

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-247380
(P2004-247380A)

(43) 公開日 平成16年9月2日(2004.9.2)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/66	HO 1 L 21/66	2 G O 5 9
GO 1 N 21/35	GO 1 N 21/35	4 M I O 6
// GO 1 N 21/00	GO 1 N 21/00	B

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2003-33306 (P2003-33306)
(22) 出願日 平成15年2月12日 (2003.2.12)

(71) 出願人 000006013
三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(74) 代理人 100062144
弁理士 青山 稜
(74) 代理人 100086405
弁理士 河宮 治
(74) 代理人 100098280
弁理士 石野 正弘
(72) 発明者 竹内 日出雄
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内
(72) 発明者 山本 佳嗣
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

最終頁に続く

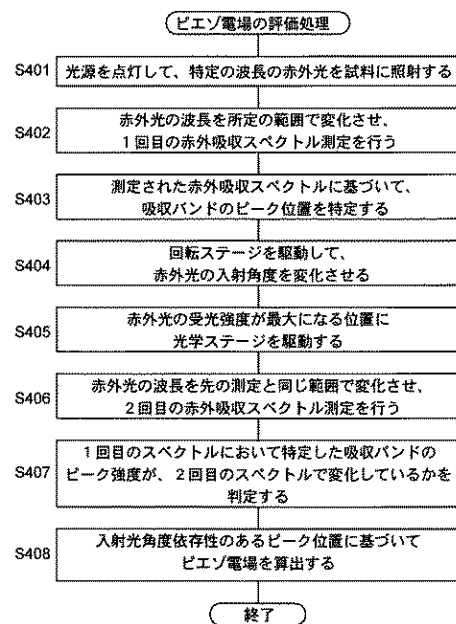
(54) 【発明の名称】 ピエゾ電場の評価方法

(57) 【要約】

【課題】PR分光法とは異なる手法により、半導体ヘテロ接合界面のピエゾ電場の非破壊分光測定を行い、ピエゾ電場を解析・評価する方法を提供する。

【解決手段】ピエゾ電場の評価方法は、試料に第1の角度で赤外光を照射して第1の吸収スペクトルを測定するステップと、試料に、第1の角度とは異なる第2の角度で赤外光を照射して第2の吸収スペクトルを測定するステップと、測定した第1の吸収スペクトルおよび第2の吸収スペクトルに基づいて、入射光角度依存性のある吸収バンドのピーク位置を特定するステップと、特定されたピーク位置により表される電子エネルギー準位と、ピエゾ電場との関係を表すエネルギー準位式に基づいて、ピエゾ電場の大きさを取得するステップとを有する。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

試料に第 1 の角度で赤外光を照射して第 1 の吸収スペクトルを測定するステップと、前記試料に、第 1 の角度とは異なる第 2 の角度で赤外光を照射して第 2 の吸収スペクトルを測定するステップと、測定した前記第 1 の吸収スペクトルおよび前記第 2 の吸収スペクトルに基づいて、入射光角度依存性のある吸収バンドのピーク位置を特定するステップと、特定された前記ピーク位置により表される電子エネルギー準位と、ピエゾ電場との関係を表すエネルギー準位式に基づいて、該ピエゾ電場の大きさを取得するステップとを有する、ピエゾ電場の評価方法。

10

【請求項 2】

前記ピエゾ電場は、前記試料の半導体ヘテロ接合における格子不整合歪によって誘起された電場である、請求項 1 に記載のピエゾ電場の評価方法。

【請求項 3】

前記第 1 の吸収スペクトルを測定するステップは、前記赤外光の波長を所定の範囲で変化させて、予め基準となる基準スペクトルを測定するステップと、前記赤外光の波長を所定の範囲で変化させて、前記赤外光を試料に照射するステップと、前記試料を透過した前記赤外光に基づいて、前記第 1 の吸収スペクトルを算出するステップとを有するステップを備えた、請求項 1 に記載のピエゾ電場の評価方法。

20

【請求項 4】

前記第 2 の吸収スペクトルを測定するステップは、前記試料が載置された回転台を回転させて前記第 2 の角度で赤外光を照射する、請求項 1 に記載のピエゾ電場の評価方法。

