

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2024-164932
(P2024-164932A)

(43)公開日 令和6年11月28日(2024.11.28)

(51)国際特許分類		F I		テーマコード (参考)	
H O 4 N	1/028(2006.01)	H O 4 N	1/028	Z	2 F 0 6 5
G O 1 N	21/892(2006.01)	G O 1 N	21/892	A	2 G 0 5 1
G O 1 J	1/02 (2006.01)	G O 1 J	1/02	Q	2 G 0 6 5
H O 4 N	1/04 (2006.01)	H O 4 N	1/12	Z	5 C 0 5 1
H O 4 N	1/191(2006.01)	H O 4 N	1/04	1 0 1	5 C 0 7 2
		審査請求	未請求	請求項の数	54
				O L	(全53頁)
				最終頁に続く	
(21)出願番号	特願2023-80671(P2023-80671)		(71)出願人	510192019	
(22)出願日	令和5年5月16日(2023.5.16)			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	
			(74)代理人	100141852	
				弁理士 吉本 力	
			(72)発明者	岩崎 修	
				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	
			(72)発明者	龍満 和明	
				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	
			(72)発明者	渡邊 龍太	
				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	
			F ターム (参考)	2F065	AA52 BB05 BB23 FF46
				最終頁に続く	

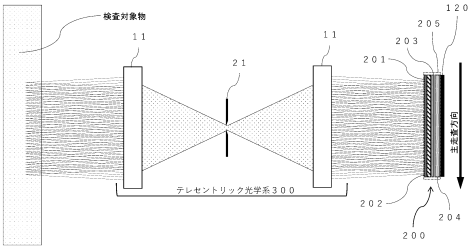
(54)【発明の名称】 光学ラインセンサ、画像処理方法、画像処理システム及び3次元断層像形成装置

(57)【要約】

【課題】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、並びに、これを用いた画像処理方法、画像処理システム及び3次元断層像形成装置を提供する。

【解決手段】複数の受光レンズ11は、主走査方向に沿って複数配置されている。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、複数の受光レンズ11を透過した光を受光する。複数の受光レンズ11は、該受光レンズ11の各視野に重ならないように互いに離間して配置される。複数の受光レンズ11は、アパチャー21とともにテレセントリック光学系300を構成している。複数の受光素子は、アレイ状に配置されることにより、少なくとも1列以上の読取ラインを形成する受光素子アレイ120を構成する。複数の受光素子の受光面手前に、光電面201、マイクロチャンネルプレート202及び蛍光体面203を含むイメージインテンシファイア200が対向配置される。

【選択図】 図16A



【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、

前記複数の受光レンズは、該受光レンズの各視野に重ならないように互いに離間して配置され、

前記複数の受光レンズは、アパチャーとともにテレセントリック光学系を構成しており

10

、
前記複数の受光素子は、アレイ状に配置されることにより、少なくとも 1 列以上の前記読取ラインを形成する受光素子アレイを構成し、

前記複数の受光素子の受光面手前に、光電面、マイクロチャンネルプレート及び蛍光体面を含むイメージインテンシファイアが対向配置されたことを特徴とする光学ラインセンサ。

【請求項 2】

前記イメージインテンシファイアのゲート動作時間と、検査対象物を照明する光源の発光時間とが、それぞれ前記受光素子の蓄積時間よりも短く、

前記受光素子、前記光源及び前記イメージインテンシファイアの一連の動作の 1 周期において、

20

前記光源の発光開始時刻と発光終了時刻が、前記受光素子の蓄積動作開始時刻よりも早く、

前記イメージインテンシファイアのゲート動作開始時刻が、前記受光素子の蓄積動作終了時刻よりも早く、かつ、前記受光素子の蓄積動作終了時刻が、前記イメージインテンシファイアのゲート動作終了時刻よりも早く、

前記イメージインテンシファイア及び前記光源の少なくとも一方が、遅延回路を備えており、前記光源と前記イメージインテンシファイアの動作時刻を調整することが出来ることを特徴とする請求項 1 に記載の光学ライセンサ。

【請求項 3】

30

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、前記受光レンズの光軸が、前記受光レンズの副走査方向の幅の略中央に位置す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 4】

少なくとも 2 組以上の前記テレセントリック光学系が光軸上に配置され、前記テレセントリック光学系の上流側に配置されたアパチャーが、下流側のアパチャーよりも小さい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 5】

前記複数の受光レンズは、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。

40

【請求項 6】

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前記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略中央部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 7】

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前記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

50

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略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 8】

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 6 又は 7 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 9】

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、

前記受光レンズは、千鳥状に配置された各受光素子アレイに 1 対 1 に対応しており、前記受光レンズの光軸が、前記千鳥状に配置された受光素子アレイの略中央部を貫くことを特徴とする請求項 8 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 10】

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略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 11】

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 10 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 12】

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】

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 12 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 15】

前記集光レンズは、主走査方向のパワーを前記第 1 集光レンズと前記第 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 13 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 16】

前記集光レンズが、シリンドリカルレンズ或いはフレネルレンズであ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 17】

前記第 1 集光レンズが、レンチキュラーレンズ或いはプリズム列であり、

前記第 2 集光レンズが、フレネルレンズ或いはシリンドリカルレンズであることを特徴とする請求項 13 に記載の光学ラインセンサ。

【請求項 18】

前記複数の光源が、白色 LED を含む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 19】

前記複数の光源が、赤色ＬＥＤ、緑色ＬＥＤ及び青色ＬＥＤを含む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２０】

前記複数の光源が、レーザダイオードを含む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２１】

前記複数の光源が実装された光源基板と、

前記光源基板に取り付けられたヒートシンク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２２】

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２３】

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ことを特徴とする請求項２２に記載の光学ラインセンサ。

【請求項２４】

前記複数の受光レンズは、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２３に記載の光学ラインセンサ。

【請求項２５】

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前記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いることを特徴とする請求項２２に記載の光学ラインセンサ。

【請求項２６】

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前記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２２又は２５に記載の光学ラインセンサ。

【請求項２７】

前記複数の光源が、該光源の光軸方向断面視において前記複数の受光素子アレイの各々の端部近傍に、かつ、副走査方向において対向する前記複数の受光素子アレイの略中央部に位置することを特徴とする請求項２６に記載の光学ラインセンサ。

【請求項２８】

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２６に記載の光学ラインセンサ。

【請求項２９】

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ることを特徴とする請求項２２又は２５に記載の光学ラインセンサ。

【請求項３０】

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２９に記載の光学ラインセンサ。

【請求項３１】

前記マイクロチャンネルプレートがオートゲート機能を有しており、該オートゲート機能に応じて光源側が連動して光量を調整する機能を有す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３２】

前記受光レンズの光軸上において、前記イメージインテンシファイアと前記テレセント

10

20

30

40

50

リック光学系の前記受光素子アレイ側の前記受光レンズとの間に偏光ビームスプリッタが配置され、

前記テレセントリック光学系の前記受光素子アレイ側の前記受光レンズと偏光ビームスプリッタとの間、或いは、前記テレセントリック光学系の検査対象物側の前記受光レンズと検査対象物との間、或いは、前記テレセントリック光学系の前記受光素子アレイ側の前記受光レンズ又は検査対象物側の前記受光レンズと前記アパチャーとの間の何れかに $\lambda/4$ 波長板が配置され、

前記偏光ビームスプリッタと前記 $\lambda/4$ 波長板は、主走査方向における幅が前記受光素子アレイよりも長く、前記受光レンズは、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請求項1に記載の光学ラインセンサ。

10

【請求項33】

前記受光レンズの光軸上において、前記イメージインテンシファイアと前記テレセントリック光学系の前記受光素子アレイ側の前記受光レンズとの間、かつ、前記アパチャー近傍に偏光ビームスプリッタが配置されるか、入・出射面にアパチャーを設けた偏光ビームスプリッタが各光ビームの交差する近傍に配置されるかの何れかであり、

前記テレセントリック光学系の検査対象物側の前記受光レンズと検査対象物の間に $\lambda/4$ 波長板が配置されるか、或いは、該受光レンズと前記偏光ビームスプリッタの間で、前記受光レンズ近傍に $\lambda/4$ 波長板が配置されるかの何れかであり、

前記偏光ビームスプリッタと前記 $\lambda/4$ 波長板は、主走査方向における幅が前記受光素子アレイよりも長く、前記受光レンズは、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請求項1に記載の光学ラインセンサ。

20

【請求項34】

前記テレセントリック光学系から前記受光レンズ及び前記アパチャーを除き、該受光レンズの位置に直角プリズム並びに一对の平面ミラーが対向配置され、かつ、搬送方向に対し垂直な平行平面となるように前記一对の平面ミラーが配置され、該平面ミラーの検査対象物側の一方の端部に前記直角プリズムが配置され、該直角プリズムに入射した検査対象物から発出した光線が、前記検査対象物が搬送される方向に対し垂直な光線であり、該光線は、続いて、前記直角プリズムの全反射面となる斜面に入射し、前記直角プリズムの直角となる辺の一方が前記平面ミラーに対して非平行であり、前記直角プリズムを射出した光線が、一方の前記平面ミラーの反射面に非垂直に入射し、前記一对の平面ミラーの間を反射・屈曲しながら前記平面ミラーの奥行方向へと長い光路を進行した後、前記平面ミラーの検査対象物とは反対側の他方の端部から射出し、該射出した光線が前記イメージインテンシファイアを介して受光素子アレイに入射す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。

30

【請求項35】

外乱光を遮断する主走査方向に長い開口部を有するスリットを前記平面ミラーの端部に配置することを特徴とする請求項34に記載の光学ライセンサ。

【請求項36】

前記検査対象物の光軸方向の厚みよりも前記検査対象物側の前記受光レンズの被写界深度が深い、若しくは、光源側にコリメータを配置して前記検査対象物に入射する光束を光軸に対し略平行としたことを特徴とする請求項32に記載の光学ラインセンサ。

40

【請求項37】

前記受光レンズの前記受光素子アレイ側の焦点位置に前記テレセントリック光学系の前記検査対象物側の焦点位置を略一致させたことを特徴とする請求項36に記載の光学ラインセンサ。

【請求項38】

請求項25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

50

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ことを特徴とする画像処理方法。

【請求項39】

請求項25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。

10

【請求項40】

請求項25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ことを特徴とする画像処理システム。

20

【請求項41】

請求項25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。

【請求項42】

請求項1に記載の光学ラインセンサを用いた3次元断層像形成装置であって、

光軸方向断面が矩形である平行ビームを照射し、前記テレセントリック光学系と対向して配置される照明光学系を有し、かつ、前記照明光学系と前記テレセントリック光学系が円周上に配置されており、

30

前記照明光学系と前記テレセントリック光学系の少なくとも1組が前記円周上を回転し、円周上の略中央部に配置された検査対象物を透過した光を前記テレセントリック光学系で受光し、所定の演算により3次元断層像を構築することを特徴とする3次元断層像形成装置。

【請求項43】

前記主走査方向が、少なくとも1組の前記照明光学系と前記テレセントリック光学系の光軸が回転する円周の接線に略垂直であり、かつ、前記主走査方向に対して前記受光素子アレイが略平行であることを特徴とする請求項42に記載の3次元断層像形成装置。

40

【請求項44】

前記テレセントリック光学系の前記受光レンズは、光軸方向断面において矩形形状であることを特徴とする請求項43に記載の3次元断層像形成装置。

【請求項45】

前記照明光学系と前記テレセントリック光学系との組が、前記円周上に複数配置されたことを特徴とする請求項42に記載の3次元断層像形成装置。

【請求項46】

光軸上において、2組以上の前記テレセントリック光学系が配置され、かつ、各テレセントリック光学系に含まれるアパチャーの径が異なることを特徴する請求項42に記載の3次元断層像形成装置。

50

【請求項 47】

光軸上において、1組以上の前記テレセントリック光学系が配置され、かつ、各テレセントリック光学系に含まれるアパチャーの径が前記受光レンズの略回折限界であるか、或いは、前記受光素子の略1画素に相当する径であることを特徴する請求項42に記載の3次元断層像形成装置。

【請求項 48】

請求項36又は37に記載の光学ラインセンサを用いた3次元断層像形成装置であって、

光軸方向断面が矩形である平行ビームを照射する照明光学系を有し、前記照明光学系と前記テレセントリック光学系が円周上に配置されており、

前記テレセントリック光学系が前記円周上若しくは円周上の一部を回転し、円周上の略中央部に配置された検査対象物から反射した光を前記テレセントリック光学系で受光し、所定の演算により3次元断層像を構築することを特徴とする3次元断層像形成装置。

【請求項 49】

前記主走査方向が、少なくとも1組の前記照明光学系と前記テレセントリック光学系の光軸が回転する円周の接線に略垂直であり、かつ、前記主走査方向に対して前記受光素子アレイが略平行であることを特徴とする請求項48に記載の3次元断層像形成装置。

【請求項 50】

前記テレセントリック光学系の前記受光レンズは、光軸方向断面において矩形形状であることを特徴とする請求項49に記載の3次元断層像形成装置。

【請求項 51】

前記照明光学系と前記テレセントリック光学系との組が、前記円周上に複数配置されたことを特徴とする請求項50に記載の3次元断層像形成装置。

【請求項 52】

請求項42に記載の3次元断層像形成装置を用いて、画像再構成法である、解析的再構成法、或いは代数的再構成法の何れかの手法を用い3次元断層像を得ることを特徴とする画像処理方法。

【請求項 53】

請求項48に記載の3次元断層像形成装置を用いて、画像再構成法である、解析的再構成法、或いは代数的再構成法の何れかの手法を用い3次元断層像を得ることを特徴とする画像処理方法。

【請求項 54】

請求項53の画像処理方法を用いることにより、得られることを特徴とした3次元断層像。

【発明の詳細な説明】

【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、並びに、これを用いた画像処理方法、画像処理システム及び3次元断層像形成装置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謂面検機に应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、工程で用いる場合

10

20

30

40

50

では接触を回避するため、W．D．の長いC I S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C I Sも強く望まれている。

