

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年8月20日(20.08.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/166155 A1

(51) 国際特許分類:

H01J 37/073 (2006.01) *B64G 1/32* (2006.01)
H01J 1/304 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2019/044838

(22) 国際出願日: 2019年11月15日(15.11.2019)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2019-022266 2019年2月12日(12.02.2019) JP

(71) 出願人: 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY) [JP/JP]; 〒1828522 東京都調布市深大寺東町七丁目4番地1 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 大川 恭志(OHKAWA, Yasushi); 〒1828522 東京都調布市深大寺東町七丁目4番地1 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構内 Tokyo (JP). 河本 聡美(KAWAMOTO,

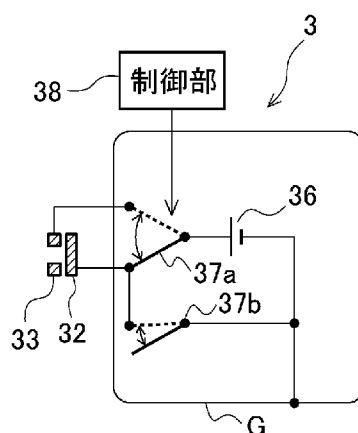
Satomi); 〒1828522 東京都調布市深大寺東町七丁目4番地1 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 大森 純一(OMORI, Junichi); 〒1070052 東京都港区赤坂7-5-47 U & M 赤坂ビル2F Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: ELECTRON SOURCE AND ELECTRON SOURCE UNIT

(54) 発明の名称: 電子源及び電子源ユニット



38 Control unit

(57) Abstract: [Problem] To provide an electron source that is lightweight and simply constructed, and is capable of suppressing characteristic degradation or recovering characteristics without increasing power consumption. [Solution] This CNT electron source comprises: a CNT emitter (32) for emitting electrons; a gate electrode (33) for drawing out electrons from the CNT emitter (32); and a gate power supply connection switching relay (37a) and a CNT emitter grounding switching relay (37b) for causing electrons to be emitted from the gate electrode (33) and applied to the CNT emitter.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 【課題】軽量かつ構成が簡単で、さらに消費電力の増加を招くことなく、特性劣化を抑制あるいは特性を回復することができる電子源を提供すること。【解決手段】CNT電子源は、電子を放出するためのCNTエミッタ(32)と、CNTエミッタ(32)より電子を引き出すためのゲート電極(33)と、ゲート電極(33)から電子を放出させてCNTエミッタに照射するためのゲート用電源接続切替リレー(37a)及びCNTエミッタ接地切替リレー(37b)とを有する。

明 細 書

発明の名称：電子源及び電子源ユニット

技術分野

[0001] 本発明は、例えばテザーの一端に付けられる電子源及び電子源ユニットに関する。

背景技術

[0002] 宇宙では、様々な用途で電子放出源が必要である。例えば、イオンエンジンやホールスラスト等の電気推進のイオンビームを中和するための中和器や、エレクトロダイナミックテザーと呼ばれる推進系用の電子源、さらに、宇宙機の異常帯電を防ぐための電子源、様々な科学実験のための電子源、などである。

[0003] この中で、エレクトロダイナミックテザー（Electrodynamic Tether：以下、「EDT」と呼ぶ。）とは、地球低軌道において長い導電性のワイヤ（テザー）を伸ばしてそこに電流を流すことにより、地球磁場と電流との干渉で生じた電磁気力（ $J \times B$ 力）を推進力として利用する推進システムである（非特許文献1 参照）。特に軌道を降下させる場合には、自己誘導起電力を電流駆動に利用できるため、EDTは、原理的には電力も燃料も不要な推進系となる。

このEDTは、地球低軌道に多く存在するスペースデブリ（宇宙ごみ）を投棄するための軌道降下手段として特に有用であると考えられている（特許文献1 参照）。

[0004] このテザーに、ある程度の大きな電流を流すためには、その一端に電子源を付けて、宇宙空間に対して電子を放出する必要がある。

[0005] 宇宙機への搭載にあたって、電子源はなるべく簡素で低電力なシステムであることが望ましく、その点で、電極間に電圧を印加するだけの電界放出型の電子源は、宇宙機電子源に適している。特に、カーボンナノチューブ（Carbon Nanotube：以下、「CNT」と呼ぶ。）を電子材料として使うCNT電

子源は、ナノスケールの形状がもたらす電界集中効果により、低電圧駆動が可能であり、EDTへの応用も含めて、宇宙用の電子源として期待されている。CNT電子源は、電子を放出するCNTエミッタと、その電子を引き出すためのゲート電極、その上部を覆うマスク、さらに、各電極間の電氣的絶縁を保持する絶縁スペーサ、により構成される（特許文献2参照）。

[0006] スペースデブリの増加が特に問題となっているのは地球低軌道であるが、そこには原子状酸素（Atomic Oxygen：以下、「AO」と呼ぶ。）が多く存在する。そのため、CNTとAOとの化学／物理反応により、CNT電子源の電子放射性能が劣化することが分かっている。具体的には、同じ電子エミッション電流を得るために必要な駆動電圧がAOの影響によって上昇する。地球低軌道を飛行する物体には、軌道速度に近い8 km／s程度の速度でAOが衝突するため、CNT電子源が飛行物体の正面側に搭載されている場合には、CNTの損傷に伴う電子源の性能劣化が顕著である（非特許文献2参照）。

[0007] このため、地球低軌道でCNT電子源を使う場合には、電子放出面が正面側を向かないように配慮することや遮蔽板を用いることが提案されており（非特許文献3参照）、これにより、ある程度の寿命が確保されることが、これまでの模擬実験（非特許文献2参照）や、地球低軌道で実施した実験（非特許文献3参照）により確認されている。

[0008] しかし、このように高エネルギーAOを直接当たらないようにCNT電子源を配置した場合でも緩やかではあるが性能劣化（駆動電圧上昇）は進む。これは、CNTへの酸素の吸着に起因するものと考えられている。地球低軌道のスペースデブリ除去を想定した場合、1年以上のミッション期間となる可能性があり、長期間動作による駆動電圧の上昇は、搭載する電圧源の高電圧化による消費電力の増加やシステム質量の増大、さらに電氣的絶縁破壊による電子源の損傷等の問題を発生させることになり、システムの成立に大きな影響を与える。このため、特にAO濃度が高い軌道でのCNT電子源の長期間の使用は困難であると考えられてきた。

