

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6473142号  
(P6473142)

(45) 発行日 平成31年2月20日(2019.2.20)

(24) 登録日 平成31年2月1日(2019.2.1)

(51) Int.Cl.		F I			
GO 1 N	24/00	(2006.01)	GO 1 N	24/00	6 0 0 P
HO 1 F	7/02	(2006.01)	GO 1 N	24/00	6 1 0 E
			HO 1 F	7/02	Z

請求項の数 22 (全 37 頁)

(21) 出願番号	特願2016-517102 (P2016-517102)	(73) 特許権者	512144678
(86) (22) 出願日	平成26年6月2日 (2014.6.2)		ナナリシス コーポレーション
(65) 公表番号	特表2016-522412 (P2016-522412A)		カナダ アルバータ州 ティー2イー 7
(43) 公表日	平成28年7月28日 (2016.7.28)		シー3、カルガリー、5 ストリート エ
(86) 国際出願番号	PCT/CA2014/000485		ヌイー 4500、ベイ 4
(87) 国際公開番号	W02014/194408	(74) 代理人	110001818
(87) 国際公開日	平成26年12月11日 (2014.12.11)		特許業務法人R&C
審査請求日	平成29年6月1日 (2017.6.1)	(72) 発明者	レスコヴィッツ、ガレット・エム
(31) 優先権主張番号	61/830,467		カナダ アルバータ ティ2ケイ 4エス
(32) 優先日	平成25年6月3日 (2013.6.3)		6 カルガリー ハンターバーン・ヒル・
(33) 優先権主張国	米国 (US)		ノースウェスト 7503
		審査官	立澤 正樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁石アセンブリ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

磁石アレイであって、

個別のコンポーネントの磁石が、それらの中心が格子によって画定される点の有限集合と実質的に一致するように設置された格子構成に配置され、試験容積を少なくとも部分的に包囲する複数の多面体の磁石を含み、該磁石アレイは、指定の磁場方向

【数1】

$\hat{v}$

を備える付随の磁場を有し、前記試験容積において原点から変位ベクトル

【数2】

$\vec{r}$

に位置する個別の多面体の磁石の磁化方向

【数3】

$\hat{m}$

は、以下の式

【数4】

$$\hat{m} = (2(\hat{v} \cdot \vec{r})\vec{r} - (\vec{r} \cdot \vec{r})\hat{v}) / \vec{r} \cdot \vec{r}$$

によって決まる磁石アレイ。

【請求項2】

前記多面体の磁石の一つ一つは、切頂立方体、菱形十二面体、プラトンの立体、アルキ

メデスの立体、ジョンソンの立体、切稜多面体、及び切頂多面体よりなる群から選択される請求項 1 に記載の磁石アレイ。

【請求項 3】

前記格子はブラベー格子である請求項 1 に記載の磁石アレイ。

【請求項 4】

前記格子は、単純な立方格子、体心立方格子、面心立方格子、又は六方格子である請求項 3 に記載の磁石アレイ。

【請求項 5】

前記多面体の磁石は、複数の第 1 の多面体の磁石及び複数の第 2 の多面体の磁石を備え、前記第 2 の多面体の磁石は、前記第 1 の多面体の磁石よりも小さく、複数の前記第 2 の多面体の磁石が、サンプルチャンネルを少なくとも部分的に画定する請求項 1 に記載の磁石アレイ。

10

【請求項 6】

前記磁場方向

【数 5】

$\hat{v}$

は、該磁石アレイの体対角線、該磁石アレイの面法線軸、又は該磁石アレイの面对角線に対応する請求項 2 に記載の磁石アレイ。

【請求項 7】

前記サンプルチャンネルは、該磁石アレイの体対角線に沿って配向される請求項 5 に記載の磁石アレイ。

20

【請求項 8】

サンプル回転装置を更に含む請求項 5 に記載の磁石アレイ。

【請求項 9】

請求項 1 に記載の磁石アレイを含む磁気共鳴デバイス。

【請求項 10】

磁場方向

【数 6】

$\hat{v}$

を有する磁場を生じる方法であって、個別のコンポーネントの磁石が、それらの中心が格子によって画定される点の有限集合と実質的に一致するように設置された格子構成の多面体の磁石のアレイを提供することを含む方法であって、原点からの変位ベクトル

30

【数 7】

$\vec{r}$

に位置する個別の前記多面体の磁石の磁化方向

【数 8】

$\hat{m}$

は、以下の式

【数 9】

$$\hat{m} = (2(\hat{v} \cdot \vec{r})\vec{r} - (\vec{r} \cdot \vec{r})\hat{v}) / \vec{r} \cdot \vec{r}$$

40

によって決定する方法。

【請求項 11】

前記多面体の磁石の一つ一つは、切頂立方体、菱形十二面体、プラトンの立体、アルキメデスの立体、ジョンソンの立体、切稜多面体、及び切頂多面体よりなる群から選択される請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記多面体の磁石は、切頂立方体であり、前記磁場方向

【数 10】

$\hat{v}$

は、前記磁石アレイの体対角線又は前記磁石アレイの面法線軸又は前記磁石アレイの面对

50

角線に対応する請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 3】

前記格子はブラベー格子である請求項 1 0 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記格子は、単純な立方格子、体心立方格子、面心立方格子、又は六方格子である請求項 1 3 に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記磁石アレイ内に試験容積を設けることを更に備え、前記多面体の磁石は、複数の第 1 の多面体の磁石及び複数の第 2 の多面体の磁石を備え、前記第 2 の多面体の磁石は、前記第 1 の多面体の磁石よりも小さく、複数の前記第 2 の多面体の磁石が、サンプルチャンネルを少なくとも部分的に画定する請求項 1 0 に記載の方法。

10

【請求項 1 6】

サンプルの磁気共鳴特性を決定する方法であって、請求項 1 0 に従って磁場に前記サンプルを配置することを含む方法。

【請求項 1 7】

請求項 1 に記載の前記磁石アレイのためのシム調整アセンブリであって、前記シム調整アセンブリは、前記磁石アレイ内に含まれる多面体のシム調整磁石を含み、前記シム調整磁石は、前記シム調整アセンブリ内で移動するようにユーザによって作動させることが出来るシム調整アセンブリ。

【請求項 1 8】

前記格子構成内の位置を占有する複数のシム調整磁石を更に備える請求項 1 に記載の磁石アレイ。

20

【請求項 1 9】

格子構成に配置され、試験容積を少なくとも部分的に包囲する第 1 及び第 2 の多面体の磁石を含む磁石アレイを含む磁気共鳴デバイスであって、前記第 1 及び第 2 の多面体の磁石は切頂立方体であり、前記第 2 の多面体の磁石は、前記第 1 の多面体の磁石よりも小さく、前記磁石アレイの体対角線に沿って延在するサンプルチャンネルを少なくとも部分的に画定する磁気共鳴デバイス。

【請求項 2 0】

二つ以上の相互貫入格子を組み込んでいる、請求項 1 に記載の磁石アレイ。

30

【請求項 2 1】

前記磁石アレイが二つ又は五つの相互貫入する単純立方格子を含む、請求項 2 0 に記載の磁石アレイ。

【請求項 2 2】

前記磁石アレイが四つの相互貫入する面心立方格子を含む、請求項 2 0 に記載の磁石アレイ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、磁石アレイの設計に関し、特に、磁気共鳴用途で用いる磁石アレイに関する。

40

【背景技術】

【0002】

関連する背景の文書は以下を含む。

1. K. Halbach, "Design of permanent multipole magnets with oriented rare earth cobalt material," Nuclear Instruments and Methods 169, 1, 1980.

2. J. Mallinson, "One-sided fluxes - a magnetic curiosity?" IEEE Transactions on Ma

50

gnetics 9, 678, 1973.

3. F. Bertora, A. Trequattrini, M. G. Abele, and H. Rusinek, "Shimming of yokeless permanent magnets designed to generate uniform fields," *Journal of Applied Physics* 73, 6864, 1993.

4. E. Danieli, J. Mauler, J. Perlo, B. Blumich, and F. Casanova, "Mobile sensor for high resolution NMR spectroscopy and imaging," *Journal of Magnetic Resonance* 198, 80, 2009. 10

5. E. Lord, "Tiling space with regular and semi-regular polyhedra," <http://met.iisc.ernet.in/~lord/webfiles/clusters/andrei.ini.pdf>, accessed May 29, 2013.

6. F. Bloch, O. Cugat, G. Meunier, J. Toussaint, "Innovating approaches to the generation of intense magnetic fields: design and optimization of a 4 tesla permanent magnet flux source," *IEEE Transactions on Magnetics* 34, 2465, 1998. 20

7. U.S. Patent 4,837,542 (米国特許第4,837,542号明細書) to H. Leupold, "Hollow substantially hemispherical permanent magnet high-field flux source for producing a uniform high field," 1989.

8. U.S. Patent Application 2011/0137589 (米国特許出願公開第2011/0137589号明細書), G. Leskowitz, G. McFeetors, and S. Pernecker, "Method and apparatus for producing homogeneous magnetic fields," 2011. 30

9. U.S. Patent Application 2011/0137589 (米国特許出願公開第2011/0137589号明細書), G. Leskowitz, G. McFeetors, and S. Pernecker, "Method and apparatus for producing homogeneous magnetic fields," 2011.

10. US Pat 7,373,716 (米国特許第7,373,716号明細書) to Ras "Method for Constructing Permanent Magnet Assemblies" 2008.

11. H. A. Leupold et al. *Journal of Applied Physics* vol 87, no 9, p. 4730-4 (2000) 40

12. J. Chen, Y. Zhang, and J. Xiao, "Design and analysis of the novel test tube magnet for portable NMR device," *Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS) Online*, 3(6), 900-904 (2007).

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】米国特許第4,837,542号明細書

【特許文献2】米国特許出願公開第2011/0137589号明細書

【特許文献3】米国特許第7,373,716号明細書

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】K. Halbach, "Design of permanent multipole magnets with oriented rare earth cobalt material," Nuclear Instruments and Methods 169, 1, 1980.

【非特許文献2】J. Mallinson, "One-sided fluxes - a magnetic curiosity?" IEEE Transactions on Magnetics 9, 678, 1973. 10

【非特許文献3】F. Bertora, A. Trequattrini, M. G. Abele, and H. Rusinek, "Shimming of yokeless permanent magnets designed to generate uniform fields," Journal of Applied Physics 73, 6864, 1993.

【非特許文献4】E. Danieli, J. Mauler, J. Perlo, B. Blumich, and F. Casanova, "Mobile sensor for high resolution NMR spectroscopy and imaging," Journal of Magnetic Resonance 198, 80, 2009. 20

【非特許文献5】E. Lord, "Tiling space with regular and semi-regular polyhedra," <http://met.iisc.ernet.in/~lord/webfiles/clusters/andreini.pdf>, accessed May 29, 2013.

【非特許文献6】F. Bloch, O. Cugat, G. Meunier, J. Tous saint, "Innovating approaches to the generation of intense magnetic fields: design and optimization of a 4 tesla permanent magnet flux source," IEEE Transactions on Magnetics 34, 2465, 1998. 30

【非特許文献7】H. A. Leupold et al. Journal of Applied Physics vol 87, no 9, p. 4730-4 (2000)

【非特許文献8】J. Chen, Y Zhang, and J Xiao, "Design and analysis of the novel test tube magnet for portable NMR device," Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS) Online, 3(6), 900-904 (2007).

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】 40

【0005】

小さな容積において実質的に強磁場を生じるための一つの設計がハルバッハ円柱であり、高保磁力の永久磁石材料内の磁気双極子が中心空洞の周囲に配置されている。図1は、理想的なハルバッハ円柱10の断面図を、中心容積12を囲む領域内で矢印11として示される磁気双極子の配向を計算して選択するために使用される座標系と共に示す。理想的なハルバッハ円柱では、磁化方向

【数1】

$\hat{m}$

は、中心容積12において実質的に均一な磁場を生じる最も多くの場合の整数パラメータ  $k = 1$  を有する円柱座標  $(r, \theta, z)$  において、以下の式

【数 2】

$$\hat{m}(\rho, \theta, z) = \cos(k\theta) \hat{\rho} + \sin(k\theta) \hat{\theta}$$

に従って、位置に依存する。その他の  $k$  を選択すれば、異なる不均一な磁場構成を提供することになる。実際の実施においては、図 1 によって提示された継続的に変化する磁化に近似しているものとして、離散的コンポーネント磁石が使用される。

【0006】

図 2 A、図 2 B、及び図 2 C は、ハルバツ八円柱に基づく磁石構成の先行技術の実施を示す。図 2 A は、Bertora 等から採用されたものであり、空間 2 4 を包囲する参照番号 2 0 で示す複数の磁石の円柱状の構成を示し、空間を効率的に利用しているが、その設計において多くの斜形 2 1、2 2、2 3 を採用している。図 2 B は、Danieli から採用したものであり、空間 3 2 を包囲する単純な形状 3 1 を使用するアレイ 3 0 であるが、低い充填密度が問題である。中心容積を包囲する空間が区域に分割されると、そこに置かれた個々のコンポーネント磁石は、高い公差での製造が困難且つ高価である図 2 A に示すような斜形を呈する可能性がある。コンポーネント磁石内で必要とされる磁化も、中心容積内の磁場の質を保証するのに十分な精度で制御することが困難である可能性がある。その代わりに、図 2 B のように、立方体等のより単純なコンポーネント磁石が用いられる場合、これらは簡単に高精度で製造されて磁化されることが出来るが、一部の設計に関する幾何学的な制約の結果、充填密度が低くなる可能性があり、それに付随して、生成可能な磁場強度が減少する。図 2 C は、Leskowitz 等の米国特許出願公開第 2 0 1 1 / 0 1 3 7 5 8 9 号明細書に開示された中心空間 4 2 を包囲する最密六角柱 4 1 のアレイを含むハルバツ八円柱 4 0 の一実施形態の断面である。

【0007】

ハルバツ八円柱のモデルでは、理想的な設計は、無限長の円柱である。実際には、円柱は有限長であり、アレイの一次磁場における様々な技術的課題及び望ましくない特徴につながる場合があり、これらの欠点を克服しようとする設計は複雑になる可能性がある。従って、均一な磁場を生じるための他のアプローチは、ハルバツ八球体を使用し、その実用的な実施形態は、Leupold によって提案されている。

【0008】

図 3 A は、中心空洞 5 1 を包囲し、局所的な磁気双極子の配向 5 2 を有する球体 5 0 を示す。所望の磁場軸、即ち、

【数 3】

$$\hat{\nu}$$

が選択されると、アセンブリにおけるコンポーネント磁石に関する必要な磁化方向は、磁場方向に沿って余緯度  $= 0$  である球座標系を確立し、次に、所与の磁石の中心座標に関する磁化方向を計算することによって計算されることが出来る。

