

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2021-30179

(P2021-30179A)

(43) 公開日 令和3年3月1日(2021.3.1)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 0 1 J 19/08 (2006.01)	B 0 1 J 19/08 E	4 C 0 8 1
A 6 1 F 2/28 (2006.01)	A 6 1 F 2/28	4 C 0 9 7
A 6 1 L 27/12 (2006.01)	A 6 1 L 27/12	4 G 0 1 9
A 6 1 L 27/18 (2006.01)	A 6 1 L 27/18	4 G 0 7 5
A 6 1 L 27/56 (2006.01)	A 6 1 L 27/56	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 17 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2019-155512 (P2019-155512)
 (22) 出願日 令和1年8月28日 (2019.8.28)

(71) 出願人 519135633
 公立大学法人大阪
 大阪府大阪市阿倍野区旭町一丁目2番7-601号
 (74) 代理人 110002273
 特許業務法人インターブレイン
 (72) 発明者 白藤 立
 大阪府大阪市住吉区杉本3丁目3番138号 公立大学法人大阪 大阪市立大学内
 (72) 発明者 呉 準席
 大阪府大阪市住吉区杉本3丁目3番138号 公立大学法人大阪 大阪市立大学内
 Fターム(参考) 4C081 AB04 CA161 CF021 CF031 DB03 EA01

最終頁に続く

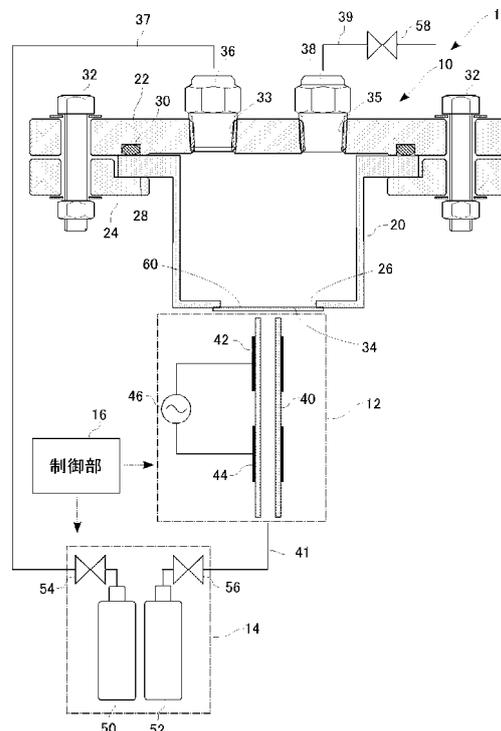
(54) 【発明の名称】 多孔質体の改質方法および改質装置

(57) 【要約】

【課題】 多孔質体の改質を効率的に実現可能な方法および装置を提供する。

【解決手段】 ある態様の改質方法は、誘電体である連続多孔体の表面から裏面にわたりキャリアガスを浸透させる浸透工程と、連続多孔体の表面にプラズマを照射する照射工程と、を備える。ある態様の改質装置1は、誘電体である連続多孔体を収容可能であり、キャリアガスが満たされる処理室と、処理室にて連続多孔体を保持する保持面と、処理室に向けて延び、キャリアガスが満たされる伝搬路と、伝搬路に沿って設けられ、プラズマを発生させる電極と、を備える。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

誘電体である連続多孔体の表面から裏面にわたりキャリアガスを浸透させる浸透工程と

、

前記連続多孔体の表面にプラズマを照射する照射工程と、
を備えることを特徴とする多孔質体の改質方法。

【請求項 2】

前記浸透工程は、前記連続多孔体の全体にキャリアガスを充填させることを特徴とする請求項 1 に記載の多孔質体の改質方法。

【請求項 3】

前記浸透工程は、前記連続多孔体をキャリアガスの雰囲気中に配置してなされることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の多孔質体の改質方法。

【請求項 4】

前記浸透工程において前記連続多孔体に供給されるキャリアガスと、前記照射工程においてプラズマを照射方向に伝搬するキャリアガスとが、空間的に分離されることを特徴とする請求項 3 に記載の多孔質体の改質方法。

【請求項 5】

前記浸透工程が大気圧下でなされることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の多孔質体の改質方法。

【請求項 6】

前記連続多孔体が骨再生用スキャフォールドであることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の多孔質体の改質方法。

【請求項 7】

誘電体である連続多孔体を収容可能であり、キャリアガスが満たされる処理室と、
前記処理室にて前記連続多孔体を保持する保持面と、
前記処理室に向けて延び、キャリアガスが満たされる伝搬路と、
前記伝搬路に沿って設けられ、プラズマを発生させる電極と、
を備える多孔質体の改質装置。

【請求項 8】

前記処理室を形成し、キャリアガスの雰囲気が内部に形成される容器を備え、
前記容器の底面が前記保持面として前記連続多孔体を非固定状態で載置させる載置面であることを特徴とする請求項 7 に記載の多孔質体の改質装置。

【請求項 9】

前記容器にキャリアガスの入口および出口が設けられ、
前記容器の入口はキャリアガスを供給可能な浸透用ガス供給部を備えることを特徴とする請求項 8 に記載の多孔質体の改質装置。

【請求項 10】

前記伝搬路が管路であり、
前記管路に沿ってキャリアガスを流すことが可能な伝搬用ガス供給部を備えることを特徴とする請求項 8 又は 9 に記載の多孔質体の改質装置。

【請求項 11】

前記管路の軸線上に前記容器の前記載置面があることを特徴とする請求項 10 に記載の多孔質体の改質装置。

【請求項 12】

誘電体である連続多孔体が配置される処理空間と外部空間とを区画する仕切壁と、
前記処理空間に設けられ、前記連続多孔体を保持する保持面と、
前記外部空間において前記仕切壁に向けて延び、キャリアガスが満たされる伝搬路と、
前記伝搬路に沿って設けられ、プラズマを発生させる電極と、
を備え、
前記仕切壁が誘電体からなることを特徴とする多孔質体の改質装置。

10

20

30

40

50

【請求項 1 3】

前記仕切壁は、プラズマを透過させる部分において、単位面積あたりの静電容量が $1.3 \times 10^{-8} \text{ F/m}^2$ 以上となるように材質および厚みが設定されていることを特徴とする請求項 1 2 に記載の多孔質体の改質装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、多孔質体を改質させる方法および装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

10

医療現場では、外傷や手術により骨欠損を負った患者に対し、骨移植による欠損部の修復を施すことがある。骨移植には自家骨移植、同種骨移植、人工骨移植等の手法がある。自家骨移植は患者自身の骨を採取して移植するものであるが、採取できる量に限りがあるだけでなく、採取に伴う合併症（採骨部痛や神経血管損傷等）を引き起こす可能性がある。同種骨移植は人工関節手術などで不要となった骨や、亡くなった人から提供された骨などを保存して使用するものであるが、他人の骨であるため患者に抵抗感をもたせやすい。また、未知の感染症伝播の原因となり得ることも否定できない。この点、人工骨移植は人工的に合成されたバイオマテリアルを移植するものであるため、量的制限や感染症のリスクがない。このため、近年その研究が進められている。

【0003】

20

人工骨移植に用いるバイオマテリアルは、スキャフォールド（骨修復の足場）と呼ばれる。スキャフォールドとしては、ヒドロキシアパタイトやリン酸三カルシウム（以下「TCP」と表記する）等のバイオセラミックスからなる多孔質体が用いられる。スキャフォールドを多孔質体とすることで、移植後のスキャフォールドと新生骨細胞との反応を促進している（例えば特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0004】**

