

明 細 書

発明の名称：半導体試料の検査装置及び検査方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体試料の検査装置及び検査方法に関する。

背景技術

[0002] O B I R C H (Optical Beam Induced Resistance Change) 法を用いて半導体試料の欠陥箇所を検査する半導体試料の検査装置が知られている（たとえば、特許文献1）。検査装置は、半導体試料に電圧を印加し、半導体試料から出力された電流信号に基づいて、レーザビームの照射及び走査に伴う半導体試料の電気特性を測定する。検査装置は、測定された電気特性に基づいて、半導体試料の欠陥箇所を検査する。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平6－300824号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] O B I R C H法を用いた半導体試料の検査装置において、半導体試料から出力される電流信号の強度が向上できれば、レーザビームの照射及び走査に伴う半導体試料の電気特性の変化量が向上する。この電気特性の変化量が向上するほど、半導体試料の欠陥箇所の検査精度も向上する。このため、半導体試料に供給する電力の向上が求められている。しかしながら、O B I R C H法を用いた検査装置は、レーザビームの照射及び走査、顕微鏡部の動作、並びに測定結果の画像処理などの様々な機能に電力を要する。このため、検査装置の内部電源から半導体試料に供給できる電力は限られている。

[0005] 半導体試料に供給する電力を向上するために、検査装置の内部電源ではなく、外部電源装置から半導体試料に電力を供給することが考えられる。しかしながら、外部電源装置を用いた場合、半導体試料から出力される電流信号

に外部電源装置に起因するノーマルモードノイズが混入するおそれがある。ノーマルモードノイズは、たとえばスイッチングノイズである。半導体試料から出力される電流信号にノイズが混入すれば、半導体試料の電気特性の測定結果にもノイズの影響が及ぶ。このため、外部電源装置によって半導体試料に供給される電力が向上したとしても、ノイズの影響でかえって半導体試料の欠陥箇所の検査精度が低下するおそれがある。

[0006] 本発明の一つの態様は、半導体試料の欠陥箇所の検査精度を向上できる半導体試料の検査装置を提供することを目的とする。本発明の別の態様は、半導体試料の欠陥箇所の検査精度を向上できる半導体試料の検査方法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

[0007] 本発明の一つの態様に係る半導体試料の検査装置は、外部電源装置によって電圧が印加されていると共に光が照射及び走査されている半導体試料の電気特性を測定し、当該電気特性に基づいて半導体試料の欠陥箇所を検出するための検査装置である。この検査装置は、参照信号出力部と、除去処理部と、ゲイン設定部と、電気特性測定部とを備える。参照信号出力部は、半導体試料と電氣的に並列に、外部電源装置に接続されていると共に、外部電源装置の出力に応じた参照信号を出力する。除去処理部は、外部電源装置による電圧の印加によって半導体試料から出力された被検信号に対して外部電源装置の出力によるノイズ成分の除去処理を参照信号に基づいて行い、除去処理が行われた被検信号を処理信号として出力する。ゲイン設定部は、処理信号の強度に基づいて、外部電源装置の出力に応じて参照信号を出力する参照信号出力部のゲインを設定する。電気特性測定部は、ゲイン設定部によってゲインが設定された参照信号出力部からの参照信号に基づき除去処理が行われた処理信号に基づいて、半導体試料の電気特性を測定する。

[0008] 上記一つの態様において、検査装置は、半導体試料と電氣的に並列に外部電源装置と接続されていると共に、外部電源装置の出力に応じた参照信号を出力する参照信号出力部を備えている。除去処理部は、外部電源装置の出力

によるノイズ成分の除去処理を参照信号に基づいて被検信号に対して行った処理信号を出力する。電気特性測定部は、処理信号に基づいて、半導体試料の電気特性を測定する。この場合、上記検査装置では、外部電源装置を用いて半導体試料に供給する電力を向上することと、半導体試料の電気特性の測定結果に及ぶノイズの影響を低減することとを両立することができる。この結果、半導体試料の欠陥箇所の検査精度が向上され得る。上記検査装置は、ゲイン設定部を備える。ゲイン設定部は、処理信号の強度に基づいて、参照信号出力部のゲインを設定する。電気特性測定部は、ゲイン設定部によってゲインが設定された参照信号出力部からの参照信号に基づき除去処理が行われた処理信号に基づいて、半導体試料の電気特性を測定する。この場合、参照信号出力部のゲインが自動で適切に設定される。この結果、処理信号におけるノイズ成分が高度に除去され得る。したがって、半導体試料の電気特性の測定結果に及ぶノイズの影響が高度に低減され得る。

[0009] 上記一つの態様において、ゲイン設定部は、互いに異なる複数の値にゲインを設定したそれぞれの場合における処理信号の強度を取得し、処理信号の強度が最小になると判断された値にゲインを設定してもよい。この場合、処理信号におけるノイズ成分がより簡単かつ高度に除去され得る。

[0010] 上記一つの態様において、ゲイン設定部は、ゲインの値に対応するビット列について、二分探索法によってビット列の各ビットの値を最上位ビット側から決定することで、処理信号の強度が最小になると判断された値にゲインを設定してもよい。この場合、ゲイン設定部における処理負担が低減されると共に、処理信号におけるノイズ成分を除去する参照信号のゲインの値がより高速に設定され得る。

[0011] 上記一つの態様において、参照信号出力部は、参照信号を出力する増幅器を含んでもよい。ゲイン設定部は、増幅器の周波数帯域における最小周波数の周期よりも長い期間、処理信号の強度をサンプリングすることで、処理信号の強度を取得してもよい。この場合、ノイズ成分の周波数が低くともノイズ成分の一周期の期間にサンプリングが行われるため、ゲイン設定部によ

てゲインの値が適切に設定され得る。

[0012] 上記一つの態様において、ゲイン設定部は、増幅器の周波数帯域における最大周波数の周期よりも短いサンプリング周期によって処理信号の強度をサンプリングしてもよい。この場合、ノイズ成分の周波数が高くともノイズ成分の一周期の間にサンプリング値が取得されるため、ゲイン設定部によってゲインの値が適切に設定され得る。

[0013] 上記一つの態様において、ゲイン設定部は、処理信号の強度のピーク値を取得し、当該ピーク値に基づいてゲインを設定してもよい。ピーク値は、たとえば、処理信号の強度の実効値よりも簡易な処理で取得できる。したがって、ゲイン設定部における処理負担が低減され得る。

[0014] 本発明の別の態様に係る半導体試料の検査方法において、外部電源装置によって半導体試料に電圧が印加される。被検信号が取得される。被検信号は、外部電源装置による電圧の印加に応じて半導体試料から出力される。参照信号が取得される。参照信号は、外部電源装置の出力に応じて半導体試料と電氣的に並列に外部電源装置に接続された参照信号出力部から出力される。外部電源装置によって電圧が印加されている半導体試料に対して、光が照射及び走査される。処理信号が取得される。処理信号は、外部電源装置の出力によるノイズ成分の除去処理が参照信号に基づいて被検信号に対して行われた信号である。処理信号の強度に基づいて、外部電源装置の出力に応じて参照信号を出力する参照信号出力部のゲインが設定される。ゲインが設定された参照信号出力部からの参照信号に基づき除去処理が行われた処理信号に基づいて、半導体試料の電気特性が測定される。半導体試料の電気特性に基づいて、半導体試料の欠陥箇所が出力される。

[0015] 上記別の態様では、半導体試料と電氣的に並列に外部電源装置と接続されていると共に、外部電源装置の出力に応じた参照信号が取得される。この参照信号に基づいて、処理信号が取得される。処理信号は、外部電源装置の出力によるノイズ成分の除去処理を参照信号に基づいて被検信号に対して行うことで取得される。この処理信号に基づいて、半導体試料の電気特性が測定

される。この場合、外部電源装置を用いて半導体試料に供給する電力を向上することと、半導体試料の電気特性の測定結果に及ぶノイズの影響を低減することとを両立することができる。この結果、半導体試料の欠陥箇所の検査精度が向上され得る。参照信号出力部のゲインは、処理信号の強度に基づいて設定される。ゲインが設定された参照信号出力部からの参照信号に基づき除去処理が行われた処理信号に基づいて、半導体試料の電気特性が測定される。この場合、処理信号におけるノイズ成分が高度に除去され得る。したがって、半導体試料の電気特性の測定結果に及ぶノイズの影響が高度に低減され得る。

発明の効果

- [0016] 本発明の一つの態様は、半導体試料の欠陥箇所の検査精度を向上できる半導体試料の検査装置を提供する。本発明の別の態様は、半導体試料の欠陥箇所の検査精度を向上できる半導体試料の検査方法を提供する。