【0004】

被写界深度の深いC I S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C I Sに比べて性能の劣化を生じ易いなどの問題が残る。

10

【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。

20

【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。

30

【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】

【特許文献1】特開2018-019334号公報

【特許文献2】特開2018-152713号公報

【特許文献3】特開2009-244500号公報

【特許文献4】特開2018-019334号公報

【特許文献5】特開2018-022948号公報

【特許文献6】特開2009-246623号公報

【特許文献7】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】

40

50

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、並びに、これを用いた画像処理方法、画像処理システム及び３次元断層像形成装置を提供することを目的とする。また、本願発明は、異物や欠陥の検出の精度及び確度を向上することができる光学ラインセンサ、並びに、これを用いた画像処理方法、画像処理システム及び３次元断層像形成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】

【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、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る。前記複数の受光レンズは、該受光レンズの各視野に重ならないように互いに離間して配置されている。前記複数の受光レンズは、アパチャーとともにテレセントリック光学系を構成している。前記複数の受光素子は、アレイ状に配置されることにより、少なくとも１列以上の前記読取ラインを形成する受光素子アレイを構成している。前記複数の受光素子の受光面手前に、光電面、マイクロチャンネルプレート及び蛍光体面を含むイメージンテンシファイアが対向配置されている。

10

【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ができる。また、テレセントリック光学系とイメージンテンシファイアを組み合わせることにより、異物や欠陥の検出の精度及び確度が向上する。

20

【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。

30

【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。

40

【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

50

ある。

【図 1 1】デフォーカス時の M T F 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。

【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。

【図 1 6 A】主走査方向から見た受光光学系（テレセントリック系）の断面図である。

【図 1 6 B】矩形断面形状のマイクロチャンネルプレートの模式図である。

【図 1 6 C】マイクロチャンネルプレートに受光素子アレイ（3 ライン）重ねた光軸方向視図である。

【図 1 7】副走査方向から見たイメージインテンシファイアの断面模式図である。

【図 1 8】パルス遅延位相差検出方法の模式図である。

【図 1 9】パルス遅延位相差検出方法のタイミングチャートの概略図である。

【図 2 0 A】遅延梯子型ゲート回路の例（インダクタンスと抵抗からなる回路にスイッチを付与した場合の模式図である。（遅延梯子型ゲート回路の例（インダクタンスと抵抗からなる回路にスイッチを付与）

【図 2 0 B】図 2 0 A の上段の S W の位置が同軸ケーブルの長さを選択することを表した図である。

【図 2 1】ストリップラインの模式図である。

【図 2 2 A】反射型光学系の模式図であり、 $\lambda / 4$ 波長板を受光レンズとイメージインテンシファイアの間に配置した場合を示す。

【図 2 2 B】反射型光学系の模式図であり、 $\lambda / 4$ 波長板を受光レンズと検査対象物の間に配置した場合を示す。

【図 2 2 C】他の反射型光学系の模式図であり、物体側テレセントリック光学系を示す。

【図 2 2 D】他の反射型光学系の模式図であり、両側テレセントリック光学系を示す。

【図 2 3】多段のテレセントリック受光光学系及び前段のアパチャー径が後段のアパチャー径よりも小さいことを示した概略図である。

【図 2 4 A】ガントリー内に配置された光学系の模式図である。

【図 2 4 B】ガントリー内に配置された光学系の模式図で図 2 5 A の受光光学系の場合を示す。

【図 2 5 A】ガントリー内の一対の多列受光素子アレイと平面光源の回転を表した模式図である。

【図 2 5 B】受光素子アレイの主走査方向を光学系全体がガントリー内を回転する方向に平行にした場合の模式図である。

【図 2 5 C】受光素子アレイと受光レンズで構成される受光光学系の模式図である。

【図 2 6 A】テレセントリック光学系のレンズを除いた場合を示す模式図である。

【図 2 6 B】多重反射ミラーにより、長光路の光学系をコンパクト化した場合の模式図である。

【図 2 7】回転角ピッチと受光素子アレイの長さの関係を表す模式図であり、一部の受光素子と光源のみを示す。

10

20

30

40

50

【図 28A】反射型トモグラフィ用の反射型光学系を示す模式図である。

【図 28B】受光レンズの焦点距離を長くした反射型トモグラフィ用の反射型光学系を示す模式図である。

【図 28C】他の変形例に比べ、より平行光束を受光できる光学系を示す模式図である。

【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。

【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。

【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 12A 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 12A により構成される読取ラインで読み取られる。

【0016】

一方の光源部 10 から出射された光 B3 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 14A の内面に設けられている反射部材 17A 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 103（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】

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 C I S 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 C I S では、受光レンズ 11 として、例えば S E L F O C（日本板硝子株式会社製）レンズアレイが用いられる。S E L F O C 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 S E L F O C レンズを俵積みし、多眼レン

10

20

30

40

50

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、C I SにS E L F O C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C I S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、S E L F O C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S E L F O C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に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、 $N \cdot A$ が $0.005 < N \cdot A < 0.03$ 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 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。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。

10

【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。

20

【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径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。

30

【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。

40

【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

50

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。

【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、 $W \cdot D$ を略 50 mm 以上、有効径 ϕ が略 $\phi \geq 1.0 \text{ mm}$ において、解像度が 400 dpi 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。

【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、 $N.$

10

20

30

40

50

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倍以上長いため、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 μm の素子サイズから600 dpi 相当の42 μm 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。

【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 70 mm 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。

10

【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 7 mm とした。この場合、実質的なレンズピッチは、3.5 mm となる。

【0051】

20

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。

【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】

30

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。

40

【0054】

50

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 $42.3 \mu\text{m}$ 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 $0.05 \leq \sqrt{A} \leq 0.12$ 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 $50 \text{ mm} \leq f \leq 250 \text{ mm}$ であり、更に複数枚のレンズの口径 ϕ が $2 \text{ mm} \leq \phi \leq 20 \text{ mm}$ 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】

8. 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の各受光素子に絞り込まれる。

【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0.005～0.03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】

9. 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。図12A～図12Gにおいて、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ている。即ち、各受光レンズ 11 は、千鳥状に配置された各受光素子アレイ 120 に 1 対 1 に対応している。

【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。

10

【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。図 12A ~ 図 12G において、受光レンズ 11 は、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。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。

20

【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 の端部同士が隙間なく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 の端部同士が隙間なく連結された状態で配置される。

30

【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 の端部同士が隙間なく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。

40

【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 の端部同士が隙間なく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

50

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隙間なく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

10

20

30

40

50

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。また、複数の光源 103 が、該光源 103 の光軸方向断面視において複数の受光素子アレイ 120 の各々の端部近傍に、かつ、副走査方向において対向する複数の受光素子アレイ 120 の略中央部に位置していてもよい。

【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。

10

【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、千鳥状に配置された各受光素子アレイ 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。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、受光レンズ 11 の光軸 113 が、受光レンズ 11 の副走査方向の幅の略中央に位置するように、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。

20

【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。

30

【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。

40

【0085】

図 13 における受光レンズ 11 の副走査方向の幅は 5 mm 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 5 mm

50

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 $t=0.2\text{mm}$ の遮蔽板を配置した。 $t=0.2\text{mm}$ 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。

【0091】

10. 受光光学系及び検出回路系の実施例

図16Aに受光素子アレイ120の手前にイメージインテンシファイア200を配置した実施例を示す。また、図16Bに受光素子アレイ120の手前にイメージインテンシファイア200を配置した場合のより詳細な模式図を示す。イメージインテンシファイア200は、光が作る像の強度を増幅するためのものであり、複数の受光素子(受光素子アレイ120)の受光面手前に対向配置される。イメージインテンシファイア200には、光電面201、マイクロチャンネルプレート202(以下MCP202と記す)及び蛍光体面203などが含まれる。イメージインテンシファイア200と受光素子アレイ120との間には、光ファイバプレート204が配置されている。光電面201、マイクロチャンネルプレート202及び蛍光体面203は、セラミック製の真空封止体205内で互いに

10

20

30

40

50

近接配置されている。

【0092】

光電面201は、光を電子に変換する。MCP202は、光電面201により光から変換された電子を増倍する。蛍光体面203は、MCP202により増倍された電子を光に変換する。光ファイバプレート204は、蛍光体面203により電子から変換された光を受光素子アレイ120の各受光素子に導く。具体的には、光電面201上に結像された光が、光電面201により電子に変換され、その電子がMCP202の各チャンネルに入射する。MCP202の各チャンネルに入射した電子は、MCP202の両端の高電圧勾配により電子雪崩効果（バランシェ効果）により増倍された後、蛍光体面203に衝突する。蛍光体面203では、衝突した電子量に応じた光が出力され、その出力された光が光ファイバプレート204を介して受光素子アレイ120の各受光素子に導かれる。

10

【0093】

図16Bでは、イメージインテンシファイア200を含む光学ラインセンサ（受光素子アレイ120）に合わせ、矩形形状のMCP202としている。図16Aの受光光学系は、テレセントリック光学系300であり、両側テレセントリック光学系を示している。具体的には、アパチャー21の上流側及び下流側にそれぞれ受光レンズ11が配置された受光光学系により、検査対象物からの光がイメージインテンシファイア200を介して受光素子アレイ120に導かれる。すなわち、複数の受光レンズ11がテレセントリック光学系300を構成している。但し、テレセントリック光学系300は、必ずしも両側テレセントリック光学系でなくともよく、物体側テレセントリック光学系、或いは、受光素子アレイ120と検査対象物の観測点との対応が可能な他の結像レンズ系を用いてもよい。また、図16Cは、図16Bの受光素子アレイ120を3ラインセンサとした場合を示した。

20

【0094】

図17にイメージインテンシファイア200の断面模式図を示す。図17の紙面左方向から極微弱光がイメージインテンシファイア200の光電面201に入射し、次に光電面201で光電子を生成し、該光電子は、MCP202の入射面側に入射する。次にMCP202の二次電子増倍電極面により区画される各チューブに入射した光電子がMCP202の出射口に向かい、前述した電子雪崩効果（アバランシェ効果）により増倍され電子数を増してゆく。MCP202の出射口に到達した電子は、蛍光体面203に入射し、蛍光を生成する。前記蛍光は、光ファイバプレート204を構成する各光ファイバ206に入射して伝搬され、光ファイバプレート204の出射口から出射する。光ファイバプレート204の各光ファイバ206から出射する蛍光は、受光素子アレイ120における極微弱光が入射したMCP202の各チューブと対応する画素に入射し、極微弱光から直接に得られる出力の数千倍から数万倍の出力を得ることが可能になる。

30

【0095】

前記の実施例は、内部に異物や欠陥を含む検査対象物に対し特に有効である。即ち、内部に異物や欠陥を含み透過率の低い媒体であっても、所謂フォトンカウンティングに近い撮像が可能となり、異物や欠陥の弁別が容易となる。加えて、テレセントリック光学系300を採用した場合に、回折限界と受光光学系のN.A.の関係、更には倍率（縮小率）も合わせて考慮して、アパチャー径を絞り込むことにより、幾何光学的な直進光成分のみに選別できるため、得られる異物や欠陥の画像がより鮮明（コントラストが良好）になり、結果、異物や欠陥の種類、材質などを特定することも期待できる。

40

【0096】

テレセントリック光学系300とイメージインテンシファイア200を組み合わせ、テレセントリック光学系300のアパチャーサイズを回折限界と幾何光学のバランスを取りながら極めて小さくすることにより、異物や欠陥の検出の精度及び確度が向上する。前述した図6の回折限界とN.A.の関係により、波長 $\lambda = 850\text{ nm}$ で約 $20\text{ }\mu\text{m}$ の分解能（ 1200 dpi 相当）を得るためには、N.A. 0.02が必要になる。故にW.D.の長い受光レンズ11を検査対象物側に用いる場合は、受光素子アレイ120側の受光

50

レンズ 11 に焦点距離の短いレンズを用いて縮小光学系とすればよい。例えば、検査対象物側に $f = 100\text{ mm}$ の焦点距離の受光レンズ 11 を用い、アパチャーサイズ D_a を $D_a = 800\text{ }\mu\text{m}$ とした場合の受光素子アレイ 120 側の受光レンズ 11 の焦点距離は、 $f = 10\text{ mm}$ 、即ち、 $10 : 1$ の縮小光学系とすればよい。

【0097】

尚、MCP 202 には、図 17 に示したように、入・出射面に垂直な方向と MCP 202 の各チューブの軸線（中心線）との間にバイアス角が設けられている。光電子が二次電子増倍電極面に必ず入射し、当たらずに直接通り抜けることがないように、バイアス角は数度設けてあり、図 17 に示した如く、主走査方向にバイアス角が最大になるように固定する。例えば、主走査方向に対し、バイアス角 θ_b が $\theta_b = 8^\circ$ 、MCP 202 の厚みが 0.5 mm の場合、MCP 202 の各チューブの入射面と出射面の軸ずれ L_s は、 $L_s = 625\text{ }\mu\text{m}$ となるので、主走査方向に前記軸のずれ量よりも長い光学ラインセンサ（受光素子アレイ 120）を用いるか、予め MCP 202 よりも若干長い光学ラインセンサ（受光素子アレイ 120）をバイアス角により主走査方向にずらして配置すればよい。

【0098】

検査対象物は透過率分布を有している場合がほとんどであり、イメージインテンシファイア 200 を用いた際に、検査対象物の透過率が高い場合には、イメージインテンシファイア 200 自身のオートゲート機能により、イメージインテンシファイア 200 の出力飽和を緩和する方策がとられる。しかし、イメージインテンシファイア 200 に出力飽和対策が施された場合でも透過率変動の制御範囲を超える場合が想定される。故に出力が飽和したと同時に光源 103 側の光量を制御することにより、飽和抑制を図ることが可能となる。そのため、イメージインテンシファイア 200 のオートゲート機能が働いた際に光源 103 側にフィードバック信号が出力され、それに基づいて光源 103 の光量を減じる手段があり、かつ、減じる光量を複数段階用意しておき、フィードバックされる毎に繰り返し光量を増減させればよい。このように、イメージインテンシファイア 200（MCP 202）がオートゲート機能を有しており、該オートゲート機能に応じて光源 103 側が連動して光量を調整する機能を有していてもよい。

