

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-47097

(P2006-47097A)

(43) 公開日 平成18年2月16日(2006.2.16)

(51) Int.CI.

GO1R 33/34

(2006.01)

F1

GO1N 24/04

520A

テーマコード(参考)

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2004-228089 (P2004-228089)	(71) 出願人	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(22) 出願日	平成16年8月4日 (2004.8.4)	(74) 代理人	100068504 弁理士 小川 勝男
(出願人による申告) 平成15年度、文部科学省、科学技術振興調整費による委託研究、産業再生法第30条の適用を受ける特許出願		(74) 代理人	100086656 弁理士 田中 恭助
		(74) 代理人	100094352 弁理士 佐々木 孝
		(72) 発明者	越智 久晃 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内
		(72) 発明者	齊藤 和夫 埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会社日立製作所基礎研究所内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 NMRプロープコイル

## (57) 【要約】

## 【課題】

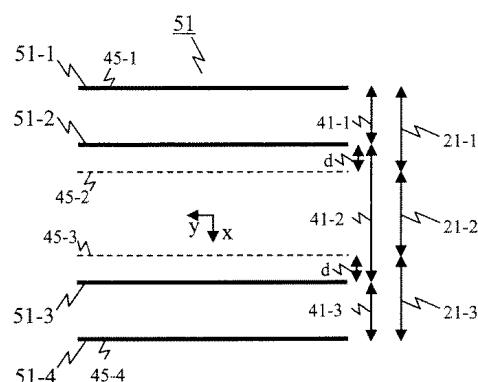
超電導ソレノイドコイルの感度分布均一性を向上させたNMRプロープコイルを提供する。

図5

## 【解決手段】

ソレノイドコイル51を構成する平板ドーナツ状超電導薄膜51-1～51-4が不等間隔で配置される。また、ソレノイドコイル51を構成する平板ドーナツ状超電導薄膜のうちの、隣接配置される2つの平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離が、コイル中心に近いほど長くなるように配置される。すなわち、長さ41-2は、長さ41-1と長さ41-3よりも長くなるように配置されている。長さ41-1と長さ41-3は等しい長さである。

【選択図】 図5



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

静磁場中に置かれた管状容器内の試料に対して、所定の共鳴周波数で高周波信号を送信し、前記試料からの自由誘導減衰信号を受信するために、平面基板上に形成した複数の平板ドーナツ状超電導薄膜の面が前記静磁場の方向に略平行になるように配置されたソレノイドコイルで構成されるNMRプロ-ブコイルにおいて、隣接配置される2つの前記平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離が、前記管状容器の軸方向に不等間隔に配置された構成を有することを特徴とするNMRプロ-ブコイル。

**【請求項 2】**

請求項1に記載のNMRプロ-ブコイルにおいて、前記複数の平板ドーナツ状超電導薄膜のうち、コイル中心に最も近く隣接配置される2つの平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離を、他の隣接配置される2つの平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離よりも長くなるように配置してなることを特徴とするNMRプロ-ブコイル。

**【請求項 3】**

請求項1に記載のNMRプロ-ブコイルにおいて、前記複数の平板ドーナツ状超電導薄膜のうち、隣接配置される2つの平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離が、コイル中心に近いほど長くなるように配置してなることを特徴とするNMRプロ-ブコイル。

**【請求項 4】**

水平型NMR装置にあって、静磁場中に置かれた管状容器内の試料に対して、所定の共鳴周波数で高周波信号を送信し、前記試料からの自由誘導減衰信号を受信するために、平面基板上に形成した複数の平板ドーナツ状超電導薄膜の面が前記静磁場の方向に略平行になるように配置されたソレノイドコイルを有し、かつ、隣接配置される2つの前記平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離が、前記管状容器の軸方向に不等間隔に配置された構成を有することを特徴とするNMRプロ-ブコイル。

**【請求項 5】**

請求項4に記載のNMRプロ-ブコイルにおいて、前記複数の平板ドーナツ状超電導薄膜のうち、コイル中心に最も近く隣接配置される2つの平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離を、他の隣接配置される2つの平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離よりも長くなるように配置してなることを特徴とするNMRプロ-ブコイル。

