

(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
2015 年 6 月 4 日(04.06.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/080239 A1

- (51) 国際特許分類:
H01J 27/02 (2006.01) **H01J 37/08** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/081506
- (22) 国際出願日: 2014 年 11 月 28 日(28.11.2014)
- (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 2013-248312 2013 年 11 月 29 日(29.11.2013) JP
- (71) 出願人: 富士フイルム株式会社(FUJIFILM CORPORATION) [JP/JP]; 〒1068620 東京都港区西麻布 2 丁目 2 6 番 3 0 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 黒岡 俊次(KUROOKA Shunji); 〒4210396 静岡県榛原郡吉田町川尻 4 0 0 0 番地 富士フイルム株式会社内 Shizuoka (JP).
- (74) 代理人: 渡辺 望稔, 外(WATANABE Mochitoshi et al.); 〒1010032 東京都千代田区岩本町 2 丁目 3 番 3 号 友泉岩本町ビル 6 階 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, 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, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

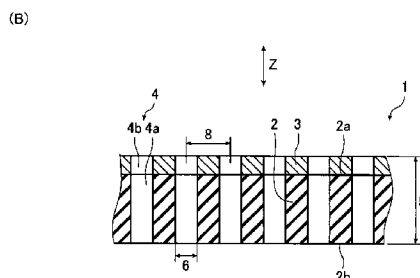
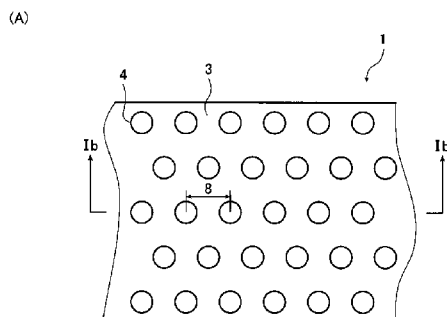
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, 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:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: LEAD-OUT ELECTRODE AND ION SOURCE

(54) 発明の名称: 引き出し電極およびイオン源



(57) Abstract: The present invention provides a lead-out electrode by which it is possible to attain an ion beam having a high degree of straightness. This lead-out electrode (1) is provided with: an insulating layer (2) made of an anodic oxide film; an acceleration electrode (3) disposed on one surface of the insulating layer (2); and a plurality of through-holes (4) passing through the acceleration electrode (3) and the insulating layer (2) in the thickness direction, the aspect ratio (average length (5)/average opening diameter (6)) of the penetrating hole (4) being 16 to 1000 inclusive.

(57) 要約: 直進性が高いイオンビームを得ることができる引き出し電極を提供する。本発明の引き出し電極 (1) は、陽極酸化膜からなる絶縁層 (2) と、絶縁層 (2) の一方の面に配置される加速電極 (3) と、加速電極 (3) と絶縁層 (2) を厚さ方向に貫通する複数の貫通孔 (4) とを備え、貫通孔 (4) のアスペクト比 (平均長さ (5) / 平均開口径 (6)) が、16 以上 1000 以下である。

WO 2015/080239 A1

明 細 書

発明の名称：引き出し電極およびイオン源

技術分野

[0001] 本発明は、引き出し電極およびイオン源に関し、特に、イオンビームを生成するための引き出し電極およびイオン源に関するものである。

背景技術

[0002] 近年、イオン源は、真空成膜装置、集束イオンビーム装置（FIB（Focused Ion Beam）装置）、イオンミリング装置、および宇宙産業で用いられるイオンエンジンなど、様々な分野で利用されている。一般的に、イオン源は、イオンを生成するイオン生成室と、イオン生成室に対して低い電位に設定された引き出し電極とを有する。イオン生成室で生成されたイオンのうち正の電荷を有する陽イオンが、イオン生成室と引き出し電極との間で形成される電場に従って、イオン生成室内から引き出し電極に向けて加速しながら引き出される。これにより、イオンビームが生成され、生成されたイオンビームは、引き出し電極に形成された複数の貫通孔を通過して外部に放出される。

[0003] ここで、引き出し電極は、イオンビームの生成に重要な役割を担っており、所望のイオンビームを生成するための様々な引き出し電極が提案されている。例えば、特許文献1には、「プラズマが発生したイオン源から、イオンを引き出すイオン引き出し電極であって、イオン引き出し電極は、イオン引き出し電極を貫通する複数のイオン引き出し孔（貫通孔）を備えて放電室の外側に向かって凸となる曲面領域を備えた板状体からなることを特徴とするイオン引き出し電極。」が開示されている（請求項5）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2001-210245号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、特許文献1の引き出し電極には、ドリルなどを用いて複数の貫通孔が形成されるため、貫通孔のアスペクト比（平均長さ／平均開口径）を高くすることができなかった。このため、直進性が低いイオンビームも貫通孔を通過してしまい、直進性が高いイオンビームを得ることが困難であった。

[0006] そこで、本発明は、直進性が高いイオンビームを得ることができる引き出し電極およびイオン源を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明者は、上記課題を達成すべく鋭意検討した結果、引き出し電極の複数の貫通孔が、所定の範囲のアスペクト比を有することにより、直進性が高いイオンビームが得られることを見出し、本発明を完成させた。

すなわち、本発明は、以下の構成の引き出し電極およびイオン源を提供する。

[0008] (1) イオンを引き出してイオンビームを形成するための引き出し電極であって、

バルブ金属の陽極酸化膜からなる絶縁層と、
絶縁層の一方の面に配置される加速電極と、
加速電極と絶縁層を厚さ方向に貫通する複数の貫通孔と
を備え、

貫通孔の平均長さと平均開口径との比であるアスペクト比が、16以上1000以下である引き出し電極。

[0009] (2) アスペクト比が、22以上500以下である(1)に記載の引き出し電極。

[0010] (3) 貫通孔のアスペクト比に対する開口率の比率が、1.0以上3.5以下である(1)または(2)に記載の引き出し電極。

[0011] (4) 絶縁層の平均厚みが、2 μ m以上300 μ m以下である(1)～(3)のいずれかに記載の引き出し電極。

[0012] (5) 貫通孔による開口率が、3%以上90%以下である(1)～(4)