【0099】

次に、散乱光を除去する手段として、光路差即ち飛行時間差の違いを活用する方法について述べる。図 18 は、本発明に用いる時間ゲート法について説明するための図である。受光素子が蓄積を開始して一定時間が経過し、光源 103 を発光させると、イメージインテンシファイア 200 において MCP 202 内を電子が高電圧により加速飛行し、MCP 202 の壁面と衝突を繰り返した後に蛍光体面 203 に到達するため、蛍光体面 203 から出射する蛍光は非常に短い時間であるが遅延する。受光素子の蓄積時間と、イメージインテンシファイア 200 が蛍光発光し、受光素子の蓄積時間が終了する時間手前の極めて短い時間だけ、蛍光照明光が前記受光素子を照明すれば、蛍光の発光初期段階、即ち、早く到達した光のみを受光することが可能になる。早く到達する光は、光路の短い直進光成分であり、散乱光成分は、光路が長く、直進光成分に比べ、遅れて受光素子に到達するため、前記のように、散乱光成分を蓄積時間内に受光素子に到達させないようにすることが可能である。こうすることで、散乱光成分を除去でき、 S/N の良い、コントラストの良い計測が可能になり、ひいては透過性のある光散乱媒質中の異物や欠陥の検出も可能になる。

【0100】

図 19 は、パルス遅延位相差検出方法のタイミングチャートの概略図である。受光素子はスタートパルスから予め決められ時間遅延して、イメージインテンシファイア 200 から射出した蛍光により発生した光電子の蓄積を開始する。次に蓄積終了以前に光源 103 を ON にする。この際、図 20A に示す遅延回路（等価回路）210 を用いて、スタートパルスから一定時間遅延して光源 103 をパルス発光させる。遅延回路（等価回路）210 は、複数の LC 回路 211 を有する遅延梯子型ゲート回路であり、各 LC 回路 211 にスイッチ 212 が備えられている。

【0101】

次にごく短時間で光源103をOFFにする。或いは、イメージインテンシファイア200のゲートを閉じてよい。しかし、蛍光残光が受光素子を照らし続けるので、受光素子が蛍光残光によるゲインを得ないように蓄積時間を終了する。光源103の発光タイミングと蓄積時間の終了のタイミングやイメージインテンシファイア200のゲート回路は、前述した図20Aの遅延回路（等価回路）210のスイッチ212の開閉でLC回路211のパラメータと数を増減させて合わせる（チューニングする）ことができる。

【0102】

遅延回路210の代表としては高周波伝送路（導波路）である同軸ケーブルがある。また、同軸ケーブルと同様、高周波伝送路であるストリップラインやマイクロストリップライン等がある。前記のストリップラインやマイクロストリップラインも基本的には同軸ケーブルの原理と同じであり、長さにより、インピーダンスが変化せず、遅延時間のみが変化する。ストリップラインは、同軸ケーブルに代わる回路として、同軸ケーブルの外部導体の両側面を切り開いて2枚の板とし、内部導体を箔状に引き延ばした形状であり、近年では携帯電話などに用いられている。

10

【0103】

図21はストリップライン220の模式図である。ストリップライン220は、板状の誘電体221の表面及び裏面にそれぞれ導体222が設けられるとともに、誘電体221の内部に線状の導体223が設けられた構成であり、導体222は接地されている。Hはストリップライン220の高さ、Wは導体223の幅、tは導体223の厚みである。ストリップライン220は、数m程度の短距離では同軸ケーブルと同等のインピーダンス特性を実現可能であり、特性インピーダンス Z_0 を長さに依存しない一定の $Z_0 = 50 \Omega$ 、或いは、 $Z_0 = 75 \Omega$ にすることが可能である。

20

【0104】

例えば、図21において、 $H = 0.2 \text{ mm}$ 、 $W = 0.33 \text{ mm}$ 、 $t = 0.04 \text{ mm}$ 、誘電体221の誘電率 $\epsilon_r = 4$ （エポキシ系の樹脂とする）とすると、特性インピーダンス Z_0 は $Z_0 = 50 \Omega$ となる。遅延時間 T_r は、 $103 \sqrt{\epsilon_r} / 0.3 \text{ nsec} / \text{m}$ より、 $T_r = 6.7 \text{ nsec} / \text{m}$ となり、結局、ストリップライン220の遅延時間は $T_r = 6.7 \text{ psec} / \text{mm}$ となる。また同軸ケーブルにおいては、遅延時間は $T_r = 5 \text{ nsec} / \text{m}$ であるので、 $5 \text{ psec} / \text{mm}$ の遅延時間になる。よって、複数のスイッチ位置の異なるストリップラインを基板上に作成しておき、FPGAのゲートで複数の連なった梯子段回路の切り替えをすることにより、遅延時間をチューニングすることが簡単な方法である。或いは、長さの異なる極細同軸ケーブルを基板上に作成しておき、スイッチにより適宜極細同軸ケーブルの長さを変更する方法やマイクロストリップラインなどを用いる方法もある。径が極めて細い直径が $\phi = 0.2 \sim 0.3 \text{ mm}$ の同軸ケーブルは既に市販され、携帯電話やノートパソコンなどの屈曲部に用いられている。以上より、イメージインテンシファイア200の蛍光発光時間と受光素子の蓄積時間のタイミングを調整することにより、散乱光成分を除去し、直進光成分のみを得ることが出来るため、検査対象物の内部の異物や欠陥の検出精度が向上する。遅延が安定していれば他の遅延素子や遅延回路であってもよく、回路の時定数と各素子の動作する閾値で遅延時間を設定すればよい。

30

40

【0105】

受光素子の蓄積時間の終端付近で、光源103の応答時間やイメージインテンシファイア200の応答時間をそれぞれに考慮して、光源103をON/OFF、及びイメージインテンシファイア200のゲートをON/OFFすれば光観測時間が短くなり、一番早く受光素子に到達する検査対象物から出射した直進光成分のみを受光することが可能になる。イメージインテンシファイア200の応答性は、数 10 nsec であるため、イメージインテンシファイア200の応答の遅延時間も考慮し、イメージインテンシファイア200のゲートのシャッターを閉じるタイミングを調整する。その際の時間調整は、同軸ケーブルの長さを変更した同軸ケーブル回路網を用いてFPGAにより前記回路網における特定の回路を選択すること（回路を切り替えること）により行う。或いは、同軸ケーブル回

50

路網に代えてストリップライン回路網を用いてもよい。前記回路網は、光源 103 とイメージインテンシファイア 200 で別の回路として、夫々の応答時間に応じた遅延時間をチューニングすることもできる。ちなみに 10 p s e c の遅延ゲート機能を有するカメラは「ICCD カメラ」として市販されている。

【0106】

前述したパルス遅延位相差検出に用いる光源 103 として、ピコ秒パルスレーザーやフェムト秒パルスレーザーがあり、繰り返しパルスと蓄積時間を同期させることにより、イメージインテンシファイア 200 とパルスレーザーを組み合わせた遅延位相差検出方法において効率のよい異物・欠陥検出が可能になる。ライン型 CMOS センサのラインレートは、100 ~ 200 K H z 程度であるので、繰り返しパルスレーザーの繰り返しレートは問題なく実現可能である。

10

【0107】

高繰り返しレーザーと受光素子の繰り返し蓄積時間を同期させれば、光散乱性の媒質中の異物・欠陥を検出できる。また、複数のフェムト秒レベルのパルスレーザーを組み合わせることで、図 18 の位相ずれを複数有する検出器により、検査対象物の厚み方向の位置が光路差として現れ、厚み方向に対する位置情報を得ることにより、該検査対象物自身の内部構造の把握が可能になる。また、前記高繰り返しレーザーに加え、イメージインテンシファイア 200 のゲート開閉時間や繰り返し周波数も検討する必要がある。ゲート時間は 3 n s e c 、繰り返し周波数は 300 K H z 程度の性能の市販品が存在する。即ち、高繰り返しレーザーと同等の応答性を有している市販品が存在する。各素子のタイミングのマッチングには、少ないジッターが求められるが、本実施例においては、1 n s e c 以下の蛍光取得時間としており、10 p s e c (r m s 値) 以下のジッターであれば、1 % 以内の誤差範囲に収まる。基準クロックのジッターが一番重要であり、1 G H z のクロック周波数においては、既に 1 p s e c 以下のジッター (r m s 値) を実現した市販品が以前からある。

20

【0108】

光源 103 並びにイメージインテンシファイア 200 の繰り返し周波数、受光素子の蓄積時間のタイミング (時間間隔) 及び搬送速度を考慮し、各パラメータの最適値を決めればよい。更には、前記検査対象物の厚み方向に対する受光素子の出力の主走査方向と副走査方向の一定のデータについて離散フーリエ変換することで、検査対象物の任意の体積について濃度情報が得られ、検査対象物の 3 次元構造を得ることも可能である。但し、その際には、厚み (深さ) 方向にスキャンすることが必要になる。

30

【0109】

以下に、変形例について具体的に説明する。前記の受光素子アレイ 120 のラインレートは 125 K H z である。また、イメージインテンシファイア 200 のゲートの開・閉時間の繰り返し周波数も前記受光素子アレイ 120 のラインレートに合わせ 125 K H z とし、ゲート時間を 5 n s e c とした。また、前記受光素子アレイ 120 の蓄積時間は、ラインレートを考慮して、5 μ s e c とした。即ち、蓄積時間のうち、最後の 1000 分の一の時間だけゲートを開け、イメージインテンシファイア 200 から射出する蛍光を受光素子アレイ 120 が受光する。また、高繰り返しレーザーについては、パルス幅変調 (P W M) を実施し、パルス幅は、イメージインテンシファイア 200 のゲート動作時間よりも短く、2 n s e c とした。また、光源 103 とイメージインテンシファイア 200 の動作時間の位相をずらし、イメージインテンシファイア 200 の光電面 201 への光入射を制限することも可能である。光源 103 を早く発光させ、イメージインテンシファイア 200 のゲート動作開始を遅らせれば、重畳された時間のみに光量はより制限される。また、デューティ比を小さくすれば、短い時間で高い出力を実現可能である。繰り返し周波数は、受光素子アレイ 120 のラインレートに合わせ 125 K H z としている。

40

【0110】

イメージインテンシファイア 200 は、光が光電面 201 に到達して蛍光体面 203 から射出するまでに一定の時間を要する。即ち、イメージインテンシファイア 200 が無い

50

場合に受光素子アレイ 120 に到達する場合と比べると遅延する。本実施例におけるイメージインテンシファイア 200 の遅延時間は、個体差があるが、概ね 50 ~ 60 nsec とされている。故に蓄積時間の開始を 50 ~ 60 nsec 遅らせれば、イメージインテンシファイア 200 が無い場合と同じ時刻に受光できる。個体差については、遅延回路網を用いチューニングして各素子の動作とマッチングを取ればよい。

【0111】

即ち、イメージインテンシファイア 200 のゲートを開き、光源 103 を光らせるまで、蓄積開始タイミングを 50 ~ 60 nsec 遅らせて行えばよい。更に、イメージインテンシファイア 200 の製造ばらつきで、遅延時間がばらついた場合でも、前記遅延回路 210 による遅延時間を回路長（或いは、同軸ケーブル長）の切り替えにより対応すればよい。マイクロストリップラインや同軸ケーブルについても製造しやすい長さを用いればよい。5 psec の遅延時間差は、1 mm であるが、例えば 11 mm を基準（この場合は 55 psec 遅延する）にして 1 mm ずつ増してゆき、5 psec 分解能の遅延時間の調整が可能な遅延回路 210 を実現することが可能である。

【0112】

更に、蓄積時間内の終了タイミング前の 5 nsec の時間だけ受光するために、前記の蓄積時間のタイミングについては、イメージインテンシファイア 200 や光源 103 の動作時間を 45 ~ 55 nsec（素子の固体ばらつきを把握した後は、固定の遅延時間に設定する）遅らせることとすればよい。この場合、光源 103 の応答性やイメージインテンシファイア 200 の応答性も勘案し、図 20A や図 20B に示した遅延回路 210 を用いて、光源 103、イメージインテンシファイア 200、受光素子回路の応答に関する固体ばらつきも含めたタイミング合わせに psec オーダーのチューニングを実施し、高ゲインかつ S/N の良い信号を得ることが可能になる。換言すれば、散乱光成分を除去し、高ゲイン、高 S/N の信号を得るためにチューニングを実施するのである。

【0113】

以上の結果によれば、受光素子、光源 103 及びイメージインテンシファイア 200 の動作について、以下のように設定することが好ましい。すなわち、イメージインテンシファイア 200 のゲート動作時間と、検査対象物を照明する光源 103 の発光時間とが、それぞれ受光素子の蓄積時間よりも短いことが好ましい。また、受光素子、光源 103 及びイメージインテンシファイア 200 の一連の動作の 1 周期において、（1）光源 103 の発光開始時刻と発光終了時刻が、受光素子の蓄積動作開始時刻よりも早く、（2）イメージインテンシファイア 200 のゲート動作開始時刻が、受光素子の蓄積動作終了時刻よりも早く、かつ、受光素子の蓄積動作終了時刻が、イメージインテンシファイア 200 のゲート動作終了時刻よりも早いことが好ましい。イメージインテンシファイア 200 及び光源 103 の少なくとも一方は、遅延回路 210 を備えており、光源 103 とイメージインテンシファイア 200 の動作時刻を調整することが出来ることが好ましい。

【0114】

1.1. 光学系の変形例

図 22A 及び図 22B に、反射型光学系の模式図を示す。図 22A 及び図 22B では、主走査方向から見た図と主走査方向に直角な方向から見た図とが並べて示されている。図 22A 及び図 22B では、反射型同軸光学系が示されており、偏光ビームスプリッタ 231（Polarizing Beam Splitter；以下 PBS 231 と記す）と $\lambda/4$ 波長板 232 により、照射光と反射光を分離して測光することができる。図 22A 及び図 22B において、PBS 231 は、イメージインテンシファイア 200 と受光レンズ 11 との間に配置されている。図 22A では、 $\lambda/4$ 波長板 232 が受光レンズ 11 とイメージインテンシファイア 200 の間に配置され、図 22B では、 $\lambda/4$ 波長板 232 が受光レンズ 11 と検査対象物の間に配置されている。ただし、 $\lambda/4$ 波長板 232 が受光レンズ 11 とアパチャー 21 との間に配置されていてもよい。

