

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6426155号
(P6426155)

(45) 発行日 平成30年11月21日(2018.11.21)

(24) 登録日 平成30年11月2日(2018.11.2)

(51) Int.Cl.

F 1

H05H 9/00 (2006.01)

H05H 9/00

B

H05H 1/48 (2006.01)

H05H 1/48

L

H05G 2/00 (2006.01)

H05G 2/00

請求項の数 16 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2016-514125 (P2016-514125)
 (86) (22) 出願日 平成26年5月16日 (2014.5.16)
 (65) 公表番号 特表2016-526261 (P2016-526261A)
 (43) 公表日 平成28年9月1日 (2016.9.1)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2014/038386
 (87) 國際公開番号 WO2014/186705
 (87) 國際公開日 平成26年11月20日 (2014.11.20)
 審査請求日 平成29年4月26日 (2017.4.26)
 (31) 優先権主張番号 61/907,169
 (32) 優先日 平成25年11月21日 (2013.11.21)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 61/824,654
 (32) 優先日 平成25年5月17日 (2013.5.17)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 514027861
 スチュアート, マーティン, エー.
 アメリカ合衆国, カリフォルニア州 91
 001, アルタデナ, 2306 グレン
 キャニオン ロード
 (74) 代理人 100114775
 弁理士 高岡 亮一
 (74) 代理人 100121511
 弁理士 小田 直
 (74) 代理人 100202751
 弁理士 岩堀 明代
 (74) 代理人 100191086
 弁理士 高橋 香元

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ダイヤモンドまたはダイヤモンド様炭素を利用する誘電体壁加速器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

荷電粒子の供給源と、
 前記荷電粒子を加速するためのキャパシタ要素であって、1対の電極を備えるキャパシタ要素と、

前記荷電粒子を伝達するために前記キャパシタ要素を通って形成された導管と
 を備え、

前記キャパシタ電極のそれぞれの全表面上がダイヤモンドまたはダイヤモンド様炭素によりコーティングされている、
 エミッタ装置。

10

【請求項 2】

放電の間に均一な電流フローを提供するために前記キャパシタ要素の周りに配置された複数の光スイッチをさらに備える、請求項1に記載のエミッタ装置。

【請求項 3】

前記光スイッチのうちのそれはダイヤモンド結晶を含む、請求項2に記載のエミッタ装置。

【請求項 4】

前記キャパシタ要素の放電の間に均一な電流フローが支援されるよう、前記光スイッチは制御された様式で作動される、請求項3に記載のエミッタ装置。

【請求項 5】

20

冷媒を循環するための少なくとも1つの流路を前記加速器内にさらに含む、請求項1～4のいずれか1項に記載のエミッタ装置。

【請求項6】

キャパシタ・アレイを形成するために積層された複数の前記キャパシタ要素をさらに含む、請求項1～5のいずれか1項記載のエミッタ装置。

【請求項7】

前記キャパシタ・アレイは多角形形状の格納容器内に提供される、請求項6に記載のエミッタ装置。

【請求項8】

前記導管はダイヤモンドまたはダイヤモンド様炭素を含む、請求項1～7のいずれか1項に記載のエミッタ装置。 10

【請求項9】

前記荷電粒子の供給源は高密度プラズマフラックス陽子入射器装置である、請求項1～8のいずれか1項に記載のエミッタ装置。

【請求項10】

前記冷媒が脱イオン化水である、請求項5のいずれか1項に記載のエミッタ装置。

【請求項11】

前記装置が前記荷電粒子を加速する結果としてガンマ線を放出するよう適応された、請求項1～10のいずれか1項記載のエミッタ装置。

【請求項12】

高密度プラズマフラックス陽子入射器装置は、第2極性で動作する複数の外側電極により包囲された第1極性で動作する内側電極を含む、請求項1～11のいずれか1項に記載のエミッタ装置。 20

【請求項13】

前記高密度プラズマフラックス陽子入射器装置が、冷媒を循環するための冷却システムをさらに備える、請求項12に記載のエミッタ装置。

【請求項14】

粒子加速器装置を使用してガンマ線を生成するための方法であって、

粒子流を生成するステップと、

複数の放電積層キャパシタを含むキャパシタ・アレイに前記粒子流を供給するステップであって、前記キャパシタのそれぞれはダイヤモンドまたはダイヤモンド様炭素のコーティングを、前記キャパシタに含まれた電極上で利用する、ステップと。 30

前記放電キャパシタに関連付けられた1つまたは複数の光スイッチを使用して前記キャパシタ・アレイの前記キャパシタを放電することにより前記キャパシタ・アレイを使用して前記粒子流を加速するステップと、

好ましくは冷媒を使用して前記キャパシタ・アレイを冷却するステップと、
を含む、粒子加速器装置を使用してガンマ線を生成するための方法。

【請求項15】

粒子加速器を製造する方法であって、

複数のキャパシタ電極を製造するステップと、

ダイヤモンドまたはダイヤモンド様炭素で前記キャパシタ電極のうちのそれぞれをコーティングするステップと、

複数の光スイッチを提供するステップと、

複数のキャパシタ要素を製造するステップであって、前記キャパシタ要素のうちのそれぞれが、前記電極のうちの1つまたは複数と、均一な様式で配置された複数の前記光スイッチとを含む、ステップと、

加速される粒子がそこを通って伝達される導管を形成するコア上に前記複数のキャパシタ要素を積層するステップと
を含む、粒子加速器を製造する方法。

【請求項16】

40

50

前記光スイッチのうちのそれがダイヤモンド結晶を含む、請求項 1 5 に記載の方法。
。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

関連出願の相互参照

本願は、2013年5月17日に出願され且つ参照することにより本願に援用される米国仮特許出願整理番号第61/824,654号と、2013年11月21日に出願され且つ参照することにより本願に援用される米国仮特許出願整理番号第61/907,169号との利益を主張する。

10

【背景技術】

【0 0 0 2】

誘電体壁加速器に関しては、参考することにより本願に援用される米国特許第5,811,944号で論じられている。同特許では、その技術概念は、当時の関連する既存の技術に対して実質的な性能改善を提供した。概念上は、その概念で提案されるエネルギー密度または、むしろ高い電圧勾配は、当時の物質および技術と合致しなかった。その概念は有効となり得るが、構成要素に対する物質の組み合わせはその限界で動作されるものであり、寿命限界による破壊が、製作された装置を利用するにあたっての、難点であった。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0 0 0 3】

