

(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
2019年11月28日(28.11.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/224872 A1

(51) 国際特許分類:
H01J 1/34 (2006.01) *H01J 37/073* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/019491

(22) 国際出願日: 2018年5月21日(21.05.2018)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 株式会社日立ハイテクノロジーズ (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) [JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目2番14号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 大嶋卓 (OHSHIMA Takashi); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 峯邑 浩行 (MINEMURA Hiroyuki); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 塩澤 学 (SHIOZAWA Manabu); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

森下 英郎 (MORISHITA Hideo); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

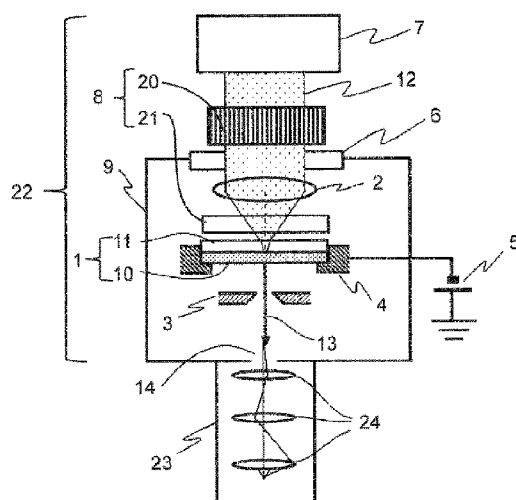
(74) 代理人: ポレール特許業務法人 (POLAIRE I.P.C.); 〒1030025 東京都中央区日本橋茅場町二丁目13番11号 Tokyo (JP).

(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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: ELECTRON BEAM APPLICATION DEVICE

(54) 発明の名称: 電子線応用装置

図1



(57) Abstract: In photo-excited electron source, the focal point of excitation light cannot be easily in focus on photo-electric films when the transparent substrates differ in a condensing lens optimally designed under the premise that light is transmitted through a transparent substrate having a specific thickness and a refractive index. Consequently, an optical spherical aberration correction plate 21 having a refractive index that is equal to the refractive index of the substrate of a photocathode in the excitation light wavelength, is arranged between a photocathode 1 and a converging lens 2. Alternatively, an optical spherical aberration corrector 20 is installed for diverging or converging parallel light emitted onto the converging lens. As a result, flare of the electron beam is suppressed and higher brightness of the photo-excited electron source can be achieved.

(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: 光励起電子源において、特定の厚さと屈折率を有する透明基板を透過させることを前提として最適に設計された集光レンズでは、透明基板が異なると光電膜上にうまく励起光の焦点を結ばせることができない。このため、フォトカソード1と集光レンズ2との間に、励起光の波長において、フォトカソードの基板の屈折率と等しい屈折率を有する光球面収差補正板21を配置する。あるいは、集光レンズに照射する平行光を発散または収束させる光球面収差補正器20を設置する。これにより、電子ビームのフレアを抑え、光励起電子源の高輝度化が可能になる。

明 細 書

発明の名称：電子線応用装置

技術分野

[0001] 本発明は電子顕微鏡などの電子線応用装置に関する。

背景技術

[0002] 高分解能の電子顕微鏡においては、従来、高輝度電子源として冷陰極電界放出電子源やショットキー電子源が使用されている。これらは、先端が小さな針形状で、仮想光源サイズは数 nm から数十 nm である。これに対して、負の電子親和力を利用した光励起電子源は平面状の電子源であり、光源サイズとなる励起光の焦点サイズは $1\ \mu\text{m}$ 程度と大きい。光励起電子源からの放出電子の直進性が良いために、電流密度を大きくすることで高輝度化が期待される。

[0003] 特許文献 1 には光励起電子源が開示されている。フォトカソードとして透明基板、具体的にはガラス上にフォトカソード膜（光電膜）を貼り付けたものを用い、透明基板に近接して置いた集光レンズで励起光を光電膜上に収束することで小さな電子光源とし、ここから真空中に放出する電子線を利用する電子銃構造が示されている。高輝度化に適したフォトカソードとして、近年、特許文献 2 に示されるように、半導体の結晶成長技術を用いて半導体基板上にフォトカソード層を形成した半導体フォトカソードの開発が進められている。非特許文献 1 に示されるように、半導体フォトカソードにはショットキー電子源と同程度の特性を示すものも現れている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献 1：特開 2001-143648 号公報

特許文献 2：特開 2009-266809 号公報

非特許文献

[0005] 非特許文献 1：Kuwahara 他、「Coherence of a spin-polarized electron bea

m emitted from a semiconductor photocathode in a transmission electron microscope] Applied Physics Letters, Vol. 105, p.193101, 2014年

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 光励起電子源を利用する場合、集光レンズにより、フォトカソードの光電膜上に励起光の焦点を結ばせる必要がある。このとき、励起光はフォトカソードの透明基板を透過して光電膜上に焦点を結ぶことになる。光電膜をガラス基板に貼り付けるフォトカソードでは、所定の厚さ、屈折率を有するガラス基板を透過させることを前提として最適に設計された集光レンズを用いて電子銃を実現することができる。一方、近年の半導体フォトカソードでは結晶成長技術を用いることで、より高輝度なフォトカソードを実現している。半導体フォトカソードで用いられる、GaP等の化合物半導体単結晶基板の場合、その材料により屈折率が変わるため、特定の厚さと屈折率を有する透明基板を透過させることを前提として最適に設計された集光レンズでは、透明基板が異なると光電膜上にうまく励起光の焦点を結ばせることができない。

