

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4173915号  
(P4173915)

(45) 発行日 平成20年10月29日(2008.10.29)

(24) 登録日 平成20年8月22日(2008.8.22)

(51) Int.Cl.

G01B 7/14 (2006.01)

F 1

G01B 7/14

請求項の数 13 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平9-529096  
 (86) (22) 出願日 平成9年2月13日(1997.2.13)  
 (65) 公表番号 特表2000-504836 (P2000-504836A)  
 (43) 公表日 平成12年4月18日(2000.4.18)  
 (86) 國際出願番号 PCT/GB1997/000403  
 (87) 國際公開番号 WO1997/030326  
 (87) 國際公開日 平成9年8月21日(1997.8.21)  
 審査請求日 平成16年2月13日(2004.2.13)  
 (31) 優先権主張番号 08/615,372  
 (32) 優先日 平成8年2月14日(1996.2.14)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者  
 タイコ サーマル コントロールズ ューケイ リミテッド  
 イギリス国 エヌイー31 1エックスアール タイン アンド ウェア ヘバー  
 ン ヘジリー ロード (番地なし)  
 (74) 代理人  
 弁理士 宮崎 昭夫  
 (74) 代理人  
 弁理士 金田 暢之  
 (74) 代理人  
 弁理士 伊藤 克博  
 (74) 代理人  
 弁理士 石橋 政幸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 静電容量型間隙測定装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

対象物に静電結合する電極と、該電極を取り囲み、絶縁体により該電極から電気的に絶縁される遮蔽材と、該遮蔽材を取り囲む絶縁体の層とを有し、前記電極と前記遮蔽材との間の前記絶縁体と、前記遮蔽材を取り囲む前記絶縁体は蒸着によって形成されている、前記対象物との距離を静電容量によって測定する装置。

## 【請求項 2】

前記遮蔽材を予め形成された部品として含み、前記電極と前記遮蔽材との間の前記絶縁体と、前記遮蔽材を取り囲む前記絶縁体は、共に蒸着によって該遮蔽材の上に形成された、請求の範囲第1項に記載の装置。

10

## 【請求項 3】

前記電極と前記遮蔽材との間に配置される前記絶縁体は、前記電極の上に蒸着された、請求の範囲第1項に記載の装置。

## 【請求項 4】

前記遮蔽材は、前記電極と前記遮蔽材との間の前記絶縁体の上に蒸着によって形成された、請求の範囲第3項に記載の装置。

## 【請求項 5】

前記遮蔽材を取り囲む前記絶縁体は、前記遮蔽材の上に蒸着によって形成された、請求の範囲第4項に記載の装置。

## 【請求項 6】

20

前記電極は金属の固体として形成されている、請求の範囲第3項から第5項までのいずれか1項に記載の装置。

【請求項7】

前記電極は、導電層が表面に蒸着されたセラミックの固体を有する、請求の範囲第3項から第5項までのいずれか1項に記載の装置。

【請求項8】

前記電極の、タービンの羽根に面する部分は、少なくとも0.5mmの厚さを有する蒸着された導電層を有する、請求の範囲第7項に記載の装置。

【請求項9】

蒸着された前記絶縁体の層は、金属またはメタロイドの酸化物または窒化物を有する、請求の範囲第1項から第8項までのいずれか1項に記載の装置。 10

【請求項10】

いずれの前記蒸着層も真空蒸着法によって蒸着された、請求の範囲第1項から第9項までのいずれか1項に記載の装置。

【請求項11】

いずれの前記蒸着層も化学蒸着法、スパッタリング法、またはプラズマ蒸着法によって形成された、請求の範囲第10項に記載の装置。

【請求項12】

固体の対象物までの距離を測定する装置を形成する方法であって、前記対象物と静電結合する電極を形成することと、該電極を取り囲むために該電極の少なくとも一部の上に絶縁体の層を蒸着することと、遮蔽材を形成するために該絶縁体に金属層を蒸着することと、該遮蔽材の上に絶縁体の別の層を蒸着することとを有する方法。 20

【請求項13】

前記絶縁体の各層と前記遮蔽材は、真空蒸着法により蒸着される、請求の範囲第12項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

本発明は間隙の測定に関し、特に、ガスタービン内の間隙の測定、例えばプローブから軸やディスクのような固体の物体、またはタービンの羽根などの不連続な物体までの間隙の測定に関するものである。

