

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6019415号
(P6019415)

(45) 発行日 平成28年11月2日(2016.11.2)

(24) 登録日 平成28年10月14日(2016.10.14)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 N 21/45 (2006.01) GO 1 N 21/45 Z

請求項の数 17 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2014-503445 (P2014-503445)	(73) 特許権者	314012076 パナソニックIPマネジメント株式会社 大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号
(86) (22) 出願日	平成25年2月20日(2013.2.20)	(74) 代理人	100106116 弁理士 鎌田 健司
(86) 国際出願番号	PCT/JP2013/000924	(74) 代理人	100170494 弁理士 前田 浩夫
(87) 国際公開番号	W02013/132761	(72) 発明者	北川 雄介 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
(87) 国際公開日	平成25年9月12日(2013.9.12)	(72) 発明者	橋本谷 磨志 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
審査請求日	平成27年10月8日(2015.10.8)		
(31) 優先権主張番号	特願2012-47628 (P2012-47628)		
(32) 優先日	平成24年3月5日(2012.3.5)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 センサデバイス

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

試料中のアナライトを検出するように構成されたセンサデバイスであって、
 上方より電磁波が入射されるように構成された上面と、下面と、第1の側面と、前記第1の側面に対向する第2の側面とに囲まれて、前記試料が流れるように構成されて、担体が配置されるように構成された流路と、
 前記流路の前記上面および前記下面の少なくとも一方の少なくとも一部に設けられた金属層と、
 を備え、
 前記担体の表面には前記アナライトと特異的結合して凝集体を生成する複数のアクセプタ
 が固定されるように構成されており、
 前記流路は、前記アナライトが偏在するように構成された凝集体トラップ部を有し、
前記流路は、
前記試料が投入されて前記凝集体トラップ部を流れるように構成された投入領域と、
前記凝集体トラップ部を流れた前記試料が排出されるように構成された排出領域と、
前記凝集体トラップ部から前記投入領域側に設けられた第1の流路と、
前記凝集体トラップ部から前記排出領域側に設けられた第2の流路と、
をさらに有し、
 前記凝集体の径は前記担体の径より大きく、
 前記第1の流路における前記上面と前記下面の間隔は前記凝集体の前記径よりも大きく、

10

20

前記第 2 の流路における前記上面と前記下面の間隔は前記担体の径よりも大きくかつ前記凝集体の前記径より小さい、センサデバイス。

【請求項 2】

試料中のアナライトを検出するように構成されたセンサデバイスであって、
上方より電磁波が入射されるように構成された上面と、第 1 の側面と、前記第 1 の側面
対向する第 2 の側面とに囲まれて、前記試料が流れるように構成されて、担体が配置され
るように構成された流路と、

前記流路の前記上面の少なくとも一部領域に設けられた金属層と、
を備え、

前記担体の表面には前記アナライトと特異的結合し凝集体を生成する複数のアクセプタが
固定されるように構成されており、

前記流路は、前記アナライトが偏在するように構成された凝集体トラップ部を有し、
前記流路は、

前記試料が投入されて前記凝集体トラップ部を流れるように構成された投入領域と、
前記凝集体トラップ部を流れた前記試料が排出されるように構成された排出領域と、
前記凝集体トラップ部から前記投入領域側に設けられた第 1 の流路と、
前記凝集体トラップ部から前記排出領域側に設けられた第 2 の流路と、
をさらに有し、

前記凝集体の径は前記担体の径より大きく、

前記第 1 の流路における前記上面と前記下面の間隔は前記凝集体の前記径よりも大きく、

前記第 2 の流路における前記上面と前記下面の間隔は前記担体の径よりも大きくかつ前記凝集体の前記径より小さい、センサデバイス。

【請求項 3】

前記担体は前記流路内に物理吸着固定されている、請求項 1 または 2 に記載のセンサデバ
イス。

【請求項 4】

前記流路は前記凝集体トラップ部と異なる別の領域をさらに有し、

前記担体の前記流路の前記凝集体トラップ部での存在密度は、前記流路の前記別の領域で
の存在密度よりも高い、請求項 1 または 2 に記載のセンサデバイス。

【請求項 5】

前記アクセプタは、前記流路内の前記凝集体トラップ部における前記金属層の表面に化学
吸着固定されるように構成されている、請求項 1 または 2 に記載のセンサデバイス。

【請求項 6】

前記凝集体トラップ部は、前記担体を通過させて前記凝集体は通過させない、請求項 1 ま
たは 2 に記載のセンサデバイス。

【請求項 7】

前記流路の前記第 1 の側面と前記第 2 の側面の間隔が前記投入領域から前記排出領域へ向
けて小さくなり、

前記排出領域での前記第 1 の側面と前記第 2 の側面の間隔は前記担体の前記径より大きく
かつ前記凝集体の前記径より小さい、請求項 6 に記載のセンサデバイス。

【請求項 8】

前記凝集体トラップ部は、前記流路内に配置された複数のピラーを有し、

前記複数のピラーのうちの互いに隣りあう 2 つのピラーの間隔は前記担体の前記径よりも
大きくかつ前記凝集体の前記径より小さい、請求項 6 に記載のセンサデバイス。

【請求項 9】

前記凝集体トラップ部は、前記流路内に配置された網目構造を有し、

前記網目構造の空隙の最小径は前記担体の前記径より大きくかつ前記凝集体の前記径より
小さい、請求項 6 に記載のセンサデバイス。

【請求項 10】

前記網目構造は SiO₂ ナノファイバの繊維状物質からなる、請求項 9 に記載のセンサデ

10

20

30

40

50

バイス。

【請求項 1 1】

前記第 1 の流路の前記上面と前記下面との間隔 D_1 および前記第 2 の流路の前記上面と前記下面との間隔 D_2 は、整数 m_1 、 m_2 と、電磁波の真空中での波長 λ と、前記流路内の屈折率 n と前記電磁波の入射角 θ とで表される以下の関係 (a) (b)、

$$(a) (m_1 + 1/2) \lambda = 2 \times n \times D_1 \times \cos \theta, \text{ かつ、} (m_2 + 1/2) \lambda = 2 \times n \times D_2 \times \cos \theta,$$

(b) $m_1 \lambda = 2 \times n \times D_1 \times \cos \theta$ 、かつ、 $m_2 \lambda = 2 \times n \times D_2 \times \cos \theta$ 、
のうちの一方を満たす、請求項 1 に記載のセンサデバイス。

【請求項 1 2】

前記流路の前記第 1 の側面及び前記第 2 の側面の少なくとも一方が凹部を有するように蛇行して形成されており、

前記凝集体トラップ部が前記凹部である請求項 1 に記載のセンサデバイス。

【請求項 1 3】

前記排出領域の近傍に設けられて前記試料を吸収するように構成された吸収体をさらに備えた、請求項 1 に記載のセンサデバイス。

【請求項 1 4】

前記流路内に超音波を印加する超音波発生源をさらに備えた、請求項 1 または 2 に記載のセンサデバイス。

【請求項 1 5】

前記流路内を加熱する加熱源をさらに備えた、請求項 1 または 2 に記載のセンサデバイス。

【請求項 1 6】

前記担体は磁性体であり、

前記流路内に磁界が印加されるように構成されている、請求項 1 または 2 に記載のセンサデバイス。

【請求項 1 7】

前記電磁波は、可視光帯を含む光である、請求項 1 または 2 に記載のセンサデバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば、ウィルス等の検知に使用できるセンサデバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

図 2 2 は、例えば、ウィルス検知等に使用可能な特許文献 1 に開示されているセンサデバイス 600 の断面図である。センサデバイス 600 は、プリズム 601 と、プリズム 601 の下面に配置された表面の平坦な金属層 602 と、金属層 602 の下面に配置された表面の平坦な所定の誘電率を有する絶縁層 603 と、絶縁層 603 の下面に固定されたアクセプタ 604 とを有している。

【0003】

金属層 602 と絶縁層 603 との界面には、電子の疎密波である表面プラズモン波が存在している。プリズム 601 側上方には光源 605 が配置され、光源 605 からプリズム 601 へ P 偏光された光を全反射条件で入射する。このとき、金属層 602 と絶縁層 603 との表面にはエバネセント波が生じている。金属層 602 において全反射された光は、検波部 606 において受光され、光の強度が検出される。

【0004】

ここで、エバネセント波と表面プラズモン波との波数が一致する波数整合条件が満たされると、光源 605 から供給される光のエネルギーは表面プラズモン波の励起に利用され、反射光の強度が減少する。波数整合条件は、光源 605 から供給される光の入射角に依存する。したがって、入射角を変化させて検波部 606 で反射光強度を検出すると、ある

10

20

30

40

50

入射角において、反射光の強度が減少する。

【0005】

反射光の強度が最小となる角度である共鳴角は、絶縁層603の誘電率に依存している。試料中の被測定物質であるアナライトとアクセプタ604とが特異的に結合して生成された特異的結合物が絶縁層603の下面に構成されると、絶縁層603の誘電率が変化し、これに応じて、共鳴角が変化する。したがって、共鳴角の変化をモニタリングすることにより、アナライトとアクセプタ604との特異的結合反応の結合の強さや結合の速さなどを検知することが可能となる。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【0006】

【特許文献1】特開2005-181296号公報

【発明の概要】

【0007】

センサデバイスは、アナライトを含む試料が流れるように構成されてかつ担体が配置されるように構成された流路と、流路に設けられた金属層とを備える。担体の表面にはアナライトと特異的結合して凝集体を生成する複数のアクセプタが固定されるように構成されている。流路は、アナライトが偏在するように構成された凝集体トラップ部を有する。

【0008】

このセンサデバイスは簡単な構成で高い検出感度を有する。

20

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1A】図1Aは本発明の実施の形態1におけるセンサデバイスの上面図である。

【図1B】図1Bは図1Aに示すセンサデバイスの線1B-1Bにおける断面図である。

【図2A】図2Aは実施の形態1におけるセンサデバイスの側断面図である。

【図2B】図2Bは図2Aに示すセンサデバイスの上面断面図である。

【図3】図3は実施の形態1におけるセンサデバイスのアクセプタとアナライトの特異的結合を示す概念図である。

【図4A】図4Aは実施の形態1におけるセンサデバイスの側断面図である。

【図4B】図4Bは実施の形態1におけるセンサデバイスの側断面図である。

30

【図5】図5は実施の形態1におけるセンサデバイスの電磁界シミュレーション解析モデルの概念図である。

【図6】図6は実施の形態1におけるセンサデバイスの電磁気シミュレーションの解析結果を示す図である。

【図7A】図7Aは実施の形態1におけるセンサデバイスの側断面図である。

【図7B】図7Bは実施の形態1におけるセンサデバイスの側断面図である。

【図8A】図8Aは実施の形態1におけるセンサデバイスの側断面図である。

【図8B】図8Bは実施の形態1におけるセンサデバイスの側断面図である。

【図9】図9は実施の形態1におけるセンサデバイスの側断面図である。

【図10】図10は実施の形態1におけるセンサデバイスの側断面図である。

40

【図11】図11は実施の形態1におけるセンサデバイスの側断面図である。

【図12】図12は実施の形態1におけるセンサデバイスの側断面図である。

【図13A】図13Aは本発明の実施の形態2におけるセンサデバイスの上面断面図である。

【図13B】図13Bは実施の形態2における他のセンサデバイスの上面断面図である。

【図14A】図14Aは実施の形態2におけるセンサデバイスの側断面図である。

【図14B】図14Bは図14Aに示すセンサデバイスの上面断面図である。

【図15】図15は凝集体の概念図である。

【図16A】図16Aは本発明の実施の形態3におけるセンサデバイスの側断面図である。

50

【図 1 6 B】図 1 6 B は図 1 6 A に示すセンサデバイスの拡大図である。

【図 1 7】図 1 7 は実施の形態 3 におけるセンサデバイスにおける電界強度の分布を表わす図である。

【図 1 8 A】図 1 8 A は本発明の実施の形態 4 におけるセンサデバイスの上面断面図である。

【図 1 8 B】図 1 8 B は図 1 8 A に示すセンサデバイスの線 1 8 B - 1 8 B における側断面図である。

【図 1 8 C】図 1 8 C は実施の形態 4 における他のセンサデバイスの上面断面図である。

【図 1 8 D】図 1 8 D は図 1 8 C に示すセンサデバイスの線 1 8 D - 1 8 D における側断面図である。

10

【図 1 9 A】図 1 9 A は本発明の実施の形態 5 におけるセンサデバイスの上面断面図である。

【図 1 9 B】図 1 9 B は図 1 9 A に示すセンサデバイスの線 1 9 B - 1 9 B における側断面図である。

【図 2 0 A】図 2 0 A は本発明の実施の形態 6 におけるセンサデバイスの上面断面図である。

【図 2 0 B】図 2 0 B は図 2 0 A に示すセンサデバイスの線 2 0 B - 2 0 B における側断面図である。

【図 2 1 A】図 2 1 A は本発明の実施の形態 7 におけるセンサデバイスの断面図である。

【図 2 1 B】図 2 1 B は実施の形態 7 におけるセンサデバイスの下面斜視図である。

20

【図 2 2】図 2 2 は従来のセンサデバイスの断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

(実施の形態 1)

