

明 細 書

発明の名称： 検査装置及び検査方法

技術分野

[0001] 本開示は、検査装置及び検査方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、フォトニック集積回路（P I C : Photonic IC）の開発が進んでいる。フォトニック集積回路は、様々な光学的な機能を統合したデバイスであり、光によって情報信号を伝達する。フォトニック集積回路を検査する方法として、フォトニック集積回路内の導波路における欠陥によって散乱された赤外光を撮像し、該撮像画像をディスプレイに表示して欠陥の空間的な位置を把握する方法が知られている（例えば特許文献1 参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2022-58070号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上述した検査方法では、撮像画像から欠陥の空間的な位置が把握されるものの、フォトニック集積回路から出力される光の情報（例えば波長情報）を得ることができない。このため、フォトニック集積回路について適切な検査を行うことができない場合がある。

[0005] 本開示は上記実情に鑑みてなされたものであり、フォトニック集積回路から出力される光の情報を取得することにより、フォトニック集積回路を適切に検査することができる検査装置及び検査方法に関する。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の一態様に係る検査装置は、[1]「少なくとも1つの光出力部及び導波路を有するフォトニック集積回路を検査する検査装置であって、フォトニック集積回路を保持するステージと、フォトニック集積回路の動作を制

御する制御部と、所定の波長域において透過率が線形に変化する透過特性を有し、導波路によって導光されて少なくとも1つの光出力部から出力された光を、透過特性に基づいて透過又は反射する光学フィルタと、光学フィルタを透過又は反射した光を撮像し第1の画像データを出力すると共に、光出力部から出力された光であって光学フィルタを介さずに到達した光を撮像し第2の画像データを出力する撮像部と、第1の画像データ及び第2の画像データに基づいて、光出力部から出力された光の波長情報を導出する第1処理を実行する解析部と、を備える、検査装置」である。

[0007] 本開示の一態様に係る検査装置では、フォトリソ集積回路の光出力部から出力された光が、光学フィルタによって、波長に応じて透過又は反射される。そして、光学フィルタを透過又は反射した光を撮像した第1の画像データ、及び、光学フィルタを介さずに到達した光を撮像した第2の画像データに基づいて、光出力部から出力された光の波長情報が導出される。このように、本開示の一態様に係る検査装置においては、光学フィルタが用いられて波長に応じて光が透過又は反射されているので、第1の画像データは、光の波長に応じた画像データとなる。また、第1の画像データが光学フィルタを透過又は反射した光を撮像した画像データであり、第2の画像データが光学フィルタを介さずに到達した光を撮像した画像データであるので、これらの画像データからは、光学フィルタを透過した光及び光学フィルタを反射した光の情報を取得することができる。このように、波長に応じて透過又は反射された光の情報が取得されることにより、高精度に光の波長情報を取得することができる。以上のように、本発明の一態様に係る検査装置によれば、フォトリソ集積回路から出力される光の情報（具体的には波長情報）を取得することができ、その結果、該波長情報を用いてフォトリソ集積回路を適切に検査することができる。

[0008] 本開示の一態様に係る検査装置は、[2]「フォトリソ集積回路は、複数の光出力部を有し、光学フィルタは、複数の光出力部から出力された各光を、透過特性に基づいて透過又は反射する、[1]記載の検査装置」であっ

てもよい。このような構成によれば、空間的に互いに異なる位置に設けられた複数の光出力部からの光の波長情報が一括して取得され、フォトニック集積回路をより迅速且つ適切に検査することができる。

[0009] 本開示の一態様に係る検査装置は、[3]「撮像部は、光学フィルタを透過又は反射した光を撮像すると共に、光出力部から出力された光であって光学フィルタを介さずに到達した光を撮像するイメージセンサを有する、[1]又は[2]記載の検査装置」であってもよい。このようなイメージセンサによれば、所望の光を適切に撮像することができる。

[0010] 本開示の一態様に係る検査装置は、[4]「光出力部と撮像部との間の光路に、光学フィルタが設けられた状態と、光学フィルタが設けられていない状態とを切り替え可能に構成された切替部を更に備える、[1]～[3]のいずれか一つに記載の検査装置」であってもよい。このような構成によれば、光学フィルタの有無を切り替えながら、上述した第1の画像データ及び第2の画像データを共に適切に取得することができる。

[0011] 本開示の一態様に係る検査装置は、[5]「撮像部は、光出力部から出力された光を第1の分岐光路及び第2の分岐光路に分岐する光分岐部と、第1の分岐光路に配置された第1のイメージセンサと、第2の分岐光路に配置された第2のイメージセンサと、を有し、光学フィルタは、第1の分岐光路上の光分岐部と第1のイメージセンサとの間に配置され、第1のイメージセンサは、光学フィルタを透過又は反射した光を撮像し第1の画像データを出力し、第2のイメージセンサは、光出力部から出力された光であって光学フィルタを介さずに到達した光を撮像し第2の画像データを出力する、[1]～[4]のいずれか一つに記載の検査装置」であってもよい。このような構成によれば、光分岐部によって第1の分岐光路及び第2の分岐光路に光を分岐することにより、上述した第1の画像データの取得及び第2の画像データの取得を同時に行うことができ、効率的に検査を行うことができる。

[0012] 本開示の一態様に係る検査装置は、[6]「制御部は、フォトニック集積回路の少なくとも一部の温度を制御する、[1]～[5]のいずれか一つに

記載の検査装置」であってもよい。このようにフォトニック集積回路の温度が制御されることにより、フォトニック集積回路の導波路の特性が制御され、例えば、光出力部から出力される光の波長を調整することができる。このことで、光の波長の条件を容易に変更しながらフォトニック集積回路を適切に検査することができる。

[0013] 本開示の一態様に係る検査装置は、[7]「フォトニック集積回路は、少なくとも1つの光入力部を有し、光出力部は、光入力部から入力され導波路によって導光された光を出力する、[1]～[6]のいずれか一つに記載の検査装置」であってもよい。このような構成によれば、フォトニック集積回路の光入力部から入力されて導波路を経て光出力部から出力される光について、波長情報を適切に取得することができる。

[0014] 本開示の一態様に係る検査装置は、[8]「フォトニック集積回路における、光入力部が形成された第1領域に光スキャンを行い、該光スキャンに係る光を検出する第1の光スキャナ部を更に備え、解析部は、第1処理を実施する際に光が入力される光入力部の位置を事前に特定する第2処理を更に実行し、第2処理において、第1の光スキャナ部によって検出された光の強度に基づき、光入力部の位置を特定する、[1]～[7]のいずれか一つに記載の検査装置」であってもよい。このような構成によれば、光の強度の違いから光入力部の位置を特定することができ、その後の第1処理（光出力部から出力された光の波長情報を導出する処理）を適切に実施することができる。

[0015] 本開示の一態様に係る検査装置は、[9]「フォトニック集積回路における、光出力部が形成された第2領域に光スキャンを行い、該光スキャンに係る光を検出する第2の光スキャナ部を更に備え、解析部は、第1処理を実施する際に光を出力する光出力部の位置を事前に特定する第3処理を更に実行し、第3処理において、第2の光スキャナ部によって検出された光の強度に基づき、光出力部の位置を特定する、[1]～[8]のいずれか一つに記載の検査装置」であってもよい。このような構成によれば、光の強度の違いか

ら光出力部の位置を特定することができ、その後の第1処理（光出力部から出力された光の波長情報を導出する処理）を適切に実施することができる。

[0016] 本開示の一態様に係る検査装置は、[10]「解析部は、第1処理において、第1の画像データから光学フィルタを透過した光の強度である透過強度を導出すると共に、第2の画像データから光出力部から出力された光の全強度を導出し、透過強度及び全強度に基づいて、光学フィルタによって反射された光の強度である反射強度を導出し、透過強度及び反射強度に基づいて、波長情報を導出する、[1]～[9]のいずれか一つに記載の検査装置」であってもよい。光学フィルタにおいては、波長に応じて光が透過又は反射されているので、透過強度（透過光量）及び反射強度（反射光量）の情報から、波長情報を高精度に導出することができる。

[0017] 本開示の一態様に係る検査装置は、[11]「解析部は、第1処理において、第1の画像データから光学フィルタによって反射された光の強度である反射強度を導出すると共に、第2の画像データから光出力部から出力された光の全強度を導出し、反射強度及び全強度に基づいて、前記光学フィルタを透過した光の強度である透過強度を導出し、透過強度及び反射強度に基づいて、波長情報を導出する、[1]～[9]のいずれか一つに記載の検査装置」であってもよい。光学フィルタにおいては、波長に応じて光が透過又は反射されているので、透過強度（透過光量）及び反射強度（反射光量）の情報から、波長情報を高精度に導出することができる。

[0018] 本開示の一態様に係る検査装置は、[12]「解析部は、透過強度及び反射強度の差分値を導出し、該差分値に基づいて波長情報を導出する、[10]又は[11]に記載の検査装置」であってもよい。透過強度と反射強度との差分値から波長情報が導出されることにより、波長情報を高精度に導出することができる。

[0019] 本開示の一態様に係る検査装置は、[13]「波長情報は、光出力部から出力された光の重心波長を示す情報である、[1]～[12]のいずれか一つに記載の検査装置であってもよい。これにより、波長情報を適切に導出す

