

明 細 書

発明の名称：ダイクロイックミラーアレイ及び光検出装置

技術分野

[0001] 本開示は、ダイクロイックミラーアレイ及び光検出装置に関する。

背景技術

[0002] ダイクロイックミラーアレイは、異なる分光特性（入射光に対する透過光及び反射光の波長依存性）を有する複数のダイクロイックミラーを互いに平行に、同一方向に沿って、略等間隔に配列したものである。ダイクロイックミラーアレイは、例えばキャピラリアレイDNAシーケンサや、生化学自動分析装置など、サンプルから発せられる光を検出して分析を行う光検出装置に搭載される。

[0003] ダイクロイックミラーアレイに入射した光束は、各ダイクロイックミラーの配列順に反射と透過を繰り返すことにより、異なる波長帯を有する複数の光束（分割光）に分割される。ダイクロイックミラーアレイによる分割光は、例えばCCDセンサなどにより検出（多色検出）される。あるいは、各ダイクロイックミラーに入射した異なる波長帯を有する複数の光束は、各ダイクロイックミラーで反射と透過を繰り返すことにより、異なる波長帯を重ね合わせた単数の光束に統合される。

[0004] ダイクロイックミラーアレイを用いた光検出装置として、特許文献1には、「入射光を互いに異なる波長帯域の光に分光して各波長帯域の光を検出する分光装置であって、互いに異なる波長帯域特性を有する複数の分光素子が配列された分光部と、前記分光素子の各々に対向して設けられた複数の波長選択素子を有する波長選択部と、前記複数の波長選択素子からの透過光を光電変換する光電面と、前記複数の波長選択素子の各々に対応して設けられた複数の電子増倍経路と、前記電子増倍経路の各々に対応して設けられた複数のアノードとを有する光電子増倍管を備えた光検出部と、前記波長選択部を筐体内で保持する保持部と、を備え、前記保持部は、前記波長選択素子が一

方向に配列された本体部と、前記本体部から互いに対向するように突出する一対の壁部と、を含み、前記分光素子は、前記波長選択素子の配列方向に沿って前記一対の壁部の間に配列されていることを特徴とする分光装置」が開示されている（請求項 1 参照）。

[0005] 一般に、複数の発光点の間隔を固定して考えると、集光レンズの焦点距離が短いほど高感度検出が可能になる。一方で、最大光路長が短いほど独立検出（低クロストーク検出）が可能になる。これは、最大光路長が長くなると、分割光の上記センサに投影されるスポットの最大サイズが拡大し、隣り合う発光点由来の上記スポットが互いに交じり合ってクロストークを発生するためである。すなわち、ダイクロイックミラーアレイを含む光検出装置を小型化することで、複数の入射光の高感度且つ独立な多色検出が可能となる。

[0006] 特許文献 2 には、小型化且つ高感度、低クロストークを実現する光検出装置として、「 $M \geq 2$ として、 M 個の発光点が配列した発光点アレイからの発光をそれぞれ個別に集光して光束とする M 個の集光レンズが配列した集光レンズアレイと、前記 M 個の光束が再集光されずに並列に入射される少なくとも 1 個のセンサと、を有し、前記 M 個の発光点の有効径の平均を d ，前記 M 個の集光レンズの焦点距離の平均を f ，前記 M 個の集光レンズの間隔の平均を p ，前記 M 個の集光レンズと前記センサの最大光路長の平均を g ，とするとき d ， f ， p ， g が前記 M 個の発光を低クロストーク又は高感度に検出できるように予め定められた所定の関係を満足する，発光検出装置」が開示されている（請求項 1 参照）。

[0007] 一方、ダイクロイックミラーアレイを小型化するのに伴い、各ダイクロイックミラーの厚さの影響が無視できなくなり、ダイクロイックミラーアレイによって複数の分割光に分割できる入射光束の上限幅である開口幅が減少してしまう。

[0008] 特許文献 3 には、ダイクロイックミラーを小型化して最大光路長を縮小すると同時に、開口幅を拡大するために、「 $N \geq 2$ として、番号 1，2， $\dots$ ， N の複数のダイクロイックミラーを、第 1 の方向に、番号順に配列した

ダイクロイックミラーアレイであって、前記複数のダイクロイックミラーの正面の法線ベクトルが、前記第1の方向の正の成分と、前記第1の方向と垂直な第2の方向の負の成分の和から構成され、前記複数の法線ベクトルが互いに略平行であり、 $0 \leq \theta_0 \leq 90^\circ$ として、前記複数の法線ベクトルと前記第2の方向と反対方向のなす角度の平均を θ_0 、前記ダイクロイックミラーの基材の屈折率の平均を n_0 、前記ダイクロイックミラーの基材の幅の平均を α 、前記ダイクロイックミラーの基材の厚さの平均を β 、前記ダイクロイックミラーの間隔の平均を x 、 $2 \leq n \leq N$ として、番号 n のダイクロイックミラーの前記第2の方向の端を、番号 $n-1$ のダイクロイックミラーの前記第2の方向の端に対して、前記第2の方向と反対方向にずらす距離の平均を y_z 、とすると、 θ_0 、 n_0 、 α 、 β 、 x 、 y_z が、前記ダイクロイックミラーアレイの開口幅を拡大又は光路長を縮小できるように、予め定められた所定の関係を満足する、ダイクロイックミラーアレイ」が開示されている（請求項1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開2012-242117号公報

特許文献2：国際公開第2017/145230号

特許文献3：国際公開第2017/145231号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 一般に、分析対象となる色数 C_{N1} の光をそれぞれ検出して精度良く計測するためには、光検出装置が検出可能な色数 C_{N2} が、 $C_{N2} \geq C_{N1}$ でなければならない。また、色数 C_{N1} の光を検出する際に、 $C_{N2} - C_{N1}$ が大きくなるほど、光検出装置の検出精度は高くなる。従って、分析精度を維持、向上させるためには、光検出装置が検出可能な色数 C_{N2} を増大させる必要がある。

[0011] 上述の通り、ダイクロイックミラーアレイを用いた光検出装置において、最大光路長を小さくし、光検出装置を小型化することによって、入射光の独立且つ高精度な多色検出が可能となる。しかしながら、ダイクロイックミラーの数を増やして入射光の分割数を増やすと、最大光路長が大きくなるため、入射光の独立且つ高精度な多色検出が困難となる。

[0012] 特許文献2は、4種類のダイクロイックミラーから構成されるダイクロイックミラーアレイを用いて、4個の入射光の4色検出を実現している。これに対し、例えば、ダイクロイックミラーを8種類にすること以外は同等の条件下で、4個の入射光の8色検出を行うと、センサに投影される分割光のスポットの最大サイズが4色検出の場合と比較して2倍近くに大きくなる。さらに、異なる入射光由来のスポットが互いに交じり合っクロストークが発生する。また、一つの入射光の異なる分割光由来のスポットも互いに交じり合い、各入射光の高精度な8色検出ができなくなる。

[0013] また、ダイクロイックミラーアレイを構成するダイクロイックミラーの数を増やして入射光の分割数を増やすと、集光レンズとセンサの間の最小の光学的距離（最小光路長）と最大光路長の差が拡大する。これにより、最小光路長で形成されるスポットのサイズと、最大光路長で形成されるスポットのサイズの差が拡大するため、トータル強度が等しいスポットの強度密度の差が拡大し、光検出装置の全体としての感度とダイナミックレンジの低下が発生する。

[0014] そこで、本開示では、入射光の高感度、高精度、及び独立な多色検出が可能なダイクロイックミラーアレイ及びそれを用いた光検出装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0015] 本開示のダイクロイックミラーアレイは、右手系XYZ直交座標系において、 m 個（ $m \geq 2$ ）のダイクロイックミラーDA1～DA m が、X軸の正方向に沿って互いに平行に順番に配列する第1のグループと、 n 個（ $n \geq 2$ ）のダイクロイックミラーDB1～DB n が、X軸の負方向に沿って互いに平

行に順番に配列する第2のグループと、を備え、前記DA2～DAmのX座標が正であり、前記DB2～DBnのX座標が負であり、前記DA1～DAmの入射面及び前記DB1～DBnの入射面がXZ平面に垂直であり、前記DA1～DAmの前記入射面の法線を前記XZ平面に投影した直線の前記XZ平面における傾きが負であり、前記DB1～DBnの前記入射面の法線を前記XZ平面に投影した直線の前記XZ平面における傾きが正であることを特徴とする。

[0016] 本開示に関連する更なる特徴は、本明細書の記述、添付図面から明らかになるものである。また、本開示の態様は、要素及び多様な要素の組み合わせ及び以降の詳細な記述と添付される特許請求の範囲の形態により達成され実現される。

本明細書の記述は典型的な例示に過ぎず、本開示の特許請求の範囲又は適用例を如何なる意味に於いても限定するものではないことを理解する必要がある。

発明の効果

[0017] 本開示によれば、入射光の高感度、高精度、及び独立な多色検出が可能なダイクロイックミラーアレイ及びそれを用いた分析装置を提供することができる。

上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]第1の実施形態に係るダイクロイックミラーアレイの構成を示す断面図。

[図2]個々のダイクロイックミラーの反射又は透過に要する光路長を示す図。

[図3]分割数3～13のダイクロイックミラーアレイについて、光路長の比較を行った結果を示す図。

[図4]比較例1に係る7分割ダイクロイックミラーアレイの構成と光路長を示す断面図。

[図5]実施例1に係る7分割ダイクロイックミラーアレイの構成と光路長を示す断面図。

[図6]実施例2に係る多色検出装置の構成を示す模式図。

[図7]実施例3に係る多色検出装置の構成を示す模式図。

[図8]実施例4に係るキャピラリアレイDNAシーケンサの構成を示す模式図。

[図9]実施例5に係る9分割ダイクロイックミラーアレイの構成を示す断面図。

[図10]発光点サイズ、集光レンズ焦点距離、発光点距離、センサ距離及びスポットサイズの関係性を光線追跡シミュレーションで求めるためのモデル図。

[図11]図10のモデルの計算結果を示すグラフ。

[図12]9色検出装置の各センサ距離における、スポットの中心をゼロとする空間座標と相対信号強度との関係を示すグラフである。

[図13]スポットの空間座標と規格化信号強度との関係を示すグラフである。

[図14]実施例5に係るバンドパスフィルタBPの透過スペクトル。

[図15]実施例5に係るダイクロイックミラーM1の透過スペクトル。

[図16]実施例5に係るダイクロイックミラーM2の透過スペクトル。

[図17]実施例5に係るダイクロイックミラーM3の透過スペクトル。

[図18]実施例5に係るダイクロイックミラーM4の透過スペクトル。

[図19]実施例5に係るダイクロイックミラーM5の透過スペクトル。

[図20]実施例5に係るダイクロイックミラーM6の透過スペクトル。

[図21]実施例5に係るダイクロイックミラーM7の透過スペクトル。

[図22]実施例5に係るダイクロイックミラーM8の透過スペクトル。

[図23]実施例5に係るダイクロイックミラーM9の透過スペクトル。

[図24]実施例5に係る9分割ダイクロイックミラーアレイからの分割光C1～C9の透過スペクトル。

[図25]実施例6に係る10分割ダイクロイックミラーアレイの構成を示す断面図。

[図26]実施例7に係る12分割ダイクロイックミラーアレイの構成を示す断面図。

[図27]第2の実施形態に係る13分割ダイクロイックミラーアレイを備える多色分析装置の構成を示す模式図。

[図28]比較例3に係る9分割ダイクロイックミラーアレイの構成を示す模式図。

[図29]実施例8に係る9分割ダイクロイックミラーアレイの構成を示す模式図。

[図30]第4の実施形態に係る6分割ダイクロイックミラーアレイの構成を示す断面図。

発明を実施するための形態

[0019] 以下において、右手系XYZ直交座標系を用いて、本開示の実施形態を説明する。

[0020] 1. 第1の実施形態

図1は、第1の実施形態に係るダイクロイックミラーアレイの構成を示す断面図である。図1に示すように、本実施形態に係るダイクロイックミラーアレイは、 m 個（ m は2以上の整数）のダイクロイックミラーDA1、DA2、 $\dots$ 、DA m から構成されるAグループ（第1のグループ）と、 n 個（ n は2以上の整数）のダイクロイックミラーDB1、DB2、 $\dots$ 、DB n から構成されるBグループ（第2のグループ）とを備える。

[0021] 一般にダイクロイックミラーは、入射面（すなわち反射面）と、出射面とを有するが、これらは互いに平行（これらの法線も互いに平行）であるため、本明細書では、ダイクロイックミラーが配置される傾き（方向）を表現する際に、入射面及び出射面を区別せずに記述する。すなわち、本明細書で記述されている入射面を出射面で置き換えることも可能である。