したがって装置の性能は、装置を構築するにあたり使用された物質により強く影響される。実際、利用可能な物質および製作技術が主たる限界因子であった。

【課題を解決するための手段】

【0 0 0 4】

90以上の核子を有する元素ターゲットに対して相対論的に電子衝突することによる効率的な低および高平均パワー出力ガンマ線生成と、コンパクトな自由電子レーザのための効率的な電子インジェクタおよび加速器と、任意の環境に対する放射性同位元素放出の効率的な改善のためのオプションを用いる元素変換およびパワー生成のための低および高平均パワーレベルにおけるニューロン破壊による効率的且つコンパクトな陽子加速と、を含むがこれらに限定されない、複数の実施形態例が提供される。

30

【0 0 0 5】

荷電粒子の供給源と、荷電粒子を加速するためのキャパシタ要素であって、カソード電極を備え、アノード電極も備える、キャパシタ要素と、荷電粒子を伝達するためにキャパシタ要素を通して形成された導管と、を含み、キャパシタ電極のうちの少なくとも1つは少なくとも部分的にダイヤモンドまたはダイヤモンド様炭素によりコーティングされた、エミッタ装置も提供される。

【0 0 0 6】

荷電粒子の供給源と、導管と、キャパシタ・アレイを形成するために積層された複数のキャパシタ要素であって、キャパシタ・アレイは、キャパシタ・アレイを通して形成された導管を通して荷電粒子を加速するよう構成され、キャパシタ要素のうちのそれは、ダイヤモンドまたはダイヤモンド様炭素を含む層を有するカソード電極、ダイヤモンドまたはダイヤモンド様炭素を含む層を有するアノード電極、およびキャパシタ要素の放電の間に作動するようキャパシタ要素のまわりに配置された複数の光スイッチを備える、キャパシタ要素と、装置を冷却するために装置内で冷媒を循環させるための冷却システムと、を含む、エミッタ装置も提供される。

40

【0 0 0 7】

荷電粒子の供給源と、導管と、キャパシタ・アレイを形成するために積層された複数のキャパシタ要素であって、キャパシタ・アレイは、キャパシタ・アレイを通して形成された導管を通して荷電粒子を加速するよう構成され、キャパシタ要素のうちのそれは、

50

ダイヤモンドまたはダイヤモンド様炭素を含む層を有するカソード電極、ダイヤモンドまたはダイヤモンド様炭素を含む層を有するアノード電極、および、それぞれがダイヤモンド結晶を含み且つキャパシタ要素の放電の間に作動するようキャパシタ要素のまわりに配置された、複数の光スイッチを備える、キャパシタ要素と、装置を冷却するために装置内で冷媒を循環させるための冷却システムと、を含み、荷電粒子を加速することの結果としてガンマ線を放出するよう適応された、エミッタ装置も提供される。

【0008】

さらに、粒子流を生成するステップと、それがキャパシタ内に含まれた電極上にダイヤモンドまたはダイヤモンド様炭素のコーティングを利用する複数の放電積層キャパシタを備えるキャパシタ・アレイに対して粒子流を供給するステップと、放電キャパシタに関連付けられた1つまたは複数の光スイッチを使用してキャパシタ・アレイのキャパシタを放電することにより、キャパシタ・アレイを使用して粒子流を加速するステップと、を含む、粒子加速器装置を使用してガンマ線を生成する方法も提供される。

【0009】

複数のキャパシタ電極を製造するステップと、キャパシタ電極のうちのそれをダイヤモンドまたはダイヤモンド様炭素でコーティングするステップと、複数の光スイッチを提供するステップと、複数のキャパシタ要素を提供するステップであって、それぞれのキャパシタ要素は1対の電極および複数の光スイッチを備える、ステップと、複数のキャパシタ要素をコア上に積層し、それにより加速された粒子がそこを通って伝達される導管を形成するステップと、を含む、粒子加速器を製造する方法も提供される。

【0010】

複数のキャパシタ電極を製造するステップ、ダイヤモンドまたはダイヤモンド様炭素でキャパシタ電極のうちのそれをコーティングするステップ、それがダイヤモンド結晶を含む複数の光スイッチを提供するステップ、複数のキャパシタ要素を製造するステップであって、キャパシタ要素のうちのそれは、1対の電極および複数の光スイッチを備え、キャパシタ要素はそれが、少なくとも1つの流路を形成するための空間を備える、ステップ、および複数のキャパシタ要素をコア上に積層し、それにより少なくとも1つの流路を、および、加速された粒子がそこを通って伝達される導管を、形成するステップであって、少なくとも1つの流路は、粒子加速器を冷却するための冷媒を受け取るよう適用された、ステップ、を含む、粒子加速器を製造するステップと、第2極性で動作される複数の外側電極により包囲された第1極性で動作される内側電極を備える粒子供給源であって、粒子供給源を冷却するための冷媒システムを含む粒子供給源を製造するステップと、ガンマ線エミッタ装置を形成するために、粒子加速器とともに粒子供給源をハウジング内に配置するステップと、を含む、ガンマ線エミッタ装置を製造する方法も提供される。

【0011】

追加的な実施形態例も提供される。係る実施形態例の全部ではないが、その一部について、以下でより詳細に説明する。

【0012】

本明細書で説明される実施形態例の特徴および利点は、以下の添付の図面を参照しつつ、以下の説明を読むならば、本開示に関連する分野の当業者に明らかとなるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】例示的なダイヤモンド誘電体壁加速器(DDWA)とともに使用されるための例示的な水冷式粒子入射器(DPF)の軸方向概略図である。

【図2】例示的なDDWAのダイヤモンド誘電体壁加速器領域の例示的なキャパシタ要素の概略図である。

【図3】例示的なDDWAとともに使用される冷却水ジャケットの概略図である。

【図4】冷却水ジャケットを有する例示的なDDWAの誘電体壁加速器の端部キャパシタ要素の概略端部ブロック図である。

10

20

30

40

50

【図5A】図4の例示的なDDWAの端部要素の概略断面図である。

【図5B】例示的なDDWA装置の部分を示す概略透視図である。

【図6】ガンマ線エミッタための供給源として使用される例示的なDDWAの適用図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

従来の設計よりもおそらくはより低いコストで係る装置に対するより高い性能レベルを作るための物質および製造技術の使用のための設計を有するダイヤモンド誘電体壁加速器(DDWA)アーキテクチャの事例が提示される。提案されるアーキテクチャは、高平均パワー使用のために装置を冷却する一方で、非常に高い動作電圧の構築、搭載、および絶縁の実際的な手段を組み込む。DDWAは、ソース粒子を提供するために、いくつかの既存の粒子生成器装置のうちの任意の装置を使用することが可能である。しかし、図1に関して以下で説明される既存の装置に対する改善を示す高密度プラズマフラックス陽子入射器(DPF)を利用することも可能である。10

