

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6945445号
(P6945445)

(45) 発行日 令和3年10月6日(2021.10.6)

(24) 登録日 令和3年9月16日(2021.9.16)

(51) Int.Cl.

F 1

GO1N 33/543 (2006.01)
GO1N 33/569 (2006.01)
GO1N 33/574 (2006.01)
GO1N 33/53 (2006.01)
GO1N 33/542 (2006.01)

GO1N 33/543
 GO1N 33/569
 GO1N 33/569
 GO1N 33/574
 GO1N 33/53

5 9 5
 L
 F
 A
 D

請求項の数 12 (全 29 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2017-507701 (P2017-507701)
 (86) (22) 出願日 平成27年8月13日 (2015.8.13)
 (65) 公表番号 特表2017-524140 (P2017-524140A)
 (43) 公表日 平成29年8月24日 (2017.8.24)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2015/045041
 (87) 國際公開番号 WO2016/025703
 (87) 國際公開日 平成28年2月18日 (2016.2.18)
 審査請求日 平成30年8月7日 (2018.8.7)
 (31) 優先権主張番号 62/037,071
 (32) 優先日 平成26年8月13日 (2014.8.13)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 62/082,468
 (32) 優先日 平成26年11月20日 (2014.11.20)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関 米国(US)

(73) 特許権者 521282871
 ゾエティス サービシズ リミテッド ラ
 イアビリティ カンパニー
 アメリカ合衆国 O 7 0 5 4 ニュージャ
 ージー州 パーシッパニー シルヴァン
 ウェイ 10
 (74) 代理人 100102978
 弁理士 清水 初志
 (74) 代理人 100102118
 弁理士 春名 雅夫
 (74) 代理人 100160923
 弁理士 山口 裕孝
 (74) 代理人 100119507
 弁理士 刑部 俊

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズモン特異的結合パートナー・アッセイにおけるシグナル増幅

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

以下を含む、局在表面 プラズモン共鳴 (LSPR) 分析物検出デバイス：
 標的分析物と結合しているか、または標的分析物に特異的に結合することができる結合パートナーと結合している複合金属ナノ構造体を含み、複合金属ナノ構造体の各々が銀のコアおよび金のコーティングを含む、複数の検出コンジュゲート；
 金属ナノ層を含有する表面；及び
 該金属ナノ層上に固定化されておりかつ該標的分析物に特異的に結合することができる、複数の捕捉分子。

【請求項 2】

前記複合金属ナノ構造体が、球状ナノ粒子でありかつ約 5 nm から約 2 0 0 nm もしくは約 1 0 nm から約 1 0 0 nm の直径を有するか、または

前記複合金属ナノ構造体が、エッジ長が約 1 0 nm から約 8 0 0 nm でありかつ厚さが約 1 nm から約 1 0 0 nm のナノプレートである、

請求項 1 に記載のLSPR分析物検出デバイス。

【請求項 3】

前記複数の検出コンジュゲートが、凍結乾燥されたペレットまたはビーズの形である、
 請求項 1 に記載のLSPR分析物検出デバイス。

【請求項 4】

前記表面が、チップ、ウェル、ビーズ、またはキュベットの壁、蓋、及び／もしくは底

10

20

部である、請求項 1 に記載のLSPR分析物検出デバイス。

【請求項 5】

前記金属ナノ層が金属フィルムであり、任意に前記金属フィルムが、金、銀、銅、白金、パラジウム、カドミウム、亜鉛、もしくはそれらの複合材料、好ましくは金を含むか、または

前記金属ナノ層が、前記表面に固定化された複数の金属ナノ構造体を含み、任意に前記複数の金属ナノ構造体が、金、銀、銅、白金、パラジウム、カドミウム、亜鉛、もしくはそれらの複合材料を含み、好ましくは前記複数の金属ナノ構造体は、金ナノ構造体である、