) のいずれかに記載の引き出し電極。

[0013] (6) 貫通孔の平均開口径が、 30 nm 以上 $50\text{ }\mu\text{ m}$ 以下である(1)～(5)のいずれかに記載の引き出し電極。

[0014] (7) 絶縁層の一方の面とは反対側の他方の面に配置される接地電極をさらに有し、

複数の貫通孔は、加速電極、絶縁層および接地電極を厚さ方向に貫通する(1)～(6)のいずれかに記載の引き出し電極。

[0015] (8) イオンを生成するためのイオン生成室と、
イオン生成室に対向して配置される(1)～(7)のいずれかに記載の引き出し電極と、

引き出し電極に電位を付与する電源とを有するイオン源。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、直進性が高いイオンビームを得ることができる引き出し電極およびイオン源を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明の引き出し電極の好適な実施形態の一例を示す簡略図であり、図1(A)は正面図、図1(B)は図1(A)の切断面線**1b-1b**からみた断面図である。

[図2]本発明の引き出し電極の変形例を示す断面図である。

[図3]本発明のイオン源の一例を示す断面図である。

[図4]本発明のイオン源の変形例を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0018] [引き出し電極]

本発明の引き出し電極は、イオンを引き出してイオンビームを形成するための引き出し電極であって、バルブ金属の陽極酸化膜からなる絶縁層と、絶縁層の一方の面に配置される加速電極と、加速電極と絶縁層を厚さ方向に貫通する複数の貫通孔とを備え、貫通孔のアスペクト比(平均長さ／平均開口径)が、 16 以上 1000 以下である。

次に、本発明の引き出し電極について、図 1 を用いて説明する。

[0019] 図 1 は、本発明の引き出し電極の好適な実施形態の一例を示す簡略図であり、図 1 (A) は正面図、図 1 (B) は図 1 (A) の切断面線 I b - I b からみた断面図である。

本発明の引き出し電極 1 は、平板形状を有する絶縁層 2 と、絶縁層 2 の一方の面 2 a に配置される加速電極 3 とを備え、絶縁層 2 と加速電極 3 を貫通して厚さ方向 Z に直線上に延びる複数の貫通孔 4 が形成されている。すなわち、複数の貫通孔 4 は、絶縁層 2 に形成された複数の貫通孔 4 a と、加速電極 3 に形成された複数の貫通孔 4 b とが互いに連通するように形成されている。

[0020] ここで、加速電極 3 は、後述するイオン源に配置された際に、イオン生成室に対して異なる電位が付与されるものである。これにより、イオン生成室と加速電極 3 の間には電場が形成され、イオン生成室内で生成されたイオンが電場に従って加速しながら引き出されることでイオンビームが形成される。加速電極 3 により形成されたイオンビームは、複数の貫通孔 4 内に進入し、直進性の低いイオンビームは複数の貫通孔 4 の内周面に規制されて複数の貫通孔 4 を通過することができず、直進性が高いイオンビームのみが複数の貫通孔 4 を通過して外部に放出される。

本発明においては、複数の貫通孔 4 は、平均開口径 6 に対する平均長さ 5 の比率を示すアスペクト比が 1.6 以上 1000 以下となるように形成されている。複数の貫通孔 4 のアスペクト比を 1.6 以上とすることで、直進性が高いイオンビームを得ることができ、複数の貫通孔 4 のアスペクト比を 1000 以下とすることで、イオンビームの通過性を確保してそれぞれの貫通孔 4 を通過するイオンビームの量が大きく減少するのを抑制することができる。なお、複数の貫通孔 4 は、イオンビームの直進性をより向上させる理由から、2.2 以上 500 以下のアスペクト比を有することが好ましい。さらに、複数の貫通孔 4 は、イオンビームの直進性と通過性を共に向上させる理由から、2.4 以上 50 以下のアスペクト比を有することが好ましい。

[0021] また、図2に示すように、本発明の引き出し電極1は、絶縁層2の一方の面2aとは反対側の他方の面2bに配置される接地電極7をさらに有することが好ましい。これにより、複数の貫通孔4を通過して外部に放出されたイオンビームが加速電極3の電位により引き戻されることを抑制し、複数の貫通孔4から放出されたイオンビームの量が減少するのを抑制することができる。

[0022] また、本発明の引き出し電極1の開口率は、3%以上90%以下であるのが好ましく、30%以上90%以下であるのがより好ましい。開口率を3%以上とすることで、複数の貫通孔4を通過するイオンビームの総量が大きく減少するのを抑制し、イオンビームの電流量を高く保つことができる。また、開口率を90%以下とすることで、引き出し電極1に十分な強度を付与することができ、引き出し電極1の複数回使用による劣化を抑制することができる。

[0023] また、引き出し電極1は、複数の貫通孔を透過するイオンビームの直進性を高く保ちつつ通過性を向上させる理由から、複数の貫通孔4のアスペクト比に対する開口率の比率が0.1以上3.5以下であることが好ましい。また、複数の貫通孔4のアスペクト比に対する開口率の比率は、イオンビームの直進性を高く保ちつつ通過性をより向上させてイオンビームの電流量を高く保つ理由から、1.0以上3.5以下であることがより好ましい。また、複数の貫通孔4のアスペクト比に対する開口率の比率は、イオンビームの直進性を高く保ちつつ通過性をさらに向上させる理由から、2.0以上3.5以下であることがさらに好ましい。

[0024] なお、上述した複数の貫通孔の平均開口径と平均長さの値は、それぞれ倍率10万倍で取得した引き出し電極のSEM画像を解析して平均値を求めたものである。具体的には、引き出し電極のSEM画像について視野内に存在する全ての貫通孔の直径と長さをそれぞれ算出し、その全ての貫通孔の直径と長さについて平均値を求めたものである。なお、一視野内に存在する複数の貫通孔が50個に満たない場合には、複数の視野を撮影し、少なくとも5