【0009】

理想的な場合における均一な磁場に最大限近似するために、中心空洞を包囲する球殻内の磁化方向

【数 4】

$$\hat{m}$$

は、この場合も同様に均一な磁場の場合はパラメータ  $k = 1$  である球座標系  $r$ 、 $\theta$ 、 $\phi$  に おいて、以下の式、即ち

【数 5】

$$\hat{m}(r, \theta, \phi) = \cos(k\theta) \hat{r} + \sin(k\theta) \hat{\theta}$$

に従って位置に依存する。球体の場合の磁化は、円柱の場合の磁化とは異なることが分かる。ハルバツ八球体のモデルでは、位置

【数 6】

$$\vec{r} = r\hat{r}$$

における双極子の磁化は、

【数 7】

$\hat{r}$

及び

【数 8】

$\hat{\theta}$

によって張られる子午面に存在するが、ハルバツ八円柱のモデルでは、磁化は

【数 9】

$$\hat{\rho} = r\hat{r} - z\hat{z}$$

及び

【数 10】

$\hat{\theta}$

によって張られる平面に存在し、前者の単位ベクトルは、円柱の対称軸から離れる方向に向かうベクトルである。特に、理想的なハルバツ八円柱の場合、磁化方向は、(円柱の対称軸に沿って)

【数 11】

$\hat{z}$

成分を有さず、双極子の位置の  $z$  座標から独立している。このような位置に依存する磁化の様々な数値表現が可能であり、当業者によって容易に特定されて理解されるだろう。

【0010】

このような球状アセンブリは、一般的に、Leupold から採用された図 3 B に示すような複雑な形状を有する磁石の組み合わせから成る。図 3 B では、球体 60 は、選択した双極子の配向 62 を有して中心空洞 63 を包囲する多数のコンポーネント一次磁石 61 を含む。所望の構造及び磁場を得るために、異なる形状及び磁気配向を有する多くの異なる一次磁石が必要となる。

【課題を解決するための手段】

【0011】

発明の概要

実施形態によれば、一つ以上の多面体の磁石を含む磁石アレイが提供される。実施形態では、このようなアレイは、ハルバツ八球体又はその他のコンパクトな磁石構成の実用化が可能で設計コンテキストを提供する。実施形態においては、前記磁石は、高保磁力材料から作られ、格子に基づいて構成される。

【0012】

第 1 の一連の実施形態においては、個別のコンポーネントの磁石が、それらの中心が格子によって画定される点の有限集合と実質的に一致するように設置された格子構成に配置されて試験容積を少なくとも部分的に包囲する複数の多面体の磁石を含む磁石アレイが開示され、該磁石アレイは、指定の磁場方向

【数 12】

$\hat{v}$

を備える関連の磁場を有し、前記試験容積における原点からの変位ベクトル

【数 13】

$\vec{r}$

に位置する個別の多面体の磁石の磁化方向

【数 14】

$\hat{m}$

は、次の公式、即ち、

【数 15】

$$\hat{m} = (2(\hat{v} \cdot \vec{r})\vec{r} - (\vec{r} \cdot \vec{r})\hat{v}) / \vec{r} \cdot \vec{r}$$

によって決定される。

【0013】

10

20

30

40

50

更なる実施形態では、前記多面体の磁石の一つ一つは、切頂立方体、菱形十二面体、プラトンの立体、アルキメデスの立体、ジョンソンの立体、切稜多面体、及び切頂多面体よりなる群から選択される。

【0014】

更なる実施形態では、前記格子はブラベー格子である。

【0015】

更なる実施形態では、前記格子は、単純立方格子、体心立方格子、面心立方格子、又は六方格子である。

【0016】

更なる実施形態では、前記多面体の磁石は、複数の第1の多面体の磁石及び複数の第2の多面体の磁石を備え、前記第2の多面体の磁石は、前記第1の多面体の磁石よりも小さく、複数の前記第2の多面体の磁石は、サンプルチャンネルを少なくとも部分的に画定する。

10

【0017】

更なる実施形態では、前記方向

【数16】

$\hat{v}$

は、該磁石アレイの体対角線、該磁石アレイの面法線軸、又は該磁石アレイの面对角線に対応する。

【0018】

20

更なる実施形態では、前記サンプルチャンネルは、該磁石アレイの体対角線に沿って配向される。

【0019】

更なる実施形態では、前記第1の多面体の磁石の一つ一つは、前記所望の磁場方向

【数17】

$\hat{v}$

を有する前記アレイに対応する可能な値の有限集合から選択される磁化方向

【数18】

$\hat{m}$

を有する。

30

【0020】

更なる実施形態では、該磁石アレイは、サンプル回転子を更に備える。

【0021】

更なる一連の実施形態では、他の実施形態に係る前記磁石アレイを含む磁気共鳴デバイスが開示される。

【0022】

更なる実施形態では、磁場方向

【数19】

$\hat{v}$

を有する磁場を生じる方法が開示され、該方法は、個別のコンポーネントの磁石が、それらの中心が格子によって画定される点の有限集合と実質的に一致するように設置された格子構成に多面体の磁石のアレイを提供することを含み、原点からの変位ベクトル

40

【数20】

$\vec{r}$

に位置する個々の前記多面体の磁石の前記磁化方向

【数21】

$\hat{m}$

は、次の公式、即ち、

【数22】

$$\hat{m} = (2(\hat{v} \cdot \vec{r})\vec{r} - (\vec{r} \cdot \vec{r})\hat{v}) / \vec{r} \cdot \vec{r}$$

50

によって決定される。

【0023】

更なる実施形態では、前記多面体の磁石の一つ一つは、切頂立方体、菱形十二面体、プラトンの立体、アルキメデスの立体、ジョンソンの立体、切稜多面体、及び切頂多面体よりなる群から選択される。

【0024】

実施形態では、前記多面体の磁石は切頂立方体であり、前記方向  $v$  は、前記磁石アレイの体対角線又は前記磁石アレイの面法線軸又は前記磁石アレイの面对角線に対応する。

【0025】

実施形態では、前記格子はブラベー格子である。

10

【0026】

実施形態では、前記格子は、単純な立方格子、体心立方格子、面心立方格子、又は六方格子である。

【0027】

実施形態では、該方法は、前記磁石アレイ内に試験容積を設けることを更に備え、前記多面体の磁石は、複数の第1の多面体の磁石及び複数の第2の多面体の磁石を備え、前記第2の多面体の磁石は、前記第1の多面体の磁石よりも小さく、複数の前記第2の多面体の磁石は、サンプルチャンネルを少なくとも部分的に画定する。

【0028】

更なる実施形態では、サンプルの磁気共鳴特性を決定する方法が開示され、該方法は、その他の実施形態に従って磁場に前記サンプルを配置することを備える。

20

【0029】

更なる一連の実施形態では、実施形態に係る前記磁石アセンブリ用のシム調整アセンブリが開示され、該シム調整アセンブリは、格子構成に配置された多面体の磁石を備え、前記磁石は、前記磁石アセンブリ内で移動可能である。

【0030】

更なる一連の実施形態では、実施形態に係る前記磁石アレイ用のシム調整アセンブリが開示され、該シム調整アセンブリは、前記磁石アレイ内に含まれる多面体のシム調整磁石を備え、該シム調整磁石は、前記シム調整アセンブリ内で動くようにユーザによって作動させることが出来る。

30

【0031】

更なる一連の実施形態では、前記磁石アレイは、前記格子構成内の位置を示す複数のシム調整磁石を備える。

【0032】

また、実施形態では、実施形態に係る前記磁石アレイによって生じる磁場をシム調整する方法が開示され、該方法は、a) 前記磁場上の前記複数のシム調整磁石の前記一つを移動する作用の関数的表現を得るステップ、b) 前記複数のシム調整磁石の一つ一つに関してステップ a) を繰り返すステップ、c) ステップ a) 及び b) の結果の SUM 関数を導き出すステップ、及び d) 前記シム調整磁石の一つ一つの位置を調整しながら前記磁場を監視するステップを備える。

40

【0033】

実施形態では、格子構成に配置されて試験容積を少なくとも部分的に包囲する第1及び第2の多面体の磁石を含む磁石アレイを含む磁気共鳴デバイスであって、前記第1及び第2の多面体の磁石は切頂立方体であり、第2の多面体の磁石は、前記第1の多面体の磁石よりも小さく、前記磁石アレイの体対角線に沿って延在するサンプルチャンネルを少なくとも部分的に画定する。

【0034】

本明細書の主題の特徴及び利益は、添付の図面に示すように、選択的実施形態の以下の詳細な記述に照らして、より明らかになる。開示された主題は、全く本特許請求の範囲から逸脱することなく、様々な点における修正が可能である。従って、図面及び記述は、本

50

質的に一例であって、制限的なものではないと見なさなくてはならない。

【0035】

図6～図9は、図10に係る第1の実施形態の磁石アレイの一次磁石層を、該アレイを形成するために一次磁石層を組み立てるために使用される枠と共に示す。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1】理想的なハルバッハ円柱の断面図である。

【図2A】ハルバッハ円柱に基づく磁石アセンブリの実用化の断面図である。

【図2B】ハルバッハ円柱に基づく磁石アセンブリの実用化の断面図である。

【図2C】ハルバッハ円柱に基づく磁石アセンブリの実用化の断面図である。

10

【図3A】ハルバッハ球体に関する理想的な磁化スキームを描写する。

【図3B】ハルバッハ球体の実用的な一実施形態を示す

【図4A】例示的な点格子の単位セルを示す。

【図4B】例示的な点格子の単位セルを示す。

【図4C】例示的な点格子の単位セルを示す。

【図4D】例示的な点格子の単位セルを示す。

【図5A】多面体の形状の例を示す。

【図5B】多面体の形状の例を示す。

【図5C】多面体の形状の例を示す。

【図5D】多面体の形状の例を示す。

20

【図5E】多面体の形状の例を示す。

【図5F】多面体の形状の例を示す。

【図5G】多面体の形状の例を示す。

【図5H】多面体の形状の例を示す。

【図5I】多面体の形状の例を示す。

【図5J】多面体の形状の例を示す。

【図5K】多面体の形状の例を示す。

【図5L】多面体の形状の例を示す。

【図5M】多面体の形状の例を示す。

【図5N】多面体の形状の例を示す。

30

【図6A】支持枠内の第1の実施形態の一例のゼロ番目の層、即ち、中心層の平面図である。

【図6B】図6Aに係る層を保持するために使用される枠の端面図である。

【図7A】支持枠内の第1の実施形態の第1の層の平面図である。

【図7B】図7Aに係る層を保持するために使用される枠の端面図である。

【図8A】支持枠内の第1の実施形態の第2の層の平面図である。

【図8B】図8Aに係る層を保持するために使用される枠の端面図である。

【図9】支持枠内の第1の実施形態の第3の層の平面図である。

【図9B】図9Aに係る層を保持するために使用される枠の端面図である。

【図10】考えられるサンプルチャネルの場所を示す図6乃至図9の層から組み立てられたアレイの角の図である。

40

【図11A】個々の立方体の磁石に関する考えられる磁気双極子配向を示す。

【図11B】個々の立方体の磁石に関する考えられる磁気双極子配向を示す。

【図11C】個々の立方体の磁石に関する考えられる磁気双極子配向を示す。

【図12A】略立方体の磁石アレイ内の考えられる一次磁場配向を示す。

【図12B】略立方体の磁石アレイ内の考えられる一次磁場配向を示す。

【図12C】略立方体の磁石アレイ内の考えられる一次磁場配向を示す。

【図13A】菱形十二面体に基づく第2の実施形態の分解図である。

【図13B】図13Aに係る第2の実施形態の中心層の平面図である。

【図14】第3の実施形態に係るアレイ構造である。

50

【図15】第4の実施形態に係るアレイ構造である。

【図16】第5の実施形態に係るアレイ構造である。

【図17】第6の実施形態に係るアレイ構造である。

【図18A】更なる他の実施形態に対応する正多面体及び準正多面体の例示的な空間充填アセンブリの描写である。

【図18B】更なる他の実施形態に対応する正多面体及び準正多面体の例示的な空間充填アセンブリの描写である。

【図18C】更なる他の実施形態に対応する正多面体及び準正多面体の例示的な空間充填アセンブリの描写である。

【図18D】更なる他の実施形態に対応する正多面体及び準正多面体の例示的な空間充填アセンブリの描写である。

10

【発明を実施するための形態】

【0037】

用語の定義

本開示では、特定の数の要素の記載は、その要素がその数よりも多い可能性を含むと理解される。従って、例えば、磁石アレイ又は磁石アレイの一つの層が二つの磁石を含むという記述は、そのアレイ又は層は、少なくとも二つの磁石を含むが、二つよりも多い三つ、四つ、五つ、又は任意の数の磁石を含んでもよいことを示す。同様に、要素群の一つ一つへの言及は、その要素の任意の一つ又は二つ以上がその特定の性質又は特徴を有することを示す。「又は」という用語は、排他的ではなく包含的であり、ある特徴「又は」他の特徴を示す記述は、両方の特徴が存在する可能性を含むと理解される。言い換えれば、「A又はB」という表現は、特徴A及びBの両方の存在を考慮していると理解される。

20

【0038】

本開示では、「磁気共鳴」又は「MR」は、一つの磁場又は複数の磁場におけるサンプルの磁気モーメントの共鳴再配向を意味し、核磁気共鳴(NMR)、電子スピン共鳴(ESR)、磁気共鳴映像法(MRI)、及び強磁性共鳴(FMR)を含む。実施形態は、イオンサイクロトロン共鳴(ICR)において適用されてもよい。特定の用途及び実施形態では、開示の装置及び方法は、NMRに適用され、実施形態では、それらは、NMR分光計又はNMR撮像装置に適用される。磁場に曝された時に磁気共鳴を示す材料は、磁気共鳴即ちMR活性核種又は材料と呼ばれる。

30

【0039】

本開示では、「シム調整」という用語は、磁場の不均一を抑制する或いは磁場の一様様を変調する任意の方法を指す。特定の実施形態では、磁場は、一次磁場であり、磁気共鳴デバイス内で発生又は維持される。実施形態では、これは、NMR機械、分光計、又はコンパクトなNMR機械である。特定の実施形態では、シム調整は、磁気アレイ内又は磁気アレイの格子構成内の選択された磁石又は選択された位置に配置されたシム調整要素の移動によって達成される。シム調整は、この目的のために設計に含まれる電子電流路を含む実施形態では、シム調整アルゴリズムの制御下で電子電流路上の電流を変調することによって達成されてもよい。このようなシム調整と、選択された磁石を移動することによって達成される前記シム調整とを特に区別するために、「電子シム調整」という用語を使用して、変調された電子電流の使用を示す。