請求項 1 に記載のLSPR分析物検出デバイス。 10

【請求項 6】

前記複合金属ナノ構造体が、球状ナノ粒子、ピラミッド形ナノ粒子、六角形ナノ粒子、ナノシェル、ナノチューブ、ナノロッド、ナノドット、ナノアイランド、ナノワイヤ、またはそれらの組合せから選択される形状を有する、請求項 1 に記載のLSPR分析物検出デバイス。

【請求項 7】

前記結合パートナー及び／または捕捉分子が、抗体、抗原、ポリペプチド、ポリヌクレオチド、核タンパク質、アブタマー、リガンド、受容体、またはハプテンであり、任意に前記結合パートナーが、前記標的分析物の第一のエピトープを認識する抗体であり、かつ前記捕捉分子が、前記標的分析物の第二のエピトープを認識する異なる抗体である、請求項 1 に記載のLSPR分析物検出デバイス。 20

【請求項 8】

前記標的分析物が、感染症、生理学的状態、または病理学的状態に関連するマーカーまたは抗原であるか、または前記標的分析物が、イヌ糸状虫、ネコ白血病ウイルス、イヌパルボウイルス、C 反応性タンパク質、ジアルジア・ランブリア (*Giardia lamblia*)、エールリヒア属 (*Ehrlichia*) 抗原もしくは抗体、ボレリア属 (*Borrelia*) 抗原もしくは抗体、アナプラズマ属 (*Anaplasma*) 抗原もしくは抗体、がん抗原、心臓マーカー抗原、甲状腺刺激ホルモン、チロキシン、トロポニン、または脳性ナトリウム利尿ペプチドである、請求項 1 に記載のLSPR分析物検出デバイス。

【請求項 9】

以下の工程を含む、請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載のLSPR分析物検出デバイスを用いて、試料中の標的分析物を検出する方法：

該試料を前記複数の検出コンジュゲートと混合する工程であって、該検出コンジュゲートが、結合パートナーと結合している複合金属ナノ構造体を含み、該結合パートナーが、該試料中に該標的分析物が存在する場合に該標的分析物に特異的に結合することができ、それにより分析物 - 検出コンジュゲート複合体が形成され、複合金属ナノ構造体の各々が銀のコアおよび金のコーティングを含む、工程；

該混合物を、前記金属ナノ層を含有する前記表面に接触させる工程であって、該金属ナノ層上に前記複数の捕捉分子が固定化されており、かつ、該複数の捕捉分子が、該試料中に該標的分析物が存在する場合に該標的分析物に特異的に結合することができる、工程； 40

該表面を紫外 可視 赤外スペクトルの波長範囲内の光源に暴露する工程；及び

該表面からの光シグナルを測定する工程であって、該光シグナルの変化が、該試料中に該標的分析物が存在することを示す、工程。

【請求項 10】

(a) 前記光シグナルが、反射率、吸光度スペクトル、散乱スペクトル、または発光スペクトルであるか、

(b) 前記光シグナルの変化が、スペクトルピーク波長シフトを含むか、

(c) ナノグラム量、ピコグラム量、またはフェムトグラム量の前記標的分析物の存在が検出されるか、または

(d) 前記表面が、遠心ロータに組み込まれるキュベットの壁または底部である、 50

請求項 9 に記載の方法。

【請求項 1 1】

以下を含む、局在表面プラズモン共鳴 (LSPR) アッセイ複合体：

結合パートナーと結合している複合金属ナノ構造体を含み、該複合金属ナノ構造体が銀のコアおよび金のコーティングを含む、検出コンジュゲート；

標的分析物；及び

捕捉分子が固定化された金属ナノ層でコーティングされたビーズであって、該検出コンジュゲート中の該結合パートナーが該標的分析物上の第一のエピトープと結合し、かつ、該捕捉分子が該標的分析物上の第二のエピトープと結合し、それによって、該検出コンジュゲート、標的分析物、及び該捕捉分子を含む複合体が形成される、ビーズ。 10

【請求項 1 2】

(a) 前記結合パートナーが抗体であり、かつ、前記捕捉分子が異なる抗体であるか、

(b) 前記金属ナノ層が金属フィルムであり、任意に前記金属フィルムが、金、銀、銅、白金、パラジウム、カドミウム、亜鉛、もしくはそれらの複合材料、好ましくは金を含むか、または

