

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6283507号
(P6283507)

(45) 発行日 平成30年2月21日(2018.2.21)

(24) 登録日 平成30年2月2日(2018.2.2)

(51) Int.Cl.

F I

G O 1 R 31/302 (2006.01)

G O 1 R 31/28

L

請求項の数 10 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2013-247143 (P2013-247143)	(73) 特許権者	000236436
(22) 出願日	平成25年11月29日(2013.11.29)		浜松ホトニクス株式会社
(65) 公開番号	特開2015-105851 (P2015-105851A)		静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
(43) 公開日	平成27年6月8日(2015.6.8)	(74) 代理人	100088155
審査請求日	平成28年8月23日(2016.8.23)		弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100113435
			弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100124291
			弁理士 石田 悟
		(74) 代理人	100140442
			弁理士 柴山 健一
		(72) 発明者	大高 章弘
			静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
			浜松ホトニクス株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体デバイス計測装置及び半導体デバイス計測方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体デバイスに入力する動作パルス信号を発生させる動作パルス信号発生部と、
光を発生させる光発生部と、
前記光を前記半導体デバイスに照射する光照射部と、
前記光に対して前記半導体デバイスが反射した反射光を検出し、検出信号を出力する光
検出部と、

前記検出信号を増幅し、増幅信号を出力する増幅部と、

前記増幅信号及び所定の補正值に基づいて前記半導体デバイスの動作を解析する解析部
と、を備え、

前記所定の補正值は、前記動作パルス信号の基本周波数の高調波に相当する信号が前記
増幅部によって増幅された信号に基づいて求められたものである、半導体デバイス計測装
置。

【請求項2】

パルス信号を生成する信号生成部をさらに備え、

前記所定の補正值は、

前記信号生成部が、前記基本周波数の n 次高調波のパルス信号である高調波信号を順次
生成することにより求められたものである、請求項1記載の半導体デバイス計測装置。

【請求項3】

前記 n は正の整数である、請求項2記載の半導体デバイス計測装置。

【請求項 4】

前記 n は 2 の m 乗であり、前記 m は 0 及び正の整数である、請求項 3 記載の半導体デバイス計測装置。

【請求項 5】

前記パルス信号は、デューティ比が 40% ~ 60% である、請求項 2 ~ 4 のいずれか一項記載の半導体デバイス計測装置。

【請求項 6】

前記所定の補正値は、

前記光発生部が、前記信号生成部が生成した前記高調波信号に基づいて変調した変調光を発生し、

10

前記光検出部が、前記変調光を検出して前記高調波信号の検出信号を出力することにより求められたものである、請求項 2 ~ 5 のいずれか一項記載の半導体デバイス計測装置。

【請求項 7】

前記所定の補正値は、

前記信号生成部が生成した高調波信号が前記増幅部に入力されることにより求められたものである、請求項 2 ~ 5 のいずれか一項記載の半導体デバイス計測装置。

【請求項 8】

前記解析部は、

前記増幅信号を前記所定の補正値で補正するとともに、補正後の前記増幅信号の周波数成分のうち、前記所定の補正値が求められている範囲の周波数より高い高周波成分を低減する、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項記載の半導体デバイス計測装置。

20

【請求項 9】

前記解析部は、

前記増幅信号を前記所定の補正値で補正するとともに、補正後の前記増幅信号の周波数成分のうち、前記動作パルス信号の基本周波数以下の低周波成分を低減する、請求項 1 ~ 8 のいずれか一項記載の半導体デバイス計測装置。

【請求項 10】

半導体デバイスに入力する動作パルス信号を発生させる動作パルス信号発生工程と、

光を発生させる光発生工程と、

前記光を前記半導体デバイスに照射する光照射工程と、

30

前記光に対して前記半導体デバイスが反射した反射光を検出し、検出信号を出力する光検出工程と、

前記検出信号を増幅し、増幅信号を出力する増幅工程と、

前記増幅信号及び所定の補正値に基づいて前記半導体デバイスの動作を解析する解析工程と、を含み、

前記所定の補正値は、前記動作パルス信号の基本周波数の高調波に相当する信号が前記増幅部によって増幅された信号に基づいて求められたものである、半導体デバイス計測方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

40

【0001】

本発明は、半導体デバイス計測装置及び半導体デバイス計測方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

集積回路を検査する技術として、EOP (Electro Optical Probing) や EOFM (Electro-Optical Frequency Mapping) と称される光プロービング技術が知られている。光プロービング技術では、光源から出射された光を集積回路に照射し、集積回路で反射された反射光を光センサで検出して、検出信号を取得する。そして、取得した検出信号において、目的とする周波数を選び出し、その振幅エネルギーを時間的な経過として表示したり、2次元のマッピングとして表示したりする。これにより、目的とした周波数で動作し

50

ている回路の位置を特定することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2007-64975号公報

【特許文献2】特開2010-271307号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述したような光プロービング技術は、集積回路等の半導体デバイスにおける故障箇所及び故障原因などを特定し解析し得ることから、極めて有効な技術である。ここで、光プロービング技術により取得した検出信号は、所定の周波数において時間波形が歪むことがある。この場合には、解析精度が劣化するおそれがある。

【0005】

そこで、本発明は、解析精度がさらに向上した半導体デバイス計測装置及び半導体デバイス計測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】

【0006】

本発明の半導体デバイス計測装置は、半導体デバイスに入力する動作パルス信号を発生させる動作パルス信号発生部と、光を発生させる光発生部と、光を半導体デバイスに照射する光照射部と、光に対して半導体デバイスが反射した反射光を検出し、検出信号を出力する光検出部と、検出信号を増幅し、増幅信号を出力する増幅部と、増幅信号及び所定の補正值に基づいて半導体デバイスの動作を解析する解析部と、を備え、所定の補正值は、動作パルス信号の基本周波数の高調波に相当する信号が増幅部によって増幅された信号に基づいて求められたものである。

