

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5918009号
(P5918009)

(45) 発行日 平成28年5月18日 (2016. 5. 18)

(24) 登録日 平成28年4月15日 (2016. 4. 15)

(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

GO 1 B 11/30 (2006. 01)

GO 1 B 11/30 A

請求項の数 12 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2012-109021 (P2012-109021)
 (22) 出願日 平成24年5月11日 (2012. 5. 11)
 (65) 公開番号 特開2013-234966 (P2013-234966A)
 (43) 公開日 平成25年11月21日 (2013. 11. 21)
 審査請求日 平成26年3月19日 (2014. 3. 19)

前置審査

(73) 特許権者 501387839
 株式会社日立ハイテクノロジーズ
 東京都港区西新橋一丁目2 4 番 1 4 号
 (74) 代理人 110001689
 青稜特許業務法人
 (72) 発明者 松本 俊一
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町2 9 2 番地
 株式会社日立製作所 横浜研究所内
 (72) 発明者 本田 敏文
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町2 9 2 番地
 株式会社日立製作所 横浜研究所内
 (72) 発明者 浦野 雄太
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町2 9 2 番地
 株式会社日立製作所 横浜研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 欠陥検査方法および欠陥検査装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

平面内で移動可能なテーブルに載置した試料表面の線状の領域に前記試料表面の法線方向に対して傾いた方向から照明光を照射し、

該照明光が照射された前記試料から発生した散乱光を前記試料表面の照明光を照射した線状の領域の長手方向に対してほぼ直交して前記試料表面の法線方向を含む面内で焦点位置を前記試料表面の照明光を照射した線状の領域に合わせるように配置した対物レンズと一軸結像系とを含む複数の検出光学系で集光し、

該集光した散乱光を前記複数の検出光学系のそれぞれに対応する複数の素子を2次元に配列して形成したチャンネルを複数並べて形成した並列型光子計数センサ上の前記チャンネルを構成する2次元に配列した複数の素子上に前記一軸結像系で拡大して投影された像として検出するように構成した複数の検出器で検出し、

該複数の検出器で検出して得た散乱光検出信号を処理して前記試料表面の欠陥を検出する

欠陥検査方法であって、

前記照明光が照射された試料から発生した散乱光を、前記試料表面の照明光を照射した線状の領域の長手方向に対する開口角と前記長手方向にほぼ直交する方向に対する開口角が異なる前記対物レンズを含む前記複数の光学系であって光軸が前記照明光の光軸とほぼ一点で交差するように構成した前記複数の光学系で集光し、

該複数の光学系のそれぞれの対物レンズで集光した前記散乱光により前記線状の領域の

長手方向の倍率と前記線状の領域の長手方向にほぼ直交する方向の倍率とが異なる像を前記複数の検出器の検出面と前記試料表面の検査面である前記照明光を照射した線状の長手方向の領域との距離を同一に保った状態でそれぞれ検出することを特徴とする欠陥検査方法。

【請求項 2】

前記照明光が照射された前記試料から発生した散乱光のうち、前記複数の検出光学系方向とは異なる方向に散乱した散乱光の一部を集光して検出し、該散乱光の一部を集光し検出して得た信号と前記複数の検出光学系で検出して得た信号とを用いて前記複数の検出光学系のそれぞれの検出器では飽和してしまう散乱光を発生する欠陥を検出することを特徴とする請求項 1 記載の欠陥検査方法。

10

【請求項 3】

平面内で移動可能なテーブルに載置した試料表面の線状の領域に前記試料表面の法線方向に対して傾いた方向から照明光を照射し、

該照明光が照射された前記試料から発生した散乱光を前記試料表面の照明光を照射した線状の領域の長手方向に対してほぼ直交して前記試料表面の法線方向を含む面内で焦点位置を前記試料表面の照明光を照射した線状の領域に合わせるように配置した対物レンズと一軸結像系とを含む複数の検出光学系であって光軸が前記照明光の光軸とほぼ一点で交差するように構成した前記複数の光学系で集光して該複数の検出光学系のそれぞれに対応する複数の素子を 2 次元に配列して形成したチャンネルを複数並べて形成した並列型光子計数センサ上の前記チャンネルを構成する 2 次元に配列した複数の素子上に前記一軸結像系で拡大して投影された像として検出するように構成した複数の 2 次元の検出器により前記複数の 2 次元の検出器の検出面と前記試料表面の検査面である前記照明光を照射した線状の長手方向の領域との距離を同一に保った状態で検出し、

20

前記照明光が照射された前記試料から発生した散乱光のうち前記複数の検出光学系方向とは異なる方向に散乱した散乱光の一部を集光して前記 2 次元の検出器よりも感度の低い検出器で検出し、

前記複数の 2 次元の検出器で検出して得た信号を処理して前記試料上の微細な欠陥を検出すると共に、前記 2 次元の検出器よりも感度の低い検出器で検出して得た信号と前記複数の 2 次元の検出器で検出して得た信号とを用いて前記複数の 2 次元の検出器では飽和してしまう散乱光を発生する比較的大きな欠陥を検出することを特徴とする欠陥検査方法。

30

【請求項 4】

前記試料から発生した散乱光を、前記線状の領域の長手方向に対する開口角が前記長手方向にほぼ直交する方向に対する開口角よりも大きい対物レンズで集光することを特徴とする請求項 1 又は 3 に記載の欠陥検査方法。

【請求項 5】

前記複数の検出光学系のそれぞれにより、前記線状の領域の長手方向の倍率に対して前記線状の領域の長手方向にほぼ直交する方向の倍率が大きい前記散乱光による前記線状の領域の像を前記複数の検出光学系のそれぞれの検出器上に形成することを特徴とする請求項 1 又は 3 に記載の欠陥検査方法。

40

【請求項 6】

試料を載置して平面内で移動可能なテーブルと、

該テーブルに載置した前記試料の表面の線状の領域に前記試料の表面の法線方向に対して傾いた方向から照明光を照射する照明光照射部と、

前記照明光を照射した試料表面の線状の領域の長手方向に対してほぼ直交する方向で前記試料表面の法線を含む面内で焦点位置を前記試料表面の照明光を照射した線状の領域に合わせるように配置されて前記照明光照射部により照明光が照射された前記試料の表面の線状の領域から発生した散乱光を集光する対物レンズと該対物レンズで集光された散乱光を一軸方向に集光する一軸結像系と該一軸結像系で集光された散乱光を複数の素子を 2 次元に配列して形成したチャンネルを複数並べて形成した並列型光子計数センサ上の前記チ

50

チャンネルを構成する２次元に配列した複数の素子上に前記一軸結像系で拡大して投影された像として検出するように構成した２次元の検出器とを有する検出光学系を複数備えた検出光学系部と、

該検出光学系部の複数の検出光学系のそれぞれの２次元の検出器で検出して得た信号を処理して前記試料上の欠陥を検出する信号処理部とを備えた欠陥検査装置であって、

前記検出光学系の対物レンズは、前記試料表面の照明光を照射した線状の領域の長手方向に沿った方向と前記長手方向にほぼ直交する方向に沿った方向とで異なる開口角を有して光軸が前記照明光照射部の照明光の光軸とほぼ一点で交差するように構成されており、

前記検出光学系は、前記対物レンズで集光した前記散乱光により前記線状の領域の長手方向の倍率と前記線状の領域の長手方向にほぼ直交する方向の倍率とが異なる像を前記２次元の検出器上に前記検出器の検出面と前記試料表面の検査面である前記照明光を照射した線状の長手方向の領域との距離を同一に保った状態で形成する

ことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 7】

前記検出光学系部は、前記照明光が照射された前記試料から発生した散乱光のうち、前記複数の検出光学系の方向とは異なる方向に散乱した散乱光の一部を集光して検出する斜方検出光学系を更に備え、前記信号処理部は、前記斜方検出光学系で前記散乱光の一部を集光し検出して得た信号と前記複数の検出光学系で検出して得た信号とを用いて前記複数の検出光学系のそれぞれの２次元の検出器では飽和してしまう散乱光を発生する欠陥を検出することを特徴とする請求項 6 記載の欠陥検査装置。

【請求項 8】

試料を載置して平面内で移動可能なテーブルと、

該テーブルに載置した前記試料の表面の線状の領域に前記試料の表面の法線方向に対して傾いた方向から照明光を照射する照明光照射部と、

前記照明光を照射した試料表面の線状の領域の長手方向に対してほぼ直交する方向で前記試料表面の法線を含む面内で焦点位置を前記試料表面の照明光を照射した線状の領域に合わせるように配置されて前記照明光照射部により照明光が照射された前記試料の表面の線状の領域から発生した散乱光を集光する対物レンズと該対物レンズで集光された散乱光を一軸方向に集光する一軸結像系と該一軸結像系で集光された散乱光を複数の素子を２次元に配列して形成したチャンネルを複数並べて形成した並列型光子計数センサ上の前記チャンネルを構成する２次元に配列した複数の素子上に前記一軸結像系で拡大して投影された像として検出するように構成した２次元の検出器とを有して光軸が前記照明光の光軸とほぼ一点で交差するように構成し、検出面と前記試料表面の検査面である前記照明光を照射した線状の長手方向の領域との距離を同一に保った状態でそれぞれ検出する複数の検出光学系と前記照明光が照射された前記試料から発生した散乱光のうち前記複数の検出光学系の方向とは異なる方向に散乱した散乱光の一部を集光して検出する前記２次元の検出器よりも感度の低い検出器とを備えた検出光学系部と、

前記複数の２次元の検出器で検出して得た信号を処理して前記試料上の微細な欠陥を検出すると共に、前記２次元の検出器よりも感度の低い検出器で検出して得た信号と前記複数の２次元の検出器で検出して得た信号とを用いて前記複数の２次元の検出器では飽和してしまう散乱光を発生する比較的大きな欠陥を検出する信号処理部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 9】

前記検出光学系の対物レンズは、前記試料表面の照明光を照射した線状の領域の長手方向に沿った方向の開口角が、前記長手方向にほぼ直交する方向に沿った方向の開口角よりも大きいことを特徴とする請求項 6 又は 8 に記載の欠陥検査装置。

