

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号
特表2017-505992
(P2017-505992A)

(43) 公表日 平成29年2月23日(2017.2.23)

(51) Int.Cl.
H01F 6/00 (2006.01)

F I
H01F 6/00 180

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2016-548017 (P2016-548017)	(71) 出願人	509018672 ナショナル オイルウェル パーコ, リミ テッド パートナーシップ NATIONAL OILWELL VA RCO, L. P. アメリカ合衆国, テキサス州 77036 , ヒューストン, パークウッド サークル ドライブ 7909 7909 PARKWOOD CIRCL E DRIVE, HOUSTON, TEX AS 77036, UNITED STA TES OF AMERICA
(86) (22) 出願日	平成27年1月21日 (2015.1.21)	(74) 代理人	110001243 特許業務法人 谷・阿部特許事務所
(85) 翻訳文提出日	平成28年9月23日 (2016.9.23)		
(86) 国際出願番号	PCT/US2015/012232		
(87) 国際公開番号	W02015/156883		
(87) 国際公開日	平成27年10月15日 (2015.10.15)		
(31) 優先権主張番号	61/929, 982		
(32) 優先日	平成26年1月22日 (2014.1.22)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 捕捉場磁石の活性化のためのシステムおよび方法

(57) 【要約】

超伝導材料の中で捕捉場磁石を活性化させるためのシステムは、超伝導材料エレメントと、超伝導材料エレメントの近位に配設されている電磁石源とを含むことが可能である。電磁石源は、超伝導材料エレメントを活性化させるのに十分な磁場パルスを作り出すように構成され得る。超伝導材料エレメントは、磁場パルスによって発生させられる磁場に実質的に等しい捕捉磁場を保持するように構成され得る。

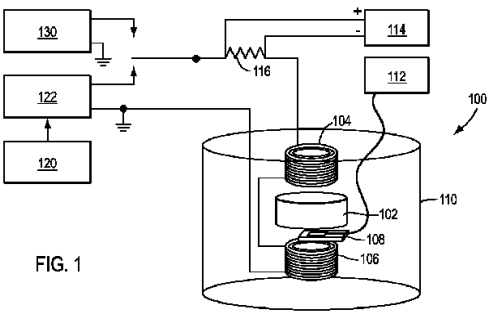


FIG. 1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

超伝導材料の中で捕捉場磁石を活性化させるためのシステムであって、前記システムは、

超伝導材料エレメントと、

前記超伝導材料エレメントの近位に配設されている電磁石源とを含み、

前記電磁石源は、前記超伝導材料エレメントを活性化させるのに十分な磁場パルスを作り出すように構成されており、

前記超伝導材料エレメントは、前記磁場パルスによって発生させられる磁場を実質的に等しい捕捉磁場を保持するように構成されていることを特徴とするシステム。

10

【請求項 2】

前記超伝導材料は、高温超伝導材料であることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記高温超伝導材料は、イットリウムバリウム銅酸化物であることを特徴とする請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記超伝導材料エレメントは、ピンニングセンターを含むことを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

20

【請求項 5】

前記ピンニングセンターは、破壊された柱状ピンニングセンターを含むことを特徴とする請求項 4 に記載のシステム。

【請求項 6】

前記破壊された柱状ピンニングセンターは、ウランの核分裂によって放出された高エネルギーイオンによって形成されることを特徴とする請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記ピンニングセンターは、点ピンニングセンターを含むことを特徴とする請求項 4 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記超伝導エレメントは、約 $15,000 \text{ A/cm}^2$ 以上の電流密度を有していることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

30

【請求項 9】

前記超伝導材料エレメントは、ディスク形状をしていることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記磁場パルスによって発生させられる前記磁場の実質的にすべてが、超伝導材料の前記ディスクの直径よりも小さい直径の中にあることを特徴とする請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記電磁石源は、1 対の電磁石を含み、超伝導材料の前記ディスクは、前記電磁石同士の間配設されていることを特徴とする請求項 9 に記載のシステム。

40

【請求項 12】

それぞれの電磁石は、強磁性の材料コアを備える、ワイヤーを巻かれた分裂場電磁石を含むことを特徴とする請求項 11 に記載のシステム。

【請求項 13】

前記超伝導材料エレメントの温度は、前記超伝導材料エレメントの活性化を維持するのに十分であることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 14】

クライオスタットをさらに含み、前記クライオスタットの中に、前記超伝導材料エレメ

50

ントおよび電磁波源が配設されていることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 15】

前記クライオスタットは、大気圧力より下で動作される閉じられたシステムであることを特徴とする請求項 14 に記載のシステム。

【請求項 16】

低温液体の蒸発したコールドガスをさらに含み、前記超伝導材料エレメントがその中に配設されていることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 17】

前記超伝導材料エレメントの活性化の間に、前記超伝導材料エレメントは、ジャイアントフィールドリープを経験するように構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

10

【請求項 18】

前記ジャイアントフィールドリープは、前記超伝導材料エレメントの最大捕捉場に近い捕捉磁場において終わることを特徴とする請求項 17 に記載のシステム。

【請求項 19】

超伝導材料の中で捕捉磁場を活性化させるための方法であって、前記方法は、超伝導材料エレメントの近位に少なくとも 1 つの磁場パルスが発生させるステップを含み、

前記磁場パルスは、前記磁場パルスによって発生させられる磁場を実質的に等しい捕捉磁場を前記超伝導材料エレメントの中で活性化させることを特徴とする方法。

20

【請求項 20】

前記超伝導材料エレメントの U^{235} 含有量を変化させるステップと、前記超伝導エレメントを中性子照射に露出させるステップとをさらに含むことを特徴とする請求項 19 に記載の方法。

【請求項 21】

前記 U^{235} 含有量を変化させるステップは、前記超伝導材料エレメントの電流密度を変化させるステップを含むことを特徴とする請求項 20 に記載の方法。

【請求項 22】

前記少なくとも 1 つの磁場パルスが発生させるステップは、電磁石源によって前記磁場パルスが発生させるステップを含むことを特徴とする請求項 19 に記載の方法。

30

【請求項 23】

前記少なくとも 1 つの磁場パルスが発生させるステップは、前記少なくとも 1 つの磁場パルスが発生させるために前記電磁石源を通して電流を流すステップを含むことを特徴とする請求項 22 に記載の方法。

【請求項 24】

前記少なくとも 1 つの磁場パルスが発生させるステップは、前記超伝導材料エレメントを捕捉場磁石へと完全に活性化させることを特徴とする請求項 19 に記載の方法。

【請求項 25】

前記少なくとも 1 つの磁場パルスによって発生させられる磁場の実質的にすべては、前記超伝導材料エレメントよりも小さい物理的な横寸法を有するエリアの中に含有されていることを特徴とする請求項 19 に記載の方法。

40

【請求項 26】

前記超伝導材料エレメントの活性化を維持するのに十分な温度で前記超伝導材料エレメントを維持するステップをさらに含むことを特徴とする請求項 19 に記載の方法。

【請求項 27】

捕捉場磁石であって、前記捕捉場磁石は、超伝導材料エレメントを含み、前記超伝導材料エレメントは、前記超伝導材料エレメントを活性化させるように構成されている磁場パルスによって発生させられる捕捉磁場であって、前記磁場パルスによって発生させられる磁場を実質的に等しい、捕捉磁場と、

50

前記超伝導材料エレメントの電流密度を閾値電流密度よりも上に上昇させるように構成されている複数のピンニングメカニズムとを含むことを特徴とする捕捉場磁石。

【請求項 28】

前記閾値電流密度は、約 $15,000 \text{ A/cm}^2$ であることを特徴とする請求項 27 に記載の捕捉場磁石。

【請求項 29】

前記磁場パルスが約 1.2 テスラから約 6.6 テスラの範囲にあるときに、前記捕捉場は、約 0.6 テスラから約 6.0 テスラの範囲にあることを特徴とする請求項 27 に記載の捕捉場磁石。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して、超伝導捕捉場磁石の活性化、および関連の方法およびシステムに関する。また、本発明は、駆動用途における超伝導捕捉場磁石の使用に関する。

【背景技術】

【0002】

関連出願との相互参照

本出願は、2014年1月22日に出願された「捕捉場磁石 (Trapped Field Magnets) の活性化のためのシステムおよび方法」という表題の米国仮特許出願第 61/929,982 号明細書の優先権を主張し、その全体の内容は、参照により本明細書に組み込まれている。

【0003】

導入

本明細書で使用される章の見出しは、単に組織的な目的のためのものであり、説明されている主題を限定するものとして決して解釈されるべきではない。

【0004】

磁石は、たとえば、著しいエネルギー損失なしに電気エネルギーを機械的なエネルギーへ変換する能力を含む、多数の用途を有している。したがって、磁石は、たとえば、電気モーターおよび発電機を含む、さまざまな技術において、重要な構成要素である。それ自身の持続的な磁場を生成させる強磁性の材料は、永久磁石とみなされる。永久磁石は、それらが供給することができる磁場の大きさについて、著しい限界がある。さらに、最も高い磁石場 (magnet fields) の永久磁石は、比較的希少であって、ときには、世界中で限られた地理的領域だけで見つけられる材料から構成されている。したがって、永久磁石は、高価であり、さまざまな用途で使用するには非常に高いコストがかかる可能性がある。

【0005】

そのうえ、従来の永久磁石モーターおよび発電機は、パワーに制約があり、送達され得るパワーの量は、モーター/発電機のサイズおよび重量によって制限されている。これは、サイズおよび/または重量設計パラメーターに対する制約につながり、それは、過度に制限する可能性がある。一般的に、永久磁石のサイズを小さくすることは、磁場強度の減少に起因して、パワー出力の減少を結果として生じさせる。したがって、単位体積当たりのパワー (すなわち、パワー密度) は、通常の永久磁石がモーターの中で使用されるときには、著しく制限される可能性がある。したがって、より安価であり、より強力な磁場を作り出し、および/または、より軽い材料などのような、持続的な磁場を作り出す可能性を持つ代替的な材料に対する要求が存在している。

【0006】

非常に多くの磁場は、磁場が大きい磁束ピンニング力を示すときには、超伝導体によって「捕捉」され得、それは、半永久磁気材料を結果として生じさせる可能性があるということが発見された。換言すれば、超伝導材料が非常に高い磁場の中に設置されているとき

10

20

30

40

50

に、材料は、磁場を複製するように活性化させられ、それによって、それ自身の持続的な磁場を作り出すことが可能である。とりわけ、高温超伝導体（HTS）は、捕捉場磁石（TFM）を形成するように活性化させられ得、結果として生じる磁場は、実現可能な動作温度まで冷却されるとき、それらの永久磁石の同等のものよりも強力であるということが決定されている。

【0007】

研究によって、HTSおよびTFMの理解が高まってきたが、現在のTFM活性化は、一般的に、以下の制限を有している。それは、1）TFMは、たとえば、非常に大きく高価で重い磁石（たとえば、永久磁石または電磁石）によって発生させられる非常に高い磁場の中に設置されることによって、活性化させられ、次いで、その動作温度まで冷却され得るということ（このプロセスは、「磁場中冷却された活性化（field-cooled activation）」と呼ばれている）、2）TFMは、冷却され、その後、高い磁場に曝され得るということ（このプロセスは、「ゼロ磁場中冷却された活性化（zero-field-cooled activation）」と呼ばれている）、および、3）ゼロ磁場中冷却された活性化は、磁場のパルスを使用して行われ得るということ（このプロセスは、「パルス状のゼロ磁場中冷却された活性化（pulsed-zero-field-cooled activation）」と呼ばれている）である。最後の2つのタイプの活性化では、TFMは、捕捉磁場を保持するために、活性化および動作の間に非常に低温に維持する必要がある。

10

【0008】

TFMを生成および製造する際の改善が、依然として必要とされている。たとえば、実用的かつ効率的なTFM活性化を提供するだけでなく、完全に活性化させられるロバストなTFMを提供する、TFM活性化のためのシステムおよび方法を提供することが望ましい可能性がある。また、低減された電氣的なエネルギーおよび加熱を頼りにする、TFM活性化のためのシステムおよび方法を提供することが望ましい可能性がある。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】国際特許出願第PCT/US2013/063710号