図面の簡単な説明

- [0017] [図1]図1は、本実施形態に係る半導体試料の検査装置の構成を示す概略ブロック図である。
- [図2]図2は、半導体試料の検査装置による電気特性の測定について説明するための概略図である。
- [図3]図3は、参照信号出力部のゲインの設定における一例を説明するための図である。
- [図4]図4は、参照信号出力部のゲインの設定におけるサンプリングを説明するための図である。
- [図5]図5は、本実施形態の変形例に係る半導体試料の検査装置の構成を示す概略ブロック図である。
- [図6]図6は、半導体試料の検査装置による電気特性の測定について説明するための概略図である。
- [図7]図7は、本実施形態の変形例に係る半導体試料の検査装置の構成を示す概略ブロック図である。

[図8]図 8 は、半導体試料の検査装置による電気特性の測定について説明するための概略図である。

[図9]図 9 は、本実施形態の変形例に係る半導体試料の検査装置の構成を示す概略ブロック図である。

[図10]図 10 は、半導体試料の検査装置による電気特性の測定について説明するための概略図である。

[図11]図 11 は、半導体試料の検査方法を示すフローチャートである。

[図12]図 12 は、二分探索法の手順を示すフローチャートである。

[図13]図 13 は、半導体試料の検査方法を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、添付図面を参照して、本発明の実施形態について詳細に説明する。
なお、説明において、同一要素又は同一機能を有する要素には、同一符号を用いることとし、重複する説明は省略する。

[0019] まず、図 1 及び図 2 を参照して、本実施形態に係る半導体試料の検査装置の構成を説明する。図 1 は、本実施形態に係る半導体試料の検査装置の概略ブロック図である。

[0020] 半導体試料の検査装置 1 は、O B I R C H法を用いて、被検体である半導体試料 S の欠陥箇所を検査する装置である。以下、半導体試料の検査装置を単に「検査装置」という。半導体試料 S は、たとえば、半導体集積回路などの半導体部材である。検査装置 1 において、外部電源装置 2 によって半導体試料 S に電圧が印加され、この電圧の印加及び光の照射に応じて半導体試料 S から出力される電流信号に基づいて、半導体試料 S の欠陥箇所が検査される。この電流信号は、半導体試料 S への電圧の印加によって出力される。この電流信号の値は、半導体試料 S への光の照射によって変動する。外部電源装置 2 は、たとえば、スイッチング電源である。検査装置 1 は、光照射ユニット 10、電気特性測定ユニット 20、及び、制御ユニット 30 を備えている。

[0021] 光照射ユニット 10 は、外部電源装置 2 によって電圧が印加されている半

導体試料Sに光を照射し走査する。本実施形態では半導体試料Sに照射する光としてレーザビームLを用いている例について説明する。半導体試料Sに照射する光は、必ずしもコヒーレント光を用いる必要はなく、例えばインコヒーレント光でもよい。

[0022] 電気特性測定ユニット20は、外部電源装置2によって電圧が印加され、かつ、光が照射されている半導体試料Sから出力された電流信号に基づいて、半導体試料Sの電気特性を測定する。制御ユニット30は、光照射ユニット10及び電気特性測定ユニット20を制御する。制御ユニット30は、測定された電気特性に基づいて、半導体試料Sの検査結果を出力する。制御ユニット30は、光の照射及び走査に伴う半導体試料Sの電気特性変化に応じて、半導体試料Sの欠陥箇所を示す検査結果を出力する。これによって、検査装置1は、半導体試料Sの欠陥箇所の検査を実現する。

[0023] 光照射ユニット10は、レーザ発生源11、レーザ走査部12、及び顕微鏡13を備える。レーザ発生源11は、たとえば半導体レーザや固体レーザである。半導体試料Sにインコヒーレント光を照射する場合には、レーザ発生源11としてSLD (Super Luminescent diode) 又はASE光源を用いてもよい。レーザ発生源11は、レーザ光を発生させ、出射する。レーザ走査部12は、レーザ発生源11から出射されたレーザ光の光路上に配置されている。レーザ走査部12には、レーザ発生源11から出射されたレーザ光が入射する。レーザ走査部12は、顕微鏡13を介して入射したレーザ光をレーザビームLとして所定方向に出射すると共に走査する。レーザ走査部12は、たとえば、入射方向に直交する二次元方向にラスタスキャン (raster scan) を行う。顕微鏡13は、レーザビームLを微小スポット径に集束させる。顕微鏡13は、レーザビームLを被検体に照射し、レーザビームLの反射光によって被検体の像を取得する。

[0024] 電気特性測定ユニット20は、試料台21、22、被検信号出力部23、参照信号出力部24、除去処理部25、ゲイン設定部26、アイソレート部27、及び電気特性測定部28を備える。試料台21には、上述した被検体

として、半導体試料Sが載置される。試料台21に載置された半導体試料Sは、顕微鏡13の焦点位置に位置決めされる。試料台22には、参照部材RSが載置される。参照部材RSは、たとえば、半導体集積回路などの半導体部材である。参照部材RSは、半導体試料Sと同様の電気特性を有している。たとえば、参照部材RSは、半導体試料Sのインピーダンスに対して±30%のインピーダンスを有している。参照部材RSは、異なる電気特性を有している参照部材に交換可能である。

[0025] 試料台21及び試料台22は、それぞれ入力端子および出力端子を有している。試料台21及び試料台22のそれぞれの入力端子は、互いに電氣的に並列に外部電源装置2の出力端子に接続されている。図2に示されているように、試料台21に載置された半導体試料Sは、試料台21を通して外部電源装置2の出力端子に電氣的に接続される。半導体試料Sには、光照射ユニット10によってレーザビームLの照射及び走査が行われる。半導体試料Sは、レーザビームLの照射及び走査に伴う半導体試料Sの電気特性変化と、外部電源装置2の出力とに起因した電流信号を出力する。

[0026] 図2に示されているように、試料台22に載置された参照部材RSは、試料台22を介して外部電源装置2の出力端子に接続される。すなわち、参照部材RSは、半導体試料Sと電氣的に並列に外部電源装置2に接続される。参照部材RSには、レーザビームが照射されておらず、レーザビームの照射及び走査に伴う電気特性変化が生じない。参照部材RSは、外部電源装置2の出力に起因した電流信号を出力する。

[0027] 被検信号出力部23は、試料台21の出力端子と電氣的に直列に接続されている。すなわち、被検信号出力部23は、試料台21及び半導体試料Sを通して、外部電源装置2に直列に接続されている。被検信号出力部23は、外部電源装置2による電圧の印加によって半導体試料Sから出力された電流信号に基づく被検信号を出力する。このため、被検信号出力部23には、外部電源装置2によるノイズ成分が入力される。被検信号出力部23から出力される被検信号は、ノーマルノイズを含む。半導体試料Sに対して光の照射

及び走査が行われていない状態では、被検信号は、ノーマルノイズを示す信号である。以下、「半導体試料Sに対して光の照射及び走査が行われていない状態」とは、光照射ユニット10による光の照射及び走査が、半導体試料Sの測定領域に対して行われていない状態をいう。被検信号出力部23は、電流電圧変換部43を有している。被検信号出力部23に入力された電流信号は、電流電圧変換部43によって電圧信号に変換される。したがって、被検信号は、電圧信号である。

[0028] 参照信号出力部24は、試料台22の出力端子と電氣的に直列に接続されている。すなわち、参照信号出力部24は、参照部材RS及び外部電源装置2に電氣的に直列に接続されている。参照信号出力部24は、半導体試料S及び試料台22と電氣的に並列に外部電源装置2に接続されている。参照信号出力部24は、外部電源装置2による電圧の印加によって参照部材RSから出力された電流信号に基づく参照信号を出力する。このため、参照信号出力部24には、外部電源装置2によるノイズ成分が入力される。参照信号出力部24から出力される参照信号は、ノーマルノイズを示す信号である。参照部材RSには、レーザビームが照射されず、レーザビームの照射及び走査に伴う電気特性変化が生じない。このため、参照信号は、外部電源装置2の出力に応じた信号である。参照信号出力部24は、電流電圧変換部44を有している。電流電圧変換部44は、参照信号出力部24に入力された電流信号を電圧信号に変換する。したがって、参照信号は、電圧信号である。

[0029] 図2に示されているように、本実施形態における被検信号出力部23は、オペアンプ51、抵抗52、及び回路53を有する負帰還回路を含む。すなわち、被検信号出力部23は、被検信号を出力する増幅器を含む。本実施形態における参照信号出力部24は、オペアンプ51、抵抗52、回路53、及び可変増幅器55を有する負帰還回路を含む。すなわち、被検信号出力部23は、参照信号を出力する増幅器を含む。可変増幅器55は、抵抗と増幅器で構成されており、入力信号に応じてゲインが制御される。本実施形態では、可変増幅器55はデジタル制御ゲイン増幅器であり、ゲイン設定部26

から出力されたデジタル信号に応じて可変増幅器 5 5 の抵抗値が制御される。

[0030] 回路 5 3 は、外部電源装置 2 のグラウンド G と接続されている。被検信号出力部 2 3 及び参照信号出力部 2 4 のオペアンプ 5 1 は、回路 5 3 から供給される電力によって動作する。本実施形態において、被検信号出力部 2 3 のオペアンプ 5 1 の入力端子には、外部電源装置 2 のグラウンド G と半導体試料 S とが接続されている。これによって、被検信号出力部 2 3 は、電流電圧変換回路を構成している。参照信号出力部 2 4 のオペアンプ 5 1 の入力端子には、外部電源装置 2 のグラウンド G と参照部材 R S とが接続されている。これによって、参照信号出力部 2 4 は、電流電圧変換回路を構成している。

