

(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
2014 年 12 月 4 日(04.12.2014)



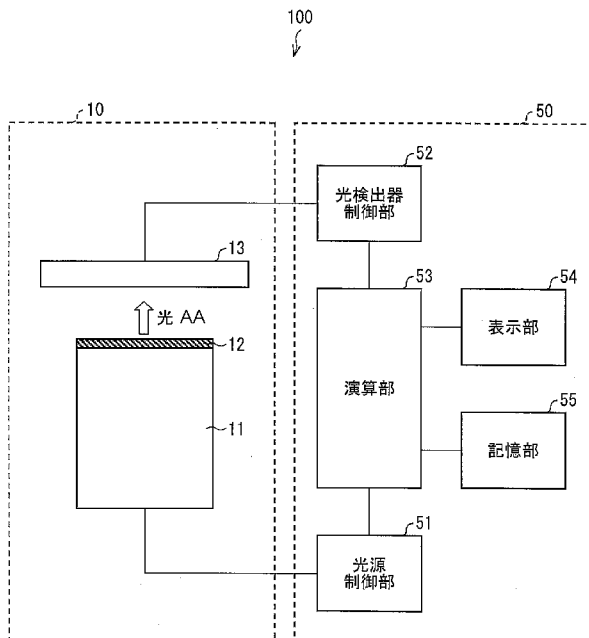
(10) 国際公開番号
WO 2014/192375 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 21/78 (2006.01) G01N 27/04 (2006.01)
G01N 21/41 (2006.01) G01N 27/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/057109
- (22) 国際出願日: 2014 年 3 月 17 日(17.03.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-112286 2013 年 5 月 28 日(28.05.2013) JP
- (71) 出願人: シャープ株式会社(SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 岩田 昇(IWATA, Noboru), 北澤 田鶴子(KITAZAWA, Tazuko), 佐藤 隆信(SATO, Takanobu).
- (74) 代理人: 特許業務法人 HARAKENZO WORLD PATENT & TRADE MARK (HARAKENZO WORLD PATENT & TRADE-MARK); 〒5300041 大阪府大阪市北区天神橋 2 丁目北 2 番 6 号 大和南森町ビル Osaka (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, BN, 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, IR, IS, JP, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシ

[続葉有]

(54) Title: SENSING SYSTEM, AND SENSING METHOD

(54) 発明の名称: センシングシステム、及び、センシング方法



(57) Abstract: A reactant (12) which is formed integrally with a light source (11, or 21), wherein the optical property, or the resistance vary due to a reaction with an object to be detected. A light detector (13) outputs variation in the optical property of the reactant (12) as a signal. A light detector control unit (52) electrically detects the signal of the light detector (13). A calculation unit (53) calculates on the basis of a detection output of the light detector control unit (52), and displays in a display unit (54) the presence or absence, and the concentration, and the like, of the object to be sensed.

(57) 要約: 反応体 (12) は、光源 (11) 又は (21) と一体に形成され、検出対象物との反応によって光学特性又は電気抵抗が変化する。光検出器 (13) は、反応体 (12) の光学特性の変化を信号として出力する。光検出器制御部 (52) は光検出器 (13) の信号を電気的に検出する。演算部 (53) は光検出器制御部 (52) の検出出力に基づいて演算し、検知対象の有無や濃度等を表示部 (54) に表示する。

- 51 Light source control unit
52 Light detector control unit
53 Calculation unit
54 Display unit
55 Storage unit
AA Light



ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： センシングシステム、及び、センシング方法

技術分野

[0001] 本発明は、気体や液体の成分、又は、これらに含まれる含有成分を検出するためのセンシングシステム、及び、センシング方法に関する。

背景技術

[0002] 液体、気体の成分ないしはこれらに含まれる含有成分を検出するため、各種のセンサ素子が提案されている。

[0003] 特許文献 1 には、酸化タングステンを用いた半導体ガスセンサが開示されており、より詳しくは、水熱処理や焼結を経て形成された酸化タングステン結晶を用いることが開示されている。また、特許文献 1 には、ガスセンサを昇温するためのヒータ線がフォトリソグラフィによりダブルジグザグ状のパターン形状に形成されていること、及び、抵抗測定用電極が、ヒータによる均一温度範囲内に櫛歯状パターンに形成されることが開示されている。

[0004] 特許文献 2 には、P 型半導体と N 型半導体とを用いる一酸化炭素ガスセンサが開示されている。また、特許文献 2 には、これらの半導体材料がプレス成型と焼成によって製造されること、及び、ヒータ電極への電力供給によりヒータが発熱し、センサが 200～400℃に加熱されることが開示されている。

[0005] 特許文献 3 には、ガス検知素子を使用した光学式ガスセンサが開示され、透過光の吸収波長変化や蛍光強度の変化によりガスを検知する方法が記載されている。

[0006] また特許文献 4 には、複数の光源部、センサ部材、検出部等を備える有機ガス種別判別装置が開示され、それぞれの検出部から出力される信号を比較することにより、燃料蒸気通路に導入された燃料蒸気は何であることを判別する手法が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：国際公開特許公報「WO 2009/034843号（2009年3月19日公開）」

特許文献2：日本国公開特許公報「特開2005-214868号（2005年8月11日）」

特許文献3：日本国公開特許公報「特開平1-244361号（1989年9月28日）」

特許文献4：日本国公開特許公報「特開平8-170942号（1996年7月2日）」

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] しかしながら、特許文献1及び2に記載のセンサでは、検出対象の検出に際してヒータを用いてセンサを加熱する必要があるため、これに伴い、センサ全体やその大部分が高温になるという課題が存在する。

[0009] このため、例えば、上記のセンサは、携帯電話やスマートフォンのような携帯型の電子機器に搭載されると、周囲部品を加熱し、これらの動作不良を引き起こしたり、劣化を生じさせたりするおそれがある。すなわち、上記のセンサは、他の電子部品とともに集積化することが難しいという課題が存在する。また、上記のセンサは、焼結や焼成を用いて形成したバルク状のセンサ材料をヒータ加熱する必要があるため、測定温度に達するまでに時間を要し、検出対象を速やかに検出することが難しいという課題が存在する。

[0010] また、特許文献3及び4に記載のセンサ素子においては、光源とセンシング材料とが別個に形成されているため、光源で発生した光が、センシング材料に到達するまでに散乱や吸収によって減衰し、センシング材料に効率良く到達しにくいという課題が存在する。

[0011] 本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであって、検出と検出後の復帰とを高速に行なうことが可能であり、検出対象に対しての検出感度、及び、加熱効率の高いセンシングシステム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

[0012] 上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係るセンシングシステムは、光源と、検出対象物との反応によって光学特性又は電気抵抗が変化する反応体と、前記反応体の光学特性又は電気抵抗を検出する検出器とを備え、前記反応体が、少なくともその一部に対して前記光源から発せられた光が照射される位置に配置されるとともに、直接、又は、高透過率材料から成る薄膜を介して前記光源と一体に形成されていることを特徴としている。

発明の効果

[0013] 本発明の一態様によれば、検出と検出後の復帰とを高速に行なうことや、検出対象に対しての検出感度、及び、加熱効率を向上させることができるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本発明の実施の形態1に係るセンシングシステムの構成例を示す概略図である。

[図2]本発明の実施の形態1に係るセンシングシステムにおけるセンサ部の別の構成例を示す概略図である。

[図3]本発明の実施の形態2に係るセンシングシステムの構成例を示す概略図である。

[図4]本発明の実施の形態2に係るセンシングシステムの別の構成例を示す概略図である。

[図5]本発明の実施の形態3に係るセンシングシステムの構成を示す概略図である。

[図6] (a) ～ (f) は本発明の実施の形態3に係るセンシングシステムに適用する金属体の例を示す断面概略図である。

[図7] (a) ～ (e) は本発明の実施の形態3に係るセンシングシステムに適用する別の金属体の例を示す上面概略図である。

[図8]本発明の実施の形態4に係るセンシングシステムの構成を示す概略図である。

[図9]本発明の実施の形態4に係る別のセンシングシステムの構成を示す概略図である。

[図10]本発明の実施の形態5に係るセンシングシステムの構成を示す概略図である。

[図11]本発明の実施例1における反応体の反応に伴う透過率変化を示すグラフである。

[図12](a)及び(b)は本発明の実施例2における反応体の光学定数変化によって生じる光源の光出力特性変化を示したグラフである。

[図13]本発明の実施例5における図8に示すセンシングシステムの加熱領域を示すための原子間力顕微鏡像、及び、磁気力顕微鏡像である。

発明を実施するための形態

[0015] 〔実施形態1〕

本発明の第1の実施の形態について、図1及び図2を用いて説明すれば以下の通りである。

[0016] 図1は、本発明の実施の形態1に係るセンシングシステム100の構成例を示す概略図である。図2は、センシングシステム100におけるセンサ部10の別の構成例を示す概略図である。

[0017] 本実施の形態のセンシングシステム100は、図1に示すように、センサ部10と、センサ制御部50とから構成されている。センサ部10は、光源11、反応体12、及び、光検出器13を備えている。センサ制御部50は、光源制御部51、光検出器制御部52、演算部53、及び、表示部54を備え、必要に応じて記憶部55を備えている。

[0018] 光源11は、反応体12に対して光を照射するための光源11であって、光源11から出射される波長が、必ずしも限定されるものではないが、例えば200nmから20 μ mと設定されることが望ましい。光源11には、半導体材料を用いた発光ダイオード素子、有機又は無機EL (Electroluminescence) 素子、キセノンランプ、重水素ランプ等の紫外線光源、ハロゲンランプやセラミック光源の赤外線光源等を適用可能である。このうち、半導体材

料を用いた発光ダイオード素子を光源 11 に適用すれば、紫外領域から赤外領域までの幅広い波長範囲について、小型で低消費電力の光源を提供可能であるため、特に望ましい。

[0019] また、上記光源 11 は、検出対象の検出に伴って生じる反応体 12 の光学定数の変化量が大きな波長領域に発光波長を有するものを適用することが望ましい。上記反応体 12 の光学定数とは、複素屈折率又は複素誘電関数として表される光学定数であり、上記光学定数の変化、又は、光学特性の変化とは、これらの実部又は虚部の少なくとも何れか、又は、両方が変化することを言う。

[0020] 反応体 12 は、検出対象との反応を利用して、検出対象の有無や濃度を反応体 12 の光学定数の変化に変換することで、光学特性を変化させ、検出対象を直接検出する場合に比べて、上記検出対象の検出や同定を容易にする。反応体 12 は、検出対象との反応によって少なくとも一時的に反応体 12 自体が上記光学定数の変化を示す材料であれば良く、必ずしも限定されるものではない。反応体 12 は、例えば、センシングシステム 100 の検出対象となる気体や液体成分との化学反応を生じることによって光学定数が変化するものであって、検出対象物との反応によって光学定数が変化可能な状態で光源 11 と一体で形成される。換言すれば、反応体 12 は、反応体 12 が検出対象となる気体や液体と直接接触可能な状態で、光源 11 と一体で形成される。

[0021] ここで言う、光源 11 と一体で形成されるとは、光源 11 から反応体 12 に対して発せられた光が反応体 12 の光照射領域に達するまでの経路上に、検出対象となる気体や液体が存在しない領域が存在するように構成され、且つ、この領域においては、反応体 12 が光源 11 と直接接しているか、又は、光源 11 から発せられた光が反応体 12 に達するまでの経路上に、光源 11 から発せられる光の少なくとも一部の波長に対して高い光透過率、より具体的には、80%以上の透過率を有する高透過率材料のみが、単層膜又は複数層の薄膜として形成されている状態を言う。特に望ましくは、光源 11 と

一体で形成されるとは、反応体 1 2 が光源 1 1 を基体とし、光源 1 1 と直接、又は、上記高透過率材料の単層膜若しくは積層膜を介して形成されている状態を言う。上記高透過率材料が適用される場合、その単層膜又は積層膜のトータル膜厚は $10\ \mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $2\ \mu\text{m}$ 以下とすることが望ましい。

[0022] このようにして、反応体 1 2 が光源 1 1 と一体で形成されることにより、レンズや導波路、プリズムといった他の光学部品を適用することなく、光源 1 1 から発せられた光が反応体 1 2 以外の領域に向けて照射されてしまうことを抑制することができるとともに、上記他の光学部品内部や、光学部品との入出射界面、これ以外の光源 1 1 から反応体 1 2 までの経路空間における散乱や吸収を抑えることが出来る。これにより、上記他の光学部品に対する高精度な位置合わせや光学的なマッチングを必要とせず、高い効率で光源 1 1 からの光を反応体 1 2 に照射可能となる。

[0023] 反応体 1 2 は、薄膜状に連続的に形成されても良く、平面的（光照射面の面内方向）又は立体的（光照射面の直交方向）な空孔部を有していても良く、微粒子状やメイズ状、ナノワイヤ状に形成されていても構わない。また、上記反応体 1 2 における光学定数の変化を伴う化学反応とは、少なくとも一時的に検出対象と反応体 1 2 との間の電子移動を伴う反応現象であって、反応体 1 2 の組成比や構成元素の価数が変化する現象を言う。具体的に例えば、上記化学反応とは、酸化還元反応や相転移、加水分解反応、脱水縮合反応、重合反応のことを言う。

[0024] 反応体 1 2 は、上記のように少なくとも一時的な光学定数の変化を生じるものであればよく、触媒材料が適用されても構わない。触媒材料を反応体 1 2 に適用すれば、検出対象に対して触媒として働く際に生じる中間体によって反応体 1 2 の光学定数が一時的に変化し、これを検出することで検出対象の存在を確認可能である。このような触媒反応を用いれば、反応体 1 2 が検出対象の検出後に自然に元に戻るため、リフレッシュ（復帰作業）が不要なセンシングシステム 1 0 0 を実現可能である。

[0025] 反応体 1 2 に適用される材料は、上記の化学反応によって光学定数が変化する無機材料や有機材料であればこれを限定するものではない。しかしながら、当該材料は、酸化還元性の検出対象や触媒反応を起こす検出対象を検出するために、例えば、金属材料、半導体材料やこれらの酸化物、窒化物、フッ化物、硫化物等を単体又は複数組み合わせることで適用することが可能である。上記材料としては、具体的に例えば、マグネシウム、アルミニウム、チタン、バナジウム、クロム、マンガン、鉄、コバルト、ニッケル、銅、亜鉛、ジルコニウム、ニオブ、モリブデン、パラジウム、銀、インジウム、スズ、タングステン、ビスマス、セリウムやこれらの酸化物、窒化物、フッ化物、硫化物を適用可能である。

[0026] また、反応体 1 2 は、その一部に蛍光体材料が適用され、検出対象との反応によって蛍光の発生強度が変化するものであっても構わない。更には、グルコース検出のために、反応体 1 2 としてグルコースオキシダーゼを固定化して適用しても構わない。

[0027] 更に、反応体 1 2 は複数の材料が積層された構造を取っていても構わない。例えば、上記光学定数変化を示す反応体 1 2 が複数層形成されていてもよく、反応体 1 2 の反応を促進するための触媒金属が薄膜形状や粒子形状で適用されても構わない。例えば、コバルトやルテニウム、パラジウム、白金を、反応体 1 2 と積層、又は、反応体 1 2 の内部に形成しても構わない。

[0028] また、反応体 1 2 は、検出対象と接する表面に微細な凹凸形状を備えるように、反応体 1 2 自身又は反応体 1 2 が形成される基体が凹凸形状を備えるように形成されてもよい。

[0029] 反応体 1 2 において、上記の化学反応の結果生じる光学定数の変化は、必ずしも光吸収率の変化（複素屈折率の虚数部変化）を伴うものである必要はなく、屈折率の実部のみが変化するようなものであっても構わない。例えば、吸収の無い（屈折率の虚部が 0 であるような）材料を反応体 1 2 に適用した場合であって、その屈折率の実部のみが変化するようなものであっても構わない。屈折率の実部が変化的ることによって、反応体 1 2 における光源 1

1側の界面、及び、検出対象側の界面において、透過率及び反射率が変化し、これに伴って透過光量及び反射光量が変化する。これにより検出対象を検出することができる。

[0030] なお、本明細書中においては、上記検出対象と反応体12との間で生じる少なくとも一時的な化学反応を単に反応と称する。

[0031] 光検出器13（検出器）は、光源11から発せられた光を直接又は反応体12での透過を介して受光し、これを電気信号に変換するものであれば限定するものではない。光検出器13は、例えば、光導電型の半導体素子、半導体PN接合やPIN接合を用いたフォトダイオードやフォトトランジスタに代表される光起電力素子、サーモパイルや焦電素子に代表される熱検出素子、電荷結合型素子やCMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor）センサを適用可能である。

[0032] 図1に示す本実施形態のセンシングシステム100の動作は以下の通りである。

[0033] まず、センシングシステム100のセンサ部10に対して、検出対象を含む気体又は液体が、反応体12と接するように供給される。検出対象の供給方法は、これを含む気体や液体の自然対流を利用する手法でも良く、ファンやポンプを用いて供給する方法であっても良い。また、検出対象が反応体12に直接接触可能なように形成された流路が用いられても構わない。これとは逆に、検出対象を含む気体や液体に反応体12が接するようにセンサ部10を移動させても良い。

[0034] 反応体12の表面に接触するように供給された検出対象は、反応体12との反応によって反応体12の光学定数を変化させる。上記光学定数の変化は、光源11からの反応体12に照射された光に対する透過率若しくは反射率の何れか、又は両方の変化を生じるものである。

[0035] なお、上記の検出対象と反応体12との反応に際しては、必要に応じて光源11から発せられた光が反応体12又は検出対象を含む気体や液体に吸収されることによって生じる熱や、検出対象と反応体12とが反応する際に生

じる反応熱を利用しても構わない。

[0036] 上記の反応によって光学定数が変化した反応体 1 2 に対して、光源 1 1 から光が照射され、反応体 1 2 を透過した透過光が光検出器 1 3 によって検出される。反応の前後で光検出器 1 3 に到達する光の強度が変化するので、反応体 1 2 が反応したことが確認でき、検出対象を検知することが出来る。また、光検出器 1 3 で検出される光強度の変化の大きさに検出対象の濃度を判定することが可能となる。

[0037] これらの検出動作に際し、センサ制御部 5 0 は以下のようにセンサ部 1 0 を制御する。

[0038] まず、センサ制御部 5 0 に含まれ、光源 1 1 と電氣的に接続された光源制御部 5 1 が、光源 1 1 の発光と発光強度の制御を行い、光源 1 1 から反応体 1 2 に対して光を照射させる。上記発光強度の制御とは、予め設定された電流又は電圧値を用いて光源 1 1 の光強度を制御するものであっても良く、光検出器 1 3 からの検出信号強度に基づいて光源 1 1 に加える電流又は電圧値を変化させるものであっても構わない。

[0039] 上記光源制御部 5 1 によって制御される光源 1 1 からの光は、反応体 1 2 に照射され、反応体 1 2 を透過すると、光検出器 1 3 によって受光され、光検出器 1 3 と電氣的に接続された光検出器制御部 5 2 によって光信号強度が検出される。光検出器制御部 5 2 は、受光に応じて光検出器 1 3 から出力される信号を電氣的に検出するものであって、必要に応じて光検出器 1 3 に対してバイアス電圧を印加するものであっても構わない。また、光検出器制御部 5 2 は、部材構成上、光源制御部 5 1 や下記の演算部 5 3 と一体であっても構わない。

