

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3940471号  
(P3940471)

(45) 発行日 平成19年7月4日(2007.7.4)

(24) 登録日 平成19年4月6日(2007.4.6)

(51) Int.Cl.

H01F 6/04 (2006.01)

F I

H01F 7/22 Z A A G

請求項の数 4 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願平9-214268	(73) 特許権者	390041542
(22) 出願日	平成9年8月8日(1997.8.8)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
(65) 公開番号	特開平10-116724		GENERAL ELECTRIC CO
(43) 公開日	平成10年5月6日(1998.5.6)		MPANY
審査請求日	平成16年4月27日(2004.4.27)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
(31) 優先権主張番号	08/702879		クタデイ、リバーロード、1番
(32) 優先日	平成8年8月23日(1996.8.23)	(74) 代理人	100093908
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 松本 研一
前置審査		(74) 代理人	100105588
			弁理士 小倉 博
		(74) 代理人	100129779
			弁理士 黒川 俊久
		(74) 代理人	100137545
			弁理士 荒川 聡志
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超伝導装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

(a) 環状の空洞を画成する内壁を持つ真空容器であって、該空洞が縦方向の軸線を持ち、また該空洞が1000分の1トル以下の圧力である真空にされている真空容器、

(b) 前記空洞内に前記縦方向軸線と同軸に整列して配置されていると共に、前記内壁から離間して配置された超伝導コイルであって、外周面および内周面を有する超伝導コイル

(c) 50°Kの温度で少なくとも銅の熱伝導率に等しい熱伝導率を持つ熱伝導性材料より成る、環状に構成されたシートであって、前記空洞内に前記縦方向軸線と同軸に整列して配置されていると共に、前記内壁から離間して配置されていて、外周面および内周面を有し、当該シートの該内周面が前記超伝導コイルの前記外周面全体と接触しているシート

(d) 極低温流体を収容する、環状に構成された冷却材管であって、前記空洞内に前記縦方向軸線と同軸に整列して配置されると共に、前記内壁から離間して配置されていて、前記シートの前記外周面の周方向の部分に接触している冷却材管、および

(e) 50°Kの温度でガラス繊維の熱伝導率以下である熱伝導率を持つ熱絶縁性材料より成る、環状に構成されたコイル上包みであって、当該コイル上包みは前記空洞内に前記縦方向軸線と同軸に整列して配置されていると共に、前記内壁から離間して配置されていて、外周面および内周面を有し、当該コイル上包みはまた前記シートの前記外周面を周方向に囲っており、前記冷却材管と当該コイル上包みの前記内周面とは一緒になって前記シ

10

20

トの前記外周面全体と接触しており、前記超伝導コイル、前記シート及び、前記コイル上包みは、全て前記冷却材管の外側に配置されている、前記コイル上包みと、  
(f) 前記内壁及び前記コイル上包みの外周面と接触し、前記コイル上包みの位置決めを  
する位置決め装置と、  
を含んでいることを特徴とする超伝導装置。

【請求項 2】

前記超伝導コイルが 2 つの電流リードを有し、前記冷却材管が入口端および外面を持つ  
出口端を有し、前記 2 つの電流リードが、前記真空容器の前記空洞内で、前記冷却材管の  
前記出口端の前記外面と熱流通関係に配置されている請求項 1 記載の超伝導装置。

【請求項 3】

前記空洞が、前記超伝導コイルの前記内周面と前記内壁との間に延在する空洞部分を有  
し、該空洞部分全体が真空である請求項 1 記載の超伝導装置。

【請求項 4】

前記真空容器が、周囲温度の周囲空気と接触する外面を有しており、前記位置決め装置  
は八二カム集成体である請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の超伝導装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は一般に超伝導に関するものであり、更に詳しくは超伝導装置内の超伝導コイルの  
冷却に関するものである。