40

【0040】

本開示では、「一次磁石」という用語は、磁石アレイの一部を形成する磁石の内の一つ、又は磁気共鳴用途のための一次磁場に寄与する磁石の内の一つを指す。実施形態では、磁石アレイに含まれる二つ以上のこのような一次磁石が存在し、それらの間の磁石アレイによって生じる磁場(「一次磁場」と呼ぶ)全体の均一性は、シム調整技術を使用することによって変調又は向上されてもよい。磁石アレイ及びそれらのコンポーネントの一次磁石の実施形態に関する考えられる構成及び磁石の幾何学的形状が本明細書において更に記述される。限定ではなく一例として、図6乃至図10は、第1の一連の実施形態の一例に係る磁石の考えられる配置を示し、実施形態では、磁石は切頂立方体でもよい。

50

## 【0041】

本開示では、「シム調整磁石」又は「シム調整ブロック」という用語は、磁石アレイ内の磁石又はその他の構造体又は磁石アレイに関連する磁石又はその他の構造体であって、アレイに関する磁場をシム調整するのに有用な磁石又はその他の構造体を指す。例えば、図6乃至図10に示す磁石アレイでは、特定の層が、多数のシム調整磁石又はシム位置120を含むことが分かる。他の実施形態では、異なる数のこのようなシム調整磁石が使用されてもよく、それらの位置は調整されてもよく、それらは、磁石アレイ内又はその外に配置されてもよいことが分かる。例示の実施形態では、シム調整磁石は、磁場を変調するために制御可能に移動されてもよく、従って、このような場合、シム調整磁石は、そのような移動を可能にするサイズを有していると理解される。

10

## 【0042】

本開示では、「磁極片」という用語は、一次磁場に寄与する又は一次磁場を整形するための一次磁石の近傍に設置された透磁性材料片を指す。実施形態では、磁極片は、任意の適切な材料及び設計から成り、その全ては、当業者によって容易に理解され、当業者から選択され、実施される。限定ではなく一例として、実施形態では、磁極片は、Hyperco(商標)又は軟鉄材料から成る。実施形態では、磁極片は、多数の対向する磁石面の対に適用されてもよいこと、及び、実施形態では、磁極片は、ユーザによって制御可能なシム調整電流を搬送するシム調整路を備えていてもよいことが分かる。

## 【0043】

本開示では、「一次磁場(primary field)」、「主な磁場(main field)」、「一次磁場(primary magnetic field)」、及び「主な磁場(main magnetic field)」という用語は、磁石アレイによって生じる磁場を意味する。実施形態では、アレイは、磁気共鳴装置に含まれる。一連の実施形態では、1.0乃至2.5テスラの範囲の磁場強度が達成されるが、磁場強度は、格子サイトの層の数、個別のコンポーネント磁石の強度、磁極片の有無及び種類、使用される構成材料及びその他の変数によって決まる。当業者は、全てのこのような変数及びそれらの因果を理解し、それらに関して適切な許容値を設定する。

20

## 【0044】

他の実施形態では、0.1以下、0.1未満、約0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0、1.1、1.2、1.3、1.4、1.5、1.6、1.7、1.8、1.9、2.0、2.1、2.2、2.3、2.4、2.5、又は2.5より大きい磁場強度が生じる。試験容積における磁場は、使用される格子層の数、一次磁石の性質、使用される任意の磁極片材料、及びその他の変数を含む多くの変数によって決まり、それらは全て、当業者によって容易に特定される。特定の実施形態では、一次磁場は、約1.0と2.5テスラの間になる。特定の実施形態では、アレイの磁気一次磁場又は試験容積内の磁場は、約0.1と2.5テスラの間、1.0と2.5テスラの間、約1.2と2.3テスラの間、又は約1.5と2.0テスラの間である。

30

## 【0045】

本開示では、「試験容積」とは、試験下でサンプルを保持するように指定された磁石アレイ内の空洞を指す。実施形態では、試験容積は、格子構成内の格子点に位置し、実施形態では、その内部に、シム調整手段、サンプルを保持する又は回転する又はその温度又はその他の物理的特性を変調又は維持する手段、磁場勾配を印加する手段、又はパルス磁場又は過渡磁場を印加又は検出する手段等の磁石アセンブリに関連する装置内に含まれるその他の材料又はサブシステムを含有する。その他の考えられる適応は、当業者には明らかである。

40

## 【0046】

本開示では、磁場又は磁場に含まれる場合がある不均一性を「変調すること」への言及は、空間内の任意の点における磁場の構成に対して一つ以上の所望の制約事項を課すことを指す。従って、変調することとは、一般的に、所望の変化の達成を指す。

## 【0047】

50

本開示では、不均一性を「抑制すること」とは、磁場における望ましくない不整又は歪みを補正又は円滑化又は除去するための磁場の幾何学的コンポーネントに対する任意の調整を指す。

【0048】

本開示では、シム路、シム電流、又は磁場等を参照しながら用いられる時の「幾何学的形状」とは、コンポーネントの空間的配置と、考察している構造体の全体的な位置の両方を指す。

【0049】

本開示では、「格子」という用語は、空間における点の規則的なアレイを意味し、その各点は、ベクトルの整数倍の和だけ原点から変位し、それらのベクトルは、共に三次元基底を構成する。本開示では、「三次元基底」という用語は、

【数23】

$$a\vec{u} + b\vec{v} + c\vec{w} = 0$$

が、 $a$ 、 $b$ 、及び $c$ が全て一様にゼロであるような三つのベクトル

【数24】

$$\{\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}\}$$

の集合を意味する。当該技術において、このようなベクトルの集合は、一次独立であると言われる。

【0050】

格子は、その単位セルの繰り返し、即ち、格子全体を構成するために使用されることが出来る繰り返しパターンの最小容積に関して可視化されることが出来る。考えられる格子の説明のための一例は、単純な立方格子、面心立方格子、体心立方格子、及び、単純な六方格子又は六方最密格子等の六方格子である。上記は、図4A乃至図4Dに示されており、即ち、(4A)単純な立方格子、(4B)面心立方格子、(4C)体心立方格子、(4D)単純な六方格子である。

【0051】

更なる実施形態では、格子は、一つの方向に沿って長くした又は短くした単純な立方格子である単純な正方格子等の上述の格子の種類の一つが歪んだものでもよい。更なる実施形態は、二つ以上の相互貫入格子を組み込み、上述の特定の種類の相互貫入格子を非制限的に含む。

【0052】

本開示では、「格子構成」又は「格子配置」という用語は、個々の物体が、その中心が格子の点の有限集合と実質的に一致するように配置された物体の配置を指す。より具体的には、磁石群又は磁石アレイ又はその一部を参照する際に使用される場合、「格子構成」又は「格子配置」という用語は、個別のコンポーネントの磁石が、それらの中心が格子によって画定される点の有限集合と実質的に一致するように設置された配置を指す。疑義を回避するため、且つ分かり易いように、格子構成への言及は、例えば、ブラベー格子構成が、下層のブラベー格子に基づく格子構成を示すように、下層の格子構造を必ず反映することが分かる。他の実施形態では、磁石アレイは、ユーザが望むだけ下層の格子パターンに係る更なる磁石を追加することによって拡張されてもよいことが分かる。更に、実施形態では、第1の多面体の磁石によって占有される格子構成内の一つの場所が、任意で、特定の目的に叶うようにユーザが望むように、適当に修正された第1の多面体の磁石によって又は複数の第2の多面体の磁石によって占有されてもよいことが分かる。

【0053】

実施形態では、格子サイトの幾つかは、より小さい第2の多面体の磁石から成る複合磁石によって占有され、実施形態では、このような複合磁石に含まれる一部の個別の第2の磁石は、サンプル管入口、一つ以上のサンプルチャンネル、又はアセンブリの内部、特に試験容積へのその他のアクセスポートを収容出来るように除かれる。実施形態では、この配

10

20

30

40

50

置により、一次磁場は、磁石アレイに関する理論的に理想的な磁場に出来るだけ近付けた状態に維持されることが出来ることが分かる。

【 0 0 5 4 】

本開示では、「磁石アレイ」又は「磁石アセンブリ」という用語は、本明細書で考慮される用途に有用な集成的な磁場を生じるように構成された一次磁石の配置を指す。実施形態では、磁石アレイは、格子構成に配置された個別の一次磁石を含む。選択された実施形態では、個別のコンポーネントの磁石に関する形状及び場所は、指定の中心容積又は試験容積を包囲する容積を実質的に充填する。実施形態では、磁石アレイを形成する一次磁石は、単一磁石であり、又は複合磁石であり、又は単一磁石と複合磁石の両方を含み、実施形態では、磁石アレイの内部へのアクセスを可能にするように成形又は配置される。実施形態では、一次磁石の形状、サイズ、及び配置は、斜めの磁化軸を備える多くの歪んだ又は非対称な形状を避ける。実施形態では、一次磁石は多面体である。磁石アレイは、格子構成の一次磁石を備えるため、アレイのサイズは、適当な磁石によって占有される格子の一部を単純に引き延ばすことによって拡大されてもよいことが分かる。実施形態では、格子構成の多数の単位セルは、単一の一次磁石によって占有されてもよいこと、及び、他の実施形態では、単一の単位セルは、多数の小さい方の第2の多面体の磁石を備える複合一次磁石によって占有されてもよいことが分かる。

10

【 0 0 5 5 】

図6乃至図9から分かるように、磁石アレイは、一般的に、その磁石アレイのコンポーネントの磁石を所定の位置に保持するために構造体枠の補助によって組み立てられる。実施形態では、磁石アレイの各層は、枠内に組み立てられ、枠は、それに付随する磁石と共に、磁石アレイを形成するように組み立てられる。特定の実施形態におけるこのような枠に適した材料は、一般的に、非磁性であり、一例として、実施形態では、このような枠は、アルミニウム、真鍮、又はPEEK(商標)又はDelrin(商標)等の強度の高いプラスチック、又はMacor(商標)等のセラミック材料から成る。当業者は、様々な考えられる代替材料を容易に特定して実施する。

20

【 0 0 5 6 】

便宜上、少数の異なる種類の一次磁石を有することが望ましい場合があり、各一次磁石は、厳密且つ経済的な品質管理手順の対象となり易い方法で(例えば、平らな面に垂直に)磁化される。実施形態では、磁石アレイ内の中心容積即ち試験容積への一つ以上のサンプルチャンネル又はアクセスポイントの組み込みを可能にする設計原理を有することが望ましい場合もある。従って、実施形態では、磁石は、組み合わせで使用されると、中心容積を包囲する空間を実質的に充填する特定の多面体に構成され、単純な立方格子、面心立方格子、体心立方格子、又は六方格子等の正の点格子又は僅かに歪んだ点格子の一部の上に配置される。実施形態では、別々のコンポーネントの部品の種類の数を最小限に抑えるために、対称性が利用される。

30

【 0 0 5 7 】

立方格子構成に基づく磁石アレイ内では、磁場に関する三つの好適な軸又は方向は、このような方向の無限の可能性の間に存在する。これらは、図12A、図12B、及び図12Cに示されており、概略的に図示されている。磁石アレイがほぼ立方体である本開示では、「体対角線」という用語は、磁石アレイの幾何学的に対向する角部の間であってアレイの中心点を通して延在する直線、即ち磁石アレイの対称軸を指す。この方向は、図12Cにおいて単純な立方格子90の一部の中で矢印92によって示されている。「面法線軸」という用語は、図12Aにおいて単純な立方格子の側面図94に示すように、磁石アレイの対向する面の中心を通り且つアレイの中心点を通る直線、即ち対称軸を指す。「面对角線」という用語は、図12Bにおいて単純な立方格子の側面図96に示すように、磁石アレイの対向する縁の中央を通り且つアレイの中心点を通る直線、即ち対称軸を指す。立方格子に関する正式な専門用語では、例えば、結晶学及び固体物理学において、体対角線、面法線、及び面对角線方向は、夫々、(111)、(100)、及び(110)軸と呼ばれる。

40

50

## 【0058】

本開示では、「サンプル回転子」は、試験容積内で試験されるサンプルを回転するためのデバイス又は手段を意味する。当業者は、あらゆる種類のサンプルを導入、除去、及び回転するための様々な従来の手段を認識し、特定の目的に叶うように、このような手段を容易に実施して調整する。

## 【0059】

本開示では、「多面体」という用語は、実質的に平坦な面を含む立体を意味し、「多面体の磁石」という用語は、多面体形状を有する磁石を指す。実施形態では、複数の個々の多面体の磁石は、磁石アレイを形成するように配置されることが分かる。実施形態では、多面体形状は、限定ではなく一例として、正方形の平行六面体等、歪んでいてもよい。特定の実施形態では、多面体は、以下の候補、即ち、切稜多面体、切頂多面体（好適な実施形態では、切頂立方体を含む）、菱形十二面体、プラトンの立体、アルキメデスの立体、又はジョンソンの立体から選択される。プラトンの立体 一般的には正多面体とも呼ばれる は、同一の頂点を有し、合同な面を有し、各面は、正多角形である。アルキメデスの立体 一般的には準正多面体とも呼ばれる は、同一の頂点を有する多面体である。ジョンソンの立体は、正多角形の面を有するが、不等の頂点を有する。実施形態では、磁石は、球状又は円柱状の磁石も含み、実施形態では、これらは、格子点に位置する。

10

## 【0060】

実施形態では、磁石アレイは、複数の多面体の磁石から組み立てられる。実施形態では、アレイに含まれる多面体の磁石は全て同一形状である。実施形態では、アレイを形成する多面体の磁石は、同一サイズである。他の実施形態では、アレイを形成する多面体の磁石は、異なるサイズのもの、又は異なる形状のもの、又は異なる形状且つ異なるサイズのものである。実施形態では、磁石は、単一磁石、又は複合磁石、又は単一磁石と複合磁石の両方を含む。

20

## 【0061】

図5は、幾つかの多面体形状を示し、これらは全て、多面体の磁石の他の実施形態、即ち、(A)立方体、(B)四面体、(C)八面体、(D)立方八面体、(E)切頂立方体、(F)切頂四面体、(G)切頂八面体、(H)切頂立方八面体（大菱形立方八面体）、(I)小菱形立方八面体、(J)六角柱、(K)正四角反柱、(L)正方形の平行六面体（正四角柱）、(M)切稜立方体、(N)菱形十二面体にて検討されることが分かる。これらの候補は、もっと多くの考え得る多面体形状の一例に過ぎず、限定的なものではない。あらゆる多面体への言及は、その多面体から、縁の丸み付け又は切稜によって、穿孔によって、又は軸に沿って次元を歪めることによって、又は当業者によって容易に理解される様々なその他の方法によって導き出される形状も考慮して含むことが分かる。実施形態では、充填した多面体の磁石の切頂又は切稜又は全体の形状により、チャンネル又は開口を形成又は部分的に形成するのに有用な空間が残されることが分かる。

