいが、パターンはまた、異なる形状のリエントラント構造、複数の形状、変化する格子ピッチ、及び/又は行及び/又は列における等しくない数の構造を含むことができる。代替的な実施形態では、パターンは、リエントラント構造の複雑な組み合わせを含む複雑な形状をとることができる。パターン形状は規則的であっても不規則的であってもよい。

## 【 0 0 3 7 】

様々な実施形態による、複数の秩序のあるリエントラント構造の格子ピッチを図4に示す。図4は、4つのリエントラント構造（例えば、フードゥー構造）402、404、406、408のサブセットの一部の上面図を示す。リエントラント構造402、404、406、408の各々は、構造402、404、406、408の間の領域410を画定するように互いに隣接して配置される。液滴106は、リエントラント構造402、404、406、408によって支持又は反発されるものとして示されている。格子ピッチは、2つの隣接するリエントラント構造（すなわち、中心間の間隔）の中心間の距離である。構造402、404、406、408の格子ピッチは、構造408と構造406との間の第1の格子長 $L_1$ （例えば、x方向に）と、構造408と構造402との間の第2の格子長 $L_2$ （例えば、y方向に）とによって規定される。上述したように、第1及び第2の格子長は、実質的に同じであってもよく、又は異なってもよい。格子長はまた、格子角、格子長 $L_1$ と $L_2$ との間の角度によって示される様々な角度で互いに対して配向されてもよい。 $L_1$ 、 $L_2$ 、によって形成される平行四辺形は、単位セルと呼ばれる。異なる測定寸法は縁部間隔であり、これは2つの隣接するリエントラント構造（すなわち、縁部間隔）の最も外側の縁部間の距離Dである。

20

30

## 【 0 0 3 8 】

秩序のある構造の格子ピッチは、秩序のある構造の反発性を制御する1つのパラメータである。特定のリエントラント構造の反発性を維持するための最大格子ピッチは、式4を使用して決定することができる：

## 【 数 2 】

$$P_{濡れ} = \frac{F_{CLV}}{A} \quad \text{式 4}$$

40

ここで、 $P_{濡れ}$ は、複数の構造への湿潤圧力（本明細書では「ブレークスルー圧力」とも呼ばれる）であり、 $F_{CLV}$ は、接触線力の垂直成分（上記の式1を用いて計算される）であり、 $A$ は、複数の構造間のメニスカスの投影表面積であり、これは式5から計算することができる：

$$A = L_1 L_2 \sin \theta - A_{濡れなし} \quad \text{式 5}$$

ここで、 $A_{濡れなし}$ は、メニスカスの投影表面積によって覆われていない単位セルの面積である。各構造上の接触線が同一で円形である場合、例えば、 $A_{濡れなし}$ は、 $A_{濡れなし}$

50

=  $l^2 / 4$  による接触線の長さ  $l$  に関する。この式によって提供される格子ピッチは、所望の反発性を達成するための最大間隔である。しかしながら、パターン内の 2 つ以上の構造は、計算値よりも小さい格子ピッチを有してもよい。

【 0 0 3 9 】

ブレイクスルー圧力は、液滴がリエントラント構造を介して下層の多孔質材料まで浸透する液滴への圧力である。これは、リエントラント構造の縁部の上に配置された図 4 に示す接触線が、リエントラント構造に沿って下層の多孔質材料に移動するか、又はそうでなければ液体が下層の多孔質材料に到達するとき起こる。式 4 を使用すると、縁部間隔又は格子ピッチが小さいほど、面積 (  $A$  ) が小さくなり、所与の複数の秩序のあるリエントラント構造に対して結果として生じるブレイクスルー圧力が大きくなるのが分かる。逆に、格子ピッチ及び面積  $A$  が大きくなると、材料を濡らすのに必要なブレイクスルー圧力が小さくなる。

10

【 0 0 4 0 】

リエントラント構造の臨界点は、式 1 からの角度  $a$  が最小になる点として定義される。反発性が可能である場合、ピンニング点は、常に臨界点にあるか、又は臨界点からリエントラント構造の最も外側の縁部の間にあり、それは、臨界点よりも縁部から遠い全ての点について、同じ角度  $a$  を有する臨界点よりも縁部に近い点が存在するためであり、これは、2 つの点が同じ力  $F_{cL}$  を有するが、縁部に近い点がメニスカス面積 (  $A$  ) の減少に起因してより高い反発圧力を生成することを意味する。したがって、臨界点から最外縁部までのリエントラント構造の座標、格子ピッチ及び格子角、並びに表面張力及び接触角は、ブレイクスルー圧力に影響を及ぼす特性である。

20

【 0 0 4 1 】

更に、リエントラント層の透過性は、リエントラント層の固形分率によって影響を受ける可能性がある。層の固形分率は、式 6 として以下に示す式によって決定することができる：

【 数 3 】

$$\phi_s = \frac{\text{面積}_{\text{固体}}}{L_1 L_2 \sin \psi} \quad \text{式 6}$$

30

ここで、 $\phi_s$  はリエントラント層表面の固形分率であり、面積<sub>固体</sub> は単位格子  $L_1 L_2 \sin \psi$  内で固形である ( 細孔を除く ) リエントラント層の投影表面積であり、 $L_1$  及び  $L_2$  は 2 つの格子長であり、 $\psi$  はそれらの間の相対角度である。一般に、リエントラント層の場合、より低い固形分率は、より良好な ( より高い ) 透過性を提供するが、リエントラント構造の機械的堅牢性のトレードオフを伴う。

【 0 0 4 2 】

これらの式を使用して多孔質材料上のリエントラント構造の配置を事前に決定することにより、予想される汚染物質に対する材料の撥液性を制御することができる。良好に設計されたリエントラント構造又は複数の構造は、予想される汚染物質に対して良好な放出特性 ( すなわち、ロールオフ角 ) を提供する。

40

【 0 0 4 3 】

上記の式の各々は、任意のリエントラント形状のリエントラント構造に適用される。

【 0 0 4 4 】

図 5 A ~ 図 5 C は、一実施形態による、フードウ-500 として成形されたリエントラント構造及びその様々な寸法の断面図を示す。フードウ-500 は、表面 101 から延在するステム 502 と、ステム 502 から延在するキャップ 504 とを含む。キャップ 504 は、キャップ 504 の周囲から表面 101 に向かって下方に延びるリップ又は張り出し 524 を含むことができる。フードウ-500 は、長手方向軸 A 500 を画定する。軸 A 500 は、表面 101 に対して垂直であってもよい。フードウ-500 は、ステム高さ H 502、ステム半径 R 502、キャップ高さ H 504、内側半径 R 520、外側半径 R 5

50

22、及びフードウー角 526を含むいくつかのパラメータによって定義することができる。図5Aは、ステム502と、張り出し524を有するキャップ504とを含むフードウーの断面を示す。これらのフードウー500は、1つ以上の格子ピッチ及び格子角度を有する複数の秩序のある構造として表面101に配置されてもよい。ステム502は、半径R502を有する。半径R502は、0.5~100 $\mu$ m、又は特定の実施形態では2~90 $\mu$ m、又は更なる実施形態では3~50 $\mu$ m、更なる実施形態では5~40 $\mu$ mの範囲の長さを有してもよい。ステム半径R502は、縁部間隔が一定に保持されている場合、結果として生じるブレークスルー圧力にほとんど影響を及ぼさない。しかしながら、より大きいステム半径R502は、透過性を犠牲にしてより大きな機械的安定性を提供する。格子ピッチが一定に保持される場合、ステム半径が増加すると、縁部間隔が減少し、ブレークスルー圧力が増加する。

10

#### 【0045】

ステム502の高さH502は、0 $\mu$ m以上であってもよく、2 $\mu$ m以上であってもよく、5 $\mu$ m以上であってもよく、10 $\mu$ m以上であってもよい。高さH502は、100 $\mu$ m以下であってもよく、65 $\mu$ m以下であってもよく、50 $\mu$ m以下であってもよく、20 $\mu$ m以下であってもよい。高さH502は、0 $\mu$ m~65 $\mu$ m、2 $\mu$ m~65 $\mu$ m、2 $\mu$ m~20 $\mu$ m、又は10 $\mu$ m~50 $\mu$ mの範囲であってもよい。ステム高さはまた、結果として生じるブレークスルー圧力にほとんど影響を及ぼさない。高さH502は、液体が下にある基材に接触しないようにメニスカスの形状に対応するように選択されてもよい。より短いステム高さH502は、フードウーの機械的堅牢性を高めることができる。ステム502の形状はまた、任意の数の辺及び/又は曲線を有してもよく、例えば、円形、正方形、三角形、長方形、六角形、及びそれらの組み合わせを含む断面形状を有する形態を有してもよい。

20

#### 【0046】

フードウー500はまた、キャップ504を含む。キャップは、ステム502の上部の中心にあってもよい。キャップ504は高さH504を有し、高さH504は、キャップ504の上面/外面から外側半径までのキャップ504の主要部分の厚さとして測定することができる(以下で更に説明する)。キャップ504の高さH504は、0 $\mu$ mより大きく3 $\mu$ m以下であってもよく、5 $\mu$ m以下であってもよく、10 $\mu$ m以下であってもよい。高さH504は、0 $\mu$ m~10 $\mu$ m、0 $\mu$ m~5 $\mu$ m、又は0 $\mu$ m~3 $\mu$ mの範囲であり得る。キャップ高さH504は、ブレークスルー圧力にほとんど又は全く影響を及ぼさないが、機械的安定性を提供し得る。キャップはまた、様々な形状を有することができる、上面視で、円形、正方形、三角形、長方形、六角形、他の幾何学的、規則的、又は不規則な形状、及びそれらの組み合わせを含むことができる。

30

#### 【0047】

フードウー500のキャップ504は、張り出し部分524を含む。張り出し部分524は、内側半径R520、外側半径R522、及びフードウー角 526によって画定される。これらのパラメータがブレークスルー圧力に及ぼす影響は、格子ピッチ又は縁部間隔のいずれかを一定に保つことに依存する。

#### 【0048】

概してリエントラント構造、及びフードウーは、全体半径R500を有する。全体半径R500は、リエントラント構造又はフードウー500を上方(例えば、キャップ504の方向から)から見たときのリエントラント構造又はフードウー500の最大(最大幅)半径であってもよい。多くの場合、全体半径R500は、キャップ504の最も広い部分の半径である。上記のステム半径R502を含む様々なパラメータは、全体半径を変化させる。したがって、格子ピッチが一定に維持される場合、様々なパラメータを変化させると縁部間隔が変化し、したがって式4のAに影響を及ぼす。対照的に、縁部間隔が一定に保持されている場合、様々なパラメータを変化させると、格子ピッチが変化し、式4のF<sub>CLV</sub>及びAにも影響を及ぼす。この効果は、ブレークスルー圧力に対してより大きく、より小さく、又は反対(すなわち、正又は負)であり得る。一定の格子ピッチはまた、内

40

50

側半径、外側半径、ステム半径、及びフードゥー角の境界を画定する。これらのパラメータは、全体半径  $R_{500}$  に影響を及ぼし、秩序のある複数として配置されたときに重なり合う構造のないリエントラント構造間の空間を可能にするように選択することができる。

【0049】

図5Bに示すように、キャップ504の下側の断面形状は、円520によって近似されてもよく、一方、張り出し524の先端は、二重リエントラントフードゥーを画定する円522によって近似されてもよい。フードゥー500のステム502により近く、内側円と考えることができる円520は、内側半径  $R_{520}$  を有する。内側半径  $R_{520}$  は、ステム502で始まり、内側円520が外側円522に接触する点で終わるキャップ504の下側の窪んだ部分を形成する円弧を画定する。キャップ下側面514の傾斜は、下側面514の曲率が変化する頂点526を有する外側円522の接線として定義されるフードゥー角  $\theta_{526}$  である。内側半径  $R_{520}$  は、任意の適切な長さを有してもよい。特定の実施形態では、内側半径  $R_{520}$  は、 $0\ \mu\text{m}$  以上、 $1\ \mu\text{m}$  以上、又は  $3\ \mu\text{m}$  以上である。内側半径  $R_{520}$  は、 $500\ \mu\text{m}$  以下であってもよく、 $100\ \mu\text{m}$  以下であってもよく、 $50\ \mu\text{m}$  以下であってもよく、 $40\ \mu\text{m}$  以下であってもよい。内側半径  $R_{520}$  は、 $0\ \mu\text{m} \sim 500\ \mu\text{m}$ 、 $0\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$ 、 $1\ \mu\text{m} \sim 50\ \mu\text{m}$ 、又は  $3\ \mu\text{m} \sim 40\ \mu\text{m}$  の範囲であってもよい。内側半径  $R_{520}$  を増加させると、接触線のピンニング点が外側に押され、液体の投影表面積が減少し、全体のフードゥー半径が増加するため、透過性を犠牲にしてブレイクスルー圧力が増加する。

10

【0050】

内側半径  $R_{520}$  が無限に増加すると、下側面514は曲線ではなく直線に近づく。特定の実施形態では、下側面514'は、フードゥー500'について図5Cに示すように、ステム502から出る直線によって画定される。直線は、下方(表面101に向かって)に傾斜していてもよい。この場合、内側幅  $W_{524}$  が画定される。内側幅  $W_{524}$  は、ステム502からフードゥー角頂点526'までの長さである。

20

【0051】

フードゥー500'は、図5Bのフードゥー500と同様の張り出し524'を有し、外側半径  $R_{522'}$  は、張り出し524'の形状に近似する円522'の半径である。

【0052】

外側半径  $R_{522}$ 、 $R_{522'}$  は、任意の適切な長さを有することができる。いくつかの実施形態では、外側半径  $R_{522}$ 、 $R_{522'}$  は、 $0\ \mu\text{m}$  以上、 $1\ \mu\text{m}$  以上、又は  $5\ \mu\text{m}$  以上である。外側半径  $R_{522}$ 、 $R_{522'}$  は、 $100\ \mu\text{m}$  以下であってもよく、 $50\ \mu\text{m}$  以下であってもよく、 $25\ \mu\text{m}$  以下であってもよく、 $10\ \mu\text{m}$  以下であってもよい。外側半径  $R_{522}$ 、 $R_{522'}$  は、 $0\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$ 、 $0\ \mu\text{m} \sim 50\ \mu\text{m}$ 、 $0\ \mu\text{m} \sim 25\ \mu\text{m}$ 、 $0\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$  の範囲であってもよい。外側半径  $0\ \mu\text{m}$  を点とする。外側半径は、ブレイクスルー圧力に大きな影響を及ぼす。一定の縁部間隔では、より小さい外側半径は、接触線力の垂直成分  $F_{CLV}$  を増加させ、 $A$  を(例えば、接触線をフードゥーから外側に押すことによって)減少させることによってブレイクスルー圧力を増加させる。一定の格子ピッチでは、より小さい外側半径  $R_{522}$ 、 $R_{522'}$  は、全体のフードゥー半径  $R_{500}$ 、 $R_{500'}$  を減少させ、したがって、縁部間隔が増加し、接触線力の垂直成分  $F_{CLV}$  が減少し、 $A$  が増加してブレイクスルー圧力が減少する。

30

40

【0053】

フードゥー角  $\theta_{526}$ 、 $\theta_{526'}$  は、 $-10$  度以上、 $0$  度以上、 $30$  度以上、 $45$  度以上、又は  $60$  度以上であってもよい。フードゥー角  $\theta_{526}$ 、 $\theta_{526'}$  は、 $90$  度以下又は  $60$  度以下であってもよい。フードゥー角  $\theta_{526}$ 、 $\theta_{526'}$  は、 $-10$  度  $\sim 90$  度、 $0$  度  $\sim 90$  度、 $45$  度  $\sim 90$  度、又は  $60$  度  $\sim 90$  度の範囲内とすることができる。フードゥー角は、それが  $90$  度に近いときにブレイクスルー圧力を増加させる。フードゥー角が  $90$  度に近づくにつれて、接触線力の垂直成分が増加し、ブレイクスルー圧力の増加に寄与する。フードゥー構造が無限大に近い内側半径及び  $0$  度のフードゥー角度を有する場合、フードゥーは単一のリエントラント構造と考えることができる。

