

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5637841号
(P5637841)

(45) 発行日 平成26年12月10日 (2014.12.10)

(24) 登録日 平成26年10月31日 (2014.10.31)

(51) Int.Cl.	F I
GO 1 N 21/956 (2006.01)	GO 1 N 21/956 A
HO 1 L 21/66 (2006.01)	HO 1 L 21/66 J

請求項の数 15 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2010-289105 (P2010-289105)	(73) 特許権者	501387839
(22) 出願日	平成22年12月27日 (2010.12.27)		株式会社日立ハイテクノロジーズ
(65) 公開番号	特開2012-137348 (P2012-137348A)		東京都港区西新橋一丁目2 4 番 1 4 号
(43) 公開日	平成24年7月19日 (2012.7.19)	(74) 代理人	100100310
審査請求日	平成25年1月30日 (2013.1.30)		弁理士 井上 学
		(74) 代理人	100098660
			弁理士 戸田 裕二
		(74) 代理人	100091720
			弁理士 岩崎 重美
		(72) 発明者	伊東 昌昭
			茨城県ひたちなか市大字市毛8 8 2 番地
			株式会社 日立ハイ
			テクノロジーズ 那珂事業所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 検査装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

試料の欠陥を検査する検査装置において、
 該試料に光を照射する照明光学系と、
 該照明光学系による照明領域からの光を結像する結像光学系と、
 該結像光学系によって結像された光を光電変換するセンサと、
 該センサの検出結果を用いて前記欠陥を検出する処理部と、を有し、
 さらに、
 該照明光学系は、時間的及び空間的に分割された複数の照明領域を該試料上に形成する
 時間的空間的分割光学系を有し、
 該複数の照明領域のうち、2つの照明領域の間隔は該結像光学系の解像度よりも大きい
 ことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 2】

請求項 1 記載の欠陥検査装置において、
 該複数の照明領域間の間隔は、
 該センサ側において、該複数の照明領域のガウスプロファイルが平坦となるような間隔
 であることを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 3】

請求項 1 記載の欠陥検査装置において、
 該照明光学系は、

該複数の照明領域を該試料において単一のライン上に配列することを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 4】

請求項 1 記載の欠陥検査装置において、
該時間的空間的分割光学系は、
パルスビームを形成するパルスビーム生成部と、
前記パルスビームを分割して時間的な差を設ける時間分割ユニットと、
前記パルスビームを分割して空間的な差を設ける空間分割ユニットと、
前記時間分割ユニット、及び前記空間分割ユニットによって時間的及び空間的に分割されたパルスビームを複数の照明スポットとして前記試料に照射する結合ユニットと、を有することを特徴とする欠陥検査装置。

10

【請求項 5】

請求項 1 記載の欠陥検査装置において、
該複数の照明領域の個数、寸法、及び間隔の少なくとも 1 つは可変であることを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 6】

請求項 3 記載の欠陥検査装置において、
該ラインに垂直な方向に試料を走査する走査部を有することを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 7】

請求項 1 記載の欠陥検査装置において、
該結像光学系は暗視野型であることを特徴とする欠陥検査装置。

20

【請求項 8】

請求項 7 記載の欠陥検査装置において、
該照明光学系は、該試料に垂直な方向から、該複数の照明領域を該試料に形成することを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 9】

請求項 7 記載の欠陥検査装置において、
該照明光学系は、該試料に斜めの方向から、該複数の照明領域を該試料に形成することを特徴とする欠陥検査装置。

30

【請求項 10】

請求項 7 記載の欠陥検査装置において、
複数の結像光学系と複数の画像センサとを有し、それぞれの画像を撮像することを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 11】

請求項 10 記載の欠陥検査装置において、
撮像した複数の画像を統合処理することを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 12】

請求項 1 記載の欠陥検査装置において、
該結像光学系は明視野型であることを特徴とする欠陥検査装置。

40

【請求項 13】

請求項 1 記載の欠陥検査装置において、
前記欠陥検査装置は、配線が形成された試料を検査する欠陥検査装置であり、
該配線のピッチから算出される周波数で、該センサの検出結果をサンプリングする処理部を有することを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 14】

請求項 1 記載の欠陥検査装置において、
該センサは少なくとも 1 つ以上の画素を有するセンサであり、
該センサの 1 画素の大きさに相当する時間の中で、撮像を開始する開始時間と撮像を終了する終了時間を変える制御部を有することを特徴とする欠陥検査装置。

50

【請求項 15】

請求項 1 に記載の欠陥検査装置において、
該 2 つの照明領域は同じ時間に照明される欠陥検査装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、基板の欠陥を検査する検査装置、検査方法に関する。例えば、半導体デバイス製造におけるウェハなどの、パターンが形成された試料の欠陥検査装置に係り、特に光学式欠陥検査装置に関する。

【背景技術】

10

【0002】

半導体デバイスの製造プロセスでは、スパッタや化学気相成長による成膜、化学機械研磨による平坦化、リソグラフィとエッチングによるパターニングを多数繰り返す。半導体デバイスの歩留まりを確保するために、製造プロセスの途中でウェハを抜き取り、欠陥検査を行う。

【0003】

欠陥とは、ウェハ表面の異物、膨れ、スクラッチやパターン欠陥（ショート、オープン、ホールの開口不良など）である。

【0004】

欠陥検査の目的は、第 1 に製造装置の状態を管理すること、第 2 に不良が発生した工程とその原因を特定することにある。半導体デバイスの微細化に伴い、欠陥検査装置に対して、高い検出感度が要求されている。

20

【0005】

ウェハには同一のパターンを有する数百のデバイス（チップと呼ぶ）が作製される。また、デバイスのメモリ部などでは、繰り返しパターンを有する多数のセルが形成される。欠陥検査装置では、隣接するチップ間または隣接するセル間で画像を比較する方法が使用されている。

【0006】

ウェハに光を照射して画像を撮像する光学式欠陥検査装置は、電子線など他方式の欠陥検査装置に比べてスループットが高いので、インライン検査に多く使用されている。

30

【0007】

従来の光学式欠陥検査装置に関して、特表 2005 - 521064 号公報（特許文献 1）が開示されている。特許文献 1 では、レーザ光源より射出したビームから、複数の移動レンズにより複数のスポットビームを生成し、ウェハに照射する。複数のスポットビームをライン上で走査しつつ、スポットビームに対応する検出器を並列動作することにより、単一スポットビームに比べてスループットを向上している。

【0008】

その他の技術としては、特許文献 2 - 4 が挙げられる。

【先行技術文献】**【特許文献】**

40

【0009】

【特許文献 1】特表 2005 - 521064 号公報

【特許文献 2】特表 2005 - 517906 号公報

【特許文献 3】米国特許第 6724473 号

【特許文献 4】米国特許第 6248988 号

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0010】**

半導体デバイスの微細化に伴い、光学式欠陥検査装置に対して検出感度の向上が要求されており、光学系については S/N 比の確保が重要課題となっている。

50

【 0 0 1 1 】

微細化につれて致命欠陥の信号強度が減少するので、S/N比を確保するには、ウェハの散乱光によるノイズを低減する必要がある。散乱源であるパターンエッジラフネスや表面ラフネスは、ウェハ全体に広がっている。そのため、ノイズを低減するには、照明領域を縮小するのが有効であることを本発明では見出した。すなわち、例えば、照明領域をスポット状とし、スポットビームの寸法を縮小するのが有効であることを本発明では見出した。

【 0 0 1 2 】

特許文献 1 は、音響光学素子を用いて移動レンズを生成している。媒質内の音波の伝播を時間的・空間的に制御して屈折率分布を生成するのであるが、収差が残存するので、スポットビームの寸法の縮小には限界がある。また、スポットビームの走査速度に限界があるので、スループットをさらに向上するのは難しい。

10

【 0 0 1 3 】

本発明の目的は、半導体デバイスの微細化に対応し、微小なスポットビームを用いた高感度かつ高スループットの欠陥検査装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 4 】

本発明は例えば以下の特徴を有する。

【 0 0 1 5 】

本発明は、時間的及び空間的に分割された複数の照明領域を試料上に形成する時間的空間的分割光学系を有することを特徴とする。ここで、照明領域とは、例えば、スポット照明、線状照明、線状照明をさらに絞った細線照明、またはそれらを微小に形成したものと表現することができる。また、時間的分割とは、例えば被検査物上に異なる時間に複数の照明領域を形成することと表現することができる。空間的分割とは、被検査物上に互いに離れた複数の照明領域を形成することと表現することができる。本発明は、これら時間的分割、及び空間的分割のうち少なくとも1つを制御することを特徴とする。

20

【 0 0 1 6 】

本発明は、試料上に異なる時間に離散的に照明領域を形成し、検出器側ではこれらを連続的な信号として検出することを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

本発明は、該照明光学系は、該複数の照明領域を該試料において単一のライン上に配列することを特徴とする。

30

【 0 0 1 8 】

本発明は、該時間的空間的分割光学系は、パルスビームを形成するパルスビーム生成部と、前記パルスビームを分割して時間的な差を設ける時間分割ユニットと、前記パルスビームを分割して空間的な差を設ける空間分割ユニットと、前記時間分割ユニット、及び前記空間分割ユニットによって時間的及び空間的に分割されたパルスビームを複数の照明スポットとして前記試料に照射する結合ユニットと、を有することを特徴とする。

【 0 0 1 9 】

本発明は、該複数の照明領域の個数、寸法、及び間隔の少なくとも1つは可変であることを特徴とする。

40

【 0 0 2 0 】

本発明は、該ラインに垂直な方向に試料を走査する走査部を有することを特徴とする。

【 0 0 2 1 】

本発明は、該検出光学系は暗視野型であることを特徴とする。

【 0 0 2 2 】

本発明は、該照明光学系は、該試料に垂直な方向から、該複数の照明スポットを該試料に形成することを特徴とする。

【 0 0 2 3 】

本発明は、該照明光学系は、該試料に斜めの方向から、該複数の照明スポットを該試料

50

に形成することを特徴とする。

【0024】

本発明は、複数の検出光学系と複数の画像センサとを有し、それぞれの画像を撮像することを特徴とする。

【0025】

本発明は、撮像した複数の画像を統合処理することを特徴とする。

【0026】

本発明は、該検出光学系は明視野型であることを特徴とする。

【0027】

本発明は、該欠陥検査装置は、配線が形成された試料を検査する欠陥検査装置であり、該配線のピッチから算出される周波数で、該センサの検出結果をサンプリングする処理部を有することを特徴とする。

10

【0028】

本発明は、該センサは少なくとも1つ以上の画素を有するセンサであり、該センサの1画素の大きさに相当する時間の中で、撮像を開始する開始時間と撮像を終了する終了時間を変える制御部を有することを特徴とする。

