

(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
2014年5月15日(15.05.2014)



(10) 国際公開番号

WO 2014/073254 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 21/64 (2006.01) G02B 3/04 (2006.01)
G01J 1/04 (2006.01) G02B 3/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/072386
- (22) 国際出願日: 2013年8月22日(22.08.2013)
- (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 2012-246605 2012年11月8日(08.11.2012) JP
- (71) 出願人: シャープ株式会社(SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 渡邊 由紀夫(WATANABE, Yukio).
- (74) 代理人: 鮫島 睦, 外(SAMEJIMA, Mutsumi et al.); 〒5300017 大阪府大阪市北区角田町8番1号梅田阪急ビルオフィスタワー青山特許事務所 Osaka (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, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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.

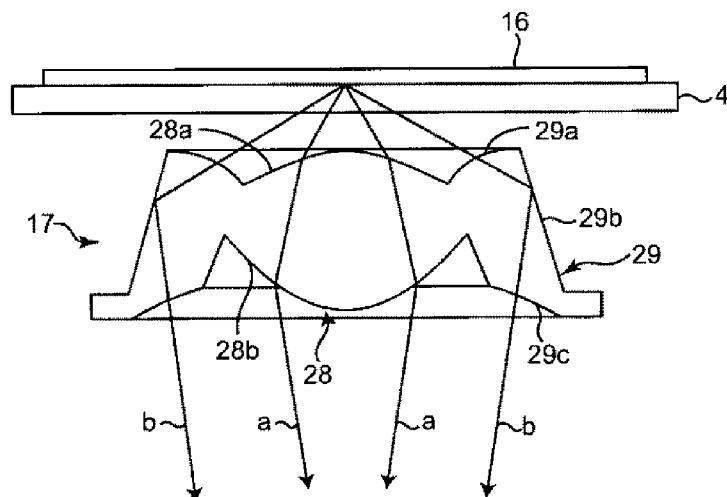
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,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

(54) 発明の名称: 光検出装置



(57) Abstract: This light detecting apparatus is provided with: an objective lens element (17) that collects light from a subject to be measured (16); and a light detecting element that detects the light collected by means of the objective lens element (17). The objective lens element (17) includes a center portion (28) that collects the light by means of refraction, and a peripheral portion (29) that collects the light by means of reflection by being positioned at the periphery of the center portion (28). Consequently, light that cannot be collected by means of normal convex lenses can be collected, said light having large emission angles, and sensitivity can be improved with improved light collection efficiency by means of the light detecting element.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2014/073254 A1



光検出装置は、測定対象物(16)からの光を集光する対物レンズ素子(17)と、上記対物レンズ素子(17)によって集光された光を検出する光検出素子とを備え、上記対物レンズ素子(17)は、屈折によって光を集光する中央部分(28)と、この中央部分(28)の周辺に位置して反射によって光を集光する周辺部分(29)とを含んでいる。こうして、通常の凸レンズでは集光できないような大きな放射角度の光をも集めることができ、集光効率を高めて上記光検出素子による感度アップを図ることができる。

明 細 書

発明の名称：光検出装置

技術分野

[0001] この発明は、二次元的に分布する蛍光標識等を読み取る光検出装置に関する。

背景技術

[0002] 従来より、生化学分野や分子生物学分野において、蛍光色素を標識物質として利用した蛍光検出システムが広く用いられている。この蛍光検出システムを用いることによって、遺伝子配列、遺伝子の変異・多型解析、タンパク質の分離および同定等の評価を行うことができ、薬等の開発に利用されている。

[0003] 上述のような蛍光標識を利用した評価方法としては、電気泳動によってタンパク質等の生物学的化合物をゲル内に分布させ、その生物学的化合物の分布を蛍光検出により取得するという方法がよく用いられている。上記電気泳動では、緩衝液等の溶液中に電極を設置しておき、直流電流を流すことによって上記溶液中に電場勾配を生じさせる。このとき、上記溶液中に電荷を有するタンパク質やDNA (Deoxyribonucleic acid: デオキシリボ核酸) やRNA (ribo nucleic acid: リボ核酸) がある場合に、プラス電荷を有する分子は陰極に、マイナス電荷を有する分子は陽極に引き寄せられ、生体分子の分離を行うことができる。

[0004] 上記電気泳動を用いた評価方法の一つである二次元電気泳動は、2種類の電気泳動法を組み合わせることによって、ゲル内に生体分子を2次的に分布させる評価方法であり、プロテオーム解析を行う上で最も有効な方法であると考えられている。

[0005] 上記電気泳動の組み合わせとしては、例えば、一次元目としての「個々のタンパク質の等電点の違いを利用する等電点電気泳動」と、二次元目としての「タンパク質の分子量で分離を行うSDS-PAGE (ドデシル硫酸ナトリ

ウム - ポリアクリルアミドゲル電気泳動)」との２種類が主に用いられる。こうして分離された上記生体分子としてのタンパク質に対して、蛍光色素は電気泳動前あるいは電気泳動後に付与される。

[0006] さらに、上述のようにして作製された上記生体分子(タンパク質)が二次元的に分布されたゲル支持体に励起光を照射し、発生した蛍光強度を取得して、それに基づいて蛍光分布(タンパク質分布)画像を表示させる画像読取装置が、生化学や分子生物学の分野で広く普及している。

[0007] また、上記生体分子の二次元分布を保持する方法としては、上記ゲル内に保持するだけでなく、上記ゲル内にタンパク質を分離させた後に、電気泳動や毛細管現象を利用して上記ゲルからメンブレンに転写させる方法も行われる。その場合には、上記ゲル支持体を用いた画像読取の場合と同様に、上記メンブレンである転写支持体上の蛍光分布を画像読取装置によって画像化することができる。

[0008] 上述したような生体分子が二次元的に分布されたゲル支持体や転写支持体から生体分子分布画像を読み取る画像読取装置として、特開平１０－３１３４号公報(特許文献１)に開示された画像読み取り装置がある。

[0009] 上記従来の画像読み取り装置では、中央部に孔が形成されたミラーを主走査方向に移動される光学ヘッドに搭載し、蛍光物質によって標識された変性DNAの電気泳動が記録された転写支持体に対して、光源からの上記蛍光物質の波長に応じた波長のレーザ光(励起光)を上記ミラーの孔を通過させて照射する。そして、上記転写支持体中の蛍光色素が励起されて発せられた蛍光が上記ミラーの上記孔の周囲で反射され、マルチプライヤによって光電変換されて検出される。こうして、ラインバッファに、１ライン分の画像データが記憶される。以下、上記主走査方向に直交する副走査方向に上記光学ヘッドを移動させながら上記動作を繰り返すことにより、画像処理装置によって二次元の可視画像(蛍光画像)を得るようにしている。

[0010] 上述のように、上記従来の画像読み取り装置においては、ダイクロイックミラーを用いることなく励起光を転写支持体に照射するため、ダイクロイック

クミラーを通して励起光を照射する方式に比して、強い励起エネルギーを上記転写支持体に付与することができ、光電検出される信号(画像情報)のS/Nを向上できる。

[0011] しかしながら、微弱な蛍光を検出するに当たっては、さらなるS/Nの向上が求められる。

[0012] 上記光電検出される信号(画像情報)のS/Nを向上するためには、レーザ光等の励起光の照射によって蛍光色素が励起されて発せられて等方的に広がって出射されるた蛍光をなるべく捕集する必要がある。

[0013] ここで、広角度で放出される蛍光をなるべく高効率に捕集する方法としては、高いNA(開口数: numerical aperture)の対物レンズを使用する方法があるが、レンズ素子が大型化してしまう。

[0014] その場合には、蛍光を捕集する対物レンズの大型化に伴って、蛍光を上記マルチプライヤまで導く間に設置される反射ミラー、レーザ光カットフィルタおよび集光レンズ等の光学素子も大型化する。そのため、光学ヘッドを含む光学系を走査させる画像読み取り装置では、光学素子の大型化に伴って全体のサイズが大きくなり、高速にスキャンすることができなくなるという問題がある。

先行技術文献

特許文献

[0015] 特許文献1: 特開平10-3134号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0016] そこで、この発明の課題は、対物レンズの大型化を抑制しつつ光の集光効率を高めることができる光検出装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0017] 上記課題を解決するため、この発明の光検出装置は、測定対象物からの光を集光する対物レンズ素子と、