【請求項 10】

前記検出光学系はシリンドリカルレンズを備え、該シリンドリカルレンズにより、前記対物レンズで集光した前記散乱光による前記線状の領域の長手方向にほぼ直交する方向の

10

20

30

40

50

像を拡大して前記２次元の検出器上に形成することを特徴とする請求項６又は８に記載の欠陥検査装置。

【請求項１１】

前記２次元の検出器は、前記照明光照射部により照明光が照射された前記試料の表面の線状の領域から発生した散乱光のうち前記対物レンズで集光された光の光子数を計数することを特徴とする請求項６又は８に記載の欠陥検査装置。

【請求項１２】

前記２次元の検出器は、ガイガーモードで動作するアバランシェフォトダイオード素子を２次元に配列して構成した検出器であることを特徴とする請求項１１に記載の欠陥検査装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は試料表面に存在する微小な欠陥を検査し、欠陥の位置・種類および寸法を判定して出力する欠陥検査方法および欠陥検査装置に関する。

【背景技術】

【０００２】

半導体基板や薄膜基板等の製造ラインにおいて、製品の歩留まりを維持・向上するために、半導体基板や薄膜基板等の表面に存在する欠陥の検査が行われている。欠陥検査の従来技術としては、特開平８－３０４０５０号公報（特許文献１）、特開２００８－２６８１４号公報（特許文献２）、特開２００８－２６１７９０号公報（特許文献３）などが知られている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００３】

【特許文献１】特開平８－３０４０５０号公報

【特許文献２】特開２００８－２６８１４号公報

【特許文献３】特開２００８－２６１７９０号公報 特許文献１では、線状照明を行う照明光学系、被照明領域をラインセンサで分割して検出する検出光学系により、一度の検査で同一欠陥を複数回照明し、それらの散乱光を加算することにより検出感度を向上させる技術が開示されている。

30

【０００４】

特許文献２では、レーザ光帯に対応した２ｎ個のＡＰＤ（*Avalanche Photodiode*）がリニアに配列され、２ｎ個のうちの適当な２個ずつを組合せ、各組合せの２個のＡＰＤの出力信号の差分をそれぞれ算出して、反射光によるノイズを消去し、散乱光に対する欠陥パルスを出力する技術が開示されている。

【０００５】

また、特許文献３では、円形状レンズを互いに平行な２つの直線で切断した形状の光学レンズとそれに対応する検出器を複数配置して、散乱光を検出する技術が開示されている。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

半導体等の製造工程で用いられる欠陥検査には、微小な欠陥を検出すること、検出した欠陥の寸法を高精度に計測すること、試料を非破壊で（例えば試料を変質させることなく）検査すること、同一の試料を検査した場合に例えば検出欠陥の個数、位置、寸法、欠陥種に関して実質的に一定の検査結果が得られること、一定時間内に多数の試料を検査することなどが求められる。

【０００７】

前記特許文献１、２および３に述べられた技術では、特に例えば寸法２０ｎｍ以下の微

50

小さな欠陥については、欠陥から発生する散乱光が極めて微弱となり、試料表面で発生する散乱光によるノイズ、検出器のノイズ、あるいは検出回路のノイズに欠陥信号が埋もれるため検出不可能となる。あるいは、これを避けるために照明パワーをあげた場合、照明光による試料の温度上昇が大きくなり、試料への熱ダメージが発生する。あるいは、これを避けるために試料の走査速度を低下させた場合、一定時間内に検査できる試料の面積あるいは試料の数が減少する。以上より、微小な欠陥を高速に検出することが困難であった。

【0008】

微弱な光を検出する方法として、光子計数法が知られている。一般に、微弱な光に対しては検出光子数を計数する光子計数を行うことで、信号のS/N比が向上するため、高感度・高精度で安定した信号が得られる。従来から知られる光子計数法の一例としては、光電子増倍管、あるいは単一素子からなるAPD(Avalanche Photodiode)に対する光子の入射で発生するパルス電流の発生数を計数する方法がある。この方式では、短い時間内に複数個の光子が入射して複数回のパルス電流が発生した場合にはその回数を計数できないため、光量を精度良く計測することは出来ず、欠陥検査への適用は困難であった。

【0009】

別の光子計数法の一例としては、複数のAPD素子を2次元のアレイ状に配列して構成した検出器の、各素子への光子の入射により発生するパルス電流の合計を計測する方法が知られている。この検出器はSi-PM(Silicon Photomultiplier)、PPD(Pixelated Photon Detector)、あるいはMPPC(Multi-Pixel Photon Counter、登録商標、商標権者：浜松ホトニクス株式会社)などと呼ばれる。この方法によれば前述の光電子増倍管や、単一素子からなるAPDを用いた光子計数と異なり、短い時間内に複数の光子が入射した場合でも、複数のAPD素子からのパルス電流の合計により光量を計測することが可能となる。但しこの場合でも、複数のAPDを配列したものが一つの検出器＝「検出ch」として動作するため、「検出ch」を複数化した並列検出により、検出視野を分割して高速・高感度化を図る欠陥検査においては、本方法を適用することは困難であった。

【0010】

本発明は、従来技術の課題を解決して、微小な欠陥を高速・高感度に検出することを可能にする欠陥検査方法及び欠陥検査装置を提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記課題を解決するために、平面内で移動可能なテーブルに載置した試料表面の線状の領域に試料表面の法線方向に対して傾いた方向から照明光を照射し、照明光が照射された試料から発生した散乱光を試料表面の照明光を照射した線状の領域の長手方向に対してほぼ直交して試料表面の法線方向を含む面内で焦点位置を前記試料表面の照明光を照射した線状の領域に合わせるように配置した対物レンズと一軸結像系とを含む複数の検出光学系で集光し、この集光した散乱光を複数の検出光学系のそれぞれに対応する複数の素子を2次元に配列して形成したチャンネルを複数並べて形成した並列型光子計数センサ上の前記チャンネルを構成する2次元に配列した複数の素子上に前記一軸結像系で拡大して投影された像として検出するように構成した複数の検出器で検出し、この複数の検出器で検出して得た散乱光検出信号を処理して試料表面の欠陥を検出する欠陥検査方法において、照明光が照射された試料から発生した散乱光を、試料表面の照明光を照射した線状の領域の長手方向に対する開口角と長手方向にほぼ直交する方向に対する開口角が異なる対物レンズを含む複数の光学系であって光軸が前記照明光の光軸とほぼ一点で交差するように構成した前記複数の光学系で集光し、この複数の光学系のそれぞれの対物レンズで集光した散乱光により線状の領域の長手方向の倍率と線状の領域の長手方向にほぼ直交する方向の倍率とが異なる像を複数の検出器の検出面と前記試料表面の検査面である前記照明光を照射した線状の長手方向の領域との距離を同一に保った状態でそれぞれ検出するようにした。

【0012】

又、本発明では、上記課題を解決するために、平面内で移動可能なテーブルに載置した試料表面の線状の領域に試料表面の法線方向に対して傾いた方向から照明光を照射し、照明光が照射された試料から発生した散乱光を試料表面の照明光を照射した線状の領域の長手方向に対してほぼ直交して試料表面の法線方向を含む面内で焦点位置を前記試料表面の照明光を照射した線状の領域に合わせるように配置した対物レンズと一軸結像系とを含む複数の検出光学系であって光軸が前記照明光の光軸とほぼ一点で交差するように構成した前記複数の光学系で集光してこの複数の検出光学系のそれぞれに対応する複数の素子を2次元に配列して形成したチャンネルを複数並べて形成した並列型光子計数センサ上の前記チャンネルを構成する2次元に配列した複数の素子上に前記一軸結像系で拡大して投影された像として検出するように構成した複数の2次元の検出器により前記複数の2次元の検出器の検出面と前記試料表面の検査面である前記照明光を照射した線状の長手方向の領域との距離を同一に保った状態で検出し、照明光が照射された試料から発生した散乱光のうち複数の検出光学系の方向とは異なる方向に散乱した散乱光の一部を集光して2次元の検出器よりも感度の低い検出器で検出し、複数の2次元の検出器で検出して得た信号を処理して試料上の微細な欠陥を検出すると共に、2次元の検出器よりも感度の低い検出器で検出して得た信号と複数の2次元の検出器で検出して得た信号とを用いて複数の2次元の検出器では飽和してしまう散乱光を発生する比較的大きな欠陥を検出するようにした。

10

【0013】

又、本発明では、上記課題を解決するために、欠陥検査装置を、試料を載置して平面内で移動可能なテーブルと、テーブルに載置した試料の表面の線状の領域に試料の表面の法線方向に対して傾いた方向から照明光を照射する照明光照射部と、照明光を照射した試料表面の線状の領域の長手方向に対してほぼ直交する方向で試料表面の法線を含む面内で焦点位置を前記試料表面の照明光を照射した線状の領域に合わせるように配置されて照明光照射部により照明光が照射された試料の表面の線状の領域から発生した散乱光を集光する対物レンズとこの対物レンズで集光された散乱光を一軸方向に集光する一軸結像系と該一軸結像系で集光された散乱光を複数の素子を2次元に配列して形成したチャンネルを複数並べて形成した並列型光子計数センサ上の前記チャンネルを構成する2次元に配列した複数の素子上に前記一軸結像系で拡大して投影された像として検出するように構成した2次元の検出器とを有する検出光学系を複数備えた検出光学系部と、検出光学系部の複数の検出光学系のそれぞれの2次元の検出器で検出して得た信号を処理して試料上の欠陥を検出する信号処理部とを備えて構成し、検出光学系の対物レンズは、試料表面の照明光を照射した線状の領域の長手方向に沿った方向と長手方向にほぼ直交する方向に沿った方向とで異なる開口角を有して光軸が前記照明光照射部の照明光の光軸とほぼ一点で交差するように構成されており、検出光学系は、対物レンズで集光した散乱光により線状の領域の長手方向の倍率と線状の領域の長手方向にほぼ直交する方向の倍率とが異なる像を2次元の検出器上に前記検出器の検出面と前記試料表面の検査面である前記照明光を照射した線状の長手方向の領域との距離を同一に保った状態で形成するように構成した。