【0015】

図1は例示的な粒子入射器の概略図を示す。この粒子入射器は水冷式の高密度プラズマフォーカス(DPF)陽子入射器である。なおこの図面は、圧縮レールガン状の装置などのDDWA加速チューブのボアから見ているかのように示されている。この装置のハウジングおよび周辺の構成要素は図示されない。DPFは、堅牢な平行電極(個々のキャパシタを形成する)から構築された積層キャパシタ・アレイを有する例示的なDDWAとともに使用されることができる。図1のDPFは、中央の水冷式粒子入射器1と、より小さい水冷式外側電極2と、を備える。電極1および電極2は、それら自体が、水流路3(水流路3の一方は流入口であり、他方は流出口であり得る)を使用することによる均一な内部冷却流体循環と、流入水路および流出水路との間に水流を分割するために提供された水分割器4と、を支持するにあたり十分に大きい直径を有する。20

【0016】

それぞれの電極1および電極2は、全部金属から、半導体から、もしくは伝導性セラミック複合物質((例えばホウ素(高温時に導電性を示す)またはシリコンカーバイドなど)から、または何らかの他の好適な伝導性物質などから、作られることができる。中央ボア5も提供される。中央ボア5は、電極の前方で電極と整列して、いわゆる低いZ番号物質(20個未満の陽子および中性子を有する原子核)の、DDWAを入射器組立体から分離する(それにより、示された電極アレイを、原子の粒子または原子核の生成、および原子の粒子または原子核の粒子加速器のアバーチャ(DDWAに対しては、窓の外側面上に位置するであろう)への伝導にあたり好適である真空マニホールドにマウントすることが可能となるであろう)ための、能動的に冷却される(例えば水冷式)薄いプレート製の堅牢に気密された絶縁窓に直接的に取り付けられている。図示のように、いくつかの電極が同軸の円筒形パターンを作るアレイに配置される。さらにこれらの電極は、直径がより大きく且つ中央の中空チューブを有するよう設計された中央カソード電極1を有し、中空チューブの壁部に内側管状水冷流路が設計および構築されるというパターンで構成される。この装置には、任意個数の2次的アノード電極2も提供される。2次的アノード電極2は、同心パターンで中央電極ジャケットを包囲する。より小さい周辺電極2は、中央のより大きい電極1のまわりに円筒形アレイで配列されている。3040

【0017】

それぞれの2次的周辺アノード電極2は、高電圧高エネルギーのキャパシタ・バンクに接続され、別個のパルス形成回路網を備える。中央カソード電極1は、極めて短時間における極めて高い電圧を用いて高い平均およびピークパワーの放電を支援するために使用される。所与の時間にすべてのアノード電極2が同時に発火されると、非常な高電流のアークが、それぞれの電極表面の近い近傍に提供された例えばホウ化水素を含む低圧ガス内に生成される。アークは仮想的な接地平面(電極のベースまたは支持構造体に位置する)から、中空または管状の中央カソード電極1の先端部へと、伝搬する。これは非常に高速な50

事象であり、その最終的な結果として、アークは、中央カソード電極 1 の内側表面および外側表面を含む接続電極物質へと伝搬する。その時点で、アークは接触表面を越えて到達し、ボアの中央部分に加わることとなる。この時点で、電子ビームまたは陽子ビームは、プラズマが生成されているこの領域から放出される。各電極の管状能動的冷却領域は高い反復性を可能にし、それによりビーム電流は大きくなる。

【 0 0 1 8 】

例示的な場合において、最内側のチューブは、取付プレートからの最遠位端部において外側ジャケットにシールされた内側ジャケットを有する。それにより水が、内側電極チューブの 2 つの管状ジャケット（流路 3 ）間で流れることが可能になる。これは、プラズマが生成され且つ加速されることが意図される気化された物質から全部の電子が奪われる領域において、電極を冷却する目的のためである。このボアは、ガス（多くの場合、水素、重水素、窒素が使用される）またはこの環境においてより高くイオン化される（水素の場合には、加速され、窓を通して D D W A ボアに入射される陽子自体を提供する）、任意物質のイオンのための導入ポイントもある。この窓は、D D W A の加速器チューブのボアにおける高い真空と、プラズマフォーカス装置入射器（D P F ）における水素ガスの部分的圧力 1.2 トール ± 1.0 トール（例えば）と、に対して所望により提供される。10

【 0 0 1 9 】

D P F 粒子入射器が、水素とホウ素との間の融合反応のために使用される場合、内側チューブは、能動的流体冷却を使用しない 1 つのモノリシック・チューブとして提供されるであろう。しかし内側チューブは伝導的に冷却され、ホウ素から作られ得る。代替的なアプローチは、先行技術の特許による低圧の水酸化ホウ素ガスとともに全部金属の D P F を使用することである。20

【 0 0 2 0 】

D P F または他の粒子入射器を使用する D D W A アーキテクチャは、陽子または電子を加速するために使用することができる。係る設計は、相対論的速度の生成を可能にし、電子の場合には、高密度高 Z 番号の核ターゲット（90 を越える核子）に誘導し、有用な効率（例えば 30 %。これは普通ではない値である）で高エネルギー・ガンマ線が生成される。この構成では D P F はいくらか異なった方法で動作される。別個のアークが連結するプラズマ領域からの粒子の放出は、軸方向で D P F の接地平面から離間する方向に陽子を追い出し、電子を 180 度極性反対方向に追い出す。したがってこの装置がこの構成において D D W A 入力アーチャのために動作される場合、陽子ビームよりもむしろ電子ビームを使用する装置が提供され得る。30

【 0 0 2 1 】

これは、開示される設計に、中央チューブ間の全体を通じて延長するアーチャを有する管状二重壁（内側冷媒流を可能にする）の中央チューブが提供される 1 つの理由である。したがって中央チューブのアーチャは、D P F が粒子（陽子、電子、ベータ粒子、その他）を D D W A に入射するために D D W A をマウントすることが望まれる場合、粒子（例えば電子）を利用することを可能にする。この加速器の構成は、極端に短い装置において電子などの粒子が所望により相対論的速度まで加速されることを可能にする。これは、エミッタ・ターゲットにおいて、原子核内に 90 以上の核粒子を有する原子種からガンマ線を生成することにおいて有用となるであろう。40