【請求項 5】

前記第 2 の吸収スペクトルを測定するステップは、前記試料に照射されて透過した前記赤外光の光軸のずれを検出するステップと、検出した前記光軸のずれを補正するステップと、前記試料を透過した前記赤外光に基づいて、前記第 2 の吸収スペクトルを算出するステップとを有するステップを備えた、請求項 4 に記載のピエゾ電場の評価方法。

30

【請求項 6】

試料に赤外光を照射して第 1 の吸収スペクトルを測定するステップと、前記試料が載置された回転台を所定の角振動数で振動させて、前記試料に赤外光を照射し、第 2 の吸収スペクトルを測定するステップと、測定した前記第 1 の吸収スペクトルおよび前記第 2 の吸収スペクトルに基づいて、入射光角度依存性のある吸収バンドのピーク位置を特定するステップと、特定された前記ピーク位置により表される電子エネルギー準位と、ピエゾ電場との関係を表すエネルギー準位式に基づいて、該ピエゾ電場の大きさを取得するステップとを有する、ピエゾ電場の評価方法。

40

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、エピタキシャル結晶を破壊することなく結晶中のピエゾ電場を評価する分光測定技術に関する。

【0002】**【従来の技術】**

AlGa_N/Ga_N系高電子移動度トランジスタ(High Electron Mobility Transistor; HEMT)の特性に対して最も大きな影響を与えるのは、AlGa_N/Ga_N界面に形成される2次電子ガスの濃度である。2次電子ガス

50

の濃度は、半導体ヘテロ接合に特有の格子不整合歪が誘起するピエゾ電場とよばれる一種の内部電場によって決定される。それゆえ、HEMT用エピタキシャル結晶の品質を検証する上でピエゾ電場を評価することは、重要であると考えられる。

【0003】

ピエゾ電場に代表される結晶内の内部電場を評価する手法として、一般に、光変調反射 (Photoreflectance; PR) 分光法が知られている (例えば、特許文献1参照)。PR分光法とは、ポンプ光と呼ばれる光を試料に照射することによって引き起こされた反射率変化 R/R を、プローブ光と呼ばれる光を通して測定する分光技術である。PR分光法では、反射率変化 R/R がプローブ光のエネルギーの関数として記録される。内部電場を有する試料は、反射率変化 R/R がフランツ・ケルディッシュ振動 (Franz-Keldysh Oscillation; FKO) と呼ばれる振動プロファイルを示す。この振動プロファイルの周期は、内部電場の強度により決定される。従って、このフランツ・ケルディッシュ振動FKOの周期を解析することにより、内部電場の強度を評価できる。

10

【0004】

【特許文献1】

特開平3-175340号公報 (第2頁左下欄5~8行)

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、PR分光法を用いてAlGaN/GaN界面のピエゾ電場を測定・評価することは非常に困難である。具体的には、PR分光法を利用するとPR信号からピエゾ電場に関する情報を抽出する手続きが複雑になってしまう。その理由は、PR分光法をAlGaN/GaN系のエピタキシャル結晶に適用した場合、測定される反射率変化 R/R はポンプ光照射で生成されるキャリアによるエピタキシャル結晶全体の内部電場変化に起因した信号となり、エピタキシャル結晶を構成する全ての層の内部電場に関する情報を含むからである。

20

【0006】

この問題を解決するために、目的とするAlGaN/GaN界面近傍以外の部分をエッチングして測定するという手法も考えられるが、この手法は試料を破壊しなければならないという別の問題が発生する。しかもこの方法では、エッチングによって試料に導入された欠陥に起因する表面電場が発生する。PR測定の際、この表面電場に由来する信号は、ピエゾ電場に起因する信号に重畳するため、信号の解析はより複雑になる。

30

【0007】

本発明の目的は、PR分光法とは異なる手法により、半導体ヘテロ接合界面のピエゾ電場の非破壊分光測定を行い、ピエゾ電場を解析・評価する方法を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明のピエゾ電場の評価方法は、試料に第1の角度で赤外光を照射して第1の吸収スペクトルを測定するステップと、前記試料に、第1の角度とは異なる第2の角度で赤外光を照射して第2の吸収スペクトルを測定するステップと、測定した前記第1の吸収スペクトルおよび前記第2の吸収スペクトルに基づいて、入射光角度依存性のある吸収バンドのピーク位置を特定するステップと、特定された前記ピーク位置により表される電子エネルギー準位と、ピエゾ電場との関係を表すエネルギー準位式に基づいて、該ピエゾ電場の大きさを取得するステップとを有する。これにより上記目的が達成される。