【0007】

この半導体デバイス計測装置では、実際に半導体デバイスを駆動させるために入力される動作パルス信号に基づいて求められた補正值が、解析部による解析時に用いられている。このように、補正值が、半導体デバイスの動作パルス信号に応じたものであることによって、当該動作パルス信号に適した補正を行うことができ、補正精度を向上させることができる。また、検出信号の時間波形の歪みの一因は増幅部の周波数特性が均一でないことにあるところ、増幅部による増幅後の信号に基づいて求められた補正值を用いることによって、増幅部に出力された増幅信号を適切に補正することができる。以上より、本半導体デバイス計測装置によれば、解析精度を向上させることができる。

【0008】

また、本発明の半導体デバイス計測装置では、パルス信号を生成する信号生成部をさらに備え、所定の補正值は、信号生成部が、基本周波数の n 次高調波のパルス信号である高調波信号を順次生成することにより求められたものである。基本周波数の n 次高調波のパルス信号を順次生成することによって、半導体デバイスの動作パルス信号に応じた補正值を導出することができる。

【0009】

また、本発明の半導体デバイス計測装置では、 n は正の整数である。1次高調波（基本波）から順に正の整数次の高調波のパルス信号を生成することで、所望の補正值を確実に導出することができる。

【0010】

また、本発明の半導体デバイス計測装置では、 n は2の m 乗であり、 m は0及び正の整数である。1次高調波（基本波）から順に2の m 乗次の高調波のパルス信号を生成することで、補正值導出に要する時間を短縮しながら所望の補正值を導出することができる。

【0011】

また、本発明の半導体デバイス計測装置では、パルス信号は、デューティー比が40%

10

20

30

40

50

～ 60 %である。パルス信号のデューティ比を 40 %～ 60 %とすることで、ある高調波の奇数倍の周波数成分の補正値を導出することができる。すなわち、例えばデューティ比が 50 %の 1 次高調波のパルス信号を生成することによって、1 次高調波だけでなく 3 次、5 次、7 次といった奇数倍の高調波の周波数における補正値を導出することができる。よって、例えば、上述した 2 の m 乗次の高調波のパルス信号のみを生成すれば所望の補正値を全て導出することが可能となる。このことで、補正値導出に要する時間を短縮することができる。

【 0 0 1 2 】

また、本発明の半導体デバイス計測装置では、所定の補正値は、光発生部が、信号生成部が生成した高調波信号に基づいて変調した変調光を発生し、光検出部が、変調光を検出して高調波信号の検出信号を出力することにより求められたものである。高調波信号に基づく変調光が光検出部によって検出されることにより、補正値の導出を容易に行うことができる。

10

【 0 0 1 3 】

また、本発明の半導体デバイス計測装置では、所定の補正値は、信号生成部が生成した高調波信号が増幅部に入力されることにより求められたものである。信号生成部からの高調波信号が増幅部に入力されることにより、光を発生させることなく容易に補正値の導出を行うことができる。

【 0 0 1 4 】

また、本発明の半導体デバイス計測装置では、解析部は、増幅信号を所定の補正値で補正するとともに、補正後の増幅信号の周波数成分のうち、所定の補正値が求められている範囲の周波数より高い高周波成分を低減する。これにより、所定の補正値により補正がなされていない高周波成分のノイズが強調されることを抑制できる。

20

【 0 0 1 5 】

また、本発明の半導体デバイス計測装置では、解析部は、増幅信号を所定の補正値で補正するとともに、補正後の増幅信号の周波数成分のうち、動作パルス信号の基本周波数以下の低周波成分を低減する。これにより、低減が困難である低周波成分のノイズを適切に低減することができる。

【 0 0 1 6 】

本発明の半導体デバイス計測方法は、半導体デバイスに入力する動作パルス信号を発生させる動作パルス信号発生工程と、光を発生させる光発生工程と、光を半導体デバイスに照射する光照射工程と、光に対して半導体デバイスが反射した反射光を検出し、検出信号を出力する光検出工程と、検出信号を増幅し、増幅信号を出力する増幅工程と、増幅信号及び所定の補正値に基づいて半導体デバイスの動作を解析する解析工程と、を含み、所定の補正値は、動作パルス信号の基本周波数の高調波に相当する信号が増幅部によって増幅された信号に基づいて求められたものである。

30

【発明の効果】

【 0 0 1 7 】

本発明によれば、解析精度がさらに向上した半導体デバイス計測装置及び半導体デバイス計測方法を提供することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 8 】

【図 1】本発明の第 1 実施形態の半導体デバイス計測装置の構成図である。

【図 2】アンプが出力するテストパターン、及び、信号生成部が生成する高調波信号の例を示す図である。

【図 3】アンプが出力するテストパターン、及び、信号生成部が生成する高調波信号の例を示す図である。

【図 4】補正値の導出イメージを示す図である。

【図 5】半導体デバイス計測装置における計測処理を示すフロー図である。

【図 6】増幅部の周波数特性を示す図である。

50

【図 7】低周波計測時の時間波形を示す図である。

【図 8】本発明の第 2 実施形態の半導体デバイス計測装置の構成図である。

【図 9】変形例に係る半導体デバイス計測装置の構成図である。

【図 10】変形例に係る半導体デバイス計測装置の構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本発明の好適な実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、各図において同一又は相当部分には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

【0020】

[第 1 実施形態]

図 1 に示すように、第 1 実施形態に係る半導体デバイス計測装置 1 A は、被検査デバイス (DUT: Device Under Test) である半導体デバイス 3 において異常発生箇所を特定するなど、半導体デバイス 3 を検査 (計測) するための装置である。具体的には、半導体デバイス計測装置 1 A は、半導体デバイス 3 を計測対象物として、半導体デバイス 3 の動作信号に対する応答の周波数解析を行う周波数解析装置である。

【0021】

半導体デバイス 3 としては、トランジスタ等の P N ジャンクションを有する集積回路 (例えば、小規模集積回路 (SSI: Small Scale Integration)、中規模集積回路 (MSI: Medium Scale Integration)、大規模集積回路 (LSI: Large Scale Integration)、超大規模集積回路 (VLSI: Very Large Scale Integration)、超々大規模集積回路 (ULSI: Ultra Large Scale Integration)、ギガ・スケール集積回路 (GSI: Giga Scale Integration))、大電流用 / 高圧用 MOS トランジスタ及びバイポーラトランジスタ等がある。また、半導体デバイス 3 は、電力用半導体デバイス (パワーデバイス) であってもよく、さらに、半導体デバイス 3 は、熱による変調を基板にかけられる半導体デバイスであってもよい。

