

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6429407号  
(P6429407)

(45) 発行日 平成30年11月28日(2018.11.28)

(24) 登録日 平成30年11月9日(2018.11.9)

(51) Int.Cl.

H01J 37/141 (2006.01)  
H01L 43/12 (2006.01)

F 1

H01J 37/141  
H01L 43/12

B

請求項の数 15 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2016-519682 (P2016-519682)  
 (86) (22) 出願日 平成26年6月13日 (2014.6.13)  
 (65) 公表番号 特表2016-521913 (P2016-521913A)  
 (43) 公表日 平成28年7月25日 (2016.7.25)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2014/042321  
 (87) 國際公開番号 WO2014/201363  
 (87) 國際公開日 平成26年12月18日 (2014.12.18)  
 審査請求日 平成29年3月21日 (2017.3.21)  
 (31) 優先権主張番号 61/835,089  
 (32) 優先日 平成25年6月14日 (2013.6.14)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)  
 (31) 優先権主張番号 13/966,611  
 (32) 優先日 平成25年8月14日 (2013.8.14)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 500324750  
 バリアン・セミコンダクター・エクイップ  
 メント・アソシエイツ・インコーポレイテ  
 ッド  
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州019  
 30, グロスター, ドリー・ロード35  
 (74) 代理人 110000877  
 龍華国際特許業務法人  
 (72) 発明者 バラクロウ、スコット  
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州019  
 30, グロスター, ドリー・ロード35内  
 (72) 発明者 バフ、ジェームス エス.  
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州019  
 30, グロスター, ドリー・ロード35内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】イオン装置で利用する磁石およびイオン装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

イオン装置で利用される磁石であって、  
 内部に空洞を有する金属製のコアと、  
 前記金属製のコアの周囲に配置されている複数の導電性のワイヤの巻き回し部と、  
 前記空洞内に挿入される環状コア部と  
 を備え、  
 前記空洞と前記環状コア部との間に環状流体冷却材流路が形成されている  
 磁石。

## 【請求項2】

前記環状コア部の前記環状流体冷却材流路が形成される部分における、前記挿入の方向  
 に対して鉛直な方向の外径は、前記空洞の前記環状流体冷却材流路が形成される部分にお  
 ける、前記挿入の方向に対して鉛直な方向の直径より小さい請求項1に記載の磁石。

## 【請求項3】

前記環状コア部は、  
 第1の外部流体冷却材開口と、  
 前記環状流体冷却材流路が形成される部分に配置されている第1の内部流体冷却材開口  
 と、  
 前記第1の外部流体冷却材開口と前記第1の内部流体冷却材開口とを接続する第1の内  
 部流体冷却材流路と、

10

20

第 2 の外部流体冷却材開口と、  
前記環状流体冷却材流路が形成される部分に配置されている第 2 の内部流体冷却材開口  
と、

前記第 2 の外部流体冷却材開口と前記第 2 の内部流体冷却材開口とを接続する第 2 の内部流体冷却材流路と

を有する請求項 2 に記載の磁石。

【請求項 4】

前記環状コア部は、円周凹部と、前記円周凹部に配置される O リングとを有し、前記 O リングは、前記環状コア部を前記金属製のコアに対して、流体的に封止するために設けられる請求項 3 に記載の磁石。

10

【請求項 5】

イオン注入装置で利用される磁石であって、

貫通する開口を有するイオンビームカプラと、

前記イオンビームカプラに隣接して配置される第 1 の磁石と、

前記イオンビームカプラおよび前記第 1 の磁石に隣接して配置される第 2 の磁石とを備え、

前記第 1 の磁石および前記第 2 の磁石はそれぞれ、

内部に空洞を持つ金属製のコアと、

前記金属製のコアの周囲に配置されている複数の導電性のワイヤの巻き回し部と、

前記空洞内に挿入される環状コア部と

20

を有し、

前記環状コア部は、前記金属製のコアと前記環状コア部との間に環状流体冷却材流路を形成する

磁石。

【請求項 6】

前記環状コア部の前記環状流体冷却材流路が形成される部分における、前記挿入の方向  
に対して鉛直な方向の外径は、前記空洞の前記環状流体冷却材流路が形成される部分における、前記挿入の方向に対して鉛直な方向の直径より小さい請求項 5 に記載の磁石。

【請求項 7】

前記環状コア部は、

30

外部流体冷却材開口と、

前記環状流体冷却材流路が形成される部分に配置されている内部流体冷却材開口と、

前記外部流体冷却材開口と前記内部流体冷却材開口とを接続する内部流体冷却材流路とを含む請求項 6 に記載の磁石。

【請求項 8】

前記外部流体冷却材開口は第 1 の外部流体冷却材開口であり、前記内部流体冷却材開口は第 1 の内部流体冷却材開口であり、

前記環状コア部は、第 2 の外部流体冷却材開口と、

前記環状流体冷却材流路が形成される部分に配置されている第 2 の内部流体冷却材開口  
と、

40

前記第 2 の外部流体冷却材開口と前記第 2 の内部流体冷却材開口とを接続する第 2 の内部流体冷却材流路と

を含む請求項 7 に記載の磁石。

【請求項 9】

前記環状コア部は、O リングを挿入するための少なくとも 1 つの円周凹部を含む請求項 8 に記載の磁石。

【請求項 10】

前記円周凹部内に配置されている O リングをさらに備える請求項 9 に記載の磁石。

【請求項 11】

前記環状コア部を前記金属製のコアに固定する端部キャップをさらに備える請求項 10

50

に記載の磁石。

【請求項 1 2】

イオン装置であって、

イオンビームを放出するイオン源と、

前記イオンビームの進行方向において前記イオン源の下流に位置している磁石であって、前記イオンビームを成形し、内部に環状流体冷却材流路が画定されている磁石と、

流体冷却材を収容し、前記環状流体冷却材流路に接続されている流体冷却材容器と、

前記流体冷却材容器と前記環状流体冷却材流路との間に接続されている流体冷却材ポンプであって、前記イオン装置の動作時に、前記磁石を冷却するべく、前記環状流体冷却材流路を通して前記流体冷却材を圧送する流体冷却材ポンプと