40

【0009】

また本発明の別の例によるピエゾ電場の評価方法は、試料に赤外光を照射して第1の吸収スペクトルを測定するステップと、前記試料が載置された回転台を所定の角振動数で振動させて、前記試料に赤外光を照射し、第2の吸収スペクトルを測定するステップと、測定した前記第1の吸収スペクトルおよび前記第2の吸収スペクトルに基づいて、入射光角度依存性のある吸収バンドのピーク位置を特定するステップと、特定された前記ピーク位置

50

により表される電子エネルギー準位と、ピエゾ電場との関係を表すエネルギー準位式に基づいて、該ピエゾ電場の大きさを取得するステップとを有する。これによっても上記目的が達成される。

【 0 0 1 0 】

【 発明の実施の形態 】

以下、添付の図面を参照して、本発明の実施の形態を説明する。図面では、同様の構成および機能を有する要素には、同一の参照符号を付している。

【 0 0 1 1 】

(実施の形態 1)

本発明の実施の形態は、赤外吸収分光法を用いた半導体ヘテロ接合界面でのピエゾ電場の非破壊評価方法、および、その方法を実施するのに有用な装置の構成に関する。ピエゾ電場を評価する意義を説明すると、ピエゾ電場は、半導体ヘテロ接合に特有の格子不整合歪によって誘起される。そしてこのピエゾ電場は、AlGa_N/Ga_N界面に形成される2次電子ガスの濃度を決定する。2次電子ガスは、AlGa_N/Ga_N系高電子移動度トランジスタ(High Electron Mobility Transistor; HEMT)の特性に対して最も大きな影響を与える。よって、HEMT用エピタキシャル結晶の品質を検証する上でピエゾ電場を定量的に評価する必要がある。

【 0 0 1 2 】

以下ではまず装置の構成を説明し、その後、その装置を用いた評価方法を説明する。

【 0 0 1 3 】

図1は、実施の形態1による赤外吸収分光装置100の構成を示すブロック図である。赤外吸収分光装置100は、回折格子分光器(回折格子モノクロメータ)を用いて構成されており、試料に赤外光を照射して赤外吸収スペクトルを測定する。測定された赤外吸収スペクトルから、AlGa_N/Ga_N界面に形成される2次電子ガスにのみ起因する赤外光の吸収バンドを得ることにより、ピエゾ電場を定量的に評価する。

【 0 0 1 4 】

ここで「2次電子ガスにのみ起因」して吸収された赤外光は、以下のように測定できる。まず赤外光の吸収は、赤外光の偏光ベクトルがエピタキシャル結晶の成長方向(以下「z軸」と称する)と平行な場合においてのみ許容されるという特徴を有する。そこで、赤外光をz軸に対して斜入射させた場合の吸収スペクトルと垂直入射させた場合の吸収スペクトルとを比較する。どの吸収スペクトルに入射光角度依存性があるかが容易に判断できるからである。よってその比較結果に基づけば、観測された吸収バンドが2次元電子ガスの吸収に由来するか否かを容易に判断できる。赤外吸収分光装置100では、試料を載置した台を回転させて試料に入射させる赤外光の方向を変化させ、入射光角度依存性の有無を判断する。

【 0 0 1 5 】

以下、赤外吸収分光装置100の構成を具体的に説明する。赤外吸収分光装置100は、光源2と、レンズ4と、回折格子モノクロメータ6と、レンズ8と、回転台10と、検出器14と、光学ステージ16と、制御ユニット18とを備えている。

【 0 0 1 6 】

光源2は光を照射し、レンズ4は光源2の光を集光する。回折格子モノクロメータ6は、所定の格子間隔を有する回折格子を備え、光を受け取って所定の波長の光(ここでは赤外光)をスペクトル分解する。スペクトル分解される赤外光の波長領域は、例えば数 μm ~数十 μm 程度である。これは、最終的な測定対象であるピエゾ電場の強度が0.1~1.0MV/cmであると予想され、その強度から必要と考えられる赤外光の波長を後述の数式から逆算して得た範囲である。レンズ8は、赤外光を集光する。

【 0 0 1 7 】

回転台10は、試料12を載置する台であり、回転機構を備えている。回転台10を回転させることにより、上述の吸収スペクトルの入射光角度依存性を容易に測定できる。検出器14は、赤外光の強度を検出する。光学ステージ16は、検出器14が配設された台で

