

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6602335号
(P6602335)

(45) 発行日 令和1年11月6日(2019.11.6)

(24) 登録日 令和1年10月18日(2019.10.18)

(51) Int.Cl.

G 0 1 J 5/10 (2006.01)

F I

G 0 1 J 5/10

B

請求項の数 11 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2017-80763 (P2017-80763)
 (22) 出願日 平成29年4月14日 (2017. 4. 14)
 (65) 公開番号 特開2018-179808 (P2018-179808A)
 (43) 公開日 平成30年11月15日 (2018. 11. 15)
 審査請求日 平成30年5月23日 (2018. 5. 23)

(73) 特許権者 000005049
 シャープ株式会社
 大阪府堺市堺区匠町 1 番地
 (74) 代理人 110001195
 特許業務法人深見特許事務所
 (72) 発明者 北澤 田鶴子
 大阪府堺市堺区匠町 1 番地 シャープ株式
 会社内
 審査官 越柴 洋哉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 赤外線検出システム、方法、およびプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

赤外線検出システムであって、

特定の波長範囲の赤外線を吸収して光電変換することによって赤外線を検出する赤外線検出器を備え、前記赤外線検出器は、赤外線の吸収スペクトルの吸収ピーク波長を掃引することが可能であり、

前記赤外線検出システムは、さらに、

大気窓の波長範囲に対する前記吸収ピーク波長の位置に応じて前記赤外線検出器の検出値を補正するための複数の補正係数を格納する記憶部と、

前記記憶部に格納された対応する補正係数によって前記吸収ピーク波長ごとの前記赤外線検出器の検出値を補正する補正演算部とを備え、

各前記補正係数は、前記吸収ピーク波長ごとに想定される前記赤外線検出器の吸収スペクトルを全波長範囲で積分した値と大気窓の波長範囲で積分した値との比によって得られる、赤外線検出システム。

【請求項 2】

赤外線検出システムであって、

特定の波長範囲の赤外線を吸収して光電変換することによって赤外線を検出する赤外線検出器を備え、前記赤外線検出器は、活性層に量子井戸または量子ドットを含む赤外線検出器であり、

前記赤外線検出システムは、さらに、

10

20

大気の窓の波長範囲に対する前記赤外線検出器の吸収ピーク波長の位置に応じて前記赤外線検出器の検出値を補正するための複数の補正係数を格納する記憶部と、

前記記憶部に格納された対応する補正係数によって前記吸収ピーク波長に応じた前記赤外線検出器の検出値を補正する補正演算部とを備え、

各前記補正係数は、前記吸収ピーク波長ごとに想定される前記赤外線検出器の吸収スペクトルを全波長範囲で積分した値と大気の窓の波長範囲で積分した値との比によって得られる、赤外線検出システム。

【請求項 3】

補正スペクトルデータに基づいて測定対象物の温度を判定する温度判定部をさらに備え、

前記補正スペクトルデータは、前記吸収ピーク波長を掃引しながら前記赤外線検出器で検出されたスペクトルデータを前記複数の補正係数で補正することによって得られる、請求項 1 または 2 に記載の赤外線検出システム。

【請求項 4】

前記温度判定部は、前記補正スペクトルデータのピーク波長から、ウィーンの変位則に従って前記測定対象物の温度を判定する、請求項 3 に記載の赤外線検出システム。

【請求項 5】

前記赤外線検出器の前記吸収ピーク波長の掃引を制御する測定制御部をさらに備え、

前記測定制御部は、前記補正スペクトルデータがピークを有することが判明した時点で、前記赤外線検出器の前記吸収ピーク波長の掃引を停止する、請求項 4 に記載の赤外線検出システム。

【請求項 6】

前記温度判定部は、前記補正スペクトルデータの複数の波長における強度比と、前記複数の波長と同一の波長におけるプランクの放射公式によるスペクトル強度の比とを比較することによって、前記測定対象物の温度を判定する、請求項 3 に記載の赤外線検出システム。

【請求項 7】

補正スペクトルデータに含まれる固有の吸収波長に基づいて大気に含まれるガスの種類を判定するガス種判定部をさらに備え、

前記補正スペクトルデータは、前記吸収ピーク波長を掃引しながら前記赤外線検出器で検出されたスペクトルデータを前記複数の補正係数で補正することによって得られる、請求項 1 または 2 に記載の赤外線検出システム。

【請求項 8】

前記赤外線検出器の受光面を覆う光学フィルタをさらに備え、

前記光学フィルタは、 $8\ \mu\text{m} \sim 14\ \mu\text{m}$ の長波長の赤外線領域を測定する場合は、 $3.4\ \mu\text{m} \sim 5.5\ \mu\text{m}$ の中波長の赤外線領域を遮断する、請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の赤外線検出システム。

【請求項 9】

前記赤外線検出器の受光面を覆う光学フィルタをさらに備え、

前記光学フィルタは、 $3.4\ \mu\text{m} \sim 5.5\ \mu\text{m}$ の中波長の赤外線領域を測定する場合は、 $8\ \mu\text{m} \sim 14\ \mu\text{m}$ の長波長の赤外線領域を遮断する、請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の赤外線検出システム。

【請求項 10】

プロセッサによって実行されたときに、以下の方法を前記プロセッサに実行させる命令を備えるコンピュータプログラムであって、

前記方法は、

特定の波長範囲の赤外線を吸収して光電変換するように構成され且つ前記赤外線の吸収スペクトルの吸収ピーク波長を掃引可能な赤外線検出器を用いて、前記吸収ピーク波長を掃引しながら検出された赤外線の検出値を前記赤外線検出器から受信することと、

前記吸収ピーク波長ごとに対応する補正係数によって前記赤外線検出器の検出値を補正

10

20

30

40

50

することとを含み、

前記補正係数は、大気の窓の波長範囲に対する前記吸収ピーク波長の位置に応じて異なり、各前記補正係数は、前記吸収ピーク波長ごとに想定される前記赤外線検出器の吸収スペクトルを全波長範囲で積分した値と大気の窓の波長範囲で積分した値との比によって得られる、プログラム。

【請求項 11】

特定の波長範囲の赤外線を吸収して光電変換するように構成され且つ前記赤外線の吸収スペクトルの吸収ピーク波長を掃引可能な赤外線検出器が、前記吸収ピーク波長を掃引しながら赤外線を検出することと、

処理回路が、前記吸収ピーク波長ごとに対応する補正係数によって前記赤外線検出器の検出値を補正することとを含み、

10

前記補正係数は、大気の窓の波長範囲に対する前記吸収ピーク波長の位置に応じて異なり、各前記補正係数は、前記吸収ピーク波長ごとに想定される前記赤外線検出器の吸収スペクトルを全波長範囲で積分した値と大気の窓の波長範囲で積分した値との比によって得られる、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、赤外線検出システムに関する。

【背景技術】

20

【0002】

赤外線検出器としてボロメータなど熱型のものが現在広く用いられている。熱型の赤外線検出器は、赤外線を吸収したときの温度変化を測定するものであるので、高速応答できず、測定する波長を選択することができない。

【0003】

これに対して、入射した光子によるキャリア生成を利用する光学型の赤外線検出器が知られている。たとえば、水銀、カドミウム、テルルを利用した赤外線検出器は、成分比を変えて最高感度を持つ波長を選択することによって、中波長の赤外線領域（MWIR：Mid-Wavelength Infrared Range）と長波長の赤外線領域（LWIR：Long-Wavelength Infrared Range）の両方に対応することができる。

30

【0004】

新しい方式として、量子井戸型赤外線検出器（QWIP：Quantum Well Infrared Photodetector）および量子ドット型赤外線検出器（QDIP：Quantum Dot Infrared Photodetector）が知られている（たとえば、非特許文献1および非特許文献2を参照）。これらの赤外線検出器は、光吸収層として量子井戸層または量子ドット層が積層された構造を有し、光吸収層に印加するバイアス電圧を変化させることによって最高感度を有する波長をシフトできるという特徴を有している。

【0005】

本開示に係る特許文献として、特開平10-096667号公報（特許文献1）がある。この文献は、赤外線検出器において、使用するレンズ、窓材、フィルタの光学系の構成毎に実測することなく、温度変換テーブルを作成することができる温度変換テーブルの自動作成方法を提供するものである。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開平10-096667号公報

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】Shih-Yen Lin et al., "Voltage-tunable two-color quantum-dot infrared photodetectors", Appl. Phys. Lett., Vol. 95(12), 123504-123504-3, 2009.

50

【非特許文献2】Joe C. Campbell et al., "Quantum-Dot Infrared Photodetectors By optimizing dot growth processes, materials have been produced that demonstrate potential, with further development, for high-performance infrared sensing", Proceedings of IEEE, Vol. 95(9), 2007, pp. 1815-1827.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本願の発明者らは、量子井戸型または量子ドット型の赤外線検出器において、バイアス電圧を掃引することによって測定対象物の放射スペクトルを検出し、検出した放射スペクトルに基づいて測定対象物の温度を推定するシステムについて検討している。本願の発明者らは、この検討過程において以下の問題点があることを見出した。

10

【0009】

量子ドットの吸収エネルギーの幅および量子ドットのサイズのバラツキなどのために、あるバイアス電圧に対する吸収エネルギーの半値全幅は、 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ になり得る。量子井戸型の場合にも同程度の半値全幅を有する場合がある。一方で、遠赤外線はほとんどの波長領域で大気中のガスおよび水蒸気によって吸収されてしまうために、大気の窓と呼ばれる中波長の赤外線領域($3.4 \mu\text{m} \sim 5.5 \mu\text{m}$)および長波長の赤外線領域($8 \mu\text{m} \sim 14 \mu\text{m}$)でのみ、遠方で放射された電磁波を検出することができる。なお、中波長の赤外線領域の大気の窓($3.4 \mu\text{m} \sim 5.5 \mu\text{m}$)は、 $3.4 \mu\text{m} \sim 4.2 \mu\text{m}$ と $4.4 \mu\text{m} \sim 5.5 \mu\text{m}$ に分かれているが、本明細書では $3.4 \mu\text{m} \sim 5.5 \mu\text{m}$ と記載する。 $4.2 \mu\text{m} \sim 4.4 \mu\text{m}$ の赤外線が遠方まで透過しない点については、 $5.5 \mu\text{m} \sim 8 \mu\text{m}$ と同様の扱いをすればよい。