[0031] 除去処理部 2 5 は、被検信号出力部 2 3 及び参照信号出力部 2 4 に電氣的に接続されている。被検信号及び参照信号は、除去処理部 2 5 に入力される。除去処理部 2 5 は、半導体試料 S から出力された電流信号に対して外部電源装置 2 の出力によるノイズ成分の除去処理を参照信号に基づいて行う。除去処理部 2 5 は、除去処理が行われた被検信号を処理信号として出力する。除去処理部 2 5 は、差動検出部 4 5 を有している。差動検出部 4 5 によって除去処理が、行われる。差動検出部 4 5 は、除去処理部 2 5 に入力された被検信号と参照信号の差分からなる差分信号を出力する。除去処理部 2 5 は、被検信号と参照信号との差分からなる差分信号を増幅して処理信号として出力する。

[0032] 図 2 に示されているように、差動検出部 4 5 は、比較器 5 6、及び回路 5 7 を含んでいる。比較器 5 6 は、差動増幅器である。回路 5 7 は、外部電源装置 2 のグラウンド G と接続されており、電源を構成する。比較器 5 6 は、回路 5 7 から供給される電力によって動作する。比較器 5 6 の入力端子には、被検信号出力部 2 3 と参照信号出力部 2 4 とが接続されている。これによって、被検信号と参照信号との差分が比較器 5 6 から出力される。

[0033] ゲイン設定部 2 6 は、外部電源装置 2 の出力に応じて参照信号を出力する参照信号出力部 2 4 のゲインを設定する。換言すれば、ゲイン設定部 2 6 は

、参照信号出力部 24 から出力される参照信号の強度を設定する。本実施形態において、ゲイン設定部 26 は、可変増幅器 55 の抵抗値の設定によって、参照信号出力部 24 のゲインを設定する。

[0034] ゲイン設定部 26 は、半導体試料 S に対して光の照射及び走査が行われていない状態において取得された処理信号の強度に基づくフィードバック制御によって、参照信号出力部 24 のゲインを設定する。以下、半導体試料 S に対して光の照射及び走査が行われていない状態において取得された処理信号を「第一処理信号」という。第一処理信号は、半導体試料 S に対して光の照射及び走査が行われていない状態において被検信号出力部 23 から出力された被検信号に対して、参照信号に基づいて除去処理部 25 によって上述した除去処理が行われた処理信号である。このため、第一処理信号の強度は、参照信号出力部 24 のゲインに応じて変化する。ゲイン設定部 26 において、第一処理信号の強度は、0 以上の整数で表される値として取得される。

[0035] アイソレート部 27 は、除去処理部 25 と電気特性測定部 28 とを電氣的に絶縁した状態で接続する。除去処理部 25 と電気特性測定部 28 は、アイソレート部 27 を介して接続されている。本実施形態において、アイソレート部 27 は、信号経路において除去処理部 25 及び電気特性測定部 28 に直列に接続されたコンデンサを含む。アイソレート部 27 は、たとえば、トランス、又はフォトカプラを含んでもよい。アイソレート部 27 が、たとえば、トランスを含む場合、アイソレート部 27 は、除去処理部 25 と電気特性測定部 28 とを磁氣的に接続する。アイソレート部 27 が、たとえば、フォトカプラを含む場合、アイソレート部 27 は、除去処理部 25 と電気特性測定部 28 とを光学的に接続する。また、アイソレート部 27 は、除去処理部 25 と電気特性測定部 28 とのそれぞれのグラウンドを別系統としている。

[0036] 電気特性測定部 28 は、アイソレート部 27 を通して除去処理部 25 から伝達された処理信号に基づいて、レーザビーム L の照射及び走査に伴って変化する半導体試料 S の電気特性を測定する。電気特性測定部 28 は、半導体

試料 S に対して光の照射及び走査が行われている状態において取得された処理信号に基づいて、半導体試料 S の電気特性を測定する。以下、半導体試料 S に対して光の照射及び走査が行われている状態において取得された処理信号を「第二処理信号」という。第二処理信号は、半導体試料 S に対して光の照射及び走査が行われている状態において被検信号出力部 23 から出力された被検信号に対して、参照信号に基づいて除去処理部 25 によって上述した除去処理が行われた処理信号である。

[0037] 電気特性測定部 28 による電気特性の測定において、ゲイン設定部 26 によってゲインが設定された参照信号出力部 24 が用いられる。したがって、電気特性測定部 28 による電気特性の測定に用いられる第二処理信号は、ゲイン設定部 26 によってゲインが設定された参照信号出力部 24 からの参照信号に基づいて除去処理が行われた処理信号である。すなわち、電気特性測定部 28 は、ゲイン設定部 26 によってゲインが設定された参照信号出力部 24 からの参照信号に基づいて除去処理が行われた第二処理信号を取得し、取得された第二処理信号に基づいて半導体試料 S の電気特性を測定する。

[0038] 本実施形態において、電気特性測定部 28 は、処理信号から、半導体試料 S の電気特性として半導体試料 S のインピーダンスを示す値を所定時間ごとに演算する。電気特性測定部 28 は、演算された電気特性を制御ユニット 30 に逐次送信する。演算された電気特性は、測定結果に相当する。

[0039] 制御ユニット 30 は、システム制御部 31 と、表示部 32 とを備える。システム制御部 31 は、レーザ走査部 12、顕微鏡 13、電気特性測定部 28、及び表示部 32 に接続されている。システム制御部 31 は、レーザ走査部 12 によるレーザビーム L の走査、顕微鏡 13 による半導体試料 S の像の取得、電気特性測定部 28 の動作、及び表示部 32 による測定結果の表示を制御する。システム制御部 31 は、電気特性測定部 28 から出力された測定結果に基づいて、半導体試料 S の状態を表示部 32 に表示する。表示部 32 は、たとえば、液晶モニタなどのディスプレイである。システム制御部 31 は、物理的には、プロセッサである CPU (Central Processing Unit) と、

記録媒体であるRAM (Random Access Memory) 及びROM (Read Only Memory) と、通信モジュールとを含んだコンピュータ、マウス、及びキーボード等の入出力デバイスとを含む。システム制御部31は、複数のコンピュータを含んでいてもよい。

[0040] 次に、検査装置1の動作について詳細に説明する。検査装置1は、ゲイン設定部26によって参照信号出力部24のゲインを設定し、その後、半導体試料Sに対する光の照射及び走査を行いながら、電気特性測定部28によって処理信号に基づいて半導体試料Sの電気特性を測定する。本実施形態において、電気特性測定部28によって半導体試料Sの電気特性が測定される間、ゲイン設定部26によって設定された上記ゲインは維持される。半導体試料Sに対する光の照射及び走査は、システム制御部31によって制御される。システム制御部31は、光照射ユニット10によってレーザービームLを半導体試料Sの表面の微細部分に照射し、半導体試料Sの表面上でレーザービームLを走査する。

[0041] 半導体試料Sには外部電源装置2から所定の電圧が印加されており、半導体試料Sの回路内には所定の電流が流れている。半導体試料SにおけるレーザービームLが照射されている箇所では、レーザービームLのエネルギーの吸収によって当該箇所の温度が上昇し、インピーダンスが変化する。このため、半導体試料Sを流れる電流値が変化する。ボイドなどの欠陥がある箇所では、熱伝導が悪く、熱が周囲に逃げ難い。したがって、このような欠陥箇所では、レーザービームLが照射された場合に温度上昇が大きい。これにより、所定の電圧が印加された半導体試料Sの欠陥箇所において、温度上昇に伴ってインピーダンス変化が増加し、電流値の変化も大きい。

[0042] 半導体試料Sから出力された電流信号は、被検信号出力部23で電流信号から電圧信号に変換されると共に増幅され、被検信号として除去処理部25に入力される。参照部材RSから出力された電流信号は、参照信号出力部24で電流信号から電圧信号に変換されると共に増幅され、参照信号として除去処理部25に入力される。

