

明 細 書

発明の名称：光差分検出器及び検査装置

技術分野

[0001] 本開示は、光差分検出器及び検査装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、アバランシェフォトダイオード（avalanche photodiode：以下「APD」）を用いた光差分検出器が知られている。例えば特許文献1に記載の検出器は、正のバイアス生成回路に接続された第1のAPDと、負のバイアス生成回路に接続された第2のAPDと、これらのAPDの後段に配置された増幅器と、を備え、差分増幅可能な構成を有している。第1のAPD及び第2のAPDは、増幅器に対して電氣的に直列に接続され、増幅器には、2つのAPDからそれぞれ出力される検出信号の差分が入力される。このような検出器では、2つのAPDからの同相信号が除去され、同相雑音が除去されるため、高いSN比をもって光検出を行うことが可能となる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：米国特許第7659981号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] APDでは、カソードとアノードとの間に印加されるバイアス電圧によって、光に対する信号電流の増幅率が定まる。光差分検出器としてAPDを用いる場合には、2つのAPDの増幅率が等しくなるように各APDにバイアス電圧を印加する必要がある。しかしながら、APDには、100V程度の比較的高いバイアス電圧を印加する必要がある、正負のバイアス電圧を精度良く揃えることが難しいという問題がある。また、実際にはAPDの個体毎にバイアス電圧に対する増幅率のばらつきがあり、また、APDの温度特性による影響もある。そのため、絶対値が等しいバイアス電圧を2つのAPD

に印加したとしても、2つのAPDの増幅率が揃わず、同相雑音の除去効果が十分に得られなくなることが考えられる。

- [0005] 本開示は、上記課題の解決のためになされたものであり、バイアス電圧の調整が容易化され、同相雑音の除去効果を十分に高められる光差分検出器及びこれを用いた検査装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0006] 上記課題の解決のため、本開示の一側面に係る光差分検出器は、入力光に応じた信号電流を増幅して出力する第1のアバランシェフォトダイオード及び第2のアバランシェフォトダイオードと、第1のアバランシェフォトダイオードに第1のバイアス電圧を印加する第1の電圧印加部、及び第2のアバランシェフォトダイオードに第2のバイアス電圧を印加する第2の電圧印加部と、第1のアバランシェフォトダイオードと第2のアバランシェフォトダイオードとが並列に接続され、第1のアバランシェフォトダイオードから出力される第1の信号電流と、第2のアバランシェフォトダイオードから出力される第2の信号電流とを差分増幅する差分増幅器と、第1のアバランシェフォトダイオードにおける第1のモニタ用電流の低周波成分と、第2のアバランシェフォトダイオードにおける第2のモニタ用電流の低周波成分とが等しくなるように、第1のバイアス電圧及び第2のバイアス電圧の少なくとも一方を制御するフィードバック制御部と、を備える。

- [0007] この光差分検出器では、第1のアバランシェフォトダイオード及び第2のアバランシェフォトダイオードが差分増幅器に対して並列に接続されている。この構成によれば、正負の一方の極性のバイアス電圧を第1のアバランシェフォトダイオード及び第2のアバランシェフォトダイオードに印加すればよいため、バイアス電圧の調整が容易化される。その上で、第1のモニタ用電流の低周波成分及び第2のモニタ用電流の低周波成分を用いて第1のバイアス電圧及び第2のバイアス電圧の少なくとも一方を制御することで、各アバランシェフォトダイオードの増幅率を揃えることが可能となる。この結果、各アバランシェフォトダイオードからの同相信号が十分に除去され、同相

雑音の除去効果が高められるので、高いS/N比をもって光検出を行うことが可能となる。

[0008] 第1のモニタ用電流は、第1のバイアス電圧の印加によって第1のアバランシェフォトダイオードに流れる第1のバイアス電流であり、第2のモニタ用電流は、第2のバイアス電圧の印加によって第2のアバランシェフォトダイオードに流れる第2のバイアス電流であってもよい。この場合、制御電圧を制御するフィードバック制御部の構成を簡便に実現できる。また、入力光の強弱に依らずに低周波成分のモニタが可能となるため、フィードバック制御の安定性を確保できる。

[0009] 第1のモニタ用電流は、第1のアバランシェフォトダイオードから出力される第1の信号電流であり、第2のモニタ用電流は、第2のアバランシェフォトダイオードから出力される第2の信号電流であってもよい。この場合も、制御電圧を制御するフィードバック制御部の構成を簡便に実現できる。