【 0 0 2 2 】

以下で説明される例示的な実施形態に係る、例えばキャパシタ加速器要素あたり 1.25 kV 以上で動作される、ダイヤモンド誘電体壁加速器（D D W A ）が提供され得る。1.25 kV レベルで 1.6 MeV のガンマ線を生成することが期待される 4.5 MeV の電子を達成するために必要となる加速器ヘッド部は 3.6 cm の長さのオーダーとなるであろう。これは、従来設計のクアドラポール無線周波数加速器における 2 MeV / メートルに匹敵するであろう。

【 0 0 2 3 】

この例示的な用途では、D P F のそれぞれの放電は（モノリシック・ソリッド・チューブ

50

ブ電極において)高い電流を作り、この電流は内側表面に反射される。これらの電流は水素ガスをイオン化し、これを中央電極の端部へと加速する。この場所において、それぞれの放電経路は、イオン化および加速された陽子がホウ素チューブの中央ボア内における単一渦頂点領域内で捕らえられることが可能である、チューブのまさに端部において、竜巻状のプラズマ放電を作る。まさにこの時点で、組み合わされたプラズマ放電が濃縮され、高温で動作するホウ素の一部が、電子が奪われた水素イオン(すなわち陽子)と遭遇し、中央電極(この場合、ホウ素から作られている)の端部のまさに中央において、組み合わされたプラズマ渦により作用される。この場所において、個々の渦からの磁気力もプラズマを濃縮させ、それにより融合反応が起こるための状況が作られる。結果的に生成されるヘリウムおよび未反応の陽子は、DDWA内における後続の加速のための入射物質となることができる。この方式の利点は、粒子が数百keVのエネルギーまたは速度にプラズマ入射器から加速されることである。これは、特定的な目的を達成するために必要とされるDDWA内の加速チューブの長さを短縮化する。

【0024】

任意の原子プラズマ・イオンまたはガス・イオンも加速されることがある。電極物質は、非融合ベースの反応に対しては、必ずしもホウ素である必要はないであろう。この場合、プラズマフォーカス装置は単にコンパクトなイオン加速器/入射器である。

【0025】

DPF粒子を受け取る誘電体壁加速器(DWA)区域のアーキテクチャは、粒子加速器の真空格納区域を形成する中空円筒からなる。この例示的なチューブ区域の選択された設計の長さは約1メートル以上の長さである。このチューブ区域は、チューブの十分に厚い壁内の、埋め込まれマウントされ互いから絶縁された、近傍の金属膜の平行リングから構築および絶縁された大きい(この場合4cm)ボア・チューブとして構築され得る。これらの金属膜リングは、加速器チューブの外側壁上に積層された逐次発火されるキャパシタの電圧勾配を平均化する効果を有するキャパシタ回路網を形成する。この効果は、ボア・チューブの壁部内の個々のキャパシタ要素を表すこれらのリング上に誘導および印加される、反射された電荷に起因する。

【0026】

パルス形成回路網(PFN)を形成する放電キャパシタ要素のうちのそれぞれの電極スキンに沿って伝搬する電流は、実際、極めて制御された時間的に連続する事象(以下で説明される)において逐次的に発火される動作により、加速器チューブのボア内の任意の荷電粒子に対して作用する加速起電力を供給する。非常に高い比エネルギー密度の加速力がチューブ内の粒子に印加される。

【0027】

ヒ化ガリウムまたはシリコンカーバイドの従来の用途において使用される光スイッチは、高い電圧における制御された非常に短い時間的期間の伝導を支援するための能動的構成要素として使用され得、それにより、個別の光ファイバを介して供給される数ナノ秒のレーザ・パルスの照射時の高電圧および高電流におけるスイッチングが可能となるが、係る装置は通常、低電圧における高電流で、または低電流における高電圧で、動作する。これらについては、参照することにより本明細書に援用される米国特許第4,993,033号で、および参考文献Aにより本明細書に援用される"Wide Bandgap Extrinsic Photoconductive Switches by J.S. Sullivan, Lawrence Livermore National Laboratory, Jan 20, 2012(以後、「参考文献A」とする)で論じられている。ダイヤモンド単結晶または DLC の光スイッチ(すなわち、ヒ化ガリウムまたはシリコンカーバイドをダイヤモンド物質で置き換える)は、これら上述の制限を克服する。最も重要なポイントは、先行技術に係る物質が単位メートルあたり3~3.5百万ボルトの破壊電圧を有する一方で、ダイヤモンド単結晶および70%四面体DLCダイヤモンドは単位メートルあたり百億ボルトの破壊電圧を有するという点である。これは、実際的な単結晶ダイヤモンドの光スイッチが1mmの装置に対して1千万ボルトの破

10

20

30

40

50

壊電圧を有することを可能にする。明らかに、低温で存在し低温で動作される係る装置の冷却媒体の破壊電圧は、主要な動作要因であり得る。高度に脱イオン化された水に対する破壊電圧は 400 kV / cm である。これは、DDWA の物質特性が最大化される光スイッチ配置アーキテクチャを使用することを示唆する。

【0028】

キャパシタ要素またはキャパシタ層を配置するアーキテクチャは、各キャパシタ・ディスク間に空間が存在し、その空間はディスクの 1 つの表面上の個別に離間されたリブの層であり、それにより、脱イオン化水冷媒の強制された流れがチューブおよびキャパシタ・アレイの軸に沿って可能となるが、係る冷媒は上述のリブの存在によりPFN のキャパシタ・ディスク要素間に作られた区間を通してチューブの軸に対して横断して流出する、というものである。水は、個々のキャパシタ区域の内側アーチャおよび累積的な水マニホールドを構成する多角形（例えば六角形）の穴の頂点空間へとポンプ注入される。一連の個別のキャパシタはそれぞれ他のキャパシタの近傍に積層され、それによりキャパシタ・アレイ、すなわち、エネルギー蓄積を供給し、逐次発火されるPFN の迅速な放電回路を提供するキャパシタの軸方向の合計、が形成される。単一のキャパシタ要素は、1つまたは複数の光スイッチがこれら 2 つの導体の間にマウントされた状態で相互に積層された 2 つの平行プレート伝達ライン（電極）からなり得る。

