(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2012-208220
(P2012-208220A)
(43)公開日　平成24年10月25日(2012.10.25)

| (51)Int.Cl. | | F I | | テーマコード（参考） |
|---|---|---|---|---|
| G03G 21/00 | (2006.01) | G03G 21/00 | | 2H045 |
| G02B 26/10 | (2006.01) | G02B 26/10 | C | 2H134 |

審査請求 未請求　請求項の数 14　ＯＬ　（全 23 頁）

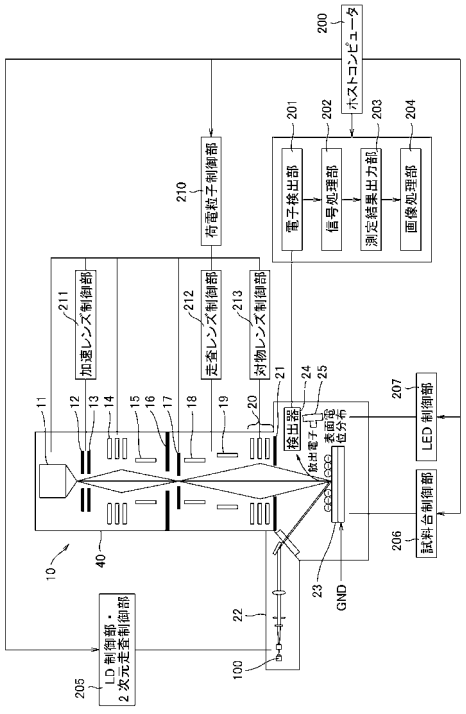
(21)出願番号　特願2011-72352(P2011-72352)
(22)出願日　平成23年3月29日(2011.3.29)

(71)出願人　000006747
株式会社リコー
東京都大田区中馬込１丁目３番６号
(74)代理人　100088856
弁理士　石橋　佳之夫
(72)発明者　田中　宏昌
東京都大田区中馬込１丁目３番６号　株式会社リコー内
(72)発明者　須原　浩之
東京都大田区中馬込１丁目３番６号　株式会社リコー内

Ｆターム(参考)　2H045 AA01　BA23　DA12
2H134 QA01

(54)【発明の名称】静電潜像計測方法および静電潜像計測装置

(57)【要約】
【課題】露光ビームの２次元走査時に生じる像面湾曲の影響を抑え、露光ビームで形成される静電潜像の品質を正しく評価できる静電潜像計測方法および静電潜像計測装置を得る。
【解決手段】感光体２３の表面に荷電粒子ビームを照射し感光体を帯電させる荷電粒子照射装置１０と、帯電された感光体２３の表面に光源からの光束を照射して感光体２３の表面に静電潜像を形成する露光光学系２２と、帯電された感光体から発生する２次電子を検出する検出器２４と、を備え、露光光学系２２は、光源からの光束を一方向に回折する音響光学偏向素子１０３と、光束を回折方向に対し直交する方向に偏向する光偏向器１０５を含むことによって、帯電した感光体２３に光束を２次元方向に走査しながら照射するように構成され、音響光学偏向素子１０３の偏向特性に応じて像面湾曲の影響が小さくなるように露光光学系２２の傾斜角度を調整する調整手段を含む。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
感光体の表面に形成される静電潜像を計測する静電潜像計測方法であって、
前記感光体の表面に荷電粒子ビームを照射し感光体を帯電させる帯電工程と、
帯電された前記感光体の表面に露光光学系によって光源からの光束を照射して前記感光体の表面に静電潜像を形成する静電潜像形成工程と、
帯電された前記感光体から発生する２次電子を検出する検出工程と、を備え、
前記静電潜像形成工程は、前記光源からの光束を音響光学偏向素子により一方向に回折する回折工程と、前記光束を前記回折方向に対し直交する方向に偏向する偏向工程を含むことによって、帯電した前記感光体に光束を２次元方向に走査しながら照射し、
前記音響光学偏向素子の偏向特性に応じて像面湾曲の影響が小さくなるように前記露光光学系の傾斜角度を調整する調整工程を含むことを特徴とする静電潜像計測方法。
【請求項２】
請求項１記載の静電潜像計測方法において、前記調整工程は、前記光源から前記音響光学偏向素子までの光学系の傾斜角度の調整を行うことを特徴とする静電潜像計測方法。
【請求項３】
請求項２記載の静電潜像計測方法において、前記光源から前記音響光学偏向素子までの光学系が１つのユニットとなっていて、前記調整工程において、前記ユニットの傾斜角度の調整が行われることを特徴とする静電潜像計測方法。
【請求項４】
請求項１記載の静電潜像計測方法において、前記音響光学偏向素子以降の光学系及び前記感光体試料の傾斜角度の調整を行うことを特徴とする静電潜像計測方法。
【請求項５】
請求項４記載の静電潜像計測方法において、前記音響光学偏向素子以降の光学系が１つのユニットとなっていて、前記調整工程において、前記１つのユニットの傾斜角度の調整が行われることを特徴とする静電潜像計測方法。
【請求項６】
請求項２乃至５の何れかに記載の静電潜像計測方法において、前記調整工程は、最大回折効率を満たす音響光学偏向素子の駆動周波数設定時の透過ビームが静電潜像測定領域中心に結像するように前記露光光学系の傾斜角度の調整を行うことを特徴とする静電潜像計測方法。
【請求項７】
請求項２乃至５の何れかに記載の静電潜像計測方法において、前記調整工程は、静電潜像測定領域内での音響光学偏向素子の回折効率変動が最小となるように前記露光光学系の傾斜角度の調整を行うことを特徴とする静電潜像計測方法。
【請求項８】
感光体の表面に形成される静電潜像を計測する静電潜像計測装置であって、
前記感光体の表面に荷電粒子ビームを照射し感光体を帯電させる荷電粒子照射装置と、
帯電された前記感光体の表面に光源からの光束を照射して前記感光体の表面に静電潜像を形成する露光光学系と、
帯電された前記感光体から発生する２次電子を検出する検出器と、を備え、
前記露光光学系は、前記光源からの光束を一方向に回折する音響光学偏向素子と、前記光束を前記回折方向に対し直交する方向に偏向する光偏向器を含むことによって、帯電した前記感光体に光束を２次元方向に走査しながら照射するように構成され、
前記音響光学偏向素子の偏向特性に応じて像面湾曲の影響が小さくなるように前記露光光学系の傾斜角度を調整する調整手段を含むことを特徴とする静電潜像計測装置。
【請求項９】
請求項８記載の静電潜像計測装置において、前記調整手段は、前記光源から前記音響光学偏向素子までの光学系の傾斜角度を調整する調整手段であることを特徴とする静電潜像計測装置。

【請求項１０】
請求項９記載の静電潜像計測装置において、前記光源から前記音響光学偏向素子までの光学系が１つのユニットとなっていて、前記調整手段は、前記１つのユニットの傾斜角度を調整する調整手段であることを特徴とする静電潜像計測装置。
【請求項１１】
請求項８記載の静電潜像計測装置において、前記調整手段は、前記音響光学偏向素子以降の光学系及び前記感光体の傾斜角度を調整する調整手段であることを特徴とする静電潜像計測装置。
【請求項１２】
請求項１１記載の静電潜像計測装置において、前記音響光学偏向素子以降の光学系が１つのユニットとなっていて、前記調整手段は、前記１つのユニットの傾斜角度を調整する調整手段であることを特徴とする静電潜像計測装置。
【請求項１３】
請求項９乃至１２の何れかに記載の静電潜像計測装置において、前記調整手段は、最大回折効率を満たす音響光学偏向素子の駆動周波数設定時の透過ビームが静電潜像測定領域中心に結像するように前記露光光学系の傾斜角度を調整することを特徴とする静電潜像計測装置。
【請求項１４】
請求項９乃至１２の何れかに記載の静電潜像計測装置において、前記調整手段は、静電潜像測定領域内での音響光学偏向素子の回折効率変動が最小となるように前記露光光学系の傾斜角度を調整することを特徴とする静電潜像計測装置。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、音響光学偏向素子による回折と光偏向器による偏向を利用して感光体に光束を照射し、感光体に形成された静電潜像を計測するようにした静電潜像計測方法および静電潜像計測装置に関するものである。
【背景技術】
【０００２】
近年、多色画像形成装置等に対する画像形成の高速化の要求が高まるとともに、画像形成装置がオンデマンドプリンティングシステムとして簡易印刷に用いられるようになり、形成される画像の高品質化、高精度化が求められている。電子写真方式の画像形成装置では、帯電、露光、現像、転写、定着の各プロセスにおける品質が、最終的に出力される画像の品質に大きく影響を与える。中でも、露光プロセスにより感光体上に生成される静電潜像の状態は、トナー粒子の挙動に直接影響を及ぼす重要なファクターである。そのため、露光後の静電潜像の状態を高精度に計測して静電潜像の品質を正しく評価することは、高品質の画像を得ることができる画像形成装置を実現するうえで極めて重要であり、ミクロンスケールでの高精度の計測が要求される。
【０００３】
ミクロンスケールで被測定物の帯電電位を求める方法として、電位分布を有する試料にカンチレバーなどのセンサヘッドを近づけ、静電潜像とカンチレバーなどとの間に相互作用として起こる静電引力や誘導電流を計測し、これを電位分布に変換する方法がある。しかし、この方法を実施するためには、センサヘッドを試料に近接させる必要があり、センサヘッドと試料との間で放電や吸着が生じ、あるいはセンサ自身が磁場を乱す等の問題がある。また、この方法は原理的に数ミリ程度の分解能であるため、静電潜像特性を評価するのに適していない。
【０００４】
また、特許文献１等に記載されているように、電子ビームを用いた静電潜像の測定方法が知られているが、試料としては、ＬＳＩチップや静電潜像を記憶ないしは保持すること

ができる試料に限定されている。したがって、画像形成装置等に用いられている感光体は、暗減衰を生じるため測定することができない。特許文献１記載の発明が想定している被検体としての通常の誘電体は、直流電圧に対して絶縁体として振る舞い、電荷を半永久的に保持することができるので、電荷分布を形成後、時間をかけて測定を行っても、測定結果に影響を与えることはない。

【０００５】

これに対して、感光体の場合は、抵抗値が無限大ではないので、電荷を長時間保持することができず、暗減衰が生じ、時間とともに表面電位が低下してしまう。感光体が電荷を保持できる時間は、暗室であってもせいぜい数十秒である。従って、帯電、露光後に電子顕微鏡（ＳＥＭ）内で静電潜像を観察しようとしても、その準備段階で静電潜像は消失してしまう。