0個の貫通孔について直径と長さを算出して平均値を求めるようにした。

また、上述した引き出し電極の開口率は、引き出し電極のSEM画像について視野内に存在する貫通孔の面積と視野の面積を算出して求めた。

[0025] [絶縁層]

上記絶縁層は、バルブ金属の陽極酸化膜からなる構造体であり、イオンビームの直進性を向上させるものである。

本発明においては、上記絶縁層は、 $2\mu\text{m}$ 以上 $300\mu\text{m}$ 以下の平均厚みを有することが好ましい。絶縁層の平均厚みを $2\mu\text{m}$ 以上とすることで、イオンビームが複数の貫通孔（図1においては符号4aで表される部分）を通過する際に直進性が低いイオンビームを確実に除くことができ、絶縁層の平均厚みを $300\mu\text{m}$ 以下とすることで、複数の貫通孔（図1においては符号4aで表される部分）を通過するイオンビームの通過性を向上させることができる。また、図2に示すように、絶縁層の一方の面に加速電極を配置すると共に他方の面に接地電極を配置した場合に、絶縁層の平均厚みを上記範囲内とすることで、電極間の絶縁性を十分に確保することができる。

[0026] 絶縁層は、バルブ金属基材を陽極酸化し、陽極酸化により生じた細孔を貫通化することにより製造することができる。バルブ金属としては、例えば、アルミニウム、タンタル、ニオブ、チタン、ハフニウム、ジルコニウム、亜鉛、タングステン、ビスマスおよびアンチモンが用いられ、アルミニウムが好ましく用いられる。

このような、陽極酸化により生じる細孔を利用して引き出し電極に後述する複数の貫通孔を形成することにより、従来のドリルなどを用いて複数の貫通孔を形成する場合と比べて、アスペクト比が高い複数の貫通孔を容易に形成することができる。また、陽極酸化により生じる細孔を利用して引き出し電極に後述する複数の貫通孔を形成することにより、複数の貫通孔を小さいピッチで容易に形成することができる。

陽極酸化処理については、従来公知の方法を用いることができるが、複数の貫通孔の規則性を高くする観点から、自己規則化法や定電圧処理を用いる

のが好ましい。ここで、陽極酸化処理の自己規則化法や定電圧処理については、特開2008-270158号公報の[0056]～[0108]段落および[図3]に記載された各処理と同様の処理を施すことができる。

また、貫通化処理については、例えば、特開2008-270158号公報の[0110]～[0121]段落ならびに[図3]および[図4]に記載された各方法と同様の方法が挙げられる。

[0027] [加速電極]

上記加速電極は、後述するイオン源のイオン生成室から正の電荷を有する陽イオンを引き出してイオンビームを形成する電極である。

上記加速電極は、電導性材料から構成されていれば特に限定されず、例えば、タンタル、タングステン、モリブデン、およびニッケルなどの高融点金属材料が好適に例示される。

上記加速電極は、例えばスパッタリングなどを利用して、上記絶縁層である陽極酸化膜の一方の面上に形成することができる。

[0028] [接地電極]

上記接地電極は、複数の貫通孔から放出されたイオンビームが引き出し電極側に引き戻されることを抑制するものである。上記接地電極は、導電性材料から構成されていれば特に限定されず、例えば、上述した加速電極と同様の材料から構成することができる。

上記接地電極は、例えばスパッタリングなどを利用して、上記絶縁層である陽極酸化膜の他方の面上に形成することができる。

[0029] [複数の貫通孔]

上記複数の貫通孔は、平均開口径（図1においては符号6で表される部分）が30nm以上50μm以下であるのが好ましい。平均開口径が30nm以上であると、複数の貫通孔を通過するイオンビームの通過性を向上することができ、平均開口径が50μm以下であると、直進性が低いイオンビームを確実に除くことができる。

また、上記複数の貫通孔は、平均ピッチ（図1においては符号8で表され

る部分)が40nm以上500nm以下であるのが好ましい。平均ピッチが40nm以上であると、引き出し電極に十分な強度を付与することができ、平均ピッチが500nm以下であると、引き出し電極の表面に衝突されるイオンビームの量を抑制してより多くのイオンビームを複数の貫通孔に進入させることができる。

[0030] 上記複数の貫通孔の密度は、イオンビームの電流量を高く保つ理由から、200万個/mm²以上であるのが好ましく、1000万個/mm²以上であるのがより好ましく、5000万個/mm²以上であるのがさらに好ましく、1億個/mm²以上であるのが特に好ましい。

[0031] [イオン源]

以下に、本発明のイオン源について詳細に説明する。

本発明のイオン源は、イオンを生成するためのイオン生成室と、イオン生成室に対向して配置される上述した引き出し電極と、引き出し電極に電位を付与する電源とを有するイオン源である。

[0032] 図3は、本発明のイオン源21の好適な実施態様の一例を示す模式的な断面図である。

本発明のイオン源21は、イオン生成室22と、イオン生成室22に対向して配置される引き出し電極1と、イオン生成室22より引き出し電極1の電位が低くなるように電位を付与する電源23とを有する。

イオン生成室22は、プラズマPを発生させるプラズマ発生室24と、プラズマ発生室24内に原料ガスを供給するガス供給部25と、発生したプラズマPをプラズマ発生室24内に閉じ込めるための閉じ込め部26と、プラズマ発生室24において引き出し電極1に対向する側面に形成された引き出し口27とを有する。

上記引き出し電極1は、上述したように、絶縁層2の一方の面2aに加速電極3を配置すると共に絶縁層2の他方の面2bに設置電極7を配置したものであり、加速電極3がイオン生成室22に対向するように設置されている。なお、図1に示すように、引き出し電極1は、絶縁層2の一方の面2aに