20

30

【0014】

又、本発明では、上記課題を解決するために、欠陥検査装置を、試料を載置して平面内で移動可能なテーブルと、テーブルに載置した試料の表面の線状の領域に試料の表面の法線方向に対して傾いた方向から照明光を照射する照明光照射部と、照明光を照射した試料表面の線状の領域の長手方向に対してほぼ直交する方向で試料表面の法線を含む面内で焦点位置を前記試料表面の照明光を照射した線状の領域に合わせるように配置されて照明光照射部により照明光が照射された試料の表面の線状の領域から発生した散乱光を集光する対物レンズとこの対物レンズで集光された散乱光を一軸方向に集光する一軸結像系と該一軸結像系で集光された散乱光を複数の素子を2次元に配列して形成したチャンネルを複数並べて形成した並列型光子計数センサ上の前記チャンネルを構成する2次元に配列した複数の素子上に前記一軸結像系で拡大して投影された像として検出するように構成した2次元の検出器とを有して光軸が前記照明光の光軸とほぼ一点で交差するように構成し、検出面と前記試料表面の検査面である前記照明光を照射した線状の長手方向の領域との距離を

40

50

同一に保った状態でそれぞれ検出する複数の検出光学系と照明光が照射された試料から発生した散乱光のうち複数の検出光学系の方向とは異なる方向に散乱した散乱光の一部を集光して検出する２次元の検出器よりも感度の低い検出器とを備えた検出光学系部と、複数の２次元の検出器で検出して得た信号を処理して試料上の微細な欠陥を検出すると共に、２次元の検出器よりも感度の低い検出器で検出して得た信号と複数の２次元の検出器で検出して得た信号とを用いて前記複数の２次元の検出器では飽和してしまう散乱光を発生する比較的大きな欠陥を検出す信号処理部とを備えて構成した。

【発明の効果】

【００１５】

本発明によれば、上記に述べた構成とするにより、高ＮＡ（開口率）での複数方向からの検出を可能とし、並列型の光子計数検出器により微細欠陥からの散乱光を有効に検出して、高感度検査を実現する効果が得られる。

【００１６】

また、並列型の光子計数検出器と通常の光学センサとを組み合わせることにより、より広いダイナミックレンジで欠陥を検出することができるようになった。

【図面の簡単な説明】

【００１７】

【図１】本発明の実施例１における欠陥検査装置の基本構成を示すブロック図である。

【図２】本発明の実施例１における長円形レンズの構成を示す三面図である。

【図３】本発明の実施例１における検査装置の長円形レンズの配置を説明する平面図（上段）と正面図（下段）である。

【図４】本発明の実施例１における長円形レンズを組レンズで構成した場合の構成を示す正面図である。

【図５Ａ】本発明の実施例１における比較例で、対物レンズを円形レンズで構成した場合の平面図である。

【図５Ｂ】本発明の実施例１において、対物レンズを長円形レンズで構成した場合の平面図である。

【図６】本発明の実施例１において、試料表面上の照明領域形状と走査方向の関係を説明する試料の平面図である。

【図７】本発明の実施例１において、走査による照明スポットの軌跡を説明する試料の平面図である。

【図８】本発明の実施例１における並列型光子計数センサの第１の例の平面図である。

【図９】本発明の実施例１における並列型光子計数センサの構成要素の等価回路を示す回路図である。

【図１０】本発明の実施例１における信号処理部の構成を示すブロック図である。

【図１１Ａ】本発明の実施例１における並列型光子計数センサの第２の例を示す並列型光子計数センサの側面図である。

【図１１Ｂ】本発明の実施例１における並列型光子計数センサの第３の例を示す並列型光子計数センサの側面図である。

【図１２】本発明の実施例１における検出光学系のレンズ構成の第１の例を示す光学系の斜視図である。

【図１３Ａ】本発明の実施例１における検出光学系を成すレンズ構成の第２の例を示す光学系の側面図である。

【図１３Ｂ】本発明の実施例１における検出光学系を成すレンズ構成の第２の例における結像性能を示すスポットダイヤグラムと視野高さとの関係を示す表である。

【図１４Ａ】本発明の実施例１における一軸結像系を追加した検出光学系を成すレンズ構成の例を示す光学系の側面図である。

【図１４Ｂ】本発明の実施例１における一軸結像系を追加した検出光学系を成すレンズ構成の例における結像性能を示すスポットダイヤグラムと視野高さとの関係を示す表である。

【図 1 5 A】本発明の実施例 2 における欠陥検査装置の基本構成を示すブロック図である。

【図 1 5 B】本発明の実施例 2 における欠陥検査装置の検出光学系の概略の構成を示す正面図である。

【図 1 5 C】本発明の実施例 2 における欠陥検査装置の後方散乱光検出ユニットの概略の構成を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

本発明は、半導体等の製造工程で用いられる欠陥検査において、微小な欠陥を検出すること、検出した欠陥の寸法を高精度に計測すること、試料を非破壊で（例えば試料を変質させること無く）検査すること、同一の試料を検査した場合に例えば検出欠陥の個数、位置、寸法、欠陥種に関して実質的に一定の検査結果が得られること、一定時間内に多数の試料を検査することを可能にする欠陥検査方法及び欠陥検査装置を提供するものである。

【0019】

以下、本発明の実施の形態を、図を用いて説明する。なお、本発明は以下に説明する実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。下記に説明する実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明するものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例に置き換えることが可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例を加えることも可能である。また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

【実施例 1】

【0020】

図 1 は、本実施例の欠陥検査装置の構成の例を示す。本実施例における欠陥検査装置は、照明光学系ユニット 10、検出光学系ユニット 11、信号処理ユニット 12、ステージユニット 13、全体制御部 14 を備えて構成されている。

【0021】

照明光学系ユニット 10 は光源 101、偏光状態制御手段 102、ビーム成形ユニット 103 及び細線集光光学系 104 を備えている。このような構成において、光源 101 を射出した照明光は、偏光状態制御手段 102 とビーム成型ユニット 103 とを透過して、ミラー 105 で光路を変換されて細線集光光学系 104 に導入される。この時、偏光状態制御手段 102 は 1/2 波長板、1/4 波長板などの偏光素子で構成され、照明光学系の光軸周りに回転できるように駆動手段（図示せず）を具備し、ステージユニット 103 に載置されたウェハ 001 を照明する照明光の偏光状態を調整する手段である。

【0022】

また、ビーム成型ユニット 130 は、後に述べる細線照明を形成する光学ユニットであり、ビームエキスパンダ、アナモルフィックプリズム等によって構成される。

【0023】

細線集光光学系 104 はシリンドリカルレンズ等により構成され、細線状に成形した照明光でウェハ（基板）001 の細線状の照明領域 1000 を照明する。本実施例では、図 1 に示すように細線照明の幅方向（細線照明領域 1000 の長手方向にほぼ直交する方向：矢印 1300 の方向）をステージ走査方向（x 方向）に、細線照明領域 1000 の長手方向を y 方向に取るものとして説明する。

【0024】

また、本実施例ではこのように、照明領域 1000 を絞った細線照明を行うが、これは検査対象に対する照明の照度（照明のエネルギー密度）を高くすることにより、検査スループットの向上を図ることが目的の一つである。このため、光源 101 には直線偏光を放射し、集光性の良い高コヒーレント光源であるレーザ光源を使用することが望ましい。また、背景技術において述べたように、欠陥からの散乱光を増大させるためにも光源の短波長化が有効であり、本実施例では光源 101 には UV (Ultra Violet) レー

10

20

30

40

50

ザを用いる。たとえばYAG (Y t t r i u m A l u m i n u m G a r n e t) - T H G (t h i r d h a r m o n i c g e n e r a t i o n) の波長355nm固体レーザ、あるいはYAG - F H G (F o u r t h h a r m o n i c g e n e r a t i o n) の波長266nm固体レーザ、あるいはYAG - F H GとYAG基本波の和周波による213nm、199nm、193nm固体レーザ等の何れかを用いる。

【0025】

照明光学系ユニット10により細線照明されたウェハ001からの散乱光は、検出光学系ユニット11を通して検出される。検出光学系ユニット11は、3つの検出ユニット11a~11cを備えている。本実施例では検出光学系11は、3つの検出ユニットから構成する例を示したが、この形態に限定するものではなく、2つの検出ユニットを用いて検出光学系を構成してもよく、又は、4つ以上の検出ユニットを備えて検出光学系を構成してもよい。以下、第1の検出ユニット11aの構成要素は添字aを、第2の検出ユニット11bの構成要素は添字bを、第3の検出ユニット11cの構成要素は添字cにより表記の区別を行う。

【0026】

第1の検出ユニット11aは、対物レンズ111a、空間フィルタ112a、偏光フィルタ113a、結像レンズ114a、一軸結像系（例えば、シリンドリカルレンズ）1140a、並列型光子計数センサ115aを備えている。第2の検出ユニット11b及び第3の検出ユニット11cも同様な光学要素を備えて構成されている。

第1の検出ユニット11aについて説明すると、照明光学系ユニット10により細線照明されたウェハ001からの散乱光は対物レンズ111aにより集光され、結像レンズ114aと一軸結像系1140aにより、並列型光子計数センサ115a上の複数の素子に跨るように、ウェハ001上の欠陥の散乱光像（点像）が結像される。第2の検出ユニット11b及び第3の検出ユニット11cも同様に、それぞれ対物レンズ111b、111cにより集光され、結像レンズ114b、114c、一軸結像系1140b、1140cにより、並列型光子計数センサ115b、115c上の複数の素子に跨るように、ウェハ上の欠陥の散乱光像（点像）が結像される。ここで対物レンズ111a、111b、111cは図1に示したように円形レンズの左右を直線状に切除して左右対称形状を持つ長円形レンズからなるように構成する。その構成と効果の詳細に関しては後述する。

検出光学系ユニット11において、開口制御フィルタ112a、112b、112cは、基板表面のラフネス等により生じる背景散乱光を遮光することで、検出時の背景光ノイズを低減して、欠陥検出感度を向上させるものである。また、偏光フィルタ(偏光板等)113a、113b、113cは、検出散乱光から特定の偏光成分をフィルタリングすることで、背景光ノイズを低減して、欠陥検出感度を向上させるために用いるものである。

並列型光子計数センサ115a、115b、115cは光電変換により、検出された散乱光を電気信号に変換するものであり、複数のAPD素子を2次元のアレイ状に配列して構成した検出器の、各素子への光子の入射により発生するパルス電流の合計を計測する方法が知られている。この検出器はSi-PM (S i l i c o n P h o t o m u l t i p l i e r)、PPD (P i x e l a t e d P h o t o n D e t e c t o r)、あるいはMPPC (M u l t i - P i x e l P h o t o n C o u n t e r) などと呼ばれる素子である。