上記対物レンズ素子によって集光された光を検出する光検出素子とを備え、

上記対物レンズ素子は、屈折によって光を集光する中央部分と、この中央部分の周辺に位置して反射によって光を集光する周辺部分とを含んでいることを特徴としている。

[0018] また、一実施の形態の光検出装置では、

上記測定対象物からの光は、上記測定対象物上の略一点から放射状に出射される光であり、

上記対物レンズ素子は、上記測定対象物上の略一点から放射状に出射される光を上記光検出素子上に集光するようになっている。

[0019] また、一実施の形態の光検出装置では、

上記測定対象物に光を照射する光源を備え、

上記対物レンズ素子は、上記光源からの光を透過する光透過部を含んでおり、

上記光源からの光は、上記対物レンズ素子の上記光透過部を透過して上記測定対象物を照射するようになっている。

[0020] また、一実施の形態の光検出装置では、

上記対物レンズ素子は、光軸に対して同心円状の形状を有しており、

上記光軸は、上記光透過部の少なくとも一部を通過している。

[0021] また、一実施の形態の光検出装置では、

上記対物レンズ素子と上記光検出素子との間に配置されると共に、上記光源からの光と略同一波長の光を減光する波長フィルタを備え、

上記波長フィルタは、上記対物レンズ素子によって集光された光のうち、上記光源からの光と略同一波長の成分を減光して上記光検出素子上を照射するようになっている。

[0022] また、一実施の形態の光検出装置では、

上記対物レンズ素子と上記光検出素子との間に配置された中間レンズ素子を備え、

上記中間レンズ素子は、上記対物レンズ素子によって集光された光を、さらに上記光検出素子上に集光するようになっている。

- [0023] また、一実施の形態の光検出装置では、
上記対物レンズ素子の上記中央部分は、
上記測定対象物からの光が入射すると共に、光軸方向外側に向かって凸状の曲面形状を有する入射側凸面と、
上記入射側凸面からの光を出射させると共に、光軸方向外側に向かって凸状の曲面形状を有する出射側凸面と
を含む一方、
上記対物レンズ素子の上記周辺部分は、
上記測定対象物からの光が入射する入射側端面と、
上記入射側端面からの光を内部で反射させる外周面と、
上記外周面で内部反射された光を出射させる出射側端面と
を含んでおり、
上記中央部分における上記入射側凸面と上記周辺部分における上記入射側端面との境界には、凹状の境界部が形成されている。

[0024] 尚、ここで言う「内部反射」とは、全反射をも含む概念である。

- [0025] また、一実施の形態の光検出装置では、
上記対物レンズ素子の上記中央部分における上記入射側凸面および上記周辺部分における上記入射側端面は、上記入射側凸面から入射した光の光路と上記入射側端面から入射した光の光路とが、上記凹状の境界部を境にして互いに分離されて交差することがないような形状を有している。

- [0026] また、一実施の形態の光検出装置では、
上記対物レンズ素子の上記周辺部分における上記入射側端面は、外側に向かって凸状の曲面形状を有している。

- [0027] また、一実施の形態の光検出装置では、
上記対物レンズ素子の上記周辺部分における上記外周面は、外部に向かって凸状の曲面形状を有している。

発明の効果

[0028] 以上より明らかなように、この発明の光検出装置では、測定対象物からの光を集光する対物レンズ素子は、屈折によって光を集光する通常の凸レンズに相当する中央部分の外周に、反射によって光を集光する周辺部分を有している。したがって、通常の凸レンズでは集光できないような大きな放射角度の光をも集めることができ、集光効率を高めて光検出素子による感度アップを図ることができる。そのため、光電検出される信号(画像情報)のS/Nを向上するために、対物レンズとして上記対物レンズ素子と同等のNAを有する凸レンズを用いる場合に比して、上記対物レンズ素子の直径を小さくすることができる。

[0029] また、上記対物レンズ素子は、上記測定対象物からの光を集光して上記光検出素子に入射するので、上記対物レンズ素子以降の光学素子および上記光検出素子の直径を小さくすることができ、検出光学系をコンパクトにして高速スキャンを可能にできる。

図面の簡単な説明

[0030] [図1]この発明の光検出装置の外観図である。

[図2]図1におけるサンプル台の下部に設置された走査ステージの外観図である。

[図3]図2における第2ステージ上に載置される走査モジュールの断面図である。

[図4]図3における対物レンズの断面図である。

[図5]上記対物レンズの具体的形状の一例を示す図である。

[図6]図3において対物レンズからピンホールまでの光線図である。

[図7]従来のコリメータレンズにおける断面図である。

発明を実施するための形態

[0031] 以下、この発明を図示の実施の形態により詳細に説明する。

[0032] 図1は、本実施の形態の光検出装置における外観図である。本光検出装置1は、筐体を成す本体2と、本体2の上面を覆う蓋体3とで、大まかに構成

されている。本体 2 の上面には、ガラスでなるサンプル台 4 が設けられており、サンプル台 4 上には例えば蛍光物質によって標識された生体由来物質が分布するゲル支持体やメンブレン等の転写支持体(共に図示せず)がサンプルとしてセットされる。

[0033] そして、上記サンプル台 4 の下側には光学系が配置されており、サンプル台 4 上にセットされたサンプルに対して、光照射光学系によってサンプル台 4 を通して下方から励起光を照射し、サンプル台 4 を透過してくるサンプルからの蛍光を検出光学系によって検出する。上記検出光学系は P C (Personal computer : パーソナルコンピュータ) 5 等の外部端末と接続されており、P C 5 から測定条件の制御等を行う。さらに、P C 5 によって、検出データに基づいてサンプルの蛍光画像を作成し、内蔵する表示画面に上記作成した蛍光画像等を表示する。

[0034] 図 2 は、上記サンプル台 4 の下部に設置された走査ステージ 6 の外観図を示す。この走査ステージ 6 は、基準となる第 1 ステージ 7 と第 1 ステージ 7 の上に載置された第 2 ステージ 8 とで構成されている。そして、第 2 ステージ 8 の上に走査モジュール 9 が載置されている。上記蛍光を検出する上記検出光学系は走査モジュール 9 の中に格納されている。

[0035] 上記走査ステージ 6 を構成する第 1 ステージ 7 には、第 1 走査方向に延在すると共に、一定の間隔で互いに対向する 2 本のガイドレール 1 0 a, 1 0 b が配設されている。また、第 2 ステージ 8 は、第 1 ステージ 7 のガイドレール 1 0 a によって案内されて上記第 1 走査方向に往復動する第 1 ガイド部材 1 1 と、ガイドレール 1 0 b によって案内されて上記第 1 走査方向に往復動する第 2 ガイド部材 1 2 とを有している。

[0036] 上記第 2 ステージ 8 を構成する第 1 ガイド部材 1 1 と第 2 ガイド部材 1 2 との間には、上記第 1 走査方向に直交する第 2 走査方向に延在すると共に、一定の間隔で互いに対向する 2 本のガイドレール 1 3 a, 1 3 b が配設されている。また、上記走査モジュール 9 は、ガイドレール 1 3 a によって案内されて上記第 2 走査方向に往復動する第 1 ガイド部材 1 4 と、ガイドレール 1 3 b に

よって案内されて上記第2走査方向に往復動する第2ガイド部材15とを有している。

[0037] 上記構成を有する走査ステージ6による走査方法は、先ず、上記第2ステージ8の第1ガイド部材11と第2ガイド部材12とがガイドレール10a, 10bによって案内されて上記第1走査方向に移動して、第2ステージ8の第1ステージ7に対する位置決めが行われる。そうした後に、走査モジュール9の第1ガイド部材14と第2ガイド部材15とがガイドレール13a, 13bによって案内されて上記第2走査方向に移動して、走査モジュール9の第2ステージ8に対する位置決めが行われる。以後、上記動作を繰り返すことによって、サンプル16上を二次元に走査するのである。

[0038] すなわち、本実施の形態においては、上記第1走査方向への移動手段を、ガイドレール10a, 10bと第1, 第2ガイド部材11, 12とで構成し、上記第2走査方向への移動手段を、ガイドレール13a, 13bと第1, 第2ガイド部材14, 15とで構成しているのである。

[0039] また、具体的な説明は省略するが、上記筐体を成す本体2のサンプル台4下部における走査ステージ6よりも更に下側には、第2ステージ8の第1, 第2ガイド部材11, 12を上記第1走査方向に、走査モジュール9の第1, 第2ガイド部材14, 15を上記第2走査方向に移動させるためのモータ, 駆動ベルト, ボールねじ, 歯車, 制御基板, 電源および配線等の走査機構が設置されている。

[0040] 図3は、上記第2ステージ8の上に載置される走査モジュール9の概略構成を示す縦断面図である。尚、以下の説明においては、光源18からの励起光の照射に基づいて、上記蛍光物質で標識された上記測定対象物であるサンプル16から発せられる上記励起光とは異なる波長の微弱な蛍光を検出する場合を例示する。

[0041] 図3において、走査モジュール9内の上部には、サンプル台(ガラス)4の近傍に位置して、サンプル台4上にセットされたサンプル16からの蛍光を集光する上記対物レンズ素子としての対物レンズ17を配置している。さら