30

## 【0062】

本開示では、「第1の多面体の磁石」及び「第2の多面体の磁石」は、形状又はサイズが異なる又は形状及びサイズが異なる多面体の磁石の集合を意味する。一般的に、磁石アレイの全体的な幾何学的形状は、一般的に一次磁石となるこのような第1の磁石のアセンブリに関して最も良く記述されて理解される。第2の多面体の磁石という用語は、第1の多面体の磁石よりも実質的に小さい多面体の磁石を示すために使用され、実施形態では、このような第2の磁石は、磁石アレイにサンプルチャンネルを形成するために、又は磁石アレイにおける空間を充填する又は磁石アレイを拡張するために使用される。限定ではなく一例として、磁石アレイが切頂立方体のアレイである場合、実施形態では、磁石アレイの第2の多面体の磁石は、複数のこのような第2の多面体の磁石が、第1の磁石と実質的に同等の空間を専有するように充填されることが出来る直径を有する。当業者は、実施形態では、このような配置により、多数の第2の磁石が、欠落した第1の磁石によって残された空間に充填されることが出来、磁石アレイ内にサンプルチャンネル等の開口の設置が可能になる一方で、格子構成の連続性を実質的に維持する。従って、実施形態では、複数の第

40

50

2の磁石が、より大きな第1の磁石の一つ一つとサイズが略等しい複合磁石を形成するように充填され、実施形態では、このような第2の磁石は、その間に空間を残すように配置される。

【0063】

特定の実施形態に係る磁石は、任意の適切な材料から成り、又はその材料で構成され、その材料は全て、当業者によって容易に特定されて使用される。限定ではなく一例として、実施形態では、磁石は、高保磁力材料である又は高保磁性材料を含む。実施形態では、磁石は、希土類系磁石である。この場合も同様に、限定ではなく一例として、候補は、ネオジム鉄ボロン及びサマリウムコバルト合金である。当業者は、様々な考えられる代替物を容易に特定して実施する。

10

【0064】

特定の実施形態では、個々の一次磁石は、0.1インチ以下、0.1インチ未満、約0.1インチ、0.2インチ、0.3インチ、0.4インチ、0.5インチ、0.6インチ、0.7インチ、0.8インチ、0.9インチ、1.0インチ、1.1インチ、1.2インチ、1.3インチ、1.4インチ、1.5インチ、1.6インチ、1.7インチ、1.8インチ、1.9インチ、2.0インチ、2.1インチ、2.2インチ、2.3インチ、2.4インチ、2.5インチ、2.6インチ、2.7インチ、2.8インチ、2.9インチ、3.0インチ、3.1インチ、3.2インチ、3.3インチ、3.4インチ、3.5インチ、3.6インチ、3.7インチ、3.8インチ、3.9インチ、4.0インチ、又は4.0インチより長い直径を有する。アレイが、大きい方の第1の磁石と小さい方の第2の磁石を混在して含む場合、磁石アレイに含まれる複合磁石を形成する構成要素の第2の磁石は、アレイを成す大きい方の第1の磁石のサイズの適切な増加分、即ち、その一部であることが分かる。特定の実施形態では、切頂立方体の一次磁石、即ち第1の磁石は、面と面の間が約1.25インチである。実施形態では、このようなアレイの複合磁石を含む第2の磁石は、面と面の間が約0.50インチである。

20

【0065】

本開示では、磁石アレイを参照して使用される場合の「磁場軸 (magnetic field axis)」又は「磁場軸 (field axis)」又は「磁場方向 (magnetic field direction)」又は「磁場方向 (field direction)」という用語は、磁石アレイの中心空洞、即ち試験容積内の均一な磁場の所望の配向として機能する磁石の格子構成の座標枠に関する軸、即ち方向を意味する。この方向は、原則として任意に選択されることが出来るが、実際には、格子及び磁石の対称性を利用すること、及び、立方体の単位セルの四回又は三回対称軸等の対称要素に関係するある特定の方向を選択することが望ましい場合が多い。文脈が示す場合は、上記用語は、アレイに含まれる一つの磁石又は一つの複合磁石によって生じる磁場を表すために使用される場合があることが分かる。所望の磁場構成が明らかに磁場勾配を含む場合は、「勾配軸」という用語は、所望の磁場構成を画定する勾配テンソル成分、又は主成分、又はその他の方向量を示すために使用される。

30

【0066】

実施形態では、本明細書に開示された磁石アレイの一次磁場は、ハルバツ八球体によって生じる磁場に近似する。略立方体の磁石アレイに関して考えられる磁場方向は、本明細書の他の箇所でも更に説明されるように、格子の単位セルの一つの面に垂直な方向、格子の単位セルの中心を縁の中間点につなぐ線に沿う方向、図12に概略的に示され、格子の単位セルの体対角線に沿う方向を含む。

40

【0067】

本開示では、「サンプルチャネル」という用語は、例えばサンプルを試験容積に導入するために、又はサンプルをそこから除去するために、試験容積にアクセスするのに有用な磁石アレイにおける開口を意味する。特定の実施形態では、サンプルチャネルは、任意の所望の配向を有し、限定ではなく一例として、実施形態では、サンプルチャネルは、図10に示すように、磁石アレイの一つの面、角、又は縁から延出してもよい。実施形態では

50

、サンプルチャンネルは、アレイを形成する他方の第1の磁石よりも小さくしたサイズ又はそれとは異なる幾何学的形状を有する第2の磁石を配置することによって少なくとも部分的に画定される。実施形態では、サンプルは、適当なサンプル管に導入されてもよい。限定ではなく一例として、サンプル管は、液体サンプルを含有する長いガラス管、流管、又は固体核磁気共鳴(NMR)において一般的な小さな「ローター」型の管とすることが出来る。様々な候補が当業者によって容易に認識されて実施される。

【0068】

磁場方向が確立され、個別のコンポーネントの磁石の磁化軸が計算されると、サンプル管が挿入される際に沿う軸が選択されることが出来る。磁場軸と同様に、対称性を十分に利用して、サンプル管進入軸の無限の候補の中から好ましい方向として特定の方向を選択することが出来、その一部は以下に挙げられる。サンプルチャンネル軸の選択に対するその他の考慮すべき事項は材料であるかもしれない。例えば、磁場方向とサンプル管進入軸の特に有用な組み合わせは、磁場方向が立方体の格子の単位セルの一つの面に対して垂直であり、且つサンプル管の進入軸が体対角線に沿うものである。この場合、これらの軸の間の角度は、

【数25】

$$\cos^{-1} \sqrt{1/3} \approx 54.7^\circ$$

であり、固体NMRの専門家に知られている所謂「マジック角」である。この軸周りのサンプルの高速回転は、特定の非常に有用な実験技術の使用を可能にすることで知られる。

【0069】

サンプルチャンネルに関する軸が選択されると、サンプル又はサンプル管が磁石アレイの中心空洞即ち試験容積に導入されることを可能にする少なくとも三つの構成方法が検討される。他の実施形態では、その候補は、限定ではないが、コンポーネントの磁石間に空間を設けるために格子を拡張すること、これは任意で対称的なパターンで行われてもよいが、磁石に孔を開けること、及び対称的に配置された磁石の部分集合、又は複合磁石を一つ以上形成するコンポーネントの第2の磁石の部分集合を除くことを含む。実施形態では、上記の候補は、当業者によって容易に理解される方法で組み合わせられてもよい。

【0070】

第1の実施形態

第1の一連の実施形態が、図6乃至図10を一般的に参照して記述され、第1の一連の実施形態の一例のより詳細な説明が以下に提示される。

【0071】

広い見地から、格子構成に配置される複数の多面体の磁石を含む磁石アレイが開示される。実施形態では、この磁石アレイは、指定の磁場方向

【数26】

$\hat{v}$

を有する付随の磁場を有する。実施形態では、この磁石アレイは、試験容積を少なくとも部分的に包囲し、実施形態では、試験容積を完全に又は略完全に包囲する。実施形態では、試験容積における原点からの変位ベクトル

【数27】

$\vec{r}$

に位置する個別の多面体の磁石の磁化方向

【数28】

$\hat{m}$

は、以下の式、即ち、

【数29】

$$\hat{m} = (2(\hat{v} \cdot \vec{r})\vec{r} - (\vec{r} \cdot \vec{r})\hat{v}) / \vec{r} \cdot \vec{r}$$

によって決定される。

## 【 0 0 7 2 】

実施形態では、図 1 0 に示すように、多面体の磁石 1 0 1 は、切頂立方体であり、磁石アレイは、単純な立方格子に基づいている。

## 【 0 0 7 3 】

第 1 の実施形態は、磁場方向

## 【 数 3 0 】

$$\hat{v}$$

を有する磁場を生じる方法も含む。この方法は、格子構成の多面体の磁石のアレイを提供することを含み、原点からの変位ベクトル

## 【 数 3 1 】

$$\vec{r}$$

に位置する個別の多面体の磁石の磁化方向

## 【 数 3 2 】

$$\hat{m}$$

は、以下の式、即ち、

## 【 数 3 3 】

$$\hat{m} = (2(\hat{v} \cdot \vec{r})\vec{r} - (\vec{r} \cdot \vec{r})\hat{v}) / \vec{r} \cdot \vec{r}$$

によって決定される。

## 【 0 0 7 4 】

当業者には、上記式は、以下の式、即ち、

## 【 数 3 4 】

$$\hat{m}(r, \theta, \phi) = \cos(k\theta) \hat{r} + \sin(k\theta) \hat{\theta}$$

の座標から独立した表現であることが分かり、 $k = 1$  の場合、中心容積内で実質的に均一な磁場を生成するのに適しており、余緯度角

## 【 数 3 5 】

$$\theta = \cos^{-1}(\hat{v} \cdot \vec{r})$$

が、選択した磁場方向

## 【 数 3 6 】

$$\hat{v}$$

に対して定義される。

## 【 0 0 7 5 】

第 1 の実施形態の変形例では、多面体の磁石の一つ一つが、切頂立方体、菱形十二面体、プラトンの立体、アルキメデスの立体、ジョンソンの立体、切稜多面体、及び切頂多面体からなる群から選択される。更なる考えられる変形形状は、本明細書の他の箇所で説明され、当業者は、更なる考えられる形状を容易に特定し、それらの形状は全て、本明細書に開示されて請求される主題の一つ以上の考えられる実施形態において考慮されている。

## 【 0 0 7 6 】

実施形態では、アレイが基づく格子は、ブラベー格子であり、従って、アレイの磁石は、ブラベー格子構成を有する。更なる実施形態では、格子は、単純な立方格子、体心立方格子、面心立方格子、又は六方格子であり、アレイの磁石の格子構成は、このような下層の格子構造に従う。

## 【 0 0 7 7 】

第 1 の実施形態の一例では、特に図 6 乃至図 1 0 に示すように、アレイを成す多面体の磁石は、複数の第 1 の多面体の磁石 1 0 1 及び複数の第 2 の多面体の磁石 1 0 6 を含み、第 2 の多面体の磁石は、第 1 の多面体の磁石よりも小さい。この構成の一実施形態では、図 1 0 の斜視図に示すように、複数の第 2 の多面体の磁石は、サンプルチャンネル 1 0 7 を少なくとも部分的に画定する。後に明らかになるように、図示の実施形態では、サンプルチャンネルは、磁石アレイを画定する格子の体対角線に沿って配向している。この配向は、

10

20

30

40

50

切頂立方体から成るアレイに特に適している。適切な調整により、その他の配向が可能であり、その他の配向は、アレイを構成するために使用される格子の種類に応じて変わることが分かる。

【0078】

第1の実施形態の実施形態では、磁場の方向

【数37】

$\hat{v}$

は、磁石アレイの体対角線、磁石アレイの面法線、又は磁石アレイの面对角線に対応する。これらの一般的な配向は、図12の概略図に見られる。

【0079】

実施形態では、第1の多面体の磁石の一つ一つは、所望の磁場方向

【数38】

$\hat{v}$

を有するアレイに対応する可能な値の有限集合から選択される磁化方向  $m$  を有することが分かる。従って、適切な計算に従い、ユーザは、

【数39】

$\hat{m}$

に関する一連の可能な値を特定し、それらの中から、これらの値のいずれが所望の磁場方向

【数40】

$\hat{m}$

に最適であるかを容易に決定し、それに応じて適当な値を選択する。実施形態では、本明細書で考慮される構成により、比較的少数の代替的な構成要素の一次磁石の種類だけを使用して適当な一次磁場の生成が可能になることが分かる。例えば、必要な磁化方向は、磁石の集合を使用して効率的に近似されることが出来、各磁石自体は、図11に描かれた三つの磁化配向のうちの一つを有する。図11Aでは、立方体の磁石が、側面図において、「面法線」状の磁化と共に描かれている。図11Bでは、立方体の磁石は、側面図において、「面对角線」状の磁化と共に描かれている。図11Cでは、立方体の磁石は、斜視図において「体対角線」磁化と共に描かれている。これらの磁化用語は、図10の格子構成で使用されるもののような切頂の立方体の磁石にそのまま当てはまり、複合磁石、又は多数の構成要素の磁石を含むアレイにも略当てはまる。

【0080】

個別の多面体の磁石は、充填アレイ内に有限数の可能な配向を有する。品質管理手順を容易にする又は改善するため、又はそれらの手順をよりコスト効率のよいものにするために、個々の磁石が、有限数の可能な双極子配向のみを有するように可能な磁化の選択を限定することが望ましい場合がある。磁石アレイを組み立てる時、ユーザは、可能な配向の集合から、アレイにおいて他の磁石と組み合わせると所望の一次磁場の最良近似を与える配向を選択してもよい。例えば、一つの一次磁石は、図11に示す三つの方向のいずれに配向される双極子を有してもよく、立方体の六つの面に対応する六つの方向のいずれかに沿う所与の面法線を有する格子内で配向されてもよく、次に、その面法線の周りの回転によって四つの候補のいずれかに更に配向され、磁化方向の有限だが大きな候補の集合を与えてもよい。従って、立方アレイに関して、アレイは、三つの構成要素のみ、即ち、図11に示す三つの双極子配向のうちの一つを有する個々の磁石を使用して組み立てられてもよい。同じ原理が、様々なその他の多面体形状に適用されてもよいことが分かる。また、実施形態又は実施形態の一部において、一つの磁石は、単一磁石でもよく、又は複合磁石でもよいことが分かる。分かり易いように、一つの磁石に関する磁場は、双極子と呼ばれてもよい。

【0081】

磁石アレイの特定の実施形態では、アレイは、サンプル回転子を更に含む。更に他の実施形態では、第1の実施形態のアレイは、磁気共鳴デバイスに含まれる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 8 2 】