【０００６】

そこで発明者らは、暗減衰を有する感光体試料であっても、静電潜像を計測することのできる方法及び装置を発明した。特許文献２、特許文献３、特許文献４記載の発明がそれである。また、露光ビームを２次元的に操作することで、より実機に近い条件で静電潜像を計測することを可能にした静電潜像計測方法及び静電潜像計測装置を発明したが、まだ公開されていない。

【０００７】

露光ビームの２次元走査は、露光光学系にガルバノスキャナやポリゴンスキャナなどの反射手段による光偏向器を用いることに加え、音響光学偏向素子の回折を利用し、ポリゴンスキャナなどによる走査方向に対し直交する方向へ偏向を行う光偏向器ないしは回折手段を用いることで実現できる。ポリゴンスキャナなどによる走査方向を主走査方向とし、音響光学偏向素子による走査方向を副走査方向とする。

【０００８】

ところで、上述の構成を用いて２次元走査を行うとき、シリンダレンズ、走査レンズなどを光束が通過する際に像面湾曲が生じる。特に、レーザ光の副走査位置によりビーム特性が変化するため、副走査偏向に伴う像面湾曲の影響は大きく、副走査方向ビームウエスト位置が、音響光学偏向素子の駆動周波数に応じてすなわち偏向角に応じて、異なる場所に移動する。像面湾曲の影響の小さい駆動周波数は光学系の構成及び測定像面の設定により一意的に定まってしまうため、潜像計測を行ううえで好適な露光条件を実現することができる駆動周波数は同様に一意的に定まってしまう。一方、音響光学偏向素子の回折効率などの偏向特性は駆動周波数により異なるため、任意の偏向特性を持って潜像形成を行ううえでの制限があった。

【０００９】

特許文献５には、音響光学偏向素子を用いた光走査装置において、偏向走査に伴う像面湾曲に起因した光学系の非点収差を補正する方法として、音響光学偏向素子の円筒レンズ効果を利用した像面湾曲補正を行い、光学系の非点収差を補正する方法が開示されている。この方法を用いることにより、像面湾曲の影響を抑えながら、所定の範囲内での音響光学偏向素子の透過ビームを利用することが可能である。

【００１０】

しかし、特許文献５に記載されている補正方法を用いた音響光学偏向素子による偏向走査では、走査光学系に用いるレンズ等の有効径、または、透過ビーム照射媒体の有効領域で使用可能な透過ビームは限定されてしまう。また、透過ビーム照射媒体の任意の領域を照射領域に設定した場合、透過ビームがその領域に照射されるための音響光学偏向素子の駆動周波数設定は、光学系の構成及び照射領域の設定により一意的に定まる。したがって、設定した照射領域に対し、任意の偏向角、すなわち、任意の駆動周波数を用いて音響光学偏向素子を使用することができない、という問題は解消されていない。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【００１１】

本発明は、露光ビームの２次元走査時に生じる像面湾曲の影響を小さく抑え込み、露光ビームで形成される静電潜像の品質を正しく評価することができる静電潜像計測方法および静電潜像計測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】

【００１２】

本発明に係る静電潜像計測方法は、感光体の表面に形成される静電潜像を計測する静電潜像計測方法であって、前記感光体の表面に荷電粒子ビームを照射し感光体を帯電させる帯電工程と、帯電された前記感光体の表面に露光光学系によって光源からの光束を照射して前記感光体の表面に静電潜像を形成する静電潜像形成工程と、帯電された前記感光体から発生する２次電子を検出する検出工程と、を備え、前記静電潜像形成工程は、前記光源からの光束を音響光学偏向素子により一方向に回折する回折工程と、前記光束を前記回折方向に対し直交する方向に偏向する偏向工程を含むことによって、帯電した前記感光体に光束を２次元方向に走査しながら照射し、前記音響光学偏向素子の偏向特性に応じて像面湾曲の影響が小さくなるように前記露光光学系の傾斜角度を調整する調整工程を含むことを最も主要な特徴とする。

【００１３】

本発明に係る静電潜像計測装置は、感光体の表面に形成される静電潜像を計測する静電潜像計測装置であって、前記感光体の表面に荷電粒子ビームを照射し感光体を帯電させる荷電粒子照射装置と、帯電された前記感光体の表面に光源からの光束を照射して前記感光体の表面に静電潜像を形成する露光光学系と、帯電された前記感光体から発生する２次電子を検出する検出器と、を備え、前記露光光学系は、前記光源からの光束を一方向に回折する音響光学偏向素子と、前記光束を前記回折方向に対し直交する方向に偏向する光偏向器を含むことによって、帯電した前記感光体に光束を２次元方向に走査しながら照射するように構成され、前記音響光学偏向素子の偏向特性に応じて像面湾曲の影響が小さくなるように前記露光光学系の傾斜角度を調整する調整手段を含むことを特徴とする。

【発明の効果】

【００１４】

露光光学系に対し使用駆動周波数及び測定像面設定に応じた角度調整を行うため、露光ビームの２次元走査時に生じる像面湾曲の影響が小さい条件下において、音響光学偏向素子の良好な条件での駆動周波数を用いて潜像形成を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【００１５】

【図１】本発明に係る静電潜像計測装置の実施形態を示す模式図である。

【図２】上記実施形態中の露光光学系の構成を示す斜視図である。

【図３】本発明に適用可能な光源の例を示す斜視図である。

【図４】本発明に用いることができる音響光学偏向素子の実施例とこの音響光学偏向素子の入力電圧と出力周波数との関係を示す図である。

【図５】図１に示す実施形態中の真空チャンバ装置と露光光学系の結合部分の具体例を示す断面図である。

【図６】上記露光光学系によって感光体試料面に形成される画像パターンの各種例を示す図である。

【図７】静電潜像から放出される２次電子による電位部分布検出の原理を示すモデル図である。

【図８】感光体試料に行ける潜像形成から除電までの一連の動作を示すフローチャートである。

【図９】２次元走査光学系による走査によって生じる像面湾曲の例を示すグラフである。

【図１０】音響光学偏向素子及び感光体試料の像面を光軸に対して垂直に配置したときの、感光体試料像面における副走査深度カーブが偏向角によって異なることを示すグラフである。

【図１１】音響光学偏向素子の偏向角特性を示すグラフである。

【図１２】本発明の実施例における２次元走査光学系の光路図である。
【図１３】音響光学偏向素子の回折効率特性を示すグラフである。
【図１４】本発明の実施例における２次元走査光学系の最大回折効率透過ビームが測定領域中心に結像するときの光路図である。
【図１５】本発明の実施例における走査光学系に設けられる角度調整機構の一例を示す光路図である。
【図１６】上記角度調整機構を用いた調整動作を示すフローチャートである。
【図１７】図１５に示す角度調整機構における２次元走査光学系の最大回折効率透過ビームが測定領域中心に結像するときの光路図である。
【図１８】本発明の実施例における走査光学系に設けられる角度調整機構の別の例を示す光路図である。
【図１９】像面湾曲特性と結像位置ずれ量との関係を示すグラフである。
【図２０】上記結像位置ずれ量を求める具体例を示すグラフである。
【図２１】測定像面最適化条件の導出例を示すグラフである。
【図２２】測定像面の設定を示すもので、（ａ）は従来例における光軸を中心とした測定像面の設定例を、（ｂ）は本発明における最適像面調整時の状態を示す光路図である。
【図２３】本発明の実施例における測定像面最適化の手順を示すフローチャートである。
【図２４】本発明に適用される測定像面最適化のために音響光学偏向素子に入力するＶＣＯ電圧指定の制御系の例を示すブロック図である。
【発明を実施するための形態】
【００１６】
以下、本発明に係る静電潜像計測方法および静電潜像計測装置の実施例を、図面を参照しながら説明する。
【実施例】
【００１７】
まず、図１を用いて静電潜像計測装置の実施形態の構成について説明する。本実施形態に係る静電潜像計測装置は、大きく分けて荷電粒子ビームを照射する荷電粒子照射部１０、露光光学系２２、試料２３を載置する試料設置部ＧＮＤおよび１次反転荷電粒子や２次電子などの検出部２４およびＬＥＤ２５を備えている。ここでいう荷電粒子とは、電子ビームあるいはイオンビームなど電界や磁界の影響を受ける粒子を指す。
【００１８】
荷電粒子照射部１０は、所定の真空チャンバ４０内に上から順に以下のように配置された各部材を備えている。すなわち、荷電粒子照射部１０は、電子ビームを発生させるための電子銃１１、電子ビームを制御するためのサプレッサ電極（引き出し電極）１２、電子ビームのエネルギーを制御するための加速電極１３、電子銃から発生された電子ビームを集束させるためのコンデンサレンズ１４、電子ビームをＯＮ／ＯＦＦさせるためのビームブランカ１５、仕切り板１６、可動絞り１７、非点補正部（スティングメータ）１８、ビームブランカ１５を通過した電子ビームを走査させるための走査レンズ１９、走査レンズ１９を通過した電子ビームを再び収束させるための対物レンズ２０およびビーム射出開口部２１を備えている。それぞれのレンズ等には、図示しない駆動用電源が接続されている。なお、イオンビームの場合には、電子銃の代わりに液体金属イオン銃などを用いる。
【００１９】
静電潜像計測装置はホストコンピュータ２００を備えている。ホストコンピュータ２００は各部の動作を制御し、また、検出器２４の検出信号に基づいて信号処理を行うようになっている。この静電潜像計測装置の制御および信号処理系統は以下のように構成されている。ホストコンピュータ２００は、荷電粒子制御部２１０を介して、加速レンズ制御部２１１、走査レンズ制御部２１２、対物レンズ制御部２１３を制御するようになっている。これらの制御部により、加速電極１３、走査レンズ１９、対物レンズ２０が制御されて、感光体試料２３の表面に電子ビームが適正に照射され、感光体試料２３表面が均一に帯電される。

