

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5669206号
(P5669206)

(45) 発行日 平成27年2月12日 (2015. 2. 12)

(24) 登録日 平成26年12月26日 (2014. 12. 26)

(51) Int. Cl.		F I	
GO 1 J	3/28	(2006. 01)	GO 1 J 3/28
GO 1 J	9/00	(2006. 01)	GO 1 J 9/00
HO 1 L	31/10	(2006. 01)	HO 1 L 31/10 A

請求項の数 3 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2011-71329 (P2011-71329)	(73) 特許権者	504237050
(22) 出願日	平成23年3月29日 (2011. 3. 29)		独立行政法人国立高等専門学校機構
(65) 公開番号	特開2012-207920 (P2012-207920A)		東京都八王子市東浅川町701番2
(43) 公開日	平成24年10月25日 (2012. 10. 25)	(74) 代理人	100100055
審査請求日	平成25年9月20日 (2013. 9. 20)		弁理士 三枝 弘明
		(72) 発明者	秋山 正弘
			長野県長野市徳間716 独立行政法人国立高等専門学校機構 長野工業高等専門学校 校内
		審査官	▲高▼場 正光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長スペクトル検出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

任意の単一波長の光の波長スペクトルを検出する方法であって、
 光電変換素子の光電変換領域に前記任意の単一波長の光を入射可能に構成するとともに前記任意の単一波長の光の入射方向に電界を印加して光電流を生じさせるように構成し、前記任意の光の入射後若しくは遮断後における光電流の過渡応答 $I(t)$ を測定し、前記過渡応答 $I(t)$ の2つの時刻 t_1 及び t_2 における光電流値 $I(t_1)$ 、 $I(t_2)$ に基づいて、或いは、或る時刻 t における光電流値 $I(t)$ とその微分値 $dI(t)/dt$ に基づいて、単一の波長の光を入射したときに生ずる光電流 $I(t)$ を示す以下の数式1により前記光電変換領域の光吸収係数 () 若しくはこれに対応する単一波長としての上記波長 と、当該波長の光の波長強度 () との少なくとも一方を求めることを特徴とする波長スペクトル検出方法。

【数1】

$$I(t) = Ab(\lambda) \cdot \phi(\lambda) \cdot \exp[B \cdot \alpha(\lambda) \cdot t]$$

ここで、 t は入射時若しくは遮断時からの経過時間、 $Ab()$ は波長の光に対する前記光電変換領域の光電変換効率、 B は前記光電変換領域内のキャリア速度、() は

波長 λ の光に対する前記光電変換領域の光吸収係数。

【請求項 2】

n 個 (n は 2 以上の自然数) の波長からなる任意の光の波長スペクトルを検出する方法であって、

光電変換素子の光電変換領域に前記任意の光を入射可能に構成するとともに前記任意の光の入射方向に電界を印加して光電流を生じさせるように構成し、前記任意の光の入射後若しくは遮断後における光電流の過渡応答 $I(t)$ を測定し、前記過渡応答 $I(t)$ に基づいて、前記波長スペクトルを求める方法であり、

前記過渡応答 $I(t)$ の測定時刻 t_i (i は 1 ~ $2n$ の整数) における光電流値 $I(t_i)$ に基づいて、前記 n 個の波長それぞれの光に対する前記光電変換領域の光吸収係数 α_j 若しくはこれらにそれぞれ対応する前記 n 個の波長 λ_j (j は 1 ~ n までの整数) と、これらの各波長 λ_j にそれぞれ対応する n 個の光の波長強度 $A b_j$ (j は 1 ~ n までの整数) との少なくとも一方を以下の $i = 1 \sim 2n$ の $2n$ 個の数式 2 から計算することにより求めることを特徴とする波長スペクトル検出方法。

【数 2】

$$I(t_i) = \sum_{j=1}^{j=n} A b_j \cdot \phi_j \cdot \exp[B \cdot \alpha_j \cdot t_i]$$

ここで、 $A b_j = A b(\lambda_j)$ 、 $\phi_j = \phi(\lambda_j)$ 。

【請求項 3】

n 個 (n は 2 以上の自然数) の波長からなる任意の光の波長スペクトルを検出する方法であって、

光電変換素子の光電変換領域に前記任意の光を入射可能に構成するとともに前記任意の光の入射方向に電界を印加して光電流を生じさせるように構成し、前記任意の光の入射後若しくは遮断後における光電流の過渡応答 $I(t)$ を測定し、

以下の数式 4 により $k = 1$ (k は 1 ~ n の整数) として $I(t_1) = I_1(t_1)$ が成立する測定時刻 t_1 を選定し、当該測定時刻 t_1 における光電流測定値 $I(t_1)$ 及びその微分値 $dI(t_1)/dt$ を用いて、波長 λ_1 に対する前記光電変換領域の光吸収係数 α_1 、或いは、前記測定時刻 t_1 に対応する $k = 1$ とした以下の数式 3 から波長 λ_1 の光の波長強度 $A b_1 = I(t_1) / \{A b_1 \cdot \exp[B \cdot \alpha_1 \cdot t_1]\}$ を計算し、

その後、 $k = 2$ とした以下の数式 4 の $I(t_2) = I_1(t_2) + I_2(t_2)$ が成立する測定時刻 t_2 を選定し、当該測定時刻 t_2 における光電流測定値 $I(t_2)$ 及びその微分値 $dI(t_2)/dt$ と、 $m = 1$ とした以下の数式 5 から得た $I_1(t_2) = A b_1 \cdot \alpha_1 \cdot \exp[B \cdot \alpha_1 \cdot t_2]$ 及びその微分値 $dI_1(t_2)/dt$ の値を用いて、波長 λ_2 に対する前記光電変換領域の光吸収係数 α_2 、或いは、前記測定時刻 t_2 に対応する $k = 2$ とした以下の数式 3 から波長 λ_2 の光の波長強度 $A b_2 = \{I(t_2) - I_1(t_2)\} / \{A b_2 \cdot \exp[B \cdot \alpha_2 \cdot t_2]\}$ を計算するというように、

以下の数式 4 が成立する測定時刻 t_k を選定するとともに前記測定時刻 t_k における光電流測定値 $I(t_k)$ 及びその微分値 $dI(t_k)/dt_k$ と数式 5 から得た $m = 1 \sim k - 1$ までの $I_m(t_k)$ 及びそれらの微分値 $dI_m(t_k)/dt$ の値を用いて、前記任意の光の波長 λ_k に対する前記光電変換領域の光吸収係数 α_k 、或いは、前記測定時刻 t_k に対応する数式 3 から波長 λ_k の光の波長強度 $A b_k$ を計算するという手順を、 k が 1 から n となるまで順次に繰り返すことにより、 n 個の波長 λ_k のそれぞれの光に対する前記光電変換領域の前記光吸収係数 α_k 若しくはこれらに対応する n 個の波長 λ_k と、これらの各波長 λ_k にそれぞれ対応する n 個の光の波長強度 $A b_k$ との少なくとも一方を求めることを特徴とする波長スペクトル検出方法。

10

20

30

40

50

【数 3】

$$\phi_k = \frac{I(t_k) - \sum_{m=1}^{k-1} I_m(t_k)}{Ab_k \cdot \exp[B \cdot \alpha_k \cdot t_k]}$$

【数 4】

$$I(t_k) = \sum_{m=1}^{m=k} I_m(t_k)$$

10

【数 5】

$$I_m(t) = Ab_m \cdot \phi_m \cdot \exp[B \cdot \alpha_m \cdot t]$$

20

ここで、 m は自然数、 $Ab_k = Ab(k)$ 、 $k = (k)$ 、 $Ab_m = Ab(m)$ 、 $m = (m)$ 。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、波長スペクトルを検出する方法に関し、より詳細には、フォトダイオード（以下、単にPDと称する場合がある）の出力である光電流値の時間的な変化の仕方に基づいて波長スペクトルを検出するフォトダイオードを用いた波長スペクトル検出方法に関する

【背景技術】

30

【0002】

通常、波長スペクトラム測定をするために光スペクトラムアナライザが用いられている（たとえば、特許文献1参照）。この光スペクトラムアナライザは、モータ等によって角度を変えることができるように支持された回折格子に測定対象光を入射し、その回折光からスリットによって選択した光のレベルを受光器によって検出する光学部を有しており、回折格子の角度を連続的に変えることによりスリットを通過する光の波長を掃引して、入力光の波長毎のスペクトラムを求め、これを表示器の画面に波長軸とともに表示している。表示されるスペクトラムの波長情報は、光学部の機械的な情報、即ち、回折格子の角度情報に基づいて生成されている。

【先行技術文献】

40

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2002-168692号公報（第3頁、従来の技術）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、上記した光スペクトルアナライザは大きな構造をとるため、持ち運びや設置に問題があった。