地上の真空チャンバ内あるいはデバイス内でCNT電子源を使用する際にも、類似の問題がある。例えば、真空チャンバを閉じて真空引きをした直後の電子源作動時に、大気暴露時の酸素や水分がCNTに残留（吸着）することにより、CNTにダメージを与えることが分かっており、このことが、短期的／長期的な特性劣化を招く。

[0009] このような問題を解決するために、CNTに吸着された物質を脱離させる方法はこれまでも考えられている。例えば、ヒータを利用したのベーキング（加熱）（例えば特許文献3）や、イオン源を利用したのイオン照射（例えば特許文献4）、あるいは電子銃を利用してkeV以上の高エネルギー電子照射する方法（特許文献5）などである。

先行技術文献

特許文献

- [0010] 特許文献1：特開2007-131124号公報
特許文献2：特開2007-109514号公報
特許文献3：特開2004-047254号公報
特許文献4：特開2007-172862号公報
特許文献5：米国特許公開2002-0142698号公報

非特許文献

- [0011] 非特許文献1：<http://www.kenkai.jaxa.jp/research/debris/deb-edt.html>
非特許文献2：Atsuko SHIMADA et al., 'Effect of Atomic Oxygen Irradiation on Field Emission Cathodes in Low Earth Orbit' TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN 2014 Volume 12 Issue ists29 Pages Pb_59-Pb_64.
非特許文献3：Yasushi Ohkawa et al., 'Operation of a Carbon Nanotube Field-Emission Cathode in Low Earth Orbit' Conference: 2018 31st International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC). Kyoto Japan, July 2018.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] 上記の各手段は、地上で有効であるが、ヒータやイオン源、電子銃などを追加で宇宙機に搭載することは、システム重量の増加やシステムの複雑化、消費電力の増加を招くため困難である。また、これらの方法が、地球低軌道に特有のAOによるCNT電子源の性能劣化抑制に有効かどうかは不明である。

[0013] 以上のような事情に鑑み、本発明の目的は、軽量かつ構成が簡単で、さらに消費電力の増加を招くことなく、特性劣化を抑制あるいは特性を回復することができる電子源及び電子源ユニットを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0014] 本発明者らは、CNT電子源にAO照射すると特性の劣化が進むが、その間に電子放射すると特性の劣化がほとんどみられないという知見を得た。本発明は、かかる知見に基づきなされたものである。

[0015] すなわち、上記目的を達成するため、本発明に係る電子源は、ナノカーボン材料を含み、電子を放出するためのエミッタと、前記エミッタより電子を引き出すためのゲート電極と、前記ゲート電極により電子を放出させて前記エミッタに照射する照射部と、を具備する。

[0016] CNT等のナノカーボン材料からなるエミッタに活性な酸素が吸着している状態でエミッタより電子放出を開始するとCNT等を損傷させることになるが、本発明では、エミッタに電子を照射することにより、エミッタに吸着した酸素が離脱されるため、CNT等の損傷が抑えられ、エミッタの特性の劣化が進まなくなる。また、本発明では、もともと電子源が有する構成要素を使って、エミッタへ電子を照射する構成を採用している。これにより、軽量かつ構成が簡単で、さらに消費電力の増加を招くことなく、特性劣化を抑制あるいは特性を回復することができる。

[0017] 本発明の一形態に係る電子源では、前記照射部は、本来は前記ゲート電極に電源を供給するためのゲート用電源の接続先を前記ゲート電極から前記エ

ミッタに切り替えると共に、前記エミッタへの接地を切り離す切替部を有する。

[0018] 本発明の一形態に係る電子源では、前記照射部は、本来は前記ゲート電極に電源を供給するためのゲート用電源と、前記エミッタに正電位のバイアスを印加するためのバイアス印加用電源と、前記ゲート用電源の接続先を接地から前記バイアス印加用電源に切り替える切替部とを有する。

[0019] 本発明に係る電子源ユニットは、上記構成の電子源を少なくとも2つ有し、一方の前記電子源から放射された電子を他方の前記電子源の前記エミッタに照射するモードと、他方の前記電子源から放射された電子を一方の前記電子源の前記エミッタに照射するモードとを有する。

[0020] 本発明の一形態に係る電子源では、前記照射部は、テザーと前記エミッタとを電氣的に接続する接続部を有する。

発明の効果

[0021] 本発明によれば、軽量かつ構成が簡単で、さらに消費電力の増加を招くことなく、特性劣化を抑制あるいは特性を回復することができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1] CNT電子源に対してAOを軌道上での衝突速度相当のエネルギーで照射し、その照射量の各段階で電流電圧特性を取得した実験結果である。

[図2] 高傾斜角軌道をEDTが周回する場合のデブリ除去衛星の電位変化を数値シミュレーションした結果の一例である。

[図3] EDTの構成を示す図である。

[図4] CNT電子源の構成を示す概略的断面図である。

[図5] 本発明の第1の実施形態に係るCNT電子源の回路構成を示す回路図である。

[図6] 本発明の第1の実施形態に係るCNT電子源の他の回路構成を示す回路図である。

[図7] 本発明の第2の実施形態に係るCNT電子源ユニットの回路構成を示す回路図である。

[図8]本発明の第3の実施形態に係るCNT電子源の回路構成を示す回路である。

発明を実施するための形態

[0023] 本発明の一形態に係る電子源は、電子を放出するためのCNTエミッタと、前記CNTエミッタより電子を引き出すためのゲート電極と、前記ゲート電極により電子を放出させて前記エミッタに照射する照射部とを有し、本来は前記ゲート電極に電源を供給するためのゲート用電源の接続先を前記ゲート電極から前記CNTエミッタに切り替えると共に、前記CNTエミッタへの接地を切り離す切替部を有する。