[0007] 例えば、フォトカソードの透明基板として、厚さ1.2mm、屈折率 $n=1.5$ のガラスを用いることを前提とすれば、集光レンズとして、安価で性能の良い光磁気ディスク用の非球面レンズを使用することができる。しかし、透明基板が異なるフォトカソードに入れ替えてしまうと、この集光レンズでは適切に光電膜上に焦点を結ぶことができなくなる。加えて、フォトカソードごとに集光レンズを設計し直すとなると、工数が増え、それに伴ってコストも増大する。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の一実施の形態である電子線応用装置は、基板と光電膜とを有するフォトカソードと、励起光をフォトカソードに向けて集光する集光レンズと、フォトカソードに対向して配置され、励起光が集光レンズにより集光され、フォトカソードの基板を透過して入射されることにより、フォトカソード

の光電膜から発生する電子ビームを加速させる引き出し電極と、引き出し電極により加速された電子ビームが導かれる電子光学系とを有し、フォトカソードと集光レンズとの間に、励起光の波長において、フォトカソードの基板の屈折率と等しい屈折率を有する光球面収差補正板が配置される。

[0009] または、平行光源と、平行光源からの平行光が入射され、平行光を発散または収束させる光球面収差補正器と、基板と光電膜とを有するフォトカソードと、光球面収差補正器を透過した平行光が、励起光として照射され、励起光をフォトカソードに向けて集光する集光レンズと、フォトカソードに対向して配置され、励起光が集光レンズにより集光され、フォトカソードの基板を透過して入射されることにより、フォトカソードの光電膜から発生する電子ビームを加速させる引き出し電極と、引き出し電極により加速された電子ビームが導かれる電子光学系とを有する。

[0010] その他の課題と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

発明の効果

[0011] 電子ビームのフレアを抑えつつ高輝度化を可能とすることで、電子顕微鏡などの電子線応用装置の高分解能化が達成される。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]光励起電子銃を有する電子線応用装置の概略図である。

[図2A]透明基板内における、集光レンズの焦点面での光強度分布を表す図である。

[図2B]透明基板内における、集光レンズの焦点面での光強度分布を表す図である。

[図3]集光レンズの焦点での球面収差量と透明基板の厚さとの関係を表す図である。

[図4A]光球面収差補正器の構成例を示す図である。

[図4B]光球面収差補正器の制御機構を示す図である。

[図5A]活性化室を設けた電子銃の概略図である。

[図5B]カソードパックの例である。

[図6]フォトカソードの例である。

[図7]図6のフォトカソードの効果を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、本発明の実施例を図面に基づいて説明する。

[0014] 図1に光励起電子銃を有する電子線応用装置の概略図を示す。電子線応用装置が電子顕微鏡であるとする、光励起電子銃22から発生した高輝度電子ビーム13は、接続された電子光学系筐体23に導かれ、電子レンズ24などの構成部品により顕微鏡として作用する。

[0015] 電子銃22は真空容器9の外に置かれた平行光源7より発生した励起光12を窓6より真空容器9内に導入し、集光レンズ2によりフォトカソード1上に光を集束させる。集光レンズは特に限定されないが、例えば、光ディスク用途等のレンズを転用することにより低コスト化を図ることができる。この例では、集光レンズ2として、光磁気ディスク用途にガラスモールド法で形成され、焦点距離 $f=4.2\text{mm}$ 、 NA (Numerical Aperture) $=0.5$ の非球面レンズを用いている。この非球面レンズの屈折面は、厚さ 1.2mm 、屈折率 $n=1.5$ のガラスを透過させたとき、励起光を波長による限界程度まで集光できるよう最適化されている。

[0016] フォトカソード1は、主として透明基板11と光電膜10からなり、透明基板11側から励起光を入射し、光電膜10の表面から電子ビームを発生する。電子ビーム13は、フォトカソード1と対向する引き出し電極3との間の電界により加速されて、開口部14を通過して電子光学系筐体23に入射される。フォトカソード1はカソードホルダ4に収められ、加速電源5と電氣的に接続され、発生する電子ビームの加速エネルギーを規定する。フォトカソード1は負の電子親和力による電子源として知られている現象を利用するもので、光電膜10はp型の半導体であり、代表的なものとしてGaAsが用いられ、表面には仕事関数を低くするためのCs吸着などが施されている。透明基板11には光電膜10の結晶をエピタキシャル成長させるために

、厚さ0.4~0.5mmのGaP（100）単結晶が使われている。

[0017] 図2Aに、集光レンズ2により、透明基板11を透過して光電膜10に集光される光強度分布を示す。実線201は、透明基板11が厚さ0.5mmのGaP基板の場合の光強度分布である。比較例として、透明基板11が厚さ1.2mm、屈折率 $n=1.5$ のガラス基板である場合の光強度分布を、破線202として示す。ここで、横軸は焦点位置（光強度が最大となる位置）からのずれ、縦軸は光の相対強度、具体的にはガラス基板での最大光強度を1としたときの相対強度を示している。集光レンズ2は厚さ1.2mm、屈折率 $n=1.5$ のガラス基板を透過したときのスポット径が最小となるように設計されているため、厚さ0.5mmのGaP基板を透過させた場合には、集光レンズ2の設計通りの性能は発揮できない。図2Bは実線201を拡大して示したものである。GaP透明基板に照射する光の波長は780nmとする。光の波長は、GaPに対して高い透過率を有する波長から選択すればよい。このとき、中心ビーム211の半値幅は、 $0.6\mu\text{m}$ 程度ときわめて狭いが、中心ビーム211を中心とする直径 $10\mu\text{m}$ 程度の領域にわたってフレア212が現われていることが認められる。この結果、光電膜10から発生する電子ビーム13にもフレアが重畳する。この電子ビーム13を走査して2次元像を形成させると、高分解能観察時には2次元像にボケが生じる。

[0018] この原因は、GaPの屈折率 $n=3.2$ と、ガラスの屈折率 $n=1.5$ より大きいために、球面収差が大きくなるためである。励起光の焦点面に球面収差によるフレアが増加することにより、発生する電子ビームに径の大きなフレアが重畳するものである。