図 1 A は本発明の実施の形態 1 におけるセンサデバイス 1 の上面図である。図 1 B は図 1 A に示すセンサデバイス 1 の線 1 B - 1 B における断面図である。センサデバイス 1 は MIM (Metal Insulator Metal) 型のセンサデバイスである。

【0011】

センサデバイス 1 は、試料を注入する注入口 2 4 と、注入された試料を一旦、貯留する貯留部 2 5 と、注入された試料をセンサ内に流す流路 4 と、流路 4 を流れて来た検査済みの試料を貯留する貯留部 2 6 と、流路 4 の少なくとも一部に設けられた金属層 2、3 を備えている。ユーザはスポイド 2 7 などにより、検査対象となる試料を注入口 2 4 から貯留部 2 5 に注入する。流路 4 は、センサデバイス 1 の上側に配置され金属層 2 を保持する保持部 5 と、センサデバイス 1 の下側に配置され金属層 3 を保持する保持部 6 と、側壁部 2 1 および側壁部 2 2 により構成されている。流路 4 内には、金属層 2、3 に挟まれた特定の領域 1 8 と、特定の領域 1 8 の前に配置された投入領域 1 5 と、領域 1 8 の後に配置された排出領域 1 6 が設けられている。貯留部 2 5 に貯留された試料は、毛細管現象等により流路 4 の投入領域 1 5 に投入される。流路 4 内に投入された試料は流路 4 内を矢印 1 7 の方向へ流れて領域 1 8 を経由して排出領域 1 6 から排出され貯留部 2 6 に貯留される。また、試料中の検体であるアナライトは流路 4 内の領域 1 8 にトラップされ検出される。このように、領域 1 8 はアナライトの凝集体をトラップする凝集体トラップ部として機能する。

30

40

【0012】

センサデバイス 1 の動作について説明する。流路 4 内の金属層 2 および金属層 3 に挟まれた部分は検出部を構成する。図 2 A と図 2 B はそれぞれセンサデバイス 1 の主要部分を示す側断面図と上面断面図である。図 2 A に示すように、金属層 3 は、流路 4 を介して金属層 2 に対向して金属層 2 の下方に配置されている。金属層 2、3 は金、銀等の金属で構成される。また、図 2 B に示すように、側壁部 2 1 は流路 4 を挟んで側壁部 2 2 に対向して配置されている。金属層 2 の下面 2 B は流路 4 の上面を構成し、金属層 3 の上面 3 A は流路 4 の下面を構成し、側壁部 2 1 の側面 2 1 A は流路 4 の第 1 の側面を構成し、側壁部

50

22の側面22Aは流路4の第2の側面を構成する。このように、これら4つの面から流路4が形成されている。金属層2の下面2B、金属層3の上面3Aの少なくとも一方には複数の担体10がファンデルワールス力等の弱い力により物理的に吸着固定されている。担体10は、金属、樹脂等からなる物質の表面に固定された、検体であるアナライト8と特異的に結合する複数のアクセプタ7よりなる。

【0013】

金属、樹脂等からなる物質の大きさは、センサデバイス1の上方より入射される電磁波の波長の $1/10$ 以下であることが好ましい。物質の大きさは例えばその物質の径である。この波長は、流路4内の屈折率の影響を加味した波長を指している。金属、樹脂等からなる物質の大きさが入射される電磁波の波長の $1/10$ 以上の場合、ミー散乱の影響が強いが、 $1/10$ 以下の場合、レイリー散乱の影響が強くなる。レイリー散乱はその散乱強度が物質の半径の -6 乗に比例するため非常に小さく、散乱の影響がほぼ無視できるので、センサデバイス1の感度を向上させることができる。散乱の影響が大きい場合、光の直進性が失われ、観察光がうまく観察できない恐れがあるので、例えば、センサデバイス1の上方から入射する電磁波として可視光(特に、観察に用いる波長の $500 \sim 600 \text{ nm}$)を用いた場合には、金属、樹脂等からなる物質の大きさは $50 \sim 60 \text{ nm}$ 以下であることが好ましい。

10

【0014】

センサデバイス1を使用する際には、試料62が投入領域15から流路4に投入されて充填され、充填された試料62は排出領域16から排出される。したがって、流路4中の試料62は実質的に金属層2、3で挟まれている。試料62は、アナライト8と非特異的検体9と媒質61とを含有する。媒質61は液体、ゲル等の流体よりなり、アナライト8と非特異的検体9とを運ぶ。

20

【0015】

金属層2は概ね 100 nm 以下の厚みを有するので単体ではその形状を維持できない。金属層2の上面2Aは保持部5の下面5Bに固定され、その形状が保持される。金属層3は保持部6の上面6Aに固定されて保持される。

【0016】

金属層2の上面2Aから電磁波91が入射する。電磁波91が可視光であり、金属層2が金よりなる場合には、金属層2は $10 \text{ nm} \sim 45 \text{ nm}$ の範囲内の膜厚を有することが望ましい。

30

【0017】

金属層3が金よりなる場合には、金属層3は 100 nm 以上の膜厚を有することが望ましい。金属層3の膜厚が 100 nm 未満である場合には、入射された可視光である電磁波91は金属層3を透過し、流路4内へ反射される電磁波91の量が減る。

【0018】

金属層2の上面2Aの上方、すなわち、金属層2について金属層3の反対の方向には電磁波源92が配置されている。電磁波源92は金属層2の上面2A上方から金属層2へ電磁波91を与える。

【0019】

なお、アクセプタ7とは、特定のアナライトと特異的結合をする捕捉体のことを指しており、例えば、抗体、受容体タンパク、アプタマー、ポルフィリン、モレキュラーインプリンティング技術により生成された高分子などを指す。

40

【0020】

なお、図1Bに示すように、貯留部25と流路4との間には、フィルター23が配置されていることが望ましい。フィルター23は試料中に混入したゴミなどの不要物を取り除く。

【0021】

以下、センサデバイス1の動作について説明する。実施の形態1においては、電磁波91は光であり、電磁波源92は光源である。

50

【0022】

金属層2の上方から入射角 θ で上面2Aに与えられた電磁波の一部は、上面2A、下面2Bで反射されて、反射角 θ の方向に金属層2から上方へ向けて伝搬していく。入射角 θ は、金属層2の上面の法線方向と電磁波の入射方向との間の角度である。金属層2の上方から入射された電磁波のうち、金属層2で反射されて金属層2から上方に向けて角度 θ の方向へ伝搬していく電磁波を第1電磁波と呼ぶ。しかし、金属層2の上面2A、下面2Bで反射されなかった大部分の電磁波は、金属層2を透過して流路4を伝搬し、金属層3の上面3Aに到達する。金属層3の厚みが200nm以上と十分に厚いとき、金属層3の上方より到来した電磁波のすべては金属層3において反射され、再び金属層2の下面2Bに向けて流路4内を伝搬していく。そして、金属層2の下面2Bに到達した電磁波の一部は金属層2を透過し、金属層2から上方へ角度 θ の方向で伝搬していく。以下、流路4から金属層2を透過し、金属層2から上方に向けて角度 θ の方向へ伝搬していく電磁波を第2電磁波と呼ぶ。また、金属層2の下面2Bから到達し、金属層2を透過しなかった電磁波の大部分は金属層2の下面2B、上面2Aで反射され、再び、流路4内を下方へ向けて伝搬していく。金属層2の上方において、第1電磁波と第2電磁波とは干渉しあう。特に、整数 m と、電磁波の真空中での波長 λ と、流路4の厚み d すなわち金属層2の下面と金属層3の上面との間隔 d と、中空領域内の屈折率 n と入射角 θ とで表される式1または式2の条件を満たす。間隔 d が式1の条件を満たしたときには第1電磁波と第2電磁波とは弱めあい、間隔 d が式2の条件を満たしたときには第1電磁波と第2電磁波とは強めあう。

10

20

【0023】

$$(m + 1/2) \times \lambda = 2 \times n \times d \times \cos \theta \quad \dots (\text{式1})$$

$$m \times \lambda = 2 \times n \times d \times \cos \theta \quad \dots (\text{式2})$$

干渉条件は、金属層2および金属層3の形状の主に厚み、金属層2と金属層3の間の距離、金属層2の誘電率（屈折率）、金属層3の誘電率（屈折率）、流路4内の屈折率によって制御可能である。

【0024】

金属層2の上面2Aの上方には光等の電磁波93を検知する検知部94が配置される。電磁波源92から与えられた電磁波91をセンサデバイス1が受けた時に、センサデバイス1から反射又は輻射された光等の電磁波93を検知部94は受信する。なお、検知部94は必ずしも必要ではない。電磁波91が可視光の場合には、ユーザ自身の目で電磁波91の色の変化、強度を検知できる。これにより簡易で安価なセンサデバイス1を構築できる。

30

【0025】

保持部5は電磁波91を金属層2へ効率良く供給するために、電磁波91を減衰させにくい材質で形成される。実施の形態1において、電磁波91は光なので、保持部5は光を効率的に透過させるガラスや透明プラスチック等の透明な材料で形成される。保持部5の厚みは機械強度的に許容できる範囲で、できるだけ小さい方が好ましい。

【0026】

センサデバイス1の感度を高くするためには、供給される光等の電磁波91が金属層3を透過しないことが好ましい。したがって、保持部6は光等の電磁波91を遮断する材料より形成されることが好ましい。例えば、保持部6は100nm以上の厚みを有する金属や半導体より形成される。

40

【0027】

センサデバイス1においては、金属層2の流路4の側である下面2Bに複数の担体10が配置されている。担体10は、金属や樹脂などからなる物質の表面に固定された複数のアクセプタ7よりなる。