【0022】

半導体デバイス計測装置 1 A は、テスト 2 と、光源制御部 4 と、光源 5 と、光分岐光学系 6 と、光検出器 7 と、アナログ信号増幅器 8 と、A / D 変換器 9 と、解析装置 10 と、表示部 11 と、入力装置 12 と、を備えている。

【0023】

テスト 2 は、半導体デバイス 3 に入力する動作パルス信号を発生させる動作パルス信号発生部である。半導体デバイス 3 は、テスト 2 により入力された所定の動作パルス信号によって駆動する。テスト 2 は、テストしたい駆動に対応した動作パルス信号 (テストパターン) を半導体デバイス 3 に入力することにより半導体デバイス 3 の所望の動作状態における検査を実施できる。

【0024】

テスト 2 は、テストパターンを生成するパルスジェネレータを有している。テストパターンは、基準周波数のパルス信号である基準クロックに基づいて生成されるものであり、所定のパルス信号列の繰り返しで構成されている (図 2 参照)。従って、テストパターンの最高周波数は基準クロックの基準周波数である。所定のパルス信号列の繰り返しの周期がテストパターンの基本周期、所定のパルス信号列の繰り返しの周波数がテストパターンの基本周波数である (図 2 参照)。

【0025】

光源 5 は、光源制御部 4 からの制御信号に基づいて光を発生させ照射光を出力する光発生部である。光源 5 は SLD (Super Luminescent Diode) で構成されている。なお、光源 5 は、LD (Laser Diode) などのレーザー光源や LED (Light Emitting Diode)、又はランプ光源を用いた光源等であってもよい。また、照射光はパルス光であってもよい。

【0026】

光分岐光学系 6 は、光源 5 から出力された照射光を半導体デバイス 3 に照射する光照射部である。光分岐光学系 6 は、半導体デバイス 3 上を照射光で走査する光走査光学系をさ

10

20

30

40

50

らに備えてもよい。また、光分岐光学系 6 は、照射光に対して半導体デバイス 3 が反射した反射光を光検出器 7 に導光する。当該反射光は戻り光用の光ファイバを介して光検出器 7 に導光される。

【 0 0 2 7 】

光検出器 7 は、光分岐光学系 6 により導光された反射光を検出し、アナログ信号である検出信号を出力する光検出部である。光検出器 7 は、A P D (Avalanche PhotoDiode) や P D (PhotoDiode)、P M T (PhotoMultiplier Tube) 等である。反射光は、半導体デバイス 3 に入力される動作パルス信号に応じて変調されているため、光検出器 7 は、動作パルス信号に基づいて動作している半導体デバイス 3 からの信号を検出することに相当し、半導体デバイス 3 に入力された動作パルス信号に応答した検出信号を出力することが可能となる。光検出器 7 が出力した検出信号は、アナログ信号増幅器 8 に入力される。

10

【 0 0 2 8 】

アナログ信号増幅器 8 は、光検出器 7 からの検出信号を増幅し、増幅信号を出力する増幅部である。A / D (アナログ / デジタル) 変換器 9 は、アナログ信号である増幅信号をデジタル信号に変換し出力する。A / D 変換器 9 は、例えばデジタイザである。

【 0 0 2 9 】

解析装置 1 0 は、A / D 変換器 9 からのデジタル信号 (増幅信号) 及び所定の補正值 A () に基づいて半導体デバイス 3 の動作を解析する解析部であり、例えば P C (Personal Computer) などのコンピュータである。具体的には、解析装置 1 0 は、増幅信号を所定の補正值 A () で補正し、当該補正後の増幅信号を解析する。解析装置 1 0 は、波形取得部 1 0 a と、補正值算出部 1 0 b と、補正值記憶部 1 0 c と、波形補正部 1 0 d とを有している。補正值算出部 1 0 b は、補正值 A () の導出処理を行う構成である。当該補正值の導出処理については後述する。

20

【 0 0 3 0 】

波形取得部 1 0 a は、A / D 変換器 9 からのデジタル信号に基づいて、増幅信号の時間波形 $I(t)$ を取得する。補正值記憶部 1 0 c は、アナログ信号増幅器 8 の周波数特性を補正するための周波数成分毎の所定の補正值 A () を記憶している。当該補正值 A () は、動作パルス信号の基本周波数の高調波に相当する信号がアナログ信号増幅器 8 によって増幅された信号に基づいて求められたものであり、S パラメータ (散乱行列) や伝達関数である。当該補正值 A () の導出処理については後述する。

30

【 0 0 3 1 】

波形補正部 1 0 d は、波形取得部 1 0 a が取得した増幅信号の時間波形 $I(t)$ を、補正值記憶部 1 0 c が記憶する所定の補正值 A () で補正する。具体的には、波形補正部 1 0 d は、増幅信号の時間波形 $I(t)$ にフーリエ変換を行い、時間波形 $I(t)$ を周波数スペクトル $I()$ に変換する。また、波形補正部 1 0 d は周波数スペクトル $I()$ を所定の補正值 A () で補正する。詳細には、波形補正部 1 0 d は、周波数スペクトル $I()$ に対し、補正值記憶部 1 0 c に記憶された対応する周波数成分の補正值 A () で除算することで補正後の周波数スペクトル $I'()$ を取得する。

【 0 0 3 2 】

また、波形補正部 1 0 d は、補正後の周波数スペクトル $I'()$ のうち、所定の周波数以上の高周波成分を低減する。当該所定の周波数は、補正值 A () が導出されていない周波数以上の周波数である。補正後の周波数スペクトル $I'()$ のうち、補正值 A () が導出されていない周波数以上の周波数成分は補正がなされない。そのため、仮に補正がなされていない周波数帯域にノイズが含まれていると、当該ノイズが強調された時間波形になってしまう。このような事態を回避すべく、波形補正部 1 0 d は、補正值 A () を導出していない高周波成分をカットするローパスフィルタ処理や高周波成分を低減する窓関数処理などの処理を行い、所定の周波数以上の高周波成分を低減する。なお、当該高周波成分を低減する処理は、上述した補正值 A () による補正処理の前段階において行われてもよい。高周波成分の低減には、高周波成分が低減されて完全に除去される場合も含まれる。