[0040] 演算部 5 3 は、上記光検出器制御部 5 2 と接続されており、光検出器制御部 5 2 によって検出された、光検出器 1 3 に受光された光の強度を演算する。また、演算部 5 3 は、必要に応じて、別途設けられた記憶部 5 5 に保存された、検出された光強度と検出対象の濃度との関係を示す情報を参照して、検出対象の検出有無や検出された電気信号の強度、又は、検出対象の濃度の

情報を表示部 54 に表示する。表示部 54 は、上記検出有無や検出信号の強度、又は、検出対象の濃度の情報がディスプレイ等の表示画面上に表示するものであっても良く、音声や告知音、光を用いてユーザに対して検出対象の検出状態を伝えるものであっても構わない。

[0041] 図 1 に示すセンシングシステム 100 において、センサ部 10 は、光源 11 から反応体 12 に向かって発せられた光を、光源 11 から見て反応体 12 の向こう側に有る光検出器 13 で検出する構成となっている。すなわち、センサ部 10 は、反応体 12 を透過した透過光を光検出器 13 で検出する構成となっている。このような各部の配置の他に、センサ部 10 は、図 2 に示すように、反応体 12 を透過した光を反射体 16 で反射させ、この反射光を光源 11 と並んで配置された光検出器 13 によって検出する構成としても良い。

[0042] このような構成を用いれば、光源 11 から見て、検出対象の向こう側に光検出器 13 を配置する十分な空間が存在しない場合や、検出対象の向こう側で光検出器 13 への電氣的な配線を確認出来ない場合においても、効率的な検出対象のセンシングが可能となる。反射体 16 には、公知の高反射率材料である金属材料や屈折率の異なる誘電体の多層膜、金属体と誘電体との組み合わせを用いることが出来る。

[0043] また、反射体 16 からの反射光をより効率的に光検出器 13 に到達させるために、光源 11 若しくは光検出器 13 の何れか又は両方（図 2 に示す例）を反射体 16 の反射面に対して傾斜させて配置しても構わない。

[0044] センシングシステム 100 は、検出対象の検出に際して、光源制御部 51 によって光源 11 から発せられる光の光強度を変化させ、異なる光強度で反応体 12 に光が照射された際の反応を光学定数の変化として検出するように設定されていても構わない。光源 11 から発せられる光の強度が変化すると、光源 11 と一体に形成された反応体 12 の光吸収によって、反応体 12 の温度が変化する。これによって検出対象と反応体 12 との間で生じる反応の速度が変化する。従って、センシングシステム 100 は、この反応速度が検

出対象の種類によって異なることを利用して検出対象の種類を判定し、その結果を表示部 54 に表示するものであっても構わない。

[0045] 以上のように、本実施の形態に示したセンシングシステム 100 を用いたセンシング方法によれば、光源 11 と反応体 12 とが一体で形成されている。これにより、レンズや導波路、プリズムといった複雑且つ光源との精密な位置決めを必要とする光学部材を用いずに、簡易且つ小型な構成で、光源 11 から発生した光が反応体 12 以外の領域にも広がって照射されることを防ぐことが可能となる。また、光源 11 からの光が反応体 12 に達するまでの過程での上記光学部品や光学部品の入出射界面、これ以外の経路空間における散乱や吸収に伴う光の減衰を防ぐことが可能となる。従って、光源 11 からの光が効率良く反応体 12 に到達し、検出感度が高まる効果が得られる。

[0046] これに加えて、検出対象のセンシングに際して加熱が必要な場合であっても、反応体 12 が光源 11 と一体で形成されていることにより、光源 11 から発せられた光を用いて、反応体 12 を局所的に、且つ、効率良く加熱できる。このため、センサ部 10 全体が温度上昇することを防ぐことが可能である。従って、センシングシステム 100 を高集積化した際にセンサ部 10 の周囲部品を加熱してしまう問題を解消出来るとともに、反応体 12 がセンシング温度に達するまでの時間を短くなることで、検出時間及び検出後の復帰時間を短縮することが可能となる。

[0047] 〔実施の形態 2〕

本発明の第 2 の実施の形態について、図 3 及び図 4 を用いて説明すれば以下の通りである。

[0048] 図 3 は、本発明の実施の形態 2 に係るセンシングシステム 200 の構成例を示す概略図である。図 4 は、実施の形態 2 に係る別のセンシングシステム 200A の構成例を示す概略図である。

[0049] なお、本実施の形態において、実施の形態 1 における構成要素と同等の機能を有する構成要素については、同一の符号を付記して、その説明を省略する。

[0050] 本実施の形態のセンシングシステム200は、図3に示すように、センサ部20と、センサ制御部50とを備えるセンシングシステムである。センサ部20は、第1の実施形態のセンシングシステム100におけるセンサ部10と同様、反応体12、及び、光検出器13を備えているが、センサ部10の光源11に代えて光源21を備えている。光源21については、端面発光型又は面発光型の半導体レーザが適用され、半導体レーザから発せられた光が反応体12に光照射されるように配置されることを特徴としている。

[0051] 本実施の形態のように光源21に半導体レーザを用いる場合、反応体12が直接又は高透過率材料からなる薄膜を介して光源21と一体に形成されていることによって、反応体12が半導体レーザの一方のミラーの一部として機能する。具体的には、光源21から発せられた光は、その一部が反応体12によって反射され、戻り光として半導体レーザに帰還する。上記戻り光は半導体レーザが備える光共振器の動作に影響を与え、半導体レーザから出射されるレーザ光の閾値電流値、及び、投入電流に対する光出力の傾きである微分効率に変化を与える。すなわち、半導体レーザに対してある大きさの電流を流した際に、半導体レーザから出射されるレーザ光の強度が反応体12の光学定数によって変化することになる。従って、反応体12と検出対象との間の反応によって生じた反応体12の光学定数の変化を半導体レーザ共振器からの光出力変化に置き換えることで、高感度に検出することが可能である。

[0052] 図3に示すセンシングシステム200においては、図1に示した実施の形態1のセンシングシステム100と同様に、光源21から反応体12に向かって発せられた光を、光源21から見て反応体12の向こう側に存在する光検出器13で検出する。すなわち、センシングシステム200は、反応体12を透過した透過光が光検出器13で検出される構成となっている。

[0053] ここで、本実施形態のセンシングシステム200においては、光源21に半導体レーザが適用されており、上述のように、反応体12は半導体レーザのミラーの一部として機能し、光共振器の動作に影響を与えて出力光強度が

変化する。より具体的には、検出対象である気体や液体の成分が反応体 1 2 と反応することで反応体 1 2 の光学定数が変化した際、半導体レーザの反応体 1 2 が形成された側のミラーの反射率が変化することになる。このようなミラーの反射率変化は、半導体レーザの発振条件を変化させる。

[0054] 例えば、反応体 1 2 の光学定数変化によって反射率が高くなった場合には、より多くの光が半導体レーザに戻るため閾値が下がる（レーザ発振し易くなる）。また、この場合には、半導体レーザの反応体 1 2 が形成された面側では、出射される光の量が減って微分効率が小さくなる（同じ印加電流を半導体レーザに与えた際の光出力が小さくなる）。これとは逆に、半導体レーザの反応体 1 2 が形成された面と反対側の面側では、出射される光の量が増えて微分効率が大きくなる（同じ印加電流を半導体レーザに与えた際の光出力が大きくなる）。このような半導体レーザの反応体 1 2 側の面、又は、その反対側の面から出射される光の強度変化を、光検出器 1 3 で検出することによって、反応体 1 2 と検出対象との反応を検出することが可能である。

[0055] このように、本実施形態のセンシングシステム 2 0 0 においては、光共振器構造を持たない発光素子を用いる実施の形態 1 のセンシングシステム 1 0 0 で行われる、単純な透過光量変化の検出に加えて、光源 2 1 からの出射光の光強度も反応体 1 2 の光学定数変化に応じて変化する。これにより、センシングシステム 1 0 0 と比べ、光検出器 1 3 において反応体 1 2 の反応に伴う光学定数変化をより大きな光強度変化として取得することが可能である。このため、検出感度が向上する効果が得られる。

[0056] 更に、光源 2 1 として半導体レーザを適用することにより、光源 2 1 への電流注入によって誘導放出を生じさせ、発生する光を増幅する光学利得を得ることができる。このため、誘導放出や光学利得を伴わない光共振器構造を適用する場合と比べて、上記の検出原理によって得られる光強度変化が特に大きくなり、より高い検出感度が得られる。

[0057] なお、上記の動作原理の説明では、反応体 1 2 の反射率変化に伴い、反応体 1 2 が形成された面とその逆の面とで微分効率の変化方向が逆になる例を

示したが、反応体 1 2 に吸収が存在する（屈折率の虚部が 0 でない）材料が適用された場合にはこの限りではない。例えば、反応体 1 2 の光学定数変化によって、反応体 1 2 の透過率と反射率とがともに増加又は減少する場合においては、反応体 1 2 が形成された面とその逆の面とで微分効率の変化方向が同じになる場合も有り得る。

[0058] 本実施形態のセンシングシステム 2 0 0 において、光源 2 1 に端面発光型の半導体レーザを適用する場合には、光共振器構造の両端から光が出射されるため、反応体 1 2 が形成された面と反対側の面からも出射光が得られる。この場合には、図 4 に示すセンシングシステム 2 0 0 A におけるセンサ部 2 0 A のように、光源 2 1 から見て、反応体 1 2 が配置される方向と反対側に光検出器 1 3 を配置しても構わない。このように配置した場合でも、反応体 1 2 での検出情報、すなわち、反応体 1 2 と検出対象との間の反応によって生じた反応体 1 2 の光学定数の変化を、光源 2 1 からの出射光量の変化として検出することが可能である。

[0059] 図 4 に示した構成を用いれば、実施の形態 1 において図 2 に示したような反射体 1 6 が不要であり、光源 2 1 及び反応体 1 2 と、光検出器 1 3 とを同一の基体上に形成することが容易になる。また、検出対象の向こう側に光検出器 1 3 を配置する十分な空間が存在しない場合や検出対象の向こう側で光検出器 1 3 への電氣的な配線を確認出来ない場合、検出対象の散乱や吸収が大きく透過光が光検出器 1 3 へ十分な強度で到達しない場合のように、検出対象を挟んで光検出器 1 3 を形成することが困難な場合にも、検出対象を高感度に検出可能なセンシングシステムを提供することができる。また、金属材料のように透過率の低い材料であっても反応体 1 2 として適用することが可能となるため、反応体 1 2 に適用する材料や厚さの選択幅を広げることが出来る。

[0060] 更に、光源 2 1 と光検出器 1 3 とを、これらの間に検出対象が入らないように配置しても構わない。これにより、光源 2 1 と反応体 1 2 との間のみならず、光源 2 1 と光検出器 1 3 との間においても、光源 2 1 から発生した光

が検出対象によって散乱や吸収を受けて減衰してしまう問題を防ぐことが出来る。従って、検出信号を高感度取得することが可能となる。

[0061] 本実施の形態では、実施の形態1と同様に、光源21と反応体12とが一体で形成されているために、検出対象のセンシングに際して加熱が必要な場合であっても、光源21から発せられた光を用いて、反応体12を局所的に、且つ、効率良く加熱出来る。このため、センサ部20全体が温度上昇することを防ぐことが可能である。従って、センシングシステム200及び200Aを高集積化した際にセンサ部20及び20Aの周囲部品を加熱してしまう問題を解消出来るとともに、反応体12が測定温度に達するまでの時間が短くなることで、検出時間及び検出後の復帰時間を大幅に短縮することが可能となる。

[0062] 本実施の形態のセンシングシステム200及び200Aにおいては、実施の形態1のセンシングシステム100と同様に、検出対象の検出に際して、光源制御部51によって光源21から発せられる光の光強度を変化させ、異なる光強度で反応体12に光が照射された際の反応を検出するように設定されていても構わない。光源21から発せられる光の強度が変化すると、光源21と一体に形成された反応体12の光吸収によって、反応体12の温度が変化する。これによって、検出対象と反応体12との間で生じる反応の速度が変化する。従って、センシングシステム200及び200Aは、この反応速度が検出対象の種類によって異なることを利用して検出対象の種類を判定し、表示部54に表示するものであっても構わない。

[0063] また、本実施の形態のセンシングシステム200及び200Aにおいては、光源21として端面発光型の半導体レーザを用いた場合に、光源21から見て反応体12が配置された向こう側と、反応体12が配置された方向と反対側の両方に光検出器13を配置しても構わない。このような構成とすることで、光源21から出射された光が反応体12を透過した透過光と、反応体12で反射された光が光源21に戻り、光源21の裏面（反応体12が形成

された面と反対側の面）から出射された光とを、ともに検出することが可能となる。これにより、反応体 1 2 の光学定数の変化をより詳細に確認することが可能となる。より具体的には、反応体 1 2 における、透過、反射、吸収の変化を明確にすることが可能になり、検出対象の濃度や成分をより詳細に同定可能になる。

[0064] 〔実施の形態 3〕

本発明の第 3 の実施の形態について、図 5、図 6 及び図 7 を用いて説明すれば以下の通りである。

[0065] 図 5 は、本発明の実施の形態 3 に係るセンシングシステム 3 0 0 の構成を示す概略図である。図 6 の（a）～（f）は、センシングシステム 3 0 0 に適用する金属体 1 4 の例を示す断面概略図である。図 7 の（a）～（e）は、センシングシステム 3 0 0 に適用する別の金属体 1 4 の例を示す上面概略図である。

[0066] なお、本実施の形態において、実施の形態 1 及び 2 における構成要素と同等の機能を有する構成要素については、同一の符号を付記して、その説明を省略する。

[0067] 本実施の形態のセンシングシステム 3 0 0 は、図 5 に示すように、センサ部 3 0 と、センサ制御部 5 0 とを備えるセンシングシステムである。センサ部 3 0 は、実施の形態 1 又は 2 に示したセンサ部 1 0 又は 2 0 の構成に加えて、反応体 1 2 と直接又は誘電体膜（図示しない）を介して接し、少なくとも一つの空隙部 1 5 が形成された金属体 1 4 を備えているものである。

[0068] 金属体 1 4 は、反応体 1 2 に対して近接場光を照射するための金属体であって、少なくとも一つの空隙部 1 5 が形成された金属体であれば特に限定するものではない。金属体 1 4 は、例えば、近接場光をより効率良く形成する観点から、その表面においてプラズモンを生成し易い金属である金、銀、白金、アルミニウム、パラジウム、銅の何れか、又は、これら同士やこれらと別の金属材料とが、合金として、又は、積層されて形成されることが特に望ましい。

[0069] 空隙部 15 は、金属体 14 が薄膜状に形成され、その隙間部分として形成される空隙であってもよく、金属体 14 が微粒子状、メイズ状、ナノワイヤ状に形成された際に金属体 14 の間に生じる空隙であっても構わない。空隙部 15 は、金属体 14 に対してスリットとして形成されたものであってもよく、開口形状であってもよい。これらのスリットや開口は、金属体 14 に複数形成されていても構わない。このような金属体 14 と空隙部 15 との形状の例を図 6 の (a) ~ (f) 及び図 7 の (a) ~ (e) に示す。

[0070] 図 6 の (a) ~ (f) は、光源 11 又は 21 の断面図において、金属体 14 と空隙部 15 との形状について例示したものである。本実施形態において、図 6 の (a) に示すように、金属体 14 が連続的に形成され、その一部に空隙部 15 が存在するとともに、金属体 14 上に形成された反応体 12 によって、空隙部 15 が埋められたものであっても良い。また、図 6 の (b) に示すように、金属体 14 が粒子状に形成され、その隙間部分が空隙部 15 となっており、金属体 14 上に形成された反応体 12 によって、空隙部 15 が埋められたものであっても良い。この他にも、図 6 の (c) に示すように、反応体 12 上に金属体 14 と空隙部 15 とが形成されたものや、図 6 の (d) に示すように、反応体 12 中に金属体 14 が粒子状に形成され、その隙間部分が空隙部 15 となっているものでも良い。更には、図 6 の (e) に示すように、反応体 12 上に金属体 14 が微粒子状に形成されたもの、図 6 の (f) に示すように、微粒子状に形成された金属体 14 上に、同じく微粒子状の反応体 12 が形成されたものであっても良い。これらの例以外であっても、反応体 12 が薄膜状であるか否かを問わず、反応体 12 と、少なくとも一つの空隙部 15 が形成された金属体 14 とが接して形成され、空隙部 15 の少なくとも一つに対して光源 11 又は 21 からの光が照射されるように配置されていれば、本発明として適用可能である。例えば、金属体 14 と反応体 12 とが、何れか一方をコア、他方をシェルとしたコアシェル構造を取っても構わない。

[0071] 図 7 の (a) ~ (e) は、光源 11 又は 21 の光出射面（金属体 14 が形

成される面) について、金属体 1 4 が連続的に形成された際の金属体 1 4 と空隙部 1 5 の形状について例示したものである。なお、形状を理解しやすくするために、図中では反応体 1 2 の記載を省略した。

[0072] 本実施形態において、図 7 の (a) に示すように、金属体 1 4 を分断するように、スリット状の空隙部 1 5 が形成されていても良い。また、図 7 の (b) に示すように、金属体 1 4 が連続的に形成され、その一部にスリット状の空隙部 1 5 が形成されていても良い。また、図 7 の (c) に示すように、スリット形状の空隙部 1 5 が一部で幅が狭くなって括れるように、金属体 1 4 が突起部を有していても良い。また、図 7 の (d) に示すように、空隙部 1 5 が金属体 1 4 に開口する開口部として形成されていても良い。また、図 7 の (e) に示すように、開口形状の空隙部 1 5 が一部で幅が狭くなって括れるように、金属体 1 4 が突起部を有していても良い。

[0073] 図 7 の (a) や (b) に示したように、空隙部 1 5 をスリット形状で形成した場合には、金属体 1 4 にプラズモンを生成し易い金属を適用した際、金属体 1 4 と空隙部 1 5 との境界面に対して直交する方向 (図 7 の (a) 又は (b) における紙面左右方向) に偏光方向成分を持つ光を光源 1 1 又は 2 1 から照射する。これにより、上記境界面において近接場光の一種である局在プラズモンを高強度に生成することが可能となる。

[0074] また、図 7 の (c) や (e) に示したように、金属体 1 4 の一部に突起を有する場合には、突起形状の延伸方向 (図 7 の (c) 又は (e) における紙面左右方向) に偏光方向を持つ光を光源 1 1 又は 2 1 から照射する。これにより、突起の先端部に局在プラズモンを特に高強度に生成することが可能である。これらの局在プラズモンを生成する構成とすることにより、反応に伴う反応体 1 2 の光学定数変化によって近接場光の発生強度に変化が生じる際、光検出器 1 3 で得られる信号強度について、より大きな変化が得られる。光源 2 1、すなわち、半導体レーザを用いる場合には、光源 2 1 から発せられる光の偏光方向を上記突起の延伸方向と一致させることにより、このような局在プラズモンによる信号増強効果を特に大きく得ることが可能となる。