【0029】

図 2 は、例示的な DDWA のための例示的なキャパシタ要素 50 の誘電体壁加速器領域の概略図を示す。DDWA は複数の係る領域 50 を積層すること（すなわち複数のキャパシタ要素を積層すること）により形成される。DDWA は中央粒子真空チューブ導管 7 を備える。粒子真空チューブ導管 7 は積層された要素 50 の全部を通過する。要素 50 は、第 1 ダイヤモンド・コーティングされたキャパシタ・プレート 8 を備える（高電圧パルス形成回路網（PFN）を形成するそれぞれのキャパシタ加速要素に対して 1 つのプレート 8 が提供される）。第 2 ダイヤモンド・コーティングされたキャパシタ・プレート 9（キャパシタ要素 1 つにつき 1 つ）は、パルス形成回路網（PFN）の要素 50 に対して接地基準を提供する。六角形アーチャ 10 がキャパシタ要素に提供される。このアーチャ 10 は中央冷媒流路を構成する。3 つの単結晶ダイヤモンド・プレートの光スイッチ 12 が、多角形の PFN 加速器キャパシタ要素において軸方向の順序で提供される。単結晶ダイヤモンド光スイッチ 13 が、次の順序の多角形 PFN 加速器キャパシタ要素に対して提供される。キャパシタ・プレート（電極）上のダイヤモンド・コーティングは、ダイヤモンド結晶、またはダイヤモンド様炭素（ DLC ）からなることができ、ダイヤモンド・コーティングは例えば堆積処理を使用して堆積ができる。さらにテフロン（登録商標）・コーティングまたは他のコーティングが、ダイヤモンド層または DLC 層の上に、これらの層の防水化のために、施され得る。注釈：いくつかの実施形態では、参考文献 A で開示されているように、キャパシタ要素が近傍のキャパシタと電極を共有し、それにより係る電極の個数を減らすことが可能であるが、これは好適な構築アーキテクチャではない。

【0030】

例示的な DDWA 装置は、設計の外側形状の構成として、六角形の多角形として提供される（この場合、六角形）。事実、光スイッチを縁部にマウントするにあたり好適な個数の縁部を有する多角形が提供されることができる。一方、それぞれのキャパシタは、ダイヤモンド・コーティングされた絶縁キャパシタ要素 50 の表面全体にわたり均一な同時の電流放電を提供するために、それぞれの層の上に 3 つ以上の光スイッチ 12 を有するのみである。近傍の層は、近傍の層の光スイッチが近傍の層の頂点間にフィットするようマウントされた、それ自体の光スイッチ 13 を有する。これは光スイッチが、特に絶縁体および冷媒として使用される脱イオン化水の破壊を経過したアーケーからの干渉を受けることなく動作することを可能にする。この方法により、それぞれのキャパシタ要素は周辺まわりに均等に放電し、それにより、それぞれの個別の層のほぼ均一な電流放電が可能となるであろう。光スイッチ（单数または複数）12、13 およびキャパシタ層 8 の肉厚および配

10

20

30

40

50

置は、設計された動作を可能にするよう適応されるであろう。脱イオン化水の破壊電圧、すなわち 125 kV 電圧の最小空間（例えば、この装置で例示される）、を考慮すると、125 kV の設計電圧における 3 倍の安全係数に対して安全な設計パラメータが 1 cm であるとして、光スイッチ電極は 4 mm 以上離れている必要がある。

【0031】

それぞれ個々の光スイッチは、外側縁部にマウントされた個々の光ファイバ・カプラにより、アクセスおよび作動が可能である。これは、単結晶合成ダイヤモンドが高速且つ高電流の導体となり、キャパシタを短絡させ、粒子加速のための発火事象を構成する高電流の放電を生成することを可能にするために十分な強度（例えばそれぞれ 10 ~ 15 ミリジュール）の、制御されたタイミング下での、伝達された Q スイッチされたレーザ・パルスを支援する。10

【0032】

図 3 は、真空円筒の端部をカバーする、例示的な冷却水ジャケット 20 を示す。このジャケット 20 は、水出入力ポート 21 と、中央真空チューブ導管に対する水シール 22 と、加速器多角形キャパシタ要素に対する水シール 23 と、を備える。

【0033】

図 4 は、中央粒子真空チューブ導管 7 と、水冷ジャケット 20 と、入／出冷却ポート 21 と、近傍の木橋層に対する接地基準 P FN キャパシタ・プレート接点 25 と、キャパシタ層 8 に対する高電圧 P FN キャパシタ接点要素 26 と、を図示する、例示的な D DW A の端部キャパシタ 100 の端部概略図を示す。図 5 A は、多数の同じ構成要素を図示する、中央誘電体壁真空チューブの端部キャパシタ上の冷却水ジャケットの断面図である。図 5 B は、図 5 および図 5 A の端部キャパシタ 100 が、D DW A 装置を形成するために、冷却される格納容器 110 内に示される状態で、透視図により D DW A 装置を示す概略図である。単一のキャパシタ要素（端部要素）のみがこの図 5 B で図示されるが、実際の装置では、複数のキャパシタ要素 50（図 2 に図示される）も、キャパシタ要素の積層を形成するために、チューブ導管（コア）7 上に積層されるであろう。粒子供給源生成器は、格納容器 110 内に含まれる場合もあり、また含まれない場合もある。20

【0034】

この D DW A 技術における新規な特徴のうちのいくつか（これらの新規特徴のうちのそれぞれは所望により開示される例示的設計の特徴を構成する）は、以下の項目を含むが、これらの項目に限定されない。以下にこれらの項目を挙げる。30

【0035】

1) キャパシタ要素の設計として代表的であるディスクのより大きい部分から延長するものとして示される放電ストリップ電極タブまたは導体を除きキャパシタ電極要素の全表面上に提供されたダイヤモンド様炭素（ DLC ）（またはダイヤモンド）の使用。電極導体上にマウントされる実際の光スイッチ接点が提供されているこの DLC 膜に対する特定的な例外も存在する。 DLC 膜は、レーザ（例えば、2012 年 8 月 3 日に出願された米国特許出願整理番号第 13 / 566,144 号に開示されるスラブ・レーザなど。なお同特許は参照することにより本明細書に援用される）を使用するパルスレーザ蒸着（ PLD ）を使用して堆積ができる。40

【0036】

2) 2 次的 PLD により作られた膜（例えば六角形のチタン酸バリウム（ h - BaTiO₃ ）セラミック誘電体など）も電極間の領域に使用することができる。 DLC は、D DW A の動作を支持するための好適な誘電体であるが、高い飽和電圧の誘電体（チタン酸バリウムまたは二酸化チタンなど）を含むことは設計者のオプションである。

【0037】

3) この場合には脱イオン化水である冷却プレナムを冷却することを目的とする、各ディスク・キャパシタ要素の表面（单数または複数）上のリブ構造体（潜在的には PLD 製）。