20

【0010】

上記のように、量子井戸型または量子ドット型の赤外線検出器による電磁波の吸収エネルギーの半値全幅に対して、大気の窓の幅は2～3倍程度である。このため、上記の赤外線検出器のバイアス電圧を掃引することによって放射スペクトルを検出した場合には、大気の窓の境界付近と中央付近とで見かけ上、赤外線検出器のエネルギー吸収の割合が異なってしまう。この結果、ピーク位置が異なるなど、検出したスペクトル形状は本来のものと異なることになる。

【0011】

30

本開示は、上記の問題点を考慮したものであり、その目的の1つは、量子井戸型または量子ドット型など、赤外線の検出スペクトルにおける吸収ピーク波長を掃引しながら赤外線を検出することが可能な赤外線検出器を利用した赤外線検出システムにおいて、測定対象物から放射される赤外線のスペクトルを精度良く検出することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

一実施形態の赤外線検出システムは、赤外線検出器と、記憶部と、補正演算部とを備える。赤外線検出器は、特定の波長範囲の赤外線を吸収して光電変換することによって赤外線を検出する。赤外線検出器は、赤外線の吸収スペクトルの吸収ピーク波長を掃引することが可能である。記憶部は、大気の窓の波長範囲に対する吸収ピーク波長の位置に応じて赤外線検出器の検出値を補正するための複数の補正係数を格納する。補正演算部は、記憶部に格納された対応する補正係数によって吸収ピーク波長ごとの赤外線検出器の検出値を補正する。

40

【発明の効果】

【0013】

上記の実施形態によれば、測定対象物から放射される赤外線のスペクトルを精度良く検出することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】実施の形態1による赤外線検出システムの概略的な構成を示すブロック図である

50

。

【図 2】図 1 の赤外線検出器の構成の一例を模式的に示すブロック図である。

【図 3】赤外線検出器の吸収スペクトルの強度分布と大気の窓との関係を示す図である。

【図 4】36 における黒体放射スペクトルと赤外線検出器による検出スペクトルとの関係を示す図である。

【図 5】補正テーブルの一例を示す図である。

【図 6】36 における黒体放射スペクトルと補正後の検出スペクトルとの関係を示す図である。

【図 7】実施の形態 1 の赤外線検出システムにおける温度判定手順を示すフローチャートである。

10

【図 8】実施の形態 2 の赤外線検出システムにおける温度検出手順を示すフローチャートである。

【図 9】実施の形態 3 による赤外線検出システムの概略的な構成を示すブロック図である。

。

【図 10】実施の形態 4 の赤外線検出システムにおける温度判定手順を示すフローチャートである。

【図 11】実施の形態 5 の赤外線検出システムにおける温度検出手順を示すフローチャートである。

【図 12】実施の形態 6 による赤外線検出システムの概略的な構成を示すブロック図である。

20

【図 13】実施の形態 6 の赤外線検出システムにおけるリファレンスデータテーブルの一例を示す図である。

【図 14】放射率 0.95 で 36 を有する測定対象物の検出データと、図 13 に示すリファレンスデータとを示す図である。

【図 15】各波長ごとの図 14 の検出データとリファレンスデータとの比を示す図である。

。

【図 16】実施の形態 6 の赤外線検出システムにおける温度判定手順を示すフローチャートである。

【図 17】実施の形態 7 の赤外線検出システムにおける温度判定手順を示すフローチャートである。

30

【図 18】実施の形態 8 による赤外線検出システムの概略的な構成を示すブロック図である。

【図 19】実施の形態 8 の赤外線検出システムにおけるガス種判定手順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】

【0015】

以下、実施形態について図面を参照して詳しく説明する。なお、同一または相当する部分には同一の参照符号を付して、その説明を繰返さない。

【0016】

< 実施の形態 1 >

40

[赤外線検出システムの構成]

図 1 は、実施の形態 1 による赤外線検出システムの概略的な構成を示すブロック図である。図 1 を参照して、赤外線検出システム 100 は、赤外線検出器 110 と、記憶部 140 と、処理回路 130 とを備える。

【0017】

赤外線検出器 110 は、測定対象物 200 から受光面 111 に照射された赤外線 210 を吸収し、吸収した光子を電荷に変換する光電変換素子である。赤外線検出器 110 は、吸収スペクトルの吸収ピーク波長（すなわち、吸収スペクトルがピーク値となる波長）を掃引しながら赤外線を検出することが可能である。以下の説明では、吸収ピーク波長を掃引しながら赤外線検出器によって検出されたスペクトルを検出スペクトルと称する。

50

【 0 0 1 8 】

赤外線検出器 1 1 0 によって検出可能な波長領域は、中波長の赤外線領域 (M W I R)、すなわち、 $3.4 \mu\text{m} \sim 5.5 \mu\text{m}$ の波長領域赤外線と、長波長の赤外線領域 (L W I R)、すなわち、 $8 \mu\text{m} \sim 14 \mu\text{m}$ の波長領域の赤外線とを含む。これらの波長領域は大気の窓と呼ばれる。

【 0 0 1 9 】

具体的な赤外線検出器 1 1 0 の構成例については、図 2 を参照して後述する。なお、図 1 では、単一の赤外線検出器 1 1 0 を示しているが、単一素子に限らず複数の素子から構成されたイメージャも本実施の形態の赤外線検出システム 1 0 0 において用いることができる。

10

【 0 0 2 0 】

記憶部 1 4 0 は、大気の窓の波長範囲に対する赤外線検出器 1 1 0 の吸収ピーク波長の設定位置に応じて赤外線検出器 1 1 0 の検出値を補正するための複数の補正係数を、補正テーブル 1 4 1 として格納する。補正テーブル 1 4 1 の具体例については、図 3 および図 4 を参照して後述する。

【 0 0 2 1 】

処理回路 1 3 0 は、プロセッサおよびメモリを備えたマイクロコンピュータとして構成してもよいし、F P G A (Field Programmable Gate Array) として構成してもよい。あるいは、処理回路 1 3 0 を専用の集積回路として構成してもよい。処理回路 1 3 0 は、機能的に見ると、補正演算部 1 3 1 と、温度判定部 1 3 2 と、測定制御部 1 3 3 とを含む。

20

【 0 0 2 2 】

補正演算部 1 3 1 は、補正テーブル 1 4 1 に基づいて赤外線検出器 1 1 0 の検出値を補正する。より具体的には、補正演算部 1 3 1 は、赤外線検出器 1 1 0 の吸収ピーク波長ごとに、記憶部 1 4 0 に格納された対応する補正係数によって赤外線検出器 1 1 0 の検出値を補正する。

【 0 0 2 3 】

以下の説明では、吸収ピーク波長を掃引しながら赤外線検出器 1 1 0 によって検出された検出スペクトルデータを複数の補正係数によって補正した後のデータを、補正スペクトルデータと称する。温度判定部 1 3 2 は、この補正スペクトルの形状、たとえば、ピーク波長に基づいて測定対象物 2 0 0 の温度を判定する。

30

【 0 0 2 4 】

測定制御部 1 3 3 は、赤外線検出器 1 1 0 の動作を制御する。たとえば、測定制御部 1 3 3 は、赤外線検出素子 1 2 0 に印加されるバイアス電圧を掃引することによって、赤外線検出器 1 1 0 の吸収スペクトルの吸収ピーク波長を掃引する。

【 0 0 2 5 】

[赤外線検出器の構成例]

図 2 は、図 1 の赤外線検出器の構成の一例を模式的に示すブロック図である。図 2 に示す赤外線検出器 1 1 0 の構成は一例であって、本実施の形態の赤外線検出システム 1 0 0 に適用可能な赤外線検出器 1 1 0 の構成は図 2 の構成に限定されるものではない。

【 0 0 2 6 】

40

図 2 を参照して、赤外線検出器 1 1 0 は、赤外線検出素子 1 2 0 と、バイアス電圧源 1 2 5 と、電流検出部 1 2 4 とを含む。バイアス電圧源 1 2 5 と電流検出部 1 2 4 とは、1 つの回路にまとまってもよい。

【 0 0 2 7 】

赤外線検出素子 1 2 0 は、光吸収層 1 2 2 と、その両側に配置されたコンタクト層 1 2 1 , 1 2 3 とを備える。コンタクト層 1 2 1 , 1 2 3 に接触した電極層があってもよく、この場合、電極層を介してバイアス電圧源 1 2 5 および電流検出部 1 2 4 がコンタクト層 1 2 1 , 1 2 3 に接続される。光吸収層 1 2 2 は、量子井戸層と障壁層とが繰り返し積層された構造 (積層量子井戸層) または量子ドット層と障壁層とが繰り返し積層された構造 (積層量子ドット層) を有する。

50

【 0 0 2 8 】

コンタクト層 1 2 1 , 1 2 3 を介してバイアス電圧源 1 2 5 からバイアス電圧が印加される。積層量子井戸層および積層量子ドット層は、量子閉じ込めシュタルク効果によってバイアス電圧に応じて赤外線吸収ピーク波長が変化する。したがって、測定制御部 1 3 3 は、バイアス電圧源 1 2 5 によってバイアス電圧を変化させることによって、吸収スペクトルのピーク波長を掃引することができる。なお、バイアス電圧の値と吸収ピーク波長との関係は、実験またはシミュレーションなどによって予め取得しておく。赤外線検出素子 1 2 0 は、バイアス電圧を変化させることで吸収ピークが変化すれば、どのような構成でもよいが、量子井戸または量子ドットを用いると、材料および/または形状によりバイアス電圧値に対する吸収波長シフト量が設計しやすい。

10

【 0 0 2 9 】

電流検出部 1 2 4 は、赤外線検出素子 1 2 0 を流れる電流を検出する。赤外線 2 1 0 が照射されているときの電流と赤外線 2 1 0 が照射されていないときの暗電流と差が、赤外線 2 1 0 の強度に比例した光電流に相当する。したがって、光電流の大きさに基づいて、測定対象物 2 0 0 から照射される赤外線 2 1 0 の強度を算出することができる。