- [0043] 除去処理部 25 は、差動検出部 45 によって入力された被検信号と参照信号との差分からなる差分信号を取得し、取得された差分信号を増幅して処理信号として出力する。除去処理部 25 から出力された処理信号は、アイソレート部 27 を介して、電気特性測定部 28 に入力される。
- [0044] 電気特性測定部 28 は、入力された処理信号に基づいて半導体試料 S の電気特性を所定時間ごとに測定し、測定結果をシステム制御部 31 に逐次送信する。システム制御部 31 は、電気特性測定部 28 から送信された測定結果に基づいて、半導体試料 S の電気特性の測定結果を輝度情報に変換する。システム制御部 31 は、レーザビーム L の照射位置と、この照射位置に対応する輝度情報とを関連付ける。システム制御部 31 は、レーザビーム L の照射位置と輝度情報とに基づいて半導体試料 S の欠陥箇所を示す画像を生成し、この画像を表示部 32 に表示する。すなわち、システム制御部 31 は、電気特性測定部 28 から送信された測定結果に基づいて、半導体試料 S の欠陥箇所を出力する。これにより、画像による半導体試料 S の欠陥箇所の確認が実現される。本実施形態において、システム制御部 31 は、半導体試料 S の表面における測定領域の全てにレーザビーム L を照射及び走査する間に取得された電気特性の測定結果に基づいて画像を生成し、この画像を表示部 32 に表示する。
- [0045] 次に、ゲイン設定部 26 の動作について詳細に説明する。ゲイン設定部 26 は、互いに異なる複数の値に参照信号出力部 24 のゲインを設定したそれぞれの場合において、第一処理信号の強度を取得する。換言すれば、ゲイン設定部 26 は、一つの値に参照信号出力部 24 のゲインを設定し、この状態において第一処理信号の強度を少なくとも一回取得する。第一処理信号の強度が小さいほど、外部電源装置 2 に起因して電気特性の測定に影響をあたえるノイズが低減されている。ゲイン設定部 26 は、上記ノイズが低減されるゲインを設定するために、複数回の取得による複数の第一処理信号の強度に基づくフィードバック制御によって、第一処理信号の強度が最小になると判断された値に参照信号出力部 24 のゲインを設定する。換言すれば、ゲイン

設定部 26 は、参照信号出力部 24 のゲインを変化させ、当該ゲインの変化に応じた第一処理信号の強度の変化に基づくフィードバック制御によって、第一処理信号の強度が最小となるように参照信号出力部 24 のゲインを設定する。

[0046] 本実施形態において、参照信号出力部 24 のゲインは、可変増幅器 55 の抵抗値に対応して変化する。ゲイン設定部 26 は、第一処理信号の強度に基づくフィードバック制御によって可変増幅器 55 の抵抗値を設定することで、参照信号出力部 24 のゲインを設定する。ゲイン設定部 26 によって設定された可変増幅器 55 の抵抗値は、電気特性測定部 28 によって半導体試料 S の電気特性が測定されている間には変更されない。

[0047] 本実施形態において、ゲイン設定部 26 は、参照信号出力部 24 のゲインの値をビット列として管理する。たとえば、ゲイン設定部 26 は、可変増幅器 55 の抵抗値をビット列として管理する。ゲイン設定部 26 は、二分探索法によって上記ビット列の各ビットの値を最上位ビット側から決定することで、第一処理信号の強度が最小になると判断された値に参照信号出力部 24 のゲインを設定する。ゲイン設定部 26 は、たとえば、1024 段階に分けられた抵抗値の中から、第一処理信号の強度が最小になると判断された値に参照信号出力部 24 のゲインを設定する。この場合、抵抗値は、10 ビットのビット列で表される。

[0048] 本実施形態において、ゲイン設定部 26 は、各ビットの値を決定する処理において、可変増幅器 55 の抵抗値が互いに異なる一対の第一抵抗値と第二抵抗値とにそれぞれ設定されたときの第一処理信号の強度を取得する。取得される第一処理信号の強度は、0 以上の整数で表される値である。最上位ビットから n ビット目のビットの値を決定する処理において、第一抵抗値と第二抵抗値とは、最上位ビットから n ビット目に位置するビットの値が異なる。n は、0 以上の整数である。0 ビット目は、最上位ビットである。ゲイン設定部 26 は、可変増幅器 55 の抵抗値が第一抵抗値である場合の第一処理信号の強度と、可変増幅器 55 の抵抗値が第二抵抗値である場合の第一処理

信号の強度とを比較する。ゲイン設定部26は、第一抵抗値と第二抵抗値とのうち、第一処理信号の強度が小さい方の抵抗値におけるnビット目のビットの値に、電気特性の測定時に設定する抵抗値におけるnビット目のビットの値を決定する。ゲイン設定部26は、nビット目のビットの値が決定されると、nをインクリメントする。

[0049] 図3に示されるように、たとえば、4ビット目のビットの値を決定する処理において、第一抵抗値における4ビット目のビットの値は1であり、第二抵抗値における4ビット目のビットの値は0である。第一抵抗値及び第二抵抗値の0～3ビット目は既に決定されており、第一抵抗値と第二抵抗値で同じ値である。4ビット目のビットの値を決定する処理において、たとえば、第一抵抗値を表すビット列は“0110110000”であり、第二抵抗値を表すビット列は“0110010000”である。たとえば、4ビット目のビットの値を決定する処理では、第一抵抗値と第二抵抗値の双方において、5ビット目のビットの値は1であり、それ以降のビットの値は0である。

[0050] 第一抵抗値の方が第二抵抗値よりも第一処理信号の強度が小さくなると判断されると、4ビット目のビットの値は1に決定され、5ビット目のビットの値を決定する処理に進む。第二抵抗値の方が第一抵抗値よりも第一処理信号の強度が小さくなると判断されると、4ビット目は0に決定され、5ビット目のビットの値を決定する処理に進む。5ビット目のビットの値を決定する処理では、第一抵抗値における5ビット目のビットの値は1であり、第二抵抗値における5ビット目のビットの値は0である。4ビット目のビットの値が1に決定された場合、5ビット目のビットの値を決定する処理において、たとえば、第一抵抗値を表すビット列は“0110111000”であり、第二抵抗値を表すビット列は“0110101000”である。たとえば、5ビット目のビットの値を決定する処理では、第一抵抗値と第二抵抗値の双方において、6ビット目のビットの値は1であり、それ以降のビットの値は0である。

[0051] ゲイン設定部26は、以上のようなnビット目のビットの値を決定する処

理を、 n が0である最上位ビットから最下位ビットまで繰り返す。このように、電気特性の測定に用いられる参照信号出力部24の可変増幅器55の抵抗値が、二分探索法を用いたフィードバック制御によって設定される。すなわち、参照信号出力部24のゲインは、二分探索法を用いたフィードバック制御によって設定される。

[0052] ゲイン設定部26は、第一処理信号をサンプリングし、サンプリングの結果から第一処理信号の強度を複数回取得する。たとえば、ゲイン設定部26は、図4に示されるように、サンプリング周期 T_S によって期間 T_1 の間のサンプリングの実行によって、1回分の第一処理信号の強度の取得を行う。次に、ゲイン設定部26は、サンプリング周期 T_S によって期間 T_2 の間のサンプリングの実行によって、1回分の第一処理信号の強度の取得を行う。各回の第一処理信号の強度の取得において、ゲイン設定部26によってサンプリングが行われる期間 T_1 、 T_2 は、参照信号出力部24に含まれる増幅器の周波数帯域における最小周波数の周期よりも長い。サンプリング周期 T_S は、参照信号出力部24に含まれる増幅器の周波数帯域における最大周波数の周期よりも短い。本実施形態において、各回の第一処理信号の強度の取得においてサンプリングが行われる期間 T_1 、 T_2 の長さは、互いに同一である。

[0053] 本実施形態において、被検信号出力部23に含まれる増幅器の周波数帯域、参照信号出力部24に含まれる増幅器の周波数帯域、及び除去処理部25に含まれる比較器56の周波数帯域は、同一である。以下、被検信号出力部23に含まれる増幅器の周波数帯域、参照信号出力部24に含まれる増幅器の周波数帯域、及び除去処理部25に含まれる比較器56の周波数帯域を「電気特性測定ユニット20の周波数帯域」という。外部電源装置2に起因して第一処理信号に混入するノイズ成分の周波数は、電気特性測定ユニット20の周波数帯域に依存する。

[0054] 外部電源装置2に起因して第一処理信号に混入するノイズ成分の最大周波数は、電気特性測定ユニット20の周波数帯域の最大周波数以下である。外

部電源装置 2 に起因して第一処理信号に混入するノイズ成分の最小周波数は、電気特性測定ユニット 20 の周波数帯域の最小周波数以上である。したがって、図 4 に示されているように、各回の第一処理信号の強度の取得において、ゲイン設定部 26 によってサンプリングが行われる期間 T_1 、 T_2 は、外部電源装置 2 に起因して第一処理信号に混入するノイズ成分の最小周波数の周期 T_3 よりも長い。このノイズ成分の最小周波数は、低周波ノイズに相当する。サンプリング周期 T_S は、外部電源装置 2 に起因して第一処理信号に混入するノイズ成分の最大周波数の周期 T_4 よりも短い。ノイズ成分の最大周波数は、高周波ノイズに相当する。

[0055] 本実施形態において、ゲイン設定部 26 は、サンプリングによって第一処理信号の強度のピーク値を取得し、取得されたピーク値に基づいて参照信号出力部 24 のゲインを設定する。すなわち、ゲイン設定部 26 は、取得されたピーク値が最小となるように、参照信号出力部 24 のゲインを設定する。ピーク値は、各期間 T_1 、 T_2 において取得されたサンプリング値のうち、極大値の平均である。本実施形態の変形例として、ゲイン設定部 26 は、ピーク値でなく第一処理信号の強度の実効値に基づいて参照信号出力部 24 のゲインを設定してもよい。ピーク値は、各期間 T_1 、 T_2 において取得されたサンプリング値のうちの最大値であってもよい。

