

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7706659号
(P7706659)

(45)発行日 令和7年7月11日(2025.7.11)

(24)登録日 令和7年7月3日(2025.7.3)

(51)国際特許分類

F I

G O 1 N 21/892 (2006.01)

G O 1 N 21/892 A

H O 4 N 1/031 (2006.01)

H O 4 N 1/031

H O 4 N 1/191 (2006.01)

H O 4 N 1/191

請求項の数 16 (全30頁)

(21)出願番号	特願2024-526247(P2024-526247)	(73)特許権者	510192019 株式会社ヴィーネックス 香川県観音寺市吉岡町2 6 2 番地
(86)(22)出願日	令和5年3月27日(2023.3.27)	(74)代理人	100141852 弁理士 吉本 力
(86)国際出願番号	PCT/JP2023/012244	(72)発明者	渡邊 龍太 日本国香川県観音寺市吉岡町2 6 2 番地 株式会社ヴィーネックス内
(87)国際公開番号	WO2023/238480	(72)発明者	岩崎 修 日本国香川県観音寺市吉岡町2 6 2 番地 株式会社ヴィーネックス内
(87)国際公開日	令和5年12月14日(2023.12.14)	審査官	小澤 瞬
審査請求日	令和6年8月30日(2024.8.30)		
(31)優先権主張番号	特願2022-93007(P2022-93007)		
(32)優先日	令和4年6月8日(2022.6.8)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光学ラインセンサ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

副走査方向に搬送される検査対象物を主走査方向に延びる読取ラインで読み取る光学ラインセンサであって、

主走査方向に沿って複数配置された複数の受光レンズと、

主走査方向に沿ってライン状に配置され、前記複数の受光レンズを透過した光を受光する複数の受光素子とを備え、

前記複数の受光素子は少なくとも2列以上の前記読取ラインを形成し、

前記受光レンズは、テレセントリック光学系を構成しており、副走査方向における幅が主走査方向における幅よりも小さいことを特徴とする光学ラインセンサ。

【請求項2】

前記受光レンズは、前記主走査方向及び前記副走査方向に直交する方向から見て矩形状に形成されており、該受光レンズの主走査方向における幅以下に互いに離間して配置されていることを特徴とする請求項1に記載の光学ラインセンサ。

【請求項3】

前記複数の受光素子は、2列以上のアレイ状に配置されることにより複数の受光素子アレイを構成し、

前記複数の受光レンズは、前記複数の受光素子アレイに対応した数だけ配置され、各受光レンズを透過して各受光素子アレイに導かれる光の光軸は、各受光素子アレイの中央部を貫くか、或いは、前記複数の受光レンズは、前記複数の受光素子アレイに対応した数だ

け配置され、各受光レンズを透過して各受光素子アレイに導かれる光の光軸は、各受光素子アレイの中央部から副走査方向に平行に離れた位置を貫くことを特徴とする請求項 1 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 4】

前記複数の受光素子アレイは、2 列の読取ラインにそれぞれ複数配置された各読取ラインよりも短い受光素子アレイであり、一方の読取ラインに配置された受光素子アレイと他方の読取ラインに配置された受光素子アレイとが、主走査方向に沿って交互に千鳥状に配置されていることを特徴とする請求項 3 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 5】

検査対象物に光を照射する複数の光源をさらに備え、

前記複数の光源は、前記読取ラインに平行に並べて配置され、前記複数の光源の光軸は、前記複数の受光レンズを透過して前記複数の受光素子に導かれる光の光軸と交点を結び、かつ該複数の受光レンズを透過して前記複数の受光素子に導かれる光の光軸と交差する仮想平面の任意の位置に配置され、更に互いに隣接する受光レンズの間の中央部に光源が配置されたことを特徴とする請求項 1 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 6】

前記複数の光源は、複数の異なる波長を有する光源を含み、該複数の異なる波長を有する光源を 1 単位として、該 1 単位の光源が主走査方向に複数並べられたことを特徴とする請求項 5 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 7】

前記複数の光源からの光束を集光する集光レンズをさらに備え、

前記集光レンズは、主走査方向のパワーが副走査方向のパワーよりも大きい第 1 集光レンズと、副走査方向のパワーが主走査方向のパワーよりも大きい第 2 集光レンズとを含むか、或いは、前記集光レンズは、1 個のレンズ体であり、該レンズ体が有する主走査方向のパワーが副走査方向のパワーよりも大きいことを特徴とする請求項 5 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 8】

前記集光レンズは、主走査方向のパワーを前記第 1 集光レンズと第 2 集光レンズにより調整可能であることを特徴とする請求項 7 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 9】

前記複数の光源が、白色 LED を含むか、或いは、赤色 LED、緑色 LED 及び青色 LED を含むか、或いは、レーザダイオードを含むことを特徴とする請求項 5 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 10】

前記複数の受光レンズは、主走査方向に沿って 1 列に配置されており、

前記複数の受光レンズは、主走査方向に隣り合う前記受光レンズの端部同士が連結された状態で配置されており、

前記複数の受光レンズは、主走査方向に対し垂直な方向から見たときに同じ形状を有するか、或いは、隣り合う前記受光レンズが反転し連結された状態で配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 11】

前記複数の受光素子は、2 列以上のアレイ状に配置されることにより複数の受光素子アレイを構成し、

前記複数の受光素子アレイは、前記複数の受光レンズのそれぞれの主走査方向の中央部に配置され、主走査方向に沿って交互に千鳥状に配置されており、

前記複数の受光レンズの光軸が、千鳥状に配置された各受光素子アレイから等距離であり、かつ、千鳥状に配置された各受光素子アレイの主走査方向における $1/2$ の長さの位置を貫くか、或いは、前記複数の受光レンズの光軸が、千鳥状に配置された各受光素子アレイの中央部を貫くことを特徴とする請求項 10 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 12】

前記複数の受光素子は、２列以上のアレイ状に配置されることにより複数の受光素子アレイを構成し、

検査対象物を照明し、前記複数の受光素子アレイと一対一に対応している複数の光源をさらに備えることを特徴とする請求項 10 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 13】

前記複数の光源が、前記複数の受光素子アレイに対応して副走査方向に複数ラインの照明光の光強度分布を有することを特徴とする請求項 12 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 14】

主走査方向に隣り合う前記受光レンズの端部間から前記複数の受光素子に向かって延長され、少なくとも前記受光レンズの副走査方向の幅以上の幅を有する遮蔽部をさらに備えており、

10

前記遮蔽部が、前記受光レンズから検査対象物方向に突出していることを特徴とする請求項 10 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 15】

請求項 11 に記載の光学ラインセンサを用いた画像処理方法であって、

主走査方向の同じ位置において副走査方向に離間する２つの前記受光素子からの出力信号について、一方の前記受光素子の出力信号が他方の前記受光素子の出力信号と重なり合った部分の出力信号の一方を選択し、かつ、基準媒体により予め補正した出力信号の一方の信号と他方の出力信号の比による補正をして一方の信号と他方の信号とを合成することにより、前記読取ラインに対応する１列の出力信号とするか、或いは、主走査方向の同じ位置において副走査方向に離間する２つの前記受光素子からの出力信号について、一方の前記受光素子からの出力信号が他方の前記受光素子からの出力信号よりも低く、一方の前記受光素子からの出力信号が閾値に満たない場合に、他方の前記受光素子からの出力信号で補間し、その補間された出力信号を前記一方の受光素子に対して主走査方向の他の位置にある前記受光素子からの出力信号と合成することにより、前記読取ラインに対応する１列の出力信号とすることを特徴とする画像処理方法。

20

【請求項 16】

請求項 11 に記載の光学ラインセンサを用いた画像処理システムであって、

主走査方向の同じ位置において副走査方向に離間する２つの前記受光素子からの出力信号について、一方の前記受光素子の出力信号が他方の前記受光素子の出力信号と重なり合った部分の出力信号の一方を選択し、かつ、基準媒体により予め補正した出力信号の一方の信号と他方の出力信号の比による補正をして一方の信号と他方の信号とを合成することにより、前記読取ラインに対応する１列の出力信号とするか、或いは、主走査方向の同じ位置において副走査方向に離間する２つの前記受光素子からの出力信号について、一方の前記受光素子からの出力信号が他方の前記受光素子からの出力信号よりも低く、一方の前記受光素子からの出力信号が閾値に満たない場合に、他方の前記受光素子からの出力信号で補間し、その補間された出力信号を前記一方の受光素子に対して主走査方向の他の位置にある前記受光素子からの出力信号と合成することにより、前記読取ラインに対応する１列の出力信号とすることを特徴とする画像処理システム。

30

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本願発明は、主として印刷物やフィルムなど薄い検査対象物の表面のキズ・欠陥及び透明フィルムの内部のキズ・欠陥を検出する光学ラインセンサに関するものである。

【背景技術】

【0002】

紙幣などの真贋を判別する検査機や、業務用複写機や、家庭用プリンタスキャナなどのフラットベッドスキャナに用いられてきた密着型光学センサ（以下ＣＩＳと記す）を、印刷物の印刷の出来のチェック、薄物・広幅のフィルム製品の製造工程における表面検査、各種の飲料容器や食品容器及び缶などに貼り付けたラベルの検査などを検査対象とした所

50

謂面検機に応用することが検討されてきており、一部は製品化されている。

【0003】

しかしながら、依然としてSELFOCレンズ（「SELFOC」は登録商標、以下同様）を応用したCISでは作動距離（以下W.D.と記す）が短く、工程で用いる場面では接触を回避するため、W.D.の長いCISが望まれている。加えて、紙幣等の紙葉類の検査では、被写界深度は比較的浅くとも使用に耐えられたが、前記検査対象物の製造工程では該検査対象物の光軸方向への変動が大きい理由からも被写界深度が深いCISも強く望まれている。

【0004】

被写界深度の深いCISは、特許文献1～5に示されるようにミラー光学系を用いたテレセントリック光学系が代表的である。前記特許文献から、該光学系は非常に複雑であることが分かる。該光学系を製造し、商品として運用する際には、非常な困難を伴う。即ち、製造時には、工程が複雑化し、製造安定性やコストアップが問題となる。また、商品化された後にも、環境の変化や経時変化による複雑な光学系であるが故の光軸の狂いが発生し、従来の簡素な構造のCISに比べて性能の劣化を生じ易いなどの問題が残る。

【0005】

そこで、前記テレセントリック反射光学系を用いず、ガラスや樹脂を用いた屈折系のレンズを用い、W.D.や被写界深度を向上させることが考えられる。前記の屈折系の光学系については、特許文献6及び特許文献7に示されるように一定程度の解決策が提案されている。例えば、特許文献6においては、千鳥配置したラインセンサに1個のテレセントリック屈折光学系を離間させて配置し、前記屈折光学系であるレンズを離間配置してアレイ化することにより、被写界深度の深い光学系を実現しようとしている。また、特許文献7においては、離間したレンズの間に仕切り板を設けることにより、レンズ間のクロストークを防止する方法について検討されている。前記の特許文献6及び特許文献7においては、被写界深度の向上並びにレンズ間のクロストークを防止することは出来るが、通常のテレセントリック屈折光学系は、大型であり、コンパクト化は困難である。また、特許文献7に示されている仕切り板では、読み取り時に欠落画素が発生し、読み取りが不完全となる。更に、レンズが離間することにより発生する1個のレンズが原理的に有するシェーディングの解決策については、示されていない。読取ライン方向の所謂リップルの抑制方法についても言及されていない。しかも、現在までに前記の屈折光学系方式は、実現されてもいない。