- [0075] なお、金属体 1 4 を微粒子形状で形成する場合には、光の偏光方向をどのような向きとした場合にも、金属体 1 4 と空隙部 1 5 との境界で、光の偏光方向と直交する箇所が存在するため、金属体 1 4 と光の偏光方向の関係に配慮する必要が無く、上記の局在プラズモンの生成を得ることが可能である。
- [0076] 本実施の形態において、反応体 1 2 と金属体 1 4 との間には、反応体 1 2 又は金属体 1 4 の劣化を防ぐ目的や密着性を高める目的、近接場光の発生強度を高める目的で、誘電体膜（図示しない）が形成されていても構わない。すなわち、金属体 1 4 は誘電体膜を介して反応体 1 2 と接するものであっても構わない。この場合の誘電体膜は、金属体 1 4 で生じた近接場光が反応体 1 2 に到達可能とする観点から膜厚 100 nm 以下、より好ましくは膜厚 20 nm 以下で形成されることが望ましい。また、上記誘電体膜は光源 1 1 又は 2 1 の波長において光学的に透明であること、具体的には 80% 以上の透過率を有することが望ましい。
- [0077] 空隙部 1 5 の幅（金属体 1 4 の間隔）は特に限定するものではなく、また、空隙部 1 5 が複数存在する場合に空隙部 1 5 の幅を均一に形成しなければならないものではない。但し、空隙部 1 5 から近接場光の一種である染み出し光を効率良く生成し、検出信号に寄与する近接場光の割合を大きくするためには、光源 1 1 又は 2 1 の波長を λ 、空隙部 1 5 の屈折率の実部を n とした場合に、空隙部 1 5 の幅が $\lambda / 2n$ 以下であることが特に望ましい。
- [0078] 光源 1 1 の波長が単一で無い場合には、空隙部 1 5 の幅が光源 1 1 の最短波長に対して $\lambda / 2n$ 以下であることが特に望ましい。但し、上記のプラズモンを生成可能な金属を金属体 1 4 に適用する場合には、空隙部 1 5 の幅が染み出し光を効率的に生成可能な幅（ $\lambda / 2n$ ）よりも大きな幅であっても、反応体 1 2 に対してプラズモン励起に起因した近接場光を照射可能である。
- [0079] 本実施の形態のセンシングシステム 300 においては、少なくとも一つの空隙部 1 5 が形成された金属体 1 4 を備えることにより、光源 1 1 又は 2 1 から反応体 1 2 に対して照射された光が金属体 1 4 にも照射されて近接場光

に変換される。このような近接場光は、金属体 14 表面の極近傍に発生し、金属体 14 の周囲に存在する反応体 12 の光学定数変化に対して散乱光（F a r - f i e l d 光）よりも強く反応し、その発生強度が大きく変化する。このため、光検出器 13 に到達する光の強度変化は、金属体 14 を備えない実施の形態 1 及び 2 のセンシングシステム 100 及び 200 に比べて、反応体 12 の光学定数変化に伴って、より大きく変化するようになる。

[0080] より具体的に例えば、反応体 12 の光学定数変化により、近接場光の発生強度が大きくなる場合には、光源 11 又は 21 から照射された光のエネルギーが近接場光の生成に費やされるために、近接場光の発生が反応体 12 と金属体 14 とを含む範囲の透過率及び反射率を小さくする方向に寄与し、近接場光の発生強度が小さくなる場合には、逆に透過率及び反射率が大きくなる方向に寄与するといった現象が生じる。

[0081] 上記の近接場光は金属体 14 から概ね 100 nm 以下の範囲に局在して存在するため、反応体 12 のうち、金属体 14 から 100 nm 以下の範囲の光学定数変化を特に強く検出することが可能となる。従って、金属体 14 と接する反応体 12 の厚みを 100 nm 以下、より望ましくは 20 nm 以下とした場合であっても、反応体 12 と検出対象との反応によって生じる光学定数の変化を高感度に検出することが可能となる。

[0082] 本発明のセンシングシステムで検出しようとする検出対象と反応体 12 との反応は、主として反応体 12 の表面近傍で生じる現象である。このため、上記のように反応体 12 の厚みをナノメートルオーダーで極めて薄くした状態でも、高感度に反応を検出可能であることは、反応体 12 と検出対象との間の反応を極めて高速に検出可能である上に、反応体 12 が数分子層以下程度で極薄に形成される必要があるような物体最表面での反応の検出に対しても効果が高いことを意味している。

[0083] 本実施の形態のセンシングシステム 300 では、このように、反応体 12 の極表面で起こる現象について、実施の形態 1 及び 2 で記載した効果と相まって、レンズや導波路、プリズムといった複雑且つ光源との間の精密な位置

決めを必要とする光学部材を必要とせず、極めて簡易且つ小型の構成で高感度に検出可能である。

[0084] 更に、端面発光型又は面発光型の半導体レーザを光源 2 1 として適用した場合には、反応体 1 2 の光学定数変化のみならず、これに伴って生じる上記の近接場光の発生強度の変化が存在する。これにより、半導体レーザの発振状態の変化が実施の形態 2 の場合よりも大きくなり、反応の有無による半導体レーザからの出射光量変化がより大きくなる。従って、実施の形態 2 よりも更に高い検出感度でもって反応体 1 2 と検出対象との反応を検出可能となる。

[0085] これに加えて、光検出器 1 3 を、図 5 に示したように光源 2 1 から見て反応体 1 2 が配置される方向と反対側に配置した場合には、光源 2 1 及び反応体 1 2 と、光検出器 1 3 とを同一の基体上に形成することが容易になる。また、検出対象の向こう側に光検出器 1 3 を配置する十分な空間が存在しない場合や検出対象の向こう側で光検出器 1 3 への電氣的な配線を確認出来ない場合、検出対象の散乱や吸収が大きいために透過光が光検出器 1 3 へ十分な強度で到達しない場合のように、検出対象を挟んで光検出器 1 3 を形成することが困難な場合にも、検出対象を高感度に検出可能なセンシングシステムを提供することができる。また、空隙部 1 5 の幅が極めて狭く、反応体 1 2 からの透過光が得にくい場合であっても、十分な検出信号を得ることができる。また、金属材料のように透過率の低い材料であっても、反応体 1 2 として適用することが可能となるため、反応体 1 2 に適用する材料や厚さの選択幅を広げることができる。

[0086] 特に、本実施の形態の構成においては、例えば、反応体 1 2 が検出対象との反応によって金属と誘電体との間で変化するように反応体 1 2 の材料を選定することにより、金属体 1 4 の表面で発生する近接場光の強度が顕著に変化する。より具体的には、反応体 1 2 は、金属である場合、金属体 1 4 表面での近接場光強度は極めて小さくなり、誘電体に変化することで近接場光強度が大きくなる。このように、本実施の形態では、近接場光の発生状態をよ

り顕著に変化させることが可能な反応体 1 2 を適用することで、検出対象の検出感度を更に高めることが可能である。

[0087] 更に、光源 2 1 と光検出器 1 3 とを、これらの間に検出対象が入らないように配置しても構わない。これにより、光源 2 1 と反応体 1 2 との間のみならず、光源 2 1 と光検出器 1 3 との間においても、光源 2 1 から発生した光が検出対象によって散乱や吸収を受けて減衰してしまう問題を防ぐことが出来る。従って、検出信号を高感度取得することが可能となる。

[0088] 本実施の形態では、実施の形態 1 及び 2 と同様に、光源 1 1 又は 2 1 と反応体 1 2 とが一体で形成されているために、検出対象のセンシングに際して加熱が必要な場合であっても、光源 1 1 又は 2 1 から発せられた光を用いて、反応体 1 2 を局所的に、且つ、効率良く加熱出来る。このため、センサ部 3 0 全体が温度上昇することを防ぐことが可能である。従って、センシングシステム 3 0 0 を高集積化した際にセンサ部 3 0 の周囲部品を加熱してしまう問題を解消出来るとともに、反応体 1 2 が測定温度に達するまでの時間が短くなることで、検出時間、及び、検出後の復帰時間を大幅に短縮することが可能となる。

[0089] 特に、本実施の形態では、金属体 1 4 によって近接場光が生成されるため、反応体 1 2 が 1 0 0 n m 以下、特に望ましくは 2 0 n m 以下と薄い場合であっても、高強度の電界集中が反応体 1 2 近傍に生じ、効率的に反応体 1 2 を加熱することが出来る。更に、光源として端面発光型又は面発光型の半導体レーザを適用した場合には、偏光方向が一方向に揃った光が反応体 1 2 に照射される。これにより、金属体 1 4 の端面の少なくとも一部が上記偏光方向と直交するように形成されるので、強いプラズモン増幅を得ることが可能となり、更に高い加熱効率を得ることが出来る。

[0090] また、反応体 1 2 が熱伝導率の高い金属体 1 4 と接して形成されていることにより、加熱後の冷却速度を高めることが可能である。しかも反応体 1 2 の膜厚が薄い場合には、反応体 1 2 の熱容量が小さくなるため、更に高速な昇温と降温とを実現可能である。

[0091] なお、図5に示した本実施の形態のセンシングシステム300では、光検出器13が光源11又は21から見て反応体12と反対側に配置された場合について示しているが、これには限られない。例えば、反応体12からの透過光が十分に得られる場合には、光検出器13は光源11又は21から見て反応体12の向こう側に配置されていても構わない。換言すれば、光検出器13は、反応体12を透過した透過光を検出するように配置されていても構わない。更には、光源11又は21から見て、反応体12が配置された向こう側と、反応体12が配置された方向と反対側の両方に光検出器13が配置されていても構わない。

[0092] 本実施形態のセンシングシステム300においては、実施の形態1及び2のセンシングシステム100及び200と同様に、検出対象の検出に際して、光源制御部51によって光源11又は21から発せられる光の光強度を変化させ、異なる光強度で反応体12に光が照射された際の反応を検出するように設定されていても構わない。

[0093] 光源11又は21から発せられる光の強度が変化すると、光源11又は21と一体に形成された反応体12の光吸収によって、反応体12の温度が変化する。これによって、検出対象と反応体12との間で生じる反応の速度が変化する。従って、センシングシステム300は、この反応速度が検出対象の種類によって異なることを利用して検出対象の種類を判定し、表示部54に表示するものであっても構わない。

[0094] [実施の形態4]

本発明の第4の実施の形態について、図8を用いて説明すれば以下の通りである。

[0095] 図8は、本発明の実施の形態4に係るセンシングシステム400の構成を示す概略図である。図9は、実施の形態4に係る別のセンシングシステム500の構成を示す概略図である。なお、本実施の形態において、実施の形態1から3における構成要素と同等の機能を有する構成要素については、同一の符号を付して、その説明を省略する。

[0096] 本実施の形態のセンシングシステム400は、図8に示すように、センサ部40と、センサ制御部60とを備えるセンシングシステムである。センサ部40は、光源11又は21、反応体12、及び、一对の電極17を備えている。反応体12は光源11又は21と一体で形成されている。電極17は、反応体12と接して設けられた抵抗変化を検出するために設けられている。

[0097] センサ制御部60は、前記一对の電極17と電氣的に接続されている。このセンサ制御部60は、光源制御部51、抵抗検出部62、演算部63、及び、表示部54を備え、必要に応じて記憶部65を備えている。抵抗検出部62は、反応体12の抵抗変化を電圧値又は電流値の変化として検出する。

[0098] 本実施の形態において、反応体12は、検出対象との反応を利用して、検出対象の有無や濃度を反応体12の抵抗率の変化に変換する。これにより、電気抵抗を変化させ、検出対象を直接検出する場合に比べて、上記検出対象の検出や同定を容易にすることが出来る。本実施の形態における反応体12は、検出対象との反応によって少なくとも一時的に反応体12自体が抵抗率の変化を示す材料で形成されていれば良く、実施の形態1に示した反応体12と同様の形状や材料を用いて形成可能である。

[0099] また、反応体12は検出対象物との反応によって抵抗率が変化可能な状態で光源11と一体で形成される。換言すれば、本実施の形態における反応体12は、実施の形態1から3と同様に、反応体12が検出対象となる気体や液体と直接接触可能な状態で、光源11又は21と一体で形成される。

[0100] 電極17は、金属材料、又は、導電性の酸化物材料や窒化物材料、導電性ポリマー等の導電性を有する材料を、単層又は複数層形成して適用することが可能である。上記一对の電極17は、反応体12と接して配置されており、反応体12と電氣的に接続されるように、且つ、一对の電極17同士が互いに接触しないように形成されている。このように電極17が配置されたセンサ部40は、上記一对の電極17及びこれと電氣的に接続された抵抗体との間に電圧を印加し、上記一对の電極17間の電圧を測定するか、上記一对

の電極 1 7 に電圧を印加した際の電流値を測定するか、上記一对の電極 1 7 間に一定の大きさの電流を通電した際の電圧を測定する。これによって、反応体 1 2 が検出対象と反応することで生じる反応体 1 2 の抵抗変化を、電圧値又は電流値に変換して検出することが出来る。

[0101] 電極 1 7 (検出器) は反応体 1 2 の抵抗変化を検出可能に配置されていれば良く、図 8 に示したように、光源 1 1 又は 2 1 上に反応体 1 2 と電極 1 7 とが順に形成されていても良い。あるいは、光源 1 1 又は 2 1 上に電極 1 7 が先に形成され、その上に反応体 1 2 が、少なくとも一部が一对の電極 1 7 と接するように形成されていても構わない。また、反応体 1 2 と電極 1 7 とは別の導電性材料を介して接していても構わない。また、抵抗変化の信号をより明瞭に検出するために、一对の電極 1 7 が櫛歯状の形状に形成されていても構わない。

[0102] 抵抗検出部 6 2 は、上記の抵抗変化を電圧値又は電流値に変換して検出するものであって、電圧計又は電流計を適用することが可能である。抵抗検出部 6 2 は、上記の電極 1 7 と電氣的に接続された抵抗体を含んでいても構わない。

[0103] 演算部 6 3 は、抵抗検出部 6 2 と電氣的に接続されており、検出対象のセンシングに際して、抵抗検出部 6 2 で検出された電圧又は電流の値を演算する。また、演算部 6 3 は、必要に応じて、別途設けられた記憶部 6 5 に保存された、検出された電圧又は電流の値と検出対象の濃度との関係を示す情報を参照して、検出対象の検出有無や検出した信号 (電圧又は電流) の大きさ、又は、検出対象の濃度を表示部 5 4 に表示する。表示部 5 4 は、上記検出有無や検出信号の強度、又は、検出対象の濃度がディスプレイ等の表示画面上に表示するものであっても良く、音声や告知音、光を用いてユーザに対して検出対象の検出状態を伝えるものであっても構わない。

[0104] 上記一对の電極 1 7 は、電極間の隙間部に位置する反応体 1 2 の少なくとも一部に、光源 1 1 又は 2 1 から発せられる光が照射されるように形成される。このような配置とすることにより、光源 1 1 又は 2 1 から発せられた光

を反応体 1 2 が吸収することで、反応体 1 2 が加熱され、反応体 1 2 と検出対象との間の反応を促進することが可能となる。このような加熱領域が上記一対の電極 1 7 の間に配置されることにより、反応が促進された領域の抵抗変化を電極 1 7 によって検出することが可能となる。

[0105] 上記一対の電極 1 7 は、光源 1 1 又は 2 1 から発せられた光が反応体 1 2 に達する際に近接場光を生じることが可能となるように、光源 1 1 又は 2 1 からの光が照射される範囲に形成されていても構わない。電極 1 7 が近接場光を生じる部材を兼ねる場合、プラズモンを生成し易い金属を電極 1 7 に適用することが特に望ましい。具体的には、電極 1 7 の材料としては、金、銀、白金、アルミニウム、パラジウム、銅の何れか、又は、これら同士やこれらと別の金属材料が、合金として、又は、積層されて適用されることが特に望ましい。このような材料を電極 1 7 に適用することで、電極 1 7 の光照射された端部において、局在プラズモンの生成に伴って電界強度の増幅が生じ、反応体 1 2 の加熱が効率的に行われる。

[0106] また、上記一対の電極 1 7 を近接場光の発生部材としても利用する場合、一対の電極 1 7 の間隔を適宜設定することにより、近接場光の一種である染み出し光を効率良く生成し、加熱に寄与する近接場光の割合を大きくすることが出来る。具体的には、一対の電極 1 7 の間隔は、光源 1 1 又は 2 1 の波長を λ 、一対の電極 1 7 の隙間部分の屈折率の実部を n とした場合に $\lambda / 2n$ 以下であることが望ましい。

[0107] 更に、上記のように電極 1 7 が近接場光の発生にも寄与するように形成すれば、反応体 1 2 の厚みを 100 nm 以下、特に望ましくは 20 nm 以下と薄くした場合であっても、光源 1 1 又は 2 1 から発せられた光が反応体 1 2 を透過することを防ぐ効果が大きい。これにより、電極 1 7 を光照射範囲内に形成しない場合に比べて特に高い加熱効率を得ることができる。

[0108] 反応体 1 2 と検出対象との反応は、反応体 1 2 の表面で顕著に生じる。このため、上記のように反応体 1 2 が薄く形成されている場合には、反応体 1 2 全体で見たときの抵抗変化がより大きくなるとともに、厚く形成された反

応体 1 2 の全体が反応によって抵抗変化するまでに必要とする時間に比べ、抵抗変化に要する時間を短縮することが可能となる。このため、高感度、且つ、高速検出が可能であり、検出後の高速復帰が可能なセンシングシステムを提供することができる。

[0109] このような近接場光の発生を反応体 1 2 の加熱に利用する場合には、偏光方向が一方向に揃った光を供給し、偏光方向と近接場光を生成する部材（ここでは電極 1 7）の端面とが直交するように配置することで、より大きな近接場光を生じさせることが可能である。この観点から、適用する光源 2 1 は、端面発光型、又は、面発光型の半導体レーザであることが特に望ましい。

[0110] 以上のように、本実施形態のセンシングシステム 4 0 0 を用いれば、反応体 1 2 が光源 1 1 又は 2 1 と一体で形成されている。これにより、レンズや導波路、プリズムといった複雑且つ光源との高精度な位置決めを必要とする光学部材を用いることなく、簡易且つ小型な構成で、光源 1 1 又は 2 1 から発生した光が反応体 1 2 以外の領域にも広がって照射されることを防ぐことが可能となる。また、光源 1 1 又は 2 1 からの光が反応体 1 2 に達するまでの過程での上記光学部品や光学部品の入出射界面、これ以外の経路空間における散乱や吸収に伴う光の減衰を防ぐことが可能となる。

[0111] このため、光が効率良く反応体 1 2 に到達し、反応体 1 2 と検出対象との間の反応を促進するための熱を、通電式のヒータを用いることなく供給可能である。これにより、反応体 1 2 の加熱を高速に行うことが可能である。また、反応体 1 2 の必要な箇所のみを局所的に加熱可能となり、センサ部全体の温度上昇を防ぐことが可能となる。従って、センシングシステム 4 0 0 を高集積化した際にセンサ部 4 0 の周囲部品を加熱してしまう問題を防ぐことが出来る。

[0112] また、通電式のヒータ線を用いる場合に比べて、加熱領域が局所であることに加えて、反応体 1 2 が熱伝導率の高い電極 1 7 と接しているため、反応体 1 2 の加熱及び冷却を高速に行うことが可能である。これにより、検出対象の検出及び検出後の復帰、更には加熱後の冷却をより迅速に行うことが可