【0005】

そこで、本発明は上記課題を解決すべくなされ、その目的とするところは、小型で持ち

50

運びやすく、設置場所に制限されない装置が実現可能となる、PDを用いた波長スペクトル検出方法を提案することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明にかかる光電変換素子を用いた波長スペクトル検出方法は、任意の光の波長スペクトルを検出する方法であって、光電変換素子の出力である光電流値の時間的な変化を記録（出力）できる出力回路を用いて、光電変換素子に、任意の光を入射させたときの光電流値の時間的な変化を検出・記録し、後述する数式に基づいて、前記任意の波長スペクトルを検出することを特徴とする。

【0007】

本発明の波長スペクトル検出方法の具体的な構成は、任意の単一波長の光の波長スペクトルを検出する方法であって、光電変換素子の光電変換領域に前記任意の単一波長の光を入射可能に構成するとともに前記任意の単一波長の光の入射方向に電界を印加して光電流を生じさせるように構成し、前記任意の光の入射後若しくは遮断後における光電流の過渡応答 $I(t)$ を測定し、前記過渡応答 $I(t)$ の2つの時刻 t_1 及び t_2 における光電流値 $I(t_1)$ 、 $I(t_2)$ に基づいて、或いは、或る時刻 t における光電流値 $I(t)$ とその微分値 $dI(t)/dt$ に基づいて、単一の波長の光を入射したときに生ずる光電流 $I(t)$ を示す以下の数式1により前記光電変換領域の光吸収係数 () 若しくはこれに対応する単一波長としての上記波長 と、当該波長の光の波長強度 () との少なくとも一方を求めることを特徴とする。

【0008】

【数1】

$$I(t) = Ab(\lambda) \cdot \phi(\lambda) \cdot \exp[B \cdot \alpha(\lambda) \cdot t]$$

【0009】

ここで、 t は入射時若しくは遮断時からの経過時間、 $Ab()$ は波長の光に対する前記光電変換領域の光電変換効率、 B は前記光電変換領域内のキャリア速度、 $()$ は波長の光に対する前記光電変換領域の光吸収係数。

【0010】

本発明の任意の光の波長スペクトルを検出する第1の方法としては、 n 個 (n は2以上の自然数) の波長からなる任意の光の波長スペクトルを検出する方法であって、光電変換素子の光電変換領域に前記任意の光を入射可能に構成するとともに前記任意の光の入射方向に電界を印加して光電流を生じさせるように構成し、前記任意の光の入射後若しくは遮断後における光電流の過渡応答 $I(t)$ を測定し、前記過渡応答 $I(t)$ に基づいて、前記波長スペクトルを求める方法であり、前記過渡応答 $I(t)$ の測定時刻 t_i (i は1～ $2n$ の整数) における光電流値 $I(t_i)$ に基づいて、前記 n 個の波長それぞれの光に対する前記光電変換領域の光吸収係数 α_j 若しくはこれらにそれぞれ対応する前記 n 個の波長 λ_j (j は1～ n までの整数) と、これらの各波長 λ_j にそれぞれ対応する n 個の光の波長強度 I_j (j は1～ n までの整数) との少なくとも一方を以下の $i = 1 \sim 2n$ の $2n$ 個の数式2から計算することにより求めることが好ましい。

【0011】

10

20

30

40

【数2】

$$I(t_i) = \sum_{j=1}^{j=n} Ab_j \cdot \phi_j \cdot \exp[B \cdot \alpha_j \cdot t_i]$$

【0012】

ここで、 $Ab_j = Ab(\lambda_j)$ 、 $\alpha_j = (\lambda_j)$ 。

10

【0013】

本発明の任意の光の波長スペクトルを検出する第2の方法としては、 n 個（ n は2以上の自然数）の波長からなる任意の光の波長スペクトルを検出する方法であって、光電変換素子の光電変換領域に前記任意の光を入射可能に構成するとともに前記任意の光の入射方向に電界を印加して光電流を生じさせるように構成し、前記任意の光の入射後若しくは遮断後における光電流の過渡応答 $I(t)$ を測定し、以下の数式4により $k=1$ （ k は1～ n の整数）として $I(t_1) = I_1(t_1)$ が成立する測定時刻 t_1 を選定し、当該測定時刻 t_1 における光電流測定値 $I(t_1)$ 及びその微分値 $dI(t_1)/dt$ を用いて、波長 λ_1 に対する前記光電変換領域の光吸収係数 α_1 、或いは、前記測定時刻 t_1 に対応する $k=1$ とした以下の数式3から波長 λ_1 の光の波長強度 $I_1(t_1) = I(t_1) / \{Ab_1 \cdot \exp[B \cdot \alpha_1 \cdot t_1]\}$ を計算し、その後、 $k=2$ とした以下の数式4の $I(t_2) = I_1(t_2) + I_2(t_2)$ が成立する測定時刻 t_2 を選定し、当該測定時刻 t_2 における光電流測定値 $I(t_2)$ 及びその微分値 $dI(t_2)/dt$ と、 $m=1$ とした以下の数式5から得た $I_1(t_2) = Ab_1 \cdot \alpha_1 \cdot \exp[B \cdot \alpha_1 \cdot t_2]$ 及びその微分値 $dI_1(t_2)/dt$ の値を用いて、波長 λ_2 に対する前記光電変換領域の光吸収係数 α_2 、或いは、前記測定時刻 t_2 に対応する $k=2$ とした以下の数式3から波長 λ_2 の光の波長強度 $I_2(t_2) = \{I(t_2) - I_1(t_2)\} / \{Ab_2 \cdot \exp[B \cdot \alpha_2 \cdot t_2]\}$ を計算するというように、以下の数式4が成立する測定時刻 t_k を選定するとともに前記測定時刻 t_k における光電流測定値 $I(t_k)$ 及びその微分値 $dI(t_k)/dt_k$ と数式5から得た $m=1 \sim k-1$ までの $I_m(t_k)$ 及びそれらの微分値 $dI_m(t_k)/dt$ の値を用いて、前記任意の光の波長 λ_k に対する前記光電変換領域の光吸収係数 α_k 、或いは、前記測定時刻 t_k に対応する数式3から波長 λ_k の光の波長強度 $I_k(t_k)$ を計算するという手順を、 k が1から n となるまで順次に繰り返すことにより、 n 個の波長 λ_k のそれぞれの光に対する前記光電変換領域の前記光吸収係数 α_k 若しくはこれらに対応する n 個の波長 λ_k と、これらの各波長 λ_k にそれぞれ対応する n 個の光の波長強度 $I_k(t_k)$ との少なくとも一方を求めることが好ましい。

20

30

【0014】

【数3】

$$\phi_k = \frac{I(t_k) - \sum_{m=1}^{m=k-1} I_m(t_k)}{Ab_k \cdot \exp[B \cdot \alpha_k \cdot t_k]}$$

40

【0015】

【数 4】

$$I(t_k) = \sum_{m=1}^{m=k} I_m(t_k)$$

【0016】

【数 5】

$$I_m(t) = Ab_m \cdot \phi_m \cdot \exp[B \cdot \alpha_m \cdot t]$$

10

【0017】

ここで、 m は自然数、 $Ab_k = Ab(\quad_k)$ 、 $k = (\quad_k)$ 、 $Ab_m = Ab(\quad_m)$ 、 $m = (\quad_m)$ 。

【発明の効果】

【0018】

本発明にかかる光電変換素子を用いた波長スペクトル検出方法によれば、小型で持ち運びやすく設置場所に制限されない装置が実現可能となる。

20

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】具体例の構成（シャッターが閉まり光が入射されていない状態）を示す説明図である。

【図2】具体例の構成（シャッターが開いた状態）を示す説明図である。

【図3】具体例の構成において光電変換領域の浅い位置で光電変換された場合を示す説明図である。

【図4】具体例の構成において光電変換領域の深い位置で光電変換された場合を示す説明図である。

30

【図5】光の波長と光吸収係数の関係を示すグラフである。

【図6】動作原理のイメージ図（1波長）を示すグラフである。

【図7】動作原理のイメージ図（2波長）を示すグラフである。

【図8】微分回路付1ピクセルの光検出回路を示す回路図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

本発明の光電変換素子としては、光を吸収してキャリアを生ずる種々の素子を用いることができるが、本発明を実施するための最良の形態としては、pin型PD（フォトダイオード、以下同様。）を考えている。理由は、光の波長スペクトルを求める数式を立てやすいからである。ただし、その他のPDにおいても、その数式を導く考え方は同じである。

40

【0021】

本実施形態において光電流の検出に用いる装置・素子の概略条件を以下に示す。

1. 光電変換素子を用いる。
(高速応答できる素子が望ましい。)
2. 電流値を記録できる装置を用いる。
(高速で記録できる装置が望ましい。)
3. 光を遮光・入光操作できる装置
(高速で遮光・入光操作できる装置が望ましい)