【0027】

図8は、並列型光子計数センサ115aの受光面の構成の一例である。並列型光子計数センサ115aは単一のAPD素子231を、複数個2次元に配列した構成を有する。APD素子231は各々がガイガーモード（光電子増倍率が 10^5 以上）で動作するように電圧が印加される。APD素子231に一つの光子が入射すると、APD素子の量子効率に応じた確立でAPD素子231内に光電子が発生し、ガイガーモードAPDの作用で増倍され、パルス状の電気信号を出力する。図8で点線の232で囲まれた中にあるAPD素子231の集合を一つの単位（ch）として、S1方向にi個、S2方向にj個のAPD素子の各々で発生したパルス状の電気信号を合計して出力する。この合計信号が光子計

10

20

30

40

50

数による検出光量に相当する。そしてこれら ch を $S2$ 方向に複数並べることで、検出系の視野内の細線照明された領域の細線の長手方向に分割された複数の領域からのそれぞれの散乱光の像が、複数に並べた ch のそれぞれに対応する位置に $S1$ 方向に拡大されて投影される。これにより、検出系の視野内の複数の領域の各々に対して、同時並列的に光子計数による散乱光の光量検出を行うことが可能となる。光子計数による散乱光検出であるため、微弱光検出が可能であり、これにより微小欠陥の検出、すなわち欠陥検出感度の向上を図ることが可能となる。

【0028】

図9は1 ch を構成する $i \times j$ 個のAPD素子群と等価な回路の回路図の例である。図中の一つのクエンチング抵抗226とAPD227の組が、図8で説明した一つのAPD素子231に対応する。各APD227に逆電圧 V_R が印加される。逆電圧 V_R をAPD227の降伏電圧以上に設定することで、APD227がガイガーモードで動作する。図9に示した回路構成にすることで、 $i \times j$ 個のAPD素子群からなる並列型光子計数センサの1 ch の領域に入射した光子数の合計に比例した出力電気信号（電圧、電流の波高値、あるいは電荷量）が得られる。各 ch に対応する出力電気信号はアナログ-デジタル変換され、時系列のデジタル信号として並列に出力される。

【0029】

個々のAPD素子は、短い時間に複数の光子が入射しても一つの光子が入射した場合と同程度のパルス信号しか出力しないため、個々のAPD素子への単位時間当たりの入射光子数が大きくなると、一つの ch の合計出力信号が入射光子数に比例しなくなり、信号の線形成が損なわれる。また、一つの ch の全てのAPD素子に一定量（1素子あたり平均1光子程度）以上の入射光が入ると、出力信号は飽和する。 $S1$ 、 $S2$ 方向に多数のAPD素子を並べて、一軸結像系1140a~cで並列型光子係数センサ115の受光面上に投影される散乱光の像が一つの ch の多数のAPD素子上に拡大して投影されるような構成とすることにより、一画素あたりに入射光量を低減することが可能となり、より正確な光子計数が可能となる。例えば $S1$ 、 $S2$ 方向に $i \times j$ 個並べた1 ch の画素数を1000画素にすることで、APD素子の量子効率が30%の場合、検出の単位時間当たり1000光子以下の光強度で十分なりニアリティを確保でき、約3300光子程度以下の光強度を飽和することなく検出することが可能となる。

【0030】

図8に示した並列型光子計数センサの構成では、 $S1$ 方向に対して光強度が一様でなく、センサの中央部と比較して端部の光強度が弱くなる。シリンドリカルレンズの代わりに $S1$ 方向に曲率を持つ微小なシリンドリカルレンズを $S1$ 方向に多数並べたレンチキュラーレンズ、回折型光学素子、あるいは非球面レンズを用いることで、欠陥像の一軸拡大像225の $S1$ 方向の分布を、強度が一様な分布とすることが出来る。こうすることで、 $S1$ 方向のAPD素子数を保ったまま、ニアリティを確保できる光強度範囲、あるいは飽和しない光強度範囲を更に拡大することが可能となる。

【0031】

このとき、先に述べた細線状の照明領域1000は、照明光の効率を向上させるために（センサの検出範囲外を照明しても無効であるため）並列型光子計数センサ115の検出範囲に絞り込むように基板を照明する。

【0032】

また、本実施例の検出光学系11では、3つの検出ユニット11a、11b、11cは同一の構造で構成する。これは、同一の構造を複数配置することにより検査装置の製造工数、製造コストの低減を図ることを可能とするためである。

【0033】

ステージユニット13は、並進ステージ130、回転ステージ131、ウェハ面高さ調整のためのZステージ132を備える。ステージユニット13によるウェハ表面の操作方法に関して、図6、図7により説明する。

【0034】

まず、図 1 に示したウェハ照明光学系ユニット 10 によって、図 6 に示すようにウェハ 001 の表面に形成された細線状の照明領域 1000 の長手方向を S2 とし、S2 に実質的に直交する方向を S1 とする。回転ステージの回転運動によって、回転ステージの回転軸を中心とした円の円周方向 R1 に、並進ステージの並進運動によって並進ステージの並進方向 S2 に走査される。円周方向 R1 (細線状の照明領域 1000 では円周の接線方向である S1 の方向)の走査により試料を 1 回転する間に、走査方向 S2 へ細線状の照明領域 1000 の長手方向の長さ以下の距離だけ走査することにより、図 7 に示すように、照明スポット (細線状の照明領域 1000) がウェハ 001 にらせん状の軌跡 T を描き、この走査をウェハ 001 の半径に細線状の照明領域 1000 の長さを加えた分だけ行くと、ウェハ 001 の表面の全面が走査され、これによりウェハ全面の検査を可能とする。

10

【0035】

ここで照明領域 1000 の長さと、検出光学系ユニット 11 の光学倍率、並列型光子計数センサ 115 の寸法との関係を説明する。高感度・高速検査を行う場合、照明領域 1000 の長さ L_i は概略 $200\text{ }\mu\text{m}$ に設定される。並列型光子計数センサ 105 として、ガイガーモードで動作する $25\text{ }\mu\text{m}$ 角の APD 素子が、S2 方向には 20 素子、S1 方向には 160 素子の並んだユニットを 1ch とし、これを S2 方向に 8ch 並べて並列型光子計数センサ 115 を構成した場合、並列型光子計数センサ 115 の S1 方向の全長は 4 mm となり、これと照明領域の長さ L_i $200\text{ }\mu\text{m}$ と比較すると、検出部の光学倍率は 20 倍となり、ウェハ面に投影される検出 ch のピッチは $25\text{ }\mu\text{m}$ となる。

【0036】

20

この条件で、試料を回転速度 2000 rpm で回転させ、1 回転に対する並進ステージの送りピッチを $12.5\text{ }\mu\text{m}$ とした場合、直径 300 mm のウェハは 6 秒で、直径 450 mm のウェハは 9 秒で全面が走査される。ここでは、ウェハを回転走査する際の 1 回転に対する並進ステージの送りピッチを、ウェハ面に投影される検出 ch のピッチ $25\text{ }\mu\text{m}$ の $1/2$ としたが、必ずしもこの値に限ることは無く、ウェハ面に投影される検出 ch の偶数分の 1 あるいは奇数分の 1 の任意の数、あるいは整数分の 1 に限ること無く任意に定めても良い。

【0037】

信号処理ユニット 12 は、第 1、第 2 および第 3 の並列型光子計数センサ 115 a、115 b、115 c、により光電変換された散乱光信号に基づいて様々な欠陥種の分類や欠陥寸法の推定を高精度に行う。ここで信号処理ユニット 12 の具体的構成に付いて図 10 により説明する。信号処理ユニット 12 は、フィルタリング処理部 121 a、121 b、121 c と、信号処理・制御部 122 を備えている。信号処理ユニット 12 は、実際には検出ユニット 11 a、11 b、11 c の各々が並列型光子検出センサ 115 a、115 b、115 c の各 ch 毎に複数の信号を出力する。ここではその一つの ch の信号に注目した説明を行うが、他の ch についても同様の処理が並列して行われることは言うまでもない。

30

【0038】

検出光学系 11 a、11 b、11 c の各々に備えられた並列型光子計数センサ 115 a、115 b、115 c から出力された、検出散乱光量に対応する出力信号は、フィルタリング処理部 121 a、121 b、121 c において、ハイパスフィルタ 604 a、604 b、604 c の各々により欠陥信号 603 a、603 b、603 c の各々が抽出され、欠陥判定部 605 に入力される。前述したステージ走査において、照明領域 1000 の幅方向 (ウェハの円周方向) S1 に走査されるため、欠陥信号の波形は照明領域 1000 の S1 方向の照度分布プロファイルを拡大縮小したものとなる。従って、ハイパスフィルタ 604 a、604 b、604 c の各々により、欠陥信号波形の含まれる周波数帯域を通し、ノイズが相対的に多く含まれる周波数帯域および直流成分をカットすることで、欠陥信号 603 a、603 b、603 c の S/N が向上する。

40

【0039】

各ハイパスフィルタ 604 a、604 b、604 c としては、特定のカットオフ周波数

50

を持ち、その周波数成分以上の成分を遮断するように設計されたハイパスフィルタ、あるいはバンドパスフィルタ、あるいは照明領域1000の照度分布の形状が反映された欠陥信号の波形と相似形を成すFIR(Finite Impulse Response)フィルタを用いる。

【0040】

信号処理制御部122の欠陥判定部605はハイパスフィルタ604a、604b、604cの各々から出力された欠陥波形を含む信号の入力に対してしきい値処理を行い、欠陥の有無を判定する。即ち、欠陥判定部605には、複数の検出光学系からの検出信号に基づく欠陥信号が入力されるので、欠陥判定部605は、複数の欠陥信号の和や、加重平均に対してしきい値処理を行うか、または複数の欠陥信号に対してしきい値処理により抽出された欠陥群について、ウェハの表面に設定された同一座標系でORやANDを取ることなどにより、単一の欠陥信号に基づく欠陥検出と比較して高感度の欠陥検査を行うことが可能となる。