【0115】

このように、受光レンズ 11 の光軸上において、イメージインテンシファイア 200 と

テレセントリック光学系 300 の受光素子アレイ 120 側の受光レンズ 11 との間に P B S 231 が配置されている。また、テレセントリック光学系 300 の受光素子アレイ 120 側の受光レンズ 11 と P B S 231 との間、或いは、テレセントリック光学系 300 の検査対象物側の受光レンズ 11 と検査対象物との間、或いは、テレセントリック光学系 300 の受光素子アレイ 120 側の受光レンズ 11 又は検査対象物側の受光レンズ 11 とアパチャー 21 との間の何れかに $\lambda/4$ 波長板 232 が配置されている。P B S 231 と $\lambda/4$ 波長板 232 は、主走査方向における幅が受光素子アレイ 120 よりも長い。

【0116】

ダイオードなどの光源 103 から射出した S 偏光ビームは、偏光ビームスプリッタ 231 (Polarizing Beam Splitter; 以下 P B S 231 と記す) によりほぼ全反射し、 $\lambda/4$ 波長板 232 に入射し、円偏光となって、照明光学系のレンズを経て検査対象物に入射する。次に検査対象物の反射成分が反対回りの円偏光となって受光光学系並びに $\lambda/4$ 波長板 232 に再入射し、P 偏光ビームとなり、P B S 231 に入射する。P 偏光ビームは、P B S 231 を透過して M C P 202 に入射し、光強度が増幅された後に受光素子アレイ 120 に入射することにより、増倍された電氣的出力が得られる。透過型と同様に直進光成分のみを得ることが可能であり、かつ、光軸は、照明光学系と受光光学系で自動的に合致する点で透過型よりもはるかに扱いやすい利点がある。尚、偏光特性、光強度、応答性が優れていれば他の光源でもよい。

【0117】

反射型が、透過型よりも不利な点は、透過型の検査対象物において受光強度が 3 桁程度低下することである。この場合は 2 段の M C P 202 を用いれば光量の低下を補うことが可能になる。M C P 202 を 1 段から 2 段に置き換えることで、3 桁以上光強度が向上し、透過型と同等程度の出力が得られる。

【0118】

尚、透過型においては、反射型で用いた光源 (直線偏光光源) 103、P B S 231、 $\lambda/4$ 波長板 232 の組み合わせに加えて、受光部に P B S 231 を透過した P 偏光成分と同じ偏光方向を有する偏光板を用いてもよい。また、言うまでもなく図 22A や図 22B の光学系に前記偏光板を追加することにより更に偏光度の優れた直進光成分を得られる。

【0119】

図 22C 及び図 22D に、他の反射型光学系の模式図を示す。図 22C では物体側テレセントリック光学系を示し、図 22D では両側テレセントリック光学系を示している。図 22C 及び図 22D では、受光レンズ 11 の両面に対向して $\lambda/4$ 波長板 232 が示されているが、受光レンズ 11 のいずれか一方の面に対向して $\lambda/4$ 波長板 232 が設けられていればよい。

【0120】

図 22C では、受光レンズ 11 の光軸上において、イメージインテンシファイア 200 とテレセントリック光学系 300 の受光レンズ 11 との間、かつ、アパチャー 21 近傍に P B S 231 が配置されている。ただし、入・出射面にアパチャー 21 を設けた P B S 231 が各光ビームの交差する近傍に配置された構成であってもよい。また、テレセントリック光学系 300 の受光レンズ 11 と検査対象物の間に $\lambda/4$ 波長板 232 が配置されるか、或いは、該受光レンズ 11 と P B S 231 の間で、受光レンズ 11 近傍に $\lambda/4$ 波長板 232 が配置される。P B S 231 と $\lambda/4$ 波長板 232 は、主走査方向における幅が受光素子アレイ 120 よりも長い。なお、図 22C に示すような物体側テレセントリック光学系では、両側テレセントリック光学系における受光素子アレイ 120 側の受光レンズ 11 と検査対象物側の受光レンズ 11 が、1 つ、或いはアクロマートやセパレート式アクロマート、アポクロマートなどが代表的な複数のレンズから成る G a u s s 型レンズを含む 1 組 (1 群) の受光レンズ 11 で代用されてもよい。

【0121】

図 22D では、受光レンズ 11 の光軸上において、イメージインテンシファイア 200

10

20

30

40

50

とテレセントリック光学系 300 の受光素子アレイ 120 側の受光レンズ 11 との間に P B S 231 が配置されている。ただし、入・出射面にアパチャー 21 を設けた P B S 231 が各光ビームの交差する近傍に配置された構成であってもよい。また、テレセントリック光学系 300 の検査対象物側の受光レンズ 11 近傍と検査対象物の間に $\lambda/4$ 波長板 232 が配置されるか、或いは、該受光レンズ 11 と P B S 231 の間で、受光レンズ 11 近傍に $\lambda/4$ 波長板 232 が配置される。P B S 231 と $\lambda/4$ 波長板 232 は、主走査方向における幅が受光素子アレイ 120 よりも長い。図 22 D では、前記受光レンズ 11 の近傍にすべての $\lambda/4$ 波長板 232 を配置した図となっているが、図 22 D の何れか 1 か所に配置すればよい。

【0122】

10

12. 受光光学系の変形例

次に受光光学系の別態様について記す。図 23 は、光源（偏光光源）103 から光を照射して多段（図 23 の場合は 2 段）のテレセントリック光学系 300 で受光する場合を示しており、光源 103 側のテレセントリック光学系 300（テレセントリック光学系 301）と、受光素子アレイ 120 側のテレセントリック光学系 300（テレセントリック光学系 302）とが備えられている。テレセントリック光学系 301 は、1 対の受光レンズ 311 と、その間に設けられたアパチャー 211 とを含む。テレセントリック光学系 302 は、1 対の受光レンズ 312 と、その間に設けられたアパチャー 212 とを含む。図 23 では、光源 103 側のアパチャー 211 の径を小さくし、後段の受光素子アレイ 120 側のアパチャー 212 を通常の大きさとした場合を示す。即ち、2 組のテレセントリック光学系 300 が光軸上に配置され、かつ、各テレセントリック光学系 300 に含まれるアパチャー 21 の径（アパチャー径）が異なる。具体的には、テレセントリック光学系 300 の上流側に配置されたアパチャー 211 が、下流側のアパチャー 212 よりも小さい。各テレセントリック光学系 300 に含まれるアパチャー 21 の径は、受光レンズ 11 の略回折限界であるか、或いは、受光素子の略 1 画素に相当する径であることが好ましい。

20

【0123】

実施例において、テレセントリック光学系 301 のアパチャー 211 の直径を $10\ \mu\text{m}$ 、テレセントリック光学系 302 のアパチャー 212 の直径を $800\ \mu\text{m}$ とした。こうすることにより、アパチャー 211 では、回折効果が顕著になり、検査対象物側の受光レンズ 311 により平行光束となった光は、 $10\ \mu\text{m}$ 径のアパチャー 211 により、アパチャー 211 から出射した時の Airy Disc の拡がり角 θ_d が $\theta_d = 12.5^\circ$ となる。回折拡がりも利用し、テレセントリック光学系 301 の後段の受光レンズ 311 をアパチャー 211 に若干近づけることにより、アパチャー 211 から出射した光は、該受光レンズ 311 を通過し、拡散しつつ、テレセントリック光学系 302 の前段の受光レンズ 312 を通過し、アパチャー 212 に入射する。該アパチャー 212 の回折効果による Airy Disc の拡がり角 θ_d' は、 $\theta_d' = 0.08^\circ$ であり、非常に小さく、即ち、後段のアパチャー 212 の回折効果は無視してよい。即ち、前段（1 段目）のアパチャー 211 で、光束を拡げ、後段（2 段目）のアパチャー 212 で拡がった光の中央部近傍を捉え、平行光束に戻すことにより、より直進光成分のみを選択的に受光できるようになる。故に、検査対象物中にある異物・欠陥により散乱された光の内、直進光成分をより選択的に受光できる。結果、検査対象物中に埋もれている異物・欠陥を更に高精度に検出できるようになる。

30

40

【0124】

尚、本実施例では、テレセントリック光学系 300 は 2 段としたが、更に 3 段、4 段と段数を増加すれば、より直進光成分を選択的に受光出来るようになる。その際には、受光素子アレイ 120 側のアパチャー 21 のみ平行光束を受光できるアパチャー径とし、他のアパチャー 21 は、回折による拡がりを考慮した径にすればよい。回折効果により拡がった光が多くなり、直進光成分が弱くなるが、イメージインテンシファイア 200 を多段にすることで対応できる。例えば、簡単のため回折光が光軸に対しフラットな強度分布であると仮定すると、前記の 2 段のテレセントリック光学系 300 によって、 $1/6400$ の

50

光量となるため、数千倍から数万倍の増倍率を有する１段型のイメージインテンシファイア２００を用いる。３段のアパチャー２１の場合、上流側のアパチャー２１が両者とも $20\mu\text{m}$ とすると、最終的に受光素子アレイ１２０側のアパチャー２１を通り抜ける光量は、 $(1/1600) \times (1/1600) = 1/2560000$ となる。そのため、この場合は、数十万倍から数百万倍の増倍率を有する２段型のイメージインテンシファイア２００を用いればよい。

【０１２５】

尚、光源１０３側に配置されたテレセントリック光学系３０１の後段の受光レンズ３１１は、アパチャー２１１に対し、若干近づけている。そうすることにより、光束が拡がり、テレセントリック光学系３０２の前段の受光レンズ３１２により、拡がった光束の拡がり10
が少なくなって平行光束に近づき、テレセントリック光学系３０２の本来必要な平行光束のみがアパチャー２１２により選択され受光素子アレイ１２０に結像する。即ち一旦光束を拡げ、拡がった光束のうち光軸に近い成分を選択することにより、更なる直進光成分のみを受光できる。更に、図１８から図２１で示した時間差により直進光成分を抽出する方法では、レンズ系を用いないイメージインテンシファイア２００と受光素子アレイ１２０の組み合わせにおいて、図１６Ａの受光レンズ１１を取り除いてイメージインテンシファイア２００と受光素子アレイのみとし、検査対象物に対向させた配置でもよい。

【０１２６】

図２６Ａにレンズ系を除いた場合の模式図を示す。検査対象物と受光素子の１画素の張る立体角（半角）が 1° 程度であれば、本願発明で用いているテレセントリック光学系３００の $N.A.$ にほぼ近い光束に絞ることが出来、その場合の受光系と検査対象物との距離は、 $N.A. = 0.02$ の場合で、 7500mm 程度である。 600dpi 相当（画素サイズ $42\mu\text{m}$ 相当）であれば、隣接画素との光路差は、平面ミラーなどの部材を用いて、光路の折り曲げを多数回実施することで、比較的コンパクトになる。反射面の反射率は 99.5% である。誘電体多層膜を用いた反射面は、一般的に実施されており、 $n=30$ 回程度の反射回数でも最終的な光線の強度は入射時に比べて出射時の光線の強度が 85% 以上になるため、実用に際して問題はない。図２６Ｂに平面ミラー３０３を用いて、光路を折り曲げ、コンパクト化した場合の模式図を示す。また、前述のテレセントリック光学系３００と同様に $PBS231$ をイメージインテンシファイア２００の受光部手前に配置し、直線偏光光源から出射した光を図示しないコリメーション手段によりコリメートし、30
図示しないシート状にコリメート光を整形する手段を用い、イメージインテンシファイア２００への透過光の入射角に垂直になるように調整し、かつプリズム３０４近傍に $\lambda/4$ 波長板、偏光フィルタを前述の実施例（変形例）のように配置すれば反射型も実現可能である。

【０１２７】

図２６Ｂの光学系においては、検査対象物からの光が直角プリズム３０４により折り曲げられた後、平行に配置された一対の平面ミラー３０３の間で繰り返し折り曲げられる。約 250mm の平面ミラー３０３同士の折り曲げ光路方向の間隔は約 250mm であり、光を２８回折り曲げているため、光路長は約 7500mm となる。その場合の隣接画素との光路差は約 1.5mm であり、時間差で弁別できる最大分解能 1.5mm とほぼ一致する40
ため、テレセントリック光学系３００とほぼ同等の性能を満足する。

【０１２８】

図２６Ａ及び図２６Ｂの例では、テレセントリック光学系３００から受光レンズ１１及びアパチャー２１が除かれ、受光レンズ１１の位置に直角プリズム３０４並びに一対の平面ミラー３０３が対向配置されている。また、搬送方向に対し垂直な平行平面となるように一対の平面ミラー３０３が配置され、該平面ミラー３０３の検査対象物側の一方の端部に直角プリズム３０４が配置されている。直角プリズム３０４に入射した検査対象物から発出した光線は、検査対象物が搬送される方向に対し垂直な光線であり、該光線は、続いて、直角プリズム３０４の全反射面となる斜面に入射する。直角プリズム３０４の直角となる辺の一方は、平面ミラー３０３に対して非平行である。直角プリズム３０４を射出し50

た光線は、一方の平面ミラー 303 の反射面に非垂直に入射し、一对の平面ミラー 303 の間を反射・屈曲しながら平面ミラー 303 の奥行方向へと長い光路を進行した後、平面ミラー 303 の検査対象物とは反対側の他方の端部から射出する。射出した光線は、イメージインテンシファイア 200 を介して受光素子アレイ 120 に入射する。なお、外乱光を遮断する主走査方向に長い開口部を有するスリット（図示せず）が、平面ミラー 303 の端部に配置されていてもよい。