10

を備え、

前記磁石は、

内部に空洞を持つ金属製のコアと、

前記金属製のコアの周囲に配置されている複数の導電性のワイヤの巻き回し部と、

前記空洞内に挿入される環状コア部と

を含み、

前記環状コア部は、前記空洞と前記環状コア部との間に環状流体冷却材流路を形成するイオン装置。

【請求項 1 3】

前記磁石は、

20

イオンビームカプラに隣接して配置されている第1の磁石と、

前記イオンビームカプラおよび前記第1の磁石に隣接して配置されている第2の磁石とを有し、

前記第1の磁石および前記第2の磁石はそれぞれ、

前記金属製のコアと、

前記複数の導電性のワイヤの巻き回し部と、

前記環状コア部と

を含む、請求項 1 2 に記載のイオン装置。

【請求項 1 4】

前記磁石は四重極磁石である請求項 1 3 に記載のイオン装置。

30

【請求項 1 5】

前記環状コア部の前記環状流体冷却材流路が形成される部分における、前記挿入の方向に対して鉛直な方向の外径は、前記空洞の前記環状流体冷却材流路が形成される部分における、前記挿入の方向に対して鉛直な方向の直径より小さい請求項 1 3 または 1 4 に記載のイオン装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

<関連出願への相互参照>

本願は、係属中の米国仮特許出願第 61/835,089 号（出願日：2013 年 6 月 14 日）および特許出願第 13/966,611 号（出願日：2013 年 8 月 14 日）に基づく優先権を主張する。両出願の内容はすべて、参照により本願に組み込まれる。

40

【0 0 0 2】

本開示の実施形態は、概して基板処理分野に関し、より具体的には半導体素子を製造するための基板処理に関連して用いられる磁石の冷却に関する。

【背景技術】

【0 0 0 3】

半導体素子の製造においてイオンが用いられることが多い。例えば、基板にさまざまな不純物をドーピングするために基板にイオンを注入するとしてよい。イオンを基板上に堆積させて、基板上にフィーチャを構築するとしてよい。また、製造工程において材料を工

50

ツチングで取り除くためにイオンを用いるとしてもよい。イオン源チャンバからイオンが放出されるのが一般的である。イオンをフィルタリングし、さらにイオンから所望の特性を持つイオンビームを成形して当該イオンビームを基板に当てるために、磁石がよく用いられる。これらの磁石の中には、金属製のコアの周囲に導電性のワイヤを巻きつけて形成するものがある。そして、導電性のワイヤに電流を流して、磁界を形成する。所望の特性を持つ磁界を形成するために必要な電力レベルで動作するべく、動作中の磁石には大抵、冷却が必要となる。このため、金属製のコアには、動作時に流体冷却材が流れるように冷却材流路が形成される。一部の現在の構成における欠点の1つとして、冷却材流路をコアの中心線で利用する点が挙げられる。このため、巻き回し部分で発生する熱は、流体冷却材に到達するためにはコアの厚み分を伝導させる必要がある。必要なサイズの冷却材流路を形成するために大量の材料を除去することは、想到するであろうが、金属製のコアの材料の量が減ることになり、磁石が形成する磁界の強度および効果が低下するという望ましくない結果になる。このため、基板処理で用いられる磁石用の冷却構成を改善する必要がある。

#### 【発明の概要】

##### 【0004】

この＜発明の概要＞セクションは、選び抜いた概念を簡潔に紹介するために記載している。これらの概念については、以下の＜発明を実施するための形態＞セクションにおいてさらに説明する。この＜発明の概要＞セクションは、請求している主題の重要な特徴または不可欠な特徴を特定することを意図しているものではなく、請求している主題の範囲を決める際の助けとなることを意図したものでもない。

##### 【0005】

一般的に、本開示のさまざまな実施形態は、内部に空洞を持つ金属製のコアと、金属製のコアの周囲に配置される1または複数の導電性のワイヤの巻き回し部と、空洞に挿入されるように構成されている環状コア部とを備える磁石を提供する。空洞と環状コア部との間に環状流体冷却材流路が形成されている。さらに、環状コア部は第1の直径を有してよく、中央部は第2の直径を有し、第2の直径は第1の直径よりも小さい。

##### 【0006】

別の例として、一部の実施形態は、イオン注入装置で利用する磁石を開示している。当該磁石は、貫通するように開口が設けられているイオンビームカプラと、イオンビームカプラに隣接して配置されている第1の磁石と、イオンビームカプラおよび第1の磁石に隣接して配置されている第2の磁石とを備える。第1および第2の磁石はそれぞれ、内部に空洞を持つ金属製のコアと、金属製のコアの周囲に配置された1または複数の導電性のワイヤの巻き回し部と、空洞に挿入されるように構成されている環状コア部とを含むとしてよい。環状流体冷却材流路は、空洞と環状コア部との間に形成されているとしてよい。さらに、それぞれの環状コア部は第1の直径を有してよく、中央部が第2の直径を有し、第2の直径は第1の直径よりも小さい。

##### 【0007】

別の実施形態例は、イオンビームを放出するよう構成されているイオン源と、イオンビームの進行方向においてイオン源より下流に位置している磁石とを備える装置を開示している。当該磁石は、イオンビームを成形するように構成されている。磁石には、環状流体冷却材流路が画定されているとしてよい。環状流体冷却材流路に、流体冷却材を貯蔵する流体冷却材容器が接続されているとしてよい。流体冷却材容器に流体冷却材ポンプが接続されているとしてよく、流体冷却材ポンプは、環状流体冷却材流路を通して流体冷却材を圧送するように構成されているとしてよい。磁石は、イオンビームカプラに隣接して配置されている第1の磁石と、イオンビームカプラおよび第1の磁石に隣接して配置されている第2の磁石とを含むとしてよい。第1および第2の磁石はそれぞれ、内部に空洞を持つ金属製のコアと、金属製のコアの周囲に配置された1または複数の導電性のワイヤの巻き回し部と、空洞に挿入されるように構成されている環状コア部とを含むとしてよい。環状流体冷却材流路は、空洞と環状コア部との間に形成されているとしてよい。さらに、それ