【0022】

50

具体例：上記の1～3で示した装置・素子の具体例を以下に示す。

1. pin型フォトダイオード (pin型PD) を利用。
2. 電流計を利用。
3. シャッターを利用。

【0023】

具体例の構成を図1に示す。まず、図1を利用して「光が吸収される場所と電流検出の関係」を考える。図1では、シャッターが閉まっており、光が入射されていない。

【0024】

図2にシャッターが開いた状態を示す。シャッターから入射された光はpin型PDに吸収され、代わりにキャリアが発生する。キャリアは電界の力により、移動し電流計で検出される (キャリアとしては電子だけ表示している)。また白丸印は光子を示しており、黒丸印はキャリア (電子) を示している。このとき、光の入射方向は電界の印加方向とほぼ同じ方向とされる。

【0025】

図2の下部には距離軸が設けられている。光がpin型PDの光吸収層 (i層) の左端 (p層とi層の界面) を $x = 0$ とし、光がキャリアに変換された場所を $x = x_1$ とする。また光吸収層の右端 (i層とn層の界面) を $x = w$ とする。ここで、 x 方向は光の入射方向であり電界の印加方向でもある。

【0026】

この時、光吸収層だけの信号の伝達を考えると $x = 0$ では光であった信号は、 $0 < x < w$ の間でキャリアに変換され、そのキャリアが $x = w$ から出ていく。

【0027】

そのため、信号は $0 < x < w$ の間で「光での移動」と「キャリアでの移動」の2つの移動方法をとる。具体的に図2の場合で考えると、 $x = 0$ から $x = x_1$ までの間は「光での移動」となり、 $x = x_1$ から $x = w$ までの間は「キャリアでの移動」となる。

【0028】

ここで、 $x = 0$ から $x = w$ まで信号が移動する速度を考える。 $x = 0$ から $x = x_1$ までは、光であるので $v_c = 2.99979 \times 10^8$ [m/s] で移動する。それに対して $x = x_1$ から $x = w$ までは、電界によるドリフトによりキャリアが移動するので $v_{si} = \mu_n \times E$ で表わされる。ここで μ_n はキャリア (電子) の移動度 [m²/V·s] を表わし値は約0.15である (T = 300Kで10⁶ V/m以下の電界の場合)。Eは電界 [V/m] を表わす。ここでは、pin-PDの構造をしているため、i層の場所で電界 (E) の大きさが代わる事が無い。そのため、 v_{si} 値は一定となる。また、pin-PDの構造をしていない場合は、 v_{si} の値は一定にならないが、PD中のEの変化を考慮した数式により表現する事ができる。

【0029】

次に $x = 0$ から $x = w$ まで信号が移動する時間を考える。光がキャリアに代わる場所を x_1 とすると合計時間 $t(x_1)$ は以下の数式6に示すようになる。

【0030】

【数6】

$$t(x_1) = \frac{x_1}{v_c} + \frac{w - x_1}{v_{si}}$$

【0031】

ここで、 x_1 / v_c の項は $(w - x_1) / v_{si}$ の項と比べてとても小さくなるので、無視すると以下の数式7となる。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 2 】

【 数 7 】

$$t(x1) \doteq \frac{w - x1}{v_{Si}}$$

【 0 0 3 3 】

このように光吸収層での信号の伝達には吸収される場所 $x1$ が重要となる。吸収される場所が変化すると $t(x1)$ も変化する。例えば図 3、図 4 のように、吸収される場所 $x2$ 、 $x3$ のように吸収される場所が $x = w$ に近づくほど $t(x2)$ 、 $t(x3)$ は小さくなる。

10

【 0 0 3 4 】

次に「光がキャリアに代わる場所」と「波長」の関係を示す。フォトダイオードへ入射される光は、波長によって PD に吸収される場所が異なる。それはフォトダイオード中の光の減衰特性で表わされる。光はデバイスの中に入ると、デバイスに吸収されながら、自身の強度を弱めていく。この強度を弱めていく過程が光の減衰特性となる。この減衰特性は、入射光の波長ごとに決まっている。

【 0 0 3 5 】

この減衰特性は吸収係数 α の関数として以下の数式 8 で表わされる。ここで、数式 8 は x における光強度 $f(x)$ を示す。

20

【 0 0 3 6 】

【 数 8 】

$$f(x) = \phi \exp(-\alpha x)$$

【 0 0 3 7 】

ここで、吸収係数 α 、光強度 $f(0)$ ($x = 0$ での光強度) である。

30

【 0 0 3 8 】

ここで、キャリアの生成を考える。キャリアの数 (単位膜厚での値) $f_a(x)$ は光強度に比例するので各場所 (x) で以下の数式 9 のように表わされる。

【 0 0 3 9 】

【 数 9 】

$$f_a(x) = A\phi \exp(-\alpha x)$$

40

【 0 0 4 0 】

ここで A は単位膜厚での光電変換効率である。吸収係数 α は波長とともに変化する。吸収係数 α と波長の関係を図 5 に示す。波長とともに吸収係数 α は固有の値をとっている。このように、「光がキャリアに代わる場所」と「波長」の関係は数式 9 で表わされる。

【 0 0 4 1 】

そして、最後に「光の波長と電流検出の時間の関係」を示す。光がキャリアに代わる場所 $f_a(x)$ が数式 9 で表わされ、 x で発生したキャリアが $x = w$ まで移動するのに必要となる時間 $t(x)$ は数式 7 で表わされる。(数式 7 では $x = x1$ としている。)

【 0 0 4 2 】

数式 7 を変形すると、 x と t の関係は数式 10 のようになる。

50

【数 1 0】

$$x = -v_{Si} \times t + w$$

【0 0 4 3】

これを数式 9 に代入すると以下の数式 1 1 のようになり、これを整理すると以下の数式 1 2 のようになる。

【0 0 4 4】

【数 1 1】

10

$$fa(t) = A\phi \exp(-\alpha(-v_{Si} \times t + w))$$

【0 0 4 5】

【数 1 2】

$$fa(t) = A \times \exp(-\alpha \times w) \times \phi \exp(\alpha(v_{Si} \times t))$$

20

【0 0 4 6】

ここで、以下の数式 1 3 及び 1 4 とする。

【0 0 4 7】

【数 1 3】

$$Aa = A \times \exp(-\alpha \times w)$$

30

【0 0 4 8】

【数 1 4】

$$B = v_{Si}$$

【0 0 4 9】

このようにすると、以下の数式 1 5 が得られる。

【0 0 5 0】

【数 1 5】

40

$$fa(t) = Aa \times \phi \exp(B\alpha t)$$

【0 0 5 1】

電流 $I(t)$ を考える場合、数式 1 5 にキャリアの電荷量 q 、キャリアの移動速度 v_{Si} を乗算する必要があるので、以下の数式 1 6 が成立する。

【0 0 5 2】

【数 1 6】

$$I(t) = q \times v_{si} \times Aa \times \phi \exp(B\alpha t)$$

【0053】

ここで、以下の数式 17 とする。

【0054】

【数 1 7】

$$Ab = q \times v_{si} \times Aa$$

10

【0055】

すると、以下の数式 18 が成立する。

【0056】

【数 1 8】

$$I(t) = Ab \times \phi \exp(B\alpha t)$$

20

【0057】

したがって、電流 $I(t)$ は吸収係数の関数として表わされるのがわかる。吸収係数は波長により一意に決まる値であるので、「光の波長と電流検出の時間の関係」が数式 18 で表わされる。ここで「 Ab 」は光電変換効率となる。

【0058】

ここで、一度発生したキャリアの密度を変化させないために、光を入射しない状態を作る必要がある。具体的には、一瞬だけ光を入射させ、その後、一定期間は光を入射させないようにしなければならない。

30

【0059】

このように、光電流を測定することで、波長を導くことが可能となる。この考え方は、入射する波長数が増加した場合でも成り立つ。ここまでは、本願発明に相当する実施形態に係るものであり、上記の第 1 の方法と第 2 の方法で共通の内容となる。

【0060】

次に、第 1 の方法の内容に相当する実施例を説明する。ここで、「1つの波長の光が入ってきた場合」を考える。数式 18 では未知の値は「 ϕ 」と「 $B\alpha$ 」である。電流値 $I(t)$ を時間を変えて 2 回 (t_1 , t_2) 測定したときの電流値を $I(t_1)$, $I(t_2)$ とすると、数式 18 で未知の値である「 ϕ 」「 $B\alpha$ 」を求める事が出来る。以下に解を示す。