[0010] また、本開示の一側面に係る光差分検出器は、入力光に応じた信号電流を増幅して出力する第1のアバランシェフォトダイオード及び第2のアバランシェフォトダイオードと、第1のアバランシェフォトダイオードに第1のバイアス電圧を印加する第1の電圧印加部、及び第2のアバランシェフォトダイオードに第2のバイアス電圧を印加する第2の電圧印加部と、第1のアバランシェフォトダイオードと第2のアバランシェフォトダイオードとが並列に接続され、第1のアバランシェフォトダイオードから出力される第1の信号電流と、第2のアバランシェフォトダイオードから出力される第2の信号電流とを差分増幅する差分増幅器と、第1のアバランシェフォトダイオードへの入力光又は第2のアバランシェフォトダイオードへの入力光を減衰させる光減衰器と、第1のアバランシェフォトダイオードにおける第1のモニタ用電流の低周波成分と、第2のアバランシェフォトダイオードにおける第2のモニタ用電流の低周波成分とが等しくなるように、光減衰器による入力光の減衰量を制御するフィードバック制御部と、を備える。

[0011] この光差分検出器では、第1のアバランシェフォトダイオード及び第2の

アバランシェフォトダイオードが差分増幅器に対して並列に接続されている。この構成によれば、正負の一方の極性のバイアス電圧を第1のアバランシェフォトダイオード及び第2のアバランシェフォトダイオードに印加すればよい。そのため、バイアス電圧の調整が容易化される。その上で、第1のモニタ用電流の低周波成分及び第2のモニタ用電流の低周波成分を用いて光減衰器による入力光の減衰量を制御することで、各アバランシェフォトダイオードへの入力光の光量を揃えることが可能となる。この結果、各アバランシェフォトダイオードからの同相信号が十分に除去され、同相雑音の除去効果が高められるので、高いS/N比をもって光検出を行うことが可能となる。

[0012] 第1のモニタ用電流は、第1のバイアス電圧の印加によって第1のアバランシェフォトダイオードに流れる第1のバイアス電流であり、第2のモニタ用電流は、第2のバイアス電圧の印加によって第2のアバランシェフォトダイオードに流れる第2のバイアス電流であってもよい。この場合、入力光の減衰量を制御するフィードバック制御部の構成を簡便に実現できる。

[0013] 第1のモニタ用電流は、第1のアバランシェフォトダイオードから出力される第1の信号電流であり、第2のモニタ用電流は、第2のアバランシェフォトダイオードから出力される第2の信号電流であってもよい。この場合も、入力光の減衰量を制御するフィードバック制御部の構成を簡便に実現できる。

[0014] また、本開示の一側面に係る検査装置は、計測対象物に向けて検査光を出力する光源と、計測対象物に対向して配置される磁気光学結晶と、上記光差分検出器と、を備え、第1のアバランシェフォトダイオードは、光源から出力して磁気光学結晶で反射した第1の偏光成分を有する第1の検査光を検出し、第2のアバランシェフォトダイオードは、光源から出力して磁気光学結晶で反射した第2の偏光成分を有する第2の検査光を検出する。

[0015] この検査装置では、光差分検出器において、各アバランシェフォトダイオードの増幅率或いは各アバランシェフォトダイオードへの入力光の光量を揃えることが可能となる。この結果、各アバランシェフォトダイオードからの

同相信号が十分に除去され、同相雑音の除去効果が高められる。したがって、高いS N比をもって光検出を行うことが可能となり、高い精度で計測対象物の検査を実施できる。

発明の効果

- [0016] この光差分検出器及び検査装置では、バイアス電圧の調整が容易化され、同相雑音の除去効果を十分に高められる。

図面の簡単な説明

- [0017] [図1]検査装置の一実施形態を示す図である。
[図2]光差分検出器の第1実施形態を示す図である。
[図3]光差分検出器の第2実施形態を示す図である。
[図4]光差分検出器の第3実施形態を示す図である。
[図5]光差分検出器の第4実施形態を示す図である。
[図6]電圧印加部の変形例を示す図である。

発明を実施するための形態

- [0018] 以下、図面を参照しながら、本開示の一側面に係る光差分検出器及び検査装置の好適な実施形態について詳細に説明する。

[検査装置]