【0129】

13. トモグラフィへの応用

前述までの検査装置はリアルタイムの検査が目的であったが、本実施例で記す検査装置は、主としてオフライン検査を目的とする。前述の透過型、反射型の光学系は、イメージインテンシファイア 200 と遅延回路 210 を用いることにより、直進光を受光できるため、検査対象物と前記光学系を相対的に回転させ、X 線 CT などを用いられている Radon 変換、2 次元 Fourier 変換、或いは、逐次近似法などを用いて 3 次元断層像（3 次元断層画像又は 3 次元断層映像）を得ることが可能である。図 24A に実施例（模式図）を示す。図 24A の右下の太枠線内の構成が図 16A、図 22A、図 22B、図 23 に相当する。また、遅延回路 210 を用いず、光学系とイメージインテンシファイア 200 のみを用いてシステムを構成してもよい。

【0130】

尚、前述した受光光学系はテレセントリック光学系 300 を基本としているが、トモグラフィは、結像光学系は不要である。検査対象物の任意の位置における透過率を求めることで断層像を得るため、光源 103 を射出した光を検査対象物に入射させ、検査対象物を出射したビームの平行光束成分を受光素子アレイ 120 にて受光し、その出力を求める。故に必ずしも結像させる必要はない。テレセントリック光学系 300 は、それに用いるアパチャー径を極めて小さくすることで、平行光束に近い光線として受光素子アレイ 120 に入射させる役目を担う。但し、アパチャー径を単純に小さくしただけでは、回折効果によりアパチャー 21 を出射した光が広がってしまうため、丁度光路となる中心部付近の光線だけ受光素子アレイ 120 に入射させる必要がある。そのため、2 段のテレセントリック光学系 301, 302 を用い、前段のテレセントリック光学系 301 で、アパチャー 211 を絞り、入射光線を回折させ、次に回折光の略中央部のみを受光するために、後段のテレセントリック光学系 302 により、回折した光の中心部を受光素子アレイ 120 に導く。

【0131】

また本願発明は、X 線 CT における平行ビーム方式やファンビーム方式と類似のシステムであるが、近赤外線領域を用い、屈折率を有する硝材や樹脂を用いて前述したテレセントリック光学系 300 を構成するレンズを作ることができるため、光源 103 から射出した光を比較的容易に平行なシートビームとすることが出来、かつ、受光素子の画素サイズは非常に小さくも出来、また受光素子アレイ 120 の走査速度が速いため、X 線 CT を上回る解像度、並びに、検査速度を実現できる。更に、受光光学系は継ぎ足すことが可能であり、故に、X 線 CT に用いられているヘリカルスキャンなどの主走査方向へのスキャンが不要になる。但し、ヘリカルスキャンも用いることは可能である。この場合は、検査対象物を主走査方向に移動させるか、或いは、光学系全体を検査対象物に対し、相対的に移動させてもよい。赤外線光源を用いることにより、X 線による放射線被爆の問題もなくなる。また、図 24A に示したガントリー（破線）内にある照明光学系と受光光学系の距離（直径）を変更することで、検査対象物のサイズに応じた検査が可能になる。

【0132】

図 24B に、後述する図 25A に模式的に示した矩形状の受光レンズ 11 と受光素子アレイ 120 を千鳥配置した構成がガントリー内に配置された場合の模式図を示す。本実施例において受光レンズ 11 は 1 列の場合を示した。図 25A では、イメージインテンシファイア 200 は図示を省略している。また、受光素子アレイ 120 を中心とする円周上に、やや幅広で円周に対して垂直方向に長い矩形状断面の光強度分布を有するシートビーム

光源が、受光素子アレイ 120 に対向させて配置されている。受光素子アレイ 120 は、マルチラインであり、例えば 256 ライン CCD センサなどが市販されている。CCD センサは CMOS センサに比べると読み出し周波数は低い、S/N は良好である。ラインレートは、1 KHz 程度が市販品にある。

【0133】

図 25A に示した構成により、上述の光学ラインセンサを用いた 3 次元断層像形成装置（3 次元断層画像形成装置又は 3 次元断層映像形成装置）を構成することができる。この 3 次元断層像形成装置は、光軸方向断面が矩形である平行ビームを照射し、テレセントリック光学系 300 と対向して配置される照明光学系 100 を有する。照明光学系 100 には、光源 103、コリメータ 130 及び集光レンズ 104 などが含まれていてもよい。照明光学系 100 とテレセントリック光学系 200 は、円周上に配置されており、当該円周上を回転する。円周上の略中央部に配置された検査対象物を透過した光は、テレセントリック光学系 300 で受光され、所定の演算により 3 次元断層像（3 次元断層画像又は 3 次元断層映像）が構築される。図 25A の例では、照明光学系 100 とテレセントリック光学系 200 との組が、円周上に複数配置されているが、照明光学系 100 とテレセントリック光学系 200 の少なくとも 1 組が円周上に配置され、当該円周上を回転するような構成であればよい。

【0134】

受光素子アレイ 120 の主走査方向に直角方向であるガントリーの回転方向の幅 P_g が、 $P_g = 2.5 \text{ mm}$ の場合、 2.5 mm ピッチ回転させることになり、ガントリーの半径 r_g が $r_g = 250 \text{ mm}$ の場合、ガントリーの円周 C_g は $C_g = 1570 \text{ mm}$ となる。故に、マルチラインの各受光素子アレイ 120 の読み取りが並列出力であり、1 回転に要する繰り返しの読取回数は 627 回となるため、1 回転に要する時間 T_g は、 $T_g = 0.628 \text{ sec}$ となる。故に、他の信号処理も含めても短時間での測定・検査が可能になる。前記の 1 受光素子（マルチラインセンサ）の繰り返し回数は、ガントリー 1 周分について 628 回であるため、角度ピッチ θ_g は $\theta_g = 0.57^\circ$ となる。図 27 に 5 度ピッチ、10 度ピッチ、20 度ピッチで隙間なく回転させる場合の模式図を示す。隙間なくデータを取得するために、受光素子アレイ 120 のライン数或いは、主走査方向の長さ（素子数）を変えている。但し、画像再構成時に圧縮センシング技術を用いれば、ある程度の間引き処理も可能となり、より高速の読み取りが可能になる。例えば前述した $\theta_g = 0.57^\circ$ を $\theta_g = 1^\circ$ として間引き出力してもよい。

【0135】

ここで、トモグラフィの画像処理方法を図 24A を参考にして簡単に記す。ライン数が検査対象物の $x-y$ 座標とある角度 θ 傾いた回転座標を考えると、円の中心から円周に向かい、1 本の線分が定義され、図 24A の傾斜した線分の太線について、 $x-y$ 座標と $s-t$ 座標の関係は、下記式（1）で表される。

【数 1】

$$l_{[\theta,s]}(t) = t \begin{bmatrix} -\sin \theta \\ \cos \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} s \cos \theta \\ s \sin \theta \end{bmatrix} \quad \text{式 (1)}$$

ここで、 s は、図 24A の $s-t$ 座標の太い線分と y 軸との距離であり、定数である。

【0136】

そして、太線 s の任意の点における検査対象物の使用波長における吸収率を $\mu_t(s, \theta)$ とすると、 t 軸上に積算した値が、太線 s 上の全ての吸収を表す。即ち、 s 上の角度 θ における全吸収量 $\mu(s, \theta)$ は、下記式（2）で表される。

【数 2】

$$\mu(s, \theta) = - \int_{-\infty}^{\infty} \mu(s \cos \theta - t \sin \theta, s \sin \theta + t \cos \theta) dt \quad \text{式 (2)}$$

故に、各線分において、積分（線積分）をとれば、式（２）の値は、各画素に対応しており、故に i 番目の画素に対応した線分 s_i の出力値は、 $\mu(s_i, \theta)$ となる。 θ についても離散的な値となる。

10

【０１３７】

また、一般的に $x-y$ 座標において、 $\mu(x, y)$ の Fourier 変換 $F\mu(u, v)$ は、下記式（３）で表される。

【数３】

$$F\mu(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x, y) \cdot \exp(i(ux + vy)) dx dy \quad \text{式 (3)}$$

20

故に、 $\mu(s, \theta)$ から $\mu(x, y)$ を求めれば、 $x-y$ 座標における各点の濃度が得られる（画像再構成（復元））。

【０１３８】

今、図 24A の $\mu(s, \theta)$ の変数 s についての Fourier 変換を $F\mu(s, \theta)$ とすると、 $F\mu(s, \theta)$ は下記式（４）で表される。

【数４】

$$F\mu(s, \theta) = \int_{s=-\infty}^{s=\infty} p(s, \theta) \exp(isr) ds \quad \text{式 (4)}$$

30

ここで、 r は周波数空間の極座標表示における動径（半径）である。

【０１３９】

そして、 $F\mu(s, \theta)$ は、Radon 逆変換により、下記式（５）に変換され、故に、 $x-y$ 座標の各点における濃度 $\mu(x, y)$ が得られ、検査対象物の断層画像が得られる。

【数５】

40

$$\mu(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{r=0}^{r=\infty} \int_{\theta=0}^{\theta=2\pi} \tilde{p}(r, \theta) \exp(i \langle (r \cos \theta, -r \sin \theta) | (x, y) \rangle) r dr d\theta \quad \text{式 (5)}$$

【０１４０】

以上は、連続的な値に対する数学的方法であり、実際のデータは、離散的である。そのため、式（５）の変換を実施する際に高周波域の誤差が大きくなるため、高周波成分を強

50

調するフィルタを掛ける。前記フィルタには、周知の各種のフィルタが存在するが、本願発明では省略する。また、式(5)を得ることを「断層画像の再構成」、或いは、「断層画像の復元」などというが、断層画像の再構成には、前記のFourier変換法(離散Fourier変換)以外に連立方程式を用いた逐次近似法がある。本願発明においては、周知の各種の断層画像の再構成については省略する。尚、本願発明において、以下ではFourier変換法を用いる手法を「解析的再構成法」、逐次近似法などを用いる手法を「代数的再構成法」と呼ぶことにする。

【0141】

また、Radon(逆)変換、1次元のFourier変換、2次元のFourier(逆)変換、CT画像再構成法であるフィルタ補正逆投影法や逐次近似法などに掛かる演算時間は僅かであるため、オフライン検査に用いるトモグラフィには十分である。

10

【0142】

図25Bに、受光素子アレイ120の主走査方向を光学系全体がガントリー内を回転する方向に平行にした場合の模式図を示す。図25Bでは、主走査方向が、少なくとも1組の照明光学系100とテレセントリック光学系200の光軸が回転する円周の接線に略垂直であり、かつ、主走査方向に対して受光素子アレイ120が略平行である。この場合の受光素子アレイ120の主走査方向の長さは、約15mmであり、主走査方向に対して直角方向(副走査方向)に受光素子が隙間なく配列されている。1列目の受光素子アレイ120において3ラインとすると、ライン間の隙間に2列目の受光素子アレイ120、3列目の受光素子アレイ120を回転方向と直交する方向に(通常は副走査方向)ずらして隙間を埋めて配置している。また、受光レンズ11は矩形形状である。

20

【0143】

図25Cに、受光素子アレイ120と受光レンズ11で構成される受光光学系の模式図を示す。イメージインテンシファイア200は省略している。図25Cにおいて、テレセントリック光学系300の受光レンズ11は、光軸方向断面において矩形形状である。

【0144】

但し、副走査方向に隙間を設けて、ガントリーが1回転する間に隙間分副走査(短距離のヘリカルスキャン)させてもよい。図25B、図25Cに示した受光素子アレイ120のガントリーの回転方向への配列数は、3列である。故に約45mmのピッチで回転させればよい。或いは、ガントリーの回転に同期させて、信号の取り込み間隔を45mmピッチで行ってもよい。また、受光レンズ11の光軸方向断面の形状は矩形である。

30

【0145】

前述した如く、図25Aの場合、ガントリー内での回転時の角度ピッチ θ_g は、 $\theta_g = 0.57^\circ$ であるが、図25Bの場合は、 $\theta_g = 10^\circ$ である。故に図25Aと図25Bの受光素子アレイ120のラインレートが同じであれば、約18倍の検出速度が実現できる。即ち $T_g = 36\text{ msec}$ となり、ほぼテレビレートに近いたため、動的な生体観察も可能になる。ガントリーの半径を大きくしたり、小さくしたりすることで、検査対象物として人や不透明な微小動物まで対応できる。更に図25Aと図25Bに示した光学系の1組を複数にしてN組とし、後段の演算処理に対しパラレル出力した場合、同じ円周上であれば、検査時間はN倍早くなり、3次元断層画像のみならず、3次元断層映像も取得可能となる。たとえば、図25Aについて、1組であったものを18組とすれば、図25Bと同じ検査速度になり、3次元断層映像の取得も可能になる。図27に回転角ピッチと受光素子アレイ120の長さの関係を表す模式図を示す。

40

【0146】

14. 反射型トモグラフィ

変形例1.

図28Aに、反射型トモグラフィを示す。X線トモグラフィは、透過型であり、ガントリーを中心に光源103と受光系が対向している。そのため、光軸合わせが困難であり、装置サイズが大きくなる。本変形例では、その弱点を克服した反射型を提案する。本変形例では、前記反射型光学系のアパチャー21は1個とし、代わりに受光レンズ11の焦点

50

距離を長くしている。また、受光レンズ 11 の N.A. については、該受光レンズ 11 (検査対象物側の受光レンズ 11) の被写界深度を検査対象物の光軸方向の厚みよりも深くしている。こうすることにより、直線光に近い成分を受光することが可能になる。受光光量は、透過型に比べ少なくなるが、受光素子のゲイン (フォトンカウンティング) を満足する程度の光量が得られるように光源 103 側の出射強度を調整し、かつ、イメージインテンシファイア 200 を多段にして感度を増大させる。

【0147】

本変形例では、ガントリ円周上に反射光学系を配置するため、円周は確保する必要があるが、画像の再構成に円周上の一部を用いることも可能であるため、トモグラフィ装置の小型化を実現できる。変形例 1 では、検査対象物側の受光レンズ 11 の被写界深度を検査対象物の光軸方向の厚みよりも深くしたが、図 28B のように光源 103 側にコリメータ 130 を配置して検査対象物に入射する光束を光軸に対し略平行 (平行光束) としてもよい。また、受光レンズ 11 の受光素子アレイ 120 側の焦点位置にテレセントリック光学系 300 の検査対象物側の焦点位置を略一致させてもよい。

10

【0148】

図 28A 又は図 28B の構成について、具体的には、以下のとおりである。

(1) テレセントリック光学系自身の N.A. を保持しつつ、光源 103 側のコリメータ 130 によって、検査対象物への入射光を平行光束にする。

(2) テレセントリック光学系の焦点距離は長くし、N.A. を光源 130 のコリメーション角度と同等にする。

20

(3) アパチャー径は回折限界によるビームの拡がり角と同等にする (テレセントリック光学系の N.A. と光源 103 の有する拡がり角を N.A. 換算したときに同等とする)。

(4) テレセントリック光学系の被写界深度を検査対象物の厚み以上にする。

【0149】

変形例 2.