【特許文献 1】国際公開第 2017/209136 号

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】**【0005】**

しかしながら、一般に、人工骨移植後に新生骨がスキャフォールドを覆い安定化するまでには相当な時間を要する。スキャフォールドが疎水性の表面をもつため、血液が浸透し難く、骨細胞（骨芽細胞、破骨細胞）との親和性をとり難いためである。人工骨移植においてスキャフォールドを実用に供するものとするためには、これを改質して親水性を高めることはもちろん、その改質を迅速に行えることが必要となる。

【0006】

なお、多孔質体の親水性を高める技術は、人工骨移植をはじめとする医療分野だけでなく、例えばヒートマネジメントのために多孔質体に熱伝導流体を流すなど、工業その他の分野にも求められることがある。さらに、多孔質体の改質という観点では親水性に限らず、例えば殺菌や滅菌性能の向上などその他の改質も求められ得る。

40

【0007】

本発明はこのような課題に鑑みてなされたものであり、その目的の一つは、多孔質体の改質を効率的に実現可能な方法および装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】**【0008】**

本発明のある態様は、多孔質体の改質方法である。この方法は、誘電体である連続多孔体の表面から裏面にわたりキャリアガスを浸透させる浸透工程と、連続多孔体の表面にプラズマを照射する照射工程と、を備える。

50

【 0 0 0 9 】

本発明の別の態様は、多孔質体の改質装置である。この装置は、誘電体である連続多孔体を収容可能であり、キャリアガスが満たされる処理室と、処理室にて連続多孔体を保持する保持面と、処理室に向けて延び、キャリアガスが満たされる伝搬路と、伝搬路に沿って設けられ、プラズマを発生させる電極と、を備える。

【 0 0 1 0 】

本発明のさらに別の態も多孔質体の改質装置である。この装置は、誘電体である連続多孔体が配置される処理空間と外部空間とを区画する仕切壁と、処理空間に設けられ、連続多孔体を保持する保持面と、外部空間において仕切壁に向けて延び、キャリアガスが満たされる伝搬路と、伝搬路に沿って設けられ、プラズマを発生させる電極と、を備える。仕切壁は誘電体からなる。

10

【 発明の効果 】

【 0 0 1 1 】

本発明によれば、多孔質体の改質を効率的に実現可能な方法および装置を提供できる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 2 】

【 図 1 】 実施形態におけるスキャフォールドの用途を概略的に表す図である。

【 図 2 】 実施形態にかかる改質装置を模式的に表す図である。

【 図 3 】 改質装置の使用状態を表す図である。

【 図 4 】 スキャフォールドと反応容器の外観を表す図である。

20

【 図 5 】 プラズマ弾丸の伝搬を検証する実験およびその結果を表す図である。

【 図 6 】 プラズマ弾丸の伝搬を検証する実験およびその結果を表す図である。

【 図 7 】 プラズマ弾丸の伝搬を検証する実験およびその結果を表す図である。

【 図 8 】 プラズマ弾丸の伝搬を検証する実験およびその結果を表す図である。

【 図 9 】 プラズマ弾丸の伝搬を検証する実験およびその結果を表す図である。

【 図 1 0 】 スキャフォールドの改質方法を模式的に表す図である。

【 図 1 1 】 本実施形態の効果を表す図である。

【 図 1 2 】 本実施形態の効果を表す図である。

【 図 1 3 】 変形例を模式的に表す図である。

【 図 1 4 】 変形例を模式的に表す図である。

30

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 3 】

以下、本発明の実施形態を、図面を参照して詳細に説明する。なお、以下の実施形態およびその変形例について、ほぼ同一の構成要素については同一の符号を付し、その説明を適宜省略する。

【 0 0 1 4 】

図 1 は、実施形態におけるスキャフォールドの用途を概略的に表す図である。図 1 (A) はスキャフォールドの外観を示し、図 1 (B) は骨再生過程を模式的に示す。

スキャフォールド 1 0 0 は、本実施形態の改質方法により親水性が高められ、骨再生に利用される。図 1 (A) に示すように、スキャフォールド 1 0 0 は、多孔質体を表面から裏面にかけて空孔がつながるように成形した連続多孔体である。

40

【 0 0 1 5 】

この連続多孔体は誘電体であり、その素材としては、ヒドロキシアパタイト、 - T C P、ポリ乳酸 (以下「 P L A 」と表記する) などを採用できる。ヒドロキシアパタイトは、骨が再生されるまで安定した強度が得られる点で好ましい。 - T C P は、ヒドロキシアパタイトと比較して機械的強度は小さいが、骨再生とともに分解されて体内に残り難い点で好ましい。 P L A は生分解性プラスチックであり、骨との置換性に優れ、体内に残らない点で好ましい。スキャフォールド 1 0 0 は、 3 D プリント等により作製できる。本実施形態では、スキャフォールド 1 0 0 の親水性を向上させるためにプラズマ照射による改質処理を行うが、その詳細については後述する。

50

【0016】

骨再生においては、図1(B)左段に示すようにスキャフォールド100を骨101の欠損部102に埋め込む。そうすると図1(B)中段に示すように、欠損部102の骨細胞が血液を介してスキャフォールド100に浸透し、骨再生が促進される。スキャフォールド100としてPLA等を用いた場合、図1(B)右段に示すように、成長した骨とスキャフォールド100とが良好に置換され、骨再生が実現する。

【0017】

本実施形態では、このような骨再生を実現するためのスキャフォールド100の製造方法および装置、つまり多孔質体の改質方法および装置を提供する。以下、その詳細について具体的に説明する。

10

【0018】

図2は、実施形態にかかる改質装置を模式的に表す図である。

改質装置1は、反応容器10、プラズマ装置12、ガス供給装置14および制御部16を備える。反応容器10は、スキャフォールド100を収容して改質処理を行うための容器である(図3参照)。反応容器10は、有底円筒状のケース20、円板状の蓋体22および環状の支持部材24を有する。これらはいずれもガラスからなる。

【0019】

ケース20の上端開口部は、蓋体22により閉止される。ケース20の上端には半径方向外向きに延びるフランジ部28が設けられている。フランジ部28の上面と蓋体22の下面との間にシール部材としてのリング30が介装される。蓋体22と支持部材24とをフランジ部28を挟むようにして上下に突き合わせ、複数のボルト32で締結することによりケース20と蓋体22とが固定される。

20

【0020】

ケース20の底部中央には開口部26(円孔)が設けられ、その開口部26を閉じるように仕切板34が接合されている。仕切板34は誘電体からなる円板状の薄板(本実施形態では厚み3mmのガラス板)であり、ケース20の底面に接着されている。蓋体22の中央部には、ケース20の内外を連通させる連通孔33,35が設けられ、それぞれ配管接続用のコネクタが設けられている。これらのコネクタの一方に入口ポート36、他方に出口ポート38が形成されている。入口ポート36には、ガス供給装置14の配管37が接続される。出口ポート38には、ガスの排出経路となる配管39が接続される。

30

【0021】

プラズマ装置12は、キャリアガスの伝搬路を形成するガイド管40、ガイド管40に沿って設けられた第1電極42,第2電極44、および電源46を有する。ガイド管40は、ケース20と同軸状に設けられたガラス管であり、その上端が仕切板34に近接配置されている。ガイド管40の下端には、ガス供給装置14の配管41が接続される。

【0022】

第1電極42および第2電極44は、ガイド管40の外周面に沿って配設され、ガイド管40の軸線方向に互いに離間している。第1電極42が高圧電極(HV)であり、第2電極44がグランド電極(GND)である。各電極は誘電体により覆われ、電源46に接続されている。電源46は交流電源であり、両電極間に10kHz程度の低周波のパルス電圧(数kV)を印加し、誘電体バリア放電によりプラズマを発生させる。