のみ加速電極 3 を配置して、他方の面 2 b には接地電極 7 を配置しないものでもよく、同様にして、加速電極 3 がイオン生成室 2 2 に対向するように設置することができる。

[0033] また、電源 2 3 は、プラズマ発生室 2 4 と加速電極 3 の間を接続して、プラズマ発生室 2 4 に対して加速電極 3 の電位が低くなるように電圧を印加する。これにより、プラズマ発生室 2 4 内に閉じ込められたプラズマ P 中の陽イオン I が、プラズマ発生室 2 4 内から引き出し口 2 7 を介して引き出し電極 1 に向けて引き出されてイオンビームが形成される。

イオンビームは、引き出し電極 1 に到達すると、複数の貫通孔 4 を通過して外部に放出される。この時、複数の貫通孔 4 は、16 以上 1000 以下の高いアスペクト比で形成されているため、直進性の高いイオンビームを外部に放出することができる。また、接地電極 7 が、複数の貫通孔 4 から放出されたイオンビームの引き戻しを抑制して、外部に放出されたイオンビームの量が減少するのを抑制することができる。

[0034] このようにして、直進性の高いイオンビームを複数の貫通孔 4 から外部に放出することにより、例えば、イオンビームの進行方向に対して引き出し電極 1 の下流側に基板を配置して高精度な成膜を行うことができる。

[0035] なお、本発明のイオン源 2 1 は、イオンビームの進行方向に対して引き出し電極 1 の下流側に、イオンビームの電荷を中和するためのニュートライザーを有するのが好ましい。ニュートライザーとしては、例えば、加熱による熱電子でイオンビームの電荷を中和する加熱フィラメントなどが挙げられる。これにより、イオンビームの電荷が中和され、複数の貫通孔 4 から放出されたイオンビームが互いの電荷に影響されて拡散するのを抑制することができる。

[0036] また、図 4 に示すように、本発明のイオン源 2 1 は、引き出し電極 1 を挟んでイオン生成室 2 2 の反対側に配置、すなわち引き出し電極 1 の接地電極 7 に対向して配置されるイオン測定部 2 8 を備えることができる。

イオン測定部 2 8 は、イオン源のメンテナンスなどを実施する際に設置さ

れるものでイオンビームの電流量を測定することができる。具体的には、イオン測定部28は、引き出し電極1に対向して配置される測定基板29と、測定基板29の表面上に並べて配置される複数の測定プローブ30と、複数の測定プローブ30にそれぞれ接続される電流計31とを有する。

引き出し電極1から放出されたイオンビームが、イオン測定部28の複数の測定プローブ30で受信され、この測定プローブからの電流量を電流計31で検出することにより、イオンビームの電流量を測定することができる。

[0037] [イオン生成室]

<プラズマ発生室>

上記プラズマ発生室は、後述するガス供給部から供給される原料ガスを電離してプラズマを発生させるものである。例えば、プラズマ発生室は、高周波放電、マイクロ波放電およびレーザー照射などの方法により原料ガスを電離してプラズマを発生させることができる。

なお、プラズマ発生室は、耐熱性を有する導電性材料から構成するのが好ましい。

[0038] <ガス供給部>

上記ガス供給部は、上述したプラズマ発生室にプラズマを発生させるための原料ガスを供給するもので、例えば、原料ガスの供給量を調整バルブ（図3においては符号30で表される部分）などで調整することにより、所定の圧力で原料ガスをプラズマ発生室に供給することができる。

原料ガスとしては、例えば、ヘリウム、水素、アルゴン、キセノンなどが挙げられ、これらを1種単独で用いてもよく、2種以上を併用してもよい。また、原料ガスには、ガリウム（Ga）イオン、鉄（Fe）イオン、リチウム（Li）イオンなどを含有させることもできる。

[0039] <閉じ込め部>

上記閉じ込め部は、上述したプラズマ発生室内に磁場および電界などを発生させることにより、プラズマをプラズマ発生室内に閉じ込めるものである。例えば、プラズマ発生室を囲むように磁石を配置してプラズマ発生室内に

、いわゆるミラー磁場を発生させることによりプラズマの拡散を抑制して閉じ込めることができる。

実施例

[0040] 以下に実施例を示して本発明を具体的に説明する。ただし、本発明はこれらに限定されない。

[0041] (実施例 1)

(A) 鏡面仕上げ処理 (電解研磨処理)

高純度アルミニウム基板 (住友軽金属株式会社製、純度 99.99 質量%、厚さ 0.4 mm) を 10 cm 四方の面積で陽極酸化処理できるようカットし、以下組成の電解研磨液を用い、電圧 25 V、液温度 65℃、液流速 3.0 m/min の条件で電解研磨処理を施した。

陰極はカーボン電極とし、電源は、GP0110-30R (株式会社高砂製作所社製) を用いた。また、電解液の流速は渦式フローモニター FLM22-10PCW (アズワン株式会社製) を用いて計測した。

[0042] (電解研磨液組成)

- ・ 85 質量%リン酸 (和光純薬工業株式会社製試薬) 660 mL
- ・ 純水 160 mL
- ・ 硫酸 150 mL
- ・ エチレングリコール 30 mL

[0043] (B) 陽極酸化処理工程

次いで、鏡面仕上げ処理を行ったアルミニウム基板は、5.0 mol/L 濃度のマロン酸の電解質において、電圧 115 V および液温度 0℃ の条件で、1 時間の陽極酸化処理を施した後、50 g/L 濃度のリン酸水溶液に浸漬されて、液温度 30℃ の条件で 10 分間の酸化被膜溶解処理を施した。この陽極酸化処理と酸化被膜溶解処理を 4 回繰り返し行った。

なお、陽極酸化処理は、陰極をステンレス電極とし、電源には株式会社高砂製作所社製の直流安定化電源を用いた。また、冷却装置には NeoCool BD36 (ヤマト科学株式会社製)、攪拌加温装置にはペアスターラー