50

## 【 0 0 5 4 】

本明細書に記載のように、フードゥー構造（又はリエントラント構造）は、材料表面上に複数の構造として配置される。複数の構造は、上記のように秩序のある配置として配置されてもよく、特定の実施形態では、構造はアレイ状に形成される。図 5 D は、隣接する 2 つのフードゥー 5 3 0、5 3 2 を示す。2 つの構造は、本明細書では縁部間隔と呼ばれる距離 D 5 3 0 だけ離間している。リエントラント材料を設計するとき、縁部間隔は、多孔質材料が接触するであろう予想される汚染物質に基づいて選択されてもよい。例えば、縁部間隔は、低表面張力液体（例えば、 $< 30 \text{ mN/m}$ ）の場合、 $1 \mu\text{m}$ 以上、 $2 \mu\text{m}$ 以上、 $5 \mu\text{m}$ 以上、又は $10 \mu\text{m}$ 以上であってもよい。縁部間隔は、低表面張力液体（例えば、 $< 30 \text{ mN/m}$ ）の場合、 $50 \mu\text{m}$ 以下、 $30 \mu\text{m}$ 以下、 $20 \mu\text{m}$ 以下、又は $10 \mu\text{m}$ 以下 10

## 【 0 0 5 5 】

図 4 に関連して上述したように、複数のリエントラント構造がアレイ状に配置されてもよい。リエントラント構造のアレイは、格子においてある角度、すなわち格子角度で配向されたリエントラント構造の列を有することができる。格子角度は、 $45$ 度以上であってもよく、 $60$ 度以上であってもよく、 $75$ 度以上であってもよい。格子角度は、 $90$ 度以下であってもよく、 $75$ 度以下であってもよく、 $60$ 度以下であってもよい。いくつかの実施形態では、格子角度は $45 \sim 90$ 度の範囲内である。特定の実施形態では、格子が正方格子である場合、角度は $90$ 度である。 20

## 【 0 0 5 6 】

いくつかの実施形態では、複数のフードゥー（又はリエントラント構造）は、連続的なフードゥー構造（又は連続的なリエントラント構造）を形成するための複数の接続構造として配置される。複数の構造は、1 つ以上の点で接続されてもよい。例えば、複数のフードゥー又はリエントラント構造を、キャップ又はキャップ及びステムに連続フードゥー構造で取り付けることができる。連続的なリエントラント構造の例示的な実施形態が図 5 E に示されている。複数のリエントラント構造 6 0 0 が互いに付着して、連続的なリエントラント格子 6 0 1 と、格子 6 0 1 全体に分散した複数の細孔 6 0 8 とを形成する。格子 6 0 1 は外面 6 0 5 を形成する。格子 6 0 1 は、第 1 の格子ピッチ  $L_1$ （第 1 の方向の中心間細孔間隔）及び第 2 の格子ピッチ  $L_2$ （第 2 の方向の中心間細孔間隔）と、第 1 の方向と第 2 の方向との間の角度として定義される格子角度 6 0 1 によって画定される。連続的なリエントラント格子 6 0 1 内のリエントラント構造 6 0 0 は、図示のように秩序のある複数の構造として配置されてもよく、又はランダムに配置されてもよい。単一の連続的なリエントラント構造は、上述したようにリエントラント層を形成してもよく、又は追加の連続的なリエントラント構造と結合されてもよい。いくつかの実施形態では、リエントラント構造は、リエントラント構造間の空間が細長いチャンネルを形成するように配置される。 30

## 【 0 0 5 7 】

図 5 E の連続的なリエントラント格子 6 0 1 のリエントラント形状構造 6 0 0 は、基部 6 0 2（フードゥー 5 0 0 のステム 5 0 2 に匹敵する）を含む。基部 6 0 2 は、幅  $W 6 0 2$  を有し、幅  $W 6 0 2$  は、2 つの隣接する細孔 6 0 8 間の中心間線に沿って測定されるようなリエントラント構造 6 0 0 の基部における幅を指す。幅  $W 6 0 2$  は、ブレイクスルー圧力に影響を及ぼさないが、連続リエントラント格子 6 0 1 が多孔質材料上に配置される場合、連続リエントラント格子 6 0 1 の全体的な透過性及び複合材料の透過性に寄与する。フードゥー基部幅  $W 6 0 2$  は、 $0.5 \sim 100 \mu\text{m}$ 、又は特定の実施形態では $2 \sim 90 \mu\text{m}$ 、又は更なる実施形態では $3 \sim 50 \mu\text{m}$ 、又はなお更なる実施形態では $5 \sim 40 \mu\text{m}$ の範囲を有する。幅は、ステムの長さに沿って変化してもよく、変化する幅は、透過性又は製造において更なる利点を提供し得る。 40

## 【 0 0 5 8 】

連続格子構造 601 の細孔 608 は、細孔径  $D_{608}$  を有する。細孔径  $D_{608}$  は、隣接するリエントラント構造の最外縁部間の間隔である。細孔径  $D_{608}$  は、縁部間隔  $D_{530}$  (フードウ間の間隔) に類似していてもよい。細孔径  $D_{608}$  は、低表面張力液体 (例えば、 $< 30 \text{ mN/m}$ ) の場合、 $1 \mu\text{m}$  以上であってもよく、 $2 \mu\text{m}$  以上であってもよく、 $5 \mu\text{m}$  以上であってもよく、 $10 \mu\text{m}$  以上であってもよい。細孔径  $D_{608}$  は、低表面張力液体 (例えば、 $< 30 \text{ mN/m}$ ) の場合、 $30 \mu\text{m}$  以下であってもよく、 $20 \mu\text{m}$  以下であってもよく、 $10 \mu\text{m}$  以下であってもよい。細孔径  $D_{608}$  は、低表面張力液体 (例えば、 $< 30 \text{ mN/m}$ ) の場合、 $1 \mu\text{m} \sim 30 \mu\text{m}$  の範囲であり得る。細孔径  $D_{608}$  は、高表面張力液体 (例えば、 $> 30 \text{ mN/m}$ ) の場合、 $10 \mu\text{m}$  以上、 $30 \mu\text{m}$  以上、 $50 \mu\text{m}$  以上、又は  $100 \mu\text{m}$  以上  $2 \text{ mm}$  までであり得る。図から分かるように、細孔径は式 4 の A に直接影響する。

10

#### 【0059】

図 5 E に示すように、連続フードウ又はリエントラント構造の透過性は、格子ピッチ  $L_1$ 、 $L_2$  の影響も受ける。連続フードウ又はリエントラント構造の格子ピッチは細孔間の中心間隔であるため、格子ピッチは細孔径及びリエントラント構造の断面寸法を包含する。一定のリエントラント構造長 (又は直径) を有する格子ピッチの減少は、細孔径の減少をもたらす、式 4 の A を減少させ、ブレイクスルー圧力を増加させる。

#### 【0060】

更に、連続フードウ又はリエントラント構造 (格子) を構成するフードウ又はリエントラント構造は、秩序のある複数のフードウに関連して上述した個別のフードウ又はリエントラント構造と同じ寸法の多くを共有する。例えば、各構造のステム高さ  $H_{602}$  は、 $0 \mu\text{m}$  以上、 $2 \mu\text{m}$  以上、 $5 \mu\text{m}$  以上、又は  $10 \mu\text{m}$  以上であってもよい。ステム高さ  $H_{602}$  は、 $100 \mu\text{m}$  以下、 $65 \mu\text{m}$  以下、 $50 \mu\text{m}$  以下、又は  $20 \mu\text{m}$  以下である。高さ  $H_{602}$  は、 $0 \mu\text{m} \sim 65 \mu\text{m}$ 、 $2 \mu\text{m} \sim 65 \mu\text{m}$ 、 $2 \mu\text{m} \sim 20 \mu\text{m}$ 、又は  $10 \mu\text{m} \sim 50 \mu\text{m}$  の範囲であってもよい。連続フードウ又はリエントラント構造 (格子) では、フードウが互いに取り付けられて実質的に平坦な外面 605 を形成するので、ステム高さは連続構造にわたって実質的に均一である。本明細書では、「実質的に平坦」は、平面であるが製造公差内で逸脱する可能性がある表面を指す。フードウ構造がキャップに取り付けられていても、キャップ高さ  $H_{604}$  は、キャップの上面/外面から外側半径まで測定され得る。キャップ 604 の高さ  $H_{604}$  は、 $0 \mu\text{m}$  以上  $3 \mu\text{m}$  以下であってもよく、 $5 \mu\text{m}$  以下であってもよく、 $10 \mu\text{m}$  以下であってもよい。高さ  $H_{504}$  は、 $0 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$ 、 $0 \mu\text{m} \sim 5 \mu\text{m}$ 、又は  $0 \mu\text{m} \sim 3 \mu\text{m}$  の範囲であり得る。

20

30

#### 【0061】

連続リエントラント格子 601 のリエントラント形状構造 600 は、二重リエントラント構造 (図 5 E に示すように、) であってもよく、又は単一リエントラント構造として構成されてもよい。図 5 B 及び図 5 C の個別のフードウ構造と同様に、連続格子構造 601 の接続されたフード (リエントラント形状構造 600) は、内側円  $520$ 、内側半径  $R_{520}$ 、外側円  $522$ 、及び外側半径  $R_{522}$  によって輪郭付けられて近似されてもよく、又は直線及び内側幅  $W_{524}$  によって画定される下側を有してもよい。内側半径  $R_{520}$ 、外側半径  $R_{522}$ 、内側幅  $W_{524}$ 、及びフードウ角  $526$  の寸法は、図 5 B 及び図 5 C に関して上述した通りであってもよい。

40

#### 【0062】

反転されたメニスカスは、液体が基材 202 の下にある表面を通して濡れるのを低減、最小化、又は防止することができる。フードウ構造が、秩序のある複数又は連続的な格子構造で、液体 (例えば、汚染物質) と接触しているとき、フードウ構造は、液体のメニスカス 112 を反転させる (すなわち、接触線力を反転させる) ことによって、それらの反発機能を実行する。フードウ構造 500 の表面上の液体の接触線力  $F_{CL}$  は、矢印で示されている。接触線力  $F_{CL}$  は、液体メニスカス 112 が構造にピン留めされる各フードウ構造キャップ 504 上の点 551 を示す。上述したように、縁部間隔  $D_{530}$  は、液体が複数のリエントラント構造 500 を貫通して多孔質基材 202 の表面に到達して

50

濡れるのを防ぐのに十分に構造を近くに保つように選択される。ブレークスルー圧力の式（式 4）及び垂直接触線力の式（式 1）によって認識され得るように、ブレークスルー圧力を最大にするための 3 つの競合するパラメータが存在する：1）接触線の長さ  $l$ （接続されたピンニング点 551）、2）液体表面の投影面積（ $A$ ）、及び 3）角度  $a$ （ $a$  を可能な限り 90 度に近づけることによって式 1 中の角度  $a$  を最適化する）。最大圧力は、式 1 の  $l$  の増加又は最大化と、式 4 の  $A$  の減少又は最小化とのバランスである。このバランスは、秩序があるか連続的であるかにかかわらず、複数の構造のリエントラント形状、及びしたがって特定のパラメータの選択に寄与する。液体（例えば、汚染物質）が貫通すると、基材材料の細孔が詰まることがあり、逃げる空気流が減少するか、又は方向転換することがある。

10

#### 【0063】

ここで図 6 A ~ 図 7 B を参照すると、リエントラント構造の幾何学的形状及び寸法は、リエントラント構造と接触している液体のメニスカスを反転させることができ、所与の液体（例えば、予想される汚染物質）に対するブレークスルー圧力を増加させるように設計することができる。図 6 A は、フードゥー 800 がキャップ張り出し 824 で緩やかな傾斜を有し、その結果、構造が低いフードゥー角 826、大きい外側半径  $R_{822}$ 、及び小さい内側半径  $R_{820}$  を有する第 1 の例を示す。接触線は、内側半径  $R_{820}$  及び外側半径  $R_{822}$  を形成する 2 つの弧が交わる場所であるフードゥー角点 826 の近くにピン留めされる。図 6 A において、メニスカス 112 は、緩やかな傾斜 806 に沿ってフードゥーにピン留めされる。 $F_{CL}$  の角度が水平面に対して 90 度よりも大幅に小さいため、低いフードゥー角 826 と外側半径  $R_{822}$  よりも大幅に小さい内側半径  $R_{820}$  との組み合わせは、垂直方向に小さい  $F_{CLV}$  を提供する。この接触線力の角度は、液体及びフードゥー形状の低いブレークスルー圧力をもたらす。

20

#### 【0064】

同じ液体のブレークスルー圧力を増加させるために、フードゥー構造の寸法を変更することができる。図 6 B は、図 6 A のフードゥー構造 800 よりも高いブレークスルー圧力を有する変形フードゥー構造 900 を示す。図 6 B では、内側半径  $R_{920}$  は、外側半径  $R_{922}$  よりも著しく大きく、フードゥー角 926 は、図 6 A のものよりも大きい。メニスカス 112 は、依然としてフードゥー角度点 926 に近接してピン留めされ、この場合、接触線は、多孔質基材表面にほぼ垂直な角度でフードゥー 900 の先端に近接してピン留めされる。対応する接触線力  $F_{CL}$  はまた、水平面に対して約 90 度の角度で延在し、 $F_{CL}$  の垂直部分を最大にする。この接触線力  $F_{CL}$  は、はるかに高いブレークスルー圧力を提供し、リエントラント層の反発性を高める。

30

#### 【0065】

様々なパラメータがリエントラント構造上の液体のブレークスルー圧力に影響を及ぼし、これらのパラメータは図 7 A ~ 図 7 B に関連して説明されている。ブレークスルー圧力は、液体がリエントラント構造に浸透し、多孔質材料表面に浸透する可能性が高い圧力である。液滴の接触線力の垂直成分を使用して、所与の液体のブレークスルー圧力を決定することができる。ブレークスルー圧力は、関与する液体の表面張力並びにリエントラント構造の幾何学的パラメータに応じて異なる。

40

#### 【0066】

図 7 A に示すように、液体は、ブレークスルー圧力に到達し、液体がピン留めする点の 1 つ以上からフードゥーに放出され得る。これは接触線暴走と呼ばれ、接触線が圧力閾値（例えば、最大圧力又はブレークスルー圧力）でそのピンニング点を通過するときが発生する。暴走が発生する点は、典型的には、フードゥー角点（例えば、2 つの弧が交わる場所）付近である。ここで、フードゥー構造 500 の間の液滴のメニスカス 113 は、フードゥー 500 のキャップ 504 から解放されてステム 502 に接触し、ステムを「流れ落ちる」。したがって、液体は、リエントラント構造の表面によってもはや反発されず、基材 202 の多孔質材料の細孔に到達し得る。接触線暴走は、それらの接触線力がより低い場合、より低い表面張力の液体について最も起こりやすい故障モードである。

50

## 【 0 0 6 7 】

代替的なブレークスルーシナリオが図 7 B に示されており、表面崩壊と呼ばれる故障モードである。この故障モードは、高い接触線力を有するより高い表面張力の液体で起きる可能性が最も高い。液滴 1 0 6 は、フードゥーキャップ 5 0 4 におけるピンニング点を維持するが、液滴 1 0 6 の重量は、メニスカス 1 1 3 を基材表面 2 0 2 に押し下げる。フードゥー構造 5 0 0 を互いに近づけるためにフードゥー間隔 D 5 3 0 を短くするか、又はステム 5 0 2 の高さを増加させると、所与の液体のブレークスルー圧力を増加させることができる。例えば、フードゥーキャップ 5 0 4 が高いブレークスルー圧力を提供したとしても、メニスカス 1 1 3 が下にある基材 2 0 2 に依然として到達するようにステム高さが非常に低い場合、液体は浸透して、リエントラント構造は液体を反発することができない。

10

## 【 0 0 6 8 】

図 1 1 A ~ 図 1 3 C は、代替的な実施形態によるリエントラント構造 1 5 0 0、1 5 3 0、1 5 5 0 を示す。これらのリエントラント構造 1 5 0 0、1 5 3 0、1 5 5 0 は、水平面 (x - z 平面) に対するリエントラント形状、並びに水平面 (x - y 平面及び / 又は y - z 平面) に直交する少なくとも 1 つの平面における追加のリエントラント形状を含む、二重リエントラント形状を有する。x - z 平面は、リエントラント構造 1 5 0 0、1 5 3 0、1 5 5 0 が配置される基材に平行な平面である。リエントラント構造 1 5 0 0、1 5 3 0、1 5 5 0 は、それらのキャップ 1 5 0 4、1 5 3 4、1 5 5 4 の周りに第 1 のリエントラント形状を含む。更に、リエントラント構造 1 5 0 0、1 5 3 0、1 5 5 0 は、それらのステム 1 5 0 2、1 5 3 2、1 5 5 2 の周りに第 2 のリエントラント形状を含む。

