

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012 年 8 月 23 日(23.08.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/111093 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 21/64 (2006.01) *H01L 21/66* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/053154
- (22) 国際出願日: 2011 年 2 月 15 日(15.02.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 有限会社ワイ・システムズ (YSystems Ltd.) [JP/JP]; 〒7710134 徳島県徳島市川内町平石住吉 2 0 9 - 5 徳島健康科学総合センター Tokushima (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): イーヴ ラクロワ (Yves Lacroix) [CA/JP]; 〒7700912 徳島県徳島市東新町 2 丁目 3 8 の 1 アルファステイツ新町 1 5 0 2 号室 Tokushima (JP).
- (74) 代理人: 野▲崎▼ 照夫, 外 (NOZAKI, Teruo et al.); 〒1700013 東京都豊島区東池袋 1 - 2 1 - 1 オーク池袋ビルディング 3 F Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,

BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

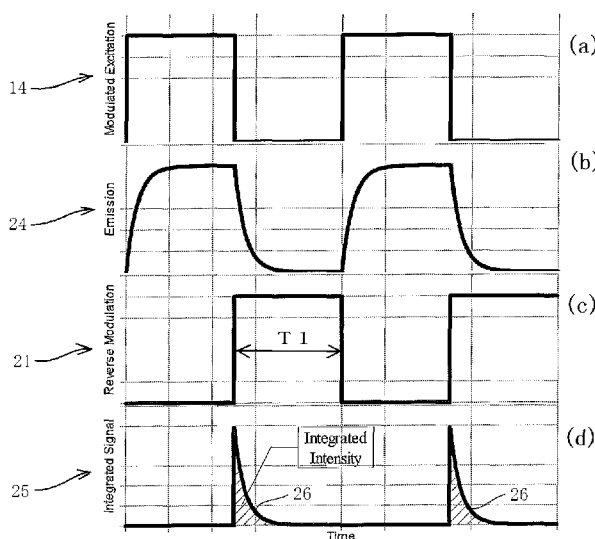
- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
- 補正された請求の範囲 (条約第 19 条(1))

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING CARRIER LIFETIME

(54) 発明の名称: キャリア寿命の測定方法および測定装置

[図5]

Fig. 5



(57) Abstract: [Problem] To provide a method and device for measuring carrier lifetime with which the lifetime of a carrier in a sample such as a semiconductor can be measured. [Solution] Continuous light emitted by an emission laser is modulated by a modulator on the excitation side, and excitation light (14), the intensity of which changes to a rectangular pulse, is generated and fed to a semiconductor material. A carrier in a semiconductor is excited, and luminescence (24) generated by recombination is modulated by a modulator on the light-receiving side, and an attenuated ray (26) generated after an excitation period is separated from the light generated in the excitation period. This attenuated ray (26) includes information on the lifetime of the carrier in a sample. Since the attenuated ray (26) is fine light obtained in a very short time, multiple attenuated light rays (26) accumulate and are detected within the exposure time of a CCD element. The carrier lifetime can be identified by the intensity of this detected light.

(57) 要約: 【課題】 半導体などの材料内のキャリア寿命を測定することができるキャリア寿命の測定方法および測定装置を提供する。【解決手段】 発光レーザで発せられる連続光が励起側の変調装置で変調され、その強度が矩形波状に変化する励起光 14 が生成されて半導体材料に与えられる。半導体内のキャリアが励起され再結合により発せられるルミネッセンス光 24

が、受光側の変調装置で変調され、励起時間に発せられる光から、励起時間の後に発生する減衰光 26 が分離される。この減衰光 26 は材料内のキャリア寿命の情報を含むものである。減衰光 26 はきわめて短い時間に得られる微細な光であるため、CCD素子の露光時間内に、複数の減衰光 26 を蓄積して検知する。この検知光の強度によってキャリア寿命を知ることが可能になる。

明 細 書

発明の名称： キャリア寿命の測定方法および測定装置

技術分野

[0001] 本発明は、材料に励起を与えたときに発せられる光（ルミネッセンス）を取得して、材料内のキャリア寿命を測定することができる測定方法および測定装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体やその他の材料分野において、材料からの発光（ルミネッセンス光）を測定し、分析し、材料中の不純物濃度や結晶欠陥の性質やその分布を評価することによって、材料の分析や改善を行うことが広く行われてきた。

[0003] ルミネッセンス光を得る手段としては、キャリア（電子やホール）を材料に電氣的に注入して、注入された電子とホールが再結合する過程の発光を観察するエレクトロルミネッセンス法や、レーザーなどからの光によって電子を励起するフォトルミネッセンス法がある。

[0004] 注入された電子や励起された電子はある確率と時間でホールと結合する際に発光して消滅してゆく。この消滅までの平均的な時間をキャリア寿命と呼ぶ。ルミネッセンス光の特性（発光波長、発光強度、キャリア寿命など）は結晶中の結晶欠陥や不純物の種類や濃度に依存しており、ルミネッセンス光により材料の状態を調べることができる。

[0005] 一方、近年急速に普及が進んでいるシリコンを用いた太陽電池においては、発電効率などの性能向上、品質の安定化や製造コストの低減、大型化などが求められている。これらの要求に応えるには、高品質で大面積のシリコン結晶を高スループット（製造速度）で製造することが重要となる。

[0006] 高品質の太陽電池用の結晶としては欠陥が少ないことが重要である。種々の欠陥により太陽からの光エネルギーが吸収され電気エネルギーに変換されないことになる。つまり、せっかく発生した電気エネルギーも欠陥に捉えられて熱に変換されたり再発光してしまい、電気エネルギーとして取り出せない

いことになる。半導体の中で発生する電気エネルギーとは、光で励起された励起電子（キャリア）を意味する。これまで説明したように、エレクトロルミネッセンス法やフォトルミネッセンス法によって得られる情報は励起電子に関係しており、太陽電池の動作機構に関連が深いものとなる。特にキャリア寿命は、結晶中の欠陥や不純物の種類や濃度によって大きく影響を受ける。

[0007] 以下の特許文献1には半導体の検査方法と検査装置が開示されている。この文献に記載された方法は、高速動作を実現しているものの、キャリア寿命を評価しておらず単にバイアス状態でのルミネッセンス光の強度分布を比較しているのみである。この方法は、ウェハ上の電極にバイアスを印加しながらルミネッセンス評価をしているので、配線を必要とするとともに接触評価になるので非接触で検査を行うことができず、製造中のウェハを汚してしまう懸念がある。

[0008] また、他の従来例として、特許文献2に記載されているように、時間相関単一光子計数法やストリークカメラ法によって材料のキャリア寿命を求める方法がある。時間相関単一光子計数法は、単一光子について減衰する波形を直接測定する方法であるが、ヒストグラム作成に長い時間を必要とするのでウェハの複数点を計測するのは困難である。また、ストリークカメラ法は、非常に高価である。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：WO 2007／128060 A1 公報

特許文献2：特開 2008－170257 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] これまで述べたように、従来技術においてルミネッセンスを高速に評価する方法を実現した例があるものの、キャリア寿命は測定できてはおらず、キ

キャリア寿命から算出される欠陥の種類や濃度、などを評価できていないのが現状である。また、従来のキャリア寿命評価を行う方法では、計測装置が非常に高価であり、測定にも時間がかかるため測定コストがかかるほか、マップ測定などのような多数点の測定を行って測定データ分布を得ることができなかった。

[0011] 本発明は、材料に接触することなく、材料から発せられる光を観察する方法を工夫することで、エネルギーキャリアの寿命に関する情報を低コスト、高速で得ることができるキャリア寿命の測定方法および測定装置提供することを目的としている。

[0012] また、本発明は、半導体などの材料内のキャリア寿命の分布を求めることが可能なキャリア寿命の測定方法および測定装置を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0013] 本発明のキャリア寿命の測定方法は、材料に励起を与え、材料から発せられる光を検知する測定方法において、

励起時間が間隔を空けて繰り返されるように、材料に励起を与え、

複数の励起時間を含む長さの測定時間内に、材料から励起時間に発せられる光と励起時間の終末に続いて発せられる減衰光とを分離し、

前記測定時間内に、分離された複数の前記減衰光を蓄積して検知し、蓄積された検知光の強度に基づいてキャリアの寿命を測定することを特徴とするものである。

[0014] 本発明のキャリア寿命の測定方法は、材料から発せられる光を励起時間の終末と同時またはそれ以後に取得することで、励起時間に発せられる光から減衰光を分離する。または、材料から発せられる光を励起時間の途中から取得することで、励起時間に発せられる光と、前記光の一部および減衰光とを分離する。

[0015] 本発明のキャリア寿命の測定方法は、励起源から発せられる励起を励起側の変調装置に通過させて、励起時間が間隔を空けて繰り返されるように、材

料に励起を与えるものである。あるいは、励起源から励起を断続的に発生させて、励起時間が間隔を空けて繰り返されるように、材料に励起を与えるものである。

[0016] 本発明のキャリア寿命の測定方法は、材料から発せられる光を受光側の変調装置に通過させて、励起時間に発せられる光から減衰光を分離し、測定時間に相当する露光時間を有する受光装置によって、複数の減衰光を蓄積して検知するものである。または、材料から発せられる光を間欠的に受光できる受光装置を用いて、励起時間に発せられる光から減衰光を分離するとともに、測定時間内に複数の減衰光を蓄積して検知するものである。

[0017] 本発明のキャリア寿命の測定方法は、前記受光装置が、複数の受光素子が配列したものであり、それぞれの受光素子で複数の減衰光を蓄積して検知するものである。例えば、複数の受光素子が二次元的に配列した受光装置を使用し、材料の一定の面積の領域から発せられた減衰光をそれぞれの受光素子で同時に取得し、前記領域内における位置とキャリア寿命に関する情報を得ることが可能である。あるいは、複数の受光素子が列を成して配列した受光装置を使用し、複数の受光素子によって材料から発せられる減衰光を同時に取得し、この取得ラインを移動させて、材料の一定の面積の領域内における位置とキャリア寿命に関する情報を得ることが可能である。

[0018] 本発明のキャリア寿命の測定方法は、材料に複数の周波数の励起を与え、それぞれの周波数の励起において材料から発せられる減衰光を蓄積した検知光を取得し、変調周波数の増加に伴って前記検知光の強度が非線形で増加する周波数から、キャリア寿命を定量化して測定することが可能である。さらに、異なる周波数の励起で得られた前記検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去して、キャリアの寿命成分を定量化して測定することが可能である。

[0019] または、励起時間が間隔を空けて繰り返されるように材料に励起を与えたときに、減衰光が蓄積されて得られた検知光の強度と、材料から発せられる光を連続して検出して得られる検出光の強度との比から、発光強度の成分を

除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定することが可能である。

[0020] あるいは、材料に与える励起を異なる波形で変調して、それぞれの変調波形の励起において材料から発せられる減衰光を蓄積した検知光を取得し、異なる波形の変調で得られた検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定することが可能である。

[0021] また、材料から発せられる光を互いに相違する位相の波形で変調して、減衰光を蓄積して検知した検知光を取得し、異なる位相の変調で得られた検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定することも可能である。

[0022] さらに、材料に励起を与える間隔と励起時間とのデューティ比、および励起時間に発せられる光から減衰光を分離するときの分離時間とこの分離時間の間隔とのデューティ比を相違させ、異なるデューティ比のときに減衰光が蓄積されて得られた検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定することが可能である。

[0023] 本発明のキャリア寿命の測定方法は、材料に与える励起が励起光である。
あるいは、材料に与える励起が励起電力である。

[0024] 本発明のキャリア寿命の測定装置は、材料に励起を与え、材料から発せられる光を検知する測定装置において、

励起時間が間隔を空けて繰り返される励起を材料に与える励起装置と、
複数の励起時間を含む長さの測定時間内に、材料から励起時間に発せられる光と励起時間の終末に続いて発せられる減衰光とを分離し、前記測定時間内に、分離された複数の前記減衰光を蓄積して検知する検知装置と、を有することを特徴とするものである。

[0025] 本発明のキャリア寿命の測定装置は、前記励起装置が、励起源と、励起源から発せられる励起を、励起時間が間隔を空けて繰り返されるように変調する励起側の変調装置とを有する。または、前記励起装置が、励起時間が間隔を空けて繰り返されるように励起を発する励起源を有しているものである。

[0026] 本発明のキャリア寿命の測定装置は、前記励起源が、発光源であり、また

は、前記励起源が、励起電力の発生源である。

[0027] 本発明のキャリア寿命の測定装置は、前記検知装置が、前記材料から発せられる光を、励起時間に発せられる光と減衰光とに分離する変調装置と、測定時間に相当する露光時間内に複数の減衰光を蓄積して検知する受光装置とを有するものである。または、前記検知装置が、材料から発せられる光を間欠的に受光して、励起時間に発せられる光から減衰光を分離するとともに、複数の減衰光を蓄積して検知する受光装置を有するものである。

[0028] 本発明のキャリア寿命の測定装置は、前記検知装置が、材料から発せられる光を励起時間の終末と同時またはそれ以後に取得することで、励起時間に発せられる光から減衰光を分離するものである。または、前記検知装置が、材料から発せられる光を励起時間の途中から取得することで、励起時間に発せられる光と、前記光の一部および減衰光とを分離するものである。

[0029] 本発明のキャリア寿命の測定装置は、前記受光装置は、複数の受光素子が配列したものであり、それぞれの受光素子が複数の減衰光を蓄積して検知するものとして構成できる。この場合に、前記受光装置が、二次元的に配列した複数の受光素子を有しており、それぞれの受光素子で材料の一定の面積の領域から発せられた減衰光が取得されて、前記領域内における位置とキャリア寿命に関する情報が得られるものとなる。あるいは、前記受光装置が、列を成して配列する複数の受光素子を有し、前記受光装置と材料とを前記列と交叉する向きに相対的に移動させる移送装置を有しており、複数の受光素子によって材料から発せられる減衰光が同時に取得されるとともに、この取得ラインが移動して、一定の面積の領域内における位置とキャリア寿命に関する情報が得られるものとなる。

[0030] また、本発明のキャリア寿命の測定装置は、材料と前記検知装置との間に波長フィルタが設けられているもの、または、材料と前記検知装置との間に偏光フィルタが設けられているものである。

[0031] 本発明のキャリア寿命の測定装置は、材料に与える励起の周波数を変化させる励起装置が設けられ、

異なる周波数で励起したときに前記検知装置で取得される検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する判別部が設けられているものとして構成できる。

[0032] または、材料に与えられる励起を、励起時間が間隔を空けて繰り返して与える励起装置が設けられ、

励起時間が間隔を空けて繰り返されるように材料に励起を与えたときに前記検知装置で取得される検知光の強度と、前記検知装置で材料から発せられる光を連続して検出した検出光の強度との比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する判別部が設けられているものとして構成できる。

[0033] または、材料に与える励起を異なる波形で変調して、それぞれの変調波形の励起において材料から発せられる減衰光を蓄積して検知する検知装置が設けられ、

異なる波形の変調で得られた検知強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する判別部が設けられているものとして構成できる。

[0034] さらに、材料から発せられる光を互いに相違する位相の波形で変調して、減衰光を蓄積して検知する検知装置が設けられ、

異なる位相の変調で得られた検知強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する判別部が設けられているものとして構成できる。

[0035] また、材料に励起を与える間隔と励起時間とのデューティ比を相違させる励起装置と、励起時間に発せられる光と減衰光を分離するときの分離時間とこの分離時間の間隔とのデューティ比を相違させる検知装置とを有し、

異なるデューティ比のときに減衰光が蓄積されて得られた検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する判別部が設けられているものとして構成できる。

発明の効果

[0036] 本発明は、材料に接触することなく、材料から発せられる光を観察することで、材料内のキャリアの寿命に関する情報を得ることができる。

[0037] また、本発明は、材料の所定の領域内でキャリア寿命の分布を求めることが可能である。

図面の簡単な説明

- [0038] [図1]励起期間中に材料から発せられる光の強度を示す線図、
[図2]材料内のキャリア寿命に起因する発光の減衰曲線を示す線図、
[図3]材料に矩形波の励起を与えたときに材料から発せられる光の強度変化を示す線図、
[図4]変調した励起を材料に与え、材料から発せられる光を励起と逆の位相で変調して検知する測定方法および測定装置の説明図、
[図5]図4に示す測定装置を使用したときの、材料に与える励起の変調と、材料から発せられる光の変調と、分離された減衰光の強度変化とを示す線図、
[図6]材料に与える励起の変調周波数の変化と、分離された減衰光を蓄積した検知出力の強度との関係を示す線図、
[図7]分離された減衰光を蓄積した検知出力が、その最大値の50%になったときの周波数とキャリア寿命との関係を示す線図、
[図8]異なる周波数で得られた検知光の比と、キャリア寿命との関係を示す線図、
[図9]シミュレーションに使用した材料であって、発光強度とキャリア寿命とがX座標のそれぞれの位置で変動している材料の特性を示す線図、
[図10]材料に与える励起の変調周波数と材料から発せられる光の変調周波数を切替えたときの、材料に与える励起の変調と、材料から発せられる光の変調と、分離された減衰光の強度変化とを示す線図、
[図11]図10に示したそれぞれの周波数の変調で得られた検知光の強度のX座標での変動特性と、異なる周波数の変調で得られた検知出力の比のX座標での変動特性とを対比した線図、
[図12]材料に連続する励起を与えたときに材料から発せられる光を、連続し

て検知した検出光の強度を示す線図、

[図13] 励起側の変調と受光側の変調を台形波形にしたときに、材料から発せられる光の強度変化と、分離された減衰光の強度変化とを示す線図、

[図14] 異なる周波数で且つ台形波形の変調を行ったときの検知光の強度のX座標での変動特性と、異なる周波数の変調で得られた検知出力の比のX座標での変動特性とを対比した線図、

[図15] 台形波形の変調で且つ異なる周波数で得られた検知光の比と、キャリア寿命との関係を示す線図、

[図16] ほぼ三角関数の変化を示す波形の変調を与えたときに、材料から発せられる光の強度変化と、分離された減衰光の強度変化とを示す線図、

[図17] 異なる周波数で且つ三角関数の波形の変調を行ったときの検知光の強度のX座標での変動特性と、異なる周波数の変調で得られた検知出力の比のX座標での変動特性とを対比した線図、

[図18] 三角関数波形の変調で且つ異なる周波数で得られた検知光の比と、キャリア寿命との関係を示す線図、

[図19] 矩形波で変調を行ったときと、三角関数波形で変調を行ったときの、材料から発せられる光の強度変化と、分離された減衰光の強度変化とを示す線図、

[図20] 異なる波形で変調を行ったときの検知光の強度のX座標での変動特性と、異なる波形の変調で得られた検知出力の比のX座標での変動特性とを対比した線図、

[図21] 異なる波形の変調で得られた検知光の比と、キャリア寿命との関係を示す線図、

[図22] 異なる位相差で変調したときの、材料から発せられる光の強度変化と、分離された減衰光の強度変化とを示す線図、

[図23] 異なる位相差で変調を行ったときの検知光の強度のX座標での変動特性と、異なる位相差の変調で得られた検知出力の比のX座標での変動特性とを対比した線図、

[図24]異なる位相差の変調で得られた検知光の比と、キャリア寿命との関係を示す線図、

[図25]デューティ比を相違させた波形で変調を行ったときに、材料から発せられる光の強度変化と、分離された減衰光の強度変化とを示す線図、

[図26]デューティ比を相違させた波形で変調を行ったときの検知光の強度のX座標での変動特性と、異なるデューティ比の変調で得られた検知出力の比のX座標での変動特性とを対比した線図、

[図27]デューティ比を相違させた波形で変調して得られた検知光の比と、キャリア寿命との関係を示す線図、

[図28]周波数と波形の双方を異ならせて変調を行ったときに、材料から発せられる光の強度変化と、分離された減衰光の強度変化とを示す線図、

[図29]50%以外のデューティ比の波形で且つ位相をずらした変調を行ったときに、材料から発せられる光の強度変化と、分離された減衰光の強度変化とを示す線図、

[図30]理想的な構成の測定方法および測定装置の第1の実施の形態を示す説明図、

[図31]理想的な構成の測定方法および測定装置の第2の実施の形態を示す説明図、

発明を実施するための形態

[0039] 本発明は、半導体などの材料から発せられる光（ルミネッセンス）を検知することで、その材料を評価する。

[0040] 結晶材料中には、電子のエネルギーを基準にした伝導帯や非発光センター、不純物準位、欠陥誘起準位などの種々の準位が存在する。励起電子が非熱平衡状態で準位に存在すると、ある確率でホールと再結合して消滅する過程でキャリア寿命が発生する。このとき励起電子のエネルギーは光に変換されたり、格子振動となり熱として材料に伝わってゆく。このときの発光特性は、結晶特有の電子構造や種々の欠陥を反映するものであり、一般的には、結晶欠陥の密度が高いとキャリア寿命が短くなる。したがって、キャリア寿命