- [0019] 図1は、検査装置の一実施形態を示す図である。同図に示す検査装置1は、検査光Lを用いることにより、計測対象物である半導体デバイスDにおける異常発生個所を特定する装置として構成されている。検査装置1は、検査光Lを導光及び検出するための要素として、光源2と、光分割光学系3と、光スキャナ4と、対物レンズ5と、磁気光学結晶6と、光センサ7と、アンプ8とを備えている。また、検査装置1は、検査光Lを解析するための要素として、テストユニット9と、周波数解析部10と、コンピュータ11と、表示装置12と、入力装置13とを備えている。

- [0020] 計測対象物である半導体デバイスDとしては、例えばダイオードやパワートランジスタ等を含む個別半導体素子（ディスクリート）、オプトエレクトロニクス素子、センサ／アクチュエータ、あるいは、MOS（Metal-Oxide-S

emiconductor) 構造やバイポーラ構造のトランジスタで構成されるロジック L S I (Large Scale Integration)、メモリ素子、リニア I C (Integrated Circuit) 等、及びこれらの混成デバイス等がある。また、半導体デバイス D は、半導体デバイスを含むパッケージ、複合基板等であってもよい。

[0021] 光源 2 は、磁気光学結晶 6 及び半導体デバイス D に向けて検査光 L を出力する装置である。検査光 L は、C W (continuous wave) 光及びパルス光のいずれであってもよい。また、検査光 L は、インコヒーレントな光及びコヒーレントな光のいずれであってもよい。インコヒーレントな光を出力する光源としては、例えば S L D (Super Luminescent Diode)、A S E (Amplified Spontaneous Emission)、L E D (Light Emitting Diode) 等が挙げられる。また、コヒーレントな光を出力する光源 2 としては、固体レーザ光源や半導体レーザ光源等を用いることができる。

[0022] また、検査光 L の波長は、例えば 5 3 0 n m 以上となっている。検査光 L の波長は、1 0 6 4 n m 以上であってもよい。光源 2 から出力された検査光 L は、例えば偏光保存シングルモード光ケーブル及びプローブ光用の偏光保存シングルモード光ファイバを介し、光分割光学系 3 を通って光スキャナ 4 に導かれる。

[0023] 光スキャナ 4 は、例えばガルバノミラーや M E M S (micro electromechanical system) ミラー等の光走査素子によって構成されている。光スキャナ 4 は、磁気光学結晶 6 の入射面 6 i 上の選択領域に対して検査光 L を走査する。選択領域は、例えば入力装置 1 3 によってコンピュータ 1 1 に入力されたユーザの操作によって設定される。選択領域は、磁気光学結晶 6 の入射面 6 i に対し、2 次元のエリア、1 次元のライン、或いはスポット的に設定される。

[0024] 対物レンズ 5 は、光分割光学系 3 及び光スキャナ 4 によって導かれた検査光 L を磁気光学結晶 6 に集光する。対物レンズ 5 は、ターレット等により、低倍率対物レンズ (例えば 5 倍) と高倍率対物レンズ (例えば 5 0 倍) とに切替可能に構成されている。対物レンズ 5 には、対物レンズ駆動部 1 4 が取

り付けられている。この対物レンズ駆動部 14 によって対物レンズ 5 が検査光 L の光軸方向 OD に沿って変位することにより、対物レンズ 5 の焦点位置が光軸方向 OD に調整される。

[0025] 磁気光学結晶 6 は、磁気光学効果により、半導体デバイス D で発生した磁界に応じて、入射面 6 i から入力された検査光 L の偏光状態を変化させる。例えば半導体デバイス D においてリーク電流が発生している等の故障が生じている場合、故障箇所では正常時とは異なる磁界の変化が生じ得る。したがって、磁気光学結晶 6 では、故障箇所における磁界の変化が検査光 L の偏光状態の変化として出力されることとなる。

[0026] 磁気光学結晶 6 で反射した検査光 L は、対物レンズ 5 及び光スキャナ 4 を通って光分割光学系 3 に戻り、戻り光用の光ファイバを介して光センサ 7 に導光される。ここでは、光センサ 7 は、後述する光差分検出器 21 A ~ 21 D のいずれかによって構成されている。光センサ 7 は、磁気光学結晶 6 で反射した検査光 L の異なる偏光成分を検出する 2 つの検出素子（第 1 の APD 22 A 及び第 2 の APD 22 B : 図 2 等参照）を有している。光センサ 7 は、これらの検出素子によって検出された光の強度に基づく差分信号をアンプ 8 に出力する。