ることができる。

[0020] 本開示の一態様に係る検査装置は、[14]「解析部は、第1処理において導出された波長情報と、該波長情報が導出された際の制御部によるフォトニック集積回路の温度制御に係る情報とを対応付けることにより波長情報とフォトニック集積回路の温度制御との関係を示すテーブルを作成する第4処理を更に実行する、[1]～[13]のいずれか一つに記載の検査装置」であってもよい。このような構成によれば、フォトニック集積回路の波長を調整する際の温度制御のテーブルを作成することができ、フォトニック集積回路の制御をより容易に行うことが可能になる。

[0021] 本開示の一態様に係る検査方法は、[15]「少なくとも1つの光出力部及び導波路を有するフォトニック集積回路を検査する検査方法であって、フォトニック集積回路の動作を制御することと、所定の波長域において透過率が線形に変化する透過特性を有する光学フィルタによって、導波路によって導光されて少なくとも1つの光出力部から出力された光を、透過特性に基づいて透過又は反射することと、光学フィルタを透過又は反射した光を撮像して第1の画像データを出力することと、光出力部から出力された光であって光学フィルタを介さずに到達した光を撮像して第2の画像データを出力することと、第1の画像データ及び第2の画像データに基づいて、光出力部から出力された光の波長情報を導出することと、を含む、検査方法」である。

発明の効果

[0022] 本開示によれば、フォトニック集積回路から出力される光の情報を取得することにより、フォトニック集積回路を適切に検査することができる。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]図1は、本開示の第1実施形態に係る検査装置を模式的に示した側面図である。

[図2]図2は、PICを模式的に示した平面図である。

[図3]図3(a)はPICの入力端面側の側面図であり、図3(b)はPICの出力端面側の側面図である。

[図4]図4は、光のスペクトル及びL R Gフィルタの特性を説明する図である。

[図5]図5は、図1に示される検査装置の詳細を示した側面図である。

[図6]図6(a)～(c)は、セッティング工程を説明する図である。

[図7]図7は、セッティング工程を説明する図である。

[図8]図8は、光入力部の位置を大まかに特定する工程を説明する図である。

[図9]図9は、光入力部の位置を大まかに特定する工程を説明する図である。

[図10]図10は、光入力部の位置を大まかに特定する工程を説明する図である。

[図11]図11は、光出力部の位置を大まかに特定する工程を説明する図である。

[図12]図12は、光出力部の位置を大まかに特定する工程を説明する図である。

[図13]図13は、光出力部の位置を大まかに特定する工程を説明する図である。

[図14]図14は、光入力部の位置を高精度に特定する工程及び光出力部の位置を高精度に特定する工程を説明する図である。

[図15]図15は、光入力部の位置を高精度に特定する工程を説明する図である。

[図16]図16は、光出力部の位置を高精度に特定する工程を説明する図である。

[図17]図17は、波長情報を導出する工程を説明する図である。

[図18]図18は、波長情報を導出する工程を説明する図である。

[図19]図19は、波長情報を導出する工程を説明する図である。

[図20]図20は、ヒータ投入電力と波長シフト量との関係の一例を示す図である。

[図21]図21は、検査方法のフローチャートである。

[図22]図22は、本開示の第2実施形態に係る検査装置を模式的に示した側

面図である。

[図23]図23は、グレーティングの位置を高精度に特定する工程を説明する図である。

[図24]図24は、グレーティングの位置を高精度に特定する工程を説明する図である。

[図25]図25は、波長情報を導出する工程を説明する図である。

[図26]図26は、本開示の第3実施形態における、波長情報を導出する工程を説明する図である。

[図27]図27は、波長情報を導出する工程を説明する図である。

[図28]図28(a)(b)は、第1の変形例に係る撮像機構を説明する図である。

[図29]図29(a)(b)は、第2の変形例に係る撮像機構を説明する図である。

[図30]図30(a)(b)は、第3の変形例に係る撮像機構を説明する図である。

[図31]図31は、第4の変形例に係る撮像機構を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0024] 以下、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。

[0025] [第1実施形態]

図1は、第1実施形態に係る検査装置1を模式的に示した側面図である。検査装置1は、フォトニック集積回路(PIC: Photonic IC)100を検査する装置である。PIC100は、導波路、レーザ素子、変調器、検出器等の複数のフォトニクスコンポーネントを1つのチップに集積した回路である。PIC100は、シリコンIC等の従来の集積回路と比較して、高速性・広帯域性・電力効率が優れている。また、ここでの検査とは、PIC100に何らかの異常(欠陥)がないかを調べるだけでなく、例えばPIC100を制御する上で必要になる情報を生成すること等を含んでいてもよい。

検査装置１は、PIC100から出力される光を検出して、該光の波長情報を導出し、該波長情報を用いてPIC100を検査する。PIC100から出力される光の波長情報が導出されることによって、所望の波長の光が出力されているか（チャンネルの正確性、光出力の安定性）、PIC100内のレーザ素子に電氣的・光的接続状況の不具合がないか、PIC100内の導波路に欠陥がないか（漏れ光の有無、漏れ光の程度）、導波路の光透過特性（波長－透過率）が適切か、等を検査することができる。

[0026] 検査装置１は、PIC100からの光を波長成分に応じて透過又は反射し、透過光又は反射光を撮像して画像（第１の画像データ）を取得する。また、検査装置１は、PIC100から出力された光を撮像して画像（第２の画像データ）を取得する。そして、検査装置１は、上記２つの画像に基づいて、PIC100から出力された光の波長情報を導出する（詳細は後述）。

[0027] 図１に示されるように、検査装置１は、ステージ１０と、PICコントローラ２０（制御部）と、プローブカード３０と、ミラー４０と、集光レンズ５０と、撮像機構６０と、コンピュータ７０（解析部）と、を備えている。

[0028] ステージ１０は、PIC100を載置して保持する。ステージ１０は、XYZ方向（前後・左右・上下方向）にPIC100を移動可能に構成されたXYZステージであってもよい。XYZステージによりPIC100の位置を調整し、フォーカス調整を行ってもよい。

[0029] 図２は、PIC100を模式的に示した平面図である。図３（a）は、PIC100の入力端面100a側の側面図であり、図３（b）は、PIC100の出力端面100b側の側面図である。PIC100は、様々な光学的な機能を統合したデバイスであり、光によって情報信号を伝達する。図２に示されるように、PIC100は、種々の素子を含んで構成されている。図２に示される例では、PIC100は、光入力部101、光出力部102、グレーティング103、レーザ素子104、入力カプラ105、光学モジュレータ106、光カプラ107、導波路108、フォトダイオード109、112、光リング共振回路110、フォトニック結晶111等を備えている。

。PIC100は、少なくとも1つの光出力部及び導波路を有している。

[0030] 光入力部101は、PIC100の外部からPIC100の内部に光が入力される部分である。光入力部101は、図3(a)に示されるように、PIC100の一側面である入力端面100aに形成されている。図3(a)においては光入力部101を1つのみ示しているが、入力端面100aには複数の光入力部101が形成されている。例えば検査後の実用化された状態においては、光入力部101には光ケーブルが接続される。

[0031] 光出力部102は、PIC100の外部に光を出力する部分である。光出力部102は、図3(b)に示されるように、PIC100の他端面である出力端面100bに形成されている。図3(b)においては光出力部102を1つのみ示しているが、出力端面100bには複数の光出力部102が形成されている。例えば検査後の実用化された状態においては、光出力部102には光ケーブルが接続される。光出力部102は、光入力部101から入力されて、導波路108によって導光された光をPIC100の外部に出力してもよい。

[0032] グレーティング103は、PIC100におけるオモテ面（上面）に配置されており、上方（PIC100の外部）に向かって光を出力する光出力部として機能する。レーザ素子104は、PIC100の内部にレーザ光を出射する光源である。レーザ素子104から出射された光は、入力カプラ105及び光学モジュレータ106を経て光カプラ107に到達し、導波路108によって導光される。

[0033] フォトダイオード109、112は、PIC100の内部に設けられた光検出器である。光リング共振回路110は、共振波長を設定する回路である。フォトニック結晶111は、屈折率が周期的に変化する構造であり、光を小さな領域に閉じ込め光を操作する構造である。なお、PIC100は、上述した各構成（素子）だけでなく、種々の素子を含んでいてもよい。PIC100は、例えば、光リング共振回路110或いは光変調器などの各素子の上にマイクロヒータ（不図示）を搭載していてもよい。当該マイクロヒータ

は、光リング共振回路 110 或いは光変調器などの各素子を構成する導波路の屈折率を変え、導光される光の共振波長を制御する構成である。

[0034] 図 1 に戻り、P I C コントローラ 20 は、検査対象物である P I C 100 内の各素子の動作を制御するための制御部である。P I C コントローラ 20 は、プローブカード 30 を介して P I C 100 に電氣的に接続される。P I C コントローラ 20 は、発光素子（レーザ素子 104 又は増幅素子等）に電力を供給する。P I C コントローラ 20 は、光変調器（増幅素子型変調器、電界吸収型変調器、空乏層型変調器、リング変調器等）へ変調信号を供給する。ここでの変調信号は、例えば光強度の変調に係る信号又は光スイッチの切り替えに係る信号である。P I C コントローラ 20 は、マイクロヒータに電力供給を行い、P I C 100 の少なくとも一部の温度を制御する。これにより、導波路 108 において導光される光の屈折率がコントロールされると共に、光リング共振回路 110 における共振器長がコントロールされる。P I C コントローラ 20 は、フォトダイオード 109, 112 に電力を供給する。P I C コントローラ 20 は、P I C 100 の温度を計測する。温度計測は、抵抗素子による抵抗計測で実施されてもよいし、熱電対による電圧計測で実施されてもよい。また、P I C コントローラ 20 は、P I C 100 に搭載された I C 部分を制御してもよいし、発光波長計測を行ってもよい。これらの機能は、P I C コントローラ 20 以外の外部装置にて実施されてもよい。