[0022] ダイクロイックミラーDA1は、Z軸上に配置され、ダイクロイックミラーDA1～DA m は、入射面がXZ平面に垂直であり、X軸正方向に沿って互いに平行に配列する。ダイクロイックミラーDA1～DA m の入射面の法

線をXZ平面に投影した直線は、XZ平面における傾きが負である。ダイクロイックミラーDA1～DAmの入射面の法線と、Z軸とのなす角を θ_0 とする。図1に示す例においては、 θ_0 は 45° であり、ダイクロイックミラーDA1～DAmのうち任意のダイクロイックミラーの入射面の法線は、直線 $Z=-X$ と平行である。換言すれば、ダイクロイックミラーDA1～DAmの入射面は、直線 $Z=X$ と平行である。

[0023] ダイクロイックミラーDB1は、Z軸上に配置され、ダイクロイックミラーDB1～DBnは、入射面がXZ平面に垂直であり、X軸負方向に沿って互いに平行に配列する。ダイクロイックミラーDB1～DBnの入射面の法線をXZ平面に投影した直線は、XZ平面における傾きが正である。ダイクロイックミラーDB1～DBnの入射面の法線と、Z軸とのなす角を θ_1 とする。図1に示す例においては、 θ_1 は 45° であり、ダイクロイックミラーDB1～DBnのうち任意のダイクロイックミラーの入射面の法線は、直線 $Z=X$ と平行である。換言すれば、ダイクロイックミラーDB1～DBnの入射面は、直線 $Z=-X$ と平行である。

[0024] 以上のように、AグループのダイクロイックミラーDA1～DAmの入射面の法線及びBグループのダイクロイックミラーDB1～DBnの入射面の法線は、いずれもXZ平面と平行であるが、互いに向きが異なっている。図1に示す例においては、AグループのダイクロイックミラーDA1～DAm及びBグループのダイクロイックミラーDB1～DBnは、入射面の法線が互いに直交する向きに配置される。なお、 θ_0 及び θ_1 はそれぞれ 45° に限定されるものではなく、入射光を分割可能な範囲で任意に設定することができる。

[0025] 図1に示すように、本実施形態に係るダイクロイックミラーアレイにおいて、Bグループは、AグループよりもZ軸正方向側に配置される。このように、ダイクロイックミラーアレイは、全体として2層構造を有する。また、ダイクロイックミラーDA2及びDB2は、X軸方向の位置が異なっており、ダイクロイックミラーDA2～DAmはX座標が正であり、ダイクロイック

クミラーDB2～DBnはX座標が負である。これにより、1つの入射光C0から、ダイクロイックミラーDA2～DAm、ダイクロイックミラーDB1～DBnにより分割光C(DA2)～C(DAm)、C(DB1)～C(DAn)を得ることができる。

[0026] 各ダイクロイックミラーは、屈折率 n_0 の透明基材の少なくとも一方の表面に光学的な膜が形成されたものである。透明基材として、例えば石英ガラスが用いられる。なお、本開示では、ダイクロイックミラーアレイを構成するダイクロイックミラーの一部が、波長依存性の低い全反射ミラー又はハーフミラーであってもよい。従って、本開示においては、ダイクロイックミラー、全反射ミラー及びハーフミラーを区別なくダイクロイックミラーという場合がある。

[0027] 入射光C0は、Z軸負方向から正方向に向かって、入射角 θ_0 でダイクロイックミラーDA1に入射する。入射光C0は、ダイクロイックミラーDA1により、X軸正方向に進む反射光C(DA1)と、Z軸正方向に進む透過光に分割される。ダイクロイックミラーDA1からの反射光は、ダイクロイックミラーDA2に入射し、X軸正方向に進む透過光と、Z軸正方向に進む反射光C(DA2)に分割される。以下同様にして、ダイクロイックミラーDA1の反射光C(DA1)は、ダイクロイックミラーDA2～DAmによって、Z軸正方向に進む $(m-1)$ 個の分割光(反射光C(DA2)～C(DAm))を生成する。

[0028] ダイクロイックミラーDA1～DAmのうち、任意のダイクロイックミラーをDAj ($2 \leq j \leq (m-1)$)とする。ダイクロイックミラーDAjの透過光は、DA(j+1)に入射し、X軸正方向に進む透過光と、Z軸正方向に進む反射光C(DA(j+1))に分割される。

[0029] 一方、ダイクロイックミラーDA1の透過光はダイクロイックミラーDB1に入射し、X軸負方向に進む反射光と、Z軸正方向に進む透過光C(DB1)に分割される。ダイクロイックミラーDB1からの反射光は、ダイクロイックミラーDB2に入射し、X軸負方向に進む透過光と、Z軸正方向に進

む反射光C (DB2) に分割される。以下同様にして、ダイクロイックミラーDA1の透過光は、ダイクロイックミラーDB1～DBnによって、Z軸正方向に進むn個の分割光C (DB1) ～C (DBn) を生成する。

[0030] ダイクロイックミラーDB1～DBnのうち任意のダイクロイックミラーをDBk ($2 \leq k \leq (n-1)$) とする。ダイクロイックミラーDBkの透過光は、DB(k+1)に入射し、X軸負方向に進む透過光と、Z軸正方向に進む反射光C (DB(k+1)) に分割される。

[0031] 以上のことから、本実施形態に係るダイクロイックミラーアレイによって得られる分割光の総数は、 $(m+n-1)$ 個となる。各分割光は、入射光C0に含まれる異なる波長成分を有しているため、分割光をそれぞれ検出することによって、入射光C0の多色検出、又は分光分析が可能となる。

[0032] 分割光C (DAj) 及びC (DBk) を分割光C (X) とする。各分割光C (X) の中心波長を λ (C (X)) で表すとき、下記式(1)～(8)のいずれかを満たすことにより、ダイクロイックミラーアレイの構成が簡単になる。

$$\lambda(C(DA2)) < \dots < \lambda(C(DAm)) < \lambda(C(DB1)) < \dots < \lambda(C(DBn)) \quad \dots(1)$$

$$\lambda(C(DAm)) < \dots < \lambda(C(DA2)) < \lambda(C(DB1)) < \dots < \lambda(C(DBn)) \quad \dots(2)$$

$$\lambda(C(DA2)) < \dots < \lambda(C(DAm)) < \lambda(C(DBn)) < \dots < \lambda(C(DB1)) \quad \dots(3)$$

$$\lambda(C(DAm)) < \dots < \lambda(C(DA2)) < \lambda(C(DBn)) < \dots < \lambda(C(DB1)) \quad \dots(4)$$

$$\lambda(C(DB1)) < \dots < \lambda(C(DBn)) < \lambda(C(DA2)) < \dots < \lambda(C(DAm)) \quad \dots(5)$$

$$\lambda(C(DBn)) < \dots < \lambda(C(DB1)) < \lambda(C(DA2)) < \dots < \lambda(C(DAm)) \quad \dots(6)$$

$$\lambda(C(DB2)) < \dots < \lambda(C(DBn)) < \lambda(C(DAm)) < \dots < \lambda(C(DA2)) \quad \dots(7)$$

$$\lambda(C(DBn)) < \dots < \lambda(C(DB2)) < \lambda(C(DAm)) < \dots < \lambda(C(DA2)) \quad \dots(8)$$

[0033] すなわち、Aグループによって短波長帯の分割光を生成し、Bグループによって長波長帯の分割光を生成するか、あるいは、Bグループによって短波長帯の分割光を生成し、Aグループによって長波長帯の分割光を生成することが好ましい。特に、ダイクロイックミラーDA1が、短波長帯と長波長帯をそれぞれAグループとBグループに振り分けることは容易である。

- [0034] 図2は、個々のダイクロイックミラーの反射又は透過に要する光路長を示す図である。図2において点線の正方形で示すように、各ダイクロイックミラーをユニットで切り分ける。ユニットの紙面上端、右端、下端、左端はそれぞれ、1個のダイクロイックミラーが存在する位置の最上端、最右端、最下端、最左端としている。各分割光について、DA1のユニットに入射する位置から、各ダイクロイックミラーから分割光が出射する位置までの光路長を求める。ユニットに含まれない領域の光路長は、多くの場合、従来のダイクロイックミラーアレイと本実施形態に係るダイクロイックミラーアレイで共通であるため、ここでは無視する。
- [0035] ここで、光路長の評価を簡略化するため、ユニットあたりの光路長を1とする。1つのユニットを見ると、各ダイクロイックミラーの透過光と反射光は、同じ光路長となっている。
- [0036] 図2(a)は、従来のダイクロイックミラーアレイにおける個々のダイクロイックミラーの反射又は透過に要する光路長を示す。従来のダイクロイックミラーアレイは、図2(a)に示すように、 m 個のダイクロイックミラーD1～D m が互いに平行に、一直線上に配列した構成であり、分割光C1～C m が得られる。図2(a)に示すように、分割光C1はユニット1個分で光路長1であり、分割光C2はユニット2個分で光路長2であり、以下同様に、分割光C m はユニット m 個分で光路長 m である。すなわち、従来のダイクロイックミラーアレイにおける最大光路長は、 m である。
- [0037] 図2(b)は、本実施形態に係るダイクロイックミラーアレイにおける個々のダイクロイックミラーの反射又は透過に要する光路長を示す。図2(b)は、図2(a)の場合と異なり、ダイクロイックミラーアレイが2層構造になっているが故に生じる、ダイクロイックミラーが存在しないが、分割光が進行する部分(DA2～DA m の上部)にもユニットを表記している。これは、分割光を検出するセンサをダイクロイックミラーの配列方向と平行に配置するためである。図2(b)に示すように、本実施形態に係るダイクロイックミラーアレイの最大光路長は、 $(m-1)$ 又は $(n-1)$ のいずれか

大きい方である。これに対して、図2（a）に示すように、従来のダイクロイックミラーアレイの場合、 $(m+n-1)$ 個の分割光を得るためには、最大光路長は $m+n-1$ である。

[0038] 従って、本実施形態に係るダイクロイックミラーアレイは、従来のダイクロイックミラーアレイと比較して、最大光路長を $(m-1)/(m+n-1)$ 倍、又は、 $(n-1)/(m+n-1)$ 倍のいずれか大きい方にすることができる。従って、 $m \div n$ であるとき、最大光路長をおよそ半分まで縮小することができる。例えば $m=n=10$ のとき、最大光路長は0.53倍に縮小できる。

[0039] 一方、最小光路長は、本実施形態に係るダイクロイックミラーアレイでは2、従来のダイクロイックミラーアレイでは1となる。従って、最大光路長と最小光路長の差（光路長差）は、最大光路長にほぼ応じて変化する。このように、本実施形態に係るダイクロイックミラーアレイの構成にすることによって、最大光路長と最小光路長の差をおよそ半分まで縮小することができる。

[0040] 図3は、分割数3～13のダイクロイックミラーアレイについて、光路長の比較を行った結果を示す図である。図3は、各ダイクロイックミラーアレイについて、最大光路長と、最大光路長と最小光路長の光路長差を、従来例と本実施形態のそれぞれについて記している。

[0041] 図3より明らかなように、分割数5以上のすべてのダイクロイックミラーアレイについて、従来例と比較して本実施形態の最大光路長が縮小されている。さらに、分割数3以上のすべてダイクロイックミラーアレイについて、従来例と比較して本実施形態の光路長差が縮小されている。

[0042] また、分割数が大きくなるに従って最大光路長の差が拡大し、本実施形態の効果が顕著になっている。例えば、分割数9のダイクロイックミラーアレイでは、最大光路長は従来例の9から6に縮小し、光路長差は従来例の8から4に縮小している。このように、最大光路長及び光路長差の縮小幅はいずれも、分割数7の場合と比較して拡大しており、分割数が大きくなるに従って

て本実施形態の効果が一層大きくなることが分かる。

[0043] 以上のように、本実施形態に係るダイクロイックミラーアレイは、互いに向きの異なるAグループのダイクロイックミラーDA1～DA_mと、BグループのダイクロイックミラーDB1～DB_nとを備え、ダイクロイックミラーDA1及びDB1がZ軸方向に沿って配置される構成を有する。これにより、ダイクロイックミラーの数を増やして入射光の分割数を増やしても、入射光の最大の光学的距離（最大光路長）の増大を抑えることができ、入射光の高感度、高精度、及び独立な多色検出が可能である。また、ダイクロイックミラーの数及び入射光の分割数を増減させずに、入射光の最大の光学的距離を縮小することができ、入射光の高感度な多色検出を維持しながら、より一層高い水準の高精度及び独立した多色検出が可能となる。

[0044] [比較例1]

次に、第1の実施形態の比較例及び実施例を説明する。

図4は、比較例1に係るダイクロイックミラーアレイを示す図である。図4(a)は、比較例1に係るダイクロイックミラーアレイの構成を示す断面図である。

[0045] 図4(a)に示すように、比較例1に係るダイクロイックミラーアレイは、異なる分光特性を有するダイクロイックミラーM1～M7を備え、入射光C0を7分割する。ダイクロイックミラーM1～M7は、XY平面及びYZ平面に対して45°の傾きを有し、互いに平行に、X軸正方向に沿って略等間隔に配列される。なお、各ダイクロイックミラーM1～M7の厚さの影響は無視する。