【0028】

試料62の中でアナライト8が担体10のアクセプタ7に触れると、アクセプタ7とアナライト8とが特異的に結合する。図3は、実施の形態1におけるセンサデバイス1の担

50

体10のアクセプタ7とアナライト8の特異的結合を示す概念図である。図3に示すように、試料62は、非特異的検体9と検体であるアナライト8とを含有している。担体10のアクセプタ7は非特異的検体9とは特異的に結合せず、アナライト8のみと選択的に特異的結合を起こす。そして、複数の担体10がアナライト8を介して結合して凝集体11を作る。例えば、図3では、担体10aは、その表面に固定した複数のアクセプタを持ち、そのうちの1つのアクセプタ7aがアナライト8に特異的に結合する。また、担体10bは、その表面に固定した複数のアクセプタを持ち、そのうちの1つのアクセプタ7bがアナライト8に特異的に結合している。このように、アナライト8を挟んで2つの担体10a、10bが結合して1つの凝集体11を作る。担体10a、10bはそれぞれ複数のアクセプタを有するので、このアクセプタが更に別のアナライト8と特異的に結合することにより、さらに多くの担体が結合されてサイズの大きな凝集体を作ることが可能となる。なお、図2Aと図2Bに示すセンサデバイス1では金属層2の下面2Bにのみ担体10が配置されているが、金属層2の下面2Bに加えて、金属層3の上面3Aにも担体10が配置されていてもよい。また、担体10は金属層2の下面2Bには配置されず、金属層3の上面3Aのみに配置されていてもよい。

10

【0029】

図4Aと図4Bは実施の形態1におけるセンサデバイス1の動作を示す側断面図である。図4Aに示すように、真空または空気が充填された流路4に、予め担体10が金属層2の下面2Bに物理吸着により固定されている。流路4に非特異的検体9とアナライト8とを含有する液体の試料62が投入されると、流路4の状態、特に誘電率(屈折率)が変化し、これにより、金属層2の上方において式1と式2に基づいて干渉して強めあう、または、弱めあう電磁波の波長が変化し、検知部94で検知される電磁波の周波数分布が変化することにより、金属層2から上方へ伝搬してくる電磁波の状態変化を検知することにより、流路4内での特異的結合の有無を確認することができる。

20

【0030】

図4Bに示すように、流路4に投入された試料62に外部から矢印17の方向に流れを与える。金属層2の下面2Bに配置された担体10は、ファンデルワールス力による弱力で物理的に下面2Bに固定されているので、この流れにより担体10は金属層2の下面2Bから剥がれて流路4中に浮遊して矢印17方向へ流される。流路4中を流れて行く間に担体10のアクセプタ7とアナライト8とが特異的に結合し、さらにそのアナライト8に他の担体10が特異的に結合し、それを繰り返す事により凝集体11が形成される。凝集体11は担体10、非特異的検体9および媒質61と比べて重いため、凝集体11はゆっくり流れていく。凝集体11が流路4中の特定の領域18(凝集体トラップ部)にトラップされると、領域18において誘電率が変化するので、金属層2、3間の媒質61の誘電率(屈折率)、及び、誘電率の分布が変化するので、金属層2、3間の媒質61の誘電率(屈折率)、及び、誘電率の分布が変化した結果、式1と式2から導出されるように、センサデバイス1の金属層2から上方へ伝搬していく電磁波の状況が変化することにより、アクセプタ7とアナライト8との特異的結合の状態、具体的には、特異的結合の強さ、結合スピード等を検知することができる。

30

40

【0031】

アクセプタ7とアナライト8との特異的結合により、センサデバイス1の金属層2から上方へ伝搬していく電磁波の状況が変化する様子を、電磁界シミュレーションの結果を用いて説明する。図5は実施の形態1におけるセンサデバイス1の電磁界シミュレーションの解析モデルの概念図である。

【0032】

図5に示す解析モデル501では、金属層2は銀により構成されて30nmの厚みを有する。金属層3は銀により構成されて130nmの厚みを有する。金属層2、3間の距離が160nmであり、流路4には比誘電率が1の空気が充填されている。金属層2の上面2Aの上方と金属層3の下面3Bの下方は空気で充填されている。解析モデル501では

50

、電磁波 591 が入射角 AN で金属層 2 へ入射され、金属層 2 から上方へ角度 BN (= - AN) で伝搬していく電磁波 593 をシミュレーションにより解析し、また、解析モデル 501 は金属層 2、3 と流路 4 とが水平方向に無限に続いている。

【0033】

センサデバイス 1 においては、第 1 電磁波と第 2 電磁波とが弱めあう周波数または波長の変化だけでなく、金属層 2 の上方から入射した電磁波のエネルギー量に対する、金属層 2 から上方へ伝搬されていく電磁波のエネルギー量の比である反射率 R501 の変化も検知する。周波数または波長と波長との 2 つの指標を同時に使用して流路 4 の媒質の状態変化を検出できる。これにより、センサデバイス 1 は高い検出能力を発揮する事が可能である。流路 4 の媒質の状態とは、流路 4 の一部又は全部に充填されている物質の状態、例えばその物質自体の組成や、物質の流路 4 での分布を指している。図 6 は、図 5 のモデルの解析結果を示す。図 6 において、横軸は波長を示し、縦軸は反射率 R501 を示す。図 6 に示すように、340 nm 辺りの波長の電磁波が打ち消しあう条件である式 1 を満たす事により、340 nm 辺りの波長では反射率が大幅に減少している。

10

【0034】

センサデバイス 1 は、人の唾液を含んだ試料を流路 4 に注入することにより家庭で使える簡易なインフルエンザウィルスセンサとして利用できる。センサデバイス 1 を家庭用のセンサとして使うためには、病院などで使われる業務用のセンサに比べてより高い検出感度と使い勝手の良さが求められる。そのためには、検体であるアナライト 8 を流路 4 中の特定の領域 18 に偏在させて、領域 18 でのアナライト 8 の濃度を増加させることが好ましい。また、電磁波源 92 としては、特別な検出器を用いることなく人が容易に波長の変化を検知できる可視光を電磁波として発生する可視光源であることが好ましい。

20

【0035】

以下、本実施の形態におけるセンサデバイス 1 においてアナライト 8 を流路 4 中の特定の領域に偏在させる構成について説明する。

【0036】

図 7 A と図 7 B はアナライトを偏在させた実施の形態 1 におけるセンサデバイスの側断面図である。図 7 A は流路 4 に試料を投入した直後の流路 4 内の状態を示す。図 7 B は所定時間経過後の流路 4 内の状態を示す。図 7 A と図 7 B および以降の図面においては試料 62 としてアナライト 8 のみを示し、媒質および検体は省略する。

30

【0037】

図 7 A に示すように、複数の担体 10 が金属層 2 の下面 2 B と金属層 3 の上面 3 A の間の特定の領域 18 (凝集体トラップ部) に偏在して充填され、物理吸着により固定されている。すなわち、領域 18 での物理吸着されている担体 10 の存在密度は、流路 4 内の領域 18 以外の別の領域での担体 10 の存在密度よりも高い。物理吸着は、金属層 2、3 と担体 10 との界面、担体 10 同士の界面に働くファンデルワールス力を利用して起こす。図 7 A に示す状態で試料 62 が投入されて一定時間経過すると、図 7 B に示すように、検体であるアナライト 8 を含む凝集体 11 が形成され、流路 4 の特定の領域 18 を充填する。すなわち特定の領域 18 は凝集体 11 をトラップする凝集体トラップ部として機能する。この場合には、もともと領域 18 に多数の担体 10 が固定されていたので、領域 18 における流路 4 内の誘電率は大きく変化せず、凝集前後で、金属層 2 から上方へ伝搬していく電磁波間の干渉条件は大きく変化しない。その結果、反射光の色は試料投入前と後で変化しない。一方、試料 62 中にアナライトが存在しない場合には、凝集体 11 ができないので、担体 10 は試料 62 と一緒に流路 4 を流れて特定の領域 18 から出て行く。このため、領域 18 の誘電率は、アナライト 8 が存在し凝集体 11 ができた場合と比べて大きく変化し、金属層 2 から上方へ伝搬していく電磁波間の干渉状態が変化する。その結果、入射波として可視光帯を含む光をセンサデバイス 1 へ入射した場合には、金属層 2 から上方へ伝搬していく光の色が試料の投入前と比べて変化する。この光の色の変化を人が目で検知することにより、試料 62 中のアナライト 8 の存在有無を確認することができる。これにより、家庭においてもユーザが容易にアナライト (例えば、ウィルス) の存在有無を確

40

50

認できるセンサデバイス1を実現することができる。なお、図7Bに示す凝集体11が試料62の矢印17の方向の流れにより領域18から容易に流れ出さないように、領域18内に凝集体を保持する構造を設けてもよい。この構造としては、例えば、領域18に面した金属層2、3の表面のうちの、粗面化することで摩擦係数を上げた部分を使用できる。

【0038】

図8Aと図8Bは、アナライト8を偏在させたセンサデバイス1の側断面図である。図8Aは流路4に試料を投入した直後の流路4内の状態を示す。図8Bは試料を投入してから一定時間経過後の流路4内の状態を示す。図8Aに示すように、複数のアクセプタ7が金属層2の下面2Bの特定の領域18に偏在して化学吸着により下面2Bに固定されており、流路4の他の領域には存在しない。また、金属層2の下面2Bの領域18よりも投入領域15に向かう側には、複数の担体10が物理吸着により下面2Bに固定されている。図8Aに示す状態でアナライト8を含む試料が流路4に投入されて一定時間が経過すると、図8Bに示すように、担体10は試料の流れにより金属層2の下面2Bから剥がれて流路4中を浮遊し、検体であるアナライト8と特異的結合して凝集体11が形成される。凝集体11は試料の流れに従って矢印17の方向へ流れ、流路4内の領域18（凝集体トラップ部）において、金属層2の下面2Bに配置された複数のアクセプタ7とアナライト8を介して特異的結合する。

【0039】

その結果、アナライト8を含む凝集体11が領域18にトラップされる。これにより、試料中のアナライト8を領域18に偏在させることができる。この場合は、領域18にアナライト8を含む凝集体11がトラップされるので、領域18とそれ以外の領域で誘電率が大きく変化し、アナライト8の検出感度が向上する。つまり、流路4の領域18に接する金属層2の領域から上方へ伝搬していく電磁波の状態（例えば可視光の色）と、流路4の領域18以外に接する金属層2の領域から上方へ伝搬していく電磁波の状態（例えば可視光の色）とが変化するので、家庭においてもユーザが容易にアナライトの存在を視覚的に確認できる。なお、化学吸着の場合には、アクセプタ7が共有結合により金属層2の下面2Bに吸着固定しているため、物理吸着と比較してより強固に凝集体11を固定することができる。このため、検出領域となる領域18に凝集体11を集中的に固定することが容易となり、感度の高いセンサデバイス1を実現できる。

【0040】

一方、図22に示す従来のセンサデバイス600では絶縁層603の下面に固定されたアクセプタに特異的に結合するアナライトは試料中で分散しているために、検出感度が十分でない。

【0041】

次に、凝集体11を作る際の凝集を加速する構成について説明する。図9は、超音波を使用して凝集を加速する構成を示す図8Aと図8Bに示すセンサデバイス1の側断面図である。図9に示すセンサデバイス1は、金属層2の下面2Bおよび金属層3の上面3Aの一部にそれぞれ設けられた超音波発生源31aおよび超音波発生源31bをさらに備える。流路4の上方に存在する担体10a、10bは超音波発生源31a、31bが発生する超音波により移動しアナライト8と結合し易くなる。また、金属層2、3の間に超音波の定在波が発生し、金属層2、3の間の所定領域に担体10とアナライト8が集められるので、担体10とアナライト8とが結合する確率を上げる事ができる。このようにして、担体10aと担体10bはアナライト8と特異的に結合し、凝集体11となって金属層2の下面2Bに配置されたアクセプタ7にアナライト8を介して領域18でトラップされる。このように、センサデバイス1の流路4の上下方向から超音波を発生させることにより担体10とアナライト8の特異的結合が起こりやすくなりアナライト8の凝集を加速することが可能となる。なお、超音波発生源は金属層2の下面2Bおよび金属層3の上面3Aの一方のみに設けてもよい。また、超音波発生源は流路4を構成する側壁部21の側面21Aや側壁部22の側面22Aに設けてもよい。また、保持部5の下面5Bで金属層2が形成されていない場所や保持部6の上面6Aで金属層3が形成されていない場所に設けても

