(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)公表番号
特表2024-544132
(P2024-544132A)
(43)公表日　令和6年11月28日(2024.11.28)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
H01B 12/06 (2006.01)		H01B	12/06	ZAA	5G321
H01F 6/06 (2006.01)		H01F	6/06	140	
		H01F	6/06	110	

審査請求　未請求　予備審査請求　未請求　（全20頁）

(21)出願番号　特願2024-527438(P2024-527438)
(86)(22)出願日　令和4年11月2日(2022.11.2)
(85)翻訳文提出日　令和6年6月19日(2024.6.19)
(86)国際出願番号　PCT/EP2022/080586
(87)国際公開番号　WO2023/083667
(87)国際公開日　令和5年5月19日(2023.5.19)
(31)優先権主張番号　2116337.3
(32)優先日　令和3年11月12日(2021.11.12)
(33)優先権主張国・地域又は機関
英国(GB)
(81)指定国・地域　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,
最終頁に続く

(71)出願人　512317995
トカマク エナジー リミテッド
イギリス国 オーエックス１４　４エスディー オックスフォードシャー アビンドン ミルトン ブルック ドライブ １７３
(74)代理人　100083806
弁理士　三好 秀和
(74)代理人　100111235
弁理士　原 裕子
(74)代理人　100195257
弁理士　大渕 一志
(72)発明者　ヴァン ノグテレン、 ジェロン
イギリス国 オーエックス１４　４エスディー オックスフォードシャー アビンドン ミルトン ブルック ドライブ １７３
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　高温超伝導ケーブル及びコイル

(57)【要約】
高温超伝導（ＨＴＳ）ケーブルである。ＨＴＳケーブルは、チャネル、ＨＴＳ材料及び絶縁層を含む。チャネルは、導電材料から形成され、ＨＴＳケーブルの長さに沿って延びる溝を有する。ＨＴＳ材料が溝内に位置する結果、ＨＴＳ材料が超伝導状態にあると、ＨＴＳ材料が、ケーブルに沿って超伝導電流経路を形成し、ＨＴＳ材料がチャネルに電気的に接続される。絶縁層がチャネルの表面に位置する。チャネルは複数の凹部を有し、各凹部が、導電経路及び／又は一以上の電気コンポーネントを含む電気アセンブリを含み、さらに電気アセンブリをチャネルから分離する絶縁体を含む。ＨＴＳケーブルはさらに、各凹部に対し、前記凹部内の前記電気アセンブリから前記絶縁層を横切る又は通る電気接続を与える第１電気接続部と、前記チャネルを前記凹部内の前記電気アセンブリに電気的に接続する第２電気接続部とを含み、前記凹部を通る前記第１電気接続部から前記第２電気接続部までのいずれの導電経路も、前記電気アセンブリを通過する。

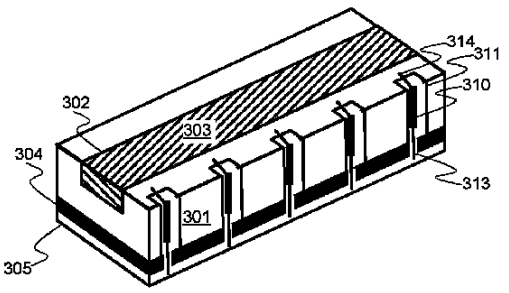


Figure 3A

【特許請求の範囲】
【請求項１】
高温超伝導（ＨＴＳ）ケーブルであって、
導電材料から形成されたチャネルであって、前記ＨＴＳケーブルの長さに沿って延びる溝を有するチャネルと、
前記溝の中に位置するＨＴＳ材料であって、前記ＨＴＳ材料が超伝導状態にあると、前記ＨＴＳ材料が、前記ケーブルに沿って超伝導電流経路を形成し、前記ＨＴＳ材料がチャネルに電気的に接続される、ＨＴＳ材料と、
前記溝が存在する表面以外の前記チャネルの表面に位置する絶縁層と、
前記絶縁層の外表面に位置する導電層であって、前記チャネルとの電気的接触をなすように前記絶縁層まわりに延びる導電層と
を含む、ＨＴＳケーブル。
【請求項２】
前記導電層は、複数の切り欠きと、前記切り欠き間の複数の電流経路とを含み、各電流経路が、前記溝が存在する前記チャネルの表面を、前記導電層の反対表面に接続する、請求項１に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項３】
高温超伝導（ＨＴＳ）ケーブルであって、
導電材料から形成されたチャネルであって、前記ＨＴＳケーブルの長さに沿って延びる溝を有するチャネルと、
前記溝の中に位置するＨＴＳ材料であって、前記ＨＴＳ材料が超伝導状態にあると、前記ＨＴＳ材料が、前記ケーブルに沿って超伝導電流経路を形成し、前記ＨＴＳ材料がチャネルに電気的に接続される、ＨＴＳ材料と、
前記チャネルの表面に位置する絶縁層と
を含み、
前記チャネルは複数の凹部を有し、各凹部が、導電経路及び／又は一以上の電気コンポーネントを含む電気アセンブリを包含し、各凹部はさらに、前記電気アセンブリを前記チャネルから分離する絶縁体を包含し、
前記ＨＴＳケーブルはさらに、各凹部に対し、
前記凹部内の前記電気アセンブリから前記絶縁層を横切る又は通る電気接続を与える第１電気接続部と、
前記チャネルを前記凹部内の前記電気アセンブリに電気的に接続する第２電気接続部と
を含み、
前記凹部を通る前記第１電気接続部から前記第２電気接続部までのいずれの導電経路も、前記電気アセンブリを通過する、ＨＴＳケーブル。
【請求項４】
前記チャネルに対向する前記絶縁層の表面に位置する導電層を含み、前記導電層は、前記第１電気接続部と電気的に接触する一以上の導電要素を含む、請求項３に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項５】
前記一以上の電気コンポーネントは、
抵抗器、
トランジスタ、
サイリスタ、
スイッチ、
圧力又は油圧作動スイッチ、
集積回路、
キャパシタ、
ダイオード、及び
バリスタ