を測定することは、材料の欠陥状況や純度を知る上で重要である。

[0041] 太陽電池用の結晶は、欠陥が少ないことが必要である。欠陥密度が高いと、太陽光の照射によって発生した励起電子（電気エネルギー）が欠陥準位に捕えられて熱に変換されたり再発光してしまい、電気エネルギーとして取り出せないことになる。また、太陽電池は、その受光部で発生したキャリアが電極へ到達することで発電が起こるが、キャリア寿命から導かれる拡散距離以内に電極が存在していないと発電ができなくなる。したがって、キャリア寿命が長ければ、電極配置密度を少なくでき、受光面積を増大できることになる。

[0042] 非接触で高速にウエハ全面のキャリア寿命分布が測定できれば、太陽電池の製造工程においても、受光部（発電部）自体を製造したり加工する工程や工程ごとの検査工程などで逐次太陽電池特性を知ることができる。例えば、受光部となる p n 接合を高品質で形成する必要があるが、イオン注入・アニールや導電性結晶の成長など再処理が不可能な製造工程に対し、製造直後にキャリア寿命をウエハ全面で測定することによって、全工程が完了する以前に太陽電池としての品質を評価できることになる。このとき、キャリア寿命の評価結果を分布イメージ図で表現することにより、製造中に侵入した不良の原因とその場所を明らかにでき製造損失を少なくできるばかりでなく、歩留まり向上や生産性の改善を行えることになる。

[0043] 本発明の測定方法および測定装置は、ルミネッセンス光（材料からの発光）を非接触で測定して、材料のキャリア寿命を高速、低コストで求めるものである。そのために、励起中の発光と、励起後の発光を区別、または分離して計測することを特徴とする。さらに、繰り返して分離した発光を蓄積して記録するのを特徴とするものである。

[0044] 以下の実施の形態は、フォトルミネッセンスによりキャリア寿命を評価している。フォトルミネッセンスは、光によって励起した励起電子が、ホールと再結合する際に発光する過程の概念である。ただし、本発明における励起および発光はフォトルミネッセンスに限られるものではなく、エレクトロル

ミネッセンスなどによっても実施が可能である。

[0045] 図1は、シリコン（Si）などのウエハに所定時間連続する励起光を与えたときのルミネッセンス光を示しており、横軸が時間で縦軸が発光の大きさである。理想的には、連続する光の励起によるルミネッセンス光の大きさは $A_{CW}P$ である。ここで、 A_{CW} は励起強度であり、 P は発光確率（頻度）である。図1においてハッチングを付す面積は、時間 T_m を測定時間とし、発光の大きさを測定時間で積分した値 $A_{CW}P T_m$ に相当している。この積分値には、キャリア寿命に関する情報も含まれているはずであるが、積分値からキャリア寿命の情報を単独で抽出することはできない。

[0046] 図2は、シリコンなどの半導体材料に励起光を与えたときの発光とキャリア寿命との関係を示しており、横軸が時間であり、縦軸が発光の大きさである。

[0047] 材料内に励起光のフォトンが1個吸収されると、材料の特性で決まる特性時間 τ が経過した後に、より低いエネルギーのフォトンが確率 P で再発光する。材料に対して同じエネルギーをもつ無限の数のフォトンが吸収されて前述のプロセスで順次に再発光すると、発光の確率分布は指数関数的な減衰曲線となる。理想的には、励起光を振幅 $A\delta$ のデルタ関数とすると、発光確率の減衰曲線は $AP e^{-t/\tau}$ （ e は自然数）で表わされる。前記 τ がキャリア寿命のパラメータである。すなわち、初期の発光の大きさが $1/e$ に減少までに要する時間 τ をキャリア寿命のパラメータとして評価することができる。

[0048] ただし、前記時間 τ を測定しようとする、非常に高速で非常によく同期した高感度検出器を使用して、多くのフォトン測定し平均化することが必要である。さらに、前記時間 τ はナノ秒領域の非常に短いものであるため、フォトンの平均化のために非常に長い測定時間が必要となる。さらに、極めて弱い光を検出することが必要であるため、通常の検出器のノイズレベルや装置全体のバックグラウンドレベルでは、実質的に測定が困難である。

[0049] 図3は、材料に急峻なパルスの励起光を与えたときの材料からの発光の大きさと時間との関係を示している。

- [0050] 図3では、発光の大きさの変化が太い実線で示されている。急峻なパルス状の励起光が立ち上がると、発光の大きさが時間に応じて曲線的に立ち上がる特性を示し、励起光の立ち下がり後に、発光の大きさが時間に応じて曲線的に減衰する特性を示す。発光の大きさを時間で積分した積分値である図3のハッチング領域の面積は、励起光のパルスの時間幅を T_p 、振幅を A_p とすると、発光の積分値は $P T_p A_p$ となる。このときの発光は、発光確率（頻度） P と、キャリア寿命とが互いに区別できなく混在している状態であり、前記積分値は、キャリア寿命の情報のみを抽出したものではない。
- [0051] ただし、図3において、励起光のパルスの立ち下りの後の発光の減衰曲線は、図2に示した $A P e^{-t/\tau}$ の畳み込み特性を有し、キャリア寿命のパラメータ τ を含むものである。
- [0052] 本発明は、図3において励起パルスの立ち下りに続いて減衰する減衰光を分離して取得することでキャリア寿命の評価を行おうとするものである。ただし、パルスの立ち下りの後の発光の減衰時間はきわめて短いために、分離した減衰光のみを取得するためにはきわめて高速に応答する受光装置が必要となる。しかも、減衰光が微弱であるため、この減衰光を取得するためには、高速に応答する受光装置を用いて、減衰光を何回も繰り返して取得することが必要になり、きわめて高度な受光技術が必要となる。
- [0053] 図4は、材料に励起を与え、材料から発せられる光から減衰光を分離し、分離された複数の減衰光を取得することができる本発明の基本的な実施の形態の測定方法と測定装置を示している。
- [0054] 図4に示す測定装置1は、励起装置10と検知装置20を有している。励起装置10は、励起源11と励起側の変調装置12を有している。検知装置20は、受光側の変調装置21とフィルタ22と受光装置23とを有している。励起源11は、連続発振型の半導体レーザであり、励起側の変調装置12と受光側の変調装置21は音響光学素子である。受光装置23は、所定の露光時間において光を蓄積して検知する積分型の受光装置であり、例えば多数のCCD素子を有する受光装置である。フィルタ22は波長フィルタまた

は偏光フィルタである。

[0055] 図5(a)は、励起源11から連続して発光する連続光13が、例起側の変調装置12で変調された後の励起光14の波形を示している。変調装置12として使用される音響光学素子は、超音波周波数で格子定数を制御して、通過する連続光13に対する屈折率を高速で切替えるものである。したがって、変調装置12を通過した励起光14の大きさを、図5(a)に示すように、立ち上がりと立下りをほぼ矩形波に近い特性に変調することができる。図5(a)に示す励起光14の照射(励起)と周期とのデューティ比は50%である。

[0056] 図5(b)は、励起光14が、シリコンなどの半導体材料30に与えられるときに、半導体材料30から発せられるルミネッセンス光24の強度変化を示している。図3に示したように、ルミネッセンス光24の大きさは、励起光14の急峻な立ち上がりに追従して時間に応じて曲線的に増加し、励起光14の急峻な立下りに続いて曲線的に減衰する。

[0057] 図5(c)は、受光側の変調装置21による変調波形を示している。この変調波形は、図5(a)に示す励起光14の立下りと同期して立ち上がり、励起光14の立ち上がりと同期して立ち下がるように設定されている。励起側の変調装置12と受光側の変調装置21は同じ音響光学素子で構成されており、励起側の変調装置12と受光側の変調装置21は、同じ周波数で互いに逆位相の制御信号によって動作する。

[0058] 図5(d)は、半導体材料30から発せられるルミネッセンス光24が受光側の変調装置21で変調された後の分離光25を示している。受光側の変調装置21の変調により、図5(b)に示すルミネッセンス光24のうち、励起光14が照射されている励起時間中の光が取得されず、励起光14の終末(励起時間の終末)に続く減衰光26のみが取り出される。

[0059] 図5(d)に示すように、ルミネッセンス光24から、減衰光26のみを分離して取り出すためには、図5(c)に示す受光時の変調により、励起光14の終末(励起時間の終末)と同時またはその後にルミネッセンス光24

を取得すればよい。

[0060] なお、図5（b）は、半導体材料30のいずれかの1点の領域から発せられるルミネッセンス光24の強度変化を示しており、図5（d）の分離光25は、その1点の領域から発せられたルミネッセンス光24から減衰光26を分離したものである。この1点の領域とは、受光装置23で検知される1つの画素であり、1つの受光素子であるCCD素子が受光できる領域として位置づけられる。

[0061] 図5（d）に示す分離光25は、フィルタ22を通過することで減衰光26を含む光成分が抽出されて、受光装置23に受光される。受光装置23に設けられたCCD素子は、光の受光を開始してから検知出力をメモリに移行させるまで間に光を蓄積する露光時間を有しているが、この露光時間に対し、図5（a）（c）に示す変調周期が十分に短く設定されている。この露光時間が図5（d）に示す複数の分離光25を蓄積（積分）して検知する測定時間となる。

[0062] 図2と図3に示したように、励起光14の終末に続いて発せられる減衰光26は、キャリア寿命のパラメータ τ を含むものであり、複数の減衰光26が蓄積された検知光は、キャリア寿命の情報を含むものとなる。

[0063] 励起光14の終末に続いて発光する減衰光26は微弱な光であるが、図5（a）（c）に示す変調波形を比較的高い周波数に設定することで、受光装置23の露光時間内に多数の減衰光26を蓄積（積分）して検知でき、その結果、検知光の強度は、受光装置23の検知ノイズやその他のノイズに比べて十分に高いレベルの出力として取り出すことができる。

[0064] 図6は、励起側の変調装置12と受光側の変調装置21の変調周波数と、受光装置23のCCD素子において減衰光26を蓄積して受光した検知光の強度との関係を示している。横軸の対数軸が変調周波数で縦軸が検知光の強度である。図6は、露光時間（積分時間）を一定としたときに、キャリア寿命が「50nsec」、「70nsec」、「100nsec」、「150nsec」、「200nsec」、「300nsec」、「500nsec

」と段階的に変化する材料を想定して、検知光の強度変化をシミュレーションした結果である。

[0065] 図6に示すように、変調周波数が低く、変調周期がキャリア寿命のパラメータである時間 τ よりも十分に長いときは、露光時間中に蓄積される減衰光26の光量がわずかであり、減衰光26を蓄積した検知光の強度がほぼゼロになる。変調周波数を増加していくと、その増加に比例して、露光時間中に蓄積される減衰光26の数が増えるので、減衰光26を蓄積した検知光の強度がほぼ直線的に上昇する。

[0066] さらに、変調周波数が高くなり、図5(c)に示すルミネッセンス光24の取得時間 T_1 が時間 τ に接近してくると、変調周波数の増加に伴って検知光の強度が非線形で増加する。さらに、変調周波数が高くなると、取得時間 T_1 内に蓄積される減衰光26の光量が飽和し、図6に示すように、検知光の強度が飽和する。

[0067] 励起側の変調装置12による励起変調のデューティ比が50%で、受光側の変調装置21による受光変調のデューティ比が50%のとき、飽和した検知光の強度の理論値は、図1に示すルミネッセンス光の発光強度（発光確率） $A_{CW}P$ の1/4である。

[0068] 図6では、検知光の強度が飽和値の50%となるレベルを破線の横線で示している。飽和値が50%となるレベル、すなわちそれぞれの実線と破線との交点は、それぞれのキャリア寿命の材料で測定した検知光の強度が、変調周波数の対数的な増加に対してほぼ直線的に変化している領域に位置している。

[0069] 図6のシミュレーション結果から、いずれかの単一の変調周波数（測定周波数）を用いて図5(a)に示す励起光の変調と図5(c)に示す受光の変調を行って検知光の強度を取得すると、検知光の強度が高ければキャリア寿命が長く、検知光の強度が低ければキャリア寿命が短いと判別することができる。このときの変調周波数（測定周波数）は、図6において、検知光の強度が横軸の対数的な増加に対してほぼ直線的に上昇する領域を使用すること

が好ましい。

[0070] また、複数の測定点の発光強度（発光確率） $A_{CW}P$ が同じ材料を試料とし、単一の変調周波数（測定周波数）を用いて、それぞれの測定点からの検知光の強度を取得すれば、同じ材料内でキャリア寿命が長い場所の検知光の強度が高く、キャリア寿命が短い場所の検知光の強度が低くなり、材料からの検知光の強度を、キャリア寿命の長短に対応する濃淡のデータとして把握することが可能になる。

[0071] 次に、図7に示す線図は、図6に示すシミュレーションに基づいて、公称キャリア寿命と図5（a）（c）での変調周波数との比例関係を求めたものである。横軸が公称キャリア寿命で、縦軸が $1/\text{変調周波数}$ 、すなわち変調周期を示している。図7の図中における実線の直線は、図6に示されるそれぞれのキャリア寿命の材料の特性曲線（実線）と破線との交点を結んだ線に相当している。つまり、図7の図中の実線は、検知光の強度が飽和値の50%となるときの変調周期と、その材料の公称キャリア寿命との関係を示している。

[0072] 図7のシミュレーション結果から、検知光の強度が飽和値の50%となるときの変調周期（変調周波数）は、キャリア寿命に対して比例的に変化し、その比例定数 K が 0.13 であることを立証できた。すなわち、検知光の強度が飽和値の50%となる変調周波数 F が解れば、 $F = 0.13/\tau_x$ からキャリア寿命 τ_x を求めることが可能である。なお、図7に示す比例関係は、必ずしもキャリア寿命が 50 nsec から 500 nsec の範囲に限られるものではない。

[0073] なお、上述したキャリア寿命の指針となる変調周波数は、必ずしも飽和値の50%である必要はなく、検知光の強度が変調周波数に対して直線的に変化する領域であれば、検知光の強度が飽和値の例えば60%や40%となったときの周波数からキャリア寿命を求めてもよい。

[0074] 材料を励起したときに得られる検知光の強度の変化には、その材料の発光強度（発光確率） $A_{CW}P$ に起因する強度成分と、キャリア寿命の強度成分の双

方が含まれている。ただし、図5および図6に基づいて説明したように、変調周波数を掃引することによって、キャリア寿命を定量的に精度良く求めることが可能になる。

[0075] さらに、材料の1点に対してキャリア寿命の定量値が求めれば、それ以降は、2つの固定した変調周波数を用いて、減衰光26を蓄積（積分）した検知光を測定し、異なる変調周波数で得られた2つの検知光の強度の比を求めることで、発光強度（発光確率）を相殺して、キャリア寿命の強度成分を絶対的な測定値として抽出することが可能になる。この測定方法により、変調周波数を常に掃引しなくても、高速にキャリア寿命を定量的に求めることが可能になる。以下、この測定方法について説明する。

[0076] 図9ないし図11は、材料の場所によって発光強度（発光確率）とキャリア寿命が変動する材料を想定して、材料のそれぞれの場所からキャリア寿命の情報を単独で抽出する測定方法のシミュレーション結果を示している。

[0077] 図9に示すように、このシミュレーションでは、発光強度（発光確率）とキャリア寿命が場所によって互いに異なった特性で変動している材料を想定する。図9の横軸は、材料におけるX方向の座標位置を示している。この材料は、発光強度（発光確率）がX座標の右へ行くにしたがって徐々に低下し、キャリア寿命はX座標の変化に伴って波打つように増減している。

[0078] 図10（A）は、図9に示した材料のX座標上のある1点の領域において、励起側の変調装置12と受光側の変調装置21のそれぞれの変調特性を、互いに逆の位相で且つ変調周波数を1MHzとしたときの波形を示している。図10（A）の波形の種類は図5と同じであり、（a）が励起側の変調波形、（b）が材料から発せられるルミネッセンス光の強度波形、（c）が受光側の変調波形、（d）が減衰光が分離された分離波形である。

[0079] 図10（A）の（d）において分離された分離光をCCD素子の露光時間内に相当する測定時間で積分することで検知光の強度が得られる。図11では、変調周波数が1MHzのときの検知光の強度をX座標上の複数の点で求め、その点を結んだ変化曲線31を二点鎖線で示している。

- [0080] 図10(B)は、励起側の変調装置12と受光側の変調装置21のそれぞれの変調特性を、互いに逆の位相で且つ変調周波数を10MHzとしたときの波形であり、図10(A)と同様に、(a)が励起側の変調波形、(b)が材料から発せられるルミネッセンス光の強度波形、(c)が受光側の変調波形、(d)が減衰光が分離された分離波形である。図10(B)の(d)において分離された減衰光を1MHzのときと同じ測定時間で積分したのが変調周波数10MHzでの検知光の強度である。図11では、X座標上の複数の点で変調周波数が10MHzのときの検知光の強度を求め、その強度を結んだ線32を実線で示している。
- [0081] 図11では、変調周波数が1MHzのときの検知光の強度を結んだ変化曲線31と、変調周波数が10MHzのときの検知光の強度を結んだ線32との比を求め、この比を結んだ線を実線の曲線33で示している(1MHz/10MHz)。この曲線33の変動特性は、図9に示したキャリア寿命の変動曲線ときわめて近似しており、前記比がキャリア寿命を単独で抽出した情報に基づくものであることを理解できる。
- [0082] 図8は、公称キャリア寿命のパラメータ τ_1 が130nsの材料において、キャリア寿命のパラメータが $\tau_1/5$ から $2\tau_1$ までばらつきがある材料に関して、前述した図9ないし図11で説明したシミュレーションにより、変調周波数が1MHzのときに減衰光26を蓄積(積分)して得た検知光の強度と、変調周波数が10MHzのときに減衰光26を蓄積(積分)して得た検知光の強度との比を求めた結果である。図8の横軸はキャリア寿命のパラメータ τ であり、縦軸が、(1MHzときの検知光の強度)/(10MHzのときの検知光の強度)の比である。
- [0083] 図8では、2つの変調周波数で得た検知光の比と公称キャリア寿命とが、ほぼ直線的に比例していることがわかる。よって、互いに異なる変調周波数で得た検知光の強度の比を求めることによって、キャリア寿命をその増減と比例する定量的な値として把握できることがわかる。これは、材料の発光強度(発光確率) $A_{CW}P$ が相違し、図6に示す検知光の強度の飽和値が相違して

いたとしても、前記比を求めることで、キャリア寿命に関する情報を単独で抽出できることを意味している。

[0084] 図 1 2 は、(a) に示すように、励起光を変調せずに材料に連続する励起光を与えた例を示している。このとき、(b) に示すように、材料から連続するルミネッセンス光が得られ、(c) に示すように材料からの発光を変調しないため、(d) に示すように、受光装置の CCD 素子で連続するルミネッセンス光が検知される。

[0085] 図 1 1 には、CCD 素子の露光時間に相当する測定時間で図 1 2 (d) に示す連続光を積分して得られた検知光の強度の $1/4$ を求め、X 座標のそれぞれの場所で得られた (強度 $/4$) を結んだ線 3 4 を破線で示している。この線 3 4 は、 10MHz の変調によって得られた検知光の強度を結んだ線 3 2 ときわめて近似している。したがって、変調周波数が 1MHz のときの検知光の強度を示す変化曲線 3 1 と、連続する励起光を与えたときに得られた検知光の (強度 $/4$) を示す線 3 4 との比を求めると、この比の変動は曲線 3 3 とほぼ一致する。

[0086] したがって、励起光とルミネッセンス光を変調して得られた検知光の強度と、連続する励起光で得られた検知光の強度との比を求めることによっても、キャリア寿命の情報を単独で取り出すことができる。