(c) 前記金属ナノ層が、前記ビーズに固定化された複数の金属ナノ構造体を含み、任意に前記複数の金属ナノ構造体が、金、銀、銅、白金、パラジウム、カドミウム、亜鉛、またはそれらの複合材料を含み、好ましくは前記複数の金属ナノ構造体が金ナノ構造体である、

請求項 1 1 に記載のLSPRアッセイ複合体。 20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2014年8月13日に出願された米国仮出願第62/037,071号、及び、2014年11月20日に出願された米国仮出願第62/082,468号の優先権を主張する。これら仮出願の各々は、参照することによってその全体が本明細書に組み込まれる。

【0002】

発明の分野

本発明は、試料中の標的分析物の検出システム及び検出方法に関する。とりわけ、本発明は、試料中の微量の標的分析物の検出が可能な局在プラズモン共鳴に基づく分析物検出システムを提供する。 30

【背景技術】

【0003】

現行の免疫アッセイ及び生体分子結合アッセイは、通常、複数の工程及びこれらアッセイを行うための高機能の機器を要する。かかる不均質なアッセイの実施に伴う感度の不足及び複雑性は、標識された特異的結合パートナーを非標識の特異的結合パートナーと分離するという特定の必要性に起因する。

【0004】

貴金属ナノ粒子の局在表面プラズモン共鳴 (LSPR) 特性に基づくアッセイを開発する試みがなされている (Tokelra, Chem Rev., Vol. 114: 5728-5752, 2014 (非特許文献1))。LSPRは、入射光によって誘導されるナノメートルサイズの構造体における電子の集団振動である。金属ナノ粒子は、それらのごく近傍での屈折率の変化に対する強い電磁応答性を有し、ひいては該ナノ粒子の共振周波数のシフトが、該ナノ粒子表面への分子の結合の指標として測定されうる。金属ナノ粒子、とりわけ金ナノ粒子が、結合事象を検出するための診断アッセイに用いられているが、かかるアッセイは、一般に、感度が低く、逐次結合事象の反応速度を定量的にモニタリングするには用いることができない。 40

【0005】

10

20

30

40

50

従って、感度の向上をもたらしながら、均質な形式を採用する改良されたアッセイ法が必要である。分光法等の標準的な実験技術を利用したアッセイもまた望まれる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】Toke1ら, Chem Rev., Vol. 114: 572
8 5752, 2014

【発明の概要】

【0007】

本発明は、一部分において、複合金属ナノ構造体が、金属ナノ層表面への分子の結合によって誘導される光シグナルを増強することができるという発見に基づく。観測される増幅は、サブピコグラム量の生体分子が検出できるように、特定の生体分子の結合事象の検出感度を著しく高める。従って、本発明は、試料中の微量の標的分析物を検出するため、分析物検出デバイス及びかかるデバイスの使用方法を提供する。

【0008】

1つの実施形態では、前記分析物検出デバイスは、複数の検出コンジュゲート、金属ナノ層を含有する表面、及び複数の捕捉分子を含み、ここで、該捕捉分子は、該金属ナノ層上に固定化されており、かつ、該標的分析物に特異的に結合することができる。前記分析物検出デバイスがサンドイッチアッセイ形式で構成される実施形態では、前記検出コンジュゲートは、前記標的分析物に特異的に結合することができる結合パートナーと結合している複合金属ナノ構造体を含む。前記分析物検出デバイスが直接競合アッセイ形式で構成される実施形態では、前記検出コンジュゲートは、標的分析物と結合している金属ナノ構造体を含む。

【0009】

前記検出コンジュゲート中の前記複合金属ナノ構造体は、一般に、少なくとも2種の貴金属、遷移金属、アルカリ金属、ラントニド元素、またはそれらの組合せを含む。いくつかの実施形態では、前記複合金属ナノ構造体は、金、銀、銅、白金、パラジウム、カドミウム、鉄、ニッケル、及び亜鉛から選択される少なくとも2種の金属を含む。特定の実施形態では、前記複合金属ナノ構造体の各々は、第一の金属からなるコアと第二の金属からなるコーティングを含む。いくつかの実施形態では、前記コアは、金のコーティングを備えた銀または銅でもよい。他の実施形態では、第一の金属からなる前記コアは、前記第二のコーティング金属結果物からなる中空構造が生じるように、コーティング後に溶解されてもよい。