【0006】

更に、前記方式と別方式であるラインカメラなどのカメラレンズを用いた検査機は、大型であり、製造現場の広幅の検査対象物に対応させるためには、多くの台数が必要である。そのため、装置全体が非常に大型になり、しかもそのコストも莫大なものとなるため、工場の各工程に配備することは困難である。

【0007】

上記の問題を解決するために、工場の各工程に対しても導入可能な小型で安価であり、かつ、W.D.が長く被写界深度の深い新たな屈折系レンズを用い、かつ個々のレンズの有するシェーディングに起因する受光センサ上の光学的ムラであるリップルに対し、新たな抑制方法を用いた照明系からなる光学ラインセンサが望まれる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【文献】特開2018-019334号公報

【文献】特開2018-152713号公報

【文献】特開2009-244500号公報

【文献】特開2018-019334号公報

【文献】特開2018-022948号公報

【文献】特開2009-246623号公報

10

20

30

40

50

【文献】特開平５－１４６００号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００９】

そこで、本願発明は、被写界深度が深くコンパクト化された光学ラインセンサを実現することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００１０】

本願発明に係る光学ラインセンサは、副走査方向に搬送される検査対象物を主走査方向に延びる読取ラインで読み取る光学ラインセンサであって、複数の受光レンズと、複数の受光素子とを備えている。前記複数の受光レンズは、主走査方向に沿って複数配置されている。前記複数の受光素子は、主走査方向に沿ってライン状に配置され、前記複数の受光レンズを透過した光を受光する。前記複数の受光素子は少なくとも２列以上の前記読取ラインを形成する。前記受光レンズは、テレセントリック光学系を構成しており、副走査方向における幅が主走査方向における幅よりも小さい。

【発明の効果】

【００１１】

本願発明によれば、テレセントリック光学系を用いることにより、被写界深度が深い光学ラインセンサを実現することができる。また、受光レンズの副走査方向における幅が主走査方向における幅よりも小さいため、受光レンズを副走査方向に近づけて配置することができ、その結果、光学ラインセンサをコンパクト化することができる。受光レンズを副走査方向に近づけて配置すれば、受光素子も副走査方向に近づけて配置することができるため、受光素子からの出力信号に基づいて得られる検査対象物の画像の処理（例えば画像合成処理）を簡略化することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【００１２】

【図１】典型的なＣＩＳの断面図である。

【図２】ＣＩＳ用ライン状照明光学系の分解斜視図である。

【図３】各受光レンズが単眼レンズとして作用するように配置した場合、各受光レンズの視野が重ならないようにした受光系の模式図である。

【図４】複数の受光素子アレイが配置された受光系の他の例を示した模式図である。

【図５】複数の受光素子アレイが配置された受光系のさらに他の例を示した模式図である。

【図６】各波長に対する $N.A.$ と回折限界の関係を表すグラフである。

【図７Ａ】ＳＥＬＦＯＣレンズＡの有効径と錯乱円径の関係を示したグラフである。

【図７Ｂ】ＳＥＬＦＯＣレンズＢの有効径と錯乱円径の関係を示したグラフである。

【図７Ｃ】ＳＥＬＦＯＣレンズＣの有効径と錯乱円径の関係を示したグラフである。

【図８Ａ】ロッドレンズＡの有効径と錯乱円径の関係を示したグラフである。

【図８Ｂ】ロッドレンズＢの有効径と錯乱円径の関係を示したグラフである。

【図８Ｃ】ロッドレンズＣの有効径と錯乱円径の関係を示したグラフである。

【図８Ｄ】ロッドレンズＤの有効径と錯乱円径の関係を示したグラフである。

【図９Ａ】ＲＧＢ－ＬＥＤ、或いは、ＲＧＢ－ＬＤ（レーザダイオード；半導体レーザ）を光源として用いる場合の配置方法の１例を示した模式図である。

【図９Ｂ】ＬＤを光源として用いる場合の配置方法の具体例を示した側面図である。

【図１０Ａ】光源と受光レンズの位置関係を示した模式図であり、受光素子アレイが２列の場合である。

【図１０Ｂ】主走査方向における光源（検査面上）の光量分布、受光素子面上の光量分布、受光レンズのシェーディングの関係を示した図である。

【図１０Ｃ】レンズ径別の受光系ＭＴＦのグラフ（ $\sqrt{A}=0.077$ ）である。

【図１０Ｄ】レンズ径別の受光系ＭＴＦのグラフ（ $\sqrt{A}=0.154$ ）である。

【図１０Ｅ】屈折率分布定数 $\sqrt{A}$ が $\sqrt{A}=0.1027$ の受光光学系のＭＴＦのグラフで

10

20

30

40

50

ある。

【図 1 1】デフォーカス時の MTF 特性を示すグラフである。

【図 1 2 A】受光系の変形例を示した模式図である。

【図 1 2 B】受光系の変形例を示した模式図である。

【図 1 2 C】受光系の変形例を示した模式図である。

【図 1 2 D】受光系の変形例を示した模式図である。

【図 1 2 E】受光系の変形例を示した模式図である。

【図 1 2 F】受光系の変形例を示した模式図である。

【図 1 2 G】受光系の変形例を示した模式図である。

【図 1 2 H】受光系における光軸の位置について説明するための模式図である。

10

【図 1 2 I】受光系における光軸の位置について説明するための模式図である。

【図 1 3】レンズ端部が平行四辺形の場合の光源の光強度分布がフラットな場合の受光素子アレイの受光面上の光強度分布を示す図である。

【図 1 4】隣り合う受光レンズ同士の連結部近傍の光強度分布の詳細を示す図である。

【図 1 5】図 1 2 E の例において、受光領域の光強度を示し、信号欠落部が生じない理由を概略的に表す。

【発明を実施するための形態】

【0013】

1. 光学ラインセンサの全体構成

典型的な C I S を図 1 に、同様に C I S 用ライン状照明光学系を図 2 に示す。図 1 においては、C I S の長手方向中央部近傍における断面図が示されている。一方、図 2 は分解斜視図である。X 方向が主走査方向であり、Y 方向が副走査方向である。Z 方向は、X 方向及び Y 方向に直交している。ライン状の光源部 10 は、主走査方向に細長い光量分布を有する照明光学系である。

20

【0014】

図 1 に示す C I S では、焦点面（検査面）20 を挟んで 2 つの筐体 16 が対向配置されている。各筐体 16 内には、焦点面 20 上にある検査対象物を照明するためのライン状の光源部 10 が設けられている。一方の筐体 16 内には、受光レンズ 11 及び受光部 12 が設けられており、照明された検査対象物からの光は、受光レンズ 11 により受光部 12 へと導かれる。受光レンズ 11 は、検査対象物からの光を受光部 12 に結像する。図 1 に示す C I S では、焦点面 20 を基準にして、2 つの光源部 10 のうちの一方が受光部 12 側に配置され、他方が受光部 12 側とは反対側に配置されている。

30

【0015】

受光部 12 は、一方の筐体 16 に固定された基板 13 に実装されている。受光レンズ 11 を通過した光は、受光部 12 の受光面 12 A で受光され、その受光量に応じた信号が受光部 12 から出力される。検査対象物が焦点面 20 に沿って一方向 Y に搬送されることにより、検査対象物からの光が連続的に受光部 12 で受光され、受光部 12 からの出力信号に基づいて検査対象物の画像（カラー画像や蛍光画像など）が得られる。このように、副走査方向（Y 方向）に搬送される検査対象物は、主走査方向（X 方向）に延びる受光部 12 によって、該受光部 12 の受光面 12 A により構成される読取ラインで読み取られる。

40

【0016】

一方の光源部 10 から出射された光 B 3 は、筐体 16 に固定された保護ガラス 14 を透過して、他方の筐体 16 に固定された保護ガラス 14 A の内面に設けられている反射部材 17 A で反射し、焦点面 20 に導かれる。焦点面 20 から受光部 12 までの任意の位置には、受光部 12 に紫外光が入射するのを阻止する紫外光遮断フィルタ（UV カットフィルタ）15 が設けられている。また、受光部 12 と紫外光遮断フィルタ 15 との間には、特定波長範囲の可視光を通過させるカラーフィルタ 18 が設けられている。一方の筐体 16 内における光源部 10 の底面に対向する位置には、光源部 10 に備えられた光源 10 3（紫外光源や可視光源など）を固定するための基板 5 が設置されている。

【0017】

50

図1及び図2に示す例では、光源部10は、長手方向Lに沿って延びる透明な導光体101と、長手方向Lの一方の端面付近に設けられた光源103と、導光体101の各側面を保持するためのカバー部材102とを備えている。光源103から出射した光は、導光体101に入射し、該導光体101中を伝搬しながら光拡散パターンPにより適宜反射され、光出射面から矢印方向に出射し、ライン状の照明光となって検査対象物を照明する。このようなCISの被写界深度は浅く、検査対象物に厚みがある場合は厚み方向全体の検査は困難であり、かつ、W.D.が狭いため、検査対象物に接触し、検査そのものが成立しない場合が多い。

【0018】

前記のようなCISでは、受光レンズ11として、例えばSELFOC（日本板硝子株式会社製）レンズアレイが用いられる。SELFOCレンズアレイは、正立等倍のレンズアレイである。該レンズアレイでは、円柱状のSELFOCレンズを俵積みし、多眼レンズとしている。多眼レンズの利点は、レンズ単体よりも所謂レンズの明るさを明るくすることが可能であることである。即ち、レンズ単体のFナンバーよりも単体レンズを複数個並べて多眼レンズとした場合のFナンバーのほうが小さい。これは、任意の位置にある1個のレンズの焦点位置と該レンズの周囲のレンズの焦点位置が一致した箇所で、有効Fナンバーが小さくなるからである。逆に言えば、正立レンズ系においては、開口数（以下N.A.と記す）がレンズ単体よりもアレイ化したほうが大きくなることを意味する。この性質が、CISにSELFOCレンズアレイが用いられる大きな理由となっている。

【0019】

前記のようなCISの利点は、被写界深度及び焦点深度の観点からは、逆に不利となる。単眼レンズでもそうであるように、開口数が大きくなれば、被写界深度は浅くなる。例えば顕微鏡対物レンズでは、倍率が大きくなり、即ちN.A.が大きくなるに従い、被写界深度が浅くなることは、よく知られていることである。また、カメラレンズにおいても、遠景と近景とでは、被写界深度の長短が如実に示され、被写界深度を確保するために絞りで調整している。即ち、N.A.を変化させ、所望の被写界深度を得ている。加えて、SELFOCレンズに代表される正立多眼レンズは、各レンズの光軸が異なり交差するため、単眼レンズと比べ、検査対象物が光軸方向に変化した場合に像がボケ易い構造となっている。上記が俵積み方式の多眼SELFOCレンズアレイの大きな欠点である。そこで、如何にすれば、コンパクトな光学ラインセンサの被写界深度を深くすることが可能であるかを検討した結果、得られた実施例を以下に記す。以下の実施例において、受光レンズ11は、テレセントリック光学系を構成している。