多くの分野において、特にガスタービンの場合、非常に高温、例えばほぼ1,000を越えるような温度で機能することができる間隙測定プローブが必要であり、そして実際に、このような機関の熱力学的効率を高めるために、例えば1,200以上に、あるいは例えば1,500以上に、作業温度を上昇させて作業を行うことがある。このような環境では、材料の永久磁力に依存するプローブを使用することは不可能であり、そしてまた、プローブを製造するために用いられる全ての材料が加えられるであろう温度に耐えられると保証することも重要である。こうした理由から、タービン用として静電容量プローブが提案されている。 30

このようなプローブのタービンの場合における使用法の1つは、タービンの羽根の先端とハウジングとの間のすき間を測定することである。タービンの効率を最大にするには、このすき間を最小にすることが非常に望ましく、さらに狭くすることが望ましいが、現行のタービンにおける典型的なこの間隔は1mmである。このような狭いすき間を仕上げるには、ハウジング内にプローブを配置して、プローブの側を通過するタービンの羽根を検知するようなプローブを供することが必要である。このようなプローブは、典型的には、タービンの羽根に静電結合される電極と、この電極とタービンケーシングとの間に配置される遮蔽材と、この遮蔽材の周囲を囲み、このためにケーシング内に作られている窪みにぴったりとはめ込まれるプローブ本体と、電極と遮蔽材をケーシングから電気的に絶縁するために電極と遮蔽材との間、及び遮蔽材とリテナとの間に配置される絶縁体とからなる。電極は3軸ケーブルの中央導線に接続され、遮蔽材はケーブルの中間遮蔽体に接続されるが、一方、リテナまたはハウジングは、ケーブルの外側の遮蔽体に接続され、プローブからの信号をタービンの近辺の信号から遮断する。電極からの信号はユニティゲイン増 40

幅器を経由して遮蔽材に送られ、その結果、電極信号がそれ自身の緩衝作用によって接地（ケーシング）から遮蔽される。

このようなプローブは充分に機能し羽根とケーシング間の間隙をほぼ 1 mm に保つことができるであろうが、その製造に非常に多くの費用を必要とする。こうしたプローブはほぼ 1,000 の温度で作動することが期待されるであろうが、それは、絶縁素子が機械加工されたセラミックスで作られなければならないことを意味する。更に、環状である絶縁素子は、電極の寸法を最大にできるように（プローブの感度を高めるため）、できるだけその壁の厚さを小さくする必要があり、従ってそのための製造が困難になり費用も増大する。そのうえ、プローブの組立は高度な熟練を要する作業であり、特にプローブはタービン内に設置しなければならず、そのうえタービン内の正規作業温度で試験されなければならないので、最終製品のコストが高くなる。

本発明によると、ある対象物との距離を静電容量によって測定するための装置が提供されるが、その装置は、対象物に静電結合する電極と、この電極の周囲に配置されかつ絶縁体によりこの電極から電気的に絶縁される遮蔽材と、この遮蔽材の周囲を囲む絶縁層とを含み、電極と遮蔽材との間の絶縁体、及び遮蔽材の周囲を囲む絶縁体は蒸着によって形成される。

本発明によるこの装置は、機械加工が困難な 2 つの物理的構成要素（セラミック絶縁リング）を除去して、簡単かつ安価に形成できる蒸着層に代えることによって大幅に製造費を削減できるという利点がある。更に、電極と遮蔽材との間の絶縁体と、遮蔽材の周囲を囲む絶縁体とは、予め成形されたどのようなセラミックディスクの半径方向の厚さよりもはるかに薄いので、電極の直径は、機関のケーシング中の所与の開口部寸法に対して著しく増大させることができ、その結果、当該装置の感度が高められる。本発明による好みの実施例の場合では、当該装置のほぼ全直径を電極が占めるようにすることも可能である。

所望ならば、このプローブは遮蔽材を成形済みの部品として組み込むこともできるが、この場合、電極と遮蔽材との間の絶縁体と、遮蔽材とケーシングとの間の絶縁体とは共に遮蔽材上に蒸着させることができる。このようなプローブは、セラミックスから作られるよりもむしろ金属から作られた部品（遮蔽材と本体（もしあれば））とを形成する部品、電極）を単に機械加工するだけで形成される。