ブレークスルーの場合に隣接する構造の汚染又はクロスウェッティングを低減又は防止するために、x - z 平面内にリエントラント形状を有するリエントラント構造を使用することができる。更に、リエントラント形状の追加の平面は、非常に小さい構造の製造に起因する可能性のある不完全性を改善するのに役立ち得る。

20

## 【 0 0 6 9 】

ここで図 1 1 A ~ 図 1 1 C を参照すると、リエントラント構造 1 5 0 0 は、基材 1 0 2 の表面 1 0 1 から延在するステム 1 5 0 2 と、ステム 1 5 0 2 から延在するキャップ 1 5 0 4 とを含む。キャップ 1 5 0 4 は、例えば図 2 A ~ 図 2 C を参照して説明したように、第 1 のリエントラント形状を提供する。キャップ 1 5 0 4 は、連続的な輪郭の上面を画定することができる。いくつかの実施形態では、キャップ 1 5 0 4 は半球面を有してもよい。

しかしながら、実質的に平坦な上部を含む他の形状も可能である。キャップ 1 5 0 4 の下縁部は、表面 1 0 1 に向かって下方に延在する張り出し 1 5 2 4 を形成することができる。リエントラント構造 1 5 0 0 は、長手方向中心軸 A 1 5 0 0 を画定する。軸 A 1 5 0 0 は、表面 1 0 1 に対して垂直であってもよい。

30

## 【 0 0 7 0 】

ステム 1 5 0 2 は、長手方向中心軸 A 1 5 0 0 に沿って延在してもよい。ステム 1 5 0 2 は、高さ H 1 5 0 2 を有する。ステム 1 5 0 2 は、ウェブ付き梁として形成されてもよく、ウェブ付きコア部分 1 5 2 1 及びローブ 1 5 2 3 を含んでもよい。ウェブ付きコア部分 1 5 2 1 は、図 1 1 B に示すように、3 つのウェブ 1 5 2 2 を含む三股の断面を有することができる。四股又は星形の断面など、他の形状も可能である。ローブ 1 5 2 3 は、コア部分 1 5 2 1 の縁部から側方に、縁部に沿って軸方向に延びてもよい。ローブ 1 5 2 3 は、わずかに外側に (長手方向中心軸 A 1 5 0 0 から離れて) 湾曲していてもよい。ローブ 1 5 2 3 は、(基材 1 0 2 の表面 1 0 1 に平行な) x - z 平面内に第 2 のリエントラント形状を形成する。

40

## 【 0 0 7 1 】

リエントラント構造 1 5 0 0、1 5 3 0、1 5 5 0 の寸法は、ステム高さ、キャップ高さ、及び全体半径を含む、上述のフードゥー 5 0 0 と同様であってもよい。しかしながら、ステム構造に起因して、ステム幅は、フードゥー 5 0 0 の幅よりも広くてもよく、全体半径と同様であってもよい。

## 【 0 0 7 2 】

50

図12A～図13Cのリエントラント構造1530、1550は、ウェブ1542、1562及びローブ1543、1563の湾曲を除いて、リエントラント構造1500と同様である。図12A及び図12Bのリエントラント構造1530のステム1532は、長手方向中心軸A1530に平行な直線縁部を有するウェブ1542を有するコア1541を有する。ウェブ1542の縁部に沿って延びるローブ1543はまた、長手方向中心軸A1530に平行である。

【0073】

図13A～図13Cのリエントラント構造1550のステム1552は、長手方向中心軸A1550に対して凹状の縁部を有するウェブ1562を有するコア1561を有する。ウェブ1562の縁部に沿って延びるローブ1563も、長手方向中心軸A1550に

10

【0074】

いくつかの実施形態では、ドレインを有する連続的なリエントラント構造（格子）を提供することが望ましい場合がある。実際には、連続的なリエントラント構造（格子）が比較的大きな表面積に適用される場合、格子は、意図されたよりも大きい細孔などの1つ以上の不完全性を含む可能性がある。そのような不完全性は、そうでなければ格子及びリエントラント構造が意図された汚染物質をはじくように設計及び構成されている場合でも、液体のブレイクスルーを引き起こす可能性がある。連続的なリエントラント構造（格子）は、任意の可能なブレイクスルー液体が隣接する細孔を貫通するのではなく逃げることを可能にするために、ドレイン又は出口構造を備えることができる。ブレイクスルー液体と

20

【0075】

ここで図14A～図14Cを参照すると、連続リエントラント構造（格子）1601は、互いに接続された複数のリエントラント構造1600と、複数のリエントラント構造1600の間に形成された複数の細孔1608とを含む。リエントラント構造1600は、格子の外周面1605を形成するキャップ1604を含む。リエントラント構造1600は、格子の底面1606を画定するステム1602を含む。キャップ1604は、前述のように張り出し1624を含むことができる。いくつかの例では、液体1006は、貫通して細孔1608のうちの1つに入ることができる。底面1606は、1つ以上の溝又はドレイン1610を含むことができる。細孔1608に入る任意の液体1006は、ドレイン1610に流入することができる。ドレイン1610は、毛細管現象によって液体が細孔から流れ出るようなサイズにすることができる。細孔1608の周りに六角形のドレイン1610を有する底面1606の底面斜視図が図14Bに示されている。

30

【0076】

図15A～図15B及び図16A～図16Bは、格子1630、1650がより大きな細孔1618の形態の不完全性を含む実施形態を示す。より大きな細孔1618は、液体ブレイクスルーをもたらす得る。格子1630、1650は、任意のブレイクスルー液体が細孔から排出されることを可能にするドレイン1640、1660を含む。ドレイン1640、1660は、各細孔1608がドレイン1640（図15Aと同様に）で囲まれていてもよいし、複数の細孔1608が集まってドレイン1660（図16Aと同様に）で囲まれていてもよい。

40

【0077】

ドレインは、任意の適切な方法で構成されてもよく、図17～図21に示すように、異なる形状及び細孔群を含んでもよい。多くの可能な構成及び形状を使用することができるが、六角形又は八ニカム様構造を利用する構造は、より密に詰め込まれ、より効率的な格子構造をもたらすことができる。細孔は、様々な方法でドレイン形状内にグループ化されてもよい。排水構造内の細孔の数は、とりわけ、所望の排水効率（排水構造当たりの細孔

50

が少ないと、より効率的な排水が得られる)、構造的完全性への影響(より離間した排水構造は、より良好な構造的完全性をもたらす)、及び推定される排水の必要性(ブレードスルー構造の推定集団密度)に基づいて決定することができる。いくつかの実施形態では、排水構造(1つの連続ドレインループ)当たりの細孔の数は、1つ以上、最大50個、最大25個、最大10個、最大7個、又は最大4個である。いくつかの実施形態では、格子の各細孔はドレインに隣接している。格子は、異なる形状及びサイズの排水構造を含むことができる。いくつかの実施形態では、排水構造の様々なモザイク化パターンを使用して、グループサイズを調整することができる。いくつかの実施形態では、排水構造は、基材の全幅に延在するチャンネルを形成する。他の実施形態では、チャンネルは、基材の幅の一部のみに延在する。

10

## 【0078】

いくつかの実施形態では、ドレイン1610、2610は、細孔1608、2608から主ドレイン導管1610、2610に通じるステム1611、2611を含む。ドレイン1610、2610は、ドレイン内を流れる液体1006が出ることができる出口構造1612、2612を更に含むことができる。多くの実施形態では、ドレイン1610、2610、4610、5610は、底面1606、2606、4606、5606の溝によって形成される。しかしながら、いくつかの実施形態では、格子3601は、細孔3608の上にフード3610を形成する突起を含むことができる。いくつかのドレイン構造は、底面1606、2606、3606、4606、5606が垂直に向けられているか、又は傾斜している垂直又は傾斜配置で流れを導くのに適している場合がある。図17、図20、及び図21に示すようないくつかのドレイン構造は、垂直、傾斜、水平、又は「上下逆」(上向きの底面1606、4606、5606)にかかわらず、任意の向きで流れを導くのに適している場合がある。

20

## 【0079】

ドレイン及び出口構造は、任意の適切な寸法を有することができる。いくつかの実施形態では、ドレイン及び出口構造は、毛細管流を促進するような大きさである。例えば、ドレイン及び出口構造は、以下の式7に基づいて所望の毛細管圧に基づいてサイズ設定することができる:

## 【数4】

$$\Delta P = \frac{2\gamma \cos\theta}{r} \quad \text{式7}$$

30

ここで、 $P$ はラプラス圧、 $\gamma$ は表面張力、 $\theta$ は接触角、 $r$ はチャンネルの半径である。

$P$ が正となるように寸法を選択することにより、ドレイン及び出口構造は毛細管流を促進することができる。いくつかの実施形態では、ドレイン及び出口構造は、100 $\mu\text{m}$ 以上、200 $\mu\text{m}$ 以上、300 $\mu\text{m}$ 以上、400 $\mu\text{m}$ 以上、又は500 $\mu\text{m}$ 以上の断面寸法(例えば、半径)を有する。断面寸法(例えば、半径)は、1mm以下であってもよく、800 $\mu\text{m}$ 以下であってもよく、600 $\mu\text{m}$ 以下であってもよく、500 $\mu\text{m}$ 以下であってもよく、400 $\mu\text{m}$ 以下であってもよく、300 $\mu\text{m}$ 以下であってもよく、250 $\mu\text{m}$ 以下であってもよい。場合によっては、ドレイン及び出口構造は、100 $\mu\text{m}$ ~1mm、100 $\mu\text{m}$ ~500 $\mu\text{m}$ 、100 $\mu\text{m}$ ~250 $\mu\text{m}$ 、250 $\mu\text{m}$ ~1mm、又は500 $\mu\text{m}$ ~1mmの範囲の断面寸法(例えば、半径)を有する。

40

## 【0080】

層状材料は、任意のブレードスルー液体を吸収又は吸着するように意図された吸収材料又は吸着材料を更に含んでもよい。そのような吸収材料又は吸着材料は、任意選択で、ドレインの出口構造1612、2612の近くに配置されてもよい。

## 【0081】

いくつかの実施形態では、リエントラント層は、領域又はゾーンを有するように構成されてもよい。例えば、いくつかの実施形態では、リエントラント層は、構造のサブセット

50

として一緒にグループ化された2つ以上の異なるタイプのリエントラント構造としてある。所与の領域のリエントラント構造は、離散リエントラント構造であってもよく、又は連続リエントラント構造（例えば、格子）を形成してもよい。場合によっては、リエントラント層は、離散リエントラント構造の領域と連続リエントラント構造の領域との交互領域を含んでもよい。いくつかの実施形態では、リエントラント層は、異なる種類のリエントラント構造の交互領域を含むことができる。例えば、リエントラント層は、第1のタイプのリエントラント構造と第2のタイプのリエントラント構造との交互領域を含むことができる。異なるタイプのリエントラント構造並びに/又はリエントラント構造及び連続リエントラント構造の領域を提供することは、異なる領域で達成することができる異なる特性を材料に提供するために望ましい場合がある。例えば、1つの領域は良好な撥液性を提供することができ、別の領域は良好な排水性を提供することができる。或いは、1つの領域がスルーフローを促進し、別の領域がクロスフローを提供してもよい。異なる領域を使用して、望ましい特性を有し得るが製造が困難であり得る構造の数を減らすことによって、製造の複雑さを減らすこともできる。そのような構造は、製造がより容易な構造とバランスをとることができる。

10

#### 【0082】

複数のゾーンを有するリエントラント層の例を図22及び図23に示す。図22において、第1のタイプのリエントラント構造2201は、第2のタイプのリエントラント構造2202と交互にされる。第1のタイプのリエントラント構造2201は第1のゾーン2210を形成し、第2のタイプのリエントラント構造2202は第2のゾーン2220を形成する。図23において、第1のタイプのリエントラント構造2301は、スルーフローチャンネルを提供する第1の領域2310と、交差流チャンネルを提供する第2の領域2320のための第2のタイプのリエントラント構造2302とを形成する。第1のタイプのリエントラント構造2301は、ステム及びキャップを有するフードウーであってもよい。第2のタイプのリエントラント構造2302は、第2のタイプのリエントラント構造2302がキャップを欠いていることを除いて、図11A～図13Cのリエントラント構造1500、1530、1550と同様であり得る。

20

#### 【0083】

リエントラント構造は、エンボス加工、エッチング、及び微細加工を含む様々な方法を使用して形成され得る。リエントラント構造を作成するための形成方法は、構造の所望の寸法に基づいて選択することができる。リエントラント構造を形成するための様々な方法を以下に説明する。

30

#### 【0084】

1つの例示的な方法は、ポリマー基材を使用する微細加工を含む。まず、ポリマー基材を準備する。次に、基材表面にフォトレジストパターンを堆積させる。フォトレジストパターンは、リングを形成することを含む。フォトレジストの下での混合ガス反応性イオンエッチングを使用して、リング特徴部がポリマー基材に形成される。材料層が表面上に堆積され（例えば、スパッタコーティングされた）、リング特徴部を充填する。特定の実施形態では、材料層は、接着及び構造的サポートを提供するための金属層（例えば、ニッケル-クロム及び金）である。フォトレジストが塗布され、フォトレジストによって保護された部分を除いて先行材料層が除去される。これらの部分は、リエントラント構造（例えば、フードウー）キャップを形成する。混合ガスを使用して、反応性イオンエッチングを異方的に行ってフードウーキャップの張り出し部分をアンダーカットする。構造を保護し、及び/又は構造のオムニフォビシティを改善するために、パリレン又は別のポリマーなどのコーティングを任意に適用することができる。この方法を使用して、ステム及びキャップが異なる材料から構成されるリエントラント構造を作成することができる。この方法は、ポリマーステム及び金属キャップを含むことができるが、様々な材料の組み合わせを使用することができる。

40

#### 【0085】

代替的な形成方法は、微細加工及び成形を使用する。シリコンウエハなどの成形材料を

50

フォトレジストでパターンニングし、エッチングして型を形成する。次に、充填材が金型内に堆積され、硬化される。例えば、充填材はポリマーであってもよい。金型から突出する充填材の任意の部分を任意選択でエッチングして、フードゥーキャップを更に成形することができる。上述の方法と比較して、この方法は、単一材料のフードゥー構造を形成するために使用され得る。

**【0086】**

1つの例示的な方法は、マスタスタンプを製造することを含む。マスタスタンプは、例えば、フェムト秒レーザーによってガラスをエッチングしてリエントラント構造を形成するサブトラクティブ法によって製造することができる。マスタスタンプはまた、例えば3Dプリンタ（例えば、2光子リソグラフィ）を使用して、付加的な方法によって形成されてもよい。正又は負のいずれかのマスタスタンプは、両方の手法で作製され得る。マスタスタンプは、更なる処理のために堅牢なスタンプを製造するために更に複製されてもよい。マスタスタンプは、複数の金属スタンプ（例えば、ニッケルスタンプ）を作製するために電鍍を介して直接複製することができ、又はポリマーレプリカは、電鍍前にマスタスタンプから成形することができる。いずれの場合も、複数の金属スタンプを電鍍して、更なるエンボスプロセスのためのリポジトリを作成することができる。次いで、レプリカスタンプは、最終的なリエントラント構造を作るためにエンボス加工プロセスで使用される。スタンプは、熱可塑性ポリマーがそのガラス転移温度を超えて加熱され、次いで金属スタンプでエンボス加工されるホットエンボスプロセスで使用することができる。次いで、金属スタンプを除去する前に、ポリマーを冷却して戻す。UVエンボス加工プロセスも使用することができ、例えば、熱硬化性ポリマーが使用される。スタンプは、ポリマーをエンボス加工するために使用され、この場合、UV露光は、スタンプが除去される前に所定の位置でポリマーを硬化させる。

10

20

**【0087】**

細孔構造のための貫通孔を連続的なリエントラント構造（例えば、図5Eに示すように、）にするために、スタンプは、エンボス加工中にポリマーフィルムを貫通する長いピンを有することができる。この場合、エンボス加工中にポリマーフィルムの上に犠牲層が含まれてもよい。