[0027] 光分割光学系 3 は、ファラデー回転子及び偏光ビームスプリッタを含んで構成されている。磁気光学結晶 6 で反射した検査光 L の S 偏光成分（第 1 の検査光）は、第 1 の偏光ビームスプリッタによって反射され、光センサ 7 の一方の検出素子に入射する。また、磁気光学結晶 6 で反射した検査光 L の P 偏光成分は、ファラデー回転子によって偏光面が回転し、S 偏光成分の光となる。この S 偏光成分の光（第 2 の検査光）は、第 2 の偏光ビームスプリッタによって反射され、光センサ 7 の他方の検出素子に入射する。

[0028] 光センサ 7 から出力された差分信号は、アンプ 8 によって増幅され、増幅信号として周波数解析部 10 に入力される。周波数解析部 10 は、増幅信号における計測周波数成分を抽出し、抽出した信号を解析信号としてコンピュータ 11 に出力する。計測周波数は、例えば半導体デバイス D に印加される

変調電流信号の変調周波数に基づいて設定される。周波数解析部10としては、例えばロックインアンプ、スペクトラムアナライザ、ネットワークアナライザ、デジタイザ、クロス・ドメイン・アナライザ（登録商標）等を用いることができる。

[0029] 本実施形態では、テストユニット9によって半導体デバイスDに所定の変調電流信号が繰り返し印加される。テストユニット9は、例えばタイミング信号ケーブルにより周波数解析部10に電氣的に接続されている。半導体デバイスDでは、当該変調電流信号に伴い変調磁場が発生する。変調磁場に応じた光信号が後述する光センサ7に検出されることによって、特定の周波数に基づくロックイン検出が可能となる。ロックイン検出を行うことによってS/Nを向上させることができる。なお、テストユニット9は、必ずしも変調電流信号を印加するものでなくてもよく、検出周波数に応じたパルス光を発生させるCW（continuous wave）電流信号を印加するものであってもよい。

[0030] コンピュータ11は、物理的には、例えばRAM、ROM等のメモリ、及びCPU等のプロセッサ、通信インターフェイス、ハードディスク等の格納部を備えて構成されている。かかるコンピュータ11としては、例えばパーソナルコンピュータ、マイクロコンピュータ、クラウドサーバ、スマートデバイス（スマートフォン、タブレット端末など）などが挙げられる。コンピュータ11には、例えばユーザからの操作が入力される入力装置13と、ユーザに計測結果等を示すための表示装置23とが接続されている。コンピュータ11は、プロセッサにより、光源2、光スキャナ4、対物レンズ駆動部14、テストユニット9、光センサ7、周波数解析部10を制御する機能を実行する。また、コンピュータ11は、プロセッサにより、周波数解析部10からの解析信号に基づく磁気分布画像或いは磁気周波数プロット等を生成する機能を実行する。

[光差分検出器の第1実施形態]

[0031] 次に、上述した光センサ7を構成する光差分検出器について更に詳細に説

明する。図2は、光差分検出器の第1実施形態を示す図である。この光差分検出器21Aは、検出素子として2つのアバランシェフォトダイオード（以下、「APD」と称す）を備えている。光差分検出器21Aは、これらのAPDからそれぞれ出力される検出信号の差分を増幅して出力する。光差分検出器21Aから出力される差分信号では、2つのAPDからの同相信号が除去され、同相雑音が除去される。このため、光差分検出器21Aでは、高いSN比をもって光検出を行うことが可能となっている。

[0032] 光差分検出器21Aは、図2に示すように、第1のAPD22A及び第2のAPD22Bと、第1の電圧印加部23A及び第2の電圧印加部23Bと、複数の電流電圧変換器24と、差分増幅器25と、フィードバック制御部26とを備えて構成されている。

[0033] 第1のAPD22A及び第2のAPD22Bは、入力光に応じた信号電流を増幅して出力する検出素子である。第1のAPD22A及び第2のAPD22Bは、互いに独立したバイアス回路を有している。すなわち、第1のAPD22Aによる信号電流の増幅率は、第1の電圧印加部23Aから印加される第1のバイアス電圧 V_{A1} によって制御され、第2のAPD22Bによる信号電流の増幅率は、第2の電圧印加部23Bから印加される第2のバイアス電圧 V_{A2} によって制御される。第1のAPD22A及び第2のAPD22Bは、差分増幅器25に対して電氣的に並列に接続されている。