10

20

30

40

50

よい。

【 0 0 4 2 】

図 1 0 は、流路 4 を加熱して温度を上げ凝集を加速するセンサデバイス 1 の側断面図である。図 1 0 に示すセンサデバイス 1 は、保持部 5 の上面 5 A に設けられた加熱源としてのヒータ 3 2 をさらに備える。ヒータ 3 2 により流路 4 の中の試料が加熱され担体 1 0、アナライト 8 の運動エネルギーが増大して特異的結合が加速される。例えば、担体 1 0 a、担体 1 0 b およびアナライト 8 の運動が加速されるためにそれらが接触する確率が増え、それらが特異的結合して凝集体 1 1 が生成しやすくなる。このようにして、担体 1 0 a と担体 1 0 b はアナライト 8 と特異的結合をし、凝集体 1 1 となって金属層 2 の下面 2 B に配置されたアクセプタ 7 にアナライト 8 を介して領域 1 8 でトラップされる。このように、センサデバイス 1 の流路 4 を加熱することにより、担体 1 0 とアナライト 8 の特異的結合が起こりやすくなりアナライト 8 の凝集を加速することが可能となる。なお、試料を加熱する限り、ヒータ 3 2 の設置場所は限定されるものではない。

10

【 0 0 4 3 】

図 1 1 は、流路 4 に磁界を印加して凝集を加速するセンサデバイス 1 の側断面図である。図 1 1 に示すセンサデバイス 1 は、保持部 5 の上面 5 A および保持部 6 の下面 6 B の近傍にそれぞれ設けられた磁界発生源 3 3 a および磁界発生源 3 3 b をさらに備える。磁界発生源 3 3 a、3 3 b は流路 4 の上方から下方に向けて磁界 M 1 を発生させる。担体 1 0 は磁界 M 1 の方向に引き寄せられるように磁性体からなることが好ましい。磁性体からなる担体 1 0 a、1 0 b は磁界 M 1 により上方へ移動しアナライト 8 と結合し易くなる。このようにして、担体 1 0 a と担体 1 0 b はアナライト 8 と特異的結合し、凝集体 1 1 となって金属層 2 の下面 2 B に配置されたアクセプタ 7 にアナライト 8 を介して領域 1 8 にトラップされる。このように、センサデバイス 1 の流路 4 の上下方向の磁界 M 1 を発生させることにより担体 1 0 とアナライト 8 の特異的結合が起こりやすくなりアナライト 8 の凝集を加速することが可能となる。また、流路 4 に磁界 M 1 を印加する方法としては、磁界発生源 3 3 a、3 3 b を設けず、ユーザが手に保持した磁界発生器を使って磁界 M 1 を印加する方法でもよい。

20

【 0 0 4 4 】

なお、実施の形態 1 では、流路 4 内でアナライト 8 と担体 1 0 のアクセプタ 7 を特異的に結合させる。図 1 2 は、流路 4 外でアナライト 8 と担体 1 0 を領域 1 8 に流す前に特異的結合させて凝集体 1 1 を形成させた後に、凝集体 1 1 を流路 4 に流すセンサデバイス 1 の側断面図である。この場合には、凝集体 1 1 は、例えば、センサデバイス 1 に投入する前に形成されていてよい。あるいは、貯留部 2 5 にてアナライト 8 と担体 1 0 を特異的結合させて凝集体 1 1 を形成させても良い。図 1 2 に示すセンサデバイス 1 では、アナライト 8 と担体 1 0 との特異的結合を確実に起こさせることができるので、検出精度を上げることができる。また、図 1 2 のセンサデバイス 1 に、図 8 A に示す金属層 2、3 に化学吸着固定されたアクセプタ 7 を配置し、領域 1 8 (凝集体トラップ部)において、凝集体 1 1 を集中的にトラップして固定させてもよい。

30

【 0 0 4 5 】

(実施の形態 2)

図 1 3 A と図 1 3 B は、実施の形態 2 におけるセンサデバイス 1 0 0 の上面断面図である。図 1 3 A と図 1 3 B において、実施の形態 1 におけるセンサデバイス 1 と同じ部分には同じ参照番号を付す。実施の形態 2 におけるセンサデバイス 1 0 0 の側断面図は実施の形態 1 における図 1 B に示すセンサデバイス 1 と同じである。図 1 4 A と図 1 4 B はそれぞれセンサデバイス 1 0 0 の側断面図および上面断面図である。センサデバイス 1 0 0 には、金属層 1 0 2 の下面 1 0 2 B と、金属層 1 0 3 の上面 1 0 3 A と、側壁部 1 1 1 の側面 1 1 1 A と、側壁部 1 1 2 の側面 1 1 2 A の 4 つの面により囲まれた流路 1 0 4 が形成されている。金属層 1 0 2 の下面 1 0 2 B は流路 1 0 4 の上面を構成し、金属層 1 0 3 の上面 1 0 3 A は流路 1 0 4 の下面を構成する。側壁部 1 1 1 の側面 1 1 1 A は流路 1 0 4 の第 1 の側面を構成し、側壁部 1 1 2 の側面 1 1 2 A は流路 1 0 4 の第 2 の側面を構成す

40

50

る。また、流路104は試料62が投入される投入領域115と試料62が排出される排出領域116を有する。投入領域115から排出領域116に向けて流路104の幅すなわち側面111Aと側面112Aとの間隔が徐々に小さくなるように流路104は形成されている。流路104の投入領域115の最前端(図面の左端)の幅W1、排出領域116の最後端(図面の右端)の幅W3、流路104内に位置する任意の場所104aの幅W2の関係は、 $W1 > W2 > W3$ となるように流路104が形成されている。流路104に試料62が投入されると試料62中のアナライト8と担体10のアクセプタ7が特異的に結合して凝集体11を形成する。投入領域115から排出領域116に向けて試料62が流れるに従って、凝集体11は排出領域116に向かって移動する。ここで、排出領域116の幅W4は、担体10の径よりも大きく、凝集体11の径より小さい。すなわち、排出領域116の幅W4は、担体10の径以上の第1の所定値よりも大きく、凝集体11の径より小さい第2の所定値以下である。

10

【0046】

流路104においては、凝集体11が流路104の投入領域115と排出領域116との間の特定の領域118にトラップされる。このように、領域118は凝集体11をトラップする凝集体トラップ部である。凝集体11が領域118にトラップされると流路104を遮断する。次に流れてくる凝集体11は既にトラップされた凝集体11で止められ、凝集体11が特定の領域118に固まって留まる。すなわち、試料62中に存在し、第1の所定値以下の径を有する担体10と、担体10よりも小さい径を有する非特異的検体9と、媒質61とは領域118を通過できる。しかし、試料62中に存在し、第2の所定値

20

【0047】

図15は凝集体11の概念図である。凝集体11はアナライトを介して互いに結合した2つ以上の担体10であり、種々の形状を取り得る。実施の形態においては、凝集体11の径とは、図15に示すように、凝集体11の最大径Rを指す。つまり、第2の所定値は最大径Rより小さい値である。

【0048】

このように、実施の形態2におけるセンサデバイス100では、流路104の特定の領域118にアナライト8を含む凝集体11をトラップすることができるので、領域118における誘電率が他の領域と比べて大きく変化する。これにより、流路104の領域118に接する金属層102の領域から上方へ伝搬していく電磁波の状態(例えば可視光の色)と、流路104の領域118以外に接する金属層102の領域から上方へ伝搬していく電磁波の状態(例えば可視光の色)とが変化する。家庭においてもユーザが容易にアナライトの存在を視覚的に確認できる。つまり、凝集体11をトラップせずに流路104中に均一に凝集体11が分布しているセンサデバイスと比較して実施の形態2におけるセンサデバイス100はより高い検出感度を有する。

30

【0049】

凝集体11を流路104の特定の領域でトラップするためには、流路104において投入領域115から排出領域116に向かう方向へ試料62の流れを作る必要がある。図13Bに示すセンサデバイス100は、流路104の排出領域116の近傍に配置された吸収材113をさらに備える。吸収材113は試料62を吸収する。吸収材113により試料62が吸収されることにより流路104の投入領域115から排出領域116の方向へ試料62の流れを作ることができる。これにより、凝集体11および担体10は排出領域116へ向けて流れて行き、凝集体11は領域118でトラップされ、担体10は排出領域116から流路104の外側へ排出される。なお、図13Bに示す吸収材113は、図13Aに示すセンサデバイス100に追加されている。吸収材113は、図13Aに示すセンサデバイス100以外のセンサデバイスにおいても活用でき、図13Bに示すセンサデバイス100と同様に、流路4、104内の試料の流れを大きくできる。

40

【0050】

図13Aに示すセンサデバイス100では、流路104の幅W2は投入領域115の最

50

前端から排出領域 116 の最後端まで連続的に減少する。流路 104 の幅 W2 は、投入領域 115 の最前端と排出領域 116 の最後端との間で不連続に減少してもよい。また、領域 118 の幅は連続的に減少するが、投入領域 115 および排出領域 116 の少なくとも一方の幅が一定値であってよい。

【0051】

(実施の形態 3)

図 16A と図 16B は、それぞれ実施の形態 3 におけるセンサデバイス 200 の側断面図と拡大側断面図である。センサデバイス 200 の上面図は図 1A に示す実施の形態 1 におけるセンサデバイス 1 のそれと同じである。図 16A に示すように、センサデバイス 200 には、実施の形態 1 における側壁部 21、22 と同様の 2 つの側壁部の 2 つの側面と、金属層 202 の下面 202B と、金属層 203 の上面 203A との 4 つの面により囲まれた流路 204 が形成されている。側壁部の 2 つの側面は流路 204 の第 1 と第 2 の側面を構成する。金属層 202 の下面 202B は流路 204 の上面を構成する。金属層 203 の上面 203A は流路 204 の下面を構成する。流路 204 は試料 62 が投入される投入領域 215 と試料 62 が排出される排出領域 216 と、それらの間に設けられた領域 218 を有する。領域 218 は凝集体 11 をトラップする凝集体トラップ部である。流路 204 は投入領域 215 および領域 218 (凝集体トラップ部) からなる流路 204b (第 1 の流路) と、排出領域 216 からなる流路 204c (第 2 の流路) により構成されている。そして、下面 202B と上面 203A との間隔である流路 204 の深さのうち、流路 204b の深さと流路 204c の深さとの関係、すなわち流路 204b での金属層 202 の下面 202B と金属層 203 の上面 203A との間隔 D1 と流路 204c での金属層 202 の下面 202B と金属層 203 の上面 203A との間隔 D2 とは $D1 > D2$ となるように流路 204 が形成されている。流路 204 に試料 62 が投入されると試料 62 中のアナライト 8 と担体 10 のアクセプタ 7 が特異的に結合して凝集体 11 を形成する。投入領域 215 から排出領域 216 に向けて試料 62 が流れるに従って、凝集体 11 は排出領域 216 に向かって移動する。

【0052】

ここで、流路 204c の深さ(間隔 D2)は、担体 10 の径よりも大きく、凝集体 11 の径より小さく設定される。すなわち、流路 204c の深さ(間隔 D2)は、担体 10 の径以上の第 1 の所定値よりも大きく、凝集体 11 の径より小さい第 2 の所定値以下に設定される。

【0053】

流路 204 においては、凝集体 11 が流路 204 の特定の領域 218 にトラップされる。すると、次に流れてくる凝集体 11 もこのトラップされた凝集体 11 により流路が遮断され、凝集体 11 が特定の領域 218 に固まって留まることになる。図 16B は、凝集体 11 がトラップされた領域 218 の拡大図である。すなわち、試料 62 中に存在し、その径が第 1 の所定値以下の担体 10、担体 10 よりも小さい径を有する非特異的検体 9 と媒質 61 は領域 218 を通過できるが、第 2 の所定値より大きな径を有する凝集体 11 は領域 218 を通過できない。