別の方法として、電極と遮蔽材との絶縁体は遮蔽材ではなく電極に蒸着させることもできる。この形態のプローブでは、遮蔽材自体を絶縁体に蒸着させることも可能であり、そして所望ならば、遮蔽材とハウジングとの間の絶縁体を蒸着によって遮蔽材上に形成することもできる。どのような方法で遮蔽材が形成されようとも、遮蔽材は、対象物と静電結合する電極の一部を除いて、ほぼ全面的に電極の周囲を囲むことが、機関ケーシングなどの他の要素との静電結合を減少乃至は排除するために好み。所望ならば、別の部品として形成されたプローブ本体を用意することもできるが、その代わりとして、蒸着によって絶縁体上に形成することもできる。この形態のプローブは、単一の一体化された成形品として形成できる効果があり、その結果、セラミック絶縁リング形成のための高価な機械加工作業を削除できるばかりでなく、熟練を要するプローブ組立工程を削除することも可能になる。

この形態のプローブのもう一つの利点は、このプローブは作動中においてその各構成部品の示差熱膨張の対象にはならないということである。従来のプローブがタービンの羽根先端のすき間測定に用いられるとき、このプローブが約 1,000 の正規作業温度にまで加熱されたとき、金属部品とセラミック部品との示差熱膨張によって、ある程度までこれらの部品が緩んでしまうことがあり得る。また、タービンの羽根がプローブを通り過ぎるとき、タービンの羽根の両側における圧力差が、通常は 1,000 ~ 6,000 Hz である周波数が、6,000 Hz 以上に達する周波数で電極に振動力を与え、そのため、このプローブ電極はセラミック絶縁リングに振動せん断力を作用させる。ある場合、例えばある種のターボ過給機では、振動力が 100 kHz に達する周波数を有することがある。こうしたせん断力は、長時間の運転の後に、セラミックリングに損傷を与えることがあ

10

20

30

40

50

り、その結果、もしプローブがケーシングから外れるようなことがあれば、システムに破滅的な故障を生じさせる恐れがある。これと対照的に、本発明によるプローブにおいては、実質的に全プローブが同一の材料で形成されているので、示差熱膨張の問題がない。その上さらに、比較的に低い熱伝導体であるセラミッククリーニングを取り除くことによって、プローブの様々な区域の温度差を小さくすることができる。

電極は多くの目的のために金属の中実体で作られているが、このことは動作温度がその金属の最高使用温度、例えば鋼鉄の場合、約1,125までに制限されるという欠点がある。本発明の好ましい1面によれば、電極がセラミック体として作られ、そして遮蔽材が、電極と遮蔽材との間の絶縁層及び遮蔽材とハウジングとの間の絶縁層と共に蒸着によって形成される。電極は、セラミックに蒸着された、例えば金属の電導材の層を有することによって、電導性が付与されてもよく、またはその代替として、セラミック体が電導性のセラミック・金属複合材として形成されてもよい。このようにして、金属素材部品を含まず、従って著しく高い温度、例えば1,200まで乃至はそれ以上の、例えば1,500までまたはそれを超える温度で動作可能なプローブを形成することができる。

蒸着によって形成される層は、関連する温度、例えば1,000または1,200または1,500での動作を可能にするのに必要な接着力と熱安定性とを有する層を生成する方法でさえあれば、どのような方法によってでも形成することができる。例えば、これらの層は、凝縮相における蒸着、例えばアルコキシド金属の加水分解と重縮合を含むゾル・ゲル法、によって形成することができるもので、アルコキシド金属は、低温熱処理によって無機酸化物ガラスに転換される無機酸化物ゲル状態にするための、例えば、4エトキシド珪素、ブトキドチタン、またはブトキシドアルミニウムである。あるいは代替の方法として、これらの層は他の蒸着技術、例えばプラズマ支援化学蒸着法のような真空蒸着、またはスパッタリング、または好ましくはプラズマ蒸着によって形成することができるが、これらの工程は全て周知であり、そして多くの目的で工業的に採用されている。プラズマ蒸着の場合、セラミックまたは金属の粉末がアークまたは炎を通して噴霧され急速に蒸発させられてプラズマになる間、構成要素は真空中で回転させられている。プラズマは、回転している冷たい部品に触れると、凝縮してセラミックまたは金属の層を形成する。各絶縁層または金属層は、単一層のみとして形成されてもよく、または、所望ならば、数層から成るように形成されてもよい。例えば、最上層と基板との接着を強固にするために1層または数層のキーとなる層が設けられるが、このキーとなる層を形成するには、層の厚み全体にわたってそれぞれの層の特性が傾斜的に変化するように、例えば、最上層の真空蒸着法とは異なる真空蒸着法によって形成される。これらの方法によって蒸着される絶縁層は、一般的には、金属または半金属（メタロイド）の酸化物および窒化物、例えばアルミニウム、チタン、タンタルおよび珪素の酸化物と窒化物、もしくはこれらの酸化物または窒化物の混合物、あるいはその他の酸化物または窒化物の混合物である。したがって、この層のために混合金属酸化物を使用することも考えられる。しかしながら、本発明は、少なくともその最も広範な面において、特定の蒸着技術に限定されるわけではないことに留意すべきである。