【００２０】
ホストコンピュータ２００は、ＬＤ制御部・２次元走査制御部２０５を介して、露光光学系２２の、後で具体的に説明する光源としてのＬＤ（レーザダイオード）１００を制御し、また、音響光学偏向素子１０３、光偏向器１０５を制御するようになっている。音響光学偏向素子１０３、光偏向器１０５の制御により、感光体試料２３の表面がレーザ光で２次元走査され、感光体試料２３の表面に所望のパターンの静電潜像が形成されるようになっている。
【００２１】
ホストコンピュータ２００はまた、検出器２４の出力信号によって感光体試料２３からの放出電子を検出する電子検出部２０１、この電子検出部２０１からの検出信号を処理する信号処理部２０２、処理された信号から測定結果を出力する測定結果出力部２０３、この測定結果出力部２０３からの出力信号から画像信号に変換する画像処理部２０４を制御するようになっている。ホストコンピュータ２００は、試料台制御部２０６を介して試料台ＧＮＤの位置や高さなどを制御し、さらにＬＥＤ制御部２０７を介して、測定後の感光体試料２３の残留電荷を消去するようになっている。
【００２２】
露光光学系２２は、図２に示すように、感光体に関して感度を持つ波長の光源であるＬＤ１００、コリメートレンズ１０１、アパーチャ１０２、音響光学偏向素子１０３、シリンダレンズ１０４、光偏向器１０５、走査結像レンズ１０６、同期検知用ミラー１０７、同期検知手段１０８などを備え、感光体試料２３上に所望のビーム径のビームプロファイルを生成することが可能となっている。また、ＬＤ制御手段により適切な露光時間で、適切な露光エネルギーを感光体試料２３に照射できるようになっている。光源は、ＬＤ１００に代えて、図３（ａ）に示すような、複数の発光点が一直線状に並んだマルチビーム光源８０１、図３（ｂ）に示すような、ＶＣＳＥＬ（面発光レーザ）８０２等を用いてもよい。
【００２３】
露光光学系２２は、光学系にガルバノスキャナやポリゴンスキャナなどによる光偏向器１０５を用いることで、感光体試料２３の表面にライン状のパターンを形成することができる。このライン方向を主走査方向とする。また、図２に示すように、ポリゴンスキャナなどによる走査方向（主走査方向）に対し直交する方向（この方向を副走査方向とする）に光束を走査するための音響光学偏向素子１０３が配置されている。なお、以後、光路模式図及び光学系調整手段を示す図において、主走査方向の走査を行うポリゴンミラー等の光偏向器は図示しない。図２では、感光体試料２３が、画像形成装置に用いられるドラム形状のものとして描かれているが、図１に示す静電潜像計測装置における被検体としての感光体試料２３は、実際に使用される感光体の一部又は同じ特性の平板状のものが用いられている。静電潜像計測装置の仕様によっては、実際の画像形成装置に用いられる態様の感光体を試料とすることも可能である。
【００２４】
音響光学偏向素子１０３の一例を図４に示す。音響光学偏向素子１０３は、光学媒体の中に超音波を発生させて、進行するレーザ光を回折させる素子で、入力信号を周波数変調してこれを音響光学偏向素子１０３に加えると、加えられる信号の周波数に応じてレーザ光の回折度合いが変わり、角度変調を行うことができる。音響光学偏向素子１０３には機械的可動部がないため、これを用いることで高速な走査を実現することができる。
【００２５】
音響光学偏向素子１０３の動作原理について説明する。図４に示すように、二酸化テルル（$TeO_2$）やモリブデン酸鉛（$PbMoO_4$）などの単結晶またはガラスからなる音響光学媒体（音響光学偏向素子１０３の本体）に圧電素子などの超音波トランスデューサ９４が接着されている。この超音波トランスデューサ９４に外部から電気信号を与えて超音波を発生させ、超音波を媒体中に伝播させると、光学素子内に周期的な屈折率の粗密を形成することができる。図４において符号９５は、入力電圧信号に対応した周波数の信号

に変換する周波数変換器、符号９６はＲＦアンプを示している。周波数変換器９５は一種のオシレータで、例えば、周波数制御発振器（ＶＣＯ）で構成することができる。以下、周波数変換器のことを「ＶＣＯ」という。ＶＣＯで生成された信号はＲＦアンプ９６を経て超音波トランスデューサ９４に加えられ、上記のようにレーザ光の角度変調が行われる。

【００２６】

上記音響光学媒体中を通るレーザ光はブラッグ回折により回折し、入射光は、０次光の他に±１、２…の回折光を生じる。０次回折光と１次回折光との角度$\theta_{01}$は、空気中の光波長をλ、音響波基本周波数をｆａ、音響波速度をＶａとすると、以下の式で表される。

$$\theta_{01} = \lambda \cdot fa / Va$$

偏向角を$\Delta\theta$だけ変化させるためには、基本周波数ｆａを音響波周波数変調Δｆａ分だけシフトさせるとよい。この場合、$\Delta\theta$は以下の式で表される。

$$\Delta\theta = \lambda \cdot \Delta fa / Va$$

【００２７】

上記音響光学偏向素子１０３を、ＶＣＯ９５、ＲＦアンプ９６を用いて任意の駆動周波数で駆動することで、レーザ光を副走査方向に走査することができる。図４（ｂ）は、ＶＣＯ９５に入力する電圧信号とＶＣＯ９５の出力周波数の関係を示す。図４（ｂ）からわかるように、ＶＣＯ９５に適切な電圧信号を入力することで、所望の方向に光束を偏向させることができる。

具体的には、音響光学偏向素子１０３本体の素材が$TeO_2$の場合、$TeO_2$の音響波速度Ｖａが６５０ｍ／ｓで、音響波基本周波数ｆａが５０Ｍｈｚ、光波長λが６５５ｎｍとすると、

$$\theta_{01} = 655 \times 10^{-9} \times 50 \times 10^{6} / 650 = 50.38 \text{（mrad）}$$

となる。

【００２８】

ところで、音響光学偏向素子１０３は、変調信号を与えてから所定の光学特性を得るためには、ディレイすなわち時間遅れが生じる。この時間遅れを応答時間（アクセスタイム）Ｔｒｅｓとすると、ビームサイズをＤとしたとき、Ｔｒｅｓは、以下の式で表すことができる。

$$Tres = D / Va$$

具体例として、Ｄが５ｍｍ、Ｖａが６５０ｍ／ｓの場合、

$$Tres = 5 / 650 = 7.7 \text{（μs）}$$

となる。

【００２９】

このため、応答時間Ｔｒｅｓは、反射による光偏向器の走査周波数をｆｖとしたとき、

$$D / Va < 1 / fv$$

とすればよい。すなわち、ポリゴンミラーの回転数（ｒｐｍ）をＲｍ、ポリゴンミラーの面数をＮとすれば、ポリゴンスキャナの走査周波数ｆｖは、

$$fv = (Rm / 60) \times N$$

と表すことができ、Ｖａは

$$Va > D \times fv$$

でなければならない。具体例として、Ｄ＝７ｍｍ、ｆｖ＝６ｋＨｚの場合、

$$Va > 42 \text{m/s}$$

となる特性を有する音響光学偏向素子を用いる必要がある。

【００３０】

露光光学系２２に用いられている光偏向器１０５が駆動モータで回転駆動されることにより生じる振動や電磁波が電子ビームの軌道に影響を与えないように、露光光学系２２を真空チャンバ４０の外に配置するとよい。これによって、露光光学系２２を電子ビームの軌道から遠ざけることができ、測定結果に及ぼす外乱の影響を抑制することができる。こ

の場合、露光ビームは、真空チャンバ４０の外壁に設けられた透明な入射窓より入射させることが望ましい。

【００３１】

図５は、真空チャンバ装置と露光光学系２２の結合部分の具体例を示す断面図である。図５に示すように、真空チャンバ４０の鉛直軸に対して４５°の角度で、外部の露光光学系２２から真空チャンバ４０内部に向かって光ビームを入射可能な入射窓６８が配置された構成となっている。図５において、露光光学系２２は、図示されない光源、音響光学偏向素子１０３、光偏向器１０５、走査レンズ１０６、光ビームの光路を曲げるミラー７２を有している。また、図５には描かれていないが、前記コリメートレンズ、アパーチャ、同期検知手段などを有している。

【００３２】

露光光学系２２を保持するハウジング７１は、露光光学系２２全体をカバーで覆い、以下に述べるように、真空チャンバ４０内部へ入射する外光（有害光）を遮光する構成にするとよい。露光光学系２２の主要部は光学ハウジング６９の上に配置され、上部は上記カバー７１で覆われて遮光されている。光学ハウジング６９は水平方向の平行移動台８３の上に取り付けられ、平行移動台８３は柱状の複数本の構造体８２を介して除振台８１の上に取り付けられている。走査ビーム７７は上記ミラー７２でほぼ４５°の角度で斜め下方に折り曲げられ、この走査ビーム７７の進路の周りは、外部遮光筒７３、内部遮光筒７５、これら内外の遮光筒の接続部に介在するラビリンス部７４によって遮光されている。

【００３３】

上記除振台８１の上に真空チャンバ４０が固定されている。真空チャンバ４０内に前記試料載置台としての試料ステージ７８が水平面内において直交２軸方向に移動可能に取り付けられている。試料ステージ７８には被検体としての感光体試料２３を載置することができ、この感光体試料２３に対し真上から荷電粒子ビームを照射する前記荷電粒子照射装置１０が真空チャンバ４０内に取り付けられている。荷電粒子照射装置１０の内部も真空チャンバ４０と連通していて真空に保たれている。真空チャンバ４０内には、感光体試料２３に静電潜像を形成した後、感光体試料２３に荷電粒子ビームを照射することによって放出される電子ビームを検出する検出器２４の検出端が感光体試料２３に向かって伸びている。

【００３４】

ポリゴンスキャナ等の光偏向器１０５を有する露光光学系２２は、真空チャンバ４０に対して離れて配置されているので、ポリゴンスキャナ等の光偏向器１０５をモータ６５によって回転駆動する際に生じる振動は、真空チャンバ４０に直接伝播されることはなく、上記振動が感光体試料２３の静電潜像測定に与える影響は少ない。さらに、図５では示していないが、構造体８２と除振台８１との間にダンパを挿入すれば、防振効果を更に高めることができる。

このように、露光光学系２２を構成することにより、感光体試料２３に対して、２次元の潜像パターンを形成することができる。なお、試料の形状は、平面であっても曲面であってもよい。