[0046] ダイクロイックミラーM1～M7の図4(a)の紙面に平行な幅を α とすると、各ダイクロイックミラーの配列間隔は、 $\alpha/\sqrt{2}$ である。つまり、 k を $1 \leq k \leq 6$ の整数として、ダイクロイックミラーM_kの右端と、ダイクロイックミラーM($k+1$)の左端は、X軸方向の位置が同一である。

[0047] 入射光C0は、Z軸正方向に進行してダイクロイックミラーM1に入射し、X軸正方向に進行する反射光と、Z軸正方向に進行する透過光、すなわち

分割光C 1 に分割される。上記反射光はダイクロイックミラーM 2 に入射し、X 軸正方向に進行する透過光と、Z 軸正方向に進行する反射光、すなわち分割光C 2 に分割される。以下同様に、 $3 \leq k \leq 6$ として、ダイクロイックミラーM (k - 1) を透過したX 軸正方向に進行する透過光は、ダイクロイックミラーM k に入射し、X 軸正方向に進行する透過光と、Z 軸正方向に進行する反射光、すなわち分割光C k に分割される。ダイクロイックミラーM 6 を透過してX 軸正方向に進行する透過光は、ダイクロイックミラーM 7 に入射し、Z 軸正方向に進行する反射光、すなわち分割光C 7 を生成する。なお、ダイクロイックミラーM 7 を全反射ミラーとすることにより、ダイクロイックミラーM 7 の透過光をなくしてもよい。

[0048] 以上より、Z 軸正方向に進行する7 個の分割光C 1 ~ C 7 が得られる。分割光C 1 ~ C 7 は、入射光C 0 に含まれていた異なる波長成分を有しているため、分割光C 1 ~ C 7 をそれぞれ検出することによって、入射光C 0 の多色検出が可能となる。

[0049] 図4 (b) は、個々のダイクロイックミラーの反射又は透過に要する光路長を示す図である。点線の正方形で示すユニットについては図2 と同様であるため、説明を省略する。

[0050] 図4 (b) から明らかなように、分割光C 1 はユニット1 個分で光路長1、分割光C 2 はユニット2 個分で光路長2 であり、以下同様に、分割光C 7 はユニット7 個分で光路長7 である。従って、比較例1 に係るダイクロイックミラーアレイにおいて、最大光路長は7、最小光路長は1、最大光路長と最小光路長の差は6 である。

[0051] [実施例1]

図5 は、実施例1 に係るダイクロイックミラーアレイを示す図である。図5 (a) は、実施例1 に係るダイクロイックミラーアレイの構成を示す断面図である。

[0052] 図5 (a) に示すように、実施例1 に係るダイクロイックミラーアレイは、異なる分光特性を有する8 個のダイクロイックミラーM 1 ~ M 8 を備え、

入射光C 0を7分割して7個の分割光C 1～C 7を得ることができる。ダイクロイックミラーM 1～M 4をAグループとし、ダイクロイックミラーM 5～M 8をBグループとする。

[0053] ダイクロイックミラーM 1～M 4は、XY平面及びYZ平面に対して 45° の傾きを有し、互いに平行に、X軸正方向に沿って略等間隔に配列される。ダイクロイックミラーM 1～M 4の入射面の法線は、XZ平面と平行であり、XZ平面において -45° の傾きを有する。

[0054] ダイクロイックミラーM 5～M 8は、XY平面及びYZ平面に対して 45° の傾きを有し、互いに平行に、X軸負方向に沿って略等間隔に配列される。ダイクロイックミラーM 5～M 8の入射面の法線は、XZ平面と平行であり、XZ平面において 45° の傾きを有する。

すなわち、ダイクロイックミラーM 1～M 4と、ダイクロイックミラーM 5～M 8とを、それぞれを対向させて、それぞれの法線が直交するように配置する。

[0055] ダイクロイックミラーM 1及びダイクロイックミラーM 5は、X軸方向における位置が同一であり、ダイクロイックミラーM 5は、ダイクロイックミラーM 1よりもZ軸正方向側に配置される。従って、ダイクロイックミラーM 5～M 8は、ダイクロイックミラーM 1～M 4よりもZ軸正方向側に配置される。このように、実施例1に係るダイクロイックミラーアレイは、全体として2層構造を有する。

[0056] ダイクロイックミラーM 1～M 8のXZ平面に平行な幅を α とすると、ダイクロイックミラーM 1～M 4及びダイクロイックミラーM 5～M 8の配列間隔は、それぞれ $\alpha/\sqrt{2}$ である。また、ダイクロイックミラーM 1の中心とダイクロイックミラーM 5の中心との距離も $\alpha/\sqrt{2}$ である。

[0057] 入射光C 0は、Z軸正方向に進行してダイクロイックミラーM 1に入射角 45° で入射し、X軸正方向に進行する反射光と、Z軸正方向に進行する透過光に分割される。ダイクロイックミラーM 1の反射光は、ダイクロイックミラーM 2に入射角 45° で入射し、X軸正方向に進行する透過光と、Z軸

正方向に進行する反射光、すなわち分割光C 1 に分割される。ダイクロイックミラーM 2 の透過光は、ダイクロイックミラーM 3 に入射角 45° で入射し、X 軸正方向に進行する透過光と、Z 軸正方向に進行する反射光、すなわち分割光C 2 に分割される。ダイクロイックミラーM 3 の透過光は、ダイクロイックミラーM 4 に入射角 45° で入射し、Z 軸正方向に進行する反射光、すなわち分割光C 3 を生成する。ここでは、ダイクロイックミラーM 4 の透過光を無視する。

- [0058] 一方、ダイクロイックミラーM 1 の透過光は、ダイクロイックミラーM 5 に入射角 45° で入射し、X 軸負方向に進行する反射光と、Z 軸正方向に進行する透過光、すなわち分割光C 4 に分割される。ダイクロイックミラーM 5 の反射光は、ダイクロイックミラーM 6 に入射角 45° で入射し、X 軸負方向に進行する透過光と、Z 軸正方向に進行する反射光、すなわち分割光C 5 に分割される。ダイクロイックミラーM 6 の透過光は、ダイクロイックミラーM 7 に入射角 45° で入射し、X 軸負方向に進行する透過光と、Z 軸正方向に進行する反射光、すなわち分割光C 6 に分割される。ダイクロイックミラーM 7 の透過光は、ダイクロイックミラーM 8 に入射角 45° で入射し、Z 軸正方向に進行する反射光、すなわち分割光C 7 を生成する。ここでは、ダイクロイックミラーM 8 の透過光を無視する。

なお、ダイクロイックミラーM 4 及びM 8 を全反射ミラーとしてもよい。

- [0059] 以上のようにして、Z 軸正方向に進行する7 個の分割光C 1 ～C 7 が得られる。分割光C 1 ～C 7 は入射光C 0 に含まれていた異なる波長成分を有しているため、分割光C 1 ～C 7 をそれぞれ検出することによって、入射光C 0 の多色検出が可能となる。

- [0060] 図5 (b) は、個々のダイクロイックミラーの反射又は透過に要する光路長を示す図である。点線の正方形で示すユニットについては上記と同様であるため、説明を省略する。

- [0061] 図5 (b) に示すように、分割光C 1 はユニット3 個分で光路長3、分割光C 2 はユニット4 個分で光路長4、分割光C 3 はユニット5 個分で光路長

5、分割光C 4はユニット2個分で光路長2、分割光C 5はユニット3個分で光路長3、分割光C 6はユニット4個分で光路長4、分割光C 7はユニット5個分で光路長5である。従って、最大光路長は5、最小光路長は2、最大光路長と最小光路長の差は3である。

[0062] 比較例1及び実施例1の光路長の評価結果の比較から、同じ7分割による7色検出を行うダイクロイックミラーアレイでありながら、実施例1に係るダイクロイックミラーアレイの最大光路長は、比較例1の最大光路長7から5に縮小し、最大光路長と最小光路長の差は、比較例1の6から3に縮小することができる。このように、実施例1に係るダイクロイックミラーアレイは、高精度、高感度、且つ低クロストークな7色検出が可能となる。

[0063] 図4及び図5では、ダイクロイックミラーアレイの断面図を示しているため、入射光C 0が1個のみ示されている。しかし、複数の入射光C 0が断面図の紙面に垂直方向（Y軸方向）に配列し、複数の入射光C 0のそれぞれがダイクロイックミラーアレイによって並列に7分割され、分割光C 1～C 7を生成しても良い。

[0064] [実施例2]

図6は、実施例2に係る多色検出装置の構成を示す模式図である。実施例2に係る多色検出装置は、実施例1に係るダイクロイックミラーアレイを用いて、1個の発光点Pからの発光の7色検出を行う装置である。

[0065] 入射光C 0は、発光点Pからの発光を集光レンズLで集光して得られる光束である。図5においては、各光線を線で示したが、図6においては幅を有する束（光束）で各光線を示している。図6（a）は、本実施例に係る多色検出装置のXZ平面による断面図である。図6（b）は、図6（a）のA矢視図である。

[0066] 図6（a）に示すように、実施例2に係る多色検出装置は、ダイクロイックミラーM 1～M 8、集光レンズL、センサアレイ及び発光点Pを備える。

[0067] ダイクロイックミラーM 1～M 8は、実施例1と同様の構成を有するため、説明を省略する。

[0068] センサアレイは、X軸方向に沿って、XY平面と平行に配列した7個のセンサ素子を有し、各センサ素子は、ダイクロイックミラーM1～M8のZ軸正方向側に配置される。7個の分割光C1～C7は、Z軸正方向に進行し、それぞれセンサ素子のセンサ面Sに入射し、センサアレイによって検出される。ただし、図6においては、複数のセンサ素子のセンサ面Sの境界は示していない。センサアレイは、単一のラインセンサ又はエリアセンサである。分割光C1～C7はそれぞれ、入射光C0の異なる波長帯の成分、すなわち異なる色の成分であるため、それらを同時且つ独立に計測することによって、入射光C0の7色検出が可能である。

[0069] 実施例2においては、発光点Pが1個であるため、各ダイクロイックミラーのY軸方向の幅は、図6(b)に示すように、入射光C0及び分割光C1～C7の光束の最大幅よりも大きければ良い。

[0070] 以上のように、実施例2に係る多色検出装置は、実施例1と同様に、比較例1に係るダイクロイックミラーアレイを用いる場合と比較して、最大光路長と、光路長差とを縮小することができるため、発光点Pからの発光を高精度且つ高感度に多色検出できる。

[0071] [実施例3]

図7は、実施例3に係る多色検出装置DSの構成を示す模式図である。実施例3に係る多色検出装置DSは、実施例1と同様のダイクロイックミラーアレイを用いて、p個($2 \leq p$)の発光点Pからの発光をそれぞれ7色検出する多色検出装置である。実施例3においては、4個の発光点P1～P4からの発光をそれぞれ7色検出する。図7(a)は、本実施例に係る多色検出装置DSのXZ平面による断面図である。図7(b)は、図7(a)のA矢視図である。

[0072] 図7(a)及び(b)に示すように、実施例3に係る多色検出装置DSは、ダイクロイックミラーM1～M8、集光レンズL1～L4、エリアセンサ及び発光点P1～P4を備える。

[0073] 発光点P1～P4からの発光は、それぞれ集光レンズL1～L4により集

光され、入射光 $C0-1 \sim C0-4$ となる。なお、発光点 P の数は4つに限定されず、任意の数とすることができる。

[0074] ダイクロイックミラー $M1 \sim M8$ は、入射光 $C0-1 \sim C0-4$ が共通に入射可能なように、実施例1のダイクロイックミラーと比較して、 Y 軸方向における幅が大きくなっている。ダイクロイックミラー $M1 \sim M8$ は、入射光 $C0-1 \sim C0-4$ をそれぞれ7分割し、28個の分割光 $C1-1 \sim C7-4$ を得る。

[0075] エリアセンサは、ダイクロイックミラー $M1 \sim M8$ の Z 軸正方向側において、 XY 平面と平行に配置される。28個の分割光 $C1-1 \sim C7-4$ は、1つのエリアセンサのセンサ面 S に共通に入射し、エリアセンサによって検出される。

[0076] なお、本開示において、「共通」という表現は、複数(M 個)の発光点、光束又は分割光に対し1個の光学素子を用いる($M:1$ の対応)という意味で用いる場合がある。また、「個別」という表現は、1つの発光点、光束又は分割光に対し1個の光学素子を用いる($1:1$ の対応)という意味で用いる場合がある。