10

20

30

40

50

その環状コア部は第1の直径を有してよく、中央部が第2の直径を有し、第2の直径は第1の直径よりも小さい。

【図面の簡単な説明】

【0008】

一例として、開示したデバイスのさまざまな実施形態を、添付図面を参照しつつ以下で説明する。添付図面は以下の通りである。

【0009】

【図1】イオン注入装置の一例を示すブロック図である。

【0010】

【図2A】四重極磁石の一例を示すブロック図である。

10

【図2B】四重極磁石の一例を示すブロック図である。

【0011】

【図3】図2Aおよび図2Bの四重極磁石を通る流体冷却材流路の一例を示すブロック図である。

【0012】

【図4】図2Aおよび図2Bの四重極磁石を通る流体冷却材流路の別の例を示すブロック図である。

【0013】

【図5A】本開示の実施形態に応じた磁石を通る環状流体冷却材流路を示すブロック図である。

20

【図5B】本開示の実施形態に応じた磁石を通る環状流体冷却材流路を示すブロック図である。

【図5C】本開示の実施形態に応じた磁石を通る環状流体冷却材流路を示すブロック図である。

【図5D】本開示の実施形態に応じた磁石を通る環状流体冷却材流路を示すブロック図である。

【図5E】本開示の実施形態に応じた磁石を通る環状流体冷却材流路を示すブロック図である。

【図5F】本開示の実施形態に応じた磁石を通る環状流体冷却材流路を示すブロック図である。

30

【図5G】本開示の実施形態に応じた磁石を通る環状流体冷却材流路を示すブロック図である。

【図5H】本開示の実施形態に応じた磁石を通る環状流体冷却材流路を示すブロック図である。

【図5I】本開示の実施形態に応じた磁石を通る環状流体冷却材流路を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

開示する磁石および磁石冷却方法は、一般的なイオン注入装置および四重極磁石に関連付けて説明する。しかし、考えられ得るよう、本開示のさまざまな実施形態はイオン装置の他の磁石にも適用され得る。例えば、本開示のさまざまな実施形態は、イオン堆積装置、例えば、プラズマイオン堆積装置において用いられるとしてよい。別の例として、本開示のさまざまな実施形態はイオンエッティング装置で利用されるとしてよい。さらに、上述したように、本開示のさまざまな実施形態は、磁石の金属製のコアを通る環状流体冷却材流路を提供する。環状流体冷却材流路の例は、特に図5Aから図5Hを参照しつつ、より詳細に後述する。このような環状流体冷却材流路を持つ磁石の構成の例およびシステム全体については、最初に図1ならびに図2Aおよび図2Bを参照しつつ説明する。また、例として挙げる磁石を通る流体冷却材流路の例は、図3および図4を参照しつつ説明する。

【0015】

40

50

図1は、帯状のビームを生成する、本開示の少なくとも一部の実施形態に応じて構成されたイオン注入装置100の一例を示すブロック図である。他のイオン注入装置は、スキヤンされるスポットビームを生成するとしてもよい。このような点状ビームは、軌道が広範囲に広がり、ワークピースに当たる前に略平行になるように偏向させる。一般的に、イオン注入装置100の構成要素の一部またはすべては、処理チャンバ102の内部に収容されているとしてよい。図示しているように、イオン注入装置100は、特定の種のイオンを生成するように構成されているイオン源104を備える。イオン源104は、処理チャンバ102に導入された供給ガスをイオン化して、荷電したイオンおよび電子（プラズマ）を形成する加熱されたフィラメント等の加熱部を有するとしてよい。加熱部は、例えば、バーナス型イオン源のフィラメント、傍熱陰極（IHC）アセンブリまたは他の熱電子源であってよい。特定のドーパント特性を持つイオンビームを得るべく、複数の異なる種類の供給ガスをイオン源チャンバに供給するとしてよい。例えば、H<sub>2</sub>、BF<sub>3</sub>およびAsH<sub>3</sub>を比較的高いチャンバ温度において導入すると、注入エネルギーが高い単原子に分解される。注入エネルギーが高いということは多くの場合、20 keVを超える値を意味する。低エネルギーでイオン注入を行う場合、デカボラン、カルボラン等のより質量の大きい荷電分子が、より低いチャンバ温度においてソースチャンバに導入されるとしてよい。これによって、より低い注入エネルギーを持つイオン化分子の分子構造が維持される。低注入エネルギーは通常、20 keV未満の値を指す。

#### 【0016】

生成されたイオンは一連の電極106を通ってイオン源104から引き出され、イオンビーム108に成形される。イオンビーム108は第1の磁石110を通過する。一部の例によると、第1の磁石110は、四重極磁石112の通過量を最大化することを目的として、所望の質量電荷比を持つイオンのみを通すべく特定の磁界を持つように構成されている質量分析磁石であってよい。四重極磁石112は、導電性のワイヤが巻き回された金属製のコアを備えるとしてよく、特定の寸法のイオンビーム108を成形するように構成されている。

#### 【0017】

イオンビーム108は、四重極磁石112を出ると、質量分析スリットを通過して、減速ステージ114に当たるとしてよい。減速ステージ114は、特定の特性を持つイオンビームを通過させる開口が画定されている複数の電極116を有するとしてよい。電極116に複数の異なる組み合わせで電圧電位を印加することによって、減速ステージ114はイオンビーム108のイオンエネルギーを操作する。

#### 【0018】

補正磁石118は、減速ステージ114の下流に配置されているとしてよい。補正磁石118は、印加された磁界の強度および方向に応じてイオンビームレットを偏向するように構成されているとしてよい。こうして、プラテン122（つまり、支持構造）上に配置されている基板120に向けて帯状のビームを提供する。想到され得るように、補正磁石118は、減速ステージ114を出た後に、イオンビーム108を「成形」して、基板120上に堆積させるうえで正しい形状を持つようにする。また、補正磁石118は、イオンビーム108から、ビームラインを通過している間に中和されたイオンをフィルタリングして取り除くように構成されているとしてもよい。

#### 【0019】

動作時において、イオン注入装置の磁石およびその他の構成要素は冷却が必要になるとしてよい。例えば、イオン源104、第1の磁石110、四重極磁石112、補正磁石118またはプラテン122は冷却が必要であるとしてよい。具体例を挙げると、四重極磁石112は、50アンペアを超える電流を引き込むように構成されている場合があるとしてよい。このため、四重極磁石112の導電性のワイヤを流れる電流量によっては、発熱量が過剰になる場合があるとしてよい。これに対し、発生した熱を四重極磁石112から除去するべく、四重極磁石112に流体冷却材を流すとしてよい。

#### 【0020】

10

20

30

40

50

このため、イオン注入装置 100 は、流体冷却材 126 を保持するよう構成されている冷却材容器 124 と、対応する冷却材流路 128 とを備えるとしてよい。イオン注入装置 100 にはさらに、冷却材流路 128 に流体冷却材 126 を循環させるための冷却材ポンプ 130 が含まれるとしてよい。冷却材ポンプ 130 は、遠心力ポンプ、容量型ポンプ、または、冷却材流路 128 に流体冷却材 126 を循環させるための所望の流量および冷却材圧を実現する上で適切な任意のその他の種類のポンプであってよい。図示しているように、冷却材流路 128 は、イオン注入装置 100 のさまざまな構成要素を通る。したがって、動作時には、流体冷却材 126 は、それらの構成要素を冷却することを目的として、冷却材ポンプ 130 によって当該構成要素を通過するように圧送されるとしてよい。幾つかの例を挙げると、流体冷却材 126 は、水、グリコールを含む水、ガルデン（登録商標）、フロリナート（登録商標）、または、所望の熱吸収特性および誘電特性を持つ別の流体であってよい。10