[0087] 上記の実施の形態では、励起側の変調装置 1 2 と受光側の変調装置 2 1 による光の変調特性が、急峻に立ち上がり急峻に立ち下がる矩形波に従うことを前提とし、且つ励起側の変調装置 1 2 と受光側の変調装置 2 1 とが完全に同期して動作することを前提として説明してきた。しかし、変調装置の能力やノイズなどの影響で変調特性が正確な矩形波特性にならないことがあり、また励起側の変調装置 1 2 の変調動作と受光側の変調装置 2 1 の変調動作との間に時間ずれなどが生じる可能性がある。

[0088] しかし、本発明の測定方法と測定装置は、変調特性が正確な矩形波でなくとも、また励起側の変調と受光側の変調とに時間的なずれがあっても、その特徴を発揮でき、キャリア寿命に関する情報を単独で取り出すことが可能で

ある。

- [0089] 図 1 3 に示す例では、(a) に示す励起側の変調装置 1 2 による変調特性が台形波形となっている。そのため、材料から (b) に示す特性のルミネッセンス光 2 4 が発せられる。(c) に示す受光側の変調装置 2 1 による変調特性も台形波形である。(a) に示す励起側の台形波形の変調と、(c) に示す受光側の台形波形の変調は、互いに逆位相で且つ同じ周波数で互いに同期している。ルミネッセンス光 2 4 が、(c) に示す特性の変調を受ける結果、受光装置 2 3 で (d) に示す分離光 2 5 が検知される。
- [0090] (c) に示す受光側の変調特性は台形波形であるため、(d) に示す分離光 2 5 で得られる光成分 2 6 a には、励起時間に続いて発光する減衰光のみならず、励起時間に発せられる光の成分の一部も含まれている。
- [0091] 図 9 に示したのと同じ発光強度（発光確率）とキャリア寿命の変動特性を有する材料を想定し、図 1 3 に示す変調波形により得られる検知光の強度をシミュレーションで求めた。
- [0092] 図 1 3 (a) (c) に示す変調周波数を 1 MHz として、X 座標のそれぞれの場所で得られる分離光 2 5 を CCD 素子の露光時間に相当する測定時間で積分した検知光の強度を求め、図 1 4 に、その変化曲線 3 1 a を二点鎖線で示している。また、図 1 3 (a) (c) に示す変調周波数を 1 0 MHz として、X 座標のそれぞれの場所から得られた分離光 2 5 を前記測定時間で積分した検知光の強度を求め、図 1 4 に、その強度を結んだ線 3 2 a を実線で示している。
- [0093] 変調周波数が 1 MHz のときに得られた検知光の強度と、変調周波数が 1 0 MHz のときに得られた検知光の強度との比を求めたのが曲線 3 3 a である。この曲線 3 3 a は、図 9 に示すキャリア寿命の増減の特性ときわめて近似している。すなわち、図 1 3 に示す変調特性に基づいて、異なる変調周波数で得られた検知光の強度の比を求めることによっても、キャリア寿命を単独で抽出した情報を得ることができる。
- [0094] 図 1 5 は、図 1 3 に示す変調特性において 1 MHz の変調周波数で求めら

れた検知光の強度と、 10 MHz の変調周波数で求められた検知光の強度との比を求め、強度の比の変化を公称キャリア寿命との関係で示したものである。図15は図8と同様の評価を行っているものである。図15に示すように、前記比は公称キャリア寿命に対してほぼ直線的に変化しており、図13に示す変調特性に基づき、異なる変調周波数で得られた検知光の強度の比を求めると、この比が、キャリア寿命の長短と比例的に対応していることがわかる。

[0095] さらに、図14には、図12(B)と同様にして材料に連続する励起光を与えたときに得られる検知光の強度の $1/4$ を求め、X座標上の複数の場所で求めた前記強度を結んだ線34を破線で示している。この線34と、台形波形で且つ 10 MHz で変調したときの検知光の強度を示す線32aがほぼ一致している。したがって、図13に示す台形波形の変調特性で変調して得られた検知光の強度と、材料を連続して励起したときに得られる検知光との比からも、キャリア寿命の情報を単独で抽出することが可能である。

[0096] 図16に示すシミュレーションでは、(a)に示す励起側の変調特性が三角関数に近似した波形となっており、材料からは(b)に示す特性のルミネッセンス光24が発せられる。(c)に示す受光側の変調特性も三角関数に近似した波形である。(a)に示す励起側の三角関数波形の変調と(c)に示す受光側の三角関数波形の変調は、同じ周波数で互いに逆位相となるように同期している。(d)には材料から発せられるルミネッセンス光24を変調した分離光25の強度変化が示されている。

[0097] (b)に示す特性のルミネッセンス光24が、(c)に示す三角関数波形の変調を受けるため、(d)に示す分離光25に含まれる光成分26bには、励起時間の後に発せられる減衰光の成分のみならず、励起時間に発せられる光の成分の一部も含まれている。

[0098] 図17には、図16に示す三角関数波形で 1 MHz の変調周波数で得られた検知光の強度の変化曲線31bと、三角関数波形で 10 MHz の変調周波数で得られた検知光の強度の変動を示す線32bと、変化曲線31bと線3

2 b との比を求めた曲線 3 3 b とが示されている。この曲線 3 3 b は、図 9 に示した材料のキャリア寿命の変動曲線と近似しており、キャリア寿命に関する情報が抽出されていることが解る。

[0099] また、図 1 7 に示す変化曲線 3 1 b と、連続する励起光で得られたルミネッセンス光の強度の $1/4$ の変化を示す線 3 4 との比からも、前記曲線 3 3 b と同等の特性が得られる。

[0100] 図 1 8 は、図 1 5 に相当しており、図 1 6 に示す三角関数波形で 1 MHz の変調周波数で得られた検知光の強度と、三角関数波形で 10 MHz の変調周波数で得られた検知光の強度との比と、公称キャリア寿命との関係を示したものである。図 1 8 から、三角関数波形で変調したときも、異なる周波数で得られた検知光の強度の比を求めことで、キャリア寿命の成分と比例する情報を得ることが可能である。

[0101] 次に、発光強度の成分を除去し、キャリア寿命成分を定量化する測定方法は、前述のような異なる変調周波数による検知光の強度の比や、さらに連続光による検知光の強度の $1/4$ の値を用いることの他、以下のような測定方法を用いることも可能である。

[0102] 図 1 9 に示すシミュレーションは、図 9 に示す特性の材料を想定し、変調波形を相違させたときに得られる検知光の強度の比を求めることで、キャリア寿命に関する情報を単独で抽出できることを示している。

[0103] 図 1 9 (A) は、図 1 0 (A) の波形と同じであり、(a) に示す励起側の変調波形が矩形波であり、(c) に示す受光側の変調波形も矩形波である。(a) に示す励起側の変調波形と (c) に示す受光側の変調波形は、同じ 1 MHz の周波数で互いに位相が逆となるように同期している。(d) で得られた分離光を CCD の露光時間に相当する測定時間で積分したのが検知光の強度である。図 2 0 には、矩形波の変調で得られた検知光の強度の X 座標上での分布が、二点鎖線の変化曲線 3 1 c で示されている。

[0104] 図 1 9 (B) は、図 1 6 と同じ波形であり、(a) に示す励起側の変調波形と、(c) に示す受光側の変調波形とが三角関数に近似した曲線である。

(a) の変調波形と (c) の変調波形は同じ周波数であり、位相が 180 度ずれた逆位相となっている。また、図 19 (A) の (a) (c) に示す矩形波と、図 19 (B) の (a) (c) に示す三角関数波形は、互いに同じ周波数であり、1 MHz である。図 20 には、三角関数波形の変調で得られた検知光の強度の X 座標上での分布が、実線の変化曲線 32c で示されている。

[0105] 図 20 には、矩形波の変調で得られた検知光の強度の変化曲線 31c と、三角関数波形の変調で得られた検知光の強度の変化曲線 32c との比を求めた曲線 33c が示されている。この曲線 33c は、図 9 に示すキャリア寿命の変動曲線に近似しており、キャリア寿命の情報を反映していることがわかる。

[0106] 図 21 には、(矩形波の変調による検知光の強度) / (三角関数波形の変調による検知光の強度) の比と、公称キャリア寿命との関係が示されている。図 21 から、矩形波の変調で得られた検知光の強度と三角関数波形の変調により得られた検知光の強度の比の大小が、キャリア寿命の大きさの変化にほぼ追従していることを理解できる。

[0107] 図 22 に示すシミュレーションは、図 9 に示す特性の材料を想定し、励起側の変調波形と受光側の変調波形との間の位相差を相違させて得られた 2 種類の検知光の強度の比を求めることで、キャリア寿命に関する情報を単独で抽出できることを示している。

[0108] 図 22 (A) に示す波形は、図 10 (A) および図 19 (A) と同じであり、(a) に示す励起側の変調波形と、(c) に示す受光側の変調波形が、同じ 1 MHz の周波数で位相差が 180 度の矩形波である。(d) で得られた分離光を CCD の露光時間に相当する測定時間で積分したのが検知光の強度であり、図 23 には、この検知光の強度の X 座標上での分布が、二点鎖線の変化曲線 31d で示されている。

[0109] 図 22 (B) は、(a) に示す励起側の変調波形と、(c) に示す受光側の変調波形とが矩形波であり、励起側と受光側との位相差が 0 度である。図 22 (A) の (a) (c) に示す矩形波と、図 22 (B) の (a) (c) に

示す矩形波は共にデューティ比が50%であり、周波数はともに1MHzである。図23には、図22(B)の変調で得られた検知光の強度のX座標上での分布を示す線32dが実線で示されている。

[0110] 図23では、図22(A)の波形の変調で得られた検知光の強度の変化曲線31dと、図22(B)の波形の変調で得られた検知光の強度の変化曲線32dとの比を求めた曲線33dが示されている。この曲線33dは、図9に示すキャリア寿命の変動曲線に近似しており、キャリア寿命の情報を反映していることがわかる。

[0111] 図24には、(図22(A)の変調による検知光の強度)/(図22(B)の変調による検知光の強度)の比と、公称キャリア寿命との関係が示されている。図24から、異なる位相差の矩形波で変調された2種類の検知光の強度の比を求めることで、キャリア寿命の成分と比例する情報を得ることが可能である。

[0112] 図25ないし図27に示すシミュレーションは、図9に示す特性の材料を想定し、変調波形のデューティ比を相違させて得られた2種類の検知光の強度の比を求めることで、キャリア寿命に関する情報を単独で抽出できることを示している。

[0113] 図25(A)に示す波形は、図10(A)と図19(A)および図21(A)と同じであり、(a)に示す励起側の変調波形と、(c)に示す受光側の変調波形が、同じ1MHzの周波数で互いに位相が逆の矩形波である。図25(B)に示す波形は、(a)に示す励起側の変調波形と、(c)に示す受光側の変調波形が、1MHzの周波数で逆位相の矩形波である。ただし、図25(A)は、変調波形のデューティ比が50:50であるのに対し、図25(B)は、デューティ比が90:10である。

[0114] 図26には、図25(A)の変調で得られた検知光の強度のX座標上での分布を示す変化曲線31fが二点差線で示され、図25(B)の変調で得られた検知光の強度のX座標上での分布を示す変化曲線32fが実線で示されている。また、変化曲線31fと変化曲線32fとの比を求めた曲線33f

が示されている。この曲線 33 f は、図 9 に示すキャリア寿命の変動曲線に近似しており、キャリア寿命の情報を反映していることがわかる。

[0115] 図 27 には、(図 25 (A) の変調による検知光の強度) / (図 25 (B) の変調による検知光の強度) の比と、公称キャリア寿命との関係が示されている。図 26 と図 27 とから、デューティ比を相違させて測定した検知光の強度の比から、キャリア寿命の情報を抽出できることがわかる。

[0116] 上記の各実施の形態では、以下の例について説明した。

- (1) 異なる周波数の変調で得られた 2 種類の検知光の強度の比を求める。
- (2) 間欠的な励起により得られた検知光の強度と、連続する励起により得られた検知光の強度との比を求める。
- (3) 矩形波以外の波形で励起側の変調または受光側の変調を行う。
- (4) 互いに波形が相違する変調で得た 2 種類の検知光の強度の比を求める。
- (5) 励起側の変調と受光側の変調との位相差を互いに相違させて得た 2 種類の検知光の強度の比を求める。
- (6) 異なるデューティ比の変調で得られた 2 種類の検知光の強度の比を求める。

[0117] 上記の条件は、互いに組み合わせることが可能である。

例えば、図 28 (A) に示す例えば 1 MHz の矩形波の変調で得られた検知光の強度と、図 28 (B) に示す三角関数に近似した波形であって矩形波よりも周波数が高い例えば 10 MHz の変調で得られた検知光の強度の比を求めることによっても、キャリア寿命に関する情報を独立させて抽出することが可能である。

[0118] また、図 5 や図 10 (A) に示す例では、(a) で示す励起側の変調と、(c) で示す受光側の変調とを、共にデューティ比が 50% で逆位相の矩形波とすることによって、材料に励起を与える励起時間の終末に続く減衰光を励起中の光から分離している。これに対し、図 29 に示す例では、(a) で示す励起側の変調と、(c) で示す受光側の変調が、共にデューティ比が 4

0%の矩形波に基づくものであり、励起側の変調と受光側の変調とで位相が144度ずれている。この構成によっても、材料に励起を与える励起時間の終末に同期させて、減衰光を励起中の光から分離することができる。このように、励起側の変調と受光側の変調は、位相差180° およびデューティ比50%に限定されるものではなく、減衰特性を分離可能な変調波形であればよい。

[0119] 図30には、これまで説明した測定方法を実現するのに最適な測定装置40が示されている。

[0120] 図4に示した基本構造の測定装置1と同様に、励起装置10は励起源11と励起側の変調装置12を有している。励起源11は連続発光の半導体レーザーであり、変調装置12は音響光学素子である。励起源11で発せられた連続光13は、変調装置12で変調されて励起光14となる。

[0121] 変調装置12の前方にレンズ41が設けられており、変調された励起光14が光学的に変調されて、材料30の表面の所定の面積の領域に与えられる。レンズ41は、コリメートレンズや焦点比の大きい凸レンズまたは凹レンズ、あるいはそれらの組み合わせであり、材料30の所定の面積の領域に与えられる光量の差が最小となるように構成される。

[0122] 検知装置20は、受光側の変調装置21と受光装置23を有している。変調装置21は音響光学素子である。材料30と変調装置21との間に集光レンズ42が設けられている。材料30の所定の領域から発せられるルミネセンス光24は、集光レンズ42で集光されて変調装置21に与えられ、変調装置21で分離された分離光25が受光装置23で受光される。受光装置23は複数のCCD素子が配列した受光素子アレイであり、その前方に、分離光25を受光素子アレイに集光させるカメラレンズ43が設けられている。なお、検知装置20には必要に応じて図4に示したフィルタ22が装備される。

[0123] 受光装置23に設けられた受光素子アレイが、二次元的に配列した複数のCCD素子を有しているものであれば、材料30の所定面積の領域から発せ

られたルミネッセンス光 24 を個々の CCD 素子で同時に受光することが可能になる。個々の CCD 素子で得られた検知光の強度によって、一定の面積の領域のそれぞれの点のキャリア寿命の情報を得ることができる。また、それぞれの CCD 素子で検知された検知光の強度に対し、図 11 の曲線 33 に示すような比の演算を行うことで、広い領域内のそれぞれの点に関して、キャリア寿命に関する情報を抽出することが可能である。

[0124] また、受光装置 23 に設けられた受光素子アレイが、1 列または複数の列を成す CCD 素子を有しているものである場合には、材料 30 が設置されたテーブルを前記列と直交する方向へ間欠的または連続的に移動させる移送装置 45 を設けることによって、材料 30 の広い面積からのルミネッセンス光を、受光装置 23 の CCD 素子によって順次取得することが可能である。これは、材料 30 が設置されたテーブルが固定されて、測定装置 40 が移動しても同じである。

[0125] 図 30 に示す測定装置 40 は、変調制御部 46 を有している。この変調制御部 46 によって励起側の変調装置 12 と受光側の変調装置 21 が制御され、各図に示したように、励起光の変調とルミネッセンス光の変調が行なわれる。

[0126] 測定装置 40 には、主制御部としても機能する判別部 47 が設けられ、励起源 11 と変調装置 12, 21 が制御される。これとともに、受光装置 23 の個々の CCD 素子はその露光時間に蓄積して得た検知光が、メモリに保持された後に、デジタル値に変換されて判別部 47 に与えられる。判別部 47 で、図 11 の曲線 33 に示すような比の演算が行われ、個々の CCD 素子を画素単位として、材料 30 の測定領域のそれぞれの点のキャリア寿命の情報を得ることができる。

[0127] 判別部 47 で演算された材料 30 のそれぞれの点のキャリア寿命の情報は、所定面積の領域内の比較情報として使用することができる。例えば、それぞれの点のキャリア寿命を数字情報として表示装置に表示することができ、または、キャリア情報に対応する濃淡を有するイラスト画像として表示させ

ることなどが可能になる。この場合、個々のＣＣＤが濃淡の画素単位となる。

[0128] 図３１に示す測定装置４０Ａは、材料３０から発せられるルミネッセンス光２４を分離するビームスプリッタ５１が設けられて、ルミネッセンス光２４が集光レンズ４２に向かう成分と第２のカメラレンズ５２に向かう成分とに分離される。そして、第２のカメラレンズ５２を経た光が変調装置を介することなく、第２の受光装置５３に与えられる。この測定装置４０Ａでは、一度の測定で、ルミネッセンス光２４を変調した検知光と、無変調の検知光を得ることができる。

[0129] または、ビームスプリッタ５１で分離された光を第２の変調装置で変調して受光装置５３で検知してもよい。これにより、一度の測定で異なる変調の検知光を得ることができる。

[0130] なお、本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、種々の変更が可能である。

例えば、励起源１１として間欠的に発光するパルス発光レーザを使用すると、変調装置１２を設けなくても、種々のデューティ比に変調した励起光１４を得ることができる。また、受光装置２３を、それぞれの検知素子が光を間欠的に受光し、間欠的に受光した検知出力をメモリに蓄積できるものを使用すれば、変調装置２１を設けなくても、ルミネッセンス光からキャリア寿命の成分である減衰光を分離し、さらに分離した減衰光を所定の露光時間に蓄積することが可能である。

[0131] さらに励起装置１０が励起光を発するものではなく、間欠的な電力を発生するものであり、この電力で材料３０内のキャリアが励起され再結合して発光するエレクトロルミネッセンスにより、キャリア寿命を測定することも可能である。

[0132] さらに、本願発明の測定方法および測定装置の対象である材料は、シリコン（Ｓｉ）、リン化インジウム（ＩｎＰ）、炭化シリコン（ＳｉＣ）、ガリウム砒素（ＧａＡｓ）、シリコン・ゲルマニウム合金（ＳｉＧｅ）、ゲルマ

ニウム（Ge）、カルコパイライト型化合物（CuInS₂）、カルコパイライト系多結晶膜（Cu（In，Ga）Se₂）、フラーレン（C₆₀）誘導体系有機半導体、などの半導体結晶材料が典型的なものであるが、これら以外の半導体材料であってもよい。

[0133] さらに、励起光や励起電力によって、内部のキャリアが励起されて活性化し、電子などのキャリアのエネルギーレベルが低下する際に光を発するものであれば、有機材料や高分子材料などであってもよい。

符号の説明

- [0134] 1 測定装置
- 10 励起装置
 - 11 励起源
 - 12 変調装置
 - 13 連続光
 - 14 励起光
 - 20 検知装置
 - 21 変調装置
 - 22 フィルタ
 - 23 受光装置
 - 24 ルミネッセンス光
 - 25 分離光
 - 26 減衰光
 - 30 半導体材料
 - 40 測定装置
 - 41 レンズ
 - 42 集光レンズ
 - 43 カメラレンズ
 - 45 移送装置
 - 46 変調制御部