[0035] ミラー 40 は、P I C 100 からの光を集光レンズ 50 方向に反射するミラーである。集光レンズ 50 は、例えば対物レンズであり、光を撮像機構 60 方向に集光するレンズである。

[0036] 撮像機構 60 は、L R G (Liner Reflectance Gradient on the wavelength axis) フィルタ 61 (光学フィルタ) と、カメラ 62 (イメージセンサ、撮像部) と、切替部 63 と、を含んで構成されている。

[0037] L R G フィルタ 61 は、特殊な光学素材を用いて作成されたフィルタであり、P I C 100 からの光を波長に応じて透過又は反射することにより分離

する。LRGフィルタ61は、所定の波長域において透過率が線形に変化する透過特性を有し、導波路108によって導光されて光出力部102から出力された光を、上記透過特性に基づいて透過又は反射する。

[0038] 図4は、光のスペクトル及びLRGフィルタ61の特性を説明する図である。図4において横軸は波長を示しており、縦軸はスペクトル強度（光のスペクトルの場合）及び透過率（LRGフィルタ61の場合）を示している。図4のLRGフィルタ61の特性X4に示されるように、LRGフィルタ61においては、所定の波長域（波長 λ_1 ～ λ_2 の波長帯）では波長の変化に応じて光の透過率（及び反射率）が緩やかに変化し、該所定の波長域以外の波長帯（すなわち、波長 λ_1 よりも低波長側及び波長 λ_2 よりも高波長側）では波長の変化に関わらず光の透過率（及び反射率）が一定とされている。換言すれば、所定の波長域（波長 λ_1 ～ λ_2 の波長帯）では波長の変化に応じて光の透過率が単調増加（反射率が単調減少）で変化している。透過率と反射率とは、一方が大きくなる方向に変化すると他方が小さくなる方向に変化する、負の相関関係にあるため、以下では「透過率（及び反射率）」と記載せずに単に「透過率」と記載する場合がある。なお、「波長の変化に関わらず光の透過率が一定」とは、完全に一定である場合だけでなく、例えば波長1nmの変化に対する透過率の変化が0.1%以下であるような場合も含むものである。波長 λ_1 よりも低波長側では波長の変化に関わらず光の透過率が概ね0%であり、波長 λ_2 よりも高波長側では波長の変化に関わらず光の透過率が概ね100%である。なお、「光の透過率が概ね0%である」とは、0%+10%程度の透過率を含むものであり、「光の透過率が概ね100%である」とは、100%-10%程度の透過率を含むものである。以上のように、LRGフィルタ61は、波長の変化に応じて透過率が変化する波長帯が所定の幅（波長 λ_1 ～ λ_2 の幅）を有する分離光学素子である。

[0039] 図1に戻り、カメラ62は、LRGフィルタ61を透過した光を撮像して透過画像（第1の画像データ）を出力する。また、カメラ62は、光出力部102から出力された光であってLRGフィルタ61を介さずに到達した光

を撮像して全光量画像（第2の画像データ）を出力する。このように、カメラ62は、LRGフィルタ61を透過した光を撮像する第1撮像を行う場合と、LRGフィルタ61を介さずに到達した光を撮像する第2撮像を行う場合とがある。第1撮像及び第2撮像は、後述する切替部63によってLRGフィルタ61の位置が変更されることにより切り替えられる。なお、カメラ62に代えて、それぞれ、CCDやMOS等のエリアイメージセンサが用いられてもよいし、ラインセンサやTDI（Time Delay Integration）センサが用いられてもよい。

[0040] 切替部63は、光出力部102とカメラ62との間の光路に、LRGフィルタ61が設けられた状態（上記第1撮像を行う状態）と、LRGフィルタ61が設けられていない状態（上記第2撮像を行う状態）とを切り替え可能に構成されている。切替部63は、LRGフィルタ61を移動させる（LRGフィルタ61の位置を変化させる）ことにより、上記切り替えを実現している。すなわち、上記第1撮像を行う場合には、切替部63は、光出力部102とカメラ62との間の光路にLRGフィルタ61が位置し、LRGフィルタ61を透過した光がカメラ62により撮像されるように、LRGフィルタ61を動かす。また、上記第2撮像を行う場合には、切替部63は、光出力部102とカメラ62との間の光路にLRGフィルタ61が位置せず、LRGフィルタ61を介さずに到達した光がカメラ62により撮像されるように、LRGフィルタ61を動かす。切替部63は、例えばフィルタホイール又はフィルタスライドであってもよい。

[0041] コンピュータ70は、物理的には、RAM、ROM等のメモリ、CPU等のプロセッサ（演算回路）、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。コンピュータ70は、メモリに格納されるプログラムをCPUで実行することにより機能する。コンピュータ70は、マイコンやFPGAで構成されていてもよい。

[0042] コンピュータ70は、上述した透過画像及び全光量画像に基づいて、PIC100の光出力部102から出力された光の波長情報を導出する第1処理

を実行する。コンピュータ70は、第1処理において、透過画像に基づきLRGフィルタ61を透過した光の強度である透過強度（透過光量）を導出すると共に、全光量画像に基づき光出力部102から出力された光の全強度を導出する。そして、コンピュータ70は、透過強度及び全強度に基づいて、具体的には全強度から透過強度を差し引くことにより、LRGフィルタ61によって反射された光の強度である反射強度（反射光量）を導出する。例えば、透過強度をT、反射強度をR、全光量をA、透過強度Tと反射強度Rの差分値をDとした場合、 $R = A - T$ 及び $D = 2T - A$ が成り立つ。コンピュータ70は、透過光量及び反射光量に基づいて、波長情報を導出する。コンピュータ70は、透過光量及び反射光量の差分値を導出し、該差分値に基づいて波長情報を導出する。ここでの波長情報とは、光出力部102から出力された光の重心波長を示す情報である。また、透過強度（透過光量）は、透過画像における光出力部102に相当する像の領域の強度の積算値でもよい。また、全強度（全光量）は、全光量画像における光出力部102に相当する像の領域の強度の積算値でもよい。この場合、演算により導出される反射強度（反射光量）は、光出力部102に相当する像の領域の強度の積算値として求められる。さらに、透過強度（透過光量）は、透過画像における光出力部102に相当する像の領域を構成する各画素の強度でもよい。また、全強度（全光量）は、全光量画像における光出力部102に相当する像の領域を構成する各画素の強度でもよい。この場合、演算により導出される反射強度（反射光量）は、光出力部102に相当する像の領域を構成する各画素の強度として求められる。以下、重心波長の計算原理の一例について、図4を参照しながら詳細に説明する。

- [0043] 上述したように、LRGフィルタ61は、波長 λ_1 よりも低波長側では全ての光を反射し、波長 λ_2 よりも高波長側では全ての光を透過し、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ の波長帯では光の透過率が波長に従ってリニアに変化するとする。この場合、波長 λ_1 、 λ_2 との関係において透過率 $h(\lambda)$ は以下の(1)式で示され、反射率 $1 - h(\lambda)$ は以下の(2)式で示される。

$$h(\lambda) = (\lambda - \lambda_1) / (\lambda_2 - \lambda_1) \quad (1)$$

$$1 - h(\lambda) = (\lambda_2 - \lambda) / (\lambda_2 - \lambda_1) \quad (2)$$

[0044] また、反射率が50%となる波長 $\lambda_{50\%}$ は以下の(3)式で示されることは明らかである。

$$\lambda_{50\%} = (\lambda_2 + \lambda_1) / 2 \quad (3)$$

[0045] あるスペクトル $f(\lambda)$ が図4の波形X2で示され、 λ_1 と λ_2 の間にあり、 λ_1 より短い波長及び λ_2 よりも長い波長において無視できる場合、反射光量と透過光量とが等しいと仮定すると以下の(4)式が成立する。

$$\int f(\lambda) h(\lambda) d\lambda = \int f(\lambda) (1 - h(\lambda)) d\lambda \quad (4)$$

(4)式を変形すると、以下の(5)式になる。

$$2 \int f(\lambda) h(\lambda) d\lambda = \int f(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

[0046] (5)式に(1)式を代入すると、

$$\begin{aligned} 2 \int f(\lambda) (\lambda - \lambda_1) / (\lambda_2 - \lambda_1) d\lambda &= \int f(\lambda) d\lambda \\ \text{となり、さらに両辺を } 2 \int f(\lambda) d\lambda / (\lambda_2 - \lambda_1) \text{ で割ると、} \\ \int f(\lambda) (\lambda - \lambda_1) d\lambda / \int f(\lambda) d\lambda &= (\lambda_2 - \lambda_1) / 2 \\ \int f(\lambda) \lambda d\lambda / \int f(\lambda) d\lambda &= (\lambda_2 + \lambda_1) / 2 \end{aligned} \quad (6)$$