【００３５】

次に、以上のように構成されている本実施形態の静電潜像計測装置の動作および静電潜像計測方法について説明する。

まず、荷電粒子照射装置１０により感光体試料２３に電子ビームを照射させることで、感光体試料２３の表面を均一に帯電させる。電子ビームの加速電圧｜Ｖａｃｃ｜を、２次電子放出比が１となる加速電圧より高い加速電圧に設定することにより、入射電子量が放出電子量を上回って電子が感光体試料２３に蓄積され、チャージアップを起こす。この結果、感光体試料２３の表面が均一にマイナスに帯電される。加速電圧と照射時間を適切に調整することにより、所望の電位に帯電させることができる。この帯電プロセスは、前記ホストコンピュータ２００が、荷電粒子制御部２１０を介して前記加速レンズ制御部２１１、走査レンズ制御部２１２、対物レンズ制御部２１３を制御することによって実行され

る。

【００３６】

次に、露光光学系２２を用いた２次元走査により、感光体試料２３を露光する。露光光学系２２は、感光体試料２３の表面に所望のビーム径及びビームプロファイルを形成するように調整されている。必要な露光エネルギーは感光体試料２３の特性によって決まるファクターであるが、通常、２～１０ｍＪ／ｍ$^2$程度である。感度が低い感光体試料２３では、必要露光エネルギーは十数ｍＪ／ｍ$^2$となることもある。帯電電位や必要露光エネルギーは、感光体特性やプロセス条件に合わせて設定するとよい。

【００３７】

また、ビームスポット径、デューティ、画周波数、書込密度、画像パターン等の条件設定を任意に行うことで、様々な条件での潜像を形成しこれを計測することが可能となる。画像パターンとしては、図６に示すような、１ｂｙ１、２ｂｙ２、１ドット格子、副走査１ドットラインや副走査ピッチむらのある１ドットラインなどがあり、これらのパターンの一つを意図的に発生させたラインのほか、様々なパターンを形成することができる。このように、帯電と露光により、感光体試料２３に所望するパターンの静電潜像を形成することができる。この露光プロセスは、ホストコンピュータ２００が、ＬＤ制御部・２次元走査制御部２０５を制御することによって実行される。

【００３８】

次に、静電潜像計測を行う。上記のようにして静電潜像が形成された感光体試料２３を電子ビームで走査し、放出される２次電子を検出器（シンチレータ）２４で検出し、これを電子検出部２０１で電気信号に変換してコントラスト像を観察する。このようにすると、帯電部の２次電子検出量が多く、露光部の２次電子検出量が少ない明暗のコントラスト像が生じる。暗の部分を露光による潜像部とみなすことができるので、ビームを走査させることなくスポット露光した場合の明暗の境界を潜像径とすることができる。

【００３９】

試料表面に電荷分布があると、感光体試料２３の上方に位置する空間に、表面電荷分布に応じた電界分布が形成される。入射電子によって発生した２次電子は、この電界によって押し戻され、検出器２４に到達する量が減少する。従って、電荷リーク箇所は、露光部が黒、非露光部が白となり、表面電荷分布に応じたコントラスト像を測定することができる。

【００４０】

図７（ａ）は、荷電粒子を捕獲する検出器２４と、感光体試料２３との間の空間における電位分布を、等高線で説明図的に示したものである。感光体試料２３の表面は、光減衰により電位が減衰した部分を除いては負極性に一様に帯電した状態であり、検出器２４には正極性の電位が与えられている。そのため、実線で示す電位等高線群においては、感光体試料２３の表面から検出器２４に近づくに従い電位が高くなる。従って、感光体試料２３の、負極性に均一帯電している部分である図のＱ１点やＱ２点で発生した２次電子ｅｌ１、ｅｌ２は、検出器２４の正電位に引かれ、矢印Ｇ１や矢印Ｇ２で示すように変位し、検出器２４に捕獲される。

【００４１】

一方、図７（ａ）において、Ｑ３点は光照射されて負電位が減衰した部分であり、Ｑ３点近傍では電位等高線の配列は破線で示すように、Ｑ３点を中心とした半円形の波紋状に広がる。この波紋状の電位分布では、Ｑ３点に近いほど電位が高くなっている。換言すると、Ｑ３点の近傍で発生した２次電子ｅｌ３には、矢印Ｇ３で示すように、感光体試料２３側に拘束する電気力が作用する。このため、２次電子ｅｌ３は、破線の電位等高線で示すポテンシャルの穴に捕獲され、検出器２４に向かって移動することができない。

【００４２】

図７（ｂ）は、上記ポテンシャルの穴を模式的に示している。すなわち、検出器２４により検出される２次電子の強度（２次電子数）は、強度の大きい部分が「静電潜像の地の部分（均一に負帯電している部分、図７（ａ）の点Ｑ１やＱ２に代表される部分）」に対

応し、強度の小さい部分が「静電潜像の画像部（光照射された部分、図７（ａ）の点Ｑ３に代表される部分）」に対応することになる。

【００４３】

従って、２次電子の検出部２４で得られる電気信号を、信号処理部２０２で適当なサンプリング時間でサンプリングすれば、前述の如く、サンプリング時刻Ｔをパラメータとして、表面電位分布（電位コントラスト像）Ｖ（Ｘ，Ｙ）を「サンプリングに対応した微小領域」ごとに特定できる。そして、信号処理部２０２により上記表面電位分布Ｖ（Ｘ，Ｙ）を２次元的な画像データとして構成し、これを測定結果出力部２０３、画像処理部２０４を経て、ディスプレイやプリンタなどのアウトプット装置で出力すれば、静電潜像が可視的な画像として得られる。

【００４４】

例えば、捕獲される２次電子の強度を「明るさの強弱で表現」すれば、静電潜像の画像部分は暗く、地の部分は明るくコントラストがつき、表面電荷分布に応じた明暗像として表現（出力）することができる。もちろん、表面電位分布を知ることができれば、表面電荷分布も知ることができる。

【００４５】

上述の構成によれば、表面電荷分布を有する試料に荷電粒子ビームを照射して得られる検出信号により、試料の電荷分布の状態を測定する方法において、露光条件を変えたときの潜像の状態を計測することにより、感光体の静電特性を把握することができる。

【００４６】

最後に、ＬＥＤ２５（図１参照）を点灯して感光体試料２３の表面に光を照射し、感光体試料２３の除電を行う。感光体試料２３上に生成された帯電電荷は光を照射することで消失し、次の測定に備えることができる。

【００４７】

以上のプロセスを実行することで、所望の条件で形成された静電潜像を計測することができる。これらの潜像形成から除電までの一連の動作を、図８にフローチャートで表している。各動作ステップを以下に説明する。なお、図８に示すフローチャートは、後述する音響光学偏向素子の使用ＶＣＯ電圧に応じた光学系調整及び測定像面の最適化を含んでいる。

【００４８】

まず、ステップＳ１において、後述する調整手法を用いて、潜像形成で用いるＶＣＯ電圧に応じた光学系調整を行う。次のステップＳ２において、後述する調整手法を用いて、感光体試料上測定像面の最適化を行う。次のステップＳ３において、感光体試料の表面に電子ビームを照射することにより、感光体試料表面に帯電電荷を生成する。

【００４９】

次のステップＳ４において、露光光学系を用いて、前述のように感光体試料表面に所望の２次元露光パターンが形成されるように露光し、感光体試料表面に潜像パターンを形成する。次のステップＳ５において、潜像パターンが形成された感光体試料に対して、電子ビームを照射し、感光体試料から放出される２次電子を検出器で検出し、前述の信号処理、画像処理等を行うことで静電潜像計測を行う。次のステップＳ６において、ＬＥＤを用いて感光体試料の除電を行い、次の測定に備える。

【００５０】

ところで、上述の露光光学系２２を用いてレーザ光により２次元走査を行うとき、シリンダレンズ、走査レンズなどを光束が通過する際に、像面湾曲が生じる。特に、レーザ光の副走査位置が変わることによりビーム特性が変化するため、副走査偏向に伴う像面湾曲の影響は大きい。

【００５１】

図９に副走査偏向を行ったときの感光体試料像面での副走査位置と副走査方向ビームウエスト位置の関係の一例を示す。図９から分かるように、副走査偏向を行うことにより像面湾曲が生じ、その影響を受けて副走査方向ビームウエスト位置が変化し、副走査位置が

光軸から離れるほどその影響が大きくなる。このとき、走査光学系の設計中心が光軸を通り、それらが光軸に対して垂直に配置されたとする。なお、副走査偏向を行う場合、主走査方向のビーム特性に関しては大きな変化は見られない。

【００５２】

図１０は、音響光学偏向素子１０３及び感光体試料２３の像面を光軸に対して垂直に配置したときの、感光体試料２３の像面における副走査深度カーブが偏向角によって異なることを示したものである。前述のように、音響光学偏向素子１０３による偏向角は音響光学偏向素子１０３に印加するＶＣＯ電圧Ｖｖｃｏの値によって決まる。図１０はＶｖｃｏ＝４ＶとＶｖｃｏ＝６Ｖの場合を示しており、Ｖｖｃｏの値によって副走査深度カーブが異なることも示している。音響光学偏向素子１０３に印加するＶＣＯ電圧Ｖｖｃｏの値により特性は異なるため、広い副走査範囲で感光体試料像面でのビーム径を一定に保つことができない。

【００５３】

図１０は、感光体試料像面は光軸に対して垂直に配置した場合のものであるが、本発明の構成では、図５に示すように感光体試料像面は走査光学系に対して４５度の入射角を持っていることから、副走査偏向角によって光路長が異なり、ビーム径変動の影響をより受けやすい場合がある。このような要因から、潜像計測を行うにあたって測定領域でのビーム径変動を抑えるために、副走査偏向範囲は所定の範囲で限定する必要がある。

【００５４】

像面湾曲の影響が最小となる透過ビームは、光軸上を伝播するビームであり、その場合は、露光光学系の構成により一意的に定まる。そのため、図１１に示すように、ＶＣＯ電圧と透過ビームの光軸からの偏向角が直線関係を持つ音響光学偏向素子１０３を用い、かつ、図１２に示す模式図のように、音響光学偏光素子１０３を光軸に対して垂直に配置したとすると、光軸からの振れ角が０となるＶｖｃｏ＝６Ｖ（図１０参照）であるとき、透過ビームは像面湾曲の影響が最小となる。

【００５５】

一方、音響光学偏向素子１０３の回折効率は、図１３に示すように、そのＶＣＯ電圧に依存する。図１３に示すような回折効率特性をもつ音響光学偏向素子１０３を、Ｖｖｃｏ＝６Ｖで使用するとき、音響光学偏光素子１０３の回折効率は最大回折効率よりも劣り、副走査偏光における光量損失が最適使用時に比べて増加する。