40

【0061】

$I(t_1)$, $I(t_2)$ の値は以下の数 19 及び 20 のようになる。

【0062】

【数 1 9】

$$I(t_1) = Ab \times \phi \exp(B\alpha t_1)$$

【0063】

【数 2 0】

$$I(t_2) = Ab \times \phi \exp(B\alpha t_2)$$

【0 0 6 4】

数式 1 9 より、以下の数式 2 1 が得られる。

【0 0 6 5】

【数 2 1】

10

$$\phi = \frac{1}{Ab} I(t_1) \exp(-B\alpha t_1)$$

【0 0 6 6】

これを数式 2 0 へ代入すると、以下の数式 2 2 が得られる。

【0 0 6 7】

【数 2 2】

20

$$I(t_2) = I(t_1) \exp(-B\alpha t_1) \times \exp(B\alpha t_2)$$

【0 0 6 8】

これを变形すると以下の数式 2 3 乃至 2 5 が得られる。

【0 0 6 9】

【数 2 3】

30

$$\exp(B\alpha t_2 - B\alpha t_1) = \frac{I(t_2)}{I(t_1)}$$

【0 0 7 0】

【数 2 4】

$$B\alpha(t_2 - t_1) = \ln \frac{I(t_2)}{I(t_1)}$$

40

【0 0 7 1】

【数 2 5】

$$\alpha = \frac{1}{B(t_2 - t_1)} \ln \frac{I(t_2)}{I(t_1)}$$

【0 0 7 2】

50

数式 2 5 を数式 2 1 に代入すると、以下の数式 2 7 が得られる。このように「 α 」「 ϕ 」は数式 1 9 と数式 2 0 を解くと数式 2 6 及び 2 7 で表される。これが、入射光の波長が「1 つの場合」の式となる。

【 0 0 7 3 】
【 数 2 6 】

$$\alpha = \frac{1}{B(t_2 - t_1)} \ln \frac{I(t_2)}{I(t_1)}$$

10

【 0 0 7 4 】
【 数 2 7 】

$$\phi = \frac{1}{Ab} I(t_1) \exp \left(-t_1 \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \right) \ln \frac{I(t_2)}{I(t_1)} \right)$$

20

【 0 0 7 5 】

このように、光電流を測定することで、波長を導くことが可能となる。この考え方は、入射する波長数が増加した場合でも成り立つ。

【 0 0 7 6 】

次に、「入射する波長数が 2 つの場合」を考える。以下に数式 2 8 ~ 3 1 を示す。ここで t_1 , t_2 , t_3 , t_4 は電流測定を行う時間である。

【 0 0 7 7 】
【 数 2 8 】

$$I(t_1) = Ab_1 \times \phi_1 \exp(B\alpha_1 t_1) + Ab_2 \times \phi_2 \exp(B\alpha_2 t_1)$$

30

【 0 0 7 8 】
【 数 2 9 】

$$I(t_2) = Ab_1 \times \phi_1 \exp(B\alpha_1 t_2) + Ab_2 \times \phi_2 \exp(B\alpha_2 t_2)$$

【 0 0 7 9 】
【 数 3 0 】

$$I(t_3) = Ab_1 \times \phi_1 \exp(B\alpha_1 t_3) + Ab_2 \times \phi_2 \exp(B\alpha_2 t_3)$$

40

【 0 0 8 0 】
【 数 3 1 】

$$I(t_4) = Ab_1 \times \phi_1 \exp(B\alpha_1 t_4) + Ab_2 \times \phi_2 \exp(B\alpha_2 t_4)$$

【 0 0 8 1 】

数値を置き換えて整理すると、 $C_1 = I(t_1)$ 、 $C_2 = I(t_2)$ 、 $C_3 = I(t_3)$ 、 $C_4 = I(t_4)$ 、 $D_1 = B t_1$ 、 $D_2 = B t_2$ 、 $D_3 = B t_3$ 、 $D_4 = B t_4$ 、 x

50

$x_1 = A b_1 \quad 1, x_2 = A b_2 \quad 2, y_1 = \quad 1, y_2 = \quad 2$ として、以下の数式 3 2 乃至 3 5 が成立する。

【 0 0 8 2 】

【 数 3 2 】

$$C1 = x1 \exp(D1 * y1) + x2 \exp(D1 * y2)$$

【 0 0 8 3 】

【 数 3 3 】

$$C2 = x1 \exp(D2 * y1) + x2 \exp(D2 * y2)$$

10

【 0 0 8 4 】

【 数 3 4 】

$$C3 = x1 \exp(D3 * y1) + x2 \exp(D3 * y2)$$

【 0 0 8 5 】

【 数 3 5 】

20

$$C4 = x1 \exp(D4 * y1) + x2 \exp(D4 * y2)$$

【 0 0 8 6 】

このように数式 3 2 乃至 3 5 として、4 つの未知数「 x_1, x_2, y_1, y_2 」があり、その方程式が 4 つある式を導く事ができるため、それぞれの未知数を明らかにすることが可能となる。

【 0 0 8 7 】

次に「 n 個の波長をもつ光が入射された場合」を考える。このとき、数式 1 8 は数式 3 6 のようになる。

【 0 0 8 8 】

【 数 3 6 】

$$I(t) = Ab1 \times \phi1 \exp(B\alpha1t) + Ab2 \times \phi2 \exp(B\alpha2t) + \dots + Abn \times \phi n \exp(B\alpha n t)$$

30

【 0 0 8 9 】

この場合は、未知数の数が「 $A b_1 \times \quad 1$ から $A b_n \times \quad n$ 」の n 個と「 $\quad 1$ から $\quad n$ 」の n 個となり、 $2 n$ 個の未知数がある。これらの $2 n$ の未知数の解は、電流値 $I(t)$ を時間を変えて $2 n$ 回 ($t_1, t_2, \dots, t_{2 n - 1}, t_{2 n}$) 測定し、上記と同様に $2 n$ 個の連立方程式を立てる事で、導く事ができる。

40

【 0 0 9 0 】

数値を置き換えて整理すると、 $C1 = I(t_1), C2 = I(t_2), C3 = I(t_3), C4 = I(t_4), \dots, Cn = I(t_n), \dots, C_{2 n} = I(t_{2 n}), D1 = B t_1, D2 = B t_2, D3 = B t_3, D4 = B t_4, \dots, Dn = B t_n, \dots, D_{2 n} = I(t_{2 n}), x_1 = A b_1 \quad 1, x_2 = A b_2 \quad 2, \dots, x_n = A b_n \quad n, y_1 = \quad 1, y_2 = \quad 2, \dots, y_n = \quad n$ として、最初の 4 つの式は以下の数式 3 7 乃至 4 0 のようになり、数式 4 1 を含み、数式 4 2 までの全体として $2 n$ 個の式が得られる。

【 0 0 9 1 】

50

【数 3 7】

$$C1 = x1 \exp(D1 * y1) + x2 \exp(D1 * y2) + \dots + xn \exp(D1 * yn)$$

【0 0 9 2】

【数 3 8】

$$C2 = x1 \exp(D2 * y1) + x2 \exp(D2 * y2) + \dots + xn \exp(D2 * yn)$$

10

【0 0 9 3】

【数 3 9】

$$C3 = x1 \exp(D3 * y1) + x2 \exp(D3 * y2) + \dots + xn \exp(D3 * yn)$$

【0 0 9 4】

【数 4 0】

$$C4 = x1 \exp(D4 * y1) + x2 \exp(D4 * y2) + \dots + xn \exp(D4 * yn)$$

20

【0 0 9 5】

【数 4 1】

$$Cn = x1 \exp(Dn * y1) + x2 \exp(Dn * y2) + \dots + xn \exp(Dn * yn)$$

【0 0 9 6】

【数 4 2】

30

$$C2n = x1 \exp(D2 * y1) + x2 \exp(D2 * y2) + \dots + xn \exp(D2n * yn)$$

【0 0 9 7】

以上が第 1 の方法の内容に対応する実施例である。ここで、これまでの記述は、上記シャッターが「閉じた状態」から「開いた状態」に変化した場合を想定している。しかし、上記シャッターが「開いた状態」から「閉じた状態」に変化した場合でも同様の原理が利用できる。また、それ以外にも、光に対する応答の過渡応答が得られる環境であれば、同様の原理が利用できる。この点は以下の第 2 の方法についても同様であり、本願発明の全

40

【0 0 9 8】

次に、以下に第 2 の方法の内容に相当する実施例を説明する。

【0 0 9 9】

この実施例では上記第 1 の方法で示した内容に相当する実施例と異なる方法で、「入射光の波長」「光量」を求める。以下に、図 6 を用いて吸収係数 および光強度 を電流値 $I(t)$ から求める方法を説明する。まず図 6 (a) から図 6 (d) の説明を行う。