【 0 0 3 0 】

[赤外線検出器による検出値の補正方法]

図 3 は、赤外線検出器の吸収スペクトルの強度分布と大気の窓との関係を示す図である。

【 0 0 3 1 】

図 3 を参照して、遠赤外線はほとんどの波長領域で大気中のガスおよび水蒸気によって吸収されてしまうために、大気の窓（図 3 の大気の窓 A、大気の窓 B）と呼ばれる中波長の赤外線領域（ $3.4 \mu\text{m} \sim 5.5 \mu\text{m}$ ）および長波長の赤外線領域（ $8 \mu\text{m} \sim 14 \mu\text{m}$ ）でのみ、遠方で放射された電磁波を検出することができる。

20

【 0 0 3 2 】

一方で、図 2 で説明した量子ドット型の赤外線検出器の場合には、量子ドットの吸収エネルギーの幅および量子ドットのサイズのバラツキなどのために、あるバイアス電圧に対する吸収スペクトルの半値全幅は、 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 以上になり得る。量子井戸型赤外線検出器の場合にも同程度の半値全幅を有する場合がある。

【 0 0 3 3 】

図 3 では、赤外線検出器 1 1 0 の吸収スペクトルをピーク波長 $8 \mu\text{m}$ 、 $10 \mu\text{m}$ 、 $14 \mu\text{m}$ の各場合において図示している。ただし、各吸収スペクトルの形状をガウス分布とし、各吸収スペクトルの半値全幅（FWHM: Full Width at Half Maximum）を $3 \mu\text{m}$ としている。なお、図 3 では、簡単のために各吸収スペクトルのピーク値は同一としているが、吸収スペクトルのピーク値は吸収ピーク波長に応じて異なっているもよい。

30

【 0 0 3 4 】

図 3 に示すように、赤外線検出器による電磁波の吸収エネルギーの半値全幅に対して、大気の窓の幅は $2 \sim 3$ 倍程度である。このため、吸収ピークが $8 \mu\text{m}$ および $14 \mu\text{m}$ の場合では吸収スペクトルの半分程度が大気の窓以外となってしまう。その間の吸収ピーク波長の場合でも吸収スペクトルには大気の窓以外の範囲となる部分がある。この結果、大気の窓の境界近傍に吸収ピーク波長がある場合には、大気の窓の中間付近に吸収ピーク波長がある場合に比べて、測定対象物から放射される電磁波のエネルギーが同じであっても、赤外線検出器 1 1 0 による検出値が小さい値となってしまう。この傾向は、赤外線検出器 1 1 0 の吸収スペクトルの半値全幅が広いほど顕著になる。

40

【 0 0 3 5 】

図 4 は、3 6 における黒体放射スペクトルと赤外線検出器による検出スペクトルとの関係を示す図である。図 4 において、実線のグラフは、3 6 における黒体放射スペクトルを示す。破線のグラフは、赤外線検出器 1 1 0 の吸収スペクトルの半値全幅を $2 \mu\text{m}$ としたときの検出スペクトルである。一点鎖線のグラフは、赤外線検出器 1 1 0 の吸収スペクトルの半値全幅を $3 \mu\text{m}$ としたときの検出スペクトルである。

50

【 0 0 3 6 】

図 3 で説明した大気の影響によって、36 における黒体放射スペクトルに比べて赤外線検出器 110 による検出スペクトルの形状（たとえば、ピーク波長および曲率など）が異なることがわかる。具体的に、36 の黒体放射スペクトルは $9.4 \mu\text{m}$ 程度にピークを持つが、赤外線検出器 110 の吸収スペクトルの半値全幅が $2 \mu\text{m}$ の場合には $10 \mu\text{m}$ 近辺に検出スペクトルのピークが現れる。また、赤外線検出器 110 の吸収スペクトルの半値全幅が $3 \mu\text{m}$ の場合には $11 \mu\text{m}$ 近辺に検出スペクトルのピークが現れる。なお、測定対象が完全な黒体でないこと及び表面状態などによっても放射率は下がるが、検出スペクトルの形状は変化しない。

【 0 0 3 7 】

このような測定誤差をなくすべく、吸収ピーク波長ごとに定められた補正係数が補正テーブル 141 として記憶部 140 に格納される。補正係数は、大気の影響の波長範囲に対する吸収ピーク波長の位置に応じて変化する。より具体的に、補正係数は、赤外線検出器 110 の吸収ピーク波長ごとに、 $8 \sim 14 \mu\text{m}$ の長波長域の大気の影響で吸収できる割合（すなわち、各吸収ピーク波長ごとの有効吸収率）の逆数とすることができる。図 1 の補正演算部 131 は、補正テーブル 141 に格納された対応する補正係数を乗算することによって、赤外線検出器 110 の検出値を補正する。

【 0 0 3 8 】

図 5 は、補正テーブルの一例を示す図である。図 5 では、各吸収スペクトルごとに全波長範囲での吸収スペクトルの積分値と、 $8 \sim 14 \mu\text{m}$ の波長範囲での吸収スペクトルの積分値で規格化した値を補正係数としている。各吸収スペクトルの形状として、図 3 に示すようにガウス分布で近似した値を用いてもよいし、実際の測定値またはシミュレーション値を用いてもよい。実際の吸収スペクトルの形状は、左右対称でない場合があるし、ピーク波長に応じてピーク値が異なる場合もある（算出された補正係数にはこれらの影響も含まれる）。また、図 5 では、吸収ピーク波長を $1 \mu\text{m}$ ごとに示しているが、実際にはより細かい波長刻み幅ごとに補正係数が計算される。

【 0 0 3 9 】

なお、図 5 では、補正テーブルが各吸収スペクトルのピーク波長ごとの補正係数としているが、バイアス電圧ごとの補正係数としてもよい。この場合、バイアス電圧を吸収スペクトルのピーク波長に換算するための換算テーブルは、記憶部 140 が別途保持し、補正演算部 131 が換算してもよい。もしくは、補正テーブルが各吸収スペクトルのピーク波長、対応するバイアス電圧、これらごとの補正係数からなってもよい。

【 0 0 4 0 】

図 6 は、36 における黒体放射スペクトルと補正後の検出スペクトルとの関係を示す図である。図 6 において、実線のグラフは、36 における黒体放射スペクトルを示す。破線のグラフは、図 4 において破線で示す半値全幅 $2 \mu\text{m}$ の場合の赤外線検出器 110 による検出スペクトルに、図 5 の半値全幅 $2 \mu\text{m}$ の場合の補正係数を乗算することによって得られた補正スペクトルを示す。一点鎖線のグラフは、図 4 において一点鎖線で示す半値全幅 $3 \mu\text{m}$ の場合の赤外線検出器 110 による検出スペクトルに、図 5 の半値全幅 $3 \mu\text{m}$ の場合の補正係数を乗算することによって得られた補正スペクトルを示す。

【 0 0 4 1 】

図 4 の検出スペクトルと図 6 の補正スペクトルとを比較すると、図 6 の補正スペクトルの形状のほうが、元の 36 の黒体放射のスペクトルの形状に近くなっていることがわかる。たとえば、36 の黒体放射スペクトルは $9.4 \mu\text{m}$ 程度にピークを持つのに対して、吸収スペクトルの半値全幅が $2 \mu\text{m}$ の場合には $9.4 \mu\text{m}$ 近辺に補正スペクトルのピークが現れる。また、吸収スペクトルの半値全幅が $3 \mu\text{m}$ の場合には $10 \mu\text{m}$ 近辺に補正スペクトルのピークが現れる。いずれも、図 4 の検出スペクトルの場合に比べて元の 36 の黒体放射のスペクトルのピーク波長に近い値となっている。ただし、大気の影響の両端（すなわち、 $8 \mu\text{m}$ および $14 \mu\text{m}$ ）に近づくにつれて、元の 36 の黒体放射のスペクトルと補正スペクトルとの誤差は大きくなる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 2 】

〔 測定対象の温度の判定 〕

測定対象の温度を判定するために、図 1 の温度判定部 1 3 2 は、まず、補正スペクトルのピーク波長を求める。次に、温度判定部 1 3 2 は、黒体放射のピーク波長と温度との関係を示すウィーンの変位則（ウィーンの公式）を用いて温度を計算する。ウィーンの変位則によれば、ピーク波長 $\lambda_{\max}$ [μm] は、温度 T [K] を用いて、

$$\lambda_{\max} = 2.898 \times 10^3 / T \quad \dots (1)$$

で表される。したがって、温度判定部 1 3 2 は、上式 (1) を変形した

$$T = 2.898 \times 10^3 / \lambda_{\max} \quad \dots (2)$$

に従って温度 T を計算してもよいし、上式 (2) に基づいて温度 T とピーク波長 $\lambda_{\max}$ [μm] との関係をデータベース化したテーブルに基づいて温度 T を決定してもよい。

10

【 0 0 4 3 】

たとえば、図 6 に示す半値全幅 2 μm の補正スペクトルデータを用いると、ピーク波長 $\lambda_{\max} = 9.4 \mu\text{m}$ より、温度 T は 36 となり、ほぼ正確に計算される。一方、半値全幅 3 μm の場合には、ピーク波長 $\lambda_{\max}$ が異なるため、正確な温度が検出できない。したがって、本実施の形態の赤外線検出システム 1 0 0 では、半値全幅が比較的狭いか、測定対象の温度がある程度低いために放射ピーク波長が大気の窓の両端である 8 μm および 14 μm から離れている場合により正確に測定対象物の温度を検出することができる。

【 0 0 4 4 】

〔 温度判定手順 〕

20

図 7 は、実施の形態 1 の赤外線検出システムにおける温度判定手順を示すフローチャートである。以下、図 1、図 2 および図 7 を参照して、これまでの説明を総括しながら、赤外線検出システムにおける温度判定手順について説明する。