【００５６】

感光体試料２３の像面への到達光量を考えたとき、露光光学系内での光源光量の損失は少ないほうが望ましい。さらに、音響光学偏光素子１０３の回折素子としての不完全性が透過ビーム特性に影響を与えることや、回折プロセスでの損失エネルギーが音響光学偏光素子１０３自身や光源に対して影響を与えることなどの懸念もある。この点からも、音響光学偏光素子１０３は、その回折効率が最も高い条件で使用することが精度の高い潜像計測を行ううえで望ましい。このため、任意のＶＣＯ電圧で副走査偏光を行うための調整が必要となる。

【００５７】

図１３に示すような特性を持つ音響光学偏光素子１０３において、露光光学系内での光源光量の損失を抑えるために、最大回折効率であるＶｖｃｏ＝４Ｖを測定領域中心とした副走査偏光を行うための調整方法を、図１２、図１４を用いて以下に説明する。

【００５８】

本実施例の構成では、感光体試料２３の像面は走査光学系に対して４５度の入射角を持っていることから、測定像面を像面湾曲による結像位置変化特性に重ねるように設定することで、光軸に対して垂直に配置したときよりも広範囲でビーム径を保つことが可能となる。すなわち、像面湾曲に準じた測定像面の最適化を行うことで、広範囲で潜像計測に好適な露光条件を実現することができる。

【００５９】

ここでは、具体例として、測定領域を１ｍｍとし、後述する測定像面の最適化を用いて

測定像面の設定をした場合を考える。光軸を伝播して各レンズの中心を透過するビームが焦点を結ぶ点を感光体試料像面位置の基準点とし、測定領域の副走査範囲は、上記基準点より＋０．１ｍｍ～－０．９ｍｍと設定する。

また、露光光学系は、露光光学系に入射するビームが光軸となす角度θ（度）と、試料像面上での基準点からの副走査変化量ΔＺ（ｍｍ）との間で光学的に比例関係が成立し、副走査偏向時の結像特性が以下の式で成り立つ場合を考える。

θ＝Ｋ×ΔＺ

Ｋ＝０．６３

設定した測定領域中心と基準点との差分距離ΔＺは０．４ｍｍであるから、上式より、測定領域中心に結像するための音響光学偏向素子１０３を透過するビームの光軸からの角度をθ２とすると、

θ２＝０．６３×０．４

＝０．２５

となる。

これより、音響光学偏向素子１０３を透過したビームが光軸に対して０．２５度の角度を持って露光光学系のレンズ下部に入射したとき、そのビームが測定領域中心に結像することがわかる。

【００６０】

次に、測定領域中心にしたい任意のＶＣＯ電圧での光軸からの振れ角θ１を求める。θ１は、音響光学偏向素子１０３の偏向角特性より求めることができ、ここでは、図１１に示す特性を有する音響光学偏向素子１０３を用いるものとする。

【００６１】

図１１に示す特性によれば、前述したように、音響光学偏向素子１０３を光軸に対して垂直に設置したときの光軸からの偏向角θ１（度）と、音響光学偏向素子１０３に印加するＶＣＯ電圧Ｖｖｃｏ（Ｖ）との間で直線関係が成立し、その特性は以下の式で表される。

θ１＝－０．４７×Ｖｖｃｏ＋２．８０

最大回折効率であるＶｖｃｏ＝４Ｖでの光軸からの振れ角θ１は、上式より、

θ１＝－０．４７×４＋２．８０

＝０．９２

となる。

【００６２】

Ｖｖｃｏ＝４Ｖのとき音響光学偏向素子１０３を透過するビームが、設定した測定領域中心に結像するためには、上記角度θ２をもって露光光学系のレンズ下部に入射すればよい。そのためには、図１４に示すように、光源１００から音響光学偏向素子１０３までの光学系を、音響光学偏向素子１０３を光軸に対して垂直に設置したときの光軸に対し、以下に示される調整角度θ１２に調整することで達成できる。

θ１２＝θ１＋θ２

ここでは、

θ１２＝０．９２＋０．２５

＝１．１７

となる。

【００６３】

以上の調整を行うことで、露光光学系内での光源光量の損失を最小限に抑えた露光が実現でき、潜像計測上、望ましい露光条件が実現できる。また、このとき測定領域１ｍｍを走査するための音響光学偏向素子１０３のＶＣＯ電圧幅は、３．３３～４．６７Ｖとなる。

【００６４】

ここでは、音響光学偏向素子１０３の最大回折効率が測定領域中心となるための調整方法について説明したが、計測範囲内での感光体試料２３の像面への到達光量変動を考え、

計測範囲内での回折効率変動が最小となるような調整を行ってもよい。これは、計測範囲で使用する回折効率を任意に設定できる前述の調整手法を用いることで実現することができ、静電潜像を精度よく計測する上で、望ましい露光条件を実現することができる。

【００６５】

図１３に示すような回折効率特性を持つ音響光学偏光素子１０３を用いる場合、Ｖｖｃｏ＝４Ｖ及びＶｖｃｏ＝５．８Ｖを中心としたとき、測定領域１ｍｍを実現するＶＣＯ電圧幅での回折効率変動が小さく、これらの値を測定領域中心に設定することで測定領域内の回折効率変動を小さくすることができる。

例えば、Ｖｖｃｏ＝５．８Ｖを測定領域中心とするとき、前述のとおり、

θ１＝－０．４７×５．８＋２．８０

＝０．０７

となり、これより、

θ１２＝０．０７＋０．２５

＝０．３２

となる。

【００６６】

露光光学系の角度調整を行うための調整機構を図１５に示す。露光光学系の角度調整は、光源１００から音響光学偏向素子１０３までの光学系を一つのユニットとしてこれをマイクロステージなどに搭載することによって行うようになっている。具体的には、上記光学系のユニットを傾斜調整ステージ１２１に載置し、この傾斜調整ステージ１２１をベース１２０に載置する。傾斜調整ステージ１２１は音響光学偏向素子１０３側の端に沿った軸を中心として所定の可動範囲内で垂直面内において回転可能であり、傾斜調整ステージ１２１の光源１００側の端部近くに調整ねじ１２２が捻じ込まれている。調整ねじ１２２の先端（下端）はベース１２０に当接または回転可能に嵌められている。したがって、調整ねじ１２２を回転操作することにより、ベース１２０に対する傾斜調整ステージ１２１の傾斜角、すなわち上記光源１００から音響光学偏向素子１０３までのユニットの傾斜角度を調整することができる。

【００６７】

上記のような角度調整機構において、角度調整軸が音響光学偏向素子１０３の偏向点と異なっていて、音響光学偏向素子１０３からの透過ビームの出射点が、角度調整により光軸位置からずれる場合は、図１５に示す角度調整機構に加えて、高さ調整ステージなどを設置し、上記ずれ量を解消して透過ビームが光軸を伝播するように高さ調整を行うようにするとよい。また、上記角度や高さの調整は、手動、もしくは電気的な駆動で行ってもよい。さらに、上記角度調整と高さ調整は互いに連動して行われるようにしてもよいし、個別に構成した角度調整機構と高さ調整機構で独立に行うようにしてもよい。

【００６８】

これらの調整の手順を図１６に示す。調整手順の各ステップについて以下に説明する。

まず、ステップＳ１１において、測定領域中心として使用するＶＣＯ電圧を決定する。次のステップＳ１２において、後述する測定像面最適化をもとに設定した測定領域中心にビームを結像させるために必要な、音響光学偏向素子１０３からの透過ビームの光軸に対する振れ角θ２を導出する。次のステップＳ１３において、事前に測定した音響光学偏向素子１０３のＶＣＯ電圧と光軸からの振れ角の特性から、ステップＳ１１で決定した測定領域中心ＶＣＯ電圧での光軸からの振れ角θ１を導出する。次のステップＳ１４において、上記振れ角θ１、θ２から調整角度θ１２を導出する。次のステップＳ１５において、光源から音響光学偏向素子の間に設けられている光学系の角度を上記調整角度にしたがい調整を行って終了する。

【００６９】

また、光学系の角度調整は、音響光学偏向素子１０３以降の光学系で行っても同様の効果が得られる。このとき、同時に感光体試料に対しても角度調整を行う必要がある。この角度調整の光路模式図を図１７に、調整機構を図１８に示す。図１７において音響光学偏

向素子１０３から感光体試料２３の表面に至る点線は、上記調整機構によって角度を調整した後の光軸中心線を示している。音響光学偏向素子１０３から感光体試料２３の表面に至る実線は、角度調整後の測定領域中心に結像するビームの経路を示している。角度調整前の上記光学系の光軸中心線は、光源１００から音響光学偏向素子１０３に至る光学系の光軸中心の延長線上にある。また、図１７に示す感光体試料２３は、角度調整後の姿勢を示している。角度調整する前の感光体試料２３は、光源１００から音響光学偏向素子１０３に至る光学系の光軸中心の延長線に対して４５°傾けた姿勢で配置されている。

【００７０】

上記光学系による角度調整は、音響光学偏向素子１０３以降の光学系を一つのユニットとしてこれをマイクロステージなどに搭載することによって行うことができる。具体的には、図１８に示すように、上記光学系のユニットを傾斜調整ステージ１３１に載置し、この傾斜調整ステージ１３１をベース１３０に載置する。傾斜調整ステージ１３１は音響光学偏向素子１０３側の端に沿った軸を中心として所定の可動範囲内で垂直面内において回転可能であり、傾斜調整ステージ１３１の感光体試料２３側の端部近くに調整ねじ１３２が捻じ込まれている。調整ねじ１３２の先端（下端）はベース１３０に当接または回転可能に嵌められている。したがって、調整ねじ１３２を回転操作することにより、ベース１３０に対する傾斜調整ステージ１３１の傾斜角、すなわち音響光学偏向素子１０３以降の光学系ユニットの傾斜角度を調整することができる。