【0002】

【発明の背景】

超伝導装置には、同期発電機または同期電動機の超伝導回転子や、MRI（磁気共鳴イメ  
ージング）装置、磁気浮上輸送システム、磁気エネルギー蓄積装置およびリニア・モータの  
超伝導磁石などがある。超伝導装置内の超伝導コイルはニオブ錫などの超伝導材料で作ら  
れ、超伝導を達成して維持するために臨界温度以下にすることが必要である。冷却技術に  
は、例えば、エポキシ含浸コイルを極低温冷却器から固体伝導路を介して、或いは液体お  
よび / または気体極低温材を入れた冷却管を介して冷却する技術、また多孔質コイル（場  
合によっては、エポキシ含浸コイル）を液体および / または気体極低温材の中に浸漬する  
ことにより冷却する技術がある。超伝導コイルは真空エンベロープまたは真空容器によっ  
て囲まれ、超伝導コイルと真空容器との間には少なくとも熱遮蔽体が配置される。

【0003】

公知の超伝導回転子の設計には、 $10^{\circ}\text{K}$ （ケルビン）の温度の気体ヘリウムを入れた  
内部チャンネルを持つ突き出した熱ステーションと接触状態に配置された競走路形状の超  
伝導コイルを含むものがある。その超伝導コイルは、 $20^{\circ}\text{K}$ の温度の気体ヘリウムを入  
れた冷却材管と接触することによって冷却される熱遮蔽体によって囲まれている。熱遮蔽  
体は真空容器によって囲まれ且つ真空容器から離間している。超伝導装置で必要とされる  
ことは、その超伝導コイルに対する冷却装置を改善することである。

【特許文献 1】

特開平 8 - 168235 号

【0004】

【発明の目的】

本発明の目的は、極低温流体を入れた冷却材管によって冷却される超伝導装置を提供する  
ことである。

【0005】

【発明の概要】

本発明の超伝導装置は、概して環状の空洞を画成する内壁を持つ真空容器、該空洞の中に  
配置された超伝導コイル、概して環状に構成された熱伝導性材料のシート、概して環状に  
構成された冷却材管、および概して環状に構成されたコイル上包みを含む。シートはその  
内周面が概して超伝導コイルの外周面全体と接触する。冷却材管はシートの外周面の概し

10

20

30

40

50

て周方向の部分と接触する。コイル上包みはシートの外周面を概して周方向に囲む。冷却材管とコイル上包みの内周面とは一緒になって概してシートの外周面全体と接触する。

#### 【 0 0 0 6 】

好ましい態様では、超伝導コイルの内周面と内壁との間の空洞部分全体が真空にされる。典型的には、超伝導コイルの２つの電流リードが、真空容器の空洞内で冷却材管の出口端の外周面と熱流通関係に配置される。

本発明により幾つかの利点および利益が得られる。本発明では冷却材管を（曲げること等により）容易に環状に構成することができる。このことは前述の公知の冷却材チャンネルを持つ熱ステーションではできない。また、本発明では、超伝導コイルの内周面と内壁との間の空洞部分全体を真空にしたことにより、従来のコストのかかる熱遮蔽体、特に高温超伝導体用の熱遮蔽体を省略できる、すなわち使用しないで済む。また、本発明では、超伝導コイルの２つの電流リードを冷却材管の出口端の外周面と熱流通関係に配置したことにより、リードの過熱に起因するクエンチ（すなわち、超伝導性の喪失）を生じることなく、１０乃至１５％以上も電流を超伝導コイルに流すことができる。

#### 【 0 0 0 7 】

##### 【発明の実施の形態】

本発明の好ましい実施態様を示す添付の図面を参照して、本発明を以下詳しく説明する。図面においては、同様な要素は同じ参照数字で表してある。

図１乃至３は、本発明の超伝導装置の第１の好ましい実施態様を示す。この実施態様では、超伝導装置は、回転軸線１２を持つ超伝導回転子１０である。ここで、本発明の超伝導装置は、回転子に制限されず、その他の超伝導装置、例えばMRI（磁気共鳴イメージング）装置、磁気浮上輸送システム、磁気エネルギー蓄積装置およびリニア・モータの超伝導磁石などを含むことを理解されたい。超伝導回転子１０は、好ましくは同期発電機または同期電動機の超伝導回転子である。本発明による超伝導回転子１０は既存の通常の発電機または電動機の超伝導性でない回転子と交換し得ることに留意されたい。