【非特許文献】

【0010】

【非特許文献1】C P . Bean , " Magnetization of High - Field Superconductors " , Rev . Mod . Phys . 36 , pp . 31 - 39 (1964)

30

【発明の概要】

【0011】

本発明は、上述の問題のうちの1または複数を解決し、および/または、上述の望ましい特徴のうちの1または複数を実現する。他の特徴および/または利点は、以下に続く説明から明らかになり得る。

【0012】

本発明のさまざまな例示的な実施形態によれば、超伝導材料の中で捕捉場磁石を活性化させるためのシステムは、超伝導材料エレメントと、超伝導材料エレメントの近位に配設されている電磁石源とを含むことができる。電磁石源は、超伝導材料エレメントを活性化させるのに十分な磁場パルスを作り出すように構成され得る。超伝導材料エレメントは、磁場パルスによって発生させられる磁場に実質的に等しい捕捉磁場を保持するように構成され得る。

40

【0013】

本発明のさまざまな追加的な例示的な実施形態によれば、超伝導材料の中で捕捉磁場を活性化させるための方法は、超伝導材料エレメントの近位に少なくとも1つの磁場パルスを発生させるステップを含むことができる。磁場パルスは、磁場パルスによって発生させられる磁場に実質的に等しい捕捉磁場を超伝導材料エレメントの中で活性化させることが

50

できる。

【0014】

本発明のさまざまなさらなる例示的な実施形態によれば、捕捉場磁石は、超伝導材料エレメントを含むことができる。超伝導材料エレメントは、超伝導材料エレメントを活性化させるように構成されている磁場パルスによって発生させられる捕捉磁場を含むことができる。捕捉磁場は、磁場パルスによって発生させられる磁場を実質的に等しくてもよい。超伝導材料エレメントは、超伝導材料エレメントの電流密度を閾値電流密度よりも上に上昇させるように構成されている複数のピンニングメカニズムをさらに含むことができる。

【0015】

追加的な目的および利点は、以下に続く説明の中に部分的に述べられることとなり、また、その説明から部分的に明らかになることとなり、または、本教示の実践によって学ばれ得る。本発明の目的および利点の少なくともいくつかは、とりわけ、添付の特許請求の範囲において指摘されているエレメントおよび組み合わせによって、実現および達成され得る。

【0016】

先述の全体的な説明および以下の詳細な説明の両方は、単に例示的および説明的なものであり、本発明および特許請求の範囲（均等物を含む）を制限しようとするものではないということが理解されるべきである。本発明および特許請求の範囲は、それらの最も広い意味において、これらの例示的な態様および実施形態のうちの1または複数の特徴を有することなく実践され得るということが理解されるべきである。

【図面の簡単な説明】

【0017】

添付の図面は、本明細書の中に組み込まれ、かつ、本明細書の一部を構成しており、添付の図面は、本発明のいくつかの例示的な実施形態を図示しており、その説明とともに、特定の原理を説明する役割を果たしている。

【図1】本発明による、捕捉場磁石（TFM）活性化のためのシステムの例示的な実施形態の概略図である。

【図2】図1のシステムの中で使用されるHTSの例示的な実施形態の部分的な拡大断面図である。

【図3】さまざまな電磁石電流 I_{EM} に関して、図1のシステムの中で使用される電磁石（EM）を横切る半径方向の位置 r の関数として、印加される活性化磁場 B_A を図示するグラフである。

【図4】さまざまな印加された磁場 B_A に関して、図1のシステムにおいてChem-PC HTSを横切る半径方向の位置 r の関数として、捕捉磁場 B_T を図示するグラフである。

【図5】さまざまな印加された磁場 B_A に関して、図1のシステムにおいてCombo-PC HTSを横切る半径方向の位置 r の関数として、捕捉磁場 B_T を図示するグラフである。

【図6】図1のシステムにおいてChem-PC HTSを横切るさまざまな半径方向の位置 r において、時間の関数として、磁場 B_{HTS} を図示し、また、時間の関数として、対応する印加された活性化磁場 B_A を図示するグラフである。

【図7】図1のシステムにおいてCombo-PC HTSを横切るさまざまな半径方向の位置 r において、時間の関数として、磁場 B_{HTS} を図示し、また、時間の関数として、対応する印加された活性化磁場 B_A を図示するグラフである。

【図8】さまざまな電磁石電流 I_{EM} に関して、図1のシステムにおいてCombo-PC HTSを横切る半径方向の位置 r の関数として、捕捉磁場 B_T を図示するグラフである。

【図9】中性子照射に続いて、Combo-PC HTSに関する U^{235} 含有量の関数として、捕捉磁場 B_T を図示するグラフである。

【図10】さまざまな電磁石電流 I_{EM} に関して、図1のシステムにおいて高い U^{235} 含有

10

20

30

40

50

量を備える HTS を横切る半径方向の位置 r の関数として、捕捉磁場 B_T を図示するグラフである。

【図 1 1】図 1 0 の HTS を横切るさまざまな半径方向の位置 r において、時間の関数として、捕捉磁場 B_T を図示し、また、時間の関数として、対応する印加された電磁石電流 I_{EM} を図示するグラフである。

【図 1 2】さまざまな電磁石電流に関して、図 1 のシステムにおいて中位の U^{235} 含有量を備える HTS を横切る半径方向の位置 r の関数として、捕捉磁場 B_T を図示するグラフである。

【図 1 3】図 1 2 の HTS を横切るさまざまな半径方向の位置 r において、時間の関数として、捕捉磁場 B_T を図示し、また、時間の関数として、対応する印加された電磁石電流 I_{EM} を図示するグラフである。

【図 1 4】さまざまな電磁石電流に関して、図 1 のシステムにおいて低い U^{235} 含有量を備える HTS を横切る半径方向の位置 r の関数として、捕捉磁場 B_T を図示するグラフである。

【図 1 5】図 1 4 の HTS を横切るさまざまな半径方向の位置 r において、時間の関数として、捕捉磁場 B_T を図示し、また、時間の関数として、対応する印加された電磁石電流 I_{EM} を図示するグラフである。

【図 1 6】さまざまな HTS に関する印加された電流密度 J_c の関数として、GFL の始まりおよび GFL の完了における捕捉磁場 B_T を図示するグラフである。

【図 1 7】本発明による、磁気モーターの例示的な実施形態の概略図である。

【図 1 8】図 1 7 のモーターの中で使用される TFM アセンブリの例示的な実施形態の拡大図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

ここで、本発明のさまざまな例示的な実施形態が詳細に参照されることとなり、その例は、添付の図面に図示されている。可能な限り、同じ参照数字は、図面の全体を通して、同じまたは同様のパーツを表すために使用されることとなる。

【0019】

捕捉場磁石 (TFM) は、多数の用途において従来の永久磁石を交換する大きな可能性を有しており、実質的に低い温度で動作させられるときに、それらの永久磁石の同等のものよりも強力な磁場を示す。例として、TFM モーターは、従来の永久磁石モーターと同じ量のパワーを送達することが可能であるが、サイズおよび重量の著しい低減を伴う。研究は、TFM の理解を増加させたが、たとえば、高価な大きくて重い磁石 (すなわち、永久磁石または電磁石) によって発生させられる非常に大きい一定の磁場に、たとえば超伝導材料 (すなわち、超伝導体) を露出させることを必要としない、改善された TFM 活性化技法に対する要求は残っているままである。高い場の電磁石を使用するような従来の活性化技法は、(たとえば、TFM がその磁場を失うときに) 実験室以外の場所での使用における用途の中に存在する TFM を活性化および / または再活性化させるには実用的でない。換言すれば、さまざまな用途において、オンサイトまたはインサイチュでの活性化または再活性化を可能にすることは望ましい可能性があり、また、たとえば、大きくて重い永久磁石または電磁石に依存する場合には、そのようにすることは非実用的である可能性がある。

【0020】

非常に大きい一定の磁場を使用する活性化の代替例は、パルス状の磁場活性化である。パルス状の磁場活性化は、ずっと小さくて軽い電磁石を使用して TFM を活性化させることが可能である。しかし、また、磁場パルスは、熱を発生させる可能性があり、熱は、TFM を温め、それらにそれらの「捕捉」場のすべてまたは一部を失わせる。したがって、改善された TFM 活性化技法に対する要求が残っているままであり、それは、パルス状の活性化技法を含み、それは、実用的かつ効率的な活性化を提供するだけでなく、完全に活性化させられた TFM を提供する。これらの目的を達成するために、本明細書で説明され

ているTFM活性化のためのシステムおよび方法は、非常に短い磁場パルスを使用し、それは、より少ない電気的なエネルギー、および、したがって、より小さいエネルギー供給を必要とし、TFMのより少ない加熱を結果として生じさせる。そのうえ、必要とされる活性化場の大きさは、著しく低減され、それは、活性化場を発生させるために使用される磁石のコストおよびエネルギー使用量も低減させる（また、それによって、パルスによって発生させられる熱の量も低減させる）。

【0021】

本明細書で使用されているように、用語の「捕捉場磁石」、「TFM」、または、それらの変化形は、かなりの「捕捉」磁場を有する超伝導材料を表し、半永久磁気材料を結果として生じさせる。換言すれば、TFMは、それが露出させられた磁場を複製するために活性化させられ、それによって、それ自身の持続的な磁場を作り出す、超伝導材料である。とりわけ、高温超伝導体(HTS)は、液体窒素の沸点(77K)よりも上で超伝導になる材料であり、それは、TFMを形成するために活性化させられ得る。本発明のさまざまな実施形態では、たとえば、超伝導材料は、たとえば、イットリウムバリウム銅酸化物(YBCO)などのような、バルクHTS材料である。たとえば、 $YBa_2Cu_3O_7$ から構成されるHTSは、約93Kよりも下の温度で超伝導になる。したがって、YBCOから作製されている本発明によるTFMは、約93Kよりも下の温度で、おおよそ絶対零度の温度まで、動作することが可能である。そのうえ、一般的に、TFMによって保持される磁場は、温度が減少するにつれて増加する。

【0022】

さまざまな追加的な例示的な実施形態では、超伝導材料は、たとえば、 $RE_1Ba_2Cu_3O_7$ などのようなHTS材料であり、ここで、REは、Y、Nd、La、Sm、Eu、Gd、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Tb、または、それらの混合物から選ばれる。さまざまなさらなる実施形態では、HTSは、 $Bi_2Sr_2CaCu_2O_x$; $(Bi, Pb)_2Sr_2CaCu_2O_x$; $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_x$; $(Bi, Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_x$; $HgBa_2Ca_2Cu_3O$; $HgBa_2CaCu_2O_6$; $TlCaBa_2Cu_2O_x$; $Tl_2Ca_2Ba_2Cu_3O_x$; または $Nd_{1+x}Ba_{2-x}Cu_3O_x$ から構成されている。しかし、当業者は、本発明は、TFMの用途に基づいて、たとえば、さまざまなHTS材料を含むさまざまな超伝導材料の中で、TFMを活性化させるシステムおよび方法を考えており、また、本発明は、いかなる様式によっても、本明細書で開示されて特許請求されている例示的な材料に限定されるということは意図されていないということを理解することとなる。そのうえ、当業者は、TFMのサイズは、用途に依存するということを理解することとなる。一般的に、TFMが大きければ大きいほど、より高い磁場を保持するというその能力に起因して、より望ましい。現在の用途においてTFMは、たとえば、サイズが、直径約1.5cmから約10cmの範囲にある。しかし、より大きいTFMは、また、活性化技術に対する適当な修正とともに使用され得るということが当業者によって理解されることとなる。

【0023】

本明細書で使用されているように、用語の「活性化させる(activate)」、「活性化する(activating)」、「活性化させられる(activated)」、「活性化(activation)」および、それらの変化形は、超伝導材料が磁場への露出に起因して不活性材料から磁石へと変化させられる、出来事を表している。換言すれば、超伝導材料は、TFMになるように活性化させられ得、また、TFMは、最初に活性化させられた後に、その磁場を維持および/または回復するために、再活性化によって活性化させられ得る。超伝導材料は、それが、印加された磁場からその完全な磁化ポテンシャルに到達し、その最大捕捉場へと飽和したと考えられるときに、完全に活性化させられる。超伝導材料は、それが磁化されているが、その完全な磁化ポテンシャルには到達していなかったときに、部分的に活性化させられると言われる。そのうえ、完全に活性化させられたTFMは、クリープとして知られているプロセスによって、その捕捉場のいくらかを徐々に失う。典型的に、クリープは、10年の時間当たり場の約3%から約7%の