【 0 0 4 5 】

まず、ステップ S 1 0 0 において、測定制御部 1 3 3 は、赤外線検出器 1 1 0 の赤外線検出素子 1 2 0 に印加するバイアス電圧を初期値に設定する。バイアス電圧の値は、赤外線検出器 1 1 0 の吸収スペクトルのピーク波長に対応している。

【 0 0 4 6 】

次のステップ S 1 1 0 において、赤外線検出器 1 1 0 は、設定されたバイアス電圧において測定対象物 2 0 0 から入射した赤外線 2 1 0 が光電変換されることによって生成された光電流を検出する。バイアス電圧は、測定制御部 1 3 3 が各吸収スペクトルのピーク波長に対応するよう設定する。

30

【 0 0 4 7 】

次のステップ S 1 2 0 において、補正演算部 1 3 1 は、バイアス電圧を吸収ピーク波長に換算し、記憶部 1 4 0 に格納された補正テーブル 1 4 1 のうちで換算した吸収ピーク波長に対応する補正係数を読み出す。そして、補正演算部 1 3 1 は、読み出した補正係数を乗算することによって、ステップ S 1 2 0 で検出した値を補正する。

【 0 0 4 8 】

次のステップ S 1 4 0 において、測定制御部 1 3 3 は、赤外線検出器 1 1 0 の赤外線検出素子 1 2 0 に印加するバイアス電圧を変更する。これによって、赤外線検出器 1 1 0 の吸収スペクトルのピーク波長が変更される。この後、上記のステップ S 1 1 0 およびステップ S 1 2 0 が繰り返される。

40

【 0 0 4 9 】

掃引すべき吸収ピーク波長の範囲での赤外線の検出が完了したら、測定制御部 1 3 3 は測定を終了する（ステップ S 1 3 0 で Y E S ）。

【 0 0 5 0 】

以上により、赤外線検出器 1 1 0 による検出スペクトルデータが補正テーブル 1 4 1 に従って補正されたデータである、補正スペクトルデータが生成される。この後、ステップ S 1 5 0 において、温度判定部 1 3 2 は、補正スペクトルのピーク波長から、ウィーンの変位則に従って温度を算出する。以上によって温度判定手順が終了する。

50

【 0 0 5 1 】

〔 効果 〕

以上のとおり、本実施の形態の赤外線検出システム 1 0 0 によれば、赤外線検出器 1 1 0 の検出値は、赤外線検出器 1 1 0 の吸収スペクトルの吸収ピーク波長に応じた補正係数によって補正される。これによって、大気の窓の境界付近の波長領域で赤外線検出器 1 1 0 の吸収スペクトルの形状が見かけ上変化したとしても、測定対象物の放射スペクトルおよびその温度を正確に検出することができる。

【 0 0 5 2 】

また、上記の補正係数は、赤外線検出器 1 1 0 の吸収スペクトルがわかれば算出できるものである。したがって、本実施の形態の赤外線検出システム 1 0 0 によれば、既知温度のリファレンスサンプルを多数準備する手法に比べて、簡便に測定対象物の温度を検出することができる。

10

【 0 0 5 3 】

< 実施の形態 2 >

実施の形態 2 では、測定制御部 1 3 3 がバイアス電圧の掃引を終了するタイミングが実施の形態 1 の場合と異なる。具体的には、補正スペクトルのピーク波長が判明した時点でバイアス電圧の掃引を停止する。これによって、測定対象物の温度測定時間を短縮することができ、さらに赤外線検出システム 1 0 0 の消費電力を抑制することができる。以下、図面を参照して説明する。

【 0 0 5 4 】

20

図 8 は、実施の形態 2 の赤外線検出システムにおける温度検出手順を示すフローチャートである。図 8 のフローチャートは、図 7 のフローチャートに対応するものであり、ステップ S 1 3 0 に代えてステップ S 1 3 5 が実行される点で図 7 のフローチャートと異なる。

【 0 0 5 5 】

具体的に、ステップ S 1 3 5 において、測定制御部 1 3 3 は、これまで掃引したバイアス電圧範囲において、補正テーブル 1 4 1 によって補正された赤外線検出器 1 1 0 の検出値がピーク値（極大値）を示したか否か、すなわち、補正スペクトルにピーク値が含まれているか否かを判定する。補正スペクトルのピークを検出した場合には（ステップ S 1 3 5 で Y E S）、その時点でバイアス電圧の掃引を終了し、次のステップ S 1 5 0 において温度判定部 1 3 2 は、測定対象物 2 0 0 の温度を判定する。

30

【 0 0 5 6 】

一方、補正スペクトルのピーク値を検出していない場合には（ステップ S 1 3 5 で N O）、次にステップ S 1 4 0 において測定制御部 1 3 3 は、赤外線検出器 1 1 0 の赤外線検出素子 1 2 0 に印加するバイアス電圧を変更する。これによって、赤外線検出器 1 1 0 の吸収スペクトルのピーク波長が変更される。この後、上記のステップ S 1 1 0 およびステップ S 1 2 0 が繰り返される。

【 0 0 5 7 】

図 8 のその他の点は図 7 のフローチャートと同じであるので、対応するステップには同一の参照符号を付して説明を繰り返さない。また、実施の形態 2 の赤外線検出システムの構成は、実施の形態 1 の図 1 で説明したものと同じであるので、説明を繰り返さない。

40

【 0 0 5 8 】

< 実施の形態 3 >

図 9 は、実施の形態 3 による赤外線検出システムの概略的な構成を示すブロック図である。図 9 の赤外線検出システム 1 0 1 は、赤外線検出システム 1 0 0 の受光面 1 1 1 を覆う光学フィルタ 1 5 0 をさらに備える点で図 1 の赤外線検出システム 1 0 0 と異なる。光学フィルタ 1 5 0 は、 $8\ \mu\text{m} \sim 14\ \mu\text{m}$ の長波長の赤外線領域を測定する場合は、 $3.4\ \mu\text{m} \sim 5.5\ \mu\text{m}$ の中波長の赤外線領域を遮断するように構成される。

【 0 0 5 9 】

図 3 において破線で示すピーク波長が $8\ \mu\text{m}$ の場合の吸収スペクトルの一部は、 3.4

50

$\mu\text{m} \sim 5.5 \mu\text{m}$ の大気の窓Aの領域にまで及んでいる。このため、 $8 \sim 14 \mu\text{m}$ の波長範囲で吸収スペクトルを積分することによって補正係数を計算した場合には誤差が生じることになる。そこで、ほとんど影響を及ぼさない波長領域を光学フィルタで遮断することによって誤差を低減することができる。

【0060】

なお、光学フィルタ150は、 $3.4 \mu\text{m} \sim 5.5 \mu\text{m}$ の中波長の赤外線領域のみを測定し、 $8 \mu\text{m} \sim 14 \mu\text{m}$ の長波長の赤外線領域を遮断するフィルタを備えていてもよい。もしくは、 $3.4 \mu\text{m} \sim 5.5 \mu\text{m}$ の中波長の赤外線領域を遮断するフィルタと、 $8 \mu\text{m} \sim 14 \mu\text{m}$ の長波長の赤外線領域を遮断するフィルタとを少なくとも含む複数の遮断波長領域のフィルタが組み合わせられることによって構成されていてもよい。

10

【0061】

<実施の形態4>

実施の形態4の赤外線検出システムは、温度判定部132における温度の算出方法が実施の形態1の赤外線検出システムの場合と異なる。赤外線検出システム100のその他の構成は実施の形態1の図1の場合と同じであるので詳しい説明を繰り返さない。

【0062】

図10は、実施の形態4の赤外線検出システムにおける温度判定手順を示すフローチャートである。図10のステップS100～S140は実施の形態1の図7と同じであるので、説明を繰り返さない。これらの各ステップが実行されることによって、赤外線検出器110は検出スペクトルを生成し、補正演算部131は、検出スペクトルを補正テーブル141に従って補正することによって補正スペクトルを生成する。

20

【0063】

次のステップS150において、温度判定部132は、以下の式(3)に示すプランクの黒体放射の公式に基づいて測定対象物200の温度を算出する。下式(3)において波長 λ における放射強度を $B(\lambda)$ とし、プランク定数を h とし、光速を c とし、ボルツマン定数を k_B とし、温度を T [K]とする。

【0064】

【数1】

$$B(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left[\frac{hc}{\lambda k_B T}\right] - 1} \quad \dots (3)$$

30

【0065】

具体的に、温度判定部132は、波長 λ_1 、 λ_2 での補正スペクトルの強度比を算出し、同じ波長 λ_1 、 λ_2 でのプランクの黒体放射の公式でのスペクトル強度比と比較することによって、両者の比が一致するように温度 T を決定する。温度判定部132は、異なる波長での補正スペクトルの強度比を複数算出し、対応する波長でのプランクの黒体放射の公式でのスペクトル強度比と比較することによって、例えば最小二乗法によって温度 T を決定するようにしてもよい。これによって、2個の波長の比のみを用いる場合よりも温度 T の推定精度を向上させることができる。

40

【0066】

以上のとおり、実施の形態4の赤外線検出システムによれば、補正スペクトルにピーク値が存在しない場合であっても測定対象物200の温度を算出することができる。また、実施の形態4の赤外線検出システムは、実施の形態2、3の赤外線検出システムと組み合わせることができる。

【0067】

<実施の形態5>

実施の形態5の赤外線検出システムは、実施の形態1の赤外線検出システムと実施の形態4の赤外線検出システムとを組み合わせたものであり、温度判定部132における温度

50

の算出方法に特徴がある。図 1 の赤外線検出システム 100 におけるその他の構成は、実施の形態 1 および実施の形態 4 の場合と同じであるので説明を繰り返さない。

【0068】

図 11 は、実施の形態 5 の赤外線検出システムにおける温度検出手順を示すフローチャートである。図 11 のステップ S100 ~ S140 は、実施の形態 1 の図 7 および実施の形態 4 の図 10 の場合と同じであるので、説明を繰り返さない。これらの各ステップが実行されることによって、赤外線検出器 110 は検出スペクトルを生成し、補正演算部 131 は、検出スペクトルを補正テーブル 141 に従って補正することによって補正スペクトルを生成する。