[0056] 次に、図 5 及び図 6 を参照して、本実施形態の変形例に係る半導体試料の検査装置 1A について説明する。図 5 は、本実施形態の変形例に係る半導体試料の検査装置の概略ブロック図である。図 6 は、半導体試料の検査装置の一部を示す概略図である。図 6 及び図 7 に示されている変形例は、試料台 22 及び参照部材 RS の代わりに DC 成分カット部が設けられている点に関して、上述した実施形態と相違する。以下、上述した実施形態と変形例との相違点を主として説明する。

[0057] 検査装置 1A の電気特性測定ユニット 20 は、試料台 21、被検信号出力部 23、参照信号出力部 24、除去処理部 25、アイソレート部 27、電気特性測定部 28、及び DC 成分カット部 29 を備える。DC 成分カット部 2

9の入力は、試料台21と電氣的に並列に外部電源装置2の出力端子に接続されている。DC成分カット部29の出力は、参照信号出力部24と接続されている。すなわち、参照信号出力部24は、DC成分カット部29を挟んで、外部電源装置2に直列に接続されている。

[0058] DC成分カット部29は、外部電源装置2から出力された電圧から直流成分を除去した電圧変動量を出力する。参照信号出力部24は、DC成分カット部29から出力された電圧変動量に基づく参照信号を出力する。参照信号出力部24は、外部電源装置2から出力された電圧から直流成分が除去された電圧変動量を参照信号として出力する。参照信号出力部24に入力された信号は、増幅部46によって電圧が増幅される。したがって、参照信号は、電圧信号である。

[0059] 図6に示されているように、本実施形態におけるDC成分カット部29は、コンデンサ58を有している。コンデンサ58は、半導体試料Sと電氣的に並列に外部電源装置2の出力端子に接続されている。コンデンサ58は、参照信号出力部24と電氣的に直列に接続されている。本変形例における参照信号出力部24は、オペアンプ51、抵抗52、回路53、及び可変増幅器55に加えて抵抗59を有し、これらによって構成される反転増幅回路を含む。

[0060] 検査装置1Aにおいて、DC成分カット部29によって外部電源装置2から出力された電圧から直流成分が除去された電圧変動量が、参照信号出力部24に入力される。換言すれば、参照信号出力部24には、外部電源装置2から出力された電圧のうちの交流成分、すなわち、ノイズ成分が入力される。このため、検査装置1Aは参照部材RSを有さない構成であるが、当該検査装置1Aの参照信号出力部24から出力される参照信号もノーマルノイズを示す信号である。

[0061] 半導体試料Sから出力された電流信号は、被検信号出力部23で電流信号から電圧信号に変換されると共に増幅され、被検信号として除去処理部25に入力される。DC成分カット部29から出力された電圧変動量は、参照信

号出力部 2 4 で増幅され、参照信号として除去処理部 2 5 に入力される。除去処理部 2 5 は、入力された被検信号と参照信号との差分からなる差分信号を増幅して処理信号として出力する。

[0062] 次に、図 7 及び図 8 を参照して、本実施形態の変形例に係る半導体試料の検査装置 1 B について説明する。図 7 は、本実施形態の変形例に係る半導体試料の検査装置の概略ブロック図である。図 8 は、半導体試料の検査装置の一部を示す概略図である。図 7 及び図 8 に示されている変形例は、除去処理部の前段に電流電圧変換部を有していない点、除去処理部が差動検出部を有せずに参照信号と検出信号の加算を行う点に関して、上述した実施形態と相違する。以下、上述した実施形態との相違点を主として説明する。

[0063] 検査装置 1 B において、被検信号出力部 2 3 は、試料台 2 1 の出力端子と除去処理部 2 5 とを電氣的に直列に接続する配線のみを含んでいる。すなわち、被検信号出力部 2 3 は、半導体試料 S から出力された電流信号を被検信号として除去処理部 2 5 に入力する。したがって、被検信号は、電流信号である。

[0064] 参照信号出力部 2 4 は、反転ゲイン調整部 4 7 を有している。反転ゲイン調整部 4 7 は、参照信号出力部 2 4 に入力された電流信号、すなわち、外部電源装置の出力に応じた電流信号を逆相に変換し、被検信号の強度に応じてゲインが調整された参照信号を出力する。したがって、参照信号は、参照部材 R S から出力された電流信号に対して逆相の電流信号である。

[0065] 図 8 に示されているように、本変形例における参照信号出力部 2 4 は、オペアンプ 5 1、抵抗 5 2、回路 5 3、及び可変増幅器 5 5 を有する参照信号を出力する増幅器を含む。回路 5 3 は、外部電源装置 2 のグラウンド G と接続されており、電源を構成する。参照信号出力部 2 4 のオペアンプ 5 1 は、回路 5 3 から供給される電力によって動作する。

[0066] 参照信号出力部 2 4 のオペアンプ 5 1 の入力端子には、外部電源装置 2 のグラウンド G と参照部材 R S とが接続されている。これによって、参照信号出力部 2 4 には、電流電圧変換回路が構成されている。

- [0067] 除去処理部 25 は、加算部 48 及び電流電圧変換部 49（増幅部）を有している。加算部 48 は、被検信号と参照信号とを加算して電流電圧変換部 49 に出力する。本変形例において、加算部 48 は、図 8 に示されているように、試料台 21 の出力端子に接続された配線である被検信号出力部 23 と参照信号出力部 24 に接続されている配線と電流電圧変換部 49 とを接続するコネクタである。すなわち、加算部 48 は、被検信号の電流値と参照信号の電流値とを加算した電流値を有する電流信号を出力する。電流電圧変換部 49 は、加算部 48 から出力された電流信号を電圧信号に変換すると共に増幅する。したがって、除去処理部 25 から出力される処理信号は、電圧信号である。
- [0068] 図 8 に示されているように、本変形例における電流電圧変換部 49 は、オペアンプ 61、抵抗 62、及び回路 63 を有する負帰還回路である。回路 63 は、外部電源装置 2 のグラウンド G と接続されており、電源を構成する。オペアンプ 61 は、回路 63 から供給される電力によって動作する。オペアンプ 61 の入力端子には、外部電源装置 2 のグラウンド G と加算部 48 とが接続されている。これによって、電流電圧変換部 49 には、反転増幅回路が構成されている。
- [0069] 検査装置 1B において、半導体試料 S から出力された電流信号は、被検信号として除去処理部 25 に入力される。参照部材 RS から出力された電流信号は、参照信号出力部 24 で逆相の電流信号に変換され、参照信号として除去処理部 25 に入力される。除去処理部 25 において、加算部 48 によって被検信号と参照信号とを加算し、加算された信号を電流電圧変換部 49 によって電圧信号に変換すると共に増幅して処理信号として出力する。
- [0070] 次に、図 9 及び図 10 を参照して、本実施形態の変形例に係る半導体試料の検査装置 1C について説明する。図 9 は、本実施形態の変形例に係る半導体試料の検査装置の概略ブロック図である。図 10 は、半導体試料の検査装置の一部を示す概略図である。図 9 及び図 10 に示されている変形例は、試料台 22 及び参照部材 RS の代わりに DC 成分カット部 29 が設けられてい

る点に関して、図7及び図8に示されている変形例と相違する。以下、図7及び図8に示した変形例との相違点を主として説明する。

[0071] 検査装置1Cにおいて電気特性測定ユニット20は、試料台21、被検信号出力部23、参照信号出力部24、除去処理部25、アイソレート部27、電気特性測定部28、及びDC成分カット部29を備える。DC成分カット部29の入力は、試料台21と電氣的に並列に外部電源装置2の出力端子に接続されている。DC成分カット部29の出力は、参照信号出力部24と接続されている。すなわち、参照信号出力部24は、DC成分カット部29を介して、外部電源装置2に直列に接続されている。

[0072] DC成分カット部29は、外部電源装置2から出力された電圧から直流成分を除去した電圧変動量を出力する。参照信号出力部24は、DC成分カット部29から出力された電圧変動量に基づく参照信号を出力する。参照信号出力部24に入力された信号は、増幅部46によって増幅される。したがって、参照信号は、電圧信号である。

[0073] 図10に示されているように、本実施形態におけるDC成分カット部29は、コンデンサ58を有している。コンデンサ58は、半導体試料Sと電氣的に並列に外部電源装置2の出力端子に接続されている。コンデンサ58は、参照信号出力部24と電氣的に直列に接続されている。本変形例における参照信号出力部24は、オペアンプ51、抵抗52、回路53、及び可変増幅器55に加えて抵抗59を有し、これらによって構成された反転増幅回路を含む。