本発明の一形態に係るCNT電子源では、通常は宇宙プラズマと同程度の電位あるいは負電位となっているCNT電子源のCNTエミッタに、積極的に正電位を印加する。地球低軌道では、宇宙機の周辺はプラズマで満たされているため、CNTエミッタを正電位とすることにより、低軌道プラズマからCNTエミッタに電子を引きつけて衝突させ、CNTに付着した酸素を脱離させる。これにより、CNTエミッタをクリーニングすることができる。この場合、新たな電子銃等を搭載する必要はなく、また、電源はゲート電極への電圧印加用にもともと搭載しているものを使えるため、重量増加やシステム複雑化といった問題は生じない。この方法は、特に、打ち上げ後に軌道上で最初に当該電子源を使用する前に実施することが有効である。CNTエミッタ上に蓄積された吸着物質をはじめに除去することにより、初期の大きな特性劣化を防ぐことができる。

このように、CNTエミッタに電子を照射することで、AOによるCNT電子源の特性劣化を抑制できることを、本発明者らは地上でのAO照射実験により確認した。図1は、CNT電子源に対してAOを軌道上での衝突速度相当のエネルギーで照射し、その照射量の各段階で電流電圧特性を取得した結果である。(a)がAO照射後にそのまま電流電圧特性を取得した結果、(b)はAO照射後に一度電子照射をしてから電流電圧特性を取得した結果である。この実験では、CNT電子源の電子放出面は、AOの流れに対して

平行になるように配置している。図1より、電子照射を行っていない場合は、AO照射量が増えるにつれて、電子放射に必要なゲート電圧が上昇（カーブが右側にシフト）しているのに対し、電子照射をした場合は、特性の変化がほとんど生じていない。この結果から、CNTエミッタへの電子照射が、AOによって生じる電子放射特性の劣化を抑制することが確認された。この実験で照射した $1 \times 10^{20} / \text{cm}^2$ というAOフルエンスは、例えば高度800kmの軌道では数年間分に相当する量となるため、スペースデブリ除去应用という観点で十分なAO照射量である。

[0024] 本発明の一形態に係るCNT電子源は、電子を放出するためのCNTエミッタと、前記CNTエミッタより電子を引き出すためのゲート電極と、前記ゲート電極により電子を放出させて前記エミッタに照射する照射部とを有し、前記照射部は、テザーと前記CNTエミッタとを電氣的に接続する接続部を有する。

本発明の一形態に係るCNT電子源では、EDTにCNT電子源を使う場合を想定し、テザーが発生させる自己誘導起電力を利用する。スペースデブリは、地球低軌道の中でも特に、軌道傾斜角が大きい軌道（例えば98度など）に集中している。これらのスペースデブリにEDTを取り付けて軌道周回する場合には、軌道周回中にテザー運動に対する地磁場の正負方向が逆転するため、テザーに沿って発生する自己誘導起電力の向きが軌道周回中に反転する。これは、宇宙プラズマに対するデブリ除去衛星の電位（つまりCNTエミッタの電位）が周回軌道中に正になったり負になったりすることを意味する。図2は、高傾斜角軌道をEDTが周回する場合のデブリ除去衛星の電位変化の一例である。宇宙プラズマに対してデブリ除去衛星が負の間は、CNT電子源は宇宙空間に対して電子放射する正常の動作をするが、宇宙プラズマに対してデブリ除去衛星が正となる間は、電位が逆転しているため、当該電子源は宇宙空間に電子放射することはできず、したがって、この間は、ミッションにとって無駄な時間になると考えられていた。

しかし、上述のCNTエミッタへの電子照射による特性劣化抑制という観

点でみると、上記の時間は無駄にはならない。本発明の一形態に係るCNT電子源では、テザーとCNTエミッタとを電氣的に接続する接続部を有することから、宇宙空間に対してデブリ除去衛星が正となる間は、宇宙プラズマ中の電子が勝手にCNTエミッタに流入し、CNTに吸着された酸素を脱離させるというクリーニング作用が生じる。そして、電位関係が逆転した後は、CNTエミッタがクリーニングされた状態で当該CNTエミッタより電子放出が開始されるため、特性劣化を最小限に抑えられることとなる。これにより、低軌道環境中で単純に電子放出を続ける場合よりも、長期間にわたって、低電圧（つまり低電力）でCNT電子源を作動させられると考えられる。このとき、CNTエミッタとテザーとの電氣的接続を維持しておくことが重要である。

[0025] 本発明の一形態に係るCNT電子源では、これまで難しいと考えられてきた、地球低軌道環境でのCNT電子源の長期間の利用が可能となる。

特に、軌道上で初めてCNT電子源を動かす前に、上述の宇宙プラズマを使った電子照射をすることで、地上保管時や打ち上げ時、さらにはその後のAO暴露環境によりCNTに蓄積された吸着物質を排除することができ、初期の特性劣化を大幅に抑制できる。

また、CNT電子源の特性劣化（駆動電圧上昇）をほぼ抑制できるため、電子源駆動電圧の電圧レベルを下げる事が可能となる。これにより、軽量で消費電力の小さい電源を使用することができ、さらに、高電圧に起因する電氣的絶縁破壊の発生を防ぐことができるため、システム成立性を高めることができる。

上記の各点は、CNT電子源の応用先に関わりなく効果を発揮する。

また、本発明の一形態に係るCNT電子源では、テザーとCNTエミッタとを電氣的に接続する接続部を有することで、追加の装置等を必要とせずに、当該電子源を長寿命化できるため、EDTを利用したスペースデブリ除去システムの実現可能性を高められる。

[0026] 以下、図面を参照しながら、本発明の実施形態を説明する。

＜ＥＤＴ及びＣＮＴ電子源の構成＞

まず、本発明に係るＣＮＴ電子源が取り付けられるＥＤＴを説明する。

図３はＥＤＴの構成を示す図である。ＥＤＴ１は、テザー２と、テザー２の一端に接続されたＣＮＴ電子源３とを有する。デブリ４は、テザー２の他端に取り付けられる。

ＥＤＴ１は、典型的には、キロメートル級の長さの導電性のテザー（ワイヤ）２を軌道上で伸ばし、そこにＣＮＴ電子源３より電流を流すことで、地球磁場との干渉によって電磁気力（ $J \times B$ 力）を発生させて、その力を推進力として利用する。ＥＤＴ１は、燃料を使わずに推進力が得られるという大きなメリットがある。軌道降下する場合には、自己誘導起電力により、電流を駆動するための電位差も発生するため、特に有利である。