のうちいずれか一つ以上を含む、請求項３又は４に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項６】
前記チャネルは、銅、ステンレス鋼、又はこれらの組み合わせから形成される、請求項３から５のいずれか一項に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項７】
前記凹部は、前記チャネルの長さに沿って均等に離間される、請求項３から６のいずれか一項に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項８】
隣接する凹部間の間隔が前記チャネルの長さに沿って変化する、請求項３から６のいずれか一項に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項９】
各凹部は、前記一以上の電気コンポーネントの電気的に等価な配列を包含する、請求項３から８のいずれか一項に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項１０】
前記複数の凹部は、複数のセットの凹部を含み、各セットの凹部の中で、前記セットの各凹部が、前記一以上の電気コンポーネントの電気的に等価な配列を包含する、請求項３から８のいずれか一項に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項１１】
前記凹部は、各セットの凹部の配列が前記チャネルに沿って周期的に繰り返すパターンを形成する、請求項１０に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項１２】
各電気アセンブリが一以上の能動コンポーネントを含む、請求項３から１１のいずれか一項に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項１３】
各凹部に対して制御入力を含み、前記制御入力に印加される電圧によって、前記凹部の中にある少なくとも一つの能動コンポーネントの状態の変化が引き起こされる、請求項１２に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項１４】
各凹部に対する前記制御入力が、前記チャネルから電気的に絶縁された導電経路を介して他の凹部の前記電気アセンブリに接続する、請求項１３に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項１５】
高温超伝導（ＨＴＳ）コイルであって、前記コイルの巻線を形成するように巻かれるＨＴＳケーブルを含み、前記ＨＴＳケーブルは、請求項１又は２に記載のＨＴＳケーブルである、高温超伝導（ＨＴＳ）コイル。
【請求項１６】
高温超伝導（ＨＴＳ）コイルであって、前記コイルの巻線を形成するように巻かれるＨＴＳケーブルを含み、前記ＨＴＳケーブルは、請求項３から１４のいずれか一項に記載のＨＴＳケーブルである、高温超伝導（ＨＴＳ）コイル。
【請求項１７】
高温超伝導（ＨＴＳ）コイルであって、
前記コイルの巻線を形成するように巻かれたＨＴＳケーブルを含み、
前記ＨＴＳケーブルは、
導電材料から形成されたチャネルであって、前記ＨＴＳケーブルの長さに沿って延びる溝を有するチャネルと、
前記溝の中に位置するＨＴＳ材料であって、前記ＨＴＳ材料が超伝導状態にあると、前記ＨＴＳ材料が、前記ケーブルに沿って超伝導電流経路を形成し、前記ＨＴＳ材料がチャネルに電気的に接続される、ＨＴＳ材料と、
前記チャネルの表面に位置する絶縁層と
を含み、
前記チャネルは複数の凹部を有し、各凹部が、導電経路及び／又は一以上の電気コンポー

ネントを含む電気アセンブリを包含し、各凹部はさらに、前記電気アセンブリを前記チャネルから分離する絶縁体を包含し、
前記ＨＴＳケーブルはさらに、各凹部に対し、
前記凹部内の前記電気アセンブリから前記絶縁層を横切る又は通る電気接続を与える第１電気接続部と、
前記チャネルを前記凹部内の前記電気アセンブリに電気的に接続する第２電気接続部と
を含み、
前記ＨＴＳケーブルは、最も内側又は最も外側の巻線以外の各巻線の前記第１電気接続部が、隣接巻線の前記チャネルに電気的に接続するように巻かれ、各凹部を介した各巻線から隣接巻線までのいずれの電流経路も、前記凹部内の前記電気アセンブリを通過する、ＨＴＳコイル。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は高温超伝導体に関する。詳しくは、本発明は、高温超伝導材料を含むケーブルの構築に関する。
【背景技術】
【０００２】
超伝導材料は典型的に、「高温超伝導体」（ＨＴＳ）と「低温超伝導体」（ＬＴＳ）とに分類される。Ｎｂ及びＮｂＴｉのようなＬＴＳ材料は、その超伝導がＢＣＳ理論によって記述できる金属又は金属合金である。すべての低温超伝導体は、約３０Ｋを下回る自己場臨界温度（それを上回ると外部磁場がゼロでも超伝導になり得ない温度）を有する。ＨＴＳ材料の挙動はＢＣＳ理論によっては記述されず、かかる材料は約３０Ｋを上回る自己場臨界温度を有し得る（ただし、ＨＴＳ及びＬＴＳ材料を定義するのは、自己場臨界温度ではなく、組成及び超伝導動作の物理的な違いであることに留意すべきである）。最も一般的に使用されるＨＴＳは「銅酸化物超伝導体」である。これは、ＢＳＣＣＯ又はＲｅＢＣＯ（ここでＲｅは希土類元素であり、一般にＹ又はＧｄである）のような銅酸化物（銅酸化物基を含む化合物）をベースにしたセラミックスである。他のＨＴＳ材料は、鉄ニクダイド（ｉｒｏｎ　ｐｎｉｃｔｉｄｅ）（例えばＦｅＡｓ及びＦｅＳｅ）及び二ホウ酸マグネシウム（MgB_2）を含む。
【０００３】
ＲｅＢＣＯは典型的に、図１に示される構造を有するテープとして製造される。かかるテープ１００は一般に、近似的に１００ミクロンの厚さであり、基材１０１（典型的には電解研磨されたニッケル・モリブデン合金（例えば近似的に５０ミクロンの厚さのハステロイ（登録商標））を含み、その上には、ＩＢＡＤ、マグネトロンスパッタリング、又は他の適切な技法によって、近似的な厚さが０．２ミクロンのバッファスタック１０２として知られる一連のバッファ層が堆積される。エピタキシャルＲｅＢＣＯ・ＨＴＳ層１０３（金属酸化物化学蒸着（ＭＯＣＶＤ）又は他の適切な技法によって堆積される）が、バッファスタックに重なり、典型的には１ミクロンの厚さである。１～２ミクロンの銀層１０４が、スパッタリング又は他の適切な技法によってＨＴＳ層上に堆積され、銅スタビライザ層１０５が、電気メッキ又は他の適切な技法によってテープ上に堆積され、多くの場合、テープは完全にカプセル化される。銀層１０４及び銅スタビライザ層１０５は、テープ１００及び基材１０１の側面にも堆積されるので、これらの層が、テープ１００まわりに連続的に延びることにより、テープ１００のいずれかの面からＲｅＢＣＯ・ＨＴＳ層１０３への電気接続がなされることが許容される。したがって、これらの層１０４、１０５は、「クラッディング」とも称される。典型的に、銀クラッディングは、テープの両側面及び両エッジの双方において、ほぼ１～２ミクロンの均一な厚さを有する。ＨＴＳ層１０３と銅層１０５との間に銀層１０４を設けることにより、銅によるＨＴＳ材料の汚染をもたらし得るＨＴＳ材料が銅と接触することが防止される。テープ１００の両側面上にある銀層１０４及び銅スタビライザ層１０５の複数部分は、明確性を目的として図１に示され

ていない。図１はまた、通常の場合のように、基材１０１の下に延びる銀層１０４も示していない。銀層１０４は、ＲｅＢＣＯ層１０３に対する低抵抗の電気的インターフェースをなし、ＲｅＢＣＯ層１０３まわりの気密保護シールをなす一方、銅層１０５は、テープへの外部接続を可能にし（例えば、はんだ付けを許容し）、電気的安定化のための平行導電経路を与える。

【０００４】

加えて、「剥離された」ＨＴＳテープを製造することができる。これは、基材及びバッファスタックを欠くが、典型的には銀の「周囲コーティング」、すなわちＨＴＳ層の両側面及び両エッジにおける層、を有する。基材を有するテープは、「基材付き」ＨＴＳテープと称される。

【０００５】

ＨＴＳケーブルは、導電材料（通常は銅）を介して長さにその沿って接続された一以上のＨＴＳテープを含む。ＨＴＳテープは、積層されて（すなわち、ＨＴＳ層が平行になるように配列されて）よく、又はケーブルの長さに沿って変わり得る他のテープ配列を有してよい。ＨＴＳケーブルの注目すべき特別なケースは、単一のＨＴＳテープ、及びＨＴＳペアである。ＨＴＳペアは、ＨＴＳ層が平行となるように配列されたＨＴＳテープの一ペアを含む。基材付きテープが使用される場合、ＨＴＳペアは、タイプ０（ＨＴＳ層が互いに対向する）、タイプ１（一方のテープのＨＴＳ層が他方のテープの基材に対向する）、又はタイプ２（基材が互いに対向する）となり得る。２つを超えるテープを含むケーブルは、当該テープの一部又はすべてをＨＴＳペアに配列することができる。積層されたＨＴＳテープは、ＨＴＳペアの様々な配列を含んでよく、最も一般的には、タイプ１ペアの積層、又はタイプ０ペア（又は同等にタイプ２ペア）の積層のいずれを含んでよい。ＨＴＳケーブルは、基材付きテープと剥離されたテープの混合を含み得る。