ある。光学ステージ 16 は、モーター（図示せず）で駆動されて、検出器 14 からの検出信号が最大になる位置、換言すれば赤外光を最もよく検出できる位置にまで移動され、検出器 14 を位置決めする。赤外光を最もよく検出できる位置は、回転台 10 を駆動して試料 12 の角度変化に応じて変化する。これは、試料 12 内での光の屈折により試料 12 から検出器 14 までの光軸がずれるからである。よって光学ステージ 16 を設けることにより、検出器 14 での赤外光の検出を最適に行うことができる。

【0018】

制御ユニット 18 は、赤外吸収分光装置 100 の動作を制御し、検出器 14 の検出結果に基づいてピエゾ電場を評価する。制御ユニット 18 の制御に基づく赤外吸収分光装置 100 の詳細な動作は、後述する。

【0019】

なお図 1 では、光源 2、回折格子モノクロメータ 6、試料 12、検出器 14 の順に配置されるとしているが、配置の順序はこれに限られない。例えば図 2 は、回折格子モノクロメータ 6 を用いた別の例による赤外吸収分光装置 200 の構成を示す図である。赤外吸収分光装置 200 もまた、光源 2 と、レンズ 4 と、回折格子モノクロメータ 6 と、レンズ 8 と、回転台 10 と、検出器 14 と、光学ステージ 16 と、制御ユニット 18 とを備えている。赤外吸収分光装置 200 では、光源 2、試料 12、回折格子モノクロメータ 6、検出器 14 の順に要素が配置されている。各要素の機能および動作は上述の赤外吸収分光装置 100（図 1）と同じであるからその説明は省略する。

【0020】

さらに図 3 は、回折格子モノクロメータ 6 に代えて、フーリエ分光器を利用した赤外吸収分光装置 300 の構成を示す図である。赤外吸収分光装置 300 を用いても、後述するピエゾ電場の評価が可能である。赤外吸収分光装置 300 では、光源 2 からの赤外光が、凹面鏡 34-1 で集光され、半透鏡 36-1 に送られる。半透鏡 36-1 は、入射光の 1/2 を反射して移動鏡 36-2 へ、残りの 1/2 は固定鏡 36-3 へ透過させる。そしてそれぞれの光は、移動鏡 36-2、固定鏡 36-3 によって反射され、半透鏡 36-1 で合成される。合成光は平面鏡 36-4 を経て、凹面鏡 34-2 で集光され、AlGaIn/GaN 系 HEMT 試料 12 へ照射される。検出器 14 は、試料 12 を透過し、凹面鏡 34-2 で集光され光を検出する。ここで移動鏡 36-2 を一定方向に走査すると、半透鏡 36-1 と移動鏡 36-2 との距離、および半透鏡 36-1 と固定鏡 36-3 との距離に光路差が生じる。検出器 14 で検出される合成波は、強め合い、打ち消し合い干渉曲線をなす。この曲線をフーリエ変換すると、所定の波長が吸収された赤外スペクトルが得られる。図 2 および図 3 から明らかなように、試料 12 への赤外光集光系は、レンズでも凹面鏡でもどちらでもよい。

【0021】

以下、赤外吸収分光装置 100（図 1）、200（図 2）および 300（図 3）を利用した、本発明による赤外吸収分光法を用いたピエゾ電場の非破壊評価方法を説明する。いずれの装置でも処理は共通することから、赤外吸収分光装置 100（図 1）を用いて説明する。

【0022】

図 4 は、ピエゾ電場の評価処理の流れを示すフローチャートである。以下の処理は、主として制御ユニット 18（図 1）による制御に基づいて行われる。以下の処理に先だって、赤外光が吸収されたか否かを判断する基準となるスペクトル E_1 が測定されているとする。スペクトル E_1 は、試料 12 が存在しない状態で測定される。まず赤外吸収分光装置 100 は、光源 2（図 1）を点灯して、回折格子モノクロメータ 6 により分光された特定の波長の赤外光を試料 12（図 2）に照射する（S401）。この際、試料 12 を破壊/加工する必要はない。そして赤外光の波長を所定の範囲で変化させ、検出器 14（図 1）において 1 回目の赤外吸収スペクトルの測定を行う（S402）。上述のように測定の対象となる波長領域は、予想されるピエゾ電場強度が 0.1 から 1.0 MV/cm であることを考慮して数 μm から数十 μm 程度の赤外光領域である。例えば、波長を 1 μm ~ 2 μm