【0020】

2. 受光系の実施例

まず、第一の方法は、図3に示すように光学ラインセンサを単眼レンズ化したと見做せるアレイ構造とすることである。図3は、各受光レンズ11の視野が重ならないようにした受光系の模式図である。図3では、各受光レンズ11の視野が重ならないように、各受光レンズ11を主走査方向（X方向）に離間して配置するとともに、各受光レンズ11を副走査方向（Y方向）にも離間させることにより、各受光レンズ11が千鳥状に配置されている。

【0021】

即ち、俵積み方式ではなく、主走査方向（X方向）に沿って複数配置された複数の受光レンズ11同士が、互いに離間して配置されている。主走査方向（X方向）に沿って複数配置された複数の受光レンズ11は、レンズホルダー110により一体的に保持されている。各受光レンズ11に対してZ方向に対向する位置には、複数の受光素子（図示せず）が主走査方向（X方向）に沿ってライン状に配置されることにより構成される受光素子アレイ120が配置されている。すなわち、複数の受光素子が、主走査方向（X方向）に沿ってアレイ状に配置されることにより1つの受光素子アレイ120が構成されている。各受光素子は、各受光レンズ11を透過した光を受光する。

【0022】

この例では、各受光レンズ11に対応付けて受光素子アレイ120が配置されている。これにより、短尺センサからなる各受光素子アレイ120が、主走査方向（X方向）に沿って交互に千鳥状に配置されている。主走査方向（X方向）に沿って複数配置された複数の受光素子アレイ120は、1列の読取ラインLを形成しており、図3の例では2列の読取ラインLが形成されている。レンズホルダー110は、各読取ラインLに対応付けて設けられる構成に限らず、1つのレンズホルダーで各読取ラインLに対応する複数の受光レンズ11を一体的に保持するような構成であってもよい。

【0023】

この図3に示すように、1つの受光素子アレイ120に対し、1つの受光レンズ11を対応させることにより、複数の受光素子アレイ120に対応した数だけ複数の受光レンズ11が配置されてもよい。各受光レンズ11を透過して各受光素子アレイ120に導かれる光の光軸は、1対1に対応する各受光素子アレイ120の主走査方向（X方向）の略中央部を貫いてもよい。この方式では、複数の受光素子アレイ120を副走査方向（Y方向）に複数列並べる。即ち受光素子の配列方向（X方向）に対して直角方向（Y方向）に離間して、複数列の受光素子アレイ120が配置される。

【0024】

各受光レンズ11は、副走査方向における幅W1が主走査方向における幅W2（レンズ径）よりも小さい。すなわち、各受光レンズ11は、主走査方向に沿って細長い形状を有している。各受光レンズ11の副走査方向における幅W1は、各受光レンズ11の副走査方向における視野に対応している。また、各受光レンズ11の主走査方向における幅W2は、各受光レンズ11の主走査方向における視野に対応している。各受光レンズ11は、 $N.A.$ が $0.001 < N.A. < 0.05$ を満足するように、副走査方向における幅W1が設定されていることが好ましい。この例では、各受光レンズ11が同一形状を有しており、それぞれ主走査方向及び副走査方向に直交する方向（Z方向）から見て矩形状に形成されている。ただし、各受光レンズ11は、矩形（長方形）に限らず、長円形又は楕円形であってもよいし、他の形状であってもよい。

【0025】

複数の受光レンズ11は、該受光レンズの主走査方向における幅W2以下に互いに離間して配置されている。すなわち、複数の受光レンズ11は、該受光レンズ11の主走査方向における視野寸法以下（視野範囲内）に互いに離間して配置されていることが好ましい。図3の例のように、副走査方向において各受光レンズ11の視野を重畳させてもよい。この場合は、複数の受光レンズ11の視野が重なった部分の受光素子について、該受光素子からの画素出力を減算処理すればよい。例えば、該受光素子より出力されたデータから一方の受光レンズ11の画像（一方の受光レンズ11を透過した光の受光量）を除外するか、或いは、画像合成する際に該受光素子からの画素出力を略半分の出力値とすればよい。複数の受光素子列（受光素子アレイ120）を用いれば、画素欠落の発生を1ラインの受光素子列の場合よりも確実に防止できる。

【0026】

図4は、複数の受光素子アレイ120が配置された受光系の他の例を示した模式図である。図4の例では、各受光レンズ11と各受光素子アレイ120が1対1に対応するのではなく、主走査方向に並ぶ複数（この例では2つ）の受光レンズ11が1つの受光素子アレイ120に対応している。

【0027】

1つの受光素子アレイ120に対応する複数の受光レンズ11は、主走査方向に隣接している。ただし、1つの受光素子アレイ120に対応する複数の受光レンズ11は、互いに離間していてもよく、この場合、受光レンズ11の主走査方向における幅W2以下に互いに離間していてもよい。また、各受光レンズ11の間には、遮光部材が設けられていてもよい。

【0028】

図5は、複数の受光素子アレイ120が配置された受光系のさらに他の例を示した模式

図である。図5では、同じ長さの長尺センサ（主走査方向全長に対応した長さ）からなる各受光素子アレイ120が、副走査方向に並べて平行に複数（この例では2つ）配置されている。この図5に示すように、主走査方向（X方向）に並ぶ複数の受光レンズ11に対し、1つの受光素子アレイ120を対応させることにより、副走査方向（Y方向）の受光レンズ11の列の数だけ複数の受光素子アレイ120が配置されてもよい。

【0029】

図3～図5のいずれにおいても、受光レンズ11の副走査方向における幅W1が主走査方向における幅W2よりも小さいため、受光レンズ11を副走査方向に近づけて配置することができ、その結果、光学ラインセンサをコンパクト化することができる。上記のように、短尺の受光素子アレイ120を千鳥状配列して用いるか（図3及び図4参照）、或いは、2列の受光素子アレイ120を離間して配置して用いてもよいが（図5参照）、これに限らず、更に多くの複数の受光素子アレイ120を副走査方向（Y方向）に離間して配置してもよい。

【0030】

3. 受光レンズの長焦点化

次に、受光レンズの長焦点化について述べる。従来のSELFOCレンズはCISのコンパクト化やコストダウンに重きを置き、共役長のより短いレンズが求められてきた。しかしながら、この流れは、許容される被写界深度を減じてしまうことを助長する要因となっている。しかもレンズ径は益々小さくなってきている。受光レンズを長焦点化する場合、従来の受光レンズを利用すると、N.A.が極端に小さくなる。故に回折の影響が大きくなり、受光レンズ自身の有する幾何光学的な収差によるボケよりも回折限界によるボケが光学的分解能劣化の支配要因となる。従来方式のCISは、N.A.が大きいいため、回折限界による像のボケが生じることを無視出来ていた。しかし、W.D.を長くするためには、受光レンズの焦点距離を延ばすことが必要であり、即ち、N.A.が小さくなってしまいうため、従来のレンズ径では、焦点距離が増大すればするほど回折の影響もそれに伴い増大する。本実施形態では、レンズ径を大きくすることでW.D.を長くし、回折限界による像のボケを減じた場合においても、光学的分解能を劣化させない方法を提案する。

【0031】

アップの回折限界dは、開口数N.A.に逆比例する。光学系は空気中にあるため、空気中の波長λを用いて下記式1が成り立つ。

$$d = \lambda / N.A. \quad (\text{式1})$$

図6に各波長に対するN.A.と回折限界の関係を表す。同じレンズパラメータの受光レンズ11においては、受光レンズ11自身の所謂ピッチを短くすれば焦点距離は伸び、収差の影響も少なくなる。

【0032】

以上より、受光レンズ11を長焦点化するためには、レンズ径をより大きくする必要があることが分かる。N.A.を同一に保てば、回折の影響を短い焦点の受光レンズ11と同等にできる。しかしながら、レンズ径を大きくすると幾何光学的収差が大きくなる。そこで、レンズパラメータの異なる受光レンズ11において、レンズ径を大きくした場合の最小錯乱円径を検討する必要がある。波長λは、回折限界径の大きい $\lambda = 630 \text{ nm}$ とした。

【0033】

本願発明者による検討の結果、ある受光レンズ11の各焦点距離に対する最小錯乱円の関係を考えればよいことが判明した。例えば、焦点距離fが $f = 50 \text{ mm}$ の場合を図7A～図7Cに示す。ここでは、受光レンズ11として3種類のSELFOCレンズ（SELFOCレンズA、SELFOCレンズB及びSELFOCレンズC）を用いた場合に、図7AはSELFOCレンズAの有効径と錯乱円径の関係、図7BはSELFOCレンズBの有効径と錯乱円径の関係、図7CはSELFOCレンズCの有効径と錯乱円径の関係をそれぞれ示している。図7A～図7Cにおいて、実線はトータルの錯乱円、破線は回折による錯乱円、一点鎖線は幾何光学的錯乱円をそれぞれ示している。

【0034】

図6と図7Aによれば、最小錯乱円と回折限界の関係、即ち、あるレンズ径と焦点距離における光学的分解能が分かる。故に、図7Aに示した受光レンズ11の場合は、有効径 ϕ が大きくなるほど、錯乱円径が小さくなり、有効径 ϕ が $1.0\text{ mm} \leq \phi \leq 3.0\text{ mm}$ であれば良いことが分かる。

【0035】

一方、図6と図7Bによれば幾何光学的錯乱円が大きく、回折による依存度が少なくなるため、 $\phi = 1.0\text{ mm}$ の錯乱円径が一番小さい。しかも、 $\phi = 1.0\text{ mm}$ のときでも、図7Aに示した受光レンズ11の倍近くの錯乱円径となる。図7Aに示した受光レンズ11は、図7Bに示した受光レンズ11よりも収差が小さく、有効径が大きいSELFOCレンズであり、図7Aの受光レンズ11を選択すべきであることが分かる。更に、同じ焦点距離である図7Aの受光レンズ11は、図7Bの受光レンズ11よりもN.A.が少なくとも3倍は大きくでき、即ち、受光光量は、9倍以上になり、故に、受光素子の出力も9倍以上になる。それに伴い受光素子の受光光量に依存するショットノイズも $1/3$ に減じられるため、ノイズ抑制の観点からも図7Aに示した受光レンズ11が好ましい。また、同じノイズ量が許容される場合は、図7Aの受光レンズ11が図7Bの受光レンズ11に比べ、9倍に走査速度を向上させることが出来るとも言える。