【０００６】

超伝導磁石は、複数のＨＴＳケーブル（又は、この記載の目的上、単一テープのケーブルとして扱い得る個別のＨＴＳテープ）を、ＨＴＳケーブルを巻き取ること、又はＨＴＳケーブルから作られたコイルのセクションを設けてこれらを一緒に結合することのいずれかにより、コイルに配列することによって形成される。ＨＴＳコイルは、以下の３つの広範なクラスに分類される。

・絶縁され、巻線間に電気絶縁材料を有する（その結果、電流はＨＴＳケーブルを通る「らせん経路」にのみ流れ得る）。

・非絶縁であり、巻線は、ケーブルに沿ってだけでなく、径方向に電気的に接続されている。

・部分的に絶縁され、巻線は、（例えば銅と比較して）高抵抗の材料を使用すること、又はコイル間に断続的な絶縁を設けることのいずれかにより、制御された抵抗に径方向に接続されている。

【０００７】

非絶縁のコイルはまた、部分的に絶縁されたコイルの低抵抗の場合とみなされ得る。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００８】

【特許文献１】国際公開第２０２１／１７８６９７号

【特許文献２】中国特許出願公開第１０３７９４２９７号明細書

【特許文献３】国際公開第２０１９／１５０１２３号

【特許文献４】中国特許出願公開第１１０８２８０５８号明細書

【発明の概要】

【０００９】

第１側面によれば、高温超伝導（ＨＴＳ）ケーブルが与えられる。ＨＴＳケーブルは、チャネル、ＨＴＳ材料及び絶縁層を含む。チャネルは、導電材料から形成され、ＨＴＳケーブルの長さに沿って延びる溝を有する。ＨＴＳ材料が溝内に位置する結果、ＨＴＳ材料

が超伝導状態にあると、ＨＴＳ材料が、ケーブルに沿って超伝導電流経路を形成し、ＨＴＳ材料がチャネルに電気的に接続される。絶縁層がチャネルの表面に位置する。チャネルは複数の凹部を有し、各凹部が、導電経路及び／又は一以上の電気コンポーネントを含む電気アセンブリを含み、さらに電気アセンブリをチャネルから分離する絶縁体を含む。ＨＴＳケーブルはさらに、各凹部に対し、
凹部内の電気アセンブリから絶縁層を横切る又は通る電気接続を与える第１電気接続部と、
チャネルを凹部内の電気アセンブリに電気的に接続する第２電気接続部と
を含み、
凹部を通る第１電気接続部から第２電気接続部までのいずれの導電経路も、電気アセンブリを通過する。

【００１０】

第２側面によれば、高温超伝導ケーブルが与えられる。ＨＴＳケーブルは、チャネル、ＨＴＳ材料、絶縁層及び導電層を含む。チャネルは、導電材料から形成され、ＨＴＳケーブルの長さに沿って延びる溝を有する。ＨＴＳ材料が溝内に位置する結果、ＨＴＳ材料が超伝導状態にあると、ＨＴＳ材料が、ケーブルに沿って超伝導電流経路を形成し、ＨＴＳ材料がチャネルに電気的に接続される。絶縁層は、溝が存在する表面以外のチャネルの表面に位置する。導電層は、絶縁層の外表面に位置し、チャネルとの電気的接触をなすように絶縁層まわりに延びる。

【００１１】

第３側面によれば、高温超伝導（ＨＴＳ）コイルが与えられ、これは、コイルの巻線を形成するべく巻かれたＨＴＳケーブルを含む。ＨＴＳケーブルは、チャネル、ＨＴＳ材料及び絶縁層を含む。チャネルは、導電材料から形成され、ＨＴＳケーブルの長さに沿って延びる溝を有する。ＨＴＳ材料が溝内に位置する結果、ＨＴＳ材料が超伝導状態にあると、ＨＴＳ材料が、ケーブルに沿って超伝導電流経路を形成し、ＨＴＳ材料がチャネルに電気的に接続される。絶縁層がチャネルの表面に位置する。チャネルは複数の凹部を有し、各凹部が、導電経路及び／又は一以上の電気コンポーネントを含む電気アセンブリを含み、さらに電気アセンブリをチャネルから分離する絶縁体を含む。ＨＴＳケーブルはさらに、各凹部に対し、
凹部内の電気アセンブリから絶縁層を横切る又は通る電気接続を与える第１電気接続部と、
チャネルを凹部内の電気アセンブリに電気的に接続する第２電気接続部と
を含み、
ＨＴＳケーブルは、最も内側又は最も外側の巻線以外の各巻線の第１電気接続部が、隣接巻線のチャネルに電気的に接続するように巻かれ、各凹部を介した各巻線から隣接巻線までのいずれの電流経路も、凹部内の電気アセンブリを通過する。

【００１２】

第３側面のＨＴＳケーブルは、第１側面のＨＴＳケーブルとしてよい。

【００１３】

さらなる実施形態は、請求項２以下に記載される。

【図面の簡単な説明】

【００１４】

【図１】ＨＴＳケーブルの図である。
【図２Ａ－２Ｂ】図２Ａ及び図２Ｂは、チャネルを含むＨＴＳケーブルを示す。
【図３Ａ】例示的なＨＴＳケーブルを示す。
【図３Ｂ】図３Ａのケーブルから形成されたＨＴＳコイルの巻線間の電流を示す。
【図４】図３Ａと同等のケーブルに対する代替構造を示す。
【図５】さらなる例示的なＨＴＳケーブルを示す。
【図６Ａ－６Ｃ】図６Ａから図６Ｃは、図５に示されるもののようなケーブルにおいて使用される例示的な電気アセンブリを示す。