【0069】

次のステップ S145 において、温度判定部 132 は、補正スペクトルにピーク値が存在するか否かを判定する。補正スペクトルにピーク値が存在する場合には（ステップ S145 で YES）、ステップ S150 において温度判定部 132 は、補正スペクトルのピーク波長から、ウィーンの変位則に従って温度を算出する。一方、補正スペクトルにピーク値が存在しない場合には（ステップ S145 で NO）、ステップ S160 において温度判定部 132 は、波長 λ_1 、 λ_2 での補正スペクトルの強度比を算出し、同じ波長 λ_1 、 λ_2 でのプランクの黒体放射の公式でのスペクトル強度比と比較することによって、両者の比が一致するように温度 T を決定する。温度判定部 132 は、異なる波長での補正スペクトルの強度比を複数算出し、対応する波長でのプランクの黒体放射の公式でのスペクトル強度比と比較することによって、例えば最小二乗法によって温度 T を決定するようにしてもよい。

【0070】

以上のとおり、実施の形態 5 の赤外線検出システムによれば、補正スペクトルにピーク値が存在するか否かにかかわらず測定対象物 200 の温度を算出することができる。また、実施の形態 5 の赤外線検出システムは、実施の形態 2、3 の赤外線検出システムと組み合わせることができる。

【0071】

< 実施の形態 6 >

実施の形態 6 では、複数の既知温度をそれぞれ有する複数のリファレンスサンプルに対して、バイアス電圧を掃引しながら赤外線検出器 110 によって検出された複数のリファレンスデータ 142 に基づいて測定対象物 200 の温度を検出する赤外線検出システムについて説明する。

【0072】

[赤外線検出システムの構成]

図 12 は、実施の形態 6 による赤外線検出システムの概略的な構成を示すブロック図である。図 12 の赤外線検出システム 102 は、図 1 の赤外線検出システム 100 を変形したものである。

【0073】

具体的に、赤外線検出システム 102 は、赤外線検出器 110 と、記憶部 140 と、処理回路 130 A とを備える。赤外線検出器 110 の機能および具体的構成例は実施の形態 1 の図 1 および図 2 で説明したとおりであるので、説明を繰り返さない。

【0074】

記憶部 140 は、リファレンスデータテーブル 142 を格納する。リファレンスデータテーブル 142 は、複数の既知温度をそれぞれ有する複数のリファレンスサンプルに対して、バイアス電圧を掃引しながら赤外線検出器 110 によって検出された複数のリファレンスデータ（参照データとも称する）を含む。リファレンスデータは、複数の既知温度ごとに予め得られた検出スペクトルデータである。

【0075】

リファレンスサンプルは、理想的な黒体であってもよいし、放射率がわかっている灰体であってもよい。もしくは、放射率の波長依存性がなければ、放射率が未知の灰体であっ

10

20

30

40

50

てもよい。

【 0 0 7 6 】

処理回路 1 3 0 A は、プロセッサおよびメモリを備えたマイクロコンピュータとして構成してもよいし、FPGAとして構成してもよい。もしくは、処理回路 1 3 0 A は、専用の集積回路として構成してもよい。処理回路 1 3 0 A は、機能的に見ると、温度判定部 1 3 2 と、測定制御部 1 3 3 とを含む。

【 0 0 7 7 】

温度判定部 1 3 2 は、測定対象物 2 0 0 に対して赤外線検出器 1 1 0 のバイアス電圧を掃引しながら得られた検出データ（検出スペクトルに相当する）と、既知温度ごとのリファレンスデータとを比較することによって、測定対象物 2 0 0 の温度を判定する。具体的に、温度判定部 1 3 2 は、検出データと各既知温度に対応するリファレンスデータとの比を波長ごとに算出し、算出した比の波長依存性が最も小さい場合の既知温度に基づいて測定対象物 2 0 0 の温度を判定する。以下、温度判定部 1 3 2 による測定対象物の温度の判定方法について具体的に説明する。

10

【 0 0 7 8 】

〔測定対象物の温度の判定方法〕

図 1 3 は、実施の形態 6 の赤外線検出システムにおけるリファレンスデータテーブルの一例を示す図である。図 1 3 では、リファレンスサンプルの温度が 3 0 、 3 5 、 4 0 でのリファレンスデータが波長に対応付けて示されている。リファレンスデータの各値は、検出された光電流をスペクトル強度に換算したものである。

20

【 0 0 7 9 】

図 1 3 では、リファレンスサンプルの温度が 5 刻みで設定されているが、リファレンスサンプルの温度をより細かい刻み幅で設定するほど、測定対象物 2 0 0 の温度を精度良く算出できる。

【 0 0 8 0 】

また、図 1 3 では、波長の刻み幅が 1 μm に設定されているが、波長の刻み幅をより細かく設定することによって、誤差の影響を受け難くすることができ、結果として温度の検出精度を向上させることができる。一方、波長の個数を数点のみに限定すれば、赤外線検出器 1 1 0 による検出時間および温度の算出時間を短縮することができる。

【 0 0 8 1 】

30

図 1 4 は、放射率 0 . 9 5 で 3 6 を有する測定対象物の検出データと、図 1 3 に示すリファレンスデータとを示す図である。図 1 4 の実線のグラフは測定対象物の検出データを示す。3 0 のリファレンスサンプルについて得られたリファレンスデータをひし形のプロットで示し、3 5 のリファレンスサンプルについて得られたリファレンスデータを正方形のプロットで示し、4 0 のリファレンスサンプルについて得られたリファレンスデータを三角形のプロットで示す。

【 0 0 8 2 】

図 1 4 では、検出データは 3 0 のリファレンスデータと 3 5 のリファレンスデータとの間に位置しているため、一見すると測定対象物のは 3 0 と 3 5 の間にあるように判断されるかもしれない。しかしながら、上記の結果は、測定対象物の放射率が 1 でないために生じたものであり、正しくは以下のように判断すべきである。

40

【 0 0 8 3 】

図 1 5 は、各波長ごとの図 1 4 の検出データとリファレンスデータとの比を示す図である。図 1 5 において、検出データと 3 0 のリファレンスデータとの比をひし形のプロットで示し、検出データと 3 5 のリファレンスデータとの比を正方形のプロットで示し、検出データと 4 0 のリファレンスデータとの比を三角形のプロットで示す。

【 0 0 8 4 】

図 1 5 から、検出データと 3 5 のリファレンスデータとの比が、最も波長依存性がないとがわかる。このことは、検出データが表すスペクトル曲線の曲率が 3 5 のリファレンスデータが表すスペクトル曲線の曲率に最も近いことを意味している。したがって、測

50

定対象物の温度は35 付近であると結論付けられる。

【0085】

[温度判定手順]

図16は、実施の形態6の赤外線検出システムにおける温度判定手順を示すフローチャートである。以下、図1、図12および図16を参照して、これまでの説明を総括しながら、赤外線検出システムにおける温度判定手順について説明する。

【0086】

まず、ステップS10において、赤外線検出システム102は、複数の互いに異なる既知温度をそれぞれ有する複数のリファレンスサンプルの各々に対して、バイアス電圧を掃引しながら放射強度を検出することによって各リファレンスサンプルの放射スペクトルをリファレンスデータとして検出する。

10

【0087】

次に、赤外線検出システム102は、測定対象物に対して、バイアス電圧を掃引しながら放射強度を検出することによって測定対象物の放射スペクトルを検出データとして検出する。より詳細には、以下の手順による。

【0088】

まず、ステップS100において、測定制御部133は、赤外線検出器110の赤外線検出素子120に印加するバイアス電圧を初期値に設定する。バイアス電圧の値は、赤外線検出器110の吸収スペクトルのピーク波長に対応している。

【0089】

20

次のステップS110において、赤外線検出器110は、設定されたバイアス電圧において測定対象物200から入射した赤外線210が光電変換されることによって生成された光電流を検出する。

【0090】

次のステップS140において、測定制御部133は、赤外線検出器110の赤外線検出素子120に印加するバイアス電圧を変更する。これによって、赤外線検出器110の吸収スペクトルのピーク波長が変更される。この後、上記のステップS110が繰り返される。

【0091】

掃引すべき吸収ピーク波長の範囲での赤外線の検出が完了したら、測定制御部133は測定を終了する(ステップS130でYES)。以上により、測定対象物の検出データの取得が完了する。

30

【0092】

この後、ステップS150において、温度判定部132は、各既知温度に対応するリファレンスデータで検出データを除算することによって、波長ごとに両者の比を算出する。次のステップS180において、温度判定部132は、算出した比の値の波長依存性が最も小さい場合のリファレンスデータに対応する温度を、測定対象物の温度に決定する。具体的には、最大波長における検出データとリファレンスデータの比と、最小波長の比の差が最も小さいものを、波長依存性が最も小さいとしてもよい。

【0093】

40

[効果]

以上のとおり、本実施の形態の赤外線検出システム102によれば、予め取得した複数の既知温度をそれぞれ有する複数のリファレンスデータのスペクトルと、測定対象物のスペクトルとを比較することによって測定対象物の温度が判定される。これによって、大気窓の境界付近の波長領域で赤外線検出器110の吸収スペクトルの形状が見かけ上変化したとしても、測定対象物の温度を正確に決定することができる。

【0094】

< 実施の形態7 >

実施の形態7の赤外線検出システムは、温度判定部132における温度の算出方法が実施の形態6の赤外線検出システムの場合と異なる。赤外線検出システムのその他の構成は

50

実施の形態 6 の図 1 2 の場合と同じであるので詳しい説明を繰り返さない。

【 0 0 9 5 】

図 1 7 は、実施の形態 7 の赤外線検出システムにおける温度判定手順を示すフローチャートである。

【 0 0 9 6 】

図 1 2 および図 1 7 を参照して、まず、ステップ S 1 0 において、赤外線検出システム 1 0 2 は、複数の互いに異なる既知温度をそれぞれ有する複数のリファレンスサンプルの各々に対して、バイアス電圧を掃引しながら放射強度を検出することによって各リファレンスサンプルの放射スペクトルをリファレンスデータとして検出する。