【0029】

本発明は、互いに平行な複数のライン上において、互いに離れた複数の照明スポットを該試料に形成する空間分割光学系を有することを特徴とする。

【0030】

20

本発明は、複数の開口を配列したマスクと、該開口の像を該試料に投影する投影光学系と、を有することを特徴とする。

【0031】

本発明は、該照明光学系は、複数の発光素子を配列したアレイ状光源と、該発光素子の像を該試料に投影する投影光学系と、を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0032】

本発明は例えば以下の効果を奏する。以下の効果は独立して奏される場合もあれば、複合して奏される場合もある。

(1) 従来より低ノイズの検査を行うことができる。

30

(2) 従来より広視野の光学系を構成することができる。

(3) 従来より高感度な欠陥検出が可能となる。

(4) 従来より高スループットの欠陥検査が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】本発明に係る、ビームを時間的・空間的に分割して照明する欠陥検査装置の第1の実施形態を示す図である。

【図2】ビームを時間的・空間的に分割する光学系を説明する図である。

【図3】時間的・空間的分割のタイムチャートを示す図である。

【図4】時間的・空間的に分割したスポットビームによるウェハの照明を示す図である。

40

【図5】ウェハ端における可変照明領域を説明する図である。

【図6a】斜方検出光学系の円形開口のウェハ面への投影図を示す図である。

【図6b】検出光学系の輪帯開口のウェハ面への投影図を示す図である。

【図7】複数の検出光学系を有する、第2の実施形態を示す図である。

【図8】第2の実施形態において、複数の斜方検出光学系の開口のウェハ面への投影図を示す図である。

【図9】スポットビームをウェハに斜め方向から照射する、第3の実施形態を示す図である。

【図10】第3の実施形態において、複数の検出光学系の開口のウェハ面への投影図を示す図である。

50

【図 1 1】本発明に係る、ビームを空間的に分割して照明する欠陥検査装置の第 4 の実施形態を示す図である。

【図 1 2】空間的に分割したスポットビームによるウェハの照明を説明する図である。

【図 1 3】マスクの構造を示す図である。

【図 1 4】シャッタアレイを示す図である。

【図 1 5】複数の検出光学系を有する、第 5 の実施形態を示す図である。

【図 1 6】スポットビームをウェハに斜め方向から照射する、第 6 の実施形態を示す図である。

【図 1 7】アレイ状光源を有する、第 7 の実施形態を示す図である。

【図 1 8】アレイ状光源を示す図である。

10

【図 1 9】実施例 8 を説明する図である。

【図 2 0】実施例 9 を説明する図である。

【図 2 1】実施例 1 0 を説明する図である。

【図 2 2】実施例 1 1 を説明する図である。

【図 2 3】実施例 1 2 を説明する図である。

【図 2 4】実施例 1 3 を説明する図である。

【図 2 5】検出光学系の例を示す図である。

【図 2 6】従来のサンプリングの課題を示す図である。

【図 2 7】本発明のサンプリング方法を示す図である。

【図 2 8】サンプリングの値を決める手順を説明する図である。

20

【図 2 9】サンプリングの値を決める処理の結果を示す図である。

【図 3 0】従来の課題を示す図である。

【図 3 1】蓄積時間と本発明の制御方法を説明する図である。

【図 3 2】本発明の制御例を示す図である。

【図 3 3】本発明のシステム構成例を示す図である。

【図 3 4】撮像タイミングのずれ量を計測する方法を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0034】

以下、図面を用いて説明する。なお、以下の実施例に開示される内容は独立して実施することもできるし、組み合わせて実施することもできる。

30

【実施例 1】

【0035】

本発明の第 1 の実施形態（以下、実施例 1 と称す）として、時間的・空間的分割照明による、半導体ウェハを対象とする暗視野欠陥検査装置について説明する。

【0036】

第 1 実施例の概略構成を図 1 に示す。主要部は、光源 1、時間的・空間的分割光学系 3、照明光学系 4、検出光学系 6、画像センサ 7、画像処理系 8、ステージ 9、制御系 10、及び操作系 11 である。

【0037】

光源 1 から射出したビームは、ミラー 2 で反射され、時間的・空間的分割光学系 3 に入射する。ここで、ビームは所定の形状、偏光、パワーに調整され、さらに時間的・空間的に分割されて、複数のビームが射出する。時間的・空間的ビーム分割の詳細は後述する。

40

【0038】

上記の複数のビームは、照明光学系 4 によりそれぞれスポット状に集光され、ウェハ 5 に垂直な方向からウェハ上の異なる位置を照射する。上記のスポットビームの照射位置は、ウェハ上で Y 軸に平行なライン上にある。

【0039】

ウェハで散乱された光は、検出光学系 6 により集光される。検出光学系の光軸は、ウェハに垂直な方向から所定の角度傾いている。正反射光は検出光学系の開口外に射出するので、複数のスポットビーム位置での暗視野像が画像センサ 7 に結像する。

50

【 0 0 4 0 】

画像はA / D変換器（図示しない）によりデジタル信号に変換され、画像処理系8に伝送される。これらの動作と並行して、ステージ9をX軸方向に走査する。

【 0 0 4 1 】

画像処理系8には、検査チップと隣接し、同一パターンを有するチップで撮像した参照画像が記録されている。検査画像と参照画像に対して、位置合わせなどの処理を行った後、両者の差画像を出力する。差画像の輝度を予め設定した閾値と比較し、欠陥を検出する。

【 0 0 4 2 】

欠陥の位置座標は、制御系10に伝送され、所定の検査終了後に操作系11に表示される。

10

【 0 0 4 3 】

時間的・空間的ビーム分割の詳細を、図2を用いて説明する。ここでは、時間的に4分割、空間的に8分割の実施例を述べるが、時間的にも空間的にも分割数を増減させることは可能である。

【 0 0 4 4 】

各ビームは平行ビームであり、図2ではその主光線を示す。時間的・空間的分割光学系の主要部は、時間分割ユニット12a～12c、空間分割ユニット13a～13d、及び結合ユニット14a～14cである。

【 0 0 4 5 】

20

初めに時間的分割について説明する。入射ビームは、直線偏光のパルスビームである。入射ビームはまず、時間分割ユニット12aによりビームL1とL1'に1:3の強度比で分割される。ビームL1'は、時間分割ユニット12bによりビームL2とL2'に1:2の強度比で分割される。ビームL2'は、時間分割ユニット12cによりビームL3とL4に1:1の強度比で分割される。

【 0 0 4 6 】

ビームL1、L2、L3、及びL4は、空間分割ユニットの入射位置において、互いに光路長が異なるので、射出パルス間に光路差に対応する時間差が生じている。つまり、ビームL1、L2、L3、及びL4が空間分割ユニットに入射するまでの光路長を変える機構（機械的にでも、光学的にでも良い）を設けることで時間分割の分割間隔を変えることができる。また、例えば、所要の光路差を得るために、各時間分割ユニットの間に、適切な長さの光ファイバを設けても良い。

30

【 0 0 4 7 】

また、ビームL1、L2、L3、及びL4の強度は互いに等しくなっている。時間分割ユニットとしては、1/2波長板と偏光ビームスプリッタ等を使用できる。1/2波長板の光学軸を偏光ビームスプリッタに対して所定方向に設定することにより、上記のビーム分割が可能である。

【 0 0 4 8 】

次に、空間的分割について説明する。ビームL1は、空間分割ユニット13aにより、互いに進行方向が異なるビームL11とL12に1:1の強度比で分割される。

40

【 0 0 4 9 】

同様に、ビームL2はビームL21とL22に、ビームL3はビームL31とL32に、ビームL4はビームL41とL42に分割される。空間分割ユニットとしては、ウォラストンプリズムと1/2波長板、回折格子、音響光学素子、等を使用できる。

【 0 0 5 0 】

例えば、1つの空間分割ユニットが、光学特性の異なる複数のウォラストンプリズム、複数の1/2波長板、又は複数の回折格子を有することで、空間分割の分割間隔を変えることができる。また、音響光学素子を用いる場合には、その駆動信号を変える制御を行えば、空間分割の分割間隔を変えることができる。

【 0 0 5 1 】

50

次に、ビームの結合について説明する。ビーム L_{41} , L_{42} とビーム L_{31} , L_{32} は結合ユニット $14c$ に入射し、結合ユニット $14b$ に向かって射出する。ビーム L_{41} , L_{42} , L_{31} , L_{32} とビーム L_{21} , L_{22} は結合ユニット $14b$ に入射し、結合ユニット $14a$ に向かって射出する。ビーム L_{41} , L_{42} , L_{31} , L_{32} , L_{21} , L_{22} とビーム L_{11} , L_{12} は結合ユニット $14a$ に入射し、互いに進行方向が異なる 8 本のビームが、4 通りのパルス時間差で射出する。このパルス時間差は、時間分割ユニットでの光路差と結合ユニットでの光路差の和に対応する。結合ユニットとしては、 $1/2$ 波長板と偏光ビームスプリッタ等を使用できる。

【0052】

次に、時間的・空間的ビーム分割のタイムチャートを図 3 に示す。ウェハ上の位置 Y_1 と Y_5 は時間 T_1 に、位置 Y_2 と Y_6 は時間 $T_2 = T_1 + T$ に、位置 Y_3 と Y_7 は時間 $T_3 = T_1 + 2T$ に、位置 Y_4 と Y_8 は時間 $T_4 = T_1 + 3T$ に、それぞれ照射する。

【0053】

時間差 T は、前述の時間的・空間的分割光学系によるパルス時間差である。光源の発光周期 T_s の経過後、同様に照射を繰り返す。互いに照射時間が異なれば、照射ビームの位置が隣接していても、画像センサにおけるノイズは照射ビームの位置が離れているのと同じに抑制できる。

【0054】

また、ビームを分割することにより、照明出力のピーク値は光源出力のピーク値に比べて減少するので、ウェハの照射損傷を抑制できる利点もある。

【0055】

次に、時間的・空間的に分割したスポットビームによるウェハの照明を図 4 に示す。8 個のスポットビームの中心は、 Y 軸に平行な直線上にある。スポットビームの寸法 D は、散乱光によるノイズが小さく（望ましくは十分小さく）なるように設定し、例えば $1\ \mu\text{m}$ 程度とする。

【0056】

また、同一時間に照射する 2 つのスポットビーム位置の間隔 S_s は、検出光学系の解像度より大きく（望ましくは十分大きく）設定し、互いの散乱光が画像センサの画素に混入しないようにする。

【0057】

また、隣接する 2 つのスポットビーム位置の間隔 S_t は、それぞれのスポットビームを Y 軸に投影すると、重なるように設定する。この条件でステージを X 軸方向に走査すると、隙間無く画像を撮像できる。つまり、スポットビームの集合とステージ走査を組み合わせることにより、ラインビームによる照明と等価な撮像領域が得られる。