となる。

[0047] (3)式を考慮すると、(6)式の右辺は $\lambda_{50\%}$ であり、左辺は一般的に任意関数である $f(\lambda)$ の重心となることは明らかである。このような(6)式の左辺を λ_f とする。以上のことから、透過率が波長に対して線形に変化するLRGフィルタ61を通ったある任意のスペクトルについて、透過光量と反射光量とが等しい場合には、スペクトルの重心 λ_f は $\lambda_{50\%}$ で示される。

[0048] つづいて、第2のスペクトル $g(\lambda)$ について考える。スペクトル $g(\lambda)$ についても、スペクトルが λ_1 と λ_2 の間に全て含まれている。いま、スペクトル $f(\lambda)$ と $g(\lambda)$ について、透過光と反射光の差分値を規格化したものの差を算出する。 $f(\lambda)$ の透過光を Tf 、反射光を Rf 、全光量を Af 、透過光と反射光の差分値を Df とする。また、 $g(\lambda)$ の透過光を Tg 、反射光を Rg 、全光量を Ag 、透過光と反射光の差分値を Dg とする。また、 $g(\lambda)$ の重心を λ_g とする。このとき、 Tf 、 Rf 、 Tg 、 Rg は計測値であり、 Af 、 Ag 、 Df 、 Dg は計測値から直接算出可能な値である。これらの各値は、以下の式によっても示される。

$$Tf = \int f(\lambda) h(\lambda) d\lambda = \int f(\lambda) (\lambda - \lambda_1) / (\lambda_2 - \lambda_1) d\lambda \quad (7)$$

$$Tg = \int g(\lambda) h(\lambda) d\lambda = \int g(\lambda) (\lambda - \lambda_1) / (\lambda_2 - \lambda_1) d\lambda \quad (8)$$

$$Rf = \int f(\lambda) (1 - h(\lambda)) d\lambda = \int f(\lambda) (\lambda_2 - \lambda) / (\lambda_2 - \lambda_1) d\lambda \quad (9)$$

$$Rg = \int g(\lambda) (1 - h(\lambda)) d\lambda = \int g(\lambda) (\lambda_2 - \lambda) / (\lambda_2 - \lambda_1) d\lambda \quad (10)$$

$$Af = \int f(\lambda) d\lambda \quad (11)$$

$$Ag = \int g(\lambda) d\lambda \quad (12)$$

$$Df = Tf - Rf \\ = 2 / (\lambda_2 - \lambda_1) * \int \lambda f(\lambda) d\lambda - (\lambda_2 + \lambda_1) / (\lambda_2 - \lambda_1) * \int f(\lambda) d\lambda \quad (13)$$

$$Dg = Tg - Rg \\ = 2 / (\lambda_2 - \lambda_1) * \int \lambda g(\lambda) d\lambda - (\lambda_2 + \lambda_1) / (\lambda_2 - \lambda_1) * \int g(\lambda) d\lambda \quad (14)$$

[0049] ここで、透過光と反射光の差分値を規格化するとは、 Df を Af 、 Dg を Ag

gで割ることに相当する。それらの差をRとすると、以下の(15)式が成立する。

$$\begin{aligned} R &= Dg/Ag - Df/ Af \\ &= \{ \int g(\lambda) \lambda d\lambda / \int g(\lambda) d\lambda - \int f(\lambda) \lambda d\lambda / \int f(\lambda) d\lambda \} * 2 / (\lambda_2 - \lambda_1) \\ &= 2(\lambda_g - \lambda_f) / (\lambda_2 - \lambda_1) \end{aligned} \quad (15)$$

[0050] スペクトル f (λ) の重心波長 λ_f 及びスペクトル g (λ) の重心波長 λ_g の差を δλ とすると、以下の(16)式及び(17)式が成立する。

$$R = 2 \delta \lambda / (\lambda_2 - \lambda_1) \quad (16)$$

$$\delta \lambda = R(\lambda_2 - \lambda_1) / 2 \quad (17)$$

以上のように、ある2つの任意のスペクトル f (λ), g (λ) の重心の差が、透過光量及び反射光量を考慮した計算から得られることが示された。

[0051] そして、f (λ) の重心が λ_{50%} であるとき、反射光量と透過光量は等しくなるため D_f は 0 となる。つまり、任意のスペクトル g(λ) の重心波長 λ_g は以下の(18)式により示される。

$$\lambda_g = \delta \lambda + \lambda_{50\%} \quad (18)$$

[0052] 以上のように、スペクトルの重心波長（すなわち光の波長情報）は、L R G フィルタ 61 の設計値、透過光量、及び反射光量から計算することができる。そして、検査装置 1 では、上述したように、重心波長（波長情報）を用いて P I C 1 0 0 が検査される。

[0053] また、任意のスペクトル g(λ) の重心波長 λ_g は、以下の(19)式及び(20)式により求めることもできる。この場合、g (λ) の透過光 T_g、反射光 R_g、全光量 A_g、重心 λ_g は、それぞれ(21)式、(22)式、(23)式、(24)式で定義される。なお、(21)式は、上記(8)式と同義であり、(22)式は、上記(10)式と同義であり、(23)式は、

上記（１２）式と同義であり、（２４）式は、上記（１８）式と同義である

。

[数1]

$$\begin{aligned}
 \frac{T_g - R_g}{T_g + R_g} &= \frac{T_g - R_g}{A_g} = \frac{2T_g - A_g}{A_g} = \frac{A_g - 2R_g}{A_g} \\
 &= \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{2\lambda - (\lambda_1 + \lambda_2)}{\lambda_2 - \lambda_1} g(\lambda) d\lambda}{A_g} \\
 &= \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{2(\lambda - \lambda_{50\%})}{\lambda_2 - \lambda_1} g(\lambda) d\lambda}{A_g} \\
 &= \frac{2}{\lambda_2 - \lambda_1} \left\{ \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \lambda g(\lambda) d\lambda - \lambda_{50\%} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} g(\lambda) d\lambda \right\} \\
 &= \frac{2}{\lambda_2 - \lambda_1} (\lambda_g - \lambda_{50\%}) \quad (19)
 \end{aligned}$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \left(\frac{T_g - R_g}{T_g + R_g} \right) + \lambda_{50\%} \quad (20)$$

$$T_g = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\lambda - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} g(\lambda) d\lambda \quad (21)$$

$$R_g = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\lambda_2 - \lambda}{\lambda_2 - \lambda_1} g(\lambda) d\lambda \quad (22)$$

$$A_g = T_g + R_g = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} g(\lambda) d\lambda \quad (23)$$

$$\lambda_g = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \lambda g(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} g(\lambda) d\lambda} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \lambda g(\lambda) d\lambda}{A_g} \quad (24)$$

[0054] 次に、検査装置１を用いて実施される検査方法の工程について、図５～図２０を参照して説明する。本検査方法は、大きく、事前準備工程と、波長情報を導出する工程とを含んでいる。事前準備工程は、セッティング工程と、

光入力部１０１の位置を大まかに特定する工程と、光出力部１０２の位置を大まかに特定する工程と、光入力部１０１の位置を高精度に特定する工程と、光出力部１０２の位置を高精度に特定する工程と、を含んでいる。

[0055] 上述した各工程を実施する検査装置１は、詳細には、図５に示される構成を備えている。図５は、図１に示される検査装置１の詳細を示した側面図である。図５に示されるように、検査装置１は、図１に示される構成に加えて、第１スキャナ部２００（第１の光スキャナ部）と、第２スキャナ部３００（第２の光スキャナ部）と、集光レンズ４０１と、観察用カメラ４０２と、を含んで構成されている。集光レンズ４０１及び観察用カメラ４０２は、事前準備工程において使用される構成である。

[0056] 第１スキャナ部２００は、ＰＩＣ１００における、複数の光入力部１０１が形成された入力端面１００ａ（第１領域）に光スキャンを行い、該光スキャンに係る光（具体的には、入力端面１００ａにおいて反射した光）を検出する構成である。

[0057] 第１スキャナ部２００は、レーザ光源２０１と、フォトダイオード２０２と、ガルバノミラー２０３と、ミラー２４０と、集光レンズ２５０と、を含んで構成されている。レーザ光源２０１は、レーザ光を出射する光源である。ガルバノミラー（光スキャナ）２０３は、レーザ光源２０１から出射された光を任意の方向に反射し、入力端面１００ａにおける光スキャンを実現する光スキャナである。集光レンズ２５０は、例えば対物レンズであり、光をミラー２４０に集光する。ミラー２４０は、集光レンズ２５０からの光をＰＩＣ１００の入力端面１００ａ方向に反射する。フォトダイオード２０２は、入力端面１００ａにおいて反射した光を検出する光検出器である。フォトダイオード２０２は、検出した光に係る信号をコンピュータ７０に出力する。

[0058] 第２スキャナ部３００は、ＰＩＣ１００における、複数の光出力部１０２が形成された出力端面１００ｂ（第２領域）に光スキャンを行い、該光スキャンに係る光（具体的には、出力端面１００ｂにおいて反射した光）を検出