[0019] このため、本実施例では、励起光の光路内に光球面収差補正手段8を設ける。具体的には2種類あり、平行光源7から集光レンズ2の間に入れる光球面収差補正器20、または、集光レンズ2とフォトカソード1との間に入れる光球面収差補正板21の少なくともいずれか一方、または双方を用いることができる。球面収差が全部補正されると、図2A中の破線202のような、フレアが最小の光強度分布が得られ、電子ビーム13のフレアも最小とな

る。一方で、破線202の場合、中央ビームの半値幅は $0.8\mu\text{m}$ と、実線201の場合よりも広がってしまう。中央ビームの半値幅が狭くなると球面収差は大きくなる関係にあるので、実線201と破線202との中間に観察に最適な条件がある場合には、球面収差量を調整して用いればよい。

[0020] 光球面収差補正手段8の具体的な構成について説明する。光球面収差補正板21は、励起光の波長において、フォトカソードの基板の屈折率と等しい屈折率を有する板である。具体的には、透明基板11と同じ材料の基板を用いるのが都合よく、透明基板11としてGaP基板を用いる場合には、光球面収差補正板21にもGaPを用いると良い。図3に、集光レンズ2による焦点での球面収差量と透明基板の厚さとの関係を示す。ガラス($n=1.5$)の場合、破線302のように厚さ 1.2mm で球面収差量が最小点とされている。一方、GaP基板の場合、実線301のようになり、厚さ 0.5mm では大きな球面収差量を生じているが、厚さ 1.7mm 付近で球面収差量は最小点を示している。光球面収差補正手段8としてGaP単結晶からなる光球面収差補正板21を用いる場合、全補正とするには透明基板11及び光球面収差補正板21の厚みの和が 1.7mm となればよいので、フォトカソード1の透明基板11の厚みが 0.5mm の場合、光球面収差補正板21の厚みを 1.2mm とすればよい。全補正ではなく、中間の補正量とするには、光球面収差補正板21の厚さを 1.2mm 未満から選ぶようにすればよい。

[0021] なお、フォトカソード1の透明基板11としてここではGaP基板を用いる例を説明したが、他の透明基板を用いたフォトカソードであっても、屈折率に応じて補正可能である。たとえば、フォトカソード1の透明基板11として、AlAs、GaAlAs、ZnSe、GaN、GaInN等の結晶を用いた場合、同様に同じ材質の光球面収差補正板21を用い、その厚さを所望の補正量となるよう最適化することで、集光レンズを変更することなく、適切な補正量を選んで高分解能の観察が可能となる。

[0022] なお、フォトカソード1が光電膜10と透明基板11とを有する旨説明したが、半導体フォトカソードの場合、透明基板上にフォトカソード層を形成

する場合に所望の結晶構造を得るため、両者の間に中間層、バッファ層が形成されている場合がある。このようなフォトカソード 1 においても同様の効果を得ることができる。なお、この中間層等は透明基板 11 側から励起光を照射するため、透明基板 11 より十分薄く、励起光を透過させるものである必要がある。

[0023] 一方、光球面収差補正器 20 は、図 4 A に示すように、励起光 12 が入射される互いに対向する第 1 の凸レンズ 30 及び第 2 の凸レンズ 31 と、第 2 の凸レンズ 31 を励起光 12 の光軸方向に微動させるレンズ位置調整機構 32 とを有する。両凸レンズの主面間の距離が両者の焦点距離の和と同じ場合は、入射する励起光 12 はそのまま平行光（実線 12 a）として通過する。この距離を調整することで、通過光はわずかに発散ビーム（点線 12 b）あるいは収束ビーム（破線 12 c）となり、これにより集光レンズ 2 の焦点の球面収差を補正することができる。図 4 A では第 2 の凸レンズ 31 を微動させているが、第 1 の凸レンズ 30 と第 2 の凸レンズ 31 との間の距離が変わればよいので、第 1 の凸レンズ 30 を微動させても、あるいは両者を微動させても同様の効果が得られる。

[0024] 光球面収差補正器 20 の制御機構を図 4 B に示す。光源 43 はレーザーダイオードであり、光源 43 からの発散光はコリメータレンズ 42 で平行な励起光 12 にされる。図 1 の平行光源 7 は、光源 43 及びコリメータレンズ 42 に相当する構成である。励起光 12 はビームスプリッタ 40 を通過して窓 6 から電子銃の真空室内に入り、集光レンズ 2 によりフォトカソード 1 に集光される。光電膜から反射された反射光 46 は集光レンズ 2 により平行光となり、ビームスプリッタ 40 により横に曲げられ、結像レンズ 44 により撮像素子 41 上に拡大投影される。反射光 46 の強度が撮像素子 41 にとって高すぎる場合は、ND（Neutral Density）フィルタ 45 により適宜減衰させて光強度の空間分布を測定する。ここで、集光レンズ 2 の焦点距離 f が 4.2 mm である場合、結像レンズ 44 に焦点距離 $f = 1000 \text{ mm}$ のレンズを用いると、撮像素子 41 上に光電膜上の 23.8 倍の像が投影されるため、この出力を P

Cなどでモニターすることで、焦点に重畳したフレアを観察できる。このフレア像が電子光学系に最適となるように焦点の拡大像を見ながら、ビームスプリッタ40と集光レンズ2との間に設けられた光球面収差補正器20を調整することで、電子ビームの最適化が行える。目標とする焦点やフレア形状は、電子ビームによる観察結果が最良となる条件となるように決められる。

[0025] 本実施例では、光球面収差補正器20を構成する例として、第1のレンズと第2のレンズともに凸レンズで、両者の焦点距離が同一の例について説明したが、光の直径を変えたい場合は焦点距離の異なるレンズで構成しても同様の効果がある。さらに、一方のレンズを凹レンズで構成してもよい。この場合、光球面収差補正器20の中には集光点が無く、両レンズ間隔を狭く取ることができるために、よりコンパクトにできる利点がある。また、より多数のレンズで構成してもよく、平行光をわずかに発散もしくは集光する機能があれば同様の作用が得られる。