したがって、本発明の他の側面によれば、ケーシングの内側面からタービンの羽根先端までの距離を静電容量によって測定するための装置を製作する方法であって、タービンの羽根と静電結合する電極を形成することと、少なくともケーシング内に配置される電極部分に絶縁層を蒸着させることと、遮蔽材を形成するために絶縁体に金属層を蒸着させることと、上記遮蔽材に第2の絶縁層を蒸着させることから成る方法が供される。上記装置のこの製造方法は、上述のいずれの装置の製作にも用いることができる。

これらの層は、各層の機能にそれぞれ相応しい厚みに形成される。例えば、遮蔽材と電極の場合、必要な導電性を有するには、0.01~1マイクロメータ、好ましくは0.1~0.2マイクロメータの厚みが適宜であり、一方電気絶縁層では、0.2~0.5マイクロメータの厚みが適宜であろう。しかし、本発明の好ましい1側面によれば、対象物に面している電極の部分（「前面」）は、特にプローブがタービンの羽根先端のすき間を測定するようになっている場合、相當に大きな厚みで形成され、例えば0.5mm以上の厚み

10

20

30

40

50

、好ましくは0.5～2mmの範囲、そして特に0.75～1.5mmの範囲の厚みで形成される。このような層は、タービンの羽根を作っている材料より柔らかくして、タービンの羽根によって磨耗可能とされ、これによって、電極の前面と羽根との間の制御可能な非常に小さな間隙を確保するように形成することができる。プローブは、ケーシング内に設置する前に完全に作り上げておくこともできるが、電極の前面のないプローブを形成し、このプローブをケーシング内に設置し、そしてその時になって初めて電極前面を蒸着することも可能である。その場合、この電極の前面は削られて要求レベルに戻されることが可能、プローブはケーシングの内側と同一平面を保つようになっている。機関の運転中に、羽根の先端がケーシングのライナーとプローブの前面とを浸食することもあるが、それでもプローブは作動し続ける。その結果、プローブの先端はまだケーシングの内径と同一平面に留まっているので、プローブは接触した後でも正しい先端すき間を出力する。これと対照的に、従来のプローブは磨耗されることはなく、ケーシング内に入り込むことになる。したがって、最初の接触の後、プローブの前面からケーシングの内径までの距離は変わり、そしてその時点から後は全てのすき間の読みは不正確になる。

上述は主としてタービンに関する説明であったが（それは、このような機関は一般的に最も過酷な環境を要求するからである）、本発明による装置は一般的な間隙の測定に用いることが可能であり、そしてこの装置を形成している材料の限界温度で機能することができる。この装置は、ガスタービンや蒸気タービンまたはその他のターボ機械、ピストン機関においても、あるいは間隙の大きさの測定を要求する他の装置においても、それらのどのような箇所にでも用いることができる。