10

20

30

40

50

の範囲で変化させる。赤外吸収スペクトルは、基準スペクトルから、赤外光の照射結果として観測されたスペクトルを除算すれば得られる。吸収された波長のエネルギーは差が大きくなりピーク位置を特定できる。いうまでもなく、2次元電子ガスが存在しない領域では赤外光の吸収は起こり得ない。赤外吸収分光装置100の制御ユニット18は、測定された赤外吸収スペクトル($E_1 - E_2$)に基づいて吸収バンドのピーク位置を特定する(S403)。

【0023】

再び図1を参照して、次に赤外吸収分光装置100は回転台10(図1)を任意の角度だけ駆動して、試料12への赤外光の入射角度を変化させる(S404)。目的とする入射角度になると、回転台10から信号線を通して制御ユニット18に設定完了信号が送られる。入射角度の設定完了信号を受信すると、制御ユニット18は、光学ステージ16を一定の距離だけ移動させ、赤外光の受光強度が最大になる位置に光学ステージ16を駆動する(S405)。これにより大きく吸収された赤外光の波長を特定できる。光学ステージ16が位置決めされると、光学ステージ16は制御ユニット18に移動完了信号を送信する。なお一連の測定を複数回繰り返すことによって得られた検出器14からの信号を、光学ステージ16の位置の関数としてプロットし、検出器14からの信号が最大となる光学ステージ16の位置を求めることもできる。また赤外吸収分光装置300(図3)のように、集光系に凹面鏡34-3(図3)を用いる場合には、凹面鏡34-3の角度を調整する機構も必要となる。

【0024】

その後制御ユニット18は、赤外光の波長を先の測定と同じ範囲で変化させ、2回目の赤外吸収スペクトル測定を行う(S406)。制御ユニット18は、1回目のスペクトルにおいて特定した吸収バンドのピーク位置での強度が、2回目のスペクトルで変化しているかを判定する(S407)。吸収バンドの位置が変化している場合には、入射光角度依存性があることを意味する。制御ユニット18は、入射光角度依存性があるピーク位置に基づいて、ピエゾ電場を算出する(S408)。

【0025】

図5は、測定された赤外光のスペクトル分布を示す図である。図5では、光子エネルギー($E_1 - E_2$)および($E_1 - E_3$)がピーク位置である。これらは入射光角度依存性があるとするとする。続いて図6は、AlGaIn/GaNのポテンシャル構造と2次元電子準位を示す図である。吸収バンドのピーク位置は、図6に示すAlGaIn/GaNのポテンシャル構造によって決定される2次元電子のエネルギー準位を反映する。 n ($n=1, 2, 3, \dots$)番目の量子状態の電子エネルギー準位は、ピエゾ電場と電子エネルギー準位との関係を示す電子エネルギー準位式(数1)により表される。

【0026】

【数1】

$$E_n = \left(\frac{1}{2m^*} (h/2\pi)^2 \right)^{1/3} \left[\frac{3\pi e F}{2} \left(n - \frac{1}{4} \right) \right]^{2/3}$$

ここで $h/2\pi$: プランク定数、 e : 素電荷、 m^* : 電子有効質量、および、 F : ピエゾ電場である。室温以下ではほぼ全ての電子が $n=1$ の状態であるため、観測された吸収バンドのピーク位置($h/2\pi$) は、

【数2】

$$(h/2\pi)\omega = E_j - E_1 \quad (j = 1, 2, 3, \dots)$$

により得られる。数1、数2を用いることにより、ピエゾ電場 F の大きさを求めることができる。すなわち以上のような手順によれば、ピエゾ電場を定量的に評価できる。

【0027】

(実施の形態2)

10

20

30

50

実施の形態 2 では、AlGaIn/GaN系HEMT試料における2次元電子ガスの赤外吸収スペクトルを測定できる赤外吸収分光装置の別の例を説明する。このような赤外吸収分光装置では、光軸のずれに対する自動補正機構(図1の光学ステージ16)が不要である。