[0077] 28個の分割光 $C1-1 \sim C7-4$ を個別に検出する場合は、 X 軸方向に4個、 Y 軸方向に7個の計28個配列したセンサ素子を有するセンサアレイを用いる。各センサ素子は、ダイクロイックミラー $M1 \sim M8$ の Z 軸正方向側において、 XY 平面と平行に配置される。28個の分割光 $C1-1 \sim C7-4$ は、それぞれセンサ素子のセンサ面 S に入射し、センサアレイによって検出される。

[0078] 以上のように、実施例3に係る多色検出装置 DS は、実施例1と同様に、比較例1に係るダイクロイックミラーアレイを用いる場合と比較して、複数の入射光 $C0-1 \sim C0-4$ について、最大光路長と、光路長差とを縮小することができるため、複数の発光点 P からの発光を高精度、高感度、且つ低クロストークに多色検出できる。

[0079] [実施例4]

図8（a）は、実施例4に係るキャピラリアレイDNAシーケンサの構成を示す模式図である。実施例4に係るキャピラリアレイDNAシーケンサは、実施例3に係る多色検出装置DSを用いており、DNA断片による蛍光を検出する分析装置である。

[0080] キャピラリアレイDNAシーケンサは、レーザ光源1、バルブ4、陰極側緩衝液7、陰極8、陽極側緩衝液9、陽極10、ポンプブロック11、シリンジ12、電源13、キャピラリアレイCA及び多色検出装置DSを備える。

[0081] レーザ光源1は、キャピラリアレイCAのレーザビーム照射位置3に対しレーザビーム2を照射する。レーザビーム照射位置3は、試料注入端5より一定距離だけDNA断片が電気泳動された位置である。

[0082] キャピラリアレイCAは複数のキャピラリを備え、レーザビーム照射位置3の近傍において複数のキャピラリがXY平面上に配列する。キャピラリアレイCAの試料注入端5は、陰極側緩衝液7に浸され、試料溶出端6は、ポリマブロック11を介して陽極側緩衝液9に浸される。

[0083] ポンプブロック11は、内部にポリマ溶液が充填される。シリンジ12及びバルブ4は、ポンプブロック11に接続される。バルブ4を閉じた状態でシリンジ12によりポンプブロック11内部のポリマ溶液に加圧することで、キャピラリアレイCAの内部に、試料溶出端6から試料注入端5に向かってポリマ溶液を充填することができる。

[0084] 陰極8は、陰極側緩衝液7に浸され、陽極10は、陽極側緩衝液9に浸される。電源13は、陰極8と陽極10の間に高電圧を印加する。

[0085] キャピラリアレイCAの内部にポリマ溶液を充填した後、バルブ4を開け、各キャピラリに試料注入端5から異なる試料を注入し、陰極8と陽極10の間に高電圧を印加することで、キャピラリ電気泳動を行うことができる。試料に含まれる、4色の蛍光体で標識されたDNA断片は、試料注入端5から試料溶出端6に向かって電気泳動する。

[0086] 図8（b）は、図8（a）に示す多色検出装置DSの拡大図である。図8

(b) に示すように、キャピラリアレイCAは、4つのキャピラリCA1～CA4を備える。なお、キャピラリの数は4つに限定されず、任意の数とすることができる。

[0087] キャピラリCA1～CA4は、XY平面上において、Y軸方向に沿って配列し、レーザビーム照射位置3において、その被覆が除去される。DNA断片は、4色の蛍光体で標識され、各キャピラリCA1～CA4の内部を電気泳動し、レーザビーム照射位置3を通過する際に励起され、蛍光を発する。従って、レーザビーム照射位置3におけるキャピラリCA1～CA4の内部がそれぞれ発光点P1～P4となる。

[0088] 多色検出装置DSは、実施例3に係る多色検出装置DSと同様の構成を有するため、説明を省略する。多色検出装置DSは、キャピラリアレイCAよりもZ軸正方向側に配置される。

[0089] 図8(b)に示すように、レーザ光源1より発振されたレーザビーム2は、XY平面に沿ってY軸正方向に向かって進行し、キャピラリCA4、CA3、CA2及びCA1のレーザビーム照射位置3、すなわち発光点P4、P3、P2及びP1を一括照射する。

[0090] 4色の蛍光体で標識されたDNA断片は、レーザビーム照射位置3を通過する際にレーザビーム2により励起される。その結果生じる、発光点P1～P4からの発光を、多色検出装置DSを用いて7色検出を行う。レーザビーム2の波長は505nm、4色の蛍光（発光極大波長）は、波長540nm、570nm、600nm及び630nmとする。

[0091] 以上のように、分析対象が4色の蛍光であるのに対して、多色検出装置DSは7色検出することができるため、高精度に4色蛍光を検出することが可能である。このように、本実施例のキャピラリアレイDNAシーケンサは、高精度、高感度、且つ低クロストークで分析が可能である。

[0092] [実施例5]

図9は、実施例5に係るダイクロイックミラーアレイの構成を示す断面図である。特に説明がない構成については、実施例1と同様である。実施例5

に係るダイクロイックミラーアレイは、10個のダイクロイックミラーM1～M10を備え、入射光C0を9分割して9色検出を行うことができる。図示は省略しているが、ダイクロイックミラーM1～M5をAグループとし、ダイクロイックミラーM6～M10をBグループとする。

[0093] なお、AグループのX軸正方向の端部に位置するダイクロイックミラーM5と、BグループのX軸負方向の端部に位置するダイクロイックミラーM10は、同一の分光特性を有するダイクロイックミラーである。ダイクロイックミラーM5及びM10は、例えば、全反射ミラーであってもよい。

[0094] 図9に示すように、実施例5に係るダイクロイックミラーアレイは、ダイクロイックミラーM1のZ軸負方向側にバンドパスフィルタBP（第1のフィルタ）を備える点で、実施例1～4と異なっている。その他の構成については、実施例1のダイクロイックミラーアレイと同様であるため、説明を省略する。

[0095] バンドパスフィルタBPの形状は、ダイクロイックミラーM1～M10と同様である。バンドパスフィルタBPは、XY平面に平行に、ダイクロイックミラーM1のZ軸負方向側に配置される。すなわち、バンドパスフィルタBPの入射面及び出射面の法線は、Z軸と平行である。バンドパスフィルタBPを有することにより、入射光C0に含まれる複数の波長帯のうち、所定の波長帯の光を透過してダイクロイックミラーM1に入射させ、これにより所望の波長帯の光のみを多色検出することができる。

[0096] 入射光C0は、Z軸正方向に進行してバンドパスフィルタBPに入射角0°で入射し、これによりZ軸正方向に進行する透過光が生成される。バンドパスフィルタBPの透過光は、ダイクロイックミラーM1に入射角45°で入射し、X軸正方向に進行する反射光と、Z軸正方向に進行する透過光とに分割される。ダイクロイックミラーM1の反射光は、ダイクロイックミラーM2に入射角45°で入射し、X軸正方向に進行する透過光と、Z軸正方向に進行する反射光、すなわち分割光C1に分割される。以下同様にして、ダイクロイックミラーM2～M5により、分割光C1～C4が得られる。なお

、ダイクロイックミラーM5の透過光は無視する。

[0097] 一方、ダイクロイックミラーM1の透過光は、ダイクロイックミラーM6に入射角 45° で入射し、X軸負方向に進行する反射光と、Z軸正方向に進行する透過光、すなわち分割光C5に分割される。ダイクロイックミラーM6の反射光は、ダイクロイックミラーM7に入射角 45° で入射し、X軸負方向に進行する透過光と、Z軸正方向に進行する反射光、すなわち分割光C6に分割される。以下同様にして、ダイクロイックミラーM6～M10により、分割光C5～C9が得られる。なお、ダイクロイックミラーM10の透過光は無視する。

[0098] 以上のように、実施例5に係るダイクロイックミラーアレイにより、Z軸正方向に進行する9個の分割光C1～C9が得られる。分割光C1～C9は、入射光C0の異なる波長成分を有しているため、分割光C1～C9をそれぞれ検出することによって、入射光C0の9色検出が可能である。

[0099] [比較例2]

ダイクロイックミラーの数を9個としてダイクロイックミラーM1～M9とし、ダイクロイックミラーM1のZ方向負方向側にバンドパスフィルタBPをXY平面に平行に配置したこと以外は比較例1と同様にして、比較例2に係るダイクロイックミラーアレイとした。

[0100] <最大光路長及び光路長差の評価>

次に、図10～13を参照して、実施例5又は比較例2に係るダイクロイックミラーアレイを用いた9色検出装置について、最大光路長及び光路長差を実際的な計算によって求めた結果について説明する。

[0101] 以下において、実施例5のダイクロイックミラーアレイを用いた装置を「本実施例の9色検出装置」といい、比較例2のダイクロイックミラーアレイを用いた装置を「比較例の9色検出装置」という。

[0102] 図示は省略しているが、本実施例及び比較例の9色検出装置は、集光レンズLと、実施例5又は比較例2のダイクロイックミラーアレイと、エリアセンサとを備える。本実施例及び比較例の9色検出装置は、単数又は複数の発

光点Pからの発光を集光レンズLで集光した光束を入射光C0とし、ダイクロミックミラーアレイによって9個の分割光C1～C9を生成し、分割光C1～C9をエリアセンサのセンサ面Sに垂直に入射させて検出する。

[0103] 図3に示すように、9分割の場合、比較例の9色検出装置の最大光路長は9、光路長差は8であり、各分割光C1～C9の光路長は1～9である。これに対して、本実施例の9色検出装置の最大光路長は6、光路長差は4であり、各分割光C1～C9の光路長は2～6である。ここで、例として、光路長1を2.5mmで換算すると、比較例の9色検出装置の光路長は2.5～22.5mm、本実施例の9色検出装置の光路長は5.0～15.0mmとなる。

[0104] それぞれの9色検出装置について、分割光C1～C9がセンサ面Sに形成するスポットのサイズを光線追跡シミュレーションによって求めた。さらに、単一の発光点由来の分割光C1～C9の検出時の相互のクロストークによる分光分析精度に与える影響、及び、複数の発光点由来の分割光Ck ($1 \leq k \leq 9$) の検出時の相互のクロストークによる独立計測に与える影響を評価した。結果を図10及び11に示す。

[0105] 図10は、発光点Pのサイズ、集光レンズLの焦点距離f、発光点距離g、センサ距離h及びスポットサイズWの関係を光線追跡シミュレーションで求めるためのモデル図である。発光点距離gは、発光点P及び集光レンズLの距離である。センサ距離hは、集光レンズLとセンサ面Sの間の光学的距離（光路長）である。スポットサイズWは、発光点Pからの発光を集光レンズLが集光して得られる光束がセンサ面S上に投影されるスポットの大きさである。

[0106] 左側に発光点P、その右側に集光レンズL、さらにその右側にセンサのセンサ面Sを配置する。図10(a)は、発光がない状態、図10(b)は、発光がある状態の一例を示している。図10(b)は、発光点Pからの発光のうち、集光レンズLで集光される光線のみを描いている。例として、発光点Pは、径が $d = 0.05\text{ mm}$ の円形とする。集光レンズLは、有効径がD

= 1 mm、焦点距離が $f = 1.4 \text{ mm}$ とする。また、集光レンズ L は、左側（発光点側）が平面、右側（センサ側）が非球面であり、収差が比較的少ないものを選択した。

[0107] 発光点距離 g を $1.40 \text{ mm} \leq g \leq 1.70 \text{ mm}$ の範囲において 0.01 mm 刻みで変化させ、各発光点距離 g についてセンサ距離 h を $2.5 \text{ mm} \leq h \leq 3.0 \text{ mm}$ の範囲において 2.5 mm 刻みで変化させ、各センサ距離 h におけるスポットサイズ W を計算した。スポットサイズ W は、スポットの強度分布の内、強度が最大強度の 1% 以上となる領域の全幅として計算した。

[0108] 図 11 は、図 10 のモデルの計算結果を示すグラフである。図 11 において、発光点距離 g をパラメータとして、横軸をセンサ距離 h 、縦軸をスポットサイズ W としている。ただし、横軸は、 $2.5 \text{ mm} \leq h \leq 22.5 \text{ mm}$ の範囲のみを示している。実線は発光点距離 g の小数点第二位が偶数の場合、点線は発光点距離 g の小数点第二位が奇数の場合を示す。

[0109] 発光点 P は有限サイズ ($d = 0.05 \text{ mm} > 0 \text{ mm}$) であるため、如何なる条件においても、発光点 P からの発光が集光レンズ L によって集光された光線（光束）が完全な平行光線（光束）になることはなく、センサ距離 h が十分に大きいとき、スポットサイズ W はセンサ距離 h とともに大きくなる。発光点距離 $g = 1.40 \text{ mm}$ は、発光点 P が集光レンズ L の焦点に位置する条件であり、最も平行な光線（光束）に近い条件であるため、無限遠で、すなわちセンサ距離 h が十分に大きいときに、スポットサイズ W が最小になる。ここで、「最小」という表現は、同じセンサ距離 h において、発光点距離 g を変化させたときにスポットサイズ W が最小になるという意味である。同じセンサ距離 h においてスポットサイズ W が最小になる状態は、発光点 P からの発光が集光レンズ L によって集光された光束が、そのセンサ距離 h において、ジャストフォーカスされる状態に相当する。