40

【0023】

ガス供給装置14は、反応容器10およびプラズマ装置12のそれぞれにキャリアガスを供給する。キャリアガスはプラズマを伝搬させるガスであり、本実施形態ではヘリウムガス(He)が採用される。ガス供給装置14は、ガスタンク50,52を有する。ガスタンク50は配管37に接続され、ガスタンク52は配管41に接続される。配管37には制御弁54が設けられ、配管41には制御弁56が設けられる。制御弁54が開弁されると、反応容器10へキャリアガスが供給される。制御弁56が開弁されると、プラズマ装置12へキャリアガスが供給される。配管39には制御弁58が設けられる。制御弁58が開弁されると、反応容器10からキャリアガスが排出される。

50

【 0 0 2 4 】

制御部 1 6 は、CPU、ROM、RAMなどを有するマイクロコンピュータからなり、プラズマ装置 1 2 の通電制御と、ガス供給装置 1 4 の駆動制御（各制御弁の開閉制御）を行う。制御部 1 6 には、図示しない入力装置が接続される。入力装置を介したユーザの操作入力に基づき、制御部 1 6 は、各種制御を実行する。

【 0 0 2 5 】

図 3 は、改質装置の使用状態を表す図である。

本実施形態では、スキャフォールド 1 0 0 の親水性を向上させる改質処理を行う。

まず、ケース 2 0 にスキャフォールド 1 0 0 を収容する。このとき、スキャフォールド 1 0 0 を仕切板 3 4 の上面（載置面 6 0）に載置するだけでよい。ケース 2 0 の内部空間が「処理室（処理空間）」に相当し、載置面 6 0 が「保持面」に相当する。

10

【 0 0 2 6 】

続いて、入口ポート 3 6 からキャリアガスを導入してケース 2 0 内に満たす。スキャフォールド 1 0 0 が連続多孔体であるため、キャリアガスはその空孔を伝ってスキャフォールド 1 0 0 の表面から裏面にわたり浸透する。入口ポート 3 6 は「浸透用ガス供給部」として機能する。このとき、出口ポート 3 8 から適度にキャリアガスを排出することでケース 2 0 を新鮮なキャリアガスで満たし、スキャフォールド 1 0 0 への浸透を促進する。キャリアガスは、その連続多孔体の全体に充填される。なお、ここでいう「全体」は、ほぼ全体（実質的に全体）を含む。

【 0 0 2 7 】

ケース 2 0 にキャリアガスが満たされた後、ガイド管 4 0 にキャリアガスを流すとともに第 1 電極 4 2 にパルス電圧を印加してプラズマを発生させる。これにより、ガイド管 4 0 からケース 2 0 へ向けたプラズマジェットを生成できる。プラズマジェットは、発光を伴う局所的な放電領域がガイド管 4 0 の上端（ノズル）から周期的に射出されてジェットに見えるものである。この局所放電領域は、その挙動が弾丸のようにみえることから「プラズマ弾丸（plasma bullets）」とも呼ばれる。このプラズマ弾丸の移動は、放電しやすいキャリアガスの流束中を電離現象が伝搬するというメカニズムである。

20

【 0 0 2 8 】

ガイド管 4 0 は、その管路に沿ってキャリアガスを流す「伝搬用ガス供給部」として機能する。その管路の軸線上にケース 2 0 の載置面 6 0 がある。すなわち、ガイド管 4 0 は、ケース 2 0 の外部空間において仕切板 3 4 に向けて延び、キャリアガスが満たされる伝搬路を有する。なお、本実施形態では、ガイド管 4 0 の上端（ノズル）と仕切板 3 4 との距離を 1 0 mmとしている。

30

【 0 0 2 9 】

プラズマ弾丸は、ガイド管 4 0 の内部を伝搬路に沿って移動し、仕切板 3 4 を透過してケース 2 0 内に到る。それにより、スキャフォールド 1 0 0 の表面（図 3 においては下面）にプラズマが照射される。プラズマ弾丸は、キャリアガスが満たされた空孔に沿ってスキャフォールド 1 0 0 内を表面から裏面にわたって伝搬する。それにより、スキャフォールド 1 0 0 全体の改質がなされる（詳細後述）。

【 0 0 3 0 】

次に、本実施形態で用いるスキャフォールド 1 0 0 および改質装置 1 の有効性について、実験結果に基づいて説明する。

40

図 4 は、スキャフォールド 1 0 0 と反応容器 1 0 の外観を表す図である。図 4（A）はスキャフォールド 1 0 0 を示し、図 4（B）は反応容器 1 0 およびその周辺を示す。

【 0 0 3 1 】

図 4（A）に示すように、PLA樹脂を素材として3Dプリンタにてスキャフォールド 1 0 0 を作製した。スキャフォールド 1 0 0 の寸法は、直径 1 0 mm、厚み 3 . 1 5 mm とし、空孔の直径を 1 6 0 ~ 2 5 0 μ m とした。改質装置 1 を作動させると、図 4（B）に示すように、ガイド管 4 0 にプラズマジェットが生成され、プラズマ弾丸が反応容器 1 0 の内部に伝搬される。

50

【0032】

図5～図9は、プラズマ弾丸の伝搬を検証する実験およびその結果を表す図である。図5は、プラズマ弾丸の透過を検証するための実験装置を示す。

本実験ではまず、プラズマ弾丸が仕切板134を透過しうることを検証した。実験装置では、仕切板134を境として一方の側にプラズマ装置12を配置し、他方の側に伝搬領域62を形成した。伝搬領域62は、キャリアガスを流すことが可能なガラス管64を含む。ガイド管40とガラス管64は、仕切板134を挟んで同軸状に対向配置される。

【0033】

ガイド管40のノズル先端と仕切板134との距離を l_1 、ガラス管64のノズル先端と仕切板134との距離を l_2 とする。実験条件は次のとおりである。距離 l_1 、 l_2 をともに10mmとした。ガイド管40およびガラス管64の各内径は、いずれも3.8mmである。仕切板134をガラス板とし、その厚みを1.3mmとした。キャリアガスとしてヘリウムガス(He)を使用した。ガイド管40におけるキャリアガスの流量を5l/minとした。プラズマ装置12により10kHzで7kVのパルス電圧を印加した。仕切板134の側方にカメラ136を設置し、プラズマジェットの様子を撮影した。カメラ136はICCD(Intensified CCD)カメラである。

10

【0034】

図6は、ICCDカメラによる撮影結果を表す図である。図6(A)は、ガラス管64にキャリアガスを流した場合を示す。キャリアガスの流量は、ガイド管40と同様に5l/minとした。図6(B)は、比較例として、ガラス管64にキャリアガスを流さない場合を示す。

20

【0035】

図6(A)に示すように、ガラス管64にキャリアガスを流した場合、ガイド管40からのプラズマ弾丸が仕切板134を透過し、ガラス管64のキャリアガス内を伝搬している。一方、図6(B)に示すように、ガラス管64にキャリアガスを流さない場合、プラズマ弾丸は仕切板134を透過できない。本実験によれば、プラズマの伝搬路と仕切板134を挟んで反対側にキャリアガス雰囲気形成することで、プラズマ弾丸が仕切板134を透過し、キャリアガス雰囲気内を伝搬できることが分かる。また、プラズマ弾丸は、ガラス管64におけるキャリアガスの流れとは逆方向に伝搬している。すなわち、プラズマ弾丸がキャリアガスに流されるものではないことが分かる。

30

【0036】

図7は、プラズマ弾丸の伝搬画像をコマ送りで表す図である。図7(A)～(I)は、プラズマの伝搬過程を示す。各図の左上段には撮影開始からの時間(μs)が示されている。本図より、プラズマ弾丸が極短時間で仕切板134を透過する様子が確認できる。