に、対物レンズ 17 の光軸と励起光の光源 18 の光軸とが直交する位置には、光源 18 から出射されて複数のレンズでなるレンズ群 19 で集光されたレーザ光等の励起光を対物レンズ 17 に入射するように反射させる反射ミラー 20 を配置している。

[0042] 上記対物レンズ 17 はレンズホルダ 21 内に収納されており、レンズホルダ 21 はステッピングモータ等の駆動部 22 によって、対物レンズ 17 の光軸方向に移動可能になっている。こうして、対物レンズ 17 は、レンズホルダ 21 と共に上記光軸方向に移動可能になっている。

[0043] また、上記対物レンズ 17 の光軸上における反射ミラー 20 の下方には、反射ミラー 20 側から順に、対物レンズ 17 によって集光されたサンプル 16 からの蛍光を平行光に変換する第 1 レンズ 23、励起光カット用の波長フィルタ 24、波長フィルタ 24 を通過した蛍光を集光する第 2 レンズ 25、および、第 2 レンズ 25 を通過した蛍光の迷光をカットするピンホール 26 が配置されている。さらに、対物レンズ 17 の光軸上におけるピンホール 26 の下方には、ピンホール 26 を通過した蛍光を検出する上記光検出素子としての検出器 27 が配置されている。

[0044] 上記構成を有する走査モジュール 9 において、光源 18 から出射された励起光は、レンズ群 19 で集束され、次いで反射ミラー 20 によって反射されて、対物レンズ 17 およびサンプル台 4 を通過し、サンプル 16 における下面上の一点に集光される。その場合、反射ミラー 20 の長手方向(レンズ群 19 の光軸に直交する方向)の長さは短く、上記長手方向に直交する方向の幅は狭くなっており、光源 18 からの励起光は対物レンズ 17 の光軸付近(励起光透過部)のみを通過するようになっている。

[0045] 上記蛍光は、サンプル 16 における上記励起光が照射された略一点の部分から周囲に等方的に出射される。そして、出射された蛍光のうちのガラスで成るサンプル台 4 を透過して対物レンズ 17 に入射した成分が、対物レンズ 17、第 1 レンズ 23、波長フィルタ 24、第 2 レンズ 25 およびピンホール 26 を通過して、検出器 27 によって検出される。そして、検出器 27 からの

検出信号は、内蔵されるA/D変換器(図示せず)等によってA/D変換等の処理が施された後に、PC5へ送出される。こうして、サンプル16上の各測定点での蛍光強度の分布が内部メモリ等に記録される。

[0046] ここで、上述したように、上記対物レンズ17を通過した蛍光は、集束光となって第1レンズ23の方向に導かれる。そして、第1レンズ23によって実質的に光軸と平行な光になるように屈折される。また、上記中間レンズ素子としての第2レンズ25は第1レンズ23からの蛍光を集光する。また、ピンホール26は空間的に迷光をカットするために配置される。尚、励起光カット用の波長フィルタ24は、例えば回転フォルダ(図示せず)等に配置されて、励起光の波長に応じて他の波長のフィルタと交換可能になっている。

[0047] 以下、本願の特徴である上記対物レンズ17に付いて、詳細に説明する。

[0048] 図4は、上記対物レンズ17の縦断面図である。図4から分かるように、対物レンズ17における光軸を含む中央部分は、上記光軸に沿って突出する入射側凸面28aと出射側凸面28bとを含んで、通常の凸レンズの機能(屈折のみで光を偏向)を有する凸レンズ部28となっている。そして、サンプル16から出射された蛍光のうち、放射角度の小さい蛍光aは、この凸レンズ部28の部分を通して第1レンズ23に向かって集光される。以下、凸レンズ部28を指して「中央部分」と言う場合もある。

[0049] 上記対物レンズ17における出射側凸面28b(凸レンズ部28)の周辺部分は、下方に向かって開いた円錐台形の筒状体29となっている。そして、サンプル16から出射された蛍光のうち、凸レンズ部28に入りきらないような放射角度の大きい蛍光bは、筒状体29の入射側端面29aから筒状体29内に入射し、入射側端面29aに連続する外周面29bで全反射されて光軸側に偏向され、外周面29bに間接に連続する出射側端面29cから第1レンズ23に向かって出射される。以下、筒状体29を指して「周辺部分」と言う場合もある。

[0050] 以上のごとく、上記サンプル16から出射された蛍光のうち、凸レンズ部

28に入りきらないような放射角度の大きい蛍光を、筒状体29の外周面29bで全反射させることによって、通常の凸レンズでは集光できないような大きな放射角度の光をも集めることができる。そのため、検出器27の感度アップを図ることができるのである。

[0051] また、本光検出装置1の対物レンズを上記対物レンズ17と同等のNAを通常の凸レンズで実現するよりも、レンズ素子自体をコンパクトに形成することができるのである。

[0052] 図5に、上記対物レンズ17の具体的形状の一例を示す。尚、図5に記載の寸法は一例であり、この発明は、図5の寸法に限定されるものではない。ここで、図5中、「R」は曲率半径であり、単位は「mm」である。尚、図5においては、対物レンズ17における光軸上の入射側の最先端を原点とし、上記光軸に垂直な方向にX軸を取り、上記光軸の方向にY軸を取っている。したがって、上記原点は、凸レンズ部28の入射側凸面28aと上記光軸との交点ではなく、筒状体29の入射側端面29aと外周面29bとの交線を含む平面と上記光軸との交点である。

[0053] 上述したように、上記サンプル16から出射された蛍光のうち放射角度の小さい蛍光aは、対物レンズ17における光軸を含む中央部分(凸レンズ部28)を通過して第1レンズ23に向かって集光される。このように、対物レンズ17の中央部分は、点光源から放射状に放出された光を屈折によって集光するため、凸レンズの形状が望ましい。

[0054] ここで、中央部分に凸レンズ部を有すると共に、凸レンズ部の周辺部分に入射光を反射させる外周面を含む筒状体を有するレンズは、再公表WO2008/069143や特開2010-114044号公報に開示されている。しかしながら、これら特許文献は、何れも、LED等の発光素子からの光を前方に指向性よく出射させる発光素子用レンズに関するものであり、これに類似するレンズを対物レンズとして光検出装置に用いる点や、上記レンズを対物レンズとして使用することによって光検出装置の光学素子を小型化する点については一切開示も示唆もされていない。

[0055] また、上記再公表WO 2008/069143に開示されているコリメータレンズの場合には、図7に示すように、上記凸レンズの形状とは言っても、光軸との成す角が小さい光線を屈折する部分の出射面は凸形状の楕円面102cであるものの、入射側は凹形状の球面102aである。そのため、光軸を含む中央部分は、出射側だけで集光効果を得る必要があり、凸レンズとしての集光能率が低下する。したがって、出射側の凸形の楕円面102cの曲率を大きくする必要が生ずる等の設計上の制約が生ずる。あるいは、出射側の凸形の楕円面102cの焦点距離が大きくなるため、このコリメータレンズを搭載した場合には、走査モジュール9が大型化するなどの問題が発生する。

[0056] 尚、図7において、101は光源であり、102はコリメータレンズであり、102bは光源101からの光を全反射させる楕円面であり、102dは楕円面102bで全反射された光を屈折する楕円面である。

[0057] 本実施の形態においては、図5に示すように、上記対物レンズ17における光軸を含む中央部分は、入射面を矢印「R1」で示すように凸形の入射側凸面28aで構成する。一方、出射面を矢印「R2」で示すように凸形の出射側凸面28bで構成している。このように、レンズ素子17の上記中央部分は、入射面と出射面との両方が凸形面であるため、集光の能率を容易に向上させることができる。したがって、出射側の出射側凸面28bの曲率を特に大きくする必要はなく、出射側の出射側凸面28bの焦点距離が大きくなって走査モジュール9が大型化することもない。

[0058] また、上記サンプル16から出射された蛍光のうちで放射角度の小さい蛍光aを、対物レンズ17における光軸を含む中央部分によって集光する一方、放射角度の大きい蛍光bを、対物レンズ17における周辺部分によって集光する場合に、上記中央部分の入射面に入射された光の光路と上記周辺部分の入射面に入射された光の光路とが、対物レンズ17内において明確に分離されることが望ましい。

[0059] しかしながら、上記再公表WO 2008/069143に開示されている

コリメータレンズの場合には、球面 102a に入射されて凸形の橢円面 102c に至る中央部分の光と、球面 102a に入射されて凸形の橢円面 102b に至る周辺部分の光とが、明確に分離されることがない。そのため、球面 102a に入射されて凹形の橢円面 102d に至って全反射され、迷光となる光が存在する。