40

50

【0033】

また、波形補正部10dは、補正後の周波数スペクトル I' ()のうち、所定の周波数以下の低周波成分を低減する。補正值 A ()によってアナログ信号増幅器8の周波数特性を補正した場合であっても、アナログ信号増幅器8の特性上、アナログ信号増幅器8の低周波ノイズを完全に補正することは難しい場合がある。そのため、波形補正部10dは不要な低周波ノイズを低減すべく、少なくとも半導体デバイス3を駆動させる動作パルス信号の基本周波数と同じ周波数成分を低減する。低周波成分の低減には、低周波成分が低減されて完全に除去される場合も含まれる。

【0034】

また、波形補正部10dは、補正後に高周波成分を低減するとともに低周波成分を低減した周波数スペクトル I' ()を、逆フーリエ変換を用いて時間波形に変換する。波形補正部10dは、当該時間波形に関する情報を出力する。

10

【0035】

なお、上述したA/D変換器9と同等の機能を備えるPCによって、A/D変換器9及び解析装置10の双方の機能を実現してもよい。また、A/D変換器9の機能と解析装置10のうち波形取得部10aの機能とを備えるオシロスコープによりデジタル信号である時間波形信号を取得し、取得された時間波形信号を解析装置10であるPCに入力する構成としてもよい。

【0036】

表示部11は、解析装置10の波形補正部10dによって出力された補正後の時間波形を表示する表示装置(ディスプレイ)である。また、入力装置12は、キーボードやマウス等で構成され、計測範囲や計測位置等の計測条件を入力する。

20

【0037】

次に、補正值 A ()の導出処理に係る構成について、図2～図4も参照しながら説明する。半導体デバイス計測装置1Aは、補正值 A ()の導出処理に係る構成として、テスト2及び光源制御部4に電氣的に接続された信号生成部13と、該信号生成部13に電氣的に接続されたA/D変換器14とをさらに備えている。

【0038】

信号生成部13は、テスト2からテストパターンの基本周波数に関する情報を取得し、該基本周波数に関する情報に基づいてパルス信号を生成する。このパルス信号は、例えば矩形形状である。基本周波数に関する情報とは、基本周波数、基本周期、基本周波数に対する基準クロックの数、及び、基準クロックの周期等である(図2参照)。なお、テスト2からテストパターンを取得してもよい。信号生成部13はパルスジェネレータを有しており、当該パルスジェネレータによってパルス信号が生成される。

30

【0039】

具体的には、信号生成部13は、基本周波数の n 次高調波のパルス信号である高調波信号を順次生成する。当該 n は、例えば正の整数である。信号生成部13は、基本波である1次高調波($n=1$)から順に、2次高調波($n=2$)、3次高調波($n=3$)...と順に、補正に必要な周波数成分である第 n 次高調波までのパルス信号を生成する。

【0040】

図2に示す例では、テスト2から半導体デバイス3に入力されるテストパターンの基本周波数に関する情報(基本周波数、基本周期、基本周波数に対する基準クロックの数、及び基準クロックの周期のいずれかの情報)に基づいて、信号生成部13は、テストパターンの基本周波数の1次高調波のパルス信号、2次高調波のパルス信号、3次高調波のパルス信号...と、第 n 次高調波までのパルス信号を順次生成し出力している。この場合、パルス信号のデューティ比は特に制限されない。また、信号生成部13は、少なくとも、テストパターンの基本周波数/基準クロックの周波数、の値となる次数 n まで、第 n 次高調波のパルス信号を生成することが好ましい。

40

【0041】

信号生成部13は、生成したパルス信号を光源制御部4及びA/D変換器14に入力す

50

る。A/D変換器14は、パルス信号をデジタル信号に変換して出力する。A/D変換器14が出力したデジタル信号は、波形取得部10aにおいて、アナログ信号増幅器8への入力波形IN(t)として取得される。

【0042】

光源制御部4は、信号生成部13に入力されたパルス信号(高調波信号)に基づいて、光源5から出射される照射光が変調されるよう、光源5に対して制御信号を入力する。そして、光源5は、当該制御信号に基づいて変調された照射光である変調光を発生する。当該変調光は、信号生成部13が生成した高調波信号のパルス信号と同一の波形となるように変調されている。

【0043】

ここで、補正值A()を導出する際には、テスト2から半導体デバイス3に対する動作パルス信号の入力は行われず、そのため、半導体デバイス3は駆動せず、照射される光(変調光)に対しては単にミラーとしての役割を果たす。よって、上述した光源5が発生させた変調光に対する半導体デバイス3の反射光は、変調光と同一の波形すなわち信号生成部13が生成した高調波信号のパルス信号と同一の波形を維持したままである。

【0044】

そして、変調光に対する半導体デバイス3の反射光(すなわち変調光)が、光検出器7により検出され、アナログ信号である検出信号として出力される。当該検出信号は、動作パルス信号の基本周波数の高調波に相当する信号として、アナログ信号増幅器8で増幅された後、A/D変換器9でデジタル変換され、波形取得部10aにおいて、アナログ信号増幅器8からの出力波形OUT(t)として取得される。

【0045】

波形取得部10aにおいて取得された入力波形IN(t)及び出力波形OUT(t)は、補正值算出部10bによってフーリエ変換される。補正值算出部10bは、下記(1)式に示されるように、周波数成分に変換された入力波形IN()を出力波形OUT()で除算することによって、各周波数における補正值A()を導出する。

【数1】

$$A(\omega) = IN(\omega)/OUT(\omega) \quad \dots (1)$$

【0046】

以上が、補正值A()の導出処理に係る構成の説明である。補正值算出部10bによって導出された補正值A()は、補正值記憶部10cに格納され記憶される。

【0047】

ここで、信号生成部13は、生成するn次高調波のパルス信号を全てデューティ比が40%~60%のパルス信号としてもよい。特に好ましくは、デューティ比が50%のパルス信号としてもよい。例えば、デューティ比が50%の1次高調波(周波数)のパルス信号をフーリエ展開すると、そのパルス信号は下記(2)式で示すようになる。