図 28C に、他の変形例に比べ、より平行光束を受光できる光学系を示す。本変形例は、図 28A に示した光学系の後段に図 23 の光学系を配置し、より平行光束を受光可能にしたものである。図 28A の光学系及び図 23 の光学系はいずれも被写界深度及び焦点深度が深いため、図 28A の光学系の検査対象物側の焦点位置と、図 23 の光学系の受光素子アレイ 120 側の焦点位置を略一致させればよい。

30

【0150】

以上の変形例により、円弧状に移動するのみで 3 次元断層像 (3 次元断層画像又は 3 次元断層映像) を取得可能なトモグラフィを実現できるため、装置のより小型化、簡便化、コストダウンが図れる。上記変形例に係る 3 次元断層像形成装置は、光軸方向断面が矩形である平行ビームを照射する照明光学系 100 を有し、照明光学系 100 とテレセントリック光学系 300 が円周上に配置される。また、テレセントリック光学系 300 が円周上若しくは円周上の一部を回転し、円周上の略中央部に配置された検査対象物から反射した光がテレセントリック光学系 300 で受光され、所定の演算により 3 次元断層像が構築される。

40

【0151】

上記変形例に係る 3 次元断層像形成装置において、主走査方向は、少なくとも 1 組の照明光学系 100 とテレセントリック光学系 300 の光軸が回転する円周の接線に略垂直であり、かつ、主走査方向に対して受光素子アレイ 120 が略平行であってもよい。また、テレセントリック光学系 300 の受光レンズ 11 は、光軸方向断面において矩形形状であってもよい。また、照明光学系 100 とテレセントリック光学系 300 との組が、前記円周上に複数配置されていてもよい。尚、前述した反射型光学系は、トモグラフィのみならず、異物・欠陥検出装置として用いることが出来ることは言うまでもない。

【符号の説明】

【0152】

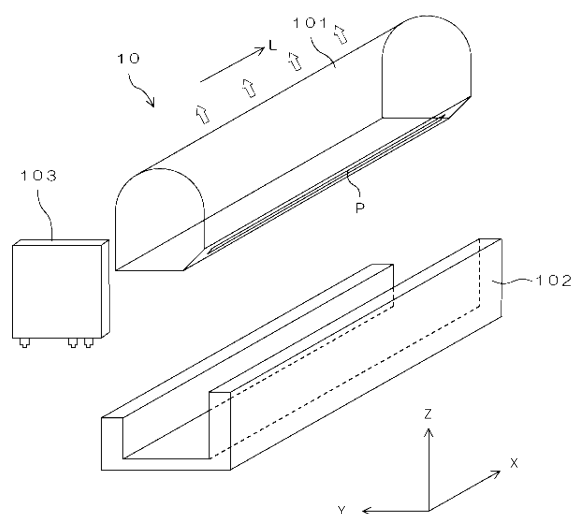
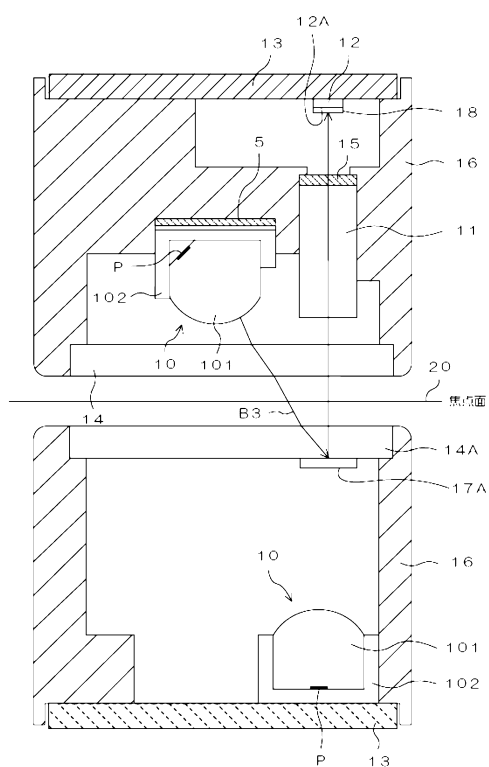
50

- | | |
|-------|------------|
| 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 |