[0110] 図 11 に示されるように、発光点距離が $g = 1.40 \text{ mm}$ の場合と比較して、発光点距離 g が大きくなるに従い、スポットサイズ W が最小となるセンサ距離 h が小さくなる。例えば、 $g = 1.50 \text{ mm}$ のとき、 $h = 20.0 \text{ mm}$

mにおいて、スポットサイズは最小値 $W=0.70\text{ mm}$ となる。 $g=1.54\text{ mm}$ のとき、 $h=15.0\text{ mm}$ において、スポットサイズは最小値 $W=0.52\text{ mm}$ となる。 $g=1.62\text{ mm}$ のとき、 $h=10.0\text{ mm}$ において、スポットサイズは最小値 $W=0.34\text{ mm}$ となる。そして、 $g=1.70\text{ mm}$ のとき、 $h=7.5\text{ mm}$ において、スポットサイズは最小値 $W=0.26\text{ mm}$ となる。

[0111] ダイクロイックミラーアレイによって生成される各分割光の光路長 h が $h(\text{min}) \leq h \leq h(\text{max})$ であるとき、 $h(\text{min}) \leq h \leq h(\text{max})$ におけるスポットサイズ W の最大値が最小となるような発光点距離 g を選ぶとき、異なるスポット間の重なりが最も小さくなるため、高精度な多色検出、又は異なる発光点の独立計測を行う上で最も有利な条件となる。そして、図11から分かるように、 $h(\text{min}) \leq h \leq h(\text{max})$ におけるスポットサイズ W の最大値が最小となるのは、 $h=h(\text{max})$ において発光点 P がジャストフォーカスされるときである。

[0112] 図11から得られるもうひとつの知見は、各発光点距離 g を固定した曲線は、ジャストフォーカスを与えるセンサ距離 h を境に、左側（センサ距離 h が上記より小さくなる方向）のスポットサイズ W の変化は緩やかであるのに対して、右側（センサ距離 h が上記より大きくなる方向）のスポットサイズ W の変化は急激である点である。一方、センサ距離 h を固定し、ジャストフォーカスを与える発光点距離 g を境に、発光点距離 g を上記より小さくする方向のスポットサイズ W の変化は緩やかであるのに対して、発光点距離 g が上記より大きくする方向のスポットサイズ W の変化は急激である。従って、多色検出装置を設計する際には、各要素の設置誤差を考慮して、センサ距離 h 及び発光点距離 g は、それぞれ最適条件の値よりも小さい側に合わせる事が好ましい場合がある。

[0113] 上述の通り、比較例2の9分割のダイクロイックミラーアレイの最適条件は、光路長 h は $2.5\text{ mm} \leq h \leq 22.5\text{ mm}$ であるので、 $h=22.5\text{ mm}$ において発光点 P がジャストフォーカスされるとき、すなわち $g=1.4$

9 mmにおいてスポットサイズWの最大値が最小となるときである。実際、図11に示されているように、 $g = 1.49 \text{ mm}$ のとき、 $h = 22.5 \text{ mm}$ において、スポットサイズは最小値 $W = 0.79 \text{ mm}$ となっている。また、 $2.5 \text{ mm} \leq h \leq 22.5 \text{ mm}$ において、 $h = 2.5 \text{ mm}$ のとき、スポットサイズWは最小値 $W = 0.51 \text{ mm}$ となる。これに対して、例えば、 $g = 1.50 \text{ mm}$ とすると、 $h = 2.5 \text{ mm}$ ではスポットサイズWが $g = 1.49 \text{ mm}$ のときよりも小さくなるが、 $h = 22.5 \text{ mm}$ ではスポットサイズWが $g = 1.49 \text{ mm}$ のときよりも大きく、 $W = 0.84 \text{ mm}$ となっている。あるいは、 $g = 1.48 \text{ mm}$ とすると、 $2.5 \text{ mm} \leq h \leq 22.5 \text{ mm}$ の全領域でスポットサイズWが $g = 1.49 \text{ mm}$ のときよりも大きくなっている。以上から、 $g = 1.49 \text{ mm}$ のとき、すなわち $h = 22.5 \text{ mm}$ で発光点がジャストフォーカスされるときに最適条件となり、 $2.5 \text{ mm} \leq h \leq 22.5 \text{ mm}$ において、スポットサイズWは $0.51 \text{ mm} \leq W \leq 0.79 \text{ mm}$ となる。

[0114] 同様に、実施例5に係る9分割のダイクロックミラーアレイの最適条件は、光路長hは $5.0 \text{ mm} \leq h \leq 15.0 \text{ mm}$ であるので、 $h = 15.0 \text{ mm}$ において発光点Pがジャストフォーカスされるとき、すなわち $g = 1.54 \text{ mm}$ においてスポットサイズWの最大値が最小となるときである。実際、図11に示されているように、 $g = 1.54 \text{ mm}$ のとき、 $h = 15.0 \text{ mm}$ で、スポットサイズは最小値 $W = 0.52 \text{ mm}$ となっている。また、 $5.0 \text{ mm} \leq h \leq 15.0 \text{ mm}$ において、 $h = 7.5 \text{ mm}$ のとき、スポットサイズWは最小値 $W = 0.47 \text{ mm}$ となる。これに対して、例えば、 $g = 1.55 \text{ mm}$ とすると、 $5.0 \text{ mm} \leq h \leq 12.5 \text{ mm}$ ではスポットサイズWが $g = 1.54 \text{ mm}$ のときよりも小さくなるが、 $h = 15.0 \text{ mm}$ ではスポットサイズWが $g = 1.54 \text{ mm}$ のときよりも大きく、 $W = 0.55 \text{ mm}$ となっている。あるいは、 $g = 1.53 \text{ mm}$ とすると、 $5.0 \text{ mm} \leq h \leq 15.0 \text{ mm}$ の全領域でスポットサイズWが $g = 1.54 \text{ mm}$ のときよりも大きくなっている。以上から、 $g = 1.54 \text{ mm}$ のとき、すなわち $h = 15.0 \text{ mm}$ で

発光点Pがジャストフォーカスされるときに最適条件となり、 $5.0\text{ mm} \leq h \leq 15.0\text{ mm}$ において、スポットサイズWは $0.47\text{ mm} \leq W \leq 0.52\text{ mm}$ となる。

[0115] 図12は、光路長hをパラメータとして、光路長hの位置にセンサを配置した際に得られるスポットの中心を通る直線上の信号強度分布を示す図である。横軸はスポットの中心をゼロとする、上記直線上の空間座標を表し、縦軸は相対信号強度を示す。

[0116] 各信号強度分布の中心軸（横軸ゼロを通り、縦軸と平行な直線）についての回転対称体の体積は、各スポットの総合強度に相当し、互いに等しくなっている。各信号強度分布の中心軸の信号強度の1%以上の信号強度を有する領域の幅をスポットサイズWとして図11に示している。

[0117] 図12(a)は、比較例2の9分割のダイクロイックミラーアレイの最適条件、すなわち $g = 1.49\text{ mm}$ のときの、光路長hが $h = 2.5$ 、 5.0 、 7.5 、 10.0 、 12.5 、 15.0 、 17.5 、 20.0 及び 22.5 mm におけるスポットの信号強度分布を示している。発光点Pは $h = 22.5\text{ mm}$ においてジャストフォーカスされているため、 $h = 22.5\text{ mm}$ の信号強度分布が最も矩形形状に近くなっている。

[0118] これに対して、図12(b)は、実施例5に係る9分割のダイクロイックミラーアレイの最適条件、すなわち $g = 1.54\text{ mm}$ のときの、光路長hが $h = 5.0$ 、 7.5 、 10.0 、 12.5 及び 15.0 mm におけるスポットの相対信号強度分布を示している。発光点Pは $h = 15.0\text{ mm}$ においてジャストフォーカスされているため、 $h = 15.0\text{ mm}$ の信号強度分布が最も矩形形状に近くなっている。

[0119] 図12のように、ダイクロイックミラーアレイの最大光路長が長いほど、また光路長差が大きいほど、ダイクロイックミラーアレイを用いて得られるスポットの信号強度分布の変動が激しいため、各光路長におけるスポットの同時計測が困難になることが、図11よりも一層顕著に示されている。

[0120] 例えば、図12(a)では、 $h = 10.0\text{ mm}$ のとき中心軸の信号強度が

12.4となるのに対して、 $h = 22.5\text{ mm}$ のとき中心軸の信号強度が2.0となる。従って、信号強度比が $12.4 / 2.0 = 6.2$ もある複数の異なるスポットを同時計測する必要がある。信号強度比が大きいと、大きな信号強度がセンサの飽和レベルを超える一方で、小さな信号強度がセンサの飽和レベルに達しない状態が生じ、信号計測の実効的なダイナミックレンジが低減するという問題が生じる。

[0121] これに対して、図12(b)では、 $h = 10.0\text{ mm}$ のとき中心軸の信号強度が16.6となるのに対して、 $h = 15.0\text{ mm}$ のとき中心軸の信号強度が4.9となる。従って、信号強度比が $16.6 / 4.9 = 3.4$ となり、図12(a)の場合と比較して半分程度に抑えられ、上記のような問題を回避することが可能である。

[0122] 図13は、図12(a)における $g = 1.49\text{ mm}$ 、 $h = 22.5\text{ mm}$ の信号強度分布と、図12(b)における $g = 1.54\text{ mm}$ 、 $h = 15.0\text{ mm}$ の信号強度分布とを、それぞれ最大強度について規格化し、比較したものである。図13(a)は縦軸のスケールが0.00~1.00であるのに対して、図13(b)は縦軸のスケールが0.00~0.10であり、図13(a)の縦軸を拡大表示したものである。

[0123] 上述の通り、及び図13に示す通り、スポットサイズ W は、最大強度の1%以上、つまり規格化信号強度が0.01以上となる領域の幅であり、 $g = 1.49\text{ mm}$ 、 $h = 22.5\text{ mm}$ のとき $W = 0.79\text{ mm}$ 、 $g = 1.54\text{ mm}$ 、 $h = 15.0\text{ mm}$ のとき $W = 0.52\text{ mm}$ である。スポットサイズ W が大きくなると、ダイクロイックミラーアレイで生成される異なるスポットがセンサ上で混じり合うため、異なる発光点の間のクロストークを生じたり、多色検出における分光精度が低下したりするという問題が生じる。例えば、図13に示される信号強度分布のスポットAの計測を、スポットAの中心位置、つまり横軸ゼロの位置で行うことにする。そして、隣接する発光点由来のスポットBの中心が $0.52\text{ mm} / 2 = 0.26\text{ mm}$ に位置し、このスポットBの計測をスポットBの中心位置で行うと仮定する。このとき、 $g = 1$

、 54 mm 、 $h = 15.0\text{ mm}$ の場合、スポットBの計測信号に、スポットAの最大強度の1%の強度の信号が混在する。スポットAの最大強度とスポットBの最大強度が等しいとすると、これは1%のクロストークに相当する。これに対して、 $g = 1.49\text{ mm}$ 、 $h = 22.5\text{ mm}$ の場合、スポットBの計測信号に、スポットAの最大強度の100%の強度の信号、つまりスポットAの最大強度と等しい強度の信号が混在する。これは100%のクロストークに相当する。以上より、スポットサイズWが大きくなると、異なる発光点の間のクロストークが急激に増大する場合があることが分かる。従って、本実施形態のダイクロイックミラーアレイによって最大光路長を小さくし、それによってスポットサイズWを小さくすることは、クロストークを低減すること、あるいは多色検出における分光精度を向上する上で大きな効果がある。

[0124] 次に、実施例5に係るダイクロイックミラーアレイの構成要素の具体的な設計を示す。ここで、実施例4と同様のキャピラリアレイDNAシーケンサを用いて、4本のキャピラリを 505 nm のレーザービームで一括照射し、各キャピラリの内部から発光される蛍光を実施例5に係るダイクロイックミラーアレイを用いて9色検出する場合を想定する。

[0125] 基本設計として、実施例5に係るダイクロイックミラーアレイからの分割光C1～C9がそれぞれ次の波長帯の光成分を主として有すること、つまり入射光C0に対してそれぞれ次の波長帯の光を透過することを目標とする。