能となる。

[0113] 更に、電極 17 が近接場光を発生する部材を兼ねる場合には、反応体 12 の近傍に高強度の電界集中が生じることで、光照射に伴う加熱の効率をより高めることができるとともに、反応体 12 の加熱領域を一对の電極 17 の間に限定できる。これにより、高い熱伝導率の電極 17 と接していることと合わせて、検出後の冷却速度を速めることができる。反応体 12 が 100 nm 以下、特に望ましくは 20 nm 以下と薄い場合には、光源 11 又は 21 からの光のうち、加熱に寄与せず反応体 12 を透過してしまう成分を減らすことができる。従って、反応体 12 をより効率的に加熱することが可能となり、反応に必要な時間を短縮出来る効果が得られるとともに、熱容量が小さくなるために検出後の冷却速度が速く、更に、抵抗変化をより大きく検出できる効果を奏する。

[0114] 本実施形態のセンシングシステム 400 においては、実施の形態 1 から 3 に示したセンシングシステム 100、200、300 と同様に、検出対象の検出に際して、光源制御部 51 によって光源 11 又は 21 から発せられる光の光強度を変化させ、異なる光強度で反応体 12 に光が照射された際の反応を検出するように設定されていても構わない。光源 11 又は 21 から発せられる光の強度が変化すると、光源 11 又は 21 と一体に形成された反応体 12 の光吸収によって、反応体 12 の表面温度が変化する。これによって、検出対象と反応体 12 との間で生じる反応の速度が変化する。従って、センシングシステム 400 は、この反応速度が検出対象の種類によって異なることを利用して検出対象の種類を判定し、表示部 54 に表示するものであっても構わない。

[0115] このように、反応体 12 の温度を変化させながら、検出対象との反応を検出する場合においても、加熱源として光を用いており、光源 11 又は 21 が反応体 12 と一体で形成されている。これにより、特許文献 1、2 に記載されているようなヒータ線を用いる場合に比べて、加熱領域が局所であるとともに、反応体 12 が熱伝導率の高い電極 17 と接しているため、所望の反応

温度に設定するための加熱及び冷却の温度変化を高速に行うことが可能である。

[0116] なお、本実施の形態に記載した反応体 1 2 の抵抗変化を検出する手法と、実施の形態 1 から 3 の何れかに記載した、反応体 1 2 の光学特性を検出する手法とは、これらを組み合わせて適用されても構わない。具体的には、同一の反応体 1 2 において検出対象との反応によって生じた光学定数の変化と抵抗率の変化とを、光検出器 1 3 と抵抗検出部 6 2 とを用いてともに検出し、それぞれの検出情報に基づいて、検出対象の有無、濃度、分類を行う手法を用いても構わない。このようなセンシングシステム 5 0 0 の構成を図 9 に示す。

[0117] 図 9 に示したセンシングシステム 5 0 0 では、センサ制御部 7 0 において、センサ部 4 0 の光検出器 1 3 で検出された光強度を光検出器制御部 5 2 から演算部 7 3 に送るとともに、抵抗検出部 6 2 で検出した電気抵抗の値を演算部 7 3 に送る。演算部 7 3 は、これらの情報を照合するが、必要に応じて設けられた記憶部 7 5 に保存された、これらの検出値と検出対象の濃度や種別との関係を示す情報を参照して、検出対象の検出有無や検出した信号の大きさ、検出対象の濃度や種別を表示部 5 4 に表示する。

[0118] このようなセンシングシステム 5 0 0 を用いることで、検出対象の有無や濃度をより正確に把握することが可能になるとともに、異なる検出対象種が検出された際に、必要に応じて光源 1 1 又は 2 1 からの出射光強度を変化させて反応体 1 2 の温度を変化させながら光学定数と抵抗率の変化とを検出することが出来る。これにより、検出対象の分類、同定を可能にするセンシングシステムを提供可能となる。

[0119] 〔実施の形態 5〕

本発明の第 5 の実施形態について、図 1 0 を用いて説明すれば以下の通りである。

[0120] 図 1 0 は、本発明の実施の形態 5 に係るセンシングシステム 6 0 0 の構成を示す概略図である。

[0121] なお、本実施の形態において、実施の形態１から４における構成要素と同等の機能を有する構成要素については、同一の符号を付記して、その説明を省略する。

[0122] 本実施形態のセンシングシステム６００は、実施の形態１から４に記載されたセンサ部１０、２０、３０、４０の何れかを複数備えるセンシングシステムである。センシングシステム６００は、これらのセンサ部１０、２０、３０に含まれる光検出器１３や、センサ部４０に含まれる電極１７から得られる信号（光検出器１３で得られる光強度の情報や、抵抗検出部６２で得られる電圧値や電流値）を、センサ制御部８０で処理するものである。センサ制御部８０が行なう処理は、演算部８３で上記の信号を演算し、その結果として得られた、検出対象の検出有無、検出した電気信号の強度、検出対象の濃度、又は、検出対象の種類を、表示部５４に表示するものである。

[0123] 図１０には、本実施形態のうち、複数のセンサ部としてセンサ部３０を２つ適用した事例（センサ部３０及び３０’として記載）について図示している。センサ部３０’は、センサ部３０が備える、光源１１又は２１、反応体１２、光検出器１３、及び、金属体１４（空隙部１５）とそれぞれ同等の機能を有する、光源１１’又は２１’、反応体１２’、光検出器１３’、及び、金属体１４’（空隙部１５’）を備えている。

[0124] 本実施形態のセンシングシステム６００においては、図１０に示したように、上記複数のセンサ部３０及び３０’がセンサ部１０、２０、３０、４０から選択された同一種のセンサ部で構成されても良い。この他にも、センサ部３０及び３０’が同一種のセンサ部から構成されるが、光源１１又は２１の発光波長、又は、反応体１２や金属体１４の材料、組成比、膜厚、形状の少なくとも何れか一つが異なるセンサ部で構成されていても良く、上記複数のセンサ部３０及び３０’がセンサ部１０、２０、３０、４０から選択される、互いに異なる種類のセンサ部で構成されていても構わない。

[0125] 本実施の形態においては、複数存在する光源１１、１１’又は２１、２１’ごとに個別の光源制御部５１を用いるか、又は、単一の光源制御部５１で

あっても、複数の光源 1 1、1 1' 又は 2 1、2 1' について個別に光強度を制御可能な光源制御部 5 1 を用いる。光源制御部 5 1 は、このような複数の光源 1 1、1 1' 又は 2 1、2 1' から発せられる光強度が異なるように制御する構成であっても構わない。光検出器制御部 5 2 についても同様に、それぞれの光検出器 1 3 ごとに個別の光検出器制御部 5 2 を用いても良く、単一の光検出器制御部 5 2 であっても、複数の光検出器 1 3 について個別に光検出器 1 3 を制御可能な光検出器制御部 5 2 を用いても構わない。

[0126] 本実施の形態において、複数のセンサ部が、光源 1 1、1 1' 又は 2 1、2 1' や、反応体 1 2 及び 1 2' の材料や組成、形状を含めて全く同一のセンサ部で構成される場合には、上記複数のセンサ部 3 0 及び 3 0' の反応体 1 2 及び 1 2' を異なる温度に保持した状態で、同時に検出対象との反応を起こすことが可能である。すなわち、検出対象と反応体 1 2 及び 1 2' との反応の温度依存性が異なる複数の検出対象を検出するに当たって、単一のセンサ部を用いて反応体 1 2 及び 1 2' の表面を異なる温度に変化させながら検出する場合に比べて、より迅速に検出対象の分類、同定が可能となる。

[0127] また、複数の光源 1 1 又は 2 1 を同一の光強度で発光させる場合であっても、複数のセンサ部を、必要に応じてその間隔を空けて一列に配置し、上記複数のセンサ部の反応体 1 2 と検出対象とが接するように配置された流路中に検出対象を流し、上記複数のセンサ部における反応に伴って生じる信号量変化の時間依存性を検知することにより、検出対象の分布状態や、流速（信号量変化の発生時間差）に基づく検出対象の分類や同定を行うことが出来る。

[0128] また、上記複数のセンサ部 3 0 及び 3 0' が同一種のセンサ部で構成されるが、それぞれの発光波長が異なる光源 1 1、1 1' 又は 2 1、2 1' を適用する場合、反応体 1 2 及び 1 2' と検出対象との反応に伴って生じる反応体 1 2 及び 1 2' の光学定数の変化に波長依存性が有り、且つ、検出対象の種類によって当該波長依存性に違いが有るとき、発光波長の異なる複数の光源 1 1、1 1' 又は 2 1、2 1' を用いて反応体 1 2 及び 1 2' の光学定数

変化を検出することで、検出対象の分類や同定が可能となる。

[0129] 更に、上記複数のセンサ部 30 及び 30' が同一種のセンサ部で構成されるが、反応体 12 や金属体 14 の材料、組成比、膜厚、形状の少なくとも何れかが異なる場合、反応体 12 と検出対象との反応速度や検出感度が、上記の材料、組成比、膜厚、形状の違いによって変化する。このため、検出対象の種類によって上記反応速度や検出感度に違いが有る場合、上記複数のセンサ部から得られる信号強度や検出信号の変化時間を確認することによって、検出対象の分類や同定が可能となる。

[0130] このように、反応体 12 や金属体 14 の材料、組成比、膜厚、形状の少なくとも何れか一つを変化させるとともに、上記の、発光波長の異なる光源 11、11' 又は 21、21' を適用する手法を組み合わせることも可能である。これによれば、各センサ部で適用された反応体 12 や金属体 14 に応じて、反応に伴う反応体 12 の光学定数変化をより大きく検出出来る光源の波長を選択することが可能となり、個々の検出対象に応じた高感度なセンシングを実現できる。

[0131] 一方、上記複数のセンサ部 30 及び 30' がセンサ部 10、20、30、40 から選択される、互いに異なる種類のセンサ部で構成された場合、それぞれのセンサ部で反応体 12 と検出対象との反応速度や検出感度が互いに異なる。このため、検出対象の種類によって上記反応速度や検出感度に違いが有る場合、上記複数のセンサ部から得られる信号強度や検出信号の変化時間を確認することによって、検出対象の分類や同定が可能となる。

[0132] 本実施の形態において、センサ制御部 80 に含まれる演算部 83 は、実施の形態 1 から 3 の演算部 53 や実施の形態 4 の演算部 63、73 と同様に、光検出器 13 において受光された光の強度や、抵抗検出部 62 で検出された電圧又は電流の値を演算する。本実施の形態の演算部 83 は、これに加えて、複数のセンサ部 30 及び 30' から検出された上記光の強度や電圧又は電流の値について、互いの検出値の差や、検出値の時間変化に基づき、検出対象の空間的な分布状態、検出対象の分類、同定を行う。

[0133] また、センサ制御部 80 には、必要に応じて記憶部 85 が設けられる。この記憶部 85 には、実施の形態 1 から 3 の記憶部 55 や実施の形態 4 の記憶部 65、75 と同様に、検出した光強度や電圧又は電流の値と、検出対象の濃度との関係を示す情報が保存されるのに加え、上記検出対象の同定を行うための情報が保存されていても良い。

[0134] 具体的に例えば、記憶部 85 には、上記複数のセンサ部において検出された信号強度の比と検出対象の種類や名称とを関連付けた情報や、複数のセンサ部において検出された信号の検出時間の違いと検出対象の種類や名称とを関連付けた情報が保存される。このような種類判定を行うための情報を演算部 83 が参照することにより、複数のセンサ部 30 及び 30' で検出された信号から検出対象の種類や名称を判定し、表示部 54 に表示することが可能となる。

[0135] 以上のように、本実施形態のセンシングシステム 600 を用いれば、多品種の検出対象を同時に、且つ、高感度、高速に検出し同定することが可能なセンシングシステムを提供することが出来る。

[0136] 本実施の形態のセンシングシステム 600 においては、実施の形態 1 から 4 に記載したセンサ部 10、20、30、40 の何れかを複数備えるセンシングシステムについて記載したが、これ以外にも、センサ部 10、20、30、40 の何れか一つ又はこれらの複数と、特許文献 1 から 4 に代表される公知のセンサ素子とを組み合わせ、複数のセンサ部から成るセンシングシステムが構成されても構わない。

[0137] [実施例]

(実施例 1)

本発明の実施の形態 1 についての実施例として、反応体 12 に適用可能な材料の一つである金属材料の酸化物について、検出対象との反応によって光学特性が変化する具体例を示す。

[0138] 図 11 は、実施例 1 における反応体の反応に伴う透過率変化を示すグラフである。図 11 には、銅酸化物膜について、酸化還元反応に伴って銅の価数

が変化した場合に生じる光学定数の変化に基づき、透過率の変化を計算した結果について示す。

[0139] 銅酸化物には、1価の銅の酸化物である Cu_2O と2価の銅の酸化物である CuO が存在する。このような銅酸化物を実施の形態1における反応体12に適用した場合、検出対象との酸化還元反応が生じることによって Cu_2O と CuO との間で屈折率変化を生じる。これに基づいて、光源11として波長 800nm のLED (Light emitting diode) 素子を用いることを想定し、当該LED素子の光源波長において透明な Al_2O_3 膜を介してLED素子と一体に形成された反応体12の透過率の変化を調べた。ここでの銅酸化物の膜厚は 200nm として計算した。上記波長における Cu_2O と CuO の複素屈折率はそれぞれ、 $2.7 + i0.06$ と、 $2.94 + i0.11$ とした。また、複素屈折率の実部と虚部とは同時に単調に変化するものとした。

[0140] 図11には、このようにして計算した反応体12の透過率 T を、複素屈折率の実部 n と虚部 k の変化に対して示した。図11に示したように、 Cu_2O において 0.68 であった透過率は、 Cu_2O が酸化されることによって、生成される CuO の割合が増えるのに伴い単調に減少し、全体が CuO となった場合には 0.56 となった。逆に CuO について、還元が進むと Cu_2O の割合が増えることで透過率は増加することになる。このように、透過率が変わった反応体12について、光源11から光を照射し、光検出器13を用いて反応体12を透過した光の強度を検出する。これにより、検出対象の存在が確認出来るとともに、変化の増減により反応の向き（酸化還元反応では酸化か還元か）を特定することが出来る。また、光検出器13で検出される光強度の変化量や変化に掛かる時間を検知することで検出対象の濃度を判断することが出来る。

[0141] なお、本実施例では、一例として銅の酸化物における酸化還元反応について示したが、これ以外の材料における酸化還元反応を含む化学反応、吸着反応、抗原抗体反応によっても反応体12の屈折率変化を生じることが可能であり、これらの反応を適用するものであっても構わない。

[0142] また、本実施例では、銅が酸化物の状態のままで光学定数を変化した場合について示したが、これに限られない。具体的には、銅や銅以外の金属元素が、反応体 1 2 と検出対象との反応によって、金属状態と酸化物や窒素化物、フッ化物状態、硫化物との間で変化し、これに伴って光学定数を変化するものであっても構わない。このような変化を用いれば、反応体 1 2 の光学定数変化をより大きくすることができ、反応に対する検出感度を高めることが可能となる。

[0143] (実施例 2)

本発明の実施の形態 2 の実施例として、光源 2 1 に適用する半導体レーザー素子において、光源 2 1 と一体で形成された反応体 1 2 が、検出対象との反応によって光学定数の変化を生じた際に、光検出器 1 3 に到達する光の光強度の変化について計算した結果を示す。

[0144] 光源 2 1 として適用される、光源波長が 785 nm、共振器長が 400 μ m の端面発光型の半導体レーザーについて、一方の出射端面上に光学定数の変化を生じる反応体 1 2 が形成された状態を再現した。具体的には、半導体レーザーの一方の端面に対して反射率の変化を与え、これに応じて半導体レーザーから出射される光強度の変化を確認した。

[0145] 図 1 2 は、実施例 2 における反応体 1 2 の光学定数変化によって生じる光源の光出力特性変化を示したグラフである。図 1 2 の (a) 及び (b) には、このようにして計算した、光源 2 1 への印加電流に対する光出力の変化を示した。図 1 2 の (a) は、光源 2 1 の表側、すなわち、反応体 1 2 を形成する面側からの光出力を、図 1 2 の (b) は、光源 2 1 の裏側、すなわち、反応体 1 2 を形成する面と対向する面側からの光出力を、それぞれ示した。

[0146] 図 1 2 の (a) 及び (b) は、何れも、光源 2 1 の裏側の反射率を 0.9 に固定し、光源 2 1 の表側について、反応体 1 2 の光学定数変化を念頭に反射率 (R_f) を 0.4 から 0.8 まで変化させた結果である。

[0147] 図 1 2 の (a) 及び (b) に示したように、光源 2 1 の表側 (図 1 2 の (a)) では、反応体 1 2 の検出対象との反応によって反射率が変化した際、

光源 2 1 のレーザ発振が始まる電流値である閾値電流値と、印加電流に対する傾きである微分効率とがともに変化し、反射率の増加に伴って、閾値電流値、微分効率ともに低下する結果が得られた。また、光源 2 1 の裏側（図 1 2 の（b））では、反応体 1 2 の反射率の増加に伴って、閾値電流値が低下し、微分効率が上昇する結果が得られた。このように、半導体レーザからなる光源 2 1 を用い、これと一体に反応体 1 2 を形成した際、反応体 1 2 が検出対象と反応し光学定数を変化させることで生じる反射率の変化が、半導体レーザの光出力特性に変化を与え、閾値電流値と微分効率とが変化することが明らかである。

[0148] このことから、ある印加電流を光源 2 1 に与えた際に得られる光出力は、光源 2 1 の表側からの光、及び、裏側からの光がともに、反応体 1 2 が検出対象と反応することによって変化する。このため、光源 2 1 からの光出力を光検出器 1 3 によって光源 2 1 の表側又は裏側から検出することによって、検出対象の存在を検知することが可能となる。また、変化の増減の方向により反応の向き（酸化か還元か、加水分解か脱水縮合か等）を特定することが出来る。また、光検出器 1 3 で検出される光強度の変化量や変化に掛かる時間を検知することで、検出対象の濃度を判断することが出来る。

[0149] なお、図 1 2 の（a）に示した結果のように、微分効率と閾値電流値の変化方向が同じである場合には、閾値電流値よりも高い印加電流値（図 1 2 においては 1 7 m A 前後）において、光出力強度が検出前後でほとんど変化しない部分が生じる。このため、微分効率と閾値電流値の変化が同じ方向になる場合には、このような光出力変化がほとんど得られない箇所からずらして、検出のための印加電流値を決定することが望ましい。

[0150] （実施例 3）

本発明の実施の形態 3 についての実施例として、光源 2 1 に一体形成された反応体 1 2 と接して、空隙部 1 5 を含む金属体 1 4 を形成した例について示す。

[0151] 本実施例においては、端面発光型の半導体レーザ（光源波長：7 8 5 n m

）を光源 2 1 に用いて、次のようにして、光源 2 1 に、反応体 1 2、金属体 1 4、及び、空隙部 1 5 を形成した。

[0152] まず、光源 2 1 の出射端面上に、透明な誘電体膜であるシリコン酸化膜を膜厚 1 4 0 n m で形成した後、金属体 1 4 として C u と A u の積層膜をそれぞれ、膜厚 1 0 n m と 1 3 0 n m で連続形成した。続いて、空隙部 1 5 を形成するために、F I B (Focused ion beam) 装置を用いて、スリット (図 6 の (a) 及び図 7 の (b) に示した形状) を、金属体 1 4 における半導体レーザの出射光が照射される箇所に幅 4 0 0 n m で形成した。このとき、スリットの底部がシリコン酸化膜に到達するように (金属体 1 4 を貫通するように) 加工形成した。続いて、反応体 1 2 として銅酸化膜を膜厚 1 0 n m で、金属体 1 4 と空隙部 1 5 の上に反応性スパッタリングを用いて形成した。光検出器 1 3 にはシリコンの P N 接合からなる光起電力素子を用いた。