[0026] なお、上述のように、集光レンズ2とフォトカソード1との間に光球面収差補正板21を入れておき、さらに図4Bに示した機構により、光球面収差補正器20を調整するようにしてもよい。また、光球面収差補正器20は大気中に置く例を示しているが、真空内に置いても同様の効果を得られる。

[0027] さらに、図4Bの例では光源としてレーザーダイオードを使用する旨説明したが、パルス光や高強度光をを使う場合、あるいは波長を変えたい場合等は、光学台などに光学部品類を配置して光の発生源となる光源光学系を形成し、光源光学系から光ファイバーで励起光を導入する。この場合、固定した光ファイバー端が光源43に相当する。

[0028] さらに、光源43にレーザーダイオードを用い、励起光12が偏光している場合、ビームスプリッタ40として偏光ビームスプリッタを用いることにより、励起光12の透過率を大きくすることができる。このとき、偏光ビームスプリッタ40直下に1/4波長板を入れることにより、反射光46の偏光面を回転させて光源43に戻らないようにすることで、レーザーダイオード43への戻り光を最小にでき、動作を安定化させることができる。

[0029] 図5 A, Bに光球面収差補正板21の実装例を示す。フォトカソード1の電子放出面は表面敏感であり、残留ガスの影響により性能が低下する。このため、図5 Aに示すように、電子銃22に隣接して活性化室53を設ける。活性化室53には、図示しない表面清浄化や、Cs蒸着、酸素導入などの機構を常備して、劣化した光電膜10の表面を再活性化することにより、フォトカソード1の性能を長期間維持することができる。このとき、フォトカソード1は搬送機構52により、電子銃22（真空容器9）と活性化室53との間を行き来する。この行き来を容易にするため、フォトカソード1をカソードパック50として、ホルダ51に収納する。図5 Bにカソードパック50の構成例を示す。フォトカソード1の基板に光球面収差補正板21が接するようにホルダ51に収納することにより、GaP基板／真空界面での反射によるロスが小さくなる効果がある。電子銃22内にはカソードステージ54を設け、ここにカソードパック50を置き、電子源として用いる。また、活性化室53と電子銃22（真空容器9）の間にゲートバルブを設けると、電子銃内を真空中に保持したままで、活性化室53を大気開放してフォトカソード1や光球面収差補正板21を交換できるという利点がある。本例においても、他の材質の透明基板を用いたフォトカソードであれば、透明基板と同じ材質の光球面収差補正板21とともに、カソードパック50とすることができる。

[0030] 図6に本実施例の電子線応用装置に使用可能なフォトカソード1を示す。半導体フォトカソードでは通常、結晶成長の容易さから、光電膜表面の面方位が(100)面となるように結晶成長させているが、図6のフォトカソードでは光電膜表面の面方位を(110)面とする。なお、面方位は結晶成長条件などにもよるが、±4度以内の面方位のずれがあっても差し支えない。透明基板11としてはGaP単結晶を用いるものとし、この上にAlGaAsのバッファ層60を1μm程度エピタキシャル成長させる。バッファ層60の材料はこれに限られず、光電膜10材料であるGaAsになるべくひずみを与えないように格子定数が整合し、かつバンドギャップがGaAsより

も広く、励起光に対して透明な材料から選択すればよい。バッファ層60の上に、光電膜10としてp型GaAsを成長させる。光電膜10の厚みは励起光のスポット径より十分小さいことが重要であり、 $0.1\mu\text{m}$ 以下とする。図6に示したフォトカソード1の特徴として、従来の(100)面を用いたフォトカソードに比べて電流密度の上限が高くなり、この結果、より高輝度が達成されるという利点がある。

[0031] 図7を用いて効果を説明する。グラフの横軸は光電膜表面層の不純物濃度、縦軸はフォトカソードの輝度の上限である。GaAs光電膜表面の面方位が(100)面であるフォトカソードの示す特性が特性71(破線)であり、GaAs光電膜表面の面方位が(110)面であるフォトカソードの示す特性が特性72(実線)である。GaAs(100)面上に結晶成長させた光電膜10の場合、電子放出開始直後から表面準位にトラップされる電子が表面の電子ポテンシャルを上昇させることにより、電流密度がすぐに下がってしまい、光電膜10から定常的に放出できる電流密度は大きく制限される。これを防ぐためには、表面付近のp型不純物濃度を濃くして、表面層にたまる電荷を価電子帯のホールと再結合させて除去することが有効である。したがって、特性71(破線)に示されるように、表面層の不純物濃度を高くすることで得られる輝度の最大値は上昇するが、不純物原子が増えすぎると、格子欠陥や活性化しない不純物が増えることにより輝度の最大値は減少する。このために、高輝度化のために最適な不純物濃度がある。これに対して、高輝度化の障害となる表面準位は、面方位を選ぶことで低減することができる。GaAs(110)面はバンドギャップ中の表面準位が少ないため、特性72(実線)に示されるように、輝度の上限をより大きくすることができる。なお、透明基板11は、励起光に対して透明な単結晶であればGaP単結晶基板に限られず、AlAs、GaAlAs、ZnSe、GaN、GaInN等の単結晶基板を用いることもできる。