4 7 判別部

5 1 ビームスプリッタ

5 2 カメラレンズ

5 3 受光装置

請求の範囲

- [請求項1] 材料に励起を与え、材料から発せられる光を検知する測定方法において、
- 励起時間が間隔を空けて繰り返されるように、材料に励起を与え、複数の励起時間を含む長さの測定時間内に、材料から励起時間に発せられる光と励起時間の終末に続いて発せられる減衰光とを分離し、前記測定時間内に、分離された複数の前記減衰光を蓄積して検知し、蓄積された検知光の強度に基づいてキャリアの寿命を測定することを特徴とするキャリア寿命の測定方法。
- [請求項2] 材料から発せられる光を励起時間の終末と同時またはそれ以後に取得することで、励起時間に発せられる光から減衰光を分離する請求項1記載のキャリア寿命の測定方法。
- [請求項3] 材料から発せられる光を励起時間の途中から取得することで、励起時間に発せられる光と、前記光の一部および減衰光とを分離する請求項1記載のキャリア寿命の測定方法。
- [請求項4] 励起源から発せられる励起を励起側の変調装置に通過させて、励起時間が間隔を空けて繰り返されるように、材料に励起を与える請求項1ないし3のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。
- [請求項5] 励起源から励起を断続的に発生させて、励起時間が間隔を空けて繰り返されるように、材料に励起を与える請求項1ないし3のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。
- [請求項6] 材料から発せられる光を受光側の変調装置に通過させて、励起時間に発せられる光から減衰光を分離し、測定時間に相当する露光時間を有する受光装置によって、複数の減衰光を蓄積して検知する請求項1ないし5のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。
- [請求項7] 材料から発せられる光を間欠的に受光できる受光装置を用いて、励起時間に発せられる光から減衰光を分離するとともに、測定時間内に複数の減衰光を蓄積して検知する請求項1ないし5のいずれかに記載

のキャリア寿命の測定方法。

[請求項8] 前記受光装置は、複数の受光素子が配列したものであり、それぞれの受光素子で複数の減衰光を蓄積して検知する請求項6または7記載のキャリア寿命の測定方法。

[請求項9] 複数の受光素子が二次元的に配列した受光装置を使用し、材料の一定の面積の領域から発せられた減衰光をそれぞれの受光素子で同時に取得し、前記領域内における位置とキャリア寿命に関する情報を得る請求項8記載のキャリア寿命の測定方法。

[請求項10] 複数の受光素子が列を成して配列した受光装置を使用し、複数の受光素子によって材料から発せられる減衰光を同時に取得し、この取得ラインを移動させて、材料の一定の面積の領域内における位置とキャリア寿命に関する情報を得る請求項8記載のキャリア寿命の測定方法。

[請求項11] 材料に複数の周波数の励起を与え、それぞれの周波数の励起において材料から発せられる減衰光を蓄積した検知光を取得し、異なる周波数の励起で得られた前記検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去して、キャリアの寿命成分を定量化して測定する請求項1ないし10のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。

[請求項12] 励起時間が間隔を空けて繰り返されるように材料に励起を与えたときに、減衰光が蓄積されて得られた検知光の強度と、材料から発せられる光を連続して検出して得られる検出光の強度との比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する請求項1ないし10のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。

[請求項13] 材料に与える励起を異なる波形で変調して、それぞれの変調波形の励起において材料から発せられる減衰光を蓄積した検知光を取得し、異なる波形の変調で得られた検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する請求項1ないし10のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。

- [請求項14] 材料から発せられる光を互いに相違する位相の波形で変調して、減衰光を蓄積して検知した検知光を取得し、異なる位相の変調で得られた検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する請求項 1 ないし 10 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。
- [請求項15] 材料に励起を与える間隔と励起時間とのデューティ比、および励起時間に発せられる光から減衰光を分離するときの分離時間とこの分離時間の間隔とのデューティ比を相違させ、異なるデューティ比のときに減衰光が蓄積されて得られた検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する請求項 1 ないし 10 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。
- [請求項16] 材料に与える励起が励起光である請求項 1 ないし 15 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。
- [請求項17] 材料に与える励起が励起電力である請求項 1 ないし 15 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。
- [請求項18] 材料に励起を与え、材料から発せられる光を検知する測定装置において、
励起時間が間隔を空けて繰り返される励起を材料に与える励起装置と、
複数の励起時間を含む長さの測定時間内に、材料から励起時間に発せられる光と励起時間の終末に続いて発せられる減衰光とを分離し、前記測定時間内に、分離された複数の前記減衰光を蓄積して検知する検知装置と、
を有することを特徴とするキャリア寿命の測定装置。
- [請求項19] 前記励起装置が、励起源と、励起源から発せられる励起を、励起時間が間隔を空けて繰り返されるように変調する励起側の変調装置とを有する請求項 18 記載のキャリア寿命の測定装置。
- [請求項20] 前記励起装置が、励起時間が間隔を空けて繰り返されるように励起

を発する励起源を有している請求項 18 記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項21] 前記励起源が、発光源である請求項 19 または 20 記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項22] 前記励起源が、励起電力の発生源である請求項 19 または 20 記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項23] 前記検知装置は、前記材料から発せられる光を、励起時間に発せられる光と減衰光とに分離する変調装置と、測定時間に相当する露光時間内に複数の減衰光を蓄積して検知する受光装置とを有する請求項 18 ないし 22 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項24] 前記検知装置は、材料から発せられる光を間欠的に受光して、励起時間に発せられる光から減衰光を分離するとともに、複数の減衰光を蓄積して検知する受光装置を有する請求項 18 ないし 22 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項25] 前記検知装置は、材料から発せられる光を励起時間の終末と同時またはそれ以後に取得することで、励起時間に発せられる光から減衰光を分離する請求項 23 または 24 記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項26] 前記検知装置は、材料から発せられる光を励起時間の途中から取得することで、励起時間に発せられる光と、前記光の一部および減衰光とを分離する請求項 24 記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項27] 前記受光装置は、複数の受光素子が配列したものであり、それぞれの受光素子が複数の減衰光を蓄積して検知する請求項 23 ないし 26 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項28] 前記受光装置が、二次元的に配列した複数の受光素子を有しており、それぞれの受光素子で材料の一定の面積の領域から発せられた減衰光が取得されて、前記領域内における位置とキャリア寿命に関する情報が得られる請求項 27 記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項29] 前記受光装置が、列を成して配列する複数の受光素子を有し、前記

受光装置と材料とを前記列と交叉する向きに相対的に移動させる移送装置を有しており、複数の受光素子によって材料から発せられる減衰光が同時に取得されるとともに、この取得ラインが移動して、一定の面積の領域内における位置とキャリア寿命に関する情報が得られる請求項 27 記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項30] 材料と前記検知装置との間に波長フィルタが設けられている請求項 18 ないし 29 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項31] 材料と前記検知装置との間に偏光フィルタが設けられている請求項 18 ないし 29 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項32] 材料に与える励起の周波数を変化させる励起装置が設けられ、異なる周波数で励起したときに前記検知装置で取得される検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する判別部が設けられている請求項 18 ないし 31 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項33] 材料に与えられる励起を、励起時間が間隔を空けて繰り返して与える励起装置が設けられ、
励起時間が間隔を空けて繰り返されるように材料に励起を与えたときに前記検知装置で取得される検知光の強度と、前記検知装置で材料から発せられる光を連続して検出した検出光の強度との比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する判別部が設けられている請求項 18 ないし 31 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項34] 材料に与える励起を異なる波形で変調して、それぞれの変調波形の励起において材料から発せられる減衰光を蓄積して検知する検知装置が設けられ、

異なる波形の変調で得られた検知強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する判別部が設けられている請求項 18 ないし 31 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定

装置。

[請求項35] 材料から発せられる光を互いに相違する位相の波形で変調して、減衰光を蓄積して検知する検知装置が設けられ、

異なる位相の変調で得られた検知強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する判別部が設けられている請求項 18 ないし 31 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項36] 材料に励起を与える間隔と励起時間とのデューティ比を相違させる励起装置と、励起時間に発せられる光と減衰光を分離するときの分離時間とこの分離時間の間隔とのデューティ比を相違させる検知装置とを有し、

異なるデューティ比のときに減衰光が蓄積されて得られた検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する判別部が設けられている請求項 18 ないし 31 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

補正された請求の範囲
[2012年2月8日(08.02.2012)国際事務局受理]

- [請求項 1] (補正後) 材料に励起を与え、材料から発せられる光を検知する測定方法において、
- 励起時間が間隔を空けて周期的に繰り返されるように、材料に励起を与え、
- 材料から発せられる光のうちの前記励起時間の終末に続いて発せられる減衰光を光学的に分離し、
- 励起時間が複数周期含まれる長さの測定時間内で、分離された複数の前記減衰光を蓄積して検知し、蓄積された検知光の強度に基づいてキャリアの寿命を測定することを特徴とするキャリア寿命の測定方法。
- [請求項 2] 材料から発せられる光を励起時間の終末と同時またはそれ以後に取得することで、励起時間に発せられる光から減衰光を分離する請求項 1 記載のキャリア寿命の測定方法。
- [請求項 3] 材料から発せられる光を励起時間の途中から取得することで、励起時間に発せられる光と、前記光の一部および減衰光とを分離する請求項 1 記載のキャリア寿命の測定方法。
- [請求項 4] 励起源から発せられる励起を励起側の変調装置に通過させて、励起時間が間隔を空けて繰り返されるように、材料に励起を与える請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。
- [請求項 5] 励起源から励起を断続的に発生させて、励起時間が間隔を空けて繰り返されるように、材料に励起を与える請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。
- [請求項 6] 材料から発せられる光を受光側の変調装置に通過させて、励起時間に発せられる光から減衰光を分離し、測定時間に相当する露光時間を有する受光装置によって、複数の減衰光を蓄積して検知する請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。
- [請求項 7] 材料から発せられる光を間欠的に受光できる受光装置を用いて、

励起時間に発せられる光から減衰光を分離するとともに、測定時間内に複数の減衰光を蓄積して検知する請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。

[請求項 8] 前記受光装置は、複数の受光素子が配列したものであり、それぞれの受光素子で複数の減衰光を蓄積して検知する請求項 6 または 7 記載のキャリア寿命の測定方法。

[請求項 9] 複数の受光素子が二次元的に配列した受光装置を使用し、材料の一定の面積の領域から発せられた減衰光をそれぞれの受光素子で同時に取得し、前記領域内における位置とキャリア寿命に関する情報を得る請求項 8 記載のキャリア寿命の測定方法。

[請求項 10] 複数の受光素子が列を成して配列した受光装置を使用し、複数の受光素子によって材料から発せられる減衰光を同時に取得し、この取得ラインを移動させて、材料の一定の面積の領域内における位置とキャリア寿命に関する情報を得る請求項 8 記載のキャリア寿命の測定方法。

[請求項 11] 材料に複数の周波数の励起を与え、それぞれの周波数の励起において材料から発せられる減衰光を蓄積した検知光を取得し、異なる周波数の励起で得られた前記検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去して、キャリアの寿命成分を定量化して測定する請求項 1 ないし 10 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。

[請求項 12] 励起時間が間隔を空けて繰り返されるように材料に励起を与えたときに、減衰光が蓄積されて得られた検知光の強度と、材料から発せられる光を連続して検出して得られる検出光の強度との比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する請求項 1 ないし 10 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。

[請求項 13] 材料に与える励起を異なる波形で変調して、それぞれの変調波形の励起において材料から発せられる減衰光を蓄積した検知光を取得し、異なる波形の変調で得られた検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する請求項

1 ないし 10 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。

〔請求項 14〕 材料から発せられる光を互いに相違する位相の波形で変調して、減衰光を蓄積して検知した検知光を取得し、異なる位相の変調で得られた検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する請求項 1 ないし 10 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。

〔請求項 15〕 材料に励起を与える間隔と励起時間とのデューティ比、および励起時間に発せられる光から減衰光を分離するときの分離時間とこの分離時間の間隔とのデューティ比を相違させ、異なるデューティ比のときに減衰光が蓄積されて得られた検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する請求項 1 ないし 10 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。

〔請求項 16〕 材料に与える励起が励起光である請求項 1 ないし 15 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。

〔請求項 17〕 材料に与える励起が励起電力である請求項 1 ないし 15 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定方法。

〔請求項 18〕 (補正後) 材料に励起を与え、材料から発せられる光を検知する測定装置において、

励起時間が間隔を空けて周期的に繰り返される励起を材料に与える励起装置と、

材料から発せられる光のうちの前記励起時間の終末に続いて発せられる減衰光とを分離し、励起時間が複数周期含まれる長さの測定時間内に、分離された複数の前記減衰光を蓄積して検知する検知装置と、

を有することを特徴とするキャリア寿命の測定装置。

〔請求項 19〕 前記励起装置が、励起源と、励起源から発せられる励起を、励起時間が間隔を空けて繰り返されるように変調する励起側の変調装置とを有する請求項 18 記載のキャリア寿命の測定装置。

〔請求項 20〕 前記励起装置が、励起時間が間隔を空けて繰り返されるように励

起を発する励起源を有している請求項 18 記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項 21] 前記励起源が、発光源である請求項 19 または 20 記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項 22] 前記励起源が、励起電力の発生源である請求項 19 または 20 記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項 23] 前記検知装置は、前記材料から発せられる光を、励起時間に発せられる光と減衰光とに分離する変調装置と、測定時間に相当する露光時間内に複数の減衰光を蓄積して検知する受光装置とを有する請求項 18 ないし 22 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項 24] 前記検知装置は、材料から発せられる光を間欠的に受光して、励起時間に発せられる光から減衰光を分離するとともに、複数の減衰光を蓄積して検知する受光装置を有する請求項 18 ないし 22 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項 25] 前記検知装置は、材料から発せられる光を励起時間の終末と同時またはそれ以後に取得することで、励起時間に発せられる光から減衰光を分離する請求項 23 または 24 記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項 26] 前記検知装置は、材料から発せられる光を励起時間の途中から取得することで、励起時間に発せられる光と、前記光の一部および減衰光とを分離する請求項 24 記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項 27] 前記受光装置は、複数の受光素子が配列したものであり、それぞれの受光素子が複数の減衰光を蓄積して検知する請求項 23 ないし 26 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項 28] 前記受光装置が、二次元的に配列した複数の受光素子を有しており、それぞれの受光素子で材料の一定の面積の領域から発せられた減衰光が取得されて、前記領域内における位置とキャリア寿命に関する情報が得られる請求項 27 記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項 29] 前記受光装置が、列を成して配列する複数の受光素子を有し、前

記受光装置と材料とを前記列と交叉する向きに相対的に移動させる移送装置を有しており、複数の受光素子によって材料から発せられる減衰光が同時に取得されるとともに、この取得ラインが移動して、一定の面積の領域内における位置とキャリア寿命に関する情報が得られる請求項 27 記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項 30] 材料と前記検知装置との間に波長フィルタが設けられている請求項 18 ないし 29 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項 31] 材料と前記検知装置との間に偏光フィルタが設けられている請求項 18 ないし 29 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項 32] 材料に与える励起の周波数を変化させる励起装置が設けられ、異なる周波数で励起したときに前記検知装置で取得される検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する判別部が設けられている請求項 18 ないし 31 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

[請求項 33] 材料に与えられる励起を、励起時間が間隔を空けて繰り返して与える励起装置が設けられ、
励起時間が間隔を空けて繰り返されるように材料に励起を与えたときに前記検知装置で取得される検知光の強度と、前記検知装置で材料から発せられる光を連続して検出した検出光の強度との比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する判別部が設けられている請求項 18 ないし 31 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

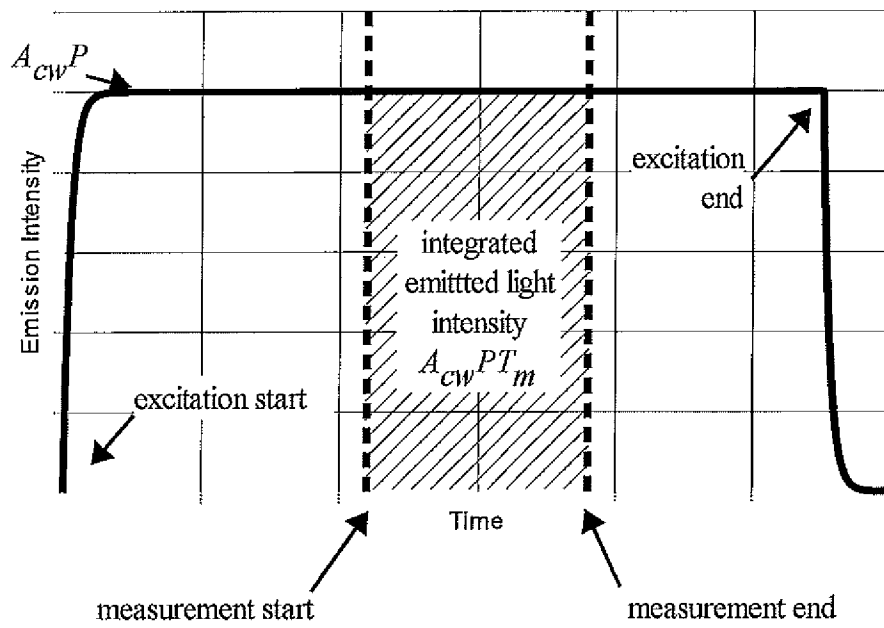
[請求項 34] 材料に与える励起を異なる波形で変調して、それぞれの変調波形の励起において材料から発せられる減衰光を蓄積して検知する検知装置が設けられ、

異なる波形の変調で得られた検知強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する判別部が設けられている請求項 18 ないし 31 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

- 〔請求項 35〕 材料から発せられる光を互いに相違する位相の波形で変調して、減衰光を蓄積して検知する検知装置が設けられ、
- 異なる位相の変調で得られた検知強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する判別部が設けられている請求項 18 ないし 31 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。
- 〔請求項 36〕 材料に励起を与える間隔と励起時間とのデューティ比を相違させる励起装置と、励起時間に発せられる光と減衰光を分離するときの分離時間とこの分離時間の間隔とのデューティ比を相違させる検知装置とを有し、
- 異なるデューティ比のときに減衰光が蓄積されて得られた検知光の強度の比から、発光強度の成分を除去し、キャリアの寿命成分を定量化して測定する判別部が設けられている請求項 18 ないし 31 のいずれかに記載のキャリア寿命の測定装置。

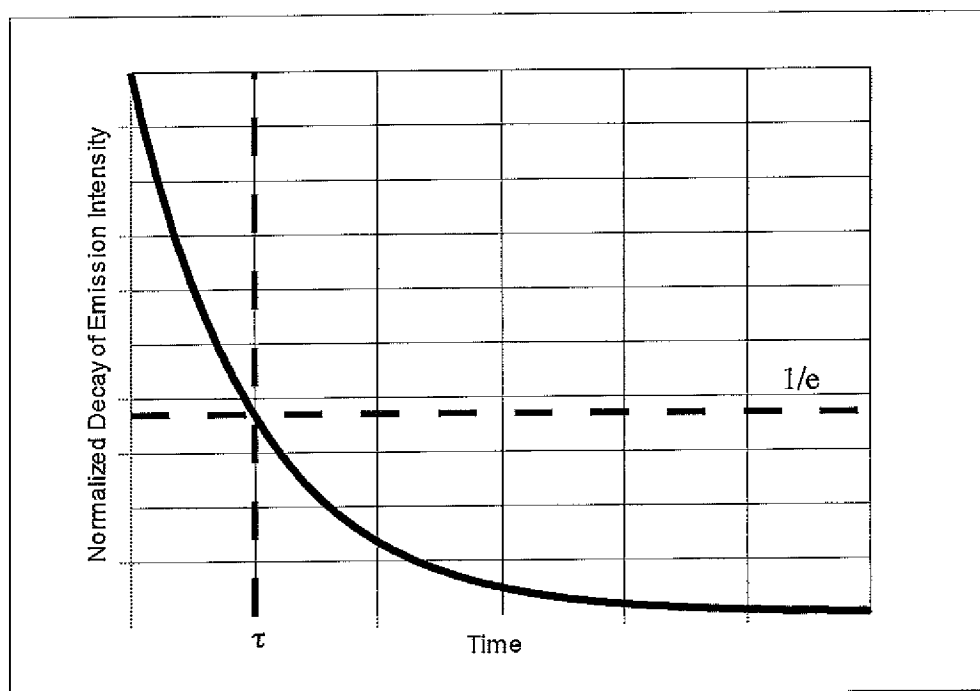
[図1]