【0 1 0 0】

図 6 (a) は、pin 型 PD に電圧 V (逆バイアス) を印加した状態で、1 波長の光 (photon) が入射 (一瞬だけ) した時の、電流 $I(t)$ を測定しているイメージである。図

50

6 (b) は、光の強度が p 層と i 層の界面の場所で の値を取る時の、 x に対する光強度の減衰 (光の吸収) の仕方を表したイメージである。この光強度の減衰の仕方は吸収係数により表す事ができる。ここで、 x は距離を示しており、 p 層と i 層の界面を x = 0 とし n 層に向かって x は増加し、そして i 層と n 層の界面を x = W とする値である。この減衰を表す関数 f (x) は $e^{-\alpha x}$ で表わされる。

【 0 1 0 1 】

図 6 (c) は、図 6 (a) に示す電流計で図 6 (b) のような光の吸収を行った場合の、光電流値 (I (t)) の変化 (光入射直後の過渡特性) を示した図である。また t に対する値は $B \exp(-Bt)$ となる。図 6 (d) は、図 6 (c) で示した光電流値を微分するイメージである。微小電流変化 d I (t) を微小時間 d t で割る事で微分を行う。

10

【 0 1 0 2 】

数式 1 8 に示した光電流 I (t) の式は を含む関数である。この の値は図 5 に示したように入射光波長毎に固有の値を持つ。そのため の値を求める事で入射光波長を求める事が出来る。

【 0 1 0 3 】

「入射光が 1 波長の場合」を考える。このときの吸収係数、光強度 の求め方を次に示す。図 6 (b) に入射光の P D 中での強度の変化 f (x) を示している。数式で表すと数式 8 のようになる。また図 6 (c) は、その際に流れる過渡状態での電流 I (t) を示している。数式で表すと数式 1 8 のようになる。吸収係数 を数式 1 8 より求める。そのために数式 1 8 を微分すると数式 4 3 の様になる。数式 4 3 に対して数式 1 8 に B を掛けた値で割り算すると数式 4 4 のようになる。この数式 4 4 にあるように、電流値「 I (t) 」と、その電流値の微分値「 d I (t) / d t 」を測定する事で、吸収係数「 α 」を求める事ができる。ここで $B = v_{s,i}$ (数式 1 4) である。

20

【 0 1 0 4 】

【数 4 3】

$$\frac{dI(t)}{dt} = \alpha \times B \times Ab \times \phi \exp(B\alpha t)$$

30

【 0 1 0 5 】

【数 4 4】

$$\alpha = \frac{\frac{dI(t)}{dt}}{B \times I(t)}$$

【 0 1 0 6 】

また $v_{s,i}$ は上で述べたように μ_n と E を乗じた値であるため、デバイスに印加する電圧 V と、デバイスの空乏層幅 (i 層の膜厚)、そしてデバイス材料が決まれば求められる。また、数式 1 8 の値 (I (t)) は図 6 (a) の測定系により求める事が可能である。

40

【 0 1 0 7 】

次に、「 α 」をもとめるために数式 4 3 を $Ab \times \exp(Bt)$ で割る。また「 ϕ 」の値は数式 4 4 より求められている。「 α 」を求める数式は数式 4 5 の様になる。ここで Ab の値は数式 1 7 より求められる。この Ab の値は「 α 」の値を用いる必要があるが、数式 4 4 で求めた値を用いる。

【 0 1 0 8 】

【数 4 5】

$$\phi = \frac{I(t)}{Ab \times \exp(B\alpha t)}$$

【0109】

このように1波長の光の場合、「 I_1 」、「 I_2 」（ I ：光強度）は数式44及び45により求める事が出来る。これにより「 λ_1 」：「 λ_2 」に対応した波長」と「 I_1 」：「 I_2 」：その波長での光強度」が導き出される。

10

【0110】

次に、「2波長の光が入射した場合」を考える。図7(a)は、pin型PDに電圧V（逆バイアス）を印加した状態で、2波長の光（photon）が入射した時の、電流I(t)を測定しているイメージである。図7(b)は、光の強度がp層とi層の界面の場所（ $x = 0$ ）で、 I_1 、 I_2 の値を取る時の、 x に対する光強度の減衰（光の吸収）の仕方を表したイメージである。ここで、 λ_1 に対応する光波長の方が λ_2 に対応する光波長より短いとする。この光強度の減衰の仕方は吸収係数 α_1 、 α_2 により表す事ができる。ここで、 x は距離を示しており、p層とi層の界面を $x = 0$ としn層に向かって増加しi層とn層の界面を $x = W$ とする値である。この減衰を表す関数 $f_1(x)$ は数式8と同様に数式4

20

【0111】

【数 4 6】

$$f_1(x) = \phi_1 \exp(-\alpha_1 x)$$

【0112】

また、この減衰を表す関数 $f_2(x)$ も同様に数式47に示される。

【0113】

【数 4 7】

30

$$f_2(x) = \phi_2 \exp(-\alpha_2 x)$$

【0114】

図7(c)は、図7(a)に示す電流計で図7(b)のような光の吸収を行った場合の、光電流値（I(t)）の変化（光入射直後の微小時間）を示した図である。I(t)の値は $I_1(t)$ と $I_2(t)$ の合計である。 $I_1(t)$ の値は数式18と同様に数式48

40

【0115】

【数 4 8】

$$I_1(t) = Ab_1 \times \phi_1 \exp(B\alpha_1 t)$$

【0116】

$I_2(t)$ の値も同様に数式49に示される。

50

【 0 1 1 7 】

【 数 4 9 】

$$I2(t) = Ab2 \times \phi2 \exp(B\alpha2t)$$

【 0 1 1 8 】

ここで、Bの値は波長が変わっても同じ値をとる。また、Abの値は波長が変わると変化するためAb1とAb2のように違う値をとる。数式18と同様に光電流I1(t)は1を含む関数となる。また、光電流I2(t)は2を含む関数となる。この1、2の値は図5に示したように入射光波長毎に固有の値を持つ。そのため1の値を求める事で入射光波長を求める事が出来る。

10

【 0 1 1 9 】

図7(d)は、図7(c)で示した光電流値を微分するイメージである。微分を行う時間(t1の時間)には、条件がある。1つ目の微分d(I(t1))/dt1を行う時間t1では、図7(c)のI2(t1)が十分小さい必要がある。入射光が2波長の場合の吸収係数1、2、光強度1、2の求め方を次に示す。

【 0 1 2 0 】

図7(b)に入射光のPD中での強度の変化f1(x)、f2(x)を示している。また図7(c)は、その際に流れる過渡状態での電流I(t)を示している。数式で表すと数式50のようになる。

20

【 0 1 2 1 】

【 数 5 0 】

$$I(t) = I1(t) + I2(t)$$

【 0 1 2 2 】

ここで、上で示した条件を考える。時間t1ではI2(t1)の影響を受けない時間に設定される。例えば、1 < 2や1 > 2であることなどによりI1(t1) >> I2(t1)である時間t1を選定する。そのためI(t1)を考えたときI2(t1)は十分小さい。このとき、I(t1)は数式51で表わされる。

30

【 0 1 2 3 】

【 数 5 1 】

$$I(t1) = I1(t1)$$

40

【 0 1 2 4 】

数式51に数式48を代入すると次の数式52が得られる。

【 0 1 2 5 】

【 数 5 2 】

$$I1(t1) = Ab1 \times \phi1 \exp(B\alpha1t1)$$

50

【 0 1 2 6 】

また、 $I(t_2)$ は数式 5 3 で表わされる。

【 0 1 2 7 】

【 数 5 3 】

$$I_2(t_2) = A b_2 \times \phi_2 \exp(B \alpha_2 t_2)$$

【 0 1 2 8 】

ここから、2つの吸収係数 (α_1 と α_2) を求める方法を説明する。まず、吸収係数 α_1 を数式 5 2 より求める。そのために数式 5 2 を微分すると数式 5 4 の様になる。

10

【 0 1 2 9 】

【 数 5 4 】

$$\frac{dI_1(t)}{dt} = B \alpha_1 \times A b_1 \times \phi_1 \exp(B \alpha_1 t_1)$$

【 0 1 3 0 】

数式 5 4 に対して数式 5 2 に B を掛けた値で割り算すると数式 5 5 のようになり、吸収係数 α_1 を求める事ができる。

20

【 0 1 3 1 】

【 数 5 5 】

$$\alpha_1 = \frac{\frac{dI_1(t_1)}{dt}}{B \times I_1(t_1)}$$

【 0 1 3 2 】

ここで数式 5 2 の値は図 7 (a) の測定系により求める事が可能である。また、 α_1 をもとめるために数式 5 2 を $A b_1 \cdot \exp(B \alpha_1 t_1)$ で割る。また α_1 の値は数式 5 5 より求められている。 ϕ_1 を求める式は数式 5 6 の様になる。