【0036】

図7Cによれば、SELFOCレンズCもSELFOCレンズAと同様に収差が少なく、有効径を大きくとることが可能である。

【0037】

次に、図7A～図7Cに示したSELFOCレンズA～Cのパラメータを下記表1に示す。表1に示した中で最も重要なパラメータは屈折率分布定数である。有効径を拡大し、焦点距離を伸ばした際に収差が少ない受光レンズ11は、屈折率分布定数が最も小さいSELFOCレンズAであり、次に収差が少ない受光レンズ11は、SELFOCレンズCである。高解像度で高速検査を目指すには、有効径が大きくて明るく、収差の少ない受光レンズ11が好ましいことは言うまでもない。

【表1】

	焦点距離 (mm)	軸上屈折率	屈折率分布定数 (1/mm)
SELFOCレンズA	50	1.615	0.077
SELFOCレンズB			0.154
SELFOCレンズC			0.103

【0038】

更に、受光レンズ11として4種類のプラスチックロッドレンズ（プラスチック屈折率分布型レンズ）を用いた場合に、図8AはロッドレンズAの有効径と錯乱円径の関係、図8BはロッドレンズBの有効径と錯乱円径の関係、図8CはロッドレンズCの有効径と錯乱円径の関係、図8DはロッドレンズDの有効径と錯乱円径の関係をそれぞれ示している。図8A～図8Dにおいて、実線はトータルの錯乱円、破線は回折による錯乱円、一点鎖線は幾何光学的錯乱円をそれぞれ示している。また、図8A～図8Dに示したロッドレンズA～Dのパラメータを下記表2に示す。プラスチックロッドレンズにおいてもSELFOCレンズと同様の傾向があることが分かる。プラスチックロッドレンズの屈折率、及びガラスレンズの屈折率を考慮すると、軸上屈折率は、1.45程度から1.65程度が好ましい。

10

20

30

40

50

【表 2】

	焦点距離 (mm)	軸上屈折率	屈折率分布定数 (1/mm)
ロッドレンズA	50	1.491	0.28
ロッドレンズB			0.14
ロッドレンズC			0.105
ロッドレンズD			0.07

【0039】

以上より、屈折率分布定数が収差の支配要因であることが分かる。理想的な屈折率分布型レンズであれば、屈折率が緩やかに変化すればするほど収差は少なくなる。これは、通常の球面レンズであっても急激な角度変化が収差の発生要因であるのと同様である。急激な角度変化は、Snell' Lawを多項式展開した際の高次の非線形効果の増大を意味する。即ち、近軸光学からの逸脱が大きくなるために収差が大きくなるのである。本願発明者は、焦点距離、或いは、W.D.を略50mm以上、有効径Φが略 $\Phi \geq 1.0$ mmにおいて、解像度が400dpi以上の画素分解能を達成するために、屈折率分布定数を0.12以下にすることが好ましいことを見出した。

【0040】

4. 受光レンズの変形例

本願発明における受光レンズ11は、SELFOCレンズやプラスチックロッドレンズなどの屈折率分布型のレンズに限らず、他のレンズ、例えば、アクロマート（色消し）、アポクロマートなどにおいて、コストを考慮し、前記の屈折率分布型レンズにおける非線形効果による収差を同等にした、即ち球面収差、コマ収差、非点収差を同等にしたレンズ、或いは、テレセントリック屈折光学系を前記の屈折率分布型レンズにおける非線形効果による収差および回折限界が同等のSELFOCレンズやプラスチックロッドレンズなどの屈折率分布型のレンズに代えて同様な配置や寸法（口径）で用いることも可能である。これは、後述する倒立像を形成する受光レンズ11においても同様である。

【0041】

前述した光学系は、正立レンズを中心にした場合であるが、視野が重ならない場合においては倒立光学系であってもよい。すなわち、複数の受光レンズ11が、倒立像を形成するような構成であってもよい。2列方式のレンズアレイであれば、倒立光学系の採用も可能である。倒立光学系の場合は、像が光軸を中心に反転対称となるため、画像合成する際に画像処理によって倒立像を正立像に変換すればよい。すなわち、複数の受光レンズ11の反転像を反転させ、正立像に変換した後に画像合成処理をすればよい。また、その操作の過程で、補正アルゴリズムから重なり合った部分の要又は不要を決定及び補正し、決定した画素間の関係から正立像に変換すればよい。或いは、画像を構築しない場合の検査においては、キズ又は欠陥を検出するのみでよい。画像合成並びに画像処理の必要はなく、検査面における検出部分が重畳していてもよい。重畳する場合は、予め補正チャートによる位置の補正をしておく。

【0042】

更に、倒立型屈折光学系の場合は、各受光素子に対する信号処理において、例えば、副走査方向に離間するように千鳥配置された2列の受光素子アレイの一方から得たデータを長めに取得し、他方の受光素子アレイから得たデータを短めに取得し、取得した像の正立像への反転操作を行った後に、画像合成してもよい。或いは、各受光素子の倒立像データを正立像に各々変換した後に、画像合成する際に重なり合った部分に補正係数を掛けるか減算してもよい。

【0043】

具体的には、倒立型屈折光学系において、複数の受光素子アレイが、2列の読取ラインにそれぞれ複数配置された各読取ラインよりも短い受光素子アレイであってもよい。また

、一方の読取ラインに配置された受光素子アレイと他方の読取ラインに配置された受光素子アレイとが、主走査方向に沿って交互に千鳥状に配置されていてもよい。このような構成は、図3において説明した正立型屈折光学系の場合と同様であるため、詳細な説明を省略する。

【0044】

この場合、図3に示すように、複数の受光素子は、2列以上のアレイ状に配置されることにより複数の受光素子アレイ120を構成している。また、複数の受光素子アレイ120の各々は、読取ラインLに直交する方向において受光レンズ11の主走査方向における幅W2以下に互いに離間して配置されている。複数の受光レンズ11は、複数の受光素子アレイ120に対応した数だけ配置され、各受光レンズ11を透過して各受光素子アレイ120に導かれる光の光軸は、各受光素子アレイ120の略中央部を貫く。ただし、各受光レンズ11を透過して各受光素子アレイ120に導かれる光の光軸は、各受光素子アレイ120の略中央部から副走査方向に平行に離れた位置を貫いていてもよい。

【0045】

5. 照明光学系の構成

本実施例において、受光レンズ11の焦点距離 f は、 $f = 50\text{ mm}$ 、 $N.A.$ は、 $N.A. = 0.01$ 、 0.02 、 0.025 、 0.03 とし、屈折率分布定数 $\sqrt{A}$ は、 $\sqrt{A} = 0.077$ とした。光源103に関しては、 $W.D.$ が従来のCISに比べて10倍以上長い場合、等倍系では、検査面照度は100倍以上を必要とする。そのため、光源103として、例えば高輝度の白色LEDアレイを用いる。すなわち、複数の光源103が、白色LEDを含む構成であってもよい。可視域の半導体レーザを光源103として用いる場合は、出射ビームを主走査方向に拡大し、副走査方向にコリメーションすることで照射時の光量ムラを低減する。

【0046】

RGB-LED、或いは、RGB-LD（レーザダイオード；半導体レーザ）を光源103として用いる場合の配置方法の1例を図9Aに示す。このように、複数の光源103が、赤色LED（R）、緑色LED（G）及び青色LED（B）を含む構成であってもよいし、レーザダイオードを含む構成であってもよい。図9Aにおいて、複数の光源103は光源基板134に実装されており、光源基板134にはヒートシンク135が取り付けられている。各光源103から出射されたビームは、主走査方向と副走査方向とでレンズパワーが異なる楕円体形状の集光レンズ104でコリメートされ、検査対象物に照射される。ここでは、楕円体形状の集光レンズ104を示したが、主走査方向と副走査方向とで適宜レンズパワーが異なるレンズであればよい。なお、レンズのパワーとは、焦点距離の逆数であり、レンズの屈折力を表す尺度である。

【0047】

或いは、LDに関しては、LD自身の出射ビームの拡がり角が水平方向及び垂直方向で異なる端面発光型のLDを用いれば、通常のコリメータレンズでもよい。図9Bは、LDを光源103として用いる場合の配置方法の具体例を示した側面図である。この場合は、拡がり角が大きいほうのLDを主走査方向に対して平行に配置する。光源103を構成する赤色LD131、緑色LD132及び青色LD133から出射されたビームは、それぞれに対応付けられた集光レンズ104でコリメートされた後、シリンドリカルレンズ105により検査面に絞り込まれる。こうすることで、RGBの各色が副走査方向においてほぼ同じ位置に照射され、副走査方向に対する色ムラを低減することが可能になる。一方、LEDやLDなどの光源103により照射され、検査面で拡散反射された光は、受光レンズ系で受光素子アレイに結像される。受光素子は、等倍光学系では、 400 dpi 相当の $62\text{ }\mu\text{m}$ の素子サイズから 600 dpi 相当の $42\text{ }\mu\text{m}$ の素子サイズを用いる。 600 dpi 以上の素子サイズを用いる場合は、照明光のパワーをそれに応じて増大させればよい。このように、複数の光源103が、複数の異なる波長を有する光源131～133を含み、該光源131～133を1単位として、該1単位の光源103が主走査方向（X方向）に複数並べられた構成であってもよい。

【0048】

更に、単位面積当たりの放射輝度が同じであっても受光素子のサイズが異なれば、発光部の面積が異なることと同義になるため、受光素子面積のほぼ二乗に逆比例して受光光量が低下する。以上を考慮し、照明光量を決定する。素子サイズが小さくなると、同じ蓄積時間では、素子面積に逆比例して受光光量が減少する。これは半導体受光素子の物理的な性質であり、 S/N を維持するためには、照明光を増大させて、パワー密度を増大させ、単位時間に発生する生成電子数を同数にすればよい。これにより、ショットノイズを受光素子のサイズが減少しても大きなサイズの受光素子と同等に維持できる。また、受光素子が受光する光は、検査面の照度だけでなく、受光する際に受光素子の見ている範囲にも依存する。言うまでもなく受光立体角が異なり、その角度が減少すれば、受光量も減少し、検査面が完全拡散面であれば、所謂 $\cos \theta$ 則に応じた受光光量となる。検査面上から拡散反射された光は、受光レンズにより補足され受光素子に集光され、その出力信号が、受光素子から出力される。また、受光素子列からの出力信号は、シリアルからパラレルに分岐されて、処理速度を向上させ、画像処理装置に伝達される。

10

【0049】

図10Aは、光源103と受光レンズ11の位置関係を示した模式図であり、受光素子アレイ120が2列の場合である。図10Aでは、2列に配列した受光レンズ11並びに受光素子アレイ120に対する光源103の配置が示されている。本実施例では、光源103が2列の読取ラインLの略中央部に配置されている。各光源103は、読取ラインLに平行に並べて配置されている。また、各光源103の光軸は、各受光レンズ11を透過して各受光素子アレイ120に導かれる光の光軸と交点を結び、かつ各受光レンズ11を透過して各受光素子アレイ120に導かれる光の光軸と交差する仮想平面の任意の位置に配置されている。本実施例においては、受光レンズ11の焦点距離 f が $f = 50 \text{ mm}$ 、レンズ径 ϕ が $\phi = 4 \text{ mm}$ （但し、幾何光学的収差を考慮し、アパーチャーを用いて有効径 ϕ' は $\phi' = 2.5 \text{ mm}$ とした）である。本実施例では、検査面に対して、約45度の角度で光源103から光が照射される。そのため、受光レンズ11のW.D.を考慮し、光源103と検査面との距離は70mmとした。本実施例では、LEDを用いたが、各波長のLEDを用いてもよい。