Fig. 1



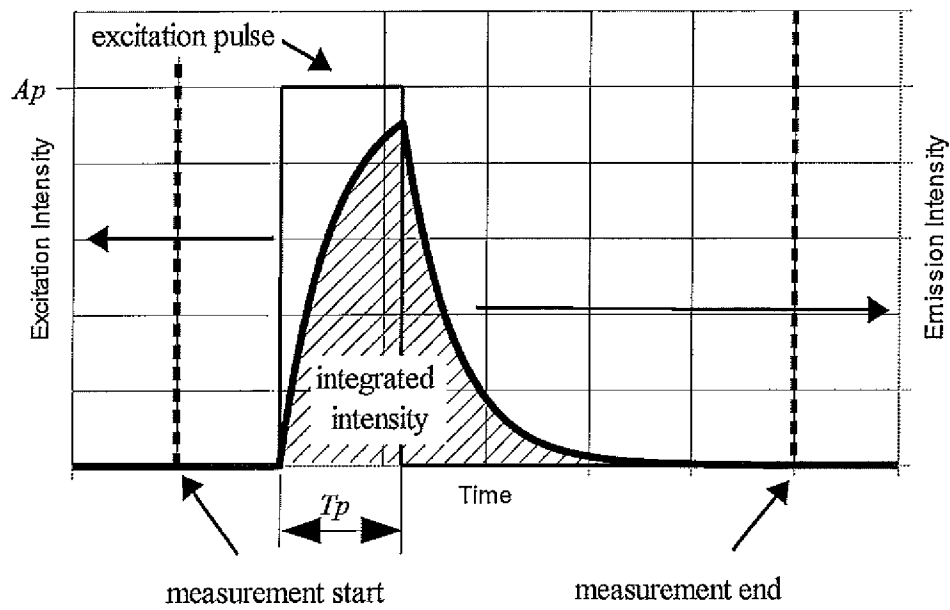
[図2]

Fig. 2



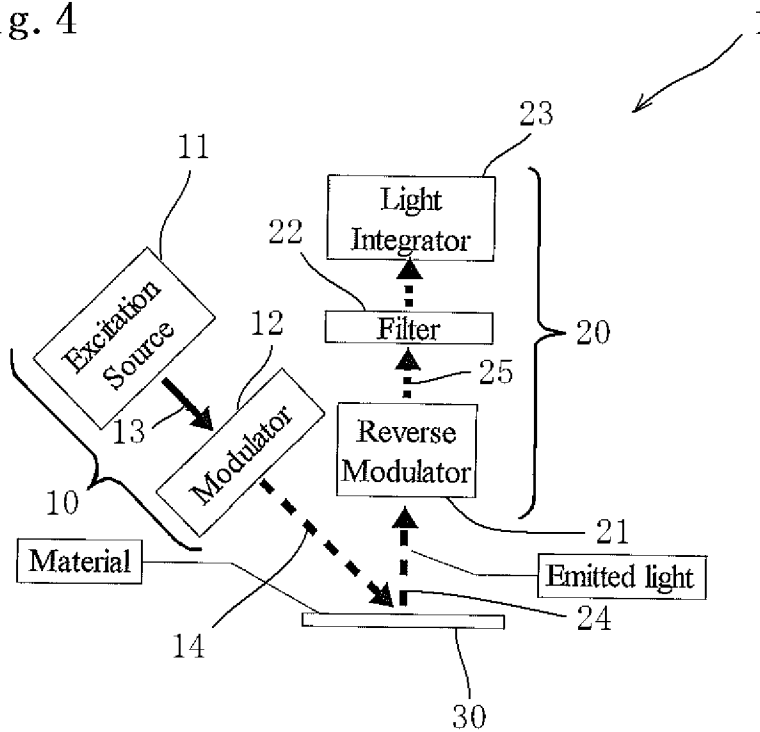
[図3]

Fig. 3



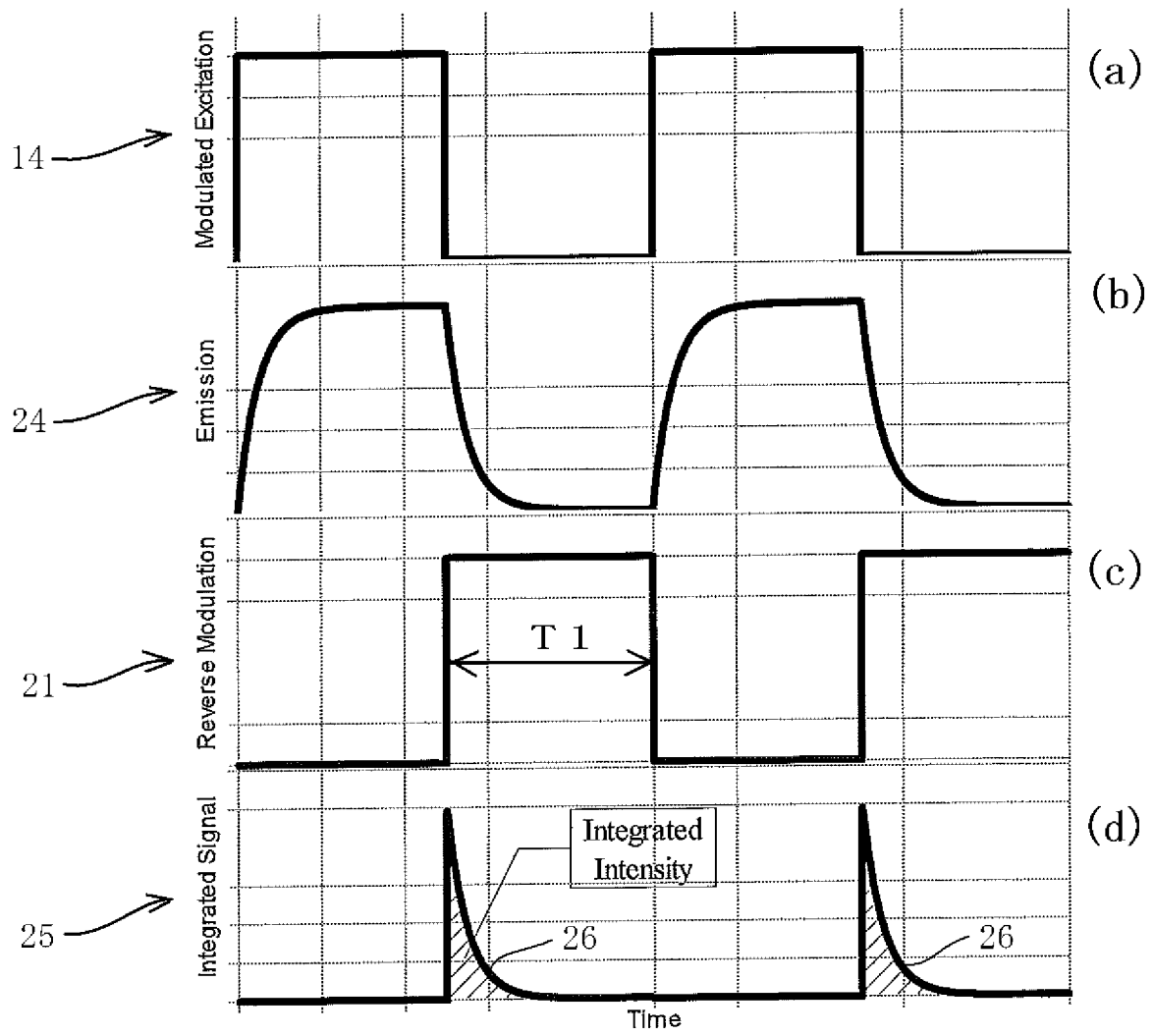
[図4]

Fig. 4



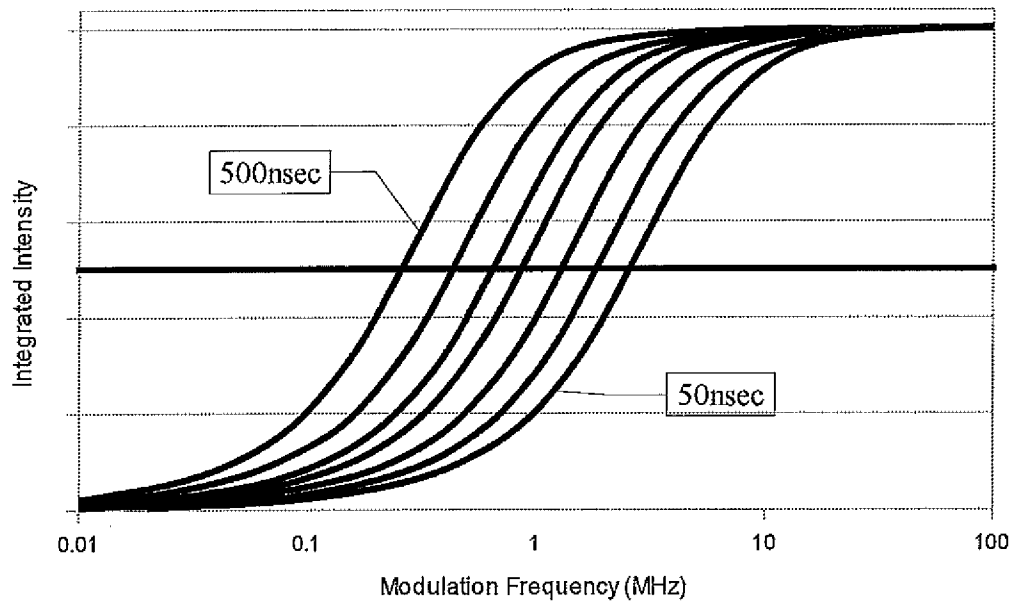
[図5]

Fig. 5



[図6]

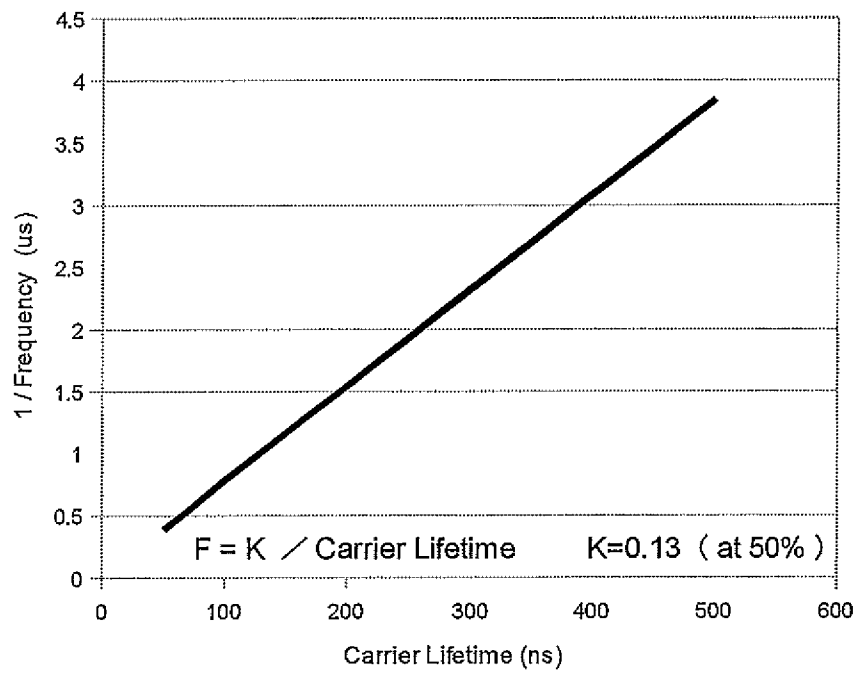
Fig. 6



[図7]

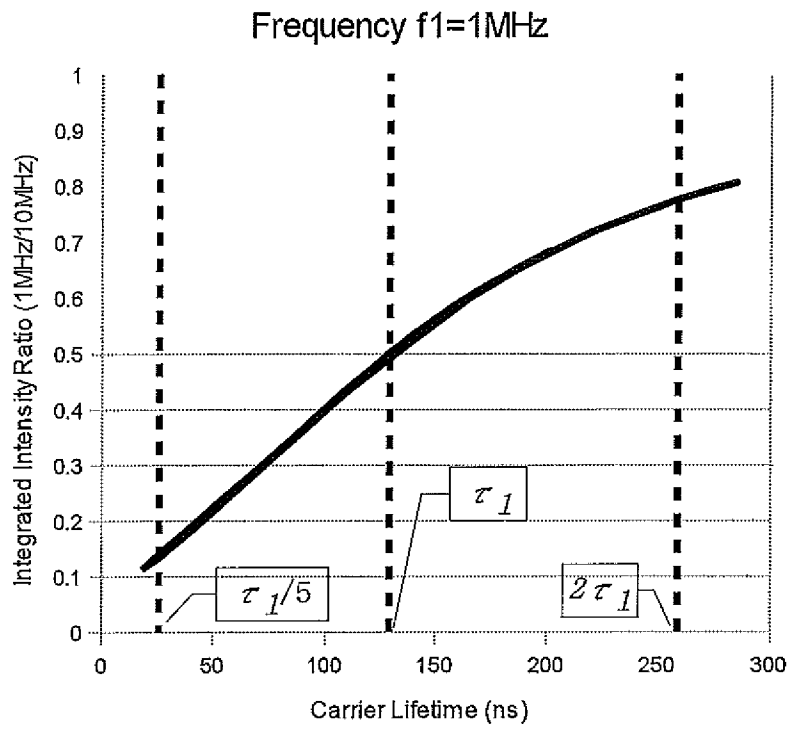
Fig. 7

Dependence of 50% maximum integrated intensity on lifetime



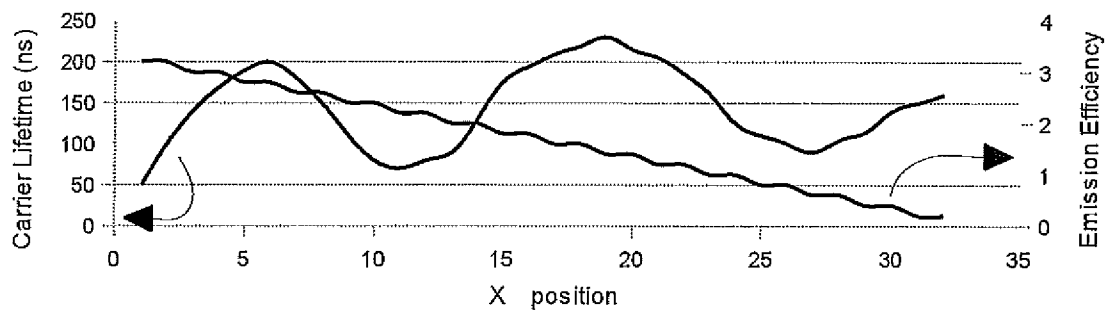
[Fig. 8]

Fig. 8



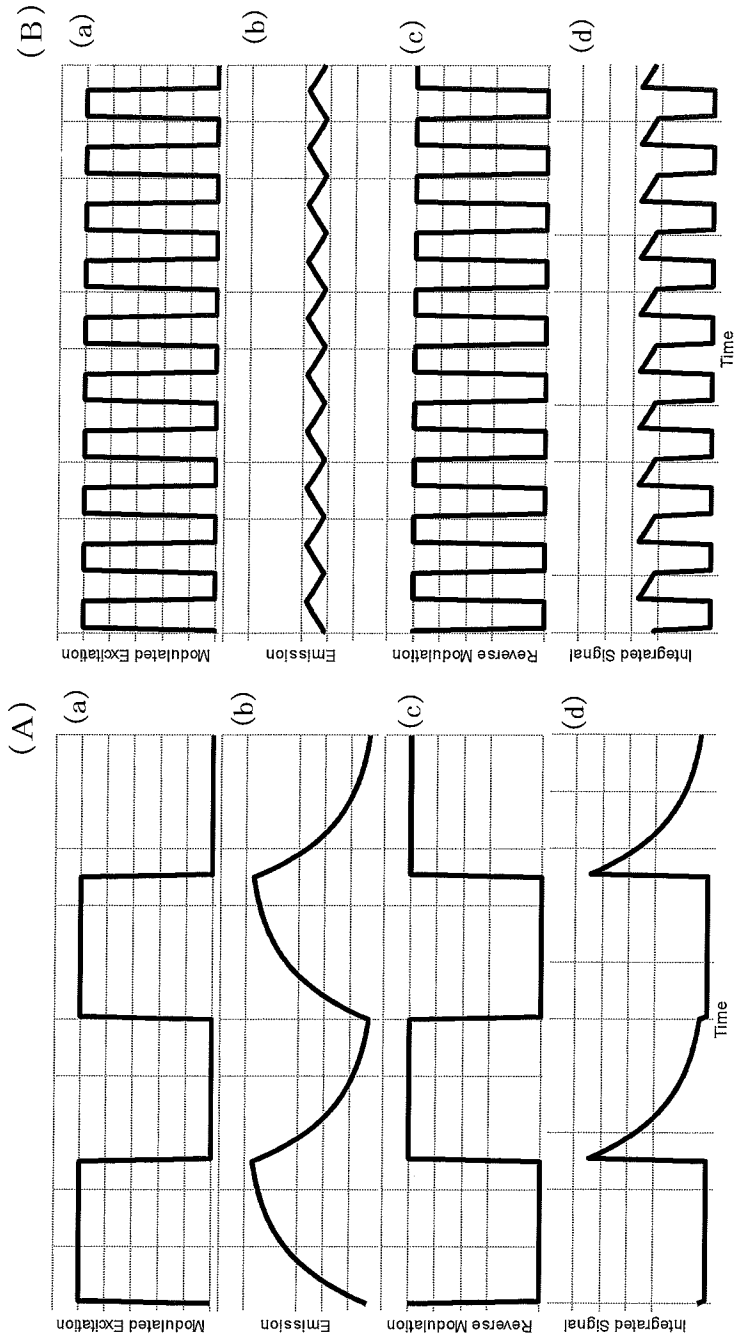
[Fig. 9]

Fig. 9



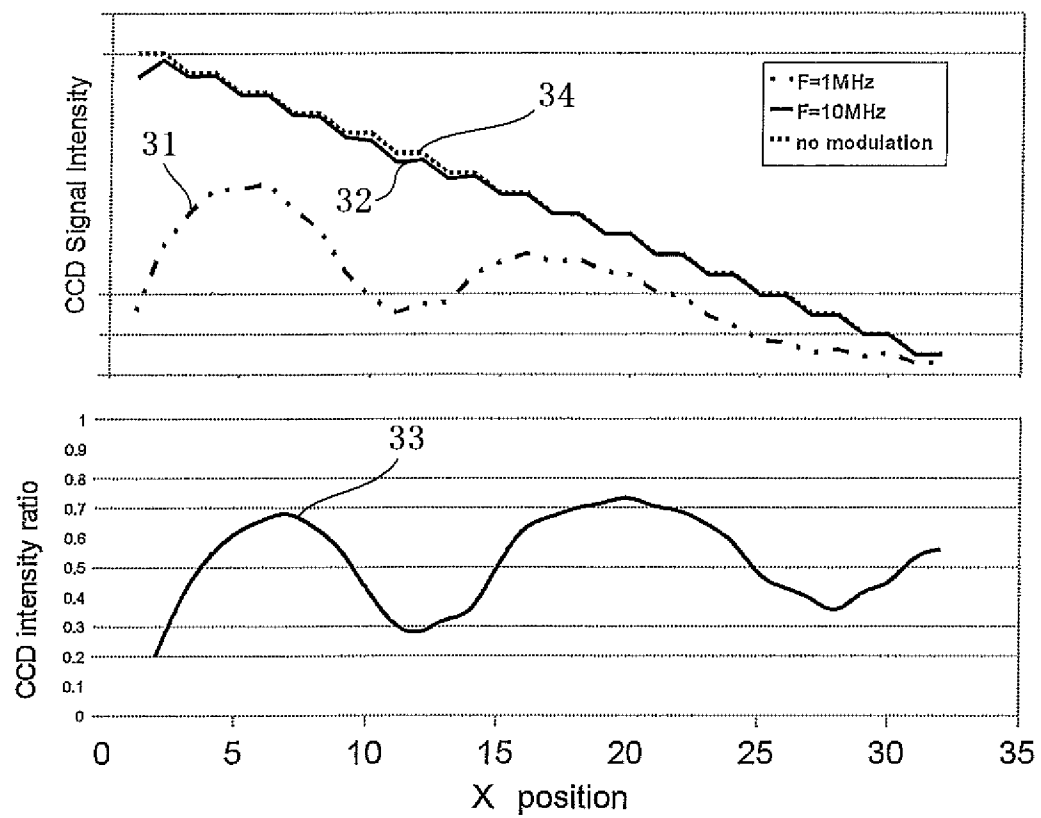
[Fig. 10]