**【請求項 6】**

請求項1又は4に記載のNMRプロ-ブコイルにおいて、前記ソレノイドコイルは、少なくとも4個以上の平板ドーナツ状超電導薄膜を有することを特徴とするNMRプロ-ブコイル。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、核磁気共鳴(NMR)装置に係り、特に、水平型NMR装置において、均一磁場中に置かれた試料に対して、所定の共鳴周波数で高周波信号を送信し、自由誘導減衰(FID)信号を受信するために用いられるNMRプロ-ブコイルに関する。

**【背景技術】****【0002】**

核磁気共鳴(NMR)分光における分解能を高める目的で、均一な高磁場( $B_0$ )下で、高い共鳴周波数の高周波信号を印加できるNMR装置が開発されている。10テスラ(T)以上の高磁場を発生するために、超電導マグネットが一般的に使われる。現在では、タンパク質の構造解析を主要な目的とした高磁場NMR装置が開発されており、21.6T(920MHz)のNMR装置が作られている。高精度に分析するためには、磁場強度の均一度は高くする必要があり、NMR計測の対象となる測定試料の存在する領域におけるばらつきは $10^{-9}$ 以下が望まれる。

**【0003】**

一方、印加した高周波パルスに対応して発生する自由誘導減衰(FID)信号を受信す

10

20

30

40

50

るプロ - ブには、高い感度が求められる。これはタンパク質のように、試料の量が少ない場合は、F I D信号強度がとくに低く、測定に長時間を要してしまうためである。プロ - ブの主要なノイズは、共鳴器を構成するプロ - ブの電気抵抗に起因して発生し、温度と材料の高周波損失抵抗に依存する。

#### 【0004】

このノイズを下げるために、米国特許第5,247,256号明細書に記載されているように、低温下にプロ - ブコイルやプリアンプを設置する提案がなされている。その他に、最近では、高周波損失抵抗が銅などの通常金属に比較して2桁以上低い高温超電導体が使われている。高温超電導体をプロ - ブコイルに用いた例は、米国特許第5,585,723号明細書に示されている。超電導体としては薄膜が用いられ、膜面は静磁場の方向と水平に配置する必要がある。これは静磁場と直交する方向に超電導体の膜面があると、超電導体の完全反磁性の特性により静磁場強度の均一度を劣化させるためである。また、プロ - ブコイルに給電したときに、コイル中心に発生する高周波磁場は静磁場と直交するように、プロ - ブコイルを配置する必要がある。また、測定試料の入ったサンプル管は鉛直方向に挿入される。

#### 【0005】

【特許文献1】米国特許第5,247,256号明細書

【特許文献2】米国特許第5,585,723号明細書

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0006】

鉛直方向に静磁場を発生する超電導マグネットを用いたNMR装置は、「鉛直型NMR装置」と呼ばれる。一方、水平方向に静磁場を発生する超電導マグネットを用いるNMR装置は、「水平型NMR装置」と呼ばれ、「水平型NMR装置」でプロ - ブコイルとして用いられる超電導ソレノイド型コイルの具体的構造が、本発明と同一出願人による特願2003-165099号に示されている。

#### 【0007】

図1は、その具体的構造を示すもので、水平型NMR装置でプロ - ブコイルとして用いられる超電導ソレノイド型コイルの一例の配置を示す斜視図である。静磁場の方向3が水平方向である水平型NMR装置では、プロ - ブコイルとしては、図1に示すようなソレノイドコイル11が用いられる。ソレノイドコイル11は、4つの超電導薄膜11-1~11-4から構成される。超電導薄膜11-1~11-4は、平面基板上に形成した膜で作製した平板ドーナツ状超電導薄膜の面が均一磁場の方向3に平行になるように配置されている。膜面を静磁場に平行にするのは、反磁性である超電導体をコイルに用いてもNMR装置の均一磁場が乱れないようになるためである。平板ドーナツ状超電導薄膜は、円周上の一部が切り離されており、その両端にはキャパシタが形成されている。超電導薄膜はこれらキャパシタを介して金属リードと容量性結合しており、複数の平板ドーナツ状超電導薄膜を金属リードにより接続、ソレノイドコイルとして機能する。コイルに給電したときにコイル中心に発生する高周波磁場はx方向であり、静磁場の方向3と直交する。