**【0088】**

フードゥー構造を形成するための更なる方法は、異なるパラメータを有するポリマーなどの2つの異なる材料でフードゥーを形成することを含む。特定の実施形態では、異なるガラス転移温度を有するポリマーを使用することができる。まず、基材としてガラス転移温度を有する第1のポリマーの層を設け、第1のポリマーの表面に、第1のポリマーよりもガラス転移温度が低い第2のポリマーを堆積（例えば、スピンコート）させる。第2のポリマー層は、第1のポリマー層よりも薄くてもよい。例えば、第2のポリマー層は、所望のフードゥーキャップの厚さよりもわずかに高い厚さで堆積される。複合ポリマー層は、パターンニング及びエッチングされて離散構造を形成する。次に、構造を加熱して、第2のポリマー層を部分的に流動させ、キャップ張り出し部分を形成する。

30

**【0089】**

球状及び逆球状構造は、既知の堆積及びエッチングプロセスで達成することができる。

40

**【0090】**

（リエントラント形状に関係なく）リエントラント構造が形成されると、それらは多孔質材料上に配置される必要がある。特定の実施形態では、リエントラント構造は、多孔質材料層上に直接形成される。更なる実施形態では、リエントラント構造は、エンボス加工、ナノインプリント、エッチングなどの技術を使用して多孔質材料層の一部から作製されてもよい。本明細書に記載の形成技術のいずれも、ロールツーロール又はロールツープレート処理によって実施されてもよい。

**【0091】**

なお更なる実施形態では、リエントラント構造は多孔質材料層に結合される。例えば、リエントラント構造は、多孔質材料の層上に転写印刷されてもよい。逆球状及びフードゥー

50

ーの連続アレイなどの特定のリエントラント形状は、1つの層又は実体として形成することができ、これにより、多孔質材料基材上に製造及び/又は印刷転写することがより容易になる。これらの層は、上面視で、離散的な孔又は逆フードゥー構造のアレイとして現れる場合がある。

【0092】

転写印刷は、更なる詳細が論じられないような既知の技術である。転写印刷はリエントラント構造の製造を制御するが、リエントラント構造は多孔質材料層に接着されなければならない。特定の実施形態では、リエントラント構造は、熱圧縮結合（例えば、熱及び力を使用するが、多孔質材料上に中間層を使用しない）を用いて多孔質材料に直接適用される。例えば、リエントラント構造の層を多孔質材料に適用することができ、各構造のステム間にギャップ（例えば、レーザ穿孔）を設けて、下にある多孔質材料を露出させる。他の実施形態では、プラズマ結合は、中間層が存在することなく、リエントラント構造と多孔質材料との間に直接形成される。代替的な実施形態では、リエントラント構造は、化学結合（例えば、ロールオン、スピンオン、又は浸漬コーティング技術によって塗布された層）及び/又は接着結合などの中間層を用いて多孔質材料に接着されてもよい。中間層を使用する場合、元の多孔質材料の通気能力を低下させないように、多孔性及び下にある多孔質材料との適合性が考慮される。

10

【0093】

本明細書に記載されるように、リエントラント形状を有する複数の構造を有する多孔質材料の表面をパターニングすることにより、材料の反発性を高めることができる。例えば、多孔質材料の疎水性及び/又は疎油性は、複数のリエントラント構造を含み、追加の化学コーティングを使用せずに増加させることができる。

20

【0094】

実施形態例

本明細書に記載の技術は、特許請求の範囲に定義される。しかしながら、非限定的な実施形態の非網羅的なリストが以下に提供される。これらの実施形態の特徴のうちの任意の1つ以上は、本明細書に記載の別の例、実施形態、又は態様の任意の1つ以上の特徴と組み合わせることができる。

【0095】

実施形態1は、フィルタ材料であって、多孔質材料の層と、層の表面上に配置された複数の構造であって、構造の各々はリエントラント形状を含む、複数の構造と、を有する、フィルタ材料である。

30

【0096】

実施形態2は、複数の構造が複数の秩序のある構造である、実施形態1及び3～23のいずれか1つに記載のフィルタ材料である。

【0097】

実施形態3は、構造が離散構造である、実施形態1～2及び4～23のいずれか1つに記載のフィルタ材料である。

【0098】

実施形態4は、複数の構造が連続的なリエントラント構造を形成する、実施形態1～3及び5～23のいずれか1つに記載のフィルタ材料である。

40

【0099】

実施形態5は、複数の構造の各々が球形である、実施形態1～4及び6～23のいずれか1つに記載のフィルタ材料である。

【0100】

実施形態6は、複数の構造の各々が、逆球状形状を有する、実施形態1～5及び7～23のいずれか1つに記載のフィルタ材料である。

【0101】

実施形態7は、複数の構造の各々が、フードゥー形状を有する、実施形態1～6及び8～23のいずれか1つに記載のフィルタ材料である。

50

## 【0102】

実施形態8は、フードゥー幾何学的形状が、0.5～100μmの範囲のステム半径、0～65μmの範囲のステム高さ、0～200μmの範囲の内側半径、0～100μmの範囲の外側半径、-10～90度の範囲のフードゥー角、0～10μmの範囲のキャップ高さ、1μm～1mmの範囲のフードゥー間隔、及び45～90度の範囲の格子角を含む複数のパラメータに基づいて決定される、実施形態7に記載のフィルタ材料である。

## 【0103】

実施形態9は、フードゥー幾何学的形状が、0.5～100μmの範囲のステム半径、0～65μmの範囲のステム高さ、0～100μmの範囲の内側半径、0～100μmの範囲の外側半径、-10～90度の範囲のフードゥー角、0～10μmの範囲のキャップ高さ、1～30μmの範囲のフードゥー間隔、及び45～90度の範囲の格子角を含む複数のパラメータに基づいて決定される、実施形態7に記載のフィルタ材料である。

10

## 【0104】

実施形態10は、フードゥー幾何形状がステム部分及びキャップ部分を含み、隣接する構造のキャップ部分は互いに取り付けられている、実施形態1～9及び11～23のいずれか1つに記載のフィルタ材料である。

## 【0105】

実施形態11は、複数の構造が層上に形成される、実施形態1～10及び12～23のいずれか1つに記載のフィルタ材料である。

## 【0106】

実施形態12は、複数の構造が、多孔質材料とは異なる材料で形成される、実施形態1～11及び13～23のいずれか1つに記載のフィルタ材料である。

20

## 【0107】

実施形態13は、複数の構造が、多孔質材料の層に結合された第2の層上に形成される、実施形態1～12及び14～23のいずれか1つに記載のフィルタ材料である。

## 【0108】

実施形態14は、第2の層及び第1の層が同じ材料を含む、実施形態13に記載のフィルタ材料である。

## 【0109】

実施形態15は、第2の層が、第1の層の材料とは異なる材料である、実施形態13に記載のフィルタ材料である。

30

## 【0110】

実施形態16は、多孔質材料が膜である、実施形態1～15及び17～23のいずれか1つに記載のフィルタ材料である。

## 【0111】

実施形態17は、膜が、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリエステル、ポリエーテルスルホン、ポリスルホン、延伸ポリテトラフルオロエチレン、ポリフッ化ビニリデン、ポリアミド、ポリアクリロニトリル、ポリカーボネート、酢酸セルロース、及びナイロンのうちの1つを含む、実施形態16に記載のフィルタ材料である。

## 【0112】

実施形態18は、複数の構造が層の対向する表面上に配置されている、実施形態1～17及び19～23のいずれか1つに記載のフィルタ材料である。

40

## 【0113】

実施形態19は、リエントラント形状が二重リエントラント形状である、実施形態1～18及び20～23のいずれか1つに記載のフィルタ材料である。

## 【0114】

実施形態20は、リエントラント形状が実質的に平坦な外面を含む、実施形態1～19及び21～23のいずれか1つに記載のフィルタ材料である。

## 【0115】

実施形態21は、複数の秩序のある構造の各々が、第1の寸法と第1の寸法に対してあ

50

る角度で配置された第 2 の寸法とを有するアレイに配置され、アレイは、第 1 の寸法及び第 2 の寸法で格子ピッチを有する、実施形態 2 ~ 2 0 及び 2 2 ~ 2 3 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。アレイ内の各構造間の縁部間隔は、予想される汚染物質に基づいて決定することができる。

【 0 1 1 6 】

実施形態 2 2 は、アレイの第 1 の寸法における構造間の格子ピッチは、アレイの第 2 の寸法における構造間の格子ピッチとは異なる、実施形態 2 1 のフィルタ材料である。

【 0 1 1 7 】

実施形態 2 3 は、多孔質材料の層の外面が、層の疎油性を増加させるコーティングを更

10

【 0 1 1 8 】

実施形態 2 4 は、実施形態 1 ~ 2 3 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料を含むフィルタ要素である。

【 0 1 1 9 】

実施形態 2 5 は、多孔質材料の層と、層の表面に配置された複数のリエントラント（例えば、フードゥー）構造とを含むフィルタ材料である。リエントラント（例えば、フードゥー）構造の各々は、ステム及びキャップを備え、隣接する構造のキャップは、複数の細孔を形成するように取り付けられ、各細孔は、隣接するフードゥー構造の間に配置される。

【 0 1 2 0 】

実施形態 2 6 は、複数の構造が層上に形成される、実施形態 2 5 及び 2 7 ~ 3 6 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

20

【 0 1 2 1 】

実施形態 2 7 は、複数の構造が多孔質材料とは異なる材料から形成される、実施形態 2 5 ~ 2 6 及び 2 8 ~ 3 6 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

【 0 1 2 2 】

実施形態 2 8 は、複数の構造が多孔質材料の層に結合された第 2 の層を含む、実施形態 2 5 ~ 2 7 及び 2 8 ~ 3 6 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

【 0 1 2 3 】

実施形態 2 9 は、第 2 の層及び第 1 の層が同じ材料を含む、実施形態 2 8 のフィルタ材

30

【 0 1 2 4 】

実施形態 3 0 は、第 2 の層が、第 1 の層の材料とは異なる材料である、実施形態 2 8 のフィルタ材料である。

【 0 1 2 5 】

実施形態 3 1 は、多孔質材料が膜である、実施形態 2 5 ~ 3 0 及び 3 2 ~ 3 6 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

【 0 1 2 6 】

実施形態 3 2 は、膜が、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリエステル、ポリエーテルスルホン、ポリスルホン、延伸ポリテトラフルオロエチレン、ポリフッ化ビニリデン、ポリアミド、ポリアクリロニトリル、ポリカーボネート、酢酸セルロース、及びナイロンのうちの 1 つを含む、実施形態 3 1 に記載のフィルタ材料である。

40

【 0 1 2 7 】

実施形態 3 3 は、複数の構造が層の対向する表面上に配置されている、実施形態 2 5 ~ 3 2 及び 3 4 ~ 3 6 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

【 0 1 2 8 】

実施形態 3 4 は、リエントラント構造が実質的に平坦な外面を形成する、実施形態 2 5 ~ 3 3 及び 3 5 ~ 3 6 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

【 0 1 2 9 】

実施形態 3 5 は、複数の構造の各々が、第 1 の寸法及び第 2 の寸法を有するアレイに配

50

置され、アレイの第 1 の寸法における構造間の第 1 の格子ピッチは、アレイの第 2 の寸法における構造間の第 2 の格子ピッチとは異なる、実施形態 25 ~ 34 及び 36 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料。

【0130】

実施形態 36 は、多孔質材料の層の外面が、層の疎油性を増加させるコーティングを更  
に含む、実施形態 25 ~ 35 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

【0131】

実施形態 37 は、実施形態 25 ~ 36 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料を含むフィ  
ルタ要素である。

【0132】

実施形態 38 は、多孔質材料の層と、層の表面上に配置された第 1 の複数の構造とを含  
み、構造の各々はリエントラント形状を有し、構造の少なくともいくつかは 2 つの直交平  
面に沿ってリエントラント形状を有し、任意選択で、第 1 の複数の構造の少なくともいく  
つかは 3 つの直交平面に沿ってリエントラント形状を含む、フィルタ材料である。

【0133】

実施形態 39 は、3 つの直交平面に沿ったリエントラント形状を含む第 1 の複数の構造  
が、多孔質材料の層に実質的に垂直な平面内の第 1 のリエントラント形状と、多孔質材料  
の層に実質的に平行な平面内の第 2 のリエントラント形状とを含む、実施形態 38 及び 4  
0 ~ 64 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

【0134】

実施形態 40 は、3 つの直交する平面に沿ったリエントラント形状を含む第 1 の複数の  
構造が、複数の接続されたウェブを含むウェブ付きシステムと、各ウェブの縁部から延びる  
リブとを含む、実施形態 38 ~ 39 及び 41 ~ 64 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料  
である。

【0135】

実施形態 41 は、ローブが、基材の表面に平行な平面内にリエントラント形状を画定す  
る、実施形態 38 ~ 41 及び 42 ~ 64 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

【0136】

実施形態 42 は、リブの各々が、同様の第 2 のリエントラント形状を含む、実施形態 4  
1 に記載のフィルタ材料である。

【0137】

実施形態 43 は、リブが、構造の長手方向軸に平行に延びる、実施形態 40 ~ 42 のい  
ずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

【0138】

実施形態 44 は、リブが、ステムから離れて凸状曲線を画定する、実施形態 43 に記載  
のフィルタ材料である。

【0139】

実施形態 45 は、リブがステムに向かって凹状曲線を画定する、実施形態 43 に記載の  
フィルタ材料である。

【0140】

実施形態 46 は、構造のサブセットが離散構造である、実施形態 38 ~ 45 及び 47 ~  
64 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

【0141】

実施形態 47 は、構造のサブセットが連続的なリエントラント構造を形成する、実施形  
態 38 ~ 46 及び 48 ~ 64 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

【0142】

実施形態 48 は、構造のサブセットが球形である、実施形態 38 ~ 47 及び 49 ~ 64  
のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

【0143】

実施形態 49 は、構造のサブセットが逆球状形状を有する、実施形態 38 ~ 48 及び 5

10

20

30

40

50

0 ~ 64 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

【0144】

実施形態 50 は、構造のサブセットがフードウー形状を有する、実施形態 38 ~ 49 及び 51 ~ 64 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

【0145】

実施形態 51 は、サブセット内の構造が、ブレークスルー流体の移動を制御するように構成されたパターンで配置されている、実施形態 38 ~ 50 及び 52 ~ 64 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

【0146】

実施形態 52 は、パターンが形状の円周を形成する実施形態 51 に記載のフィルタ材料である。 10

【0147】

実施形態 53 は、円周内に配置された構造が、構造のサブセットの一部ではない、実施形態 52 に記載のフィルタ材料である。

【0148】

実施形態 54 は、3 つの直交平面に沿ったリエントラント形状を有する第 2 の複数の構造を更に含み、第 2 の複数のリエントラント構造が、第 1 の複数の構造とは異なる、実施形態 38 ~ 53 及び 55 ~ 64 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

【0149】

実施形態 55 は、第 1 の複数の構造が第 1 の数のウェブを含み、第 2 の複数の構造が第 2 の数のウェブを含む、実施形態 54 に記載のフィルタ材料である。 20

【0150】

実施形態 56 は、第 1 の複数の構造がキャップを含み、第 2 の複数の構造がキャップを含まない、実施形態 54 に記載のフィルタ材料である。

【0151】

実施形態 57 は、ブレークスルー流体の移動を制御するために、3 つの直交平面に沿ったリエントラント形状を有する構造が、2 つの直交平面に沿ったリエントラント形状を有する構造に近接して配置される、実施形態 54 に記載のフィルタ材料である。

【0152】

実施形態 58 は、第 2 の複数の構造が、第 1 の複数の構造の平均直径よりも小さい平均直径を有する、実施形態 38 ~ 57 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。 30

【0153】

実施形態 59 は、実施形態 38 ~ 58 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料を含むフィルタ要素である。

【0154】

実施形態 60 は、複数の構造が、第 1 の表面及び第 1 の表面の反対側の第 2 の表面を有する第 2 の層を画定する連続構造を形成し、第 2 の層は、複数の構造の構造間に形成された複数の細孔を含み、第 2 の表面は、細孔の間に配置された 1 つ以上の溝を含む、実施形態 1 ~ 37 及び 59 のいずれか 1 つに記載のフィルタ材料である。

【0155】

実施形態 61 は、1 つ以上の溝が連続形状を形成し、各連続形状は 1 つ以上の細孔を取り囲む、実施形態 60 に記載のフィルタ材料である。 40

【0156】

実施形態 62 は、疎液性材料であって、第 1 の層であって、第 1 の表面と、第 1 の表面の反対側の第 2 の表面とを有する格子と、第 1 の側から第 2 の表面まで延在する複数の細孔であって、各細孔は第 1 の表面に隣接するリエントラント構造を含み、第 1 の表面を疎液性にする、複数の細孔と、を含む、第 1 の層を備える、疎液性材料である。第 1 の層は、任意選択で、第 2 の表面に沿って配置された複数の排水構造を更に含んでもよい。