【0037】

本実験では、プラズマ弾丸の透過性に影響する因子として、仕切板134の材質および厚みについても考察を行った。仕切板134の素材をガラス(比誘電率:4)とした場合のプラズマの伝搬可否を表1に示す。

【0038】

【表1】

40

厚みd(mm)	静電容量C(F/m ²)	伝搬可否
1.3	2.72×10^{-8}	○
1.8	1.97×10^{-8}	○
2.7	1.31×10^{-8}	○
4.8	7.38×10^{-9}	×

【0039】

この実験結果より、プラズマ弾丸が透過できる条件として、単位面積あたりの静電容量

50

が $1.3 \times 10^{-8} \text{ F/m}^2$ 以上となるように材質および厚みが設定される必要があると分かった。上記実験結果より、ガラス板については厚み 2.7 mm で伝搬可、厚み 4.8 mm で伝搬不可であったことから、その中間である 3.75 mm をプラズマ弾丸の伝搬を可能とする限界厚みとした。本実施形態の仕切板 34 は、厚みが 3 mm のガラス板であり、限界厚み以下の範囲に入っている。

【0040】

なお、厚みを小さくすると、耐圧性が確保困難になる等の強度的な問題が生じる。このため、仕切板 34 の厚みは、耐圧性を確保可能な下限厚み以上、限界厚み以下の範囲に設定する。以下、仕切板 34 として採用しうる他の材質および厚みについて、静電容量が $1.3 \times 10^{-8} \text{ F/m}^2$ 以上となるよう計算した結果を表 2 に示す。

【0041】

【表 2】

材料	比誘電率	限界厚み
ガラス	4	3.75mm
アルミナ	9.5~9.7	8.91~9.09mm
窒化アルミ	8.8	8.25mm
ジルコニア	30~46	28.1~43.1mm
チタン酸バリウム	4500~5000	4218~4688mm
ジルコン酸チタン酸鉛	1300~5000	1219~4688mm

【0042】

図 8 は、キャリアガス雰囲気とプラズマ伝搬方向との関係を表す図である。図 8 (A) は、図 5 に示したものと同様、ガイド管 40 とガラス管 64 とを同軸状に配置した場合を示す。図 8 (B) は、ガイド管 40 とガラス管 64 との軸線を異ならせた場合 (具体的には 90 度の角度をなした場合) を示す。これらの図から、プラズマ弾丸はキャリアガスの流束に沿って伝搬することが分かる。

【0043】

図 9 は、キャリアガス雰囲気とプラズマ伝搬態様との関係を表す図である。図 9 (A) は、その関係を検証するための実験装置を示す。図 9 (B) は、カメラによる撮影結果を表す図である。

図 9 (A) に示すように、本実験では、図 5 に示したガラス管 64 に代えてガラス管 65 を採用した。ガラス管 65 は、先端に向けて内径が小さくなるテーパ状のノズルを有し、そのノズルの先端に中空ファイバ 67 が設けられている。中空ファイバ 67 の内径は $320 \mu\text{m}$ である。

【0044】

図 9 (B) に示すように、プラズマ弾丸は仕切板 134 を透過した後、キャリアガスの流束に沿って中空ファイバ 67 の細い管内を通過し、ガラス管 65 内に伝搬している。本実験によれば、キャリアガス雰囲気がある限り、プラズマ弾丸が小孔内を伝搬できることは分かる。これは、連続多孔体の空孔にキャリアガスを浸透させさえすれば、プラズマ弾丸を導いて改質が行えることを意味し、本実施形態の改質方法の有効性を裏付けるものとなっている。

【0045】

次に、本実施形態における多孔質体の改質方法について説明する。

図 10 は、スキャフォールド 100 の改質方法を模式的に表す図である。図 10 (A) ~ (D) は改質過程 (親水性向上のための処理過程) を示す。以下、図 10 に基づき、図 2 を適宜参照しつつ説明する。

【0046】

10

20

30

40

50

改質処理においては、まず、スキャフォールド100をケース20に収容する(図10(A))。続いて、ガス供給装置14を駆動して制御弁54を開弁し、ケース20内にキャリアガスを導入する。このとき、制御弁58も開弁させておくことで、ケース20内の空気がキャリアガスに置換され、キャリアガスがスキャフォールド100に徐々に浸透する(浸透工程:図10(B))。

【0047】

キャリアガスがスキャフォールド100の全体に充填されると(図10(C))、制御弁56を開弁してガイド管40にキャリアガスを供給する。また、プラズマ装置12を駆動してプラズマジェットを生成する(図10(D))。このとき、図中矢印で示すように、プラズマ弾丸がキャリアガスの流束に沿って伝搬し、仕切板34を透過してケース20内に導かれる。それにより、スキャフォールド100の表面にプラズマが照射される(照射工程)。

10

【0048】

このとき、スキャフォールド100の表面に到達したプラズマ弾丸は、スキャフォールド100の空孔に充填したキャリアガスに沿って導かれ、スキャフォールド100の表面から裏面にかけて伝搬する。プラズマ弾丸は、スキャフォールド100の多数の空孔の入口から侵入し、その連続多孔体の内部を通過して出口へと到る。その間、スキャフォールド100の内部をも全体的に改質する。すなわち、プラズマ照射によりスキャフォールド100全体の親水性を高めることができる。

【0049】

なお、本実施形態では図10(D)に示すように、プラズマの照射中もキャリアガスをケース20に導入し続けるが、変形例においては、キャリアガスがスキャフォールド100に充填された後にキャリアガスの供給および排出を停止してもよい。ただし、改質時に生じた反応物によりケース20内の雰囲気汚染される可能性もあるため、本実施形態のようにキャリアガスを供給し続けるのが好ましい。

20

【0050】

図11および図12は、本実施形態の効果を表す図である。図11は、本実施形態の改質処理を行ったスキャフォールド100に対し、水滴を滴下した様子を示す。なお、プラズマの照射時間は5分とした。図12は、比較例として、プラズマ照射をしなかったスキャフォールド100に対して水滴を滴下した様子を示す。

30

【0051】

図11に示すように、本実施形態によれば、わずか0.8秒程度で水滴がスキャフォールド100の内部に浸み込んだ。一方、比較例においては、滴下後20分を経過しても、スキャフォールド100の表面に水滴が残ったままであった。これらの結果により、本実施形態による改質の効果(親水性の向上)を検証できた。本実施形態のスキャフォールド100を人工骨移植に用いることにより、その安定化までの時間を短縮できるようになると推察される。

【0052】

以上説明したように、本実施形態では、スキャフォールド100を連続多孔体とすることで、その表面から裏面にわたりキャリアガスを浸透させる。そして、キャリアガスを充填させたスキャフォールド100にプラズマを照射する。スキャフォールド100が多孔質誘電体であるため、キャリアガスにより形成された伝搬路に沿ってプラズマ弾丸がその内部全体に効率よく導かれる。それにより、スキャフォールド100の改質(親水性向上)を促進できる。

40

【0053】

特に、スキャフォールド100をケース20内に載置するだけでよいため、作業性が極めて高い。スキャフォールド100を固定する必要がないため、その大きさや形状に制約が少ないといったメリットもある。スキャフォールド100の保持具が不要となり、装置を簡素に実現できる。また、ケース20により処理室を取り囲む構成としたため、キャリアガスをスキャフォールド100の空孔に効率良く送り込み、その浸透を促進できる。キ

50

キャリアガスが大気に拡散することを抑制できるため、ヘリウム（He）等の比較的高価なガスを使用する場合のコスト抑制にもつながる。

【0054】

また、ケース20に対してキャリアガスを給排する構成としたため、キャリアガスの浸透工程を大気圧下で行うことができる。すなわち、いわゆる減圧プラズマを採用する場合のようにケース20内を減圧するための装置が不要であり、改質装置を比較的低コストに実現しやすいといったメリットもある。