#### 【0008】

図2は、図1に示したソレノイド型コイルをz方向から見たときの、超電導薄膜11-1~11-4を示す図である。長さ21-1は超電導薄膜11-1と11-2の間の距離である。長さ21-2は超電導薄膜11-2と11-3の間の距離である。長さ21-3は超電導薄膜11-3と11-4の間の距離である。4つの超電導薄膜は等間隔に配置されている。すなわち、長さ21-1と、長さ21-2と、長さ21-3は等しい長さとなるように配置されている。

#### 【0009】

NMR計測の対象となる測定試料の存在する領域において、プロ - ブコイルの感度はできるだけ均一であることが望まれる。プロ - ブコイルとしてソレノイドコイルを用いる場合、ソレノイドコイルの巻数が十分多ければ、プロ - ブコイル内部の感度はほぼ均一とな

10

20

30

40

50

る。しかしながら、14テスラ(T)以上の高磁場NMR装置用プロ-ブコイルとして用いる場合、ソレノイドコイルの巻数を多くすることは現実的ではない。静磁場強度14テスラ(T)における水素原子核の共鳴周波数は約600メガヘルツである。コイルのインダクタンスと給電点に設けるキャパシタの容量との積は、原子核の共鳴周波数に対応させるが、給電点に設けるキャパシタの容量を3pF以下にすることは難しく、コイルのインダクタンスを下げることが、タンパク質の構造解析に用いられるような14テスラ(T)以上の高磁場NMR装置では、特に要求されるためである。

#### 【0010】

巻数が少ないソレノイドコイルでは、特にソレノイドコイルの軸方向(測定試料の入ったサンプル管の軸方向)の感度分布が不均一になるという問題がある。例えば、図1に示したソレノイドコイル11の巻数は4であり、巻数が十分多くない。このときのソレノイドコイルの軸方向(x方向)の感度分布を、図3に示す。なお、図3では、コイルの中心をx=0mmとして、x軸上の正負の位置での感度分布(Sensitivity[A·m<sup>-1</sup>·W<sup>-1/2</sup>])を破線で示している。ここで、NMRにおける感度とは、単位体積中の磁化がコイルに誘起する電力であり、この値は相反定理より、1ワットの電力をコイルに与えたときに各位置に発生する磁界強度に等しい。図3からコイルの中心から離れるほど感度が低下することが分かる。

#### 【0011】

今、ソレノイドコイルのx軸方向で、NMR計測の対象とする領域、例えば、-5mm < x < 5mmの領域で、感度分布の均一性を図ることが望まれている。

#### 【0012】

そこで、本発明の目的は、均一磁場B<sub>0</sub>中に置かれた試料に対して、所定の共鳴周波数で高周波信号を送信し、自由誘導減衰(FID)信号を受信するために用いられる超電導ソレノイドコイルの感度分布均一性を向上させたNMRプロ-ブコイルを提供することにある。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0013】

上記目的を達成するために、本発明のNMRプロ-ブコイルでは、感度分布均一性向上のため、以下の構成を有する。

#### 【0014】

ソレノイドコイルを構成する平板ドーナツ状超電導薄膜は、不等間隔で配置される。また、ソレノイドコイルを構成する平板ドーナツ状超電導薄膜のうちの、隣接配置される2つの平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離が、コイル中心に近いほど長くなるように配置される。

#### 【0015】

以下、本発明のNMRプロ-ブコイルについて、その代表的な構成例を述べる。

#### 【0016】

(1) 静磁場中に置かれた管状容器内の試料に対して、所定の共鳴周波数で高周波信号を送信し、前記試料からの自由誘導減衰信号を受信するために、平面基板上に形成した複数の平板ドーナツ状超電導薄膜の面が前記静磁場の方向に略平行になるように配置されたソレノイドコイルで構成されるNMRプロ-ブコイルにおいて、隣接配置される2つの前記平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離が、前記管状容器の軸方向に不等間隔に配置された構成を有することを特徴とする。

#### 【0017】

(2) 前記(1)のNMRプロ-ブコイルにおいて、前記複数の平板ドーナツ状超電導薄膜のうち、コイル中心に最も近く隣接配置される2つの平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離を、他の隣接配置される2つの平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離よりも長くなるように配置してなることを特徴とする。

#### 【0018】

(3) 前記(1)のNMRプロ-ブコイルにおいて、前記複数の平板ドーナツ状超電導

10

20

30

40

50

薄膜のうち、隣接配置される2つの平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離が、コイル中心に近いほど長くなるように配置してなることを特徴とする。