【0157】

実施形態 63 は、複数の排水構造が、第 2 の表面から延びる突起を備える、実施形態 6 50

2の疎液性材料である。

【0158】

実施形態64は、複数の排水構造が第2の表面に溝を含む、実施形態62又は63に記載の疎液性材料である。

【0159】

実施形態65は、溝が連続形状を含み、各連続形状が1つ以上の細孔を取り囲む、実施形態64に記載の疎液性材料である。

【0160】

実施形態66は、第1の層の第2の表面に沿って配置された第2の層を更に備える、実施形態62～65のいずれか1つに記載の疎液性材料である。

10

【0161】

実施形態67は、第2の層が濾過媒体を含む、実施形態66に記載の疎液性材料である。

【実施例】

【0162】

実施例1

ブレイクスルー（濡れ）圧力の予測値は、上記の式を使用して計算される。実施例1では、縁部間隔は、図8の幾何学的形状1～9として特定される様々なパラメータを有するフードゥーに対して一定に保持される。図8の値は、表面張力が26 mN/m、接触角が44度の液体について提供される。

20

【0163】

ステム高さ及びキャップ高さの値は、幾何学的形状2及び3によって示されるように、ブレイクスルー圧力に影響を及ぼさないことを示すために、図8において切り取られている。

【0164】

幾何学的形状4～9は、一度に1つの特徴寸法を反復的に変化させ（網掛けの値で示す）、結果として生じるブレイクスルー圧力が図8の下部に示されている。ブレイクスルー圧力に対する最大の効果は、幾何学的形状5～9で観察され、実施例2で論じられる。

【0165】

実施例2

ブレイクスルー（濡れ）圧力の予測値は、上記の式を使用して計算される。実施例2では、縁部間隔は、図8の幾何学的形状1～9として特定される様々なパラメータを有するフードゥーに対して一定に保持される。図8の値は、表面張力が26 mN/m、接触角が44度の液体について提供される。

30

【0166】

図9は、ブレイクスルー圧力を最も変化させるパラメータを更に分析する。図9に見られるように、フードゥー角は、フードゥー角が増加するにつれてブレイクスルー圧力を増加させる。外側半径が減少すると、 $F_{CL}$ を増加させることによってブレイクスルー圧力が増加する。縁部間隔の減少は、 $A$ （液体の投影表面積）を減少させることによってブレイクスルー圧力を増加させる。内側半径が増加すると、接触線のピン留め位置を変更することによってブレイクスルー圧力が増加し、 $F_{CL}$ と $A$ の両方に影響を及ぼす。

40

【0167】

実施例3～5は、ステレオリソグラフィ（SLA）プリンタ（Form 3B, Formlabs, Somerville, MA, USA）を使用した3D印刷構造のブレイクスルー圧力を試験した。

【0168】

実施例3

リエントラント構造（すなわち、フードゥー）を、以下の表1に示す様々な先端半径及び間隔で上記のように3D印刷した。ブレイクスルー圧力は、シリンジを3D印刷構造に接着し、ブレイクスルーが観察されるまでシリンジに水を連続的に添加することによって

50

測定した。ブレークスルー圧力は、ブレークスルー前の水の水頭圧から算出した。実験的ブレークスルー圧力を、上記の式を使用して予測値と比較した。

【 0 1 6 9 】

【表 1】

表1

先端タイプ	先端半径 (mm)	間隔 (mm)	測定されたブレークスルー圧力(Pa)	予測ブレークスルー圧力(Pa)
滑らか	0.15	0.8	176 ± 3	249
	0.15	1.3	135 ± 17	170
シャープ	0.070	0.8	218 ± 9	304
	0.070	1.2	134 ± 5	205

10

【 0 1 7 0 】

測定されたブレークスルー圧力は、図 10 に見られるように、一貫して予測ブレークスルー圧力の約 70 % である。表 1 は、予測されるように、より小さい間隔がブレークスルー圧力の増加をもたらし、より鋭い先端（すなわち、外側半径の減少）がブレークスルー圧力の増加をもたらすことを示している。

【 0 1 7 1 】

実施例 4

リエントラント構造（すなわち、フードゥー）を、以下の表 2 に示す様々な先端半径及び間隔で上記のように 3D 印刷した。1 滴の水でブレークスルー圧力を測定した。液滴を疎水性プレートによってリエントラント構造に押し込んだ。液滴がリエントラント構造に押し込まれ、ブレークスルー圧力に変換されると、秤が質量の変化を記録した。

20

【 0 1 7 2 】

【表 2】

表2

先端タイプ	先端半径 (mm)	間隔 (mm)	測定されたブレークスルー圧力(Pa)	予測ブレークスルー圧力(Pa)
滑らか	0.15	1.5	65 ± 19	71
シャープ	0.070	1.1	97 ± 23	100

30

【 0 1 7 3 】

表 2 に示すように、測定されたブレークスルー圧力及び予測されたブレークスルー圧力は、低いブレークスルー圧力で比較的近い。この方法は、構造内に下向きではなくフードゥーを横切って横方向に移動する液滴から人工的に高いブレークスルー圧力を生成することができ、したがって、高いブレークスルー圧力を有する構造に注意して使用されるべきである。これは、表 2 の標準偏差が大きい理由でもあり得る。

40

【 0 1 7 4 】

実施例 5

リエントラント構造をマイクロスケールで複製し、いかなる化学コーティングも使用せずに低表面張力（ $> 20 \text{ mN/m}$ ）の液体をはじくように設計した。リエントラント構造（フードゥー）を、以下に記載される成形及び熱エンボス加工プロセスによって作製した。図 2 4 A は、リエントラント側面を有する印刷構造の細孔のうちの 1 つの概略側面図であり、出口側が上になるように上下逆にされている。図 2 4 B 及び図 2 4 C は、図 2 4 A から示される向きにリエントラント側面を有する単一の細孔の顕微鏡画像である（すなわち、出口側上）。

【 0 1 7 5 】

50

フェムト秒レーザでガラスをエッチングしてリエントラント構造（フードゥー）を形成することによって、マスタスタンプを作製した。マスタスタンプは、得られた高温エンボスフィルム貫通孔を穿孔する背の高いピン構造で設計された。次いで、マスタスタンプを電鋳によって直接複製してニッケルスタンプを作製した。脱型の容易さを確実にするために、電鋳の前に200nmの金属層をガラスマスタ上スパッタコーティングした。次いで、ニッケルスタンプをホットエンボスプロセスで使用して、最終的なリエントラント構造を作製した。ペンシルバニア州ピッツバーグのGoodfellow Corporationから製品ME 30-FM-000150として入手可能なポリメチルメタクリレート（PMMA）フィルム（厚さ50μm）を、シリコン層を上にして犠牲層として作用させるホットエンボスプロセスで使用した。背の高いピン構造は、50μmのPMMAフィルムを貫通して犠牲シリコン層に侵入し、貫通孔を形成する。PMMAフィルムは温度135℃、力2kNで5分間エンボス加工した。PMMAフィルムを100℃未満に冷却した後、力を解放した。

10

【0176】

## 実施例6

リエントラント構造（フードゥー）を上記のように3D印刷した。単一リエントラント構造を500μm又は1000μmの細孔径で印刷した。出口構造チャンネル幅は500μm又は1000μmのいずれかであり、全ての細孔を囲んでいた。リエントラント側面を有する細孔を有する連続格子を、出口構造（ドレイン）あり及びなしで調製した。

【0177】

20

試験液としては、0.5%ドデシル硫酸ナトリウム（SDS）を含む水を用いた。液滴の伝播を画像化しながら、試験液をシリンジで加圧してブレイクスルーを引き起こした。リエントラント構造アレイの下（図25）又は上（図28）のいずれかの加圧液量で試験を行った。図26A～図27C及び図29A～図29Eは、実験中に撮影された映像からキャプチャされた画像である。

【0178】

図26A～図26Cは、試料（図25に示すように、）の下から加えられた加圧体積で試験された、出口構造のない1000μmの細孔径を有するリエントラント構造アレイを示す。液体は、図26Aの矢印によって示される点Bで貫通し、アレイを横切って伝播し、アレイを横切って細孔を濡らすことによって広範な故障を引き起こす。

30

【0179】

図27A～図27Cは、試料の下から加えられた加圧体積で試験された、全ての細孔を取り囲む1000μmの出口構造チャンネル、500μm及び1000μmの細孔サイズを有し、1000μmの細孔が「欠陥」として作用するリエントラント構造アレイを示す。液体は、図27Bの矢印によって示される点Bで貫通し、チャンネル容積を満たし、細孔の周りを伝播し、広範な故障を防止する。

【0180】

図28は、試料の上から加えられた加圧体積で試験された、全ての細孔を取り囲む1000μmの出口構造チャンネル、500μm及び1000μmの細孔サイズを有し、1000μmの細孔が「欠陥」として作用するリエントラント構造アレイの試験設定を示す。場合によっては、ブレイクスルーが起こり（図29Aの矢印で示す点B）、場合によっては、図29Aの矢印によって示される点Bに示されるように、液体が試料から滴下し続ける。他の場合では、液体は、例えば図29D及び図29Eの点Dに示されるように、単一の細孔を貫通し、出口構造チャンネルのいくらかの体積を満たす。この場合の出口構造は、アレイの広範な故障を防止した。別段の指示がない限り、本明細書及び特許請求の範囲で使用される特徴のサイズ、量、及び物理的特性を表す全ての数字は、全ての場合において「約」という用語によって修飾されると理解されるべきである。したがって、反対のことが示されない限り、前述の明細書及び添付の特許請求の範囲に記載された数値パラメータは、本明細書に開示された教示を利用して当業者が得ようとする所望の特性に応じて変化し得る近似値である。終点による数値範囲の使用は、その範囲内の全ての数（例えば、1～

40

50

5は、1、1.5、2、2.75、3、3.80、4、及び5を含む)及びその範囲内の任意の範囲を含む。

【0181】

上記の説明は、例示及び説明の目的で提示されている。網羅的であること、又は実施形態を開示された正確な形態に限定することは意図されていない。上記の教示に照らして、多くの修正及び変形が可能である。開示された実施形態の任意の又は全ての特徴は、個別に又は任意の組み合わせで適用することができ、限定することを意味するものではなく、純粹に例示するものである。本発明の範囲は、この詳細な説明ではなく、むしろ添付の特許請求の範囲によって決定されることが意図されている。