【0010】

前記表面上に堆積した前記金属ナノ層は、金属フィルムでもよいし、前記表面に固定化された複数の金属ナノ構造体からなっていてもよい。前記金属ナノ層はまた、貴金属または遷移金属からなっていてもよい。いくつかの実施形態では、前記金属ナノ層は、金、銀、銅、白金、パラジウム、カドミウム、亜鉛、またはそれらの複合材料を含む。1つの実施形態では、前記金属ナノ層は金を含む。別の実施形態では、前記金属ナノ層は銀を含む。さらに別の実施形態では、前記金属ナノ層は、金ナノ層を重ねた銀ナノ層を含む。

【0011】

本発明はまた、本明細書に記載の分析物検出デバイスを用いた試料中の標的分析物の検出方法を提供する。1つの実施形態では、前記方法は、当該試料を複数の検出コンジュゲートと混合する工程、該混合物を複数の捕捉分子が固定化された金属ナノ層を含有する表面に接触させる工程、該表面を紫外 可視 赤外スペクトルの波長範囲内の光源に暴露する工程；及び該表面からの光シグナルを測定する工程を含み、ここで、該光シグナルの変化は、該試料中に該標的分析物が存在することを示す。特定の実施形態では、本発明の方法は、試料中のフェムトグラムからナノグラム量の標的分析物の検出が可能である。

【0012】

本発明は、結合パートナーと結合している複合金属ナノ構造体を含む検出コンジュゲー

10

20

30

40

50

ト；標的分析物；及び捕捉分子が固定化された金属ナノ層でコーティングされたビーズを含むアッセイ複合体を含み、該検出コンジュゲート中の該結合パートナーが該標的分析物上の第一のエピトープと結合し、かつ、該捕捉分子が該標的分析物上の第二のエピトープと結合し、それによって、該検出コンジュゲートと標的分析物と該捕捉分子とを含む複合体が形成される。いくつかの実施形態では、前記複合金屬ナノ構造体は、金でコーティングされた銀ナノ構造体または金でコーティングされた銅ナノ構造体であって、前記ビーズ上の前記金属ナノ層コーティングは、金を含む。

【0013】

別の態様において、本発明は、本明細書に記載の検出デバイス及び方法に用いる複合金屬ナノ構造体の調製方法を提供する。1つの実施形態では、前記方法は、ポリマーと塩化金酸の混合物を含む第一の溶液を調製する工程、銀または銅ナノ構造体を含む第二の溶液を調製する工程、及び該第一の溶液と該第二の溶液を一定期間インキュベートする工程を含み、ここで、得られる混合物は、金でコーティングされた銀ナノ構造体または金でコーティングされた銅ナノ構造体を含む。特定の実施形態では、アスコルビン酸等の還元剤を前記反応混合物に添加し、ナノ構造体の生産量を増やす。1つの実施形態では、前記第一の溶液中の前記ポリマーはポリビニルピロリドンである。別の実施形態では、前記第一の溶液中の前記ポリマーはポリビニルアルコールである。

10

[本発明1001]

以下を含む、分析物検出デバイス：

標的分析物に特異的に結合することができる結合パートナーと結合している複合金屬ナノ構造体を含む、複数の検出コンジュゲート；

20

金属ナノ層を含有する表面；及び

該金属ナノ層上に固定化されておりかつ該標的分析物に特異的に結合することができる、複数の捕捉分子。

[本発明1002]

以下を含む、分析物検出デバイス：

標的分析物と結合している複合金屬ナノ構造体を含む、複数の検出コンジュゲート；

金属ナノ層を含有する表面；及び

該金属ナノ層上に固定化されておりかつ該標的分析物に特異的に結合することができる、複数の捕捉分子。

30

[本発明1003]