C1 : 波長帯 $520 \sim 540\text{ nm}$

C2 : 波長帯 $540 \sim 560\text{ nm}$

C3 : 波長帯 $560 \sim 580\text{ nm}$

C4 : 波長帯 $580 \sim 600\text{ nm}$

C5 : 波長帯 $600 \sim 620\text{ nm}$

C6 : 波長帯 $620 \sim 640\text{ nm}$

C7 : 波長帯 $640 \sim 660\text{ nm}$

C8 : 波長帯 $660 \sim 680\text{ nm}$

C9：波長帯680～700nm

[0126] すなわち、波長帯520～700nmの光を、幅20nm、間隔20nmの9個の波長帯の光に等分割する。このような9分割が得られることは、分解能20nmの波長分散スペクトルを得ることと等価である。以下、どのようにして上記の基本設計を実現するかを説明する。

[0127] まず、バンドパスフィルタBPは、波長帯520～700nmの光を透過し、他の波長の光を透過しないようにする。特に、レーザビームの波長505nmの光の透過率を極力小さくする。次に、ダイクロイックミラーM1は、波長帯520～600nmの光を反射し、波長帯600～700nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM2～M5は、波長帯520～600nmの光を、幅20nm、間隔20nmの4個の波長帯の光に等分割するようにする。すなわち、ダイクロイックミラーM2は、波長帯520～540nmの光を反射し、波長帯540～600nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM3は、波長帯540～560nmの光を反射し、波長帯560～600nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM4は、波長帯560～580nmの光を反射し、波長帯580～600nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM5は、波長帯580～600nmの光を反射するようにする。

[0128] 一方、ダイクロイックミラーM6～M10は、波長帯600～700nmの光を、幅20nm、間隔20nmの5個の波長帯の光に等分割する。つまり、ダイクロイックミラーM6は、波長帯600～620nmの光を透過し、波長帯620～700nmの光を反射するようにする。ダイクロイックミラーM7は、波長帯620～640nmの光を反射し、波長帯640～700nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM8は、波長帯640～660nmの光を反射し、波長帯660～700nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM9は、波長帯660～680nmの光を反射し、波長帯680～700nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM10は、波長帯680～700nmの光を反射するようにす

る。

[0129] 図14～23は、以上の基本設計に基づいてバンドパスフィルタBP、及びダイクロイックミラーM1～M9を設計し、それぞれの透過スペクトルを測定した結果を示す。ダイクロイックミラーM10は、ダイクロイックミラーM5と同様の分光特性を有するため、透過スペクトルの図示を省略する。

[0130] ダイクロイックミラーM5を除く各ダイクロイックミラーの透過スペクトルにおいて、主となる透過帯の左肩（波長に対して透過率が上昇する領域）に位置するカットオン波長 λ_C 、又は、主となる透過帯の右肩（波長に対して透過率が下降する領域）に位置するカットオフ波長 λ_C を表記する。カットオン波長 λ_C 又はカットオフ波長 λ_C が複数存在する場合は、いずれかひとつを選択する。ここでは、透過率が50%となり、波長に対して透過率がより急峻に変化しているカットオン波長 λ_C 又はカットオフ波長 λ_C を選択する。

[0131] 図14は、バンドパスフィルタBPの入射角 0° の透過スペクトルである。バンドパスフィルタBPは、波長帯520～700nmの光を透過している。バンドパスフィルタBPのカットオン波長は $\lambda_C(BP) = 520\text{ nm}$ であり、これによってレーザビーム波長505nmの光を強く遮断することができている。

[0132] 図15は、ダイクロイックミラーM1の入射角 45° の透過スペクトルである。ダイクロイックミラーM1は、波長帯520～600nmの光を反射し、波長帯600～700nmの光を透過している。ダイクロイックミラーM1のカットオン波長は $\lambda_C(M1) = 601\text{ nm}$ である。

[0133] 図16は、ダイクロイックミラーM2の入射角 45° の透過スペクトルである。ダイクロイックミラーM2は、波長帯520～540nmの光を反射し、波長帯540～600nmの光を透過している。ダイクロイックミラーM2のカットオン波長は $\lambda_C(M2) = 540\text{ nm}$ である。波長520nm以下に、上記の主たる透過帯とは別の透過帯が存在するが、上記性能が満たされている限り問題はない。

- [0134] 図17は、ダイクロイックミラーM3の入射角 45° の透過スペクトルである。ダイクロイックミラーM3は、波長帯540～560nmの光を反射し、波長帯560～600nmの光を透過している。ダイクロイックミラーM3のカットオン波長は $\lambda_C(M3) = 560\text{nm}$ である。波長540nm以下に、上記の主たる透過帯とは別の透過帯が存在するが、上記性能が満たされている限り問題はない。
- [0135] 図18は、ダイクロイックミラーM4の入射角 45° の透過スペクトルである。ダイクロイックミラーM4は、波長帯560～580nmの光を反射し、波長帯580～600nmの光を透過している。ダイクロイックミラーM4のカットオン波長は $\lambda_C(M4) = 580\text{nm}$ である。波長560nm以下に、上記の主たる透過帯とは別の透過帯が存在するが、上記性能が満たされている限り問題はない。
- [0136] 図19は、ダイクロイックミラーM5の入射角 45° の透過スペクトルである。ダイクロイックミラーM5は、波長帯580～600nmの光を反射し、同時に、波長帯680～700nmの光を反射している。
- [0137] 図20は、ダイクロイックミラーM6の入射角 45° の透過スペクトルである。ダイクロイックミラーM6は、波長帯600～620nmの光を透過し、波長帯620～700nmの光を反射している。ダイクロイックミラーM6のカットオフ波長は $\lambda_C(M6) = 620\text{nm}$ である。波長700nm以上に、上記の主たる透過帯とは別の透過帯が存在するが、上記性能が満たされている限り問題はない。
- [0138] 図21は、ダイクロイックミラーM7の入射角 45° の透過スペクトルである。ダイクロイックミラーM7は、波長帯620～640nmの光を反射し、波長帯640～700nmの光を透過している。ダイクロイックミラーM7のカットオン波長は $\lambda_C(M7) = 641\text{nm}$ である。波長620nm以下に、上記の主たる透過帯とは別の透過帯が存在するが、上記性能が満たされている限り問題はない。
- [0139] 図22は、ダイクロイックミラーM8の入射角 45° の透過スペクトルで

ある。ダイクロイックミラーM8は、波長帯640～660nmの光を反射し、波長帯660～700nmの光を透過している。ダイクロイックミラーM8のカットオン波長は $\lambda_C(M8) = 661\text{ nm}$ である。波長640nm以下に、上記の主たる透過帯とは別の透過帯が存在するが、上記性能が満たされている限り問題はない。

[0140] 図23は、ダイクロイックミラーM9の入射角 45° の透過スペクトルである。ダイクロイックミラーM9は、波長帯660～680nmの光を反射し、波長帯680～700nmの光を透過している。ダイクロイックミラーM9のカットオン波長は $\lambda_C(M9) = 681\text{ nm}$ である。波長660nm以下に、上記の主たる透過帯とは別の透過帯が存在するが、上記性能が満たされている限り問題はない。

[0141] 以上の結果は、上記基本設計に忠実に従うダイクロイックミラーアレイを実際に製造可能であることを示している。

[0142] 実施例5に係るダイクロイックミラーアレイの構成から、入射光C0に対する分割光C1～C9の透過スペクトルは、上記のバンドパスフィルタBP及びダイクロイックミラーM1～M9の透過スペクトルを用いて以下のように計算される。ここで、任意のバンドパスフィルタ、ダイクロイックミラー、及び分割光Xの透過スペクトルを $[X]$ で表し、Xの反射スペクトルを $(1 - [X])$ で表す。

$$[C1] = [BP] \times (1 - [M1]) \times (1 - [M2]) \quad \dots (9)$$

$$[C2] = [BP] \times (1 - [M1]) \times [M2] \times (1 - [M3]) \quad \dots (10)$$

$$[C3] = [BP] \times (1 - [M1]) \times [M2] \times [M3] \times (1 - [M4]) \quad \dots (11)$$

$$[C4] = [BP] \times (1 - [M1]) \times [M2] \times [M3] \times [M4] \times (1 - [M5]) \quad \dots (12)$$

$$[C5] = [BP] \times [M1] \times [M6] \quad \dots (13)$$

$$[C6] = [BP] \times [M1] \times (1 - [M6]) \times (1 - [M7]) \quad \dots (14)$$

$$[C7] = [BP] \times [M1] \times (1 - [M6]) \times [M7] \times (1 - [M8]) \quad \dots (15)$$

$$[C8] = [BP] \times [M1] \times (1 - [M6]) \times [M7] \times [M8] \times (1 - [M9]) \quad \dots (16)$$

$$[C9] = [BP] \times [M1] \times (1 - [M6]) \times [M7] \times [M8] \times [M9] \times (1 - [M5]) \quad \dots (17)$$

[0143] 図24は、図14～23の結果と上記の式を用いて計算した分割光C1～C9の透過スペクトルを示す。この結果は、上記基本設計に忠実に従うダイクロイックミラーアレイを実際に製造可能であることを示している。驚くべきことに、分割光C1～C9の透過波長帯の最大透過率がいずれも90%を超えている。これは、入射光C0の各波長の光量を100%とした場合の比率を示している。例えば、入射光C0に含まれる610nmの光の光量を100%とすると、分割光C5に含まれる610nmの光の光量は96%に及ぶ。このような高効率な分光性能は、例えば回折格子を用いた従来法でも得られない。

[0144] 実施例5に係るダイクロイックミラーアレイにおいては、下記式(18)が満たされることが好ましく、これによりダイクロイックミラーアレイの構成が簡単になる。

$$\lambda C(M2) < \lambda C(M3) < \lambda C(M4) < \lambda C(M1) < \lambda C(M6) < \lambda C(M7) < \lambda C(M8) < \lambda C(M9) \quad \dots$$

(18)

[0145] 図1に従って一般化すると、下記式(19)～(26)のいずれかを満たすことが好ましい。

$$\lambda C(DA2) < \dots < \lambda C(DA(m-1)) < \lambda C(DA1) < \lambda C(DB1) < \dots < \lambda C(DB(n-1)) \quad \dots (19)$$

$$\lambda C(DA(m-1)) < \dots < \lambda C(DA2) < \lambda C(DA1) < \lambda C(DB1) < \dots < \lambda C(DB(n-1)) \quad \dots (20)$$

$$\lambda C(DA2) < \dots < \lambda C(DA(m-1)) < \lambda C(DA1) < \lambda C(DB(n-1)) < \dots < \lambda C(DB1) \quad \dots (21)$$

$$\lambda C(DA(m-1)) < \dots < \lambda C(DA2) < \lambda C(DA1) < \lambda C(DB(n-1)) < \dots < \lambda C(DB1) \quad \dots (22)$$

$$\lambda C(DB1) < \dots < \lambda C(DB(n-1)) < \lambda C(DA1) < \lambda C(DA2) < \dots < \lambda C(DA(m-1)) \quad \dots (23)$$

$$\lambda C(DB(n-1)) < \dots < \lambda C(DB1) < \lambda C(DA1) < \lambda C(DA2) < \dots < \lambda C(DA(m-1)) \quad \dots (24)$$

$$\lambda C(DB1) < \dots < \lambda C(DB(n-1)) < \lambda C(DA1) < \lambda C(DA(m-1)) < \dots < \lambda C(DA2) \quad \dots (25)$$

$$\lambda C(DB(n-1)) < \dots < \lambda C(DB1) < \lambda C(DA1) < \lambda C(DA(m-1)) < \dots < \lambda C(DA2) \quad \dots (26)$$

[0146] このように、本実施形態に係るダイクロイックミラーアレイは、DA1～DA(m-1)及びDB1～DB(n-1)を合わせてサブグループとすると、該サブグループの各ダイクロイックミラーは、所定の入射角における透過スペクトルが互いに異なっていることが好ましい。

[0147] [実施例 6]

一般に、励起光であるレーザービームの強度は、得られる蛍光の強度と比較して何桁も大きいため、高感度に蛍光計測を行うためには、レーザービームの波長の光を遮断し、それよりも長い波長の蛍光を透過させるロングパスフィルタ又はバンドパスフィルタ等を用いる。しかしながら、例えば2種類のレーザービームを用いる場合、2種類のレーザービームを遮断するが、それぞれで励起される複数種類の蛍光を透過させるロングパスフィルタ又はバンドパスフィルタ等を作製することは困難である。

[0148] そこで、特定の波長の光のみを遮断するノッチフィルタを用いる方法を採用することが考えられる。短波長側のレーザービームの波長の光をロングパスフィルタ又はバンドパスフィルタで遮断し、長波長側のレーザービームの波長の光をノッチフィルタで遮断するのである。この方法は、従来のダイクロイックミラーアレイ、あるいは、その他の従来の分光分析法、例えば、回折格子を用いて波長分散させる方法などに用いることができる。しかしながら、ノッチフィルタは非常に高価であるため、その利用は現実的でない。

[0149] そこで、本実施例においては、2種類のレーザービームを励起光源として用い、それぞれの波長の光を遮断しながら、それぞれで励起される蛍光体の発光蛍光をダイクロイックミラーアレイによって10色検出する構成例を説明する。レーザービームの波長は505 nm及び635 nmとする。