実施形態では、多面体の形状は、格子上に配置された時に、多面体同士が連結し、容積を実質的に充填するように選択される。実施形態では、これらの形状は、アセンブリが全体として高い対称性を示すように、且つ、特に、限られた数の個別の磁石設計がアレイを組み立てる必要があるように選択されて配置される。比較的限られた数の個別の磁石設計が十分であれば、異なる種類のコンポーネント部品数は、各磁石がその設計において固有である場合に存在する部品の種類の数と比べて少ないことが分かる。

## 【 0 0 8 3 】

第1の実施形態及びその他の実施形態の実施形態では、アレイはシムを含み、アレイに関連する一次磁場をシム調整する方法が提供される。実施形態では、シム調整は、アレイ内又はその周りに配置されたシム調整磁石を使用する。実施形態では、シム調整は、電子シム調整構造を使用して達成される。実施形態では、適当な磁極片が、磁場の微細なシム調整を行うために設けられる。

10

## 【 0 0 8 4 】

図10から分かるように、磁石アレイ102を成す格子構成に含まれる磁石101の内の幾つかは、大きい第1の磁石103であり、他は小さい第2の磁石106である。小さい方の第2の磁石は、アレイにおける特定の点に複合磁石104を形成する。図10から分かるように、このような小さい方の第2の磁石106の使用は、この場合は体対角線に沿って配向されるサンプルチャネル107を設けるために利用される。

## 【 0 0 8 5 】

個々の一次磁石101が切頂立方体の形状であり、格子構成が単純な立方格子に基づくことにより、本実施形態の磁石アレイ102は、個別の磁石101の個別の層を形成して配置することによって形成されてもよいことが分かる。

20

## 【 0 0 8 6 】

概して、中心層は、指定層0であり、その中心に、試験容積を形成する空き空間110を備える。図6は、第1の実施形態の実施例1の磁石アレイの層0の平面図を示す。これらの磁石は、一次磁石であり、本開示の定義セクションにおいて説明された「第1の磁石」であることが分かる。層0は、図6Bにおける断面にて概略的に示す面151、152及び端153、154を有する支持体枠150内に組み立てられる。配線及びその他の構造体を提供するためにユーザによって必要に応じて更なる開口が組み入れられることが分かる。

30

## 【 0 0 8 7 】

層0は、第1の側面が層1に隣接し、層2、及び最後に層3と続く。層0の反対側には、層-1、層-2、及び層-3によって、同一の配置が反対方向に延在する。アレイは、略対称である。各層は、枠内に組み立てられ、それらの枠は、組み立てられたアレイ102を形成するために互いに固定される。層1は図7に示され、中心容積即ち試験容積は、全ての側面に隣接し、略立方体であることが分かる。

## 【 0 0 8 8 】

実施形態では、磁石アレイは、アレイに関連する複数のシム調整磁石120を備える。実施形態では、シム調整磁石は、格子構成内の位置を占有し、実施形態では、アレイ内で移動可能な大きさを有する。実施形態では、シム調整磁石120は、多面体であり、磁石アレイ内に含まれる。実施形態では、シム調整磁石は、アレイ内の格子点に配置され、実施形態では、磁石アレイ外に配置される。実施形態では、シム調整磁石は、磁石アセンブリ内を移動するようにユーザによって作動可能である。

40

## 【 0 0 8 9 】

磁石アレイを含む個別の磁石101は、規則的な配置に形成され、その配置は、シム調整磁石120と、小さい方の第2の磁石106を含む複合磁石104とを含む。シム調整磁石120は、他の一次磁石103等よりも僅かに小さく、試験容積における磁場を効果的に調整するために、ユーザが望むように移動されることが出来る。実施形態では、これらの磁石は、別々に移動可能であり、又は対になって又は複数になって接続される。実施

50

形態では、シム調整磁石は、枠の平面内で移動される。実施形態における考えられる移動パスは、矢印 1 2 5 によって指定されている。磁石は、枠 1 6 0 内に取り付けられる。枠 1 6 0 内のチャンネル 1 6 8 は、シム調整磁石 1 2 0 を収容出来、且つシム調整磁石 1 2 0 が移動されることが出来るような大きさを有する。

【 0 0 9 0 】

層 2 の構造体を図 8 に示す。切頂立方体である一次磁石を含む一実施形態におけるこの層の配置は、各側面に沿って五つの一次磁石 1 0 1 を有する略正方形であることが分かる。層 2 は、四つの位置に、シム調整磁石 1 2 0 も備えることが分かる。実施形態では、シム調整磁石 1 2 0 は、対になって、隣接する層における対応する磁石に結び付けられる。従って、図示の実施形態では、層 2 における四つのシム調整磁石は、対になって、図 9 の層 3 における対応する磁石に接続される。これらの実施形態では、シム調整磁石の対は、図の平面の内外へ共に移動する。図示の実施形態では、アレイは、七つの層を含み、従って、シム調整のために使用される 2 4 対の磁石を含むことが分かるだろう。実施形態では、シム調整磁石又は電子シムは、任意の適当な数だけ設けられる。実施形態では、シム調整磁石又は電子シムは、試験容積の周囲に略対称的に配置される。実施形態では、1 個、2 個、3 個、4 個、5 個、6 個、7 個、8 個、9 個、1 0 個、1 1 個、1 2 個、1 3 個、1 4 個、1 5 個、1 6 個、1 7 個、1 8 個、1 9 個、2 0 個、2 1 個、2 2 個、2 3 個、2 4 個、2 5 個、2 6 個、2 7 個、2 8 個、2 9 個、3 0 個、3 1 個、3 2 個、3 3 個、3 4 個、3 5 個、3 6 個、3 7 個、3 8 個、3 9 個、4 0 個、4 1 個、4 2 個、4 3 個、4 4 個、4 5 個、4 6 個、4 7 個、4 8 個又はそれを越えるシム又はシム調整磁石が設けられる。実施形態では、シム調整磁石の移動は、1 個、2 個、3 個、4 個、5 個、6 個、7 個、8 個、9 個又はそれを越えるシム調整磁石の群になって関係させる。

【 0 0 9 1 】

実施形態では、実施形態に係る磁石アレイによって生じる磁場をシム調整する方法も開示される。一般的に、この方法は、一つ以上のステップを含む。実施形態では、これらのステップは、a) 磁場上の複数のシム調整磁石の内の一つを移動させる作用の関数的表現を得ること、b) 複数のシム調整磁石の一つ一つに関してステップ a) を繰り返すこと、c) ステップ a) 及び b) の結果の S U M 関数を導き出すこと、及び d) 一つ一つのシム調整磁石の位置を調整しながら磁場を監視することを含む。

【 0 0 9 2 】

シム調整磁石は、試験容積内の磁場を「粗く」シム調整するための一つ的手段として設けられる。実施形態では、シム調整手順は、以下のステップのうちの一つ以上又はそれらを全て含む。

【 0 0 9 3 】

1) 試験容積における磁場に対して、移動可能な磁石の指定の対のうちの所与の一つを移動させる作用の関数的表現を得る。適当な関数的表現は、

【 数 4 1 】

$$\vec{B}_i(x, y, z, \eta_i)$$

の形を取り、 $x$ 、 $y$ 、及び  $z$  は、磁場が推定されるべき試験容積内の位置座標を示し、 $i$  は座標変数であり、この座標変数に沿って、シム磁石  $i$  は、制御可能に移動することが可能である。この関数的表現は、静磁場シミュレーションによって、又は、磁石  $i$  が座標  $i$  に沿って移動される時に、例えばガウスメータプローブによって生じる磁場変化をマッピングすることによって様々に得ることが出来る。これらを決定するための他の関数的表現及び手段は、当業者によって容易に理解される。

【 0 0 9 4 】

2) 関数

【 数 4 2 】

$$\vec{B}_i(x, y, z, \eta_i)$$

10

20

30

40

50

を結合してSUM関数にする。実施形態では、このSUM関数の実用性は、主な磁場に対する作用の代表として、部分的には、個別の作用が独立している度合によって、即ち、シム磁石及びその他の磁石の磁化が、これらの運動によって生じる変化に抵抗する度合によって決まる。実施形態では、この抵抗を左右する重要な物理的要因は、アレイにおけるシム磁石とその他の構成要素の磁石の両方を製造するために使用される磁性材料の保磁力である。従って、実施形態では、高保磁力の磁性材料の使用が好ましいことが分かる。

【0095】

3) 実施形態では、次に、SUM関数は、空間変数  $x$ 、 $y$ 、 $z$  と磁石座標変数  $i$  の両方に関して、成分関数に分解される。或いは、実施形態では、磁石座標変数  $i$  は、恐らくシム調整磁石の配置の対称性に適応させた新たな変数  $j$  に線形結合され、SUM関数は、空間変数  $x$ 、 $y$ 、 $z$  とこの対称性に適応した変数の両方に関して表される。シム調整の当業者は、特定の用途に適合するように空間変数  $x$ 、 $y$ 、 $z$  における関数形式(例えば、多項式)を選択する。

10

【0096】

4) 実施形態では、試験容積内の磁場の応答関数が決定される。実施形態では、この応答関数は、磁場マップ、又は共鳴線幅等のNMRパラメータである可能性があり、又は当業者によって容易に特定されて選択されるその他の関数でもよい。

【0097】

5) 実施形態では、ユーザは、所望の磁場構成が得られるまで、シム磁石の位置を調整又は反復的に調整し、応答関数における変化を監視する。シム調整の当業者は、用途において望ましいように主な磁場を変調するために、各反復変化とともに磁場又は線幅データにおいて注目される向上を使用する。シム調整磁石は、ユーザの要望に応じて協調的に又は別々に移動されてもよいことが分かる。当業者は、シム調整磁石に対する上述の調整を最適化するために必要又は望ましい調整を容易に理解する。

20

【0098】

当業者は、上述の各ステップを達成する様々な方法を認識して実施する。

【0099】

ここで、図8における部品の構成を参照すると、この層の各角には、一連の小さい方の磁石即ち第2の磁石106を含む複合磁石104が置かれていることが更に分かる。

【0100】

層2は、外面171及び内面172、及び傾斜縁173、174を有する枠170に取り付けられる。中心領域175は、内面172に凹部178を備え、枠の外縁は厚くなっている176。凹部178は、隣接する層1を保持する枠160の厚くなった中心部165とぴったり嵌合する。隣接する枠同士が例えばボルトによって互いに対して固定されることが出来るように、開口177が設けられる。

30

【0101】

図9の平面図には、層3が示されている。層3は、中心の一次磁石101を含む各側面に沿う三つの磁石と、角部の位置に、この場合も同様に120で示す四つのシム調整磁石とを有する正方形であることが分かる。この場合も同様に、これらのシム調整磁石は、他の一次磁石よりも僅かに小さく、一次磁場をシム調整するために移動させることが出来る。この層は、隣接する枠170にぴったりと嵌合する、傾斜縁183、184、外面181、及び内面182を有する枠180内に組み立てられる。この場合も同様に、隣接する枠同士が互いに固定されることが出来るように、開口187が設けられる。

40

【0102】

図10から分かるように、二次磁石106から成る複合磁石104を含む複合磁石位置により、アレイの角からアクセス可能なサンプルチャンネル107の形成が可能になる。

【0103】

上述の通り、図6A、図7A、図8A、及び図9Aは、平面図において示す枠によって制約された位置における磁石を示す。図6B、図7B、図8B、及び図9Bは、図示の層のための各枠の断面的な端面図を夫々示す。枠材料は、様々な適当な材料からユーザによ

50

って選択され、例示的实施形態では、任意の適当な材料から成る。

【0104】

ワイヤ、取付物、ボルト、ねじ等を収容できるように、且つユーザの必要に応じてアレイへのアクセスが可能になるように、必要に応じて又は要望通りに枠には開口が設けられる。実施形態では、一次磁石とシム調整磁石は両方とも単一磁石であり、他の実施形態では複合磁石であることが分かる。

【0105】

第1の一連の実施形態の一実施形態では、切頂立方体の一次磁石即ち第1の磁石は、面と面の間が約1.250インチである。第2の磁石は、複合磁石を含むが、面と面の間が約0.500インチである。その結果、このような小さい方の磁石間の空間は、主な磁石アレイの体対角線に沿って空間又は孔の中へ5mmのNMR管を収容することが出来る。アレイの試験容積は、大きい方の第1の磁石、即ち一次磁石の内の一つとほぼ同じサイズである。様々なサイズが使用されてもよいこと、及び第1及び第2の磁石のサイズの具体的な比率は、特定の目的に叶うようにユーザによって調整されることが分かる。

10

【0106】

切頂立方体である一次磁石と、単純な立方格子である格子とを一般的に参照して、第1の一連の実施形態が図示されて説明されたが、様々なその他の考えられる構造は、当業者によって容易に理解される。異なる多面体形状を使用する実施形態の一部の例を以下に提示する。

【0107】

様々な他の実施形態が可能であり、変形例が以下に提示される。これらは、本明細書の主題を限定するものではないことが分かる。

20

【0108】

選択された磁場勾配関数に対して対称性に適応した制御を行うために、磁石の部分集合、又は複合磁石の構成要素の部分集合を選択的に取り除くこと、切稜すること、磁石の部分集合を可動構造に固定すること、及びシム調整することを考慮することは、あらゆる他の実施形態及び変形実施形態に当てはまる。考えられる変形例及びそれらの実施は、特定の要求事項を満足するように、例示的な変形例等から選択して実施する当業者にはすぐに明らかになる。

【0109】

当業者は、枠の幾何学的形状、シム調整磁石の移動パターン、使用される任意のアルゴリズム及び計算、及び、アレイの幾何学的形状、格子構造、磁石及びその他の要求事項における変化に対応出来るように調整を必要とする任意のその他の変数に対する変更を認識して実施する。また、当業者は、磁極片を組み込むための実施形態の変更、及び試験容積における磁場を更に調整するためのその他の微調整を容易に理解して実施する。

30

【実施例】

【0110】

第1の実施形態の実施例1は、特に図6乃至図10を参照して説明され、実施形態の一例に過ぎず、本明細書で請求される主題を限定するものではない。

【0111】

一般的に102で示し、図10の斜視図に示す第1の実施形態のこの例示的形態では、一次磁石101は、切頂立方体の形状である。幾つかは、本明細書において一般的に第1の磁石と呼ばれる単一磁石103であり、他は、多数の小さい方の第2の磁石106を含む複合磁石104である。これらの切頂立方体は、図4Aに示すように、その中心が単純な立方格子の点に設置されるように配置される。格子サイトが、三つ組の整数、例えば、 $[+1, 0, 0]$ 、 $[1, -2, 0]$ 等で標識され、その三つ組の夫々の要素が、三つの互いに直交するデカルト座標軸に係る格子位置の座標に対応する場合、中心の格子サイト、即ち、 $[0, 0, 0]$ をサンプル位置として指定する。この位置は空であり、磁石を含まず、試験容積を構成し、検討中のサンプル、検出コイル、温度安定化又は磁場均一化手段、サンプルを回転させるための回転デバイス及び/又はユーザの要望に応じたその他の