[0032] ところで、光電膜10の材料としてGaAsを使用したフォトカソードの輝度が高い原因の一つが、真空中に放出される電子ビームが狭い角度に集中

する（放出角が狭い）ことにある。有効質量の異なる領域の界面では波長が変わることにより波が屈折する。これにより、小さい有効質量の領域から真空への放出では電子の放出角は狭くなる。GaAsの伝導帯の有効質量は、真空中の質量 m_0 の0.067倍である。上記の関係より、GaAsよりもさらに有効質量の小さい材料で光電膜10を形成することにより、高輝度化が可能になる。一例として、InAsをGaAsに混合した結晶（混晶）とすることが有効であり、 $Ga_xIn_{(1-x)}As$ として、 $x=0.7$ 付近の場合の有効質量は $0.05m_0$ となり、GaAsの有効質量の74%となる。この場合、 $Ga_xIn_{(1-x)}As$ 光電膜の放出角は、GaAs光電膜の放出角の86%となる。この結果、輝度は1.34倍となる。この場合も、光電膜表面の面方位を（110）面とすると、表面準位が少なくなり、より高い電流密度が得られるので、さらなる高輝度化が達成される。

符号の説明

[0033] 1：フォトカソード、2：集光レンズ、3：引き出し電極、4：カソードホルダ、5：加速電源、6：窓、7：平行光源、8：光球面収差補正手段、9：真空容器、10：光電膜、11：透明基板、12：励起光、13：電子ビーム、14：開口部、20：光球面収差補正器、21：光球面収差補正板、22：光励起電子銃、23：電子光学系筐体、24：電子レンズ、30：第1の凸レンズ、31：第2の凸レンズ、32：レンズ位置調整機構、40：ビームスプリッタ、41：撮像素子、42：コリメータレンズ、43：光源、44：結像レンズ、45：NDフィルタ、46：反射光、50：カソードパック、51：ホルダ、52：搬送機構、53：活性化室、54：カソードステージ、60：バッファ層。

請求の範囲

- [請求項1] 基板と光電膜とを有するフォトカソードと、
励起光を前記フォトカソードに向けて集光する集光レンズと、
前記フォトカソードに対向して配置され、前記励起光が前記集光レンズにより集光され、前記フォトカソードの基板を透過して入射されることにより、前記フォトカソードの光電膜から発生する電子ビームを加速させる引き出し電極と、
前記引き出し電極により加速された前記電子ビームが導かれる電子光学系とを有し、
前記フォトカソードと前記集光レンズとの間に、前記励起光の波長において、前記フォトカソードの基板の屈折率と等しい屈折率を有する光球面収差補正板が配置された電子線応用装置。
- [請求項2] 請求項1において、
前記光球面収差補正板の材料は、前記フォトカソードの基板の材料と同じである電子線応用装置。
- [請求項3] 請求項2において、
前記集光レンズにより前記励起光を前記フォトカソードの基板の材料に集光させたときに球面収差量を最小とする厚みを L とすると、
前記光球面収差補正板の厚みと前記フォトカソードの基板の厚みの和が L 以下である電子線応用装置。
- [請求項4] 請求項1において、
前記光球面収差補正板と前記フォトカソードの基板とが接するように、前記光球面収差補正板と前記フォトカソードとをホルダに収納したカソードパックと、
前記カソードパックを載置するカソードステージとを有する電子線応用装置。
- [請求項5] 請求項4において、
前記集光レンズ、前記引き出し電極及び前記カソードステージが配

置される真空容器と、

前記真空容器に接続され、前記フォトカソードの光電膜を再活性化するための活性化室を有し、

前記カソードパックは、前記真空容器と前記活性化室との間を搬送機構により搬送される電子線応用装置。

[請求項6]

請求項1において、

平行光源と、

前記平行光源からの平行光が入射され、前記平行光を発散または収束させる光球面収差補正器とを有し、

前記光球面収差補正器を透過した前記平行光が、前記励起光として前記集光レンズに照射される電子線応用装置。

[請求項7]

平行光源と、

前記平行光源からの平行光が入射され、前記平行光を発散または収束させる光球面収差補正器と、

基板と光電膜とを有するフォトカソードと、

前記光球面収差補正器を透過した前記平行光が、励起光として照射され、前記励起光を前記フォトカソードに向けて集光する集光レンズと、

前記フォトカソードに対向して配置され、前記励起光が前記集光レンズにより集光され、前記フォトカソードの基板を透過して入射されることにより、前記フォトカソードの光電膜から発生する電子ビームを加速させる引き出し電極と、

前記引き出し電極により加速された前記電子ビームが導かれる電子光学系とを有する電子線応用装置。

[請求項8]

請求項7において、

前記光球面収差補正器は、

前記平行光が入射される第1のレンズと、

前記第1のレンズを透過した前記平行光が入射される第2のレンズ

と、

前記第 1 のレンズと前記第 2 のレンズとの距離を調整するレンズ位置調整機構とを有し、

前記第 1 のレンズと前記第 2 のレンズは、少なくともその一方が凸レンズである電子線応用装置。

[請求項 9] 請求項 7 において、

前記フォトカソードと前記集光レンズとの間に、前記励起光の波長において、前記フォトカソードの基板の屈折率と等しい屈折率を有する光球面収差補正板が配置された電子線応用装置。