10

20

30

40

50

損失を引き起こす。たとえば、活性化の1日後に2テスラの捕捉場を有するTFMは、活性化の約10日後までに約0.08テスラ(4%)を失う可能性がある。一般的に、クリープ損失は、1年後に約20%損失へと保持され得、10年後に追加的な4%損失を有する。また、TFMは、磁場強度を失う可能性があり、磁場を維持するのに十分な冷却への露出の損失によって部分的だけに活性化させられるようになる。

【0024】

本発明のさまざまな例示的な実施形態は、たとえば、電磁石などのような電磁石源によって発生させられる磁場パルスに超伝導材料エレメントを露出させることによって、超伝導材料の中で捕捉場磁石(TFM)を活性化させるためのシステムおよび方法を考えている。さまざまな実施形態では、たとえば、高温超伝導材料(HTS)エレメントなどのような超伝導材料エレメントは、電磁石源の近位に配設されており、また、電流が電磁石源を通して流されるときに、電磁石源は、超伝導材料エレメントを活性化させる磁場パルスを作り出す。本発明のさまざまな実施形態では、たとえば、従来の見識とは対照的に、超伝導材料エレメントは、電磁石源によって作り出される磁場パルスによって発生させられる磁場を実質的に等しい捕捉磁場を保持することが可能であることが意図される。

10

20

30

【0025】

Beanモデルによって表されるような一般に認められた理論は、たとえば、(1)最大捕捉場($B_{T,MAX}$)の能力があるTFMの活性化は、 $B_{T,MAX}$ の値の2倍以上の印加された磁場(B_A)を必要とするということ、および、(2)捕捉場(B_T)の大きさは、それが $B_{T,MAX}$ に到達するまで、 B_A の大きさとともに単調に増加することとなる(たとえば、非特許文献1を参照)ということを予測する。しかし、本発明のさまざまな実施形態では、超伝導材料エレメントが、 $B_{T,MAX}$ に実質的に同等である、電磁石源によって作り出される印加された磁場パルス(B_A)によって、その $B_{T,MAX}$ まで活性化させられ得ることが意図される。さまざまな実施形態では、たとえば、印加されるパルス B_A の大きさが増加させられるにつれて、非常に大きい非連続的な場の増加も起こり、それは、以降では、「ジャイアントフィールドリープ(giant field leap)」(GFL)と称され、それは、高い捕捉場に関して、超伝導材料の完全に活性化させられた状態 $B_{T,MAX}$ の近くで終了する。このように、本発明のシステムおよび方法は、より低い必要とされる活性化場を備えるTFMの完全な活性化を可能にし、それによって、より少ないエネルギーで、実質的により小さく、より安価でより軽い活性化構成要素(たとえば、電磁波源)を必要とし、TFM活性化に関して従来から使用されているものよりも少ない熱をTFMの中に生成させることが可能である。

【0026】

さまざまな実施形態によれば、超伝導材料エレメントは、ピンニングセンター、または、捕捉磁場 B_T を保持もしくは「ピン止めする」ように機能する非超伝導材料の領域を含むことが可能である。そのようなピンニングセンターは、非超伝導欠陥を生成させるためにエレメントのエリアを損傷させることによって、超伝導材料エレメントの中に人工的に形成され得る。さまざまな実施形態では、たとえば、高エネルギーイオンが、超伝導材料の中に破壊された柱状欠陥(たとえば、非超伝導材料の柱)を生成させるために使用され得る。さまざまな例示的な実施形態では、図2に図示されているように、ウラン化合物の堆積物140が、超伝導材料エレメントに追加され得る。次いで、エレメントは、中性子照射に露出させられ得、中性子照射は、堆積物の中の U^{235} 原子のいくらかが核分裂することおよび高エネルギーイオンを放出することを引き起こすこととなり、それは、それらが超伝導材料を通して移動するときに、損傷トラック150を生成させる。これらの損傷トラックまたは破壊された柱状欠陥は、ピンニングセンターとしての役割を果たす。この技法によって形成されたピンニングセンターを備える超伝導材料エレメントは、本明細書でU/n-PCと表されている。

40

【0027】

さまざまな追加的な実施形態では、異質な化学物質のドーパントは、超伝導材料エレメントの中に化学堆積物を生成させるために使用され得、それは、また、ピンニングセンタ

50

ーとしての役割を果たす。この技法によって形成されたピンニングセンターを備える超伝導材料エレメントは、本明細書でChem-PCと表されている。当業者は、上記に説明されたピンニングセンターは、単に例示的なものであるということ、ならびに、本発明のシステムおよび方法は、天然および人工的の両方のピンニングセンターのさまざまなタイプ（すなわち、性質）、構成（すなわち、幾何学形状）、および/または、組み合わせを有する超伝導材料エレメントを使用することを考えており、それは、さまざまな方法および/または技法によって生成されるということを理解することとなる。

【0028】

特定の理論によって拘束されることを望まないが、本発明者は、GFLが、電流密度 J_c および捕捉場 B_T の結果であり、それは、超伝導材料エレメントに大きい内部力（ローレンツ力）を一緒に生成させ、それによって、エレメントの1つの領域から別の領域に向けて磁束を押すということを考えている。したがって、本発明者は、活性化の間に、超伝導材料エレメントが、ローレンツ力が高いときに、たとえば、高い J_c が存在するときなどに（そして、それは、高い B_T を作り出すことが可能である）、GFLを示すこととなる（および、したがって、 $B_{T,MAX}$ B_A において実質的に完全な活性化を実現する）ということを考えている。この理論によれば、たとえば、 J_c および B_T の最小閾値を超える任意のTFMが、GFLを示すことが可能であるということが考えられている。さまざまな実施形態によれば、たとえば、約15,000 A/cm²以上の J_c および約0.5テスラの B_T を超える任意のTFMが、GFLを示すことが可能であるということ、ならびに、 J_c が増加するにつれてGFLの大きさが増加するということが考えられている。

【0029】

超伝導材料エレメントが、たとえば、U/n-PC、Chem-PC、または、Chem-PCおよびU/n-PCの組み合わせ（以降では、Combo-PCと称される）などのような、ピンニングセンターを有し、それは、超伝導材料エレメントの J_c および B_T を上記閾値レベルの上方へ増加させるように機能するので、それらは、活性化の間にGFLを示すことが可能である。換言すれば、PCを有する超伝導材料エレメントは、 J_c および $B_{T,MAX}$ の積が約15,000 A/cm² × 0.5テスラ以上である場合には、活性化の間にGFLを示すことが可能である。

【0030】

図1は、本発明によるTFM活性化のためのシステム100の例示的な実施形態の概略図を示している。システム100は、超伝導材料エレメント102を含み、超伝導材料エレメント102は、2つの電磁石104と106との間に配設されている。図1に示されているように、さまざまな例示的な実施形態では、超伝導材料は、ディスク形状（たとえば、パック形状）を有しており、また、電磁石104と106との間に位置決めされており、図1の構成において、電磁石104が超伝導材料エレメント102の第1の端部の上方にあるようになっており、電磁石106が超伝導材料エレメント102の反対側の端部の下方にあるようになっている。さまざまな例示的な実施形態では、超伝導材料エレメント102は、たとえば、イットリウムバリウム銅酸化物などのような、上記に説明されているような高温超伝導材料である。電磁石104、106は、鉄の（または、他の強磁性の）コアを備えるワイヤーを巻かれた電磁石であることが可能であり、それは、分裂場磁石を含む。電磁石104、106は、それらが作り出す場が同じ方向になるようにワイヤー接続されている。

【0031】

本発明のさまざまな例示的な実施形態では、超伝導ディスク102は、たとえば、U/n-PCタイプの破壊された柱状ピンニングセンター150（図2を参照）の組み合わせ、および、Chem-PCまたはCombo-PCタイプの点ピンニングセンター（図示せず）の組み合わせなどのような、ピンニングセンターを含む。したがって、上記に説明されているように、活性化の間に、超伝導ディスク102は、GFLを示すことが可能である。このように、構築およびテストされたプロトタイプに関してより詳細に下記に説明されているように（下記の実施例1を参照）、さまざまな例示的な実施形態において、電

磁石 104、106 によって作り出される単一の磁場パルスは、超伝導ディスク 102 を実質的に完全に活性化させ、 B_A において、実質的に完全に活性化された TFM を作り出すことが可能である。さまざまな例示的な実施形態において、パルス持続期間は、約 10 ms から約 30 ms の範囲にあることが可能であるが、より長いパルスおよびより短いパルスの両方も効果的である。さまざまな実施形態では、短いパルスが望ましい。その理由は、それが、より少ないエネルギーを使用し、TFM および関連のスプリット電磁コイルの中のより少ない加熱を引き起こすからである。

【0032】

図 1 にさらに示されているように、超伝導ディスク 102 の直径は、電磁石 104 および 106 のそれぞれの直径よりも大きく、電磁石 104、106 は、超伝導ディスク 102 の上に実質的に中心が置かれて位置決めされている。したがって、特許文献 1 に説明されているように（その内容全体は、参照により本明細書に組み込まれている）、電流が、（たとえば、パルスジェネレーター 120 および / またはコンデンサー 130 を介して）電磁石 104、106 を通して流されるときに、電磁石 104、106 は、超伝導ディスク 102 よりも小さい物理的な横寸法を備えるエリアの中だけで大きい磁場パルスをそれぞれ作り出すこととなる。換言すれば、電磁石 104、106 のそれぞれによって作り出される磁場の実質的にすべては、超伝導ディスク 102 の直径の中にある。

【0033】

本発明のさまざまな例示的な実施形態では、システム 100 は、TFM 活性化を許容するために十分に低い温度で超伝導ディスク 102 を維持するためのメカニズムをさらに含むことが可能である。たとえば、システム 100 は、たとえば、大気圧力における液体窒素で充填されているクライオスタット 110 を含むことが可能である。超伝導材料 102 および電磁石 104、106 は、充填されたクライオスタット 110 の中に配設され、超伝導材料 102 を十分に低い温度で維持し、活性化された TFM がその磁場を失うことを阻止することが可能である。冷却剤のより低い温度は、任意の所与の TFM がより高い場を保持することを可能にする。

【0034】

当業者は、システム 100 が、単に例示的なものであり、本発明による TFM 活性化に関するシステムの 1 つの例示的な実施形態を図示することが意図されているということを理解することとなる。したがって、当業者は、システム 100 の中で利用される超伝導ディスク 102 および電磁石 104、106 が、さまざまな形状、寸法、および / または構成を有することが可能であり、また、たとえば、特定の用途および所望の TFM の捕捉場強度に基づいて、さまざまな材料から形成され得るということを理解することとなる。さらに、システム 100 は電磁石 104、106 を利用しているが、本発明によるシステムでは、磁場パルスを作り出すために、当業者に知られている任意の電磁波源を使用することが意図される。そのうえ、システム 100 は、超伝導材料 102 を冷却するためにクライオスタット 110 を含むが、本発明によるシステムは、当業者に知られている任意の冷却手段、デバイス、構造、方法、および / または技法を利用することが可能であり、それは、それに限定されないが、低温液体の蒸発したコールドガスを含む。

【0035】

単一のパルス活性化

さまざまな設計考慮事項、および、図 1 に示されているものなどのような、TFM 活性化のためのシステムの動作に対するそれらの影響が、上記に説明されているシステム 100 と同様の電磁石からの単一の磁場パルスによる超伝導材料エレメントの活性化に関して、下記に説明されている。

【実施例 1】

【0036】

図 1 に概略的に示されている例示的なシステム 100 にしたがったセットアップを有するプロトタイプが、構築およびテストされ、開示されている例示的なシステムの活性化能力を確認および検討した。それぞれの電磁石 104、106 は、120 ターンの 24 ゲー