する構成である。

[0059] 第2スキャナ部300は、レーザ光源301と、フォトダイオード302と、ガルバノミラー（光スキャナ）303と、を含んで構成されている。レーザ光源301は、レーザ光を出射する光源である。ガルバノミラー303は、レーザ光源201から出射された光を任意の方向に反射し、出力端面100bにおける光スキャンを実現する光スキャナである。ガルバノミラー303からの光は、集光レンズ50及びミラー40を経て、PIC100の出力端面100bに照射される。フォトダイオード302は、出力端面100bにおいて反射した光を検出する光検出器である。フォトダイオード302は、検出した光に係る信号をコンピュータ70に出力する。

[0060] 観察用カメラ402は、プローブカード30によるPIC100のチップへの針当ての様子を観察するためのカメラである。観察用カメラ402は、例えば対物レンズである集光レンズ401を経た光を検出することにより、上記観察を行う。

[0061] 以下では、事前準備工程（セッティング工程、光入力部101の位置を大まかに特定する工程、光出力部102の位置を大まかに特定する工程、光入力部101の位置を高精度に特定する工程、光出力部102の位置を高精度に特定する工程）、及び、波長情報を導出する工程について、時系列に沿って説明する。

[0062] （セッティング工程）

図6（a）～（c）及び図7は、セッティング工程を説明する図である。最初に、図6（a）に示されるように、ステージ10の上面の凹部にPIC100のチップが取り付けられる。そして、図6（b）に示されるように、ステージ10にPIC100が固定されると共に、ステージ10の位置及び方向（傾き）が調整される。つづいて、図7及び図6（c）に示されるように、観察用カメラ402によりプローブカード30の位置が観察されながら、PIC100のチップに対してプローブカード30の針当てが行われる。以上がセッティング工程である。

[0063] (光入力部101の位置を大まかに特定する工程)

図8～図10は、光入力部101の位置を大まかに特定する工程を説明する図である。図8に示されるように、第1スキャナ部200によって、PIC100の入力端面100aに光が照射される。図9に示されるように、第1スキャナ部200は、入力端面100aにおいてレーザ光源201からの光SC1の照射領域を水平方向、及び/又は垂直方向に走査し、光スキャンを実施する。ここで、図10に示されるように、入力端面100aには、複数の光入力部101(図10の例では、入力部101a, 101b, 101c, 101d, 101e, 101f)が存在しており、入力端面100aにおいて走査される光SC1の径は、光入力部101a～101fの径よりも大きい。光入力部101a～101fの径は、例えば1 μ m以下であり、0.5 μ m程度とされてもよい。第1スキャナ部200のフォトダイオード202は、入力端面100aにおいて反射した光を検出し、検出した信号に係る信号をコンピュータ70に出力する。当該信号は、少なくともフォトダイオード202が検出した光の強度を示す信号である。なお、光スキャンの前に、PIC100の入力端面100aにフォーカスが合うように、ステージ100或いは第1スキャナ部200の位置等を調整してもよい。

[0064] そして、コンピュータ70は、第1スキャナ部200のフォトダイオード202によって出力された信号(検出された光の強度を示す信号)に基づいて、光入力部101a～101fの大まかな位置を特定する。このような処理は、光の波長情報を導出する第1処理を実施する際に光が入力される光入力部101a～101fの位置を事前に特定する第2処理である。コンピュータ70は、光入力部101a～101fにおける反射率と、入力端面100aにおける光入力部101a～101f以外の領域における反射率との違いに応じた光の強度の違いから、光入力部101a～101fの位置を特定する。ここで特定される光入力部101a～101fの位置は、大まかな位置であり、詳細には後述する「光入力部101の位置を高精度に特定する工程」において特定される。

[0065] (光出力部102の位置を大まかに特定する工程)

図11～図13は、光出力部102の位置を大まかに特定する工程を説明する図である。図11に示されるように、第2スキャナ部300によって、PIC100の出力端面100bに光が照射される。図12に示されるように、第2スキャナ部300は、出力端面100bにおいてレーザ光源301からの光SC2の照射領域を水平方向、及び/又は垂直方向に走査し、光スキャンを実施する。ここで、図13に示されるように、出力端面100bには、複数の出力部102(図13の例では、出力部102a, 102b, 102c, 102d, 102e, 102f)が存在しており、出力端面100bにおいて走査される光SC2の径は、光出力部102a～102fの径よりも大きい。光出力部102a～102fの径は、例えば1 μ m以下であり、0.5 μ m程度とされてもよい。第2スキャナ部300のフォトダイオード302は、出力端面100bにおいて反射した光を検出し、検出した信号に係る信号をコンピュータ70に出力する。当該信号は、少なくともフォトダイオード302が検出した光の強度を示す信号である。なお、光スキャンの前に、PIC100の出力端面100bにフォーカスが合うように、ステージ10或いは第2スキャナ部300の位置等を調整してもよい。

[0066] そして、コンピュータ70は、第2スキャナ部300のフォトダイオード302によって出力された信号(検出された光の強度を示す信号)に基づいて、光出力部102a～102fの大まかな位置を特定する。このような処理は、光の波長情報を導出する第1処理を実施する際に光を出力する光出力部102a～102fの位置を事前に特定する第3処理である。コンピュータ70は、光出力部102a～102fにおける反射率と、出力端面100bにおける光出力部102a～102f以外の領域における反射率との違いに応じた光の強度の違いから、光出力部102a～102fの位置を特定する。ここで特定される光出力部102a～102fの位置は、大まかな位置であり、詳細には後述する「光出力部102の位置を高精度に特定する工程」において特定される。

[0067] (光入力部 101 の位置を高精度に特定する工程)

図 14 及び図 15 は、光入力部 101 の位置を高精度に特定する工程を説明する図である。図 14 及び図 15 に示されるように、第 2 スキャナ部 300 が所定の光出力部 102 (光出力部 102 の位置を大まかに特定する工程によって位置が特定されている光出力部 102) に位置決めされた状態で、第 1 スキャナ部 200 により各光入力部 101 (光入力部 101a ~ 101f) に光が入力される。そして、上記光出力部 102 から出力された光が第 2 スキャナ部 300 のフォトダイオード 302 により検出される。第 1 スキャナ部 200 によって、既に大まかな位置が特定されている光入力部 101a ~ 101f (及びその周囲) に光が走査されて、それぞれフォトダイオード 302 により光強度が検出されることにより、光強度の違いから、光入力部 101a ~ 101f の位置を高精度に特定することができる。

[0068] (光出力部 102 の位置を高精度に特定する工程)

図 14 及び図 16 は、光出力部 102 の位置を高精度に特定する工程を説明する図である。図 14 及び図 16 に示されるように、第 1 スキャナ部 200 が所定の光入力部 101 に位置決めされた状態で、第 1 スキャナ部 200 により該光入力部 101 に光が入力される。そして、PIC100 から出力される光が第 2 スキャナ部 300 のフォトダイオード 302 により検出される。第 2 スキャナ部 300 によって、既に大まかな位置が特定されている光出力部 102a ~ 102f (及びその周囲) に光が走査されて、それぞれフォトダイオード 302 により光強度が検出されることにより、光強度の違いから、光出力部 102a ~ 102f の位置を高精度に特定することができる。

[0069] (波長情報を導出する工程)

図 17 ~ 図 19 は、波長情報を導出する工程を説明する図である。図 17 に示されるように、まず、撮像機構 60 が複数の光出力部 102a ~ 102f から出力される光を一括して撮像できるように位置合わせされる。具体的には、切替部 63 によって、光出力部 102a ~ 102f とカメラ 62 との

間の光路にＬＲＧフィルタ６１が位置し、ＬＲＧフィルタ６１を透過した光がカメラ６２により撮像されるように、ＬＲＧフィルタ６１が動かされる。この場合、ＬＲＧフィルタ６１は、光入力部１０１から入力され、導波路１０８によって導光されて光出力部１０２から出力された光（図１８参照）を、透過特性に基づいて透過又は反射する。そして、所望の光入力部１０１に光が入力された状態で、ＰＩＣ１００の光出力部１０２から出力されてＬＲＧフィルタ６１で透過された光が、カメラ６２により撮像される。

[0070] つづいて、切替部６３によって、光出力部１０２ａ～１０２ｆとカメラ６２との間の光路にＬＲＧフィルタ６１が位置せず、ＬＲＧフィルタ６１を介さずに到達した光がカメラ６２により撮像されるように、ＬＲＧフィルタ６１が動かされる。この場合、所望の光入力部１０１に光が入力された状態で、ＰＩＣ１００の光出力部１０２から出力されてＬＲＧフィルタ６１を介さずに到達した光がカメラ６２により撮像される。

[0071] 図１９（ａ）はカメラ６２により撮像された光出力部１０２の像であってＬＲＧフィルタ６１を透過した光の像８０２（透過画像）を示す図であり、図１９（ｂ）はカメラ６２により撮像された光出力部１０２の像であってＬＲＧフィルタ６１を介さずに到達した光の像９０２（全光量画像）を示す図である。これらの像８０２，９０２は、それぞれ撮像した光の光量に応じた像を示している。つまり、像８０２を構成する複数の画素の各強度の積算値を透過強度（透過光量）としてもよく、また、像９０２を構成する複数の画素の各強度の積算値を全強度（全光量）としてもよい。

[0072] コンピュータ７０は、カメラ６２により撮像された透過画像及び全光量画像に基づいて、各出力部１０２ａ～１０２ｆから出力された光の波長情報（具体的には重心波長）を導出する第１処理を実行する。重心波長の導出方法の一例は上述したとおりである。