【図７】なおもさらなる例示的なＨＴＳケーブルの断面である。
【図８】図７に係るケーブルの２つの可能な側面図を示す。
【発明を実施するための形態】
【００１５】
図２Ａ及び図２ＢはＨＴＳケーブルを示す。図２Ａは等角図であり、図２Ｂは端面断面である。ＨＴＳケーブルの短いセクションのみが示されており、このセクションは、図２Ａの矢印で示される方向に任意の長さで延び得る。ＨＴＳケーブルはチャネル２０１を含む。チャネル２０１は、例えば図２Ｂに示されるＵ字形断面を有するように、その長さに沿って溝２０２を有する細長い導電要素である。ＨＴＳ材料２０３は、チャネル内、すなわち溝内、に配置される。チャネルは、任意の導電材料、例えば任意の金属又は金属合金（例：強度の高い銅又は高銅合金、真ちゅう、ステンレス鋼、アルミニウム、随意的にはんだ付けを補助する電気メッキがされたもの）、導電複合材料若しくはセラミック材料、又はチャネルの異なる領域で異なる材料を使用する等によるこれらの組み合わせ、から形成されてよい。
【００１６】
ＨＴＳ材料は、図１を参照して記載されたＨＴＳテープであってよく、テープ積層として又は複雑な配列で、配列されてよい。チャネル内にＨＴＳ材料を固定するべく、導電接合剤、例えばハンダ、導電材料を含浸させた樹脂、又は同様のものが使用されてよい。
【００１７】
チャネルの導電材料は、ケーブルのＨＴＳ材料間で、又は、非絶縁若しくは部分絶縁構成で使用される場合は界磁コイルのケーブル間で、電流を共有するための低抵抗の代替電流経路を与える。加えて、チャネルは、ＨＴＳと密接に熱接触した状態で有意な熱質量を与えるので、ＨＴＳ材料が抵抗性になることによって引き起こされる加熱を緩和するのに役立つ。
【００１８】
チャネルはまた、コイルパック内の電磁応力に抵抗する構造的補強を与えるべく、ステンレス鋼のような高強度材料を含んでよい。チャネルはまた、高強度材料の一般に低い熱伝導率を補償するべく、銅のような高熱伝導率材料を含んでよい。
【００１９】
図２Ａ及び図２Ｂのケーブル配列は、非絶縁のＨＴＳ界磁コイルを巻くために直接使用してよく、又は巻線間の制御された抵抗によって部分的に絶縁されたＨＴＳ界磁コイルへのケーブル（例えば、国際公開第２０１９／１５０１２３号に開示された部分的絶縁層）間の追加層と一緒に使用してよい。しかしながら、かかる部分的絶縁層は、比較的かさ張ることがあり、比較的厚いチャネルとの組み合わせにおいて、所望の電流密度よりも低い電流密度をもたらし得る。
【００２０】
よって、ここに提案される構造は、一体化された要素を有するＨＴＳケーブルを与え、その結果、巻かれたときに、かかる要素の設計により容易に制御可能な抵抗によって部分的に絶縁されたコイルが得られる。加えて、同様の設計により、任意の所望の回路又はコンポーネントをＨＴＳケーブルと一体化することも許容される。
【００２１】
図３Ａは、ＨＴＳケーブルが巻かれたときに得られるＨＴＳコイルの巻線を接続する一体化された抵抗器を有するＨＴＳケーブルを示す。ＨＴＳケーブルは、その長さに沿って溝３０２を有する導電チャネル３０１を含む。ＨＴＳ材料３０３は、上述のように溝内に位置する。ＨＴＳケーブルはさらに、チャネルの下面にある絶縁層３０４（すなわち、ＨＴＳケーブルが巻かれてコイルになるときにＨＴＳケーブルとＨＴＳケーブルの他の巻線との間に存在するもののような）と、絶縁層の下面にある導電層３０５とを含む。絶縁層は、特に明記されない限り、チャネルの下面を覆う。導電層は、絶縁層のすべてを覆ってよく、その一部のみを覆ってもよい。
【００２２】

ＨＴＳケーブルはさらに、ＨＴＳケーブルの側面の凹部３１１に位置する複数の抵抗器３１０を含む。各抵抗器３１０は、凹部内の絶縁によってＨＴＳケーブルから電気的に絶縁され、絶縁層３０４を貫通して導電層３０５に電気的に接続する第１接続部３１３と、導電チャネル３０１に電気的に接続する第２接続部３１４とを有する。

【００２３】

図３Ｂは、第１巻線３２０と第２巻線３３０との間の径方向電流の流れを、各巻線においてＨＴＳケーブルの凹部と整列する断面に対して示す（ただし、凹部は巻線間で整合する必要がないことに留意されたい）。第１巻線及び第２巻線の個別のコンポーネントに対する参照番号は図３Ａのものと同等であるが、第１巻線のコンポーネントに対しては接尾辞「ａ」を付け、第２巻線のコンポーネントに対しては接尾辞「ｂ」を付ける。ＨＴＳケーブルが巻かれてＨＴＳコイルを形成するとき、第１巻線３２０のケーブルは、第２巻線３３０のケーブルの下にあり、その結果、第２巻線の導電層３０５ｂは、第１巻線のチャネル３０１ａの上面と電気的に接触する。（第１巻線から第２巻線に流れる電流が点線矢印３５０で示される）巻線間の電気接続は、第２巻線の抵抗器３１０ｂを介して径方向に生じる。すなわち、

・第１巻線のＨＴＳ材料３０３ａから、
・第１巻線のチャネル３０１ａを通り、
・第２巻線の導電層３０５ｂを通り、
・接続部３１３ｂを介して第２巻線の抵抗器３１０ｂを通り、
・接続部３１４ｂを介して第２巻線のチャネル３０１ｂを通り、
・第２巻線のＨＴＳ材料３０３ｂに至る。

【００２４】

留意すべきことだが、図３Ｂが２つの巻線のみを示す一方、ＨＴＳコイルは任意数の巻線を含んでよい。さらに、ＨＴＳコイルは単一のＨＴＳケーブルから巻かれ得るので、チャネル３０１ａ及び３０１ｂは単一のチャネル３０１の異なるセクションであってよく、絶縁層３０４ａ／ｂ、導電層３０５ａ／ｂ、及びＨＴＳ材料３０３ａ／ｂに対しても同様である。

【００２５】

これにより、ケーブルを設計するときに、抵抗器の抵抗を適宜選択することによって、巻線間の接続抵抗を容易に調整することができる。チャネルの導電材料及び接合剤からの、並びに例えばＨＴＳテープの非超電導コンポーネントからの、抵抗への追加の寄与が存在するが、これらは計算又は実験により容易に決定されて設計に織り込まれ得る。

【００２６】

図４に示される代替例として、絶縁層４０４をチャネル４０１の上面に設けてよい。すなわち、ＨＴＳ材料４０３を包含する溝４０２が絶縁層４０４によって覆われる。導電層４０５はこの場合、絶縁層４０４の上面に設けられ、抵抗器４１０は、絶縁層を貫通して上方に延びる一方の接続部４１３と、チャネルに接続する他方の接続部４１４とを有する。絶縁層及び導電層のこの代替的な配列は、これらの例に対して具体的な図示がなくても、本開示に提示されるすべての例に対して可能であることがわかる。

【００２７】

加えて、導電層３０５／４０５は省略してよく、絶縁層を貫通する電気接続部３１３／４１３は、絶縁層の反対側に配置されるコンポーネントへの接続を目的として、絶縁層の表面で終端してよい。さらに、接続部３１３／４１３は、絶縁層を貫通するのではなく、絶縁層まわりに延びても、又は絶縁層にわたって延びてもよい。

【００２８】

上記の例は、チャネルに一体化された抵抗器を使用する簡単な例を示したが、同じ原理を任意の電気コンポーネントに適用することができる。図５は、この原理の一般的な実施形態を示す。ＨＴＳケーブルは、以前の例と同様に、チャネル５０１、溝５０２、ＨＴＳ材料５０３、絶縁層５０４及び導電層５０５を含む。ＨＴＳケーブルはさらに、電子コンポーネントの複数のアセンブリ５１０を含み、これらは、チャネル５０１の側面の凹部５