40

50

コンポーネントを含むことが出来る。

【 0 1 1 2 】

サイト [ x、 y、 z ] における磁石の磁化は、理想的な磁化方向

【 数 4 3 】

$$\hat{m} = (2(\hat{v} \cdot \vec{r})\vec{r} - (\vec{r} \cdot \vec{r})\hat{v}) / \vec{r} \cdot \vec{r}$$

に最も近い単位ベクトルとして選択されてもよく、その選択と一致して、格子への磁石の挿入によって可能になるいくつかの配向のうちの一つへコンポーネント磁石を回転することによって利用可能になるベクトルの有限集合内である。位置ベクトル

【 数 4 4 】

$$\vec{r} = a(x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z})$$

は、格子及び格子間隔、即ち、 を画定するデカルト軸に沿ってサイト指数 x、 y、 z から計算可能であることが分かる。これらの幾つかの配向の集合は、コンポーネントの磁石が楔形又はその他の斜形ではなく高い対称性の多面体であることによって、もっと多くなることが分かる。従って、アレイは、限られた数のコンポーネントの磁石構成を使用して構成されることが出来る。磁石アレイを組み立てる時、ユーザは、可能な配向の集合から、アレイにおいてその他の磁石と組み合わせて、所望の一次磁場の最良近似を与える配向を選択してもよい。例えば、一つの一次磁石は、図 1 1 に示す三つの方向のいずれに配向される双極子を有してもよく、立方格子内で幾つかの異なる方向に配向されてもよい。従って、立方アレイに関しては、アレイは、三つのコンポーネントのみ、即ち、図 1 1 に示す三つの双極子配向のうちの一つを有する個別の磁石を使用して組み立てられてもよい。同じ原理は、様々なその他の多面体形状にも当てはまる事が分かる。また、実施形態又は実施形態の一部では、一つの磁石は、単一磁石でもよく、又は複合磁石でもよいことが分かる。

【 0 1 1 3 】

この実施例では、対称性が利用され、

【 数 4 5 】

$\hat{v}$

は、好ましくは体対角線に沿って、面对角線に平行に、又は面に垂直に配向される。特定の

の実施形態では、磁場方向

【 数 4 6 】

$\hat{v}$

は、磁石アレイの体対角線に沿って配向され、特定の実施形態では、磁石アレイの面に垂直に配向される。

【 0 1 1 4 】

この場合も同様に、最大限の対称性のために、磁石は、一つのクラスの全ての部材が含まれるようにアセンブリに含まれる。例えば、クラス

【 数 4 7 】

$$\overline{[1,0,0]}$$

は、六つの磁石サイト、即ち、 [ 1、 0、 0 ]、 [ 0、 1、 0 ]、 [ 0、 0、 1 ]、 [ -1、 0、 0 ]、 [ 0、 -1、 0 ] 及び [ 0、 0、 -1 ] を含む。クラス

【 数 4 8 】

$$\overline{[2,1,0]}$$

は、数の並べ替え及び符号の変化に対応して 2 4 個の磁石を含む。

【 0 1 1 5 】

図 1 0 から分かるように、磁石アレイ 1 0 2 を成す格子構成に含まれる磁石 1 0 1 の幾つかは、大きい方の第 1 の磁石 1 0 3 であり、他は、小さい方の第 2 の磁石 1 0 6 である

10

20

30

40

50

。小さい方の第2の磁石は、アレイにおける特定の点で複合磁石104を形成する。図10から分かるように、このような小さい方の第2の磁石106の使用は、この場合は体対角線に沿って配向されるサンプルチャンネル107を設けるために利用される。

【0116】

個別の一次磁石101が切頂立方体の形状であり、格子構成が単純な立方格子に基づくことにより、本実施形態の磁石アレイ102は、個別の磁石101の個別の層を形成及び配置することによって形成されてもよいことが分かる。

【0117】

概して、中心層は、指定層0であり、その中心に空き空間110を備え、試験容積を形成する。図6は、第1の実施形態の実施例1の磁石アレイの層0の平面図を示す。これらの磁石は、一次磁石であり、本開示の定義セクションで説明した「第1の磁石」であることが分かる。層0は、図6Bにおける断面図に概略的に示す面151、152及び端153、154を有する支持体枠150に組み立てられる。後に分かるように、枠は、薄くなった中心部155及び厚くなった外縁156を含み、略八角形である。ボルト、螺子、又はその他の支持構造体又は固定構造体の挿入を可能にするために、枠には孔157が含まれる。配線及びその他の構造を設けるために、ユーザの必要に応じて、更なる開口が組み込まれることが分かる。

10

【0118】

層0は、第1の側面が層1に隣接し、層2、及び最後に層3が続く。層0の反対側には、層-1、層-2、及び層-3によって、同一の配置が反対方向に延在する。本実施形態の本実施例のアレイは、略対称であることが分かる。各層は、枠内に組み立てられ、それらの枠は、組み立てられたアレイ102を形成するために互いに固定される。

20

【0119】

層1が図7に示されており、内側層1及び-1は、中心層0と整列しているが、中心空洞が無く、従って、中心容積即ち試験容積が全ての側面に隣接し、略立方体であることが分かる。

【0120】

個別の磁石101は、規則的な配置に形成され、この配置は、点描で区別されるシム調整磁石120と、小さい方の第2の磁石106を備える複合磁石104とを含む。シム調整磁石120は、他の一次磁石103等よりも僅かに小さく、試験容積における磁場を効果的に調整するために、ユーザが望むようにそれらを移動させることを可能にする。本実施形態では、これらの磁石は、対になって接続され、矢印125によって示すパスに沿って枠の平面内で移動させることが出来る。

30

【0121】

磁石は、縁163、164、頂面及び底面161、162、厚くした中心部165、及び薄くした外縁166を有する枠160に取り付けられる。チャンネル168は、組み立てられたアレイの一次磁場をシム調整するために、シム調整磁石120を収容でき且つシム調整磁石を本明細書に記述したように移動させることが出来るようなサイズを有する。隣接し合う枠が互いに固定されることが出来るように、枠には孔167が含まれること、及びワイヤ等を収容することが出来るようにユーザによって更なる開口が導入されることが分かる。

40

【0122】

層2の構造が図8に示されている。この層の配置は、各側面に沿って五つの一次磁石101を有する略正方形であることが分かる。層2は、四つの位置に、シム調整磁石120も含むことが分かる。これらのシム調整磁石は、その他の一次磁石101よりも僅かに小さく、試験容積における磁場を効果的に調整するために、シム調整磁石をユーザが望むように移動させることを可能にする。これらの四つの磁石は、図9の層3における対応する磁石に対して対になって接続され、これらの対は、図面の平面の内外へ一緒に移動する。組み立てられたアレイの七つの層は、シム調整に使用される24対の磁石を共に含むことが分かる。

50

## 【 0 1 2 3 】

この第1の実施形態における24対の可動磁石は、試験容積内の磁場を「粗く」シム調整する潜在能力を説明する。前記シム調整の代表的な手順は、以下のステップで進行する。

## 【 0 1 2 4 】

1) 試験容積における磁場に対して、移動可能な磁石の指定の対のうちの所与の一つを移動させる作用の関数的表現を得る。適当な関数的表現は、

## 【数 4 9】

$$\vec{B}_i(x, y, z, \eta_i)$$

の形を取り、 $x$ 、 $y$ 、及び $z$ は、磁場が推定されるべき試験容積内の位置座標を示し、 $i$ は座標変数であり、この座標変数に沿って、シム磁石 $i$ は、制御可能に移動することが可能である。この関数的表現は、静磁場シミュレーションによって、又は、磁石 $i$ が座標 $i$ に沿って移動される時に、例えばガウスメータプローブによって生じる磁場変化をマッピングすることによって様々に得ることが出来る。

## 【 0 1 2 5 】

2) 関数

## 【数 5 0】

$$\vec{B}_i(x, y, z, \eta_i)$$

を結合してSUM関数にする。このSUM関数の実用性は、主な磁場に対する作用の代表として、部分的には、個別の作用が独立する度合によって、即ち、シム磁石及びその他の磁石の磁化が、これらの運動によって生じる変化に抵抗する度合によって決まる。この抵抗を左右する主な物理的要因は、アレイにおけるシム磁石とその他の構成要素の磁石の両方を製造するために使用される磁性材料の保磁力である。従って、高保磁力の磁性材料の使用が好ましいことが分かる。

## 【 0 1 2 6 】

3) 次に、SUM関数は、空間変数 $x$ 、 $y$ 、 $z$ と磁石座標変数 $i$ の両方に関して、成分関数に分解されることが出来る。或いは、磁石座標変数 $i$ は、恐らくシム磁石の配置の対称性に適応させた新たな変数 $j$ に線形結合されることが出来、SUM関数は、空間変数 $x$ 、 $y$ 、 $z$ とこの対称性に適応した変数の両方に関して表される。シム調整の当業者は、特定の用途に適合するように空間変数 $x$ 、 $y$ 、 $z$ における関数形式(例えば、多項式)を選択する。

## 【 0 1 2 7 】

4) 試験容積内でシム調整されるべき磁場の応答関数を測定する。この応答関数は、磁場マップ、又は共鳴線幅等のNMRパラメータである可能性がある。

## 【 0 1 2 8 】

5) 所望の磁場形状が達成されるまで、シム磁石の位置を反復的に調整し、応答関数における変化を監視する。シム調整の当業者は、用途において望ましいように主な磁場を変調するために、各反復変化と共に磁場又は線幅データにおいて注目される向上を使用する。シム調整磁石は、ユーザの要望に応じて協調的に又は別々に移動されてもよいことが分かる。

## 【 0 1 2 9 】

ここで、図8における部品の構成に戻ると、この層の各角には、一連の小さい方の磁石即ち第2の磁石106を含む複合磁石104が位置していることが更に分かる。

## 【 0 1 3 0 】

層2は、外面171及び内面172、及び傾斜縁173、174を有する枠170に取り付けられる。中心領域175は、内面172に凹部178を含み、枠の外縁は厚くなっている176。凹部178は、隣接する層1を保持する枠160の厚くなった中心部165とぴったり嵌合する。隣接する枠が例えばボルトによって互いに対して固定されること

10

20

30

40

50

が出来るように、開口 177 が設けられる。

【0131】

図9の平面図には、層3が示されている。層3は、中心の一次磁石101を含む各側に沿う三つの磁石と、角の位置に、この場合も同様に120で示す四つのシム調整磁石とを有する正方形であることが分かる。この場合も同様に、これらのシム調整磁石は、他の一次磁石よりも僅かに小さく、一次磁場をシム調整するために移動させることが出来る。この層は、隣接する枠170にぴったりと嵌合する、傾斜縁183、184、外面181、及び内面182を有する枠180内に組み立てられる。この場合も同様に、隣接する枠が互いに固定される事が出来るように、開口187が設けられる。

【0132】

図10から分かるように、二次磁石106から成る複合磁石104を備える複合磁石位置により、アレイの角からアクセス可能なサンプルチャンネル107の形成が可能になる。

【0133】

上述の通り、図6A、図7A、図8A、及び図9Aは、平面図において示す枠によって制約された位置における磁石を示す。図6B、図7B、図8B、及び図9Bは、図示の層のための各枠の断面的な端面図を夫々示す。枠材料は、様々な適当な材料からユーザによって選択され、例示的实施形態では、任意の適切な材料から成る。

【0134】

ワイヤ、取付物、ボルト、ねじ等を収容できるように、及びユーザの必要に応じてアレイへのアクセスが可能になるように、必要に応じて又は要望通りに枠には開口が設けられる。本実施例では、一次磁石とシム調整磁石は両方とも単一磁石である。他の実施形態では、複合磁石が使用されることも出来る事が分かる。

【0135】

第1の実施形態の本実施例では、切頂立方体の一次磁石、即ち第1の磁石は、面と面の間が約1.250インチである。第2の磁石は、複合磁石を含むが、面と面の間が約0.500インチである。その結果、このような小さい方の磁石間の空間は、主な磁石アレイの体対角線に沿って空間又は孔の中へ5mmのNMR管を収容することが出来る。アレイの試験容積は、大きい方の第1の磁石、即ち一次磁石の内の一つとほぼ同じサイズである。

【0136】

本実施例では、コンポーネントの磁石を支持して構造化するために使用される枠は、任意の適切な材料から成る。特定の用途において適当な材料は、アルミニウム、真鍮、又はPEEK(商標)又はDेलrin(商標)等の強度の高いプラスチック、又はMacor(商標)等のセラミック材料を含む。当業者は、様々な考えられる代替材料を容易に特定して実施する。

【0137】

本実施例では、磁石自体は、任意の適切な材料から成る。高保磁力の材料が適しており、強力な希土類系磁石も同様である。例示的な候補は、ネオジム鉄ボロン及びサマリウムコバルト合金である。当業者は、様々な考えられる代替物を容易に特定して実施する。

【0138】

本実施例の実施形態では、1.0から2.5テスラまでの範囲の磁場を得ることが出来るが、任意の特定の实施形態の磁場強度は、格子サイトの層の数、個別のコンポーネントの磁石の強度、磁極片の存在及び種類、使用される構成材料、及びその他の変数によって決まる。当業者は、全てのこのような変数を理解し、従って、適当な許容差を設定する。

【0139】

磁極片は、説明されておらず、当該技術における一般的な知識の一部である。当業者が、磁場を更に変更するために本実施例のアレイに磁極片を組み込みたい場合があることが分かる。試験容積における磁場をシム調整するためにアレイに組み込まれた磁極片を含む本実施例の変更において、このような磁極片の適切な材料は、Hyperco(商標)、軟鉄材料、又はその他の適当な材料を含み、それらは全て、当業者によって容易に特定さ

10

20

30

40

50

れて利用されるだろう。

#### 【 0 1 4 0 】

##### 第 2 の実施形態

一般的に 1 3 0 で示し、図 1 3 に示す他の一実施形態において、磁石アレイ 1 3 0 の一次磁石 1 3 1 は、菱形十二面体であり、その形状は、図 5 N に示されている。

#### 【 0 1 4 1 】

図 1 3 A は、分解図においてこの構成に基づくアレイを示し、図 1 3 B は、このようなアレイの中心層を示す。この菱形十二面体は、層 5 2 0、5 4 0、5 6 0 に構成され、各層は、点の三角形の二次元格子に基づく。中心層 5 2 0 は、第 1 の層 5 4 0 及び 5 4 0' に隣接し、次に第 2 の層 5 6 0 及び 5 6 0' に隣接する。二次元格子は、共に面心立方格子を含む。この場合も同様に、中心層は、試験容積 1 3 2 として指定された中心に位置する格子サイトを含む。実施形態では、菱形十二面体は、中心の試験容積へのアクセスを可能にするために、切稜されてもよく、又は拡張された格子でもよい。