【図面】

【図1A】

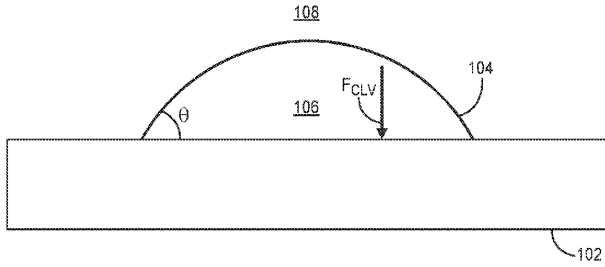


FIG. 1A

【図1B】

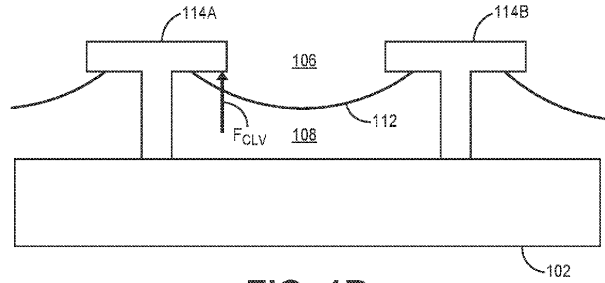


FIG. 1B

【図1C】

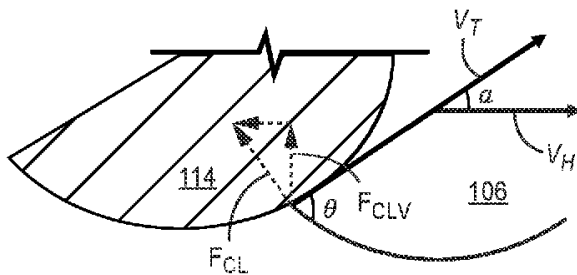


FIG. 1C

【図2A】

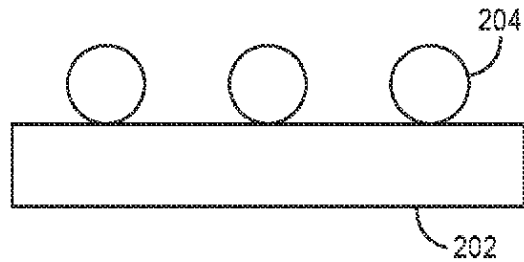


FIG. 2A

10

20

30

40

50

【 図 2 B 】

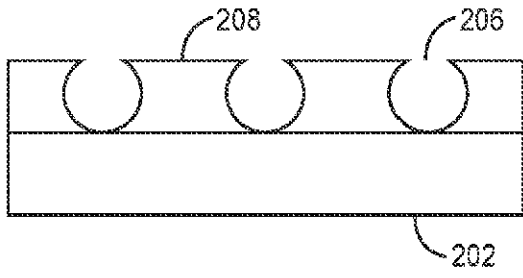


FIG. 2B

【 図 2 C 】

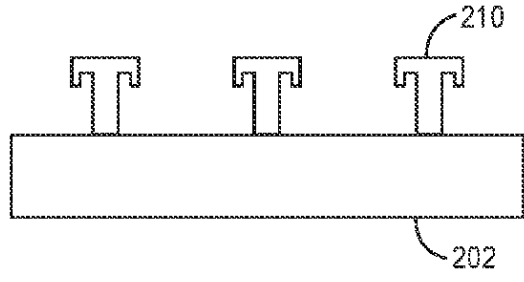


FIG. 2C

10

【 図 3 A 】



FIG. 3A

【 図 3 B 】

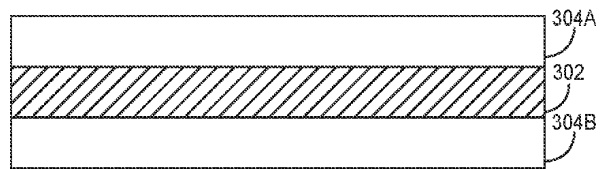


FIG. 3B

20

30

40

50

【 図 4 】

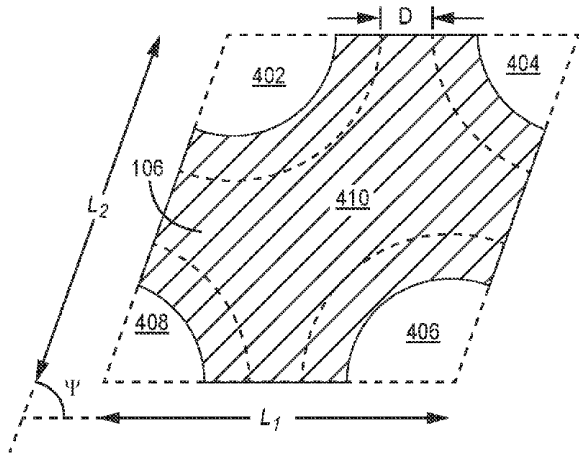


FIG. 4

【 図 5 A 】

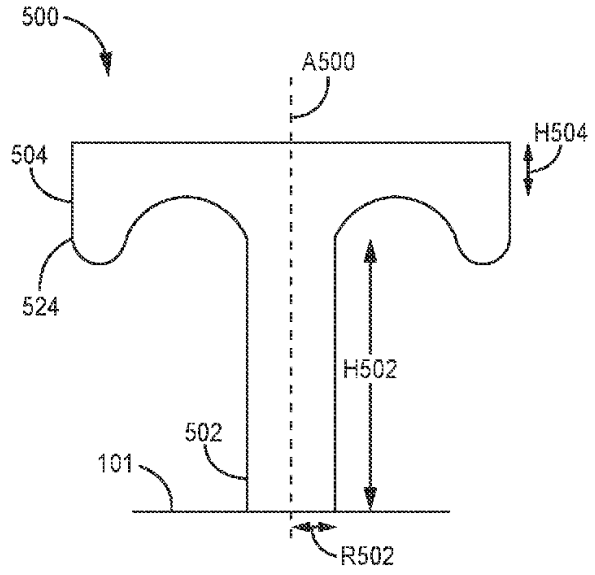


FIG. 5A

10

20

【 図 5 B 】

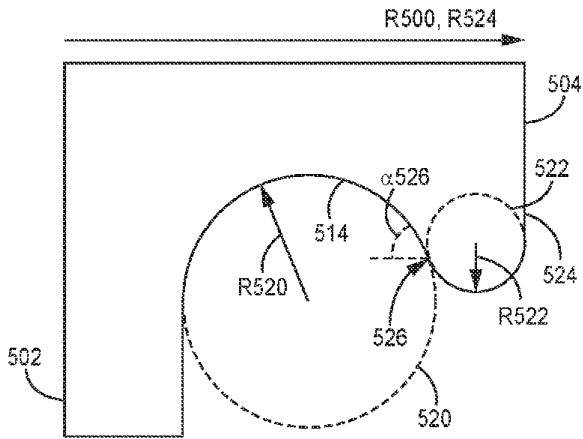


FIG. 5B

【 図 5 C 】

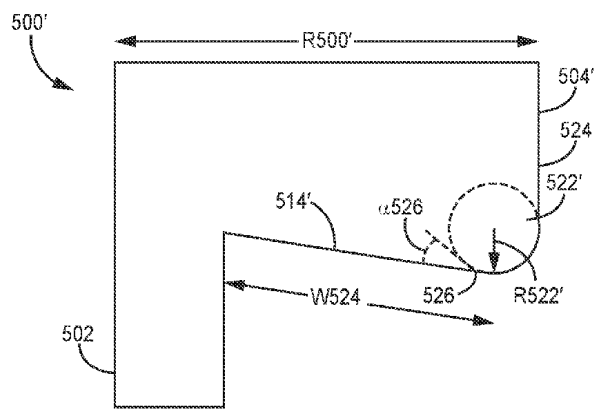


FIG. 5C

30

40

50

【 5 D 】

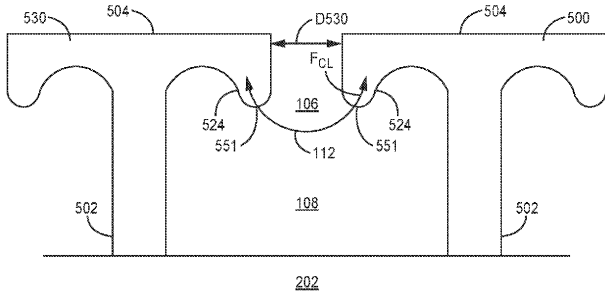


FIG. 5D

【 5 E 】

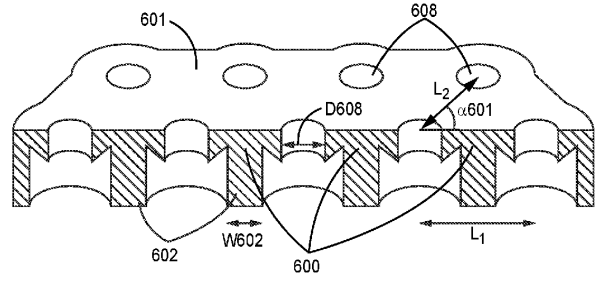


FIG. 5E

10

【 6 A 】

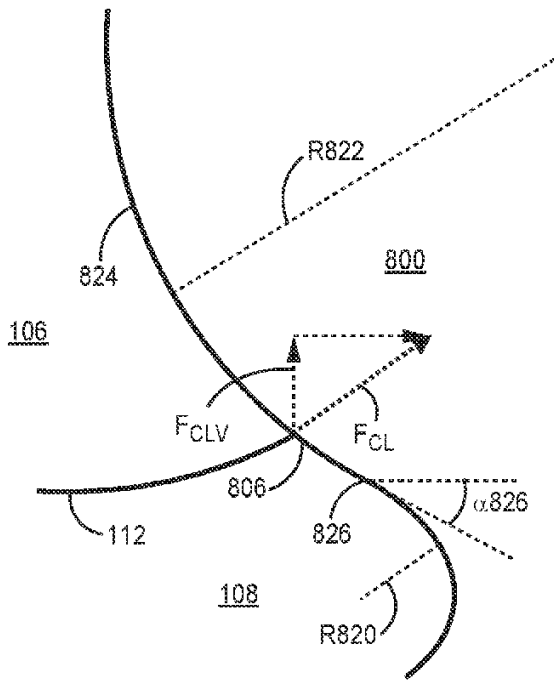


FIG. 6A

【 6 B 】

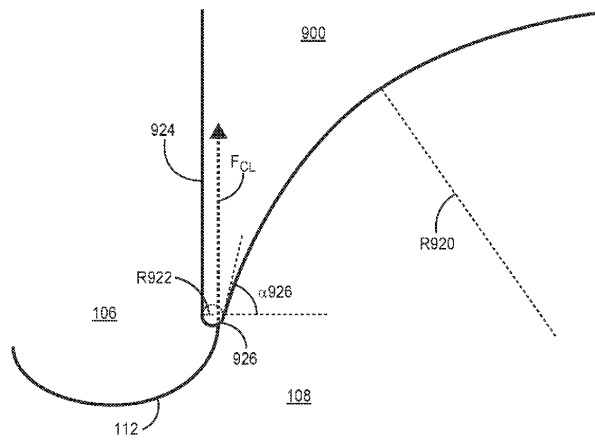


FIG. 6B

20

30

40

50

【 図 7 A 】

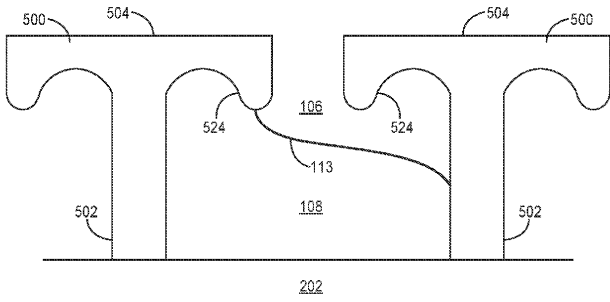


FIG. 7A

【 図 7 B 】

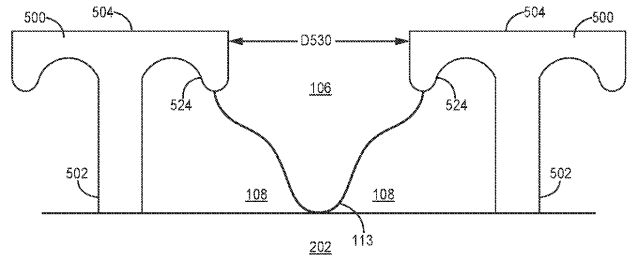


FIG. 7B

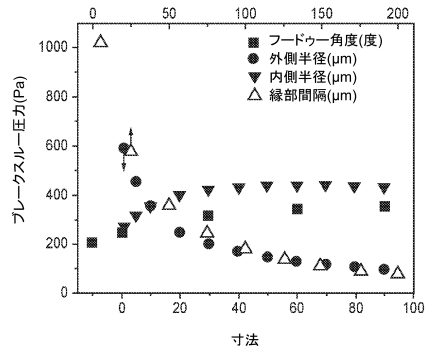
10

【 図 8 】

	形状 1	形状 2	形状 3	形状 4	形状 5	形状 6	形状 7	形状 8	形状 9
ステム高さ(μm)	30	1	30	30	30	30	30	30	30
キャップ高さ(μm)	1	1	10	1	1	1	1	1	1
ステム半径(μm)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
内側半径(μm)	10	10	10	10	20	10	10	10	10
外側半径(μm)	10	10	10	10	10	20	10	10	10
フード角度(°)	90	90	90	90	90	90	30	90	90
縁部間隔、x方向(μm)	50	50	50	50	50	50	50	200	200
縁部間隔、y方向(μm)	50	50	50	50	50	50	50	50	200
ブレイクスルー圧力(Pa)	353	353	353	379	397	252	314	157	74