#### 【 0 0 0 8 】

図１乃至３に示す超伝導装置すなわち超伝導回転子１０は、概して環状の空洞１８を画成する内壁１６を持つ真空容器１４を含む。空洞１８は概して縦方向の軸線２０を持ち、真空すなわち大体１０００分の１トル（torr）以下の圧力にされる。真空容器１４の設計は用途に応じて定められる。図２および３に示す真空容器１４はモノリシックすなわち一体形の真空容器設計である。他の真空容器設計、例えば、縦方向軸線２０に最も近い内壁１６の真っ直ぐな部分を含む鉄芯、この鉄芯に取り付けられ且つ内壁１６の残りの部分を含むアルミニウムの磁極片、および周囲のアルミニウムの電磁遮蔽体を有し、これらの鉄芯、アルミニウムの磁極片および電磁遮蔽体の各々が数個の部分で構成されている真空容器設計も用いてよい。

#### 【 0 0 0 9 】

超伝導回転子１０はまた、空洞１８内に縦方向軸線２０と概して同軸に整列して配置された超伝導コイル２２を含む。超伝導コイル２２は概して内壁１６から離間している。超伝導コイル２２は外周面２４および内周面２６を有する。典型的には、超伝導コイル２２は競走場形状の超伝導コイルであり、超伝導回転子１０の回転軸線１２は空洞１８の縦方向軸線２０に対して概して垂直である。ここで「競走場形状」とは、湾曲または曲線部分で接続した直線部分を含むことに留意されたい。図２に示す超伝導回転子１０は２極回転子である。図２の超伝導回転子１０の形の本発明の超伝導装置は、複数の周方向に相隔たって配置された超伝導コイルを有し、これらの超伝導コイルの縦方向軸線が回転子の回転軸線に対して概して垂直である多極回転子（図示していない）のような他の形式の回転子にも適用できる。多極回転子の各々の超伝導コイルの短軸線（minor axis）が回転軸線の周りのコイルの運動の周方向と概して平行に配置されるのに対して、図２の２極回転子（または同様な設計の４極回転子）の超伝導コイル２２の短軸線が回転軸線１２の周りの超伝導コイル２２の運動の周方向に対して概して垂直に配置されることに留意されたい。好ましくは、超伝導コイル２２はBSCCO（ビスマス - ストロントウム - カルシ

10

20

30

40

50

ウム - 銅 - 酸化物) 超伝導コイルである。

【0010】

超伝導回転子10は更に、概して環状に構成されたシート28を含み、シート28は大体50°Kの温度で少なくとも銅の熱伝導率に等しい熱伝導率を持つ熱伝導性材料で形成されている。シート28は、空洞18内に縦方向軸線20と概して同軸に整列して配置されると共に、概して内壁16から離間して配置される。シート28は単層または多層のシートであってよく、その(回転軸線12および縦方向軸線20に対して垂直な方向に沿って測った)厚さは超伝導コイル22の(回転軸線12および縦方向軸線20に対して垂直な方向に沿って測った)厚さの大体10分の1より小さい。シート28は外周面30および内周面32を有し、シート28の内周面32は概して超伝導コイル22の外周面24全体と接触する。シート28はOFHC(無酸素硬質銅)シートであるのが好ましい。

10

【0011】

超伝導回転子10は更に、概して環状に構成された冷却材管34を含み、冷却材管34は極低温流体(すなわち、超伝導コイル22を超伝導性にするのに十分な低い温度を持つ液体および/または気体)36を収容する。冷却材管34は、空洞18内に縦方向軸線20と概して同軸に整列して配置されると共に、概して内壁16から離間して配置される。冷却材管34はシート28の外周面30の概して周方向の部分に接触する。冷却材管34はシート28にろう付けされたステンレス鋼の冷却材管であるのが好ましい。典型的には、極低温流体は大体15°Kと大体50°Kとの間の温度の気体ヘリウムである。