【0058】

なお、スポットビームの強度プロファイルはガウス分布を形成する。そこで、図 4 において、時間的には分割されているが、画像センサでは隣合う関係で検出される少なくとも 2 つ以上の照明スポット 401 , 402 の間隔を、照明時間を同一とした場合に重なり合う両者の強度プロファイル 403 と 404 の和が概略平坦、又は実質的に平坦になるような間隔に設定する。そして、このような関係を他の照明スポット同士においても適用する。

【0059】

言い換えるなら、画像センサ側から見ると、時間的、空間的に分割された図 4 の照明スポットの強度プロファイルの総和は、照明位置 ($Y_1 - Y_8$) において、概略、又は実質的に平坦であると表現することができる。

【0060】

他の表現としては、試料上に異なる時間的、空間的に離散的に照明領域を形成し、検出器側ではこれらを連続的な信号として検出すると表現することができる。

【0061】

10

20

30

40

50

このようにすることで、照明領域 Y 1 ~ Y 8 に亘って強度プロファイルが概略平坦、または実質的に平坦なラインビームによって、照明されたのと等価な検査を行うことができる。

【 0 0 6 2 】

なお、時間的及び空間的に分割された照明スポットの照射方法は、本実施例に限定されない。パルスビームを分割して、試料上に時間的、及び空間的に分割された照明スポットを形成できるのであれば、時間分割ユニット、空間分割ユニット、結合ユニットの光学的な配置やそれらの組み合わせは自由である。

【 0 0 6 3 】

画像センサ 7 は、例えば C C D 1 次元センサまたは C C D 2 次元センサである。これらのセンサは例えば、光を電気信号へ変換する光電変換センサと表現することができる。C C D 1 次元センサ（長方形画素）の場合、照明領域全体の X 軸方向寸法は画素の長辺方向寸法に比べて小さく設定する。長方形画素は、後述のように、オーバーサンプリングによる撮像が可能である。

【 0 0 6 4 】

また、画像センサとしてマルチピクセルフォトンカウンタ（M P P C（登録商標、商標権者：浜松ホトニクス株式会社））を使用しても良い。M P P C（登録商標、商標権者：浜松ホトニクス株式会社）は極微弱光の検出に適しているので、微小欠陥の検出に有効である。

【 0 0 6 5 】

上記の構成により、1 μ m 程度のスポットビームによる高感度検査と、ラインビームに相当する視野寸法による高スループット検査を両立できる。

【 0 0 6 6 】

また、本実施例 1 では、ステージ走査中にスポットビームの個数、寸法、及び間隔の少なくとも 1 つを動的に制御することにより、照明領域の長さを可変にできる。制御手段としては、例えば、時間的・空間的分割光学系の下流側に液晶シャッタを設け、スポットビームごとに遮光 / 透過を制御すれば良い。図 5 に示すように、照明領域の可変機能は、ウェハ端の検査に有効である。

【 0 0 6 7 】

また、光源は、パルスレーザだけでなく、連続発振レーザ、L E D、放電ランプなどの連続発振光源も使用できる。連続発振光源の場合、時間的・空間的分割光学系の上流側に、ビームをパルス化する手段を追加すれば良い。可視光領域、紫外光領域、及び遠紫外光領域において、その場合は必要な波長やパワーなどに応じて、最適な光源を選択する。

【 0 0 6 8 】

検出光学系 6 には、レンズから成る屈折型、ミラーから成る反射型、ミラーとレンズを組み合わせた反射・屈折型、及びフレネルゾーンプレートなどの回折型を使用できる。

【 0 0 6 9 】

また、検出光学系 6 には、図 1 に示したような、光軸がウェハに垂直な方向から所定の角度傾いた円形開口の他に、光軸がウェハに垂直な方向の輪帯開口を使用することもできる。円形開口と輪帯開口について、ウェハ面への投影図をそれぞれ図 6 a と図 6 b に示す。ここで、N A は開口数の意味である。N A = 1 の円はウェハ面に平行な方向を表し、円の中心はウェハ面に垂直な方向を表す。

【 0 0 7 0 】

輪帯開口の場合、散乱光の集光立体角を大きくできるので、欠陥からの散乱光が微弱でも信号強度を確保することが可能である。

【実施例 2】

【 0 0 7 1 】

本発明の第 2 の実施形態（以下、実施例 2 と称す）を、図 7 に示す。第 1 実施例と同じ構成の説明は省略する。

【 0 0 7 2 】

10

20

30

40

50

実施例 2 では、検出光学系 6 a と画像センサ 7 a により暗視野像を撮像し、検出光学系 6 b と画像センサ 7 b により別の暗視野像を撮像する。これらの画像を画像処理系に伝送する。図示しないが、さらに検出光学系と画像センサを設けても良い。

【 0 0 7 3 】

実施例 2 のように複数の検出光学系を備える場合について、開口のウェハ面への投影図を図 8 に示す。ここでは、検出光学系の光軸の方位角（ウェハ面内の角度）が互いに異なっている。一般に、欠陥からの散乱光の角度分布は様々である。また、ノイズ源からの散乱光の角度分布も様々である。

【 0 0 7 4 】

実施例 2 では、複数の画像の中で S N 比が高い画像を用いることにより、単一の画像を用いる第 1 実施例に比べて、欠陥検出の確率を高めることができる。また、複数の画像を統合処理することにより、出力画像の S N 比を元の画像に比べて向上し、欠陥検出の確率をさらに高めることもできる。

【実施例 3】

【 0 0 7 5 】

本発明の第 3 の実施形態（以下、実施例 3 と称す）を、図 9 に示す。第 1 実施例と同じ構成の説明は省略する。実施例 3 は実施例 1 において説明したような時間的・空間的に分割された複数のスポットビーム群をウェハに斜め方向から照射し、ウェハ表面に対して垂直な方向で検出するものである。

【 0 0 7 6 】

ウェハで散乱された光は、検出光学系 6 により集光される。検出光学系 6 の光軸は、ウェハに垂直である。正反射光は検出光学系 6 の開口外に射出するので、複数のスポットビーム位置での暗視野像が画像センサ 7 に結像する。

【 0 0 7 7 】

実施例 3 では、検出光学系の光軸がウェハに垂直なので、第 1 実施例に比べて、散乱光の集光立体角がさらに大きいという利点がある。

【 0 0 7 8 】

また本実施例 3 でも、検出光学系 6 と画像センサ 7 の組を複数設けることができる。複数の検出光学系を備える場合について、開口のウェハ面への投影図を図 10 に示す。

【 0 0 7 9 】

ここでは、検出光学系の光軸の仰角（ウェハ面からの角度）と方位角の少なくとも一方が、互いに異なっている。一般に、欠陥からの散乱光の角度分布は、欠陥の種類や寸法、パターンの形状や下地の構造などによって異なる。また、ノイズ源からの散乱光の角度分布も、パターンの形状や下地の構造などによって異なる。そのため、複数の画像の中で S N 比が高い画像を用いて欠陥を検出することにより、単一の画像を用いて欠陥を検出するのに比べて、欠陥検出の確率を高めることができる。また、複数の画像を統合処理することにより、出力画像の S N 比を元の画像に比べて向上し、欠陥検出の確率をさらに高めることもできる。

【実施例 4】

【 0 0 8 0 】

本発明の第 4 の実施形態（以下、実施例 4 と称す）として、空間的分割照明による、半導体ウェハを対象とする暗視野欠陥検査装置について説明する。

【 0 0 8 1 】

実施例 4 は、上述した実施例 1 - 3 とは異なり、開口を有する光学素子（例えば、後述するマスク 17）を用いて空間的に分割された照明スポットを形成するものである。

【 0 0 8 2 】

実施例 4 の概略構成を図 11 に示す。光源 1 から射出したビームは、ミラー 2 で反射され、マスク照明光学系 16 に入射する。ここで、ビームは所定の形状、偏光、パワーに調整され、マスク 17 に入射する。マスク 17 には、所定の複数の開口が配列されている。図 11 では、開口は X 軸方向に 3 箇所示されているが、開口は Y 軸方向には多数配列され

10

20

30

40

50

ている。マスク 17 を移動することにより、様々な所定の複数の開口を、光路に挿入することが可能である。それぞれの開口を透過したビームは発散するが、ウェハ照明光学系 18 により集光される。マスク 17 とウェハとは、ウェハ照明光学系に対して共役になっているので、開口の像がウェハに投影される。このようにして、ウェハ 5 に垂直な方向から、複数のスポットビームをウェハに照射する。検出光学系以降の構成は、第 1 実施例と同じなので、説明は省略する。

【0083】

次に、上記のスポットビームとステージ走査による撮像について、説明する。図 12 は、空間的に分割したスポットビームによるウェハの照明を示す。照明ライン 1、照明ライン 2、及び照明ライン 3 は、X 軸（ステージの走査方向）に垂直である。検出光学系が斜方検出の場合は、光軸外でデフォーカスが生じるので、照明ラインの間隔は焦点深度以内となるよう設定にする。それぞれの照明ライン上に、互いに重ならないようにスポットビームを配列する。スポットビームの寸法は、散乱光によるノイズが十分小さくなるように設定し、例えば $1\text{ }\mu\text{m}$ 程度とする。また、照明ラインの長さは検査装置の視野寸法と同じにする。スポットビームの間隔は、それぞれの照明ラインを Y 軸に投影すると、スポットビームが重なるように設定する。この条件でステージを X 軸方向に走査すると、隙間無く画像を撮像できる。つまり、スポットビームの集合とステージ走査を組み合わせることにより、ラインビームによる照明と等価な撮像領域が得られる。

【0084】

画像センサ 7 は、例えば CCD 1 次元センサまたは CCD 2 次元センサである。

【0085】

CCD 1 次元センサ（長方形画素）の場合、照明領域全体の X 軸方向寸法は画素の長辺方向寸法に比べて小さく設定する。また、スポットビームの Y 軸方向の間隔は、画素の短辺寸法の整数倍に設定する。長方形画素は、後述のように、オーバーサンプリングによる撮像が可能である。

【0086】

CCD 2 次元センサ（正方形画素）の場合、照明ラインの間隔は画素寸法の整数倍に設定する。また、スポットビームの Y 軸方向の間隔も、画素寸法の整数倍に設定する。スポットビームの寸法と配列を固定すると、2 次元センサの画素寸法は 1 次元センサに比べて小さいので、高解像度の撮像が可能である。

【0087】

また、画像センサ 7 としてマルチピクセルフォトンカウンタ（MPPC）を使用しても良い。MPPC は極微弱光の検出に適しているので、微小欠陥の検出に有効である。

【0088】

上記の構成により、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 程度のスポットビームによる高感度検査と、ラインビームに相当する視野寸法による高スループット検査を両立できる。