１１内に位置し、後述される場合を除き、絶縁体（図示せず）によってチャネル５０１から絶縁される。

【００２９】

図３Ｂに示される抵抗器３１０の場合と同様に、図５のＨＴＳケーブルから巻かれたＨＴＳコイルの巻線間を径方向に流れる電流は、電子コンポーネントのアセンブリ５１０を介して流れる。

【００３０】

アセンブリは、絶縁層５０４を通って導電層５０５に至る一以上の電気接続部５１３を有する。アセンブリはまた、チャネル５０１及び／又はＨＴＳ材料５０３までの一以上の電気接続部５１４を有する。ここで、電気接続部５１３から流れる電流は、電気接続部５１４を通って流れる前にアセンブリ５１０の少なくとも一つのコンポーネントを通過し、又は電気接続部５１４から流れる電流は、電気接続部５１３を通って流れる前にアセンブリ５１０の少なくとも一つのコンポーネントを通過する。アセンブリは、例えば巻線間の電圧、温度又は圧力のような、コイルパック内の局所的条件の変化に反応するダイオード又はバリスタのような受動デバイスを包含してよい。これにより、コンポーネントは、クエンチにつながり得る故障状態に応答して電気抵抗を変化させることができる。代替的に、アセンブリは、外部電圧によって制御される半導体（電界効果トランジスタ）スイッチのような能動コンポーネントを含んでよい。この場合、アセンブリは、これらのコンポーネントに対する入力を受けるためのさらなる単数又は複数の電気接続部５１５を含んでよい。アセンブリが、他の手段（例えば油圧又は圧力作動スイッチ）によって作動される能動コンポーネントを含む場合、アセンブリは、これらの作動手段のための適切な入力を含んでよい。圧力スイッチ及び同様のデバイスは、順方向電圧を有しない点で、ダイオード又は能動半導体スイッチよりも優れている。圧力スイッチは、ガス圧の変化によって外部で動作させることができ、又はスイッチ内部の圧力チャンバを密閉することによって、温度変化によって内部でガス圧を発生させることができる。

【００３１】

可変抵抗を有するコンポーネントにより、コイルを高い又は低い巻線間抵抗で動作させることができる。これは有利なことに、コイルを迅速に通電させ（コンポーネントは高抵抗を有し、電流の変化によって巻線にわたって発生する誘導電圧によって巻線間で駆動される電流を最小にする）、その後、低い巻線間抵抗の状態に切り替え、巻線内電流が安定しているときの外乱に対してコイルを安定させることができる。

【００３２】

またも有利なことに、巻線間抵抗をリアルタイムで調整することもできる。例えば、クエンチ、又はクエンチを引き起こしそうな状態、を検出した後に磁石からエネルギーを迅速にダンピングする場合、巻線間の抵抗が高ければ高いほど、外部ダンピング抵抗まで駆動される減衰電流の割合が大きくなり、コイルパックへとダンピングされる磁石エネルギーの量が低減され、ひいては端子コイル温度が低下するので、コイル構造の異なる部分の急速な熱膨張によって引き起こされる過渡応力を回避することができる。

【００３３】

アセンブリ５１０は、ＨＴＳケーブルが巻かれたときにＨＴＳコイルの巻線間の径方向における所要の電気的相互作用を達成するべく、任意の所望のコンポーネントを含み得る。例えば、アセンブリは、抵抗器、ダイオード、バリスタ、サーミスタ、及び、酸化バナジウム又は他の化合物を包含するカートリッジ、トランジスタ（例えばＭＯＳＦＥＴ）、サイリスタ、キャパシタ、スイッチ（例えば油圧若しくは圧力作動スイッチ）、超伝導要素（例えばＨＴＳ材料よりも温度変化に対する感度が高い超電導要素）、上記コンポーネントの組み合わせを含む回路又は集積回路等の他の温度依存抵抗器を含み得る。一つの可能な回路又は集積回路は、高抵抗状態から低抵抗状態への変化のトリガを可能にするスイッチ（例えばトランジスタ又はサイリスタ）のゲート電圧に接続されたＲＣフィルタである。他の回路設計ももちろん可能である。さらなる例として、各電気アセンブリは、導電経路、例えば、抵抗器として作用するように所要の抵抗を与えるべく材料、断面積及び長

さが選択された導電経路、を含んでよい。直線でない電流経路を設けることによって、凹部のいずれの寸法よりも長い長さを有する電流経路を達成してよい。

【００３４】

複数のアセンブリが、ＨＴＳケーブルに沿って、それぞれの凹部に配置される。これらのアセンブリは、例えば、アセンブリ内のスイッチングのコーディネートされた制御を許容するべく、互いに電気的に接続されてよい。これらのアセンブリ同士の間隔は、ＨＴＳケーブルの所要のバルク電気特性によって決定される。すなわち、抵抗アセンブリの場合、凹部間の間隔が大きければ大きいほど、ＨＴＳケーブル全体の単位長さ当たりの平均抵抗が大きくなる。凹部同士の間隔は、ＨＴＳケーブルに沿って変化してよく、例えば、ケーブルが巻かれたときに、コイルの異なる円弧に沿って可変の巻線間抵抗を有するＨＴＳコイルを与えるようにしてよい。アセンブリは、その構造的な又は電気的な特性を変化させてよい。例えば、異なるアセンブリで異なる抵抗を有してよく、又は繰り返しパターンで数種類のアセンブリを交互に使用してよい。

【００３５】

アセンブリは、溝のいずれかの側面のチャネルの材料の中に、構造的に妥協することなく適合することが要求されるが、溝のいずれかの側面のチャネルの材料の幅は、一般に３ｍｍから１５ｍｍの間であり、チャネル材料の高さは、一般に３ｍｍから２５ｍｍの間である。これにより、かかるコンポーネントの小型化を前提として、電気コンポーネントのための十分な空間が許容される。

【００３６】

いくつかの例示的なアセンブリが、図６Ａから図６Ｃに回路図として示される。それぞれの場合において、上側レール６０１はチャネルへの接続を表し、下側レール６０２は絶縁層を介した接続を表す。

【００３７】

図６Ａは、図３Ａに示される例を表す。ここで、凹部内の電気コンポーネントは抵抗器６１１である。これにより、凹部ごとに固定された抵抗が得られ、巻かれてＨＴＳコイルになったときのＨＴＳケーブルの単位長さごとの巻線間抵抗は、抵抗器６１１の抵抗又は凹部の間隔を変化させることによって制御することができる。

【００３８】

図６Ｂは、凹部において直列に接続された抵抗器６３１及びダイオード６３２を有する一例を示す。これは、ダイオードの抵抗及びダイオードとの電気接続が十分であれば、抵抗器なしで実装することもできる。ダイオードは、抵抗器を通る電流の流れを、その順方向電圧を下回る単一方向のみに制限する。この電圧は、複数のダイオードを直列に配置することによって増加させることができる。背中合わせのダイオードのペアは、どちらの方向にも電流を流すことができるようにこの着想を拡張する。この原理の拡張として、かかるアセンブリの２つのセットを設けてよい。ここで、第１セットは、電流がコイルを通って径方向外側に流れることを許容し、第２セットは、電流が径方向内側に流れることを許容し、各方向の抵抗の独立した制御を許容する。