【数2】

$$f(t) = \frac{4}{\pi} \left\{ \sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{9} \sin 9\omega t + \dots \right\} \quad \dots (2)$$

【0048】

上記(2)式から明らかなように、フーリエ展開したパルス信号には、1次高調波の周波数 に対してその奇数倍の周波数成分(3、5...)が含まれている。図4に示すように、1次高調波のパルス信号には、1次高調波だけでなくその奇数倍の周波数成分、すなわち3次高調波や5次高調波の周波数成分が含まれている。なお、図4において の下付き数字は、その数字を次数とする高調波における周波数を示している。すなわち、例えば₃は、3次高調波の周波数を示している。

【0049】

よって、信号生成部 13 がデューティ比が 50 % の 1 次高調波のパルス信号を生成することによって、奇数次の高調波の周波数における補正值 $A(\quad)$ をすべて導出することが可能である。そして、信号生成部 13 によって、1 (2 の 0 乗) 次高調波につづいて、2 (2 の 1 乗) 次高調波のパルス信号が生成されると、当該 2 次高調波のパルス信号には、2 次高調波だけでなくその奇数倍の周波数成分、すなわち、6 次高調波や 10 次高調波の周波数成分が含まれているため 2 の奇数倍次の高調波の周波数における補正值 $A(\quad)$ をすべて導出することができる。同様にして、信号生成部 13 によって 4 (2 の 2 乗) 次高調波のパルス信号が生成されると、当該 4 次高調波のパルス信号には 4 次高調波だけでなくその奇数倍の周波数成分、すなわち、12 次高調波や 20 次高調波の周波数成分が含まれているため 4 の奇数倍次の高調波の周波数における補正值 $A(\quad)$ をすべて導出することができる。従って、信号生成部 13 が生成する n 次高調波のパルス信号をデューティ比が 40 % ~ 60 % のパルス信号とすれば、信号生成部 13 によって 1 次高調波および偶数次の高調波のパルス信号を生成することにより、その高調波の周波数の奇数倍の周波数における補正值 $A(\quad)$ をまとめて求めることができる。特に、デューティ比が 50 % 近傍の値のパルス信号であれば、その周波数の奇数倍の周波数成分の値が高いため、確実に補正值 $A(\quad)$ を取得することができる。

10

【0050】

このように、 m を 0 及び正の整数とした場合に $n = 2$ の m 乗として、信号生成部 13 が、2 の m 乗次の高調波のパルス信号を生成することで、 n を正の整数として 1 次高調波から n 次高調波まで順次パルス信号を生成する場合と比較して、信号生成の回数が大幅に少なくなる。なお、補正值 $A(\quad)$ の導出は、補正後の時間波形を見た場合に視覚的に十分に補正されているとされる場合には、基本周波数から、アナログ信号増幅器 8 の周波数特性が一定の値となる周波数付近まで行えばよい。また、高周波まで厳密に補正をする場合は、補正值 $A(\quad)$ の導出は、テストパターンの基本周波数の周波数から基準クロックの基準周波数の周波数までの補正值 $A(\quad)$ が求められるまで行えばよい。

20

【0051】

次に、図 5 を参照して、半導体デバイス計測装置 1 A における計測処理について説明する。なお、当該計測処理の前提として、補正值記憶部 10 c には各周波数における補正值 $A(\quad)$ が記憶されている。

【0052】

30

最初に、テスト 2 により動作パルス信号 (テストパターン) が半導体デバイス 3 に入力される (ステップ S 1)。つづいて、光源 5 によって出力された照射光が光分岐光学系 6 を介して半導体デバイス 3 に照射される (ステップ S 2)。つづいて、光検出器 7 により半導体デバイス 3 からの反射光が検出され、検出信号として出力される (ステップ S 3)。つづいて、アナログ信号増幅器 8 により検出信号が増幅され、増幅信号として出力される (ステップ S 4)。

【0053】

増幅信号は、A/D 変換器 9 によってデジタル信号に変換された後に、解析装置 10 の波形取得部 10 a によって時間波形 $I(t)$ が取得される (ステップ S 5)。そして、波形補正部 10 d により、増幅信号の時間波形 $I(t)$ が周波数スペクトル $I(\quad)$ にフーリエ変換される (ステップ S 6)。つづいて、波形補正部 10 d により、周波数スペクトル $I(\quad)$ が S パラメータ等の補正值 $A(\quad)$ で補正され、補正後の周波数スペクトル $I'(\quad)$ が導出される。つづいて、波形補正部 10 d により、補正後の周波数スペクトル $I'(\quad)$ の高周波成分が低減されるとともに (ステップ S 8)、低周波成分が低減される (ステップ S 9)。

40

【0054】

つづいて、波形補正部 10 d により、周波数スペクトル $I'(\quad)$ が逆フーリエ変換により時間波形に変換される (ステップ S 10)。最後に、表示部 11 により、補正後の時間波形が表示される (ステップ S 11)。以上が、半導体デバイス計測装置 1 A における計測処理である。

50

【 0 0 5 5 】

次に、第 1 実施形態に係る半導体デバイス計測装置 1 A の作用効果について説明する。

【 0 0 5 6 】

この半導体デバイス計測装置 1 A では、実際に半導体デバイス計測装置 1 A を駆動させるために入力される動作パルス信号に基づいて求められた補正值 A () が、時間波形 I (t) に基づく周波数スペクトル I () の補正時に用いられている。このように、補正值 A () が、半導体デバイス計測装置 1 A の動作パルス信号に応じたものであることによって、当該動作パルス信号に適した補正を行うことができ、補正精度を向上させることができる。

【 0 0 5 7 】

ここで、例えば低周波の時間波形を取得した際に、取得した時間波形が図 7 に示すように歪む現象が生じることがある。その原因について、発明者らが鋭意調査を行ったところ、図 6 に示すように、アンプ等の増幅器は周波数特性が均一ではなく、周波数によってその増幅度が異なる場合があることを見出した。