[0034] 第1のAPD22Aに入力される入力光L1は、磁気光学結晶6で反射した検査光LのS偏光成分の光（第1の検査光）である。第1のAPD22Aは、入力光L1の強度に応じた第1の信号電流 I_{A1} を出力する。第1の信号電流 I_{A1} は、電流電圧変換器24によって第1の信号電圧 V_{B1} に変換され、第1の信号電圧 V_{B1} は、差分増幅器25に入力される。第2のAPD22Bに入力される入力光L2は、磁気光学結晶6で反射した検査光LのP偏光成分であり、ファラデー回転子によって偏光面が回転してS偏光成分となった光（第2の検査光）である。第2のAPD22Bは、入力光L2の強度に応じた第2の信号電流 I_{A2} を出力する。第2の信号電流 I_{A2} は、電流電圧

変換器 24 によって第 2 の信号電圧 V_{B_2} に変換され、第 2 の信号電圧 V_{B_2} は、差分増幅器 25 に入力される。

[0035] 第 1 の電圧印加部 23A は、第 1 の APD 22A に第 1 のバイアス電圧 V_{A_1} を供給する部分である。第 1 の電圧印加部 23A には、第 1 の抵抗分圧回路 27A が接続されている。当該第 1 の抵抗分圧回路 27A によって第 1 の電圧印加部 23A における制御電圧 $cont_1$ が生成される。第 2 の電圧印加部 23B は、第 2 の APD 22B に第 2 のバイアス電圧 V_{A_2} を供給する部分である。第 2 の電圧印加部 23B には、第 2 の抵抗分圧回路 27B が接続されている。当該第 2 の抵抗分圧回路 27B によって第 2 の電圧印加部 23B における制御電圧 $cont_2$ が生成される。

[0036] 第 1 の APD 22A 及び第 2 の APD 22B は、差分増幅器 25 に対して電氣的に並列に接続されている。このため、第 1 のバイアス電圧 V_{A_1} 及び第 2 のバイアス電圧 V_{A_2} は、正負いずれか一方の極性を有していればよい。本実施形態では、第 1 のバイアス電圧 V_{A_1} 及び第 2 のバイアス電圧 V_{A_2} は、いずれも正のバイアス電圧となっている。差分増幅器 25 は、第 1 の APD 22A からの第 1 の信号電圧と、第 2 の APD 22B からの第 2 の信号電圧との差分を増幅した差分信号を生成する。差分増幅器 25 は、生成した差分信号をアンプ 8 (図 1 参照) に出力する。

[0037] フィードバック制御部 26 は、第 1 のバイアス電圧 V_{A_1} 及び第 2 のバイアス電圧 V_{A_2} の少なくとも一方を制御する部分である。本実施形態では、フィードバック制御部 26 は、第 2 のバイアス電圧 V_{A_2} を制御する。第 2 のバイアス電圧 V_{A_2} の制御にあたって、フィードバック制御部 26 は、エラー増幅器 28 を備えている。また、第 2 の電圧印加部 23B の第 2 の抵抗分圧回路 27B には、接地端子 GND とエラー端子 ERR とを切り替えるスイッチ SW が設けられている。

[0038] 第 1 の電圧印加部 23A からは、第 1 の APD 22A に供給される第 1 のバイアス電流 I_{B_1} (第 1 のモニタ用電流 I_{M_1}) が出力される。第 1 のバイアス電流 I_{B_1} は、電流電圧変換器 24 によって電圧に変換された後、エラー

増幅器 28 に入力される。第 2 の電圧印加部 23 B からは、第 2 の APD 22 B に供給される第 2 のバイアス電流 I_{B_2} (第 2 のモニタ用電流 I_{M_2}) が出力される。第 2 のバイアス電流 I_{B_2} は、電流電圧変換器 24 によって電圧に変換された後、エラー増幅器 28 に入力される。