【0038】

10

20

30

40

50

4) 放電の間に均一な電流フローを作るため、またはこれを支援するために、個々のキャパシタ要素の周りに配置および離間されているが、しかし封入するDLC層内で密閉されている、高電圧高電流光スイッチ要素を含む、例えば所望により窒素でドーピングされた合成単結晶、またはドーピングされないダイヤモンドウェーハ。しかし前述のDLC層は、いくつかの場合では、表面または光パルス入力面をカバーする必要はなく、むしろ、電極の機械的接合および電気提携路を可能にする露出された伝導性金属層のみをカバーする必要がある。

【0039】

5) 対抗するよう、または反対方向となるよう強制され得る、交代的な頂点における水、六フッ化硫黄、またはオイル絶縁体流を支援する、個々のキャパシタ要素における多角形状（図面において示される事例では六角形）の中央アパー・チャまたは穴。この特徴は、反対側からの冷却を可能にする。これにより加速器ボア・チューブの冷却区域の有効長さは2倍になる。この特徴は重要となり得る。なぜなら提案される冷媒が外側壁部の長さに沿って流れ下るように強制されるとき、高温となるためである。緩和されないかぎり、高い平均パワー動作において、水が沸騰を開始し、オイルが炭化を開始する時点が存在することとなるであろう。この簡単な特徴は、所与の冷媒フロー・レベルにおいて装置の長さに充填され得るパワーを大きくし、この設計のために、冷媒筐体構造の非圧縮動作が可能となる。いくつかの用途では、このことは装置全体のビーム電流を顕著に大きくする。

10

【0040】

6) 真空チューブの軸に沿う外側壁部に沿って装置全体を通してポンプ注入され、次にキャパシタ要素間の空間を通って流出する、脱イオン化水または冷媒。高度に脱イオン化された水は、1センチメートルあたり18Mオームヘと脱イオン化された場合、cmあたり400kVの破壊電圧を有する。これは、装置の冷却と、コンパクトなアーキテクチャと、を可能にする。冷却レベルはキロヘルツの反復速度を可能にし、したがって高い平均パワー・ビーム電流を支援する。水の使用は、水脱イオン化抵抗測定装置が制御コンピュータによりフィードバック・システム制御要素として使用されるための、良好に確立され且つ成熟した技術も可能にする。

20

【0041】

7) ダイヤモンド様炭素(DLC)またはダイヤモンドが、キャパシタのプレートおよび電極上の誘電体絶縁体として、および誘電体壁加速器チューブ自体を構築するマトリクスとして、使用される。ピンホール・フリーDLCの破壊電圧は単位ミクロンあたり約10kVである。提案される設計は、応力フリーな製作を支援し、放電パルスから生成された機械的振動波が収容されることを可能にする、0.001インチ肉厚の多層DLC／グラファイト・アーキテクチャを用いる。

30

【0042】

8) 単結晶合成ダイヤモンドが、それぞれのキャパシタ要素の周辺まわりのいくつかの箇所にマウントされる光スイッチ・スラブとして使用される。この単結晶合成ダイヤモンド・スラブはさらに、入力窓を除くすべての縁部上の全体的内部反射器内で作られる。この特徴は、光スイッチ・スラブ内における均一な光の照射を可能にし、スイッチを作動させるために必要とされる入力エネルギーを低下させる。

40

【0043】

9) DLCは主に、例えば2012年8月3日に出願され、参照することにより本明細書に援用される、米国特許出願整理番号第13/566,144号で開示される高速パルスレーザ蒸着(PLD)により適用される。しかし単結晶ダイヤモンドまたは非晶質多結晶ダイヤモンド様炭素を作るための他の方法も存在し得、低速ではあるが、係る方法も上述の膜を作るために使用されることが可能な技術である。

【0044】

10) それぞれの個別のキャパシタ要素は、それぞれのキャパシタ要素のエネルギー貯蔵を調節するために六角形チタン酸バリウムがPLDを介して制御された肉厚で堆積されるようにして所望による誘電体が適用されるよう、構築される。この層は、DLC層の外

50

側上に作られ、この層自体が、キャパシタの電極を構築する膨張適合されたグラフェン、鉄 - ニッケル、またはモリブデン合金に対してDCを密閉する DLC 層により、密閉される。

【 0 0 4 5 】

11) それぞれのキャパシタ要素の設計のアーキテクチャは、近傍のキャパシタ・ディスクおよびそれ自体の光スイッチ要素の配置が、次の近傍のキャパシタ要素の動作と干渉しないよう、それぞれの光スイッチの肉厚が多角形であるキャパシタ・ディスク上の頂点マウント用パッド上に配置されるもの、となっている。

【 0 0 4 6 】

12) 上記で示されたキャパシタ層は、キャパシタ要素の周辺まわりにおける光スイッチの均等配置により支援される、従来の設計に係る Blumlein ストリップ構成(参考することにより本明細書に援用される米国特許第 2,465,840 号および参考文献 A を参照されたい)とは異なり、多角形である。 10

【 0 0 4 7 】

13) 放電されるPFNアレイを発火するタイミング制御回路は、主発振パルス増幅器(MOPA: master oscillator pulse amplifier)を介して十分な強度およびエネルギー含量に増幅される、IFM米国特許第 8,220,965 号(参考することにより援用される)を利用する単一の同期されるQスイッチされたレーザ・パルスにより、制御されることができる。次に、このことは、前記光パルスを連続的な光ピックオフ・ファイバ・ランチ・マニホールド(光パルスの一部を前記負荷裏ファイバ線に転送する反射器を含む)に入射することを可能にし、次に、それぞれの個別の光ファイバの長さが、それぞれの個別の光スイッチへと到着する光パルスのタイミングおよび順序を正確に制御することを可能にする。 20

【 0 0 4 8 】

14) 後続のタイミング調節は、変動する距離の経路長さまたは可変肉厚の高い屈折率物質遅延線(例えばSF-11ガラスなど)を、個々のファイバ・ランチ・フォーカスヘッドを保持する線形アクチュエータに対するコンピュータ・コマンドを介して調節可能である、それぞれのファイバ・ランチ・ライン上有することによりさらに支援されることがある。この特徴は、同一のDDWA装置が異なる原子種を加速することを支援する。なぜなら、高いZ番号の粒子、またはむしろより重い原子、のタイミングが、コンピュータの制御下にある、光ファイバ・コリメータ間のコンピュータ制御された空間により、調節可能であるためである。この方法により、タイミングを変化させ、それにより、より低速な粒子または原子種が加速されるよう十分に制御された遅延を作ることが可能である。この手段により、同一アーキテクチャ内の異なる同位体種を収容するために必要となるタイミング遅延が支援されるであろう。 30