【 0 0 5 8 】

このような知見に基づき、本実施形態に係る半導体デバイス計測装置 1 A では、アナログ信号増幅器 8 で増幅された出力波形 O U T (t) に基づいて求められた周波数毎の補正值 A () を用いて周波数スペクトル I () の補正が行われるため、アナログ信号増幅器 8 で増幅された後の増幅信号を適切に補正することができる。以上より、本半導体デバイス計測装置 1 A によれば、増幅信号を適切に補正することで解析精度を向上させることができる。

【 0 0 5 9 】

また、半導体デバイス計測装置 1 A は、パルス信号を生成する信号生成部 1 3 を備えており、当該信号生成部 1 3 が、基本周波数の n 次高調波のパルス信号である高調波信号を順次生成することによって所定の補正值 A () を導出している。このように、基本周波数の n 次高調波のパルス信号を順次生成することによって、半導体デバイス 3 の動作パルス信号に応じた補正值を導出することができる。

【 0 0 6 0 】

また、上記 n が正の整数であることで、1 次高調波から順に正の整数次の高調波のパルス信号を生成し所望の補正值 A () を確実に導出することができる。また、n が 2 の m 乗であり、m が 0 及び正の整数である場合には、信号生成部 1 3 は 2 の m 乗次高調波のパルス信号を生成することとなる。この場合には、1 次高調波から順に正の整数次の高調波のパルス信号を生成する場合と比較して補正值 A () 導出に要する時間を短縮することができる。なお、さらにパルス信号のデューティ比を 4 0 % ~ 6 0 % とすることで、ある高調波の奇数倍の高調波成分の補正值 A () を導出することができる。すなわち、例えばデューティ比が 5 0 % の 1 次高調波のパルス信号を生成することによって、1 次高調波だけでなく 3 次、5 次、7 次といった奇数倍の高調波の周波数における補正值 A () を導出することができる。よって、上述した 2 の m 乗次の高調波のパルス信号のみを生成すれば、所望の補正值 A () を全て導出することが可能となる。このことで、信号生成部 1 3 による信号生成数を少なくすることができ、補正值 A () 導出に要する時間を短縮することができる。

【 0 0 6 1 】

また、光源 5 が、信号生成部 1 3 が生成した高調波信号に基づいて変調した変調光を発生し、光検出器 7 が半導体デバイス 3 の反射光 (すなわち変調光) を検出して検出信号として出力することによって、所定の補正值 A () が導出されている。このように、高調波信号にもとづく変調光が光検出器 7 によって検出されることにより、補正值 A () の導出を容易に行うことができる。

【 0 0 6 2 】

また、波形補正部 1 0 d が、補正後の増幅信号の周波数スペクトル I ' () のうち、補正值 A () が求められている範囲の周波数より高い高周波成分を低減することにより

10

20

30

40

50

、所定の補正值 A () により補正がなされていない高周波成分のノイズが強調されることを抑制できる。

【 0 0 6 3 】

また、波形補正部 1 0 d が、補正後の増幅信号の周波数スペクトル I' () のうち、動作パルス信号の基本周波数以下の低周波成分を低減することにより、低減が困難である低周波成分のノイズを適切に低減することができる。

【 0 0 6 4 】

[第 2 実施形態]

次に、図 8 を参照して第 2 実施形態に係る半導体デバイス計測装置 1 B について説明する。なお、本実施形態の説明では、上記実施形態と異なる点について主に説明する。

10

【 0 0 6 5 】

図 8 に示されるように、第 2 実施形態に係る半導体デバイス計測装置 1 B では、光検出器 7 とアナログ信号増幅器 8 との間にスイッチ部 1 5 が設けられており、当該スイッチ部 1 5 と信号生成部 1 3 とが電氣的に接続されている。

【 0 0 6 6 】

スイッチ部 1 5 は、半導体デバイス計測装置 1 B において計測処理を行う場合と補正值 A () 導出処理を行う場合とで接続状態を異ならせる。すなわち、スイッチ部 1 5 は、計測処理を行う場合には、光検出器 7 とアナログ信号増幅器 8 とを電氣的に接続し、補正值 A () 導出処理を行う場合には信号生成部 1 3 とアナログ信号増幅器 8 とを電氣的に接続する。

20

【 0 0 6 7 】

補正值 A () 導出処理において、上述した第 1 実施形態では、信号生成部 1 3 からの高調波信号に基づいて光源 5 からの光を変調し変調信号を光検出器 7 で検出することで、アナログ信号増幅器 8 にパルス信号に相当する信号を入力したが、第 2 実施形態では、スイッチ部 1 5 により信号生成部 1 3 とアナログ信号増幅器 8 とが電氣的に接続させられているため、信号生成部 1 3 が生成した高調波信号が直接、動作パルス信号の基本周波数の高調波に相当する信号として、アナログ信号増幅器 8 に入力される。このことで、光源 5 から照射光を発生させることなく容易に補正值 A () の導出を行うことができる。

【 0 0 6 8 】

以上、本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。例えば、テストパターンの基本周波数に関する情報に基づいて信号生成部 1 3 が生成したパルス信号が、A / D 変換器 1 4 に入力されて入力波形 $I_N(t)$ が取得されるとして説明したが、テストパターンの基本周波数のパルス信号が波形取得部 1 0 a に入力されさえすれば、波形取得部 1 0 a において、信号生成部 1 3 で生成されるパルス信号の次数と同じ次数の高調波信号を生成することが可能である。そのため、図 9 に示される半導体デバイス計測装置 1 C のように、テスト 2 から出力されたテストパターンの基本周波数のパルス信号が A / D 変換器 1 4 を介して解析装置 1 0 に入力される構成としてもよい。この場合、信号生成部 1 3 で生成されるパルス信号の周波数情報を解析装置 1 0 に伝える必要があるが、基本的に、解析装置 1 0 を構成する PC から信号生成部 1 3 に対して指示を出す構成とされるため、解析装置 1 0 はパルス信号の周波数情報を把握することができ。また、テスト 2 からテストパターンの基本周波数に関する情報を取得する構成以外にも、入力装置 1 2 を用いて解析装置 1 0 である PC にテストパターンの基本周波数に関する情報を入力してもよい。