[0074] 検査装置1Cにおいて、DC成分カット部29によって外部電源装置2から出力された電圧から直流成分が除去された電圧変動量が、参照信号出力部24に入力される。換言すれば、参照信号出力部24には、外部電源装置2から出力された電圧のうちの交流成分が入力される。交流成分は、ノイズ成分に相当する。このため、参照信号出力部24から出力される参照信号は、ノーマルノイズを示す信号である。

[0075] 検査装置1Cにおいて、半導体試料Sから出力された電流信号は、被検信

号として除去処理部 25 に入力される。DC 成分カット部 29 から出力された電流信号は、参照信号出力部 24 で逆相の電流信号に変換され、参照信号として除去処理部 25 に入力される。除去処理部 25 は、加算部 48 によって被検信号と参照信号とを加算し、加算された信号を電流電圧変換部 49 によって電圧信号に変換すると共に増幅して処理信号として出力する。

[0076] 次に、図 11 から図 13 を参照して、本実施形態及び変形例に係る検査装置 1、1A、1B、1C を用いた半導体試料 S の検査方法について説明する。図 11 は、半導体試料の検査方法を示すフローチャートである。図 12 は、図 11 に示した処理のうち、ゲインの設定処理について詳細に示すフローチャートである。図 13 は、図 11 に示した処理のうち、電気特性の測定処理について詳細に示すフローチャートである。

[0077] まず、半導体試料 S、及び、参照部材 RS 又はコンデンサ 58 の準備が行われる（処理 S1）。半導体試料 S は、試料台 21 に載置され、外部電源装置 2 に接続される。検査装置 1、1B を用いる場合には、参照部材 RS が、試料台 22 に載置され、半導体試料 S と電氣的に並列に外部電源装置 2 に接続されると共に、電氣的に直列に参照信号出力部 24 に接続される。検査装置 1A、1C を用いる場合には、コンデンサ 58 が、半導体試料 S と電氣的に並列に外部電源装置 2 に接続されると共に、電氣的に直列に参照信号出力部 24 に接続される。コンデンサ 58 は、予め参照信号出力部 24 に接続されていてよい。コンデンサ 58 が予め参照信号出力部 24 に接続されている場合には、処理 S1 で示される処理は省略される。

[0078] 続いて、外部電源装置 2 による半導体試料 S への電圧の印加が開始される（処理 S2）。この際、検査装置 1、1B を用いる場合には、外部電源装置 2 による参照部材 RS への電圧の印加も開始される。本実施形態において、外部電源装置 2 による電圧の印加は、全ての処理が終了するまで継続される。

[0079] 続いて、ゲイン設定部 26 によって参照信号出力部 24 のゲインの設定処理が行われる（処理 S3）。本実施形態では、全ての処理が終了するまで、

処理 S 3 において設定されたゲインが維持される。ゲインの設定処理において、除去処理部 2 5 において被検信号及び参照信号が取得され、除去処理部 2 5 から第一処理信号が出力される。第一処理信号は、半導体試料 S に対して光の照射及び走査が行われていない状態において除去処理部 2 5 から出力される処理信号である。ゲインの設定処理において、第一処理信号の強度に基づくフィードバック制御によって、参照信号出力部 2 4 のゲインが設定される。

[0080] 被検信号は、外部電源装置 2 からの電圧の印加に応じて半導体試料 S から出力された電流信号に基づく信号である。検査装置 1, 1 A を用いる場合には、被検信号は、外部電源装置 2 からの電圧の印加に応じて半導体試料 S から出力された電流信号を電圧信号に変換した信号である。検査装置 1 B, 1 C を用いる場合には、被検信号は、外部電源装置 2 からの電圧の印加に応じて半導体試料 S から出力された電流信号そのものである。

[0081] 参照信号は、半導体試料 S と電氣的に並列に外部電源装置 2 に接続された参照信号出力部 2 4 から、外部電源装置 2 の出力に応じて出力された信号である。検査装置 1, 1 B を用いる場合には、参照信号は、外部電源装置 2 の出力に起因して参照部材 R S から出力された電流信号に基づく信号である。検査装置 1 A, 1 C を用いる場合には、参照信号は、外部電源装置 2 から出力された電圧から直流成分を除去した電圧変動量に基づいて参照信号出力部 2 4 から出力された信号である。外部電源装置 2 から出力された電圧から直流成分を除去した信号は、たとえば、コンデンサ 5 8 によって生成される。検査装置 1, 1 A を用いる場合には、参照信号は、外部電源装置 2 の出力に応じた電圧信号である。検査装置 1 B, 1 C を用いる場合には、参照信号は、外部電源装置 2 の出力に応じて参照部材 R S 又は DC 成分カット部 2 9 から出力された電流信号を逆相にした信号である。

[0082] 続いて、光照射ユニット 1 0 による半導体試料 S へのレーザービーム L の照射及び走査が開始される（処理 S 4）。本実施形態において、光照射ユニット 1 0 による半導体試料 S へのレーザービーム L の照射及び走査は、半導体試

料 S の測定領域の全てにレーザビーム L を照射及び走査するまで継続される。

[0083] 続いて、電気特性の測定処理が行われる（処理 S 5）。本実施形態において、電気特性測定ユニット 20 によって測定された電気特性の測定結果は、システム制御部 31 に逐次送信される。電気特性の設定処理において、除去処理部 25 によって被検信号及び参照信号が取得され、除去処理部 25 から第二処理信号が出力される。第二処理信号は、半導体試料 S に対して光の照射及び走査が行われている状態において除去処理部 25 から出力される処理信号である。電気特性の設定処理において、第二処理信号の強度に基づいて半導体試料 S の電気特性が測定される。

[0084] 続いて、システム制御部 31 によって電気特性の測定結果が表示部 32 に表示される（処理 S 6）。本実施形態において、システム制御部 31 が、電気特性測定部 28 から送信された測定結果及びレーザビーム L の照射位置に基づいて、レーザビーム L の照射位置に対応した半導体試料 S の電気特性の測定結果を輝度情報に変換する。続いて、システム制御部 31 は、レーザビーム L の照射位置と、この照射位置に対応する輝度情報とを関連付ける。続いて、システム制御部 31 は、レーザビーム L の照射位置と輝度情報とに基づいて、半導体試料 S の欠陥箇所を示す画像を生成し、この画像を表示部 32 に表示する。すなわち、システム制御部 31 は、電気特性測定部 28 から送信された測定結果に基づいて、半導体試料 S の欠陥箇所を出力する。

[0085] 続いて、システム制御部 31 によって全ての処理を終了するかの判断が行われる（処理 S 7）。終了しないと判断された場合（処理 S 7 で NO）には、処理 S 4 に戻ってレーザビーム L の照射及び走査が開始される。終了すると判断された場合（処理 S 7 で YES）には、全ての処理が終了される。

[0086] 次に、処理 S 3 におけるゲインの設定処理について更に詳細に説明する。

[0087] ゲインの設定処理において、参照信号出力部 24 の可変増幅器 55 の抵抗値を表すビット列の決定によって、参照信号出力部 24 のゲインが設定される。ゲインの設定処理において、最上位ビットから n ビット目のビットの値

を決定する処理が繰り返される。ゲインの設定処理において、まず、 n の値が決定される（処理S31）。 n は、0以上の整数である。本実施形態において、可変増幅器55の抵抗値は、10桁のビット列で表される。このため、 n は、0～9の値になり得る。2回目以降の処理S31の実行において、処理S31を実行するたびに n がインクリメントされる。最初に処理S31が実行される際には、処理S31において n が0に決定され、処理S32が実行される。

[0088] 続いて、最上位ビットから n ビット目の決定に用いられる第一抵抗値が決定される（処理S32）。0ビット目は、最上位ビットである。本実施形態の第一抵抗値において、最上位ビットから n ビット目のビットの値が1であり、最上位ビットから $n+1$ ビット目のビットの値が1であり、以降のビットの値が0である。図3には、 $n=4$ ある場合と $n=5$ ある場合との第一抵抗値の一例が示されている。

[0089] 続いて、最上位ビットから n ビット目の決定に用いられる第一抵抗値が可変増幅器55の抵抗値に設定された場合における第一処理信号の強度が取得される（処理S33）。本実施形態において、サンプリングによって第一処理信号の強度のピーク値が取得される。ピーク値は0以上の整数である。

[0090] 続いて、最上位ビットから n ビット目の決定に用いられる第二抵抗値が決定される（処理S34）。本実施形態の第二抵抗値において、最上位ビットから n ビット目のビットの値が0であり、最上位ビットから $n+1$ ビット目のビットの値が1であり、以降のビットの値が0である。図3には、 $n=4$ ある場合と $n=5$ ある場合との第二抵抗値の一例が示されている。

[0091] 続いて、最上位ビットから n ビット目の決定に用いられる第二抵抗値が可変増幅器55の抵抗値に設定された場合における第一処理信号の強度が取得される（処理S35）。本実施形態において、サンプリングによって第一処理信号の強度のピーク値が取得される。ピーク値は0以上の整数である。