10

20

30

40

50

ジ銅磁石ワイヤーによって構成されたH i p e r c o（登録商標）50コアを備える、ワイヤーを巻かれた分裂場電磁石であった。電磁石巻線の最も外側の直径は、約18mmであり、最も内側の直径は、約12mmであった（それは、それぞれのコアによってセットされた）。超伝導ディスク102は、パルクイットリウムバリウム銅酸化物（YBCO）から作製されており、20mm直径を有し、約8mmの軸線方向の長さを備えており、2つの異なるタイプのピンニングセンター：（1）Chem-PCおよび（2）UnPCのうちの少なくとも1つを含有していた。

【0037】

図1に示されているように、さまざまな実施形態では、Hallプローブアレイ108が、超伝導ディスク102と電磁石106との間に配設され、システム100からデータを収集することが可能である。実施例1においてテストされたプロトタイプでは、Hallプローブアレイ108は、7つのプローブを含み、超伝導ディスク102と電磁石106との間の1.4mmギャップの中に配設されており、プローブアレイ108が超伝導ディスクの表面および電磁石106のH i p e r c o（登録商標）50コアの表面から約0.7mmに挟まれるようになっていた。個々のHallプローブ（図示せず）は、約1.15mmごとに間隔を置いて配置されており、超伝導ディスク102の10mm半径のうちの1.7mmから8.6mmの超伝導ディスク102の半径をカバーしていた。Hallプローブ読み出し値からのデータは、AREPOC（商標）インターフェース、および、本発明者によって生成されたインターフェースの両方を使用してデータロガー（すなわち、PC）112の上でロギングされた。

10

20

【0038】

2つのパルスタイプが、超伝導ディスク102の活性化のために利用可能である。第1のタイプは、パルスジェネレーターによって作り出され、パルスジェネレーターは、図1において120でラベル付けされており、高速の立ち上がり時間の電流供給部を駆動し、電流供給部は、図1において122でラベル付けされており、20ms立ち上がり時間、100msフラットトップ、および20ms立ち下り時間を有している。特許文献1に議論されているように、しかし、このパルスタイプ活性化によって、40アンペア（A）を超える磁場パルスは、電磁石104、106のコイルを加熱したということが見出された。したがって、第2のタイプのパルスは、0.125ファラッド（F）コンデンサーから、容量放電を使用して、より高い磁場パルス（たとえば、40アンペアを超える）を発生させるために使用された、0.125ファラッド（F）コンデンサーは、図1において130でラベル付けされており、100ボルト（V）を定格としている。回路抵抗は、0.236（±8%）であり、インダクタンスは、無視できるほどであった。したがって、容量放電パルスのRC時間は、約29.5msであった。

30

40

【0039】

オシロスコープは、図1において114でラベル付けされており、オシロスコープは、キャリブレーション検討および電流測定に関して、低抵抗シャント（図1において116でラベル付けされている）を横切る電圧を読み取るために使用された。たとえば、図3は、電磁石104、106を通る電流（ I_{EM} ）が114Aから427Aの間で変化したときに、電磁石104、106によって作り出される場、または適用された場（ B_A ）の測定を示している。

【0040】

テストされた第1のタイプの超伝導ディスク102は、 Y_2BaCuO_5 の化学堆積物から作製された点ピンニングセンター（Chem-PC）を有しており、それは、典型的に1ミクロン未満の直径を有しており、それは、HTSサンプルの全体を通してランダムに分配された。これらのサンプルは、0.5wt%Ptのドーピングを含有しており、また、 $J_c = 11,300 A/cm^2$ を有していた。説明を簡単にするために、化学堆積物によって形成された点ピンニングセンターを備える超伝導ディスク102は、以降では、Chem-PC HTSと称されることとなる。H i p e r c o（登録商標）50コアの存在は、所与の値の J_c に関する捕捉場を増加させる。したがって、H i p e r c o（登録商

50

標) 50 コアが存在していない場合に活性化させられたとき、Chem-PC HTS は、活性化の磁場中冷却 (FC) 方法によって測定されるように、TFM の中央において、 $B_{T,MAX}(r=0\text{mm}) = 0.59\text{ T}$ の捕捉場のピーク値を有していた。そして、Hyperco (登録商標) 50 コアが存在している場合に活性化させられたとき、Chem-PC HTS は、 $B_{T,MAX}(r=1.7\text{mm}) = 0.95\text{ T}$ を有していた。

【0041】

テストされた第2のタイプの超伝導ディスク102は、第1のタイプのときのように、化学堆積物 (Chem-PC) を有しており、加えて、破壊された柱状ピンニングセンター (Un-PC) を有していた。破壊された柱状ピンニングセンターを形成する柱は、それぞれ、長さが数ミクロンであり、約 $2 \sim 6.2\text{ nm}$ の直径を有しており、ここで、
は、HTS コヒーレンス長である。上記に説明されているように、柱は、核分裂イオンによって形成されており、それは、脱酸素化された YBCO によって取り囲まれたアモルファス材料の非連続的な損傷トレイルを作り出した。図2に示されているように、たとえば、核分裂イオンは、等方的に放出され、それは、高度にスプレーされた準柱状ピンニングセンター (破壊された柱状ピンニングセンター) を結果として生じさせた。当業者によって理解されることとなるように、そのような柱状スプレーは、もつれた磁束線を結果として生じさ、それは、安定性を磁束線アレイに加え、約 $45,000\text{ A/cm}^2$ から約 $50,000\text{ A/cm}^2$ の J_c を結果として生じさせた。説明を簡単にするために、化学堆積物から形成された点ピンニングセンターおよび破壊された柱状ピンニングセンターの両方を有する超伝導ディスク102は、以降では、Combo-PC HTS と称されることとなる。

10

20

【0042】

Hyperco (登録商標) 50 コアが存在していない場合に活性化させられたとき、Combo-PC HTS は、活性化の FC 方法によって測定されるように、TFM の中央において、 $B_{T,MAX}(r=0\text{mm}) = 2.207\text{ T}$ の捕捉場のピーク値を有していた。しかし、FC 活性化のために使用された電磁石は、これよりもかなり高いテスト場を提供することはできなかった。したがって、Hyperco (登録商標) 50 コアの存在下において、Combo-PC HTS の捕捉場は、FC 活性化によって直接的に測定されることができなかった。したがって、 $B_{T,MAX}(r=1.7\text{mm}) = 3.13\text{ T}$ を有するということが間接的に推定された。

30

【0043】

図4および図5を参照すると、印加された磁気パルスが十分に長かったときに、TFM のそれぞれの残留場が検討され、磁束フローは、クリープの時間的挙動特性に落ち着いた。プローブアレイ108を使用して、データが、印加された場 (B_A) の変化する大きさに関して、(Chem-PC HTS および Combo-PC HTS の両方に関して) 超伝導ディスク102を横切る半径方向の位置 r の関数として、捕捉磁場 (B_T) の上で、パルスの2分後に収集された。

【0044】

図4は、 1.7 T から 2.33 T の範囲にある印加された磁場 (B_A) に関して、Chem-PC HTS を横切る半径方向の位置 r の関数として、捕捉磁場 (B_T) に関する結果を示している。図4に図示されているように、捕捉場は、印加された場とともに単調に増加した。換言すれば、パルスの大きさが増加させられるにつれて、結果として生じる捕捉場は、非連続性なしで増加した。たとえば、円筒形状のサンプルの有限の軸線方向の長さ、ならびに、半径方向の位置 r および軸線方向の位置 z による印加された場の変化に関して補正されると、この増加、および、曲線 $B_T(r)$ の滑らかな形状は、ともに、Bean モデルに一致している。

40

【0045】

図5は、 1.44 T から 2.68 T の範囲にある印加された磁場 (B_A) に関して、Combo-PC HTS を横切る半径方向の位置 r の関数として、捕捉磁場 (B_T) に関する結果を示している。図5に図示されているように、パルスの大きさが増加させられる

50

につれて、結果として生じる捕捉場は、初期には、Chem-PC HTSのように大きく増加した。しかし、最終的なピーク値の約15%の捕捉場ピークを結果として生じさせる印加された磁場に関して、 r の低い値において、非常に大きい非連続性が存在していた。この観察された非連続性、またはジャイアントフィールドリープ(GFL)は、Beanモデルとは対照的であり、Beanモデルは、上記のように、 B_A が増加するにつれて、 $r = 0$ に向けて、 $B_T(r)$ におけるピークの滑らかな進行を予測し、一方、 B_A 自身のピーク値も滑らかに増加する。Combo-PC HTSを繰り返してテストすることを通して、GFLは、YBCOバルクに対して損傷を引き起こすことなく、同じ印加された場において(すなわち、同じコイル電流 I_{EM} において)常に起こるということが見出された。そのうえ、本質的に同一の結果が、5つの同様のYBCOサンプルにおいて見られた。

10

【0046】

Beanモデルとのさらなる比較において、Combo-PC HTSの中央($r = 1.7\text{ mm}$)の近くの捕捉場のピーク値は、それを引き起こしたパルス状の印加された場 B_A と比較された。図5に図示されているように、Hallプローブ108において測定された $B_{T,MAX}$ の値は、おおよそ 2.10 T であった。したがって、表面値に対する補正の後に、Combo-PC HTSの中央($r = 1.7\text{ mm}$)に最も近いHallプローブにおける最大捕捉場は、約 2.73 T であったということが決定された。上記のように、Beanモデルは、 $B_{T,MAX}$ の能力があるTFMの活性化は、 $B_{T,MAX}$ の値の2倍の印加された磁場(B_A)を必要とするということを予測する。したがって、この活性化を実現するために必要とされる最小の印加された場のBeanモデル予測は、 5.46 T (すなわち、 $2 \times 2.73\text{ T}$)であった。しかし、この予測とは対照的に、Hallプローブ108において測定されるような活性化場 B_A は、約 2.68 であり、それは、表面値に対する補正の後には、約 2.50 T であった。したがって、Combo-PC HTSに関して、 $B_{T,MAX}$ に対する B_A の比率は、約 0.92% であると決定され、それは、実験誤差内で、Beanモデルによって予測された $2:1$ 比率よりもむしろ、 $1:1$ 比率に一致していた。

20

【0047】

上記のように、Hyperco(登録商標)50コアの存在下において、Combo-PC HTSに関する $B_{T,MAX}$ ($r = 1.7\text{ mm}$)の期待される表面値は、活性化のFC方法によって測定されるように、 77 K において約 3.13 T であった。しかし、プロタイプテストングの間の実現される表面値は、約 2.73 T であり、それは、期待される値の約 87% でしかなかった。しかし、約 3 K の温度増加が起こり、それは、捕捉場の 13% の減少に貢献したということが決定された。

30

【0048】

Chem-PC HTSに関する、に対する B_A の比率(それは、GFLを示していなかった)は、約 1.86 であると決定され、それは、実験誤差内で、Beanモデルによって予測される $2:1$ という比率と一致していた。

【0049】

また、Beanモデルに関する追加的な挙動異常が、印加された場がCombo-PC HTSを貫通した順序で見出された。Beanモデルは、バルクのさまざまな部分の電流密度がゼロまたは J_c のいずれかであることを予測する。したがって、HTSがゼロ磁場中冷却された(ZFC)で活性化される場合には、印加された場 B_A が増加するにつれて、場の貫通、および、 J_c を運ぶバルクの部分は、最初に、大きい半径 r で開始し、そして、小さい半径 r に向かって進行する。この貫通が起こるときに、 B_T のピーク値は、大きい r から $r = 0$ に向かって進行し、それが進行するにつれて増加する。図4に示されているように、この挙動は、活性化の全範囲にわたって、Chem-PC HTSに関して観察された。しかし、Combo-PC HTSに関して、GFLの後に、捕捉場における低いポイント、または磁束欠損は、 $r = 4\text{ mm}$ から $r = 6\text{ mm}$ の領域に存在しており、その欠損は、複数の印加されたパルスの後に充填することとなるということが観

40

50

察された。Beanモデルは、 r のより低い値が完全に活性化させられ得る前に、 $r \sim 5$ mmが完全に活性化させられることを必要とするので、 r の中間値におけるこの磁束欠損は、Combo-PC HTSによって示される別の異常であるということが決定された。