[0153] このようにして作製したセンシングシステム 3 0 0 に対して、検出対象としてのオゾンガスに暴露する前と暴露した後において、光源 2 1 に対する印加電流と光検出器 1 3 で検出された光強度との関係を確認した。ここで、光検出器 1 3 は光源 2 1 から見て反応体 1 2 の向こう側、すなわち、反応体 1 2 を透過した光を検出する位置に配置して測定した。

[0154] 本実施例のセンシングシステム 3 0 0 において、光検出器 1 3 で検出された光出力は、オゾンガス暴露前と暴露後とで変化し、レーザ発振が始まる閾値電流値、及び、光出力の傾きである微分効率がともに変化した。ここで、光源 2 1 に対して 3 0 m A の印加電流を加えた状態における光出力を、オゾン暴露前と暴露後で比較すると、暴露前に対して暴露後の光強度が 1. 1 2 倍に増加した。この理由は、次のように説明出来る。

[0155] オゾンガスによって反応体 1 2 に用いた銅酸化物が酸化され (含有する酸素比率が高まり)、反応体 1 2 の光学定数が変化したことに加え、反応体 1 2 と接して空隙部 1 5 (ここではスリット形状) を含む金属体 1 4 が存在している。これにより、金属体 1 4 と空隙部 1 5 との界面や空隙部 1 5 で近接場光が生成されると、反応体 1 2 の光学定数変化に伴って近接場光の発生強

度が変化し、これらが光源 2 1 の発振状態に変化を与えて光検出器 1 3 に到達する光強度が変化する。

[0156] なお、ここで検出された閾値電流値と微分効率の変化量は、本実施例で金属体 1 4 を形成しなかった場合（実施の形態 2 の一例に相当する）の 1. 0 1 倍に比べて遙かに大きなものであった。

[0157] 本実施例では、光源 2 1 に半導体レーザを用いていることにより、反応体 1 2 の光学定数の変化に伴って生じる近接場光の発生状態の変化が反射率の変化という形で光源 2 1 にフィードバックされており、半導体レーザの共振状態を変化させている。これによって、厚みが 1 0 n m と極めて薄い反応体 1 2 の反応を高い検出感度で検知することが出来ている。このことは、実施の形態 3 に示した金属体 1 4 と空隙部 1 5 とを備える構成のセンシングシステム 3 0 0 が、1 0 n m 以下と極めて薄い領域の反応を検知可能であることを意味している。しかも、本センシングシステム 3 0 0 の検出が、反応体 1 2 の光学定数変化に基づいていることを鑑みれば、本実施例に示した酸化還元反応に留まらず、金属体 1 4 と空隙部 1 5 との界面近傍のナノメートルオーダーの厚みにおける光学定数変化を伴う反応を検知することが可能であると言える。

[0158] ところで、本実施例では、オゾンガス暴露に伴う酸化によって、反応体 1 2 を透過した光の出力が大きくなる結果となった。一方で、実施例 1 において図 1 1 で示したように、反応体 1 2 として銅酸化物を用いた際に、 Cu_2O が酸化されて CuO の割合が増えると、反応体 1 2 の透過率は下がる方向に変化する結果となっている。ここで、本実施例で使用した銅酸化物においては、別途行った単層膜での分光測定結果から、オゾン暴露による酸化時に、透過率とともに反射率も低下する結果が得られており、また、本実施例は空隙部 1 5 を含む金属体 1 4 を備える構成であるため、金属体 1 4 表面で近接場光が生じる。これらのことから考えて、本実施例では、オゾン暴露に伴う銅酸化物の反射率低下と近接場光の発生状態の変化とによって、光源 2 1 への戻り光量が少なくなり、これに伴って光源 2 1 から出射される光の強度が

大きくなったことが考えられる。このような出射光強度の増加分が、光が反応体 1 2 を透過する際に影響を受ける透過率の低下分よりも寄与が大きかったことにより、最終的に光検出器 1 3 で得られた光出力がオゾン暴露後に大きくなったと考えられる。

[0159] 一方、本実施例のセンシングシステム 3 0 0 を用い、オゾンガス及びエタノールガスを検出対象として、光源 2 1 への印加電流の大きさを一定にした状態でこれらのガスを個別に流して検出を行った。この結果、何れのガス種に対してもガス導入後 1 秒程度と極めて短時間に光検出器 1 3 で検出される光強度が変化し、反応体 1 2 における反応を検知出来た。このことは、反応体 1 2 が 1 0 n m と極めて薄いために、検出対象であるオゾンガスやエタノールガスとの反応による反応体 1 2 の光学定数変化が非常に高速に起こったことを意味し、センシングシステム 3 0 0 が検出対象を高速検出可能であることを意味している。このような高速検出可能なセンシングシステム 3 0 0 を提供するために、反応体 1 2 の膜厚は 2 0 n m 以下、より望ましくは 1 0 n m 以下であることが望ましい。

[0160] また、酸化種であるオゾンガスと還元種であるエタノールガスとで、検出時の光強度変化方向は互いに逆向きとなり、反応の種類（酸化か還元か）を分類可能であることが確認できた。

[0161] 本実施例においては、銅酸化物の光学定数を変化した場合について示したが、これには限定されない。例えば、銅や銅以外の元素から成る金属材料が、反応体 1 2 と検出対象との反応によって金属状態と、酸化物や窒素化物、フッ化物、硫化物状態との間で変化し、これに伴って光学定数が変化するものであっても構わない。このような変化を用いれば、反応体 1 2 における光学定数の変化をより大きくすることが出来、反応に対する検出感度を高めることが可能となる。特に、本実施例のように近接場光の発生強度の変化が検出信号強度に影響を与える場合には、反応体 1 2 における金属体 1 4 との界面領域が金属であるか誘電体であるかによって近接場光の発生強度が大きく変化する。このため、より大きな信号強度変化が得られることになる。

[0162] (実施例4)

本発明の実施の形態3についての他の実施例として、実施例3で記載したセンシングシステム300において、CuとAuの積層膜によって形成した金属体14に代わり、Auを島状の微粒子として形成した例を示す。具体的には図6の(b)に示した構成について示す。

[0163] 本実施例のセンシングシステム300の作製方法及び手順は実施例3に示したものと、金属体14及び空隙部15の形成を除いては同じ手法、手順を用いている。金属体14及び空隙部15については、スパッタリング法によって極短時間の成膜を行うことによって形成されるAuの島状粒子（一部は島状粒子が互いに繋がり合って形成された）を適用した。

[0164] 具体的には、光源21の出射端面上に透明な誘電体膜であるシリコン酸化膜を膜厚50nmで形成した後、Auのスパッタリング成膜により、薄膜として形成する際（厚いAu膜を形成する際）の換算で膜厚が1nmとなる短い成膜時間で金属体14を形成した。これにより、シリコン酸化膜上に到達したAu分子は膜成長に至らず、互いに隙間の空いた状態で島状に形成された。これにより、形成された島状のAu粒子を金属体14とし、金属体14形成時に自然に形成される隙間部分を空隙部15とした。

[0165] Au粒子形成後の表面を原子間力顕微鏡で観察したところ、Au粒子の面内方向の直径は3nmから15nm程度であり、Au粒子の高さは2nmから6nm程度、空隙部15の幅は5nmから15nm程度であった。金属体14の形成に続いて、反応体12として銅酸化膜を膜厚10nmで金属体14と空隙部15の上に形成した。光検出器13には実施例3と同様にシリコンのPN接合からなる光起電力素子を用いた。

[0166] このようにして作製したセンシングシステム300を用いて、検出対象としてのオゾンガスに対して実施例3と同じ手順で暴露前と暴露後とにおいて、光源21に対する印加電流と光検出器13で検出された光強度との関係を調べた。光検出器13は、実施例3と同様に、光源21から見て反応体12の向こう側、すなわち、反応体12を透過した光が検出される位置に配置し

た。

[0167] 本実施例のセンシングシステム300において、光検出器13で検出された光強度は、オゾンガス暴露前と暴露後とで変化し、レーザ発振が始まる閾値電流値、及び、光強度の傾きである微分効率がともに変化した。これは、実施例3と同様に、オゾンガスによって反応体12に用いた銅酸化物が酸化され、反応体12の光学定数が変化したことに加え、反応体12と接して空隙部15（ここではAu粒子間の隙間部分）を備えた金属体14が存在していることにより、金属体14と空隙部15との界面や空隙部15で近接場光が生成され、反応体12の光学定数変化に伴って近接場光の発生強度が変化し、これらが光源21の発振状態に変化を与えて光検出器13に到達する光強度が変化したことによるものである。

[0168] また、本実施例における光強度の変化量は、実施例3の金属体14をCuとAuとの積層膜とし、空隙部15をスリット形状で形成した場合に比べて大きくなった。具体的には、印加電流が30mAにおける、暴露前に対する暴露後の光出力が実施例3では1.12倍であったのに対し、本実施例では1.20倍とより大きな値であった。これは、本実施例のセンシングシステム300においては、金属体14を島状のAu粒子で形成したことにより、光源21からの光が照射される領域において近接場光を発生する箇所が増え（金属体14と空隙部15との界面の面積が増大し）、近接場光の発生強度変化が光源21の発振状態に及ぼす影響が大きくなったために、反応体12の光学定数変化をより高感度に検出できるようになったことを意味している。また、Au粒子が10nm以下の微小な粒径を備えたものを含んでおり、オゾンとの反応時に触媒効果を発現したことが考えられる。

[0169] 一方、本実施例のセンシングシステム300を用い、実施例3と同様に、オゾンガス及びエタノールガスを検出対象として、光源21への印加電流の大きさを一定にした状態でこれらのガスを個別に流して検出を行った。この結果、何れのガス種に対してもガス導入後1秒程度と極めて短時間に光検出器13で検出される光強度が変化し、反応体12における反応を検知できた

。このことは、反応体 1 2 が 1 0 n m と極めて薄いために、検出対象であるオゾンガスやエタノールガスとの反応による反応体 1 2 の光学定数変化が非常に高速に起こったことを意味し、センシングシステム 3 0 0 が検出対象を高速検出可能であることを意味している。このような高速検出可能なセンシングシステムを提供するために、反応体 1 2 の膜厚は 2 0 n m 以下、より望ましくは 1 0 n m 以下であることが望ましい。

[0170] また、酸化種であるオゾンガスと還元種であるエタノールガスとで、検出時の光強度変化方向は互いに逆向きとなり、本実施例のセンシングシステム 3 0 0 についても反応の種類（酸化か還元か）を分類可能であることが確認出来た。

[0171] 本実施例についても、実施例 3 と同様に、銅酸化物について光学定数を変化した場合について示したが、これに限定されない。例えば、銅や銅以外の金属元素が、反応体 1 2 と検出対象との反応によって、金属状態と酸化物や窒素化物、フッ化物、硫化物状態との間で変化し、これに伴って光学定数が変化するものであっても構わない。このような変化を用いれば、反応体 1 2 における光学定数の変化をより大きくすることができ、反応に対する検出感度を高めることが可能となる。特に、本実施例のように近接場光の発生強度の変化が検出信号強度に影響を与える場合には、反応体 1 2 における金属体 1 4 との界面領域が金属であるか誘電体であるかによって近接場光の発生強度が大きく変化するため、より大きな信号強度変化が得られる。

[0172] （実施例 5）

本発明の実施の形態 4 についての実施例として、実施の形態 4 に記載のセンシングシステム 4 0 0 において、光源 2 1 の発光によって反応体 1 2 の温度上昇を行った例とその温度上昇範囲について示す。

[0173] 本実施例で示すセンシングシステム 4 0 0 は、光源 2 1 上に一对の電極 1 7 が形成され、その上に、少なくとも一部が一对の電極 1 7 と接するように、且つ、電極 1 7 間の領域に光源 2 1 からの光が照射されるように形成された反応体 1 2 を備える構成である。すなわち、反応体 1 2 が光源 2 1 上に一

体で形成されたセンシングシステム400である。

[0174] 本実施例においては、光源21として端面発光型の半導体レーザ（発光波長：785nm）を用い、光源21の出射端面上に一对の電極17としてAu薄膜を厚さ140nmで形成した。一对の電極17の間隔は400nmとした。このとき、上記一对の電極17の隙間の部分が、光源21から発せられた光が照射される位置にあるように配置した。

[0175] このように形成した一对の電極17上の反応体12の位置に、光源21から照射された光による反応体12の温度上昇を確認する目的で、一对の電極17の隙間を埋めるように透明誘電体であるシリコン酸化膜を介して磁性膜を膜厚20nmで形成した。ここで使用した磁性膜は、室温で垂直磁化を有する磁性膜であり、キュリー温度を160℃としたものである。上記の磁性膜については、光源21上（電極17上）に形成した後、磁性膜の保磁力を上回る一様な磁界を予め印加しておくことで一方向に磁化された状態とした。このようにして反応体12の位置に磁性膜を形成することにより、光照射によって磁性膜の一部が一旦キュリー温度以上に加熱されると、加熱されていない周囲の領域から、元々の磁化方向と逆向きの磁界が加わり、降温時に元々の磁化方向と逆向きの磁区を生じる。すなわち、光照射によって一旦キュリー温度以上に加熱された領域については、降温後に磁化方向が反転する現象が見られることになる。

[0176] このようにして作製したセンシングシステム400について、光源21に対してレーザ発振が生じる大きさに印加電流を印加し、電極17及びその隙間に形成された反応体12に相当する磁性膜に対して光を照射した。照射光の強度は、上で述べたように光照射領域における磁化方向の反転が観察できる強度以上とした。すなわち、照射領域を160℃以上に加熱した。

[0177] 図13は、実施例5における図8に示すセンシングシステム400の加熱領域を示すための原子間力顕微鏡像、及び、磁気力顕微鏡像である。図13の（a）及び（b）には、このようにして光源21からの光が照射された領域について、原子間力顕微鏡像（図13の（a））と、同一視野における磁

気力顕微鏡像（図１３の（ｂ））を示した。

[0178] 図１３の（ａ）及び（ｂ）から、一对の電極１７の隙間部分において、光源２１から光が照射された局所的な領域が加熱され、磁化方向が反転していることが確認できた（図１３（ｂ）における矩形の黒色部分）。図１３の（ｂ）において、紙面左右方向の磁化反転領域の幅は、一对の電極１７の幅で規定され、紙面上下方向の磁化反転領域の幅は、光源２１に適用した半導体レーザの活性層の厚みによって規定されている。

[0179] 図１３の（ａ）及び（ｂ）の結果から、実施の形態４のセンシングシステム４００は、反応体１２の加熱源として光源１１又は２１を用い、光源１１又は２１から反応体１２に光を照射することにより、反応体１２の光照射された局所的な領域を加熱することが可能であることがわかる。これにより、センシングシステム４００は、センサ部４０全体の温度上昇を防ぎながら、必要な箇所のみの反応を促進することが出来る。従って、反応に際して反応体１２の加熱が必要な検出対象の検知に際しても、加熱される範囲を局所領域に限定することが出来る。よって、反応体１２の加熱と、加熱終了後の温度低下の速度を速めることが可能であり、検出対象の検出と、検出後の復帰を高速化することが可能である。また、他の電子部品と混載した際にも、周囲の部材に熱的な影響を及ぼすことを防ぐことで、携帯電話やスマートフォンに代表される高集積化が求められる用途においても好適なセンシングシステムを提供することが出来る。

[0180] また、図１３の（ａ）及び（ｂ）の結果から、反応体１２に相当する位置に形成された磁性膜について、一对の電極１７の隙間部分のみが磁化反転しており（キュリー温度以上に加熱されており）、電極１７上の磁性膜は磁化反転していない（キュリー温度以上に加熱されていない）。このことから、電極１７が光源２１と反応体１２の間に形成されることにより、反応体１２のうち、抵抗変化検出に寄与しない部分（一对の電極１７の隙間領域以外の部分）に対しての不要な加熱を防ぎながら、抵抗変化検出に寄与する部分（一对の電極１７の隙間領域）のみを加熱出来ることが明らかである。

[0181] 更に、本実施例では、一对の電極 17 の材料としてプラズモンを効率良く生成可能な Au が用いられている。このため、電極 17 の光照射された端面において、プラズモンの生成に伴って電界強度の増幅が生じ、反応体 12 の加熱が効率的に行われる。このため、反応体 12 を想定して形成した膜厚 20 nm の極めて薄い磁性膜に対して光源 11 又は 21 から照射された光が磁性膜を透過してしまうことを防ぐ効果が大きい。従って、電極 17 にプラズモンを効率良く生成可能な材料を適用しない場合に比べて特に高い加熱効率を得ることができる。

[0182] このように、極めて薄い膜厚の反応体 12 が適用可能であることによって、反応体 12 が厚く形成された際に反応体 12 の全体が反応によって抵抗変化するまでに必要とする時間に比べ、抵抗変化に要する時間を短縮することが可能となる。このため、高感度、且つ、高速検出が可能なセンシングシステムを提供することが出来る。

[0183] また、本実施例のセンシングシステム 400 においては、光源 21 に半導体レーザを用いており、偏光方向が一方向に揃った光が電極 17、及び、その隙間の反応体 12（ここでは磁性膜）に供給されている。ここで、本実施例においてプラズモンを生じる部材である電極 17 の端部（図 13（a）及び（b）における紙面上下方向）と偏光方向（図 13（a）及び（b）における紙面左右方向）とが直交するように配置されている。これにより、電極 17 表面でのプラズモン生成に起因した、より大きな近接場光の発生が可能となっている。

[0184] 本実施例では一对の電極 17 が光照射領域に含まれる場合の事例について示したが、電極 17 は必ずしも光源 11 又は 21 の光照射領域に含まれている必要は無く、一对の電極 17 に挟まれた反応体 12 の少なくとも一部の領域が光照射範囲に含まれていれば良い。このような構成であっても、光源 11 又は 21 の出射範囲に依存した局所領域の加熱が可能であり、上記の検出と検出後の復帰の高速化、及び、周囲部材に対する熱的影響の防止という効果が何れも得られる。

[0185] 本実施例において記載した、光源 11 又は 21 を反応体 12 の加熱源として用いる際の効果、すなわち、検出対象の検出と検出後の復帰の高速化、及び、周囲部材に対する熱的影響の防止という効果は、実施の形態 4 のセンシングシステム 400 に限定されない。他にも、上記の効果は、反応体 12 が光源 11 又は 21 と一体に形成されたセンシングシステムであれば享受可能なものである。すなわち、本発明の実施の形態 1 から 3 に記載のセンシングシステム 100、200、300 について、何れにおいてもこれらの効果が同様に得られる。

[0186] [まとめ]

本発明の態様 1 に係るセンシングシステムは、光源と、検出対象物との反応によって光学特性又は電気抵抗が変化する反応体と、前記反応体の光学特性又は電気抵抗を検出する検出器とを備え、前記反応体が、少なくともその一部に対して前記光源から発せられた光が照射される位置に配置されるとともに、直接、又は、高透過率材料から成る薄膜を介して前記光源と一体に形成されている。