【0089】

マスク 17 の構造は、図 13 に示すように、光を透過する基板に遮光膜を成膜し、スポットビームに対応する開口を形成したものである。半導体リソグラフィ用フォトマスクと同様の工程により、微小かつ多数の開口を容易に製作できる。

【0090】

また、マスク 17 の構造は、図 14 に示すように、複数の液晶素子を 2 次元に配列したシャッタアレイとしても良い。制御系は、液晶素子ごとに透光と遮光を制御する機能を有する。スポットビームの寸法と間隔を自在に設定できるので、色々な画素寸法に容易に対応可能である。また、ステージ走査中にスポットビームの個数を動的に制御することにより、照明領域の長さを可変にできるので、ウェハ端の検査にも有効である。

【0091】

光源 1 としては、パルスレーザ、連続発振レーザ、LED、放電ランプなどを使用できる。可視光領域、紫外光領域、及び遠紫外光領域において、必要な波長やパワーなどに応じて、最適な光源を選択する。

【実施例 5】

【0092】

本発明の第 5 の実施形態（以下、実施例 5 と称す）を、図 15 に示す。本実施例 5 では、実施例 4 のようなマスク照明光学系 16，マスク 17 によって空間的に分割された光を、ウェハ照明光学系 18 を介して、ウェハ 5 に対して垂直方向から照明し、ウェハ 5 から発生した散乱光を、複数の検出光学系 6a，6b と画像センサ 7a，7b とで検出するものである。なお、検出光学系以降の構成は、第 2 実施例と同じなので、説明は省略する。

【実施例 6】

【0093】

本発明の第 6 の実施形態（以下、実施例 6 と称す）を、図 16 に示す。複数のスポットビーム群をウェハに斜めの方向から照射する。ここで、ビームの断面形状が円形の場合、ウェハ上のビーム径は Y 方向に伸びてしまう。所定のビーム径を得るために、マスク 17 の Y 方向の開口寸法（あるいはシャッタアレイの Y 方向の素子寸法）は、X 方形より小さくするのが有効である。検出光学系以降の構成は、第 3 実施例と同じなので、説明は省略する。

10

【実施例 7】

【0094】

本発明の第 7 の実施形態（以下、実施例 7 と称す）を、図 17 に示す。第 4 実施例と同じ構成の説明は省略する。

【0095】

20

本実施例 7 では、複数の発光素子を 2 次元に配列したアレイ状光源 19 を使用する。発光素子としては、例えば LED を使用できる。

【0096】

制御系 10 は、発光素子ごとに発光と消光を制御する機能を有する。

【0097】

本実施例 7 では、スポットビームの寸法と間隔を自在に設定できるので、色々な画素寸法に容易に対応可能である。

【0098】

また、ステージ走査中にスポットビームの個数を動的に制御することにより、照明領域の長さを可変にできるので、ウェハ端の検査にも有効である。実施例 7 は、第 4 実施例に比べて、マスク照明光学系とマスクが無いので、装置構成の簡略化という利点も得られる。

30

【実施例 8】

【0099】

実施例 8 として、時間的分割についてのバリエーションを説明する。本実施例 8 の特徴は主に連続発振レーザ（以降、CW レーザと称す。）と音響光学素子とを用いて時間的分割照明光学系を構成する点にある。以降の説明では、この時間的分割照明光学系について主に説明する。

【0100】

図 19 は本実施例 8 を説明する図である。

40

【0101】

光源から照射された連続発振レーザ LS0 は音響光学素子 801 に入射する。音響光学素子 801 は制御部 802 からのある周波数の駆動信号によって制御される。これによって、CW レーザ LS0 を駆動信号の周波数に依存した時間差を有するパルスレーザ LS1・LS2 として扱うことができる。なお、この周波数を制御することで LS1・LS2 の時間差を制御することができる。LS1 はミラー 803、LS2 はミラー 804 でそれぞれ反射され、パワー・偏光・ON/OFF 制御系 805・806 に入射する。パワー・偏光・ON/OFF 制御系 805・806 はそれぞれ照度・偏光制御用の /2 板， /4 板と照明の ON/OFF を制御するシャッタとを有する。これにより、CW レーザを用いた時間分割照明光学系を提供することができる。

50

【実施例 9】

【0102】

実施例 9 として、時間的分割についての他のバリエーションを説明する。本実施例 9 の特徴は主に連続発振レーザ（以降、CWレーザと称す。）と液晶シャッタとを用いて時間的分割照明光学系を構成する点にある。以降の説明では、この時間的分割照明光学系について主に説明する。

【0103】

CWレーザLS0は、 $\lambda/2$ 板901に入射した後、偏光ビームスプリッタ902に入射し、2つの光に分岐される。偏光ビームスプリッタ902の後ろの光路には液晶シャッタ903、904が配置されている。分岐された光はそれぞれ液晶シャッタ903・904にそれぞれ入射する。制御部802は液晶シャッタ903・904のON/OFFをある時間差をもって制御する。これによって、CWレーザLS0を液晶シャッタ903・904間のON/OFFの時間差に依存したパルスレーザLS1・LS2として扱うことができる。LS1・LS2は、パワー・偏光・ON/OFF制御系905・906に入射する。パワー・偏光・ON/OFF制御系905・906はそれぞれ照度・偏光制御用の $\lambda/2$ 板、 $\lambda/4$ 板と照明のON/OFFを制御するシャッタとを有する。

【0104】

なお、前述した時間差は、パワー・偏光・ON/OFF制御系905・906内のシャッタを制御することで行ってもよい。また、時間差をゼロとすれば同時照明として扱うこともできる。

【実施例 10】

【0105】

次に実施例 10 について説明する。実施例 10 は、実施例 8、9 での LS1、LS2 をウェハに対して異なる仰角で照明する例である。

【0106】

本実施例 10 は、複数の仰角からある時間差をもって被検査物上へ照明領域を形成し、被検査物から発生した散乱光を、複数の仰角で検出し、検出結果に照明時の時間差に関する情報、検出時の仰角に関する情報を付加することを特徴とする。

【0107】

図 21 は本実施例 10 を説明する図である。実施例 8 又は 9 で時間差をもった LS1、LS2 は、ミラー 1001、1002、レンズ 1003、1004 によって、ウェハ 10015 に対して異なる仰角をもって照明される。これによって、時間分割異仰角照明を実現することができる。

【0108】

ウェハ 10015 で発生した散乱光は、それぞれ、レンズ 10013、10014 で集光され、検出器 10005、10006 で検出され光電変換され、A/D 変換部 10007、10008 でアナログ信号からデジタル信号に変換される。

【0109】

ここで、検出器側から見ると、検出した信号がどの時間に発生したものか分からない。そこで、本実施例 10 では、以下の構成をさらに有する。

【0110】

本実施例 10 では、LS1 の光路にレンズ 10018、LS2 の光路にレンズ 10010 をそれぞれ設ける。そして、LS1 をフォトダイオード 10009、LS2 を 10011 で検出する。フォトダイオード 10009 の検出信号 ADS1、フォトダイオード 10011 の検出信号 ADS2 は論理和部 10012、及びマルチプレクサ 10016、10017 へ送られる。論理和部 10012 の信号 ADS は A/D 変換部 10007、10008 へ送られ、A/D 変換部 10007、10008 の信号はそれぞれマルチプレクサ 10016、10017 へ送られる。

【0111】

マルチプレクサ 10016 は、検出器 10005 の信号に時間差に関する情報を付加す

10

20

30

40

50

る。より具体的には、検出器 1 0 0 0 5 の信号に以下のものを付加する。

(1) L S 1 の照射により発生した散乱光であることを示す情報

(2) L S 2 の照射により発生した散乱光であることを示す情報

【 0 1 1 2 】

マルチプレクサ 1 0 0 1 7 は、検出器 1 0 0 0 6 の信号に時間差に関する情報を付加する。より具体的には、検出器 1 0 0 0 6 の信号に以下のものを付加する。

(3) L S 1 の照射により発生した散乱光であることを示す情報

(4) L S 2 の照射により発生した散乱光であることを示す情報

【 0 1 1 3 】

すなわち、本実施例 1 0 では、検出結果に照明時の時間差に関する情報、検出時の仰角に関する情報を付加することができると表現することができる。

【 0 1 1 4 】

欠陥はその形状、種類等によって、散乱光の散乱仰角、方位角に違いがある。よって、本実施例 1 0 では、照明仰角、検出仰角に関する情報を正しく知ることができるので欠陥の分類精度を向上させることができる。

【 0 1 1 5 】

また、本実施例 1 0 は、異なる照明仰角、検出仰角について説明したが、方位角について適用しても良い。

【実施例 1 1 】

【 0 1 1 6 】

次に実施例 1 1 について説明する。上述した実施例 1 - 1 0 では、図示はしていないが、被検査物上に形成された回路パターン等からの回折光の影響を除いて、検出器では欠陥からの散乱光のみを検出するために検出光学系のフーリエ面に空間フィルタを配置しても良い。

【 0 1 1 7 】

しかし、空間フィルタのみでは回折光を遮光できない場合がある。それは、回路パターン上には、メモリセル部、複雑なパターンで形成されるロジック部、繰り返しパターンで形成されるペリ部など複数のパターンがあるのに対して、空間フィルタの遮光パターンが一樣であることに起因している。すなわち、空間フィルタでは、ある領域からの回折光は遮光できても、その他の領域からの回折光は完全に遮光できない。そのため、検出器がこの欠陥以外の領域の回折光も検出してしまい、飽和してしまうという課題がある。本実施例 1 1 はこの課題を解決するものである。

【 0 1 1 8 】

図 2 2 は、本実施例 1 1 を説明する図である。

【 0 1 1 9 】

本実施例 1 1 では、検査に先立ち図 2 2 (a) のように、ウェハ座標 2 0 0 1 , チップ座標 2 0 0 3 を得る。これにより、ウェハ内のどの位置にチップ 2 0 0 2 があるか、チップ 2 0 0 2 内のどの位置に種類の異なる領域 A , B , C があるかが分かる。このウェハ座標 2 0 0 1 , チップ座標 2 0 0 3 は回路パターンの設計データ、ウェハのノッチ位置等から十分得られる。

【 0 1 2 0 】

次に、光を照明し、複数画素を有するセンサで散乱光を検出することで、図 2 2 (b) の飽和特性を得る。横軸はセンサの蓄積時間であり、縦軸は飽和電圧である。飽和特性 2 0 0 4 は領域 A での飽和特性であり、飽和特性 2 0 0 5 は領域 B での飽和特性であり、飽和特性 2 0 0 6 は領域 C での飽和特性である。本実施例 1 1 では、傾きが急峻であることから領域 A での飽和特性 2 0 0 4 が最も高いことが分かる。なお、飽和特性は光学的シミュレーションにより求めても良い。