20

【0050】

光源103の配列ピッチはレンズ間距離に合わせ、互いに隣接する受光レンズ11の間の略中央部であると同時に2列の読取ラインLの略中央部である位置に光源103が配置されている。こうすることにより検査面上の画素の欠落をより防止出来ると同時に、受光レンズ11のシェーディング並びに光源103の光量ムラをより低減出来る。各列の受光レンズ11間のレンズピッチを7mmとした。この場合、実質的なレンズピッチは、3.5mmとなる。

30

【0051】

図10Bは、主走査方向における光源103（検査面上）の光量分布、受光素子面上の光量分布、受光レンズ11のシェーディングの関係を示した図である。図10Aのレイアウトにおいて、受光素子アレイ120上の光量分布は、模式的に図10Bで示すようにフラットになり、受光素子のダイナミックレンジを有効に用いることが可能になる。

40

【0052】

6. リップルの抑制方法

次に、個々の受光レンズ11に起因するシェーディングが読取ラインL方向に対するリップルを発生させ、ひいては、受光素子のダイナミックレンジを狭くすることに繋がるのであるが、この抑制方法について述べる。

【0053】

まず、予め照明系により負の強度分布を有する照明光を検査対象物に照射しておく。例えば、隣接する受光レンズ11の間に光源103を配置する方法では、完全に各種の受光レンズ11に対応したシェーディング抑制方法にはならない。即ち、個々の受光レンズ11に特有のシェーディングが存在し、受光レンズ11が異なれば、それに応じた照明光学

50

系を用いなければならない。本実施形態では、主走査方向に大きいパワーを有する集光レンズ104が配置される。該集光レンズ104を透過した光束は、次にシリンドリカルレンズ105などの収束レンズにより検査対象物に導かれ、受光レンズ11のシェーディングに応じた光強度を検査対象物上に形成する。そして、受光レンズ11のシェーディングに応じて、集光レンズ104の光軸方向の位置を適宜変更することで、例えば、検査対象物がキャリブレーション用の白色基準板であれば受光素子上の光強度分布を平滑化出来る。前記の集光レンズ104は副走査方向にパワーを有していてもよい。要するに、受光レンズ11のシェーディングを完全なまでに抑制し、かつ検査対象物に対し受光レンズ11の焦点距離を考慮した有効な光強度分布が同時に実現出来ればよい。即ち、主走査方向のレンズパワーが副走査方向のレンズパワーよりも大きいことが好ましい。集光レンズ104としては、例えば、シリンドリカルレンズ、レンチキュラーレンズ、フレネルレンズ、又は、プリズムシートと球面レンズの組み合わせなどが好ましい。光源103の主走査方向に対する位置関係は、各受光レンズ11の中間位置に配置してもよいし、受光レンズ11の光軸上に配置してもよい。更には、受光レンズ11の外周の位置に光源103を配置してもよい。また更に主走査方向にパワーの分布を有するレンズであればより好ましい。

【0054】

本実施形態では、複数の光源103からの光束を集光する集光レンズ104が、1個のレンズ体として設けられており、該レンズ体が有する主走査方向のパワーが副走査方向のパワーよりも大きい。ただし、集光レンズ104が、1個のレンズ体ではなく、第1集光レンズ及び第2集光レンズを含む構成であってもよい。この場合、第1集光レンズは、主走査方向のパワーが副走査方向のパワーよりも大きく、第2集光レンズは、副走査方向のパワーが主走査方向のパワーよりも大きくてもよい。また、主走査方向のパワーを第1集光レンズと第2集光レンズにより調整可能であってもよい。

【0055】

上記のような第1集光レンズ及び第2集光レンズを備えた集光レンズ104において、第1集光レンズ及び第2集光レンズは、シリンドリカルレンズ、レンチキュラーレンズ、フレネルレンズ、又は、プリズム列などにより構成することができる。例えば、第1集光レンズは、レンチキュラーレンズ或いはプリズム列であってもよい。また、第2集光レンズは、フレネルレンズ或いはシリンドリカルレンズであってもよい。

【0056】

7. 受光レンズのパラメータ

本実施形態におけるレンズ径別の受光系MTFのグラフを図10Cに示す。比較例として、図10Dに屈折率分布定数 $\sqrt{A} = 0.154$ の場合を示す。実線、短破線、長破線、一点鎖線の順番に、有効径 ϕ が $\phi = 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0$ mmの場合を示している。尚、受光素子の画素寸法は、600 dpi 相当に合わせ主走査方向、副走査方向とも42.3 μ mとしている。

【0057】

本実施形態では、有効径 ϕ において、屈折率分布定数 $\sqrt{A}$ が $\sqrt{A} = 0.077$ の条件では、600 dpi 相当の12ライン/mmで30%程度の性能であれば、 $\phi 1.0$ mmから $\phi 3.0$ mmまでの範囲のMTF特性を満足している。それに対し、比較例は、有効径 ϕ についてすべての範囲でMTF特性を満足していない。これは、 $\sqrt{A}$ が $\sqrt{A} = 0.077$ の場合の方が $\sqrt{A} = 0.154$ の場合よりも収差特性が優れていることを示している。また、焦点距離 $f = 50$ mmの場合について、屈折率分布定数 $\sqrt{A}$ が $\sqrt{A} = 0.1027$ の場合の受光光学系のMTFを求め、図10Eに示す。図10Eによれば、 $\sqrt{A}$ が $\sqrt{A} = 0.1027$ の場合においても、600 dpi の解像度に相当する12ライン/mmで $\phi 1.0$ mmから $\phi 3.0$ mmまでの範囲においてMTF特性を満足している。

【0058】

受光レンズ11が屈折率分布型レンズである場合、該レンズはガラス或いは樹脂からなることが好ましい。この場合、受光レンズ11のレンズパラメータにおいて、軸上屈折率 N_0 が $1.45 \leq N_0 \leq 1.65$ であり、屈折率分布定数 $\sqrt{A}$ が $0.05 \leq \sqrt{A} \leq 0.1$

2であり、焦点距離 f が $50\text{ mm} \leq f \leq 150\text{ mm}$ であることが好ましい。

【0059】

受光レンズ11は、それぞれ複数枚のレンズを組み合わせたアクロマート又はアポクロマートであってもよい。この場合、複数枚のレンズとして凸レンズのみを組み合わせたレンズ系であるか、或いは、複数枚のレンズとして凸レンズと凹レンズを組み合わせたレンズ系であってもよい。また、複数枚のレンズの焦点距離 f が $25\text{ mm} \leq f \leq 250\text{ mm}$ であり、更に複数枚のレンズの口径 ϕ が $2\text{ mm} \leq \phi \leq 50\text{ mm}$ であることが好ましい。

【0060】

次に、被写界深度並びに解像度を向上させるために、受光レンズ系を縮小光学系としたものを例示する。光学系の構成は図10Aと同様であり、受光レンズ11の倍率を変化させている。即ち、受光レンズ11の物点と像点の横倍率の関係を9:1や4:1のように変化させる。こうすることにより、被写界深度は、横倍率が9:1の場合は等倍系の3倍に、横倍率が4:1の場合は等倍系の2倍に増大する。被写界深度を3倍とする場合には、受光素子のサイズは等倍系の受光素子の $1/9$ のサイズとする。また、被写界深度を2倍とする場合には、受光素子のサイズは等倍系の受光素子の $1/4$ のサイズとする。本実施形態においては、 $1/4$ のサイズの受光素子を用いて、被写界深度を2倍とした。

【0061】

本実施形態における縮小光学系のデフォーカス時のMTF特性を図11のグラフ（実線）に示す。比較例として、等倍系のデフォーカス時のMTF特性を図11のグラフ（破線）に示す。図の縮小系と等倍系の比較から、縮小光学系の被写界深度が等倍系よりも約2倍深いことが分かる。また、受光レンズ11のN.A.は、縮小比をSとすれば、その逆数である $1/S$ だけ増大する。そのため、受光レンズ11のレンズ径が小さい場合においても、焦点距離に応じて縮小率を増せば、実効的なN.A.は維持されるため、回折効果によるボケも一定に出来る。

【0062】

本実施形態では、焦点距離を $f = 50\text{ mm}$ 、横倍率比を $1/4$ としたため、レンズ径 ϕ は原理的には $\phi = 0.25\text{ mm}$ まで用いることが可能である。図10Aの場合と同じレンズを用いるので、レンズ径 ϕ は $\phi = 4\text{ mm}$ であり、有効径 ϕ' は $\phi' = 2.5\text{ mm}$ である。N.A.は、等倍系である図10Aの場合と比べて4倍になる。故に受光光量は16倍になり、受光素子サイズを $1/4$ にサイズダウンしたことによる受光光量の $1/16$ の減少を相殺出来る。

【0063】

9. テレセントリック光学系

次に本実施形態に適用されたテレセントリック光学系について説明する。テレセントリック光学系を用いることにより、組み立て容易で経時変化が少ない構成にすることが出来る。テレセントリック光学系では、アパチャー（光透過部）を挟んで両側又は片方に受光レンズ11が配置される。すなわち、テレセントリック光学系は、検査対象物側と受光素子アレイ120側の両方に受光レンズ11が配置された両側テレセントリック光学系、又は、検査対象物側のみに受光レンズ11が配置された物体側テレセントリック光学系である。

【0064】

両側テレセントリック光学系では、検査対象物から光軸に平行に細く拡がる光束が前側レンズを透過することにより平行光束となり、前側レンズの後に挿入されたアパチャーを通過した平行光束が、後側レンズを透過して受光素子アレイ120の各受光素子に絞込まれる。

【0065】

図3又は図4のように、受光素子アレイ120が副走査方向に千鳥配置となっている場合は、副走査方向の距離が大きくなるほど、メモリ容量を大きくする必要がある。メモリ容量が大きくなれば、それだけコストアップしてしまう。本実施形態においては、テレセントリックレンズ光学系を用いることにより、N.A.を0.03程度とすると、焦点距

10

20

30

40

50

離が50mmのレンズの場合、レンズの主平面状で $\phi = 3\text{mm}$ と物点とを結ぶ円錐形の受光立体角となる。故に、副走査方向の千鳥配置の受光素子アレイ120の最短距離 L_s は、 $L_s > 3\text{mm}$ であればこと足りる。したがって、通常のレンズの円形の外周部を各種加工又は成型手段により矩形の外周部とし、図3又は図4のように受光素子アレイ120の千鳥配置の間隔を狭くして配置すれば、受光立体角を満足しコンパクト化が可能になると同時にメモリ容量を小さく出来る。尚、受光レンズ11のN.A.は、照明光量の観点から0.001~0.05程度が望ましい。以上、副走査方向の受光レンズ11の厚みは、テレセントリック光学系のN.A.で規定される立体角によって決定されるため副走査方向に短くでき、コンパクトになる。