Fig. 10



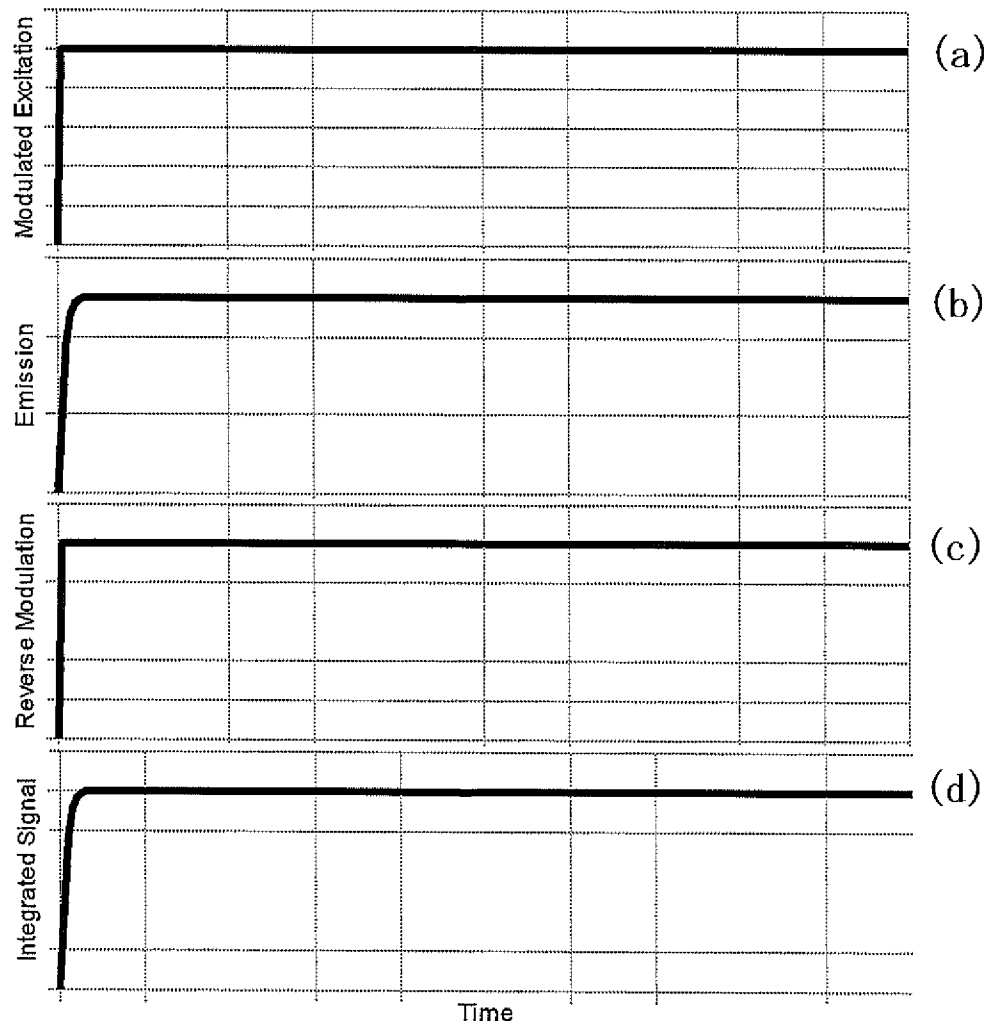
[図11]

Fig. 11



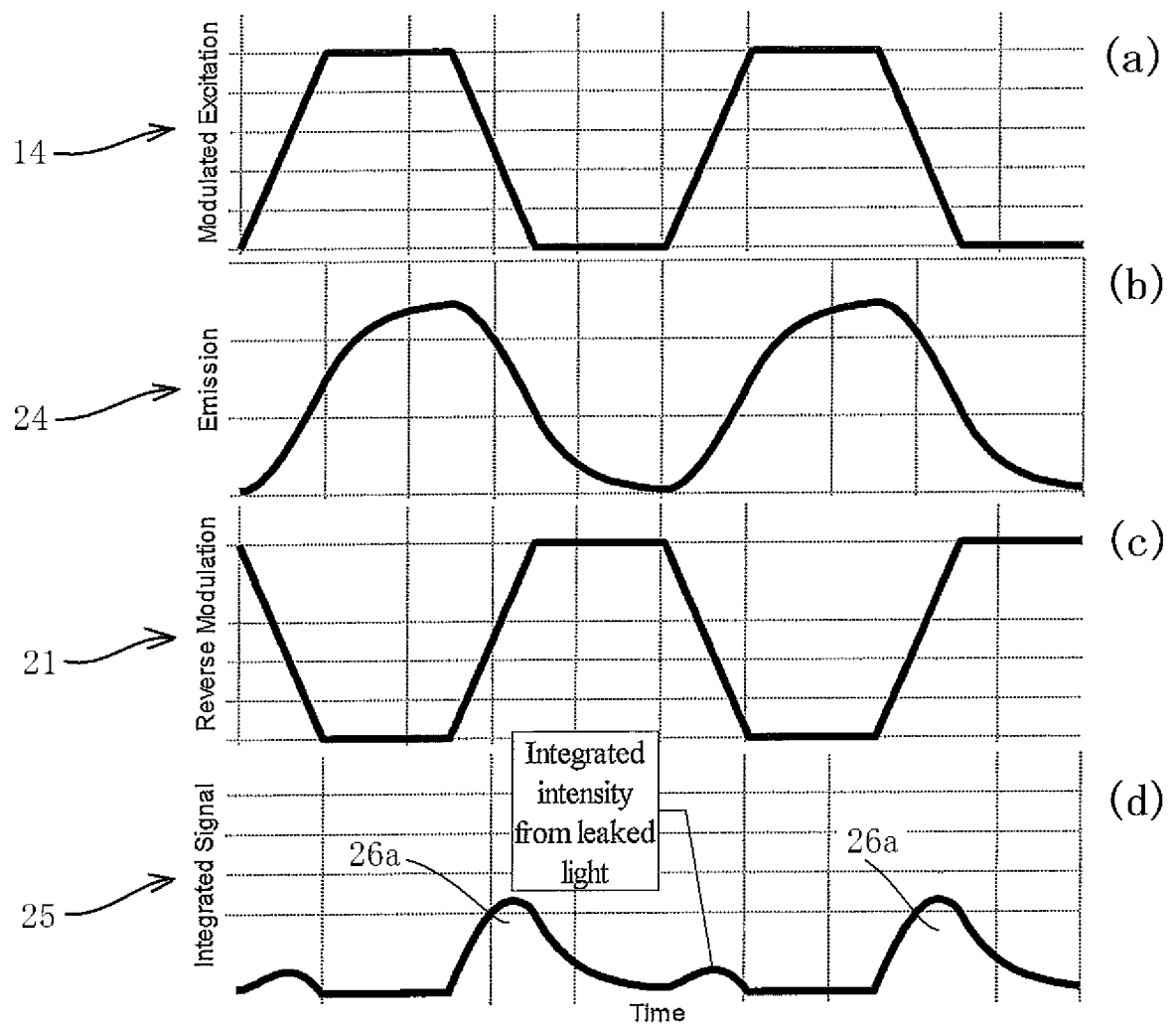
[図12]

Fig. 12



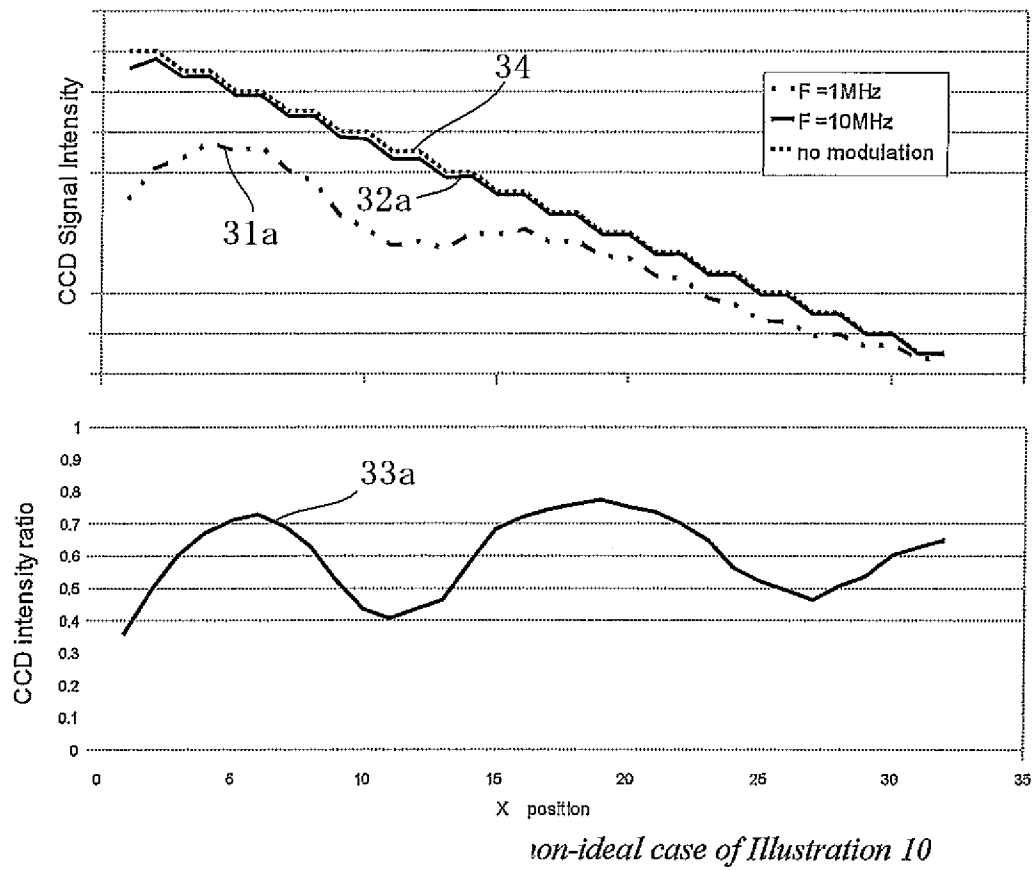
[図13]

Fig. 13



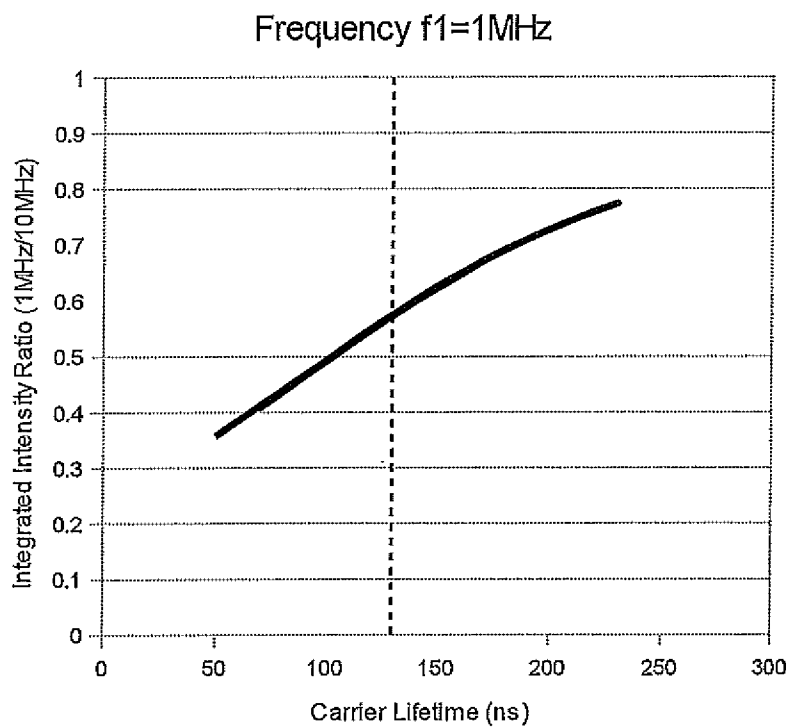
[図14]

Fig. 14



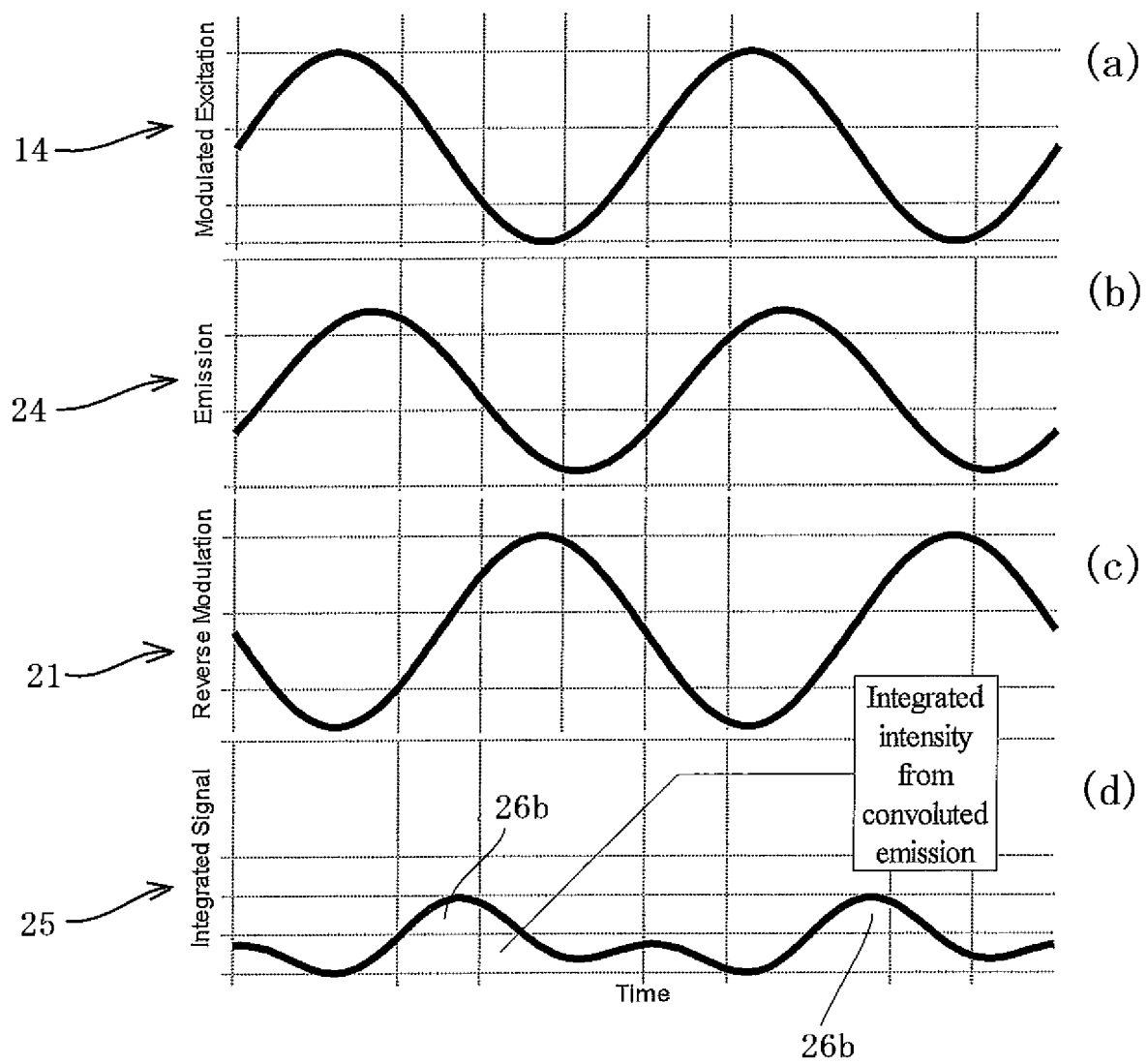
[図15]

Fig. 15



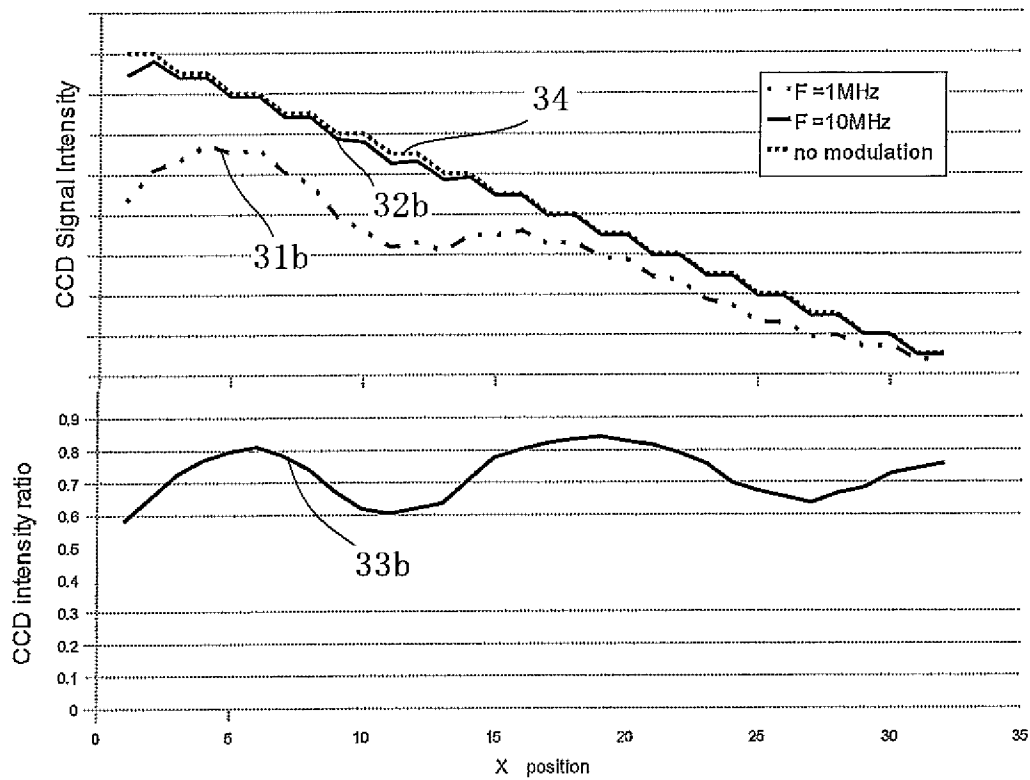
[図16]

Fig. 16



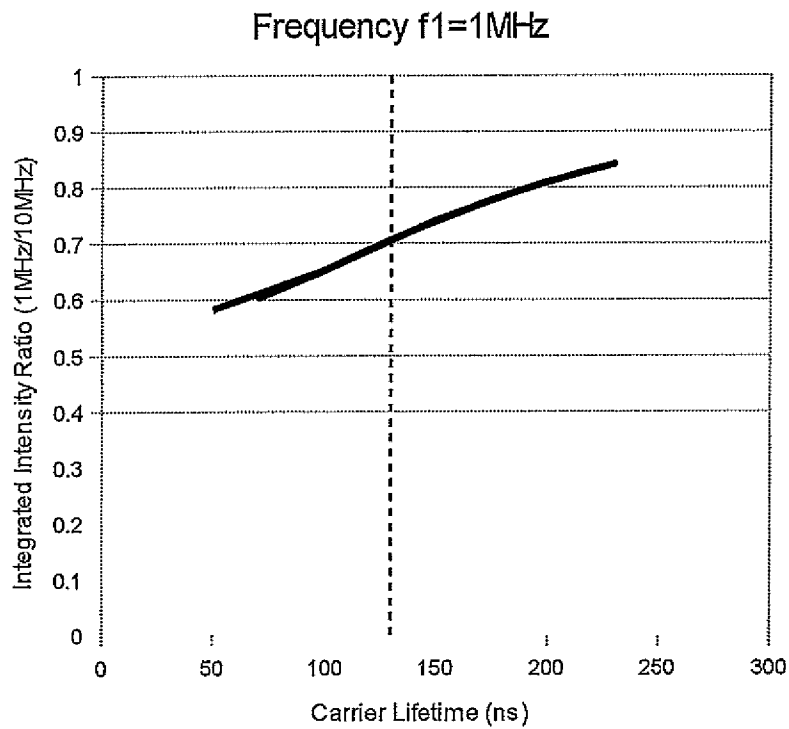
[Fig. 17]