以下に本発明による幾つかの形態のプローブを添付の図面を参照しながら、実施例によって説明する。

図1は、本発明による間隙測定プローブの第1の形態の断面図であり、

図2は、本発明による間隙測定プローブの第2の形態を模式的に示したもので、

図3は、本発明による間隙測定プローブの第3の形態を模式的に示したものであり、そして

図4は、図3に示されているプローブの変更例を模式的に示したものである。

添付の図面を参照すると、図1は、タービンケーシング2に対するタービンの羽根（図示されていない）の先端の位置を決定するための間隙測定プローブ1を示している。このプローブ1は、タービンに面している前面6を有する鋼鉄製の電極4から成り、そしてタービンが回転するとき、タービンの羽根の先端がこの電極4を横切って通過する。電極4は、底部ガード8と上部ガード10とから成る遮蔽材内に配置されており、これらのガードもまたそれぞれ鋼鉄を機械加工して作られている。この底部ガード8には内側リップがあり、このリップは、電極が底部ガード8からタービンの羽根の方に向かって滑り出さないように、電極の周縁溝にはめ込まれておらず、そして上部ガード10は一般的には円錐台形の漏斗状部12と円筒形部13とを有し、この漏斗状部12は、電極が機関ケーシング2に向かって後方に滑っていかないように、電極4の後部ショルダーにはめ込むことができる。底部ガード8の外側の周囲には、リテーナ15があって、これによって、底部ガード8と上部ガード10とそして電極4が正確に機関ケーシング2の窪み内に収められている。

底部ガード8は、組み立てられたとき、上部ガードを形成する金属が電極4とタービンケーシング2との双方から電気的に絶縁されているように、上部ガード10に接触しているその部分を除き、その前面にわたって、プラズマ蒸着により窒化アルミニウムから形成された0.2mm厚の絶縁層を有する。上部ガード10は、空隙により電極4とケーシング2との双方から完全に分離されてもよいが、やはり同じように被覆されている。電極4は従来の方法で3軸ケーブル（図示されていない）の中央心線に接続されているが、一方底部ガード8と上部ガード10とによって形成される遮蔽材は3軸ケーブルの中間遮蔽体に接続されている。遮蔽体の電圧は、それが電極と接地電位になっているタービンケーシング2との静電結合を妨げるように、ユニティゲイン増幅器によって電極の電圧に設定される。

プローブ1は、いかなる部分も機械加工によってセラミックから形成する必要なしに、非常に簡単でかつ安価な方法で作られ、そしてその鋼鉄部分の最高作業温度に達するまでのどのような温度にも耐えられるであろう。

プローブ1を組み立てるには、上部ガード10と底部ガード8が電極4の周囲を囲むように、そして電極が底部ガードのリップ9および上部ガードの漏斗状部12によってこの2つのガード間にしっかりと保持されるように、上部ガード10と底部ガード8とを電極4の対向する両端上に滑り込ませ、そして互いに密着させるか、またははめ合わす。この組立体の様々な部品間にすき間があるように図示されているが、これは単に分かりやさのためである。上部ガード10と底部ガード8は次に互いに溶接され、3軸ケーブルが挿入できるように、一般的に電極の端末の所に1つの穴16が上部ガード10の円筒形部13に穿たれる。ケーブル(図示されていない)は短く切断され、そしてこの穴に挿入され、次にケーブルの中央ワイヤは電極の端面にろう付けされ、そして中間遮蔽体は上部ガード10にろう付にされる。それからプローブ1が機関ケーシング2の窪みに挿入され、そしてリーナ15が電極と上部ガード10の周囲に配置されてケーシング2に溶接され、これによってこのケーシングの窪みからプローブ1がタービンの羽根の方に滑りでることが防止される。3軸ケーブルの外側遮蔽体は機関ケーシング2に溶接され、そしてシムストック18の薄片が点溶接され、その結果、電極は、その前面6を除いて、上部ガードと底部ガードにより形成されている遮蔽材によってその全体が囲われる。次に、セラミックのパッキングディスク(図示されていない)が上部ガード10の円筒部の端末に配置され、そして金属ディスク(図示されていない)が、ケーシング2の窪みを閉鎖するためにパッキングディスク上に敷かれ、そしてケーシングに仮付け溶接される。

図2は、図1に示されているものと類似の形態の静電容量型プローブを模式的に示しているが、この場合、電極4は(前面を含む)その全ての面を第1のセラミック絶縁層14で覆われてあり、それに続いて遮蔽材を形成する厚さ0.3mmのプラチナ/イリジウム層16(前面を除く)で覆われ、そして最後にもう1層、タービンケーシング2から遮蔽材を絶縁する厚さ0.2mmのセラミック層18で覆われている。このプローブは、図1に示されている電極4と底部ガード8とそして上部ガード10との組立体に対応しており、機関ケーシングの窪みに動かないように収められ、図1に示すプローブと同様に動作することができる。このプローブは、機械加工によって単一の要素、電極4を形成するだけではなく、したがって製造費を削減できるという利点がある。