【0028】

図7は、ロックイン検出法を適用した微小振動が可能な試料回転機構を備えた赤外吸収分光装置700の構成を示す図である。赤外吸収分光装置700が赤外吸収分光装置100(図1)と異なるのは、回転台10の構成、ロックインアンプ70を設けたこと、および、赤外吸収分光装置700には光学ステージ16(図1)が存在しないことである。以下相違点を説明する。他の構成および動作は赤外吸収分光装置100と同じであるため、その説明は省略する。

10

【0029】

回転台10は、ある角度を中心として角振動数で微小振動することができる。微小振動の角振幅は、光軸が検出器14の受光面から外れることがない程度に設定されている。測定したい試料12を微小振動させて赤外光を照射し、微小振動の周波数と同じ周波数の信号を検出すると、試料12から発せられた情報だけが得られる。すなわちこのような測定系で得られる角周波数の交流信号は、入射角度依存性を持つ吸収バンドに起因する信号のみを含む。ロックインアンプ70は、検出器14で得られた信号のうち角周波数の交流成分のみを検出する。ロックインアンプ70によれば、入射角度依存性のある2次元電子系の吸収バンドを感度よく検出できる。ロックインアンプ70が検出した吸収バンドの測定値を制御ユニット18へ送ると、制御ユニット18はその値に基づいて吸収バンドを特定し、実施の形態1で説明した手順によりピエゾ電場を定量的に評価できる。なおロックインアンプに代えて、周知のロックインボルトメーターに置き換えることもできる。

20

【0030】

図8は、フーリエ分光器を利用してロックイン検出を行う赤外吸収分光装置800の構成を示す図である。赤外吸収分光装置800は、赤外吸収分光装置500(図5)に対応しており、回転台10の構成、ロックインアンプ80を設けたこと、および、赤外吸収分光装置800には光学ステージ16(図3)が存在しないことを相違点とする。これらの点については赤外吸収分光装置700(図7)と同じであるのでその説明は省略する。

30

【0031】

【発明の効果】

本発明によれば、角度を変えて試料に赤外光を照射することにより、入射光角度依存性のある吸収バンドのピーク位置を特定する。そして特定されたピーク位置により表される電子エネルギー準位と、ピエゾ電場との関係を表すエネルギー準位式に基づいて、ピエゾ電場の大きさを取得する。これにより、試料を破壊/加工することなく、試料の半導体ヘテロ接合に特有の格子不整合歪によって誘起されるピエゾ電場を定量的に評価できる。さらにピエゾ電場を評価することにより、当該試料を利用して形成される半導体装置の特性を評価できる。

40

【図面の簡単な説明】 e

【図1】実施の形態1による赤外吸収分光装置の構成を示すブロック図である。

【図2】回折格子モノクロメータを用いた別の例による赤外吸収分光装置の構成を示す図である。

【図3】回折格子モノクロメータに代えて、フーリエ分光器を利用した赤外吸収分光装置の構成を示す図である。

【図4】ピエゾ電場の評価処理の流れを示すフローチャートである。

【図5】測定された赤外光の強度分布を示す図である。

【図6】AlGaIn/GaNのポテンシャル構造と2次元電子準位を示す図である。

【図7】ロックイン検出法を適用した微小振動が可能な試料回転機構を備えた赤外吸収分光装置の構成を示す図である。

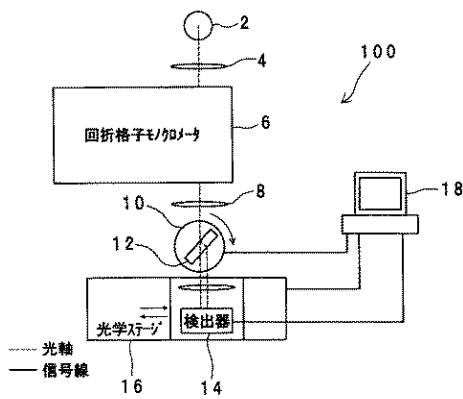
50

【図8】フーリエ分光器を利用してロックイン検出を行う赤外吸収分光装置の構成を示す図である。

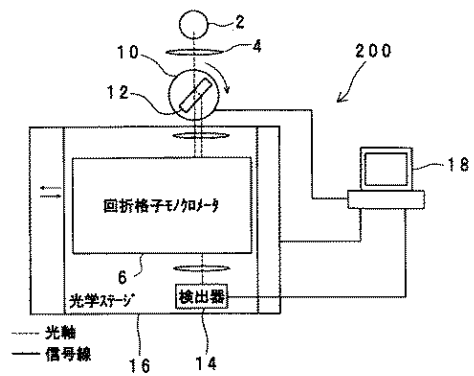
【符号の説明】

2 光源、 4 レンズ、 6 回折格子モノクロメータ、 8 レンズ、 10 回転台、 12 試料、 14 検出器、 16 光学ステージ、 18 制御ユニット、 100 赤外吸収分光装置