[0039] エラー増幅器 28 は、出力端子としてエラー端子 E R R を有している。エラー増幅器 28 は、入力された 2 つの電圧の低周波成分を抽出し、これらの低周波成分を差分して得られた差分電圧を第 2 の抵抗分圧回路 27 B に出力する。このため、エラー端子 E R R の電位は、差分電圧に応じて変化する。第 2 の電圧印加部 23 B では、スイッチ SW が接地端子 G N D に接続されている場合には、フィードバック制御が実行されない。一方、第 2 の電圧印加部 23 B では、スイッチ SW がエラー端子 E R R に接続されている場合には、エラー増幅器 28 に入力される 2 つの低周波成分が互いに等しくなるようにフィードバック制御が実行される。スイッチ SW がエラー端子 E R R に接続されている場合、エラー増幅器 28 のからの出力電圧のうち、第 2 の抵抗分圧回路 27 B によって抵抗分圧された電圧が第 2 の電圧印加部 23 B の制御電圧 $cont_2$ となる。つまり、エラー増幅器 28 の出力電圧に基づいて第 2 の電圧印加部 23 B から第 2 の APD 22 B に印可される第 2 のバイアス電圧 V_{A_2} が調整されることとなる。

[0040] 以上説明したように、この光差分検出器 21 A では、第 1 の APD 22 A 及び第 2 の APD 22 B が差分増幅器 25 に対して並列に接続されている。この構成によれば、2 つの APD を増幅器に対して電氣的に直列に接続する場合とは異なり、正負の一方の極性のバイアス電圧を第 1 の APD 22 A 及び第 2 の APD 22 B に印加すればよいため、バイアス電圧の調整が容易化される。その上で、第 1 のモニタ用電流 I_{M_1} の低周波成分及び第 2 のモニタ用電流 I_{M_2} の低周波成分を用いて第 1 のバイアス電圧 V_{A_1} 及び第 2 のバイアス電圧 V_{A_2} の少なくとも一方（ここでは第 2 のバイアス電圧 V_{A_2} ）を制御することで、第 1 の APD 22 A 及び第 2 の APD 22 B の増幅率を揃えることが可能となる。この結果、第 1 の APD 22 A 及び第 2 の APD 22

Bからの同相信号が十分に除去され、同相雑音の除去効果が高められるので、検査装置1において高いS/N比をもって光検出を行うことが可能となる。

[0041] また、光差分検出器21Aでは、第1のモニタ用電流 I_{M1} が第1のバイアス電圧 V_{A1} の印加によって第1のAPD22Aに流れる第1のバイアス電流 I_{B1} であり、第2のモニタ用電流 I_{M2} が第2のバイアス電圧 V_{A2} の印加によって第2のAPD22Bに流れる第2のバイアス電流 I_{B2} である。このような構成により、制御電圧を制御するフィードバック制御部26の構成を簡便に実現できる。また、入力光 $L1$ 、 $L2$ の強弱に依らずに低周波成分のモニタが可能となるため、フィードバック制御の安定性を確保できる。

[光差分検出器の第2実施形態]

[0042] 図3は、光差分検出器の第2実施形態を示す図である。第2実施形態に係る光差分検出器21Bは、第1のAPD22A及び第2のAPD22Bが差分増幅器25に対して並列に接続されている点が第1実施形態と共通している一方、フィードバック制御に用いるモニタ用電流が第1実施形態と相違している。

[0043] 光差分検出器21Bでは、第1のモニタ用電流 I_{M1} は、第1のAPD22Aから出力される第1の信号電流 I_{A1} であり、第2のモニタ用電流 I_{M2} は、第2のAPD22Bから出力される第2の信号電流 I_{A2} である。より詳細には、図3に示すように、光差分検出器21Bでは、第1のAPD22Aから出力される第1の信号電流 I_{A1} は、電流電圧変換器24によって第1の信号電圧 V_{B1} に変換され、第1の信号電圧 V_{B1} は、差分増幅器25とエラー増幅器28の双方に入力される。また、第2のAPD22Bから出力される第2の信号電流 I_{A2} は、電流電圧変換器24によって第2の信号電圧 V_{B2} に変換され、第2の信号電圧 V_{B2} は、差分増幅器25とエラー増幅器28の双方に入力される。

[0044] このような光差分検出器21Bにおいても、正負の一方の極性のバイアス電圧を第1のAPD22A及び第2のAPD22Bに印加すればよいため、バイアス電圧の調整が容易化される。また、第1のモニタ用電流 I_{M1} の低周