【００７１】

上記感光体試料２３に対する角度調整は、感光体試料２３をマイクロステージなどに搭載することによって行うことができる。具体的には、図１８に示すように、上記感光体試料２３を傾斜調整ステージ１４１に載置し、この傾斜調整ステージ１４１を、予め所定の傾斜角度をもって設置されているベース１４０に載置する。傾斜調整ステージ１４１は図１８において下端に沿った軸を中心として所定の可動範囲内で垂直面内において回転可能であり、傾斜調整ステージ１４１の図１８において上端部近くに調整ねじ１４２が捻じ込まれている。調整ねじ１４２の先端はベース１４０に回転可能に嵌められている。したがって、調整ねじ１４２を回転操作することにより、ベース１４０に対する傾斜調整ステージ１４１の傾斜角、すなわち感光体試料２３の傾斜角度を調整することができる。

【００７２】

図１５、図１８に示す各傾斜ステージの角度調整は、それぞれの調整ネジを手動で操作することによって行うようにしてもよいし、電気的な駆動によって行ってもよい。

【００７３】

次に、潜像計測範囲内において広範囲で露光ビームのビーム径を保つための測定像面の設定方法について説明する。

上述したように、音響光学偏向素子を用いた２次元露光光学系では、副走査偏向にともない像面湾曲が生じ、その影響により感光体試料の像面で露光ビームのビーム径が一定に保たれる範囲は限定される。そこで、測定像面を像面湾曲による結像位置変化特性に重ねるように設定すると、光軸に対して垂直に配置したときよりも広範囲でビーム径を保つことが可能となる。すなわち、像面湾曲に準じた測定像面の最適化を行うことで、広範囲にわたり潜像計測に好適な露光条件を実現することができる。

【００７４】

測定像面の最適化について、図１９を用いて説明する。ここでは、図５に示すように試料像面が露光光学系に対して４５度の入射角を持っている場合を考える。

像面湾曲により生じる結像位置ズレは二次関数的に生じる。ｘを像面湾曲による結像位置のズレ量、ｙを副走査位置とすると、その特性は以下の式で表される。

$$x = a_1 y^2$$

試料像面は平面であるとすると、

$$x=\frac{y-b}{a_2}$$

で表される。$a_1$、$a_2$、bは定数を示す。

【００７５】

これら二つの曲線と直線との重なりが多いほど、像面湾曲により生じる結像位置と試料像面がより多く重なることを意味する。そのため、測定像面の最適化は、像面上所定範囲でのｘ座標の差分が小さくなるような像面設定をすることで実現できる。

像面上の測定範囲の下限、上限をそれぞれ（$x_1$，$y_1$）、（$x_2$，$y_2$）、直線と曲線の交点を（$x_3$，$y_3$）、（$x_4$，$y_4$）、Ｓを像面上の所定範囲でのx座標の差分総和、Ｌを測定範囲幅、また、

$f(y)=a_1 y_2$

$g(y)=(y-b)/a_2$

とすると、像面上所定範囲でのｘ座標の差分平均、すなわち、結像位置ずれ量の測定範囲平均Ｄ’は、以下の式で表される。

$D'=S/L$

また、Ｓは、$y_1<y_3$、$y_3<y_4$、$y_4<y_2$とすると、以下の数１式で表される。

【数１】

$$S=\int_{y_1}^{y_3}\{g(y)-f(y)\}dy+\int_{y_3}^{y_4}\{f(y)-g(y)\}dy+\int_{y_4}^{y_2}\{g(y)-f(y)\}dy$$

【００７６】

Ｄ’およびＳが最も小さくなるときの直線を像面とすることで、測定像面の最適条件を導出することができる。なお、曲線と直線の交点が１つの場合においても、同様に結像位置ずれ量の総和を求めることができる。また、ここでは試料像面は平面であるとしたが、曲面であってもよい。

【００７７】

図５に示すような真空チャンバ外に露光光学系が配置され、試料像面と露光ビームの入射角が４５度であり、潜像計測範囲Ｌを１ｍｍとしたときの測定像面の最適化を考える。図９に示されている像面湾曲特性を有するものとすると、その特性は以下の式で表される。

$x=-2.4y^2$

これより、

$f(y)=-2.4y^2$、$g(y)=y-b$

と置き換えられる。また、$y_1$と$y_2$の関係は、以下の数２式で示される。

【数２】

$$y_1=-\frac{1}{\sqrt{2}}+y_2$$

上記の数式よりＤ’およびＳを求めるためには、変数ｂおよび$y_2$に任意の値を設定する。

【００７８】

ここで、変数ｂとは、グラフ上で試料像面を示す直線のｙ切片であり、変数ｂを変更することは、試料高さを変更することを意味する。試料高さを変えることで像面湾曲特性を示す曲線との交点を任意に変えることができ、上述の結像位置ずれ量平均を求める数１式中の$y_3$および$y_4$を任意に設定できる。

【００７９】

また、変数$y_2$とは、試料像面上の測定範囲の上限値を示す。$y_1$と$y_2$は、上述の関

係があるため、$y_2$を設定することで$y_1$は一意的に定まる。これより、D’およびSを求めることができる。これらの条件を表したものを図２０に示す。

【００８０】

bおよび$y_2$をパラメータとしたときの、結像位置ずれ量平均D’の特性を図２１に示す。ここで、bおよび$y_2$の座標の単位はｍｍである。D’が０．６ｍｍより小さくなる条件を測定像面条件とすると、ｂ＝０またはｂ＝－０．０５であり、かつ、$y_2$＝０．１、$y_2$＝０．２の条件である。このように求められた条件をもとに、実際に試料像面を設定することで測定像面の最適化を実現できる。

【００８１】

bは、試料高さを示すため、試料をマイクロステージなどで構成された高さ方向可動ステージに設置し、その可動範囲内で手動、もしくは電気的な駆動によって試料高さを調整すればよい。ｂ＝０とは、像面湾曲の影響が生じない光軸を伝播したビームが結像する位置であり、この位置を基準として試料高さを調整できる。

【００８２】

$y_2$は、高さ調整を行った試料像面上での測定上限座標、すなわち書込開始位置を示す。書込範囲は、音響光学偏向素子のＶＣＯ電圧で任意に制御できるため、音響光学偏向素子の偏向角特性と露光光学系の副走査偏向時結像特性を考慮し、ＶＣＯ電圧の範囲を所望の範囲に設定すればよい。

【００８３】

例えば、露光光学系の副走査偏向時結像特性が、前述の以下の式で与えられるような露光光学系を用いたとき、ｙ２＝０．１に結像するためには、θ＝０．０６３であればよい。

$$\theta = K \times \Delta Z$$

$$K = 0.63$$

また、ＶＣＯの電圧変化量（Ｖ）を$\Delta V_{vco}$とすると、音響光学偏向素子のＶＣＯ電圧と振れ角の関係が以下の関係式であるとする。

$$\Delta\theta 1 = 0.47 \times \Delta V_{vco}$$

この場合、$\Delta V_{vco}$＝０．１３である。

【００８４】

そのため、測定上限ＶＣＯ電圧を光軸伝播ＶＣＯ電圧より０．１３Ｖ小さく設定し、それを基準として１ｍｍの測定範囲を設定すればよい。例えば、光軸伝播ＶＣＯ電圧が６Ｖである場合は、$\Delta V_{vco}$＝５．８７～７．２２Ｖとすることで１ｍｍの測定範囲を実現することができる。

【００８５】

従来の測定像面設定では、図２２（ａ）に示すように、光軸を伝播する音響光学偏向素子を透過する光束、すなわち、$V_{vco}$＝６Ｖを中心として対称的に１ｍｍの測定範囲を設定していたが、上述の最適化を行った場合ＶＣＯ電圧範囲の中心は図２２（ｂ）に示すように６．５５Ｖとなった。これらの差分の０．５５Ｖが、本発明の使用ＶＣＯ電圧範囲における像面最適化調整の電圧シフトである。

【００８６】

測定像面の最適化の手順を図２３に示す。測定像面の最適化を行うことで、測定範囲内でのビーム径変動を小さくすることができる。

まず、ステップＳ２１において、露光光学系による副走査偏向時に生じる像面湾曲特性の数式化を行う。数式化は、シミュレーションなどを用いて行ってもよいし、実測値に対する近似計算などで行ってもよい。次のステップＳ２２において、試料高さを任意の値に設定する。次のステップＳ２３において、測定機構を用いまた設定した試料高さの値を用いて試料像面の数式化を行う。このとき試料像面は平面であっても曲面であってもよい。次のステップＳ２４において、像面湾曲特性、試料像面を示すそれぞれの数式を用いて、交点を求める。

【００８７】

次に、ステップＳ２５において、試料像面上における測定範囲幅及び測定範囲上限座標、下限座標を設定する。次のステップＳ２６において、設定した条件における結像位置ずれ量平均Ｄ’の算出を行う。次のステップＳ２７において、算出されたＤ’の値と、予め設定した測定像面条件値$Ｄ_{0}$’の比較を行い、測定像面条件値を下回る場合はステップＳ２８に進む。それ以外の場合は、パラメータ値を変更するためにステップＳ２２に戻る。ステップＳ２８では、導出された最適化条件に基づき測定像面設定が行われ、測定像面の最適化が終了する。

【００８８】

なお、ここでは試料高さと計測範囲をパラメータとして測定像面の最適化を行ったが、試料に対する露光ビームの入射角を変更することで像面湾曲特性に応じた測定像面の最適化を行ってもよい。入射角の変更は、図５に示す露光光学系からの光を試料に向けて反射するミラーの角度を任意に調整することで実現できる。また、露光光学系もしくは、試料ステージを傾斜ステージなどに搭載し、その可動範囲内で手動、もしくは電気的な駆動で上記露光光学系もしくは試料ステージの傾斜度合いを制御してもよい。

【００８９】

上述した手順を実行することで、総ライン数、書込密度（ｄｐｉ）を任意に指定したときの最適測定像面条件とライン番号に対応したＶＣＯの値を導出することが可能となる。これらの導出を自動化するための制御系の構成例を図２４に示す。図２４において、

最適像面条件算出部１５１では、指定した測定範囲に基づく最適像面条件を上述したフローを用いて算出する。試料高さ、試料角度などの試料設置条件に関する情報は試料ステージ制御部１５２に送られる。試料ステージ制御部１５２では、その情報に応じて実際に前記試料載置部ＧＮＤに相当する試料ステージ１５３を駆動する。

【００９０】

ＶＣＯ電圧調整部１５５では、最適像面条件算出部１５１で算出された書込開始ＶＣＯ電圧と書込総ライン数、書込密度に関する信号を入力として受け、音響光学偏向素子１０３の偏向角特性と露光光学系の副走査偏向時結像特性から像面最適化調整を受けたライン毎の調整ＶＣＯ電圧値を求める。求められたライン毎の調整ＶＣＯ電圧値は、ＶＣＯ電圧メモリ１５６に格納される。