#### 【0019】

(4) 水平型NMR装置にあって、静磁場中に置かれた管状容器内の試料に対して、所定の共鳴周波数で高周波信号を送信し、前記試料からの自由誘導減衰信号を受信するためには、平面基板上に形成した複数の平板ドーナツ状超電導薄膜の面が前記静磁場の方向に略平行になるように配置されたソレノイドコイルを有し、かつ、隣接配置される2つの前記平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離が、前記管状容器の軸方向に不等間隔に配置された構成を有することを特徴とする。

#### 【発明の効果】

#### 【0020】

本発明によれば、均一磁場中に置かれた試料に対して、所定の共鳴周波数で高周波信号を送信し、自由誘導減衰(FID)信号を受信するために用いられる超電導ソレノイドコイルの感度分布均一性を向上させたNMRプローブコイルを実現することができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0021】

以下、本発明の実施例について、図面を参照して詳述する。

#### 【0022】

##### (実施例1)

図4は、本発明の第1の実施例のプローブコイルを用いるNMR装置(水平型NMR装置)の概略構成を示す図である。

#### 【0023】

2つに分割された超電導マグネット30-1、30-2により、14.1テスラ(T)の均一磁場B<sub>0</sub>を水平方向に発生する。静磁場の向きをz方向とする。この静磁場内に本実施例のプローブコイルを10Kまで冷却できる低温プローブ33を設置して、低温プローブの断熱された内側に試料を入れた内径5mmのガラス管32を挿入する。測定試料の入ったサンプル管は鉛直方向に挿入される。

#### 【0024】

プローブコイルとしては、図5に示すように、4つの超電導薄膜51-1～51-4から構成されるソレノイドコイル51を用いる。図5は、ソレノイドコイル51をz方向から見たときの、超電導薄膜51-1～51-4を示す図である。超電導薄膜51-1～51-4は、平面基板上に形成した膜で作成した平板ドーナツ状超電導薄膜の面が均一磁場の方向(z方向)に平行(もしくは、略平行)になるように配置されている。膜面を静磁場に平行にするのは、反磁性である超電導体をコイルに用いてもNMR装置の均一磁場が乱れないようにするためである。平板ドーナツ状超電導薄膜は、円周上の一部が切り離されており、その両端にはキャパシタが形成されている。超電導薄膜は、これらキャパシタを介して金属リードと容量性結合しており、複数の平板ドーナツ状超電導薄膜を金属リードにより接続、ソレノイドコイルとして機能する。ソレノイドコイル51の軸方向はx方向であり、測定試料の入ったサンプル管の軸方向と一致する。コイルに給電したときにコイル中心に発生する高周波磁場はx方向である。長さ41-1は、超電導薄膜51-1と51-2の間の距離である。長さ41-2は超電導薄膜51-2と51-3の間の距離である。長さ41-3は超電導薄膜51-3と51-4の間の距離である。

#### 【0025】

4つの超電導薄膜は、不等間隔に配置されている。すなわち、長さ41-1と長さ41-3は、長さ41-2よりも短くなるように配置されている。長さ41-1と長さ41-3は等しい長さである。図5には、図2に示した従来型ソレノイドコイル11を構成する超電導薄膜11-1～11-4の位置45-1～45-4を併せて示している。超電導薄膜11-1の位置45-1は、超電導薄膜51-1と同じ位置である。同様に、超電導薄膜11-4の位置45-4は、超電導薄膜51-4と同じ位置である。また、図5には、図2に示した従来型ソレノイドコイル11を構成する超電導薄膜11-1と11-2の間

の長さ 21 - 1 と、超電導薄膜 11 - 2 と 11 - 3 の間の長さ 21 - 2 と、超電導薄膜 11 - 3 と 11 - 4 の間の長さ 21 - 3 を併せて示している。 $\{(長さ 41 - 1) + (長さ 41 - 2) + (長さ 41 - 3)\}$  と、 $\{(長さ 21 - 1) + (長さ 21 - 2) + (長さ 21 - 3)\}$  の長さは等しい。 $\{(長さ 21 - 1) - (長さ 41 - 1)\}$  の長さが d である。同様に、 $\{(長さ 21 - 3) - (長さ 41 - 3)\}$  の長さが d である。