10

【0041】

更に、欠陥判定部605は、欠陥が存在すると判定された箇所について、その欠陥波形と感度情報信号に基づいて算出されるウェハ内の欠陥位置を示す欠陥座標および欠陥寸法の推定値を欠陥情報として制御部53に提供して表示部などに出力する。欠陥座標は欠陥波形の重心を基準として算出される。欠陥寸法は欠陥波形の積分値、あるいは最大値を元に算出される。

20

【0042】

さらに、並列型光子係数センサ115a、115b、115cから出力された信号は、信号処理部121a、121b、121cを構成するハイパスフィルタ604a、604b、604cに加えて、ローパスフィルタ601a、601b、601cの各々に入力され、ローパスフィルタ601a、601b、601cの各々について、ウェハ状の照明領域1000における微小ラフネスからの散乱光量(ヘイズ)に対応する周波数の低い成分および直流成分が出力される。

【0043】

このようにローパスフィルタ601a、601b、601cの各々からの出力信号602a、602b、602cは、信号処理制御部122のヘイズ処理部606に入力されてヘイズ情報の処理が行われる。即ち、ヘイズ処理部605は、ローパスフィルタ601a、601b、601cの各々から得られる入力信号602a、602b、602cの大きさから、ウェハ001上の場所毎のヘイズの大小に対応する信号をヘイズ信号として出力する。

30

【0044】

また、微小ラフネスの空間周波数分布に応じてラフネスからの散乱光量の角度分布が変わるため、互いに異なる方向に設置された複数の検出系11a、11b、11cからの出力信号であるヘイズ信号602a、602b、602cをヘイズ処理部606への入力とすることで、ヘイズ処理部606からは、それらの強度比などから微小ラフネスの空間周波数分布に関する情報を得ることが出来る。このようにヘイズ信号から得られた情報の処理により、ウェハの表面状態の情報を併せて得ることが可能となる。

40

【0045】

制御ユニット14は前記照明光学系ユニット10、検出光学系ユニット11、信号処理ユニット12、ステージユニット13を制御する。

【0046】

スキャン中にウェハが検出光学系11の焦点範囲から外れると、並列型光子計数センサ115a、115b、115cで検出される微弱散乱光の状態が変化し、欠陥検出感度が低下する。このためスキャン中にはZステージ(図示せず)により常にウェハ001の表面のz位置(高さ方向の位置)が検出光学系ユニット11の焦点範囲にあるように制御される。このウェハ001の表面のz位置の検出は、図示していないウェハ001の表面のz位置検出手段により行われる。

50

【0047】

焦点外れは、並列型光子計数センサ115a、115b、115c上に形成される欠陥の散乱光像の状態に大きく影響を与え、欠陥検出感度を大幅に低下させる要因となる。これを避けるために本実施例では、照明光学系ユニット10と検出光学系ユニット11とを以下のように構成した。すなわち検出光学系ユニット11において同一の構造で構成された各検出ユニット11a、11b、11cは、その光軸110a、110b、110cは一つの平面内（以下、この平面を検出光軸面と呼称する）に検出仰角を変えて配置しており、この検出光軸面が、検査対象面ウェハ001の表面)の法線（z方向）と細線状の照明領域1000の長手方向（y方向：S2方向）とが成す平面に対しほぼ直交するように構成する。また、検出ユニットの光軸110a、110b、110cは、照明光学系の光軸1010とほぼ一点で交差するように構成する。

10

【0048】

このように構成することにより、同一構成の検出光学系11a、11b、11cを複数配置して異なる方向から散乱光を検出する場合において、検出光学系ユニット11の並列型光子計数センサ115a、115b、115cが検出する検査面上の検出範囲の各点と各々の並列型光子計数センサ115a、115b、115cの各検出面との距離を同一に保つことが可能となり、特段の機構を設けることなく、並列型光子計数センサ115a、115b、115cの検出領域全面で合焦点で散乱光を検出することが可能となる。

【0049】

また、先に説明した本実施例の対物レンズ111a、111b、111cは、円形レンズの左右を直線状に切除して左右対称形状を持つ長円形レンズを使用するが、切除した直線部は、先に説明した検出光軸面に垂直となるように配置する。このことにより、複数の検出ユニットを配置した場合、通常の円形のレンズを使用した場合と比較して、検出開口を大きくして散乱光の捕捉効率を向上することが可能となると共に、並列型光子計数センサ115a、115b、115cの検出領域全面で合焦点で散乱光を得ることを可能にした。また、光子計数センサ115a、115b、115cの長手方向と検出ユニット11a、11b、11cとの光軸とが成す平面に対して対称な光学系を構成することにより検出散乱光を光子計数センサ115a、115b、115cの検出領域全面で均等とすることを可能とする。これにより試料表面からの散乱光の光子計数を並列的に行って、欠陥検出感度の向上と併せて、検査スループットの向上を可能とする。

20

30

【0050】

本実施例の長円形レンズの構成について、図2～図5を用いて説明する。図2は、長円形レンズ111の単レンズ形状を説明する長円形レンズの三面図である。左上は長円形レンズ111の平面図、右は側面図、下は正面図である。長円形レンズ111の平面形状は図2の左上の平面図に示すように、円形レンズの左右を2つの直線状の切断面1110で切除してほぼ左右対称となる長円形になるように加工する。また、正面形状は、図2の下側に示すように、前記単レンズを組合せて組レンズとして構成するときの検出開口角（短辺方向）を w_2 としたときレンズ焦点面からの距離 L に対しレンズの半幅 $W_2 = L \cdot \tan w_2$ となるよう、斜めに切除する。これによりレンズの検出開口は、図2の右側の側面図に示したy方向の開口角 w_1 と図2の下側の正面図に示したx方向の開口角 w_2 とで異なるものとなり、 $w_1 > w_2$ となるが、これを実際の装置上でどのように配置するかは次に説明する。

40

【0051】

図3は、前記説明した長円形レンズ111の検査装置上での配置を説明する図である。図3の上側は平面図、図3の下側は正面図である。なお、図3の上側の平面図（xy平面内）で3つの長円形対物レンズ111a、111b、111cはいずれも同一の開口を持つものであるが、対物レンズ111b、111cは光軸が傾いており、これをxy平面内を見た図として示しているため、対物レンズ111aよりも見た目が小さく表示されているものである。3つの長円形対物レンズ111a、111b、111cは、その焦点位置をウェハ001の表面の細線状の照明領域1000の位置に合わせるように配置する。こ

50

の時、ウェハ 001 の表面に対する法線 1111 と、細線状の照明領域 1000 の長手方向（y 軸方向）との成す面に対してほぼ垂直な、検出光軸面 1112 の同一平面内に長円形対物レンズ 111a、111b、111c の光軸を配置し、且つ、これら光軸がウェハ 001 の表面に対する法線 1111 を中心に対称に配置する。レンズ切断面 1110a、1110b、1110c はなるべく近接させて平行に配置する。また、この時レンズ切断面 1110a、1110b、1110c の方向は細線状の照明領域 1000 の長手方向と平行に配置され、検査時にはこの方向と直角な方向 1300 にウェハを走査する。レンズの検出開口は x 方向に w_2 であり、y 方向に w_1 である。単独のレンズだけで見ると、開口の大きさは x 方向 < y 方向であるが、複数のレンズ 111a、111b、111c を組み合わせることにより、全体的には x 方向の開口を大きくする構成である。

10

【0052】

図 4 は、実際の対物レンズが複数の単レンズの組合せから成る組レンズであることを想定して、これを長円形レンズで構成した場合の実施例を説明する図である。図 4 では対物レンズ 111a、111b、111c をそれぞれ 5 枚の組レンズで構成した例を示している。この場合、必ずしもすべてのレンズを長円形レンズとする必要は無い。ウェハ 001 からの距離が離れるに従ってレンズの光軸間の距離も離れるため、円形レンズではレンズ同士が干渉を起こす部分のみを長円形レンズで構成すればよい。

【0053】

本実施例では、円形レンズのままではレンズ同士が干渉するため、ウェハ側に近い 4 枚のレンズを長円形で構成した実施例である。切断の基本的な状態は図 2 で説明したものと
同じである。すなわち対物レンズ 111a、111b、111c の先端 4 枚を切断面 1110a、1110b、1110c により、検出開口角 w となるように切断したものである。レンズ間で干渉を起こさない後側 1 枚は切断不要であるため切断していない。

20

【0054】

また、図 3 で説明したのと同様、3 つの対物レンズ 111a、111b、111c は、その焦点位置を細線状の照明領域 1000 の位置に焦点を合わせるように配置する。この時、ウェハ 001 の表面に対する法線 1111 と、細線状の照明領域 1000 の長手方向（y 軸方向・図示せず）との成す面に対してほぼ垂直な同一平面（検出光軸面 1112 に相当）に対物レンズ 111a、111b、111c の光軸を配置し、且つ、これら光軸がウェハ 001 の表面に対する法線 1111 を中心に対称に配置する。また、レンズ切断面 1110a、1110b、1110c はなるべく近接させて平行に配置する。

30

【0055】

図 5 A 及び図 5 B は、長円形レンズを採用した場合の利点について説明する図である。図 5 A は同一の円形レンズ 111na、111nb、111nc により異なる 3 つの検出方向から検出を行なう場合の開口を示すものである。なお、レンズの開口はいずれも同一の大きさで円形であるが、対物レンズ 111nb、111nc は光軸が傾いており、これを x y 平面内で見た図として示しているため、対物レンズ 111na よりも見た目が小さく表示されているものである。

【0056】

この場合、レンズの干渉を避けるためにレンズの開口を小さくする必要があり、円形開口であるため x 方向にも y 方向にも開口は小さくする必要がある。本実施例では、検出光学系は結像光学系でウェハの像を形成することを前提としており、そのための条件として複数の対物レンズの光軸を同一平面内に配置することを想定しているため、その前提で円形レンズを複数個配置した場合、検出開口が非常に制限され、特に y 方向の検出開口が小さくなるという支障が生じる。

40

一方で図 5 B に示すように、長円形レンズ 111a、111b、111c を採用して、個々の対物レンズの x 方向と y 方向の開口を任意に設定できるようにすれば、一つの対物レンズはレンズが干渉する x 方向のみの開口を小さくして、その分複数個並べれば良く、また y 方向の開口は、x 方向の開口と関係なく必要な大きさと設定することが可能であり、複数の検出光学系で結像検出を行なう場合でも、円形レンズで構成した場合と比較べて、