【0066】

10. 受光系の変形例

次に、図12A~図12Gを用いて受光系の変形例について説明する。上記実施形態では、複数の受光レンズ11が副走査方向に2列で配置された構成について説明したが、図12A~図12Gでは、複数の受光レンズ11が主走査方向に沿って1列に配置された構成、具体的には、1列の受光レンズ11と千鳥配置の受光素子アレイ120のレイアウトについて説明する。

【0067】

受光素子アレイ120を千鳥配置することにより2列の読取ライン L を形成する場合、受光素子アレイ120と同様に受光レンズ11も2列に千鳥配置すると、受光レンズ系の必要なN.A.を満足させるために、受光レンズ11の副走査方向の幅以上に受光素子アレイ120の副走査方向の間隔を設ける必要があった。そこで、図12A~図12Gのように、受光レンズ11を受光系に必要なN.A.を満足させるように矩形レンズの幅を設定し、2列から1列にすれば、受光素子アレイ120の副走査方向の間隔をより狭めることが可能になる。即ち、副走査方向の速度変動の影響をより少なくし、同時に、受光レンズ11のコストダウンが達成できる。以下、複数の受光レンズ11を1列に配置する方法について記す。

【0068】

図12A~図12Gでは、複数の受光レンズ11が、それぞれ主走査方向に対し垂直な方向から見たときに同じ形状を有する。具体的には、主走査方向(X方向)及び副走査方向(Y方向)に対し垂直なZ方向から見たときの各受光レンズ11の形状が同じ形状である。なお、「同じ形状」には、反転形状などの実質的に同じ形状が含まれ、若干の形状の相違は「同じ形状」に含まれるものとする。

【0069】

図12Aでは、Z方向に見た各受光レンズ11の形状が平行四辺形状である。すなわち、各受光レンズ11の主走査方向の両端面が、副走査方向に対して傾斜している。各受光レンズ11の主走査方向の両端面の傾斜角は、同一である。図12Aのように主走査方向に複数の受光レンズ11を並べて配置した場合、各受光レンズ11の両端面に、隣り合う受光レンズ11の端面が対向することにより、主走査方向に隣り合う受光レンズ11の端部同士が連結された状態で配置される。

【0070】

図12Bでは、Z方向に見た各受光レンズ11の主走査方向の両端面に、矩形形状の切り欠きが形成されている。図12Bのように主走査方向に複数の受光レンズ11を並べて配置した場合、各受光レンズ11の両端面に形成された切り欠きに、隣り合う受光レンズ11の一部が嵌め合わせられることにより、主走査方向に隣り合う受光レンズ11の端部同士が連結された状態で配置される。

【0071】

図12Cでは、Z方向に見た各受光レンズ11の形状が台形状である。すなわち、各受光レンズ11の主走査方向の両端面が、副走査方向に対して傾斜している。各受光レンズ11をZ方向に見た形状は、主走査方向に隣り合う受光レンズ11をZ方向に見た形状に対して、主走査方向を基準に反転形状である。図12Cのように主走査方向に複数の受

10

20

30

40

50

光レンズ 11 を並べて配置した場合、各受光レンズ 11 の両端面に、隣り合う受光レンズ 11 の端面が対向することにより、主走査方向に隣り合う受光レンズ 11 の端部同士が連結された状態で配置される。これにより、複数の受光レンズ 11 は、隣り合う受光レンズ 11 が反転し連結された状態で配置される。

【0072】

図 12D では、Z 方向に見た各受光レンズ 11 の主走査方向の両端面に、曲線形状（半円形状又は半楕円形状）の切り欠きが形成されている。図 12D のように主走査方向に複数の受光レンズ 11 を並べて配置した場合、各受光レンズ 11 の両端面に形成された切り欠きに、隣り合う受光レンズ 11 の一部が嵌め合わせられることにより、主走査方向に隣り合う受光レンズ 11 の端部同士が連結された状態で配置される。

【0073】

次に、図 12E ～図 12G の変形例について説明する。図 12E は、図 12C の変形例であり、前述した受光素子アレイ 120 に欠落画素を極力生じさせないように出来る。図 12E では台形状の各受光レンズ 11 の幅方向の中央部よりも長辺側に各受光素子アレイ 120 を配置している。また、各受光素子アレイ 120 の主走査方向の長さは、該受光素子アレイ 120 が配置された位置における前記台形状の各受光レンズ 11 の主走査方向の長さにほぼ一致している。こうすることにより、図 12E の破線で示した部分が隣り合う千鳥配置の受光素子アレイ 120 同士が主走査方向においてオーバーラップし、後述するように、図 12C で示した千鳥配置の受光素子アレイ 120 のような出力信号の欠落部を生じない。

【0074】

上記は、台形状の受光レンズ 11 に限らず、各々の受光レンズ 11 を副走査方向に反転させて受光レンズアレイとした際に連結される形状であればよい。その例を図 12F 及び図 12G に示す。図 12F は矩形の切り欠き形状からなる複数の受光レンズ 11 を反転し連結させた場合であり、図 12G は、円形の切り欠きを有する複数の受光レンズ 11 を反転し連結させた場合である。このように、図 12E ～図 12G において、複数の受光レンズ 11 は、隣り合う受光レンズ 11 が反転し連結された状態で配置される。概ね、副走査方向において受光レンズ 11 が線対象であれば反転連結可能である。図 12F 及び図 12G も図 12E の台形状の反転連結と同様に破線部がオーバーラップしており、後述するように、信号欠落部を生じない。なお、図 12G の受光レンズ 11 は、剛性を確保し、割れを回避するための縁部 112 を備えている。

【0075】

図 12A ～図 12G のように、受光レンズ 11 の光軸方向断面視においてレンズ端部を平行四辺形状、台形状、矩形形状又は曲線形状（円、楕円）の切り欠き形状などの断面形状として受光レンズ系の N・A を満足する副走査方向の幅を設定し、1 列に繋ぐことにより、主走査方向に一直線状に延びるレンズアレイが形成される。また、前記レンズアレイの副走査方向の中央部に、千鳥配置の 2 列の受光素子アレイ 120 を設ける。具体的には、複数の受光素子アレイ 120 が、複数の受光レンズ 11 のそれぞれの主走査方向の中央部に配置され、主走査方向に沿って交互に千鳥状に配置される。こうすることにより、1 列のレンズアレイで 2 列の千鳥配置の受光素子アレイ 120 に検査対象物から出射された光を届けることが出来る。

【0076】

図 12A に示すように、主走査方向に隣り合う受光レンズ 11 の端部間には、遮蔽部 111 が設けられている。遮蔽部 111 は、薄肉の板状に形成されている。遮蔽部 111 は、各受光レンズ 11 の端部間から受光素子（受光素子アレイ 120）に向かって延長され、受光レンズ 11 から検査対象物方向に突出している。また、遮蔽部 111 は、少なくとも受光レンズ 11 の副走査方向の幅 W1 以上の幅を有する。図 12B ～図 12G では遮蔽部 111 を省略して示しているが、同様に遮蔽部 111 が各受光レンズ 11 の端部間に設けられていてもよい。尚、図 12F と図 12G の実施例において、遮蔽部 111 は各々薄いクランク型、波型の遮蔽板とする。要は、連結部において、隣り合う受光系に光が漏れ

10

20

30

40

50

出ないようにすればよい。

【0077】

図12B～図12Dに示すように、複数の受光素子アレイ120と一対一に対応するように、検査対象物を照明する複数の光源103が設けられていてもよい。複数の光源103は、それぞれ主走査方向に沿って一直線状に延びる細長い形状であってもよく、この場合、図12B～図12Dに示すように、複数の光源103が各受光素子アレイ120に対してZ方向に対向していてもよい。これにより、複数の光源103を千鳥状に配置し、各受光素子アレイ120に効率よく線分状の光を入射させることができる。

【0078】

複数の光源103は、複数の受光素子アレイ120に対応して副走査方向に複数ラインの照明光の光強度分布を有する。図12A、図12E～図12Gでは光源103を省略して示しているが、同様に複数の光源103が複数の受光素子アレイ120と一対一に対応するように設けられていてもよい。ただし、複数の光源103を千鳥状に配置せずとも、各読取ラインLの受光素子アレイ120に光強度のピークを持たせるように、副走査方向において2つの強度ピークを含むような光強度分布を有するライン照明を用いてもよい。また、千鳥配置の受光素子アレイ120の副走査方向の間隔が狭いため、1つのピークを有するライン照明でもよい。

【0079】

図12H及び図12Iは、受光系における光軸113の位置について説明するための模式図である。以下では、図12Eの構成を一例として、図12H及び図12Iを用いて受光系における光軸113の位置について説明するが、図12A～図12D、図12F、図12Gなどの他の構成においても、光軸113の位置を同様に設定することが可能である。

【0080】

図12Hでは、各受光レンズ11を透過して各受光素子アレイ120に導かれる光の光軸113が、各受光素子アレイ120の略中央部から副走査方向（Y方向）に平行に離れた位置を貫く。具体的には、各受光レンズ11の光軸113が、千鳥状に配置された各受光素子アレイ120から略等距離であり、かつ、千鳥状に配置された各受光素子アレイ120の主走査方向における略1/2の長さの位置を貫く。この例では、各光軸113が主走査方向（X方向）に沿って1列に並んでいるが、このような構成に限られるものではない。

【0081】

図12Iでは、各受光レンズ11を透過して各受光素子アレイ120に導かれる光の光軸113が、千鳥状に配置された各受光素子アレイ120の略中央部を貫く。したがって、各光軸113は、2列の読取ラインLに沿って、各受光素子アレイ120と同様に千鳥配置されている。このように、各受光レンズ11の光軸113を各受光素子アレイ120に合わせることで、収差を少なくすることができる。

【0082】

図13にレンズ端部が平行四辺形の場合の光源103の光強度分布がフラットな場合の受光素子アレイ120の受光面上の光強度分布を示す。図13では、図12Aの構成を採用した場合における各受光素子アレイ120の受光面上の光強度分布の一例が示されている。複数の受光レンズ11からなるレンズアレイは、説明のため、便宜上3個の受光レンズ11からなるレンズアレイとしている。

【0083】

図13の左側の図にレンズアレイ全体の各受光素子アレイ120上の光強度を示し、右側の2つの図に拡大図を示している。また、図14に隣り合う受光レンズ11同士の連結部近傍の光強度分布の詳細を示す。本実施形態では、千鳥配置された隣接する2つの受光素子アレイ120において、一方の受光素子アレイ120の信号欠落画素を他方の受光素子アレイ120の画素で補間する。図14では、矢印のマークにより、信号欠落画素の信号を補間する方法を示した。