図 8

【 図 9 】



寸法

図 9

20

30

40

50

【図 10】

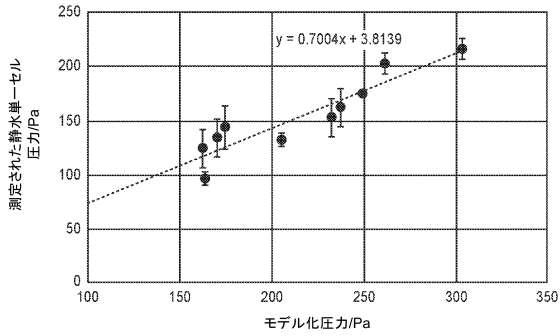


図 10

【図 11 A】

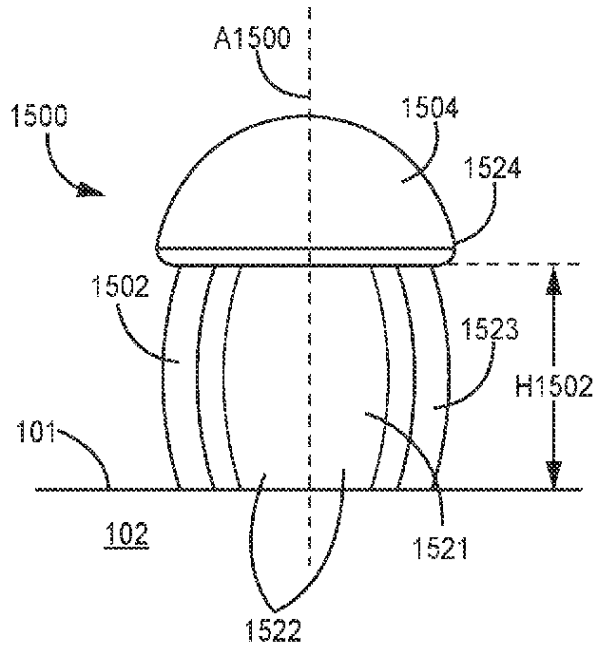


FIG. 11A

10

20

【図 11 B】

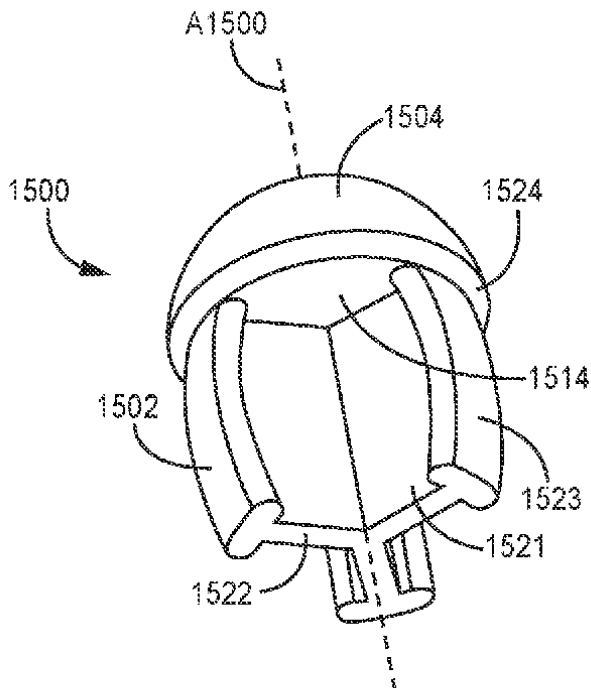


FIG. 11B

【図 11 C】

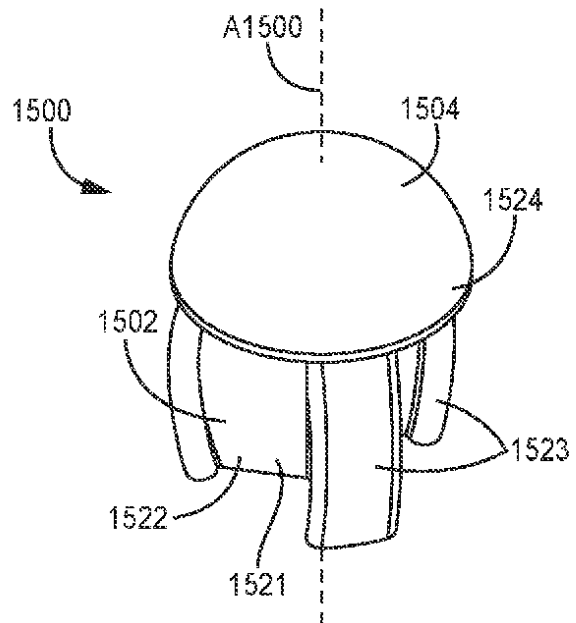


FIG. 11C

30

40

50

【図 12 A】

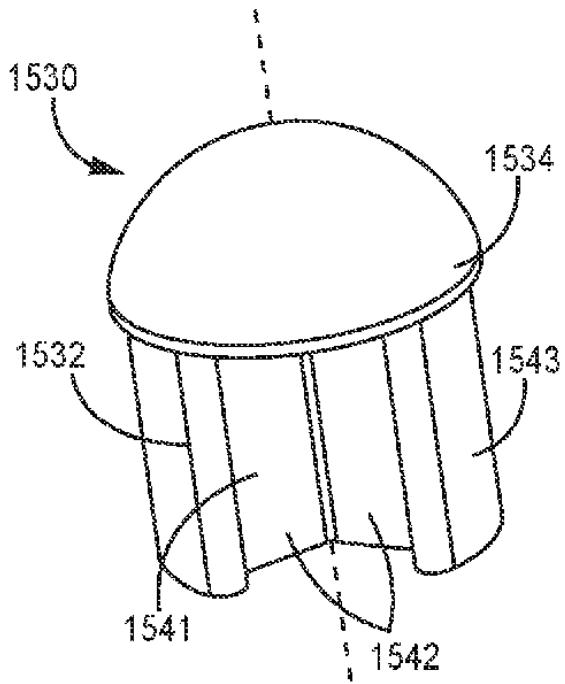


FIG. 12A

【図 12 B】

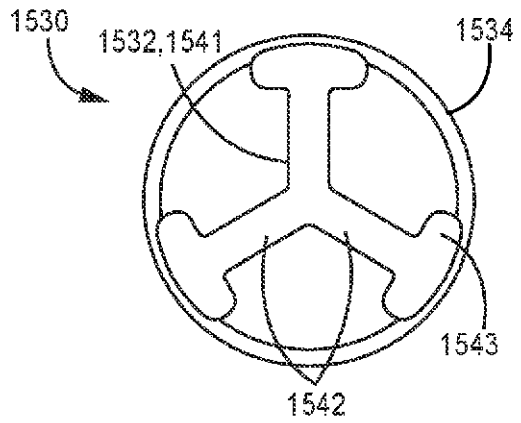


FIG. 12B

10

20

【図 13 A】

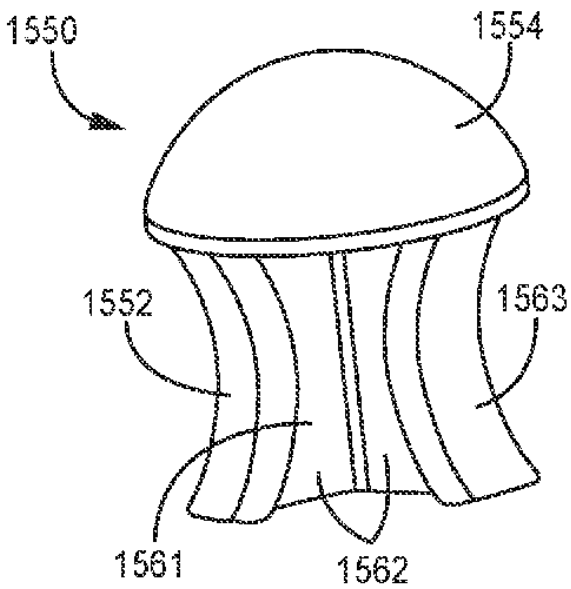


FIG. 13A

【図 13 B】

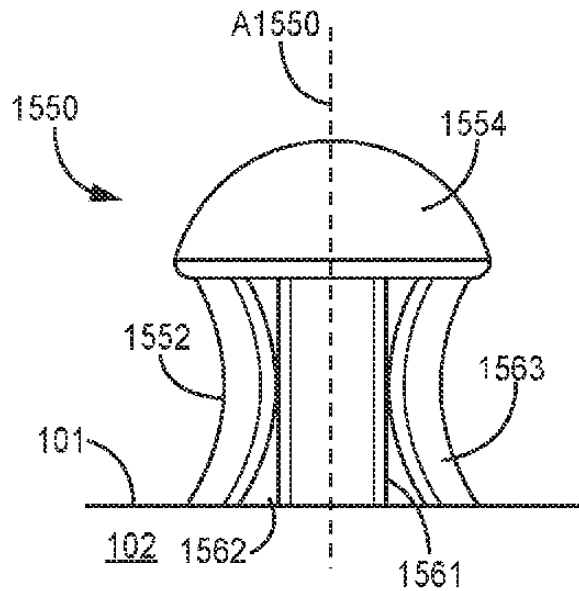


FIG. 13B

30

40

50

【 図 1 3 C 】

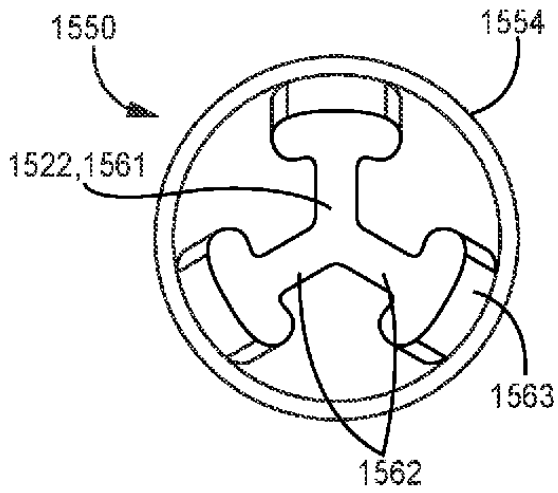


FIG. 13C

【 図 1 4 A 】

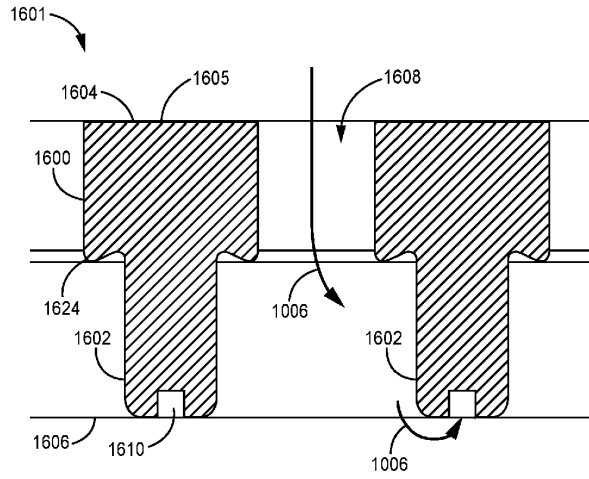


FIG. 14A

10

20

【 図 1 4 B 】

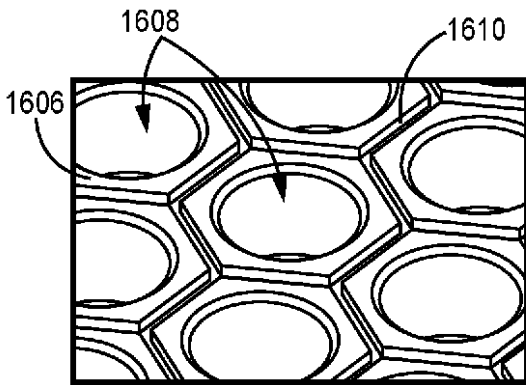


FIG. 14B

【 図 1 4 C 】

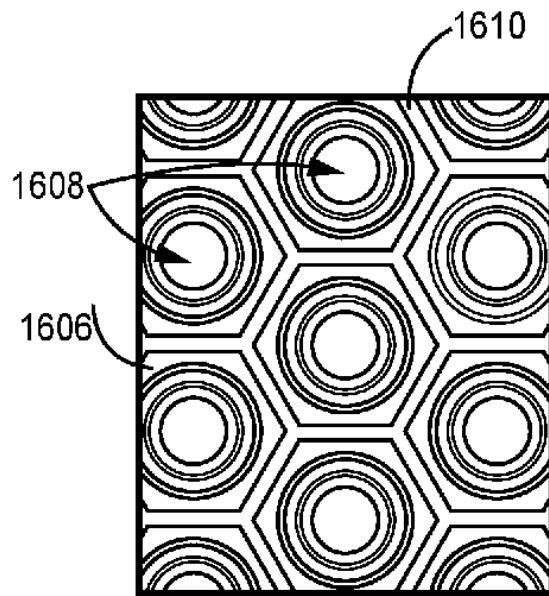


FIG. 14C

30

40

50

【 15 A 】

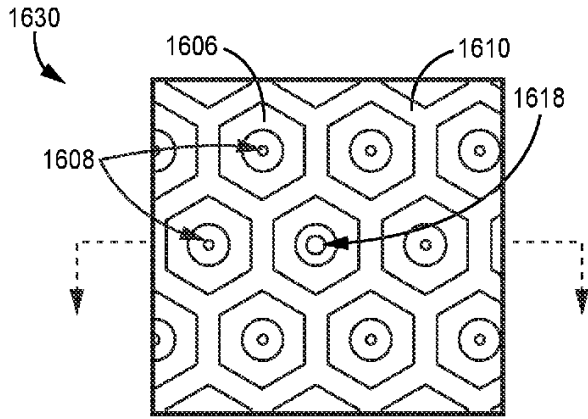


FIG. 15A

【 15 B 】

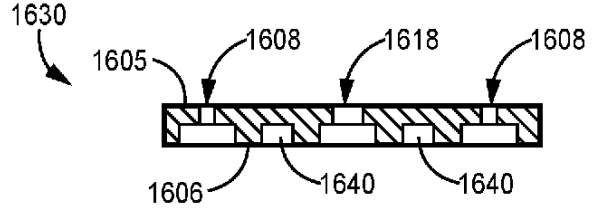


FIG. 15B

10

【 16 A 】

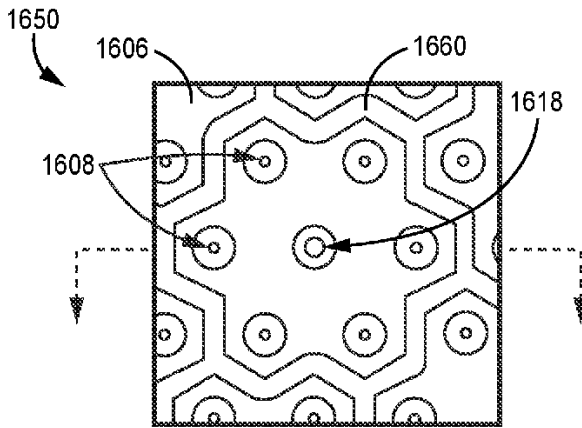


FIG. 16A

【 16 B 】

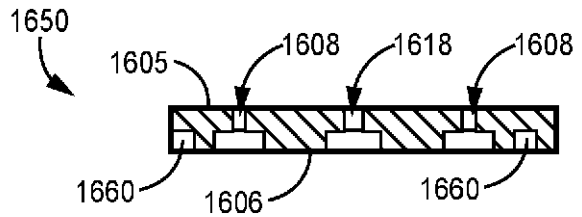


FIG. 16B

20

30

40

50

【 図 1 7 】

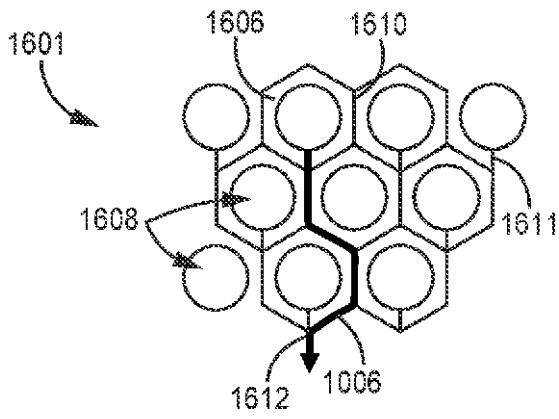


FIG. 17

【 図 1 8 】

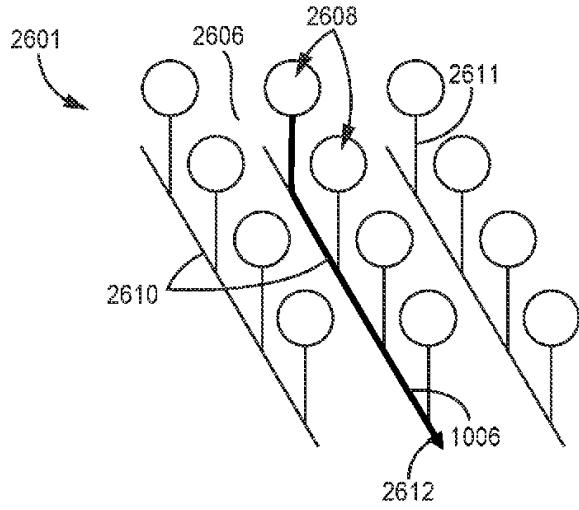


FIG. 18

【 図 1 9 】

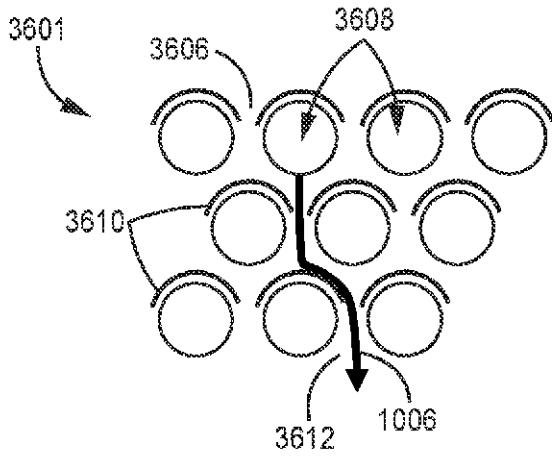


FIG. 19

【 図 2 0 】

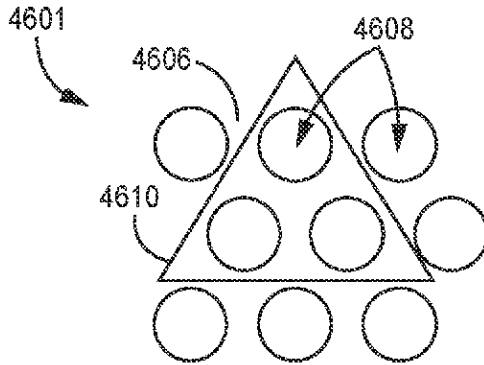


FIG. 20

10

20

30

40

50

【 図 2 1 】

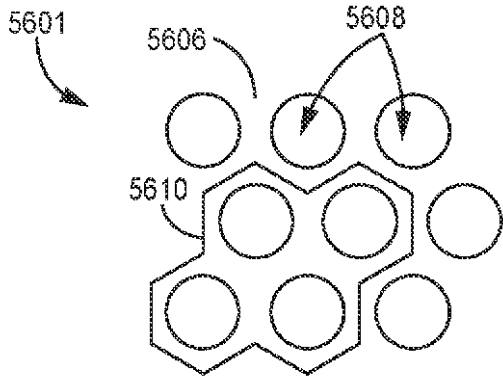


FIG. 21

【 図 2 2 】

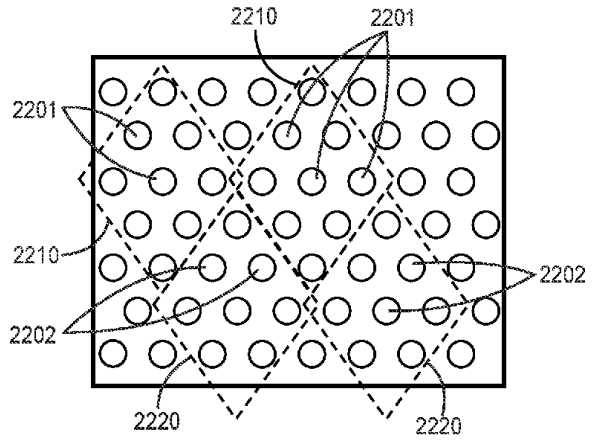


FIG. 22

10

【 図 2 3 】

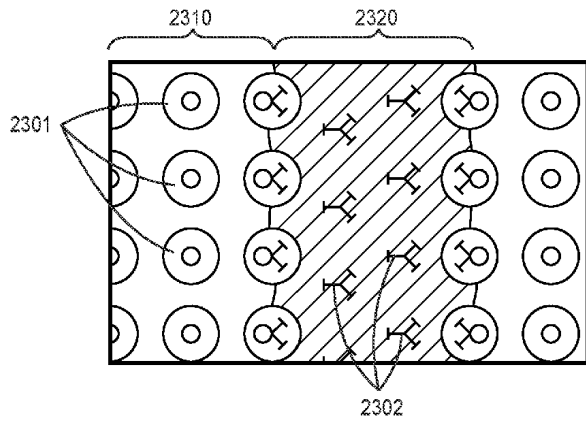


FIG. 23

【 図 2 4 A 】

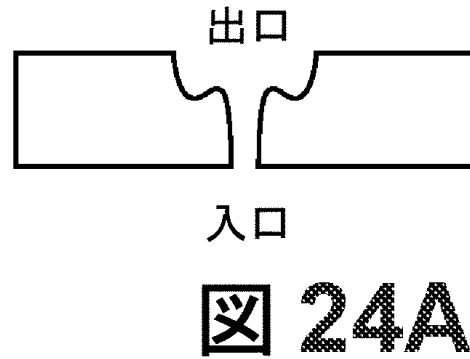


図 24A

20

30

40

50

【 図 2 4 B 】

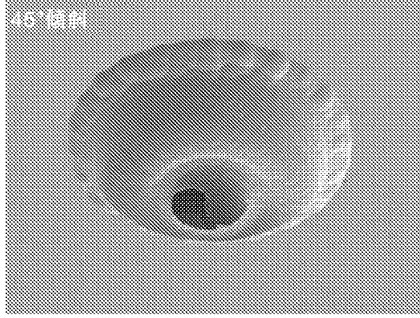


図 24B

【 図 2 4 C 】

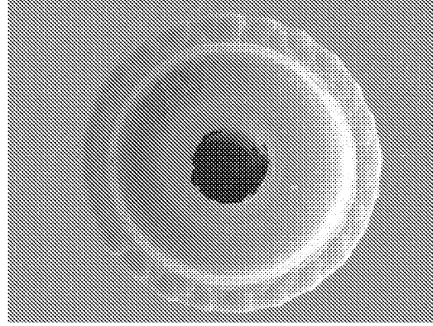


図 24C

10

【 図 2 5 】

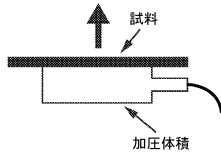


図 25

【 図 2 6 A 】

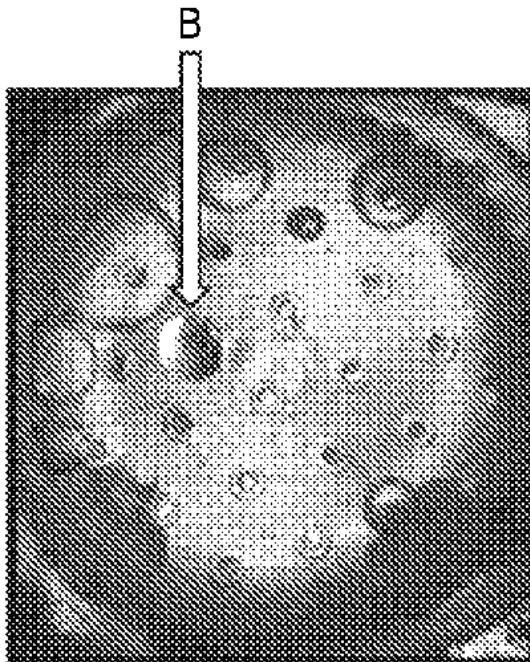


FIG. 26A

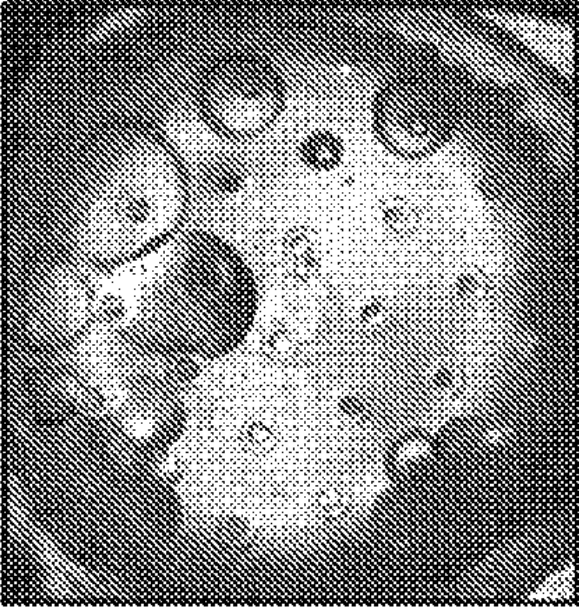
20

30

40

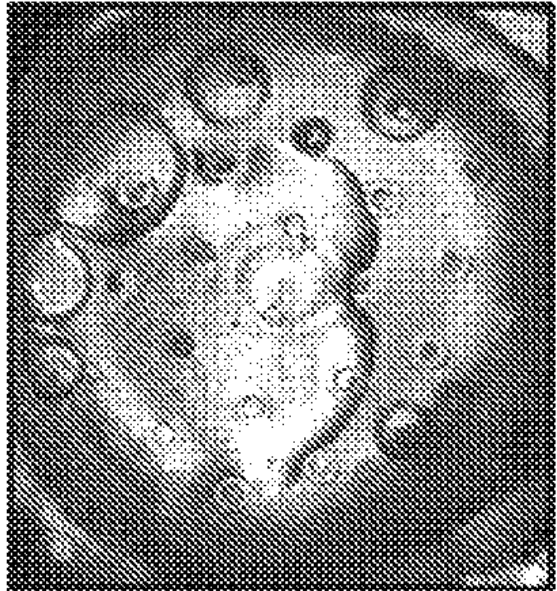
50

【 2 6 B 】



**FIG. 26B**

【 2 6 C 】

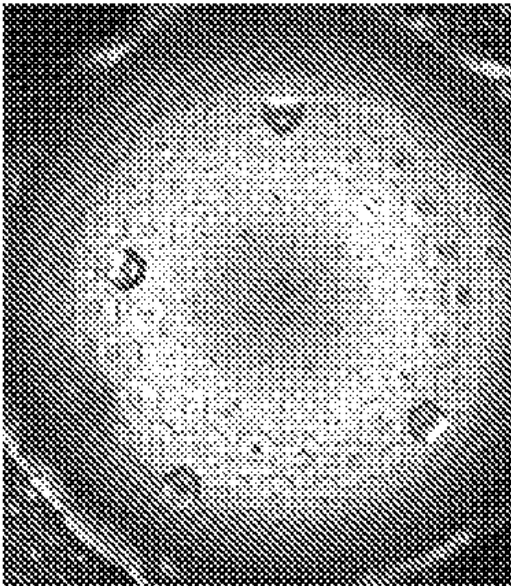


**FIG. 26C**

10

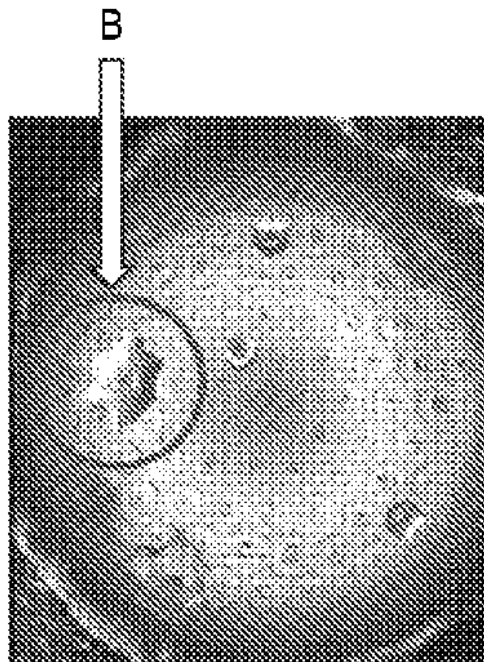
20

【 2 7 A 】



**FIG. 27A**

【 2 7 B 】



**FIG. 27B**

30

40

50

【 27 C 】

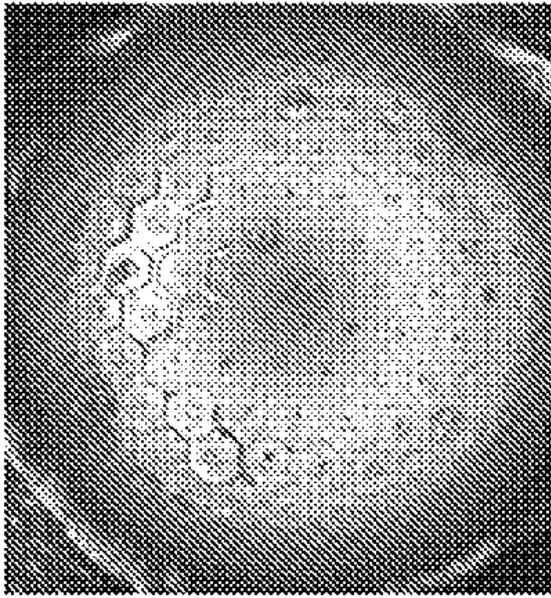


FIG. 27C

【 28 】

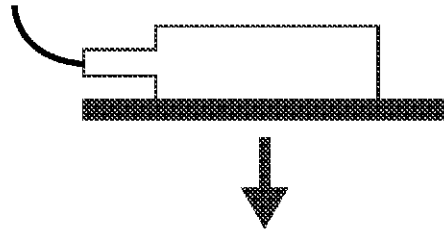


FIG. 28

10

20

【 29 A 】

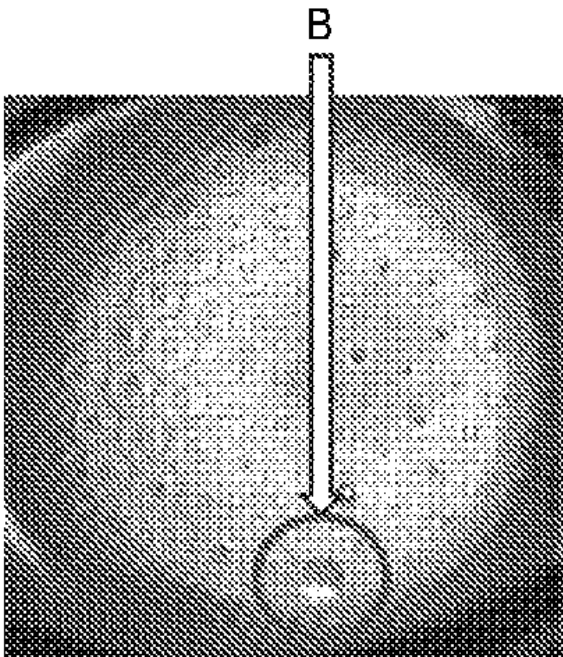


FIG. 29A

【 29 B 】

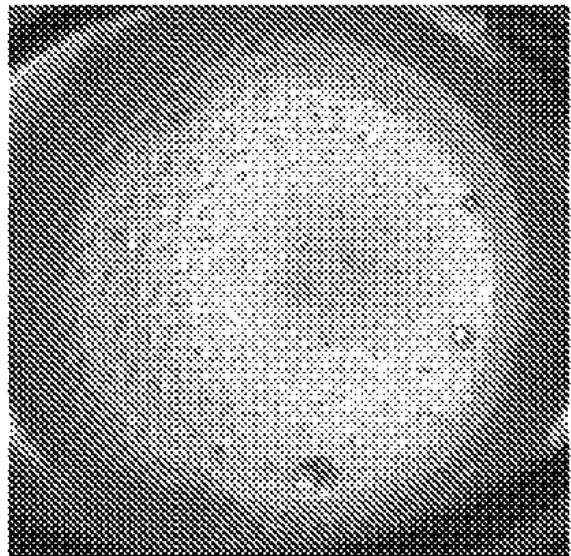


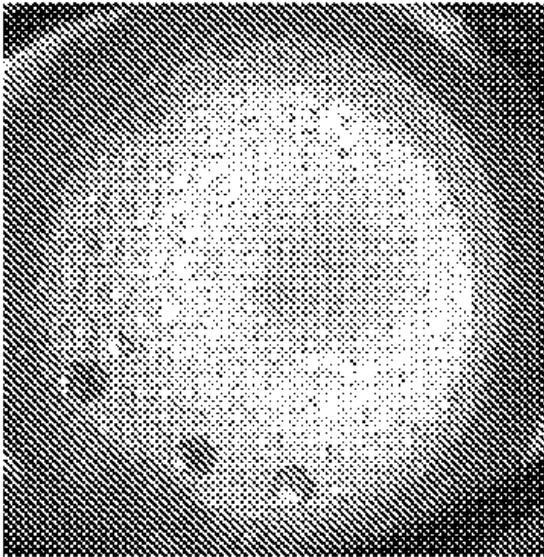
FIG. 29B

30

40

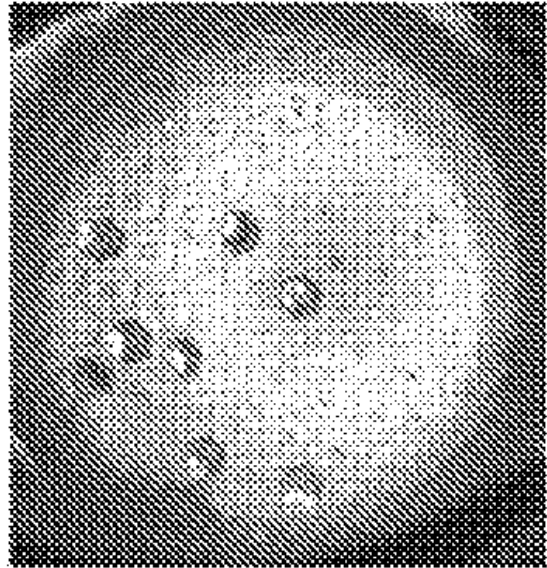
50

【 29 C 】



**FIG. 29C**

【 29 D 】

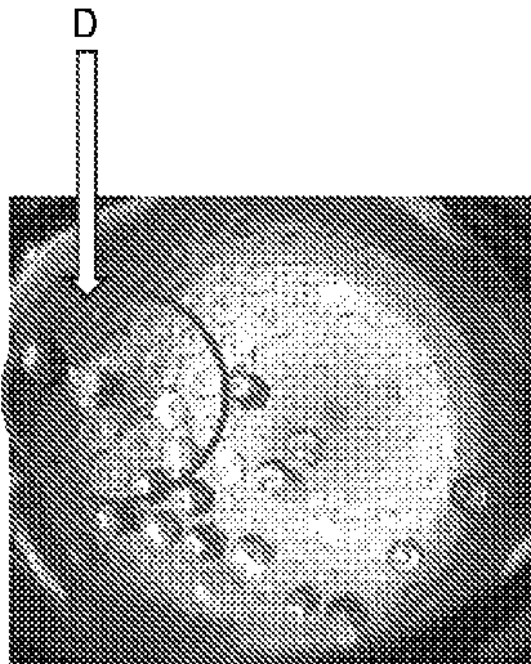


**FIG. 29D**

10

20

【 29 E 】



**FIG. 29E**

30

40

50

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/US2022/031119

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
INV. B01D39/16 B01D46/00 B01D46/54		
ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B01D		
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		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 3 726 947 A1 (NITTO DENKO CORP [JP]) 21 October 2020 (2020-10-21)	1-4, 7-10, 16-21
Y	paragraphs [0008], [0015], [0017],	5, 6
A	[0034] - [0037], [0041]; figures 1,2,3a	11-15
X	US 2008/257153 A1 (HARP GARY P [US]) 23 October 2008 (2008-10-23)	1-4, 7-10, 16-21
Y	paragraphs [0001], [0006], [0007],	5, 6
A	[0022] - [0027], [0030] - [0032]; figures 2-5	11-15
	----- -/--	
<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	"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	
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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	