[請求項 10] 請求項 1 または請求項 7 において、

前記フォトカソードは、前記光電膜の材料を $GaAs$ とし、前記光電膜表面の面方位が (110) 面である電子線応用装置。

[請求項 11] 請求項 1 または請求項 7 において、

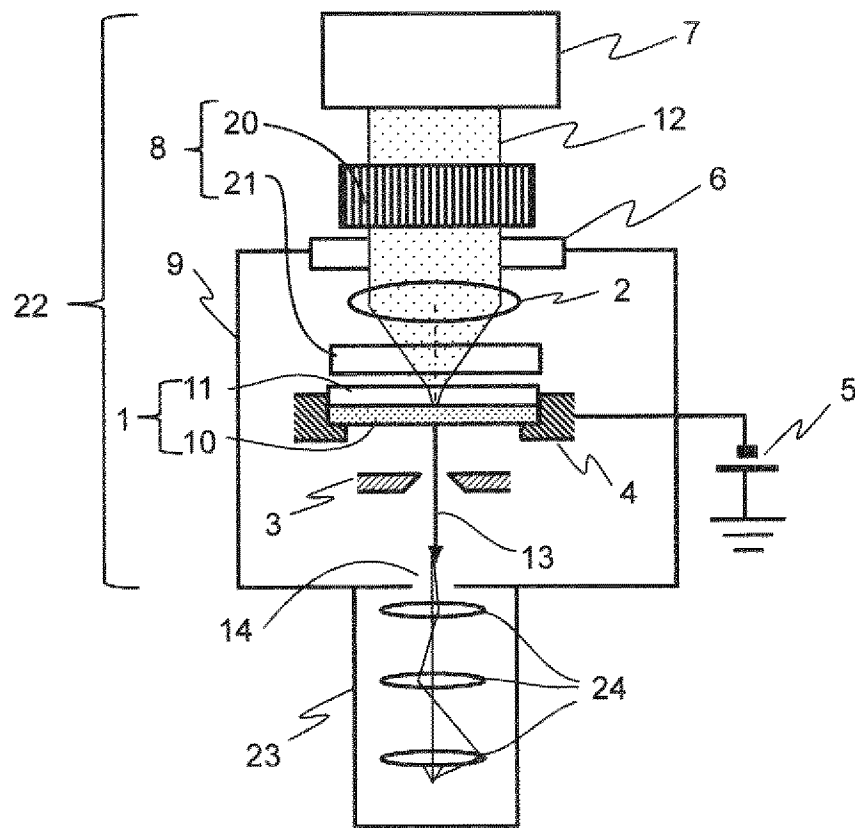
前記フォトカソードは、前記光電膜の材料を $GaAs$ と $InAs$ との混晶とし、前記混晶の伝導帯の有効質量は、 $GaAs$ の伝導帯の有効質量よりも小さくされる電子線応用装置。

[請求項 12] 請求項 11 において、

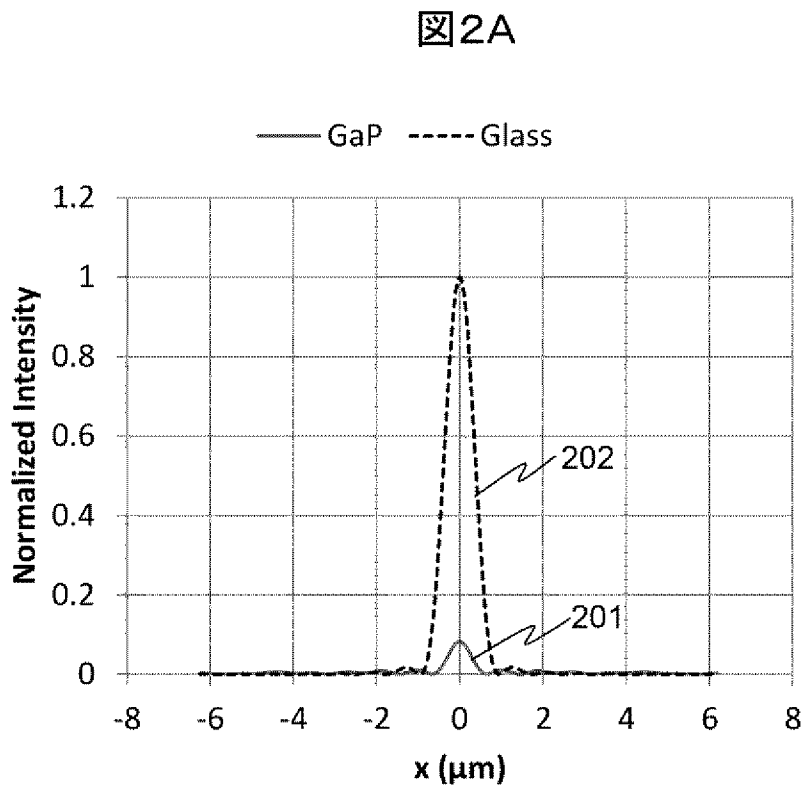
前記光電膜表面の面方位が (110) 面である電子線応用装置。

[図1]

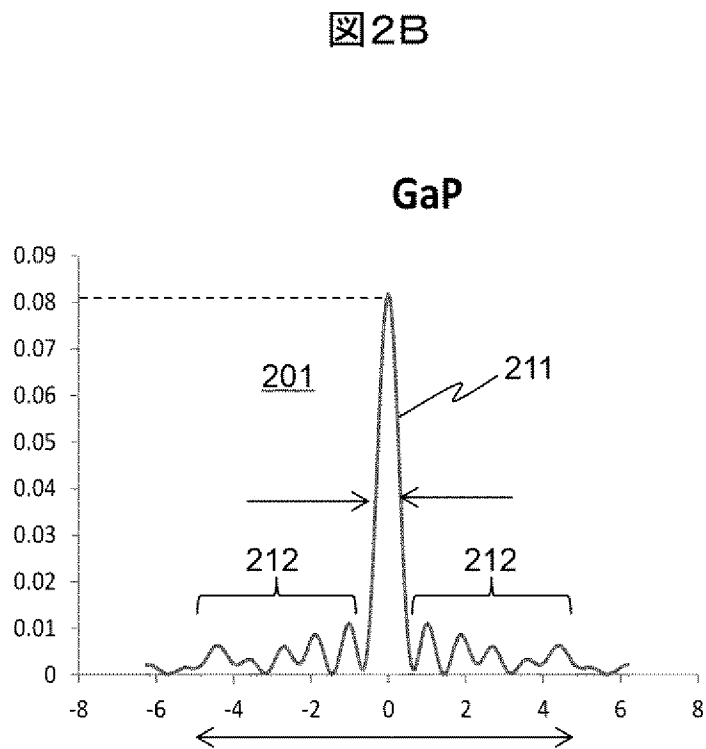
図 1



[図2A]