【0012】

20

超伝導回転子10は更に、概して環状に構成された熱絶縁性材料のコイル上包み38を含み、コイル上包み38は大体50°Kの温度でガラス繊維の熱伝導率以下である熱伝導率を持つ。コイル上包み38は、空洞18内に縦方向軸線20と概して同軸に整列して配置されると共に、概して内壁16から離間して配置される。コイル上包み38は外周面40および内周面42を有する。コイル上包み38はシート28の外周面30を概して周方向に囲む。冷却材管34とコイル上包み38の内周面42とは一緒になって概してシート28の外周面30全体と接触する。コイル上包み38は、超伝導回転子10の回転中に超伝導コイル22の外周面24からシート28が離れないようにシート28を拘束するのに役立つ。コイル上包み38は、エポキシ含浸多層ガラス繊維布(個々の層の厚さが0.003乃至0.005インチ)で作られて、冷却材管34の露出部分を完全に覆うコイル上包みであるのが好ましい。ここで、銅のシート28は、コイル上包み38への固着を改善するために通常の酸化防止剤で処理してもよいことに留意されたい。好ましい構成では、銅のシート28の内の、ステンレス鋼の冷却材管34が配置される領域から離れたところに複数の貫通孔(図示していない)を設けて、シート28を概して環状に湾曲させ、またステンレス鋼の冷却材管34を概して環状に湾曲させて、冷却材管34を銅のシート28にろう付けし、超伝導コイル22を囲んで銅のシート28を配置し、また概して環状に構成されたコイル上包み38を形成するために、銅のシート28の外周面30(並びにステンレス鋼の冷却材管34)の周りにガラス繊維布を巻き付け、超伝導コイル22および巻き付けたガラス繊維布のアクセス可能な領域に直接にエポキシを適用し、ガラス繊維布から幾分かのエポキシがシート28の貫通孔を通して超伝導コイル22に到達するようにする。この様にして、好ましくは超伝導コイル22、シート28、冷却材管34およびコイル上包み38が一緒にエポキシ含浸されて、単一の回転子サブアセンブリ44を構成することが理解されよう。

30

40

【0013】

空洞18は、超伝導コイル22の内周面26と内壁16との間に延在する空洞部分46を有し、空洞部分46全体は真空である。従って、超伝導コイル22と真空容器14との間には、特にBSCCOのような高温超伝導体に対して、何の熱遮蔽体も無い。Nb<sub>3</sub>Sn(ニオブ錫)のようなより低い温度の超伝導体に対しては熱遮蔽体が必要になることもあることに留意されたい。

【0014】

50

図 3 に示されるように、超伝導コイル 22 は 2 つの電流リード 48 および 50 を有し、冷却材管 34 は入口端 52 および外面 56 を持つ出口端 54 を有する。典型的な実施態様では、超伝導コイル 22 の 2 つの電流リード 48 および 50 は、真空容器 14 の空洞 18 内で、冷却材管 34 の出口端 54 の外面 56 と熱流通関係にある。電流リード 48 および 50 は典型的には電気絶縁体を有していないので、熱伝導性の誘電体材料（例えば、ベリリア）のブロック 57 が冷却材管 34 の出口端 54 と 2 つの電流リード 48 および 50 のそれぞれとの間に接触して介在配置される。

#### 【0015】

回転子サブアセンブリ 44（すなわち、エポキシと一緒に固着された超伝導コイル 22、シート 28、冷却材管 34 およびコイル上包み 38）は、位置決め装置によって空洞 18 内に内壁 16 から離間して位置決めされる。好ましくは、この様な位置決め装置は、大体 50° K の温度でガラス繊維の熱伝導率より大きくない熱伝導率を持つハニカム集成体 58 である。ハニカム集成体 58 は、回転軸線 12 および縦方向軸線 20 の両方に対して垂直である共通の開放方向を持つ複数の大体同じセルを含んでいることが好ましい。好ましい実施態様では、ハニカム集成体 58 は、各セルの対向する側面間の距離が大体 1 mm と大体 1 cm との間にあるフィラメント強化エポキシ（F R E）複合ハニカム構造体である。好ましい設計では、ハニカム集成体 58 コイル上包み 38 の外周面 40 と真空容器 14 の内壁 16 との間に延在する。ハニカム集成体 58 は相隔たるハニカム・ブロックで構成するのが好ましい。