【００３９】

図６Ｃは、直列に接続された抵抗６３１およびＭＯＳＦＥＴトランジスタ６３２を有する一例を示す。ＭＯＳＦＥＴのゲートが制御入力６３３に接続される。制御入力は、外部コントローラに接続されてよい。これにより、ＨＴＳケーブルから巻かれたＨＴＳコイルにおける径方向電流の流れを電子的に制御することができ、例えば、ＨＴＳコイルが、ランプ時に絶縁コイルと同様に動作する（その結果ランプ時間が低減される）ことが許容され、動作時に部分的に絶縁されたコイルとして動作する（その結果クエンチに対する抵抗が増加する）ことが許容される。

【００４０】

一般に、電子コンポーネントのアセンブリが、印加電圧に起因して状態が変化するトランジスタ又は他のコンポーネントのような能動コンポーネントを含む場合、制御入力が含まれ得る。この制御入力は、外部コントローラに接続してよく、又は、ＨＴＳケーブルに

沿った制御入力の伝播を許容するべく、他の凹部にある電子コンポーネントに接続してよい。

【００４１】

上記の例示的なＨＴＳケーブルが巻かれてコイルになると、導電層３０５／４０５／５０５（又は導電層が存在しない場合は電気接続部３１３／４１３／５１３）が、チャネル３０１／４０１／５０１の反対側の表面と接触する。　よって、電流は、チャネルにある凹部の中の電気コンポーネント３１０／４１０／５１０を介して、得られたＨＴＳコイルの巻線間を径方向に流れることができる。

【００４２】

巻線間の絶縁層はまた、すべての巻線にわたって電圧の非誘導成分を得るためのセンスワイヤとして作用するセンスワイヤを包含する可撓性プリント回路基板として構成してよい。これは、コイル内の電流が変化しているときに、コイルにわたる始点終点間電圧（誘導成分と非誘導成分のベクトル和である）から、開回路センスにわたって発生する誘導電圧を減算することによって行われる。

【００４３】

図は、ケーブルの片側の凹部のみを示すが、これは例示のみを目的としており、凹部は、ケーブルの両側に配置されてもよいことが理解されるべきである。加えて、説明が「上側」又は「下側」表面に言及されている場合、又は任意の特定の配向を意味する場合、これは説明における理解を容易にするためであり、ＨＴＳケーブルは、任意の配向で設けられてよいこと（実際のところ、絶対配向が実用上特に意味を持たないようなコイルに巻かれるのが一般的である）が理解されるべきである。同様に、図は、チャネルの全高に延びる直線状の側面を有する凹部を示すが、凹部は、その中の所要の電気コンポーネントに適合する任意のサイズであってよく、チャネルへの電気接続及びチャネルからの絶縁に関する制限が満たされる場合には、チャネルの高さの一部のみに延びてもよいことが理解されるべきである。一般に、図は、実際の物理的装置の忠実な表現ではなく、特定の概念を強調するために設計された模式的な図とみなされるべきである。図面では、特定の材料（すなわちＨＴＳ材料及び絶縁体）を区別するためにいくつかのクロスハッチング及びブロック充填が使用されているが、別段の記載がない限り、所定の要素に対するクロスハッチング及びブロック充填の有無は、当該要素が、クロスハッチング又はブロック充填の有無が同じである他の要素と同じ材料で形成されていることを意味するわけではない。特に、チャネル及び単数又は複数の導電層は、異なる導電性材料から形成されてよい。

【００４４】

図７は、ＨＴＳケーブルの代替構造の断面を示す。以前の例と同様に、ＨＴＳケーブルは、チャネル７０１、溝７０２、及び溝内のＨＴＳ材料７０３を含む。ＨＴＳケーブルはさらに、チャネルの底部及び側部を覆う絶縁層７０４と、絶縁層７０４を覆ってチャネル７０１の頂部まで延びる導電層７０５（例えば、銅若しくはステンレス鋼、又はその双方の要素）とを含む。

【００４５】

この設計は、巻かれると、導電層７０５を介して巻線間で電流を流すことを許容し、抵抗は当該層の厚さおよび材料に依存する。図８は、図７による例示的な構造の側面図である。抵抗をさらに制御するべく、導電層７０５はその側面に、完全な導電層によって得られるよりも大きな抵抗を有する一セットの電流経路８０２を生成するように、複数の切り欠き８０１を有してよい。これらの切り欠きは、図の左側に示されるように導電経路の幅を制限してよく、又は、右側に示されるように、複雑な導電経路を画定して、直線導電経路で可能であるよりも長い長さの導電経路（したがって抵抗）を許容してよい。

【００４６】

本開示において、「絶縁体」は、その通常の定義をとる。すなわち、電流が自由に流れず、導電体又は半導体よりも大きな抵抗率、例えば、10^5オーム／メートル又は10^{10}オーム／メートルを超える抵抗率を有する材料である。導電材料は、金属、金属合金及び炭素（アモルファス又はグラファイトの形態）を含む。ＨＴＳコイル内の巻線間電圧は