[0187] これによれば、検出対象と反応体との反応を利用して、検出対象の有無や濃度を反応体の光学定数や抵抗率の変化に変換することで、光学特性や電気抵抗を変化させ、検出対象の検出や同定を容易にすることが出来る。また、光源と反応体とが一体に形成されているため、光源から発生した光が反応体に達するまでの過程で、散乱や吸収による光の減衰を防ぐことが可能となり、光が効率良く反応体に到達するため、反応体の光学特性を検出する際の検出感度が高まる効果が得られる。

[0188] また、光源と反応体とが一体に形成されているために、検出対象の光学定数や抵抗率の変化に際して加熱が必要な場合であっても、光源から発せられた光を用いて、反応体を局所的に、且つ、効率良く加熱できる。このため、センサ全体が温度上昇することを防ぐことが可能であり、センシングシステムを高集積化した際にも反応体の周囲部品を加熱してしまう問題を解消できるとともに、反応体がセンシング温度に達するまでの時間を短くすることが

出来る。従って、検出時間や検出後の復帰時間を短縮することが可能となる。

[0189] また、本発明の態様2に係るセンシングシステムは、態様1に係るセンシングシステムにおいて、前記反応体と接し、少なくとも一つの空隙部が形成された金属体を更に備え、前記金属体が、前記空隙部の少なくとも一つに対して、前記光源から発せられた光が照射されるように配置されていることが好ましい。

[0190] これによれば、上記の効果に加えて、光源から金属体に照射された光が近接場光に変換され、反応体の光学特性を検出する際に検出対象をより高感度に検出することが可能であるとともに、反応体の厚みをナノメートルオーダーにまで極めて薄くした状態であっても、反応によって生じる反応体の光学定数の変化を高感度に検出することが可能になるという効果を奏する。また、光源から発せられた光を用いて、反応体をより効率良く加熱できるので、反応体の光学特性、電気抵抗の何れを検出する場合でも検出時間及び検出後の復帰時間をより短くすることが可能となるとともに、反応体が熱伝導率の高い金属体と接していることにより加熱後の冷却時間を短くすることが出来る。

[0191] 本発明の態様3に係るセンシングシステムは、態様1又は2に係るセンシングシステムにおいて、上記光源が半導体レーザ素子であることが好ましい。

[0192] これによれば、上記の効果に加えて、半導体レーザ素子の光共振器で増幅された検出信号を得ることが可能になり、反応体の光学特性を検出する際の検出感度が向上する効果を奏する。また、光源から見て反応体と反対側に光検出器を配置した場合にも検出信号を得ることが出来る。このため、光源と反応体、光検出器とを同一の基体上に形成することが極めて容易になるとともに、検出対象の向こう側に光検出器を配置する十分な空間が存在しない場合や検出対象の向こう側で光検出器への電氣的な配線を確認出来ない場合、更には、検出対象の散乱や吸収によって透過光が光検出器に至る過程で減衰

してしまう場合のように、検出対象を挟んで光検出器を形成することが困難な場合にも、僅かな光学定数の変化を増幅して、検出対象を高感度に検出可能なセンシングシステムを提供することが出来るという効果を奏する。加えて、少なくとも一つの空隙部を有する金属体を更に備える場合には、反応体の光学特性、電気抵抗の何れを検出する場合でも高強度の近接場光を生成できるという効果を奏する。

[0193] 本発明の態様4に係るセンシングシステムは、態様1から3に係る何れかのセンシングシステムにおいて、前記光源、前記反応体、及び、前記検出器の組み合わせを複数含んで構成されていることが好ましい。

[0194] これによれば、上記の効果に加えて、迅速な検出対象の分類、種類判定が可能になる効果を奏する。

[0195] 本発明の一態様に係るセンシング方法は、態様1から4に係る何れかのセンシングシステムを使用し、前記検出対象物と前記反応体との反応によって反応体の光学特性又は電気抵抗を変化させ、前記検出器によって反応体の光学特性又は電気抵抗を検出する。

[0196] 本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。さらに、各実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を組み合わせることにより、新しい技術的特徴を形成することができる。

産業上の利用可能性

[0197] 本発明は、気体や液体の成分、又は、これらに含まれる含有成分を検出するためのセンシングに利用することができる。

符号の説明

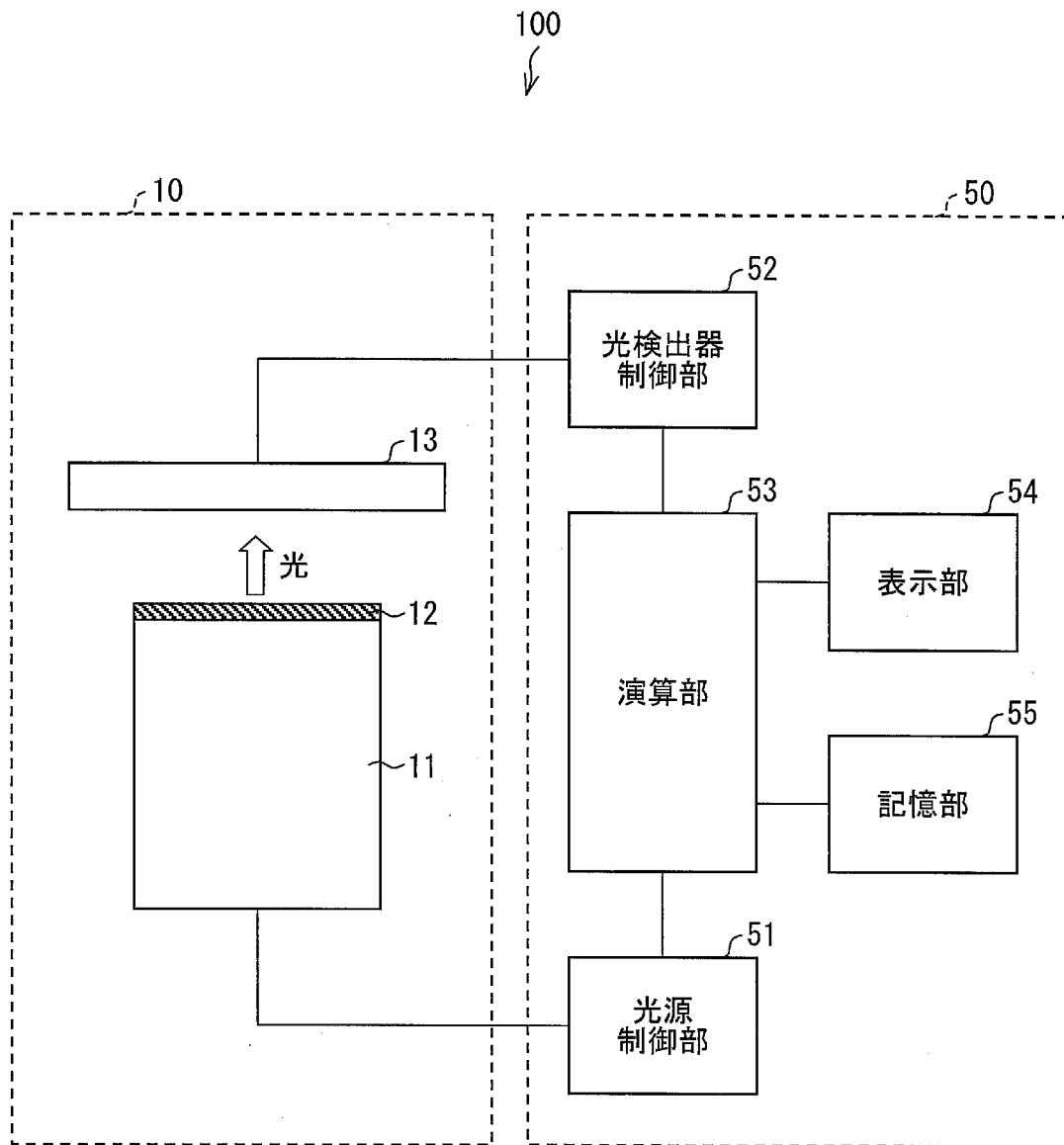
[0198] 10、20、20A、30、30'、40 センサ部
11、11'、21、21' 光源
12、12' 反応体
13、13' 光検出器（検出器）

14、14' 金属体
15、15' 空隙部
16 反射体
17 電極（検出器）
50、60、70、80 センサ制御部
51 光源制御部
52 光検出器制御部
53、63、73、83 演算部
54 表示部
55、65、75、85 記憶部
62 抵抗検出部
100、200、200A、300、400、500、600 センシング
システム

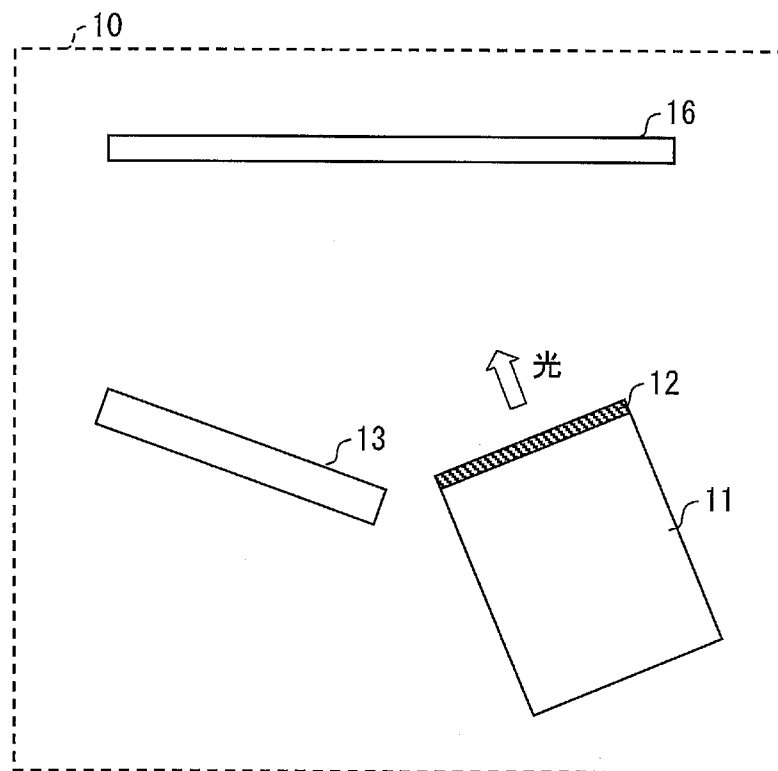
請求の範囲

- [請求項1] 光源と、
検出対象物との反応によって光学特性又は電気抵抗が変化する反応体と、
前記反応体の光学特性又は電気抵抗を検出する検出器とを備え、
前記反応体は、少なくともその一部に対して前記光源から発せられた光が照射される位置に配置されるとともに、直接、又は、高透過率材料から成る薄膜を介して前記光源と一体に形成されていることを特徴とするセンシングシステム。
- [請求項2] 前記反応体と接し、少なくとも一つの空隙部が形成された金属体を更に備え、
前記金属体が、前記空隙部の少なくとも一つに対して、前記光源から発せられた光が照射されるように配置されていることを特徴とする請求項1に記載のセンシングシステム。
- [請求項3] 前記光源が半導体レーザ素子であることを特徴とする請求項1又は2に記載のセンシングシステム。
- [請求項4] 前記光源、前記反応体、及び、前記検出器の組み合わせを複数含んで構成されていることを特徴とする請求項1から3の何れか1項に記載のセンシングシステム。
- [請求項5] 請求項1から4の何れか1項に記載のセンシングシステムを使用し、
前記検出対象物と前記反応体との反応によって反応体の光学特性又は電気抵抗を変化させ、前記検出器によって反応体の光学特性又は電気抵抗を検出することを特徴とするセンシング方法。

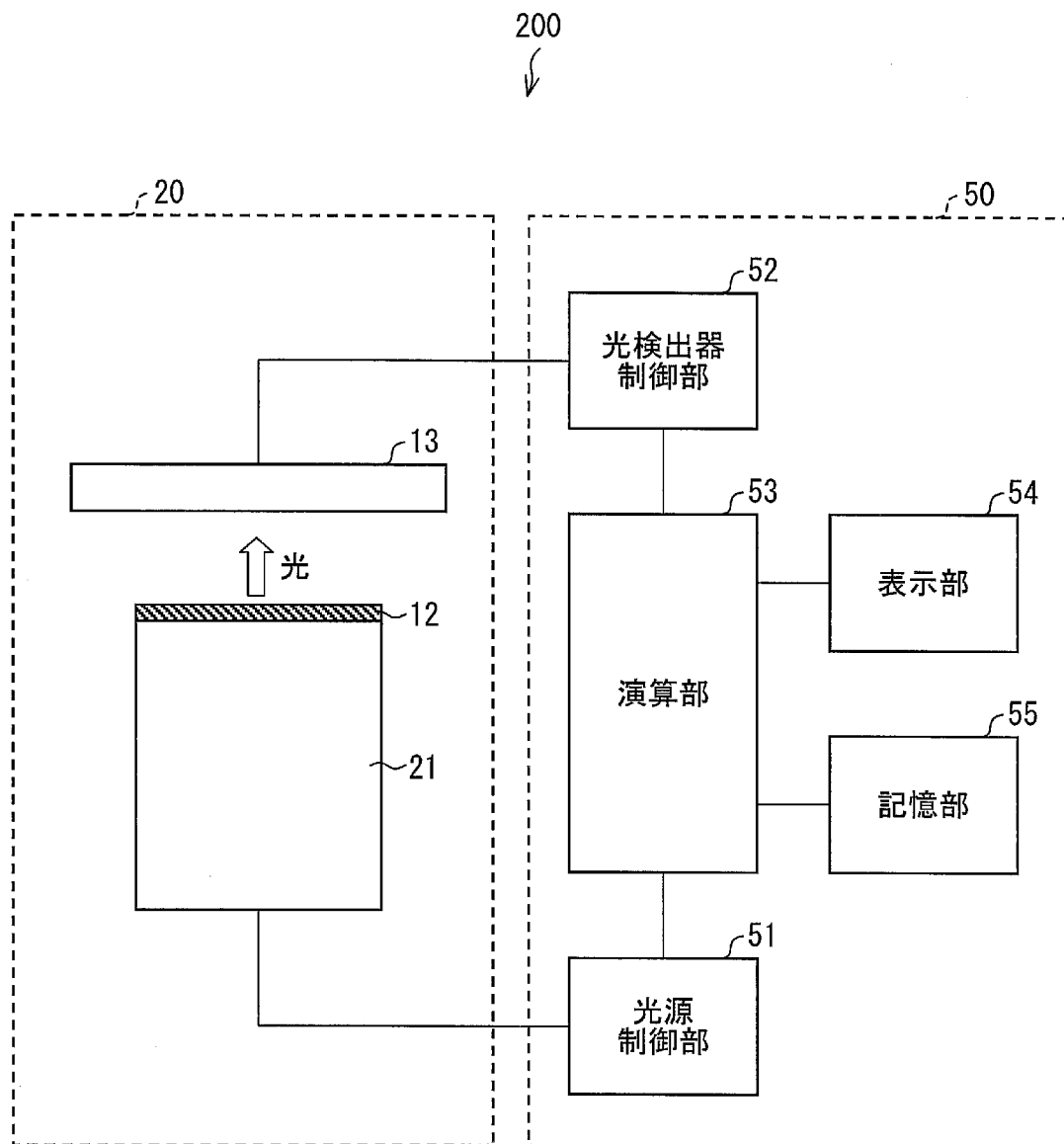
[図1]



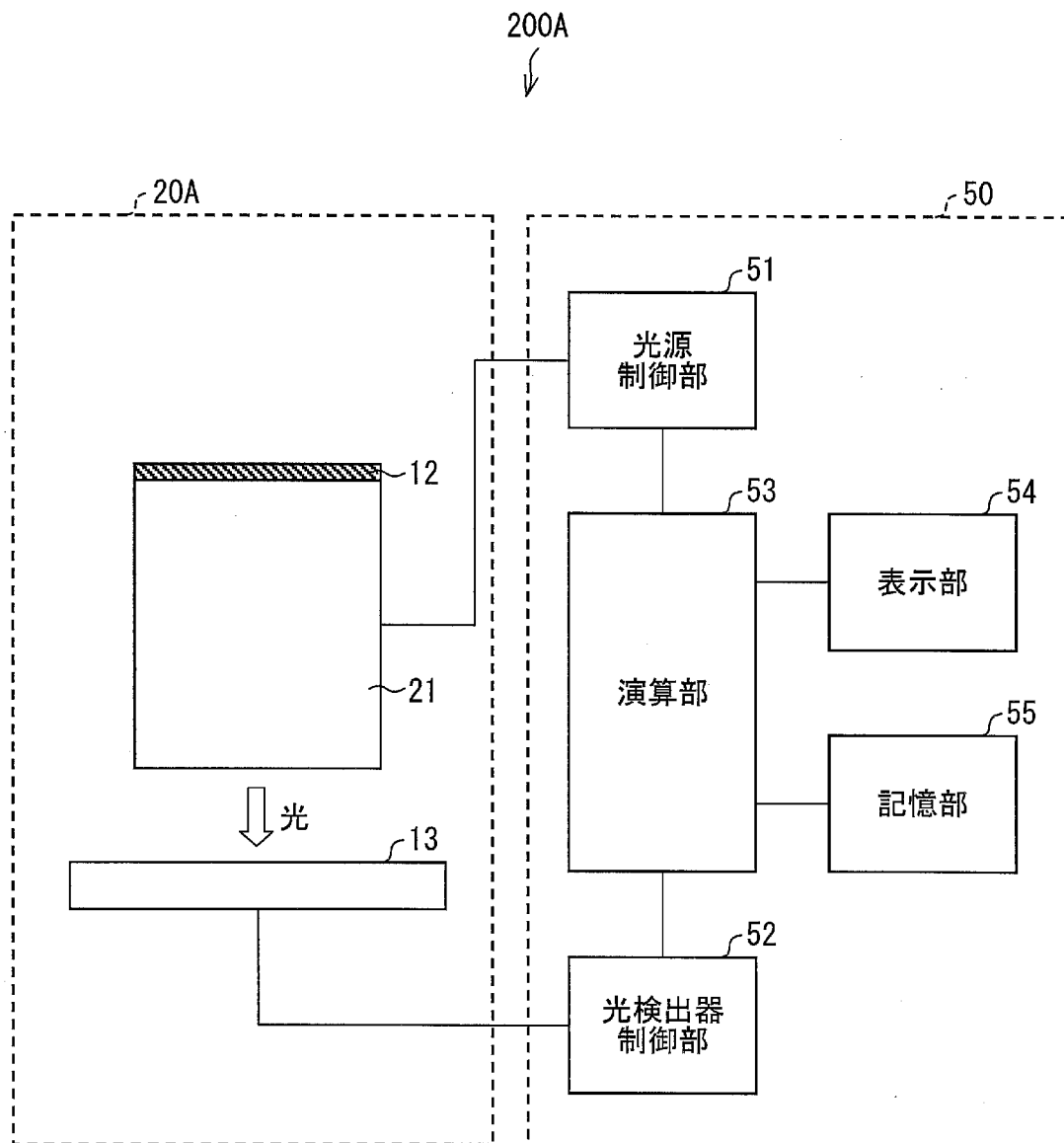
[図2]