【 0 0 9 7 】

次のステップ S 2 0 において、温度判定部 1 3 2 は、各リファレンスデータのピーク波長を求める。求めたピーク波長は、リファレンスデータテーブル 1 4 2 に格納される。

【 0 0 9 8 】

次のステップ S 1 0 0 ~ S 1 4 0 において、赤外線検出システム 1 0 2 は、測定対象物に対して、バイアス電圧を掃引しながら放射強度を検出することによって測定対象物の放射スペクトルを検出データとして検出する。詳細な手順は図 1 2 の場合と同じであるので説明を繰り返さない。

【 0 0 9 9 】

次のステップ S 1 9 0 において、温度判定部 1 3 2 は、測定対象物 2 0 0 の放射スペクトルの検出データのピーク波長を求める。次のステップ S 2 0 0 において、温度判定部 1 3 2 は、検出データのピーク波長と各リファレンスデータのピーク波長とを比較することによって、ピーク波長が一致するリファレンスデータに対応する温度を測定対象物の温度に決定する。

【 0 1 0 0 】

実施の形態 7 は、実施の形態 6 と組み合わせることができる。すなわち、温度判定部 1 3 2 は、検出データにピーク値が存在する場合には、検出データのピーク波長と各リファレンスデータのピーク波長とを比較することによって測定対象物の温度を判定する。一方、温度判定部 1 3 2 は、検出データにピーク値が存在しない場合には、波長ごとに検出データと各リファレンスデータとの比を算出し、算出した比の温度依存性が最も小さい場合の既知温度に基づいて測定対象物の温度を判定する。これにより、検出データにピーク値が存在するか存在しないかにかかわらず、測定対象物 2 0 0 の温度を算出することができる。

【 0 1 0 1 】

< 実施の形態 8 >

実施の形態 8 の赤外線検出システムは、測定対象物の放射スペクトルから温度を算出するのに代えて、大気中のガスに固有の吸収波長からガスの種類および濃度を検出する。したがって、測定対象は大気中のガスである。赤外線を放射する特定の光源を備えず、周囲の熱放射を光源とする。以下、図面を参照して具体的に説明する。

【 0 1 0 2 】

[赤外線検出システムの構成]

図 1 8 は、実施の形態 8 による赤外線検出システムの概略的な構成を示すブロック図である。図 1 8 の赤外線検出システム 1 0 3 の処理回路 1 3 0 B は、温度判定部 1 3 2 に代えてガス種判定部 1 3 4 を備える点で、図 1 の処理回路 1 3 0 と異なる。図 1 8 の赤外線検出システム 1 0 3 のその他の構成は図 1 の場合と同様であるので、同一または相当する部分には同一の参照符号を付して説明を繰り返さない場合がある。なお、実施の形態 8 の赤外線検出システム 1 0 3 には、実施の形態 3 の光学フィルタ 1 5 0 を組み込むことができる。

【 0 1 0 3 】

図 1 8 を参照して、赤外線検出器 1 1 0 の受光面 1 1 1 には、周囲の熱源からの熱放射 2 1 1 が測定対象のガス 2 0 1 を含む大気を通して到達する。赤外線検出器 1 1 0 は、吸

10

20

30

40

50

収ピーク波長を掃引しながら熱放射を検出することによってスペクトルデータを生成する。補正演算部 131 は、検出されたスペクトルデータを、補正テーブル 141 として記憶部 140 に格納された複数の補正係数によって補正することによって補正スペクトルデータを生成する。

【0104】

ガス種判定部 134 は、補正スペクトルデータに含まれる固有の吸収波長に基づいて大気に含まれるガスの種類を判定する。たとえば、一酸化炭素は $4.5 \mu\text{m}$ 近辺、一酸化窒素は $5.2 \mu\text{m}$ 近辺、オゾン は $9.5 \mu\text{m}$ 近辺に吸収線を持つ。これらは、大気の窓の波長範囲内であるので検出可能である。

【0105】

ガス種判定部 134 は、さらに、判別したガスの濃度を求めることができる。具体的にガス濃度は、ガス発生後のスペクトル強度をガス発生前のスペクトル強度で除算した吸収率と、単位距離当たりの吸光度と、ガス中での赤外線 の通過距離とに基づいて計算できる。

【0106】

[ガス種判定手順]

図 19 は、実施の形態 8 の赤外線検出システムにおけるガス種判定手順を示すフローチャートである。

【0107】

ステップ S100 ~ S140 において、赤外線検出器 110 は吸収スペクトル波長を掃引しながら熱放射を検出し、補正演算部 131 は、赤外線検出器 110 によって検出されたスペクトルデータを補正テーブル 141 に従って補正することによって補正スペクトルデータを生成する。ステップ S100 ~ S140 は、図 7 で説明したとおりであるので詳しい説明を繰り返さない。

【0108】

次のステップ S150 において、ガス種判定部 134 は、補正スペクトルデータに含まれる固有の吸収線に基づいて大気中に含まれるガスの種類を判定する。

【0109】

[効果]

仮に、赤外線検出器 110 によって検出されたスペクトルデータを図 18 の補正テーブル 141 に従って補正しなければ、実施の形態 1 で説明したようにスペクトルデータのピーク位置にずれが生じる。この結果、大気中に発生したガスの種類を誤って判断することになる。

【0110】

本実施の形態の赤外線検出システム 103 では、赤外線検出器 110 によって検出されたスペクトルデータを図 18 の補正テーブル 141 に従って補正することによって補正スペクトルデータを生成し、この補正スペクトルデータに基づいて大気中に含まれるガスの種類が判定される。したがって、大気中のガス種を正確に判断することができる。なお、本実施形態では、赤外線を放射する特定の光源を備えず、周囲の熱放射を光源としたが、光源を備えてもよい。また、光源を備えない場合、環境温度の変化がガス検出結果に影響を与える。この影響を小さくするために、温度計を設置してもよい。

【0111】

< 付記 >

上記の実施の形態 1 ~ 実施の形態 8 の特徴の一部を要約すると以下のとおりである。

【0112】

[1] 一実施形態の赤外線検出システム 100, 101, 103 は、赤外線検出器 110 と、記憶部 140 と、補正演算部 131 とを備える。赤外線検出器 110 は、特定の波長範囲の赤外線を吸収して光電変換することによって赤外線を検出する。赤外線検出器 110 は、赤外線の吸収スペクトルの吸収ピーク波長を掃引することが可能である。記憶部 140 は、大気の窓の波長範囲に対する吸収ピーク波長の値に応じて赤外線検出器 11

10

20

30

40

50

0の検出値を補正するための複数の補正係数を格納する。補正演算部131は、記憶部140に格納された対応する補正係数によって吸収ピーク波長ごとの赤外線検出器110の検出値を補正する。

【0113】

上記の構成によれば、吸収スペクトルの波長幅が広く、大気窓の境界付近の波長領域で赤外線検出器110の吸収スペクトルの形状が見かけ上変化したとしても、その影響を打ち消すように赤外線検出器110の検出値を補正することができる。これによって、測定対象物から放射される赤外線のスペクトルを精度良く検出することができる。

【0114】

[2] 他の実施形態の赤外線検出システム100、101、103は、赤外線検出器110と、記憶部140と、補正演算部131とを備える。赤外線検出器110は、特定の波長範囲の赤外線を吸収して光電変換することによって赤外線を検出する。赤外線検出器110は、活性層に量子井戸または量子ドットを含む赤外線検出器である。記憶部140は、大気窓の波長範囲に対する赤外線検出器の吸収ピーク波長の値に応じて赤外線検出器110の検出値を補正するための複数の補正係数を格納する。補正演算部131は、記憶部140に格納された対応する補正係数によって吸収ピーク波長に応じた赤外線検出器110の検出値を補正する。

10

【0115】

[3] 上記[1]または[2]において、赤外線検出システム100、101は、補正スペクトルデータに基づいて測定対象物200の温度を判定する温度判定部132をさらに備える。補正スペクトルデータは、吸収ピーク波長を掃引しながら赤外線検出器110で検出されたスペクトルデータを複数の補正係数で補正することによって得られる。このように、補正スペクトルデータを用いることによって、測定対象物200の温度をより正確に判定することができる。

20

【0116】

[4] 上記[3]において、温度判定部132は、補正スペクトルデータのピーク波長から、ウィーンの変位則に従って測定対象物200の温度を判定する。この構成によれば、ピーク波長のみから、温度を精度よく判定することができる。

【0117】

[5] 上記[4]において、赤外線検出システム100、101は、赤外線検出器110の吸収ピーク波長の掃引を制御する測定制御部133をさらに備える。測定制御部133は、補正スペクトルデータがピークを有することが判明した時点で、赤外線検出器110の吸収ピーク波長の掃引を停止する。これによって、測定対象物の温度測定時間を短縮することができ、さらに赤外線検出システム100の消費電力を抑制することができる。

30

【0118】

[6] 上記[3]において、温度判定部132は、補正スペクトルデータの複数の波長における強度比と、複数の波長と同一の波長におけるプランクの放射公式によるスペクトル強度の比とを比較することによって、測定対象物200の温度を判定する。この構成によれば、補正スペクトルデータがピーク値を有さない場合でも測定対象物200の温度を判定することができる。

40

【0119】

[7] 上記[3]において、温度判定部132は、補正スペクトルデータがピーク値を有する場合には、補正スペクトルデータのピーク波長からウィーンの変位則に従って測定対象物200の温度を判定する。温度判定部132は、補正スペクトルデータがピーク値を有しない場合には、補正スペクトルデータの複数の波長における強度比と、複数の波長と同一の波長におけるプランクの放射公式によるスペクトル強度の比とを比較することによって、測定対象物200の温度を判定する。この構成によれば、補正スペクトルデータがピーク値を有しているか否かにかかわらず測定対象物200の温度を判定することができる。