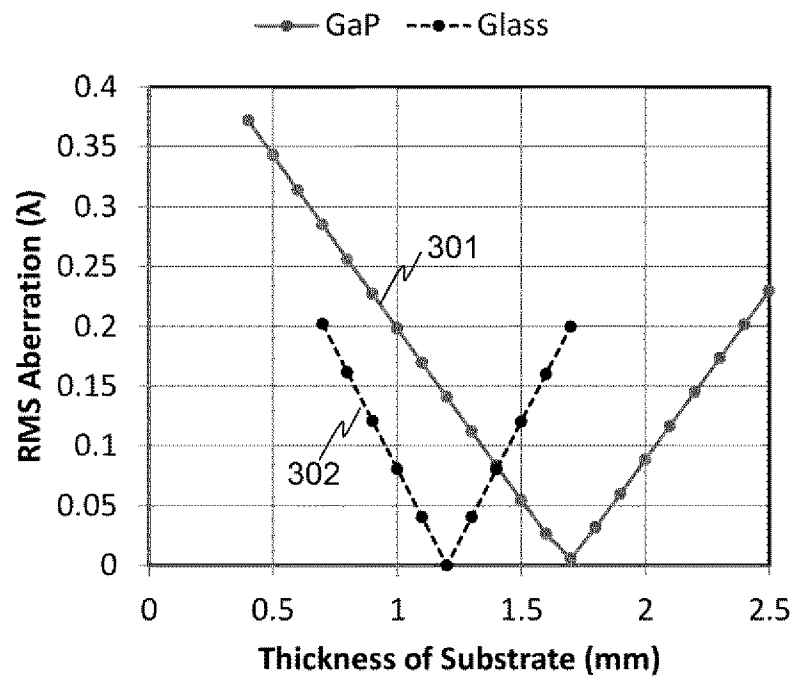


[図2B]



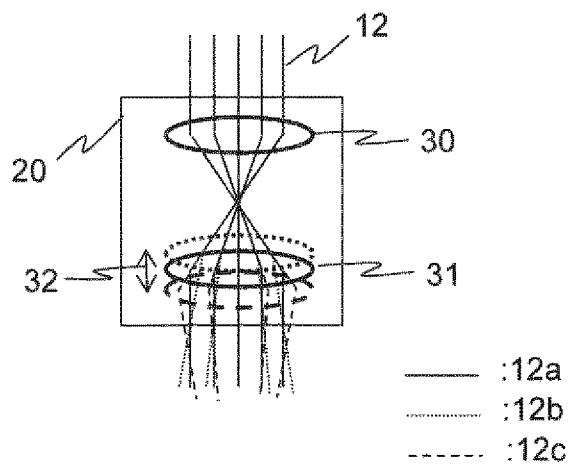
[図3]

図3



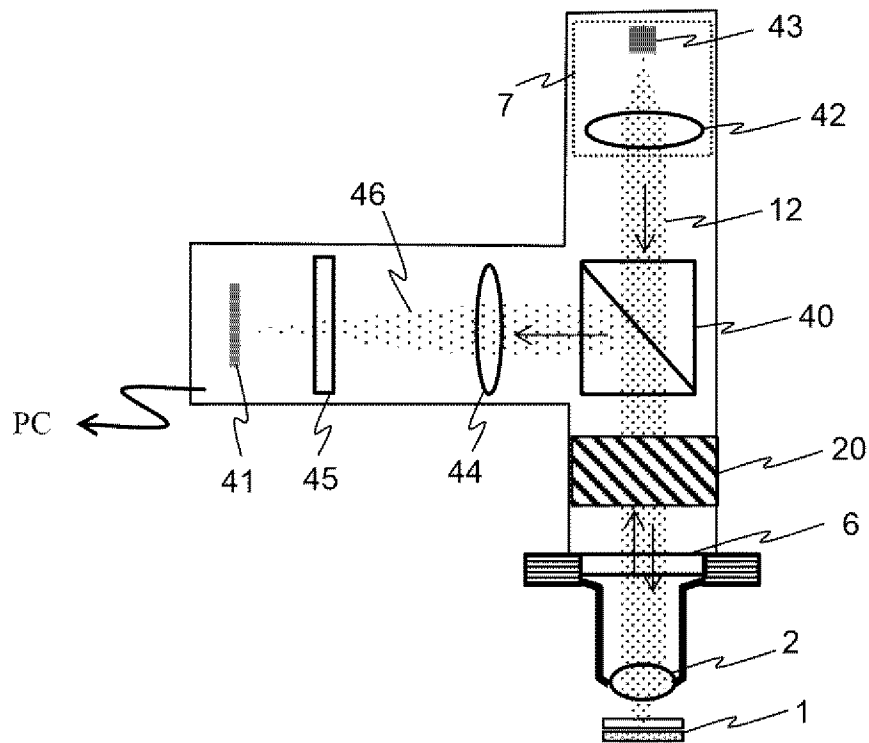
[図4A]

図4A



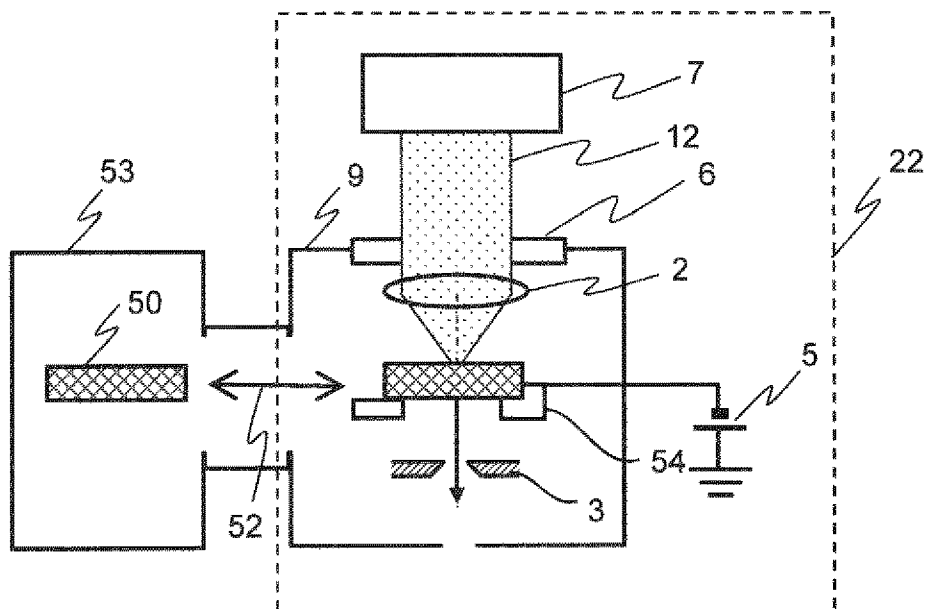
[図4B]