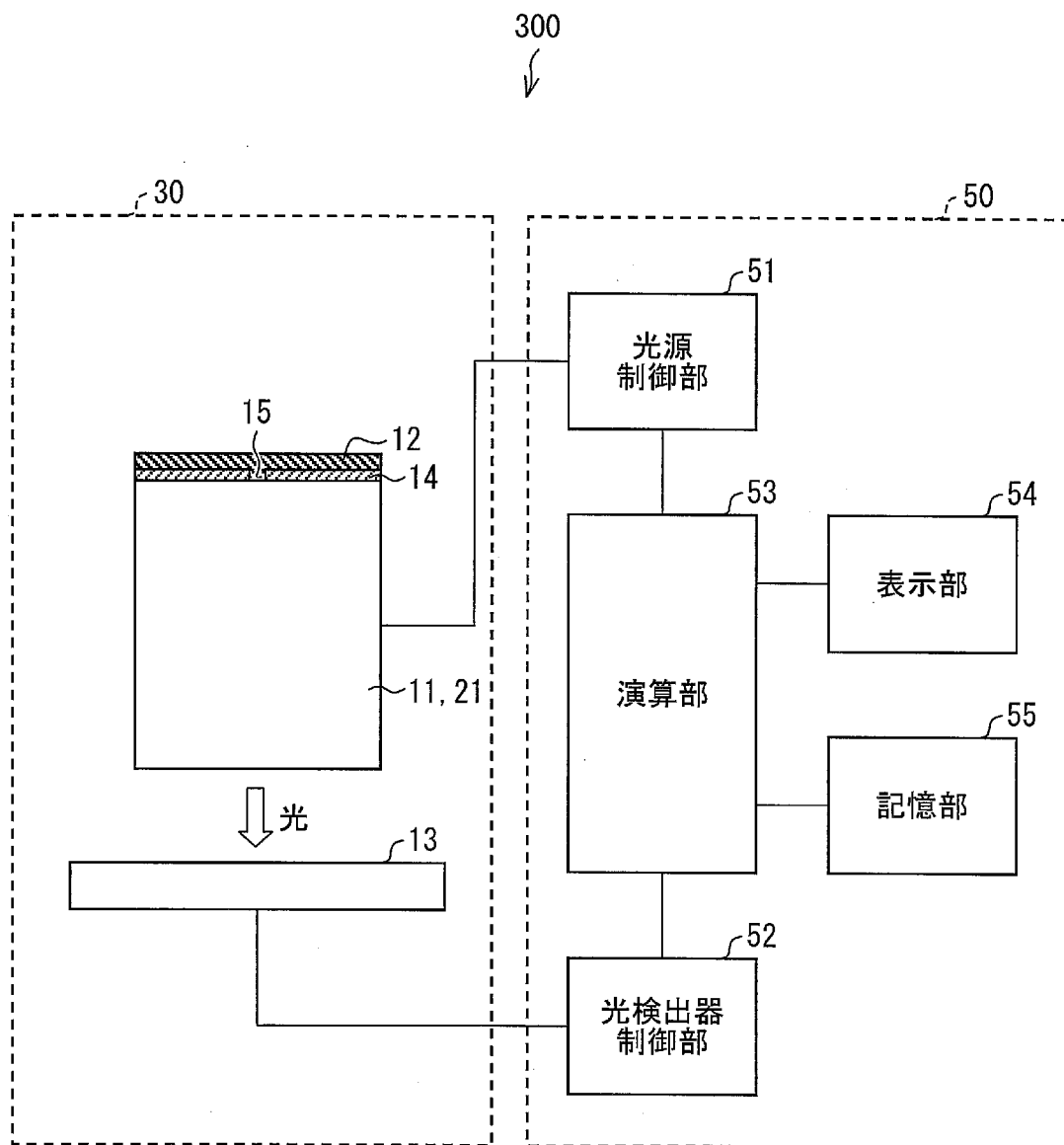
[図3]



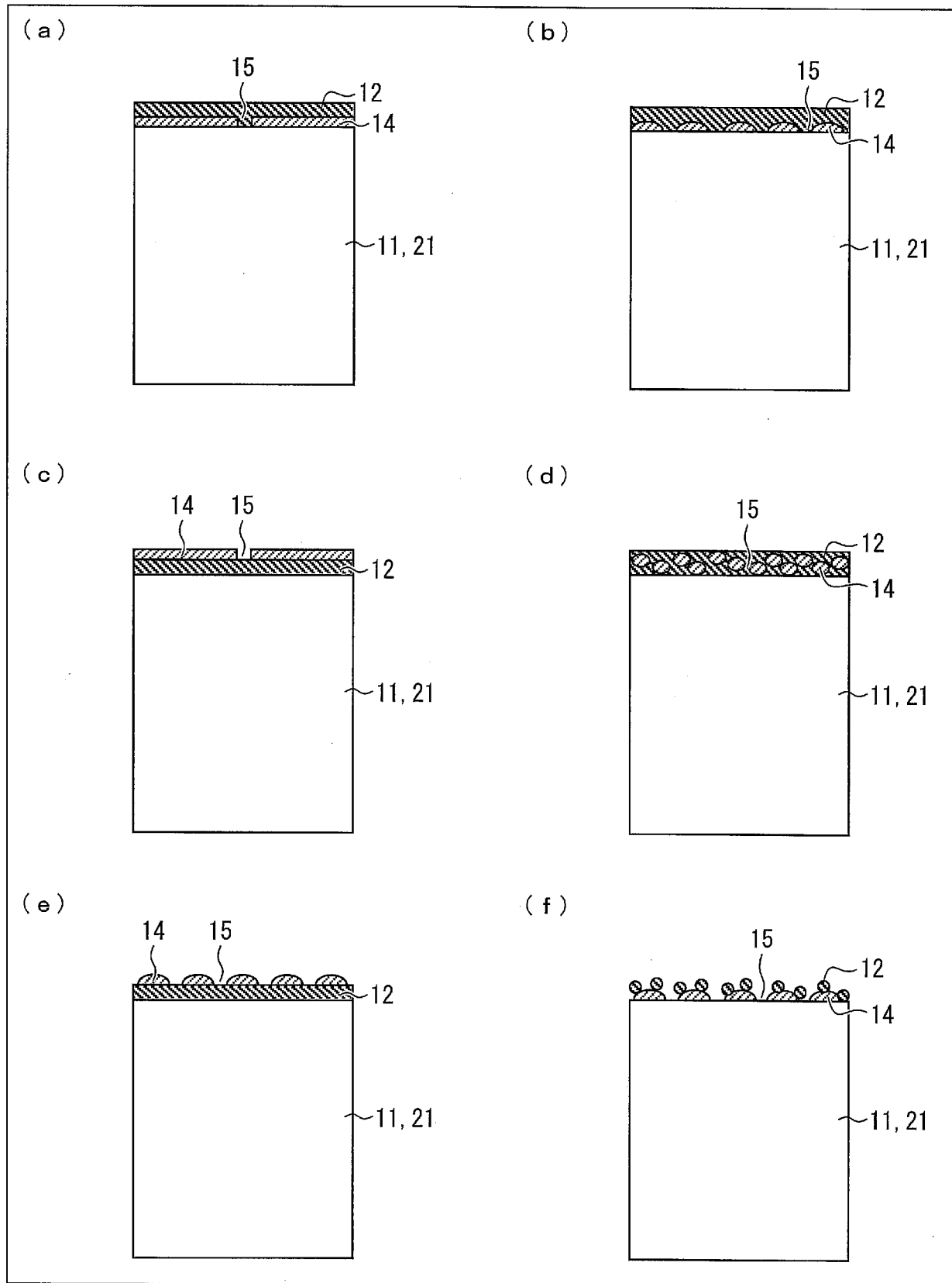
[図4]



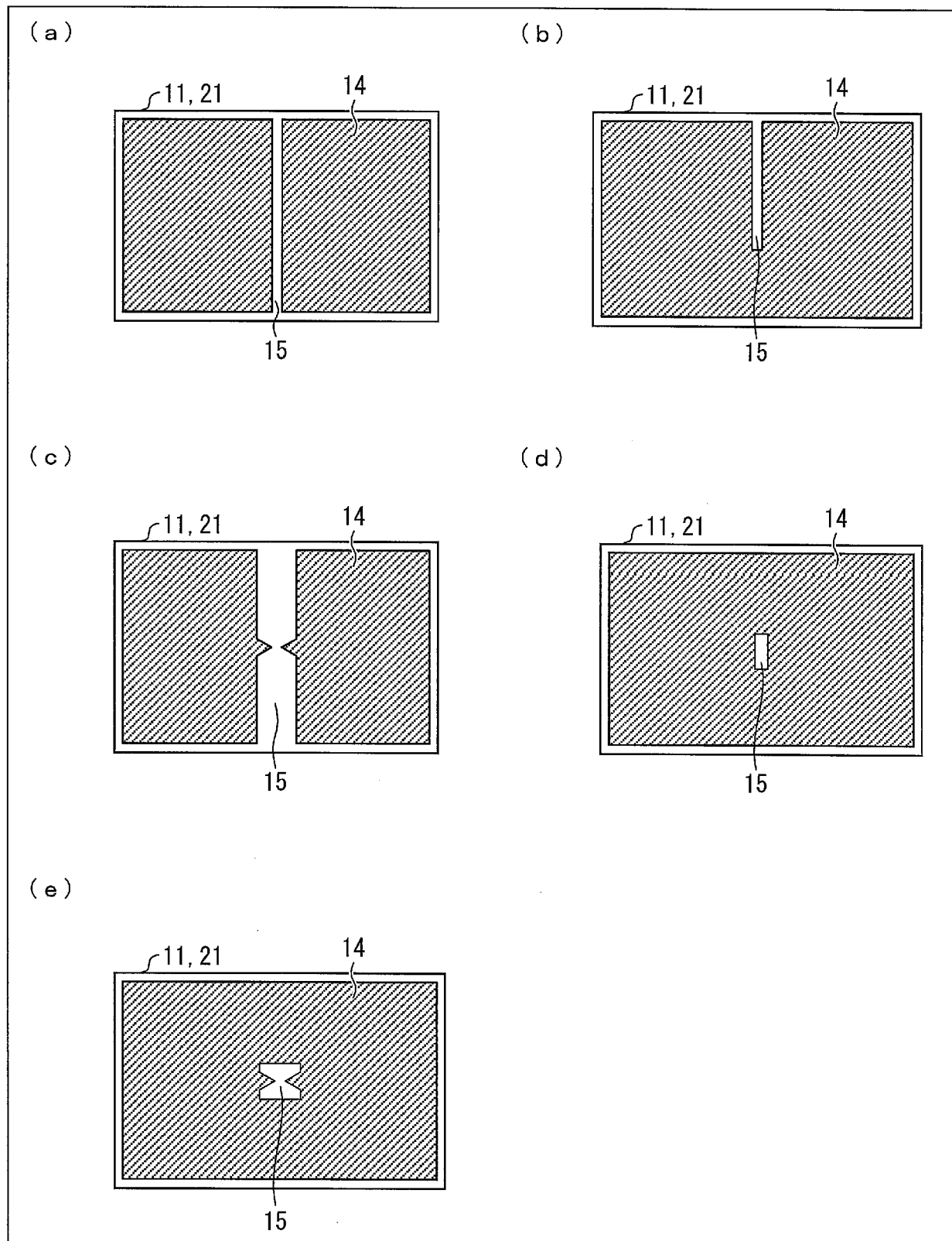
[図5]



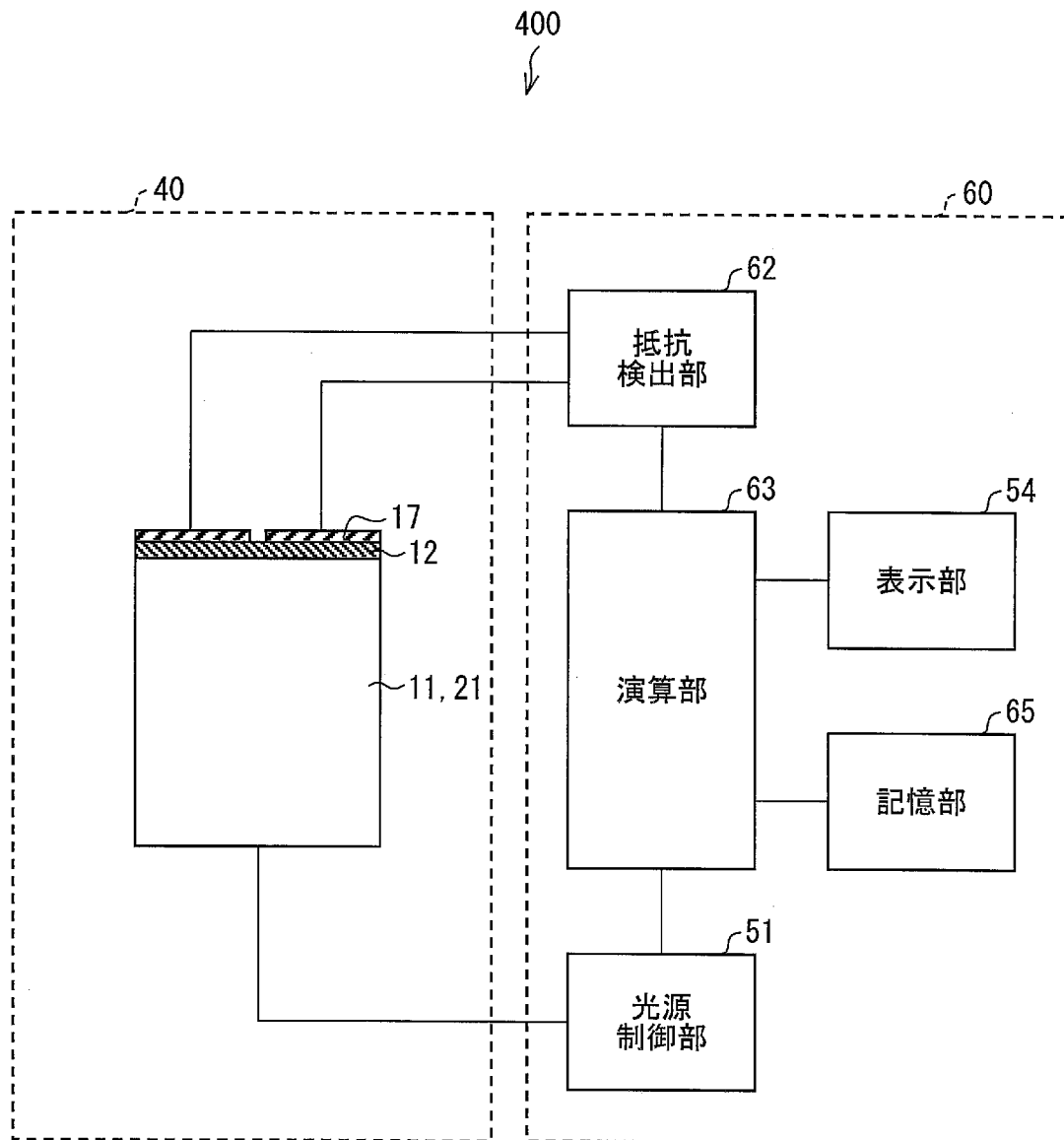
[図6]



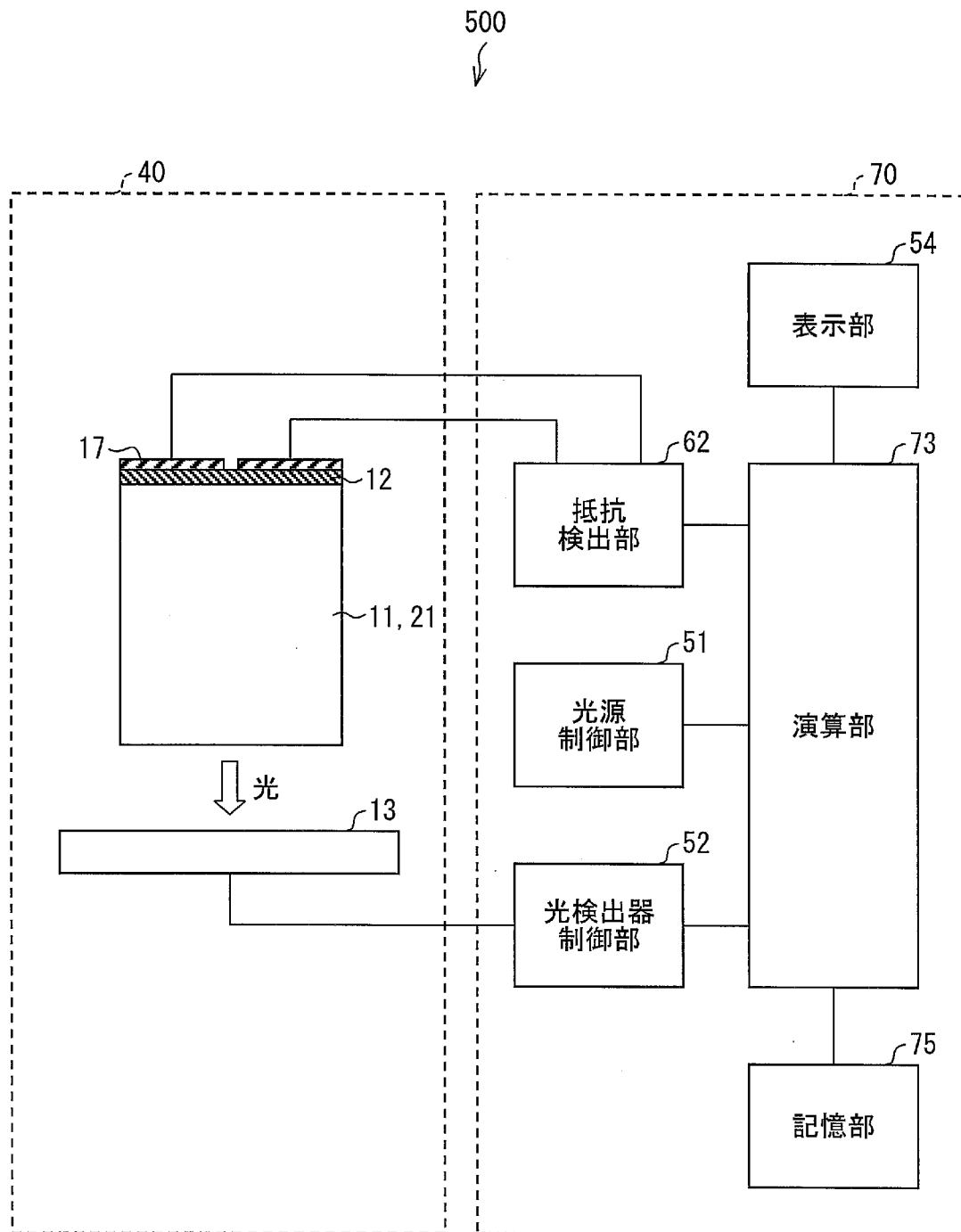
[図7]