波成分及び第2のモニタ用電流 I_{M2} の低周波成分を用いて第1のバイアス電圧 V_{A1} 及び第2のバイアス電圧 V_{A2} の少なくとも一方（ここでは第2のバイアス電圧 V_{A2} ）を制御することで、第1のAPD22A及び第2のAPD22Bの増幅率を揃えることが可能となる。したがって、第1のAPD22A及び第2のAPD22Bからの同相信号が十分に除去され、同相雑音の除去効果が高められるので、検査装置1において高いSN比をもって光検出を行うことが可能となる。

[0045] また、光差分検出器21Bでは、第1のモニタ用電流 I_{M1} は、第1のAPD22Aから出力される第1の信号電流 I_{A1} であり、第2のモニタ用電流 I_{M2} は、第2のAPD22Bから出力される第2の信号電流 I_{A2} である。このような構成により、制御電圧を制御するフィードバック制御部26の構成を簡便に実現できる。

〔光差分検出器の第3実施形態〕

[0046] 図4は、光差分検出器の第3実施形態を示す図である。第3実施形態に係る光差分検出器21Cは、第1のAPD22A及び第2のAPD22Bが差分増幅器25に対して並列に接続されている点が第1実施形態及び第2実施形態と共通している一方、フィードバック制御の対象が第1のAPD22A及び第2のAPD22Bに入力される入力光 $L1$ 、 $L2$ の光量である点で第1実施形態及び第2実施形態と相違する。

[0047] 光差分検出器21Cでは、図4に示すように、第1のモニタ用電流 I_{M1} は、第1のバイアス電圧 V_{A1} の印加によって第1のAPD22Aに流れる第1のバイアス電流 I_{B1} であり、第2のモニタ用電流 I_{M2} は、第2のバイアス電圧 V_{A2} の印加によって第2のAPD22Bに流れる第2のバイアス電流 I_{B2} である。第1のバイアス電流 I_{B1} 及び第2のバイアス電流 I_{B2} は、いずれも電流電圧変換器24によって電圧に変換された後、エラー増幅器28に入力される。

[0048] また、光差分検出器21Cには、第1のAPD22Aへの入力光 $L1$ 又は第2のAPD22Bへの入力光 $L2$ を減衰させる光減衰器30が配置されて

いる。光差分検出器 21C では、エラー増幅器 28 と光減衰器 30 とによって、第 2 の APD 22B に入力される入力光 L1, L2 の減衰量を制御するフィードバック制御部 26 が構成されている。本実施形態では、光減衰器 30 は、第 2 の APD 22B の入力側に接続され、入力光 L2 の光量を調整する。また、光減衰器 30 には、エラー増幅器 28 のエラー端子 ERR が接続されている。光減衰器 30 では、エラー増幅器 28 に入力される 2 つの電圧の低周波成分が互いに等しくなるように、入力光 L2 の光量のフィードバック制御が実行される。

[0049] このような光差分検出器 21C においても、正負の一方の極性のバイアス電圧を第 1 の APD 22A 及び第 2 の APD 22B に印加すればよいため、バイアス電圧の調整が容易化される。また、第 1 のモニタ用電流 I_{M1} の低周波成分及び第 2 のモニタ用電流 I_{M2} の低周波成分を用いて光減衰器 30 による入力光 L2 の減衰量を制御することで、第 1 の APD 22A 及び第 2 の APD 22B への入力光 L1, L2 の光量を揃えることが可能となる。この結果、第 1 の APD 22A 及び第 2 の APD 22B からの同相信号が十分に除去され、同相雑音の除去効果が高められるので、検査装置 1 において高い SN 比をもって光検出を行うことが可能となる。

[0050] また、光差分検出器 21C では、第 1 のモニタ用電流 I_{M1} が第 1 のバイアス電圧 V_{A1} の印加によって第 1 の APD 22A に流れる第 1 のバイアス電流 I_{B1} であり、第 2 のモニタ用電流 I_{M2} が第 2 のバイアス電圧 V_{A2} の印加によって第 2 の APD 22B に流れる第 2 のバイアス電流 I_{B2} である。このような構成により、入力光 L2 の減衰量を制御するフィードバック制御部 26 の構成を簡便に実現できる。

[光差分検出器の第 4 実施形態]

[0051] 図 5 は、光差分検出器の第 4 実施形態を示す図である。第 4 実施形態に係る光差分検出器 21D は、フィードバック制御に用いるモニタ用電流が第 3 実施形態と相違している。