50

欠陥から発生する微弱散乱光の検出効率を向上して欠陥検出感度を向上させることが可能となる。

上記の実施例においては、検出光学系ユニット 11 の 3 つの検出ユニット 11 a ~ 11 c を同じ構成の光学系で構成した例を説明したが、本発明はこれに限ることなく、第 1 の検査ユニット 11 a の対物レンズ 111 a を第 2 及び第 3 の検出ユニット 11 b 及び 11 c の対物レンズ 111 b 及び 111 c よりも大きくして、ウェハ 001 に対して垂直方向及びその近傍に散乱した光を第 1 の検査ユニット 11 a の対物レンズ 111 a でより多く集光して結像するように構成してもよい。検出光学系をこのように構成することにより、第 1 の検査ユニット 11 a の NA をより大きくすることができ、第 1 の検査ユニット 11 a でより微細な欠陥を検出することができる。

10

【0057】

図 12 には、検出光学系ユニット 11 の対物レンズ 111、制御開口フィルタ 112、偏光フィルタ 113、結像レンズ 114、一軸結像系 1140 と並列型光子計数センサ 115 の関係を示す（検出光学系ユニット 11 の 3 つの検査ユニット 11 a、11 b、11 c は同じ構造であるので、図 12 の説明においては、各構成部品の添え字の表示を省略する。）。ウェハ 001 上の欠陥 111 の散乱光像（点像）は対物レンズ 111、結像レンズ 114 から構成される結像光学系により、ウェハ面と共役な試料面共役面 205 に結像されるが、このとき、一軸結像系 1140 により、欠陥の散乱光像は一軸方向（S1 の方向）に引き伸ばされた像 225 として結像される。並列型光子計数センサ 115 は、そのセンサ面を試料面共役面と実質的に同一となるように設置され、これにより欠陥の散乱光像は S1 の方向において並列型光子計数センサ 115 上の複数の APD 素子 116（図 8 の APD 素子 231 に相当）に跨って形成される。

20

【0058】

一軸結像系 1140 は、円周走査方向（円周接線方向）S1 に対応する方向のみ光を集光させる作用を持ち、シリンドリカルレンズ等のアナモルフィック光学素子により構成される。一軸結像系 1140 の作用により、試料共役面 205 上すなわち並列型光子計数センサ 115 のセンサ面上に形成される欠陥の散乱光像 225 は円周走査方向 S1 に対応した方向に拡大される。一方、S1 と直角な S2 の方向に対して一軸結像系 1140 は結像に影響を与えず、試料面共役面 205 に形成される像の S2 方向の大きさは、結像レンズ 114 の条件で規定される。即ち、試料共役面 205 上における欠陥の散乱光像 225 は、S1 方向と S2 方向とで異なる拡大率の像となる。

30

【0059】

試料共役面 205 上の欠陥像（点像）の大きさは、照明光の波長より小さい微小欠陥を想定すると、対物レンズ 111 および結像レンズ 114 の光学的解像度によって定まる。一般に、顕微鏡レンズなどに代表される、光学系の波面収差が 0.1 以下（ストレール比 0.8 以上）などで定義される、高精度な光学系である「無収差光学系」においては、対物レンズの NA（Numerical Aperture）を NA_o 、対物レンズ 111 および結像レンズ 114 からなる結像光学系の倍率を M 、照明光源の波長 λ により、像の大きさ W は、レーリーの結像理論により以下の（数 1）により定まる。

$$W = 1.22 \times \lambda / (NA_o / M) \quad \dots (数 1)$$

40

ここで、 $\lambda = 0.355 \text{ (}\mu\text{m)}$ 、 $NA_o = 0.8$ 、 $M = 20 \text{ (倍)}$ とすると、無収差光学系を使用した場合の、試料共役面 205 上すなわち並列型光子計数センサ 115 のセンサ面上に形成される欠陥の散乱光像 225 の、一軸結像系で引伸ばされない S2 方向の欠陥像の大きさ W は $10.8 \text{ }\mu\text{m}$ となる。しかし、先に実施例として示した並列型光子計数センサ 115 の APD 素子 116（231）の大きさ $25 \text{ }\mu\text{m}$ と比較しても、また、並列型光子計数センサ 115 の 1ch の S2 方向の幅 $500 \text{ }\mu\text{m}$ （20 素子分）と比較しても不必要に小さいものとなる。

【0060】

光子計数センサによる光量計測の原理から、欠陥の散乱光像 225 の並進走査方向である S2 方向の大きさは 1ch の並進走査方向である S2 方向の幅（20 素子）に相当する

50

500 μm に拡大することが必要である。無収差光学系を前提とすれば、並列型光子計数センサ115のセンサ面を試料共役面205から離間して設置し、焦点をセンサ面から外すことで散乱光像を拡大することも考えられるが、無収差光学系は収差補正のためにレンズ枚数も多くなり、このような高精度の光学系をわざわざ焦点を外して使用することは、不要に高精度の光学系を使用していることとなり、光学系のコストを不要に増大させることとなる。

【0061】

すなわち、本実施例における結像光学系はそもそも無収差光学系の必要は無く、ある程度の収差が許容される。上記実施例においては、レーリーの結像理論から計算される点像(10.8 μm)の大きさの約46倍の大きさ(500 μm)で、共役面205に欠陥の散乱光像を結像出来れば良い。このように光学系の収差条件を緩めることの利点は、無収差光学系とした場合と比較して、対物レンズ111および結像レンズ114の枚数を減らし、加工精度、組立精度の条件も緩和することが可能となり、低コストの光学系で高感度検査を行うことが可能となることである。

【0062】

一方、本実施例での並列型光子計数センサ115は円周接線方向に相当するS1の方向には、各chともAPD素子116(231)が160素子並んだ4mmの全長を持つ。これに関しては一軸結像系1140により欠陥の散乱光像を、並列型光子計数センサ115のS1方向の長さと同様かそれ以下となるように引伸ばすようにする。

【0063】

光学系を以上のように構成することにより、欠陥からの散乱光像を、並列型光子計数センサ115の1chの大きさに合わせるように結像して、欠陥からの散乱光の光子計数による光量測定を、必要なダイナミックレンジ(欠陥からの散乱光を検出するAPDの素子数=欠陥からの散乱光像の範囲内にあるAPDの素子数に相当)で行うことが可能となる。

【0064】

検出光学系11を構成する対物レンズ111、結像レンズ114の構成の実施例について図13A、図13B、及び図14A、図14Bを用いて説明する。

【0065】

図13Aは検出光学系(結像光学系)11を構成するレンズの全系を示す。なお、本図ではレンズを切断しない状態での構成を図示している。111が対物レンズ、114が結像レンズである。対物レンズは4枚のレンズ、結像レンズは2枚のレンズで構成されており、対物レンズのNAは0.8、倍率は20倍である。使用波長は355nmを想定している。NA0.8という高NAの対物レンズとすることで、ウェハ上の欠陥から発生する散乱光を広範囲で効率よく検出することが可能となる。

【0066】

図13Bは、図13Aに示した検出光学系(結像光学系)の結像性能を示すスポットダイヤグラムである。図13Bの上段は視野高さで焦点がウェハ001の表面にあった状態を±0mmとしている。図13Bの下段はそれぞれの視野高さにおいて観察される像を示している。これはウェハ面上の点からの散乱光がセンサ面上で結像される状態を示すものであり、視野内全域で直径500 μm 程度で均一に点像が形成されていることを示すものである。先にも説明したように、顕微鏡の結像光学系の様に無収差光学系であれば、スポットダイヤグラムは10.8 μm が得られるが、本発明における検出光学系はそこまでの収差性能(分解能)を必要としないため、非常に少ないレンズ枚数で、高NAの光学系を構成することを可能としている。

【0067】

図14Aは図13Aに示した検出光学系に一軸結像系1140を追加した構成であり、結像レンズとセンサ面の間にシリンドリカルレンズを設置したものである。図14Bは図13Bで示した欠陥の散乱光像を一軸結像系1140で引伸ばした像を示すスポットダイヤグラムである。図14Bの上段は視野高さで焦点がウェハ001の表面にあった状態を

10

20

30

40

50

± 0 mmとしている。図 1 4 B の下段はそれぞれの視野高さにおいて観察される像を示している。視野内全域で均等に S 1 方向に 4 mm 引伸ばされている。このような光学系構成をとることで、並列型光子計数センサの各 c h の各素子に対して、均等に欠陥の散乱光を入射させることが可能となり、光子計数による欠陥検出が可能となる。

【 0 0 6 8 】

並列型光子計数センサ 2 2 4 の変形例 1 の構成図を図 1 1 A 及び図 1 1 B に示す。A P D 素子を配列した並列型光子計数センサ 2 2 4 において、個々の A P D 素子を小さくした場合、A P D 素子間に配置される配線やクエンチング抵抗からなる不感帯の面積が、受光部の有効面積に対して相対的に大きくなるため、並列型光子計数センサの開口率が低下し、光検出効率が低下する問題がある。そこで図 1 1 A に示すように並列型光子計数センサ 2 3 4 の受光面の前に、マイクロレンズアレイ 2 2 8 を設置することで、素子間の不感帯領域に入射する光の割合を低減し、実効的な効率を向上させることが出来る。マイクロレンズアレイ 2 2 8 は、A P D 素子 2 3 1 の配列ピッチと同じピッチで微小な凸レンズが並んだものであり、並列型光子計数センサ 2 3 4 への入射光の主光軸と平行な光線（図 1 1 A の点線）が対応する A P D 素子 2 3 1 の受光面の中央付近に入射するように設置される。

10

【 0 0 6 9 】

並列型光子計数センサ 2 2 4 の変形例 2 の構成図を図 1 1 B に示す。A P D 素子 2 3 1 は一般的にはシリコン系の材料を用いたデバイスであるが、シリコンデバイスは一般的に紫外光領域での量子効率が低下する。これを改善するためには、シリコンナイトライド、ガリウムナイトライド系の材料を用いたデバイスとするか、あるいは図 1 1 B に示すように図 1 1 A で説明したマイクロレンズアレイ 2 2 8 と、シリコンプロセスで製作された A P D 素子 2 3 1 の間に波長変換材料（シンチレータ）2 3 5 を設置して、紫外光を長波長光（可視光等）に変換して、A P D 素子 2 3 1 の受光面に長波長光を入射させることで実質的に変換効率を上げることが可能となる。