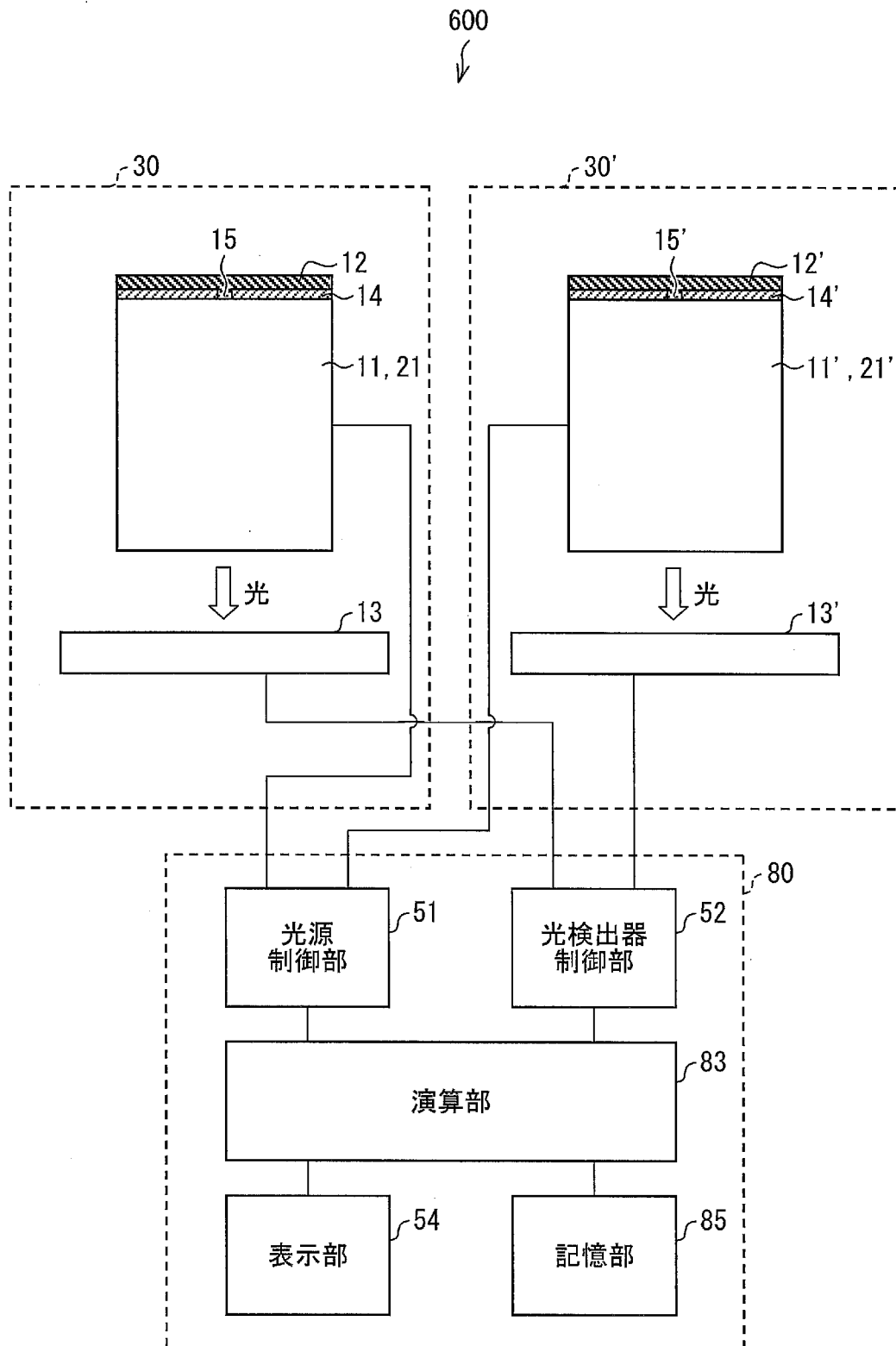
[図8]



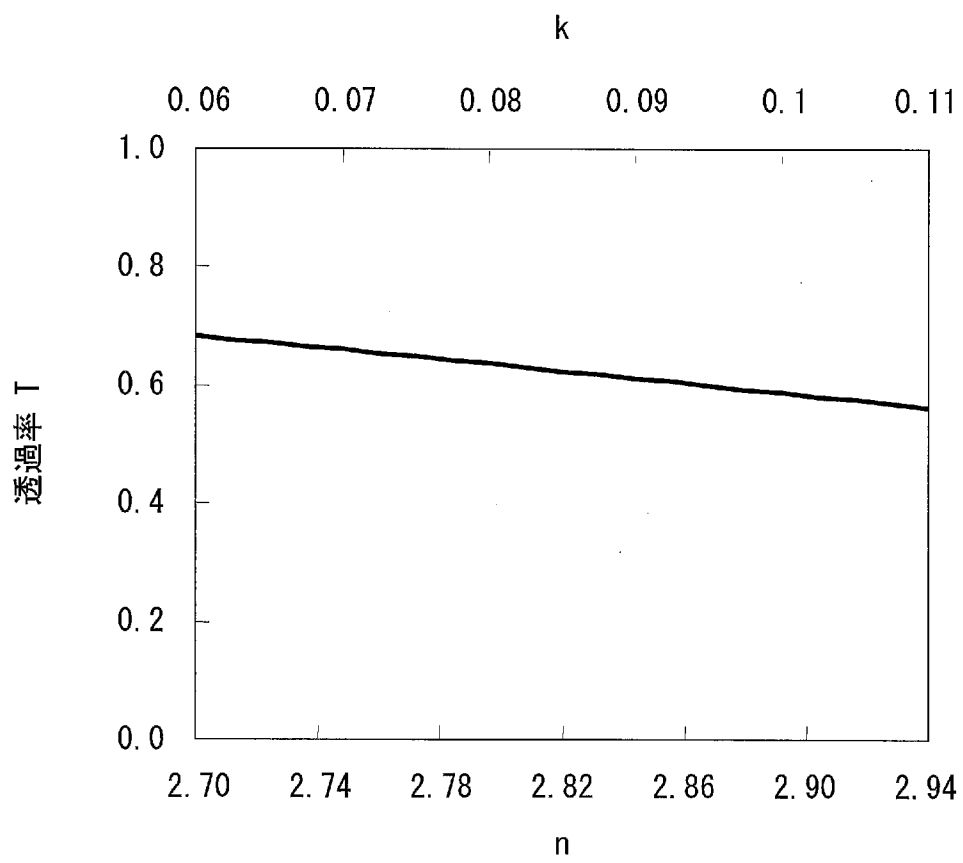
[図9]



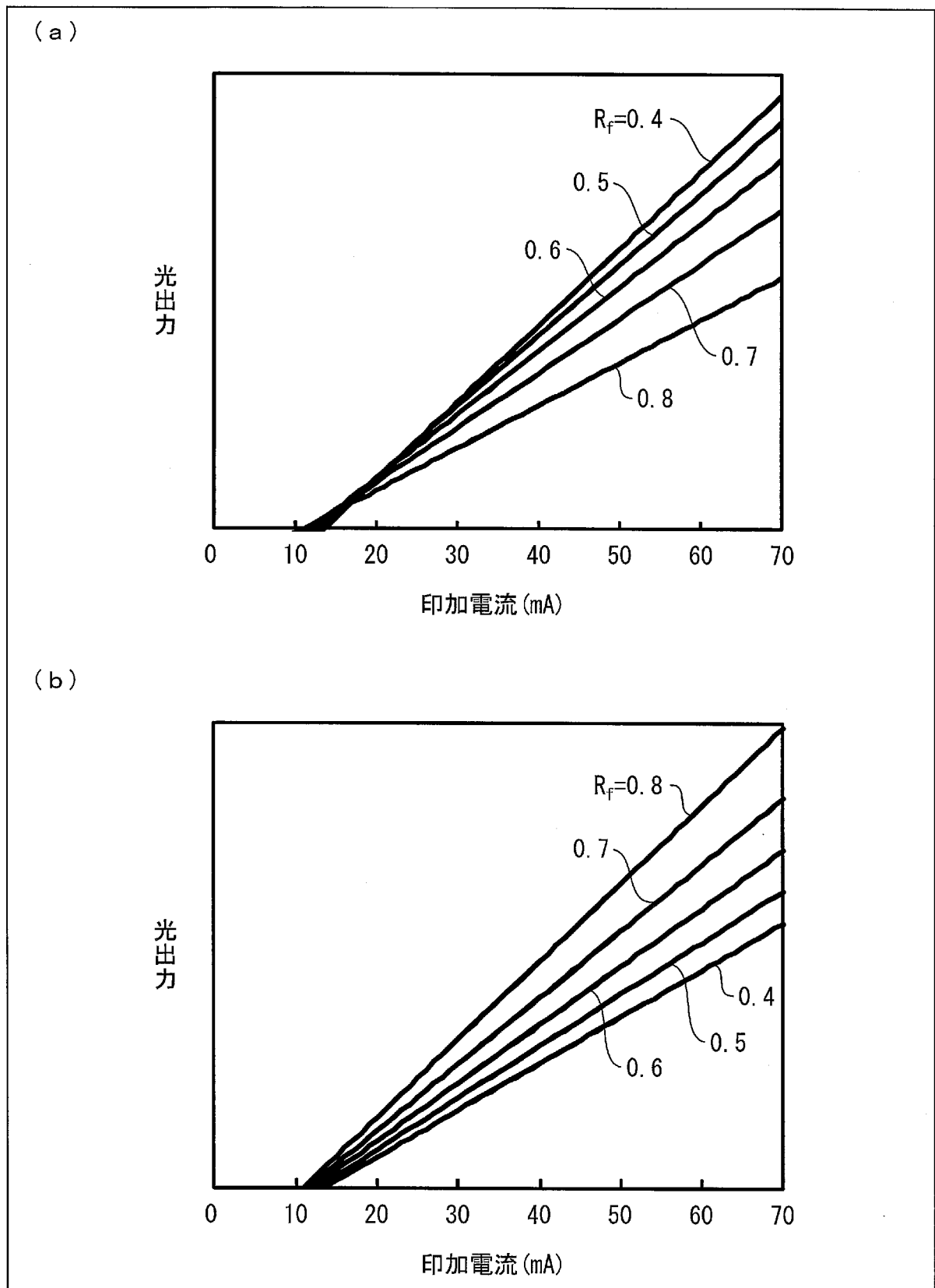
[図10]



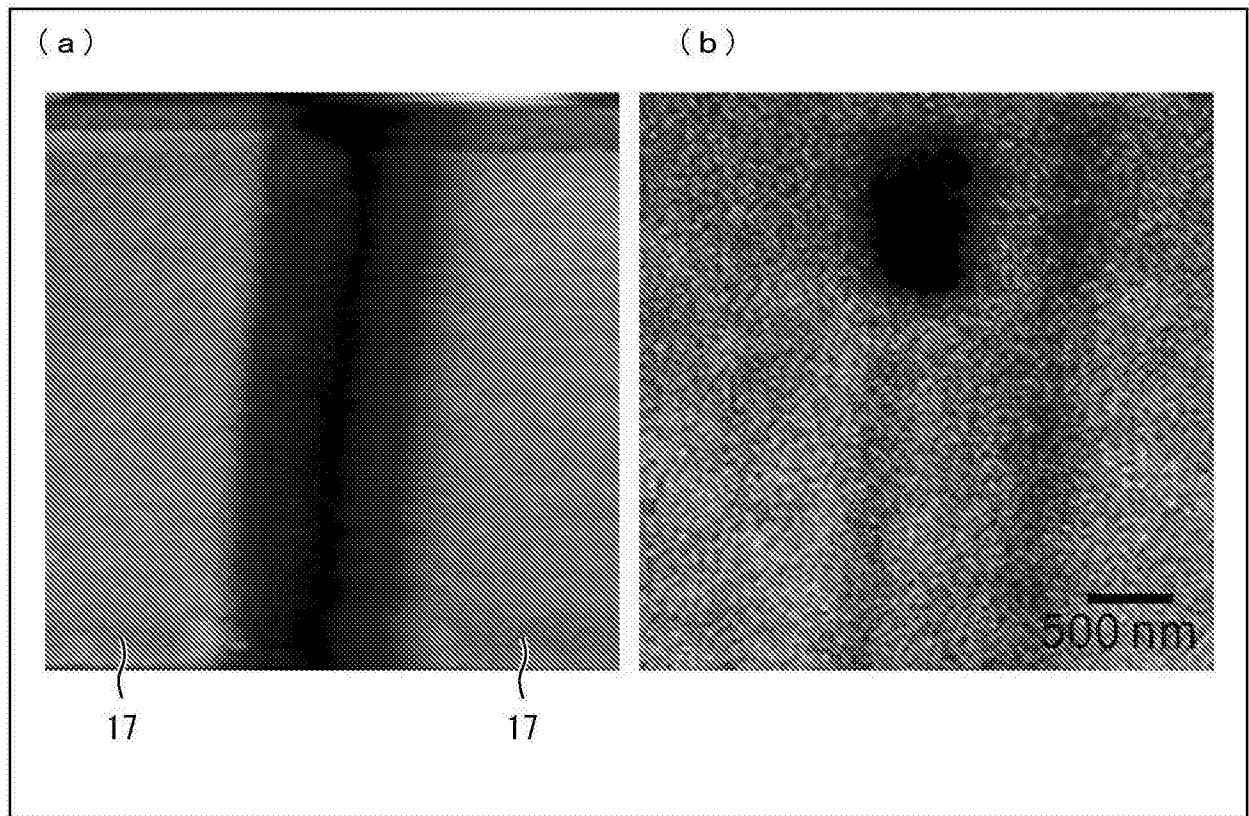
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/057109

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N21/78(2006.01)i, G01N21/41(2006.01)i, G01N27/04(2006.01)i, G01N27/06(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)

G01N21/78, G01N21/41, G01N27/04, G01N27/06, G01N21/64, G01N21/65

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2008-516257 A (Hewlett-Packard Development Co., L.P.), 15 May 2008 (15.05.2008), claims 1, 2, 6, 7, 11; paragraphs [0014] to [0027], [0032]; fig. 1 to 4 & US 2006/0077382 A1 & EP 1800113 A1 & WO 2006/044158 A1	1-5
X	JP 2005-308658 A (Rohm Co., Ltd.), 04 November 2005 (04.11.2005), claim 1; paragraphs [0006], [0014], [0017] to [0041]; fig. 1 to 6 (Family: none)	1-5

☒ 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
27 May, 2014 (27.05.14)

Date of mailing of the international search report
10 June, 2014 (10.06.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/057109

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 11-44647 A (Hewlett-Packard Co.), 16 February 1999 (16.02.1999), claim 1; paragraphs [0019] to [0025]; fig. 2 to 4 & US 5812272 A & DE 19731479 A1	1, 3-5
X	JP 2012-520087 A (Olympus Corp.), 06 September 2012 (06.09.2012), claims 1, 2; paragraphs [0023] to [0026], [0037], [0041] to [0044], [0055], [0089], [0090], [0128], [0161]; fig. 5, 8B, 14, 18 to 20 & US 2012/0029328 A1 & EP 2419717 A1 & WO 2010/119916 A1 & CN 102395873 A	1, 3-5
X	JP 2013-76592 A (Olympus Corp.), 25 April 2013 (25.04.2013), claim 6; paragraphs [0025] to [0029], [0035] to [0042]; fig. 5 to 7, 12 to 15 (Family: none)	1, 4, 5
X Y	US 2009/0244540 A1 (DELTA ELECTRONICS, INC.), 01 October 2009 (01.10.2009), paragraphs [0020] to [0026]; fig. 1 & TW 200940974 A	1-5 2
X Y	US 2009/0251682 A1 (DELTA ELECTRONICS, INC.), 08 October 2009 (08.10.2009), paragraphs [0018] to [0020], [0023]; fig. 1 & TW 200942803 A	1-5 2
Y	JP 2006-3217 A (Kyoto University), 05 January 2006 (05.01.2006), claims 1 to 4; paragraphs [0003] to [0005] (Family: none)	2
A	JP 8-29330 A (Sharp Corp.), 02 February 1996 (02.02.1996), claims 1 to 3; fig. 1, 3, 6 (Family: none)	1-5
A	JP 10-319253 A (Shinzo YAMAKAWA), 04 December 1998 (04.12.1998), claim 1; fig. 1 (Family: none)	1-5
A	WO 2009/034843 A1 (Ritsumeikan), 19 March 2009 (19.03.2009), claims & CN 101809436 A & EP 2187202 A1 & JP 4911788 B & US 2011/0186939 A1	1-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/057109

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 2005-214868 A (Mikuni Corp.), 11 August 2005 (11.08.2005), claims; fig. 1, 2 (Family: none)	1-5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01N21/78(2006.01)i, G01N21/41(2006.01)i, G01N27/04(2006.01)i, G01N27/06(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. G01N21/78, G01N21/41, G01N27/04, G01N27/06, G01N21/64, G01N21/65

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

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
X	JP 2008-516257 A（ヒューレット・パカード デベロップメント カンパニー エル. ピー. ）2008.05.15, 請求項 1, 2, 6, 7, 11, [0014]-[0027], [0032]図 1-4 & US 2006/0077382 A1 & EP 1800113 A1 & WO 2006/044158 A1	1-5
X	JP 2005-308658 A（ローム株式会社）2005.11.04, 請求項 1, [0006][0014][0017]-[0041]図 1-6（ファミリーなし）	1-5

☒ 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

2 7 . 0 5 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

1 0 . 0 6 . 2 0 1 4

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）

伊藤 裕美

2 W

9 5 1 5

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

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
X	JP 11-44647 A (ヒューレット・パカード・カンパニー) 1999. 02. 16, 請求項 1, [0019]-[0025], 図 2-4 & US 5812272 A & DE 19731479 A1	1, 3-5
X	JP 2012-520087 A (オリンパス株式会社) 2012. 09. 06, 請求項 1, 2, [0023]-[0026][0037][0041]-[0044][0055][0089] [0090][0128][0161]図 5, 8B, 14, 18-20 & US 2012/0029328 A1 & EP 2419717 A1 & WO 2010/119916 A1 & CN 102395873 A	1, 3-5
X	JP 2013-76592 A (オリンパス株式会社) 2013. 04. 25, 請求項 6, [0025]-[0029][0035]-[0042], 図 5-7, 12-15 (ファミリーなし)	1, 4, 5
X Y	US 2009/0244540 A1 (DELTA ELECTRONICS, INC.) 2009. 10. 01, [0020]-[0026], FIG. 1 & TW 200940974 A	1-5 2
X Y	US 2009/0251682 A1 (DELTA ELECTRONICS, INC.) 2009. 10. 08, [0018]-[0020][0023]Fig. 1 & TW 200942803 A	1-5 2
Y	JP 2006-3217 A (国立大学法人京都大学) 2006. 01. 05, 請求項 1-4, [0003]-[0005] (ファミリーなし)	2
A	JP 8-29330 A (シャープ株式会社) 1996. 02. 02, 請求項 1-3, 図 1, 3, 6 (ファミリーなし)	1-5
A	JP 10-319253 A (山川進三) 1998. 12. 04, 請求項 1, 図 1 (ファミリーなし)	1-5
A	WO 2009/034843 A1 (学校法人 立命館) 2009. 03. 19, 特許請求の範囲 & CN 101809436 A & EP 2187202 A1 & JP 4911788 B & US 2011/0186939 A1	1-5
A	JP 2005-214868 A (株式会社ミクニ) 2005. 08. 11, 特許請求の範囲, 図 1, 2 (ファミリーなし)	1-5