図4B

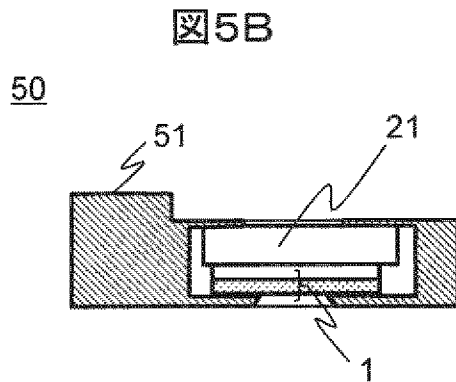


[図5A]

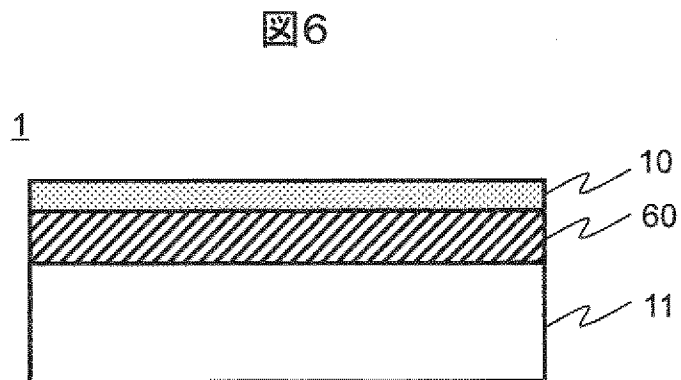
図5A



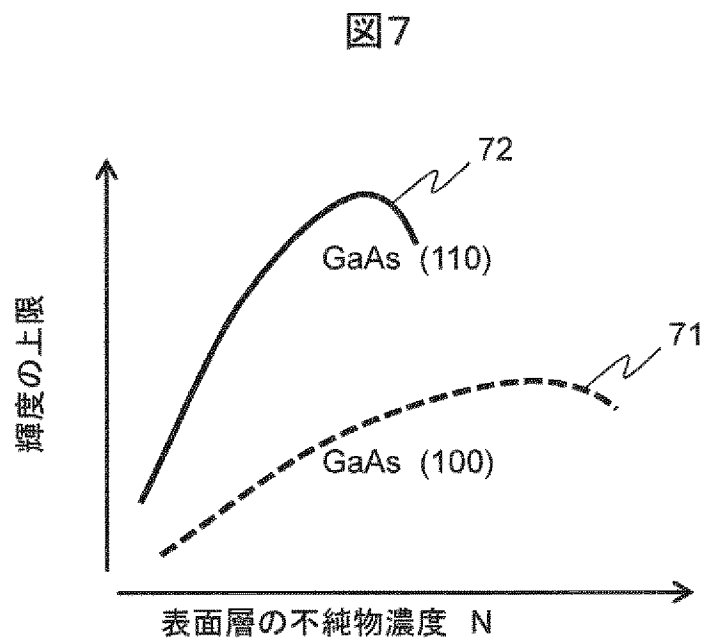
[図5B]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/019491

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H01J1/34 (2006.01) i, H01J37/073 (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. H01J1/34, H01J37/073

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	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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	WO 2017/168554 A1 (HITACHI HIGH TECH CORPORATION) 05 October 2017, fig. 1, paragraph [0017] (Family: none)	1-12
A	JP 11-509360 A (INTEVAC INCORPORATED) 17 August 1999, fig. 1, page 15, lines 12, 13 & US 5684360 A, fig. 1, column 5, lines 61-63 & KR 10-2001-0013034 A	1-12



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
19.06.2018

Date of mailing of the international search report
03.07.2018

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/JP2018/019491

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-143648 A (HITACHI, LTD.) 25 May 2001, paragraph [0023] (Family: none)	1-12
A	JP 2003-525514 A (INTEVAC INCORPORATED) 26 August 2003, paragraph [0023] & US 6005247 A, fig. 2, column 6, lines 8-10	1-12

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01J1/34(2006.01)i, H01J37/073(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））

Int.Cl. H01J1/34, H01J37/073

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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	W0 2017/168554 A1（株式会社日立ハイテクノロジーズ） 2017. 10. 05, 図 1; [0017]（ファミリーなし）	1-12
A	JP 11-509360 A（インテバック・インコーポレイテッド） 1999. 08. 17, 図 1; 15 頁 12-13 行 & US 5684360 A, 図 1; 5 欄 61-63 行 & KR 10-2001-0013034 A	1-12

☒ 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

19. 06. 2018

国際調査報告の発送日

03. 07. 2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/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）

右▲高▼ 孝幸

2 G

9808

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

C (続き) . 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 2001-143648 A (株式会社日立製作所) 2001. 05. 25, [0023] (ファミリーなし)	1-12
A	JP 2003-525514 A (インテバック・インコーポレイテッド) 2003. 08. 26, [0023] & US 6005247 A, 図 2; 6 欄 8-10 行	1-12