30

【 0 1 3 3 】

【 数 5 6 】

$$\phi_1 = \frac{I(t_1)}{A b_1 \times \exp(B \alpha_1 t)}$$

【 0 1 3 4 】

次に吸収係数 α_2 を数式 4 9 より求める。さて、数式 4 9 に数式 5 2 を応用すると、数式 5 7 のようになる。

40

【 0 1 3 5 】

【 数 5 7 】

$$I(t_2) = I_1(t_2) + A b_2 \phi_2 \exp(B \alpha_2 t_2)$$

【 0 1 3 6 】

50

また、数式 5 7 を時間 t_2 で微分すると数式 5 8 の様になる。

【 0 1 3 7 】

【数 5 8】

$$\frac{dI(t_2)}{dt} = B\alpha_1 \times Ab_1 \times \phi_1 \exp(B\alpha_1 t_2) + B\alpha_2 \times Ab_2 \times \phi_2 \exp(B\alpha_2 t_2)$$

【 0 1 3 8 】

数式 5 8 に数式 5 2 を応用すると数式 5 9 の様になる。

【 0 1 3 9 】

【数 5 9】

$$\frac{dI(t_2)}{dt} = B\alpha_1 \times I_1(t_2) + B\alpha_2 \times Ab_2 \times \phi_2 \exp(B\alpha_2 t_2)$$

【 0 1 4 0 】

ここで数式 5 7 と数式 5 8、また数式 5 2 と数式 5 4、 B の値を用いることで、数式 6 0 のように α_2 を求めることができる。

【 0 1 4 1 】

【数 6 0】

$$\alpha_2 = \frac{\frac{dI(t_2)}{dt} - \frac{dI_1(t_2)}{dt}}{B \times I(t_2) - B \times I_1(t_2)}$$

【 0 1 4 2 】

ここで、数式 5 2 と数式 5 4 に対応する値は、数式 5 5 で求めた I_1 を用いる事で、計算により導かれる。そのため、数式 5 7 と数式 5 8 に対応する $I(t_2)$ と $dI(t_2)/dt$ を測定することにより、 α_2 が求められる。また、 α_2 を求めるために、数式 5 7 と数式 5 2、 B 、 α_2 、 Ab_2 を用いることで、数式 6 1 のように ϕ_2 を求めることができる。

【 0 1 4 3 】

【数 6 1】

$$\phi_2 = \frac{I(t_2) - I_1(t_2)}{Ab_2 \times \exp(B\alpha_2 t_2)}$$

【 0 1 4 4 】

ここで、 α_2 の値は数式 6 0 で求められた値を用いる。また、数式 5 7 に対応する $I(t_2)$ は測定により求められ、数式 5 2 に対する値は、数式 5 5 で求めた I_1 及び数式 5 6 で求めた I_2 を用いる事で計算により求められる。このように 2 波長の光の場合、 I_1 、 I_2 (I_1 : 光強度) は数式 5 5、数式 5 6 より求める事が出来る。また I_2 、 I_2 (I_2 : 光強度) は数式 6 0、数式 6 1 により求める事が出来る。これにより 2 つの波長に対応した「 λ_1 : に対応した波長」と「 I_1 : その波長での光強度」が導き出される。

【 0 1 4 5 】

次に、「 n 波長の光が入射した場合」を考える。 n 波長の光の場合に関係する n 、 n を導く式を以下に導出する。 n 波長の光の場合も 2 波長の場合と同様の手順を用いる。

10

20

30

40

50

測定値 $I(t_1)$ とその微分 $dI(t_1)/dt$ から I_1 、 α_1 を求める。この結果 (I_1 、 α_1) と測定値 $I(t_2)$ とその微分 $dI(t_2)/dt$ の値から I_2 、 α_2 を求める。最終的に I_n 、 α_n の値は、 I_1 、 $I_2 \cdots I_{n-1}$ の値と、 α_1 、 α_2 、 \cdots 、 α_{n-1} の値と測定値 $I(t_n)$ とその微分 $dI(t_n)/dt$ の値から求められる。ここで、 A_{bn} 、 B も同様である。数式 6 2 の値は、数式 6 2 のように表される。

【0146】

【数62】

$$I(t_n) = I_1(t_n) + I_2(t_n) + \cdots + I_n(t_n) \quad 10$$

【0147】

また $I_x(t_n)$ の値は、数式 6 3 のように x 、 α_x の値より求められる。

【0148】

【数63】

$$I_x(t) = A_{bx} \times \phi_x \exp(B\alpha_x t) \quad 20$$

【0149】

ここで x は $0 < x < n$ の整数である。また、 x に対応する光波長は $x+1$ に対応する光波長より短いとする。また、時間 t_x の設定には条件があるため注意しなければならない。時間 t_x は $I_{x+1}(t)$ の影響を受けない時間に設定する必要がある。ここで、 $I_1(t_n)$ は光強度 I_1 、吸収係数 α_1 をもつ光に対応する時間 t_n における光電流となる。また $I_2(t_n)$ は光強度 I_2 、吸収係数 α_2 をもつ光に対応する時間 t_n における光電流となる。また $I_n(t_n)$ は光強度 I_n 、吸収係数 α_n をもつ光に対応する時間 t_n における光電流となる。数式 6 4 より α_n を求める事ができる。

30

【0150】

【数64】

$$\alpha_n = \frac{\frac{dI(t_n)}{dt_n} - \frac{dI_{n-1}(t_n)}{dt_n} - \frac{dI_{n-2}(t_n)}{dt_n} - \cdots - \frac{dI_2(t_n)}{dt_n} - \frac{dI_1(t_n)}{dt_n}}{BI(t_n) - BI_{n-1}(t_n) - BI_{n-2}(t_n) - \cdots - BI_2(t_n) - BI_1(t_n)}$$

【0151】

また、数式 6 5 より ϕ_n を求める事ができる。

40

【0152】

【数65】

$$\phi_n = \frac{I(t_n) - I_{n-1}(t_n) - I_{n-2}(t_n) - \cdots - I_2(t_n) - I_1(t_n)}{A_{bn} \exp(B\alpha_n t_n)}$$

【0153】

これらより n 個の波長に対応した「 λ_n : に対応した波長」と「 I_n : その波長での光強度」が導き出される。以上が第 2 の方法の内容に相当する実施例である。

【0154】

50

(応用例)

発明は、PD及びその電流を検知できる回路であれば用いることができる。応用例の一つとして、図8にイメージセンサに応用した場合の例を示す。図8はイメージセンサの1ピクセルの出力部に微分回路を付け加えた例である。1ピクセルの構造にはAPS (active pixel sensor) 構造を用いている。APS構造はNチャンネルMOSFET 6, 7, 8の素子およびPD (フォトダイオード) 13から出来上がる。また、微分回路にはコンデンサ12, 抵抗11の素子および増幅器14から出来上がる。また、APS構造からの出力と微分回路からの出力を分けて取得するために、NチャンネルMOSFET 9, 10の素子を用いて選択できるような構造としてある。イメージセンサの出力は、信号を蓄積して読み出す方法をとる。このような場合でもイメージセンサにはPD 13が備わっているため、応用することが可能である。また、この例では微分回路を用いているが、光信号の値を検知することができれば、PC (パーソナルコンピュータ) 等で微分等の演算をすることができるため、微分回路がなくても利用できる。

10

【0155】

以上本発明につき、好適な実施例を挙げて種々説明したが、本発明はこの実施例に限定されるものではなく、発明の精神を逸脱しない範囲内で多くの改変を施し得るのももちろんである。例えば、上述の実施例では、光電流の過渡応答 $I(t)$ から吸収係数 () 及び波長スペクトル () を共に求めているが、吸収係数 () を予め測定する方法により予め既知の値として利用することで、波長スペクトル () を求めるようにしてもよい。