#### 【0021】

冷却材流路 128 がイオン注入装置 100 のさまざまな構成要素（例えば、四重極磁石 112）を通るので、冷却材流路はこれらのさまざまな構成要素に設けられるとしてよい。環状流体冷却材流路（より詳細に後述する）は、これらの構成要素のうち少なくとも 1 つに設けられるとしてよい。したがって、動作時にこれらの構成要素を冷却材が通過すると、これらの構成要素から熱は冷却材に移動し、冷却材流路 128 を進むにしたがってこれらの構成要素から除去されるとしてよい。幾つかの例を挙げると、流体冷却材 126 を冷却するための熱交換器および／または冷却装置（不図示）がさらに設けられるとしてもよい。例えば、冷却材容器 124 は、容器と熱交換器を組み合わせたものであってもよい。図示した構成は単に一例に過ぎず、特定の冷却材流路 128、冷却材容器 124 の構成、および、冷却材ポンプ 130 の構成は図示したものと特定用途に応じて所望されるように変形し得ると考えられたい。さらに、複数の冷却材流路、冷却材ポンプおよび／または冷却材容器を、所望に応じて追加で設け得ると考えられたい。例えば、図示したシステムは閉ループ再循環冷却システムを示しているが、「ワنسスルー」方式のシステムも利用し得る。20

#### 【0022】

図 2A は、本開示のさまざまな実施形態に応じて構成された四重極磁石 200 の一例を示す図である。幾つかの例では、四重極磁石 200 は図 1 に図示した四重極磁石 112 に対応するとしてよい。図示しているように、四重極磁石 200 は、開口 232 を持つイオンビームカプラ 230 の周囲に配置されている第 1 の磁石 210 および第 2 の磁石 220 を有する。一般的に、動作時には、イオンビーム 108 が開口 232 および第 1 の磁石 210 が形成した磁界を通過し、第 2 の磁石 220 がイオンビーム 108 を成形して特定の特性（例えば、所望の高さおよび／または幅）を持つイオンビーム 108 を生成する。30

#### 【0023】

第 1 および第 2 の磁石 210、220 では、金属製のコア 211、221 に導電性のワイヤが巻き回されており、導電性のワイヤの巻き回し部 212、222 が形成されている。導電性のワイヤの巻き回し部 212、222 の数は、例示を目的として図示されているに過ぎず、限定を意図しないと考えられたい。さらに、四重極磁石 200 は、導電性のワイヤの巻き回し部 212、222 に印加される電圧の極性に応じて、四極子機能または双極子機能を持つように構成されるとしてよい。また、金属製のコア 211、221 の構造および導電性のワイヤの巻き回し部 212、222 の位置は、所望の形状および強度を持つ磁界を形成するように調整され得るとしてよい。40

#### 【0024】

第 1 および第 2 の磁石 210、220 は、筐体 240 の内部に配置される。筐体 240 は、イオンビームカプラ 230 に対して所望の位置に第 1 および第 2 の磁石 210、220 を保持するように、そして、四重極磁石 200 がイオン注入装置 100 内に搭載されるように構成され得る。

#### 【0025】

10

20

30

40

50

第1および第2の磁石210、220はさらに、流体冷却材結合部213、223、214、224を含むとしてよい。一般的に、流体冷却材結合部213、223、214、224は、流体冷却材126が金属製のコア211、221を通り易くするように構成されている。上述したように、四重極磁石200の動作時において、電流が導電性のワイヤの巻き回し部212、222を流れるとき、導電性のワイヤの巻き回し部212、222では熱が発生する。(例えば、金属製のコア211、221に流体冷却材を通過させることによる)熱放散を行わずに放置しておくと、四重極磁石200は、動作が停止したり、融解したり、またはその他の故障が発生したりする場合がある。流体冷却材結合部213、223、214、224は、流体冷却材126が金属製のコア211、221のそれぞれの冷却材流路215、225に沿って流れるように方向付けるものとして図示されている。より詳細に後述するが、上記の図に図示されている冷却材流路215、225は、代表的なものであり、図5Aから図5Iに基づいてより詳細に説明するが、金属製のコア211、221の内部の環状流体冷却材流路に対応するとしてよい。

#### 【0026】

図2Bは、図2Aに図示した四重極磁石200を示す上面図である。図示しているように、第1および第2の磁石210、220は、イオンビームカプラ230の周囲に配置されている。筐体240は、第1および第2の磁石210、220の周りに配置されているものとして図示されている。さらに、流体冷却材結合部213、223も図示されており、それぞれ第1の磁石210および第2の磁石220に対応付けられている。

#### 【0027】

一部の例において、金属製のコア211、221は、低炭素鋼等の合金鋼で形成されるとしてもよいし、または、磁石のコアとして適切な特性を持つ他の金属で形成されるとしてもよい。導電性のワイヤの巻き回し部212、222は、銅等の導電性のワイヤで形成するとしてよい。さらに、一部の実施形態では、金属製のコア211、221および導電性のワイヤの巻き回し部212、222は、エポキシまたは他の適切な誘電材料内に収容されるとしてよい。

#### 【0028】

一部の例において、冷却材流路215、225は並列に構成されるとしてよい。例えば、図3は並列に配置されている冷却材流路215、225を持つ四重極磁石200を示す図である。図示しているように、四重極磁石200は、流体冷却材結合部213、223に接続されているT字型流入口302と、流体冷却材結合部214、224を接続するT字型流出口304とを持つ。流体冷却材126は、T字型流入口302を通って流入するとしてよい。T字型流入口302において、流体冷却材126は同時に、冷却材流路215、225の両方に沿って流れるように方向付けられる。流体冷却材126は、金属製のコア211、221を通って流れ、T字型流出口304から流出する。このような構成により、第1および第2の磁石210、220には確実に略同じ温度で流体冷却材126が当たられることにより、第1および第2の磁石210、220が略等しく冷却されると考えられたい。