【 0 1 2 1 】

次に実際の検査を行うが、その際にはウェハ内座標 2 0 0 1 , チップ座標 2 0 0 2 に基づいてセンサの画素がどの領域からの散乱光を検出しているか把握し、センサの画素ごと

10

20

30

40

50

に飽和特性を制御する。より具体的には、被検査物を搬送する搬送系の信号からウェハ座標 2 0 0 1 , チップ座標 2 0 0 2、いずれの領域かを決定し、センサの画素ごとに図 2 2 (b) の飽和特性を正規化した上で、領域に対応した飽和特性を最も飽和特性の低い飽和特性に合わせる。本実施例 1 1 であれば、領域 A からの散乱光を検出しているセンサの画素は、その飽和特性 2 0 0 4 を飽和特性 2 0 0 6 に合わせることとなる。なお、いずれの画素がいずれの領域の散乱光を検出しているかは、検出光学系の光学的な配置を事前に知っておけば、十分知ることができる。

【 0 1 2 2 】

このように飽和特性を画素ごとに制御することでセンサの飽和を防ぐことができる。なお、本実施例 1 1 の制御方法は、他の実施例の構成に適用することができる。

10

【実施例 1 2】

【 0 1 2 3 】

次に実施例 1 2 について説明する。実施例 1 2 はセンサの飽和を防ぐ他のバリエーションである。

【 0 1 2 4 】

実施例 1 2 では、センサの画素ごとにその電荷蓄積量を観察し、電荷蓄積量を制御することを特徴とする。

【 0 1 2 5 】

図 2 2 は実施例 1 2 を説明する図である。

【 0 1 2 6 】

20

図 2 2 (a) は複数の画素を有するセンサを説明している。本実施例 1 2 では、4 画素 2 3 0 0 1 - 2 3 0 0 4 を有する。

【 0 1 2 7 】

図 2 2 (b) は 1 画素の詳細な構成を説明している。本実施例 1 2 ではセンサの画素は C M O S 構造となっている。散乱光はフォトダイオード 2 3 0 1 によって光電変換される。光電変換された電荷はストレージ領域 2 3 0 2 に蓄積される。一定時間蓄積された電荷は、出力電圧として出力される。本実施例 1 2 では、ストレージ領域の電荷量を制御部 2 3 0 7 で観察し、ドレイン領域に流入する電荷量を制御する。より具体的には、ストレージ領域 2 3 0 2 の電圧を電圧比較器 2 3 0 5 で比較する。さらにその比較結果に応じてスイッチ選択部 2 3 0 6 がスイッチを切り替えることでドレイン領域の制御電圧を制御し、ドレイン領域に流入する電荷量を制御する。すなわちストレージ領域に流入する電荷量が制御されることとなる。このような制御を画素ごとに行うことでセンサの飽和を防ぐことができる。

30

【実施例 1 3】

【 0 1 2 8 】

次に実施例 1 3 について説明する。実施例 1 3 は、本明細書に開示される時間分割空間分割照明、空間分割照明、時間分割照明の少なくとも 1 つと、検出光学系の光学的な配置に関するものである。

【 0 1 2 9 】

図 2 4 は、本実施例 1 3 を説明する図である。図 2 4 (a) は本実施例 1 3 の光学的な配置を斜めから説明する図であり、図 2 4 (b) は本実施例 1 3 の光学的な配置をウェハ 1 2 0 0 3 の上から説明する図である。

40

【 0 1 3 0 】

本実施例 1 3 では、ウェハ 2 4 0 0 3 に対して入射角 θ で光 2 4 0 0 1 を入射させ (斜方照明)、本明細書に開示される時間空間分割照明スポット 2 4 0 1 1 , 空間分割照明スポット 2 4 0 1 2 , 時間分割照明スポット 2 4 0 1 3 の少なくとも 1 つをウェハ 2 4 0 0 3 上に形成する。

【 0 1 3 1 】

本実施例 1 3 では散乱光を検出して結像するための検出光学系 2 4 0 0 5、及び 2 4 0 0 6 を有する。この検出光学系 2 4 0 0 5、及び 2 4 0 0 6 は図 2 4 (a) において、光

50

2 4 0 0 1の光軸とウェハ2 4 0 0 2に対して垂直な線によって形成される入射面2 4 0 1 5に垂直な方向2 4 0 0 4に互いに対向するように仰角で配置されている。

【0 1 3 2】

さらに、図2 4 (b)において、検出光学系2 4 0 0 5の検出開口2 4 0 0 9と検出光学系2 4 0 0 6の検出開口2 4 0 1 0とは、第1の軸2 4 0 0 8に対して線対称であり、かつ第1の軸2 4 0 0 8に垂直な第2の軸2 4 0 0 7に対して線対称(8 0 9)である。

【0 1 3 3】

また検出光学系で結像された像を検出する検出器の視点に立つと本実施例1 3は以下の特徴を有する。

(1) 時間空間分割照明スポット2 4 0 1 1を形成する場合

・照明スポット2 4 0 1 8と照明スポット2 4 0 1 7とは、回折光の影響を受けない程度に十分離れている。

・照明スポット2 4 0 1 8の強度プロファイルと照明スポット2 4 0 1 7の強度プロファイルとは、検出器から見ると概略、又は実質的に平坦である。

(2) 空間分割照明スポット2 4 0 1 2を形成する場合

・照明スポット2 4 0 1 8と照明スポット2 4 0 1 7とは、線状照明を照明した場合よりもノイズの影響が少なくなる程度に十分離れている。

(3) 時間分割照明スポット2 4 0 1 3を形成する場合

・照明スポット2 4 0 1 8の強度プロファイルと照明スポット2 4 0 1 7の強度プロファイルとは、検出器から見ると概略、又は実質的に平坦である。

【0 1 3 4】

このようにすることによって、線状照明を実際に照射した場合よりもノイズを少なくしつつ、検出器からみると実質的に線状の照明領域を形成しているのと同等の効果を得ることができる。

また、検出器から見た強度プロファイルを平坦にすることで、線状照明を照射した場合よりもノイズを少なくしつつ、実質的に強度プロファイルが広範囲に亘って平坦な線状の照明光で検査したのと同等の効果を得ることができる。また、本実施例の光学的な配置ではより高感度な検査も可能となる。

【実施例1 4】

【0 1 3 5】

次に、実施例1 4について説明する。本実施例1 4では、散乱光の検出、及び画像処理について主に説明する。なお、本実施例1 4では、照明光学系等、検査装置としての他の構成は、実施例1 - 7に開示される構成を適宜用いることもできるし、時間的・空間的に分割していない線状の照明光を使用することもできる。

【0 1 3 6】

図2 5は本実施例1 4の検出光学システムの一例を示している。検出光学システム1 9 1 1は、レンズ群1 9 1 3と検出器1 9 1 2で構成されており、ウェハに照射された照明領域の像を形成する機能を有する。以降、検出器1 9 1 2はラインセンサ(x方向に1画素、y方向に複数画素が配列されている)を例とし、ウェハはx方向にスキャン移動、y方向にステップ移動する場合で説明する。

【0 1 3 7】

図2 6で従来の課題を説明する。図2 6 (a)は、ウェハ上の配線群1 0 2 1が、配線ピッチpで配置されており、x方向にウェハをスキャン移動する例である。図2 6 (a)は、検出器1 9 1 2の画素Aが撮像する領域の軌跡を示している。図2 6 (a)では、配線ピッチpとは無関係な間隔でサンプリングしている。

【0 1 3 8】

この時の信号とサンプリングの関係を示したのが図2 6 (b)である。図2 6 (b)は、横軸がウェハ位置、縦軸が信号強度を示しており、配線の信号強度1 0 2 2は、配線群1 0 2 1からの反射、散乱光を無限小の画素で撮像した場合の波形である。これに対し、図2 6 (a)で示した有限の画素寸法でサンプリングすると、図2 6 (b)の矢印に示す

10

20

30

40

50

位置でサンプリングすることになる。

【 0 1 3 9 】

その結果、図 2 6 (c) に示す位置の信号が得られるが、従来の方法では、配線群 1 0 2 1 の信号強度の変動周期に対してサンプリング周期が無相関なため、配線群 1 0 2 1 の各配線の信号量がばらついてしまい、このばらつきが欠陥検出時のノイズとなってしまう。

【 0 1 4 0 】

なお、前記配線の信号強度の周波数よりも十分大きい周波数（サンプリング定理で算出される周波数以上）でサンプリングし、信号補間により配線の信号強度が復元できる場合は、この限りではない。

10

【 0 1 4 1 】

一方、図 2 7 は本実施例 1 4 のサンプリング方法を示している。本実施例 1 4 のサンプリング方法は、配線群 1 0 2 1 の配線ピッチ p から算出される周波数でサンプリングする方法である。

【 0 1 4 2 】

図 2 7 (a) は配線群 1 0 2 1 と画素 A の撮像領域の軌跡を示している。この時の配線群 1 0 2 1 の信号強度とサンプリング位置の関係を示したのが図 2 7 (b) である。

【 0 1 4 3 】

本実施例 1 4 では、配線ピッチ p とほぼ同じ間隔でサンプリングしている。

【 0 1 4 4 】

20

本実施例 1 4 のサンプリングの結果が図 2 7 (c) である。本実施例 1 4 のサンプリング方法を用いることにより、信号強度のばらつきが低減できる。

【 0 1 4 5 】

本実施例 1 4 により、隣接回路パターン（配線パターンや穴パターンの他、被検査物に形成されているパターン）や、隣接ダイ内の同一位置の回路パターンもしくは、CAD 情報から計算した回路パターンとの信号比較を行う上で、比較対象となる回路パターン間の信号差が小さくなり、欠陥検出ノイズを小さくすることができる。

【 0 1 4 6 】

本実施例 1 4 は、サンプリング周期を配線群 1 0 2 1 の配線ピッチ p に合わせる例で説明したが、他の表現としては、検出器 1 9 1 2 で撮像する時のサンプリングのタイミングを、信号比較処理を行う回路パターン同士で合わせると表現することができる。

30

【 0 1 4 7 】

そのため、配線ピッチ p でサンプリングしても良いし、配線ピッチ p の整数倍または（ $1 / \text{整数}$ ）倍の間隔でサンプリングしても良い。ピッチ p の整数倍でサンプリングした場合は、サンプリング方向（スキャン方向）の撮像分解能が高くなり、検出感度が向上する利点があり、（ $1 / \text{整数}$ ）倍でサンプリングした場合は、撮像画素が少なくなるため、検査速度を向上できる利点がある。