PS-100 (EYELA 東京理化工機株式会社製) を用いた。

- [0044] 続いて、陽極酸化処理と酸化被膜溶解処理を施したアルミニウム基板に、 0.5 mol/L 濃度のマロン酸の電解質で、電圧 115 V 、液温度 0°C の条件で、6時間の陽極酸化処理を施した後、 50 g/L 濃度のリン酸水溶液に10分間浸漬して、厚さ $14\text{ }\mu\text{m}$ の陽極酸化膜を得た。得られた陽極酸化膜には、中心間距離の平均値が 300 nm の複数の細孔が形成されていた。複数の細孔の中心間距離の測定は、走査型電子顕微鏡 S-4800 (株式会社日立ハイテクノロジーズ社製) を用いて、 50 k 倍の画像を任意の場所で5枚撮影し、各々画像から任意に選択された細孔の中心間距離を10点測定して、その平均数値を細孔の中心間距離とした。

- [0045] (C) 貫通化処理工程

次いで、 $20\text{ 質量}\%$ 塩酸水溶液に 0.1 mol/L の塩化銅を混合した処理液を用い、液温 15°C で、目視によりアルミニウムが除去されるまで浸漬することによりアルミニウム基板を溶解し、更に、 $5\text{ 質量}\%$ リン酸に 30°C 、 $30\text{ 分}\sim 180\text{ 分}$ 間浸漬させることにより陽極酸化膜の底部を除去し、複数の貫通孔を有する陽極酸化膜からなる構造体 (絶縁層) を作製した。

- [0046] (D) 加熱処理

次いで、上記で得られた構造体に、温度 400°C で1時間の加熱処理を施した。

- [0047] (E) 表面平滑化処理

次いで、構造体の表面を $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上研磨し、その反対の面を $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上研磨する表面平滑化処理を施した。

具体的には、研磨剤の種類がシリコンカーバイトのシート ($\#1200$) でラッピング研磨を行なった後、粒子径 $2\text{ }\mu\text{m}$ のダイヤモンドスラリーでポリッシングを行い、さらに、粒子径 $0.25\text{ }\mu\text{m}$ のダイヤモンドスラリーでポリッシングを行なって鏡面状態とした。

- [0048] (F) 電極形成処理

次いで、表面平滑化処理後の陽極酸化膜の両面に、スパッタリング装置 (

H S R - 3 5 1 L、株式会社島津製作所社製）を用いてアルゴンガスを 0.5 Pa で導入しつつ投入電力 100 W で 600 秒間モリブデン（純度 99.95%）を 0.5 μ m 蒸着することにより、絶縁層の一方の面と他方の面にそれぞれ加速電極と接地電極を配置して引き出し電極を作製した。

[0049] （実施例 2）

実施例 1 の（B）陽極酸化処理工程において陽極酸化処理と酸化被膜溶解処理を繰り返す際に陽極酸化処理の処理時間を 6 時間とし、（E）表面平滑化処理において構造体の表面を 4 μ m 以上研磨すると共にその反対の面を 4 μ m 以上研磨した以外は、実施例 1 と同様の方法により、引き出し電極を作製した。

[0050] （実施例 3）

実施例 1 の（B）陽極酸化処理工程において陽極酸化処理と酸化被膜溶解処理を繰り返す際に、陽極酸化処理のマロン酸の濃度を 0.5 mol/L とし且つ処理時間を 16 時間とした以外は、実施例 1 と同様の方法により、引き出し電極を作製した。

[0051] （実施例 4）

実施例 2 の（B）陽極酸化処理工程において陽極酸化処理と酸化被膜溶解処理を繰り返す際に、陽極酸化処理の処理時間を 56 時間とした以外は、実施例 2 と同様の方法により、引き出し電極を作製した。

[0052] （実施例 5）

実施例 1 の（B）陽極酸化処理工程において陽極酸化処理と酸化被膜溶解処理を繰り返す際に、陽極酸化処理は、マロン酸に代えて 0.3 mol/L 濃度のリン酸の電解質を用い、電圧 28 V および液温度 0℃の条件で 1 時間処理された以外は、実施例 1 と同様の方法により、引き出し電極を作製した。

[0053] （実施例 6）

実施例 5 の（B）陽極酸化処理工程において陽極酸化処理と酸化被膜溶解処理を繰り返す際に、陽極酸化処理の条件を電圧 45 V で液温度 2℃とした

以外は、実施例 5 と同様の方法により、引き出し電極を作製した。

[0054] (実施例 7)

実施例 5 の (B) 陽極酸化処理工程において陽極酸化処理と酸化被膜溶解処理を繰り返す際に、陽極酸化処理の条件を電圧 9 1 V で液温度 1 0 °C とした以外は、実施例 5 と同様の方法により、引き出し電極を作製した。

[0055] (実施例 8)

実施例 1 の (B) 陽極酸化処理工程において陽極酸化処理と酸化被膜溶解処理を繰り返す際に、酸化被膜溶解処理を液温度 4 0 °C で 2 0 分間行った以外は、実施例 1 と同様の方法により、引き出し電極を作製した。

[0056] (実施例 9)

実施例 1 の (B) 陽極酸化処理工程において陽極酸化処理と酸化被膜溶解処理を繰り返す際に、酸化被膜溶解処理を液温度 4 0 °C で 2 5 分間行った以外は、実施例 1 と同様の方法により、引き出し電極を作製した。

[0057] (比較例 1)

実施例 1 の (B) 陽極酸化処理工程において陽極酸化処理と酸化被膜溶解処理を繰り返す際に、陽極酸化処理の処理時間を 2 2 0 時間とし且つ酸化被膜溶解処理を液温度 4 0 °C で 2 5 分間行った以外は、実施例 1 と同様の方法により、引き出し電極を作製した。

[0058] (比較例 2)