20

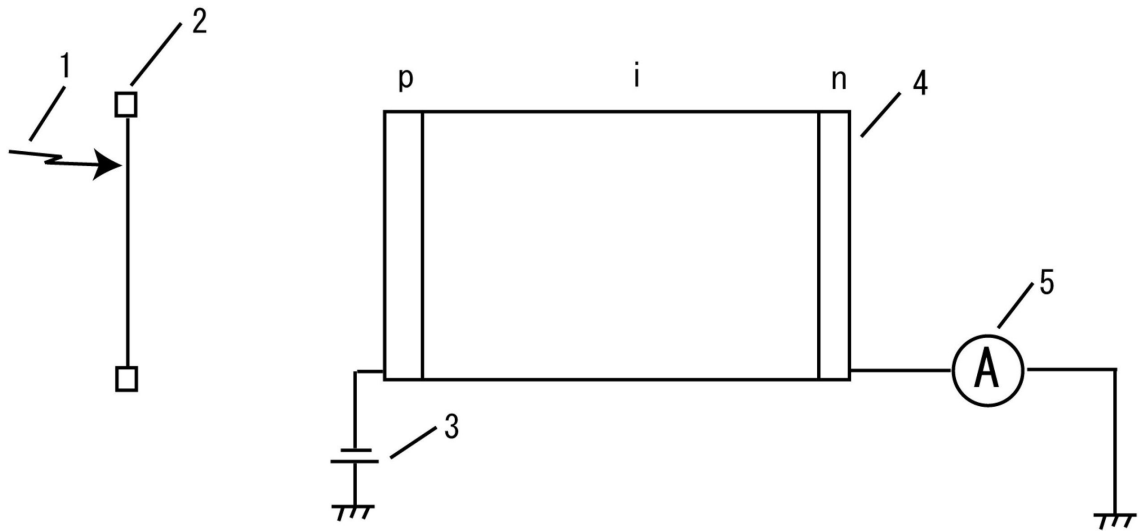
【符号の説明】

【0156】

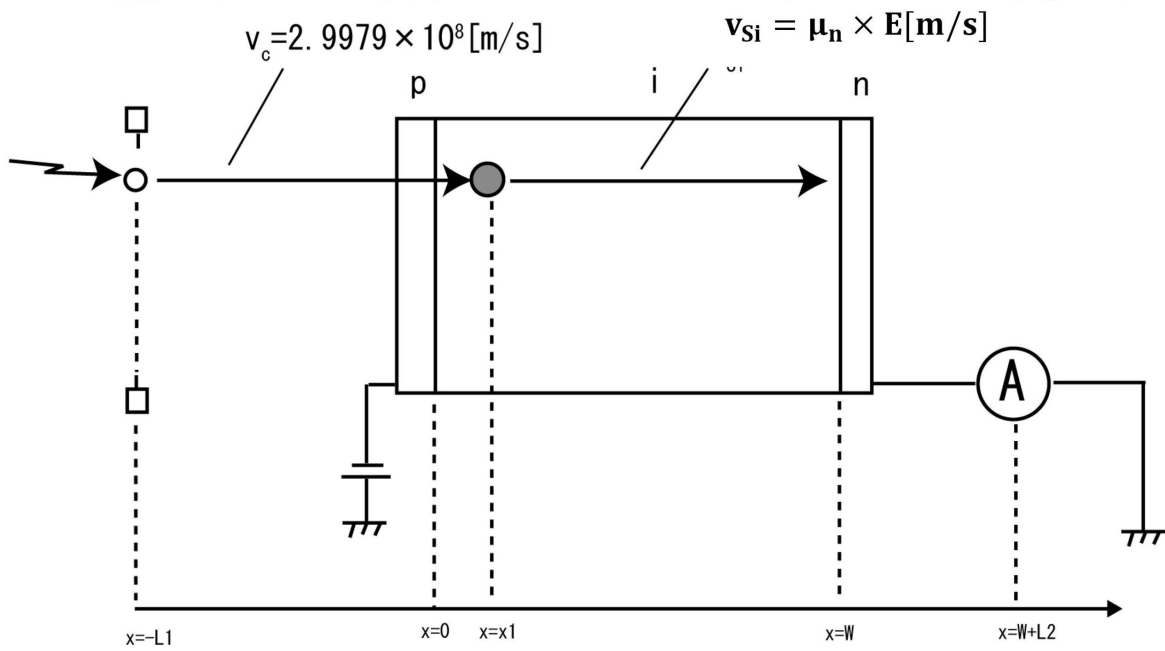
- 1 . 入射光
- 2 . シャッター
- 3 . PDへの印加電圧
- 4 . pin - PD
- 5 . 電流計
- 6 , 7 , 8 , 9 , 10 NチャンネルMOSFET
- 11 . 抵抗
- 12 . コンデンサ
- 13 . PD
- 14 . 増幅器