【 0 0 4 9 】

例示的なシステム設計: 事例はいくつかの設計アーキテクチャに含まれる。DDWAからの平均ビーム電流は、それぞれの要素のディスクサイズに関する設計者により選択された誘電体と組み合わせて、単結晶合成ダイヤモンド光スイッチの接触表面のサイズ、したがって冷却表面積に基づいて、設計者が達成することを希望する選択に関連する。 40

【 0 0 5 0 】

例示的なベース DDWA 設計は、DDWA 加速器キャパシタ要素のまわりの 3 箇所に配置された $1 \text{ cm} \times 1.5 \text{ cm}$ のスイッチ要素を使用することができる。この選択は、毎秒数百 ~ 数千パルスの発火速度を可能にする。光スイッチにおいて生成される熱、およびその熱を奪い去る冷媒の能力は、パワー入力に対する限界因子である。キャパシタ直径と、したがって誘電物質の選択に関連する表面積と、が加速器要素あたりのエネルギー貯蔵を決定するであろう。このセットの選択により 12 mA の平均ビーム電流がもたらされる。なお加速電圧は、加速器装置 - 積層されたキャパシタ要素間の長さについて単位 mm あたり 125 kV ずつ増加する。これらの要素は、誘電体壁ビーム・チューブ - 装置間の距離に関して、互いに近接して積層される。 0.012 アンペア において約 45 MeV を有す 50

る上述のアーキテクチャは、約¹ / ₂ MWのビーム・パワーを生成するであろう。この電子ビームが、酸化トリウムまたは劣化された酸化ウランのセラミック・ターゲット上に誘導されると、電子ビームの約30%が10~17 MeVのガンマ線に変換されるであろう。

【0051】

ガンマ線エミッタ設計

図6は、ガンマ線エミッタに対する供給源として使用される、本明細書で説明されるDDWAの概略図を示す。この設定は、粒子入射器31（例えば図1に関連して説明された、改善された高密度プラズマ・フェージョン（DPF）装置）と、ダイヤモンド誘電体壁加速器組立体（DDWA）32と、リフレクトロン33と、ガンマ線窓34（例えばアルミニナ・セラミック・サファイア縁部で画成された成長チューブ窓または焼成されたセラミック窓）と、ガンマ線エミッタ・コーン35（例えば、基準酸化トリウムなどの高温高原子量物質など）と、熱交換器サブマウント36（例えば反応的に作られたシリコンカーバイド冷却プレナム）と、ユーティリティ構造支持を提供する真空含有円筒38と、を備える。

10

【0052】

提案されるパワー入力において、生成されたエミッタ廃熱を処理するために、（例示的な）酸化トリウム・コーンの背面は、SCO₂または脱イオン化水によりターゲットが冷却されることが可能となるよう、凹んでいる。このガンマ線放射フランクスは、反応器チャンバ内の近傍の放射性同位元素を、トリウムおよび/またはウランから、上述の原子種へと分裂させ、回収された電気エネルギーの約20~25倍を完全な反応器システムから生成する。

20

【0053】

電子ビームおよび/または選択された場合には陽子ビームは、真空または略真空内を移動するであろう。放出ターゲット上に適用された粒子の形態における熱エネルギーにより、実際的な装置において、放出物質が蒸発しチャンバ内のすべてをコーティングする傾向が存在するであろう。酸化トリウムがこのことを行う物質である可能性はおそらく最も低いが、処理されるすべての物質に対してスパッタリング効果が異なる速度で生じるであろう。

【0054】

30

このことがDDWAおよび内部ビーム・チューブ表面に対して生じることを防止するための新規な構成要素は、反発的な負電圧を放出ターゲットからチャンバ内のあらゆる反射されたイオンに印加するであろうリフレクトロン33および/または高電圧リング電極であろう。

【0055】

リフレクトロンは、飛行時間型質量分析計において使用される静電粒子ミラーである。相対論的粒子の場合、リフレクトロンは一方通行のチェックバルブである。リフレクトロンは、多角形の各コーナー部または頂点の付近にドリルされたマウント用穴を有する薄い伝導性多角形金属プレート（多くの場合、真鍮製）の積層から構築される。上述のプレートの直径の顕著な部分（およそ70%）である、より大きいアパーチャが各プレートの中央部分に存在する。これらのプレートは、絶縁するネジブッシングに関して順次互いに小さい距離（通常は5~6 mm）だけ離間してマウントされる。その後、抵抗が、略同一抵抗を有する隣接するそれぞれの層に対して取り付けられる。これにより、高い負電圧（電子に対しては負電圧。陽子およびアルファ粒子に対しては正電圧）が、他方の端部が接地された状態で、一方の端部に印加されたとき、その長さに沿って均一な電圧勾配を生成するであろう。いくつかの実施形態に対して：

40

【0056】

リフレクトロンは、DPF-DDWA-リフレクトロン粒子エミッタ設計の一部として、DDWA出力アパーチャと反応器チャンバ入力アパーチャとの間にマウントされる。したがって、リフレクトロンは反応器チャンバに隣接する。リフレクトロンはアパーチャ・

50

チューブまたは真空チャンバ内に密閉されるか、アーキテクチャ的な理由のために、アームにマウントされる。

【0057】

ベース・アーキテクチャは、加速された電子ビームがガンマ線エミッタ・ターゲットに誘導されるよう真空反応器チャンバに取り付けられた1つのD P F - D D W A - リフレクトラロン・アームである。

【0058】

エミッタ・ターゲットは、複数のビーム・アームを有し、反応器チャンバの壁部（単数または複数）上のターゲットのまわりに配置することができる。反応器チャンバ内での物質の十分にエネルギーが大きいガンマ線の生成および照射により設計者が放射性物質をより小さいかまたは究極的に非放射性の物質に変換することを希望することが仮定される。
10

【0059】

粒子ビームは、パラメータが選択された動作電圧により、任意の特定的な核種を光核分裂させるために十分に強力なIE MeVのガンマ線を生成するであろう。次にこのことにより、超均一熱（over unity heat）が生じるであろう。超均一熱より高温における熱・電気パワー変換が生成される。したがって熱管理システムIEエミッタ・ターゲットおよび変換候補物質が、その上で、コアおよび周囲の放射性物質が動作され、変換されるパワー率を決定する、入力熱交換器。設計者または顧客が最終的な娘生成物として非放射性の安定な同位体へと変換することを希望する困難なターゲット原子種が～であるならば、この仮定に対する例外は最終的な段階であろう。
20