【0055】

プラズマ弾丸が伝搬するためには、伝搬させるべき空間に、放電が伝搬しやすいキャリアガスがある程度以上の純度で満たされている必要がある。しかし、周囲にガスの逃げ場があるような環境下でスキファールドに単純にキャリアガスを吹きつけただけでは、その大半はスキファールドの表面を伝って外側に流れてしまう。つまり、小さな空孔（細い流路）で構成されたスキファールド内をキャリアガスが通過するのは困難である。

【0056】

すなわち、スキファールドの内部全体にキャリアガスが満たされていない状態でプラズマを照射しても、プラズマ弾丸は、キャリアガスの純度が比較的高いスキファールドの表面近傍だけを伝搬し、それより深い部分については伝搬が起こらない。このため、親水化処理も実現できない。この点、上記実施形態によれば、ケース内にスキファールドを収容し、その処理室においてキャリアガスの純度を十分に高く維持できる。その結果、プラズマによる改質処理を促進できる。

【0057】

以上、本発明の好適な実施例について説明したが、本発明はその特定の実施例に限定されるものではなく、本発明の技術思想の範囲内で種々の変形が可能であることはいうまでもない。

【0058】

上記実施形態では、スキファールド100に供給されるキャリアガスと、プラズマを照射方向に伝搬するキャリアガスとが、ケース20（仕切板34）により空間的に分離される構成を例示した。変形例においては、これらを分離しない構成としてもよい。図13は、そのような変形例を模式的に表す図である。図13（A）～（D）は、第1～第4変形例を示す。

【0059】

第1変形例では、ケース120とガイド管40とが一体に構成されている（図13（A））。ケース120内の処理室と、ガイド管40内の伝搬路とが連通している。ガイド管40の下端に入口ポート36が設けられ、ケース120の上端に出口ポート38が設けられている。ケース120とガイド管40との境界に環状の載置面60が形成される。ガイド管40の管路の軸線上にスキファールド100が配置されることとなる。

【0060】

本変形例によれば、処理室と伝搬路でキャリアガスを共用できる。このため、ガス供給装置の配管や制御弁の数を少なくできるなど、改質装置を簡素に構成できる。また、ガイド管40を流れるキャリアガスを有効活用でき、コスト抑制につながる。ただし、載置面60が環状となることで、スキファールド100が小さすぎると載置できなくなる可能性がある。その点で、上記実施形態のほうが取り扱いは容易である。

【0061】

第2変形例は、第1変形例の構成においてケース120の内方に載置台122を設けたものである（図13（B））。載置台122は、複数本の支柱121と、その支柱121に固定された平板状の台123を有する。台123の上面が載置面60となる。このような構成により、スキファールド100が小さくても、ガイド管40に落下することを防止でき、取り扱いが容易となる。

【0062】

第3変形例は、管状のケース130を有する（図13（C））。ケース130の下部は

10

20

30

40

50

テーパ状に拡径されている。一方、ガイド管 140 の上部もテーパ状に拡径されている。ケース 130 とガイド管 140 とが互いの拡径部において軸線方向に組み付けられ、両者間に処理室が形成される。ガイド管 140 の拡径部に載置台 125 が設けられている。載置台 125 の台 127 は下方に凸の湾曲形状を有し、スクヤフールド 100 と載置面 60 との間に隙間を形成し易い。ケース 130 の管路断面は、ガイド管 140 の管路断面よりも小さくされている。ガイド管 140 下端に入口ポート 36 が設けられ、ケース 130 の上端に出口ポート 38 が設けられている。

【0063】

本変形例によれば、2つの管路によりキャリアガス雰囲気形成できる。ケース 130 の管路断面をガイド管 140 のそれよりも小さくすることでキャリアガスに流動抵抗を与え、キャリアガス雰囲気の圧力を適度に高めることができる。それにより、スクヤフールド 100 へのキャリアガスの浸透を促進できる。

10

【0064】

第4変形例は、管状のケース 132 を有し、その上端に入口ポート 36 が設けられ、側部に出口ポート 38 が設けられている(図 13(D))。ケース 132 の管路断面は、ガイド管 140 の管路断面とほぼ等しい。本変形例では、ケース 132 およびガイド管 140 の双方からキャリアガスが導入される。このように、スクヤフールド 100 に対して複数の方向からキャリアガスを供給してもよい。処理室のキャリアガスは、出口ポート 38 から排出される。

【0065】

上記実施形態では、図 10(D) に示したように、プラズマの照射工程において、ケース 20 およびガイド管 40 の双方にキャリアガスを流し続ける例を示した。変形例においては、ケース 20 およびガイド管 40 の双方にキャリアガスを充填させた後、少なくとも一方についてキャリアガスの供給を止めてもよい。図 14 は、そのような変形例を模式的に表す図である。図 14(A) ~ (D) は、第5 ~ 第8変形例を示す。

20

【0066】

第5変形例では、ケース 20 とガイド管 240 とを一体に組み付け、ガイド管 240 の上端をケース 20 の下端によって閉止する(図 14(A))。ガイド管 240 の下端にはキャリアガスの注入口 236 が設けられるが、ガイド管 240 内にキャリアガスが充填された後に栓体 238 により閉じられる。このような構成としたのは以下の理由による。すなわち、図 5 ~ 図 8 に示したように、プラズマ弾丸は、キャリアガスの流れの方向とは無関係に伝搬する。このことは、プラズマ弾丸の伝搬が、キャリアガスの流れとは関係なく、キャリアガスが存在すれば足りることを意味する。そこで本変形例では、ガイド管 240 にキャリアガスを充填させるだけで連続的な供給は行わないこととした。それにより、キャリアガスを節約できる。

30

【0067】

第6変形例では、ケース 20 内とガイド管 242 内とを連通させている(図 14(B))。このため、ケース 20 にキャリアガスを供給すると、ガイド管 242 にも満たされる。このような構成としても、キャリアガスを節約できる。

【0068】

第7変形例は、第5変形例と同様の構成を有するが、ケース 20 にキャリアガスが充填された後に入口ポート 36 および出口ポート 38 を栓体 238 で閉じ、キャリアガスの供給を止める(図 14(C))。なお、ケース 20 にスクヤフールド 100 を配置した後に真空引きを行い、その後キャリアガスを注入してもよい。このような構成により、キャリアガスをさらに節約できる。

40

【0069】

第8変形例は、第6変形例と同様の構成を有するが、ケース 20 の内方に載置台 122 が設けられる(図 14(D))。ケース 20 にキャリアガスが充填された後に入口ポート 36 および出口ポート 38 を閉じ、キャリアガスの供給が止められる。このような構成により、第7変形例と同様にキャリアガスを節約できる。

50

【0070】

ただし、プラズマによるスキャフォールド100の改質過程でケース20内に汚染物質が生じる可能性も否定できない。改質処理を良好に進めるためには、ケース20に継続的にキャリアガスを供給し、処理室を新鮮なキャリアガスで置換するのが好ましい。

【0071】

上記実施形態では、プラズマによる連続多孔体の改質効果として「親水化」を例示したが、例えば滅菌や殺菌その他の効果を得ることもできる。つまり、連続多孔体の用途に応じて「改質」の意味内容が異なってもよいことは言うまでもない。

【0072】

上記実施形態では、連続多孔体（多孔質誘電体）の材質として、生分解性ポリマーとして代表的なポリ乳酸（PLA）を例示した。これ以外にも、疎水基（代表的なものはメチル基）を表面に有する物質で誘電体（高分子やセラミックス）であれば採用しうる。