【 0 1 4 8 】

次に、サンプリングの決め方を説明する。事前に回路パターンのピッチが分かっている場合は、このピッチ情報からサンプリング間隔を決めれば良い。

40

【 0 1 4 9 】

一方、回路パターンのピッチが不明の場合は、図 2 8 で説明するシーケンスでサンプリング間隔を決めれば良い。

【 0 1 5 0 】

つまり、まず、サンプリングの初期値を設定する（ステップ 2 2 0 1 ）。

【 0 1 5 1 】

次に、予め決めたサンプリング間隔で画像を取得する（ステップ 2 2 0 2 ）。この画像は、信号比較処理で比較対象となる位置の画像である。

【 0 1 5 2 】

該取得画像に対して、画像間で差を算出し（ステップ 2 2 0 3 ）、差の絶対値の和を算

50

出する（ステップ 2204）。

【0153】

次に、サンプリング間隔を変え（例えば 10% 変える）（ステップ 2205）、再度画像取得し、差の絶対値の和を算出する。この動作を繰り返すことにより、図 29 のグラフを作成することができる。

【0154】

図 29 は、横軸にサンプリング間隔、縦軸に画像間の差の絶対値の和をプロットしたグラフである。サンプリング間隔が適正な場合は、該和の値が小さくなるため、該和が最小となる位置を回路パターンのピッチと決めれば良い。回路パターンのピッチが決まった後、前述のようにピッチの整数倍または（1 / 整数）倍となるようにサンプリングピッチを

10

【0155】

以上、本実施例 14 では、単独の検出光学系を備えた場合のサンプリング方法を説明した。

【実施例 15】

【0156】

次に、複数の検出光学系を備えた場合の課題と解決方法を実施例 15 として説明する。

【0157】

図 30 は課題を説明する図である。図 30 (a) は検出光学システム 1011, 検出光学システム 1061 で構成されており、各々、レンズ群 2401, 2403 と検出器 2402, 2404 で構成されている。

20

【0158】

図 30 は、検出光学システム 1011 の焦点位置と検出光学システム 1061 の焦点位置が同一位置にある構成であり、図 30 (a) はウェハの位置が前記焦点位置に配置されている図である。つまり、図 30 (a) の上面図に示すように、検出光学システム 1011 と検出光学システム 1061 のウェハ上の画素位置の中心が重なるような配置である。そのため、各々の画素位置の中心において、検出光学系 1011 と検出光学系 1061 は、ウェハ上の同じ位置を撮像できる状態である。

【0159】

これに対し、図 30 (b) は、ウェハの Z 位置がずれた場合を示している。ウェハの Z 位置がずれると、検出光学システム 1011 の光軸とウェハとの交点は点 A となり、検出光学システム 1061 の光軸とウェハとの交点は点 B となるため、双方の検出光学システムの画素中心位置がずれることになる。これを説明したのが、図 30 (b) の上面図である。このように画素中心の位置がずれると、検出光学システム 1011 と検出光学システム 1061 とで撮像する位置がずれることになるため、検出光学システム 1011 と検出光学システム 1061 の撮像結果を統合して処理する場合に画像処理による位置合わせ処理などが必要となり、データ処理の規模が大きくなるという課題がある。

30

【0160】

そこで、本実施例 15 の撮像方法を図 31 で説明する。まず、図 31 (a) は撮像の蓄積時間について説明している。つまり、時間 S でウェハ上パターン（図 31 では K の文字）を撮像開始し、検出器の蓄積時間 t の時間だけウェハを移動しながら光または電荷を蓄積し、時間 E で撮像を終了しており、この撮像開始から撮像終了までの時間が検出器の蓄積時間（t）である。

40

【0161】

本実施例 15 の撮像方法は、検出器の 1 画素の大きさに相当する時間の中で、撮像を開始する時間 S と撮像を終了する時間 E を任意に変えることができることが特徴である。これは、開始時間 S と蓄積時間 t を変えると考えても良い。このように、1 画素内での撮像タイミングを制御することにより、1 画素内での撮像位置のずれを補正することができ、図 30 で説明した課題を解決できる。

【0162】

50

図 3 1 (b) にタイムチャートを示す。従来の方法では、1 画素分の移動距離に相当する時間 t_A が蓄積時間としていた。

【 0 1 6 3 】

一方、本実施例 1 5 では、開始時間 t_S と終了時間 t_E を制御し、画素内での撮像位置がずれた分だけ t_S をずらすことにより、ウェハの Z 位置の変動でずれた撮像位置を補正して画像を取得することができる。

【 0 1 6 4 】

Best Focus 位置と Z 位置がずれた時に対する違いを図 3 2 に示す。本実施例 1 5 では、検出光学システム 1 0 1 1 の光軸方向はウェハの法線方向がほぼ一致しており、検出光学システム 1 0 6 1 の光軸の方向はウェハの法線に対して傾いている場合で説明する。

10

【 0 1 6 5 】

なお、検出光学系の光軸がウェハの法線に対して傾斜している場合、光軸が傾斜している方向にウェハ上の画素寸法が長くなるため、検出光学システム 1 0 1 1 のウェハ上画素寸法と検出光学システム 1 0 6 1 のウェハ上画素寸法は異なっている。

【 0 1 6 6 】

図 3 2 に示すように、検出光学系の光軸がウェハの法線とほぼ同一の検出光学システム 1 0 1 1 では、ウェハの Z が上下しても、検出器の画素中心位置は変わらないため、画素に対する時間 $S(t_{Sa}, t_{Sb})$ と時間 $E(t_{Ea}, t_{Eb})$ は画素中心に対して対称になるように設定すれば良い。

【 0 1 6 7 】

20

一方、検出光学システムの光軸とウェハの法線が傾いている検出光学システム 1 0 6 1 では、Best Focus 位置の時間 $S(t_{Sc})$, 時間 $E(t_{Ec})$ に対して、Focus ずれ位置の時間 $S(t_{Sd})$, 時間 $E(t_{Ed})$ をずらす制御を加えることにより、Focus ずれの影響を補正することができる。

【 0 1 6 8 】

本実施例 1 5 の検査装置の構成を図 3 3 で説明する。本実施例 1 5 の検査装置は図示していない照明光学系と検出光学システム 1 0 1 1 , 1 0 6 1 , ウェハ高さ計測機構 1 0 9 1 , タイミング制御機構 1 0 9 2 , 信号統合処理 1 0 9 3 で構成されている。

【 0 1 6 9 】

本実施例 1 5 の検査装置では、まず、検出光学系の焦点位置付近のウェハ高さをウェハ高さ計測機構 1 0 9 1 で計測し、高さ情報をタイミング制御機構 1 0 9 2 へ送信し、タイミング制御機構 1 0 9 2 では、検出器から得られた信号に対して、事前に決めておいたタイミングで電荷を蓄積、伝送する。

30

【 0 1 7 0 】

なお、前記事前に決めたタイミングというのは、検出光学システムの光軸の傾き角度とウェハの Z 位置から決まる値である。タイミング制御機構 1 0 9 2 から出力された信号は、信号統合処理 1 0 9 3 で信号処理され、欠陥検出処理が施される。

【 0 1 7 1 】

なお、ウェハの高さが大きくずれる場合は、自動焦点合わせ機構を追加して、ウェハの Z 高さを制御しても良い。

40

【 0 1 7 2 】

次に、検出光学システム 1 0 1 1 と検出光学システム 1 0 6 1 の撮像タイミングのずれ量を計測する方法を説明する。上述したように、幾何計算で算出することも可能であるし、本方法で説明するように実測で算出することも可能であるため、ここでは、実測方法を説明する。

【 0 1 7 3 】

撮像タイミングのずれ量を計測するには、同一の欠陥(標準粒子でも可)を撮像し、信号量を計測すれば良い。図 3 4 に計測結果例を示す。図 3 4 は、横軸が検出器の蓄積時間、縦軸が各々の蓄積時間で得られる信号量である。図 3 4 (a) が例えば、検出光学システム 1 0 1 1 の結果、図 3 4 (b) が例えば、検出光学システム 1 0 6 1 の結果とする。

50

ウェハ上での撮像位置が異なる場合、図34(a), (b)に示すように、蓄積時間に対する信号量の増加のタイミングがずれた結果が得られる。そこで、信号の増加始めのタイミングである t_{SA} , t_{SB} を計測すれば、 t_{SA} と t_{SB} との差を撮像タイミングのずれ量として用いることができる。

【0174】

以上の実施形態では、半導体ウェハを対象とする暗視野欠陥検査装置について説明したが、本発明は明視野欠陥検査装置にも適用可能である。

【0175】

また、本発明は、パターンの形成されていない鏡面ウェハ、磁気記憶媒体や液晶デバイスなどのパターンが形成された試料にも広く適用可能である。

10

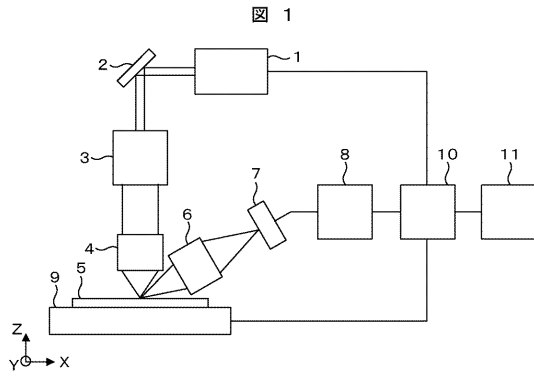
【符号の説明】

【0176】

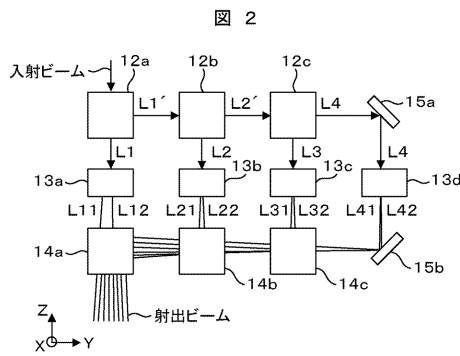
- 1 光源
- 2, 2a, 2b, 15a, 15b ミラー
- 3 時間的・空間的分割光学系
- 4 照明光学系
- 5 ウェハ
- 6, 6a, 6b 検出光学系
- 7, 7a, 7b 画像センサ
- 8 画像処理系
- 9 ステージ
- 10 制御系
- 11 操作系
- 12a, 12b, 12c 時間分割ユニット
- 13a, 13b, 13c, 13d 空間分割ユニット
- 14a, 14b, 14c 結合ユニット
- 16 マスク照明光学系
- 17 マスク
- 18 ウェハ照明光学系