[0060] 本実施の形態においては、図 5 に示すように、上記対物レンズ 17 における入射面の形状を、光軸を含む中央部分は矢印「R1」で示すように凸形の入射側凸面 28a で構成する一方、上記中央部分の周辺部分(筒状体 29)は矢印「R3」で示すように凸形の入射側端面 29a で構成している。このように、入射面における上記中央部分と上記周辺部分とが異なる曲面で形成されて、上記中央部分と上記周辺部分との境界には、凹状(谷状)のくびれ部分が形成される。したがって、入射面における上記中央部分と上記周辺部分とが明確に分離されている。

[0061] そのため、上記中央部分(凸レンズ部 28)の入射側凸面 28a に入射される光は、対物レンズ 17 の光軸側に屈折されるのに対して、上記周辺部分(筒状体 29)の入射側端面 29a に入射される光は、対物レンズ 17 の光軸とは反対側に位置する外周面 29b 側に屈折される。このように、入射側凸面 28a に入射される光と入射側端面 29a に入射される光との屈折方向が全く異なるために、上記中央部分の入射側凸面 28a に入射された光と上記周辺部分の入射側端面 29a に入射された光とが、上記中央部分の出射側凸面 28b と上記周辺部分の外周面 29b との間の面に至ることを防止でき、出射側凸面 28b と外周面 29b との間の面に至った光が迷光となることを防止できるのである。

[0062] また、上記対物レンズ 17 の入射面における上記中央部分の入射側凸面 28a に入射された光の光路と、上記周辺部分の入射側端面 29a に入射された光の光路とが、対物レンズ 17 中で互いに交差することがないように、入射側凸面 28a および入射側端面 29a の形状が設定されている。

[0063] したがって、上記中央部分の入射側凸面 28a に入射された光の総てが、出

射面である凸形の出射側凸面 28b に至るのに対し、上記周辺部分の入射側端面 29a に入射される光の総てが、反射面である外周面 29b に至ることになる。その結果、対物レンズ 17 の入射面に入射されて出射側凸面 28b および外周面 29b 以外の面に至る光によって、迷光が発生することはないのである。

[0064] また、上記対物レンズ 17 の上記中央部分における出射面は、図 5 において、矢印「R2」で示すように凸形の出射側凸面 28b で構成されている。したがって、対物レンズ 17 の上記中央部分においては、入射面である入射側凸面 28a と出射面である出射側凸面 28b との協働によって、サンプル 16 から出射された蛍光のうちの放射角度の小さい蛍光 a を、効果的に検出器 27 に向かって集光することができる。

[0065] また、上記対物レンズ 17 の上記周辺部分における入射面は、上述したように凸形の入射側端面 29a で構成されている。このように、対物レンズ 17 の入射面は、上記中央部分の凸形の入射側凸面 28a と上記周辺部分の凸形の入射側端面 29a とが、凹状(谷状)のくびれ部分を境界として、互いに隣接して独立した凸形の形状に構成されている。したがって、上記周辺部分においても入射面に凸レンズによる集光効果を持たせることができ、上記周辺部分の入射側端面 29a から入射されて外周面 29b を照射する光の照射面積を小さくすることができる。その結果、対物レンズ 17 における外周面 29b の光軸方向の長さを短くすることができ、対物レンズ 17 全体の小型化を図ることが可能になる。

[0066] また、上記対物レンズ 17 の周辺部分における反射面は、図 5 において矢印「R4」で示すように対物レンズ 17 の外側に向かって凸形の外周面 29b で構成している。このように外周面(反射面) 29b が外部に向かって凸状であるということは、対物レンズ 17 内の光から見れば外周面 29b を凹面鏡と見なすことができ、外周面 29b は凹面鏡の原理で反射光を集光させることができる。

[0067] すなわち、上記対物レンズ 17 における上記周辺部分は、凸形の入射側端

面 2 9 a によって入射光を凸レンズのように屈折させて集光し、さらに凸形の外周面 2 9 b によって凹面鏡のように反射させて集光する 2 段階の集光機能を有している。したがって、何れか一方の集光機能を単独で行う場合に比べて、集光性を向上させることができる。

[0068] また、上記対物レンズ 1 7 の上記周辺部分における入射側端面 2 9 a は、当該入射側端面 2 9 a から入射された光が外周面 2 9 b に対して全反射条件を満たすように入射させるように形成されている。

[0069] したがって、上記対物レンズ 1 7 の上記周辺部分における入射側端面 2 9 a から入射された光は、外周面 2 9 b で全反射されて、上記周辺部分内を出射面に向かって進むことができる。

[0070] 尚、本実施の形態においては、上記周辺部分における筒状体 2 9 の外周面 2 9 b で、入射側端面 2 9 a からの入射光を全反射するようにしている。しかしながら、この発明は全反射に限定されるものではなく、単なる反射でもよい。すなわち、金属反射膜を外周面 2 9 b に形成して、上記金属反射膜で反射するようにしてもよい。

[0071] 以上のごとく、上記対物レンズ 1 7 は、サンプル 1 6 から出射された蛍光のうち、凸レンズ部 2 8 に入りきらないような放射角度の大きい蛍光を、筒状体 2 9 の外周面 2 9 b で全反射あるいは反射させることによって、通常の凸レンズでは集光できないような大きな放射角度の光をも集めることができる。そのため、検出器 2 7 の感度アップを図ることができるのである。

[0072] また、本光検出装置 1 の対物レンズを上記対物レンズ 1 7 と同等の N A を通常の凸レンズで実現するよりも、レンズ素子自体をコンパクトに形成することができる。

[0073] また、図 6 には、上記サンプル 1 6 から発せられて対物レンズ 1 7 から第 2 レンズ 2 5 までを通過する蛍光の光線図を示す。図 6 において、波長フィルタ 2 4 としてカットオフが急峻な干渉フィルターを用いるため、波長フィルタ 2 4 への入射光を平行光にする必要がある。そこで、対物レンズ 1 7 を通過して集光された蛍光を、第 1 レンズ 2 3 によって平行光に近い状態にし

て波長フィルタ 24 へ入射するようにしている。ここで、対物レンズ 17 によって平行光にすることも可能ではある。しかしながら、その場合には、蛍光のビーム径が大きくなってしまい、第 1 レンズ 23 以下の光学素子の大型化を招くことになる。

[0074] したがって、上述したような、中央部分に凸レンズ部 28 を有すると共に、凸レンズ部 28 の周辺部分に円錐台形の筒状体 29 を有する対物レンズ 17 を用いることによって、第 1 レンズ 23、波長フィルタ 24 および第 2 レンズ 25 の各光学素子の小型化を図ることができ、走査モジュール 9 の小型・軽量化を図ることができるのである。

[0075] 尚、上述の説明においては、上記光源 18 からの励起光の照射に起因して、サンプル 16 から出射される蛍光を検出する場合を例に挙げて説明したが、サンプル 16 から出射される光は、上記蛍光以外に、反射・散乱光である場合も含まれる。すなわち、反射吸収物質で標識された生体由来物質が分布する転写支持体をサンプル 16 とした場合には、光源 18 からの励起光の照射に基づいて、上記反射吸収物質で標識されたサンプル 16 からは上記励起光と同じ波長の強い強度の光(反射・散乱光)が発せられる。

[0076] 上述のように、本実施の形態においては、光源 18 から出射されて対物レンズ 17 の上記励起光透過部を透過した励起光の照射に起因して、サンプル 16 における略一点から等方的に出射される光を、対物レンズ 17 によって集光し、検出器 27 によって検出するようにしている。

[0077] そして、上記対物レンズ 17 を、中央部分に凸レンズ部 28 を有すると共に、凸レンズ部 28 の周辺部分に円錐台形の筒状体 29 を有するように構成している。したがって、サンプル 16 から出射された光のうちで、凸レンズ部 28 に入りきらないような放射角度の大きい光 b を、筒状体 29 の外周面 29b で全反射あるいは反射させて集光することができ、通常の凸レンズでは集光できないような大きな放射角度の光を効率良く集めることができる。その結果、上記光の集光率を高めることができ、対物レンズ 17 の光軸上に配置された反射ミラー 20 で遮られて検出器 27 によって検出されない光の存

在によるS/Nの低下を防止して、高感度な光検出装置を実現することができる。

[0078] したがって、本実施の形態によれば、上記大きな放射角度の光bを高いNAの通常の凸レンズで集光する場合よりも対物レンズ17を小型に構成することができる。また、対物レンズ17は、サンプル16からの光を集光して第1レンズ23に入射するので、光を検出器27に導く光路上に設置される第1レンズ23、波長フィルタ24および第2レンズ25等の光学素子をも小型にすることが可能になる。

[0079] また、上記対物レンズ17、第1レンズ23、波長フィルタ24および第2レンズ25等の光学素子を小型にすることにより、上記光照射光学系および上記検出光学系を搭載している走査モジュール9の重量を軽くすることができる。したがって、上記走査機構の構成を簡素化すると共に、軽量化を図って、走査モジュール9の高速走査を可能にすることができる。したがって、サンプル16における異なる複数の位置での二次元の光分布を高速に検出することが可能になる。