#### 【0016】

真空容器 14 は、周囲温度の周囲空気 64 と接触する外面 62 を有する。この様な周囲温度は、当業者には理解されるように、超伝導回転子 10 の運転中に上昇する。ハニカム集成体 58 は、周囲温度において、超伝導コイル 22 を縦方向軸線 20 へ向かって内向きに第 1 の圧縮力で圧縮し、且つ極低温において、超伝導コイル 22 を縦方向軸線 20 へ向かって内向きに、第 1 の圧縮力より小さい第 2 の圧縮力で圧縮する手段を提供する。その他の位置決め装置および / または圧縮手段には、ばね、締付けボルトなどの当業者に知られている手段が含まれる。ハニカム集成体 58 を使用して超伝導コイル 22 を圧縮する好ましい方法は、回転子の組み立ての際にクランプ取付け具を使用することを含む。クランプ取付け具（当業者により容易に入手または製作できる）はボルトを使用して、超伝導コイル 22 上のバーに締め付けて、超伝導コイル 22 を圧縮する。次いで、圧縮されていないハニカム集成体 58 が空洞 18 内に位置決めされる。ボルトが真空容器 14 に設けた孔を介して取り除かれる。この様な孔は、後で（周囲のアルミの電磁遮蔽体等により）覆われる。ボルトを取り除いたことにより、超伝導コイル 22 が僅かに膨張して、コイル上包み 38 をハニカム集成体 58 に対して押し付け、これによりハニカム集成体 58 が超伝導コイル 22 を圧縮状態に保持する。圧縮は、低い温度（例えば、極低温）では小さくなる。これは、当業者には容易に理解されるように、超伝導回転子 10 の種々の構成部分を作る前述の好ましい材料の熱収縮率に差があるためである。ここで、予想される剪断力によりハニカム集成体 58 と真空容器 14 の内壁 16 との間および / またはハニカム集成体 58 とコイル上包み 38 の外周面 40 との間にエポキシによる固着が必要である場合、空洞 18 内に配置する前に、圧縮されていないハニカム集成体 58 を 2 部品極低温エポキシで被覆するしてもよいことに留意されたい。

#### 【0017】

作用について説明すると、真空容器 14 の暖かい外面 62 から位置決め装置（例えば、ハニカム集成体 58）に沿って伝導する熱が、超伝導コイル 22 に達する前に銅のシート 28（これは熱交換器として作用する）によって遮られ、次いでその熱は銅のシート 28 に沿って冷却材管 34 に伝導される。超伝導コイル 22 に直接放射される熱または超伝導コイル 22 内で抵抗損によって発生される熱は、銅のシート 28 に伝導され、そこで冷却材管 34 へ効率よく伝導される。超伝導コイル 22 は横断方向（すなわち、導体に沿った方向以外の方向）における熱電導率が小さいので、銅のシート 28 は超伝導コイル 22 の外面から冷却材管 34 へ熱を伝導する低い熱抵抗路として作用し、もって超伝導コイル 22

10

20

30

40

50

内の温度勾配を最小にする。シート 28 の構成材料として銅を使用することにより、超伝導コイル 22 の外周面 24 の形状に順応するようにシート 28 を曲げることが出来る。冷却材管 34 の構成材料としてステンレス鋼を使用することにより、冷却材管 34 を概して環状に構成されたシート 28 に順応するように曲げてろう付けすることが出来る。コイル上包み 38 にガラス繊維布を使用することにより、ガラス繊維布をドライ (dry) 状態での巻き付けの際に銅のシート 28 およびステンレス鋼の冷却材管 34 の露出した面に容易に順応させることができ、また巻き付けたガラス繊維布にエポキシを含浸させることにより、機械的に頑丈なコイル上包み 38 が形成される。超伝導コイル 22 をハニカム集成体 58 と圧縮状態に保つことにより、超伝導コイル 22 が空洞 18 内に離間した位置決め状態に維持される。2 つの電流リード 48 および 50 を冷却材管 34 の出口端 54 に熱的に接続することにより、過大な発熱なしに電流の増加をより高くすることが出来る。

10

#### 【0018】

本発明を好ましい実施態様について詳述したが、本発明はこれらに限定されるものではなく、上記の説明に基づいて種々の変更および変形をなし得ることは明らかであろう。本発明の範囲は特許請求の範囲に記載の範囲によって定められるものである。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の好ましい実施態様の超伝導装置すなわち超伝導回転子の概略正面図である。