[0027] 図４はＣＮＴ電子源３の構成を示す概略的断面図である。ＣＮＴ電子源３は、電子エミッタ材料としてＣＮＴを使った電界放出型電子源であり、基板３１上にＣＮＴエミッタ３２が形成され、ＣＮＴエミッタ３２と対向してゲート電極３３が配置されている。ゲート電極３３は、ＣＮＴエミッタ３２から放出された電子を外部に放出するための隙間を有する。符号３４はシールド部材である。

ＣＮＴ電子源３は、衛星グランドにＣＮＴエミッタ３２を接地し、ゲート電極３３に正電位を印加するだけで電子を放出できるので、構造が簡素であり、さらに、ＣＮＴエミッタ３２のＣＮＴ先端での電界集中効果により、駆動電圧（ゲート電圧）の低減が可能である。

このＣＮＴ電子源３は、ＣＮＴエミッタ３２の表面にマスク３５を形成している。マスク３５は、ゲート電極３３の隙間以外の領域に対向して形成されている。マスク３５は、ゲート電極３３の隙間に電子ビームを集束させて、ゲート電極３３に流入するロス電流を減らすためにある。マスク３５に関する技術の詳細は特許文献２に記載されており、特許文献２の記載は本明細書の開示の範囲である。

[0028] ＜第１の実施形態＞

図5は、本発明の第1の実施形態に係るCNT電子源3の回路構成を示す回路図である。

このCNT電子源3は、CNTエミッタ32を宇宙空間に対して正電位にできるような回路構成を持つ。通常、CNT電子源はゲート電極への電圧印加用に高電圧電源（ゲート用電源）を有している。このCNT電子源3は、CNTエミッタ32に電子を照射する照射部として、ゲート用電源36の接続先をゲート電極33からCNTエミッタ32に切り替えると共に、CNTエミッタ32への接地Gを切り離す切替部としてゲート用電源接続切替リレー37a及びCNTエミッタ接地切替リレー37bを有する。図5に示すゲート用電源接続切替リレー37a及びCNTエミッタ接地切替リレー37bにおいて、実線はCNTエミッタ32への接地を切り離し、ゲート用電源36をCNTエミッタ32に接続した状態（クリーニングモード）を示し、点線はCNTエミッタ32を接地し、ゲート用電源36をCNTエミッタ32に接続した状態（通常モード）を示している。制御部38は、通常モードとクリーニングモードとを切替るためにゲート用電源接続切替リレー37a及びCNTエミッタ接地切替リレー37bの切替えを制御する。制御部38は、タイマーを有し、所定のスケジュールに基づきゲート用電源接続切替リレー37a及びCNTエミッタ接地切替リレー37bの切替えを制御してもよく、あるいは、CNTエミッタ32のCNTへの吸着物質の蓄積量を推定する手段を有し、推定結果に基づきゲート用電源接続切替リレー37a及びCNTエミッタ接地切替リレー37bの切替えを制御してもよい。CNTへの吸着物質の蓄積量を推定する手段としては、通常モード時のゲート用電源36の電圧上昇幅をモニタすれば良い。CNTへの吸着物質の蓄積量が増えると、電子放出のためにゲート用電源36に印加すべき電圧が上昇するため、前記電圧の上昇幅が大きくなったときに、通常モードからクリーニングモードに移行する。

[0029] 図5に示したCNT電子源3はゲート用電源36を使ってCNTエミッタ32を宇宙空間に対して正電位にできるような回路構成を有していたが、図

6に示すようにCNTエミッタ32を宇宙空間に対して正電位にするためのCNTエミッタ正バイアス用の電源39を追加すると共に、切替部としてゲート用電源接続切替リレー37a及びCNTエミッタ接地切替リレー37bに代えて通常の電子放出動作時の電流を流すためのリレー37cを有する回路構成としてもよい。ゲート用電源接続切替リレー37a及びCNTエミッタ接地切替リレー37bを有する。図5に示すリレー37cにおいて、実線はCNTエミッタ32への接地を切り離し、電源39をCNTエミッタ32に接続した状態（クリーニングモード）を示し、点線はCNTエミッタ32を接地し、通常の電子放出動作時の電流を流す状態（通常モード）を示している。

[0030] <第2の実施形態>

図7は、本発明の第2の実施形態に係るCNT電子源ユニット30の回路構成を示す回路図である。

このCNT電子源ユニット30は、宇宙プラズマ中の電子だけではクリーニング効果が不十分な場合を想定して、第1の実施形態に係る回路構成を持つCNT電子源3を2台以上搭載し、ひとつあるいは複数の一方のCNT電子源3から、他方のCNT電子源3に対して電子を照射し、また、他方のCNT電子源3から、一方のCNT電子源3に対して電子を放射し、CNTエミッタ32を相互にクリーニングできるような機器構成としている。この図7は、上のCNT電子源3が通常の電子放出動作をしていて、CNTエミッタ32が正電位にバイアスされた下のCNT電子源3に、その電子が流入し、下のCNT電子源3のCNTエミッタ32がクリーニングされている状態を示している。例えば、制御部38は、所定のタイミングで、一方のCNT電子源3と他方のCNT電子源3とを交互に通常モードとクリーニングモードとに切替える。あるいは、第1の実施形態と同様の手段により、CNTへの吸着物質の蓄積量に応じてモード切替を行っても良い。

[0031] このケースは、地球低軌道の、例えば静止軌道のような高い軌道や深宇宙など、宇宙プラズマが希薄な場所でCNT電子源を使用する際に、地上保管

時の吸着ガスや自身から放出されるアウトガス等の影響を排除するためにも有効である。

もともと、冗長性確保等の観点で、複数の電子源を搭載する可能性が高いため、その複数構成を有効に活用して、この第2の実施形態に係るCNT電子源ユニット30を実現できる。

なお、図7に示したCNT電子源ユニット30は、図6に示したCNT電子源3を2台搭載しているが、3台以上であってもよく、また、他の構成のCNT電子源、例えば図5に示したCNT電子源3を複数搭載してもよい。