[0080] また、本実施の形態において、上記対物レンズ17は、図4に示すように、上記光軸となる中心軸に関して対象性を有する同心円状の平面形状を有している。そして、この中心軸と、反射ミラー20で反射された上記励起光が透過する上記励起光透過部の少なくとも一部とが、重複するようになっている。そのため、ダイクロイックミラーを通して励起光を照射する方式に比して、強い励起エネルギーをサンプル16に付与することができ、検出器27で光電検出される信号(画像情報)のS/Nを向上することができる。さらに、上記光軸の周囲に上記励起光透過部を設けることができ、上記励起光を対物レンズ17の上記中央部分に対して略垂直に入射させることができ、上記励起光の入射を簡単に行うことができる。

[0081] ここで、上記対物レンズ17における上記励起光透過部は、光源18からの励起光を透過させる機能を有していればどのような形態であってもよく、例えば上記励起光透過部の周辺部と比べて何ら異なる特徴を有していなくて

も差し支えない。つまり、上記励起光透過部のレンズ曲率を周辺部のレンズ曲率とは異なる等の特徴がなく、上記周辺部と明確な構造的な違いや明確な境界が無くとも、実際に使用する際に光源 18 からの励起光を透過させることができればよいのである。

[0082] また、本実施の形態においては、上記対物レンズ 17 と検出器 27 との間に上記中間レンズ素子としての第 2 レンズ 25 を配置している。そして、対物レンズ 17 によって集光された光を、さらに第 2 レンズ 25 で集光位置が検出器 27 の検出面上になるように点集光するようにしている。

[0083] 本光検出装置 1 の光検出効率を向上させるためには、検出器 27 の検出面に対して集光スポットの径が非常に小さい点になるように集光させる必要がある。ところが、上述のような構成を有する対物レンズ 17 のみで点集光させることは困難である。例えば、対物レンズ 17 とサンプル 16 との間の距離がわずかにずれた場合であっても、検出器 27 の検出面上のスポット径が非常に大きくなり、検出効率が低下するという問題が発生する。そこで、本実施の形態においては、先ず、対物レンズ 17 でサンプル 16 から放射状に発せられた光を並行光に近い状態でゆるく集光したうえで、次に、第 2 レンズ 25 で検出器 27 の検出面上に点集光するのである。こうすることによって、光検出効率を向上させることができるのである。

[0084] また、本実施の形態においては、上記対物レンズ 17 と第 2 レンズ 25 との間に、光源 18 からの励起光の波長と同等の波長成分の光を遮光する波長フィルタ 24 を配置している。そして、検出器 27 に入射しようとする光源 18 からの励起光の波長と同等の波長の迷光をカットするようにしている。したがって、検出器 27 によってさらに効率よく蛍光を検出することができるのである。

[0085] 以上のごとく、この発明の光検出装置は、
測定対象物 16 からの光を集光する対物レンズ素子 17 と、
上記対物レンズ素子 17 によって集光された光を検出する光検出素子 27 と

を備え、

上記対物レンズ素子 17 は、屈折によって光を集光する中央部分 28 と、この中央部分 28 の周辺に位置して反射によって光を集光する周辺部分 29 とを含んでいることを特徴としている。

[0086] 上記構成によれば、上記測定対象物 16 からの光を集光する対物レンズ素子 17 は、屈折によって光を集光する通常の凸レンズに相当する中央部分 28 の外周に、反射によって光を集光する周辺部分 29 を有している。したがって、通常の凸レンズでは集光できないような大きな放射角度の光をも集めることができ、集光効率を高めて上記光検出素子 27 による感度アップを図ることができる。そのために、上記従来 of 画像読み取り装置のように、光電検出される信号 (画像情報) の S/N を向上するために、対物レンズとして上記対物レンズ素子 17 と同等の NA を有する凸レンズを用いる場合に比して、上記対物レンズ素子 17 の直径を小さくすることができる。

[0087] また、上記対物レンズ素子 17 は、上記測定対象物 16 からの光を集光して上記光検出素子 27 に入射するので、上記対物レンズ素子 17 以降の光学素子および上記光検出素子 27 の直径を小さくことができ、検出光学系をコンパクトにして高速スキャンを可能にすることができるのである。

[0088] また、一実施の形態の光検出装置では、

上記測定対象物 16 からの光は、上記測定対象物 16 上の略一点から放射状に出射される光であり、

上記対物レンズ素子 17 は、上記測定対象物 16 上の略一点から放射状に出射される光を上記光検出素子 27 上に集光するようになっている。

[0089] この実施の形態によれば、上記測定対象物 16 上の略一点から放射状に出射される微弱な光であっても、上記対物レンズ素子 17 によって高い集光効率で集光して上記光検出素子 27 上に集光するので、上記光検出素子 27 によって高感度で検出することができるのである。

[0090] また、一実施の形態の光検出装置では、

上記測定対象物 16 に光を照射する光源 18 を備え、

上記対物レンズ素子 17 は、上記光源 18 からの光を透過する光透過部を含んでおり、

上記光源 18 からの光は、上記対物レンズ素子 17 の上記光透過部を透過して上記測定対象物 16 を照射するようになっている。

[0091] この実施の形態によれば、上記光源 18 からの光を上記対物レンズ素子 17 の上記光透過部を透過して上記測定対象物 16 に照射するようにしている。そのために、ダイクロイックミラーを通して励起光を照射する方式に比して、強い励起エネルギーを上記測定対象物 16 に付与することができ、上記光検出素子 27 で検出される信号(画像情報)の S/N を向上することができる。

[0092] また、一実施の形態の光検出装置では、
上記対物レンズ素子 17 は、光軸に対して同心円状の形状を有しており、
上記光軸は、上記光透過部の少なくとも一部を通過している。

[0093] この実施の形態によれば、光軸に対して同心円状の形状を有する上記対物レンズ素子 17 における上記光軸の周囲に、上記光透過部を設けることができる。したがって、上記光源 18 からの光を、上記対物レンズ素子 17 の上記中央部分 28 に対して略垂直に入射させることができ、上記光の入射を簡単に行うことができる。

[0094] また、一実施の形態の光検出装置では、
上記対物レンズ素子 17 と上記光検出素子 27 との間に配置されると共に、
上記光源 18 からの光と略同一波長の光を減光する波長フィルタ 24 を備え、

上記波長フィルタ 24 は、上記対物レンズ素子 17 によって集光された光のうち、上記光源 18 からの光と略同一波長の成分を減光して上記光検出素子 27 上を照射するようになっている。

[0095] この実施の形態によれば、上記波長フィルタ 24 は上記光源 18 からの光と略同一波長の成分を減光するので、上記光検出素子 27 に入射されようと

する上記光源 18 からの光と略同一波長の迷光を上記波長フィルタ 24 によってカットすることができる。したがって、上記光検出素子 27 によってさらに効率よく検出することができる。

[0096] また、一実施の形態の光検出装置では、

上記対物レンズ素子 17 と上記光検出素子 27 との間に配置された中間レンズ素子 25 を備え、

上記中間レンズ素子 25 は、上記対物レンズ素子 17 によって集光された光を、さらに上記光検出素子 27 上に集光するようになっている。

[0097] 上記検出器 27 での光検出効率を向上させるためには、上記検出器 27 の検出面に対して集光スポットの径が非常に小さい点になるように集光させる必要がある。

[0098] この実施の形態によれば、上記対物レンズ素子 17 によって集光された光を、上記中間レンズ素子 25 によって上記光検出素子 27 上に集光するようにしている。したがって、サンプル 16 から放射状に発せられた光を、先ず、対物レンズ 17 によって並行光に近い状態でゆるく集光し、次に、上記中間レンズ素子 25 で上記光検出素子 27 上に点集光することができ、光検出効率を向上させることができるのである。

[0099] また、一実施の形態の光検出装置では、

上記対物レンズ素子 17 の上記中央部分 28 は、

上記測定対象物 16 からの光が入射すると共に、光軸方向外側に向かって凸状の曲面形状を有する入射側凸面 28a と、

上記入射側凸面 28a からの光を出射させると共に、光軸方向外側に向かって凸状の曲面形状を有する出射側凸面 28b とを含む一方、

上記対物レンズ素子 17 の上記周辺部分 29 は、

上記測定対象物 16 からの光が入射する入射側端面 29a と、

上記入射側端面 29a からの光を内部で反射させる外周面 29b と、

上記外周面 29b で内部反射された光を出射させる出射側端面 29c と

を含んでおり、

上記中央部分 28 における上記入射側凸面 28a と上記周辺部分 29 における上記入射側端面 29a との境界には、凹状の境界部が形成されている。

[0100] この実施の形態によれば、上記対物レンズ素子 17 の上記中央部分 28 は、入射面を凸形の入射側凸面 28a で構成する一方、出射面を凸形の出射側凸面 28b で構成するので、集光の能率を容易に向上させることができる。したがって、出射側の出射側凸面 28b の曲率を特に大きくする必要はなく、出射側の出射側凸面 28b の焦点距離が大きくなって走査モジュール 9 が大型化することもない。