【0050】

そのような異常の存在は、印加されたパルス状の場の間でさらに検討され、GFLの間の磁束貫通のレートを決定した。図6および図7を参照すると、プローブアレイ108を使用して、データが、たとえば、(Chem-PC HTSおよびCombo-PC HTSの両方に関して)超伝導ディスク102を横切るさまざまな半径方向の位置 r において、時間の関数として、HTSにおける磁場 B_{HTS} について収集された。また、データは、時間の関数として、対応する印加された磁場 B_A (時間)について収集された。印加された場の測定(図3に示されている)は、YBCOの遮蔽効果から B_A を区別するためにYBCOバルクが除去された状態で行われた。図6および図7では、図3にあるようなデータを使用して、突然の場の変化「マーカー」が起こり得る時間を決定するために、 B_A (時間)は、YBCOによって測定された印加された電流(I_{EM})から適切な場所に含まれた。

10

【0051】

図6は、比較目的のために含まれており、Chem-PC HTSに関する時間検討を示しており、図7は、Combo-PC HTSに関する時間検討を示している(その中で、GFLが観察された)。図6および図7の中のそれぞれの実線は、時間の関数として、印加された磁場 B_A を示しており、一方、それぞれの図の中の他の線は、7つの異なるHallプローブ位置のそれぞれにおいて、時間の関数として、 B_{HTS} を示している。図7に図示されているように、約3 ms後に、急速な非常に大きい減少が、遮蔽場の中でおこり、印加された場が、 $r = 1.7$ mmおよび 2.85 mmの値において、HTSを急速に貫通し、また、 4.0 mmにおいても、少ないがそうであった。この貫通に必要とされる時間は、約1 msから2 msであった。同時に、 $r = 5.15$ mmにおける場は、より小さい磁束リープ(および、いくつかのサンプルでは、磁束減少)を示した。

20

【0052】

また、図7に図示されているように、HTSにおける急速な場の変化は、印加された電流(I_{EM})にも影響を与え、それから、図7に図示されている B_A が計算され、パルスのピークの直ぐ前に、印加された場の中に小さい不規則性を引き起こすということがさらに観察された。(パルスのピークの直ぐ前の)この領域における dB_A/dt の近似値は、領域 $1.7 < r < 2.85$ mmの中の誘導電界を推定するために使用され、また、この場は、 $\sim 1 \mu V/cm$ の値を大きく超え、その値において、HTSは、抵抗状態へと駆動されたということが決定された。したがって、GFLは、HTSが抵抗状態から出ていくときに、非常に短い期間に起こることが決定された。

30

【0053】

上記のように、特定の理論によって拘束されることを望まないが、GFLは、 J_c および B_T (ローレンツ力)の組み合わせによって引き起こされ、それは、大きい内部力をHTSの上に生成し、それは、HTSの1つの領域から別の領域に向けて磁束を押すということが考えられている。図8は、Combo-PC HTSを横切る半径方向の位置 r の関数として、捕捉磁場 B_T に関する結果を示しており、図8に図示されているように、中間 r 領域(約 $r = 4$ mmから約 $r = 6$ mm)の中の B_T は、GFLの直ぐ後に低くなっている。上記の理論によれば、領域 $r = 4$ mmから $r = 6$ mmの中の磁束の小さい欠損は、GFLの前の、Beanモデルが最大捕捉場および J_c の反転を予測したポイントにおいて起こることが考えられている。 J_c の反転は、ローレンツ力(F_L)の方向を反転させた。しかし、Combo-PC HTSによって、大きい F_L が、中間 r 領域から低 r 領域へ磁束を押すように現れ、それによって、磁束欠損を生成させた。したがって、Combo-PC HTSの大きい F_L は、GFLを作り出す際の要因である可能性があるということが考えられている。印加された場がGFLの閾値を超えると、磁束欠損は、

40

50

図 8 において見られるように、充填することとなる。

【実施例 2】

【0054】

上記に説明されている Combo-PC HTS サンプルと Chem-PC HTS サンプルとの間の相違に起因して、さらなる実験が、実施例 1 において使用された同じプロトタイプを使用して行われ、超伝導材料エレメントの J_c を得るために使用されるピンニングセンター (PC) 幾何学形状 (すなわち、PC のタイプおよび数) の効果をより良好に決定する。これらの実験の結果および結論は、下記に説明されている。

【0055】

GFL に対する超伝導材料エレメントの中で使用される PC の数の効果をより良好に理解するために、25 個の超伝導ディスク 102 が、さまざまな U^{235} 含有量を有するように作り出された。ディスク 102 を作り出すために使用されたサンプルの U^{235} 含有量は、それぞれのサンプルの約 0 重量 % から約 0.3 重量 % まで変化した。次いで、サンプルは、熱中性子を照射され、それは、サンプルの U^{235} 含有量に基づいて、さまざまな数のウランの核分裂を作り出し、そのそれぞれは、それぞれのサンプルの中に、破壊された柱状損傷トラックを生成させた。したがって、作り出された超伝導ディスク 102 は、PC の数について、ならびに、したがって、 J_c および B_T について、大きい変化を有していた。図 9 は、サンプルに関する U^{235} 含有量の関数として、捕捉磁場 B_T を図示するグラフを示している。

【0056】

それぞれの超伝導ディスク 102 は、GFL が起こったかどうかということを見るためにテストされ、GFL が起こった場合には、GFL がその下で起こっているさまざまな変数を学び、それは、たとえば、GFL の端部 B_{End} における閾値捕捉場、 $B_{Threshold}$ 、および、最大捕捉場を含む。上記のように、すべての測定は、約 77 K の温度で、および大気圧力において、液体窒素の中で行われた。

【0057】

図 10 は、図 1 のシステムの中の高い U^{235} 含有量を備えるディスク 102 に関して、作動パルスの 2 分後の結果として生じた捕捉場 B_T を示しており、それは、約 1.8 テスラの $B_{T,MAX}$ を示した (それは、この実験において実現された最も高い B_T であった)。図 10 は、287 アンペアから 390 アンペアに変化する電磁石電流 I_{EM} に関して、ディスク 102 を横切る半径方向の位置 r の関数として、 B_T を示している。上記のように、ディスク 102 の 2 つの変数: (1) $B_{Threshold}$ (それは、GFL の直ぐ前に実現された最も高い場である)、および (2) B_{End} (GFL の直ぐ後に実現された最も高い場である) が、とりわけ図 10 の上に記載され示された。図 11 は、時間スケールで同じディスク 102 に関するデータを示している。

【0058】

同様の様式で、図 12 および図 13 は、図 1 のシステムの中の中位の U^{235} 含有量を備えるディスク 102 に関して、結果として生じた捕捉場 B_T を示しており (それは、約 1.6 テスラの $B_{T,MAX}$ を示した)、図 14 および図 15 は、図 1 のシステムの中の低い U^{235} 含有量を備えるディスク 102 に関して、結果として生じた捕捉場 B_T を示している (それは、約 1.3 テスラの $B_{T,MAX}$ を示した)。図 10 と同様に、図 12 および図 14 は、さまざまな電磁石電流 I_{EM} に関して、それぞれのディスク 102 を横切る半径方向の位置 r の関数として、 B_T を示しており、また、図 11 と同様に、図 13 および図 15 は、時間スケールで、同じそれぞれのディスク 102 に関するデータを示している。

【0059】

図 16 に図示されているように、GFL がその下で起こっている変数をより良好に理解するために、それぞれのディスク 102 に関して、結果として生じた $B_{Threshold}$ および B_{End} が、次いで、 J_c の関数としてプロットされた。 $B_{Threshold}$ に関して、個々の実験ポイントが、上に向けられた三角形としてそれぞれ示されており、 B_{End} に関して、個々の実験ポイントが、下に向けられた三角形としてそれぞれ示されている。図 16 に示され

10

20

30

40

50

ているように、 $B_{\text{Threshold}}$ および B_{End} に関して、結果として生じたプロットは、ゆっくりと変化する J_c の関数をそれぞれ形成しており、プロット同士の間の差は、GFLの大きさを示している。換言すれば、図16の2つの線の間のギャップは、GFLの大きさ（または、GFLに起因する捕捉場の変化）を表しており、それは、予想通り、 J_c が増加するにつれて増加している。そのうえ、プロットされているデータに基づいて、GFLの大きさのおおまかな近似は、以下のように見出された。

【0060】

GFLの大きさ $2 \text{ テスラ } (J_c - 15, 000 \text{ A/cm}^2) / 35, 000 \text{ A/cm}^2$ [1]

このデータ、および、図16において2つの線によって示されている外挿された関数関係に基づいて、本発明者は、GFLが（たとえば、Combo-PC HTSなどのような）たとえば、高い U^{235} 含有量を有する、非常に高い電流のTFMに制限されず、その代わりに、約 $15, 000 \text{ A/cm}^2$ 以上の電流密度 J_c を備える任意のTFMに当てはまるということを発見した。しかし、図16の外挿された部分に示されているように、GFLは、低い電流密度（たとえば、約 $15, 000 \text{ A/cm}^2$ よりもわずかに小さい J_c ）に対して非常に小さく、したがって、 J_c がGFLの始まりに非常に近いときには、観察することが困難である。換言すれば、約 $15, 000 \text{ A/cm}^2$ において、または、約 $15, 000 \text{ A/cm}^2$ の近くで、 J_c を有する超伝導材料エレメントによって示されるGFLは、Beanモデル予測の非常にわずかな歪みしか引き起こすことにならない。

【0061】

この研究結果は、 U^{235} 含有量を有さない照射されたサンプル（非Uサンプル）からの実験データによってさらに確認された。これらのサンプルは、 U^{235} 含有量を有していなかったため、照射プロセスの間に、中性子がこれらのサンプルの原子にぶつかったときに、柱状PCのアレイは形成されなかった。しかし、たとえば、 $Y^{88} + n \rightarrow Y^{89} +$ などのような、より少ないエネルギーを放出するいくつかの他の原子核の相互作用が起こった。 Y^{89} の小さい反跳エネルギーが、小さい寸法（たとえば、典型的に、数nm）のピンニングセンター（PC）を残した。この技法によって形成されたピンニングセンターを備える超伝導材料エレメントは、本明細書で $Y^{89} - PC$ と表されている。実験によって実証されたように、 $Y^{89} - PC$ は、核分裂片によって引き起こされる破壊された柱状PC（すなわち、 $U/n - PC$ ）よりも効果的ではないが、それにもかかわらず、それらは、また、超伝導材料エレメントの J_c を増加させる。照射された非Uサンプルの中の $Y^{89} - PC$ は、たとえば、約 $11, 300 \text{ A/cm}^2$ （それは、実施例1において上記で使用された照射されていないChem-PC HTSの特性である）から約 $22, 600 \text{ A/cm}^2$ へ、サンプルの J_c を増加させた。

【0062】

したがって、上記の研究結果に基づいて、照射された非Uサンプルの J_c は、GFLが期待される領域の中に存在し、約0.7Tの期待されるGFL大きさを備える（図16を参照）。照射された非Uディスク102がテストされたとき、それらは、また、GFLを示し、約0.73Tの観察された大きさを備えており、予測された大きさからの差を備え、それは、十分に実験誤差内にある。したがって、上記の研究結果によれば、それらの特性 J_c が約 $15, 000 \text{ A/cm}^2$ を超えるとときに、照射された非U TFMは、照射されたU TFMと同様に、GFLを経験する。加えて、それらのGFLの大きさは、照射されたU TFMに関するものと実質的に同じである。したがって、GFLに必要とされる条件は、 J_c 、 B_T 、または、それらの組み合わせに依存し、必要とされる最小 J_c 、 B_T を得るために使用されるPCの性質または幾何学形状には依存しないということが結論付けられた。換言すれば、GFLは、 J_c を得るために使用されるPC幾何学形状から独立して、GFLを誘導するために必要とされる J_c および B_T の最小値（すなわち、 $J_c = 15, 000 \text{ A/cm}^2$; $B_T = 0.5 \text{ T}$ ）を満たすまたは超える、任意のTFMに関して起こることとなる。したがって、さまざまな用途に対するGFLの利益は、どんなPC幾何学形状が使用されたとしても、ローレンツ力が十分に大きい限り、享受され得るということ