#### 【0029】

一部の例によると、冷却材流路215、225は直列に構成されているとしてもよい。例えば、図4は四重極磁石200を示す図である。図示しているように、四重極磁石200は、流体冷却材結合部214、224を接続する戻りパイプ402を持つ。したがって、動作時には、流体冷却材126は、直列に、冷却材流路215、225に沿って金属製のコア211、221を通って流れるとしてよい。つまり、流体冷却材126は、流体冷却材結合部213を通って第1の磁石210の金属製のコア211に流入し、冷却材流路215に沿って金属製のコア211を流れ、流体冷却材結合部214を通って金属製のコア211から流出するとしてよい。この後、流体冷却材は戻りパイプ402を通って流体冷却材結合部224まで流れ、流体冷却材結合部224において第2の磁石220の金属製のコア221に流入し、冷却材流路225に沿って金属製のコア221を通って流れ、流体冷却材結合部223を通って金属製のコア221から流出するとしてよい。この構成

10

20

30

40

50

は、図3を参照しつつ説明した並列流路構成と比較すると、実施する上ではわずかに複雑性が軽減されるとしてよい。図4の構成では、流体冷却材126は第2の金属製のコア221を通過する際の温度が、第1の金属製のコア211を通過する際と比較して（第1の金属製のコア211から熱が除去されたため）、わずかに高い可能性があると考えられたい。このため、第2の金属製のコア221の冷却総量は、第1の金属製のコア211の冷却総量よりもわずかに少ないとしてよい。言うまでもなく、これは、第2の金属製のコア221における流路を、第1の金属製のコア211の流路と比較して、より大型化するか構造を変更することによって補償が可能である。

#### 【0030】

図5Aは、本開示のさまざまな実施形態に応じて配置された磁石500を示す分解図である。図示しているように、磁石500は、上記の図面を参照しつつ説明した四重極磁石200の第1の磁石210および/または第2の磁石220に対応するとしてよい。磁石500は、金属製のコア502を含み、金属製のコア502の周囲に導電性のワイヤが巻き回されており導電性のワイヤの巻き回し部504が形成されている。金属製のコア502には、材料を除去して、金属製のコア502の最上部から金属製のコア502の底部まで延在する空洞506が形成されている。磁石500はさらに、空洞506内に嵌合するように構成されている環状コア部508を含む。さらに、上部Oリング510および下部Oリング512、ならびに、端部キャップ514が図示されている（この図で見えるのは1つの端部キャップのみである）。図示されているように、上部Oリング510および下部Oリング512は、環状コア部508に形成されている円周溝のうち対応するものに嵌合するとしてよい。環状コア部508は、空洞506に挿入されて端部キャップ514で固定されるとしてよい（図5Hを参照のこと）。

#### 【0031】

図5Bは、金属製のコア502のみを示す上面図であり、空洞506を示す。空洞506の空洞直径507は、環状コア部508を挿入できるようなサイズとしてよい。想到するであろうが、図5Bに示す金属製のコア502の上面図はさらに、金属製のコア502の底面図（不図示）にも対応するとしてよい。図5Cは、金属製のコア502を示す断面図である。金属製のコア502の断面図は、空洞506の長さに沿って切断された様子を図示している。これらの図面から分かるように、空洞506は金属製のコア502の全長にわたって延在している。

#### 【0032】

図5Dは、環状コア部508を示す上面図である。想到するであろうが、図5Dに示す環状コア部508の上面図は、環状コア部508の底面図（不図示）にも対応するとしてよい。図から分かるように、外部流体冷却材開口516は、流体冷却材を環状コア部508に流入させるべく、環状コア部508の上端の中央に配置されている。図5Hに見られるように、同様の開口が環状コア部508の下端に設けられている（流体冷却材の出口として用いられる）。図5Eは、環状コア部508を示す側面図である。環状コア部508は、環状コア部508の上端に第1の直径520が対応付けられているものとして図示されている。図示されているように、環状コア部508はさらに、上部および下部の円周Oリング受け入れ凹部522、524、ならびに、内部流体冷却材開口526を含む。内部流体冷却材開口526は、環状コア部508の最上部および底部に位置している外部流体冷却材開口516に結合されており、金属製のコア502と環状コア部508との間に形成されている環状部との間で流体冷却材126を移動させるために用いられ得る。これについてより詳細に後述する。環状コア部508が有する中央部528は、第1の直径520よりも小さい第2の直径530を有するとしてよい。第1の直径520は、金属製のコア502の空洞直径507よりもわずかに小さいとしてよい（図5B、図5Eおよび図5Iを参照のこと）。これによって、環状コア部508は金属製のコア502の空洞506と係合させるべく摺動させることが可能である。想到するであろうが、環状コア部508の中央部528と、金属製のコア502の空洞506との間で直径が相違することによって、動作時に金属製のコアを効果的に冷却するために用いられ得る環状流体冷却材流

10

20

30

40

50

路 5 3 8 ( 図 5 H が最も分かり易い ) が形成される。

【 0 0 3 3 】

図 5 F は、環状コア部 5 0 8 を示す断面図である。図 5 F に示す切断図は、環状コア部 5 0 8 の長さに沿って、そして、内部流体冷却材開口 5 2 6 と平行に切断された場合の様子を示す。図から分かるように、環状コア部 5 0 8 は、外部流体冷却材開口 5 1 6 と内部流体冷却材開口 5 2 6 との間に形成されている内部流体冷却材流路 5 3 2 を持つ。図 5 G は、環状コア部 5 0 8 を示す別の断面図である。図 5 G に示す断面図は、図 5 F に示した図に対して 90 度回転させた様子を示す。

【 0 0 3 4 】

図 5 H は、空洞 5 0 6 内に環状コア部 5 0 8 が配置された金属製のコア 5 0 2 を示す断面図である。図から分かるように、環状コア部 5 0 8 は、端部キャップ 5 1 4 で金属製のコア 5 0 2 に固定されており、上部および下部の円周 O リング受け入れ凹部 5 2 2 、 5 2 4 内に配置されている上部 O リング 5 1 0 および下部 O リング 5 1 2 によって金属製のコア 5 0 2 に対して流体的に封止されている。外部流体冷却材開口 5 1 6 および内部流体冷却材開口 5 2 6 も図示されている。一部の例では、外部流体冷却材開口 5 1 6 は、前述した流体冷却材結合部 2 1 3 、 2 2 3 、 2 1 4 または 2 2 4 のうち 1 つを受け入れるように構成されているとしてよい ( 例えば、ねじ山が切られていたり、テーパー状に加工されていましたりする等の構成が考えられる ) 。このような構成によって、環状コア部 5 0 8 は、流体冷却材ライン ( 例えば、図 1 に示す流体冷却材流路 1 2 8 ) に対して、流体が流れるように接続されるとしてよい。図 5 I は、環状コア部 5 0 8 が内部に配置されて端部キャップ 5 1 4 のうち 1 つで固定され、外部流体冷却材開口 5 1 6 のうち 1 つが露出している金属製のコア 5 0 2 を示す上面図である。