【0054】

このように、実施の形態 3 におけるセンサデバイス 200 では、流路 204 の特定の領域 218 にアナライト 8 を含む凝集体 11 をトラップすることができ、領域 218 における誘電率が他の領域と比べて大きく変化する。これにより、流路 204 の領域 218 に接する金属層 202 の領域から上方へ伝搬していく電磁波の状態(例えば可視光の色)と、流路 204 の領域 218 以外に接する金属層 202 の領域から上方へ伝搬していく電磁波の状態(例えば可視光の色)とが変化する、家庭においてもユーザが容易にアナライトの存在を視覚的に確認できる。つまり、センサデバイス 200 は、凝集体 11 をトラップせずに流路中に均一に凝集体 11 が分布しているセンサデバイスと比較してアナライトの検出感度が高くなる。

【0055】

また、実施の形態3におけるセンサデバイス200においても実施の形態2と同様に流路204内の試料62に流れを作るように排出領域216の近傍に吸収材を配置してもよい。その結果、流路204の投入領域215から排出領域216の方向へ試料62の流れができる。これにより、凝集体11および担体10は排出領域216へ向けて流れて行き、凝集体11は領域218でトラップされ、担体10は排出領域216から流路204の外側へ排出される。

【0056】

図17は実施の形態3におけるセンサデバイス200における電界強度の分布を表わす。センサデバイス200において、図17に示すように、金属層202の流路204bに接する領域から上方へ伝搬していく電磁波の干渉状態と、金属層202の流路204cに接する領域から上方へ伝搬していく電磁波の干渉状態とを概ね同一状態としておいても良い。具体的には、流路204bと流路204cの設計を共に式1を満たすように行う、または、共に式2を満たすように行う。但し、式1や式2における整数mの値は、流路204bと流路204cで異なる。すなわち、流路204bの上面と下面との間隔D1および流路204cの上面と下面との間隔D2は、整数m1、m2と、電磁波の真空中での波長と、流路204内の屈折率nと電磁波の入射角とで表される以下の角とで表される以下の関係(a)(b)、

$$(a) (m_1 + 1/2) \times \lambda = 2 \times n \times D_1 \times \cos \theta, \text{ かつ、} (m_2 + 1/2) \times \lambda = 2 \times n \times D_2 \times \cos \theta,$$

$$(b) m_1 \times \lambda = 2 \times n \times D_1 \times \cos \theta, \text{ かつ、} m_2 \times \lambda = 2 \times n \times D_2 \times \cos \theta$$

のうちの一方を満たす。

【0057】

これにより、例えば可視光帯の光をセンサデバイス200の金属層202の上方から供給した場合、金属層202の流路204bに接する領域と、金属層202の流路204cに接する領域からの反射光の色が概ね同一色となる。したがって、アナライト8と担体10のアクセプタ7が特異的に結合して凝集体11が形成されて凝集体トラップ部218(領域218)でトラップされ、凝集体トラップ部218に多数の凝集体11が留置されると、金属層202の凝集体トラップ部218に接する領域からの反射光の色が変化している事が明白に判る。これにより、家庭においてユーザが容易にアナライトの存在を視覚的に確認できるセンサデバイス200を実現できる。

【0058】

センサデバイス200では、ユーザが色の変化を検知することで、アナライトの存在を検出するために、光源としては可視光帯の光源が使われるのが好ましい。ここで、可視光帯とは人間の目で見える光の波長帯であり、380nm以上750nm以下の波長の範囲である。ここで、例えば、アナライト8を含まない試料62を流路204に投入した状態で可視光帯であるオレンジ色～赤色の580～600nmの波長で式2の条件を満たすようにセンサデバイス200を設計する。そして、流路204にアナライト8を含む試料を投入し、凝集体トラップ部218(領域218)において屈折率(誘電率)が変化した結果、金属層202の凝集体トラップ部218に接する領域からの反射光の波長が560nm以下において式2を満たすように、担体の構成物質を選択したり、凝集体トラップ部218の構造を決定したりしても良い。これにより、特異的結合の有無により、人の目において色差の大きな黄色を示す波長(560～580nm付近)を挟んで反射光の波長が変化するので、ユーザが家庭等において容易に特異的結合の有無を視覚的に確認する事ができる。

【0059】

また、センサデバイス200の上方とそれを観察するユーザの目との間に、特定波長のみ通すフィルターを配置しても良い。上記の例では、例えば、580nmより短波長の光を通さないフィルターを配置すると、試料62がアナライトを含まない場合は、580nm以上の光は通すので明るく見えるが、試料62がアナライトを含む場合は、式2の条件を満たす波長がフィルターにより減衰されるため、暗く見える。色差よりも明暗差の方が

知覚しやすい場合があり、このような構成が有効の場合もある。

【0060】

(実施の形態4)

図18Aは実施の形態4におけるセンサデバイス300の上面断面図である。図18Bは図18Aに示すセンサデバイス300の線18B-18Bにおける側断面図である。図18Aと図18Bにおいて、図2Aと図2Bに示す実施の形態1におけるセンサデバイス1と同じ部分には同じ参照番号を付す。センサデバイス300には、側壁部311の側面311Aと、側壁部312の側面312Aと、金属層2の下面2Bと、金属層3の上面3Aの4つの面により囲まれた流路304が形成されている。側壁部311の側面311Aは流路304の第1の側面を構成する、側壁部312の側面312Aは流路304の第2の側面を構成する。金属層2の下面2Bは流路304の上面を構成する。別の金属層3の上面3Aは流路304の下面を構成する。センサデバイス300は、金属層2の下面2Bから金属層3の上面3Aまで側面311A、312Aと平行に延びる複数のピラー313を有する。複数のピラー313は流路304の特定の領域318に設けられており、実施の形態4では円柱状である。複数のピラー313は、円柱状以外の形状であってもよい。互いに隣りあう2本のピラー313の間隙p1と、側壁部311とピラー313の間隙p2と、側壁部312とピラー313の間隙p3は、複数のピラー313と側壁部311、312間の隙間を担体10は通過するが、凝集体11はトラップされるような寸法に設定されている。間隙p1は、互いに隣りあう2本のピラー313の側周面間の距離である。間隙p2は、側壁部311の側面311Aとピラー313の側周面との距離である。間隙p3は、側壁部312の側面312Aとピラー313の側周面との距離である。間隙p1、p2、p3は、担体10の径より大きく、凝集体11の径より小さく設定されている。すなわち、間隙p1、p2、p3は、担体10の径以上の第1の所定値より大きく、凝集体11の径より小さい第2の所定値以下に設定されている。このように、流路304の領域318は凝集体11をトラップする凝集体トラップ部として機能する。なお、複数本のピラー313は、流路304での試料の流れる方向と直角に交差するが、流路304での試料の流れる方向に傾斜して交差するように、側壁部311、312と所定の角度を持って傾斜して延びていてもよい。

【0061】

図18Cは実施の形態4における他のセンサデバイス300Aの上面断面図である。図18Dは図18Cに示すセンサデバイス300Aの線18D-18Dにおける側断面図である。図18Cと図18Dにおいて、図18Aと図18Bに示すセンサデバイス300と同じ部分には同じ参照番号を付す。センサデバイス300Aは、図18Aと図18Bに示すセンサデバイス300の複数のピラー313の代りに金属層2の下面2Bから金属層3の上面3Aまで側面311A、312Aと平行に延びる複数のピラー313a、313bを有する。複数のピラー313a、313bは流路304の特定の領域318に設けられており、実施の形態4では円柱状である。複数のピラー313a、313bは、円柱状以外の形状であってもよい。ピラー313a、313bがお互いに千鳥状に2列に配列されている。この場合も、互いに隣りあうピラー313a、313bの間隙と、ピラー313aと側面311Aとの間隔と、ピラー313aと側面312Aとの間隔は、ピラー313a、313bと側壁部311、312間の隙間を担体10は通過するが、凝集体11はトラップされるような寸法に設定されている。また、複数のピラー313a、313bは3列以上配列されていてもよい。

【0062】

複数本のピラー313が流路304は金属層2、3の面2B、3Bとではなく側面311A、312Aと接続されて、金属層2、3の面2B、3Bと平行に延びていてもよい。この場合も、互いに隣りあう2本のピラー313の間隙、ピラー313と金属層3の上面3Aとの間隔と、ピラー313と金属層2の下面2Bの間隔は、ピラー313と金属層2、3の間隙を担体10は通過するが、凝集体11はトラップされるような寸法に設定されている。

10

20

30

40

50

【0063】

このように、実施の形態4におけるセンサデバイス300、300Aでは、流路304の特定の領域318にアナライト8を含む凝集体11をトラップすることができるので、領域318における誘電率が他の領域と比べて大きく変化する。これにより、流路304の領域318に接する金属層2の領域から上方へ伝搬していく電磁波の状態（例えば可視光の色）と、流路304の領域318以外に接する金属層2の領域から上方へ伝搬していく電磁波の状態（例えば可視光の色）とが変化する。家庭においてもユーザが容易にアナライトの存在を確認できる。つまり、センサデバイス300、300Aは、凝集体11をトラップせずに流路中に均一に凝集体11が分布しているセンサデバイスと比較してアナライトの検出感度が高くなる。

10

【0064】

なお、図18Aから図18Dにおいて、互いに隣りあうピラー313、313a、313bの間隙は互いに異なってもよい。

【0065】

（実施の形態5）

図19Aは実施の形態5におけるセンサデバイス400の上面断面図である。図19Bは図19Aに示すセンサデバイス400の線19B-19Bにおける側断面図である。図19Aと図19Bにおいて、図2Aと図2Bに示す実施の形態1におけるセンサデバイス1と同じ部分には同じ参照番号を付す。図19Aと図19Bに示すセンサデバイス400には、側壁部411の側面411Aと、側壁部412の側面412Aと、金属層2の下面2Bと、金属層3の上面3Aの4つの面により囲まれた流路404が形成されている。側壁部411の側面411Aは流路404の第1の側面を構成する。側壁部412の側面412Aは流路404の第2の側面を構成する。金属層2の下面2Bは流路404の上面を構成する。金属層3の上面3Aは流路404の下面を構成する。センサデバイス400は、流路404の特定の領域418に設けられた複数の繊維状物質413を有する。複数の繊維状物質413は互いに絡みあって空隙が形成された網目構造を有する。網目構造の空隙の最小径は、その空隙を担体10は通過するが、凝集体11は通過できないような寸法で設定されている。空隙の最小径は、担体10の径より大きく、凝集体11の径より小さい。すなわち、空隙の最小径は、担体10の径以上の第1の所定値より大きく、凝集体11の径より小さい第2の所定値以下の寸法で形成されている。流路404の特定の領域418には、複数の繊維状物質413が絡みあって空隙が形成された網目構造が設けられている。

20

30

【0066】

これにより、試料62に含まれる物質のうち、その径が繊維状物質413間の空隙の最小径よりも大きい物質である凝集体11が過物として繊維状物質413によりトラップされる。一方、試料62に含まれる物質のうち、その径が繊維状物質413間の空隙の最小径よりも小さい物質である担体10は繊維状物質413間を通過していく。このように、流路404の領域418は凝集体11をトラップする凝集体トラップ部として機能する。なお、この網目構造を有する繊維状物質413は、二酸化シリコンのナノファイバで構成されていてもよい。