前記複合金屬ナノ構造体が、金、銀、銅、白金、パラジウム、カドミウム、鉄、ニッケル、及び亜鉛から選択される少なくとも2種の金属を含む、本発明1001または1002の分析物検出デバイス。

[本発明1004]

前記複合金屬ナノ構造体の各々が、第一の金属からなるコア及び第二の金属からなるコーティングを含む、本発明1001または1002の分析物検出デバイス。

[本発明1005]

前記複合金屬ナノ構造体の各々が、金のコーティング及び銀のコアを含む、本発明1004の分析物検出デバイス。

40

[本発明1006]

前記複合金屬ナノ構造体の各々が、第一の金属と第二の金属の合金である、本発明1001または1002の分析物検出デバイス。

[本発明1007]

前記複合金屬ナノ構造体が、球状ナノ粒子でありかつ約5nmから約200nmの直径を有する、本発明1001または1002の分析物検出デバイス。

[本発明1008]

前記複合金屬ナノ構造体が、球状ナノ粒子でありかつ約10nmから約100nmの直径を有する、本発明1001または1002の分析物検出デバイス。

[本発明1009]

50

前記複合金属ナノ構造体が、エッジ長が約1nmから約800nmでありかつ厚さが約1nmから約100nmのナノプレートである、本発明1001または1002の分析物検出デバイス。

[本発明1010]

前記複数の検出コンジュゲートが、凍結乾燥されたペレットまたはビーズの形である、本発明1001または1002の分析物検出デバイス。

[本発明1011]

前記表面が、チップ、ウェル、ビーズ、またはキュベットの壁、蓋、及び／もしくは底部である、本発明1001または1002の分析物検出デバイス。

[本発明1012]

前記金属ナノ層が金属フィルムである、本発明1001または1002の分析物検出デバイス。

10

[本発明1013]

前記金属フィルムが、金、銀、銅、白金、パラジウム、カドミウム、亜鉛、またはそれらの複合材料を含む、本発明1012の分析物検出デバイス。

[本発明1014]

前記金属フィルムが金を含む、本発明1012の分析物検出デバイス。

[本発明1015]

前記金属ナノ層が、前記表面に固定化された複数の金属ナノ構造体を含む、本発明1001または1002の分析物検出デバイス。

[本発明1016]

前記複数の金属ナノ構造体が、金、銀、銅、白金、パラジウム、カドミウム、亜鉛、またはそれらの複合材料を含む、本発明1015の分析物検出デバイス。

20

[本発明1017]

前記複数の金属ナノ構造体が金ナノ構造体である、本発明1015の分析物検出デバイス。

[本発明1018]

前記複合ナノ構造体が、球状ナノ粒子、ピラミッド形ナノ粒子、六角形ナノ粒子、ナノシェル、ナノチューブ、ナノロッド、ナノドット、ナノアイランド、ナノワイヤ、またはそれらの組合せから選択される形状を有する、本発明1001または1002の分析物検出デバイス。

[本発明1019]

前記結合パートナー及び／または捕捉分子が、抗体、抗原、ポリペプチド、ポリヌクレオチド、核タンパク質、アブタマー、リガンド、受容体、またはハプテンである、本発明1001の分析物検出デバイス。

30

[本発明1020]

前記結合パートナーが、標的分析物の第一のエピトープを認識する抗体であり、かつ前記捕捉分子が、標的分析物の第二のエピトープを認識する異なる抗体である、本発明1001の分析物検出デバイス。

[本発明1021]

前記捕捉分子が、抗体、抗原、ポリペプチド、ポリヌクレオチド、核タンパク質、アブタマー、リガンド、受容体、またはハプテンである、本発明1002の分析物検出デバイス。

[本発明1022]

前記標的分析物が、感染症、生理学的状態、または病理学的状態に関連するマーカーまたは抗原である、本発明1001または1002の分析物検出デバイス。

40

[本発明1023]