【 0 0 3 5 】

環状流体冷却材流路 5 3 6 を通る流体冷却材流路 5 3 8 ( 点線矢印で示す ) の例を示す。一部の例では、流体冷却材流路 5 3 8 は概して、図 2 A および図 3 から図 4 に示した冷却材流路 2 1 5 または 2 2 5 のいずれかに対応するとしてよい。動作時には、流体冷却材 1 2 6 は、外部流体冷却材開口 5 1 6 ( 図示した実施形態では磁石の最上部に設けられている ) のうち 1 つに圧送されるとしてよい。流体冷却材 1 2 6 はこの後、対応する内部流体冷却材流路 5 3 2 を通過して、対応する内部流体冷却材開口 5 2 6 から流出し、環状流体冷却材流路 5 3 6 に流入するとしてよい。図から分かるように、環状流体冷却材流路 5 3 6 は、導電性のワイヤの巻き回し部 ( 分かり易いように、この図では省略している ) を含む金属製のコア 5 0 2 の領域に隣接して配置されているので、磁石 5 0 0 から流体冷却材 1 2 6 への熱伝達の大半は、流体冷却材が環状流体冷却材流路 5 3 6 を通る間に行われる。温度が上昇した流体冷却材 1 2 6 はこの後、環状コア部 5 0 8 の下部にある内部流体冷却材開口 5 2 6 へと流入し、対応する内部流体冷却材流路 5 3 2 を通過して、外部流体冷却材開口 5 1 6 ( 図示した実施形態では磁石の底部にある ) から流出するとしてよい。流体冷却材は最上部から底部へと流れる必要はなく、磁石の底部から最上部へと流れるようにも構成され得ることに想到するであろう。

【 0 0 3 6 】

一部の実施形態では、流体冷却材 1 2 6 が乱されて環状流体冷却材流路 5 3 6 内で乱流状態にされると磁石 5 0 0 が効果的に冷却される。想到するであろうが、この流体冷却材流路 5 3 6 によって、流体冷却材 1 2 6 を熱源 ( つまり、導電性のワイヤの巻き回し部 ) に近づけることが可能となるが、所望の磁界性能を維持するために必要なコアの鋼が失われることはない。これは、金属製のコアの中心線を通る単一の円柱形状の流路を持つ標準的な冷却構成にはない利点である。標準的な冷却構成では、熱伝達面の総面積に上限があり、流体冷却材が熱源 ( つまり、導電性のワイヤの巻き回し部 ) からかなり離れた場所に位置することになり、コアの熱伝導による冷却性能の限界となる。

【 0 0 3 7 】

一部の例によると、第 1 の直径 5 2 0 および第 2 の直径 5 3 0 は、流体冷却材 1 2 6 が環状流体冷却材流路 5 3 6 を通過する際の流量が毎分 0 . 2 5 ガロン ( 每分 0 . 9 4 6 3

10

20

30

40

50

53リットル)と毎分3ガロン(毎分11.356236リットル)との間になるように選択されるとしてよい。一部の例によると、第1の直径520および第2の直径530は、摂氏15度と摂氏30度との間の温度の流体冷却材126が流体冷却材流路536に流入し、金属製のコア502および環状コア部508から熱を吸収し、その後、上昇した温度、つまり、摂氏26度と摂氏42度との間の温度で流体冷却材流路536から流出するよう選択されるとしてよい。

#### 【0038】

想到するであろうが、環状流体冷却材流路536は形状が円形であってもよい。より具体的には、環状流体冷却材流路536は、図5Bを参照しつつ説明したように、環状コア部508の中央部分528と、金属製のコア502の空洞506との間に形成される空間に対応するとしてよい。

10

#### 【0039】

環状コア部508の寸法、具体的には第1の直径520および第2の直径530は、環状流体冷却材流路536を流れる流体冷却材の流量および熱伝達パラメータの値が、金属製のコア502からの熱放散を所望の水準で行えるような値になるように選択され得ると考えられたい。一例として、第1の直径520は1.25インチ(31.75ミリメートル)であってよく、第2の直径530は1.20インチ(30.48ミリメートル)であってよい。このような構成によれば、環状流体冷却材流路536は、径方向の幅(つまり、環状コア部508の外面と、金属製のコア502の内面との間の距離)が約0.025インチ(0.635ミリメートル)になる。別の例を挙げると、第1の直径520は1.25インチ(31.75ミリメートル)であってよく、第2の直径530は1.00インチ(25.4ミリメートル)であってよい。このような構成によれば、環状流体冷却材流路536は、径方向の幅(つまり、環状コア部508の外面と、金属製のコア502の内面との間の距離)が約0.125インチ(3.175ミリメートル)になる。一部の例によると、第1の直径520と第2の直径530との比率は、環状流体冷却材流路536を流れる冷却材の量と、中央部分528から除去する材料の量を出来る限り少なく抑えることとのバランスを考慮して決定するとしてよい。例えば、第1の直径520が1.25インチ(31.75ミリメートル)で第2の直径530が1.20インチ(30.48ミリメートル)となる上記のケースは、環状コア部508から除去する材料が少なくなるので、もう一方のケースよりも好ましいとしてよい。

20

#### 【0040】

一部の例では、金属製のコア502および環状コア部508は、同じ材料で形成されるとしてよい(例えば、低炭素鋼等)。したがって、磁石500の動作時に磁界を形成するために利用可能な材料(例えば、金属製のコア502および環状コア部508の材料の組み合わせ)は、中実の金属製のコア502(つまり、空洞506が設けられていない金属製のコア)と略同様になるとしてよい。このため、磁石500を効果的に冷却する機能は維持しつつも、磁石500が形成する磁界の特性は先行技術の素子に比べて改善され得る。一部の例によると、本願で開示した磁石500の冷却性能が大幅に改善したことにより、導電性のワイヤの巻き回し部504を流れる電流の量は先行技術の素子と比較して増加するとしてよい。