40

【0067】

このように、実施の形態5におけるセンサデバイス400では、流路404の特定の領域418にアナライト8を含む凝集体11をトラップすることができるので、領域418における誘電率が他の領域と比べて大きく変化する。これにより、流路404の領域418に接する金属層2の領域から上方へ伝搬していく電磁波の状態（例えば可視光の色）と、流路404の領域418以外に接する金属層2の領域から上方へ伝搬していく電磁波の状態（例えば可視光の色）とが変化する。家庭においてもユーザが容易にアナライトの存在を確認できる。つまり、センサデバイス400は、凝集体11をトラップせずに流路中に均一に凝集体11が分布しているセンサデバイスと比較してアナライトの検出感度が高くなる。

50

【 0 0 6 8 】

(実施の形態6)

図20Aは実施の形態6におけるセンサデバイス500の上面断面図である。図20Bは図20Aに示すセンサデバイス500の線20B-20Bにおける側断面図である。図20Aと図20Bにおいて、図2Aと図2Bに示す実施の形態1におけるセンサデバイス1と同じ部分には同じ参照番号を付す。図20Aと図20Bに示すセンサデバイス500には、側壁部511の側面511Aと、側壁部512の側面512Aと、金属層2の下面2Bと、金属層3の上面3Aの4つの面により囲まれた流路504が形成されている。側壁部511の側面511Aは流路504の第1の側面を構成する。側壁部512の側面512Aは流路504の第2の側面を構成する。金属層2の下面2Bは流路504の上面を構成する。金属層3の上面3Aは流路504の下面を構成する。流路504の側面511A、512Aは、特定の領域518a、518bにおいて凹んでいる凹部511P、512Pを有するように蛇行している。試料62が、流路504を流れている間に領域518a、518bに形成された凹部511P、512Pに凝集体11がトラップされる。流路504の特定の領域518a、518bは凝集体11をトラップする凝集体トラップ部として機能する。なお、側面511Aと側面512Aのどちらか一方の側面のみが凹部を有するように蛇行していてもよい。

10

【 0 0 6 9 】

このように、実施の形態6におけるセンサデバイス500では、流路504の特定の領域518にアナライト8を含む凝集体11をトラップすることができるので、領域518における誘電率が他の領域と比べて大きく変化する。これにより、流路504の領域518a、518bに接する金属層2の領域から上方へ伝搬していく電磁波の状態(例えば可視光の色)と、流路504の領域518a、518b以外に接する金属層2の領域から上方へ伝搬していく電磁波の状態(例えば可視光の色)とが変化する。家庭においてもユーザが容易にアナライトの存在を確認できる。つまり、センサデバイス500は、凝集体11をトラップせずに流路中に均一に凝集体11が分布しているセンサデバイスと比較してアナライトの検出感度が高くなる。

20

【 0 0 7 0 】

(実施の形態7)

図21Aと図21Bはそれぞれ実施の形態7におけるセンサデバイス700の断面図と下面斜視図である。実施の形態7におけるセンサデバイス700は、ATR(Attenuated Total Reflection)型のセンサデバイスである。

30

【 0 0 7 1 】

センサデバイス700は、プリズム701と、プリズム701の下面に配置された絶縁層703と、絶縁層703の下面に設けられた金属層702とを有する。絶縁層703は所定の誘電率を有し、平坦な下面を有する。

【 0 0 7 2 】

センサデバイス700の絶縁層703はガラスなどの透明な絶縁体で構成されている。絶縁層703の下面には溝形状の流路704が形成されている。流路704は側面703Cと、側面703Dと、金属層702の下面702Bの3つの面から構成されている。金属層702は絶縁層703の下面703Bの少なくとも一部の領域に設けられている。側面703Cは流路704の第1の側面を構成する。側面703Dは流路704の第2の側面を構成する。金属層702の下面702Bは流路704の上面を構成する。

40

【 0 0 7 3 】

流路704は、試料を投入する投入領域715と、試料を排出する排出領域716と、投入領域715と排出領域716との間に設けられた特定の領域718を有している。領域718には投入された試料が流れ、試料中のアナライトを含んだ凝集体をトラップする凝集体トラップ部として機能する。流路704内には、その表面にアナライトが特異的結合し凝集体を生成する複数のアクセプタを固定した担体が物理的に吸着されている。図21Aに示すセンサデバイス700は、使用時には上下を逆転して使用される。

50

【0074】

投入領域715から投入された試料は、投入時にユーザがスポイドなどにより試料を押し出すことにより、投入領域715から排出領域716へ向けて流れる。流路704に配置された担体に試料中のアナライトが特異的結合し、凝集体を形成して領域718においてトラップされる。領域718は、実施の形態1、2、4、5、6におけるセンサデバイスの特定の領域18、118、218、318、418、518a、518bのいずれかと同様に構成可能である。

【0075】

金属層702と絶縁層703との界面には、電子の疎密波である表面プラズモン波が存在している。プリズム701側の上方には光源705が配置され、光源705からプリズム701へP偏光された光を全反射条件で入射する。このとき、金属層702と絶縁層703との表面にはエバネセント波が生じている。金属層702において全反射された光は、検波部706において受光され、光の強度が検出される。

10

【0076】

ここで、エバネセント波と表面プラズモン波との波数が一致する波数整合条件が満たされると、光源705から供給される光のエネルギーは表面プラズモン波の励起に利用され、反射光の強度が減少する。波数整合条件は、光源705から供給される光の入射角に依存する。したがって、入射角を変化させて検波部706で反射光強度を検出すると、ある入射角において、反射光の強度が減少する。

【0077】

反射光の強度が最小となる角度である共鳴角は、絶縁層703の誘電率に依存している。試料中の被測定物質であるアナライトとアクセプタとが特異的に結合して生成された特異的結合物が絶縁層703の上面に構成されると、絶縁層703の誘電率が変化し、これに応じて、共鳴角が変化する。したがって、共鳴角の変化をモニタリングすることにより、アナライトとアクセプタとの特異的結合反応の結合の強さや結合の速さなどを検知することが可能となる。

20

【0078】

実施の形態7におけるセンサデバイス700では、流路704の特定の領域718にアナライトを含む凝集体をトラップすることができるので、領域718における誘電率が他の領域と比べて大きく変化する。これにより、センサデバイス700は、凝集体をトラップせずに流路中に均一に凝集体が分布している図22に示す従来のセンサデバイス600等のセンサデバイスと比較してアナライトの検出感度が高くなる。

30

【0079】

以上説明したように、本発明のセンサデバイスは、流路内の特定の領域にアクセプタを含んだ凝集体をトラップすることにより、アクセプタをその領域に偏在させることができる。従って、流路内の特定領域における誘電率が他の領域と比べて大きく変化する。試料中のアクセプタを感度よく検出することが可能となる。

【0080】

なお、実施の形態1～7において、金属層とは面状の層のみを指しておらず、細かい金属粒子が一面に敷き詰められた状態をも指している。

40

【0081】

また、図2A、図4A、図4B、図8A、図8B、図9、図11等 to 示すセンサデバイスでは、担体やアクセプタは金属層2の下面2Bだけに配置したが、これに限る必要はなく、金属層3の上面3Aにだけ配置しても、金属層2、3の面2B、3Aの両方に配置しても同様の効果が得られる。

【0082】

以上の実施の形態において、「上面」「下面」「上方」「下方」等の方向を示す用語は、流路や金属層等のセンサデバイスの構成部品の相対的な位置関係にのみ依存する相対的な方向を示し、鉛直方向等の絶対的な方向を示すものではない。

【産業上の利用可能性】

50

【 0 0 8 3 】

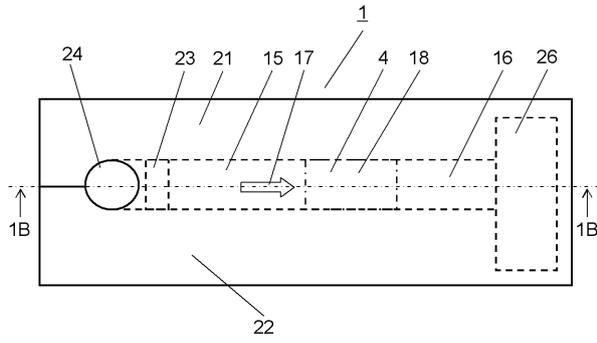
本発明におけるセンサデバイスは、検出感度が高く、小型で簡易な構造を有するので、小型で低コストのバイオセンサ等に利用することができる。

【 符号の説明 】

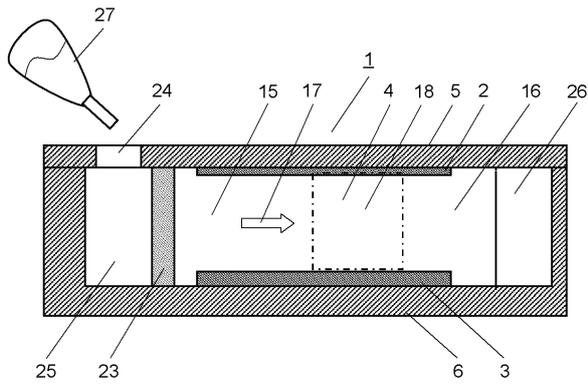
【 0 0 8 4 】

1, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700	センサデバイス	
2, 3, 102, 103, 202, 203, 602, 702	金属層	
4, 104, 204, 304, 404, 504, 704	流路	
7, 7a, 7b, 604	アクセプタ	
8	アナライト	10
9	非特異的検体	
10, 10a, 10b	担体	
11	凝集体	
15, 115, 215, 715	投入領域	
16, 116, 216, 716	排出領域	
18, 118, 218, 318, 418, 518a, 518b, 718	領域 (凝集体 トラップ部)	
21, 22, 111, 112, 311, 312, 411, 412, 511, 512	側 壁部	
23	フィルター	20
24	注入口	
25, 26	貯留部	
31a, 31b	超音波発生源	
32	ヒータ (加熱源)	
33a, 33b	磁界発生源	
61	媒質	
62	試料	
91, 93	電磁波	
92	電磁波源	
204b	流路 (第1の流路)	30
204c	流路 (第2の流路)	
313, 313a, 313b	ピラー	