10

20

30

40

50

が結論付けられた。

【0063】

しかし、GFLに必要とされる、および、図16に示されている、上記の J_c および B_T の最小値は、TFMに関連し、それは、直径が約2cmであり、0.8cm軸線方向の長さを備えており、それは、図1のシステムを使用して活性化させられるということが留意されるべきであり、また、TFMサイズおよび活性化する磁石幾何学形状の変形も結果に影響を与え得るということが留意されるべきである。そのような(約2cm直径の)TFMに関して、GFLに起因して、TFMは、約1.2Tから約6.6Tの範囲にある磁場パルスによって活性化させられるときに、約0.6Tから約6.0Tの範囲にある捕捉磁場 B_T を有することが可能であるということが見出された。しかし、上記の結果に基づいて、本発明者は、また、GFLが任意のサイズ半径 r のTFMに関して起こることとなり、 r に関するローレンツ力の導関数が、上記に説明されている実験において使用されるサンプルについての始まりにおける r に関するローレンツ力の導関数に等しいかまたはそれよりも大きいということを、モデル化されたGFLが示すように見えると考えている。

10

【0064】

要約すれば、Beanモデルによって表されるような一般に認められた理論に反して、上記の実験テストは、高い J_c および高い B_T 、ならびに強力なピンニングセンターを備える超伝導材料エレメントが、超伝導材料エレメントの最大捕捉場のものに実質的に等しい大きさを有する単一の磁場パルスによって、ピーク場の約87%(ピーク磁束の95%)まで活性化させられ得るということを実証した。さらにBeanモデルに反して、印加された場が増加させられるにつれて、ジャイアントフィールドリープ(GFL)が超伝導材料エレメントの完全に活性化させられた状態に近づいて終了するように、捕捉場が非連続的に増加したということも観察された。また、Beanモデルに反して、低いポイントが、超伝導材料エレメントの中間半径領域における活性化の間に観察された。

20

【0065】

複数のパルス活性化

また、実施例1および実施例2において使用された同じプロトタイプを使用して、実験が行われ、マルチパルス活性化の効果を決定し、たとえば、一連の非常に短い磁場パルスの活性化能力を単一の磁場パルスの活性化能力と比較した。これらの実験の結果および結論が、下記に説明されている。

30

【実施例3】

【0066】

GFLの直ぐ下の B_A の値において印加されたマルチパルスは、ジャイアントフィールドリープ(GFL)を発生させなかったということが見出された。特許文献1に開示されている現象論的法則に従って、マルチパルスは捕捉場をわずかに増加させたが、それは、GFLを誘導しなかった。したがって、GFL閾値よりも上の B_A の値におけるマルチパルスは、それがすでに最大化されていない場合には、捕捉場をわずかに増加させる可能性があるということが決定された。しかし、 $B_{T,MAX}$ を実現するためのレベルよりも上での B_A の著しい増加に関して、マルチパルスは、加熱を引き起こす可能性があり、そして、それは、特に、 r の低い値において、捕捉場をわずかに減少させる可能性がある。上記のように、加熱効果は、 $B_{T,MAX}$ の低減を結果として生じさせる可能性もある。

40

【0067】

本発明の例示的な実施形態に従って、超伝導材料の中の捕捉磁場を活性化させるための例示的な方法が、図1の実施形態を参照して、以下の説明の中で述べられている。少なくとも1つの磁場パルスが、超伝導材料エレメント102の近位に発生させられ得、超伝導材料エレメント102は、たとえば、中実の超伝導ディスクまたは他の構成の形態であることが可能である。本発明のさまざまな実施形態によれば、超伝導エレメント102の中の捕捉磁場は、少なくとも1つの磁場パルスによって発生させられる磁場を実質的に等しく、それは、少なくとも1つの磁場パルスによって活性化させられる。さまざまな例示的

50

な実施形態では、少なくとも1つの磁場パルスは、超伝導材料エレメント102をTFMへと実質的に完全に活性化させるのに十分である。したがって、上記に詳細に議論されているように、Beanモデルによって表されているような一般に認められた理論とは対照的に、さまざまな実施形態では、超伝導エレメント102の中の捕捉磁場は、超伝導エレメントの最大捕捉場のものに実質的に等しい大きさを有する単一の磁場パルスによって、ピーク場の約87%（ピーク磁束の95%）まで活性化させられ得る。

【0068】

さまざまな追加的な実施形態によれば、少なくとも1つの磁場パルスによって発生させられる磁場の大部分（たとえば、実質的にすべて）は、超伝導材料エレメント102よりも小さい物理的な横寸法を有するエリアの中に含有されている。図1のディスク形状の実施形態を参照すると、たとえば、磁場の実質的にすべては、超伝導ディスク102の直径よりも小さい直径の中にある。したがって、上記に説明されているように、少なくとも1つのパルス状の磁場は、超伝導材料エレメント102の一部分に局所化された様式で印加され、その大部分は、エレメント102の外側周囲境界の中にある。

10

【0069】

さまざまな例示的な実施形態では、超伝導材料エレメント102は、たとえば、電磁石104、106（図1を参照）などのような、電磁石源の近位に配設され得、少なくとも1つの磁場パルスが、電磁石104、106によって発生させられ得る。さまざまな実施形態では、たとえば、電磁石104、106は、（たとえば、パルスジェネレーター120および/またはコンデンサー130を介する）電流が電磁石104、106を通して流されるときに、少なくとも1つの磁場パルスを発生させることが可能である。

20

【0070】

さまざまな例示的な実施形態では、電磁石104、106は、たとえば、約10ms以下から約30ms以上の範囲にある持続期間を有する単一の磁場パルスなどのような、単一の磁場パルスを発生させることが可能である。さまざまな追加的な実施形態では、電磁石104、106は、複数の磁場パルスを発生させることが可能である。さまざまな実施形態では、たとえば、発生させられる多数の磁場パルスは、たとえば、特許文献1に開示されているように、超伝導材料エレメント102の中の捕捉磁場の予測された量に基づいて選択され得る。

【0071】

上記のように、活性化させられたTFMがその磁場を失わないように、超伝導材料エレメント102を冷温に維持するために、さまざまな実施形態では、超伝導材料エレメント102は、超伝導材料エレメント102の活性化を維持するのに十分な温度を維持するために冷却され得る。さまざまな実施形態では、たとえば、超伝導材料エレメント102は、上記に説明されているように、超伝導材料エレメント102および電磁石104、106を収容するクライオスタット110によって冷却され得、または、その温度を低減させるために大気圧力よりも下で維持された液体窒素の囲まれた体積によって冷却され得る。

30

【0072】

本明細書で開示されているようなTFMを活性化させるシステムおよび方法は、多数の用途を有しており、それは、たとえば、磁気モーターなどのような、たとえば、磁気的な駆動デバイスを含み、それは、本発明によれば、当業者がよく知っているさまざまな産業用途において使用され得る。そのような用途は、それに限定されないが、たとえば、油およびガス産業において使用されるトップドライブメカニズムなどのような、液圧ポンプ、ドリル、および、さまざまな追加的な回転駆動シャフトを含むことが可能である。図17は、本発明による磁気モーター200の1つの例示的な実施形態を図示している。図17に示されているように、モーター200は、ステーター201およびローター202を含む。ステーター201は、歯部203を有しており、歯部203は、電流を通すワイヤーによって巻かれており、それは、モーター200を駆動するためのパワーを提供するように構成されている。ローター202は、少なくとも1つのTFMアセンブリを含み、8個のTFMアセンブリ204が、図17の実施形態に示されている。図18の拡大図に

40

50

図示されているように、それぞれのTFMアッセンブリ204は、TFM206および第1の電磁石208（たとえば、スプリットコイル電磁石の第1の半分）を含み、それは、TFMを活性化させるために使用される。図17に示されているように、ステーター201は、少なくとも1つの第2の電磁石（たとえば、スプリットコイル電磁石の第2の半分）を含み、8個の電磁石205が、図17の実施形態に示されている。したがって、それぞれのTFM206を活性化させるために、それぞれの第2の電磁石205は、TFM206と整合させられ（すなわち、TFM206が電磁石205と208との間に位置決めされるようになっている）、次いで、パルスが発せられる。

【0073】

したがって、本明細書で説明されているTFMシステムを利用する磁気モーターは、コンパクトであるがロバストな磁気モーターを提供することが可能であり、それは、オンボードでのまたはインサイチュでの、TFMの活性化および/または再活性化を提供する。そのようなシステムは、たとえば、厳しい環境および/またはアクセス不可能な環境に位置付けされている産業用回転機器を動作させる際に、とりわけ有益である可能性があり、それは、たとえば、石油掘削装置の上などであり、そこでは、サイズ制約が、従来の永久磁石モーターのパワー出力を制限することが多い。しかし、当業者は、図17および図18に図示されている永久磁石モーターは、単に例示的なものであり、本明細書で開示されているTFMを活性化させるためのシステムおよび方法の1つの用途を図示することが意図されているということを理解することとなる。したがって、本発明のシステムおよび方法は、さまざまなタイプおよび/または構成の磁気モーターにおいて、ならびに、さまざま

10

20

【0074】

さまざまな例示的な実施形態が、上記に詳細に説明されてきたが、しかし、当業者は、本発明から実質的に逸脱することなく、例示的な実施形態において、多くの修正が可能であるということを容易に認識することとなる。したがって、すべてのそのような修正は、以下の特許請求の範囲において定義されているように、本発明の範囲の中に含まれることが意図されている。

30

【0075】

本明細書で示されて説明されているさまざまな実施形態は、例示的なものとして取られるべきであるということが理解されるべきである。本明細書での説明の利益を得た後の当業者にはすべて明らかになることとなるように、エレメントおよび材料、ならびに、エレメントおよび材料の配置は、本明細書で図示および説明されているものの代わりに置き換えられ得、一部分は、逆にされてもよい。本発明および以下の特許請求の範囲（それらの均等物を含む）の精神および範囲から逸脱することなく、本明細書で説明されているエレメントにおいて変更を加えることが可能である。

【0076】

当業者は、本教示の範囲から逸脱することなく、本明細書で開示されている例示的な実施形態の構成および方法論にさまざまな修正を加えることが可能であるということを認識することとなる。単なる例として、超伝導材料エレメントおよび電磁石の断面形状および相対的なサイズは、修正され得、たとえば、円形または楕円形の断面形状を含む、さまざまな断面構成が利用され得る。

40

【0077】

また、当業者は、本明細書での1つの例示的な実施形態に関して開示されているさまざまな特徴が、そのような組み合わせが本明細書で明示的に開示されていないとしても、適当な修正によって他の例示的な実施形態と組み合わせ使用され得るということを認識することとなる。

【0078】

50

本明細書および添付の特許請求の範囲の目的のために、別段の指示がない限り、量、パーセンテージ、または比率を表すすべての数、および、明細書および特許請求の範囲において使用されている他の数値は、すべての場合において、「約」という用語によって修飾されているものとして理解されるべきである。したがって、反対の指示がない限り、書面による説明および特許請求の範囲において述べられている数値パラメーターは、本発明によって得られることが求められる所望の特質に応じて変化し得る近似値である。少なくとも、および、特許請求の範囲に対する均等論の適用を限定するための試みとしてではなく、それぞれの数値パラメーターは、報告された有効数字の数に照らして、および、通常の丸め技法を適用することによって、少なくとも解釈されるべきである。

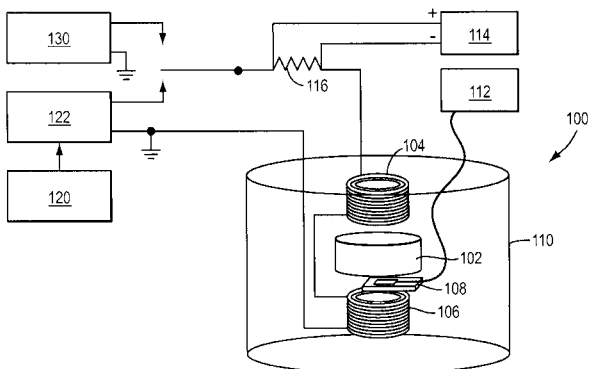
【 0 0 7 9 】

本明細書および添付の特許請求の範囲において使用されているように、単数形の「1つの(a)」、「1つの(an)」、および「その(the)」は、1つの指示対象に明示的におよび明白に限定されていなければ、複数の指示対象を含むということが留意される。本明細書で使用されているように、「を含む」という用語、および、その文法的変異は、非限定的であることが意図されており、リストの中の項目の記載が、リストに記載された項目に置き換えまたは追加され得る他の項目を排除しないようになっている。