[0150] 図25は、実施例6に係るダイクロイックミラーアレイの構成を示す断面図である。本実施例のダイクロイックミラーアレイは、実施例4と同様のキャピラリアレイDNAシーケンサに搭載されるが、2種類の波長のレーザービームを励起光源とする点で、実施例4と異なる。

[0151] 図25に示すように、本実施例に係るダイクロイックミラーアレイは、11個のダイクロイックミラーM1～M11、バンドパスフィルタBP（第1のフィルタ）及びロングパスフィルタLP（第2のフィルタ）を備え、入射光C0を10分割して10個の分割光C1～C10を得る。図示は省略しているが、ダイクロイックミラーM1～M6をAグループとし、ダイクロイッ

クミラーM7～M11をBグループとする。

[0152] バンドパスフィルタBPは、ダイクロイックミラーM1のZ軸負方向側において、XY平面に平行に配置される。

ロングパスフィルタLPは、ダイクロイックミラーM1及びM2の間において、YZ平面と平行に配置される。

[0153] 本実施例のダイクロイックミラーアレイの基本設計として、分割光C1～C10がそれぞれ次の波長帯の光成分を主として有すること、すなわち入射光C0に対してそれぞれ以下の波長帯の光を透過することを目標とする。分割光C1～C5で計測される蛍光は、主として505nmのレーザビームで励起された蛍光体の発光であり、分割光C6～C10で計測される蛍光は、主として635nmのレーザビームで励起された蛍光体の発光である。

C1：波長帯520～540nm

C2：波長帯540～560nm

C3：波長帯560～580nm

C4：波長帯580～600nm

C5：波長帯600～620nm

C6：波長帯650～670nm

C7：波長帯670～690nm

C8：波長帯690～710nm

C9：波長帯710～730nm

C10：波長帯730～750nm

[0154] 以下、どのようにして上記の基本設計を実現するかを説明する。

まず、バンドパスフィルタBPは、波長帯520～750nmの光を透過し、他の波長の光を透過しないようにする。特に、レーザビームの波長505nmの光の透過率を極力小さくして、事実上遮断する。次に、ダイクロイックミラーM1は、波長帯520～620nmの光を透過し、波長帯620～750nmの光を反射するようにする。ダイクロイックミラーM7～M11は、波長帯520～620nmの光を、幅20nm、間隔20nmの5個

の波長帯の光に等分割するようにする。すなわち、ダイクロイックミラーM7は、波長帯520～540nmの光を反射し、波長帯540～620nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM8は、波長帯540～560nmの光を反射し、波長帯560～620nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM9は、波長帯560～580nmの光を反射し、波長帯580～620nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM10は、波長帯580～600nmの光を反射し、波長帯600～620nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM11は、波長帯600～620nmの光を反射するようにする。

[0155] 一方、ダイクロイックミラーM2～M6は、波長帯650～750nmの光を、幅20nm、間隔20nmの5個の波長帯の光に等分割する。まず、ロングパスフィルタLPは、波長帯650～750nmの光を透過し、他の波長の光を透過しないようにする。特に、レーザビームの波長635nmの光の透過率を極力小さくして、事実上遮断する。ダイクロイックミラーM2は、波長帯650～670nmの光を反射し、波長帯670～750nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM3は、波長帯670～690nmの光を反射し、波長帯690～750nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM4は、波長帯690～710nmの光を反射し、波長帯710～750nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM5は、波長帯710～730nmの光を反射し、波長帯730～750nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM6は、波長帯730～750nmの光を反射するようにする。

[0156] 以上のように、複数波長のレーザビームを用いることによって、より多くの種類の蛍光体を励起することでアプリケーションを拡張したり、各種蛍光体の励起効率を上げて高感度に蛍光検出したりすることができる。

[0157] [実施例7]

次に、光をレンズで集光して反応セルに照射し、その透過光を分光分析する装置に、本開示のダイクロイックミラーアレイを応用する例を説明する。

そのような装置の例として、生化学自動分析装置がある。生化学自動分析装置は、例えば血液や尿などの体液成分を検体とし、糖やコレステロール、タンパク、酵素などの各種成分の測定を行う。反応セル中で、検体に含まれる各種成分と試薬が反応することによって、光の吸収スペクトル及び吸光度が変化するため、それらを計測することによって各種成分を定量することができる。

[0158] 従来の生化学分析装置は、反応セルを透過したハロゲンランプ光を回折格子で波長分散させた後、12種類の波長、すなわち波長340nm、405nm、450nm、480nm、505nm、546nm、570nm、600nm、660nm、700nm、750nm及び800nmの光の強度をそれぞれフォトダイオードで検出する方式が採用される。

[0159] 図26は、実施例7に係るダイクロイックミラーアレイの構成を示す断面図である。本実施例のダイクロイックミラーアレイは、例えば上記のような生化学自動分析装置に適用することができる。

[0160] 図26に示すように、本実施例のダイクロイックミラーアレイは、13個のダイクロイックミラーM1～M13と、12個のバンドパスフィルタBP1～BP12（第3のフィルタ）とを備え、入射光C0を12分割して12個の分割光C1～C12を得る。ダイクロイックミラーアレイからの分割光は、それぞれバンドパスフィルタBP1～BP12を通過して分割光C1～C12として、センサのセンサ面Sに入射する。図示は省略しているが、ダイクロイックミラーM1～M7をAグループとし、ダイクロイックミラーM8～M13をBグループとする。

[0161] 本実施例のダイクロイックミラーアレイの基本設計として、入射光C0に対して、分割光C1～C12がそれぞれ波長340nm、405nm、450nm、480nm、505nm、546nm、570nm、600nm、660nm、700nm、750nm及び800nmを中心波長とする光成分を有することを目標とする。

[0162] 以下、どのようにして上記の基本設計を実現するかを説明する。

まず、ダイクロイックミラーM1は、波長帯300～560nmの光を反射し、波長帯560～900nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM2は、波長帯300～380nmの光を反射し、波長帯380～560nmの光を透過するようにする。また、バンドパスフィルタBP1は335～345nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM3は、波長帯380～430nmの光を反射し、波長帯430～560nmの光を透過するようにする。また、バンドパスフィルタBP2は400～410nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM4は、波長帯430～470nmの光を反射し、波長帯470～560nmの光を透過するようにする。また、バンドパスフィルタBP3は445～455nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM5は、波長帯470～490nmの光を反射し、波長帯490～560nmの光を透過するようにする。また、バンドパスフィルタBP4は475～485nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM6は、波長帯490～530nmの光を反射し、波長帯530～560nmの光を透過するようにする。また、バンドパスフィルタBP5は500～510nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM7は、波長帯530～560nmの光を反射するようにする。また、バンドパスフィルタBP6は541～551nmの光を透過するようにする。

[0163] 一方、ダイクロイックミラーM8は、波長帯560～590nmの光を透過し、波長帯590～900nmの光を反射するようにする。また、バンドパスフィルタBP7は565～575nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM9は、波長帯590～630nmの光を反射し、波長帯630～900nmの光を透過するようにする。また、バンドパスフィルタBP8は595～605nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM10は、波長帯630～680nmの光を反射し、波長帯680～900nmの光を透過するようにする。また、バンドパスフィルタBP9は655～665nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM11

は、波長帯680～730nmの光を反射し、波長帯730～900nmの光を透過するようにする。また、バンドパスフィルタBP10は695～705nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM12は、波長帯730～780nmの光を反射し、波長帯780～900nmの光を透過するようにする。また、バンドパスフィルタBP11は745～755nmの光を透過するようにする。ダイクロイックミラーM13は、波長帯780～900nmの光を反射するようにする。また、バンドパスフィルタBP12は795～805nmの光を透過するようにする。

[0164] 以上のように、従来の分光分析法を本開示の方法で置き換えることによって、生化学自動分析装置を小型化できる上、光の利用効率を向上させて感度を向上することが可能である。

[0165] 2. 第2の実施形態

次に、図27を参照して、第2の実施形態に係るダイクロイックミラーアレイについて説明する。本実施形態に係るダイクロイックミラーアレイは、ダイクロイックミラーのグループを3つ以上有する点で、第1の実施形態と異なる。

[0166] 図27は、第2の実施形態に係る13分割ダイクロイックミラーアレイを備える多色検出装置の構成を示す模式図である。図27(a)は、XZ平面による多色検出装置の断面図である。図27(b)は、図27(a)のA矢視図である。

[0167] 図27に示す例においては、ダイクロイックミラーアレイは、AグループのダイクロイックミラーM1～M4、BグループのダイクロイックミラーM5～M8、Cグループ(第3のグループ)のダイクロイックミラーM9～M12、及びDグループのダイクロイックミラーM13～M16を備え、入射光C0を13分割して13個の分割光C1～C13を得る。

[0168] Aグループ～Dグループは、Z軸正方向に沿ってこの順に配置され、ダイクロイックミラーM1、M5、M9及びM13は、いずれもZ軸上に配置される。ダイクロイックミラーM1～M4は、X軸正方向に沿って配列する。

ダイクロイックミラーM5～M8は、X軸負方向に沿って配列する。ダイクロイックミラーM9～M12は、Y軸正方向に沿って配列する。ダイクロイックミラーM13～M16は、Y軸負方向に沿って配列する。

[0169] このように、本実施形態に係るダイクロイックミラーアレイは、4つのグループのダイクロイックミラーを有し、4層構造を有する。以上のような構成を有することにより、入射光C0を13分割して13個の分割光C1～C13を得ることができる。

[0170] 図27に示すように、多色検出装置は、集光レンズL、エリアセンサ及び発光点Pを備える。分割光C1～C13は、Z軸正方向に進行し、エリアセンサのセンサ面Sに垂直に入射し、同時に検出される。

[0171] 分割光C1～C13はそれぞれ、入射光C0の異なる波長帯の成分、すなわち異なる色の成分であるため、それらを同時且つ独立に計測することによって、入射光C0の13色検出が可能である。図27に示す多色検出装置の場合、上記と同様にユニットを用いて最大光路長及び光路長差を評価すると、最大光路長は7であり、光路長差は3である。従って、図27に示すダイクロイックミラーアレイの構造を採用することによって、第1の実施形態及び図3と比較して、最大光路長及び光路長差が一層縮小されることが分かる。

[0172] なお、ダイクロイックミラーのグループ数は4つに限定されず、任意の数とすることができる。この場合、各グループの端部に位置するダイクロイックミラーをZ軸上の異なる位置に配置し、それぞれのグループに属するダイクロイックミラーをXY平面上の異なる位置に配置する。

[0173] 本実施形態において、ダイクロイックミラーのグループ数を一般化すると、分割光の数は、{ダイクロイックミラーの総数－(グループ数－1)}となる。これに対し、従来のダイクロイックミラーアレイにおいては、分割光の数はダイクロイックミラーの総数と等しくなる。

[0174] 3. 第3の実施形態

第1及び第2の実施形態においては、各ダイクロイックミラーの厚さが、

各ダイクロイックミラーの幅、配列間隔などと比べて無視できるほど小さいと仮定し、各ダイクロイックミラーをフラット配置している。しかし、実際には、ダイクロイックミラーアレイの小型化に伴って、厚さの影響が無視できなくなる場合がある。そこで、本実施形態においては、特許文献3に倣い、各ダイクロイックミラーを段差配置する構成を採用する。

[0175] [比較例3]

第3の実施形態の比較例を説明する。図28は、比較例3に係るダイクロイックミラーアレイの構成を示す模式図である。

[0176] 比較例3に係るダイクロイックミラーアレイは、ダイクロイックミラーM1～M9及びバンドパスフィルタBPを備える。

[0177] ダイクロイックミラーM1～M9は、9種類のダイクロイックミラーがX軸方向に配列しているが、Z軸方向における位置がこの順にZ軸負方向にずれている。図28に示されるように、各ダイクロイックミラーM1～M9の入射光と透過光は、各ダイクロイックミラーM1～M9の内部の屈折によって、つまり各ダイクロイックミラーM1～M9の厚さに応じて、互いに平行であるが、中心軸がずれる。従って、図28に示されるような段差配置とすることによって、より幅広の入射光C0を9分割できる、すなわち開口幅を拡大することができる。

[0178] なお、比較例3においては、入射光及び分割光を現実的な幅を持つ光束で描いている。光束は、11本の略等間隔で配列する無限小幅の光線で表現している。図28に描かれている各光線は、反射の法則及び屈折の法則に従って光線追跡された計算結果である。

[0179] ダイクロイックミラーM1～M9のX軸方向の配列間隔の平均を x とし、ダイクロイックミラーM1及びM2のZ軸方向のずれを y とし、ダイクロイックミラー M_k ($2 \leq k \leq 8$)とダイクロイックミラー $M(k+1)$ のZ軸方向のずれの平均を z とする。