比較例 1 の (B) 陽極酸化処理工程において陽極酸化処理と酸化被膜溶解処理を繰り返す際に陽極酸化処理の処理時間を 1 時間とし且つ酸化被膜溶解処理を液温度 3 0 °C で 1 0 分間行い、(E) 表面平滑化処理において構造体の表面を 5 . 7 5 μ m 以上研磨すると共にその反対の面を 5 . 7 5 μ m 以上研磨した以外は、比較例 1 と同様の方法により、引き出し電極を作製した。

[0059] (比較例 3)

比較例 1 の (B) 陽極酸化処理工程において陽極酸化処理と酸化被膜溶解処理を繰り返す際に、酸化被膜溶解処理を液温度 3 0 °C で 1 0 分間行った以外は、比較例 1 と同様の方法により、引き出し電極を作製した。

[0060] (比較例4)

厚さ1mmのモリブデン板材を10cm四方の面積でカットし、2mmφのドリルを使用して水冷しつつ穴あけ加工を施した。

[0061] 上記の実施例1～9、比較例1～4について、貫通孔の開口径、貫通孔の長さおよび開口率を測定した。

貫通孔の開口径および長さは、SEM画像を解析して開口径および長さの平均値を求めた。この結果を下記第1表に示す。

開口率は、上記で観察したSEM像を画像解析して算出した。この結果を下記第1表に示す。

[0062] また、貫通孔のアスペクト比は、開口径に対する長さの比率を求めることにより算出した。この結果を下記第1表に示す。

また、開口率／アスペクト比は、上記で算出されたアスペクト比に対する開口率の比率を求めることにより算出した。この結果を下記第1表に示す。

[0063] (評価方法)

カウフマン型イオン源に引き出し電極を設置し、プラズマ発生室を0.6mPaまで排気した後、ガス供給部からアルゴンガスを30mPaでプラズマ発生室内に供給しつつプラズマ発生室内に配置されたフィラメントに100Wの電力を印加してプラズマを発生させた。続いて、引き出し電極の加速電極に1.2kVの加速電位を付与することで、プラズマ発生室内から陽イオンを引き出すことによりイオンビームを形成した。

[0064] イオンビームの直進性は、引き出し電極から100mmの位置に2mmφの測定プローブを、貫通孔の中心軸に対してそれぞれ3度、5度および10度の方向に配置し、それぞれの測定プローブで検出されたイオンビームの電流値を微小電流計(34410A、アジレントテクノロジー社製)を用いて測定した。この時の電流値が、3度の方向に配置された測定プローブでのみ得られる場合(イオンビームの広がりが5度未満)をA、3度および5度の方向に配置された測定プローブで得られる場合(イオンビームの広がりが5度以上10度未満)をB、3度、5度および10度の方向に配置された測定

プローブで得られる場合（イオンビームの広がりが10度以上）をCとしてイオンビームの直進性を評価した。この結果を下記第1表に示す。

[0065] イオンビームの電流量は、貫通孔の直下に引き出し電極から100mm離して配置された2mmφの測定プローブでイオンビームを検出し、この時の電流値を微小電流計（34410A、アジレントテクノロジー社製）を用いて測定した。この時の電流量が、実施例1の電流量以上である場合をA、実施例1の電流量未満実施例1の電流量の50%以上である場合をB、実施例1の電流量の50%未満1%以上である場合をC、実施例1の電流量の1%未満である場合をDとしてイオンビームの電流量を評価した。この結果を下記第1表に示す。

なお、比較例1および比較例3は、電流量が1%未満であったため（評価D）、直進性および安定性は評価できなかった。

[0066] イオンビームの電流安定性は、貫通孔の直下に引き出し電極から100mm離して配置された2mmφの測定プローブでイオンビームを検出し、この時の電流値を微小電流計（34410A、アジレントテクノロジー社製）を用いて測定した。この時の電流値が、1分以上連続して得られる場合をA、1分以上連続して得られない場合をBとしてイオンビームの電流安定性を評価した。この結果を下記第1表に示す。

[0067] なお、下記第1表において、「－」は、測定値が得られずに評価できなかったことを示している。

[0068]

[表1]

第1表

	貫通孔					イオンビームの評価		
	開口径 (μm)	長さ (μm)	アスペクト比 (長さ／開口径)	開口率	開口率／アスペクト比	直進性	電流量	電流 安定性
実施例1	0.25	4	16	63	3.94	B	A	A
実施例2	0.25	6	24	63	2.63	A	A	A
実施例3	0.25	30	120	63	0.53	A	B	A
実施例4	0.25	120	480	63	0.13	A	B	A
実施例5	0.06	8	133	4	0.03	A	B	A
実施例6	0.1	8	80	10	0.13	A	B	A
実施例7	0.2	8	40	40	1.00	A	A	A
実施例8	0.295	8	27	85	3.13	A	A	A
実施例9	0.298	8	27	89	3.32	A	A	A
比較例1	0.298	500	1678	89	0.05	—	D	—
比較例2	0.25	2.5	10	63	6.30	C	B	B
比較例3	0.25	500	2000	63	0.03	—	D	—
比較例4	2000	1000	0.5	58	116.00	C	A	A

[0069] 第1表に示す結果から、複数の貫通孔のアスペクト比が16以上1000以下である実施例1～9は、複数の貫通孔のアスペクト比が16未満の比較例2および4と比較して、イオンビームの直進性が向上することがわかった。また、複数の貫通孔のアスペクト比が1000を超える比較例1および3では、イオンビームの電流量が検出されず、ほとんどのイオンビームが複数の貫通孔を通過できないことがわかった。このことから、複数の貫通孔のアスペクト比を16以上1000以下とすることで、直進性が高いイオンビームを確実に得られることがわかった。

[0070] さらに、複数の貫通孔のアスペクト比が16以上1000以下である実施例1～9は、従来用いられている引き出し電極と同等のアスペクト比を有する比較例4と同様に、イオンビームの電流安定性が高く、直進性に加えて電流安定性の高いイオンビームが得られることがわかった。