【0084】

図14において破線で囲んだ部分121は、隣り合う受光レンズ11同士の連結部に位置する受光素子であり、当該受光素子に光が届かなくなることにより信号欠落部が発生する。そこで、本実施形態では、千鳥配置された隣接する受光素子アレイ120において、上記部分121の受光素子に対し副走査方向に対向する受光素子（実線で囲んだ部分122）の出力信号で信号欠落部の信号を補う。このように、隣り合う受光レンズ11同士の連結部には、副走査方向に沿って画素補間部が形成されている（図13参照）。信号欠落部は予め検査用の基準媒体により補正しておけばよい。基準媒体にはシェーディング補正用の白色チャートや格子パターンなどを用いることができる。

【0085】

図13における受光レンズ11の副走査方向の幅は5mmであり、故に受光レンズ11を2列の千鳥配置とした場合は、千鳥配置の受光素子アレイ120の最小の間隔は5mm以上が必要であるが、上記のように1列のレンズアレイを用いると約1/2程度（3.0mm弱）の間隔になる。また、受光素子アレイ120のダイナミックレンジ等を考慮しつつ、シェーディング補正をすれば、更に間隔を狭めることが可能である。即ち、千鳥配置の受光素子アレイ120の副走査方向の間隔が狭まると同時に、受光レンズ11の数を半分にすることが可能になる。故に、副走査方向の搬送速度の変動の影響を受けにくくすると同時に、コストダウンも図れるメリットが生まれる。

【0086】

図13における遮蔽部111には、厚み $t=0.2$ mmの遮蔽板を配置した。 $t=0.2$ mmであれば強度的に問題ない。また、レンズ系は両側テレセントリック系である。勿論、物体側テレセントリック系としてもよいことは言うまでもない。

【0087】

具体的な画像処理方法又は画像処理システムによる処理としては、主走査方向の同じ位置において副走査方向に離間する2つの受光素子からの出力信号について、一方の受光素子（破線で囲んだ部分121）からの出力信号が他方の受光素子（実線で囲んだ部分122）からの出力信号よりも低く、一方の受光素子からの出力信号が閾値に満たない場合に、他方の受光素子からの出力信号で補間する。また、その補間された出力信号を一方の受光素子に対して主走査方向の他の位置にある受光素子からの出力信号と合成することにより、読取ラインLに対応する1列の出力信号とする。

【0088】

なお、図14において二点鎖線で囲んだ部分123の受光素子は、副走査方向に互いに対向するが、いずれも隣り合う受光レンズ11同士の連結部からずれることにより、互いにオーバーラップしている。このようなオーバーラップする部分については、受光素子からの出力信号の欠落が生じないため、補間の必要はない。

【0089】

図12Eの例において、受光領域の光強度を示し、信号欠落部が生じない理由を図15に概略的に表す。図15は図14と同じく千鳥配置した受光素子アレイ120の端部の光強度分布を表している。図15において二点鎖線で囲んだ部分124の受光素子は、副走査方向に互いに対向するが、いずれも隣り合う受光レンズ11同士の連結部からずれることにより、互いにオーバーラップしている。図15のように、台形状の受光レンズ11の幅方向において受光素子アレイ120を長辺側に配置することにより、受光部における信号欠落部分を除いて、千鳥配置した受光素子アレイ120の1列の読取ラインLに必要な信号を得ることが可能になる。

【0090】

具体的な画像処理方法又は画像処理システムによる処理としては、主走査方向の同じ位置において副走査方向に離間する2つの受光素子（破線で囲んだ部分124）からの出力信号について、一方の受光素子の出力信号が他方の受光素子の出力信号と重なり合った部分の出力信号の一方を選択し、かつ、基準媒体により予め補正した出力信号の一方の信号と他方の出力信号の比による補正をして一方の信号と他方の信号とを合成することにより、読取ラインLに対応する1列の出力信号とする。

10

20

30

40

50

【符号の説明】

【 0 0 9 1 】

- 1 0 光源部
- 1 1 受光レンズ
- 1 2 受光部
- 2 0 焦点面
- 1 0 3 光源
- 1 0 4 集光レンズ
- 1 0 5 シリンドリカルレンズ
- 1 1 0 レンズホルダー
- 1 1 1 遮蔽部
- 1 2 0 受光素子アレイ
- 1 3 1 赤色ＬＤ
- 1 3 2 緑色ＬＤ
- 1 3 3 青色ＬＤ
- 1 3 4 光源基板
- 1 3 5 ヒートシンク