30

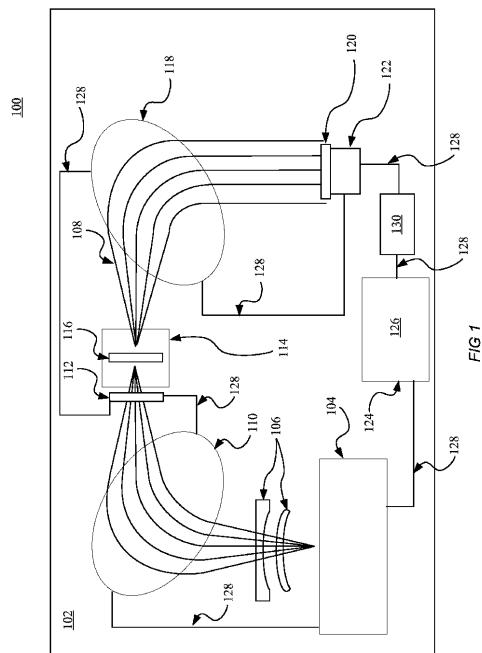
#### 【0041】

本開示は、本明細書で説明した具体的な実施形態によって範囲を限定するものではない。上記の説明および添付図面を参照すれば、当業者には、本明細書で説明したもの以外にも、本開示の他のさまざまな実施形態および本開示の変形例が存在することが明らかであろう。このような他の実施形態および変形例は本開示の範囲に含まれるものとしている。さらに、本開示は特定の目的を実現するべく特定の環境で実施され特定の実施例に基づいて本明細書で説明しているが、当業者であれば、本開示の有用性は説明した内容に限定されず、本開示は任意の目的を実現するべく任意の環境において実施しても利益が得られるものと認めるであろう。したがって、以下に記載する請求項の解釈は、本明細書に記載した本開示の範囲および意図を最大限に広く理解した上で、なされるべきである。