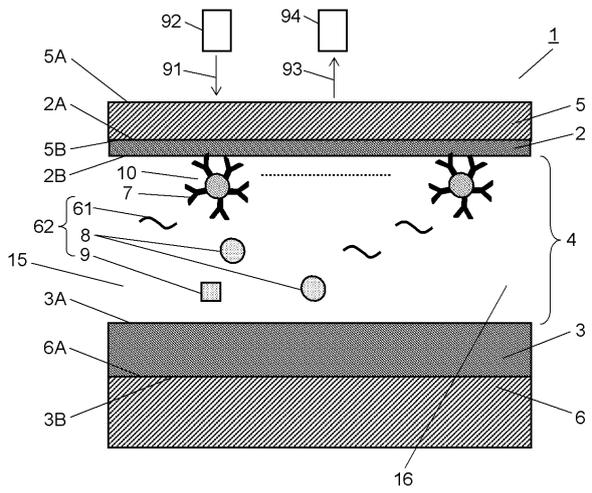
【図1A】



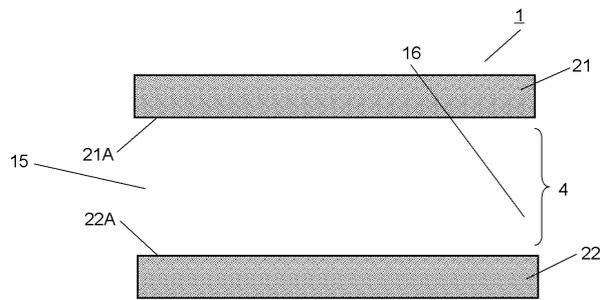
【図1B】



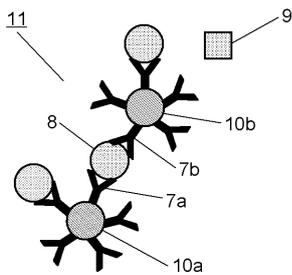
【図2A】



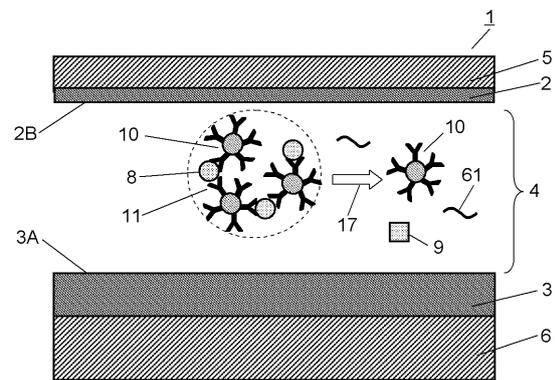
【図2B】



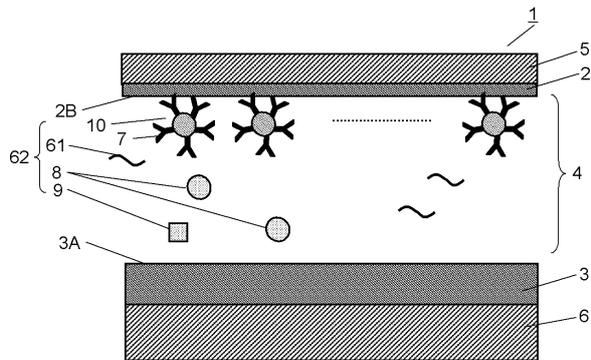
【図3】



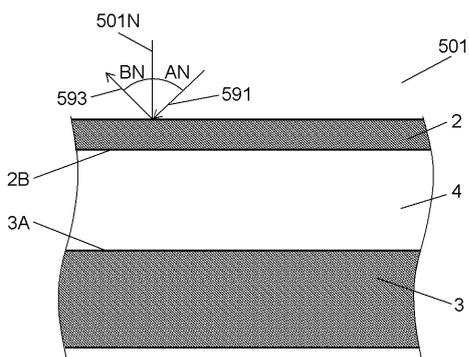
【図4B】



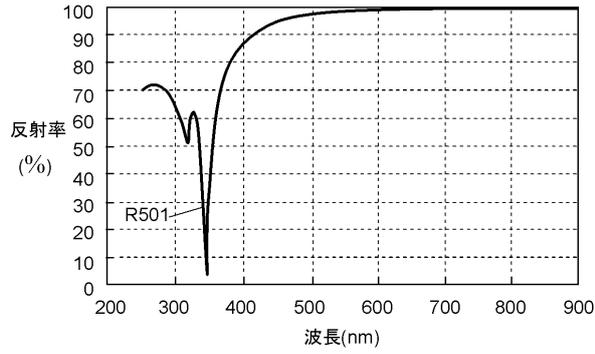
【図4A】



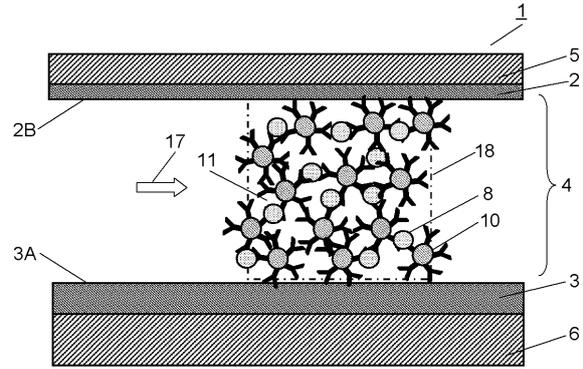
【図5】



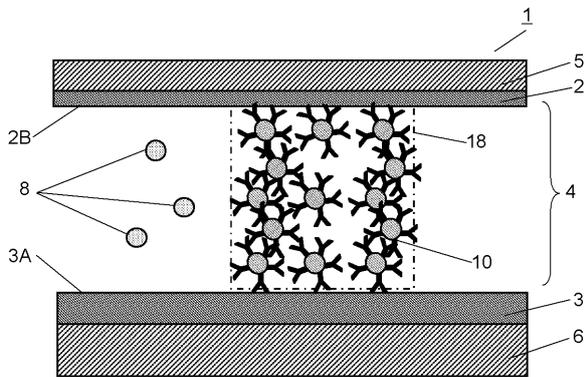
【図6】



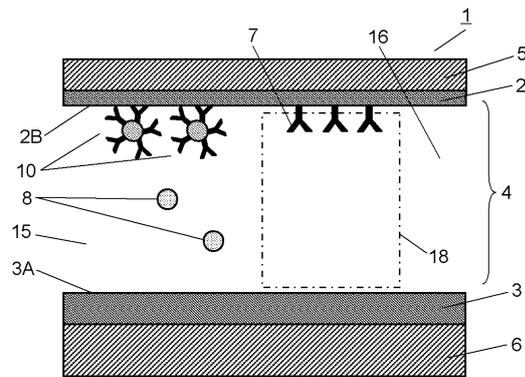
【図7B】



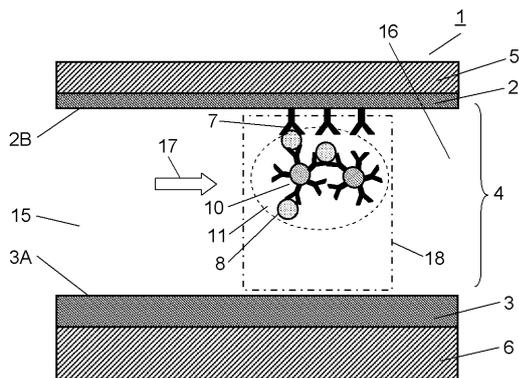
【図7A】



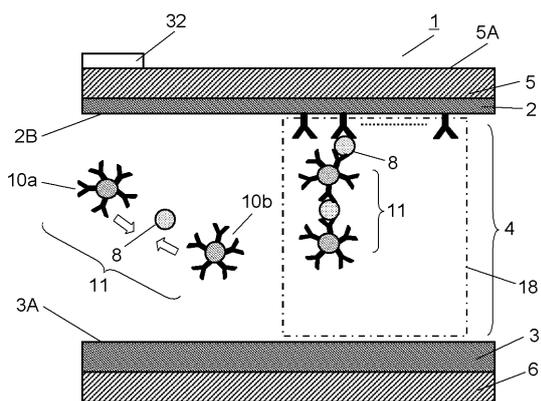
【図8A】



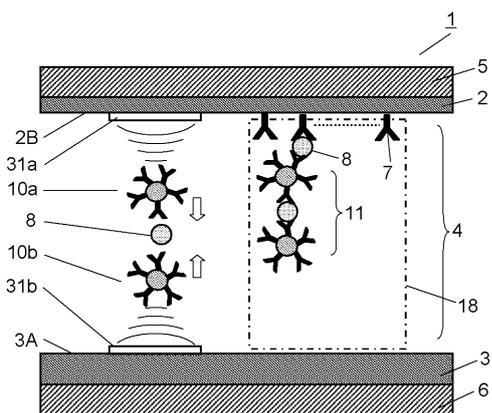
【図8B】



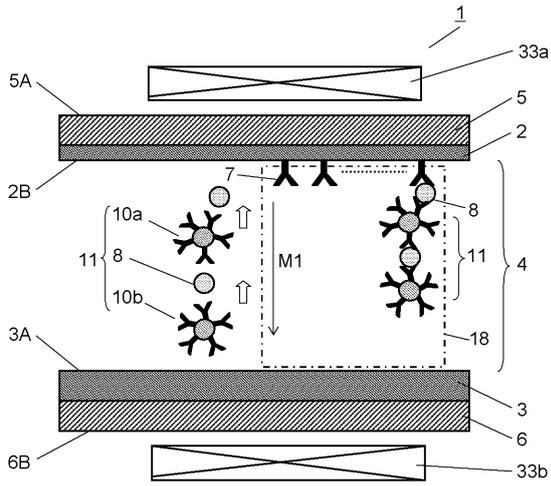
【図10】



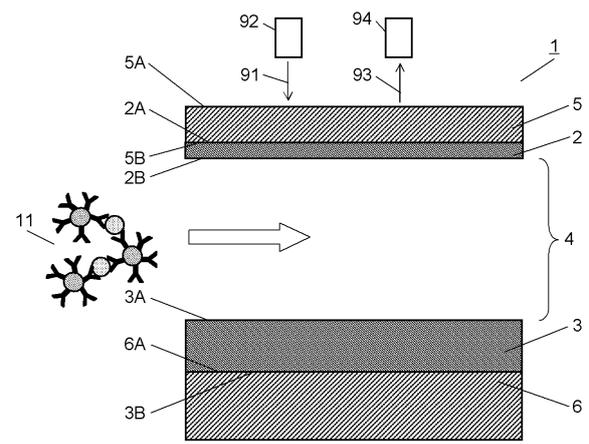
【図9】



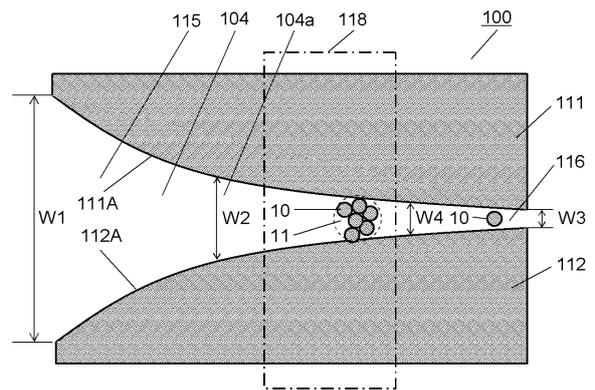
【図 1 1】



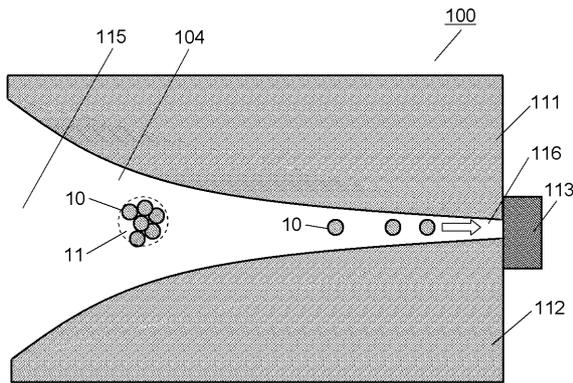
【図 1 2】



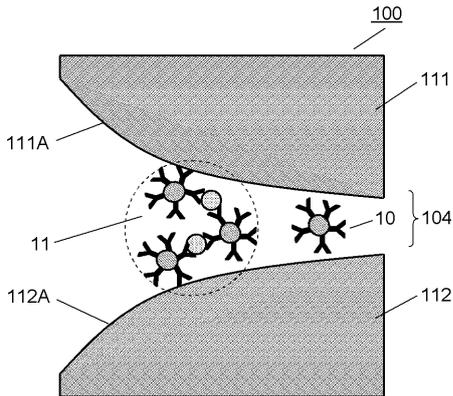
【図 1 3 A】



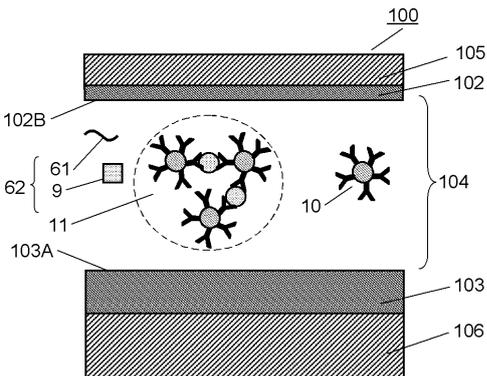
【図 1 3 B】



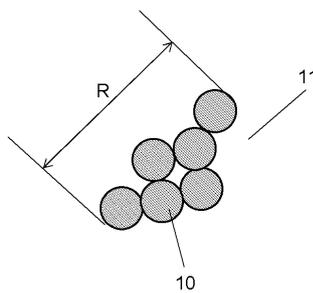
【図 1 4 B】