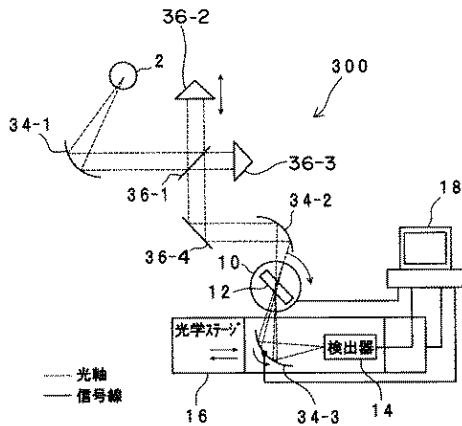
【図1】



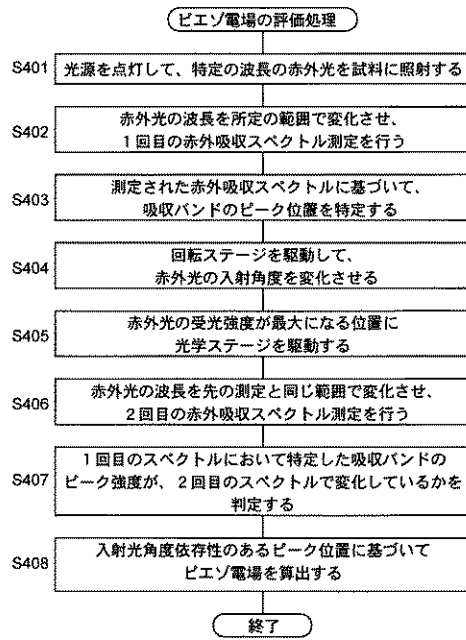
【図2】



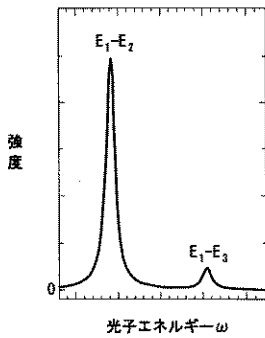
【 図 3 】



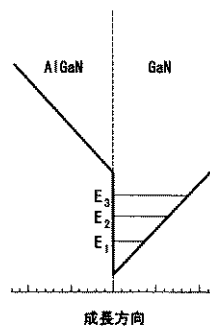
【 図 4 】



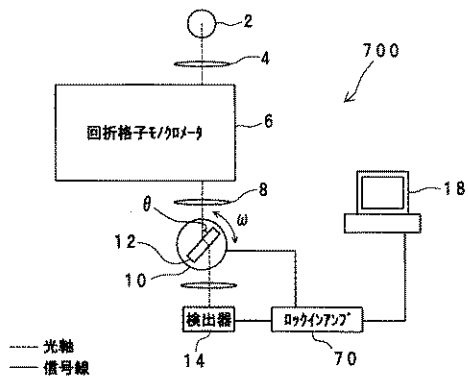
【 図 5 】



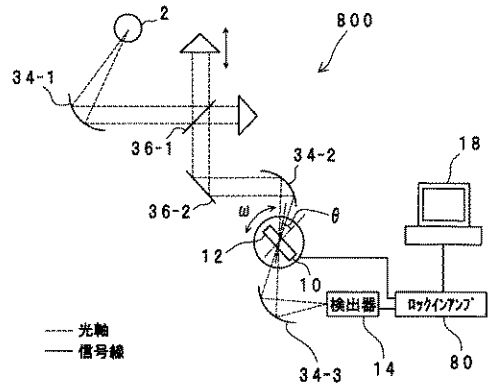
【 図 6 】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 石川 高英

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

Fターム(参考) 2G059 AA03 BB08 BB16 DD13 EE01 EE12 HH01 JJ05 JJ11 JJ13

JJ14 LL01 MM01 MM14

4M106 AA01 AA02 BA04 CA70