#### 【 0 1 4 2 】

配置の全体的な性質及び任意の構造支持体、即ち枠の形状は、第 1 の実施形態の実施例と同じ原理を用いて、当業者によって容易に理解される。

#### 【 0 1 4 3 】

##### 第 3 の実施形態

第 3 の他の実施形態が図 1 4 に示され、一般的に 6 0 0 で指定される。図 1 4 に示す磁石アレイ 6 0 0 は、単純な立方格子の一部において立方体 6 0 1 のみから構成される空間充填構造に基づく。中心の立方体は、中心空洞即ち試験容積 6 0 4 を設けるために取り除かれている。格子は拡張され、構造の角上の立方体 ( 8 個 ) は、図示されていないサンプル管を収容出来るように取り除かれている。このブロックの一面に対して垂直なベクトルが、球座標系の ( 余緯度 ) = 0 軸として選択され、磁化が上記に説明した式に従って選択される場合、サンプル管進入軸は、中心空洞内の均一な磁場軸に対して「マジック角」にある。

#### 【 0 1 4 4 】

##### 第 4 の実施形態

第 4 の他の実施形態が図 1 5 に示され、一般的に 6 2 0 で指定される。この実施形態では、図 1 4 の設計 6 0 0 に正方形の平行六面体 6 2 1 が追加されている。実施形態では、これにより、可動構造体に外部要素が固定される場合に、中心空洞内におけるより高い磁場強度と、粗シム調整能力とが提供される。当業者は、所望の目的を達成するために、磁石を枠に嵌めて繋げる方法を容易に理解する。

#### 【 0 1 4 5 】

##### 第 5 の実施形態

第 5 の他の実施形態が図 1 6 に示され、一般的に 7 1 で指定される。図 1 7 の設計のように、本実施形態の磁石ブロック 7 1 1 は、四つの相互貫入の面心立方体 ( f c c ) 格子の一部によって構成されるが異なる多面体を備える空間充填構造体に基づく。切頂立方八面体が、磁石ブロック 7 1 1 の角 7 1 2 及び面心 7 1 3 を占有し、切頂立方体が縁心 7 1 4 に設置され、中心の切頂立方体は、中心空洞を設けるために取り除かれている。これらの二つの格子には、二つの他の f c c 格子が追加され、その格子サイトの夫々は、二つの異なる配向に存在する切頂四面体 7 1 5 によって占有される。

#### 【 0 1 4 6 】

縁心切頂立方体 7 1 4 が取り除かれ、格子が必要な程度だけ拡張される場合、及び最も内側の切頂四面体を小さくする又は切稜する場合、流路が形成され、この流路は、構造内部へのアクセスポートとして使用されることが出来る。或いは、サンプル管の挿入に対応することが出来るように、切頂立方八面体又は切頂立方体のいずれかには孔が開けられることが出来る。この場合、切頂立方体が、アセンブリの中心に向かう移動及びそこから離れる移動を可能にする構造に固定されれば、粗シム調整能力を実現することが出来る。この粗シム調整能力は、1 2 自由度を有し、これらの 1 2 の個別の運動は、組み合わせられて

10

20

30

40

50

、全12の磁石の協調的な運動にすることが出来、対称性の考慮に基づいてシム調整対象の磁場勾配の特定の関数成分（例えば、 $x$ 、 $yz$ 、 $y^2 - z^2$ 等）への運動の割り当てを容易にすることが出来る。

【0147】

第6の実施形態

更なる実施形態が図17に示されており、一般的に800で指定される。

図17Aは、四つの相互貫入面心立方格子の一部によって構成される空間充填構造に基づく磁石アレイ801に関する一般的に800で指定される一実施形態を示す。切頂八面体802は、図示の磁石ブロックの角803及び面心804を占有する。立方八面体805は、縁心に設置され、次に中心の立方八面体は、サンプル、NMR検出コイル、電子磁場シム調整測定、サンプルスピナー、又はその他の装置のための中心空洞を設けるために取り除かれている808。これらの二つの格子には、二つのその他の格子が追加され、その格子サイトの夫々は、切頂四面体809によって（二つの異なる配向に）占有されている。

【0148】

図17Bは、縁心立方八面体805が取り除かれて格子が必要な分だけ拡張される場合に、又は最も内側の切頂四面体810を小さくする又は切稜する場合に、サンプルチャンネルがどのようにアレイに組み込まれているかを示す。或いは、サンプル管の挿入に対応出来るように、立方八面体には孔が開けられることが出来る。この場合、立方八面体が、アセンブリの中心に向かう及びそこから離れる移動を可能にする構造に固定される場合に、粗シム調整能力を実現することが出来る。この粗シム調整能力は、12自由度を有し、これら12の個別の運動は、組み合わせられて、全12個の磁石の協調的な運動にすることが出来、対称性の考慮に基づいてシム調整されるべき磁場勾配の特定の関数成分（例えば、 $x$ 、 $yz$ 、 $y^2 - z^2$ 等）への運動の割り当てを容易にすることが出来る。

【0149】

更なる実施形態

更なる他の実施形態が図18に示されている。分かり易いように、格子構成は一部だけ図示する。第1の実施形態と同様に、格子構成は、下層の格子を画定する無限の点集合から、最大半径によって画定される周辺内の指定の「原」点、即ち、 $[0, 0, 0]$ に最も近い点を選択することによって画定されることが出来ることが分かる。格子構成に関して選択された点は、一般的に、対称性の考慮によって所与の点から生じた点を全て含む。即ち、例えば、格子点 $[3, 2, 0]$ を含むことにより、数の順番を変えて記号を変えることによって得られる集合

【数51】

$$\overline{[3,2,0]}$$

の全体における対称性に関連する点、即ち、 $[3, -2, 0]$ 、 $[3, 0, 2]$ 、 $[3, 0, -2]$ 、 $[2, 3, 0]$ 、 $[2, -3, 0]$ 等の合計で24個の点を含むことになる。点のこれらの集合の一部は、試験容積へのアクセスを容易にするために格子構成から取り除かれることが更に分かる。

【0150】

図18Aは、一つは切頂立方体731により、一つは八面体732による二つの相互貫入の単純な立方格子を含む一般的に73で指定される磁石アレイの一実施形態を示す。

【0151】

図18Bは、一つは菱形立方八面体751により、一つは立方体752により、二つは、二つの配向の夫々における四面体753による四つの相互貫入の面心立方格子を含む一般的に75で指定される磁石アレイの一実施形態を示す。後者のコンポーネントはこの図に示されていない。

【0152】

図18Cは、一つは切頂立方八面体721により、一つは切頂八面体723により、三

つは、三つの配向の夫々における立方体 7 2 2 による五つの相互貫入の単純な立方格子を含む一般的に 7 2 で指定される磁石アレイの一実施形態を示す。

【 0 1 5 3 】

図 1 8 D は、一つは立方八面体 7 4 1 により、一つは菱形立方八面体 7 4 2 により、三つは、三つの配向の夫々における立方体 7 4 3 による五つの相互貫入の単純な立方格子を含む一般的に 7 4 で指定される磁石アレイの一実施形態を示す。

【 0 1 5 4 】

本明細書に提示された実施形態及び実施例は、開示及び請求された主題の一般的な性質の一例であって、限定的なものではない。これらの実施形態が、如何にして、請求される主題の精神及び範囲から逸脱することなく、様々な用途に対して、且つ様々な方法で、容易に修正及び/又は適応がなされることが出来るかは、当業者によって理解される。本明細書で採用された表現、言葉及び用語は一例であって、限定的なものではない。法が許す場合、本明細書で引用された全ての参照文献は、参照によってそのまま援用される。本明細書に開示された様々な実施形態の任意の態様は、様々な考えられる他の実施形態及び特徴の他の組み合わせにおいて組み合わせられてもよく、その特徴の様々な組み合わせは全て、請求された主題の一部を形成すると理解されるべきであることが分かる。或いは、特定の実施形態は、開示された要素の任意の一つ以上を含み、又はそれから構成され、又はそれを排除してもよい。

10

【 図 1 】

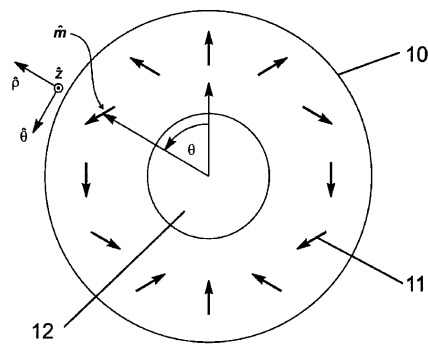


FIG. 1

【 図 2 B 】

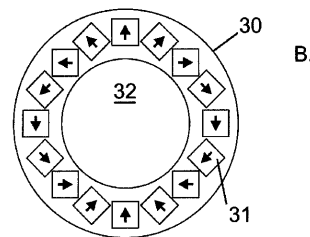


FIG. 2B

【 図 2 C 】

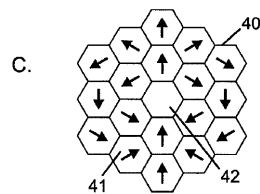


FIG. 2C

【 図 2 A 】

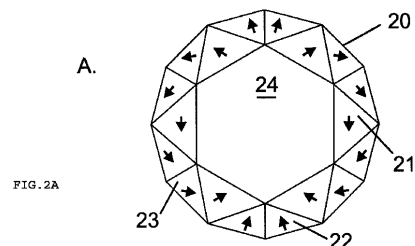
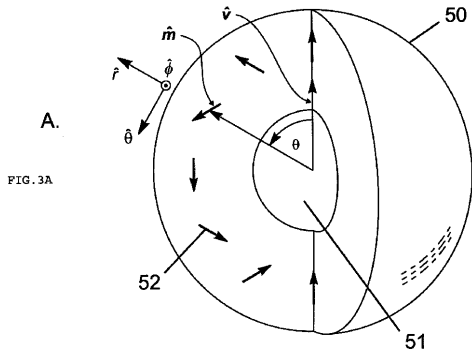
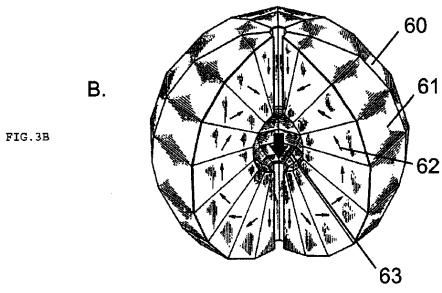


FIG. 2A

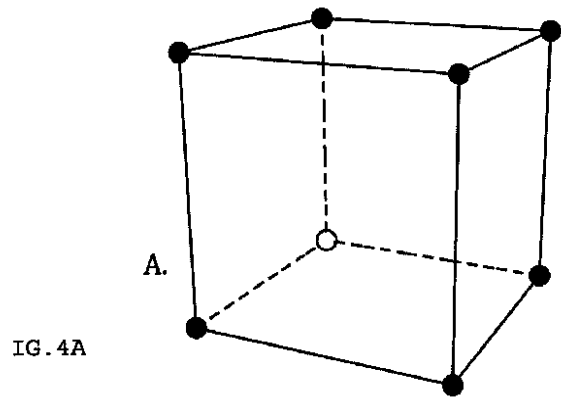
【 図 3 A 】



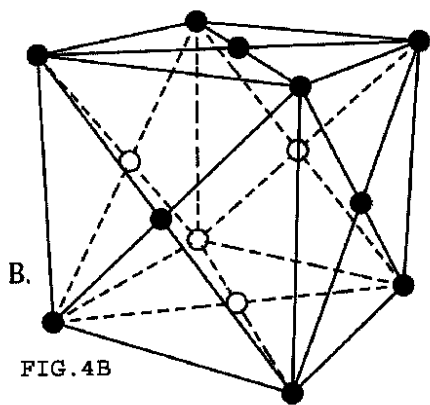
【 図 3 B 】



【 図 4 A 】



【 図 4 B 】



【 図 4 C 】

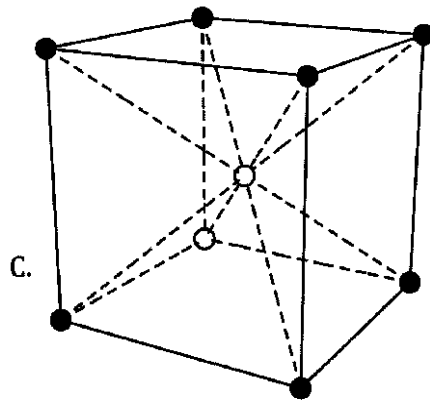


FIG. 4C

【 4 D 】

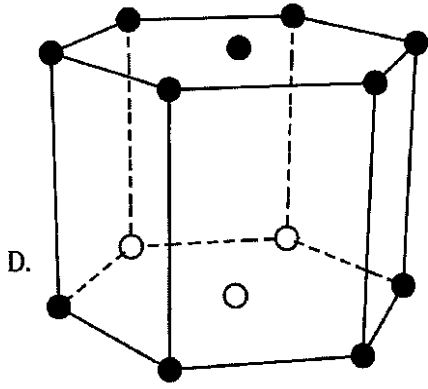
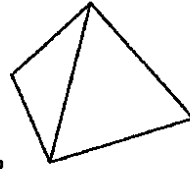