10

【0073】

例えば、他の生分解性ポリマーとして、ポリグリコリック酸（PGA）、ポリカプロラクトン（PCL）、ポリブチレンサクシネート（PBS）、ポリ（ラクチド-co-グリコリド）共重合体（PLGA）、ポリヒドロキシアルカノエート（PHA）、ポリヒドロキシ酪酸（PHB）、ポリ3-ヒドロキシ吉草酸（PHV）なども採用できる。

【0074】

あるいは、典型的な無機系材料として、ヒドロキシアパタイト（HA）や β -リン酸三カルシウム（ β -TCP）を採用できる。また、疎水性のリン酸基を持つ化合物として、無水リン酸水素カルシウム（DCP or DCPA）、リン酸二カルシウム二水和物（DCP2 or DCPD）、ピロリン酸カルシウム（CPP）、 α -リン酸三カルシウム（ α -TCP）、リン酸四カルシウム（TeCP）、リン酸オクタカルシウム（OCP）、非晶質リン酸カルシウム（ACP）などを採用してもよい。

20

【0075】

上記実施形態では、キャリアガスとしてヘリウムを採用したが、アルゴン、ネオン、キセノンその他の希ガスを採用してもよいし、窒素その他のガスを採用してもよい。あるいは、一種類のガスとせず、複数種類のガスを混合したキャリアガスとしてもよい。例えば、ヘリウムと酸素との混合ガスをキャリアガスとしてもよい。混合ガスを採用する場合、プラズマ弾丸中で生成される酸素や窒素などの活性種は、親水化を促進するだけでなく、滅菌を促進する効果も期待できる。

30

【0076】

上記実施形態では、骨再生用スキャフォールドを例示したが、改質対象となる連続多孔体の用途はこれに限られない。例えばヒートマネージメントを向上させるための部品として多孔質体を採用する場合、これを連続多孔体として作成し、上記実施形態や変形例で示した改質処理（親水化処理）を施してもよい。

【0077】

上記実施形態では、ケース20内にスキャフォールド100を載置するだけの構成としたが、さらにスキャフォールド100が載置面60（保持面）に対して動かないよう支持する支持部を設けてもよい。取扱いの容易性からは、上記実施形態のように載置するだけの構成（非固定状態）が好ましい。

40

【0078】

上記実施形態では、ケース20の底面に仕切板34を取り付け、仕切板34の上面を載置面60とする構成を例示した。変形例においては、載置面（保持面）をケースと一体成形してもよい。ケースそのものの厚みを上記限界厚み以下に設定してもよいし、ケースにおいて、少なくともプラズマを透過させる部分において、単位面積あたりの静電容量が $1.3 \times 10^{-8} \text{ F/m}^2$ 以上となるように材質および厚みが設定されていればよい。

【0079】

なお、本発明は上記実施例や変形例に限定されるものではなく、要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化することができる。上記実施例や変形例に開示されている複

50

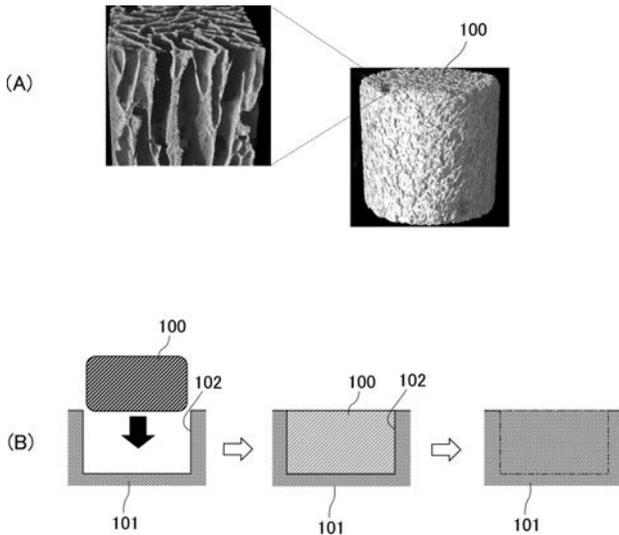
数の構成要素を適宜組み合わせることにより種々の発明を形成してもよい。また、上記実施例や変形例に示される全構成要素からいくつかの構成要素を削除してもよい。

【符号の説明】

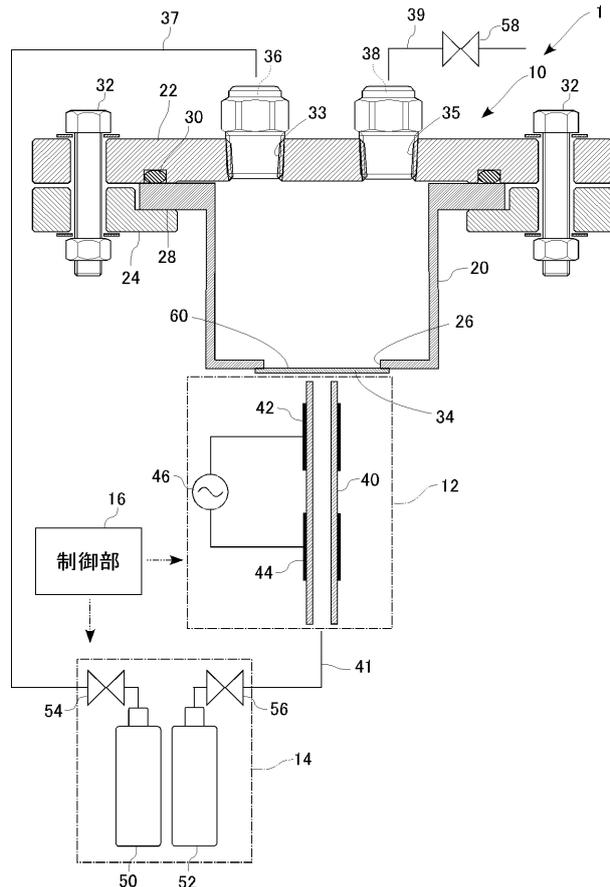
【0080】

- 1 改質装置、10 反応容器、12 プラズマ装置、14 ガス供給装置、16 制御部、20 ケース、22 蓋体、26 開口部、34 仕切板、36 入口ポート、38 出口ポート、40 ガイド管、42 第1電極、44 第2電極、46 電源、54 制御弁、56 制御弁、58 制御弁、60 載置面、62 伝搬領域、64 ガラス管、65 ガラス管、67 中空ファイバ、100 スキャフォールド、101 骨、102 欠損部、120 ケース、122 載置台、125 載置台、130 ケース、132 ケース、134 仕切板、140 ガイド管、236 注入口、240 ガイド管、242 ガイド管。