[0101] さらに、上記入射面には、上記中央部分 28 における入射側凸面 28a と上記周辺部分 29 における入射側端面 29a との境界に、凹状の境界部が形成されている。そのため、入射側凸面 28a に入射される光と入射側端面 29a に入射される光との屈折方向が全く異なり、入射面における上記中央部分 28 と上記周辺部分 29 とが明確に分離される。したがって、入射側凸面 28a に入射された光と入射側端面 29a に入射された光とが、出射側凸面 28b と外周面 29b との間の面に至ることを防止でき、出射側凸面 28b と外周面 29b との間の面に至った光が迷光となることを防止できる。

[0102] また、一実施の形態の光検出装置では、

上記対物レンズ素子 17 の上記中央部分 28 における上記入射側凸面 28a および上記周辺部分 29 における上記入射側端面 29a は、上記入射側凸面 28a から入射した光の光路と上記入射側端面 29a から入射した光の光路とが、上記凹状の境界部を境にして互いに分離されて交差することがないような形状を有している。

[0103] この実施の形態によれば、上記入射側凸面 28a から入射した光の光路と入射側端面 29a から入射した光の光路とは、交差することがない。その結果、上記中央部分 28 の入射側凸面 28a に入射された光の総てが、出射面である凸形の出射側凸面 28b に至るのに対して、上記周辺部分 29 の入射側端面 29a に入射される光の総てが、反射面である外周面 29b に至ることになる。

[0104] したがって、上記入射面に入射されて出射側凸面 28b および外周面 29b 以外の面に至る光によって、迷光が発生することが防止される。

[0105] また、一実施の形態の光検出装置では、
上記対物レンズ素子 17 の上記周辺部分 29 における上記入射側端面 29a は、外側に向かって凸状の曲面形状を有している。

[0106] この実施の形態によれば、上記周辺部分 29 における上記入射側端面 29a は、外側に向かって凸状の曲面形状を有している。したがって、上記周辺部分 29 においても入射面に凸レンズによる集光効果を持たせることができ、入射側端面 29a から入射されて外周面 29b を照射する光の照射面積を小さくすることができる。その結果、外周面 29b の光軸方向の長さを短くすることができ、レンズ素子 17 全体の小型化を図ることが可能になる。

[0107] また、一実施の形態の光検出装置では、
上記対物レンズ素子 17 の上記周辺部分 29 における上記外周面 29b は、外部に向かって凸状の曲面形状を有している。

[0108] この実施の形態によれば、上記対物レンズ素子 17 の上記外周面(反射面) 29b が外部に向かって凸状の曲面形状を有しており、上記対物レンズ素子 17 内の光から見れば凹面鏡と見なすことができる。したがって、外周面 29b は凹面鏡の原理で反射光を集光させることができる。

[0109] すなわち、上記対物レンズ素子 17 における上記周辺部分 29 は、凸形の入射側端面 29a によって入射光を凸レンズのように屈折させて集光し、さらに凸形の外周面 29b によって凹面鏡のように反射させて集光する 2 段階の集光機能を有している。したがって、何れか一方の集光機能を単独で行う場合に比べて、集光性を向上させることができる。

符号の説明

[0110] 1…光検出装置、
4…サンプル台、
5…P C、
6…走査ステージ、

9…走査モジュール、
16…サンプル、
17…対物レンズ、
18…光源、
20…反射ミラー、
23…第1レンズ、
24…波長フィルタ、
25…第2レンズ、
26…ピンホール、
27…検出器、
28…凸レンズ部(中央部分)、
28a…入射側凸面、
28b…出射側凸面、
29…筒状体(周辺部分)、
29a…入射側端面、
29b…外周面、
29c…出射側端面。

請求の範囲

- [請求項1] 測定対象物(16)からの光を集光する対物レンズ素子(17)と、
 上記対物レンズ素子(17)によって集光された光を検出する光検出素子(27)と
 を備え、
 上記対物レンズ素子(17)は、屈折によって光を集光する中央部分(28)と、この中央部分(28)の周辺に位置して反射によって光を集光する周辺部分(29)とを含んでいる
 ことを特徴とする光検出装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の光検出装置において、
 上記測定対象物(16)からの光は、上記測定対象物(16)上の略一点から放射状に出射される光であり、
 上記対物レンズ素子(17)は、上記測定対象物(16)上の略一点から放射状に出射される光を上記光検出素子(27)上に集光するようになっている
 ことを特徴とする光検出装置。
- [請求項3] 請求項1あるいは請求項2に記載の光検出装置において、
 上記測定対象物(16)に光を照射する光源(18)を備え、
 上記対物レンズ素子(17)は、上記光源(18)からの光を透過する光透過部を含んでおり、
 上記光源(18)からの光は、上記対物レンズ素子(17)の上記光透過部を透過して上記測定対象物(16)を照射するようになっている
 ことを特徴とする光検出装置。
- [請求項4] 請求項3に記載の光検出装置において、
 上記対物レンズ素子(17)は、光軸に対して同心円状の形状を有しており、
 上記光軸は、上記光透過部の少なくとも一部を通過している
 ことを特徴とする光検出装置。

- [請求項5] 請求項3あるいは請求項4に記載の光検出装置において、
 上記対物レンズ素子(17)と上記光検出素子(27)との間に配置されると共に、上記光源(18)からの光と略同一波長の光を減光する波長フィルタ(24)を備え、
 上記波長フィルタ(24)は、上記対物レンズ素子(17)によって集光された光のうち、上記光源(18)からの光と略同一波長の成分を減光して上記光検出素子(27)上を照射するようになっていることを特徴とする光検出装置。
- [請求項6] 請求項1から請求項5までの何れか一つに記載の光検出装置において、
 上記対物レンズ素子(17)と上記光検出素子(27)との間に配置された中間レンズ素子(25)を備え、
 上記中間レンズ素子(25)は、上記対物レンズ素子(17)によって集光された光を、さらに上記光検出素子(27)上に集光するようになっていることを特徴とする光検出装置。
- [請求項7] 請求項1から請求項6までの何れか一つに記載の光検出装置において、
 上記対物レンズ素子(17)の上記中央部分(28)は、
 上記測定対象物(16)からの光が入射すると共に、光軸方向外側に向かって凸状の曲面形状を有する入射側凸面(28a)と、
 上記入射側凸面(28a)からの光を出射させると共に、光軸方向外側に向かって凸状の曲面形状を有する出射側凸面(28b)とを含む一方、
 上記対物レンズ素子(17)の上記周辺部分(29)は、
 上記測定対象物(16)からの光が入射する入射側端面(29a)と、
 上記入射側端面(29a)からの光を内部で反射させる外周面(29b)と、

上記外周面(29b)で内部反射された光を出射させる出射側端面(29c)と

を含んでおり、

上記中央部分(28)における上記入射側凸面(28a)と上記周辺部分(29)における上記入射側端面(29a)との境界には、凹状の境界部が形成されている

ことを特徴とする光検出装置。

[請求項8] 請求項7に記載の光検出装置において、

上記対物レンズ素子(17)の上記中央部分(28)における上記入射側凸面(28a)および上記周辺部分(29)における上記入射側端面(29a)は、上記入射側凸面(28a)から入射した光の光路と上記入射側端面(29a)から入射した光の光路とが、上記凹状の境界部を境にして互いに分離されて交差することがないような形状を有していることを特徴とする光検出装置。