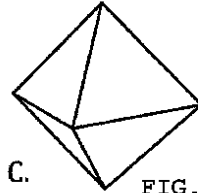
FIG. 4D

【 5 B 】



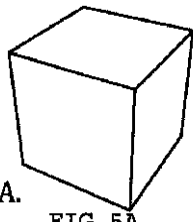
B. FIG. 5B

【 5 C 】



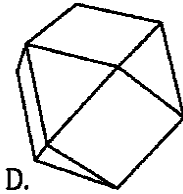
C. FIG. 5C

【 5 A 】



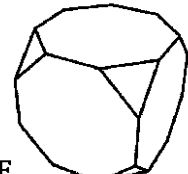
A. FIG. 5A

【 5 D 】



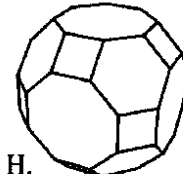
D. FIG. 5D

【 5 E 】



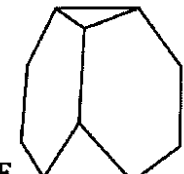
E. FIG. 5E

【 5 H 】



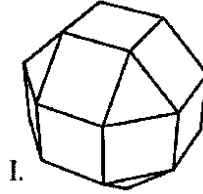
H. FIG. 5

【 5 F 】



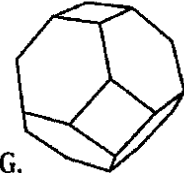
F. FIG. 5F

【 5 I 】



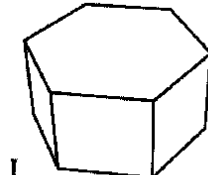
I. FIG. 5I

【 5 G 】



G. FIG. 5G

【 5 J 】



J. FIG. 5J

【 5 K 】

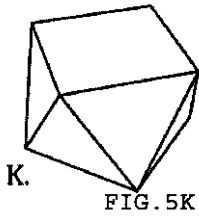


FIG. 5K

【 5 N 】

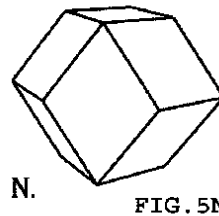


FIG. 5N

【 5 L 】

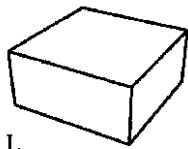


FIG. 5L

【 5 M 】

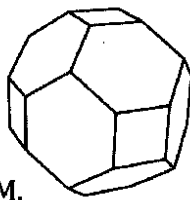
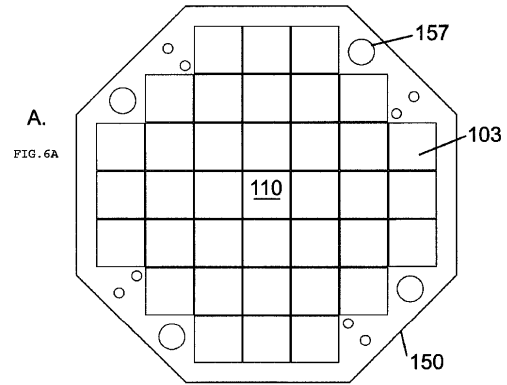
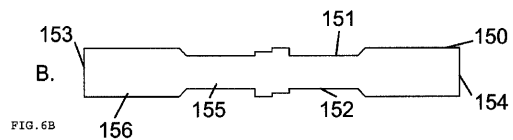


FIG. 5M

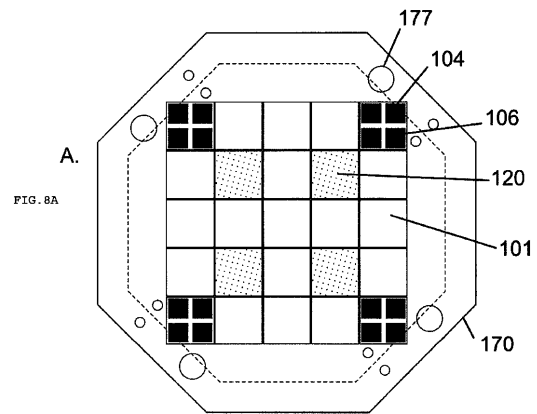
【 6 A 】



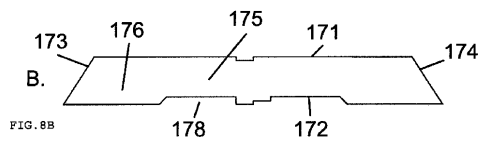
【 6 B 】



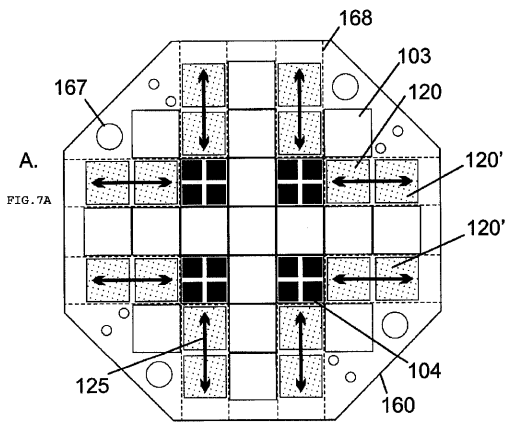
【 8 A 】



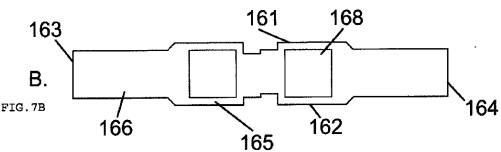
【 8 B 】



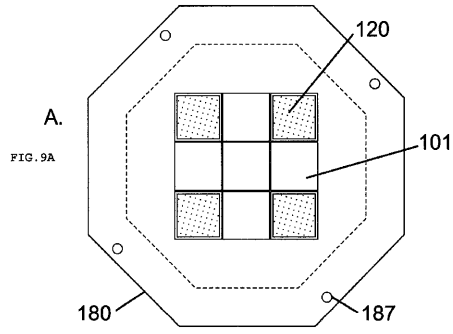
【 7 A 】



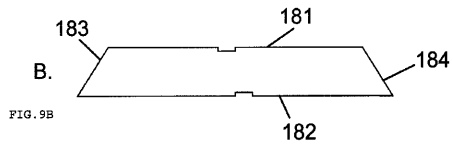
【 7 B 】



【 9 A 】



【 9 B 】



【 1 0 】

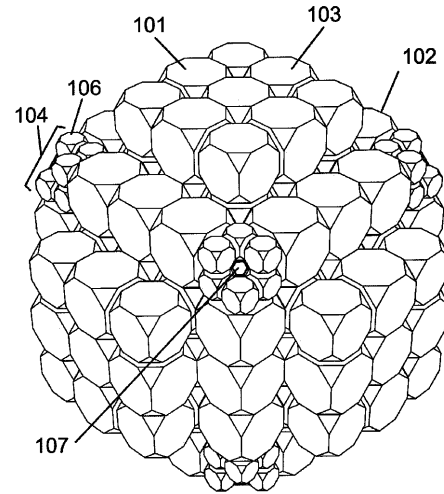
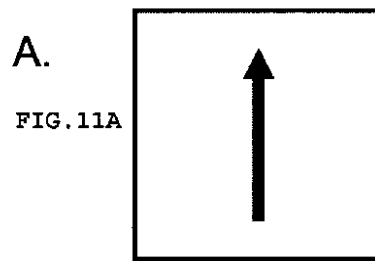
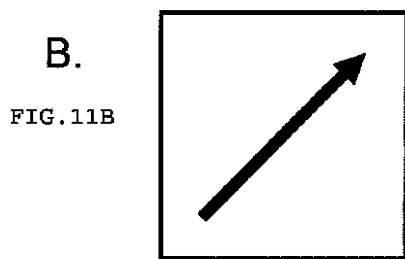


FIG. 10

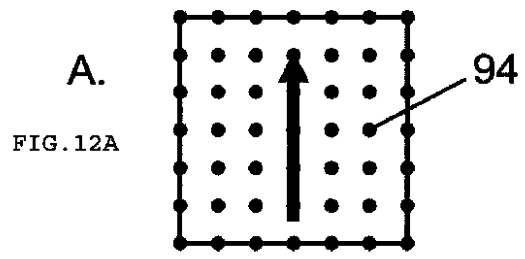
【 1 1 A 】



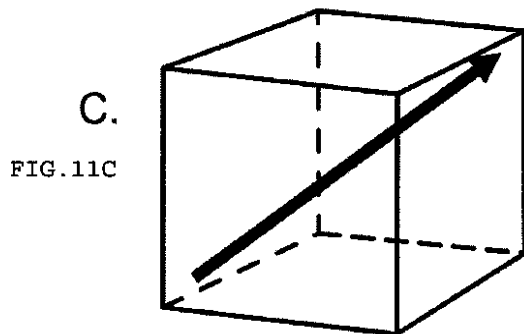
【 1 1 B 】



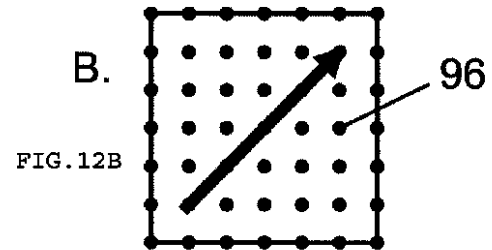
【 1 2 A 】



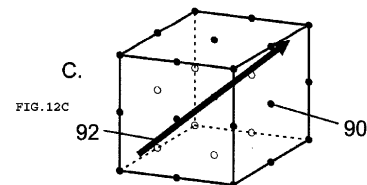
【 1 1 C 】



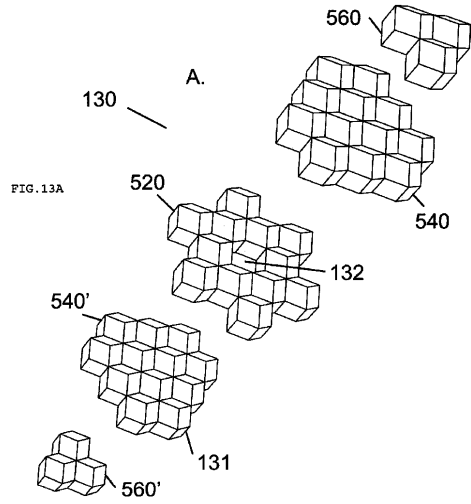
【 1 2 B 】



【 1 2 C 】



【 13 A 】



【 13 B 】

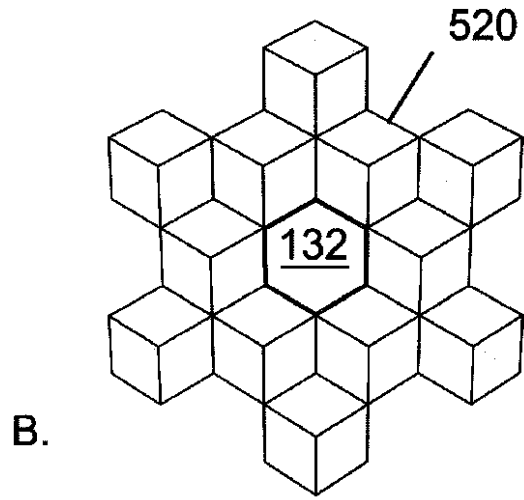


FIG. 13B

【 14 】

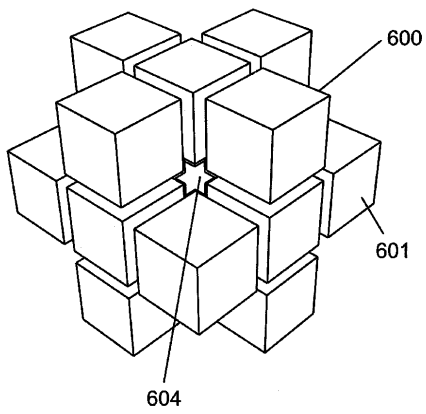


FIG. 14

【 15 】

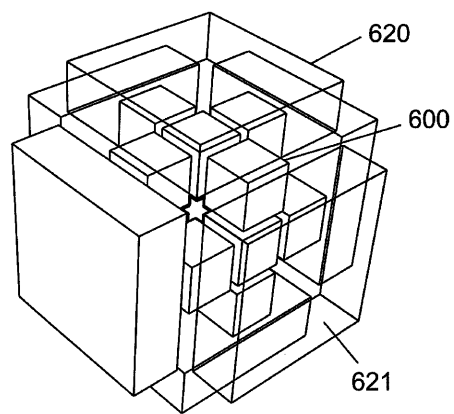


FIG. 15

【 16 】

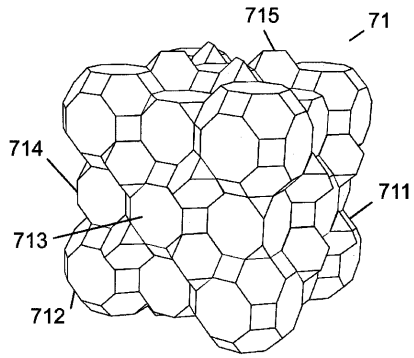


FIG. 16

【 17 A 】

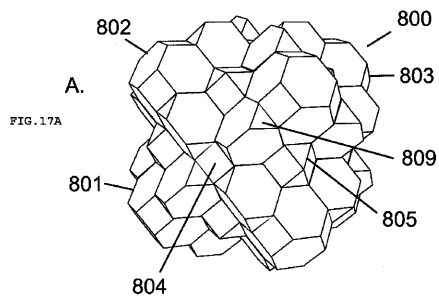


FIG. 17A

【 17 B 】

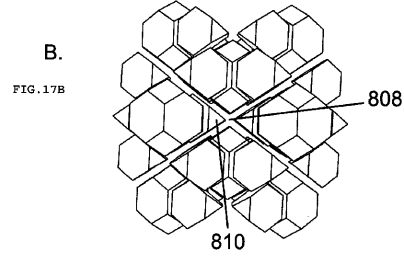


FIG. 17B

【 18 A 】

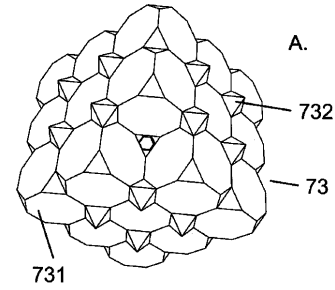


FIG. 18A

【 18 B 】

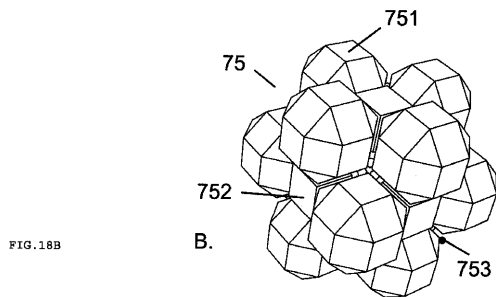


FIG. 18B

【 18 D 】

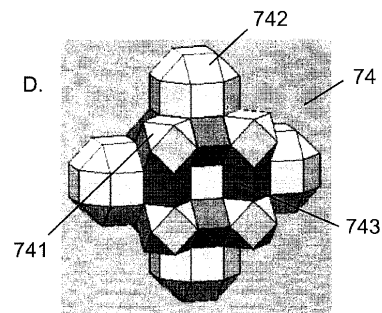


FIG. 18D

【 18 C 】

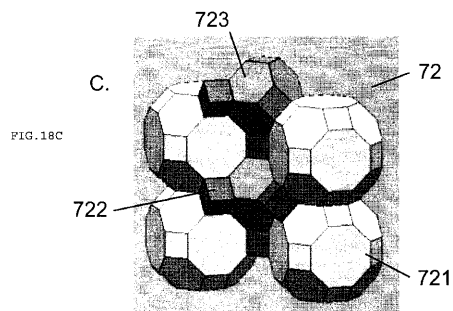


FIG. 18C

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 米国特許第04837542 (US, A)  
特開2006-294851 (JP, A)  
米国特許出願公開第2011/0137589 (US, A1)  
特開2002-289425 (JP, A)  
特開平09-090009 (JP, A)  
特開2000-357608 (JP, A)  
特開2009-300444 (JP, A)  
米国特許第05103200 (US, A)  
DANIELI E et al, Mobile sensor for high resolution NMR spectroscopy and imaging, Journal of Resonance, 米国, 2009年 1月25日, vol.198,no.1, 80-87

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 24/00  
H01F 7/02