[0073] なお、コンピュータ７０は、第１処理において導出された波長情報と、波長情報が導出された際のＰＩＣコントローラ２０によるＰＩＣの温度制御に係る情報（例えばマイクロヒータに投入される電力）とを対応付けることに

より、波長情報とPICの温度制御との関係を示すテーブルを作成してもよい。このようなテーブルは、通常のPIC制御（PIC100の波長制御）時に用いることができる。上述したように、PICコントローラ20は、マイクロヒータに電力供給を行い、PIC100の少なくとも一部の温度を制御している。このような温度制御によって、PIC100の導波路108において導光される光の屈折率がコントロールされPIC100から出力される光の波長が制御される。例えば、PICコントローラ20によるマイクロヒータへの投入電力の条件を変えながら、それぞれ第1処理により波長情報が導出されることにより、図20に示されるような、マイクロヒータへの投入電力と波長情報とが対応付けられたテーブルを作成することができる。図20において、横軸はマイクロヒータへの投入電力、縦軸は共振波長シフト量（上述した（18）式の $\delta\lambda$ ）を示している。

[0074] 次に、図21に示されるフローチャートを参照して、検査装置1を用いて実行する検査方法の内、波長情報を導出する工程について説明する。図21は、検査方法（詳細には波長情報を導出する工程）のフローチャートである。

[0075] 図21に示されるように波長情報を導出する工程では、最初に、PICコントローラ20によりPIC100の動作が制御される（ステップS1）。ここでの動作の制御とは、PIC100内の各素子の動作の制御である。

[0076] つづいて、光出力部102とカメラ62との間の光路に配置されたLRGフィルタ61が、光出力部102から出力された光を透過する（ステップS2）。

[0077] つづいて、LRGフィルタ61を透過した光がカメラ62により撮像されて、透過画像がコンピュータ70に出力される（ステップS3）。

[0078] つづいて、光出力部102とカメラ62との間の光路からLRGフィルタ61が撤退し、LRGフィルタ61を介さずに到達した光がカメラ62により撮像されて、全光量画像がコンピュータ70に出力される（ステップS4）。

[0079] そして、コンピュータ70によって、透過画像及び全光量画像に基づき、光出力部102から出力された光の波長情報が導出される（ステップS5）

。

[0080] 次に、本実施形態に係る検査装置1の作用効果について説明する。

[0081] 検査装置1は、少なくとも1つの光出力部102及び導波路108を有するPIC100を検査する検査装置であって、PIC100を保持するステージ10と、PIC100の動作を制御するPICコントローラ20と、所定の波長域において透過率が線形に変化する透過特性を有し、導波路108によって導光されて少なくとも1つの光出力部102から出力された光を、透過特性に基づいて透過又は反射するLRGフィルタ61と、LRGフィルタ61を透過した光を撮像し透過画像を出力すると共に、光出力部102から出力された光であってLRGフィルタ61を介さずに到達した光を撮像し全光量画像を出力するカメラ62と、透過画像及び全光量画像に基づいて、光出力部102から出力された光の波長情報を導出する第1処理を実行するコンピュータ70と、を備える。

[0082] 本実施形態に係る検査装置1では、PIC100の光出力部102から出力された光が、LRGフィルタ61によって、波長に応じて透過又は反射される。そして、LRGフィルタ61を透過又は反射した光を撮像した透過画像、及び、LRGフィルタ61を介さずに到達した光を撮像した全光量画像に基づいて、光出力部102から出力された光の波長情報が導出される。このように、本実施形態に係る検査装置1においては、LRGフィルタ61が用いられて波長に応じて光が透過又は反射されているので、透過画像は、光の波長に応じた画像データとなる。また、透過画像がLRGフィルタ61を透過した光を撮像した画像データであり、全光量画像がLRGフィルタ61を介さずに到達した光を撮像した画像データであるので、これらの画像データからは、LRGフィルタ61を透過した光だけでなく、LRGフィルタ61を反射した光の情報を取得することができる。このように、波長に応じて透過又は反射された光の情報が取得されることにより、高精度に光の波長情

報を取得することができる。以上のように、本実施形態に係る検査装置 1 によれば、P I C 1 0 0 から出力される光の情報（具体的には波長情報）を取得することができ、その結果、該波長情報を用いて P I C 1 0 0 を適切に検査することができる。

[0083] P I C 1 0 0 は、複数の光出力部 1 0 2 a ~ 1 0 2 f を有し、L R G フィルタ 6 1 は、複数の光出力部 1 0 2 a ~ 1 0 2 f から出力された各光を、透過特性に基づいて透過又は反射してもよい。このような構成によれば、空間的に互いに異なる位置に設けられた複数の光出力部 1 0 2 a ~ 1 0 2 f から光の波長情報が一括して取得され、P I C 1 0 0 をより迅速且つ適切に検査することができる。

[0084] 撮像部は、L R G フィルタ 6 1 を透過又は反射した光を撮像すると共に、光出力部 1 0 2 から出力された光であって L R G フィルタ 6 1 を介さずに到達した光を撮像するイメージセンサであるカメラ 6 2 を有していてもよい。このようなカメラ 6 2 によれば、所望の光を適切に撮像することができる。

[0085] 検査装置 1 は、光出力部 1 0 2 とカメラ 6 2 との間の光路に、L R G フィルタ 6 1 が設けられた状態と、L R G フィルタ 6 1 が設けられていない状態とを切り替え可能に構成された切替部 6 3 を更に備えていてもよい。このような構成によれば、L R G フィルタ 6 1 の有無を切り替えながら、上述した透過画像及び全光量画像を共に適切に取得することができる。

[0086] P I C コントローラ 2 0 は、P I C 1 0 0 の少なくとも一部の温度を制御してもよい。このように P I C 1 0 0 の温度が制御されることにより、P I C 1 0 0 の光リング共振回路 1 1 0 を構成する導波路の屈折率を変え、例えば、光リング共振回路 1 1 0 における光の共振波長を制御することができる。このことで、光の波長の条件を容易に変更しながら P I C 1 0 0 を適切に検査することができる。

[0087] P I C 1 0 0 は、少なくとも 1 つの光入力部 1 0 1 を有し、光出力部 1 0 2 は、光入力部 1 0 1 から入力され導波路 1 0 8 によって導光された光を出力してもよい。このような構成によれば、P I C 1 0 0 の光入力部 1 0 1 か

ら入力されて導波路108を経て光出力部102から出力される光について、波長情報を適切に取得することができる。

[0088] 上記検査装置1は、PIC100における、光入力部101が形成された入力端面100aに光スキャンを行い、該光スキャンに係る光を検出する第1スキャナ部200を更に備え、コンピュータ70は、第1処理を実施する際に光が入力される光入力部101の位置を事前に特定する第2処理を更に実行し、第2処理において、第1スキャナ部200によって検出された光の強度に基づき、光入力部101の位置を特定してもよい。このような構成によれば、光の強度の違いから光入力部101の位置を特定することができ、その後の第1処理（光出力部102から出力された光の波長情報を導出する処理）を適切に実施することができる。

[0089] 上記検査装置1は、PIC100における、光出力部102が形成された出力端面100bに光スキャンを行い、該光スキャンに係る光を検出する第2スキャナ部300を更に備え、コンピュータ70は、第1処理を実施する際に光を出力する光出力部102の位置を事前に特定する第3処理を更に実行し、第3処理において、第2スキャナ部300によって検出された光の強度に基づき、光出力部102の位置を特定してもよい。このような構成によれば、光の強度の違いから光出力部102の位置を特定することができ、その後の第1処理（光出力部102から出力された光の波長情報を導出する処理）を適切に実施することができる。

[0090] コンピュータ70は、第1処理において、透過画像からLRGフィルタ61を透過した光の強度である透過強度を導出すると共に、全光量画像から光出力部102から出力された光の全強度を導出し、透過強度及び全強度に基づいて、LRGフィルタ61によって反射された光の強度である反射強度を導出し、透過強度及び反射強度に基づいて、波長情報を導出してもよい。LRGフィルタ61においては、波長に応じて光が透過又は反射されているので、透過強度（透過光量）及び反射強度（反射光量）の情報から、波長情報を高精度に導出することができる。

[0091] コンピュータ 70 は、透過強度及び反射強度の差分値を導出し、該差分値に基づいて波長情報を導出してもよい。透過強度と反射強度との差分値から波長情報が導出されることにより、波長情報を高精度に導出することができる。

[0092] 波長情報は、光出力部 102 から出力された光の重心波長を示す情報であってもよい。これにより、波長情報を適切に導出することができる。

[0093] コンピュータ 70 は、第 1 処理において導出された波長情報と、該波長情報が導出された際の P I C コントローラ 20 による P I C 100 の温度制御に係る情報とを対応付けることにより波長情報と P I C 100 の温度制御との関係を示すテーブルを作成する第 4 処理を更に実行してもよい。このような構成によれば、P I C 100 の波長を調整する際の温度制御のテーブルを作成することができ、P I C 100 の制御をより容易に行うことが可能になる。

[0094] [第 2 実施形態]

次に、本開示の第 2 実施形態について、図 22 ～図 25 を参照して説明する。第 2 実施形態では、第 1 実施形態と異なる点を主に説明し、第 1 実施形態と重複する説明を省略する。