#### 【0026】

$d = 0.5 \text{ mm}$  の時のソレノイドコイル 51 の軸方向 (x 方向) の感度分布を、図 6 に実線で示す。なお、図 6 では、コイルの中心を  $x = 0 \text{ mm}$  として、x 軸上の正負の位置での感度分布 (Sensitivity [A · m<sup>-1</sup> · W<sup>-1/2</sup>]) を実線で示している。図 6 には、従来型ソレノイドコイル 11 ( $d = 0 \text{ mm}$ ) の感度分布を併せて破線で示している。

10

#### 【0027】

図 6 から、 $d = 0.5 \text{ mm}$  にソレノイドコイル 51 を設定することにより、x 軸方向の感度分布の均一性が大きく向上することが分かる。NMR 計測の対象となる測定試料の存在する領域が  $-5 \text{ mm} < x < 5 \text{ mm}$  とすると、 $d = 0.5 \text{ mm}$  の時のソレノイドコイル 51 の感度不均一性は約 5 % であり、従来型ソレノイドコイル 11 の感度不均一性 (約 14 %) よりも小さい。

20

#### 【0028】

また、 $d = 1 \text{ mm}$  の時のソレノイドコイル 51 の軸方向 (x 方向) の感度分布を、図 6 に一点鎖線で示す。NMR 計測の対象となる測定試料の存在する領域  $-5 \text{ mm} < x < 5 \text{ mm}$  における、 $d = 1 \text{ mm}$  の時のソレノイドコイル 51 の感度不均一性は約 9 % である。 $d = 0.5 \text{ mm}$  の時のソレノイドコイル 51 の感度不均一性 (約 5 %) よりは大きいが、従来型ソレノイドコイル 11 の感度不均一性 (約 14 %) よりは小さい。

20

#### 【0029】

上記のように、d の値には最適値がある。d の最適値は、超電導薄膜を等間隔に配置した従来型ソレノイドコイル 11 の薄膜間隔 (長さ 21 - 1) の 5 % ~ 25 % の長さの範囲にあることが望ましい。

30

#### 【0030】

##### (実施例 2)

図 7 は、本発明の第 2 の実施例のプローブコイルであり、6 つの超電導薄膜 71 - 1 ~ 71 - 6 から構成されるソレノイドコイル 71 を z 方向から見たときの、超電導薄膜 71 - 1 ~ 71 - 6 を示す図である。本実施例によるプローブコイルは、第 1 の実施例と同様に、図 4 に示される NMR 装置 (水平型 NMR 装置) において用いられる。

30

#### 【0031】

超電導薄膜 71 - 1 ~ 71 - 6 は、平面基板上に形成した膜で作成した平板ドーナツ状超電導薄膜の面が均一磁場の方向 (z 方向) に平行 (もしくは、略平行) になるように配置されている。膜面を静磁場に平行にするのは、反磁性である超電導体をコイルに用いても NMR 装置の均一磁場が乱れないようにするためである。平板ドーナツ状超電導薄膜は円周上的一部が切り離されており、その両端にはキャパシタが形成されている。超電導薄膜はこれらキャパシタを介して金属リードと容量性結合しており、複数の平板ドーナツ状超電導薄膜を金属リードにより接続、ソレノイドコイルとして機能する。コイルに給電したときにコイル中心に発生する高周波磁場は x 方向である。長さ 72 - 1 は超電導薄膜 71 - 1 と 71 - 2 の間の距離である。長さ 72 - 2 は超電導薄膜 71 - 2 と 71 - 3 の間の距離である。長さ 72 - 3 は超電導薄膜 71 - 3 と 71 - 4 の間の距離である。長さ 72 - 4 は超電導薄膜 71 - 4 と 71 - 5 の間の距離である。長さ 72 - 5 は超電導薄膜 71 - 5 と 71 - 6 の間の距離である。

40

#### 【0032】

6 つの超電導薄膜は、不等間隔に配置されている。すなわち、長さ 72 - 3 は、長さ 72 - 2 よりも長い。長さ 72 - 1 と長さ 72 - 2 と長さ 72 - 4 と長さ 72 - 5 は等しい長さである。

50

## 【0033】

このように、コイル中心に最も近くに隣接配置される2つの平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離を、他の隣接配置される2つの平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離よりも長くなるように配置することにより、ソレノイドコイルの軸方向の感度分布の均一性を向上させることができる。