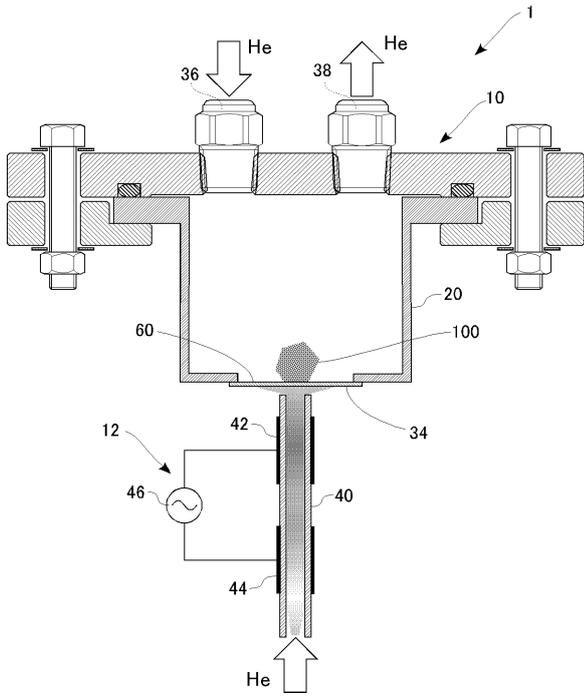
【図1】



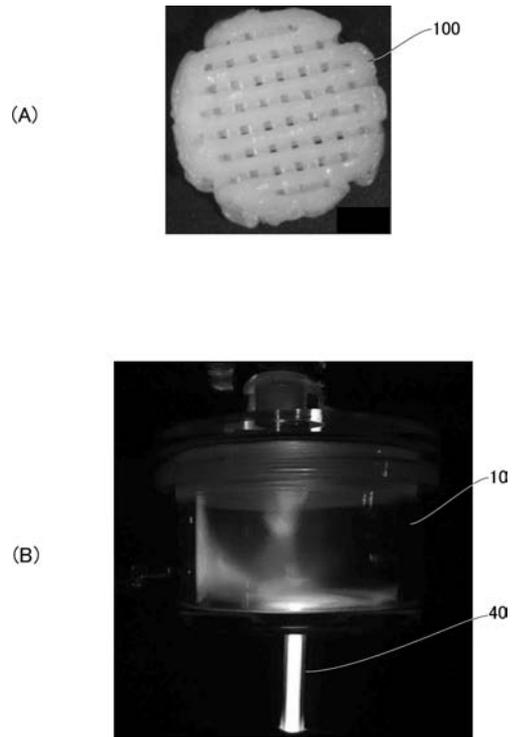
【図2】



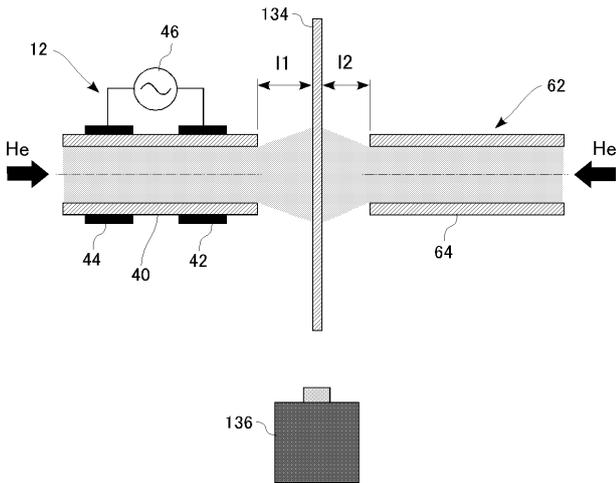
【 図 3 】



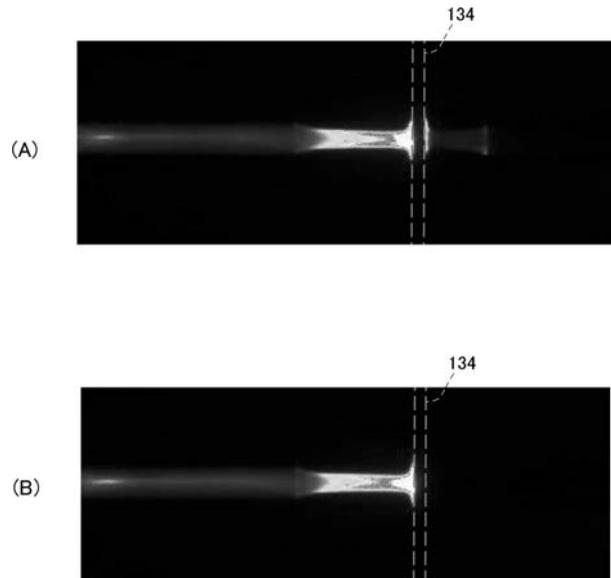
【 図 4 】



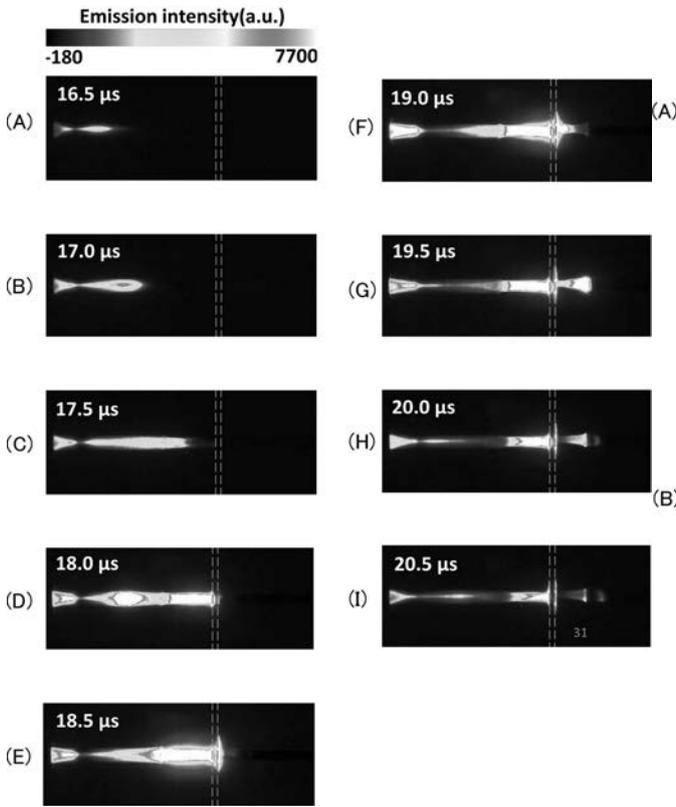
【 図 5 】



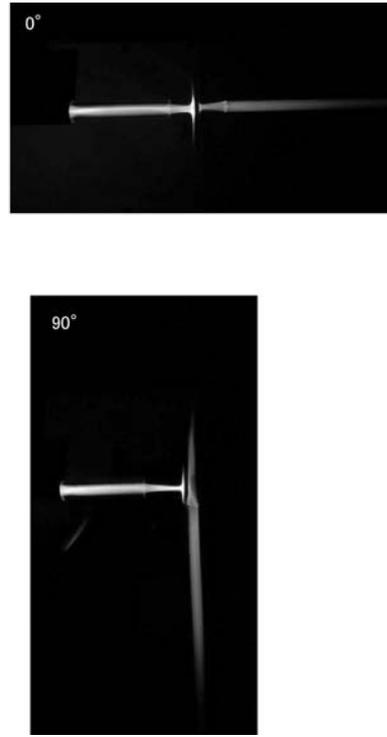
【 図 6 】



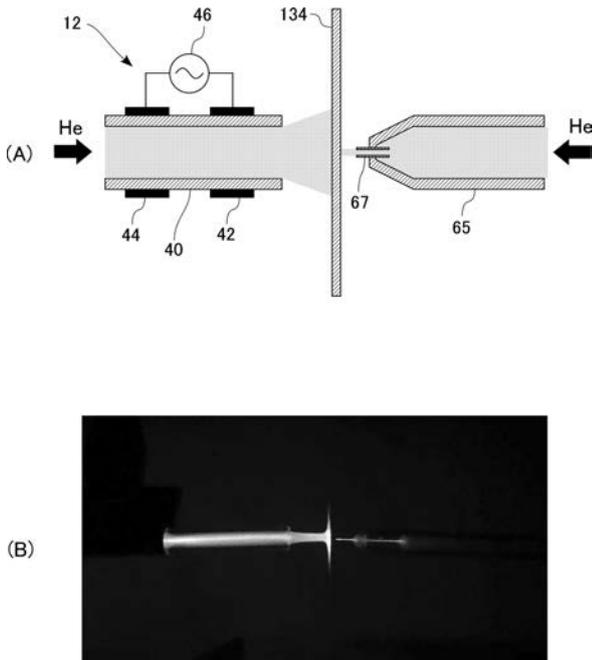
【 図 7 】



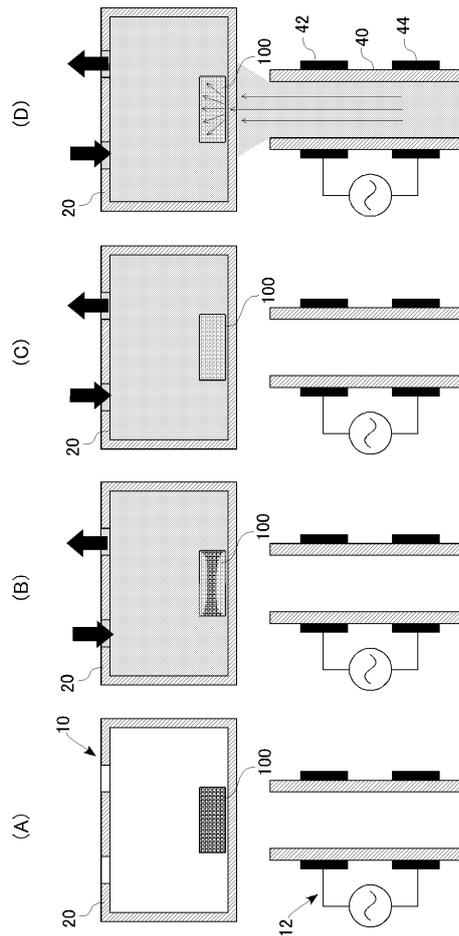
【 図 8 】



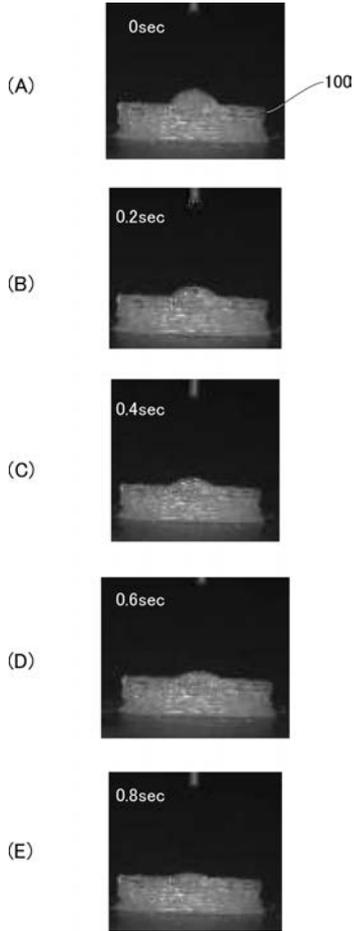
【 図 9 】