50

【 0 1 2 0 】

〔 8 〕 さらに他の実施形態の赤外線検出システム 1 0 2 は、赤外線検出器 1 1 0 と、記憶部 1 4 0 と、温度判定部 1 3 2 とを備える。赤外線検出器 1 1 0 は、特定の波長範囲の赤外線を吸収して光電変換することによって赤外線を検出する。赤外線検出器 1 1 0 は、赤外線の吸収スペクトルの吸収ピーク波長を掃引することが可能である。記憶部 1 4 0 は、複数の既知温度をそれぞれ有する複数のリファレンスサンプルに対して赤外線検出器 1 1 0 の吸収ピーク波長を掃引しながら得られた複数のリファレンスデータを格納する。温度判定部 1 3 2 は、測定対象物 2 0 0 に対して赤外線検出器 1 1 0 の吸収ピーク波長を掃引しながら得られた検出データと、既知温度ごとのリファレンスデータとを比較することによって測定対象物 2 0 0 の温度を判定する。

10

【 0 1 2 1 】

上記の構成によれば、予め取得した既知温度ごとのリファレンスデータとの比較に基づいて温度の判定が行われるので、吸収スペクトルの波長幅が広く、大気の窓の境界付近の波長領域で赤外線検出器 1 1 0 の吸収スペクトルの形状が見かけ上変化したとしても、測定対象物の温度を正確に決定することができる。

【 0 1 2 2 】

〔 9 〕 さらに他の実施形態の赤外線検出システム 1 0 2 は、赤外線検出器 1 1 0 と、記憶部 1 4 0 と、温度判定部 1 3 2 とを備える。赤外線検出器 1 1 0 は、特定の波長範囲の赤外線を吸収して光電変換することによって赤外線を検出する。赤外線検出器 1 1 0 は、活性層に量子井戸または量子ドットを含む赤外線検出器である。記憶部 1 4 0 は、複数の既知温度をそれぞれ有する複数のリファレンスサンプルに対して赤外線検出器 1 1 0 の吸収ピーク波長を掃引しながら得られた複数のリファレンスデータを格納する。温度判定部 1 3 2 は、測定対象物 2 0 0 に対して赤外線検出器 1 1 0 の吸収ピーク波長を掃引しながら得られた検出データと、既知温度ごとのリファレンスデータとを比較することによって測定対象物 2 0 0 の温度を判定する。

20

【 0 1 2 3 】

〔 1 0 〕 上記〔 8 〕または〔 9 〕において、温度判定部 1 3 2 は、各既知温度に対応するリファレンスデータと検出データとの比を波長ごとに算出し、算出した比の波長依存性が最も小さい場合の既知温度に基づいて測定対象物 2 0 0 の温度を判定する。上記の構成によれば、測定対象物が完全な黒体でない場合であっても、正確に温度を判定することができる。

30

【 0 1 2 4 】

〔 1 1 〕 上記〔 8 〕または〔 9 〕において、温度判定部 1 3 2 は、検出データのピーク波長と既知温度ごとのリファレンスデータのピーク波長とを比較することによって、測定対象物 2 0 0 の温度を判定する。この構成によれば、ピーク波長のみから、温度を精度よく判定することができる。

【 0 1 2 5 】

〔 1 2 〕 上記〔 1 〕または〔 2 〕において、赤外線検出システム 1 0 3 は、補正スペクトルデータに含まれる固有の吸収波長に基づいて大気に含まれるガスの種類を判定するガス種判定部 1 3 4 をさらに備える。補正スペクトルデータは、吸収ピーク波長を掃引しながら赤外線検出器 1 1 0 で検出されたスペクトルデータを複数の補正係数で補正することによって得られる。このように補正スペクトルデータを用いることによってガス種類を正確に判定することができる。

40

【 0 1 2 6 】

〔 1 3 〕 上記〔 1 〕～〔 7 〕および〔 1 2 〕において、各補正係数は、吸収ピーク波長ごとに想定される赤外線検出器 1 1 0 の吸収スペクトルを全波長範囲で積分した値と大気の窓の波長範囲で積分した値との比によって得られる。このように、容易に各吸収ピーク波長ごとの有効吸収率に基づいて補正係数を決定することができ、かつ赤外線スペクトルを精度よく検出することができる。

【 0 1 2 7 】

50

〔 1 4 〕 上記〔 1 3 〕において、想定される赤外線検出器 1 1 0 の吸収スペクトルのピーク強度は、吸収ピーク波長に応じて異なる。このような吸収ピーク波長の変化も補正係数に取り込むことができる。このような場合でも、上記〔 1 3 〕により、赤外線スペクトルを精度よく検出することができる。

【 0 1 2 8 〕

〔 1 5 〕 上記〔 1 〕～〔 1 4 〕において、赤外線検出システム 1 0 1 は、赤外線検出器 1 1 0 の受光面を覆う光学フィルタ 1 5 0 をさらに備える。光学フィルタ 1 5 0 は、 $8\mu\text{m}$ ～ $14\mu\text{m}$ の長波長の赤外線領域を測定する場合は、 $3.4\mu\text{m}$ ～ $5.5\mu\text{m}$ の中波長の赤外線領域を遮断する。このように、ほとんど影響を及ぼさない波長領域を光学フィルタで遮断することによって誤差を低減することができる。

10

【 0 1 2 9 〕

〔 1 6 〕 上記〔 1 〕～〔 1 4 〕において、赤外線検出システム 1 0 1 は、赤外線検出器 1 1 0 の受光面を覆う光学フィルタ 1 5 0 をさらに備える。光学フィルタ 1 5 0 は、 $3.4\mu\text{m}$ ～ $5.5\mu\text{m}$ の中波長の赤外線領域を測定する場合は、 $8\mu\text{m}$ ～ $14\mu\text{m}$ の長波長の赤外線領域を遮断する。このように、ほとんど影響を及ぼさない波長領域を光学フィルタで遮断することによって誤差を低減することができる。

【 0 1 3 0 〕

今回開示された実施形態はすべての点で例示であって制限的なものでないと考えられるべきである。この発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

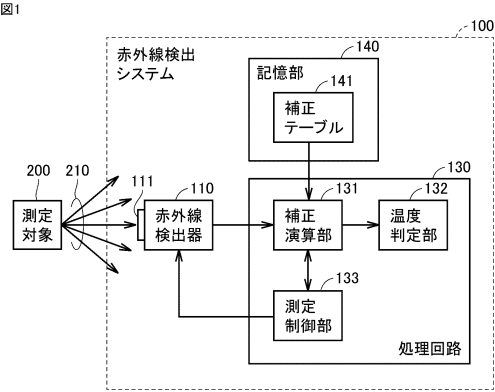
20

【 符号の説明 】

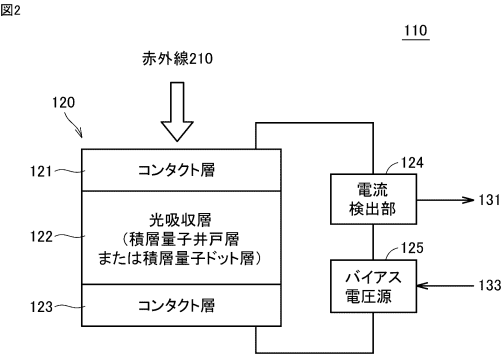
【 0 1 3 1 〕

1 0 0 , 1 0 1 , 1 0 2 , 1 0 3 赤外線検出システム、1 1 0 赤外線検出器、1 2 0 赤外線検出素子、1 2 5 バイアス電圧源、1 3 0 , 1 3 0 A , 1 3 0 B 処理回路、1 3 1 補正演算部、1 3 2 温度判定部、1 3 3 測定制御部、1 3 4 ガス種判定部、1 4 0 記憶部、1 4 1 補正テーブル、1 4 2 リファレンスデータテーブル、1 5 0 光学フィルタ、2 0 0 測定対象物、2 0 1 ガス、2 1 0 赤外線。

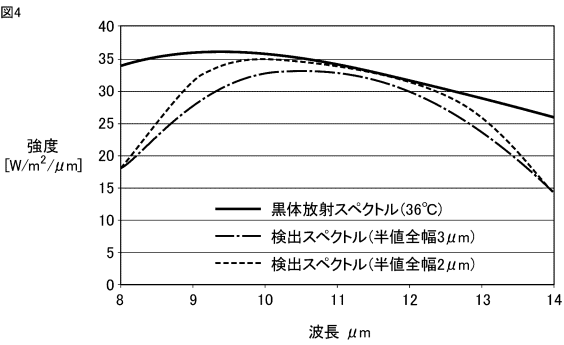
【図 1】



【図 2】



【図 4】

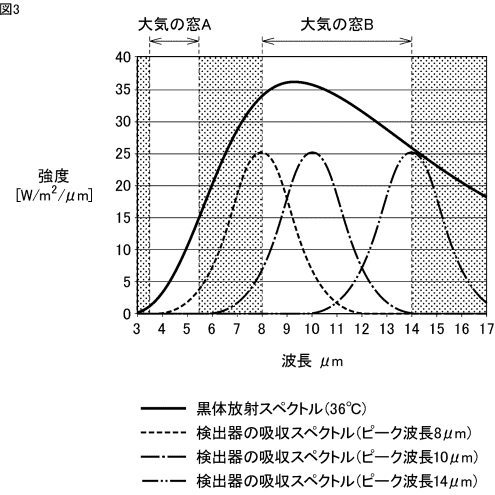


【図 5】

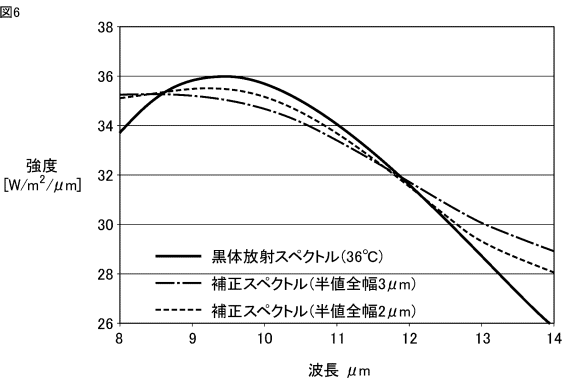
図5

波長 λ (μm)	補正係数 (半値全幅2 μm)	補正係数 (半値全幅3 μm)
8	2.00	2.00
9	1.13	1.27
10	1.01	1.06
11	1.00	1.02
12	1.01	1.06
13	1.14	1.28
14	2.00	2.00