図3は、図2に示されているプローブの修正例を示すもので、この場合電極4はセラミック素材から作られた電極本体4'を有し、これをプラズマ蒸着によりプラチナ/イリジウム層4"が被覆している。図2を参照しながら説明されたように、電極4'上に絶縁層14と18および遮蔽材16が形成されている。この形態のプローブは、金属素材部品を含まないという利点がある。唯一の素材部品はセラミック製であり、そのためこのプローブが相当な高温、例えば、1,200を越える高温でも故障を起こさずに耐えることができる。

図4は、図3に示されているプローブの改良例を模式的に示したもので、この場合、電極4の前面6は、比較的に低密度の多孔性の金属層または金属/セラミック複合材の層の形で蒸着されている比較的に厚い金属コーティングとして形成される。前面を形成する層は約1mmの厚みを有しそして(セラミックまたはタービンの羽根に比べて)比較的に柔らかいので、電極の前面は、設置された後、タービンの羽根によって磨耗され、そのため両者の間に制御可能な小さい間隙を形成する。

10

20

30

40

【 図 1 】

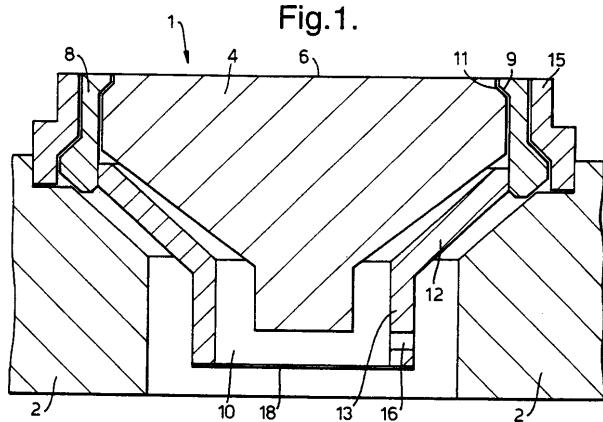
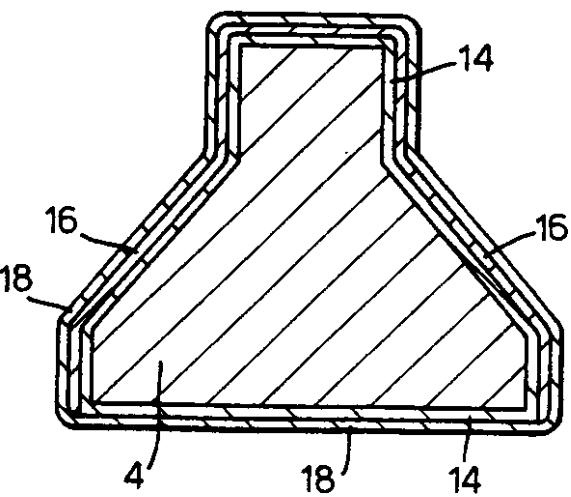


Fig.1.

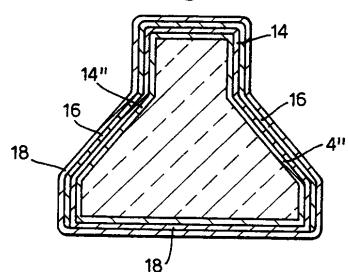
【 図 2 】

Fig.2.



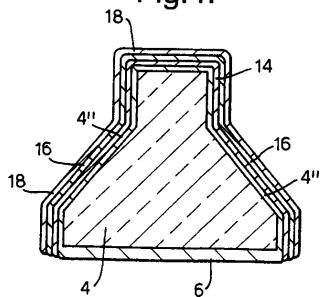
【 3 】

Fig.3.



【図4】

Fig.4.



---

フロントページの続き

(74)代理人

弁理士 緒方 雅昭

(72)発明者 ローレンス, ディビット, チャールズ

アメリカ合衆国 46112 インディアナ州 ブラウンスパールグ ノース 800 イースト  
10593

(72)発明者 シアルド, アンソニー ジェフリー

イギリス国 ディーイー5 3エスキュー ダービー リブリー フォリスター ロード 6

審査官 櫻井 仁

(56)参考文献 特開平04-147448 (JP, A)

特開平07-198309 (JP, A)

特開平04-161817 (JP, A)

特開平02-047256 (JP, A)

特開昭63-222216 (JP, A)

特表平05-502730 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 7/00 ~ 7/34