[0032] <第3の実施形態>

図8は、本発明の第3の実施形態に係るCNT電子源3の回路構成を示す回路である。

このCNT電子源3は、照射部として、テザー2の一端とCNTエミッタ32とを電氣的に接続する接続部40を有し、EDT1の電子放出源としてCNT電子源を利用する際に、テザー2が生み出す自己誘導起電力が磁場との相対関係により反転して宇宙機が正帯電するタイミングに、CNTエミッタ32に宇宙プラズマ中の電子を、外部電源等を使わずに照射してCNTエミッタ32をクリーニングする。図2に示したとおり、高軌道傾斜角軌道の場合、テザー2が発生する誘導起電力は、時間帯によって正負が逆転するため、CNTエミッタ32の電位は自動的に、宇宙プラズマに対して、正になったり、負になったりする。そして、負になったときは通常モード、正になったときはクリーニングモードとなる。

[0033] <変形例>

本発明は、様々な変形が可能である。

例えば、第1の実施形態あるいは第2の実施形態でのCNTエミッタ32への正電位の印加を、通常の電子放出動作と交互にパルス的に動作させてもよい。これにより、CNT電子源3の特性劣化抑制がより効果的になると考えられる。

[0034] 第1の実施形態におけるCNTエミッタ32への正電位印加電圧を可変と

して、クリーニング効果と消費電力等のバランスをミッションの各段階で制御してもよい。

[0035] 上記の実施形態では、エミッタがCNTからなるCNTエミッタ32を例示したが、エミッタにCNT以外のナノカーボン材料、例えばグラフェンやカーボンナノファイバー、カーボンナノコイル等を用いた場合にも本発明を適用でき、同様の効果を奏する。

[0036] 上記の第3の実施形態では、テザー2の片端にCNT電子源3を搭載していたが、テザー2の片端ではなく両端にCNT電子源3を搭載し、宇宙プラズマとCNTエミッタ32との電位差が反転するどちらの場合でも、片端のCNT電子源3を電子放出、もう一端のCNT電子源3をエミッタクリーニング、という状態を周期的に繰り返すことで、有効に推進力を発生しつつCNT電子源3も長寿命化することができる。

[0037] 上記の実施形態では、EDTに本発明に係るCNT電子源3を搭載する例を示したが、イオンエンジン等の電気推進の中和器としてCNT電子源を使う場合であって、宇宙プラズマが希薄な場所にいる場合にも本発明を適用できる。そのような場合に、CNTエミッタに正電位を印加して、イオンエンジン等の放電室プラズマからCNTエミッタに電子を呼び込んでCNTエミッタをクリーニングする。

[0038] 本発明に係る電子源は、宇宙用ではなく、地上用のX線源や各種光源、ディスプレイ等のデバイスの中でCNT電子源を使用する場合に、上記の第2の実施形態で示したように複数のCNT電子源を配置して互いに電子照射ができるようにすることで、機器を長寿命化することができる。

符号の説明

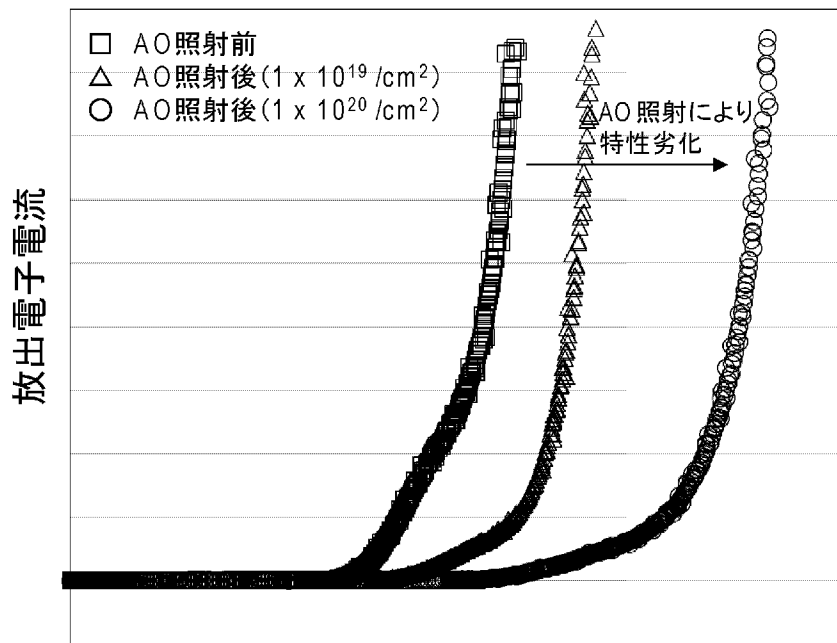
- [0039] 1 : EDT
2 : テザー
3 : CNT電子源
30 : CNT電子源ユニット
31 : 基板

- 3 2 : C N T エミッタ
- 3 3 : ゲート電極
- 3 4 : シールド部材
- 3 5 : マスク
- 3 6 : ゲート用電源
- 3 7 a : ゲート用電源接続切替リレー
- 3 7 b : C N T エミッタ接地切替リレー
- 3 7 c : リレー
- 3 9 : 電源
- 4 0 : 接続部