前記標的分析物が、イヌ糸状虫、ネコ白血病ウイルス、イヌパルボウイルス、C反応性タンパク質、ジアルジア・ランブリア (Giardia lamblia)、エールリヒア属 (Ehrlichia) 抗原もしくは抗体、ボレリア属 (Borrelia) 抗原もしくは抗体、アナプラズマ属 (Anaplasma) 抗原もしくは抗体、がん抗原、心臓マーカー抗原、甲状腺刺激ホルモン、チロキシン、トロポニン、または脳性ナトリウム利尿ペプチドである、本発明1001または1002の分析物検出デバイス。

[本発明1024]

50

以下の工程を含む、試料中の標的分析物の検出方法：

該試料を複数の検出コンジュゲートと混合する工程であって、該コンジュゲートが、結合パートナーと結合している複合金属ナノ構造体を含み、該結合パートナーが、該試料中に該標的分析物が存在する場合に該標的分析物に特異的に結合することができ、それにより分析物 - 検出コンジュゲート複合体が形成される、工程；

該混合物を、金属ナノ層を含有する表面に接触させる工程であって、該金属ナノ層上に複数の捕捉分子が固定化されており、かつ、該複数の捕捉分子が、該試料中に該標的分析物が存在する場合に該標的分析物に特異的に結合することができる、工程；

該表面を紫外 可視 赤外スペクトルの波長範囲内の光源に暴露する工程；及び

該表面からの光シグナルを測定する工程であって、該光シグナルの変化が、該試料中に該標的分析物が存在することを示す、工程。

10

[本発明1025]

前記光シグナルが、反射率、吸光度スペクトル、散乱スペクトル、または発光スペクトルである、本発明1024の方法。

[本発明1026]

前記光シグナルの変化が、スペクトルピーク波長シフトを含む、本発明1024の方法。

[本発明1027]

ナノグラム量の前記標的分析物の存在が検出される、本発明1024の方法。

[本発明1028]

ピコグラム量の前記標的分析物の存在が検出される、本発明1024の方法。

20

[本発明1029]

フェムトグラム量の前記標的分析物の存在が検出される、本発明1024の方法。

[本発明1030]

前記表面が、遠心ロータに組み込まれるキュベットの壁または底部である、本発明1024の方法。

[本発明1031]

前記複合金属ナノ構造体が、金、銀、銅、白金、パラジウム、カドミウム、鉄、ニッケル、及び亜鉛から選択される少なくとも2種の金属を含む、本発明1024の方法。

[本発明1032]

前記複合金属ナノ構造体の各々が、第一の金属からなるコア及び第二の金属からなるコーティングを含む、本発明1024の方法。

30

[本発明1033]

前記複合金属ナノ構造体の各々が、金のコーティング及び銀のコアを含む、本発明1032の方法。

[本発明1034]

前記複合金属ナノ構造体の各々が、第一の金属と第二の金属の合金である、本発明1024の方法。

[本発明1035]

前記金属ナノ層が金属フィルムである、本発明1024の方法。

[本発明1036]

40

前記金属フィルムが金を含む、本発明1035の方法。

[本発明1037]

前記金属ナノ層が、前記表面に固定化された複数の金属ナノ構造体を含む、本発明1024の方法。

[本発明1038]

前記複数の金属ナノ構造体が金ナノ構造体である、本発明1037の方法。

[本発明1039]

前記複合ナノ構造体が、球状ナノ粒子、ピラミッド形ナノ粒子、六角形ナノ粒子、ナノチューブ、ナノシェル、ナノロッド、ナノアイランド、ナノドット、ナノワイヤ、またはそれらの組合せから選択される形状を有する、本発明1024の方法。

50

[本発明1040]

以下の工程を含む、複合金属ナノ構造体の調製方法：

ポリマーと塩化金酸の混合物を含む第一の溶液を調製する工程；

銀または銅ナノ構造体を含む第二の溶液を調製する工程；及び

該第一の溶液と該第二の溶液を一定期間インキュベートする工程であって、得られる混合物が、金でコーティングされた銀ナノ構造体または金でコーティングされた銅ナノ構造体を含む、工程。

[本発明1041]