## 【0034】

## (実施例3)

図8は、本発明の第3の実施例のプローブコイルであり、6つの超電導薄膜81-1～81-6から構成されるソレノイドコイル81をz方向から見たときの、超電導薄膜81-1～81-6を示す図である。本実施例によるプローブコイルは、第1の実施例と同様に、図4に示されるNMR装置(水平型NMR装置)において用いられる。10

## 【0035】

超電導薄膜81-1～81-6は、平面基板上に形成した膜で作成した平板ドーナツ状超電導薄膜の面が均一磁場の方向(z方向)に平行(もしくは、略平行)になるように配置されている。膜面を静磁場に平行にするのは、反磁性である超電導体をコイルに用いてもNMR装置の均一磁場が乱れないようにするためである。平板ドーナツ状超電導薄膜は、円周上的一部が切り離されており、その両端にはキャパシタが形成されている。超電導薄膜はこれらキャパシタを介して金属リードと容量性結合しており、複数の平板ドーナツ状超電導薄膜を金属リードにより接続、ソレノイドコイルとして機能する。コイルに給電したときにコイル中心に発生する高周波磁場はx方向である。長さ82-1は超電導薄膜81-1と81-2の間の距離である。長さ82-2は超電導薄膜81-2と81-3の間の距離である。長さ82-3は超電導薄膜81-3と81-4の間の距離である。長さ82-4は超電導薄膜81-4と81-5の間の距離である。長さ82-5は超電導薄膜81-5と81-6の間の距離である。20

## 【0036】

6つの超電導薄膜は、不等間隔に配置されている。すなわち、長さ82-1、長さ82-2、長さ82-3の長さの関係は、(長さ82-1) < (長さ82-2) < (長さ82-3)と設定されている。また、長さ82-4と長さ82-2は等しい長さである。また、長さ82-5と長さ82-1は等しい長さである。

## 【0037】

このように、隣接配置される2つの平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離が、コイル中心に近いほど長くなるように配置することにより、ソレノイドコイルの軸方向の感度分布の均一性を向上させることができる。30

## 【0038】

以上、本発明を特定の形態について説明したが、上記以外の形態についても同様に、ソレノイドコイルを構成する平板ドーナツ状超電導薄膜のうちの、隣接配置される2つの平板ドーナツ状超電導薄膜の間の距離が、コイル中心に近いほど長くなるように配置することにより、ソレノイドコイルの軸方向の感度分布の均一性を向上させることができる。例えば、平板ドーナツ状超電導薄膜の個数は7以上であってもよい。また、マグネットとして、14.1テスラと異なる静磁場強度のマグネットを使用できることや、水素原子核以外の核種を計測対象とすることはいうまでもない。40

## 【0039】

以上詳述したように、本発明によれば、超電導ソレノイドコイルの感度分布均一性を向上させたNMRプローブコイルを実現できる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0040】