20

【 実施例 2 】

【 0 0 7 0 】

実施例 2 として、実施例 1 で説明した図 1 の構成に、後方散乱光を検出する光学系を追加した構成について説明する。本実施例による検査装置の構成を図 1 5 A 乃至図 1 5 C に示す。本実施例において、実施例 1 で説明した図 1 の構成と同じ構成のものについては同じ番号を付してある。

30

【 0 0 7 1 】

図 1 5 A に示した構成のうち、照明光学系ユニット 1 0 及び検出光学系ユニット 1 1 0 の第 1 ~ 第 3 の検出ユニット 1 1 a、1 1 b、1 1 c は、実施例 1 で説明した図 1 の構成と同じである。又、ステージユニット 1 3 も実施例 1 で説明した図 1 の構成と同じである。

【 0 0 7 2 】

検出光学系ユニット 1 1 0 の後方散乱光検出ユニット 1 5 は、図 1 5 B に示すように、ウェハ 0 0 1 に対して傾斜して取り付けられており、照明光学系ユニット 1 0 により照明光が照射されたウェハ 0 0 1 上の細線状の領域 1 0 0 0 から発生した散乱光のうち、後方に散乱した光を検出する。

40

【 0 0 7 3 】

本実施例による検査装置では、検出光学系ユニット 1 1 0 の第 1 ~ 第 3 の検出ユニット 1 1 a、1 1 b、1 1 c では飽和してしまうような、散乱光の光量が比較的多い（大きい）欠陥からの散乱光を後方散乱光検出ユニット 1 5 で検出することにより、欠陥検出のダイナミックレンジを拡大する構成となっている。

【 0 0 7 4 】

後方散乱光検出ユニット 1 5 の構成を図 1 5 C に示す。後方散乱光検出ユニット 1 5 は、対物レンズ 1 5 1、開口制御フィルタ 1 5 2、偏光フィルタ 1 5 3、集光レンズ 1 5 4、検出器 1 5 6 を備えている。開口制御フィルタ 1 5 2 及び偏光フィルタ 1 5 3 の機能は

50

、実施例１で説明した開口制御フィルタ１１２ａ～ｃ及び偏光フィルタ１１３ａ～ｃと同じである。検出器１５１は、光電子増倍管で構成されており、ウェハ００１上の細線状の領域１０００から発生した散乱光のうち、対物レンズ１５１に入射し、開口制御フィルタ１５２及び偏光フィルタ１５３を通過した後に集光レンズ１５４で集光された光を検出する。

【００７５】

検出器１５６の感度は、並列型光子計数センサ１１５ａ～ｃと比べて、検出感度は低い。

【００７６】

ここで、後方散乱光検出ユニット１５は結像系ではなく集光系となっているので、ウェハ００１上の欠陥からの散乱光を検出しても、ウェハ００１上の細線状の領域１０００における欠陥の存在領域を特定することができない。しかし、後方散乱光検出ユニット１５で検出されるような散乱光は、第１～第３の検出ユニット１１ａ、１１ｂ、１１ｃでも検出される。ここで第１～第３の検出ユニット１１ａ、１１ｂ、１１ｃは、実施例１で説明したように結像系で構成されているために、ウェハ００１上の細線状の領域１０００内での散乱光の発生位置を特定することができる。

【００７７】

したがって、後方散乱光検出ユニット１５で検出した散乱光の光量の情報と第１～第３の検出ユニット１１ａ、１１ｂ、１１ｃで検出した散乱光発生位置情報とを組み合わせることにより、ウェハ００１上の比較的大きな欠陥の位置と大きさの情報を得ることができる。

【００７８】

この処理は、信号処理ユニット１２０の信号処理部１２５にて実施する。即ち、後方散乱光検出ユニット１５で検出した散乱光検出信号は、信号処理ユニット１２０の信号処理部１２３に入力してノイズ除去処理が施され、次に信号処理部１２５に入力する。また、検出ユニット１１ａ、１１ｂ、１１ｃで検出した信号は、それぞれ信号処理部１１２ａ、１１２ｂ、１１２ｃに入力してフィルタリング処理された後に信号処理・制御部１２２で処理されて微細な欠陥が検出される。一方、検出ユニット１１ａ、１１ｂ、１１ｃでウェハ００１からの強い散乱光を受光した場合には、光子計数センサ１１５ａ、１１５ｂ、１１５ｃは何れも飽和してしまい、信号処理・制御部１２２には飽和した一定のレベルの信号が入力する。この飽和した信号を受けた信号処理・制御部１２２は、飽和した信号を発生させたウェハ００１上の散乱光発生位置情報を信号処理部１２５に送る。信号処理部１２５では、後方散乱光検出ユニット１５での検出信号のレベルから欠陥の大きさを判定し、この判定結果と信号処理・制御部１２２からの散乱光発生位置情報とを統合して、ウェハ００１上の欠陥の位置と大きさを求めることができる。

【００７９】

なお、本実施例では、比較的大きな散乱光を検出するための光学系として後方散乱光検出ユニット１５を設けた例を説明したが、前方散乱光を検出するための光学系や、仰角の異なる後方又は前方散乱光を検出するための光学系を追加してもよい。

【００８０】

本実施例によれば、光電子増倍管で構成された検出器１５１で検出できない程度の微小な欠陥を第１～第３の検出ユニット１１ａ、１１ｂ、１１ｃで検出することができるので、欠陥検出のダイナミックレンジを拡大することができる。

【符号の説明】

【００８１】

００１...ウェハ ０１...制御ユニット １０...照明光学系ユニット １０１...光源
１０２...偏光状態制御手段 １０３...ビーム成型ユニット １０４...細線集光光学系
１０００...細線状の照明領域 １１...検出光学系 １１ａ、１１ｂ、１１ｃ...検出光学系ユニット
１１１ａ、１１１ｂ、１１１ｃ...対物レンズ １１２ａ、１１２ｂ、１１２ｃ...開口制御フィルタ
１１３ａ、１１３ｂ、１１３ｃ...偏光フィル

10

20

30

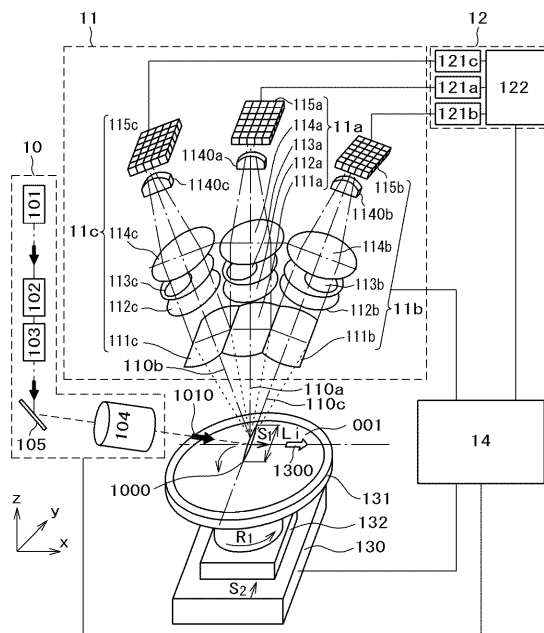
40

50

タ 114 a、114 b、114 c ... 結像レンズ 115 a、115 b、115 c ...
 並列型光子計数センサ 12、120 ... 信号処理ユニット 121 a、121 b、1
 21 c ... 信号処理部 13 ... ステージユニット 14、140 ... 制御ユニット 1
 5 ... 後方散乱光検出ユニット。