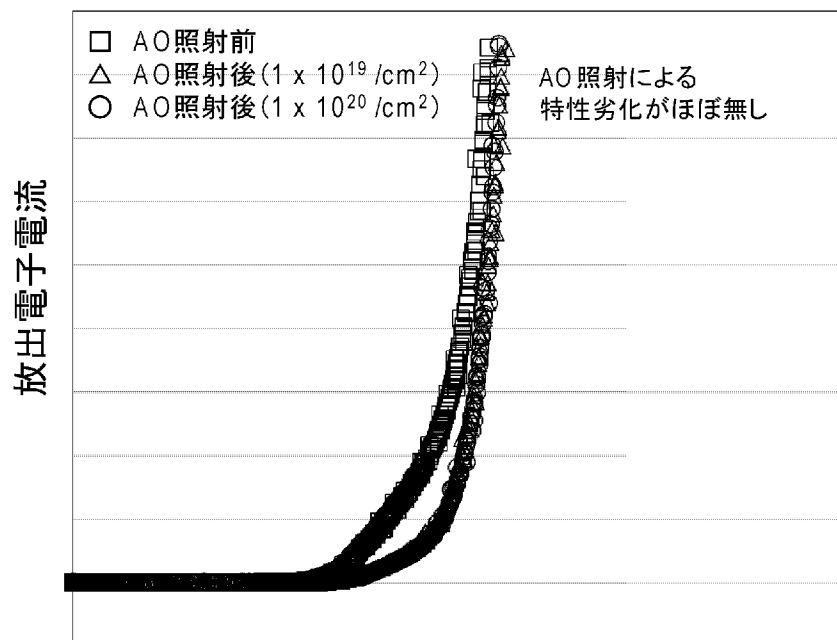
請求の範囲

- [請求項1] ナノカーボン材料を含み、電子を放出するためのエミッタと、
前記エミッタより電子を引き出すためのゲート電極と、
前記ゲート電極によって電子を放出させて前記エミッタに照射する
照射部と
を具備する電子源。
- [請求項2] 前記照射部は、ゲート用電源の接続先を前記ゲート電極から前記エミッタに切り替えると共に、前記エミッタへの接地を切り離す切替部を有する請求項1に記載の電子源。
- [請求項3] 前記照射部は、前記エミッタに正電位のバイアスを印加するためのバイアス印加用電源と、ゲート用電源の接続先を接地から前記バイアス印加用電源に切り替える切替部とを有する請求項1に記載の電子源。
。
- [請求項4] 前記照射部は、テザーと前記エミッタとを電氣的に接続する接続部を有する請求項1に記載の電子源。
- [請求項5] 請求項1～3のいずれか一項に記載の電子源を少なくとも2つ有し、
一方の前記電子源から放射された電子を他方の前記電子源の前記エミッタに照射するモードと、他方の前記電子源から放射された電子を一方の前記電子源の前記エミッタに照射するモードとを有する電子源ユニット。

[図1]