[0052] 光差分検出器 21D では、図 5 に示すように、第 1 のモニタ用電流 I_{M1} は

、第1のAPD22Aから出力される第1の信号電流 I_{A1} であり、第2のモニタ用電流 I_{M2} は、第2のAPD22Bから出力される第2の信号電流 I_{A2} である。光差分検出器21Dでは、第1のAPD22Aから出力される第1の信号電流 I_{A1} は、電流電圧変換器24によって第1の信号電圧 V_{B1} に変換され、第1の信号電圧 V_{B1} は、差分増幅器25とエラー増幅器28の双方に入力される。また、第2のAPD22Bから出力される第2の信号電流 I_{A2} は、電流電圧変換器24によって第2の信号電圧 V_{B2} に変換され、第2の信号電圧 V_{B2} は、差分増幅器25とエラー増幅器28の双方に入力される。光減衰器30では、エラー増幅器28に入力される2つの電圧の低周波成分が互いに等しくなるように、入力光L2の光量のフィードバック制御が実行される。

[0053] このような光差分検出器21Dにおいても、正負の一方の極性のバイアス電圧を第1のAPD22A及び第2のAPD22Bに印加すればよいので、バイアス電圧の調整が容易化される。また、第1のモニタ用電流 I_{M1} の低周波成分及び第2のモニタ用電流 I_{M2} の低周波成分を用いて光減衰器30による入力光L2の減衰量を制御することで、第1のAPD22A及び第2のAPD22Bへの入力光L1、L2の光量を揃えることが可能となる。この結果、第1のAPD22A及び第2のAPD22Bからの同相信号が十分に除去され、同相雑音の除去効果が高められるので、検査装置1において高いSN比をもって光検出を行うことが可能となる。

[0054] また、光差分検出器21Dでは、第1のモニタ用電流は、第1のAPD22Aから出力される第1の信号電流であり、第2のモニタ用電流は、第2のAPD22Bから出力される第2の信号電流である。このような構成により、入力光L2の減衰量を制御するフィードバック制御部26の構成を簡便に実現できる。

[光差分検出器の変形例]

[0055] 本開示は、上記実施形態に限られるものではない。例えば上記実施形態では、第1の電圧印加部23Aの制御電圧 $cont1$ を第1の抵抗分圧回路2

7 A によって生成し、第 2 の電圧印加部 2 3 B の制御電圧 $c o n t 2$ を第 2 の抵抗分圧回路 2 7 B によって生成している。しかしながら、制御電圧の生成には必ずしも抵抗分圧を用いる必要はなく、例えば D A C (Digital to Analog Converter) やマイクロコンピュータを用いて制御電圧を生成してもよい。

- [0056] この場合、D A C やマイクロコンピュータは、第 1 の電圧印加部 2 3 A 及び第 2 の電圧印加部 2 3 B に含まれ得る。したがって、第 1 実施形態及び第 2 実施形態の場合では、図 6 (a) に示すように、第 1 の電圧印加部 2 3 A を接地端子 G N D に接続すればよく、第 2 の電圧印加部 2 3 B をスイッチ S W に接続すればよい。また、第 3 実施形態及び第 4 実施形態の場合では、図 6 (b) に示すように、第 1 の電圧印加部 2 3 A 及び第 2 の電圧印加部 2 3 B をそれぞれ接地端子 G N D に接続すればよい。

符号の説明

- [0057] 1 …検査装置、2 …光源、6 …磁気光学結晶、2 1 A ~ 2 1 D …光差分検出器、2 2 A …第 1 の A P D、2 2 B …第 2 の A P D、2 3 A …第 1 の電圧印加部、2 3 B …第 2 の電圧印加部、2 5 …差分増幅器、2 6 …フィードバック制御部、3 0 …光減衰器、D …半導体デバイス（計測対象物）、L 1 , L 2 …入力光、 $I M_1$ …第 1 のモニタ用電流、 $I M_2$ …第 2 のモニタ用電流、 $V A_1$ …第 1 のバイアス電圧、 $V A_2$ …第 2 のバイアス電圧、 $I A_1$ …第 1 の信号電流、 $I A_2$ …第 2 の信号電流、 $I B_1$ …第 1 のバイアス電流、 $I B_2$ …第 2 のバイアス電流。