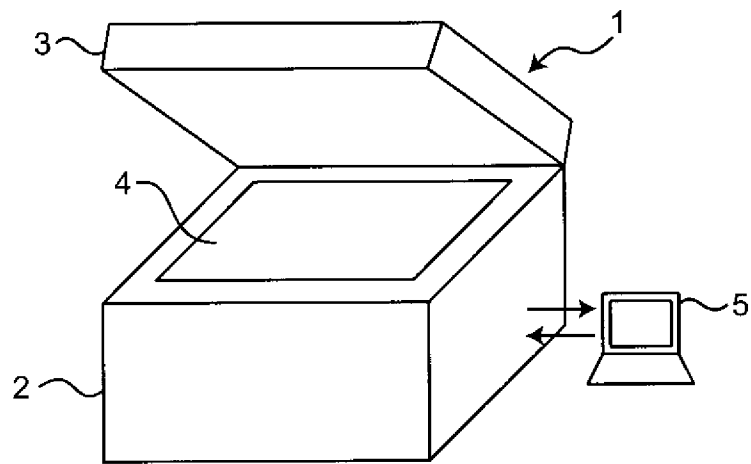
[請求項9] 請求項7あるいは請求項8に記載の光検出装置において、

上記対物レンズ素子(17)の上記周辺部分(29)における上記入射側端面(29a)は、外側に向かって凸状の曲面形状を有していることを特徴とする光検出装置。

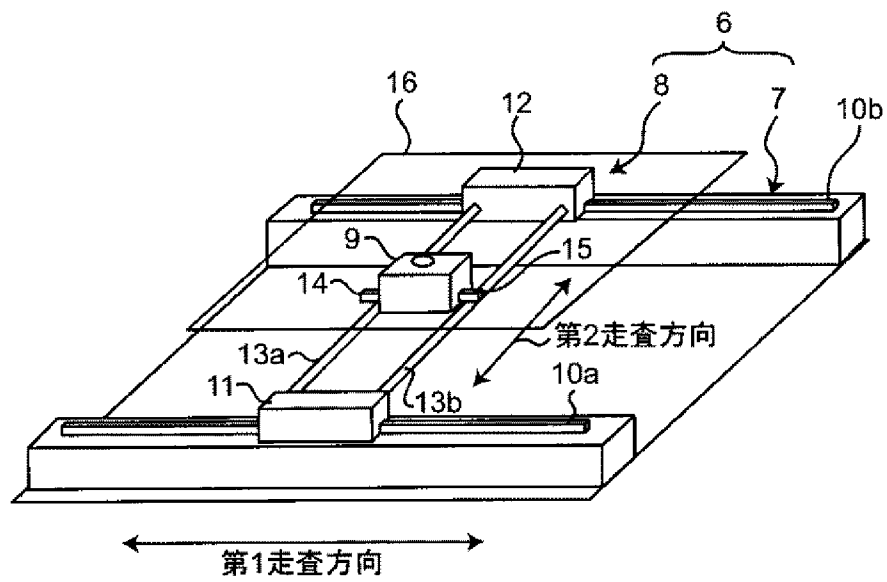
[請求項10] 請求項7から請求項9までの何れか一つに記載の光検出装置において、

上記対物レンズ素子(17)の上記周辺部分(29)における上記外周面(29b)は、外部に向かって凸状の曲面形状を有していることを特徴とする光検出装置。

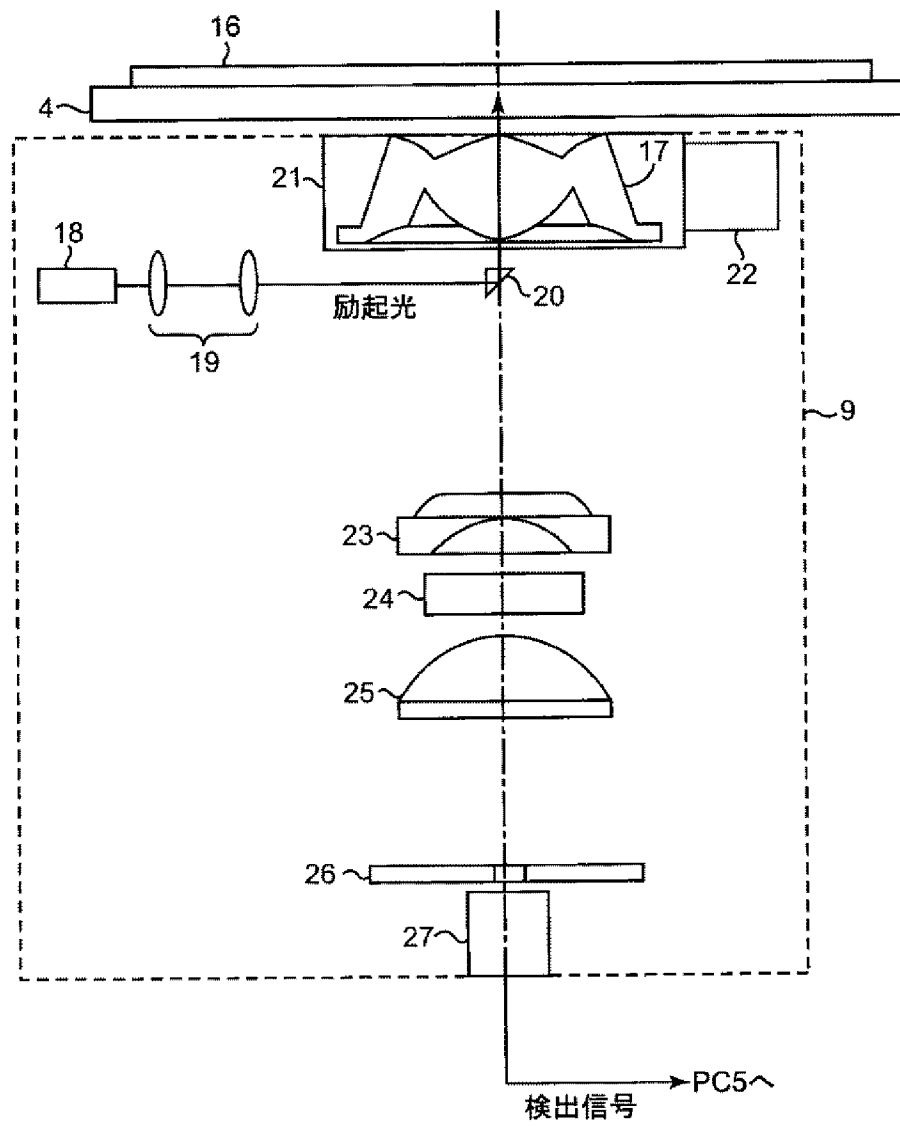
[図1]



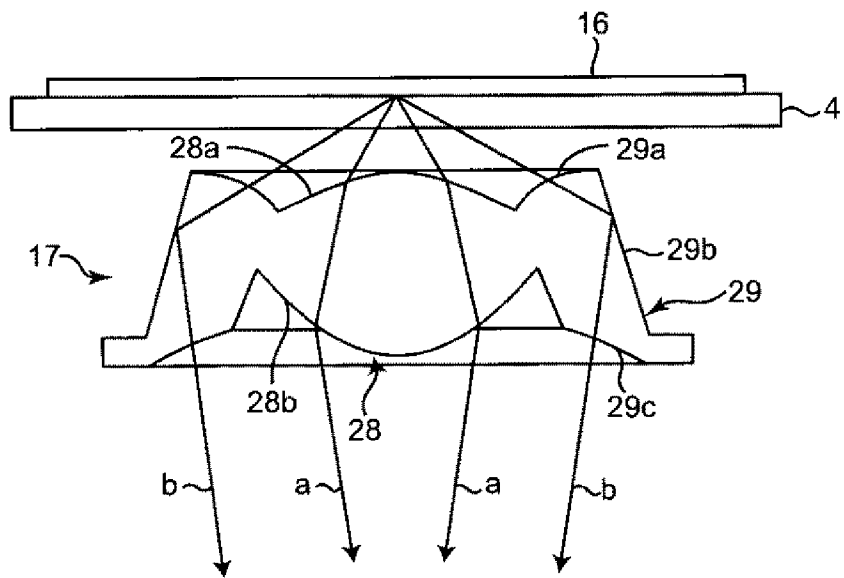
[図2]



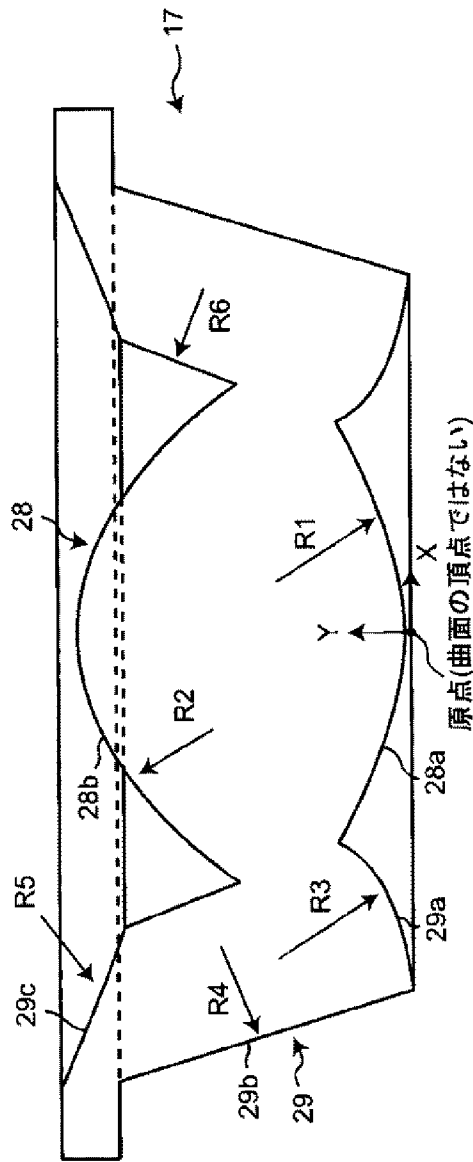
[図3]