[0095] 図 22 は、第 2 実施形態に係る検査装置 1 A を模式的に示した側面図である。検査装置 1 A は、検査装置 1 と同様の構成を備えている。検査装置 1 A は、P I C 100 のオモテ面（上面）に設けられた光出力部であるグレーティング 103（図 25 参照）から出力される光について、波長情報を導出する。この場合、撮像機構 60 は、グレーティング 103 から出力される光を撮像することができるように、P I C 100 のオモテ面（上面）の直上に位置するように配置される。

[0096] 検査装置 1 A を用いて実施される検査方法の工程について説明する。本検査方法においても、第 1 実施形態に係る検査方法と同様に、まず、セッティング工程（図 6（a）～（c）参照）が実施される。つづいて、必要に応じて、光入力部 101 の位置を大まかに特定する工程、及び、光入力部 101

の位置を高精度に特定する工程が実施される。これらの工程については、第 1 実施形態において説明した工程と同様である。つづいて、グレーティング 103 の位置を特定する工程が実施される。具体的には、図 23 及び図 24 に示されるように、第 1 スキャナ部 200 により PIC100 の光入力部 101 に光が入力されると共に、PIC100 のオモテ面（上面）に形成されたグレーティング 103 からの光がカメラ 62 により撮像される。この場合、第 1 スキャナ部 200 による走査により、各光入力部 101 に光が入力される。このように、グレーティング 103 からの光がカメラ 62 により撮像されることにより、PIC100 のオモテ面（上面）に形成されたグレーティング 103 の位置を精度良く特定することができる。

[0097] つづいて、波長情報を導出する工程が実施される。具体的には、まず、撮像機構 60 がグレーティング 103 から出力される光を撮像できるように位置合わせされる。具体的には、LRG フィルタ 61 が、グレーティング 103 から出力された光を、透過特性に基づいて透過又は反射する。このとき、集光レンズ 50 の光軸方向に、集光レンズ 50 及び／又はステージ 10 を調整することにより、PIC100 のオモテ面（上面）にフォーカスが合うように調整してもよい。そして、所望の光入力部 101 に光が入力された状態で、PIC100 のオモテ面（上面）に形成されたグレーティング 103 から光が出力され（図 25 参照）、該光が LRG フィルタ 61 で透過又は反射されて、透過光がカメラ 62 により撮像される。

[0098] また、LRG フィルタ 61 が光路から撤退させられた後に、所望の光入力部 101 に光が入力された状態で、PIC100 のオモテ面（上面）に形成されたグレーティング 103 から光が出力され（図 25 参照）、該光がカメラ 62 により撮像される。

[0099] そして、コンピュータ 70 により、カメラ 62 により撮像された透過画像及び全光量画像画像に基づいて、グレーティング 103 から出力された光の波長情報（具体的には重心波長）が導出される。

[0100] [第 3 実施形態]

次に、本開示の第3実施形態について、図26及び図27を参照して説明する。第3実施形態では、第1実施形態及び第2実施形態と異なる点を主に説明し、第1実施形態及び第2実施形態と重複する説明を省略する。

[0101] 図26及び図27は、第3実施形態における、波長情報を導出する工程を説明する図である。図26に示されるように、第3実施形態では、PIC100の内部のレーザ素子104から光が出射され、該光がPIC100のオモテ面（上面）に形成された複数のグレーティング103から出力される。すなわち、第3実施形態では、PIC100の外部からPIC100の内部に入力された光ではなく、PIC100の内部のレーザ素子104が発生した光が複数のグレーティング103から出力される。

[0102] この場合の検査方法の工程について説明する。本検査方法においても、第2実施形態に係る検査方法と同様に、セッティング工程等の事前準備工程が実施され、つづいて、波長情報を導出する工程が実施される。

[0103] 波長情報を導出する工程では、まず、撮像機構60が複数のグレーティング103から出力される光を一括して撮像できるように位置合わせされる。具体的には、LRGフィルタ61が、複数のグレーティング103から出力された光を、透過特性に基づいて透過又は反射する。このとき、集光レンズ50の光軸方向に、集光レンズ50及び／又はステージ10を調整することにより、PIC100のオモテ面（上面）にフォーカスが合うように調整してもよい。そして、PIC100の内部のレーザ素子104から光が出射された状態で、PIC100のオモテ面（上面）に形成された複数のグレーティング103から光が出力されて（図26参照）、該光がLRGフィルタ61で透過又は反射されて、透過光がカメラ62により撮像される。

[0104] また、LRGフィルタ61が光路から撤退させられた後に、PIC100の内部のレーザ素子104から光が出射された状態で、PIC100のオモテ面（上面）に形成された複数のグレーティング103から光が出力され（図26参照）、該光がカメラ62により撮像される。

[0105] 図27（a）はカメラ62により撮像された複数のグレーティング103

の像であってL R Gフィルタ61を透過した光の像812（透過画像）を示す図であり、図27（b）はカメラ62により撮像された複数のグレーティング103の像であって、L R Gフィルタ61を介さずに到達した光の像912（反射画像）を示す図である。これらの像812，912は、それぞれ撮像した光の光量に応じた像を示している。

[0106] そして、コンピュータ70により、カメラ62により撮像された透過画像及び全光量画像画像に基づいて、各グレーティング103から出力された光の波長情報（具体的には重心波長）がそれぞれ導出される。

[0107] 以上、本開示に係る実施形態について説明したが、本開示は上記に限定されない。

[0108] 図28（a）（b）は、第1の変形例に係る撮像機構160を説明する図である。撮像機構160は、切替部163が、L R Gフィルタ61と正規化用フィルタ161とを切り替える可能に構成されている点で、上記撮像機構60と異なっている。

[0109] 撮像機構160は、L R Gフィルタ61と、正規化用フィルタ161と、カメラ62と、切替部163とを有している。正規化用フィルタ161は、光量を空間的に均一に低減するフィルタであり、例えばNDフィルタである。切替部163は、光出力部102とカメラ62との間の光路に、L R Gフィルタ61が設けられた状態（図28（a）参照）と、L R Gフィルタ61が設けられておらず且つ正規化用フィルタ161が設けられた状態（図28（b）参照）とを切り替え可能に構成されている。切替部163は、L R Gフィルタ61及び正規化用フィルタ161を移動させることにより、上記切り替えを実現している。

[0110] 光路に正規化用フィルタ161が設けられた状態においては、例えば、入射される光の光量を50％程度として出射する正規化用フィルタ161が用いられ、カメラ62の輝度が2倍程度とされて、L R Gフィルタ61が設けられていない状態における全光量（光出力部102から出力される光の全光量）が導出されてもよい。

- [0111] 図29(a)(b)は、第2の変形例に係る撮像機構260を説明する図である。撮像機構260は、カメラ62が、LRGフィルタ61を反射した光を撮像する点で、上記撮像機構60と異なっている。
- [0112] 撮像機構260は、LRGフィルタ61と、ミラー261と、カメラ62と、切替部263とを有している。切替部263は、光出力部102とカメラ62との間の光路に、LRGフィルタ61が設けられた状態(図29(a)参照)と、LRGフィルタ61が設けられておらず且つミラー261が設けられた状態(図29(b)参照)とを切り替え可能に構成されている。切替部263は、LRGフィルタ61及びミラー261を移動させることにより、上記切り替えを実現している。
- [0113] この場合、カメラ62は、光路にLRGフィルタ61が設けられた状態(図29(a)参照)においてLRGフィルタ61によって反射された光を撮像する位置に設けられており、且つ、光路にミラー261が設けられた状態(図29(b)参照)においてミラー261によって反射された光を撮像する位置に設けられている。光路にミラー261が設けられた状態において、光出力部102から出力される光の全光量が取得される。
- [0114] コンピュータ70は、第1処理において、反射画像からLRGフィルタ61によって反射された光の強度である反射強度を導出する(図29(a)参照)と共に、全光量画像から光出力部102から出力された光の全強度を導出し(図29(b)参照)、反射強度及び全強度に基づいて、LRGフィルタ61を透過した光の強度である透過強度を導出し、透過強度及び反射強度に基づいて、波長情報を導出する。
- [0115] 詳細すると、コンピュータ70は、上述した反射画像及び全光量画像に基づいて、PIC100の光出力部102から出力された光の波長情報を導出する第1処理を実行する。コンピュータ70は、第1処理において、反射画像に基づきLRGフィルタ61を反射された光の強度である反射強度(反射光量)を導出すると共に、全光量画像に基づき光出力部102から出力された光の全強度(全光量)を導出する。そして、コンピュータ70は、反射強

度及び全強度に基づいて、具体的には全強度から反射強度を差し引くことにより、LRGフィルタ61を透過した光の強度である透過強度（透過光量）を導出する。例えば、透過強度をT、反射強度をR、全光量をA、透過強度Tと反射強度Rの差分値をDとした場合、 $T = A - R$ 及び $D = A - 2R$ が成り立つ。また、なお、反射強度（反射光量）は、反射画像における光出力部102に相当する像の領域の強度の積算値でもよい。また、全強度（全光量）は、全光量画像における光出力部102に相当する像の領域の強度の積算値でもよい。この場合、演算により導出される透過強度（透過光量）は、光出力部102に相当する像の領域の強度の積算値として求められる。さらに、反射強度（反射光量）は、反射画像における光出力部102に相当する像の領域を構成する各画素の強度でもよい。また、全強度（全光量）は、全光量画像における光出力部102に相当する像の領域を構成する各画素の強度でもよい。この場合、演算により導出される透過強度（透過光量）は、光出力部102に相当する像の領域を構成する各画素の強度として求められる。