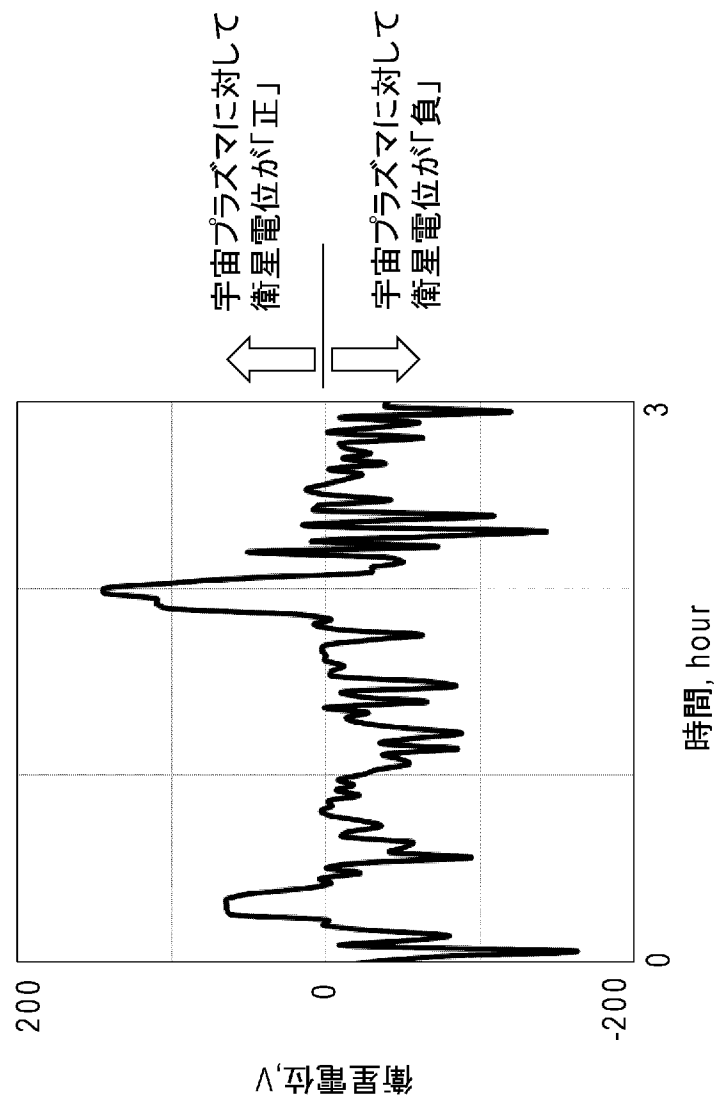


電子放出に必要なゲート電圧
(a) AO照射後にそのまま取得した電流電圧特性

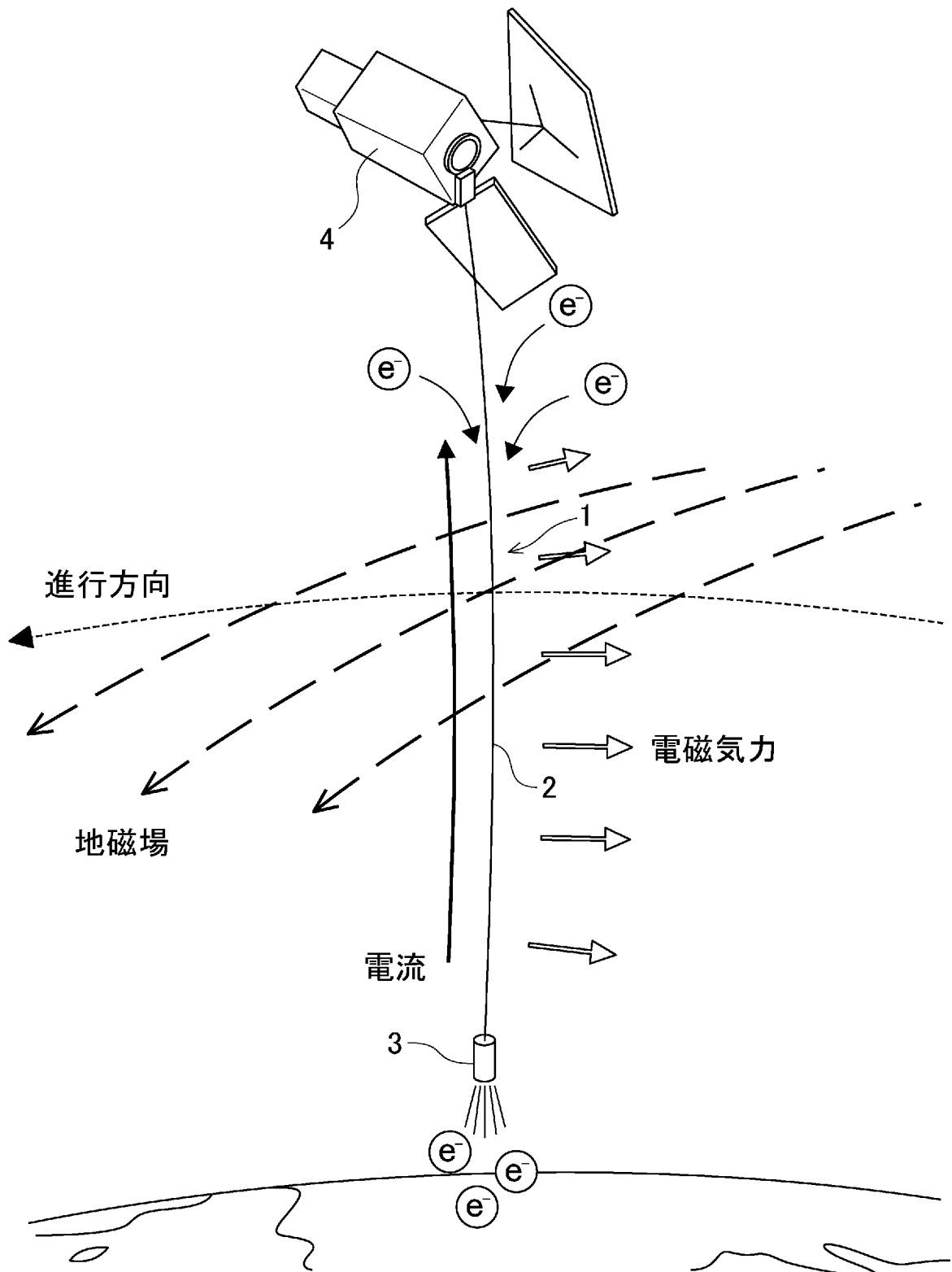


電子放出に必要なゲート電圧
(b) AO照射後に電子照射をしてから取得した電流電圧特性

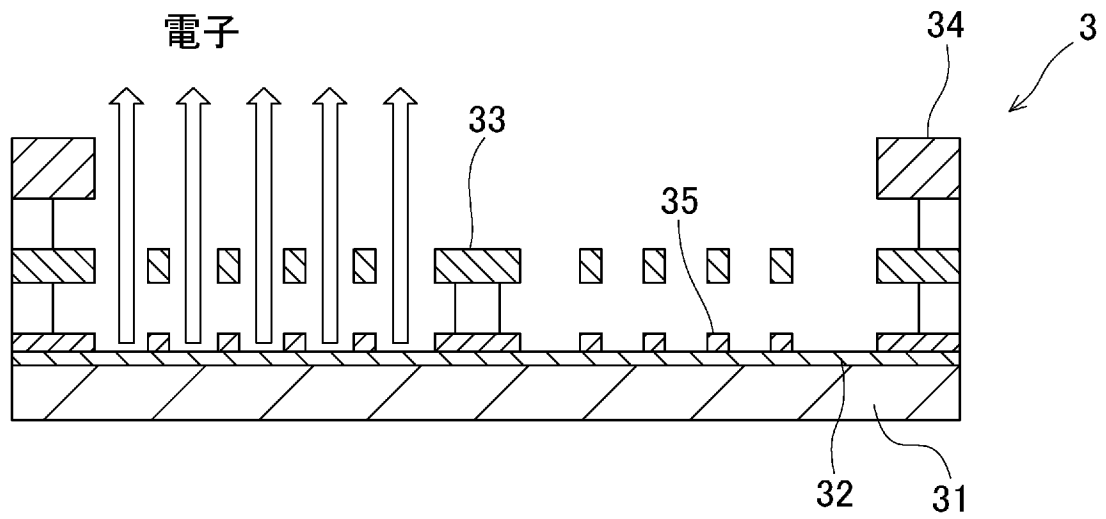
[図2]



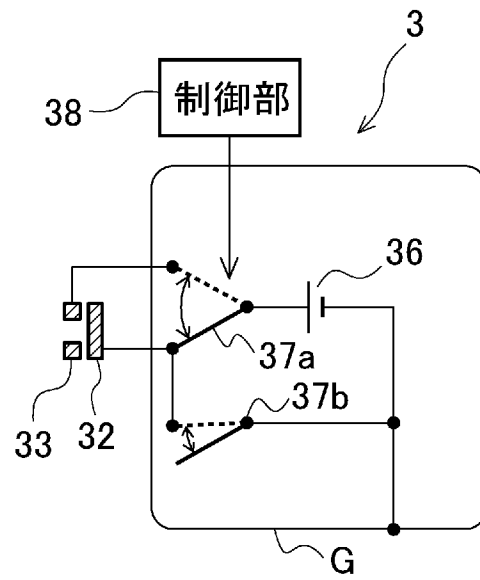
[図3]



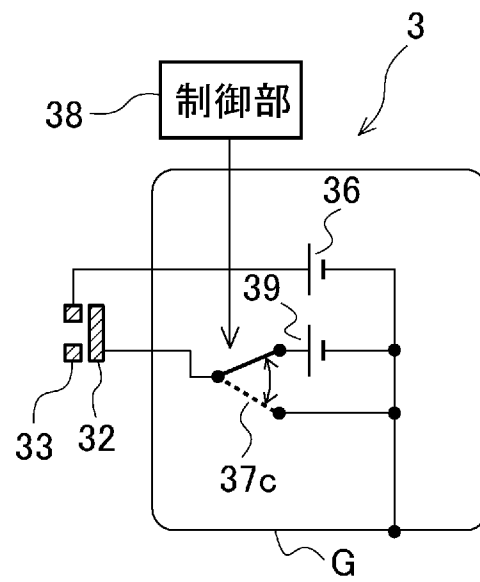
[図4]