[0180] また、ダイクロイックミラーM1～M9の幅を α 、厚さを β とする。ここで、幅 α は、ダイクロイックミラーM1～M9の、XZ平面に平行、且つ法

線ベクトルに垂直な幅と定義する。厚さ β は、ダイクロイックミラーM1～M9の法線ベクトルに平行な幅と定義する。

- [0181] ダイクロイックミラーM1の入射面における光束の入射角は θ_0 であり、上記入射面における屈折角を θ_1 とする。また、ダイクロイックミラーM2～M9の入射面における光束の入射角は $(90^\circ - \theta_0)$ であり、それぞれの入射面における光束の屈折角を θ_2 とする。
- [0182] バンドパスフィルタBPは、ダイクロイックミラーM1のZ軸負方向側において、XY平面に平行に配置される。
- [0183] エリアセンサは、ダイクロイックミラーM1～M9のZ軸正方向側において、XY平面と平行に配置される。分割光C1～C9は、エリアセンサのセンサ面Sに垂直に入射する。
- [0184] 比較例3においては、入射光C0は、Z軸正方向に向かってバンドパスフィルタBPに入射角 0° で入射し、Z軸正方向に進行する透過光となる。バンドパスフィルタBPの透過光は、ダイクロイックミラーM1に入射角 45° で入射し、X軸正方向に進行する反射光と、Z軸正方向の透過光、すなわち分割光C1に分割される。ダイクロイックミラーM1の反射光は、ダイクロイックミラーM2に入射角 45° で入射し、X軸正方向に進行する透過光と、Z軸正方向に進行する反射光、すなわち分割光C2に分割される。以降、ダイクロイックミラーMk ($2 \leq k \leq 8$)の透過光は、ダイクロイックミラーM($k+1$)に入射し、X軸正方向に進行する透過光と、Z軸正方向に進行する反射光、すなわち分割光C($k+1$)に分割される。
- [0185] ここで、比較例3における、ダイクロイックミラーM1～M9の幅 $\alpha = 3.4\text{ mm}$ 、厚さ $\beta = 1.0\text{ mm}$ 、ダイクロイックミラーM1～M9への入射光と上記法線のなす角 $\theta_0 = 45^\circ$ とし、ダイクロイックミラーM1～M9の基材を石英ガラスとし、屈折率 $n_0 = 1.46$ とする。
- [0186] このとき、特許文献3により、最大光路長が最も短く、且つ開口幅が最も広がるベストモードの条件が導出される。図28は、上記ベストモードの条件を満たすような配置となっており、下記式(27)～(29)を満足す

る。また、開口幅 V は、下記式 (30) で与えられる。

$$x = x_0 = \cos \theta_0 * \alpha + \sin \theta_0 * \beta = 3.1 \text{ mm} \quad \dots (27)$$

$$y = y_0 = \cos \theta_0 * \beta = 0.71 \text{ mm} \quad \dots (28)$$

$$z = z_0 = \sin (90 - \theta_0 - \theta_2) / \cos \theta_2 * \beta = 0.32 \text{ mm} \quad \dots (29)$$

$$V = V_0 = a_v * \alpha + b_v * \beta = 2.0 \text{ mm} \quad \dots (30)$$

ここで、 a_v 及び b_v は、それぞれ以下の式 (31) 及び (32) を満たす。

$$a_v = \cos \theta_0 \quad \dots (31)$$

$$b_v = -\cos \theta_0 * \tan \theta_1 \quad \dots (32)$$

また、 θ_1 及び θ_2 は以下の式 (33) 及び (34) で与えられる。

$$\theta_1 = \sin^{-1} (1 / n_0 * \sin \theta_0) \quad \dots (33)$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} (1 / n_0 * \sin (90^\circ - \theta_0)) \quad \dots (34)$$

[0187] このとき、ダイクロイックミラー M1 及び M9 の段差は 2.9 mm にも及んでいる。すなわち、各ダイクロイックミラーの Z 軸方向のずれがないフラット配置とする場合と比較して 2.9 mm だけ最大光路長が長くなる。

[0188] [実施例 8]

第 3 の実施形態の実施例を説明する。図 29 は、実施例 8 に係るダイクロイックミラーアレイの構成を示す模式図である。

[0189] 実施例 8 に係るダイクロイックミラーアレイは、実施例 5 のダイクロイックミラーアレイと同様の構成を有するが、ダイクロイックミラー M1 ~ M5 の Z 軸方向における位置がこの順に Z 軸負方向にずれており、ダイクロイックミラー M6 ~ M10 の Z 軸方向における位置がこの順に Z 軸負方向にずれている点で、実施例 5 と異なっている。

[0190] 比較例 3 と同様に、ダイクロイックミラー M1 ~ M5 の X 軸方向の配列間隔、ダイクロイックミラー M6 ~ M10 の X 軸方向の配列間隔の平均を x とし、ダイクロイックミラー M1 及び M2 の Z 軸方向のずれ、並びにダイクロイックミラー M6 及び M7 の Z 軸方向のずれの平均を y とし、ダイクロイック

クミラー M_j ($2 \leq j \leq 4$) 及びダイクロイックミラー $M_{(j+1)}$ の Z 軸方向のずれ、並びにダイクロイックミラー M_k ($7 \leq k \leq 9$) 及びダイクロイックミラー $M_{(k+1)}$ の Z 軸方向のずれの平均を z とする。

[0191] また、ダイクロイックミラー $M_1 \sim M_{10}$ の幅を α 、厚さを β とする。ここで、幅 α は、ダイクロイックミラー $M_1 \sim M_{10}$ の、 XZ 平面に平行、且つ法線ベクトルに垂直な幅と定義する。厚さ β は、ダイクロイックミラー $M_1 \sim M_9$ の法線ベクトルに平行な幅と定義する。

[0192] ダイクロイックミラー M_1 及びダイクロイックミラー M_6 の入射面における光束の入射角は θ_0 であり、上記入射面における屈折角を θ_1 とする。また、ダイクロイックミラー $M_2 \sim M_5$ 、ダイクロイックミラー $M_7 \sim M_{10}$ の入射面における光束の入射角は $(90^\circ - \theta_0)$ であり、それぞれの入射面における光束の屈折角を θ_2 とする。

[0193] 実施例8においても、特許文献3に倣い、最適な段差配置をすることによって、最大光路長が最も短く、且つ開口幅が最も広くなるベストモードの条件を満たすことができる。比較例3と同様に、 $\alpha = 3.4 \text{ mm}$ 、 $\beta = 1.0 \text{ mm}$ 、 $\theta_0 = 45^\circ$ 、 $n_0 = 1.46$ とすると、式(27)～(30)により、 x_0 、 y_0 、 z_0 、及び V_0 は、それぞれ比較例3と同じ値となる。

[0194] ここで、実施例8において、ダイクロイックミラー M_j ($2 \leq j \leq 4$) 及び $M_{(j+1)}$ の X 軸方向の配列間隔、並びにダイクロイックミラー M_k ($7 \leq k \leq 9$) 及びダイクロイックミラー $M_{(k+1)}$ の X 軸方向の配列間隔は、それぞれ $x_0 = 3.1 \text{ mm}$ である。ダイクロイックミラー M_1 及び M_2 の Z 軸方向のずれ、並びにダイクロイックミラー M_6 及び M_7 の Z 軸方向のずれは、それぞれ $y_0 = 0.71 \text{ mm}$ である。また、ダイクロイックミラー M_j 及び $M_{(j+1)}$ の Z 軸方向のずれ、並びにダイクロイックミラー M_k 及び $M_{(k+1)}$ の Z 軸方向のずれは、それぞれ $z_0 = 0.32 \text{ mm}$ である。そして、ダイクロイックミラーアレイの入射光 C_0 の開口幅は、 $V_0 = 2.0 \text{ mm}$ である。

[0195] このとき、ダイクロイックミラー M_1 及び M_5 の Z 軸方向のずれは 1.7

mmであり、ダイクロイックミラーM6及びM10のZ軸方向のずれも1.7mmである。すなわち、各ダイクロイックミラーのZ軸方向のずれがないフラット配置とする場合と比較して、1.7mmだけ最大光路長が長くなる。この延長された距離は、比較例3のダイクロイックミラーアレイよりも小さい。従って、実施例8のダイクロイックミラーアレイのような段差配置とすることで、一層大きな効果が得られる。

[0196] 式(27)～(30)は、ベストモードにおける配列間隔 x_0 、段差 y_0 、段差 z_0 、及び開口幅 V_0 を与えるが、実際には、配列間隔 x 、段差 y 、段差 z 、開口幅 V は、特許文献3に示されている通り、上記のベストモードにおける値から、ある程度ずれていても効果がある。具体的には、下記式(35)～(37)を満たせばよい。

$$\cos \theta_0 * \alpha \leq x \leq \cos \theta_0 * \alpha + 2 * \sin \theta_0 * \beta \quad \dots (35)$$

$$0 \leq y \leq 2 * \cos \theta_0 * \beta \quad \dots (36)$$

$$0 \leq z \leq 2 * \sin (90 - \theta_0 - \theta_2) / \cos \theta_2 * \beta \quad \dots (37)$$

[0197] 以上のように、実施例8のダイクロイックミラーアレイは、各ダイクロイックミラーを段差配置としているため、開口幅を拡大することができ、また、光路長を縮小することができる。

[0198] 4. 第4の実施形態

図30は、第4の実施形態に係るダイクロイックミラーアレイの構成を示す断面図である。以上の実施形態に示すダイクロイックミラーアレイは、ダイクロイックミラーがすべて入射光C0に対して45°の角度をなしているが、もちろんこれに限定されない。

[0199] 本実施形態に係るダイクロイックミラーアレイは、AグループのダイクロイックミラーM1～M4と、BグループのダイクロイックミラーM7～M9と、Aグループ及びBグループ間に配置されたダイクロイックミラーM5及びM6とを備え、入射光C0を6分割して6個の分割光C1～C6を得る。

[0200] ダイクロイックミラーM1～M4は、XY平面及びYZ平面に対して45°の傾きを有し、互いに平行に、X軸正方向に沿って略等間隔に配列される

。ダイクロイックミラーM7～M9は、XY平面及びYZ平面に対して45°の傾きを有し、互いに平行に、X軸負方向に沿って配列する。AグループのダイクロイックミラーM1～M4及びBグループのダイクロイックミラーM7～M9の入射面の法線は、それぞれXZ平面に平行であり、互いに直交する向きに配置される。ダイクロイックミラーM2（上記DA2に相当）及びダイクロイックミラーM8（上記DB2に相当）は、X軸方向における位置が異なっている。ただし、本実施形態においては、Aグループ及びBグループは、Z軸方向における位置が同じである。

[0201] ダイクロイックミラーM5は、ダイクロイックミラーM1のZ軸正方向側に配置されるが、XY平面及びYZ平面に対して45°ではない傾きを有している。

[0202] ダイクロイックミラーM6は、Aグループ及びBグループとZ軸方向における位置が同じであり、ダイクロイックミラーM1及びM7の間に配置される。ダイクロイックミラーM6は、XY平面及びYZ平面に対して45°ではない傾きを有している。

[0203] このような構成を有することにより、ダイクロイックミラーM1の透過光は、ダイクロイックミラーM5に入射し、ダイクロイックミラーM5の反射光は、ダイクロイックミラーM6に入射し、ダイクロイックミラーM6の反射光は、ダイクロイックミラーM7に入射する。

[0204] 図30に示すように、本実施形態のダイクロイックミラーアレイは、6個の分割光C1～C6のうち、Aグループ由来の分割光C1～C3と、Bグループ由来の分割光C4～C6とを空間的に離すことができる。これにより、それぞれのグループの分割光を異なるセンサで検出することが可能になる。これは、すべての分割光がひとつのセンサに収まり切らないような場合に効果を発揮する。

[0205] なお、本開示は上記の実施形態に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施形態は本開示を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるもの

に限定されるものではない。また、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成を加えることも可能である。また、各実施形態の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

[0206] 例えば、上記実施形態において、ダイクロイックミラーアレイをキャピラリーアレイDNAシーケンサや生化学自動分析装置に適用する例を示したが、これに限定されず、任意の光検出装置を用いることができる。

符号の説明

[0207] DA1～DA_m…Aグループのダイクロイックミラー、DB1～DB_n…Bグループのダイクロイックミラー、M1～M16…ダイクロイックミラー、C0…入射光、C1～C13…分割光、P…発光点、L…集光レンズ、S…センサ面、DS…多色検出装置、1…レーザ光源、2…レーザビーム、3…レーザビーム照射位置、4…バルブ、5…試料注入端、6…試料溶出端、7…陰極側緩衝液、8…陰極、9…陽極側緩衝液、10…陽極、11…ポンプブロック、12…シリンジ、13…電源、CA…キャピラリー、BP…バンドパスフィルタ、g…発光点距離、h…センサ距離、W…スポットサイズ、LP…ロングパスフィルタ