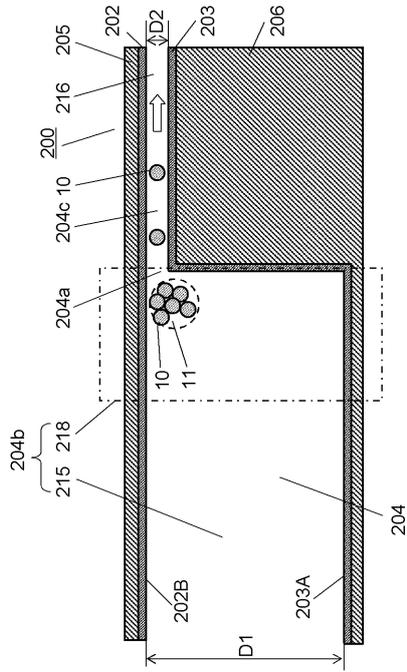
【図 1 4 A】



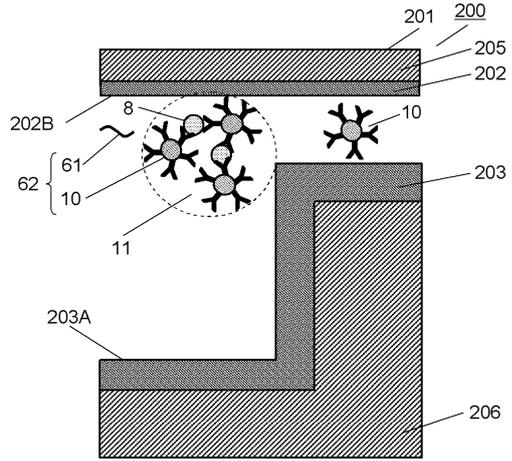
【図 1 5】



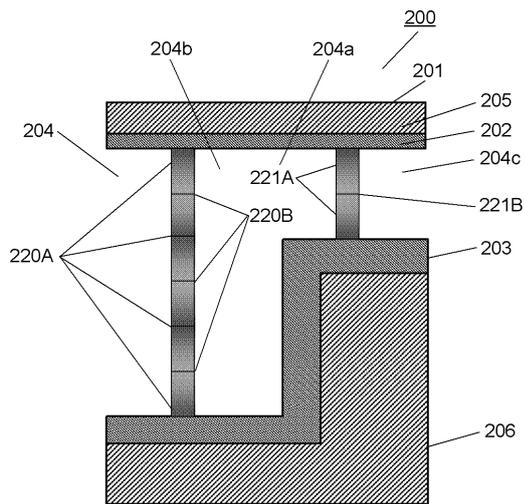
【図 16 A】



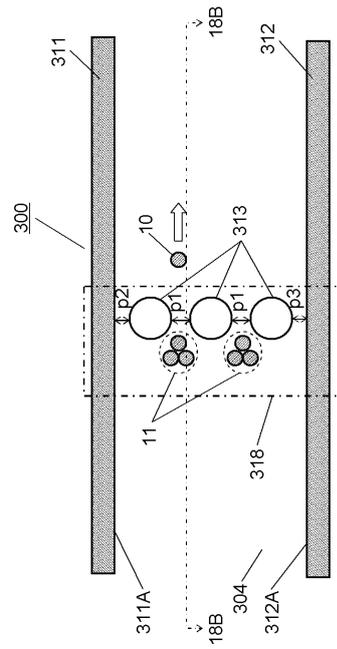
【図 16 B】



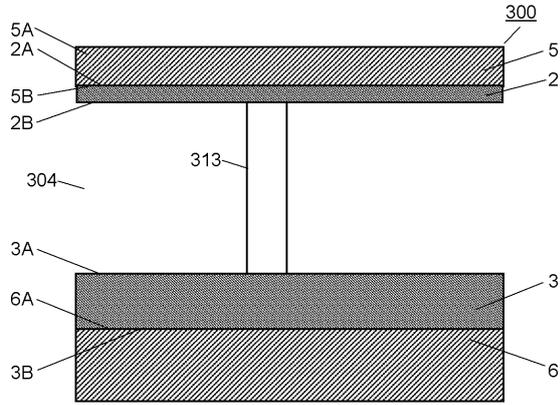
【図 17】



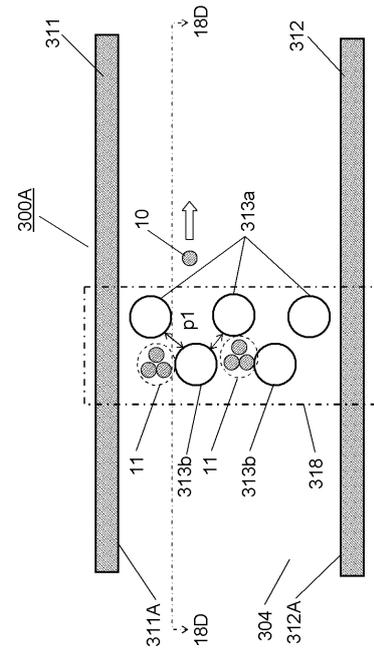
【図 18 A】



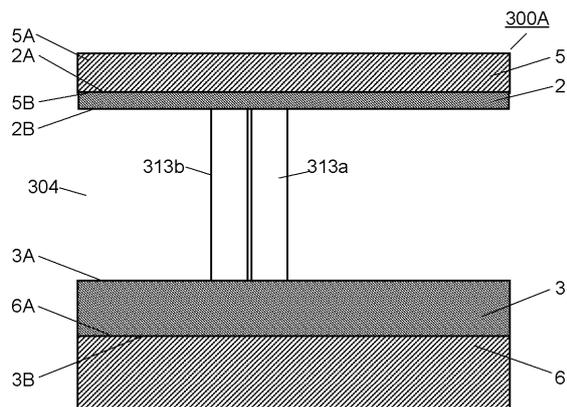
【 18 B】



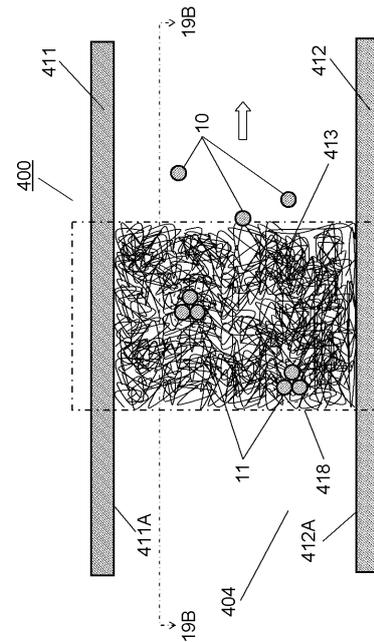
【 18 C】



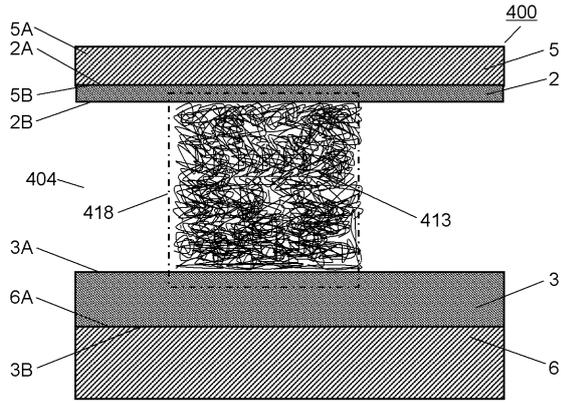
【 18 D】



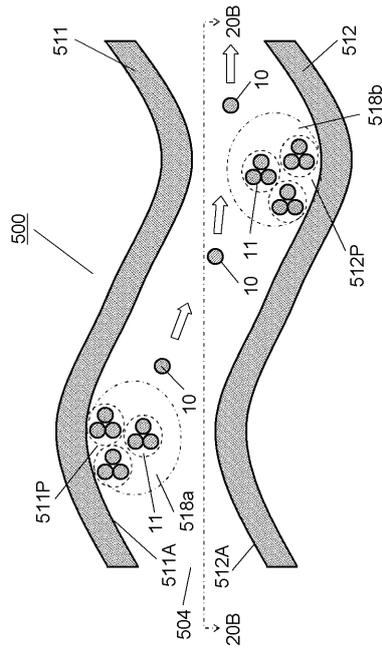
【 19 A】



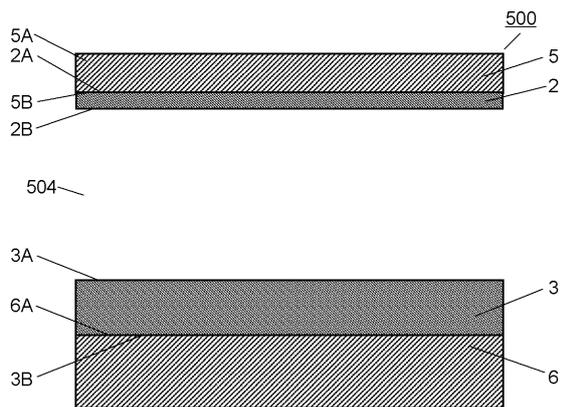
【図 19 B】



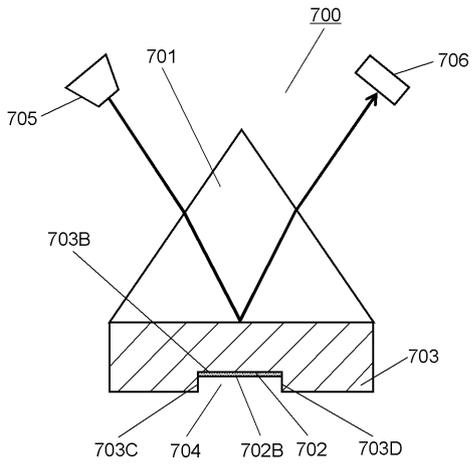
【図 20 A】



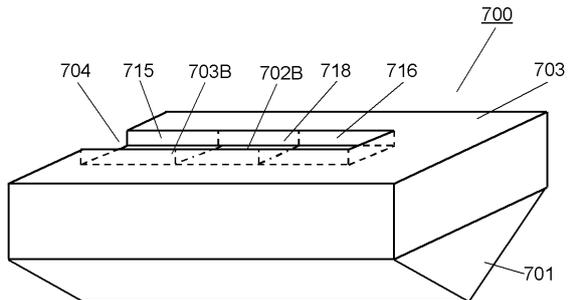
【図 20 B】



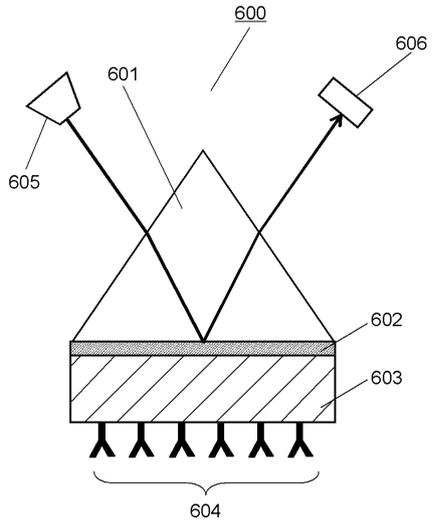
【図 21 A】



【図 21 B】



【 図 2 2 】



フロントページの続き

(72)発明者 福島 奨

大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

審査官 横井 亜矢子

(56)参考文献 国際公開第2011/142110(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 21/00 - 21/61

G01N 21/75 - 21/83

G01N 33/48 - 33/98

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)