30

40

【 0 0 6 9 】

また、信号生成部 1 3 からのパルス信号を光源制御部 4 に入力することによって、光源 5 から変調光を発生させるとして説明したが、例えば、図 1 0 に示す半導体デバイス計測装置 1 D のように、光源 5 は CW (Continuous Wave) 光を出力する構成とするとともに、その CW 光を変調させる変調器 2 1 を光源 5 及び光分岐光学系 6 の間に設け、当該変調器 2 1 と信号生成部 1 3 とを電氣的に接続してもよい。この場合、信号生成部 1 3 からのパルス信号を受けて、変調器 2 1 で光が変調される。なお、変調器 2 1 としては空間光変

50

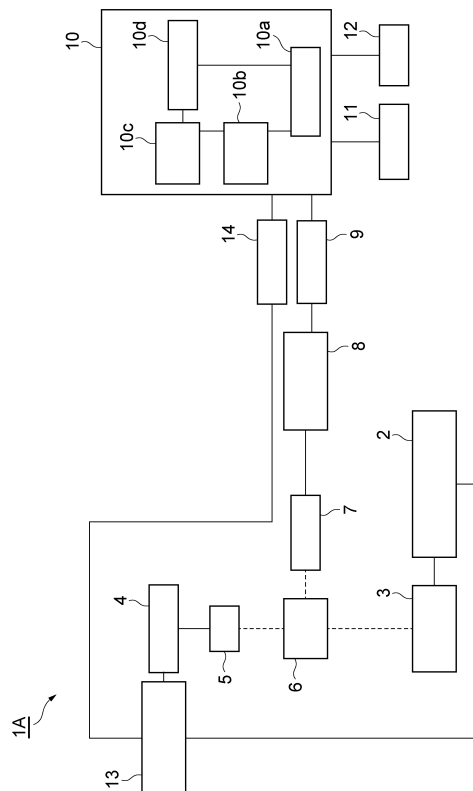
調器等を用いることができる。

【符号の説明】

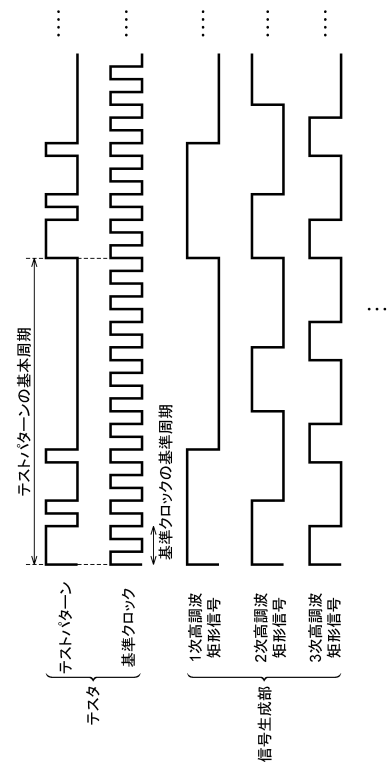
【 0 0 7 0 】

1 A , 1 B , 1 C , 1 D ... 半導体デバイス計測装置、2 ... テスタ、3 ... 半導体デバイス、5 ... 光源、6 ... 光分岐光学系、7 ... 光検出器、8 ... アナログ信号増幅器、10 ... 解析装置、13 ... 信号生成部。