【図 3】

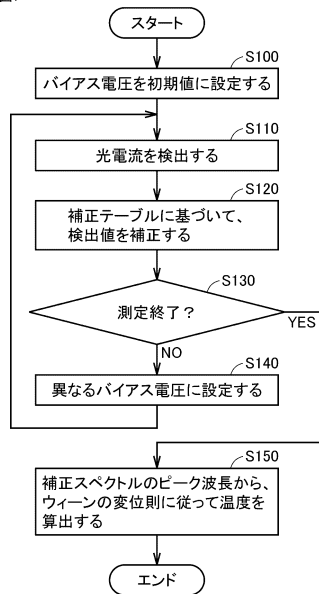


【図 6】



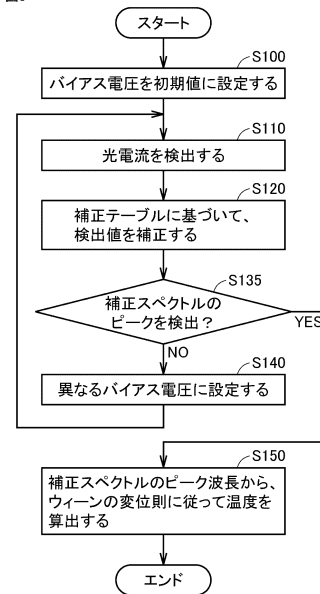
【図 7】

図7



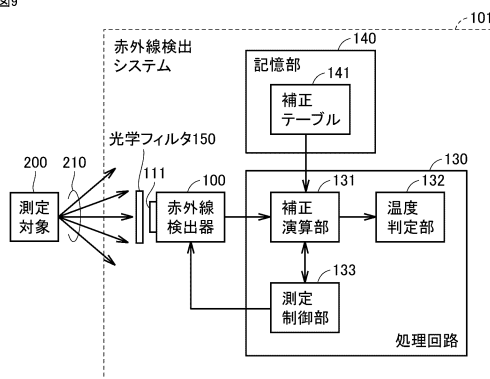
【図 8】

図8



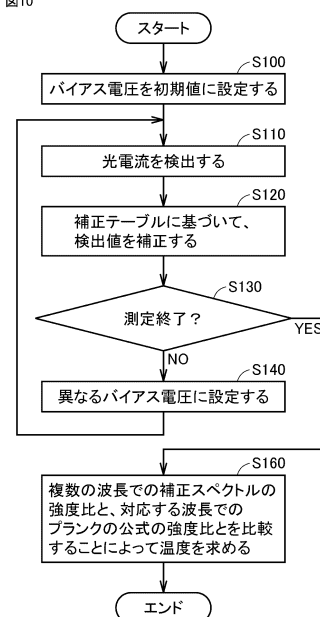
【図 9】

図9



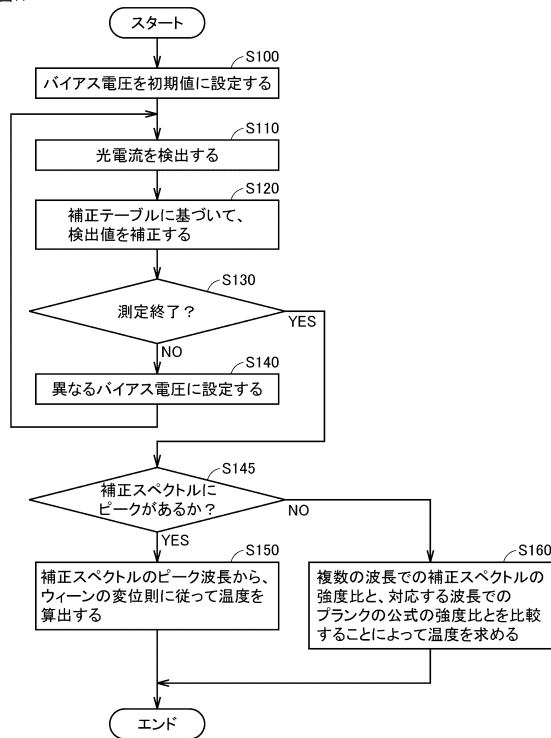
【図 10】

図10



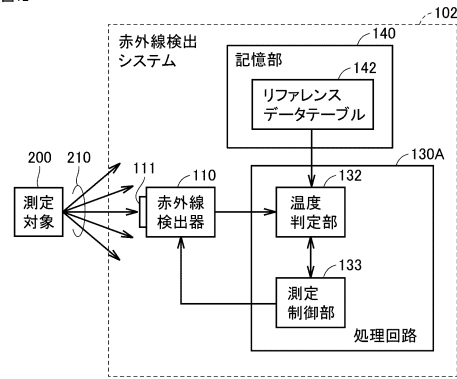
【図 1 1】

図11



【図 1 2】

図12



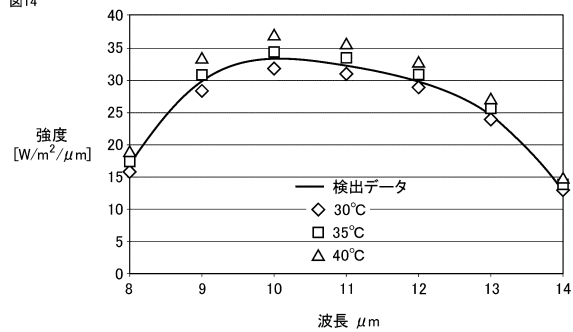
【図 1 3】

図13

$\lambda(\mu\text{m})$	30°C	35°C	40°C
8	15.84732	17.33289	18.90461
9	28.23178	30.73461	33.37124
10	31.71405	34.30018	37.00773
11	30.92701	33.23067	35.62743
12	28.80232	30.77772	32.82224
13	23.92057	25.45671	27.04049
14	12.98682	13.78829	14.61277

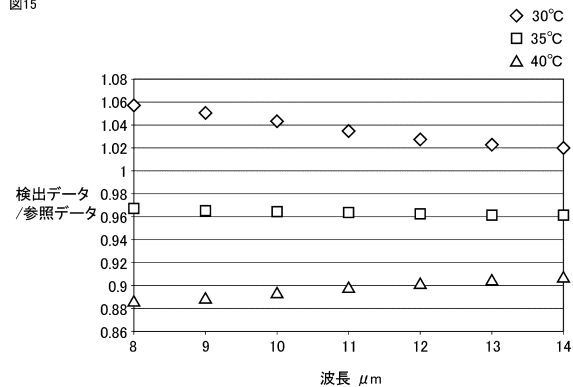
【図 1 4】

図14



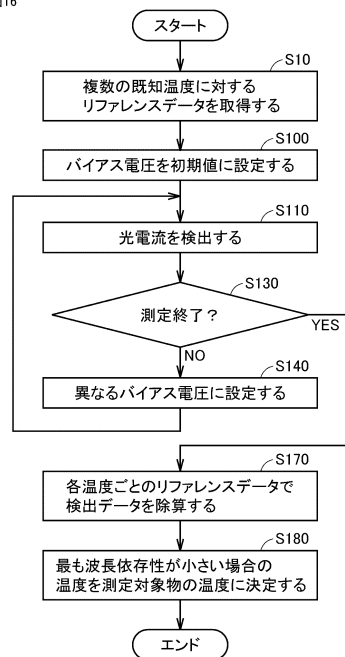
【図 1 5】

図15



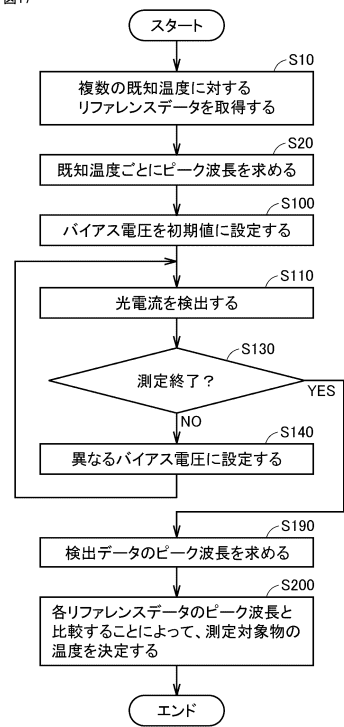
【図 1 6】

図16



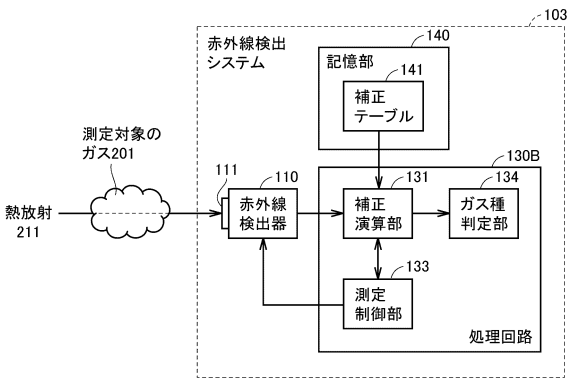
【図 17】

図17



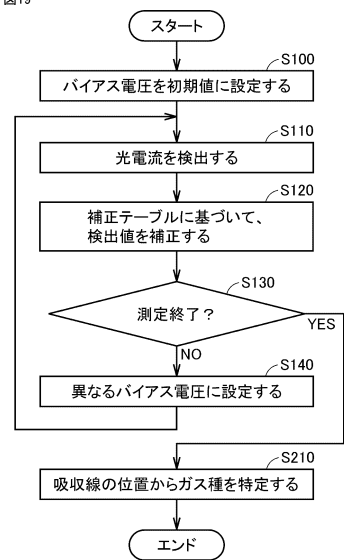
【図 18】

図18



【図 19】

図19



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2007-003308(JP,A)
米国特許出願公開第2005/0211873(US,A1)
特開2014-060321(JP,A)
特開2007-178265(JP,A)
特開2007-010421(JP,A)
特開2005-257358(JP,A)
特開平05-312653(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01J 5/00 - 5/62
G01J 1/00 - 1/60
G01N 21/17 - 21/61