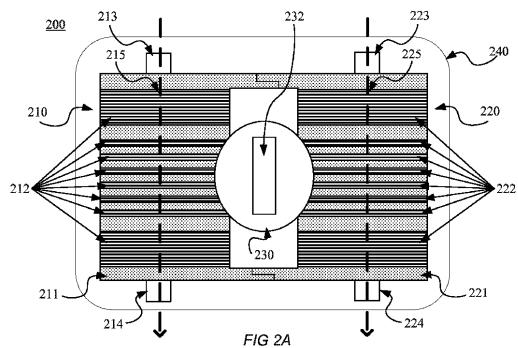
40

50

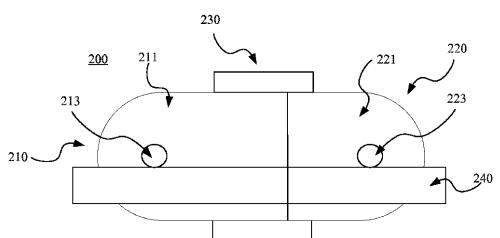
【図1】



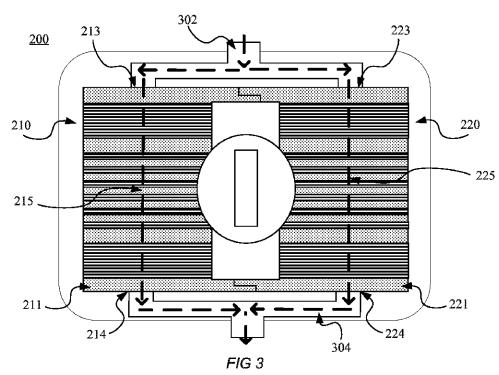
【図2 A】



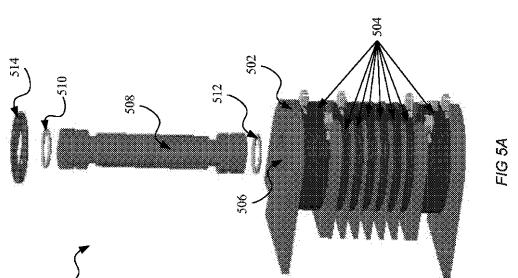
【図2 B】



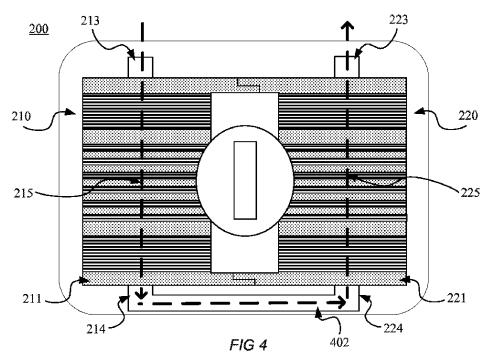
【図3】



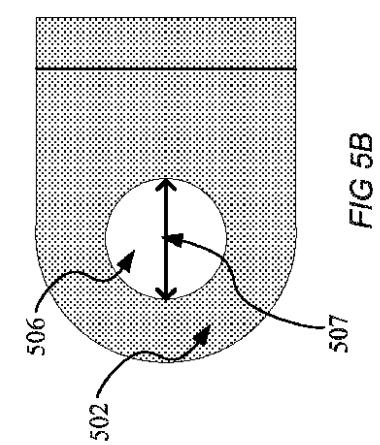
【図5 A】



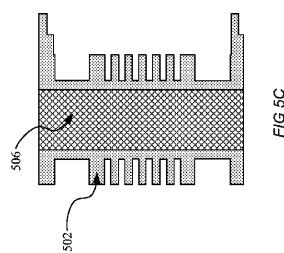
【図4】



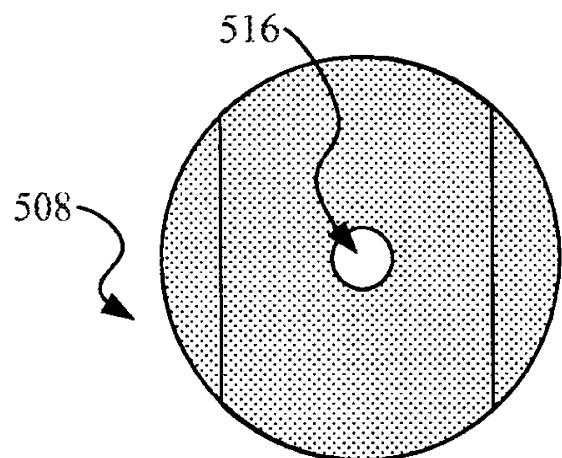
【図5 B】



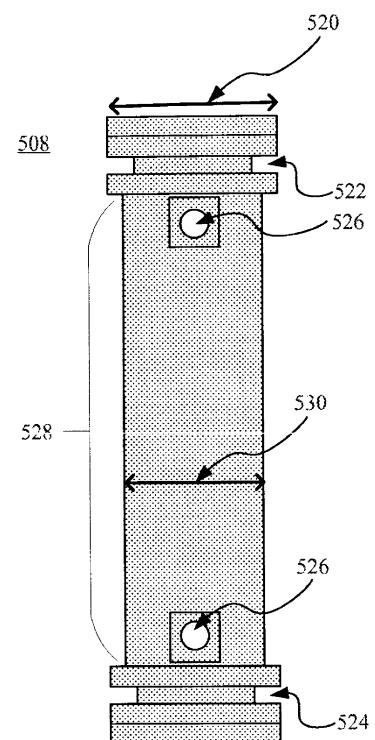
【図 5 C】



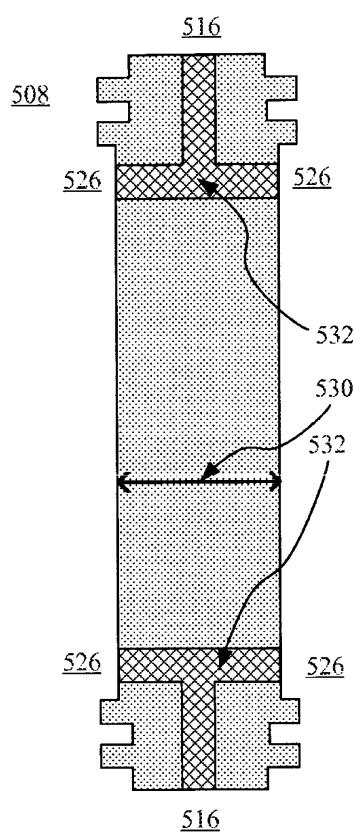
【図 5 D】



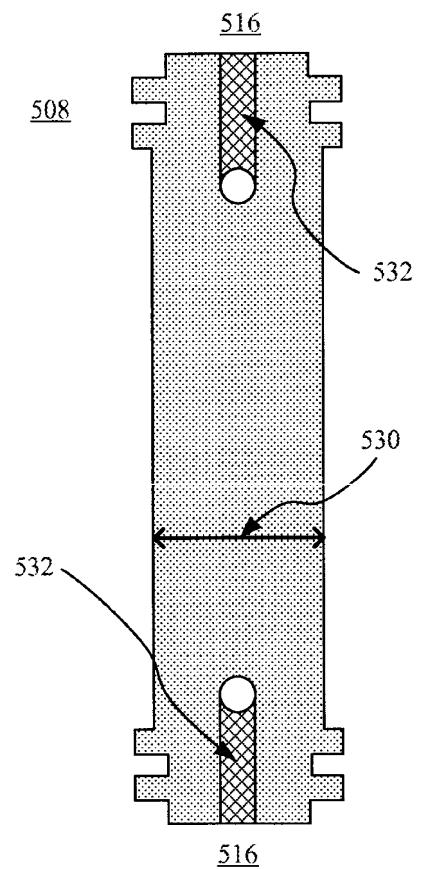
【図 5 E】



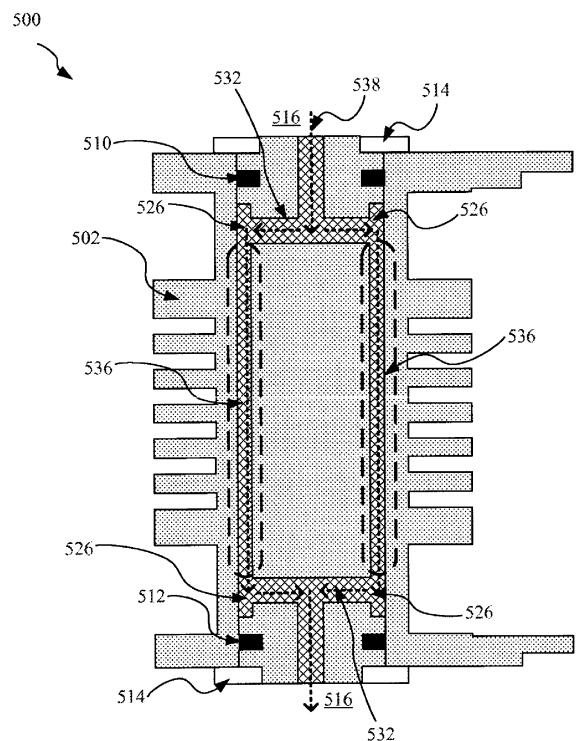
【図 5 F】



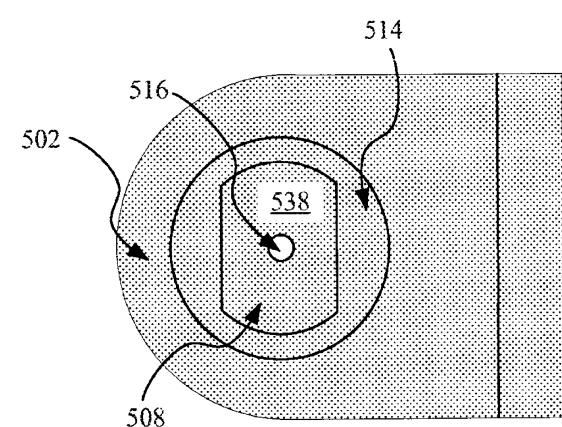
【図 5 G】



【図 5 H】



【図 5 I】



---

フロントページの続き

審査官 右田 純生

(56)参考文献 特表2005-533353 (JP, A)  
特開2009-164326 (JP, A)  
特開2004-228289 (JP, A)  
特開平04-255656 (JP, A)  
特開2009-118713 (JP, A)  
実開昭56-108216 (JP, U)  
特開平05-190345 (JP, A)  
特開平04-323811 (JP, A)  
特開平08-064426 (JP, A)  
特開2010-258244 (JP, A)  
特開2003-115414 (JP, A)  
特開2012-256763 (JP, A)  
米国特許出願公開第2012/0075047 (US, A1)  
米国特許出願公開第2011/0309905 (US, A1)  
英国特許出願公告第00167916 (GB, A)  
中国実用新案第201796681 (CN, U)  
特開2000-090870 (JP, A)  
中国特許出願公開第103714948 (CN, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 01 J	3 7 / 1 0	- 3 7 / 1 4 1
H 01 L	4 3 / 1 2	
H 01 F	7 / 2 0	
H 01 F	2 7 / 1 0	
H 01 F	2 7 / 2 4	
H 01 L	2 1 / 2 6 5	
H 05 K	7 / 2 0	
H 01 J	2 9 / 7 6	
H 01 J	9 / 2 3 6	
H 05 H	7 / 0 4	