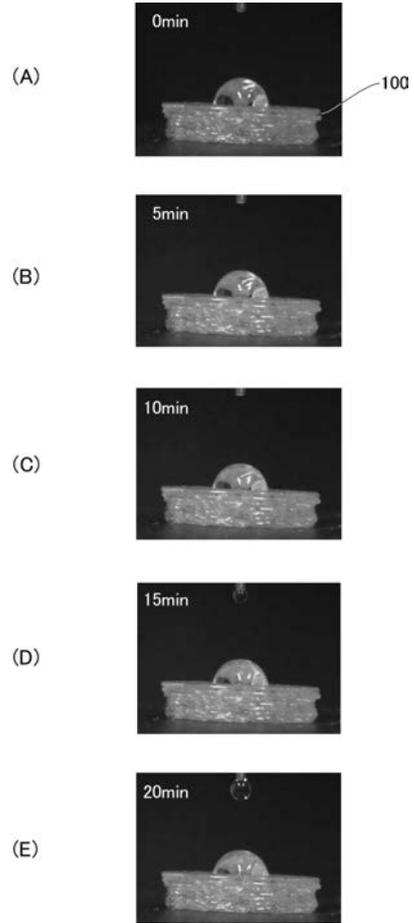
【 図 10 】



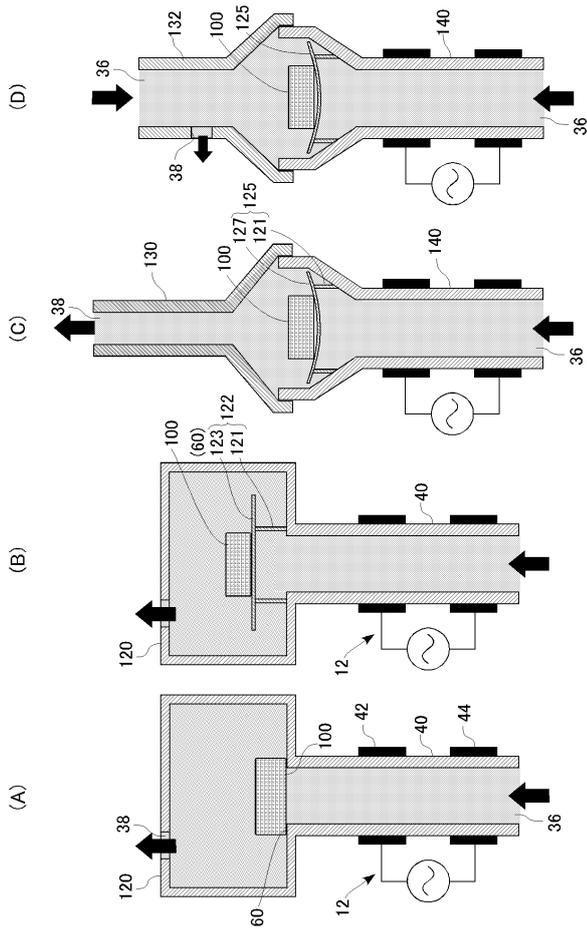
【 図 1 1 】



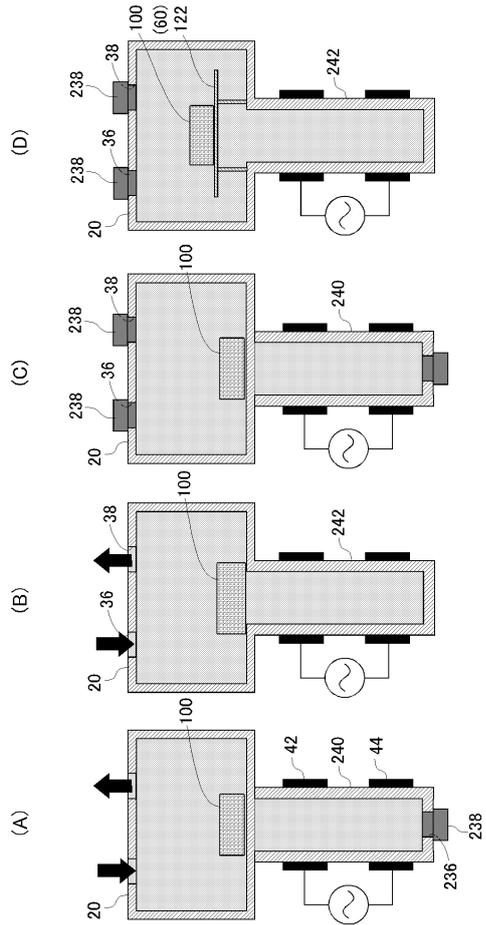
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I			テーマコード(参考)		
C 0 4 B 38/00 (2006.01)	C 0 4 B	38/00		3 0 3 Z		
C 0 4 B 41/80 (2006.01)	C 0 4 B	41/80		Z		

Fターム(参考) 4C097 AA01 BB01 CC03 CC06 DD01 DD07 DD08 FF05 MM05
4G019 FA15
4G075 AA22 AA62 BA05 BD14 CA47 CA63 DA02 DA18 EB01 EB22
EB44 EC21 FB06 FC04 FC15