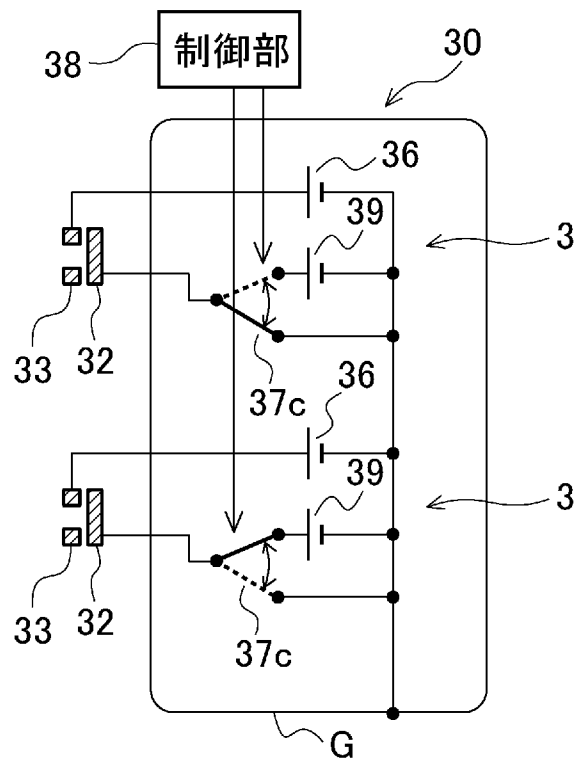
[図5]



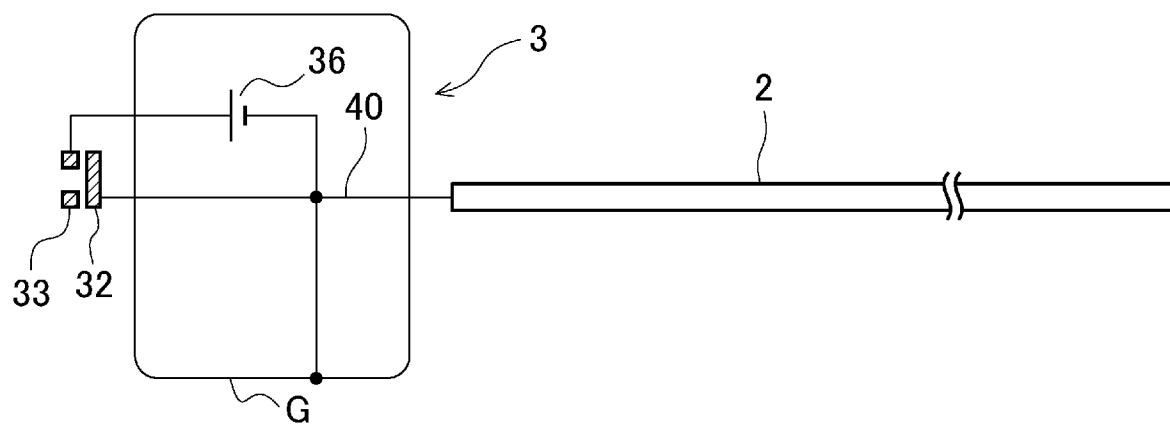
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/044838

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H01J37/073 (2006.01) i, H01J1/304 (2006.01) i, B64G1/32 (2006.01) i

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)

Int. Cl. H01J37/073, H01J1/304, B64G1/32

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2005-174818 A (NIPPON HOSO KYOKAI) 30 June	1-3
A	2005, paragraphs [0062]-[0069], fig. 17, 18, entire text, all drawings	4-5
A	JP 2014-165105 A (JFE ENGINEERING CORP.) 08 September 2014, entire text, all drawings	1-5
A	JP 2007-109514 A (JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY) 26 April 2007, entire text, all drawings	1-5
A	US 2015/0380199 A1 (TSINGHUA UNIVERSITY) 31 December 2015, entire text, all drawings	1-5



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

28.01.2020

Date of mailing of the international search report

10.02.2020

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/044838

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 104078293 A (SHANGHAI UNITED IMAGING HEALTHCARE CO LTD.) 01 October 2014, entire text, all drawings	1-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2019/044838

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2005-174818 A	30.06.2005	(Family: none)	
JP 2014-165105 A	08.09.2014	(Family: none)	
JP 2007-109514 A	26.04.2007	(Family: none)	
US 2015/0380199 A1	31.12.2015	CN 105336560 A entire text, all drawings TW 201601183 A	
CN 104078293 A	01.10.2014	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01J 37/073(2006.01)i; H01J 1/304(2006.01)i; B64G 1/32(2006.01)i		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H01J37/073; H01J1/304; B64G1/32		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2005-174818 A（日本放送協会）30.06.2005（2005-06-30） 段落[0062]-[0069], 図17-18	1-3
A	全文, 全図	4-5
A	JP 2014-165105 A（JFEエンジニアリング株式会社）08.09.2014（2014-09-08） 全文, 全図	1-5
A	JP 2007-109514 A（独立行政法人 宇宙航空研究開発機構）26.04.2007（2007-04-26） 全文, 全図	1-5
A	US 2015/0380199 A1（TSINGHUA UNIVERSITY）31.12.2015（2015-12-31） 全文, 全図	1-5
A	CN 104078293 A（SHANGHAI UNITED IMAGING HEALTHCARE CO LTD）01.10.2014 （2014-10-01） 全文, 全図	1-5
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 28.01.2020		国際調査報告の発送日 10.02.2020
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 大門 清 2G 8355 電話番号 03-3581-1101 内線 3226

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2019/044838

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2005-174818	A	30.06.2005	(ファミリーなし)	
JP	2014-165105	A	08.09.2014	(ファミリーなし)	
JP	2007-109514	A	26.04.2007	(ファミリーなし)	
US	2015/0380199	A1	31.12.2015	CN 105336560 A	
				全文, 全図	
				TW 201601183 A	
CN	104078293	A	01.10.2014	(ファミリーなし)	