30

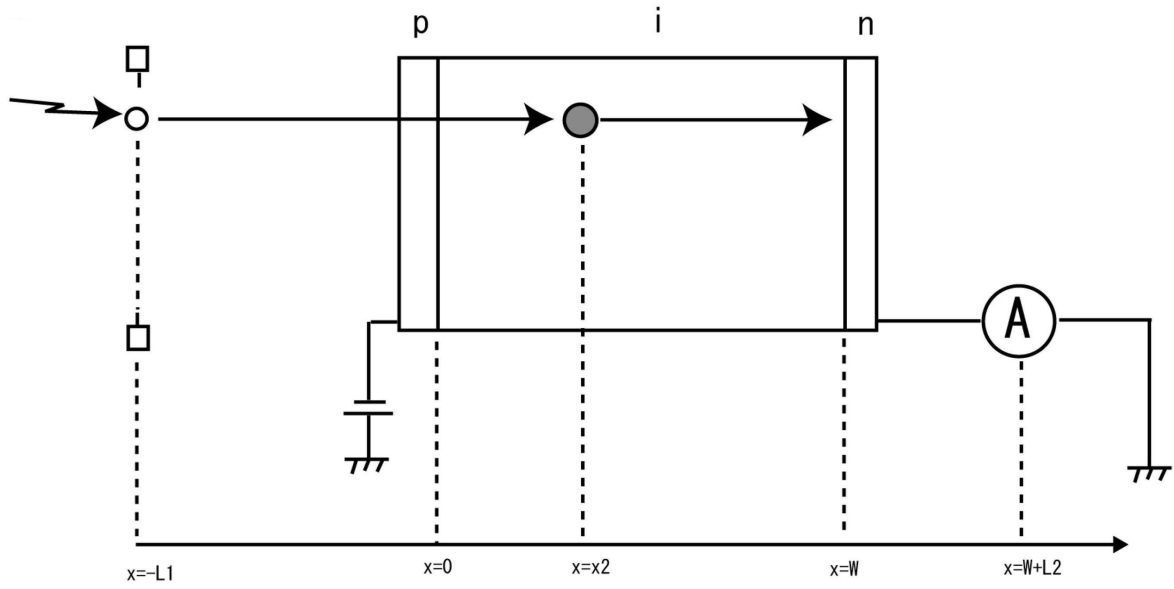
【 図 1 】



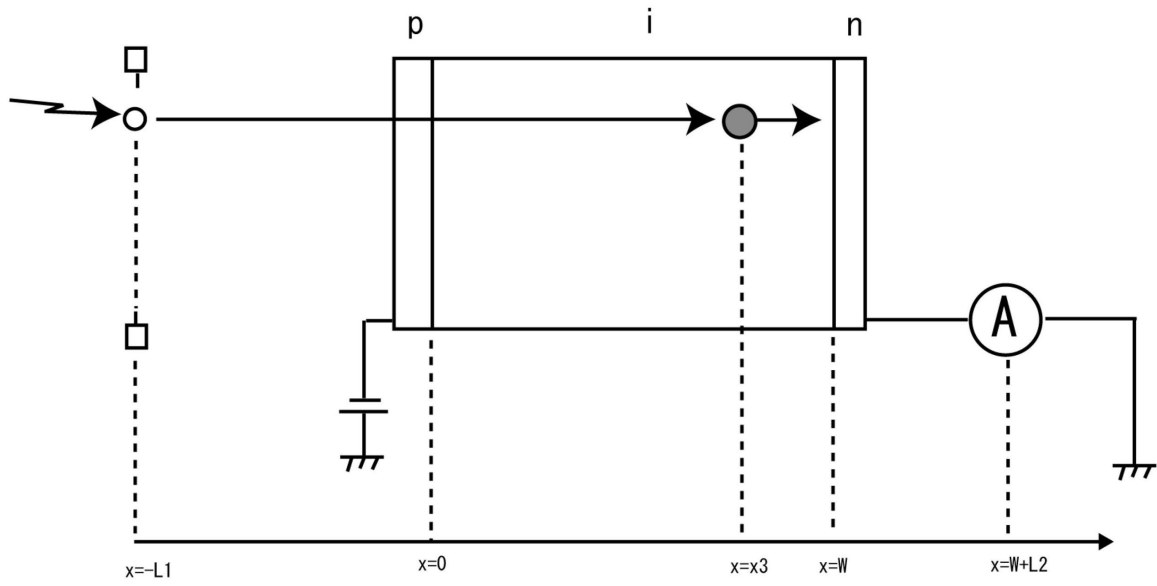
【 図 2 】



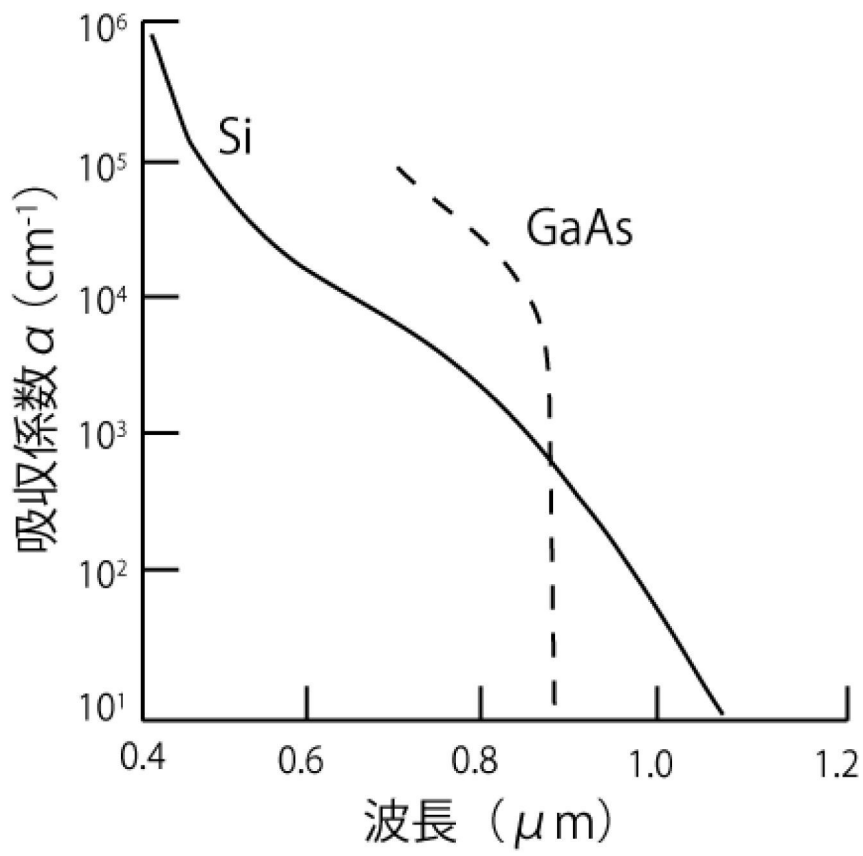
【 図 3 】



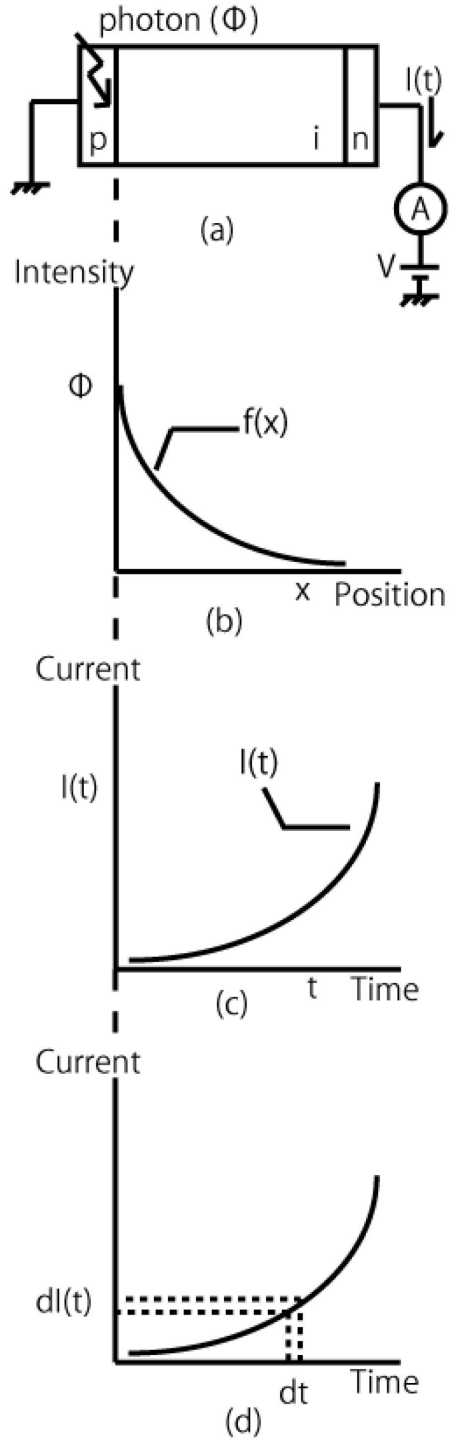
【 図 4 】



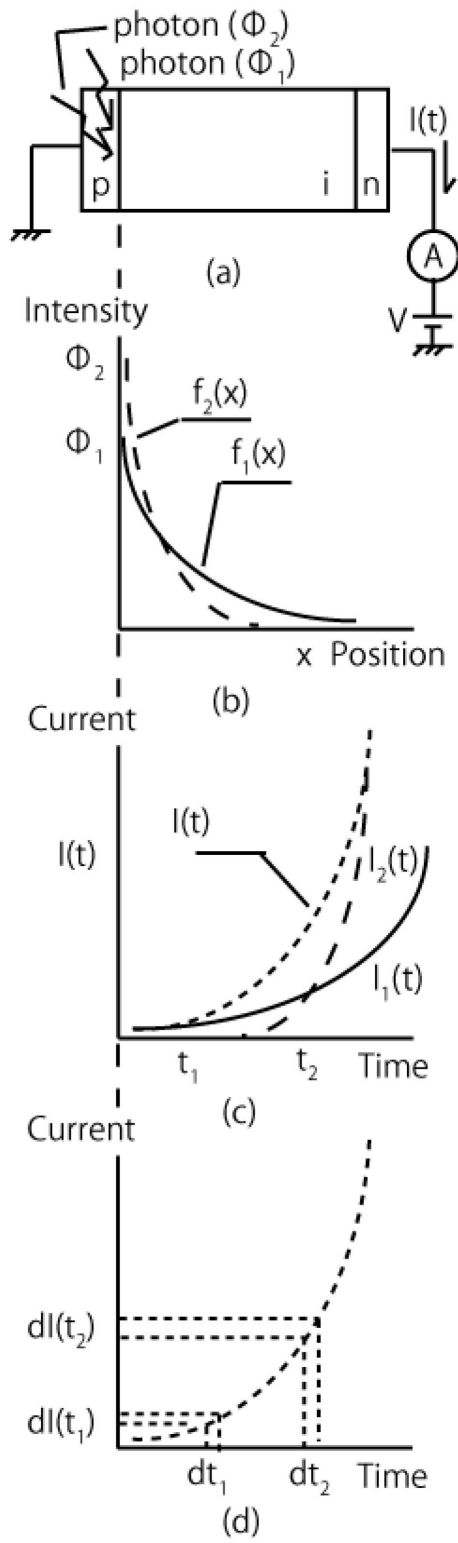
【 図 5 】



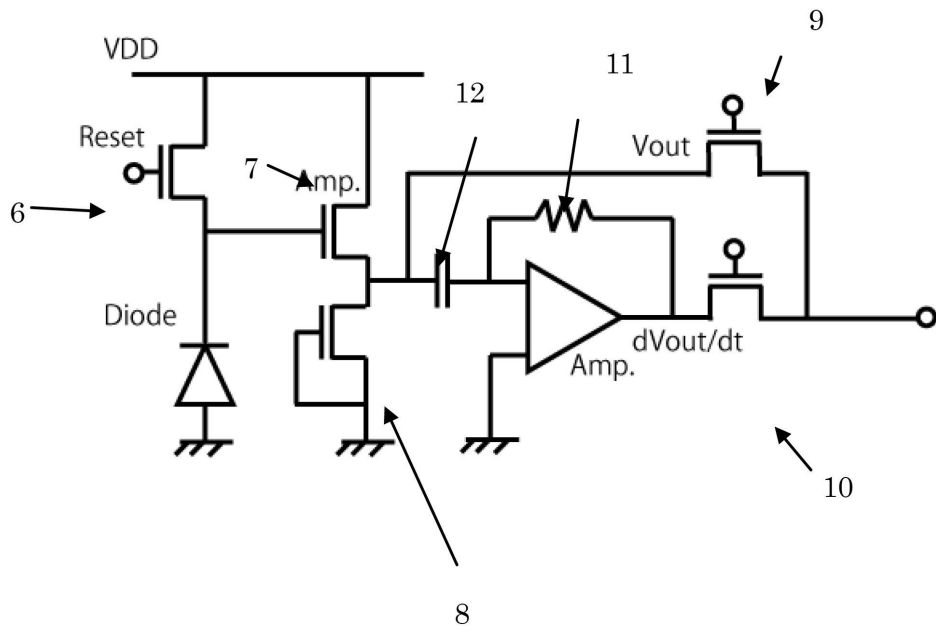
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭61-277024(JP,A)
特開2005-010114(JP,A)
特開2008-241578(JP,A)
特開2010-223646(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01J3/00-3/52
G01J9/00-9/04
JSTPlus(JDreamIII)