[図4]



[図5]



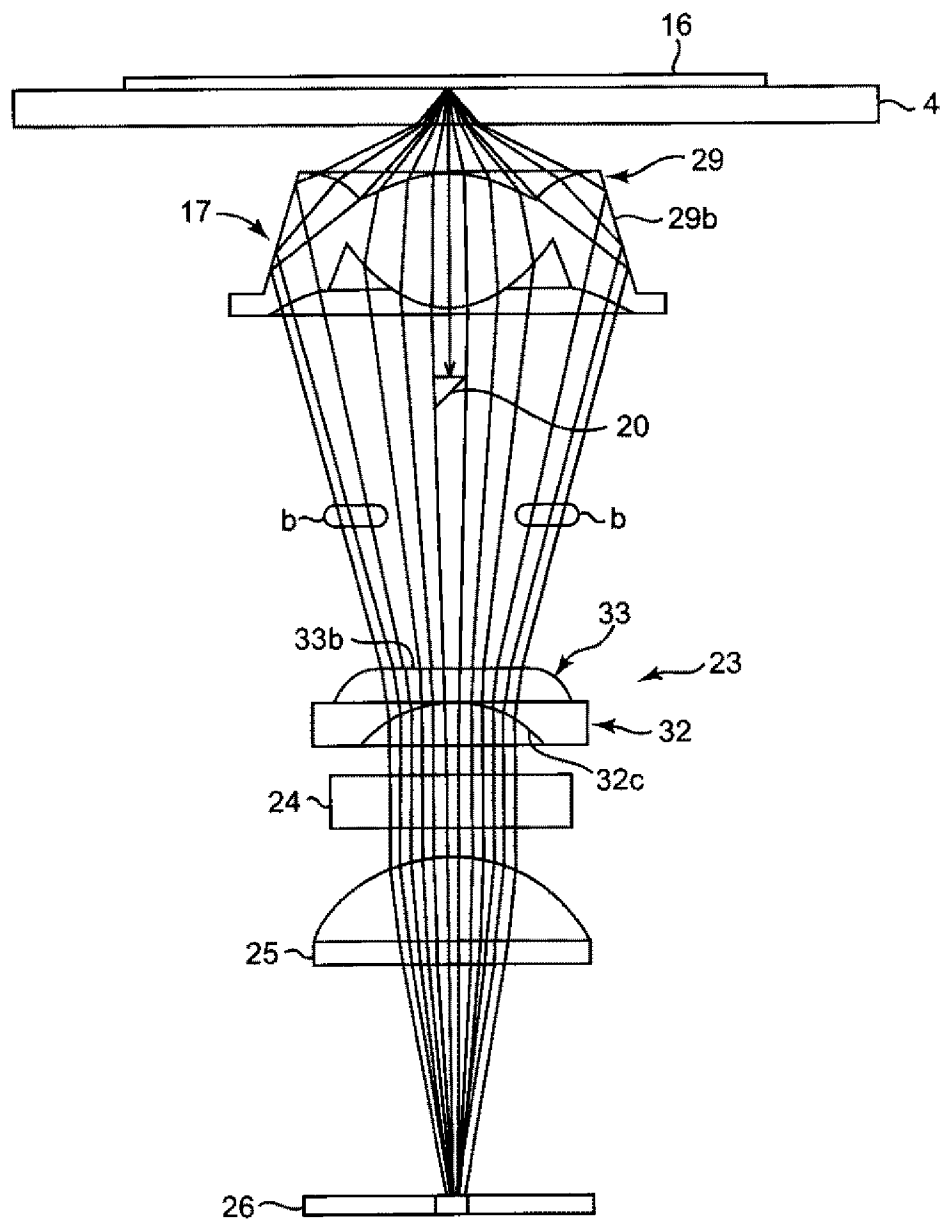
R1 : R: 6.668721 コーニック係数: -2.557184 非球面係数 4次: -0.0006692958 6次: 0.00001731097
8次: -0.0000002537979 10次: 0.00000000157254 頂点座標: (0, 0.05mm)
R2 : R: -6.935195 コーニック係数: -1.067979 頂点座標: (0, 12.05mm)
R6 : 平面 R: ∞

R3,4,5 : 以下の式で定義される有理ベジエ曲線になる (0<t<1) 各係数は以下の値

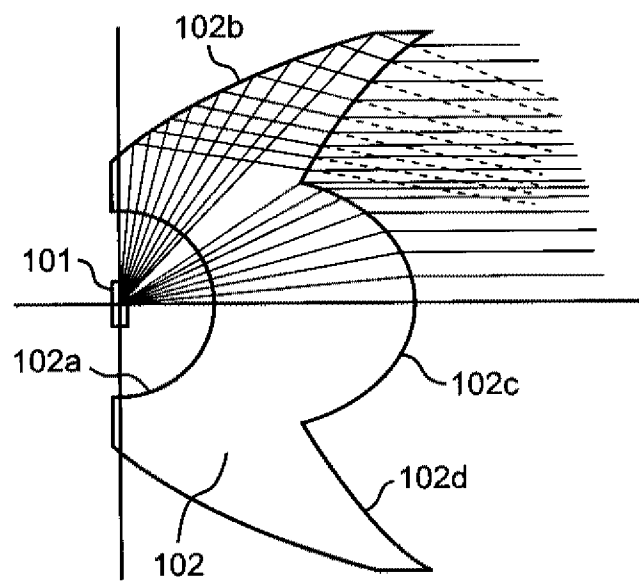
$$X(t)=\frac{(1-t)^2 \cdot X_1+2 \cdot(1-t) \cdot t \cdot X_2 \cdot w+t^2 \cdot X_3}{((1-t)^2+2 \cdot(1-t) \cdot t \cdot w+t^2)} \quad Y(t)=Y_0+\frac{(1-t)^2 \cdot Y_1+2 \cdot(1-t) \cdot t \cdot Y_2 \cdot w+t^2 \cdot Y_3}{((1-t)^2+2 \cdot(1-t) \cdot t \cdot w+t^2)}$$

	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₀	Y ₁	Y ₂	Y ₃	w
R3	13.5	7.0	7.0	-0.05	0	0.48	6.0	1.222222
R4	13.1	14.98	16.7	0	0	6.1	12.2	1
R5	8.3	11.5	16.5	10.2	0	0.25	2.5	2.333333

[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/072386

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N21/64(2006.01)i, G01J1/04(2006.01)i, G02B3/04(2006.01)i, G02B3/08(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)

G01N21/64, G01J1/04, G02B3/04, G02B3/08

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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.
Y	JP 2002-310911 A (Nikon Corp.), 23 October 2002 (23.10.2002), paragraphs [0012] to [0015] (Family: none)	1-10
Y	JP 2002-207009 A (Nikon Corp.), 26 July 2002 (26.07.2002), fig. 1 (Family: none)	1-10
Y	JP 2003-86014 A (Alps Electric Co., Ltd.), 20 March 2003 (20.03.2003), fig. 1, 3 & US 2003/0063468 A1 & EP 1291242 A2	1-10

☒ 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
13 September, 2013 (13.09.13)

Date of mailing of the international search report
24 September, 2013 (24.09.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/072386

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2007/0086204 A1 (Chinniah et al.), 19 April 2007 (19.04.2007), fig. 5 & DE 102006049097 A	1-10
Y	US 2009/0268469 A1 (Huang et al.), 29 October 2009 (29.10.2009), fig. 6 & US 2009/0268166 A1 & CN 101598294 A & TW 200944835 A	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01N21/64(2006.01)i, G01J1/04(2006.01)i, G02B3/04(2006.01)i, G02B3/08(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. G01N21/64, G01J1/04, G02B3/04, G02B3/08

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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
Y	JP 2002-310911 A (株式会社ニコン) 2002.10.23, 【0012】 - 【0015】 (ファミリーなし)	1-10
Y	JP 2002-207009 A (株式会社ニコン) 2002.07.26, 図1 (ファミリーなし)	1-10
Y	JP 2003-86014 A (アルプス電気株式会社) 2003.03.20, 図1, 3 & US 2003/0063468 A1 & EP 1291242 A2	1-10

☒ 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

1 3 . 0 9 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

2 4 . 0 9 . 2 0 1 3

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 1 0 0 - 8 9 1 5

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)

早川 貴之

2 0

3 3 1 4

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 1

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
Y	US 2007/0086204 A1 (Chinniah et al.) 2007.04.19, F i g . 5 & DE 102006049097 A	1-10
Y	US 2009/0268469 A1 (Huang et al.) 2009.10.29, F i g . 6 & US 2009/0268166 A1 & CN 101598294 A & TW 200944835 A	1-10