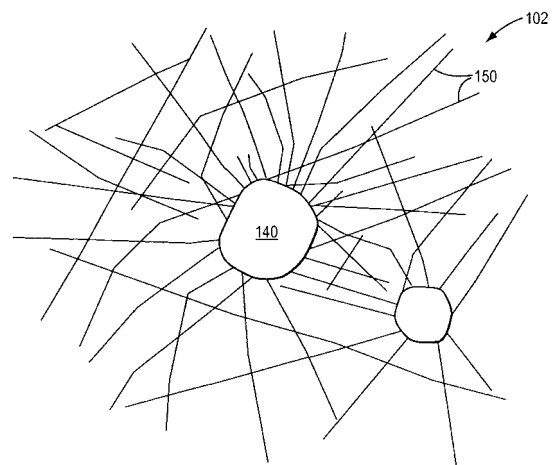
【 0 0 8 0 】

本発明および添付の特許請求の範囲の範囲から逸脱することなく、本発明のシステムおよび方法に、さまざまな修正および変形を加えることが可能であるということが当業者に明らかになることとなる。本発明の他の実施形態は、明細書の考慮事項、および、本明細書で開示されている本発明の実践から、当業者に明らかになることとなる。本明細書および例は、単なる例示的なものとして考慮されるべきであるということが意図されている。