【００９１】

ＶＣＯ電圧メモリ１５６は、同期信号を受けて書込ライン番号をカウントするライン番号制御部１５７からのライン番号信号を受け、そのライン番号に対応するＶＣＯ電圧値を音響光学偏向素子制御部１５８に与える。音響光学偏向素子制御部１５８では、与えられたＶＣＯ電圧値に対応した駆動周波数を発生させ、それを音響光学偏向素子１０３に与えることで副走査偏向を行う。

以上の手順を総ライン数に達するまで繰り返すことで、最適化された測定像面に対して、指定した測定範囲幅、総ライン数、書込密度での２次元パターンの露光を実現することができる。

【符号の説明】

【００９２】

１０　荷電粒子照射装置
２２　露光光学系
２３　感光体試料
２４　検出器
１０３　音響光学偏向素子
１０５　光偏向器

【先行技術文献】

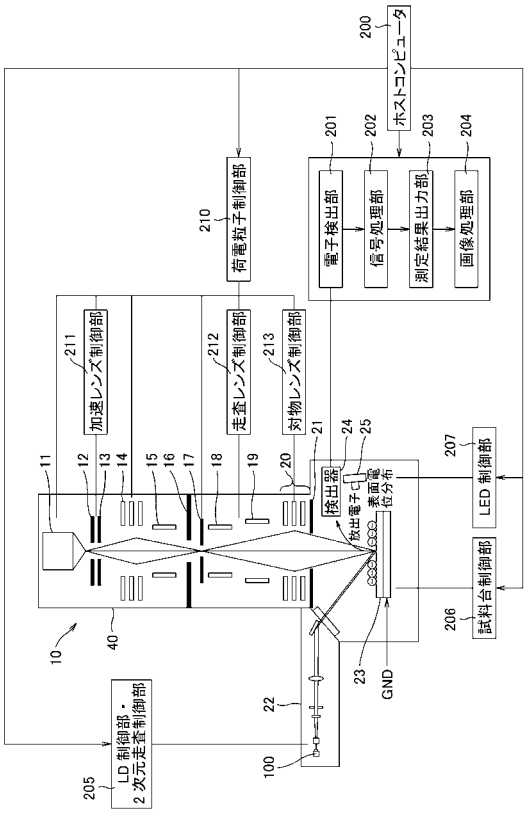
【特許文献】

【００９３】

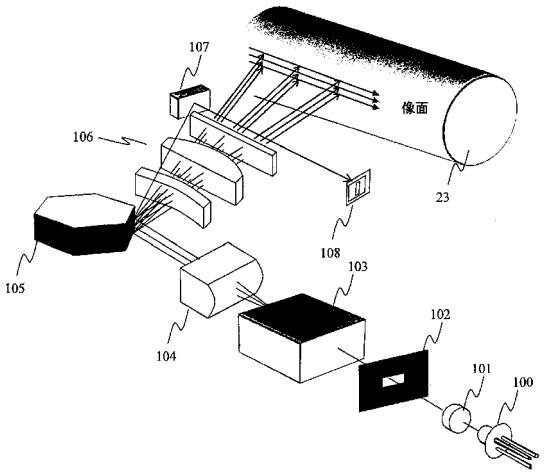
【特許文献１】特開平０３－０４９１４３号公報
【特許文献２】特開２００３－２９５６９６号公報