20

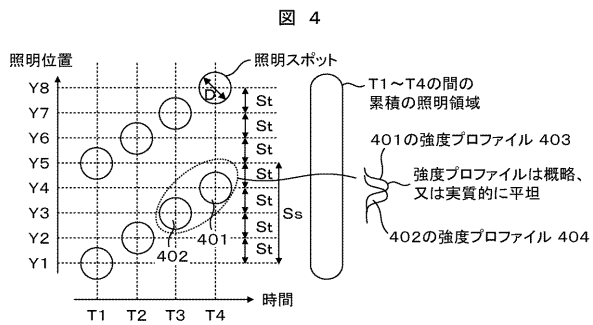
【図 1】



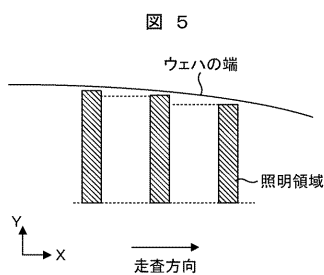
【図 2】



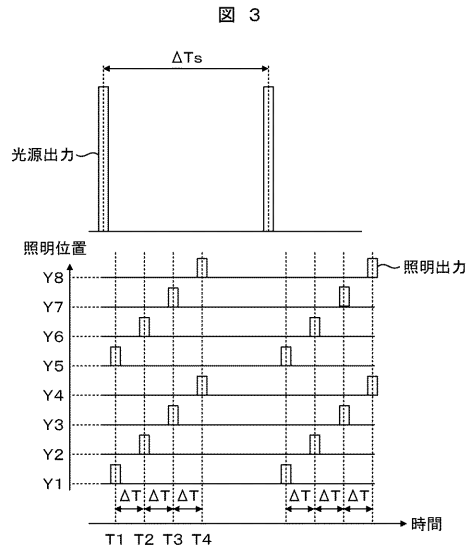
【図 4】



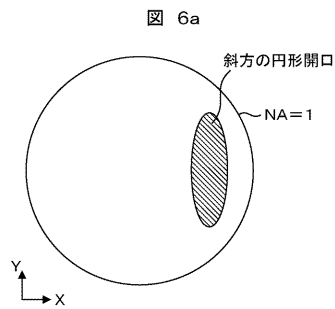
【図 5】



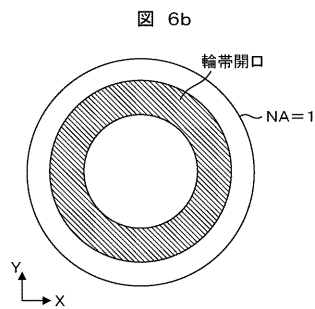
【図 3】



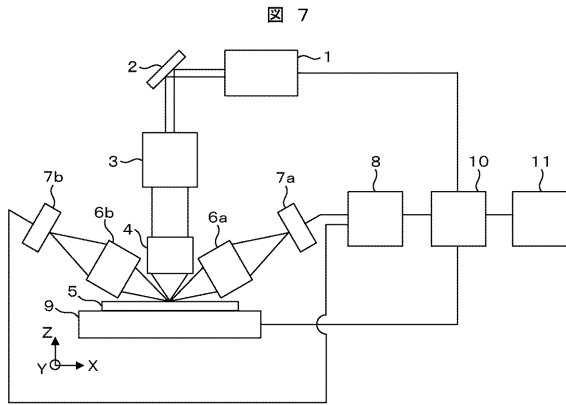
【図 6 a】



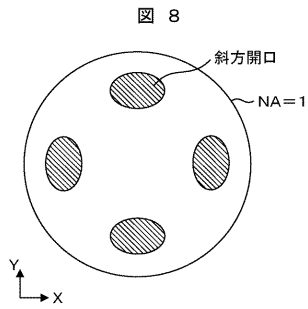
【図 6 b】



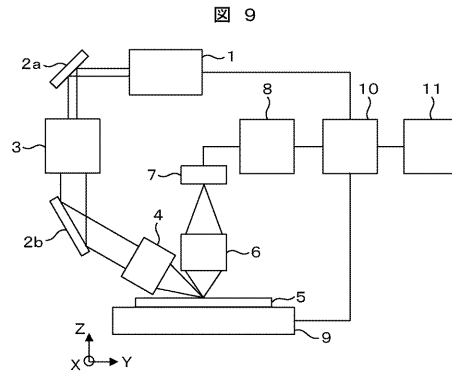
【図 7】



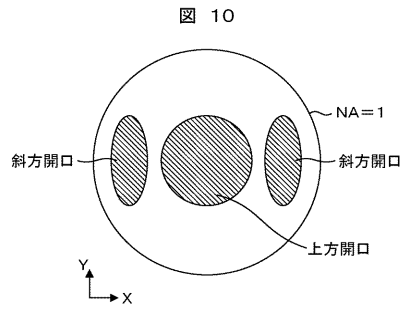
【図 8】



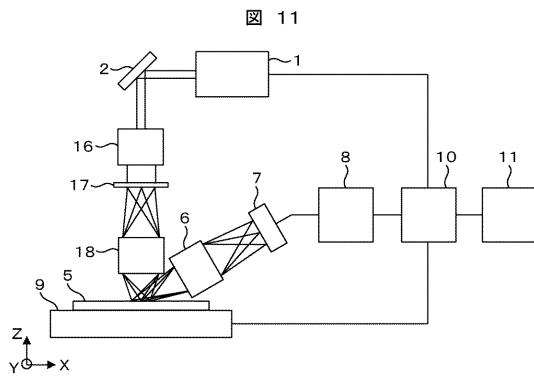
【図 9】



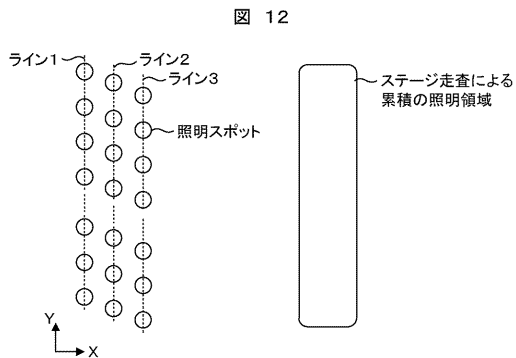
【図 10】



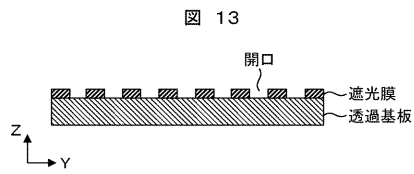
【図 11】



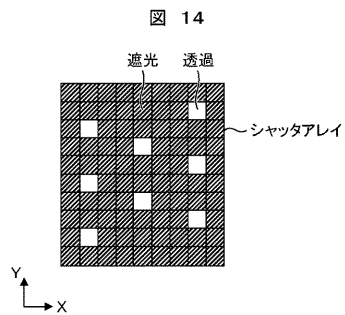
【図 12】



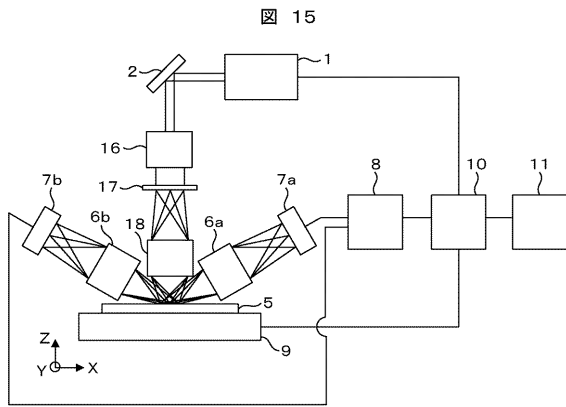
【図 13】



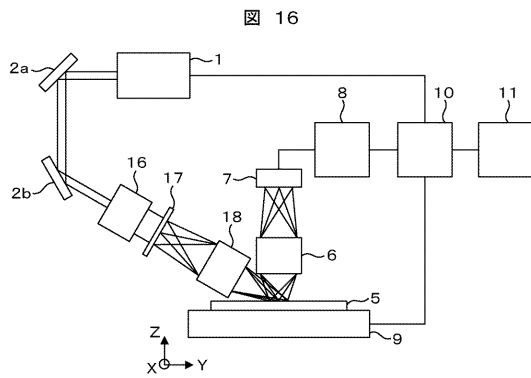
【図 14】



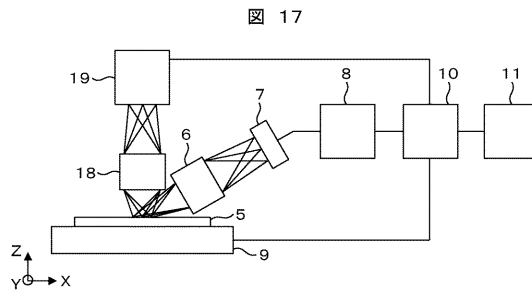
【図 15】



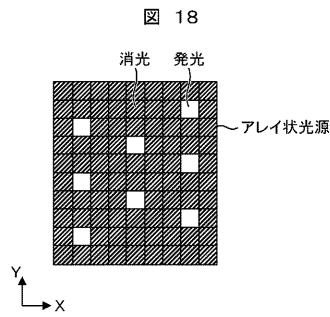
【図 16】



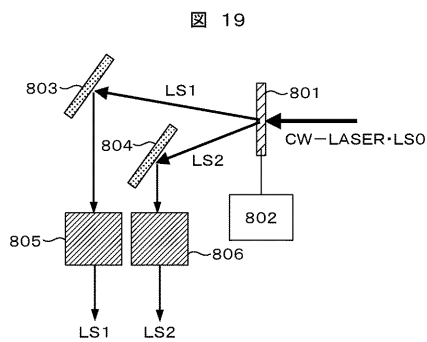
【図 17】



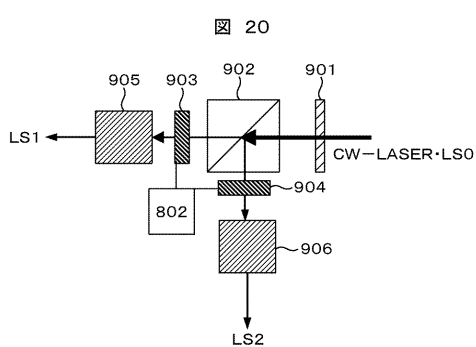
【図 18】



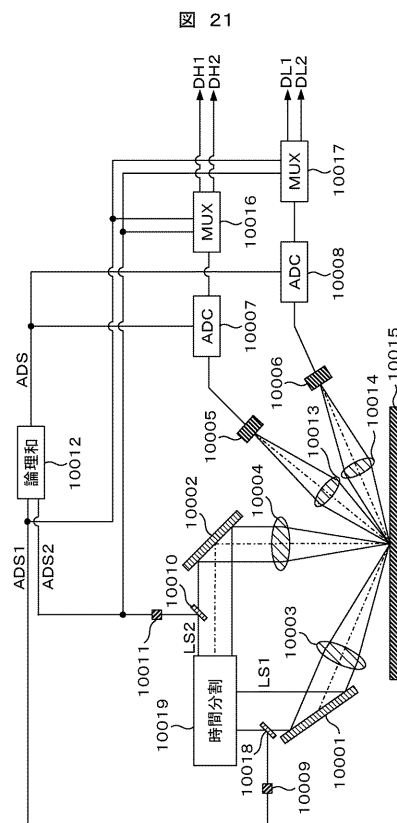
【図 19】



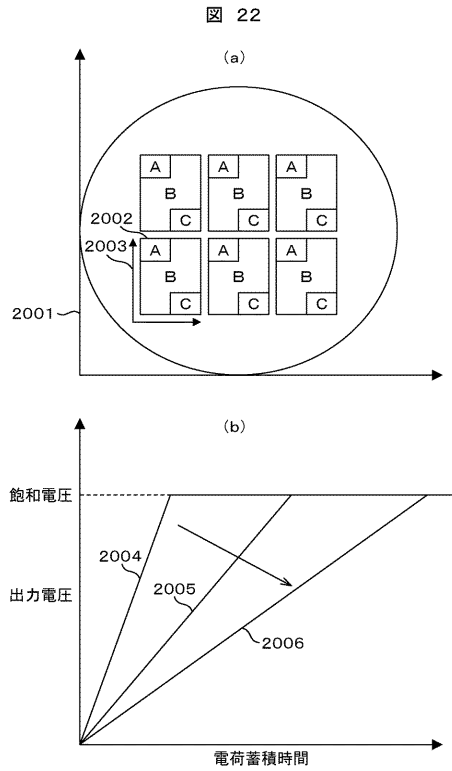
【図 20】



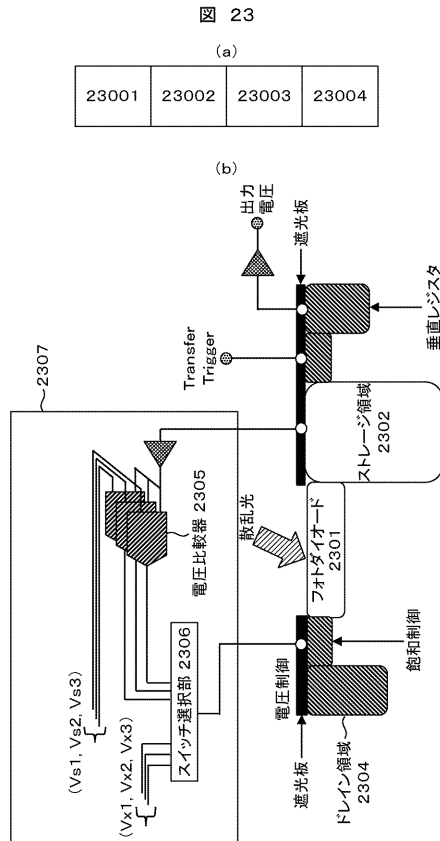
【図 21】



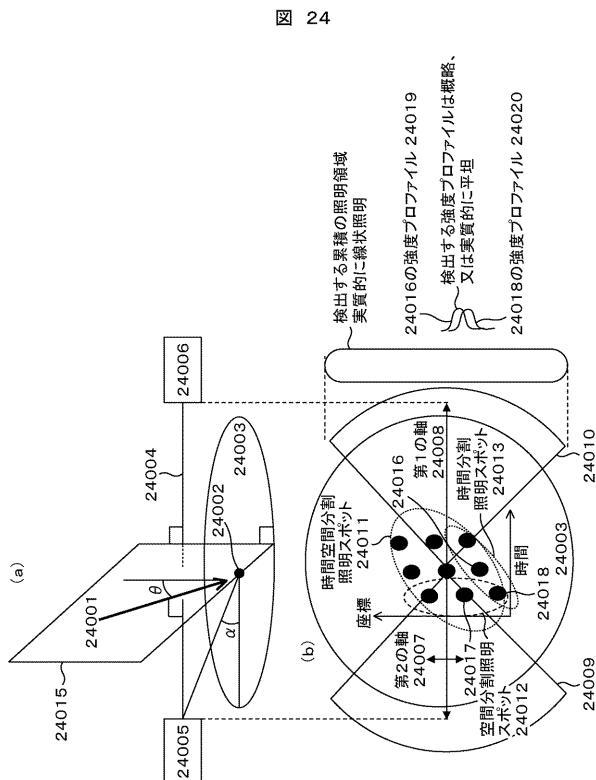
【 図 2 2 】



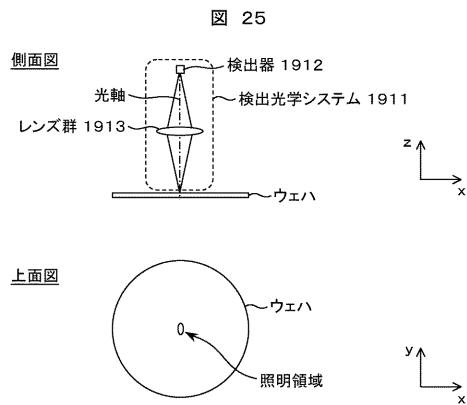
【圖 23】