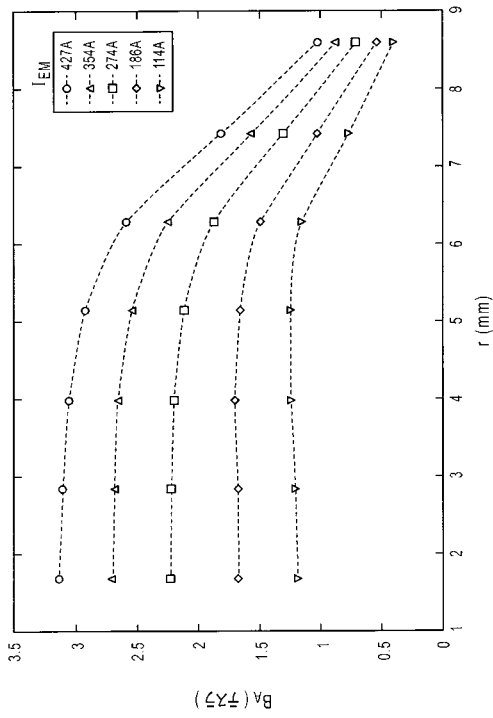
【 図 1 】



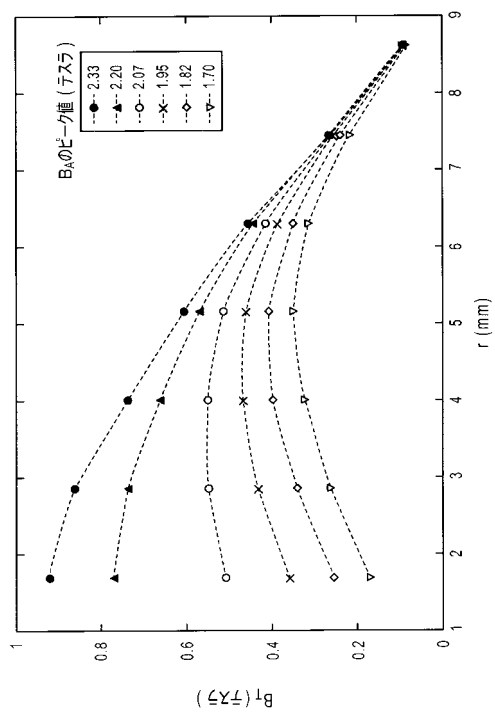
【 図 2 】



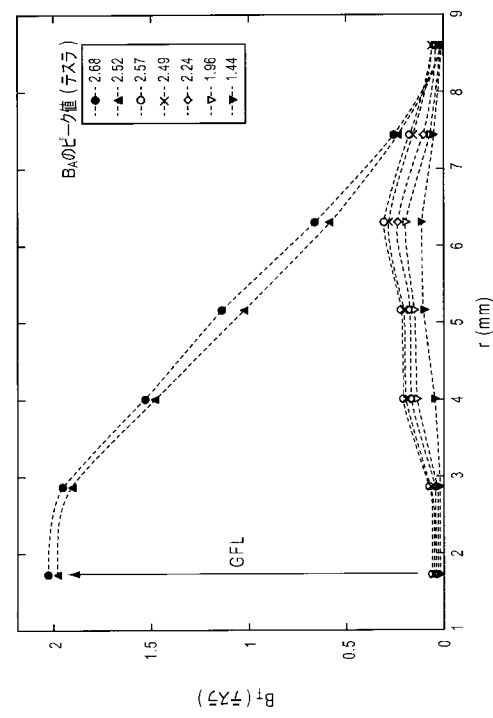
【図 3】



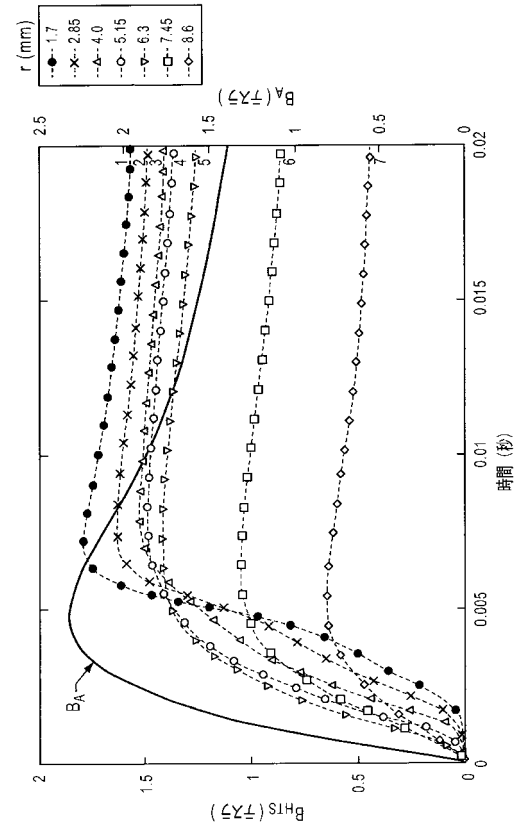
【図 4】



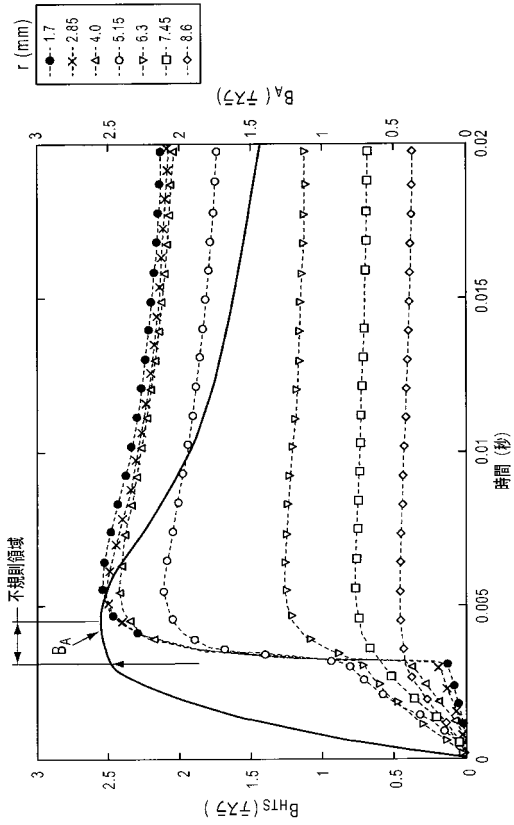
【図 5】



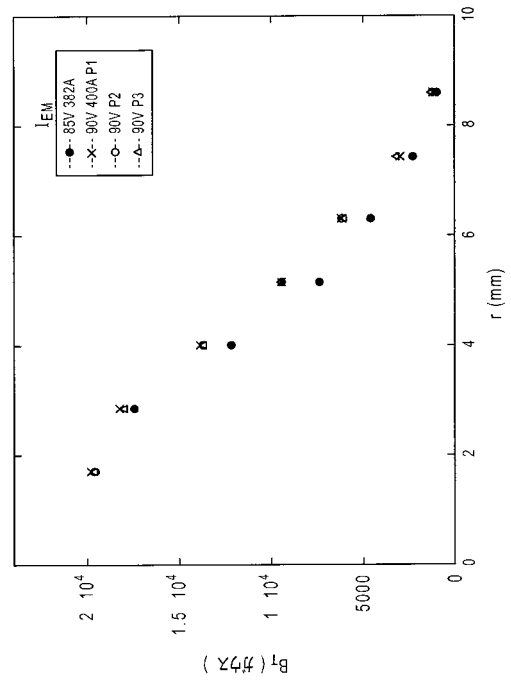
【図 6】



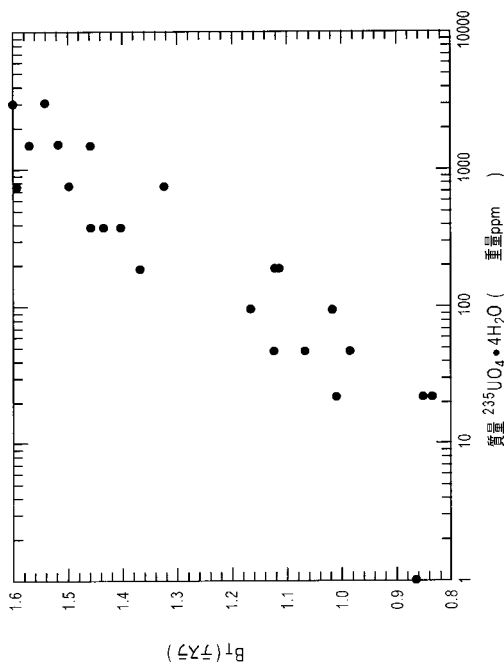
【図 7】



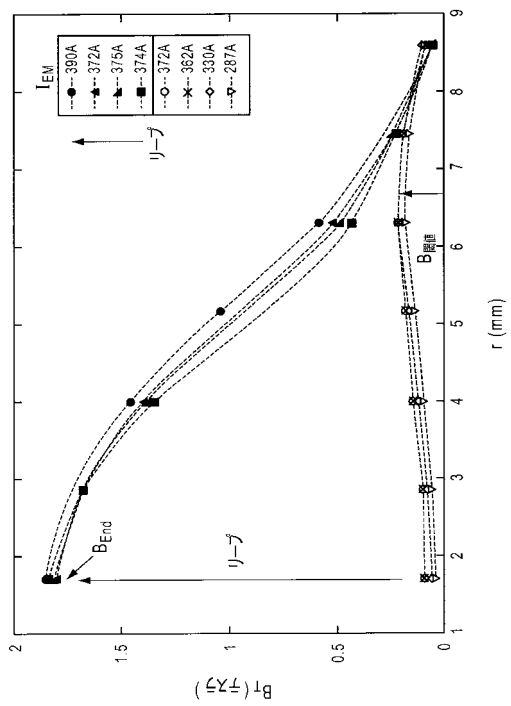
【図 8】



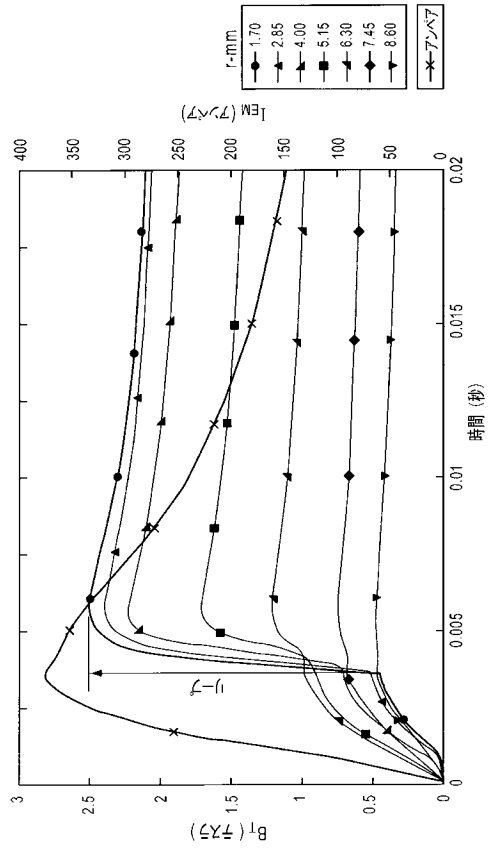
【図 9】



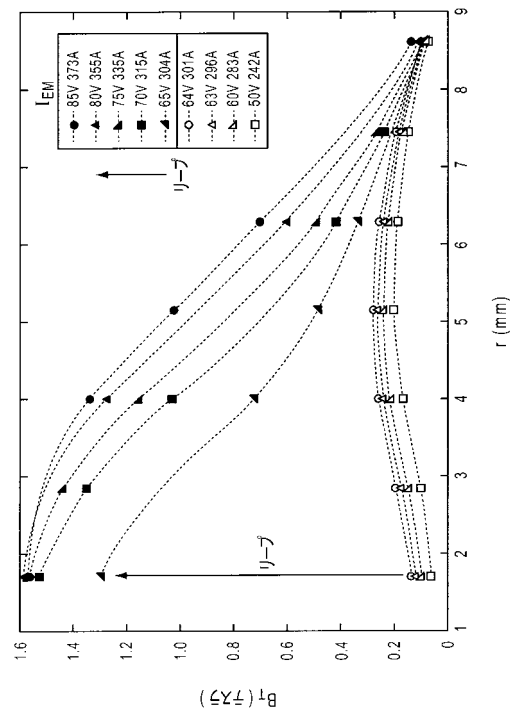
【図 10】



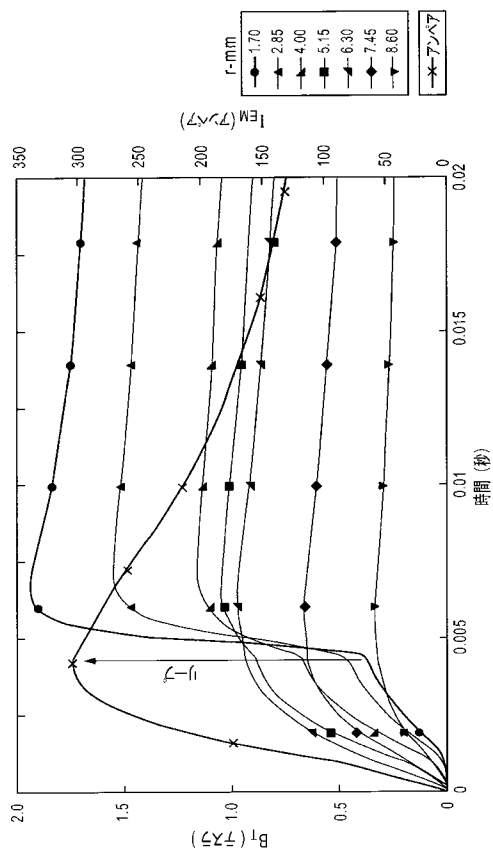
【図 1 1】



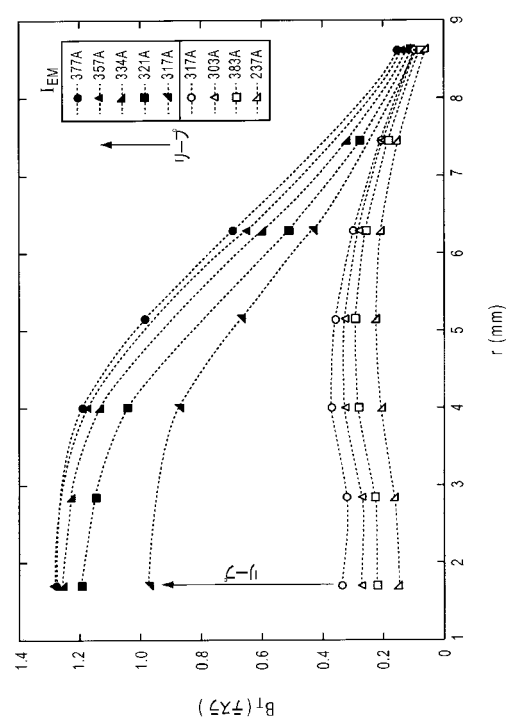
【図 1 2】



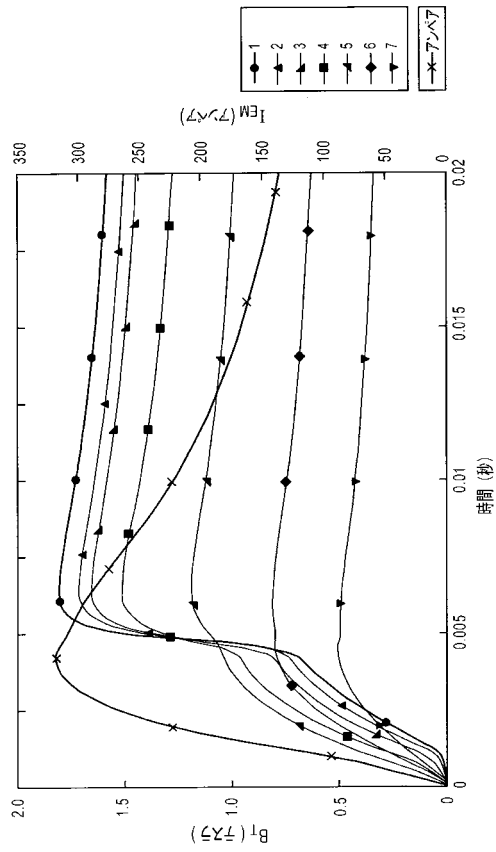
【図 1 3】



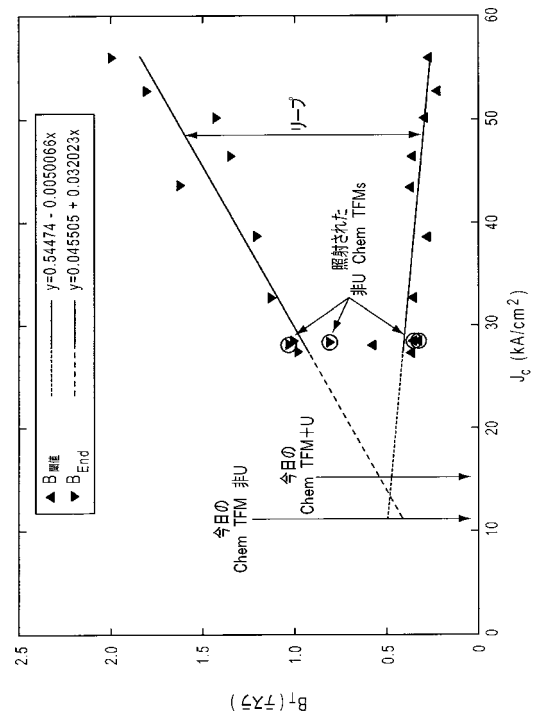
【図 1 4】



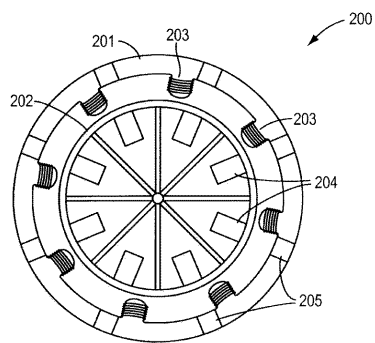
【図 15】



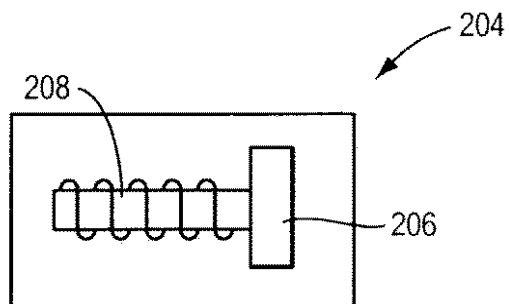
【図 16】



【図 17】



【図 18】



【国際調査報告】

PCT/US2015/012232 29.03.2016

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US 15/12232

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(8) - H01F 6/00 (2015.01) CPC - H01F 6/00, H01F 6/008, Y10S 505/879 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																	
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC(8) - H01F6/00 (2015.01) CPC - H01F6/00, H01F6/008, Y10S505/879 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched IPC(8) - H01F6/00 (2015.01) CPC - H01F6/00*, H01F6/008, Y10S505/879; USPC- 335/216, 505/211 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) PatBase, Proquest Dialog, Google Scholar, Google Patents Search terms used: superconductor, trapped, captured, magnetic, field, electromagnetic, pulse, high temperature, HTSC, YCBO, yttrium copper barium oxide, pinning, broken columnar, uranium, U235, bean model, same, identical, equal, disk, disc																	
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>US 7,028,801 B2 (YANAGI et al.) 11 April 2006 (11.04.2006), Fig 1, 13, 29a, 29b, abstract, col 1, ln 20-26, col 7, ln 37-52, col 8, ln 41-49, col 15, ln 12-32, col 21, ln 36-56</td> <td>19, 24-26</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td></td> <td>1-18, 20-23, 27-29</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>US 5,306,701 A (ISRAELSSON et al.) 28 April 1994 (26.04.1994), Fig 1-4, col 3, ln 44-53</td> <td>1-18, 22, 23</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>US 6,083,885 A (WEINSTEIN) 04 July 2000 (04.07.2000), Fig 10, 10A, abstract, col 3, ln 20-30, col 4, ln 63 - col 5, ln 37, col 10, ln 58-col 11, ln 5</td> <td>4-8, 20, 21, 27-29</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	US 7,028,801 B2 (YANAGI et al.) 11 April 2006 (11.04.2006), Fig 1, 13, 29a, 29b, abstract, col 1, ln 20-26, col 7, ln 37-52, col 8, ln 41-49, col 15, ln 12-32, col 21, ln 36-56	19, 24-26	Y		1-18, 20-23, 27-29	Y	US 5,306,701 A (ISRAELSSON et al.) 28 April 1994 (26.04.1994), Fig 1-4, col 3, ln 44-53	1-18, 22, 23	Y	US 6,083,885 A (WEINSTEIN) 04 July 2000 (04.07.2000), Fig 10, 10A, abstract, col 3, ln 20-30, col 4, ln 63 - col 5, ln 37, col 10, ln 58-col 11, ln 5	4-8, 20, 21, 27-29
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.															
X	US 7,028,801 B2 (YANAGI et al.) 11 April 2006 (11.04.2006), Fig 1, 13, 29a, 29b, abstract, col 1, ln 20-26, col 7, ln 37-52, col 8, ln 41-49, col 15, ln 12-32, col 21, ln 36-56	19, 24-26															
Y		1-18, 20-23, 27-29															
Y	US 5,306,701 A (ISRAELSSON et al.) 28 April 1994 (26.04.1994), Fig 1-4, col 3, ln 44-53	1-18, 22, 23															
Y	US 6,083,885 A (WEINSTEIN) 04 July 2000 (04.07.2000), Fig 10, 10A, abstract, col 3, ln 20-30, col 4, ln 63 - col 5, ln 37, col 10, ln 58-col 11, ln 5	4-8, 20, 21, 27-29															
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/>																	
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family																	
Date of the actual completion of the international search 30 September 2015 (30.09.2015)		Date of mailing of the international search report 29 MAR 2016															
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-8300		Authorized officer: Lee W. Young PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774															

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(72)発明者 ドリユー ポール パークス
 アメリカ合衆国 77080 テキサス州 ヒューストン ロングホーン ドライブ 1707

(72)発明者 ロイ ウェインステイン
 アメリカ合衆国 77004 テキサス州 ヒューストン フィエスタ レーン 4368

(72)発明者 ラヴィー パーサッド サウー
 アメリカ合衆国 77459 テキサス州 ミズーリ シティ エジソン ブルック レーン 2611

(72)発明者 キース カーペンター
 アメリカ合衆国 77088 テキサス州 ヒューストン メイフィールド オークス 3818