一般に十分に低いので、絶縁破壊電圧又は降伏電圧を因子として考慮する必要はない。

【図面】

【図１】

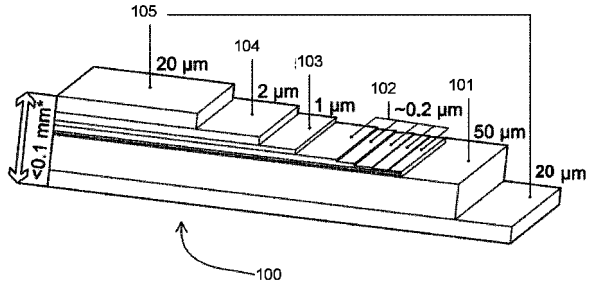


Figure 1

【図２Ａ】

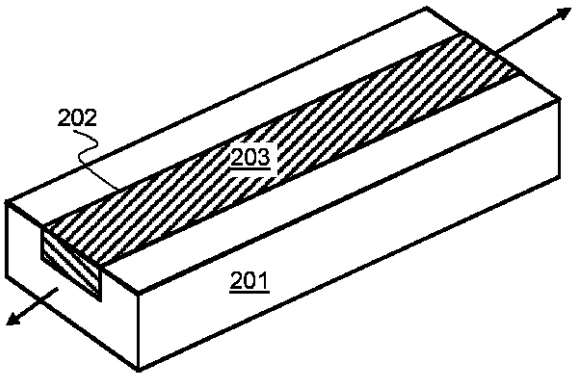


Figure 2A

【図２Ｂ】

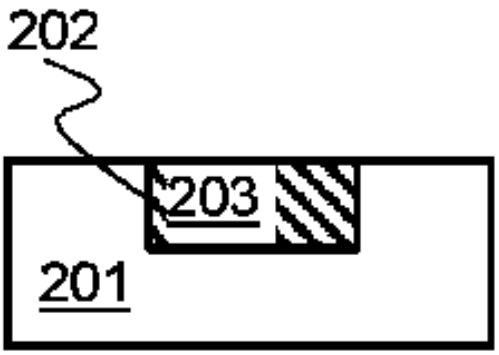


Figure 2B

【図３Ａ】

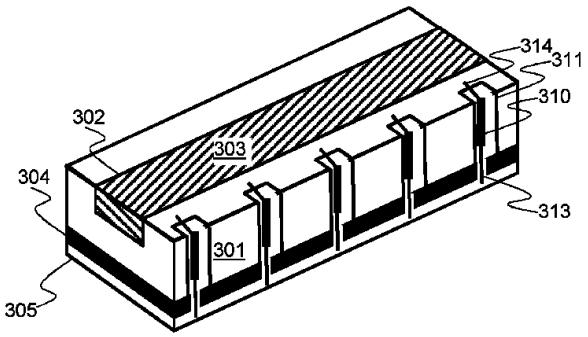


Figure 3A

【図３Ｂ】

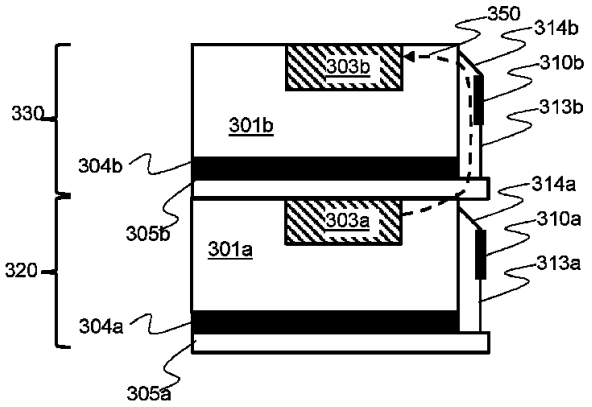


Figure 3B

【図４】

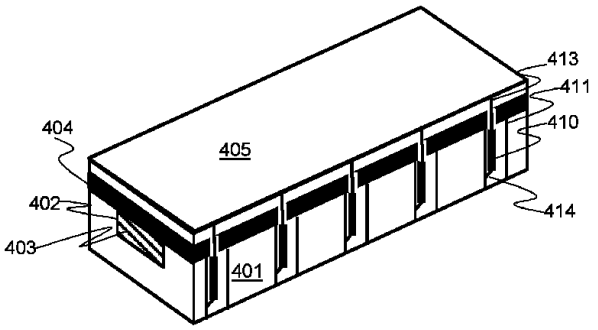


Figure 4

【図５】

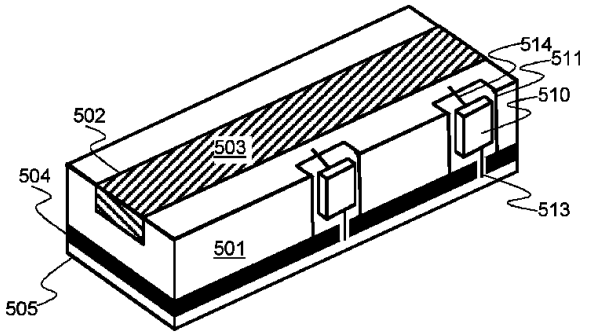


Figure 5

【図６Ａ】

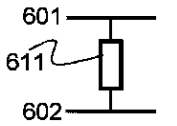


Figure 6A

【図６Ｂ】

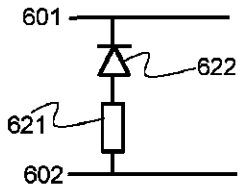


Figure 6B

【図６Ｃ】

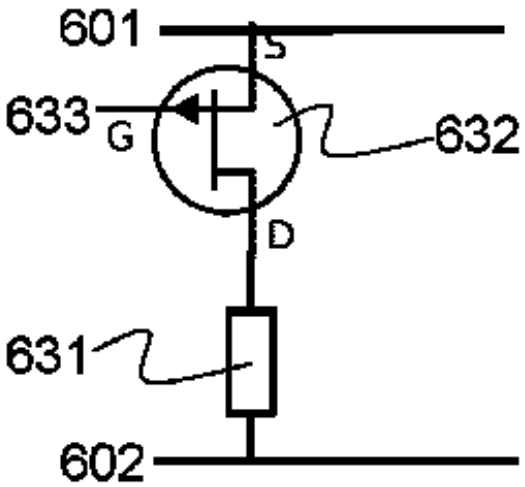


Figure 6C

【図７】

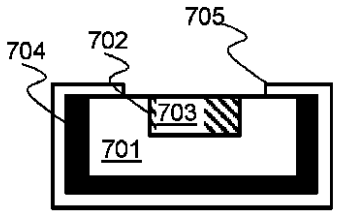


Figure 7

【図８】

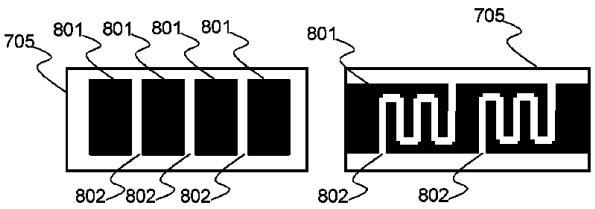


Figure 8

【手続補正書】
【提出日】令和６年７月１０日(２０２４.７.１０)
【手続補正２】
【補正対象書類名】特許請求の範囲
【補正対象項目名】全文
【補正方法】変更
【補正の内容】
【特許請求の範囲】
【請求項１】
高温超伝導（ＨＴＳ）ケーブルであって、
導電材料から形成されたチャネルであって、前記ＨＴＳケーブルの長さに沿って延びる溝を有するチャネルと、
前記溝の中に位置するＨＴＳ材料であって、前記ＨＴＳ材料が超伝導状態にあると、前記ＨＴＳ材料が、前記ＨＴＳケーブルに沿って超伝導電流経路を形成し、前記ＨＴＳ材料がチャネルに電気的に接続される、ＨＴＳ材料と、
前記溝が存在する表面以外の前記チャネルの表面に位置する絶縁層と、
前記絶縁層の外表面に位置する導電層であって、前記チャネルとの電気的接触をなすように前記絶縁層まわりに延びる導電層と
を含む、ＨＴＳケーブル。
【請求項２】
前記導電層は、複数の切り欠きと、前記切り欠き間の複数の電流経路とを含み、各電流経路が、前記溝が存在する前記チャネルの表面を、前記導電層の反対表面に接続する、請求項１に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項３】
高温超伝導（ＨＴＳ）ケーブルであって、
導電材料から形成されたチャネルであって、前記ＨＴＳケーブルの長さに沿って延びる溝を有するチャネルと、
前記溝の中に位置するＨＴＳ材料であって、前記ＨＴＳ材料が超伝導状態にあると、前記ＨＴＳ材料が、前記ＨＴＳケーブルに沿って超伝導電流経路を形成し、前記ＨＴＳ材料がチャネルに電気的に接続される、ＨＴＳ材料と、
前記チャネルの表面に位置する絶縁層と
を含み、
前記チャネルは複数の凹部を有し、各凹部が、導電経路及び／又は一以上の電気コンポーネントを含む電気アセンブリを包含し、各凹部はさらに、前記電気アセンブリを前記チャネルから分離する絶縁体を包含し、
前記ＨＴＳケーブルはさらに、各凹部に対し、
前記凹部内の前記電気アセンブリから前記絶縁層を横切る又は通る電気接続を与える第１電気接続部と、
前記チャネルを前記凹部内の前記電気アセンブリに電気的に接続する第２電気接続部と
を含み、
前記凹部を通る前記第１電気接続部から前記第２電気接続部までのいずれの導電経路も、前記電気アセンブリを通過する、ＨＴＳケーブル。
【請求項４】
前記チャネルに対向する前記絶縁層の表面に位置する導電層を含み、前記導電層は、前記第１電気接続部と電気的に接触する一以上の導電要素を含む、請求項３に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項５】
前記一以上の電気コンポーネントは、
抵抗器、
トランジスタ、