Fig. 17



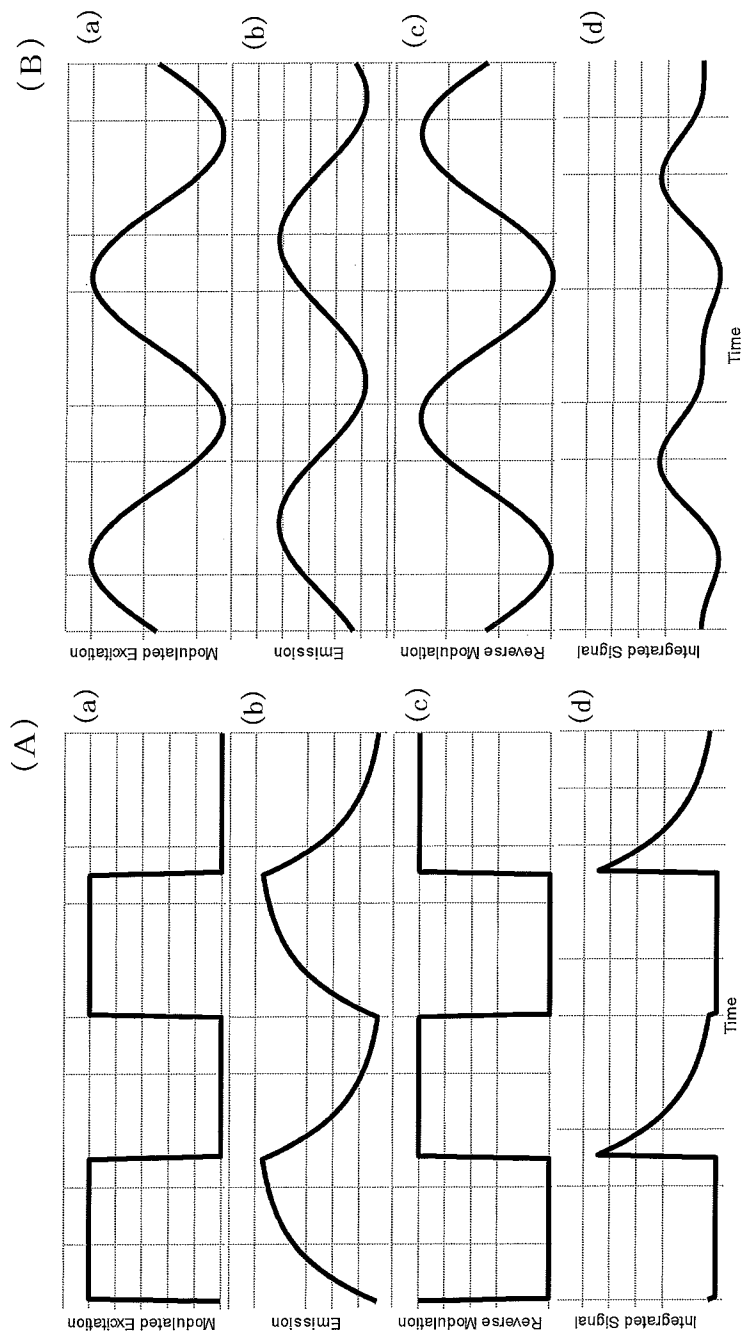
[Fig. 18]

Fig. 18



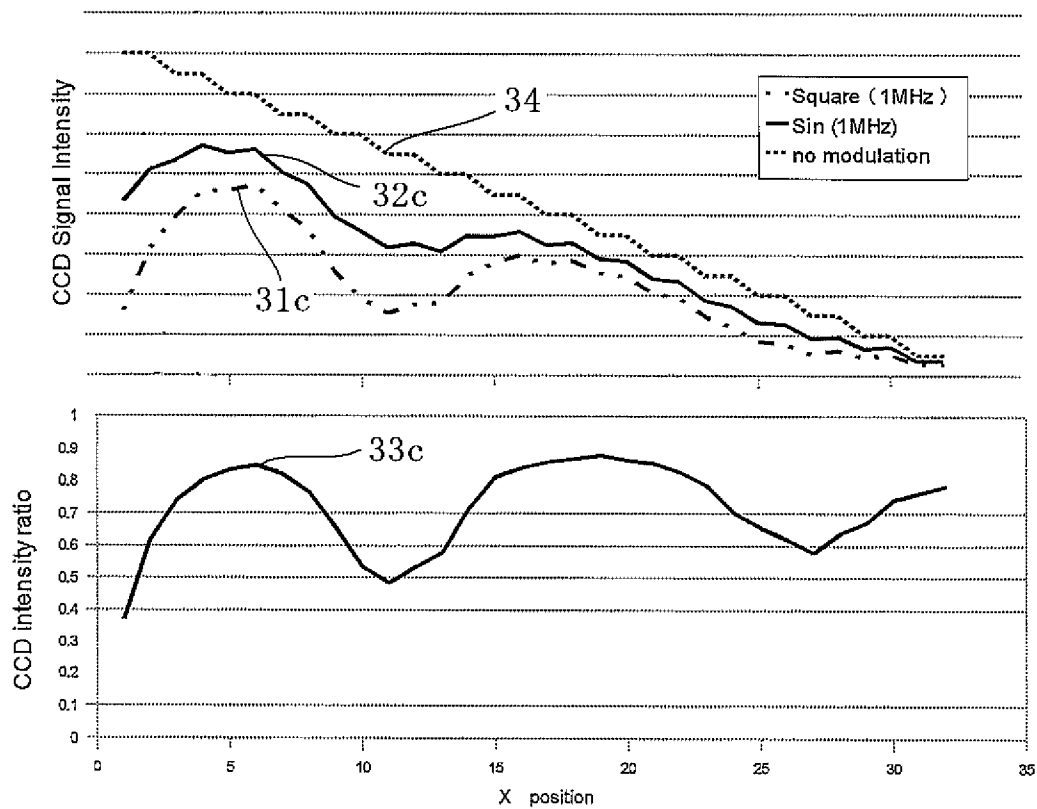
[19]

Fig. 19



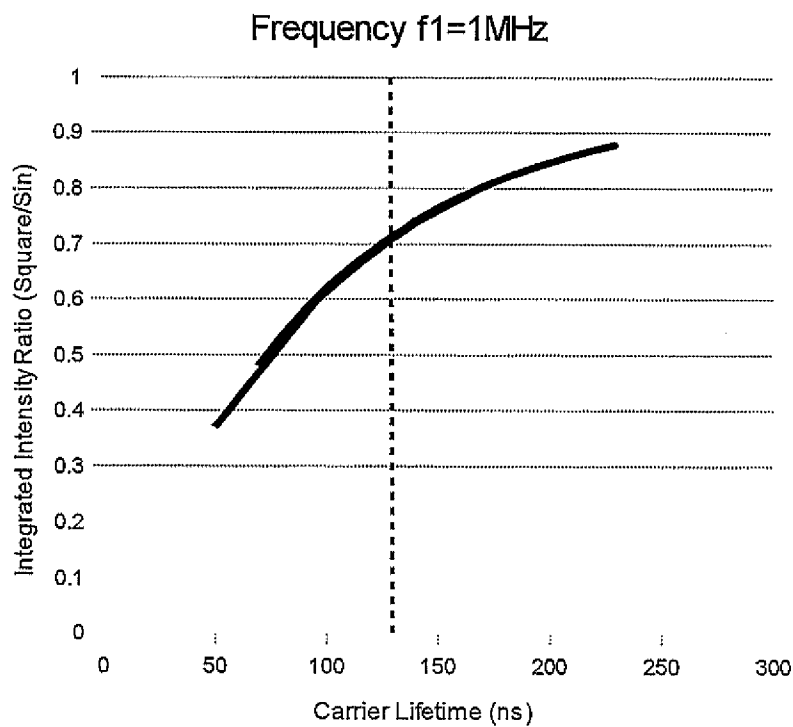
[Fig. 20]

Fig. 20



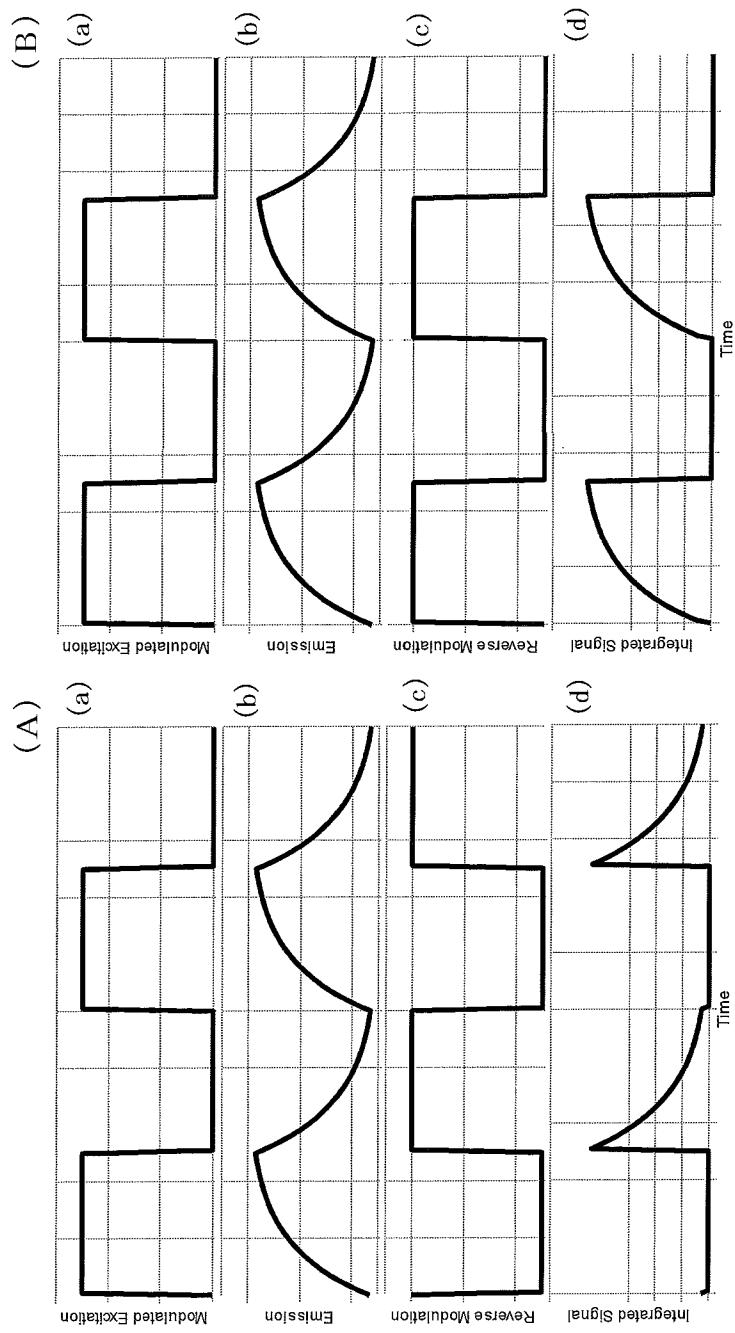
[Fig. 21]

Fig. 21



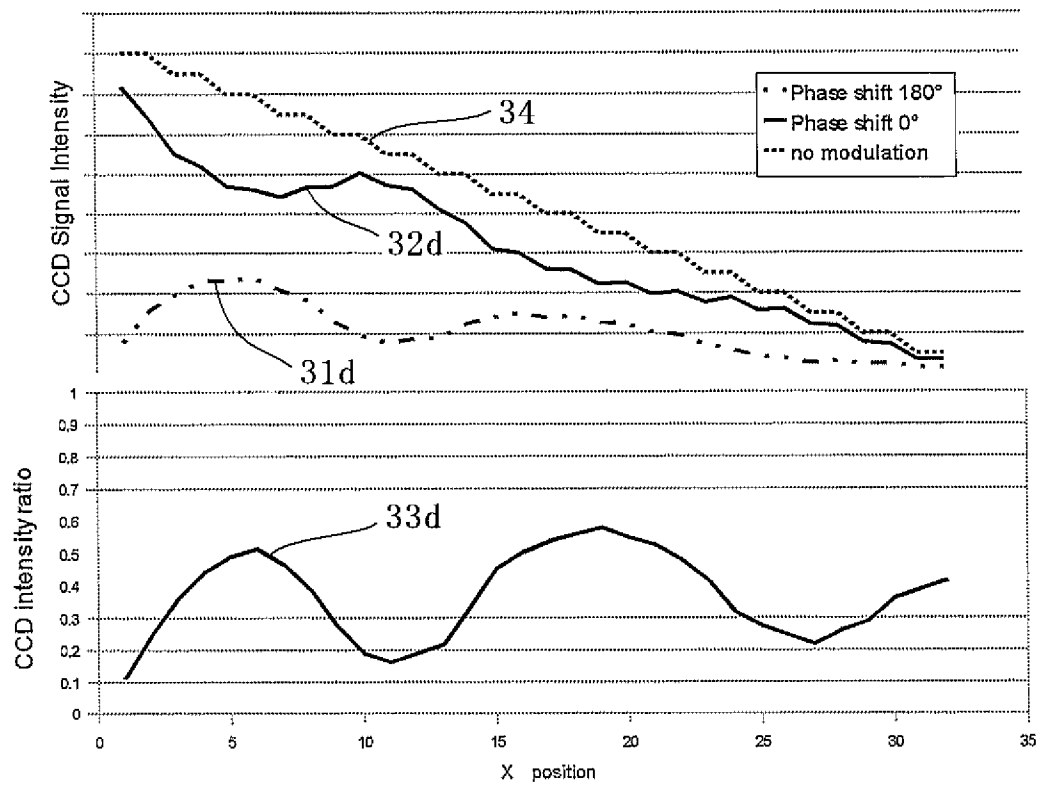
[22]

Fig. 22



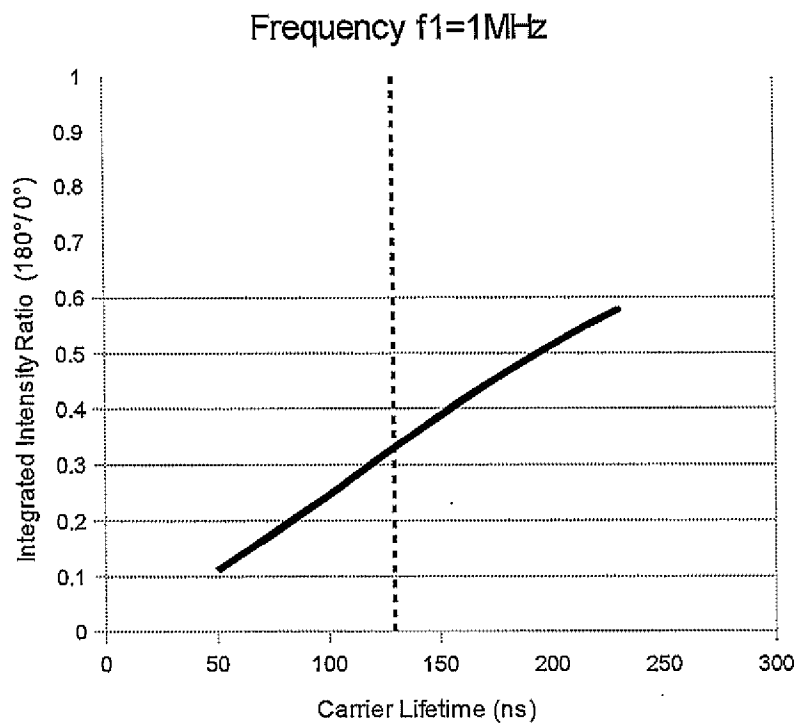
[図23]

Fig. 23



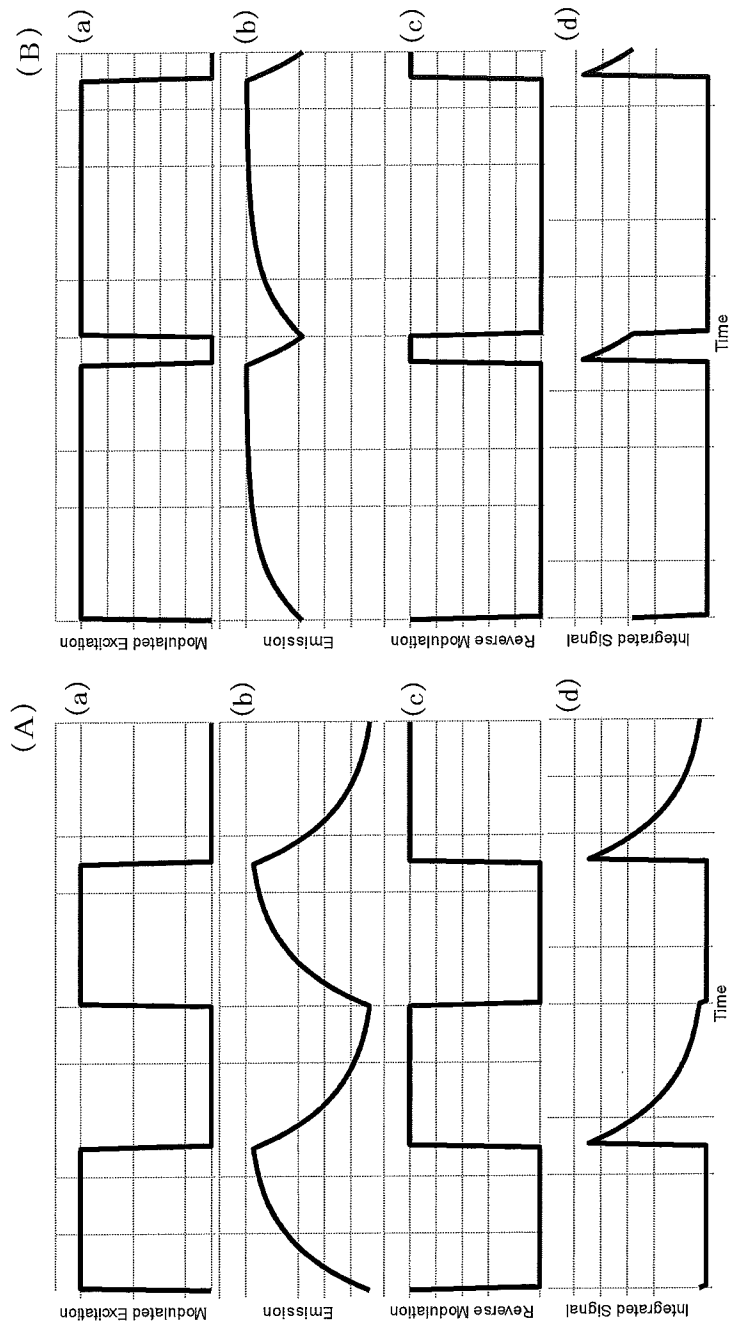
[図24]