[0071] また、複数の貫通孔のアスペクト比が22以上500以下である実施例2～9は、複数の貫通孔のアスペクト比が22未満の実施例1と比較して、イオンビームの直進性がより向上することがわかった。

また、複数の貫通孔のアスペクト比に対する開口率の比率（開口率／アスペクト比）が1.0以上3.5以下である実施例2、7～9は、開口率／アスペクト比が1.0未満あるいは3.5を超える実施例1、3～6、比較例

1～3と比較して、イオンビームの直進性と電流量が共に向上することがわかった。

符号の説明

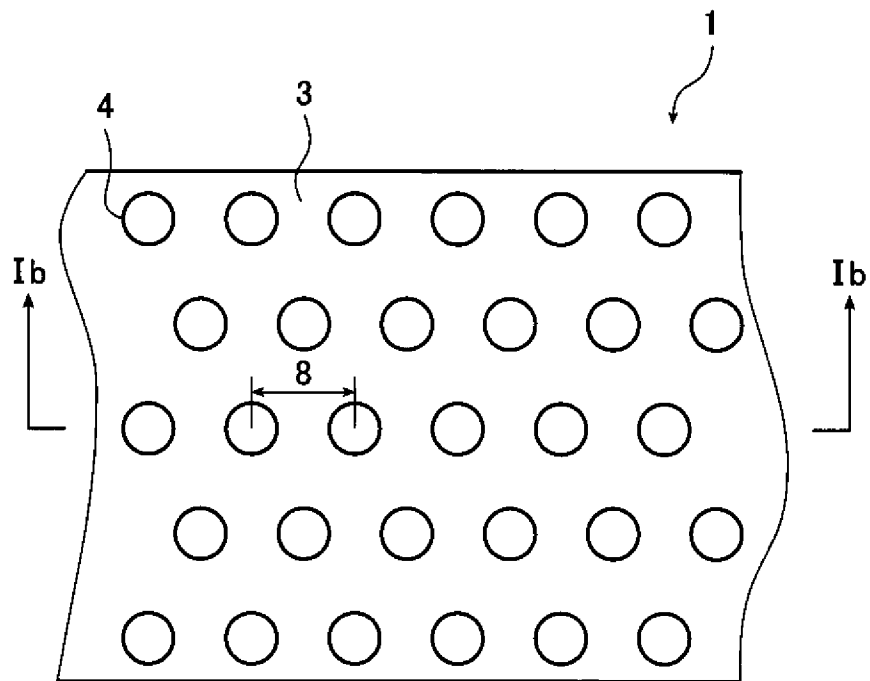
[0072] 1 引き出し電極、2 絶縁層、2 a 一方の面、2 b 他方の面、3 加速電極、4, 4 a, 4 b 複数の貫通孔、5 平均長さ、6 平均開口径、7 接地電極、8 平均ピッチ、21 イオン源、22 イオン生成室、23 電源、24 プラズマ発生室、25 ガス供給部、26 閉じ込め部、27 引き出し口、28 イオン測定部、29 測定基板、30 測定プローブ、31 電流計、P プラズマ、I 陽イオン。

請求の範囲

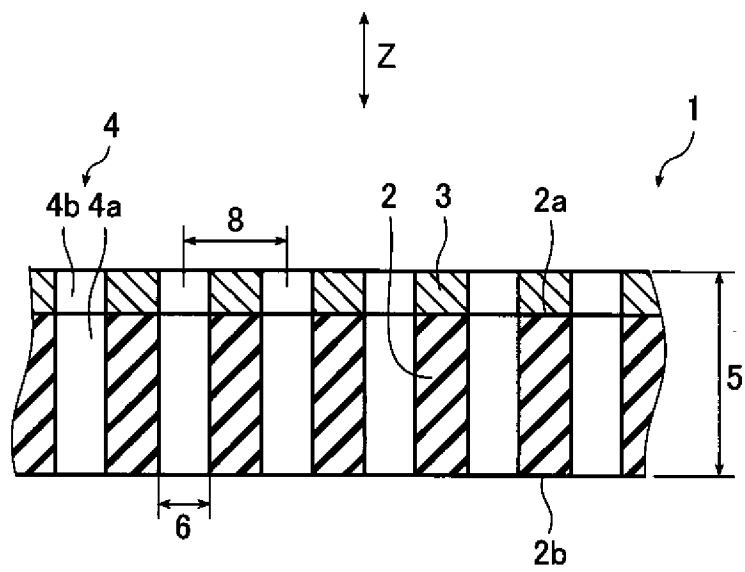
- [請求項1] イオンを引き出してイオンビームを形成するための引き出し電極であって、
- バルブ金属の陽極酸化膜からなる絶縁層と、
- 前記絶縁層の一方の面に配置される加速電極と、
- 前記加速電極と前記絶縁層を厚さ方向に貫通する複数の貫通孔と、
- を備え、
- 前記貫通孔の平均長さと平均開口径との比であるアスペクト比が、
- 16以上1000以下である引き出し電極。
- [請求項2] 前記アスペクト比が、22以上500以下である請求項1に記載の引き出し電極。
- [請求項3] 前記貫通孔のアスペクト比に対する開口率の比率が、1.0以上3.5以下である請求項1または2に記載の引き出し電極。
- [請求項4] 前記絶縁層の平均厚みが、2 μm 以上300 μm 以下である請求項1～3のいずれか一項に記載の引き出し電極。
- [請求項5] 前記貫通孔による開口率が、3%以上90%以下である請求項1～4のいずれか一項に記載の引き出し電極。
- [請求項6] 前記貫通孔の平均開口径が、30 nm以上50 μm 以下である請求項1～5のいずれか一項に記載の引き出し電極。
- [請求項7] 前記絶縁層の前記一方の面とは反対側の他方の面に配置される接地電極をさらに有し、
- 前記複数の貫通孔は、前記加速電極、前記絶縁層および前記接地電極を厚さ方向に貫通する請求項1～6のいずれか一項に記載の引き出し電極。
- [請求項8] イオンを生成するためのイオン生成室と、
- 前記イオン生成室に対向して配置される請求項1～7のいずれか一項に記載の引き出し電極と、
- 前記引き出し電極に電位を付与する電源とを有するイオン源。