【0060】

したがって、上述の例示的なシステムは、特定的な調節された選択されたガンマ線MeVレベルおよびビーム電流を作るために特定的な調節された粒子ビーム・エネルギー・レベルを可能にするよう構築されている。これらは、光核分裂により任意の元素およびその同位体を変換するために使用されることができる。以上は、設計者の選択メニューに基づく複数の選択の変化例を可能にするアーキテクチャに関する説明である。実際、このアーキテクチャは略任意のレベルにおけるパワー生成を支持することが可能である。

【0061】

多数の他の実施形態例が上述の特徴の様々な組み合わせから提供され得る。上述の実施形態では特定的な事例および代替物が用いられたが、本願の意図する範囲から必ずしも逸脱することなく、本明細書で説明した要素および／またはステップに対して様々な追加的な代替物が用いられ得、均等物が代用され得ることは、当業者に理解されるであろう。本願の意図する範囲から逸脱することなく特定の状況または特定の要求に実施形態を適応するために、改変例が必要となり得る。本明細書で説明した特定的な実装例および実施形態例に本願が限定されることはない。請求項が、請求項により含まれる、逐語的なまたは均等な、開示されたまたは開示されない、全部の新規および非自明な実施形態を含むよう、最も広範な適切な解釈が加えられるべきであることは意図される。
30

【図1】

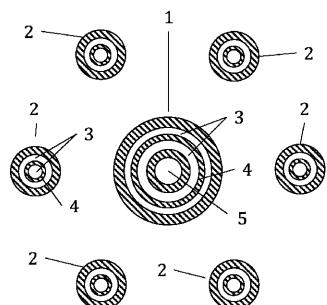


FIG. 1

【図3】

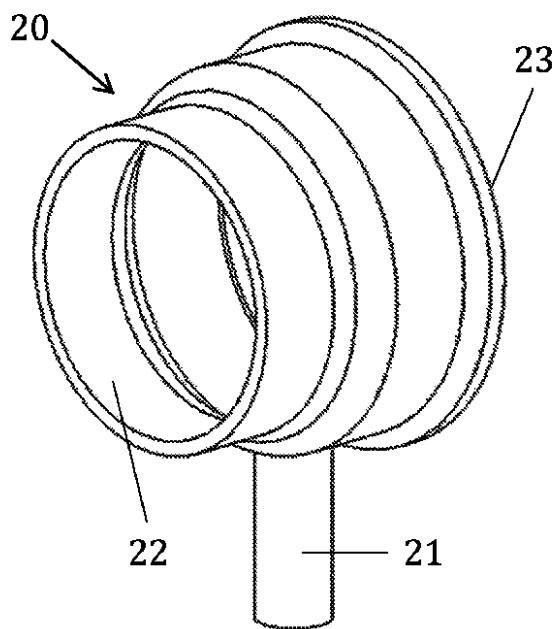


FIG. 3

【図2】

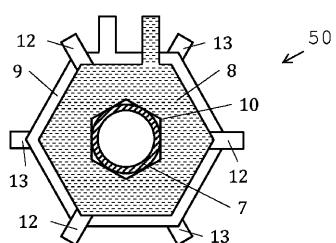


FIG. 2

【図4】

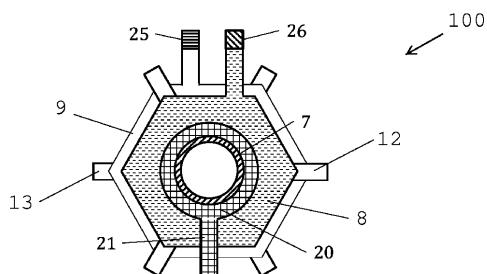


FIG. 4

【図5A】

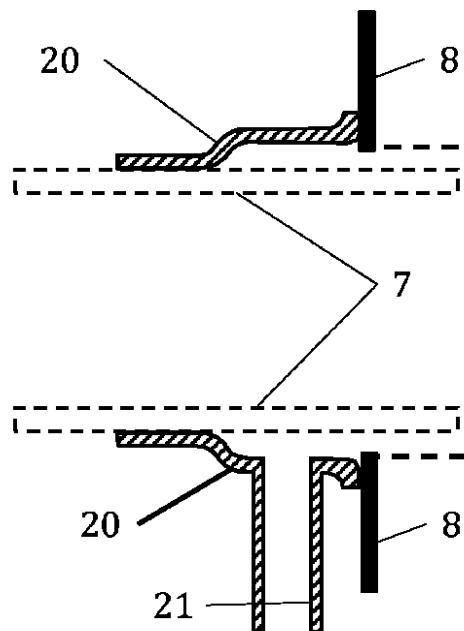
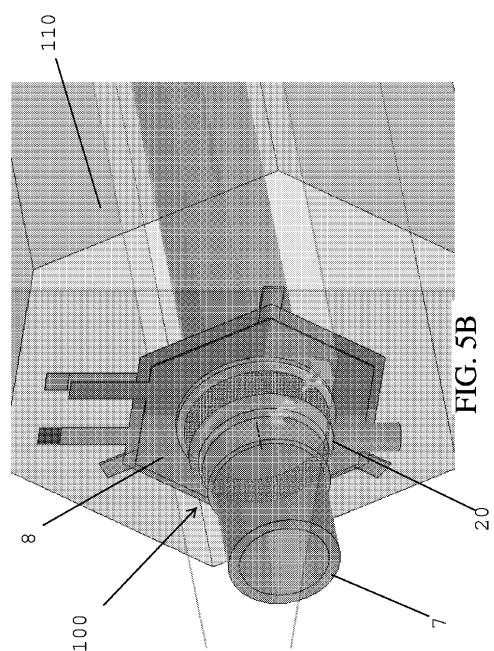


FIG. 5A

【図 5B】



【図 6】

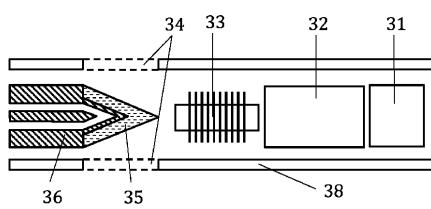


FIG. 6

フロントページの続き

(72)発明者 スチュアート , マーティン , エー .

アメリカ合衆国 , カリフォルニア州 91505 , バーバンク , 3612 ウエスト ピクトリー
ブルバード

審査官 杉田 翠

(56)参考文献 米国特許第05811944(US, A)

特開平08-288172(JP, A)

特開平05-063121(JP, A)

米国特許出願公開第2011/0101891(US, A1)

特開平06-350120(JP, A)

特開昭58-155700(JP, A)

特表2012-528427(JP, A)

特開昭59-205139(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J27/00 - 27/26

H05G1/00 - 2/00

H05H1/00 - 15/00

Google Scholar