【特許文献３】特開２００４－２５１８００号公報
【特許文献４】特開２００８－２３３３７６号公報
【特許文献５】特開平０１－２７３２２５号公報

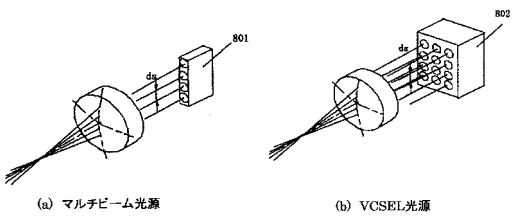
【図１】



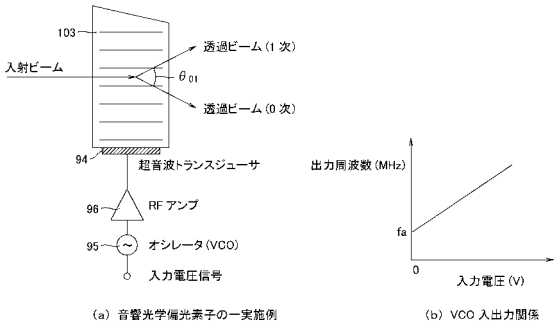

【図２】




【図３】

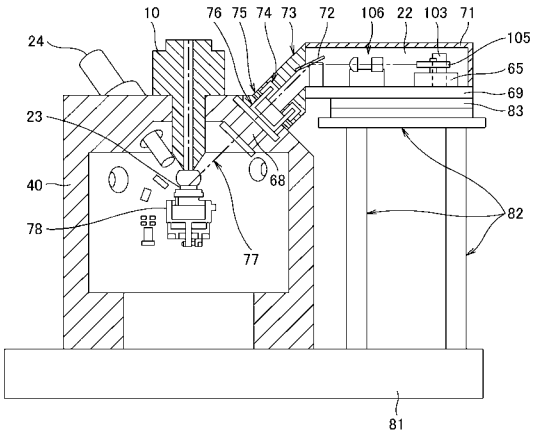


【図４】

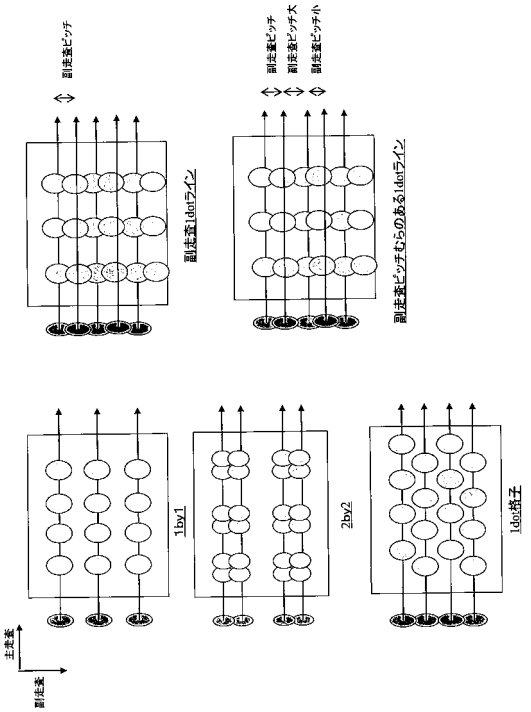



（a）音響光学偏光素子の一実施例　（b）VCO 入出力関係

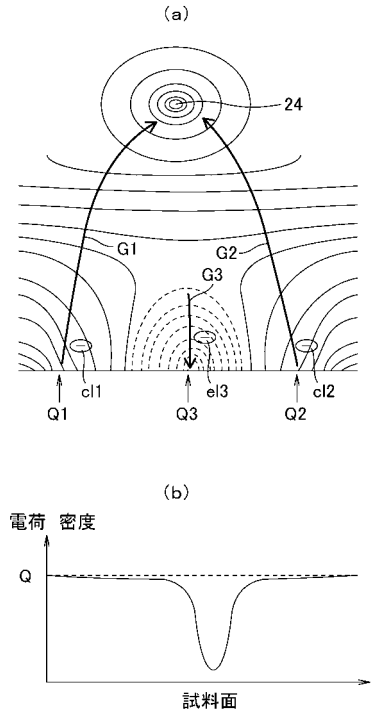
【図５】



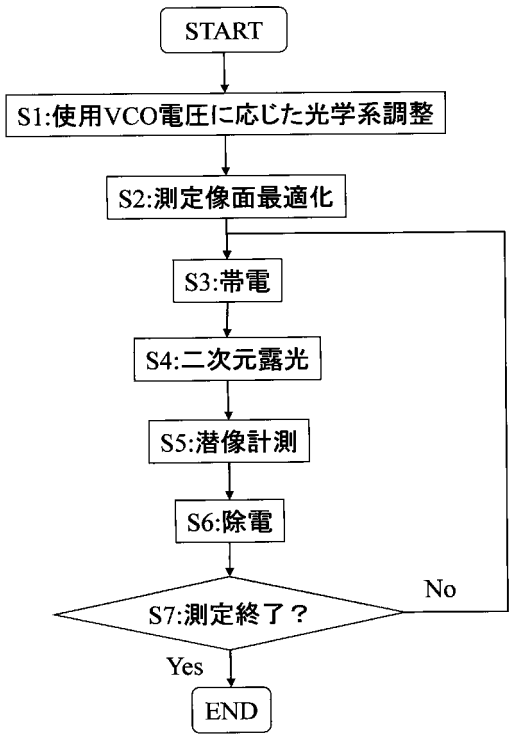

【図６】



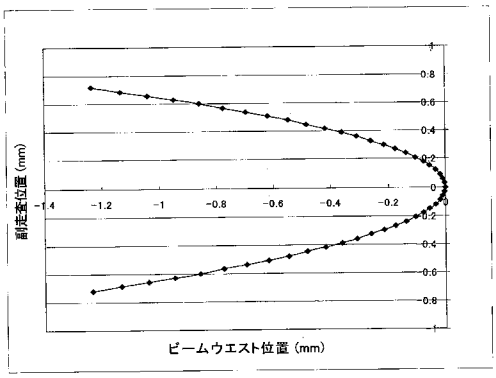

【図７】



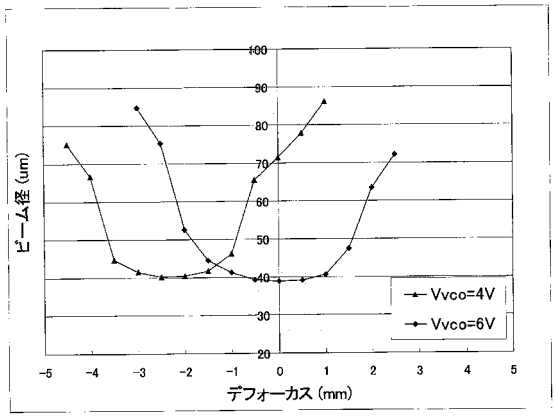

【図８】



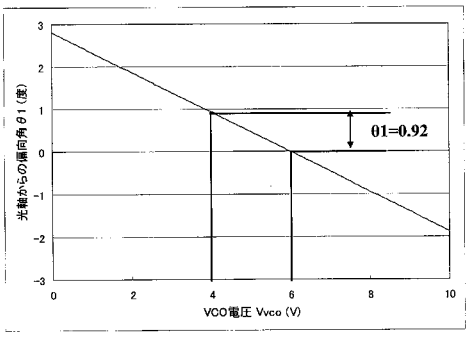
【図９】



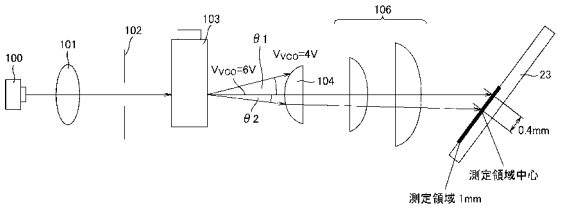

【図１０】



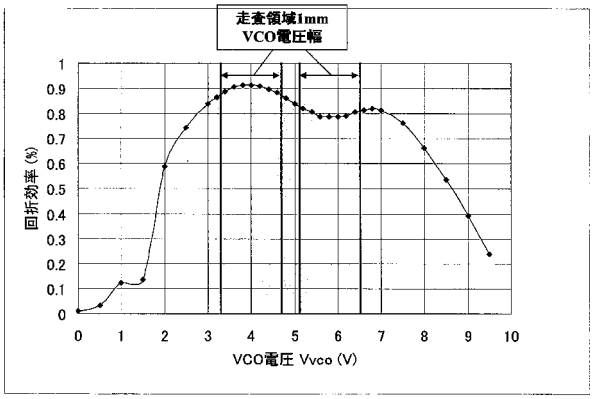

【図１１】



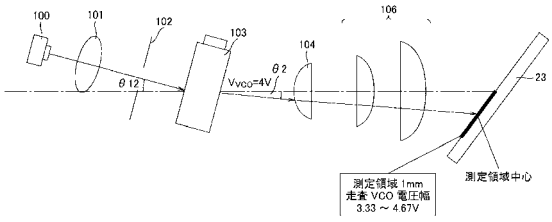

【図１２】



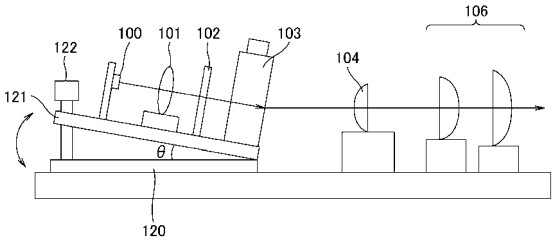

【図１３】



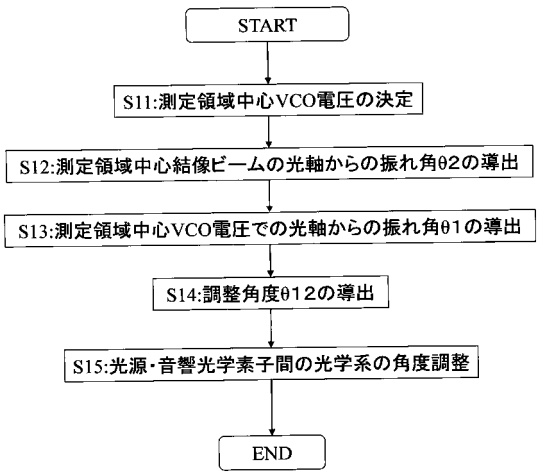

【図１４】



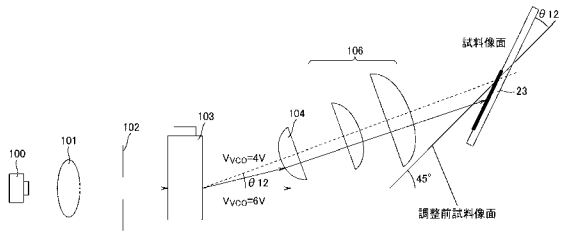

【図１５】



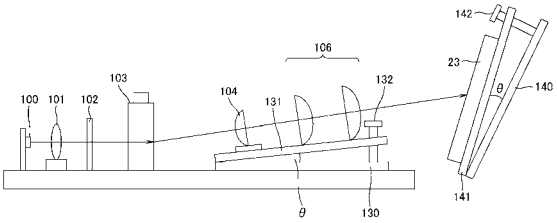

【図１６】



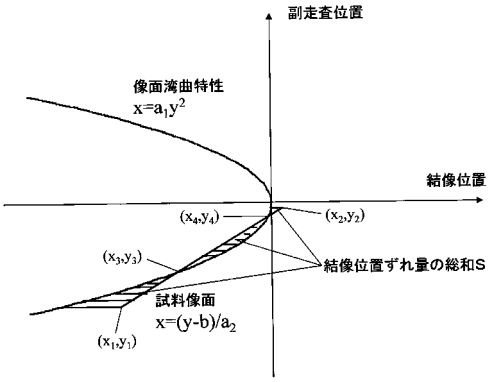
【図１７】



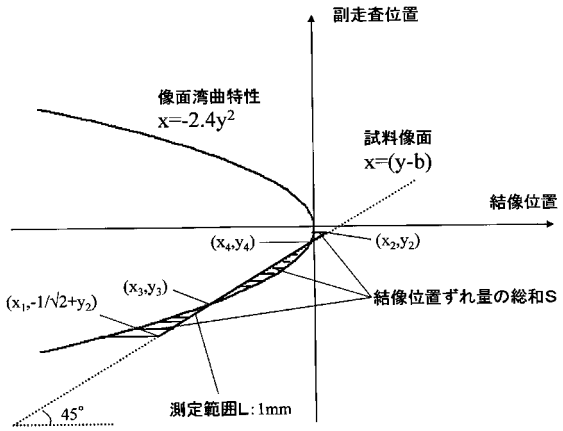

【図１８】



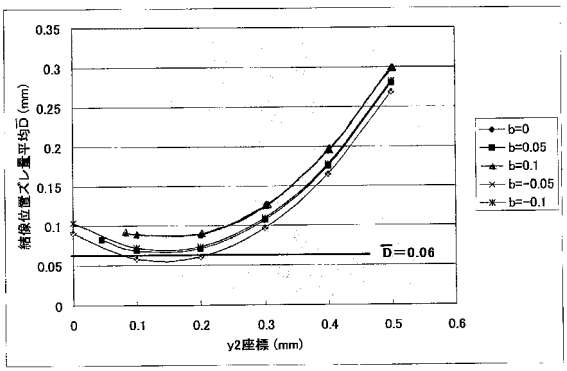

【図１９】



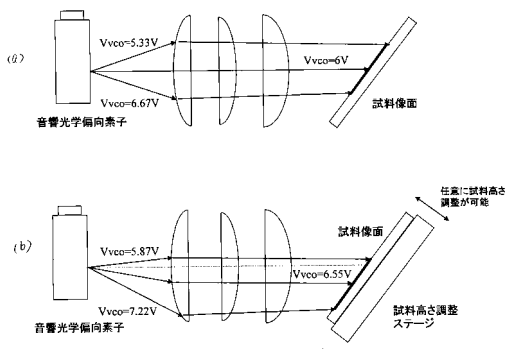

【図２０】



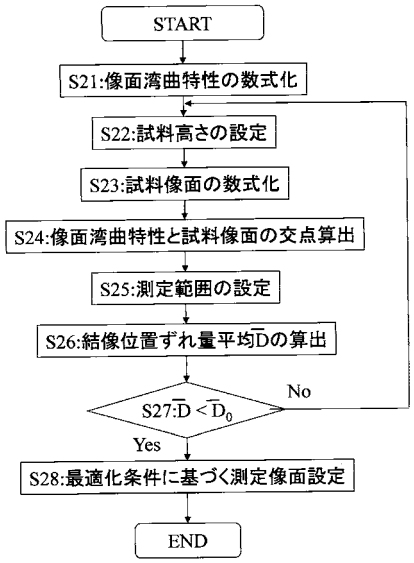

【図２１】



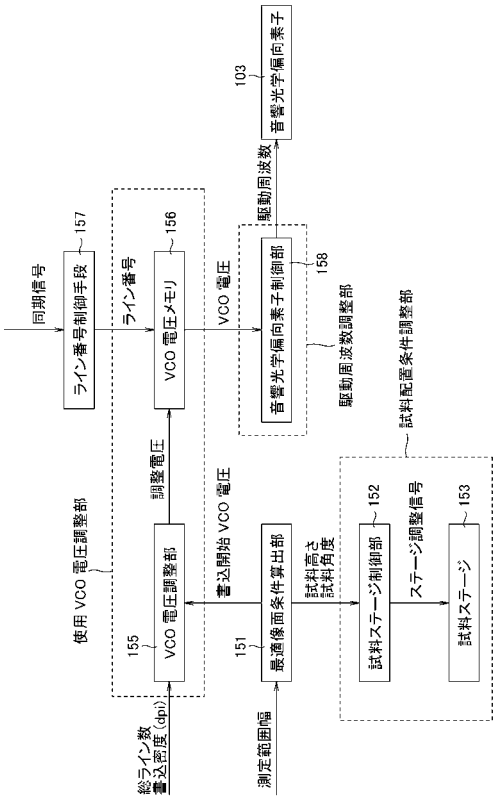

【図２２】



【図２３】


START
S21:像面湾曲特性の数式化
S22:試料高さの設定
S23:試料像面の数式化
S24:像面湾曲特性と試料像面の交点算出
S25:測定範囲の設定
S26:結像位置ずれ量平均$\overline{D}$の算出
S27:$\overline{D} < \overline{D}_0$
No
Yes
S28:最適化条件に基づく測定像面設定
END

【図２４】


103
音響光学偏向素子
駆動周波数
157
156
同期信号
ライン番号制御手段
ライン番号
VCO 電圧メモリ
VCO 電圧
音響光学偏向素子制御部
158
駆動周波数調整部
試料配置条件調整部
使用 VCO 電圧調整部
調整電圧
書込開始 VCO 電圧
155
151
152
153
VCO 電圧調整部
最適像面条件算出部
試料高さ
試料角度
試料ステージ制御部
ステージ調整信号
試料ステージ
総ライン数
書込密度 (dpi)
測定範囲幅