Fig. 24



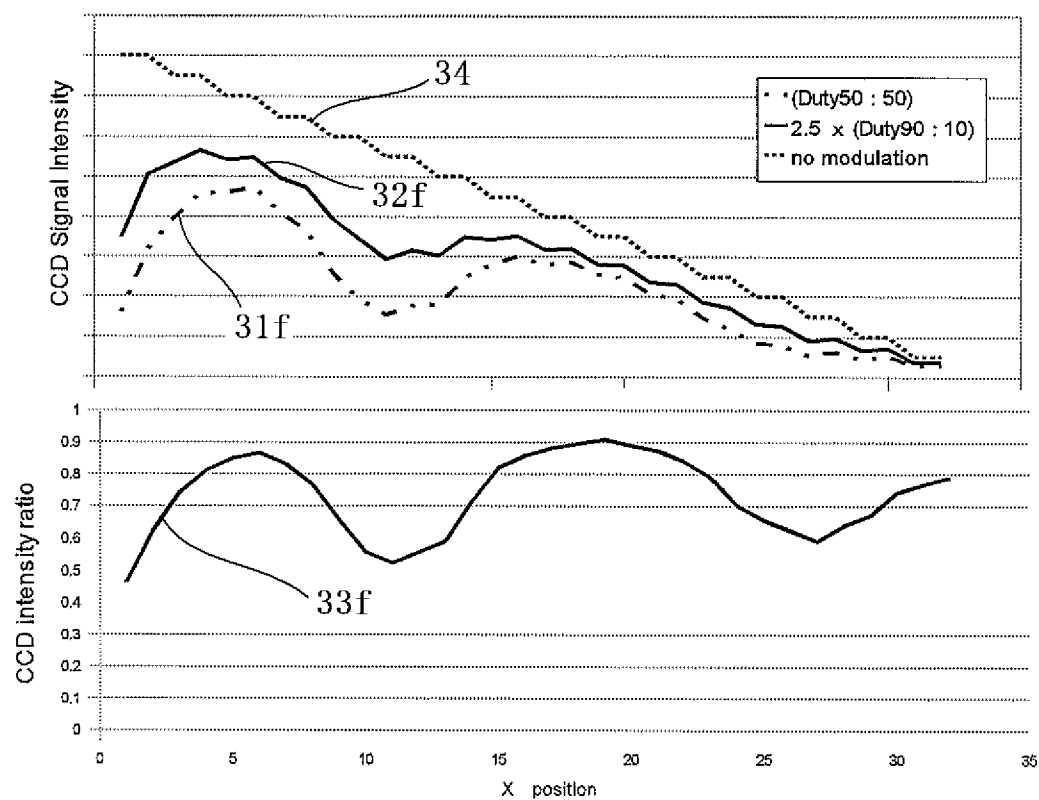
[25]

Fig. 25



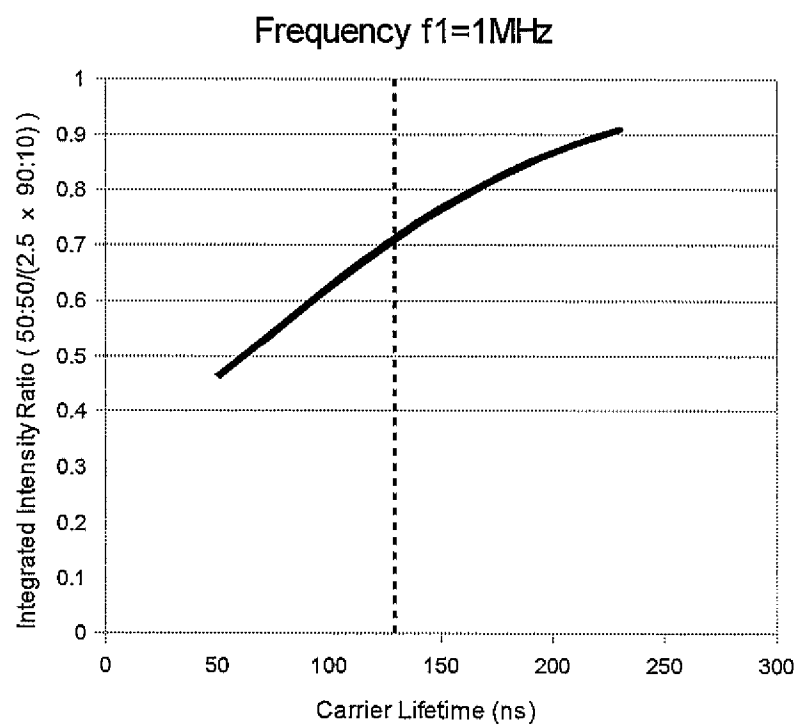
[図26]

Fig. 26

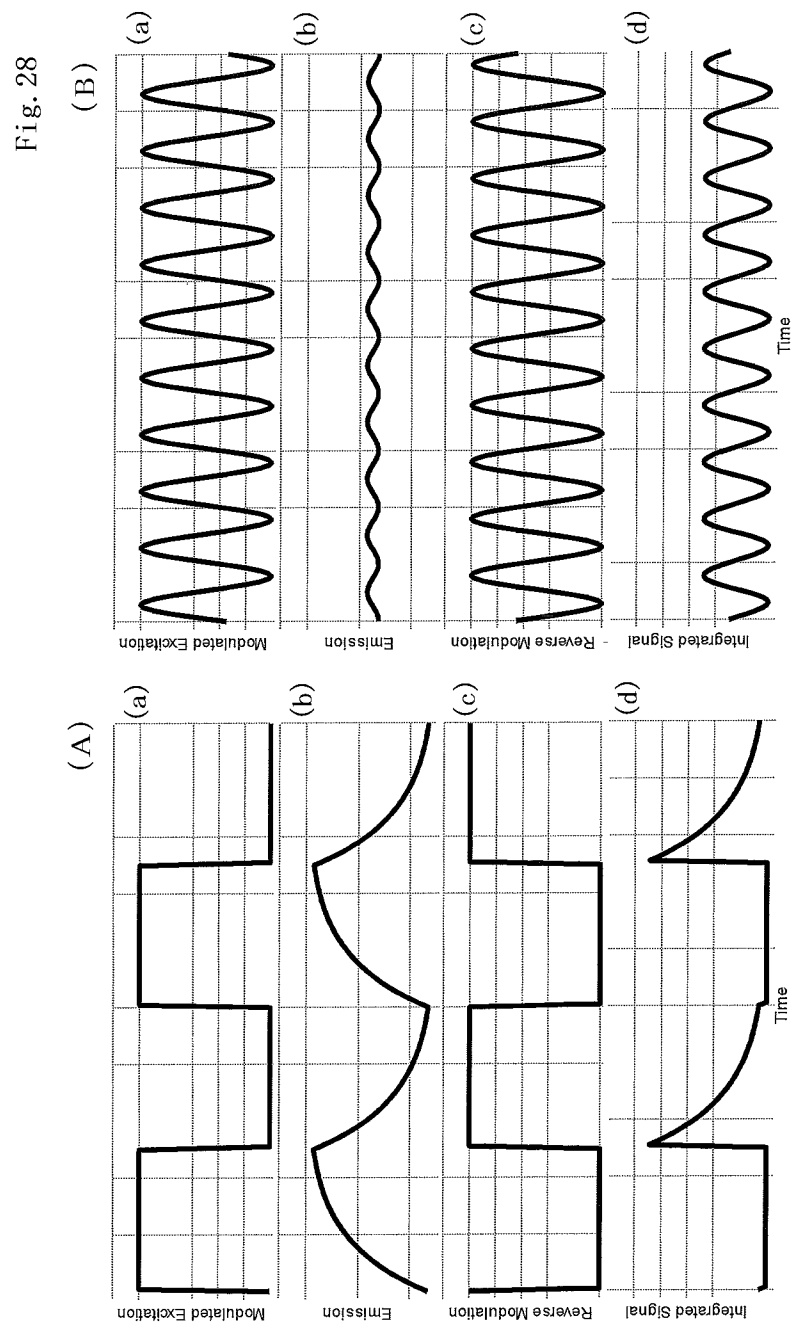


[図27]

Fig. 27

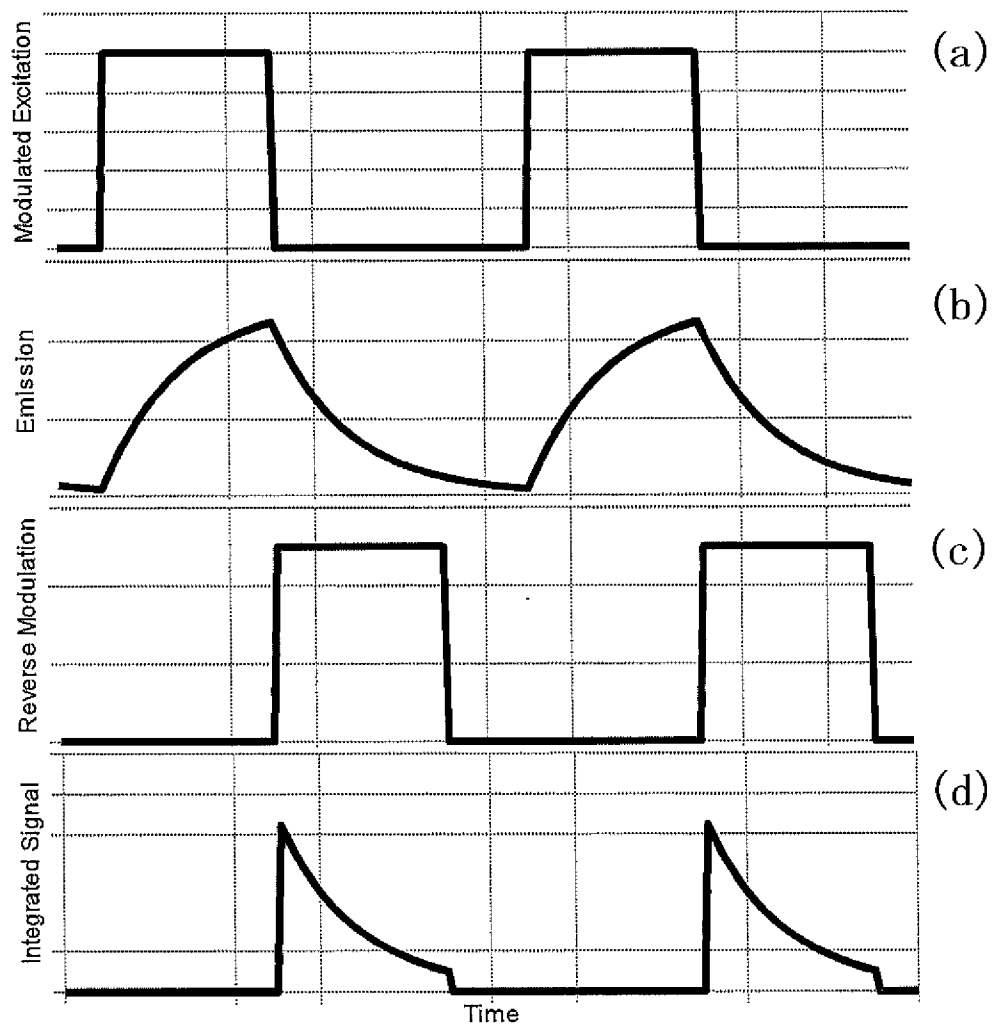


[Fig. 28]



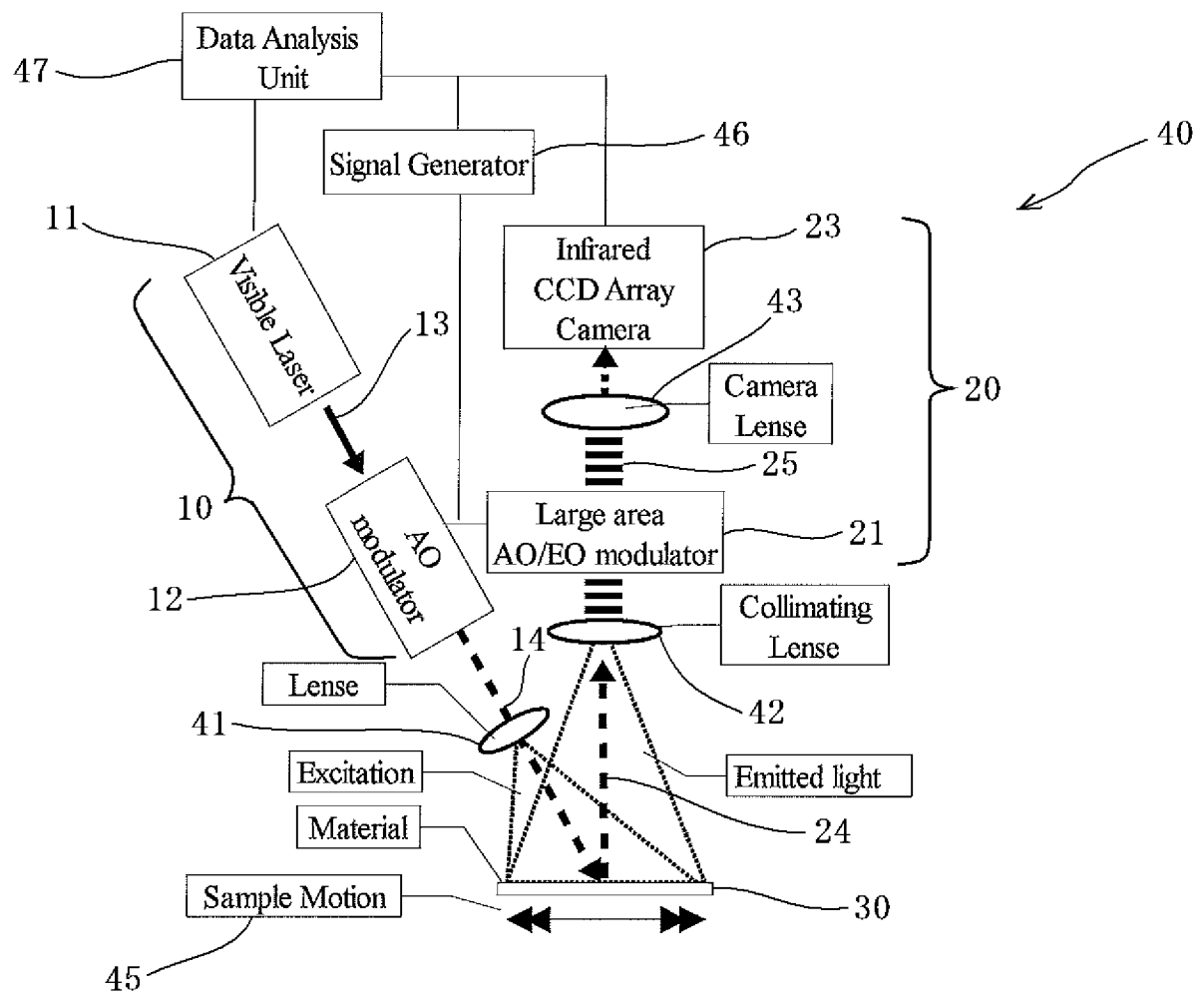
[29]

Fig. 29



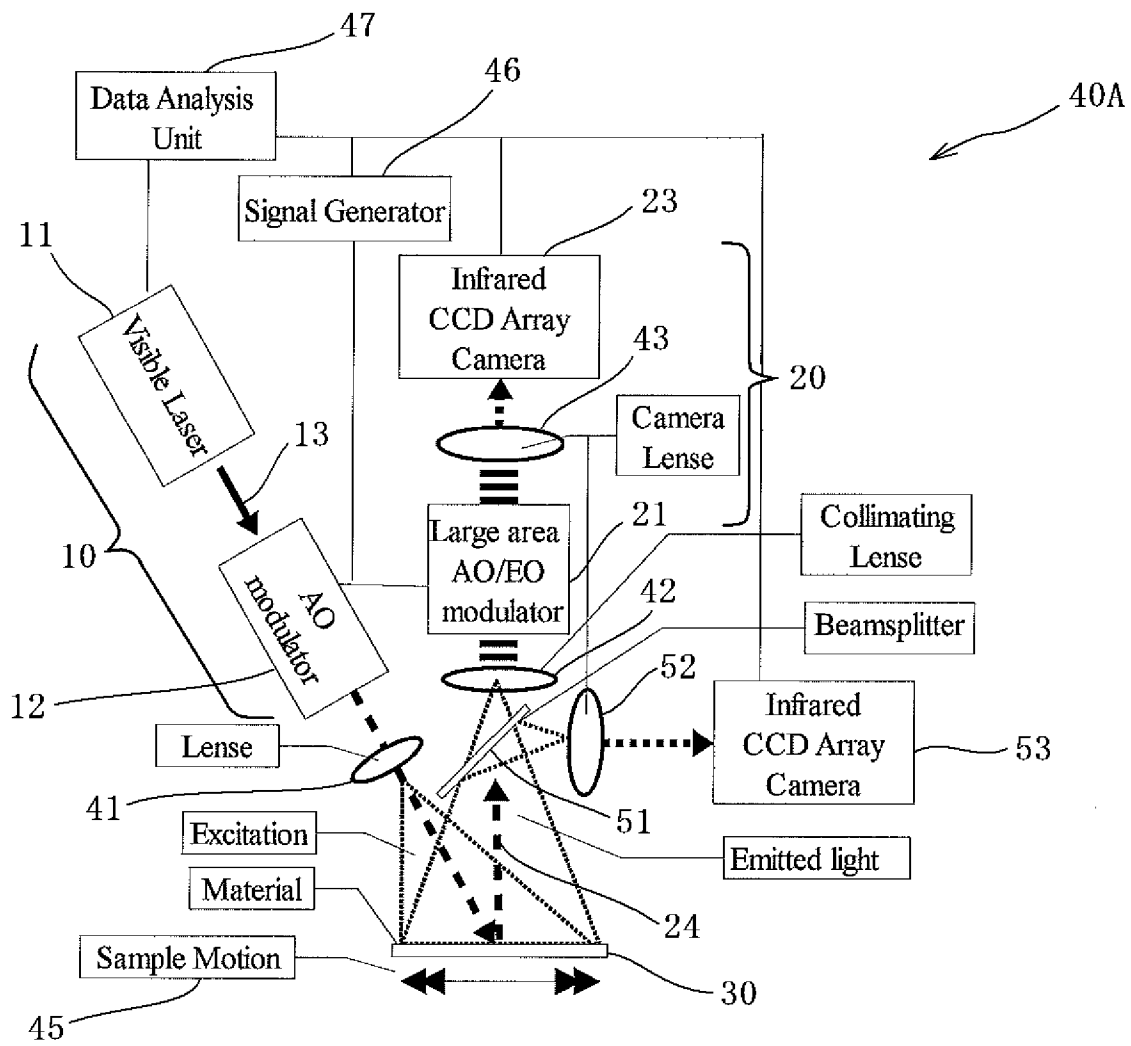
[図30]

Fig. 30



[図31]

Fig. 31



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/053154

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N21/64(2006.01) i, H01L21/66(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N21/62-21/74, H01L21/66

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JST7580 (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 7-14893 A (Sumitomo Metal Mining Co., Ltd.), 17 January 1995 (17.01.1995), entire text; all drawings (Family: none)	1-10, 16-31 11-15, 32-36
Y A	JP 2006-519395 A (U.T. Battelle, L.L.C.), 24 August 2006 (24.08.2006), entire text; all drawings & US 2004/0169854 A1 & EP 1599721 A & WO 2004/079351 A1 & CA 2513415 A	1-10, 16-31 11-15, 32-36
Y	JP 2010-517056 A (GE Healthcare Bio-Sciences Corp.), 20 May 2010 (20.05.2010), entire text; all drawings & US 2010/0090127 A & EP 2108129 A & WO 2008/094794 A1 & CA 2674910 A	8-10, 27-29

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
09 May, 2011 (09.05.11)Date of mailing of the international search report
17 May, 2011 (17.05.11)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/053154

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 4-10574 B2 (Omron Corp.), 25 February 1992 (25.02.1992), entire text; all drawings (Family: none)	1-36
A	JP 63-312649 A (Kawasaki Steel Corp.), 21 December 1988 (21.12.1988), entire text; all drawings (Family: none)	1-36

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））
Int.Cl. G01N21/64(2006.01)i, H01L21/66(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01N21/62-21/74, H01L21/66

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

JSTPlus/JST7580(JDreamII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 7-14893 A（住友金属鉱山株式会社）1995.01.17, 全文, 全図 （ファミリーなし）	1-10, 16-31 11-15, 32-36
Y A	JP 2006-519395 A（ユーティーパーテル エルエルシー）2006.08.24, 全文, 全図 & US 2004/0169854 A1 & EP 1599721 A & WO 2004/079351 A1 & CA 2513415 A	1-10, 16-31 11-15, 32-36

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 9 . 0 5 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 7 . 0 5 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

田中 洋介

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 2

2W

3 0 0 9

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2010-517056 A (ジーイー・ヘルスケア・バイオサイエンス・コーポレイション) 2010.05.20, 全文, 全図 & US 2010/0090127 A & EP 2108129 A & WO 2008/094794 A1 & CA 2674910 A	8-10, 27-29
A	JP 4-10574 B2 (オムロン株式会社) 1992.02.25, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-36
A	JP 63-312649 A (川崎製鉄株式会社) 1988.12.21, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-36