【凶面】

【図 1】

【圖 2】



10

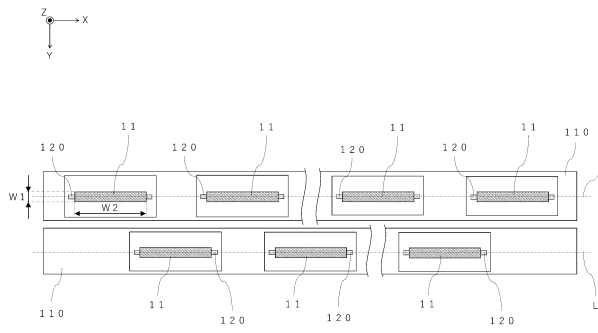
20

30

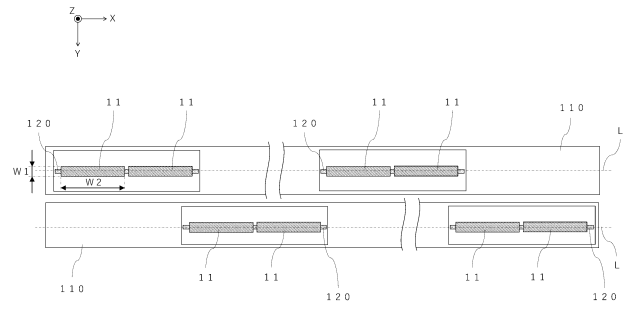
40

50

【図 3】

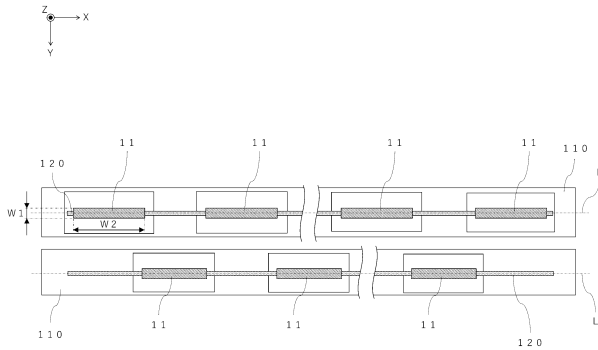


【図 4】

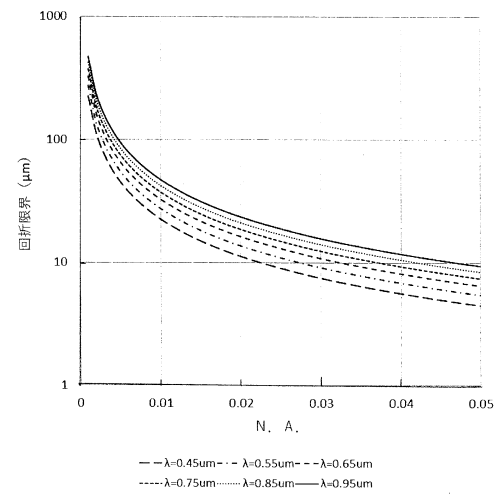


10

【圖 5】



【図 6】



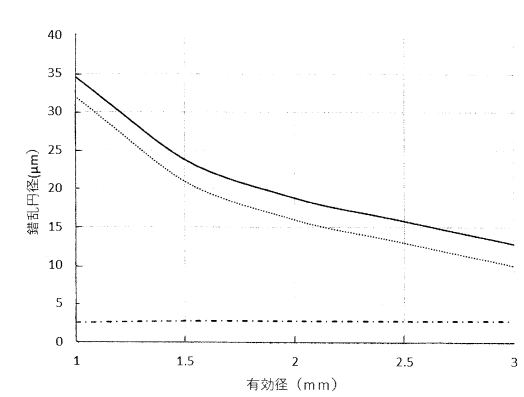
20

30

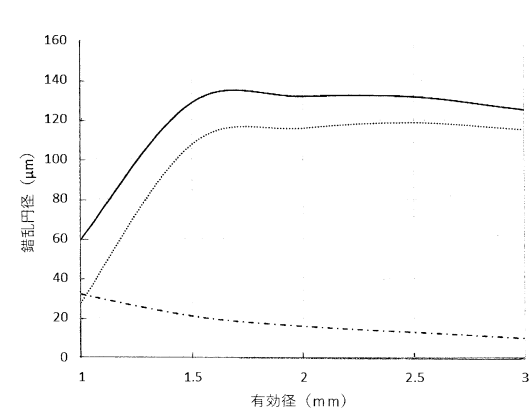
40

50

【図 7 A】



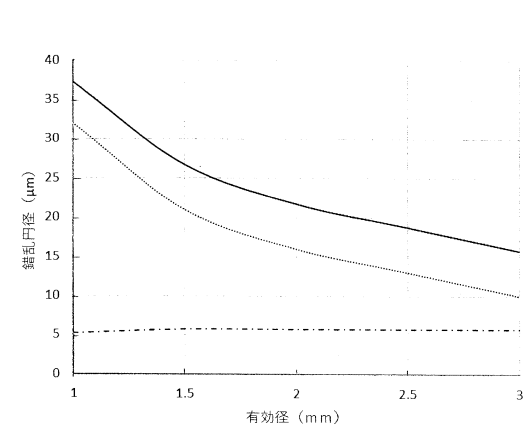
【図 7 B】



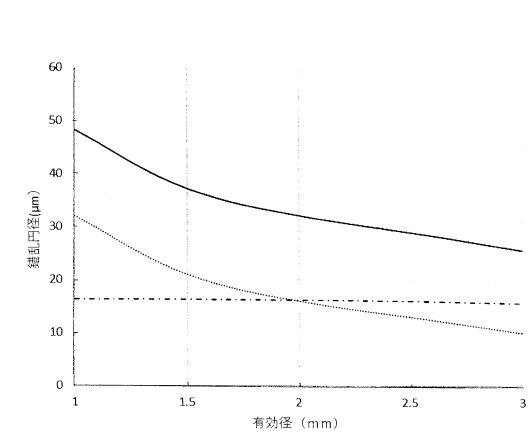
10

20

【図 7 C】



【図 8 A】

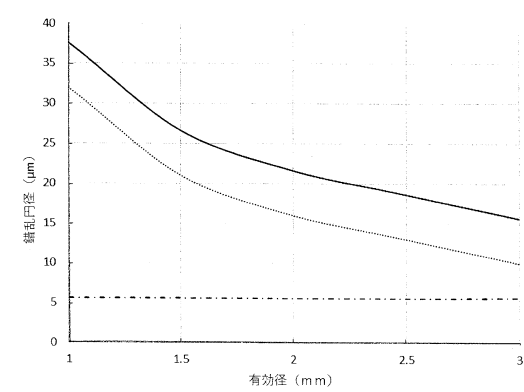


30

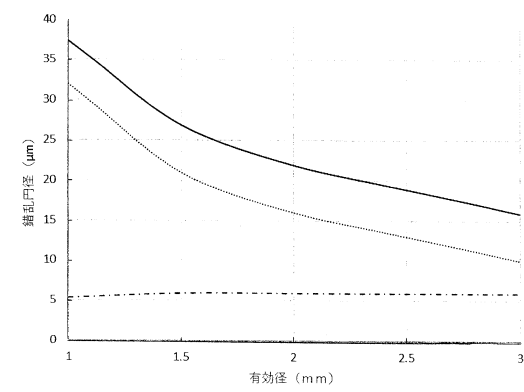
40

50

【図 8 B】



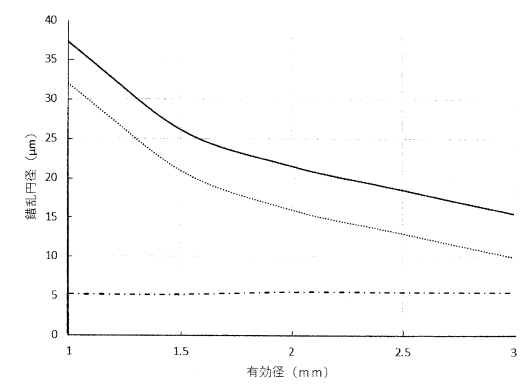
【図 8 C】



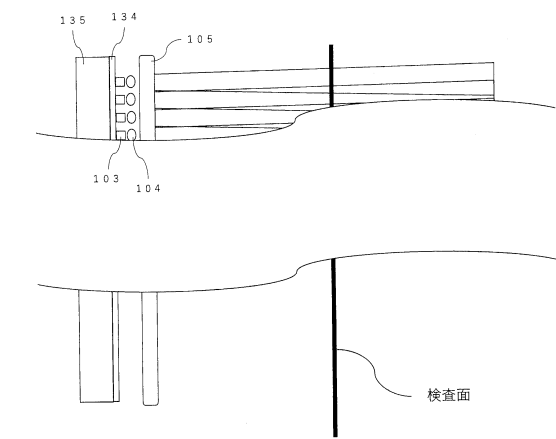
10

20

【図 8 D】



【図 9 A】

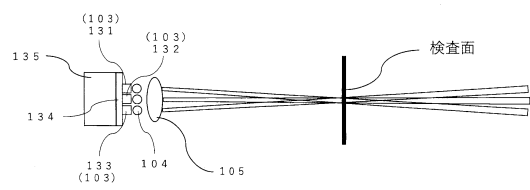


30

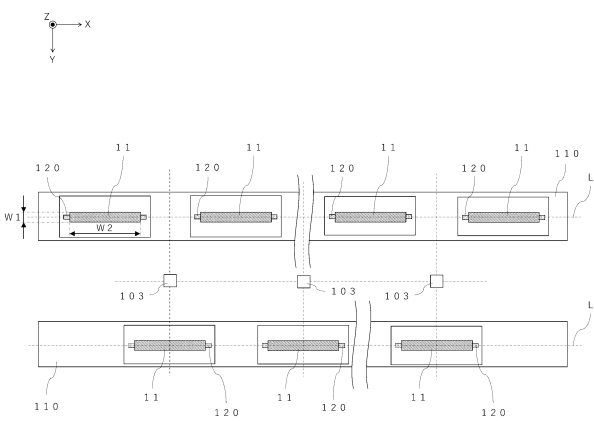
40

50

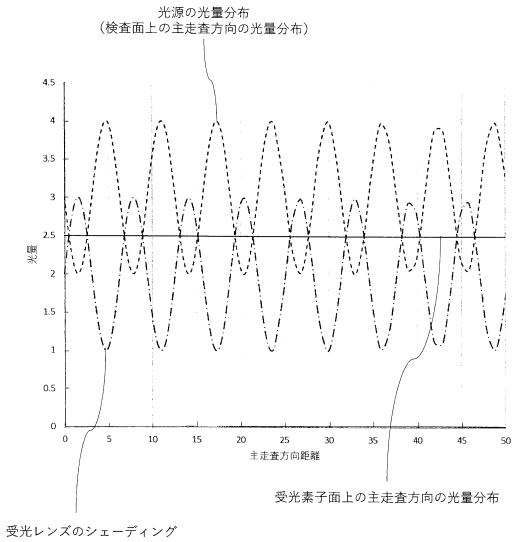
【図 9 B】



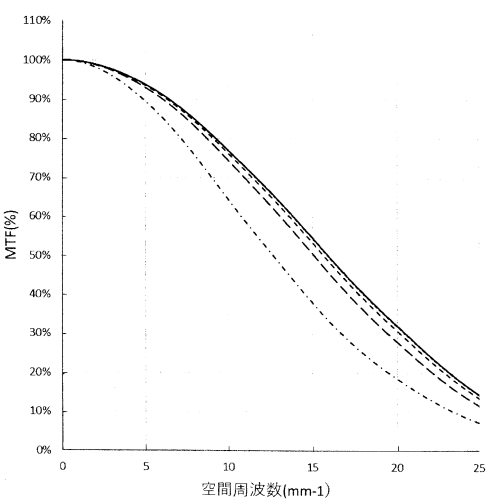
【図 1 0 A】



【図 1 0 B】



【図 1 0 C】



10

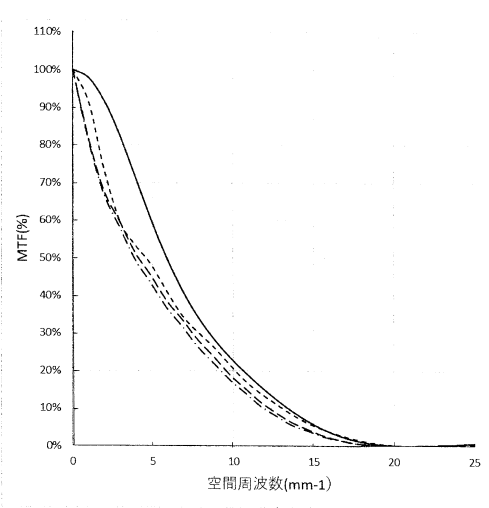
20

30

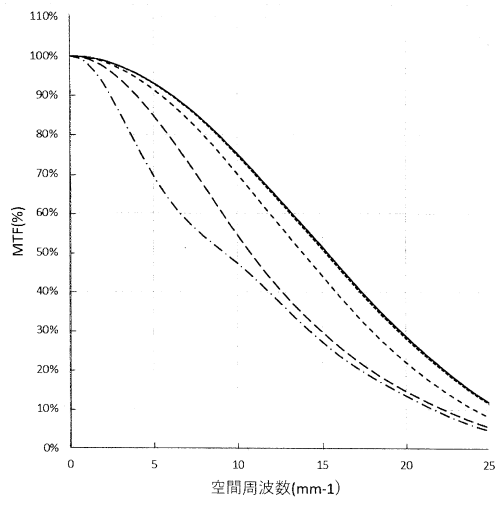
40

50

【図 1 0 D】



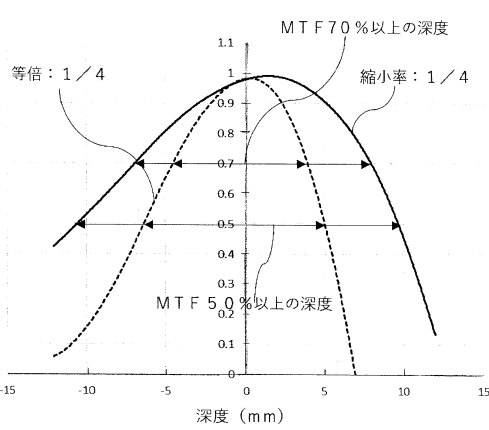
【図 1 0 E】



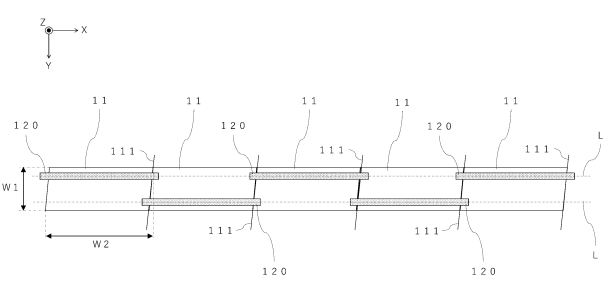
10

20

【図 1 1】



【図 1 2 A】

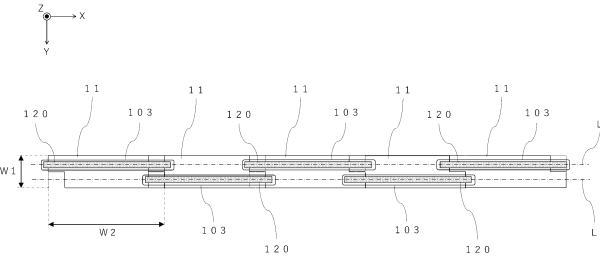


30

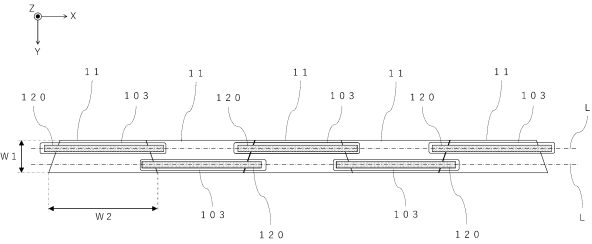
40

50

【図 1 2 B】

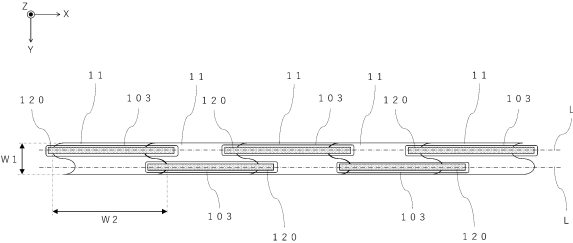


【図 1 2 C】

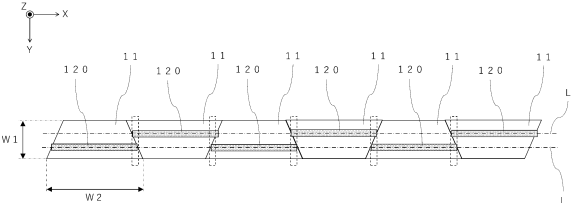


10

【図 1 2 D】



【図 1 2 E】



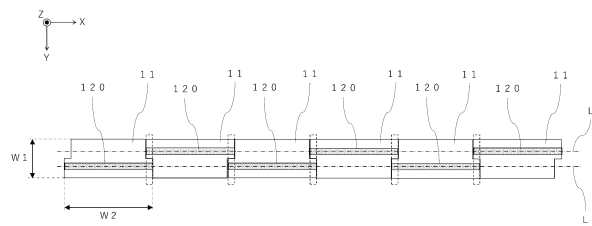
20

30

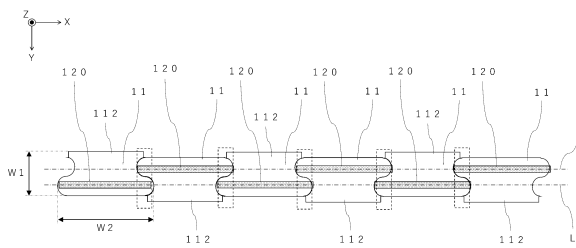
40

50

【図 1 2 F】

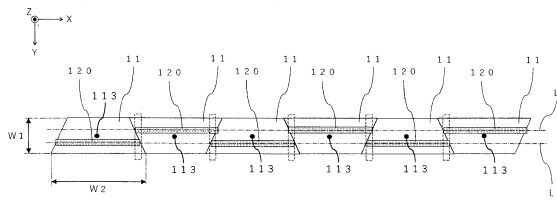


【図 1 2 G】

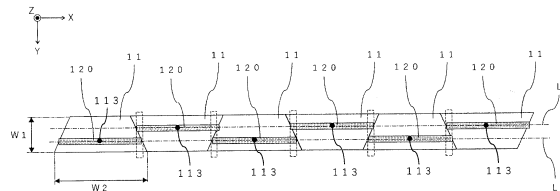


10

【図 1 2 H】



【図 1 2 I】



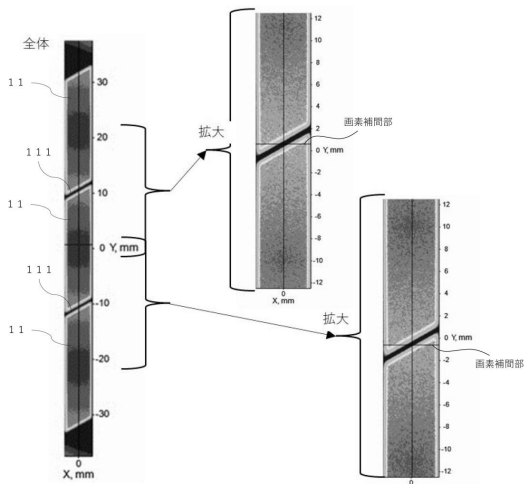
20

30

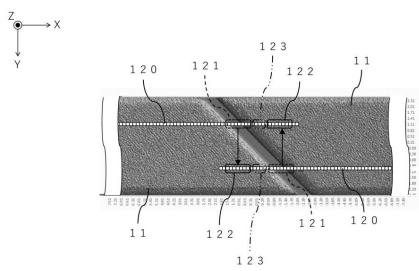
40

50

【図 1 3】



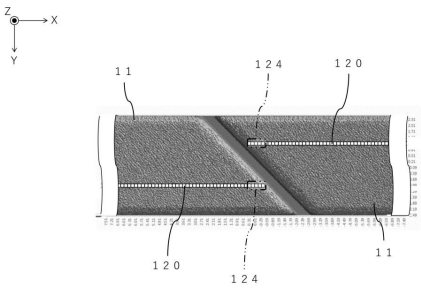
【図 1 4】



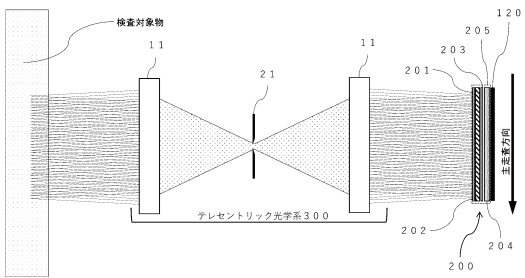