【図 2】超伝導コイルを冷却するための好ましい構成を示した、図 1 の線 2 - 2 に沿って取った断面図である。

20

【図 3】超伝導コイルの 2 つの電流リードを冷却するための好ましい構成を示した、図 1 の線 3 - 3 に沿って取った断面図である。

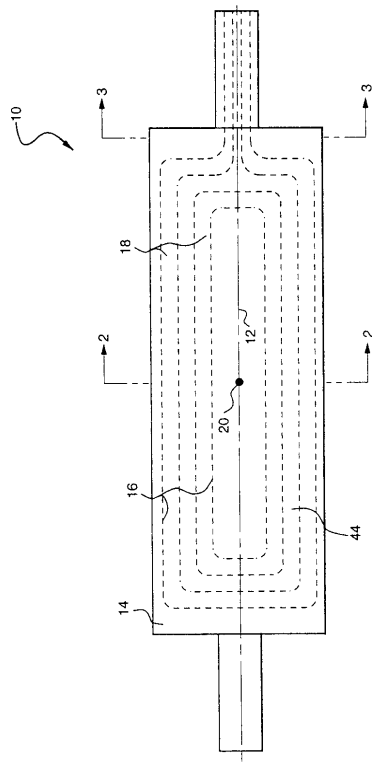
#### 【符号の説明】

- 10 超伝導回転子
- 12 回転軸線
- 14 真空容器
- 16 容器の内壁
- 18 大体環状の空洞
- 20 縦方向軸線
- 22 超伝導コイル
- 24 コイルの外周面
- 26 コイルの内周面
- 28 シート
- 30 シートの外周面
- 32 シートの内周面
- 34 冷却材管
- 38 コイル上包み
- 40 コイル上包みの外周面
- 42 コイル上包みの内周面
- 44 回転子サブアセンブリ
- 46 空洞部分
- 48、50 電流リード
- 52 入口端
- 54 出口端
- 58 ハニカム集成体

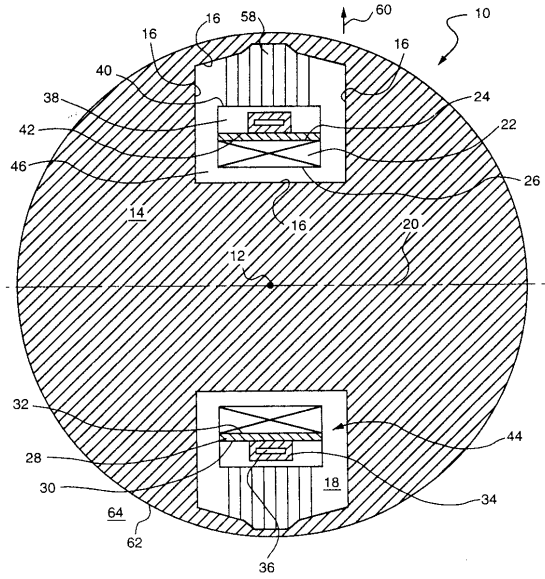
30

40

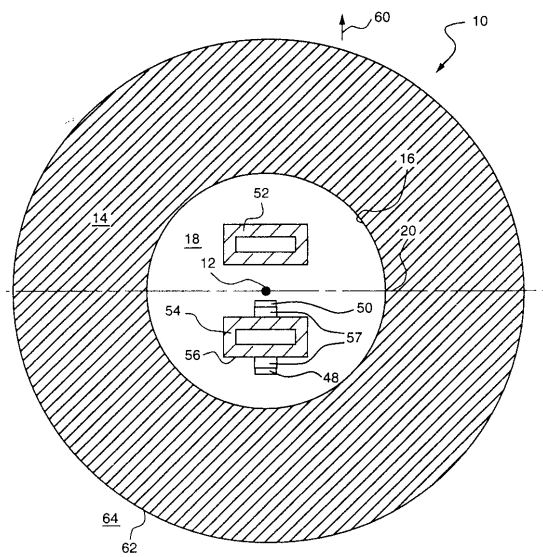
【図 1】



【図 2】



【図 3】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ケネス・ゴードン・ハード

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタディ、リバー・ロード、2975番

(72)発明者 エヴァンゲロス・トリフォン・ラスカリス

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタディ、クリムソン・オーク・コート、15番

審査官 近藤 聡

(56)参考文献 特開平08-168235(JP,A)

特開平01-154503(JP,A)

特開平02-078207(JP,A)

特開平7-222431(JP,A)

特許第3874836(JP,B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01F 6/00 ZAA