"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)	"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	
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search <b>16 August 2022</b>	Date of mailing of the international search report <b>26/08/2022</b>	
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 <b>Howe, Patrick</b>	

10

20

30

40

1

50

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/US2022/031119

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2018/085376 A2 (OHIO STATE INNOVATION FOUNDATION [US]) 11 May 2018 (2018-05-11)	1-4, 7-10, 16-21
Y	page 2, lines 5-17; figure 12	5, 6
A	page 7, lines 7-9 page 15, line 28 - page 16, line 31	11-15
X	EP 2 583 733 A1 (NITTO DENKO CORP [JP]) 24 April 2013 (2013-04-24)	1-4, 7-10, 16-21
Y	paragraphs [0001], [0007], [0014] -	5, 6
A	[0019], [0022], [0027] - [0029]; figures 1, 2	11-15
Y	WO 2015/048504 A2 (UNIV CALIFORNIA [US]) 2 April 2015 (2015-04-02)	5, 6
A	paragraphs [0005] - [0008], [0039], [0053]; figures 2a,b, 7, 8, 9a-c	1-4, 7-21
X,P	DE 10 2020 209732 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 3 February 2022 (2022-02-03)	1, 11, 18
	paragraphs [0009], [0016] - [0018], [0023], [0026], [0028], [0031], [0034], [0035], [0057] - [0062]; figures 6-10	
A	JP 2015 000371 A (NIHON VALQUA KOGYO KK) 5 January 2015 (2015-01-05)	1-21
	the whole document	

10

20

30

40

1

50

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2022/031119

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
EP 3726947	A1	21-10-2020	BR 112020011311 A2	17-11-2020
			CA 3085286 A1	20-06-2019
			CN 111448850 A	24-07-2020
			EP 3726947 A1	21-10-2020
			JP WO2019117158 A1	07-01-2021
			KR 20200096953 A	14-08-2020
			US 2020298188 A1	24-09-2020
			WO 2019117158 A1	20-06-2019
US 2008257153	A1	23-10-2008	AU 2008244578 A1	06-11-2008
			CA 2684738 A1	06-11-2008
			CN 101678256 A	24-03-2010
			EP 2139580 A2	06-01-2010
			JP 5960660 B2	02-08-2016
			JP 2010524799 A	22-07-2010
			JP 2014028661 A	13-02-2014
			KR 20100003299 A	07-01-2010
			US 2008257153 A1	23-10-2008
			WO 2008133869 A2	06-11-2008
WO 2018085376	A2	11-05-2018	US 2019300718 A1	03-10-2019
			WO 2018085376 A2	11-05-2018
EP 2583733	A1	24-04-2013	CN 102985153 A	20-03-2013
			EP 2583733 A1	24-04-2013
			JP 5734042 B2	10-06-2015
			JP 5898800 B2	06-04-2016
			JP 2012020279 A	02-02-2012
			JP 2015164728 A	17-09-2015
			KR 20130024950 A	08-03-2013
			KR 20170120211 A	30-10-2017
			KR 20190042749 A	24-04-2019
			US 2013074691 A1	28-03-2013
			US 2015174517 A1	25-06-2015
WO 2011158408 A1	22-12-2011			
WO 2015048504	A2	02-04-2015	US 2016207083 A1	21-07-2016
			WO 2015048504 A2	02-04-2015
DE 102020209732	A1	03-02-2022	CN 114053760 A	18-02-2022
			DE 102020209732 A1	03-02-2022
JP 2015000371	A	05-01-2015	CN 204159234 U	18-02-2015
			JP 2015000371 A	05-01-2015

10

20

30

40

50

## フロントページの続き

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,IQ,IR,IS,IT,JM,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,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

フォース ストリート 1400

(72)発明者 モラヴェック, デビス ビー.

アメリカ合衆国 ミネソタ 55431, ブルーミントン, ウエスト ナインティフォース ストリート 1400

(72)発明者 ダラス, アンドリュウ ジェイ.

アメリカ合衆国 ミネソタ 55431, ブルーミントン, ウエスト ナインティフォース ストリート 1400

(72)発明者 シャオ, ティアンヘン

イギリス国 ロイストン エスジ-8 6イーイー, メルボルン, メルボルン サイエンス パーク ティーティーピー ピーエルシー内

(72)発明者 ジャンセヴァン レンスバーグ, リチャード ダブリュ.

イギリス国 ロイストン エスジ-8 6イーイー, メルボルン, メルボルン サイエンス パーク ティーティーピー ピーエルシー内

(72)発明者 ジャクソン, ピーター

イギリス国 ロイストン エスジ-8 6イーイー, メルボルン, メルボルン サイエンス パーク ティーティーピー ピーエルシー内

(72)発明者 スコット, ブレイン

イギリス国 ロイストン エスジ-8 6イーイー, メルボルン, メルボルン サイエンス パーク ティーティーピー ピーエルシー内

F ターム (参考) 4D019 AA03 BA02 BA13 BA16 BB08 BB09 BB10 BB12 BC13 BC20  
BD01 BD03 CB06