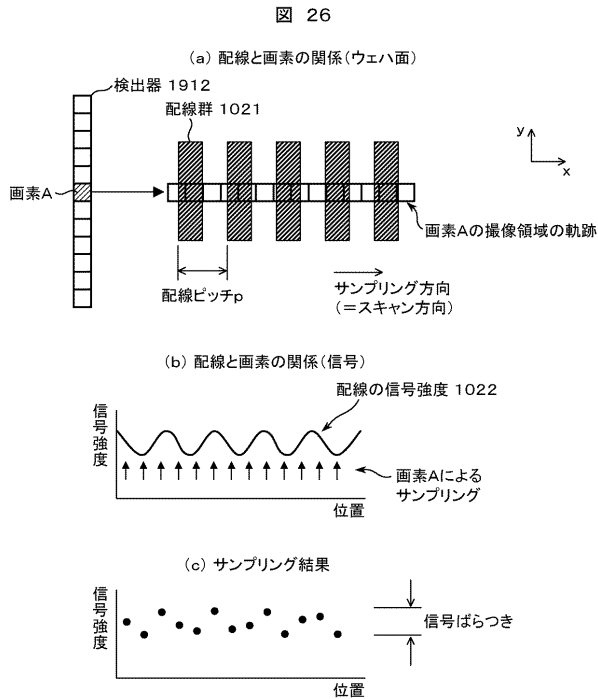
【 図 2 4 】



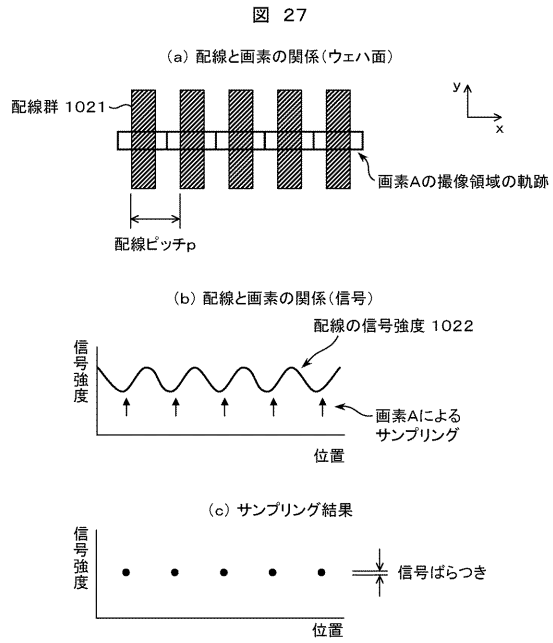
【 図 2 5 】



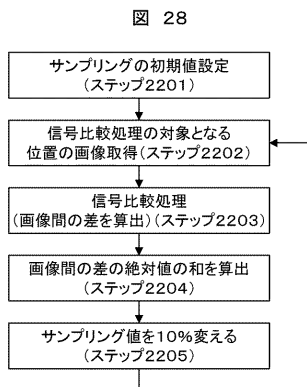
【図 26】



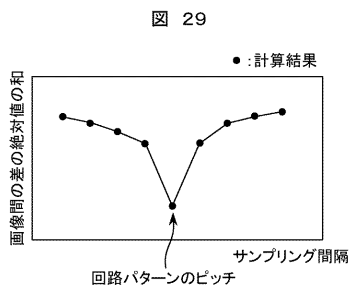
【図 27】



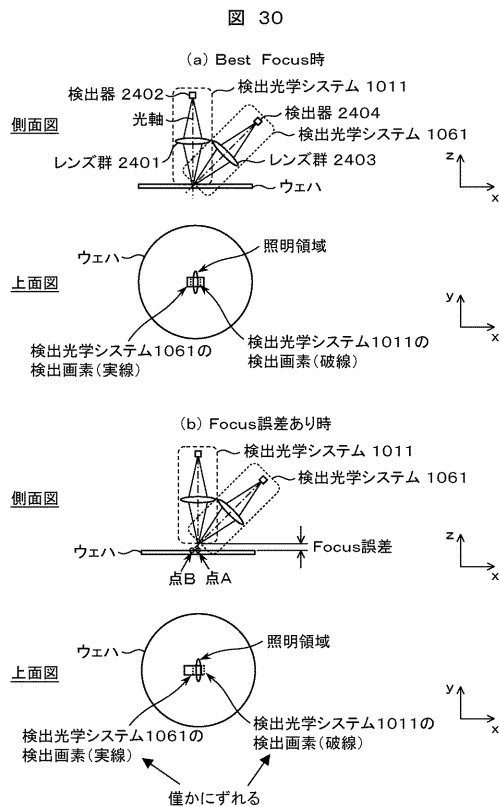
【図 28】



【図 29】



【図 30】



フロントページの続き

- (72)発明者 西山 英利
茨城県ひたちなか市大字市毛 8 8 2 番地
ズ 那珂事業所内
株式会社 日立ハイテクノロジー
- (72)発明者 神宮 孝広
茨城県ひたちなか市大字市毛 8 8 2 番地
ズ 那珂事業所内
株式会社 日立ハイテクノロジー

審査官 豊田 直樹

- (56)参考文献 特開 2 0 0 8 - 0 2 0 3 5 9 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 2 3 6 9 6 6 (J P , A)
特開 2 0 0 3 - 0 0 4 6 5 4 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 2 8 3 1 9 0 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 0 1 4 6 3 5 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 2 6 8 1 4 0 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 3 0 0 5 8 1 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 0 1 4 8 4 9 (J P , A)
特開平 1 0 - 2 8 2 0 1 0 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 2 7 6 2 7 3 (J P , A)
特開 2 0 0 6 - 1 6 2 5 0 0 (J P , A)
特開平 0 6 - 3 4 7 4 1 8 (J P , A)
特開平 0 8 - 2 6 1 9 4 9 (J P , A)
特開平 0 7 - 2 4 3 9 8 8 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 N	2 1 / 8 4	-	2 1 / 9 5 8
H 0 1 L	2 1 / 6 6		
G 0 1 B	1 1 / 0 0	-	1 1 / 3 0