サイリスタ、
スイッチ、
圧力又は油圧作動スイッチ、
集積回路、
キャパシタ、
ダイオード、及び
バリスタ
のうちいずれか一つ以上を含む、請求項３に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項６】
前記チャネルは、銅、ステンレス鋼、又はこれらの組み合わせから形成される、請求項３に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項７】
前記凹部は、前記チャネルの長さに沿って均等に離間される、請求項３に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項８】
隣接する凹部間の間隔が前記チャネルの長さに沿って変化する、請求項３に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項９】
各凹部は、前記一以上の電気コンポーネントの電気的に等価な配列を包含する、請求項３に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項１０】
前記複数の凹部は、複数のセットの凹部を含み、各セットの凹部の中で、前記セットの各凹部が、前記一以上の電気コンポーネントの電気的に等価な配列を包含する、請求項３に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項１１】
前記凹部は、各セットの凹部の配列が前記チャネルに沿って周期的に繰り返すパターンを形成する、請求項１０に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項１２】
各電気アセンブリが一以上の能動コンポーネントを含む、請求項３に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項１３】
各凹部に対して制御入力を含み、前記制御入力に印加される電圧によって、前記凹部の中にある少なくとも一つの能動コンポーネントの状態の変化が引き起こされる、請求項１２に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項１４】
各凹部に対する前記制御入力が、前記チャネルから電気的に絶縁された導電経路を介して他の凹部の前記電気アセンブリに接続する、請求項１３に記載のＨＴＳケーブル。
【請求項１５】
高温超伝導（ＨＴＳ）コイルであって、前記ＨＴＳコイルの巻線を形成するように巻かれるＨＴＳケーブルを含み、前記ＨＴＳケーブルは、請求項１に記載のＨＴＳケーブルである、高温超伝導（ＨＴＳ）コイル。
【請求項１６】
高温超伝導（ＨＴＳ）コイルであって、前記ＨＴＳコイルの巻線を形成するように巻かれるＨＴＳケーブルを含み、前記ＨＴＳケーブルは、請求項２に記載のＨＴＳケーブルである、高温超伝導（ＨＴＳ）コイル。
【請求項１７】
高温超伝導（ＨＴＳ）コイルであって、前記ＨＴＳコイルの巻線を形成するように巻かれるＨＴＳケーブルを含み、前記ＨＴＳケーブルは、請求項３に記載のＨＴＳケーブルである、高温超伝導（ＨＴＳ）コイル。
【請求項１８】

高温超伝導（ＨＴＳ）コイルであって、
前記ＨＴＳコイルの巻線を形成するように巻かれたＨＴＳケーブルを含み、
前記ＨＴＳケーブルは、
導電材料から形成されたチャネルであって、前記ＨＴＳケーブルの長さに沿って延びる溝を有するチャネルと、
前記溝の中に位置するＨＴＳ材料であって、前記ＨＴＳ材料が超伝導状態にあると、前記ＨＴＳ材料が、前記ＨＴＳケーブルに沿って超伝導電流経路を形成し、前記ＨＴＳ材料がチャネルに電気的に接続される、ＨＴＳ材料と、
前記チャネルの表面に位置する絶縁層と
を含み、
前記チャネルは複数の凹部を有し、各凹部が、導電経路及び／又は一以上の電気コンポーネントを含む電気アセンブリを包含し、各凹部はさらに、前記電気アセンブリを前記チャネルから分離する絶縁体を包含し、
前記ＨＴＳケーブルはさらに、各凹部に対し、
前記凹部内の前記電気アセンブリから前記絶縁層を横切る又は通る電気接続を与える第１電気接続部と、
前記チャネルを前記凹部内の前記電気アセンブリに電気的に接続する第２電気接続部と
を含み、
前記ＨＴＳケーブルは、最も内側又は最も外側の巻線以外の各巻線の前記第１電気接続部が、隣接巻線の前記チャネルに電気的に接続するように巻かれ、各凹部を介した各巻線から隣接巻線までのいずれの電流経路も、前記凹部内の前記電気アセンブリを通過する、ＨＴＳコイル。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2022/080586

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01B12/06 H01F6/00 H02G15/34
ADD.

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)
H01F H02G H01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2021/178697 A1 (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY [US] ET AL.) 10 September 2021 (2021-09-10)	1
A	figures 2C, 2D, 6A paragraph [0043]	2-17
A	CN 103 794 297 A (INST PLASMA PHYSICS CAS) 14 May 2014 (2014-05-14) figures 3-5	1-17
A	WO 2019/150123 A1 (TOKAMAK ENERGY LTD [GB]) 8 August 2019 (2019-08-08) cited in the application figures 14-15	1-17
A	CN 110 828 058 A (HEFEI INST PHYSICAL SCI CAS) 21 February 2020 (2020-02-21) figure 2	1-17

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* 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	Date of mailing of the international search report
13 February 2023	20/02/2023

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bossi, Paolo

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2022/080586

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2021178697 A1	10-09-2021	CA 3170080 A1	10-09-2021
		EP 4115432 A1	11-01-2023
		KR 20220146609 A	01-11-2022
		WO 2021178697 A1	10-09-2021
CN 103794297 A	14-05-2014	NONE	
WO 2019150123 A1	08-08-2019	AU 2019214510 A1	06-08-2020
		BR 112020015247 A2	26-01-2021
		CA 3090059 A1	08-08-2019
		CN 112041947 A	04-12-2020
		CN 114512293 A	17-05-2022
		DK 3747033 T3	23-05-2022
		EP 3747033 A1	09-12-2020
		EP 4012730 A1	15-06-2022
		ES 2914501 T3	13-06-2022
		HR P20220663 T1	24-06-2022
		IL 276337 A	30-09-2020
		JP 2021513219 A	20-05-2021
		JP 2022058914 A	12-04-2022
		KR 20200140247 A	15-12-2020
		KR 20220025932 A	03-03-2022
		LT 3747033 T	10-06-2022
		PH 12020551165 A1	31-05-2021
		PL 3747033 T3	08-08-2022
		PT 3747033 T	05-05-2022
		RS 63224 B1	30-06-2022
		SG 11202006896X A	28-08-2020
		SI 3747033 T1	30-11-2022
		US 2020365304 A1	19-11-2020
		US 2021358668 A1	18-11-2021
		WO 2019150123 A1	08-08-2019
		ZA 202005399 B	26-10-2022
CN 110828058 A	21-02-2020	NONE	

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (April 2005)

フロントページの続き

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,CV,CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,IR,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,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,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

トカマク エナジー リミテッド 気付

(72)発明者 スレード、 ロバート

イギリス国 オーエックス１４ ４エスディー オックスフォードシャー アビンドン ミルトン ブルック ドライブ １７３ トカマク エナジー リミテッド 気付

Ｆターム（参考） 5G321 AA04 AA05 AA98 BA01 BA03 CA04 CA18 CA24 CA27 CA28
CA41 CA42 CA48 CA50 DB41