10

20

【図 1 5】



【図 1 6 A】

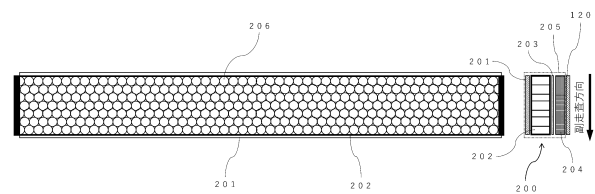


30

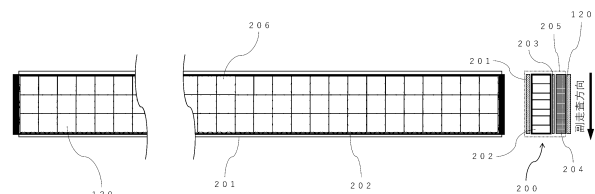
40

50

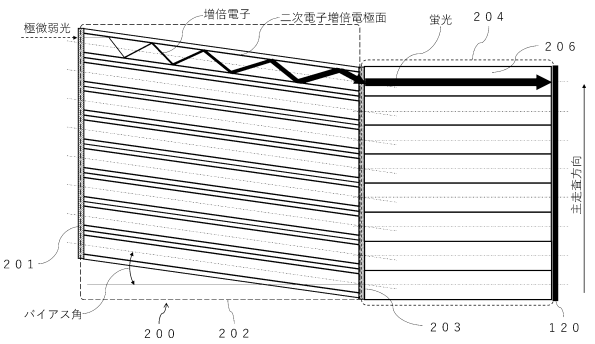
【図 1 6 B】



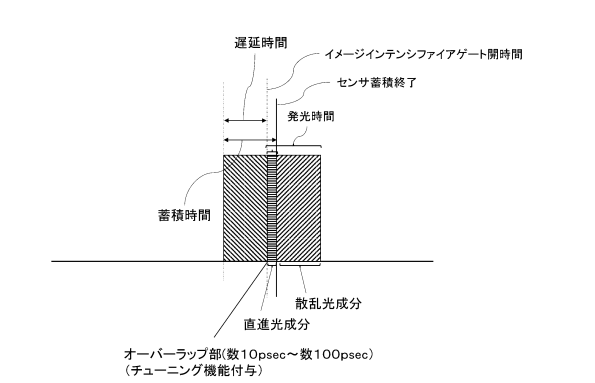
【図 1 6 C】



【図 1 7】



【図 1 8】



10

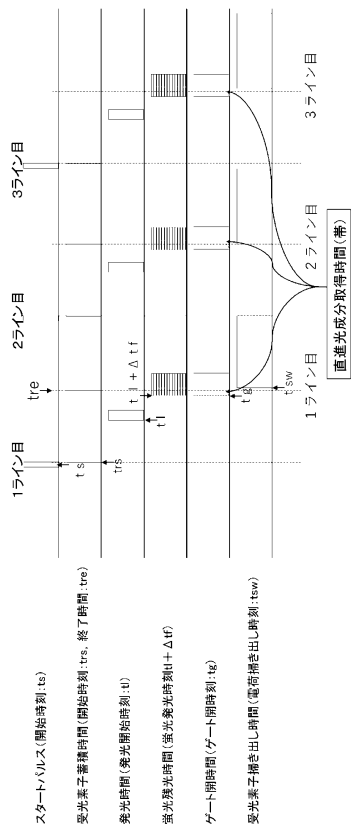
20

30

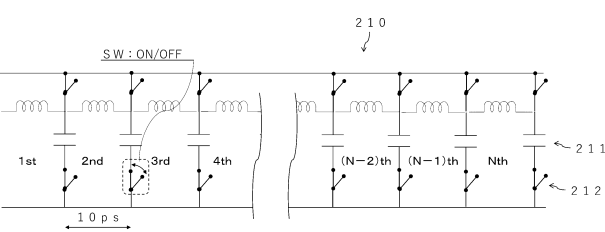
40

50

【図 19】



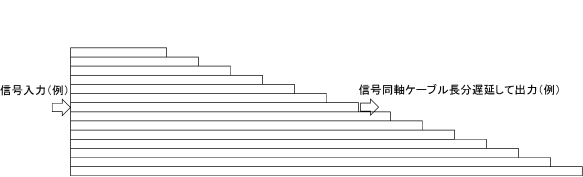
【図 20 A】



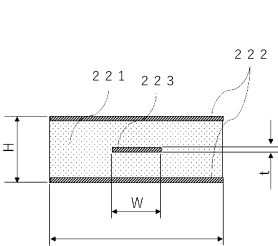
10

20

【図 20 B】



【図 21】

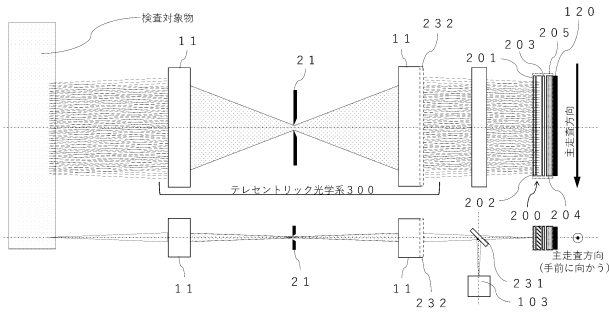


30

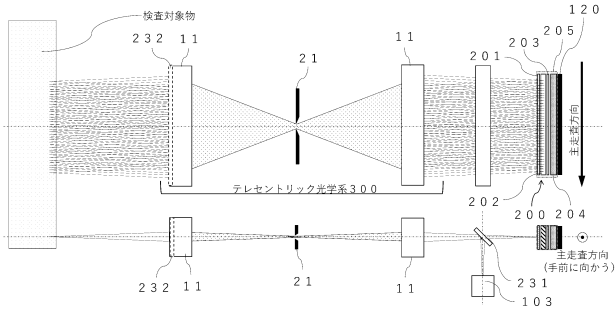
40

50

【図 2 2 A】

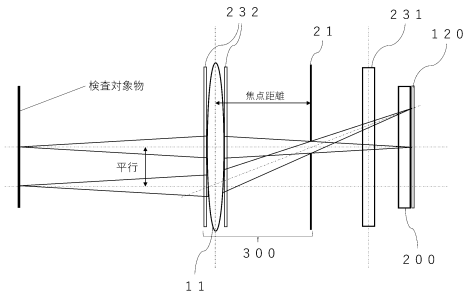


【図 2 2 B】

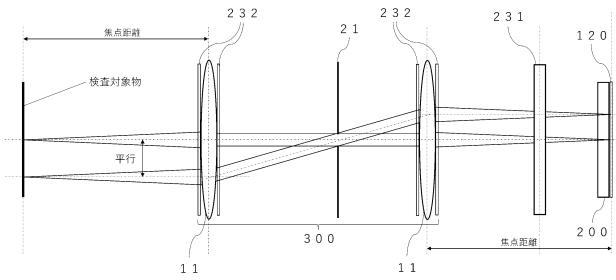


10

【図 2 2 C】



【図 2 2 D】



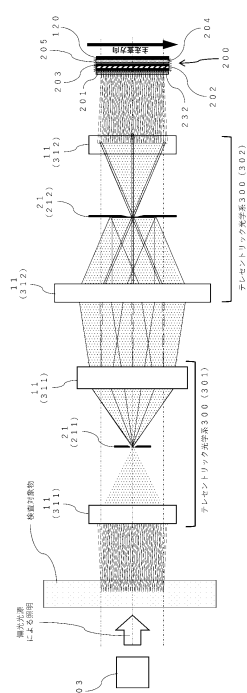
20

30

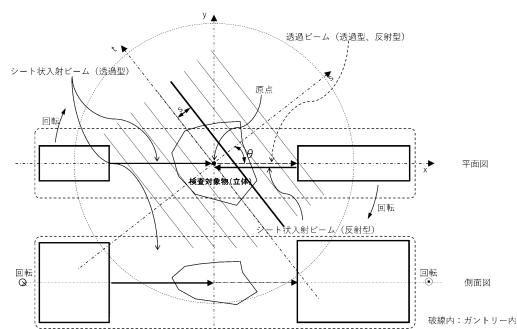
40

50

【圖 23】



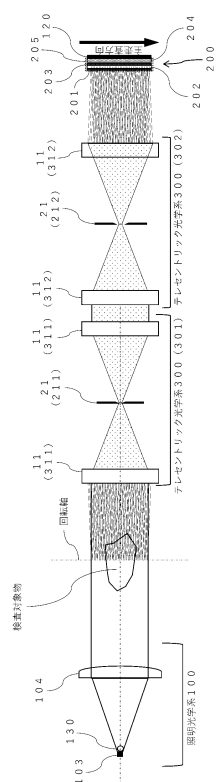
【図 24 A】



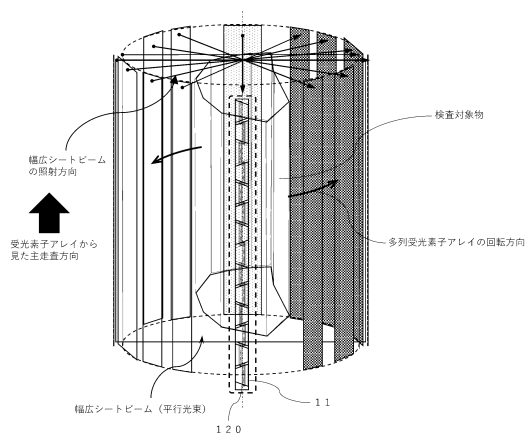
10

20

【図 24 B】



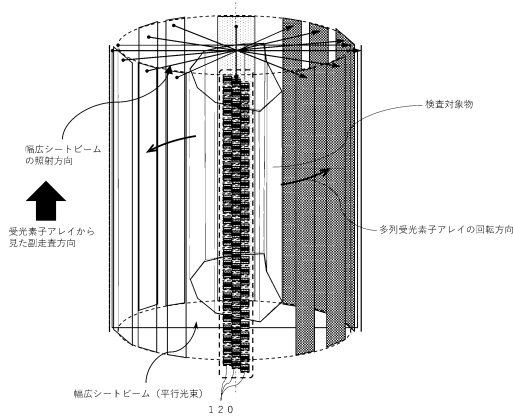
【図 25 A】



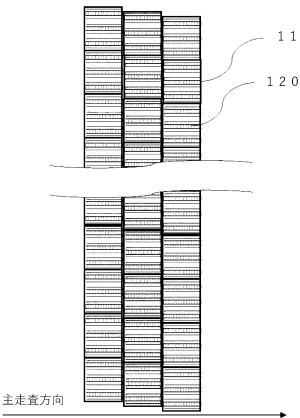
30

40

【図 2 5 B】

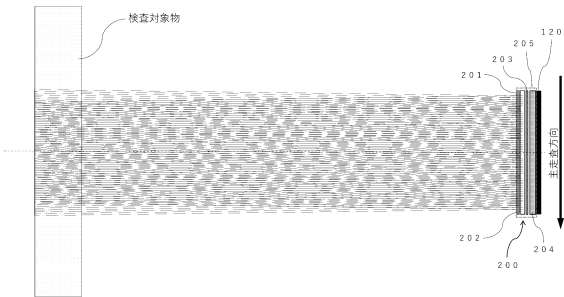


【図 2 5 C】

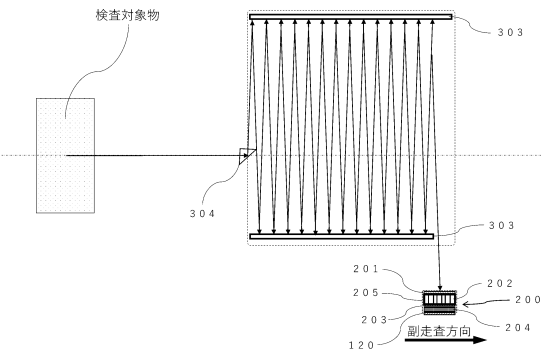


10

【図 2 6 A】



【図 2 6 B】



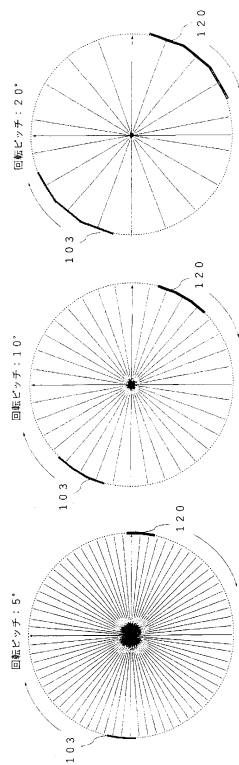
20

30

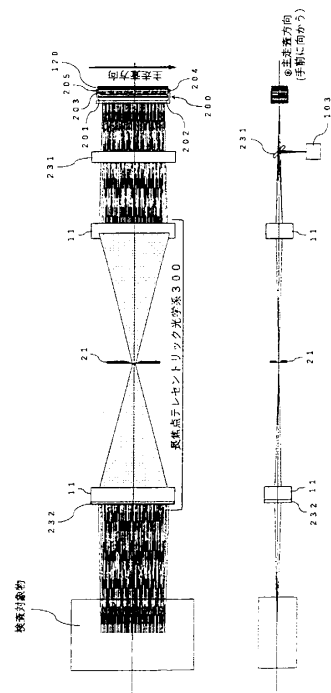
40

50

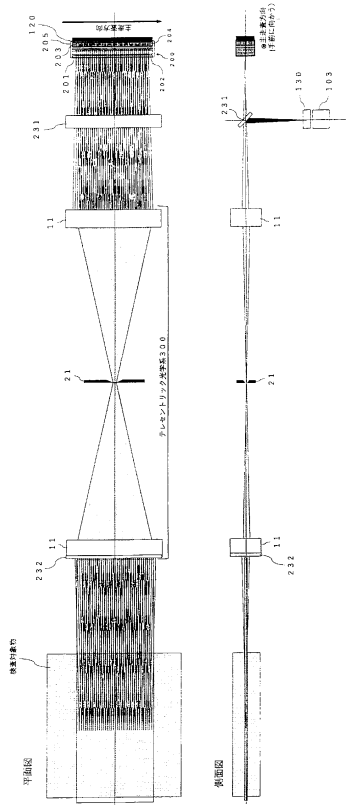
【図 27】



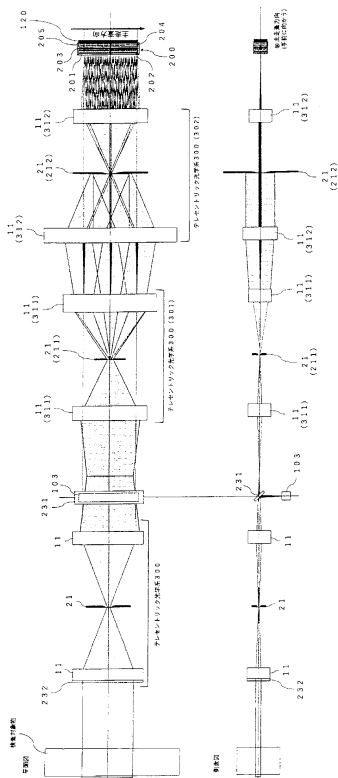
【図 28 A】



【図 28 B】



【図 28 C】



フロントページの続き

(51)国際特許分類	F I	テーマコード (参考)
G 0 1 B 11/245 (2006.01)	H 0 4 N 1/191	
	G 0 1 B 11/245	H

F ターム (参考)

HH15 JJ02 JJ25 LL07 LL10 MM09
2G051 AA32 AA41 AB02 CA03 CB01 CB02 CC07 CC09 CC17
2G065 AA04 BA04 BB02 BB06 BB20
5C051 AA01 BA04 DA04 DB01 DB04 DB22 DB23 DB24 DB29 DB34
DC02 DC04 DC05 DC07 DE02 DE30
5C072 AA01 BA04 BA15 CA05 CA06 CA07 CA12 CA14 DA02 DA03
DA04 DA09 DA10 DA15 DA18 DA25 EA05 EA07 FA06 FA07 FB01
NA01 NA04