[0092] 続いて、第一抵抗値が設定された場合における第一処理信号の強度と、第二抵抗値が設定された場合における第一処理信号の強度とが比較される（処

理 S 3 6)。本実施形態において、第一抵抗値が設定された場合における第一処理信号の強度のピーク値と、第二抵抗値が設定された場合における第一処理信号の強度のピーク値とのいずれが小さいかを判断する。

[0093] 続いて、 n ビット目のビットの値が決定される（処理 S 3 7）。処理 S 3 6において、第一抵抗値が設定された場合の方が第二抵抗値が設定した場合よりもピーク値が小さいと判断されると、 n ビット目のビットの値は 1 に決定される。処理 S 3 6において、第二抵抗値が設定した場合の方が第一抵抗値が設定した場合よりもピーク値が小さいと判断されると、 n ビット目のビットの値は 0 に決定される。

[0094] 続いて、参照信号出力部 2 4 の可変増幅器 5 5 の抵抗値を表すビット列における全てのビットの値が決定されたか否かが判断される（処理 S 3 8）。本実施形態では、可変増幅器 5 5 の抵抗値が 10 桁のビット列であるため、 $n = 9$ であるか否かが判断される。全てのビットの値が決定されていないと判断された場合（処理 S 3 8 で NO）には、処理 S 3 1 で示される処理に戻る。全てのビットの値が決定されたと判断された場合（処理 S 3 8 で YES）には、ゲインの設定処理は終了する。

[0095] 次に、処理 S 5 における電気特性の測定処理について更に詳細に説明する。

[0096] 電気特性の測定処理において、除去処理部 2 5 によって参照信号及び被検信号が取得される（処理 S 5 1）。電気特性の測定処理において、半導体試料 S に対して光の照射及び走査が行われている状態において被検信号出力部 2 3 から出力された被検信号が取得される。

[0097] 続いて、除去処理部 2 5 によって、外部電源装置 2 の出力によるノイズ成分の除去処理が参照信号に基づいて被検信号に対して行われた処理信号が生成される（処理 S 5 2）。電気特性の測定処理において、半導体試料 S に対して光の照射及び走査が行われている状態において取得された第二処理信号が生成される。検査装置 1、1 A を用いる場合には、除去処理部 2 5 は、参照信号と被検信号との差分に基づいて第二処理信号を生成する。検査装置 1

B, 1 Cを用いる場合には、除去処理部 2 5 は、参照信号と被検信号とを加算して増幅することで第二処理信号を生成する。

[0098] 続いて、電気特性測定部 2 8 によって、半導体試料 S の電気特性の測定が行われる（処理 S 5 3）。電気特性測定部 2 8 は、除去処理部 2 5 で生成された第二処理信号に基づいて、半導体試料 S の電気特性の測定を行う。本実施形態において、電気特性測定部 2 8 は、システム制御部 3 1 に測定結果を逐次送信する。

[0099] 続いて、電気特性の測定処理を終了するか判断が行われる（処理 S 5 4）。終了しないと判断された場合（処理 S 5 4 で NO）には、処理 S 5 1 で示される処理に戻って、除去処理部 2 5 において参照信号及び被検信号が取得される。終了すると判断された場合（処理 S 5 4 で YES）には、電気特性の測定処理が終了され、処理 S 6 で示される処理に進む。

[0100] 以上説明したように、本実施形態及び変形例に係る検査装置 1, 1 A, 1 B, 1 C は、半導体試料 S と電氣的に並列に外部電源装置 2 と接続されていると共に、外部電源装置 2 の出力に応じた参照信号を出力する参照信号出力部 2 4 を備えている。除去処理部 2 5 は、外部電源装置 2 の出力によるノイズ成分の除去処理を参照信号に基づいて被検信号に対して行った処理信号を出力する。電気特性測定部 2 8 は、処理信号に基づいて、半導体試料 S の電気特性を測定する。このため、上記検査装置 1, 1 A, 1 B, 1 C において、外部電源装置 2 を用いて半導体試料 S に供給する電力を向上することと、半導体試料 S の電気特性の測定結果に及ぶノイズの影響を低減することとを両立することができる。この結果、半導体試料 S の欠陥箇所の検査精度が向上され得る。

[0101] 被検信号の強度に対して参照信号の強度が合っていない場合には、除去処理部 2 5 によるノイズ成分の除去効果が低減する。しかしながら、被検信号の強度に合った参照信号が出力されるように参照信号出力部 2 4 を設計することは困難である。たとえば、参照部材 R S にも製造バラツキ又は故障不良があり、半導体試料 S に合ったインピーダンスを有する参照部材 R S を選択

することは困難である。

- [0102] 検査装置 1, 1 A, 1 B, 1 C は、ゲイン設定部 2 6 を備える。ゲイン設定部 2 6 は、第一処理信号の強度に基づくフィードバック制御によって、参照信号出力部 2 4 のゲインを設定する。電気特性測定部 2 8 は、第二処理信号に基づいて、半導体試料の電気特性を測定する。第二処理信号は、ゲイン設定部 2 6 によってゲインが設定された参照信号出力部 2 4 からの参照信号に基づき除去処理が行われた処理信号である。このため、参照信号出力部 2 4 のゲインが自動で適切に設定される。この結果、第二処理信号におけるノイズ成分が高度に除去され得る。したがって、半導体試料 S の電気特性の測定結果に及ぶノイズの影響が高度に低減され得る。
- [0103] 検査装置 1, 1 B において、ゲイン設定部 2 6 によって参照信号出力部 2 4 のゲインが設定されるため、半導体試料 S の抵抗値と参照部材 R S の抵抗値が異なっても、半導体試料 S の電気特性の測定結果に及ぶノイズの影響が高度に低減され得る。たとえば、半導体試料 S の抵抗値と参照部材 R S の抵抗値が 1 0 0 倍程度異なっても、ノイズの影響が高度に低減され得る。したがって、検査装置 1, 1 B において参照部材 R S の選択が容易である。
- [0104] 検査装置 1, 1 A, 1 B, 1 C において、ゲイン設定部 2 6 は、互いに異なる複数の値にゲインを設定したそれぞれの場合における第一処理信号の強度を取得し、第一処理信号の強度が最小になると判断された値にゲインを設定する。このため、処理信号におけるノイズ成分がより簡単かつ高度に除去され得る。
- [0105] 検査装置 1, 1 A, 1 B, 1 C において、ゲイン設定部 2 6 は、ゲインの値に対応するビット列について、二分探索法によってビット列の各ビットの値を最上位ビット側から決定することで、第一処理信号の強度が最小になると判断された値にゲインを設定する。このため、ゲイン設定部 2 6 における処理負担が低減されると共に、処理信号におけるノイズ成分を除去する参照信号のゲインの値がより高速に設定され得る。
- [0106] 検査装置 1, 1 A, 1 B, 1 C において、参照信号出力部 2 4 は、参照信

号を出力する増幅器を含んでいる。ゲイン設定部26は、増幅器の周波数帯域における最小周波数の周期よりも長い期間 T_1 、 T_2 で第一処理信号の強度をサンプリングする。ゲイン設定部26は、このサンプリングによって第一処理信号の強度を取得する。このため、ノイズ成分の周波数が低くともノイズ成分の一周期の期間にサンプリングが行われる。したがって、ゲイン設定部26によってゲインの値が適切に設定され得る。たとえば、ノイズ成分の周波数が低くとも第一処理信号のピーク値が適切に取得され得る。

[0107] 検査装置1、1A、1B、1Cにおいて、ゲイン設定部26は、増幅器の周波数帯域における最大周波数の周期よりも短いサンプリング周期 T_S によって処理信号の強度をサンプリングする。このため、ノイズ成分の周波数が高くともノイズ成分の一周期の間にサンプリング値が取得されるため、ゲイン設定部26によってゲインの値が適切に設定され得る。たとえば、ノイズ成分の周波数が高くとも、第一処理信号のピーク値が適切に取得され得る。

[0108] 検査装置1、1A、1B、1Cにおいて、ゲイン設定部26は、処理信号の強度のピーク値を取得し、当該ピーク値に基づいてゲインを設定する。ピーク値は、たとえば、第一処理信号の強度の実効値よりも簡易な処理で取得できる。したがって、ゲイン設定部26における処理負担が低減される。

[0109] 検査装置1、1Bにおいて、参照信号出力部24は、半導体試料Sと電氣的に並列に外部電源装置2に接続された参照部材RSに電氣的に直列に接続されている。参照信号出力部24は、外部電源装置2による電圧の印加によって参照部材RSから出力された電流信号に基づく信号を参照信号として出力する。この場合、参照信号出力部24が出力する参照信号は、半導体試料Sと電氣的に並列に外部電源装置2と接続された参照部材RSからの電流信号に基づく。このため、半導体試料Sから出力された電流信号に合わせて、参照信号のゲインを調整することが容易である。

[0110] 検査装置1A、1Cにおいて、参照信号出力部24は、外部電源装置2から出力された電流信号から直流電流成分が除去された信号を参照信号として出力する。この場合、参照信号出力部24が出力する参照信号は、外部電源