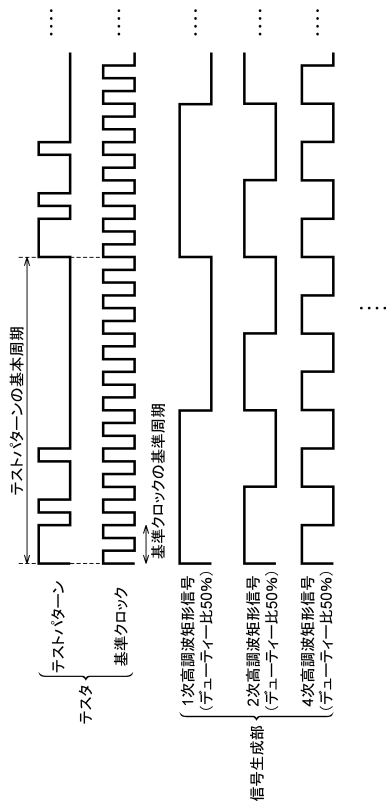
【 図 1 】



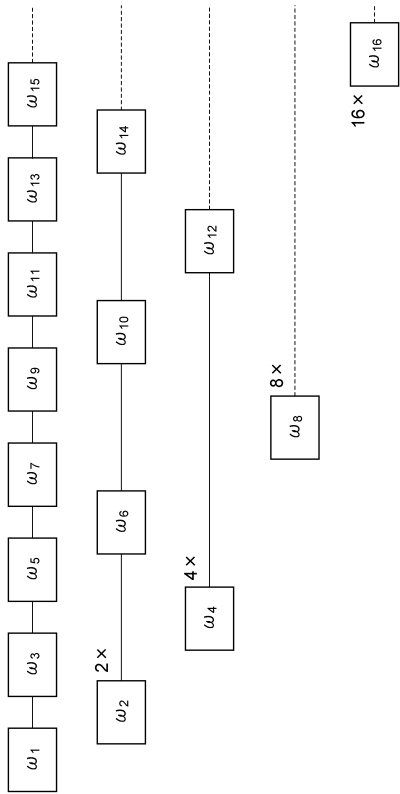
【 図 2 】



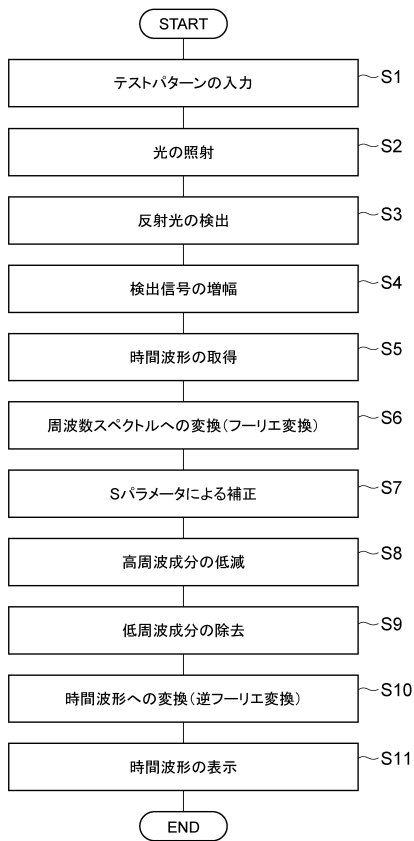
【図 3】



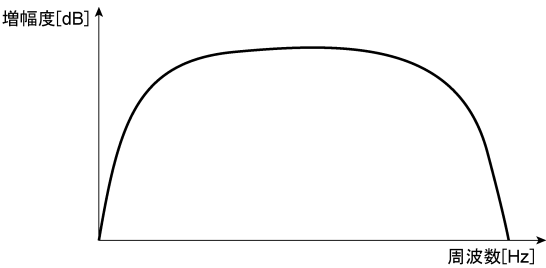
【図 4】



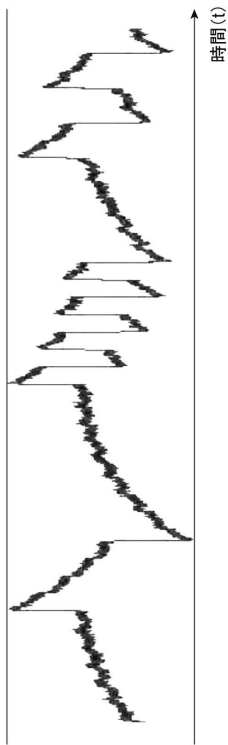
【図 5】



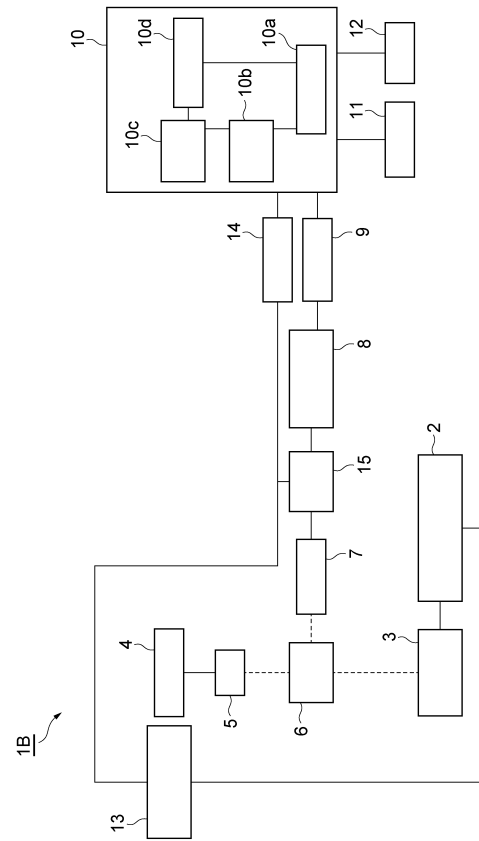
【図 6】



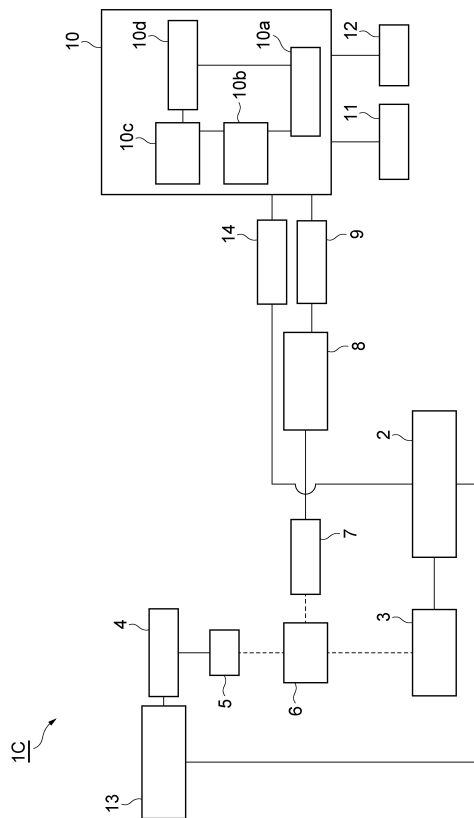
【図 7】



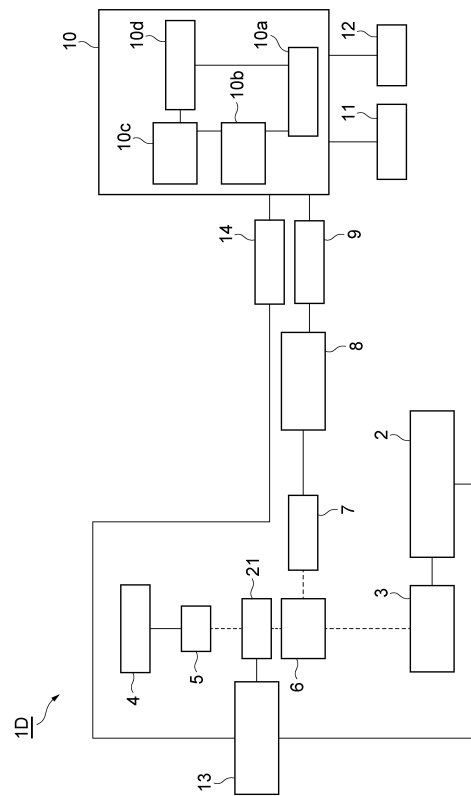
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

- (72)発明者 西沢 充哲
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 平井 伸幸
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 中村 共則
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内

審査官 永井 皓喜

- (56)参考文献 特開平 8 - 8 6 8 1 6 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 2 3 2 8 5 7 (J P , A)
欧州特許出願公開第 0 4 3 0 6 6 1 (E P , A 2)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
- | | |
|---------|-------------|
| G 0 1 R | 3 1 / 3 0 2 |
| G 0 1 R | 1 9 / 0 0 |
| G 0 1 R | 1 5 / 2 4 |