10

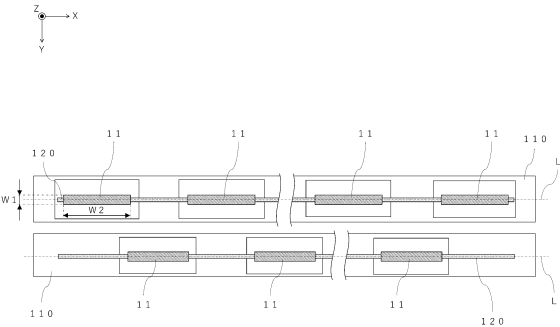
20

30

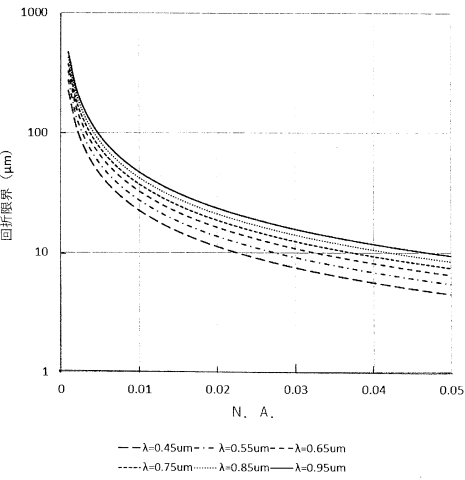
40

50

【図 5】



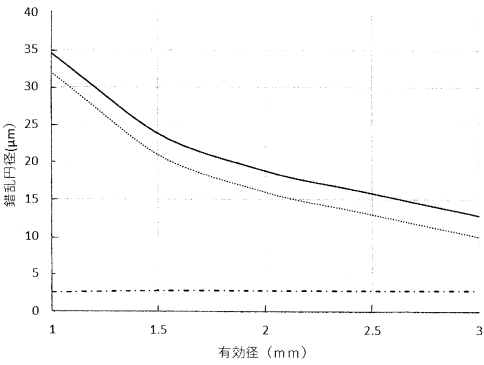
【図 6】



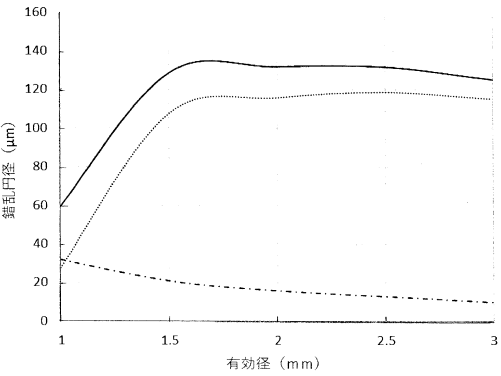
10

20

【図 7 A】



【図 7 B】

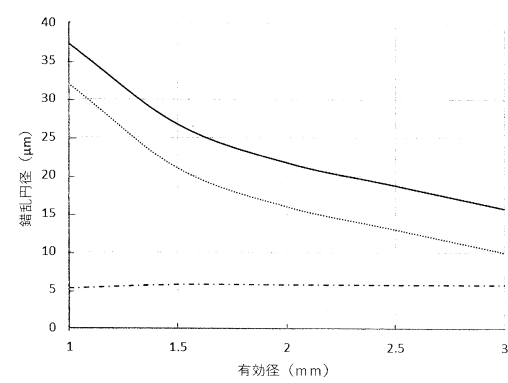


30

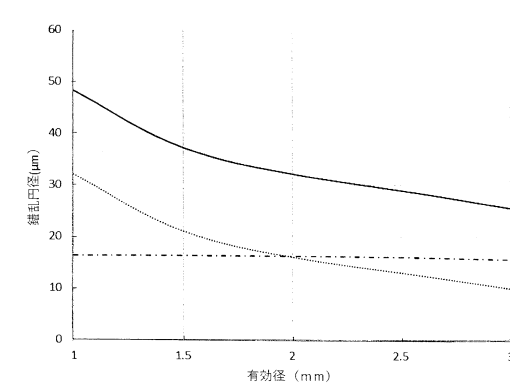
40

50

【図 7 C】



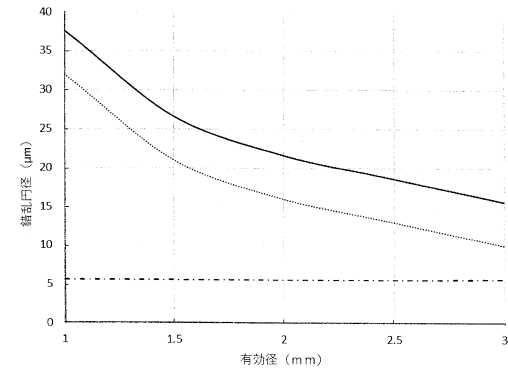
【図 8 A】



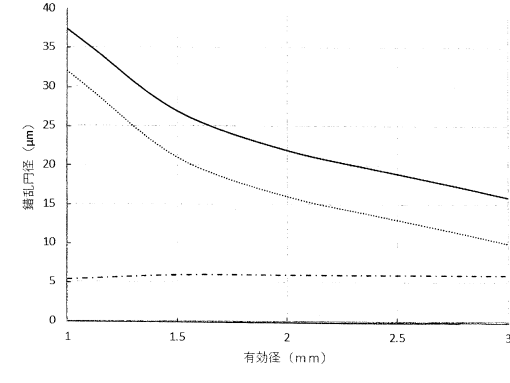
10

20

【図 8 B】



【図 8 C】

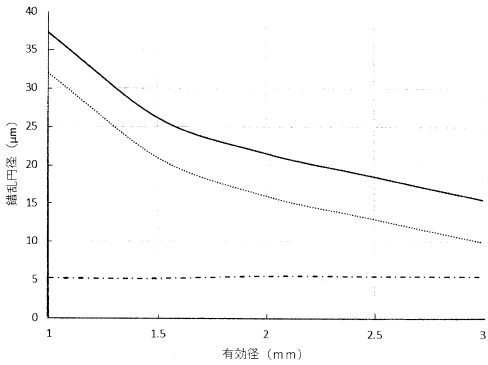


30

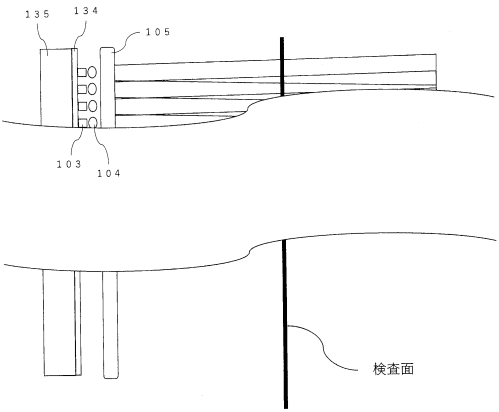
40

50

【図 8 D】



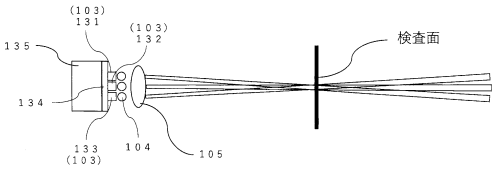
【図 9 A】



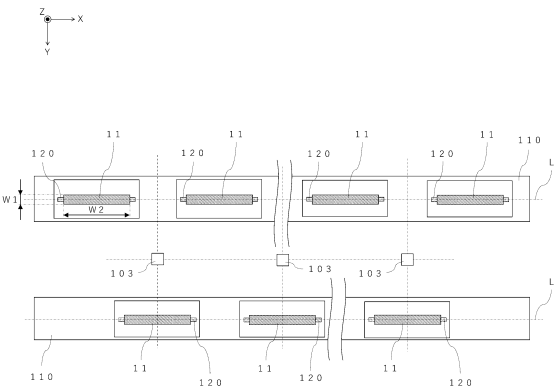
10

20

【図 9 B】



【図 10 A】

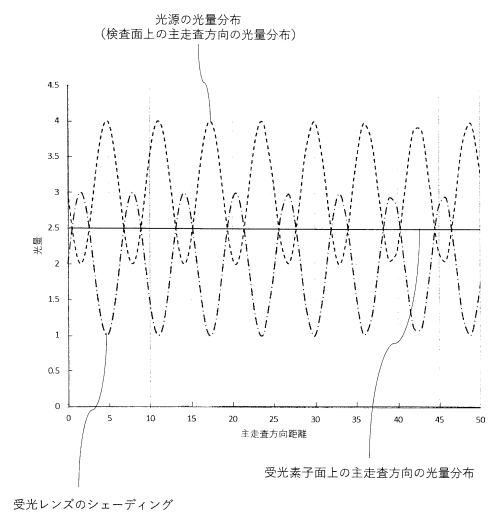


30

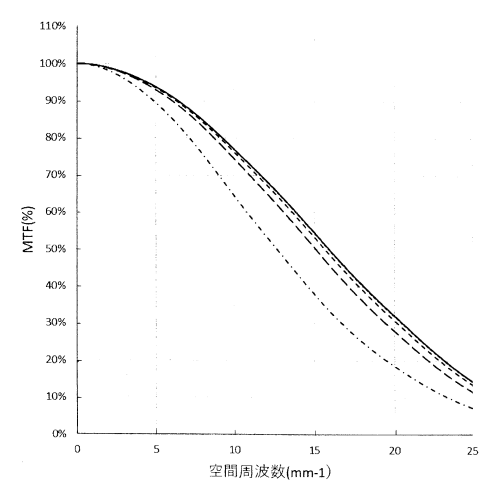
40

50

【図 1 0 B】



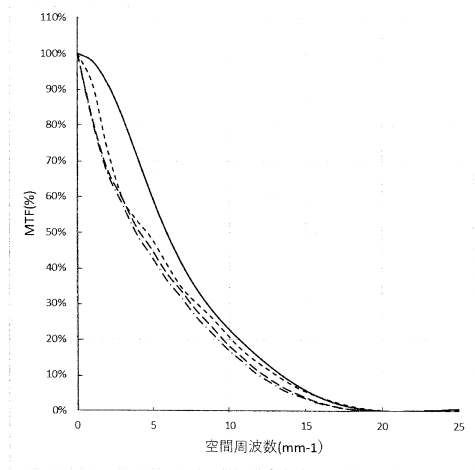
【図 1 0 C】



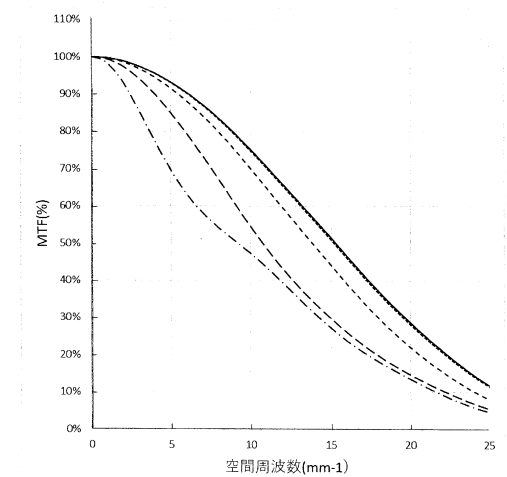
10

20

【図 1 0 D】



【図 1 0 E】

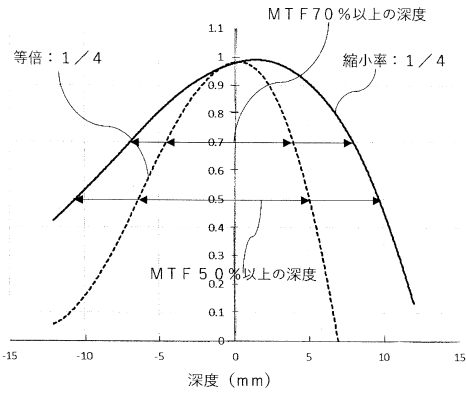


30

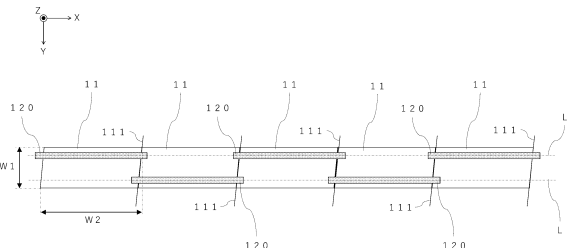
40

50

【図 1 1】



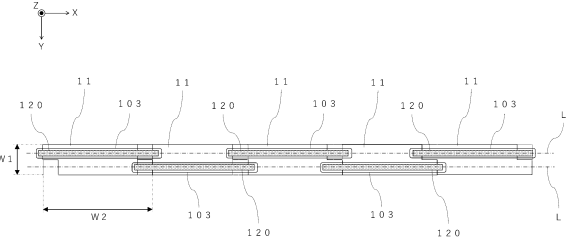
【図 1 2 A】



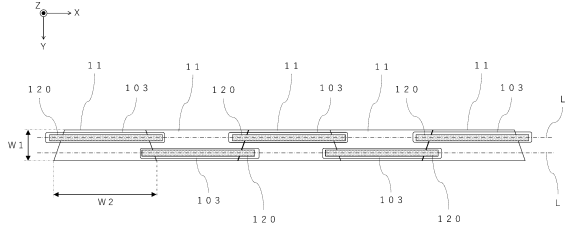
10

20

【図 1 2 B】



【図 1 2 C】

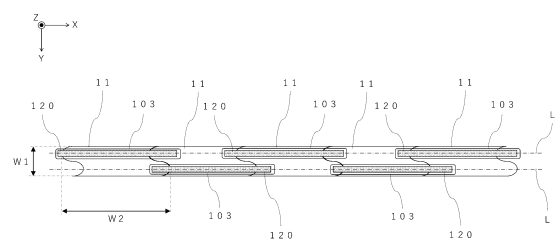


30

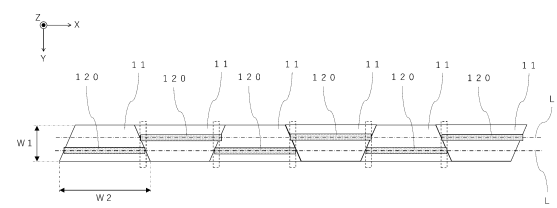
40

50

【図 1 2 D】

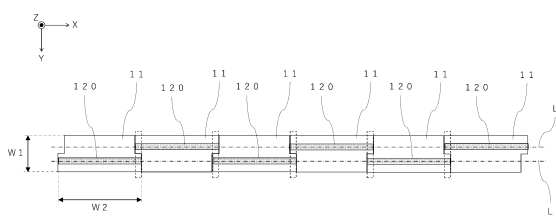


【図 1 2 E】

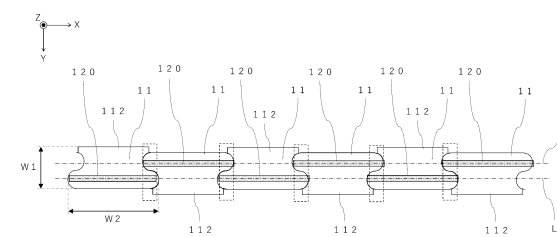


10

【図 1 2 F】



【図 1 2 G】



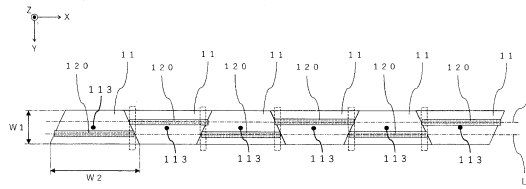
20

30

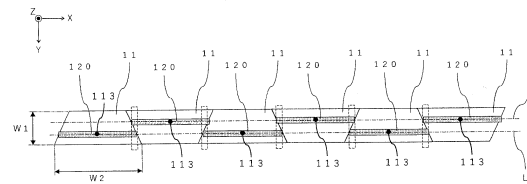
40

50

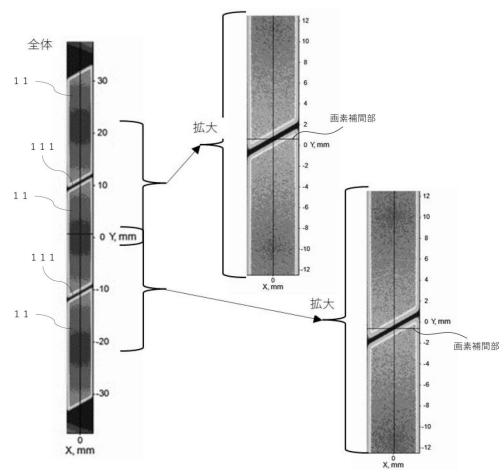
【図 12H】



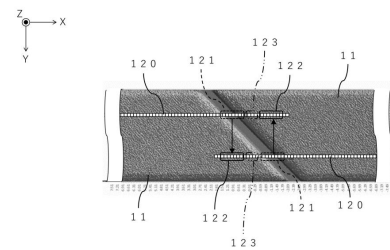
【図 12 I】



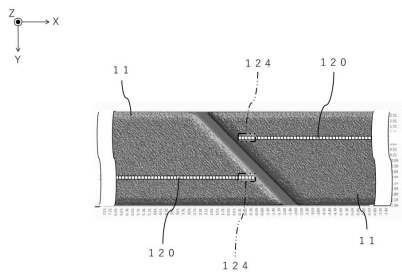
【図 13】



【図 14】



【図 15】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2022/004232 (WO, A1)
国際公開第2022/034736 (WO, A1)
特開2001-242090 (JP, A)
特開2010-107249 (JP, A)
国際公開第2020/059426 (WO, A1)
特開2010-164717 (JP, A)
特開2019-120540 (JP, A)
特開2003-106936 (JP, A)
米国特許出願公開第2011/0038038 (US, A1)
国際公開第2022/130736 (WO, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01N 21/84 - G01N 21/958
H04N 1/024 - H04N 1/207