[図1]

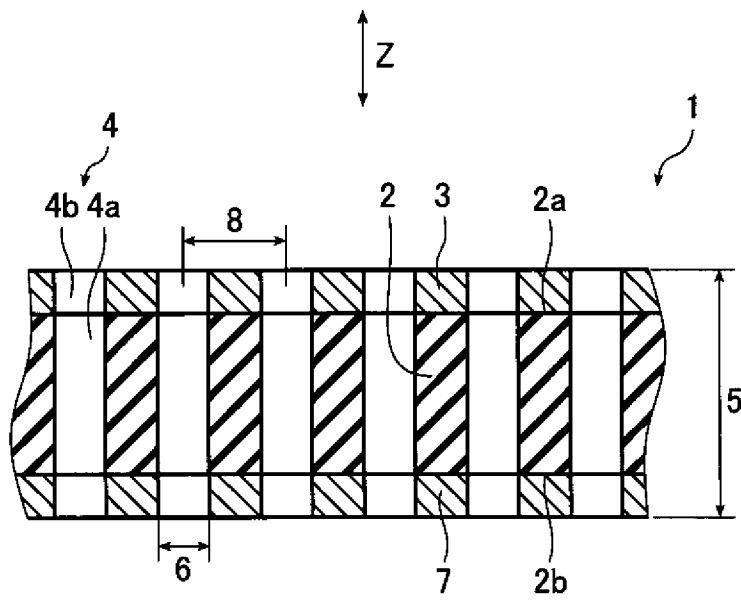
(A)



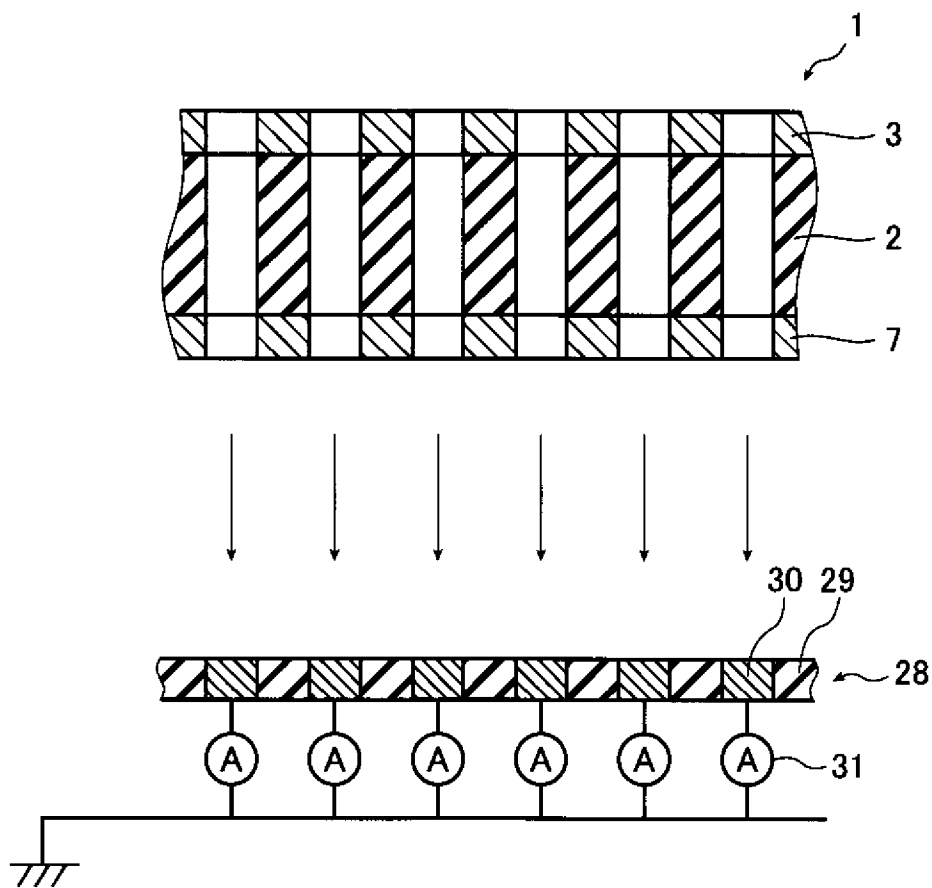
(B)



[図2]



[図4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/081506

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01J27/02(2006.01) i, H01J37/08(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)

H01J27/02, H01J37/08

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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.
A	JP 2004-281229 A (Ebara Corp.), 07 October 2004 (07.10.2004), entire text; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 2004-217961 A (Kanagawa Academy of Science and Technology), 05 August 2004 (05.08.2004), entire text; all drawings (Family: none)	1-8

☐ 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
09 February 2015 (09.02.15)

Date of mailing of the international search report
17 February 2015 (17.02.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01J27/02(2006.01)i, H01J37/08(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（I P C））

Int.Cl. H01J27/02, H01J37/08

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	1971-2015年
日本国実用新案登録公報	1996-2015年
日本国登録実用新案公報	1994-2015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
A	JP 2004-281229 A（株式会社荏原製作所）2004. 10. 07, 全文全図（ファミリーなし）	1-8
A	JP 2004-217961 A（財団法人神奈川科学技術アカデミー）2004. 08. 05, 全文全図（ファミリーなし）	1-8

☐ 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矛盾するものではなく、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

09.02.2015

国際調査報告の発送日

17.02.2015

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

桐畑 幸▲廣▼

2G

9606

電話番号 03-3581-1101 内線 3226