【図1】水平型NMR装置でプローブコイルとして用いられる従来型ソレノイドコイルを示す斜視図。

【図2】図1に示したソレノイドコイルを構成する超電導薄膜の配置を示す図。

【図3】図1に示したソレノイドコイルの感度分布を示す図。

10

20

30

40

50

【図4】本発明のプローブコイルを用いるNMR装置(水平型NMR装置)の概略構成を示す図。

【図5】本発明の第1の実施例のプローブコイルを説明する図。

【図6】第1の実施例のプローブコイルの感度分布を示す図。

【図7】本発明の第2の実施例のプローブコイルを説明する図。

【図8】本発明の第3の実施例のプローブコイルを説明する図。

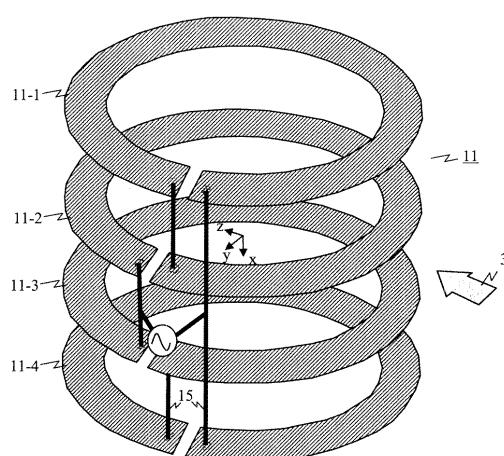
【符号の説明】

【0041】

3 ... 均一磁場  $B_0$ 、11 ... ソレノイドコイル、11-1、11-2、11-3、11-4 ... ソレノイドコイル11を構成する超電導薄膜、30-1、30-2 ... 超電導マグネットト、32 ... ガラス管、33 ... 低温プローブ、51 ... ソレノイドコイル、51-1、51-2、51-3、51-4 ... ソレノイドコイル51を構成する超電導薄膜、71 ... ソレノイド、71-1、71-2、71-3、71-4、71-5、71-6 ... ソレノイドコイル71を構成する超電導薄膜、81 ... ソレノイドコイル、81-1、81-2、81-3、81-4、81-5、81-6 ... ソレノイドコイル81を構成する超電導薄膜。 10

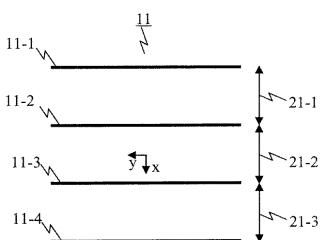
【図1】

図1



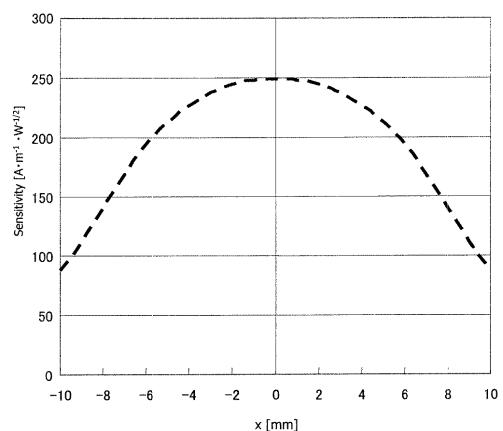
【図2】

図2



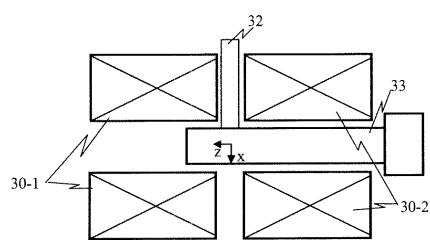
【図3】

図3



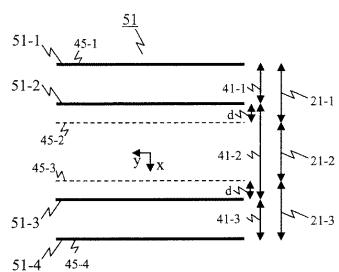
【図4】

図4



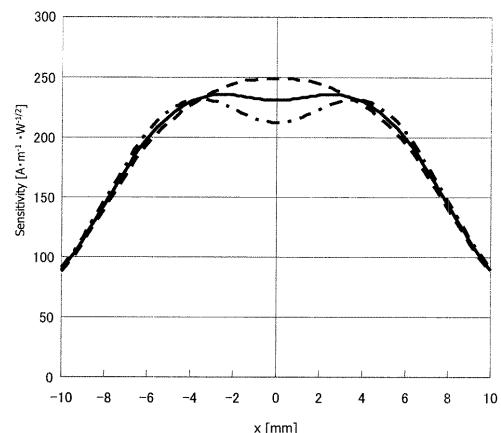
【図5】

図5



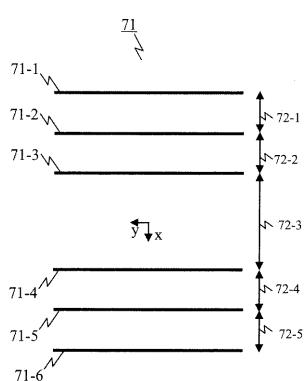
【図6】

図6



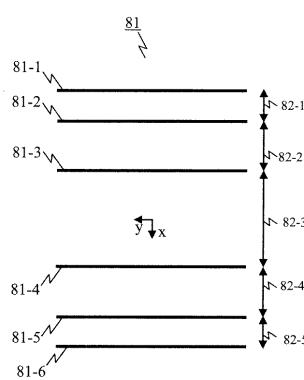
【図7】

図7



【図8】

図8



---

フロントページの続き

(72)発明者 岡田 道哉

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内