装置 2 から出力された電流信号から直流電流成分を除去した信号に基づく。直流電流成分が除去された信号は、外部電源装置 2 の出力のノイズ成分を示す。このため、外部電源装置 2 の出力のノイズ成分を含む参照信号の生成が容易である。

[0111] 検査装置 1 A, 1 C において、コンデンサ 5 8 は、半導体試料 S と電氣的に並列に外部電源装置 2 と接続されている。このため、外部電源装置 2 から出力された電流信号の直流成分の全てが、半導体試料 S を通して、被検信号出力部 2 3 に入力される。すなわち、外部電源装置 2 から出力される電流値が半導体試料 S から出力される電流値である。この結果、電気特性測定の容易性が向上する。

[0112] 検査装置 1, 1 B において、被検信号出力部 2 3 が半導体試料 S から出力された電流信号を電圧信号に変換した被検信号を出力する。参照信号出力部 2 4 は、外部電源装置 2 からの電流信号を電圧信号に変換した信号を参照信号として出力する。除去処理部 2 5 は、被検信号と参照信号との差分からなる差分信号を処理信号として出力する。この場合、被検信号と参照信号との差分からなる処理信号において、電磁波等の外来ノイズ成分も除去されている。

[0113] 検査装置 1 B, 1 C において、参照信号出力部 2 4 は、外部電源装置 2 の出力に応じた電流信号を逆相にした信号を参照信号として出力する。加算部 4 8 は、半導体試料 S から出力された電流信号に参照信号を加算する。電流電圧変換部 4 9 は、加算部 4 8 によって加算された信号を増幅する。この場合、半導体試料 S から出力された電流信号に参照信号を加算した後に増幅が行われる。すなわち、外部電源装置 2 の出力によるノイズ成分の除去処理が行われた後に増幅が行われる。このため、外部電源装置 2 の出力のノイズが大きい場合でも、ノイズ成分によって除去処理部 2 5 が飽和することを防止できる。したがって、除去処理部 2 5 の増幅率を高くすることができる。

[0114] 検査装置 1, 1 A, 1 B, 1 C において、除去処理部 2 5 と電気特性測定部 2 8 とは、アイソレート部 2 7 によって、電氣的に絶縁されている。アイ

ソレート部 27 は、たとえば、トランス、又はフォトカプラを介して、除去処理部 25 と電気特性測定部 28 とを接続する。検査装置 1, 1A, 1B, 1C において、参照信号出力部 24 及び除去処理部 25 の少なくとも一つは、外部電源装置 2 のグラウンド G と接続された回路 63 から供給される電力によって動作する。この場合、外部電源側と測定部側との間で生じる共通モードノイズが発生することを防止できる。

[0115] 以上、本発明の実施形態及び変形例について説明してきたが、本発明は必ずしも上述した実施形態及び変形例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で様々な変更が可能である。

[0116] たとえば、参照信号出力部 24 は、可変増幅器 55 の代わりに可変抵抗を含んでいてもよい。この場合、可変抵抗は、デジタル制御可変抵抗器であり、ゲイン設定部 26 から出力されたデジタル信号に応じて抵抗値が制御される。

[0117] ゲイン設定部 26 は、可変増幅器 55 の抵抗値を表すビット列の代わりにデジタル制御ゲイン可変増幅器のゲインの値に対応するビット列を決定することで、参照信号出力部 24 のゲインを設定してもよい。この場合も、ゲイン設定部 26 は、二分探索法によって上記ビット列の各ビットの値を最上位ビット側から決定することで、第一処理信号の強度が最小になると判断された値に参照信号出力部 24 のゲインを設定してもよい。また、二分探索法以外の探索方法でビットを決定してもよい。

[0118] 本実施形態及び変形例では、電気特性の測定処理において、半導体試料 S に対して光の照射及び走査が行われている状態において取得される第二処理信号の強度に基づいて半導体試料 S の電気特性が測定されることを説明した。しかし、電気特性の測定処理には、半導体試料 S に対して光の照射及び走査が行われていない状態において取得される第一処理信号の強度に基づいて半導体試料 S の電気特性が測定される期間が含まれていてもよい。

[0119] 本実施形態及び変形例において、電気特性測定部 28 とシステム制御部 31 とを分けて説明したが、電気特性測定部 28 はシステム制御部 31 に含ま

れていてもよい。

[0120] システム制御部 3 1 は、半導体試料 S の測定領域の全て又は所定部分にレーザビーム L を照射及び走査した後に、表示部 3 2 に画像を表示してもよいし、電気特性測定部 2 8 から測定結果を受信に応じて表示部 3 2 に画像を逐次表示してもよい。

[0121] 本実施形態及び変形例において、電気特性測定部 2 8 は、システム制御部 3 1 に測定結果を逐次送信したが、半導体試料 S の測定領域の全て又は所定部分にレーザビーム L を照射及び走査した後に、システム制御部 3 1 に測定結果をまとめて送信してもよい。

[0122] 本実施形態で説明した処理フローは例示的な処理順序を説明しており、本検査方法は説明した特定の処理順序に限定されない。処理順序は、矛盾の無い限り、順序を入れ替えてもよい。たとえば、外部電源装置 2 による半導体試料 S への電圧の印加の開始と、光照射ユニット 1 0 による半導体試料 S へのレーザビーム L の照射及び走査の開始とは、順序が逆であってもよい。

符号の説明

[0123] 1, 1 A, 1 B, 1 C…検査装置、2…外部電源装置、2 3…被検信号出力部、2 4…参照信号出力部、2 5…除去処理部、2 6…ゲイン設定部、2 8…電気特性測定部、S…半導体試料。

請求の範囲

- [請求項1] 外部電源装置によって電圧が印加されていると共に光が照射及び走査されている半導体試料の電気特性を測定し、当該電気特性に基づいて前記半導体試料の欠陥箇所を検出するための半導体試料の検査装置であって、
- 前記半導体試料と電氣的に並列に、外部電源装置に接続されていると共に、前記外部電源装置の出力に応じた参照信号を出力する参照信号出力部と、
- 前記外部電源装置による電圧の印加によって前記半導体試料から出力された被検信号に対して前記外部電源装置の出力によるノイズ成分の除去処理を前記参照信号に基づいて行い、前記除去処理が行われた前記被検信号を処理信号として出力する除去処理部と、
- 前記処理信号の強度に基づいて、前記外部電源装置の出力に応じて前記参照信号を出力する前記参照信号出力部のゲインを設定するゲイン設定部と、
- 前記ゲイン設定部によって前記ゲインが設定された前記参照信号出力部からの前記参照信号に基づき前記除去処理が行われた前記処理信号に基づいて、前記半導体試料の電気特性を測定する電気特性測定部と、を備える。
- [請求項2] 請求項1に記載の検査装置であって、前記ゲイン設定部は、互いに異なる複数の値に前記ゲインを設定したそれぞれの場合における前記処理信号の強度を取得し、前記処理信号の強度が最小になると判断された値に前記ゲインを設定する。
- [請求項3] 請求項2に記載の検査装置であって、前記ゲイン設定部は、前記ゲインの値に対応するビット列について、二分探索法によって前記ビット列の各ビットの値を最上位ビット側から決定することで、前記処理信号の強度が最小になると判断された値に前記ゲインを設定する。
- [請求項4] 、請求項2又は3に記載の検査装置であって、

前記参照信号出力部は、前記参照信号を出力する増幅器を含み、
前記ゲイン設定部は、前記増幅器の周波数帯域における最小周波数の周期よりも長い期間、前記処理信号の強度をサンプリングすることで、前記処理信号の強度を取得する。

[請求項5] 請求項4に記載の検査装置であって、前記ゲイン設定部は、前記増幅器の周波数帯域における最大周波数の周期よりも短いサンプリング周期によって前記処理信号の強度をサンプリングする。

[請求項6] 請求項1～5のいずれか一項に記載の検査装置であって、前記ゲイン設定部は、前記処理信号の強度のピーク値を取得し、前記ピーク値に基づいて前記ゲインを設定する。

[請求項7] 半導体試料の検査方法であって、
外部電源装置によって前記半導体試料に電圧を印加することと、
前記外部電源装置による電圧の印加に応じて前記半導体試料から出力された被検信号を取得することと、
前記外部電源装置の出力に応じて、前記半導体試料と電氣的に並列に前記外部電源装置に接続された参照信号出力部から出力された参照信号を取得することと、
前記外部電源装置によって電圧が印加されている半導体試料に対して光を照射及び走査することと、
前記外部電源装置の出力によるノイズ成分の除去処理が前記参照信号に基づいて前記被検信号に対して行われた処理信号を取得することと、
前記処理信号の強度に基づいて、前記外部電源装置の出力に応じて前記参照信号を出力する前記参照信号出力部のゲインを設定することと、
前記ゲインが設定された前記参照信号出力部からの前記参照信号に基づき前記除去処理が行われた前記処理信号に基づいて、前記半導体試料の電気特性を測定することと、

前記半導体試料の電気特性に基づいて、前記半導体試料の欠陥箇所を出力することと、を含む、検査方法。