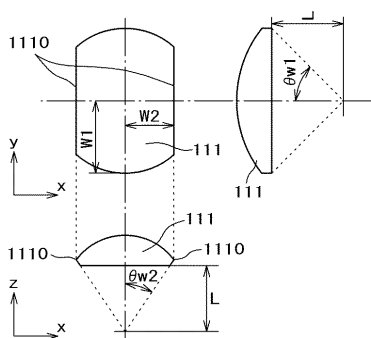
【図 1】

図 1



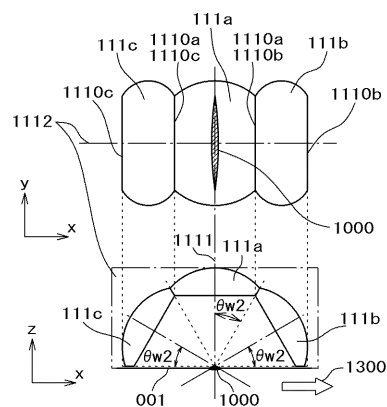
【図 2】

図 2

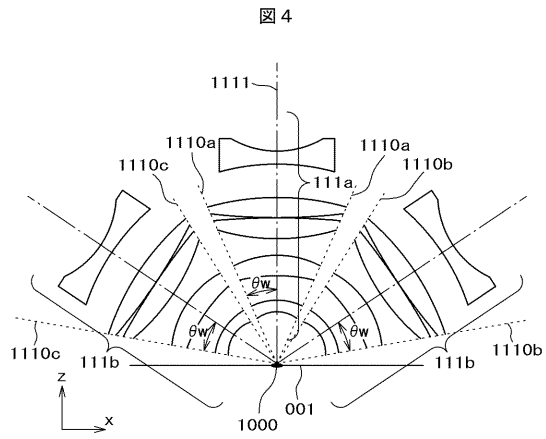


【図 3】

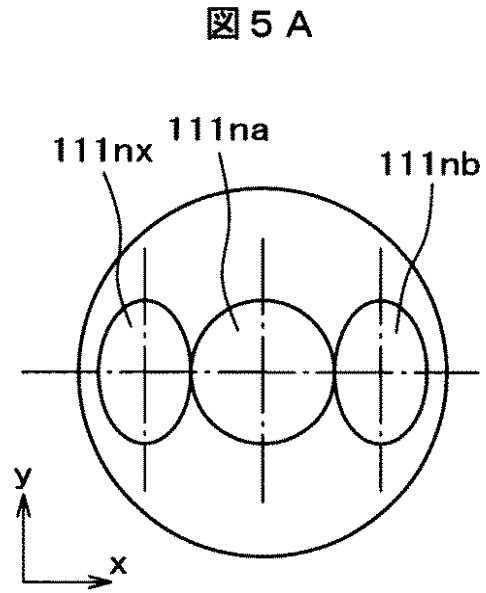
図 3



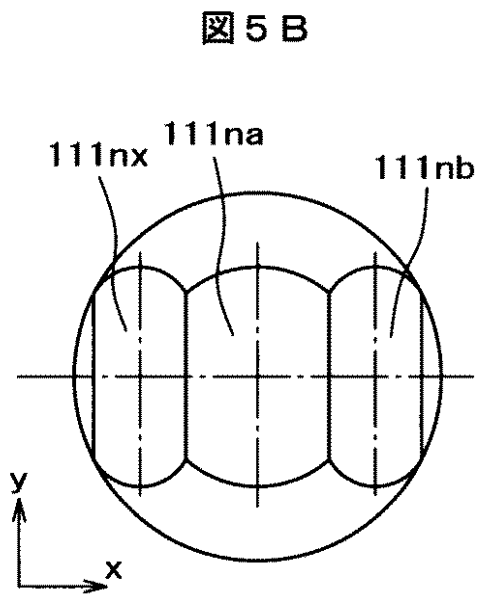
【図 4】



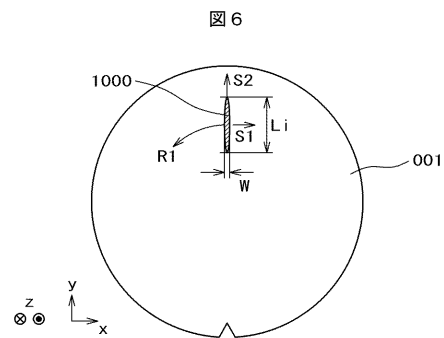
【図 5 A】



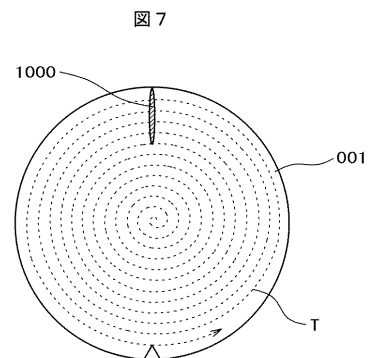
【図 5 B】



【図 6】

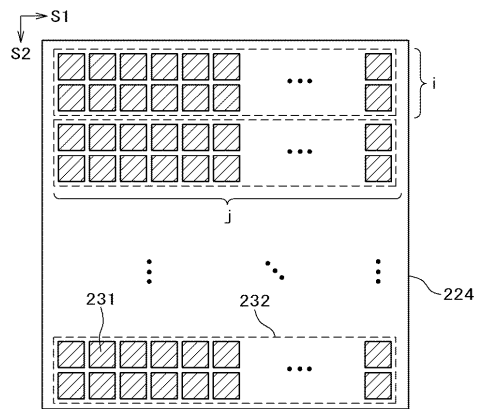


【図 7】



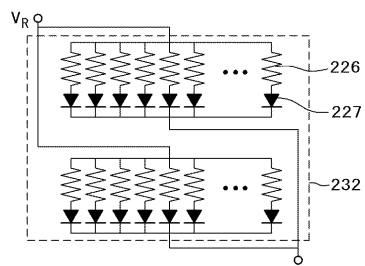
【図 8】

図 8



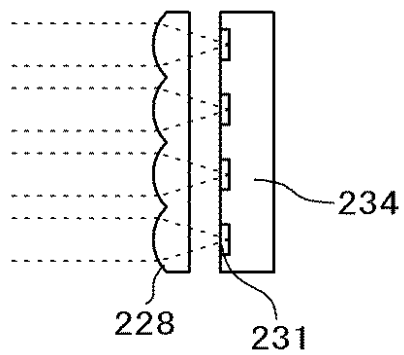
【図 9】

図 9



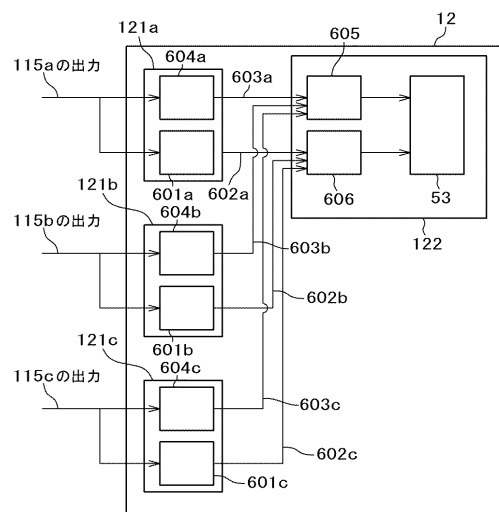
【図 11 A】

図 11 A



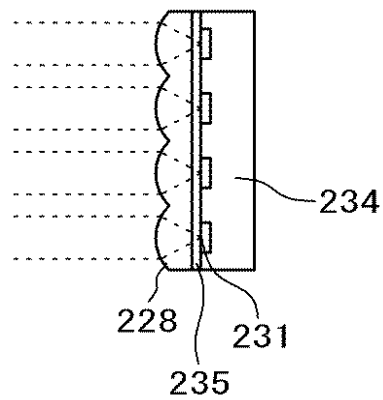
【図 10】

図 10



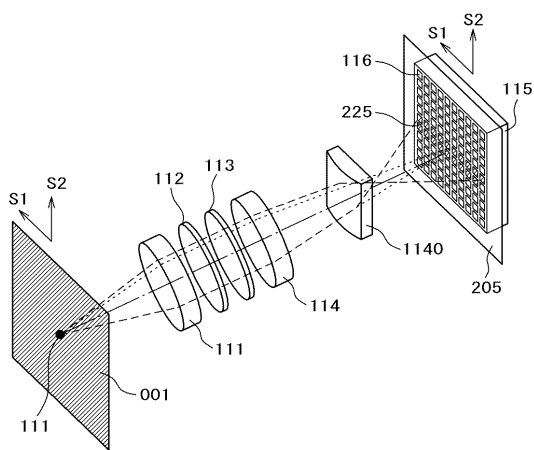
【図 11 B】

図 11 B



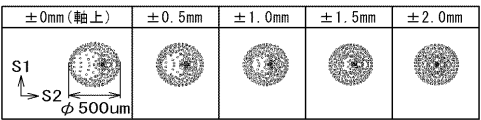
【図 1 2】

図 1 2



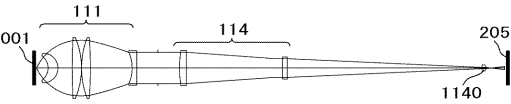
【図 1 3 B】

図 1 3 B



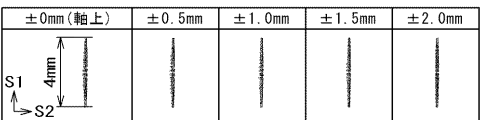
【図 1 4 A】

図 1 4 A



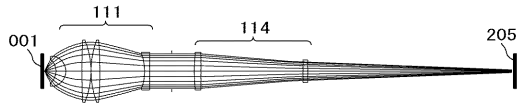
【図 1 4 B】

図 1 4 B



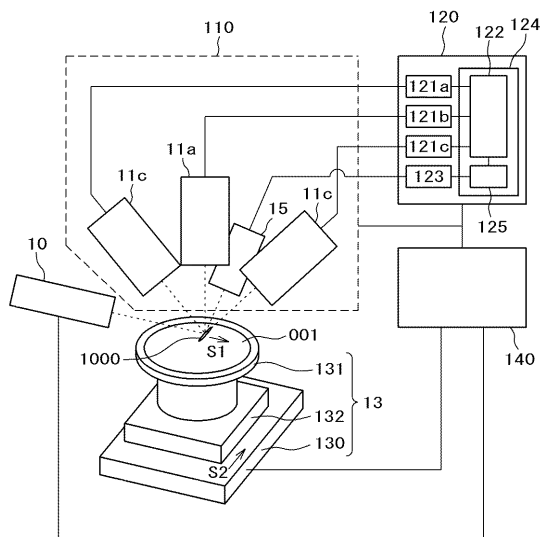
【図 1 3 A】

図 1 3 A



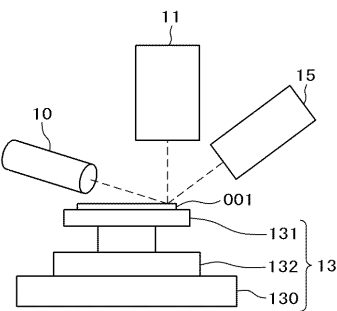
【図 1 5 A】

図 1 5 A



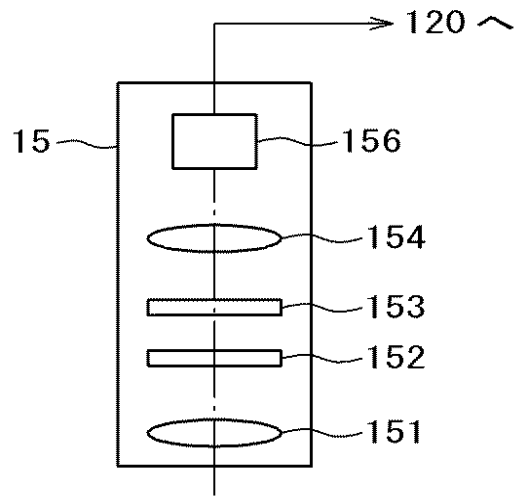
【図 1 5 B】

図 1 5 B



【図 15 C】

図 15 C



フロントページの続き

(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 株式会社日立ハイテクノロジーズ 那珂事業所内

審査官 小野寺 麻美子

(56)参考文献 国際公開第 2 0 1 2 / 0 6 0 0 5 7 (W O , A 1)

特開 2 0 0 8 - 2 6 1 7 9 0 (J P , A)

特開 2 0 0 1 - 2 3 5 4 2 9 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 N 2 1 / 8 4 - G 0 1 N 2 1 / 9 5 8

G 0 1 B 1 1 / 3 0

H 0 1 L 2 1 / 6 6