[0116] 図30(a)は、第3の変形例に係る撮像機構360を説明する図である。撮像機構360は、2つのカメラ62、363を有すると共に、透過画像及び全光量画像を同時に取得する点で、上記撮像機構60と異なっている。

[0117] 撮像機構360は、LRGフィルタ61と、カメラ62（第1のイメージセンサ）と、カメラ363（第2のイメージセンサ）と、ビームスプリッタ364（光分岐部）とを有している。ビームスプリッタ364は、光出力部102から出力された光を透過光路399x（第1の分岐光路）及び反射光路399y（第2の分岐光路）に分岐するスプリッタである。ビームスプリッタ364は、例えばハーフミラー等であり、光を透過及び反射することにより分岐（分割）する。カメラ62は、透過光路399xに配置されている。カメラ363は、反射光路399yに配置されている。また、LRGフィルタ61は、透過光路399x上に配置されている。

[0118] このような構成によれば、ビームスプリッタ364によって光出力部102から出力された光が透過光路399x及び反射光路399yに分岐され、

透過光路 399x に設けられたカメラ 62 による透過画像（第 1 の画像データ）の取得と、反射光路 399y に設けられたカメラ 363 による全光量画像（第 2 の画像データ）の取得とを同時に行うことができる。このことで、波長情報を効率的に導出することができる。

[0119] なお、図 30（b）に示されるように、LRG フィルタ 61 は、反射光路 399y 上に配置されていてもよい。この場合、反射光路 399y が第 1 の分岐光路であり、透過光路 399x が第 2 の分岐光路である。

[0120] また、撮像機構 60 は、図 31 のように、LRG フィルタ（光学フィルタ）61 の手前に光学システム全体の分光感度特性をフラットにする感度補正フィルタ 550 を有してもよい。感度補正フィルタ 550 を設けることにより、波長幅のある光の波長の重心をより正確に求めることができる。なお、感度補正フィルタ 550 は、LRG フィルタ（光学フィルタ）61 とカメラ（イメージセンサ）62 との間にそれぞれ設けられてもよい。

[0121] さらに、カメラ 62 とは別体のコンピュータ 70 が波長情報を導出するとして説明したがこれに限定されず、カメラ内部の集積回路により、波長情報の導出等の各処理が実施されてもよい。また、PIC の温度を調整するヒータ又はクーラは、PIC 内部に設けられていてもよいし、PIC 外部に設けられていてもよい。また、PIC の動作を制御する PIC コントローラは、PIC の外部からテスト等により接続されていてもよいし、PIC の基板に電氣的に接続された基板を介して接続されていてもよい。

符号の説明

[0122] 1, 1A…検査装置、10…ステージ、20…PIC コントローラ、61…LRG フィルタ（光学フィルタ）、62…カメラ（撮像部、イメージセンサ、第 1 のイメージセンサ）、70…コンピュータ（解析部）、100a…入力端面（第 1 領域）、100b…出力端面（第 2 領域）、101…光入力部、102…光出力部、103…グレーティング（光出力部）、108…導波路、200…第 1 スキャナ部（第 1 の光スキャナ部）、300…第 2 スキャナ部（第 2 の光スキャナ部）。363…カメラ（第 2 のイメージセンサ）

o

請求の範囲

- [請求項1] 少なくとも1つの光出力部及び導波路を有するフォトニック集積回路を検査する検査装置であって、
- 前記フォトニック集積回路を保持するステージと、
- 前記フォトニック集積回路の動作を制御する制御部と、
- 所定の波長域において透過率が線形に変化する透過特性を有し、前記導波路によって導光されて前記少なくとも1つの光出力部から出力された光を、前記透過特性に基づいて透過又は反射する光学フィルタと、
- 前記光学フィルタを透過又は反射した光を撮像し第1の画像データを出力すると共に、前記光出力部から出力された光であって前記光学フィルタを介さずに到達した光を撮像し第2の画像データを出力する撮像部と、
- 前記第1の画像データ及び前記第2の画像データに基づいて、前記光出力部から出力された光の波長情報を導出する第1処理を実行する解析部と、を備える検査装置。
- [請求項2] 前記フォトニック集積回路は、複数の前記光出力部を有し、
- 前記光学フィルタは、前記複数の光出力部から出力された各光を、前記透過特性に基づいて透過又は反射する、請求項1記載の検査装置。
- [請求項3] 前記撮像部は、前記光学フィルタを透過又は反射した光を撮像すると共に、前記光出力部から出力された光であって前記光学フィルタを介さずに到達した光を撮像するイメージセンサを有する、請求項1記載の検査装置。
- [請求項4] 前記光出力部と前記撮像部との間の光路に、前記光学フィルタが設けられた状態と、前記光学フィルタが設けられていない状態とを切り替え可能に構成された切替部を更に備える、請求項1記載の検査装置。

- [請求項5] 前記撮像部は、前記光出力部から出力された光を第1の分岐光路及び第2の分岐光路に分岐する光分岐部と、前記第1の分岐光路に配置された第1のイメージセンサと、前記第2の分岐光路に配置された第2のイメージセンサと、を有し、
- 前記光学フィルタは、前記第1の分岐光路上の前記光分岐部と前記第1のイメージセンサとの間に配置され、
- 前記第1のイメージセンサは、前記光学フィルタを透過又は反射した光を撮像し前記第1の画像データを出力し、
- 前記第2のイメージセンサは、前記光出力部から出力された光であって前記光学フィルタを介さずに到達した光を撮像し前記第2の画像データを出力する、請求項1記載の検査装置。
- [請求項6] 前記制御部は、前記フォトニック集積回路の少なくとも一部の温度を制御する、請求項1記載の検査装置。
- [請求項7] 前記フォトニック集積回路は、少なくとも1つの光入力部を有し、
- 前記光出力部は、前記光入力部から入力され前記導波路によって導光された光を出力する、請求項1記載の検査装置。
- [請求項8] 前記フォトニック集積回路における、前記光入力部が形成された第1領域に光スキャンを行い、該光スキャンに係る光を検出する第1の光スキャナ部を更に備え、
- 前記解析部は、
- 前記第1処理を実施する際に光が入力される前記光入力部の位置を事前に特定する第2処理を更に実行し、
- 前記第2処理において、前記第1の光スキャナ部によって検出された光の強度に基づき、前記光入力部の位置を特定する、請求項7記載の検査装置。
- [請求項9] 前記フォトニック集積回路における、前記光出力部が形成された第2領域に光スキャンを行い、該光スキャンに係る光を検出する第2の光スキャナ部を更に備え、

前記解析部は、

前記第 1 処理を実施する際に光を出力する前記光出力部の位置を事前に特定する第 3 処理を更に実行し、

前記第 3 処理において、前記第 2 の光スキャナ部によって検出された光の強度に基づき、前記光出力部の位置を特定する、請求項 1 記載の検査装置。

[請求項10] 前記解析部は、前記第 1 処理において、前記第 1 の画像データから前記光学フィルタを透過した光の強度である透過強度を導出すると共に、前記第 2 の画像データから前記光出力部から出力された光の全強度を導出し、前記透過強度及び前記全強度に基づいて、前記光学フィルタによって反射された光の強度である反射強度を導出し、前記透過強度及び前記反射強度に基づいて、前記波長情報を導出する、請求項 1 記載の検査装置。

[請求項11] 前記解析部は、前記第 1 処理において、前記第 1 の画像データから前記光学フィルタによって反射された光の強度である反射強度を導出すると共に、前記第 2 の画像データから前記光出力部から出力された光の全強度を導出し、前記反射強度及び前記全強度に基づいて、前記光学フィルタを透過した光の強度である透過強度を導出し、前記透過強度及び前記反射強度に基づいて、前記波長情報を導出する、請求項 1 記載の検査装置。

[請求項12] 前記解析部は、前記透過強度及び前記反射強度の差分値を導出し、該差分値に基づいて前記波長情報を導出する、請求項 10 又は 11 記載の検査装置。

[請求項13] 前記波長情報は、前記光出力部から出力された光の重心波長を示す情報である、請求項 1 ～ 11 のいずれか一項記載の検査装置。

[請求項14] 前記解析部は、前記第 1 処理において導出された前記波長情報と、該波長情報が導出された際の前記制御部による前記フォトニック集積回路の温度制御に係る情報とを対応付けることにより、前記波長情報

と前記フォトニック集積回路の温度制御との関係を示すテーブルを作成する第4処理を更に実行する、請求項1～11のいずれか一項記載の検査装置。

- [請求項15] 少なくとも1つの光出力部及び導波路を有するフォトニック集積回路を検査する検査方法であって、
- 前記フォトニック集積回路の動作を制御することと、
- 所定の波長域において透過率が線形に変化する透過特性を有する光学フィルタによって、前記導波路によって導光されて前記少なくとも1つの光出力部から出力された光を、前記透過特性に基づいて透過又は反射することと、
- 前記光学フィルタを透過又は反射した光を撮像して第1の画像データを出力することと、
- 前記光出力部から出力された光であって前記光学フィルタを介さずに到達した光を撮像して第2の画像データを出力することと、
- 前記第1の画像データ及び前記第2の画像データに基づいて、前記光出力部から出力された光の波長情報を導出することと、を含む検査方法。