前記第二の溶液が、銀ナノ構造体を含み、かつ、約550～750 nmのピーク吸光度を有する、本発明1040の方法。

10

[本発明1042]

前記ポリマーが、ポリビニルピロドン、ポリビニルアルコール、ポリアクリレート、ポリエチレングリコール、またはポリエチレンイミンである、本発明1040の方法。

[本発明1043]

以下を含む、アッセイ複合体：

結合パートナーと結合している複合金属ナノ構造体を含む検出コンジュゲート；

標的分析物；及び

捕捉分子が固定化された金属ナノ層でコーティングされたビーズであって、該検出コンジュゲート中の該結合パートナーが該標的分析物上の第一のエピトープと結合し、かつ、該捕捉分子が該標的分析物上の第二のエピトープと結合し、それによって、該検出コンジュゲート、標的分析物、及び該捕捉分子を含む複合体が形成される、ビーズ。

20

[本発明1044]

前記結合パートナーが抗体であり、かつ、前記捕捉分子が異なる抗体である、本発明1043のアッセイ複合体。

[本発明1045]

前記金属ナノ層が金属フィルムである、本発明1043のアッセイ複合体。

[本発明1046]

前記金属フィルムが、金、銀、銅、白金、パラジウム、カドミウム、亜鉛、またはそれらの複合材料を含む、本発明1045のアッセイ複合体。

30

[本発明1047]

前記金属フィルムが金を含む、本発明1046のアッセイ複合体。

[本発明1048]

前記金属ナノ層が、前記ビーズに固定化された複数の金属ナノ構造体を含む、本発明1043のアッセイ複合体。

[本発明1049]

前記複数の金属ナノ構造体が、金、銀、銅、白金、パラジウム、カドミウム、亜鉛、またはそれらの複合材料を含む、本発明1048のアッセイ複合体。

[本発明1050]

前記複数の金属ナノ構造体が金ナノ構造体である、本発明1049のアッセイ複合体。

40

[本発明1051]

前記複合金属ナノ構造体が、金、銀、銅、白金、パラジウム、カドミウム、鉄、ニッケル、及び亜鉛から選択される少なくとも2種の金属を含む、本発明1043のアッセイ複合体。

[本発明1052]

前記複合金属ナノ構造体が、第一の金属からなるコア及び第二の金属からなるコーティングを含む、本発明1043のアッセイ複合体。

[本発明1053]

前記複合金属ナノ構造体が、金のコーティング及び銀のコアを含む、本発明1043のアッセイ複合体。

[本発明1054]

50

前記複合金属ナノ構造体が、第一の金属と第二の金属の合金である、本発明1043のアッセイ複合体。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】ウシ血清アルブミン（BSA）が結合している金ナノ層センサー（チャネル1）及びヒトIgGが結合している金ナノ層センサー（チャネル2～4）についての観測時間に対するピーク波長のシフトのプロット。矢印は、非標識プロテインA、1 mMのHCl、または金コロイド（CGC）で標識されたプロテインAのインジェクションの順序及び濃度を示す。

【図2】抗CRP C7抗体が結合している金ナノ層センサーについての観測時間に対するピーク波長のシフトのプロット。矢印は、異なるチャネルでの濃度0～100 ng/mlのCRP（CRPロード）、1 μg/mlの非標識抗CRP C6抗体、または3 μg/mlの金コロイド標識抗CRP C6抗体（C6-CGC）のインジェクションの順序を示す。センサー表面が非標識抗CRP C6抗体で占められた場合、さらなるC6-CGC結合は認められなかった。

【図3】抗CRP C7抗体が結合している金ナノ層センサーについての観測時間に対するピーク波長のシフトのプロット。矢印は、異なるチャネルにおける0～100 ng/ml濃度のCRP（CRPロード）、1 μg/mlの金コロイド標識抗CRP C6抗体（C6-CGC）、3 μg/mlのC6-CGC、または1 mMのHCl（酸）のインジェクションの順序を示す。

【図4】図4A・図3における様々なC6-CGC濃度での、10 ng/mlのCRPがロードされた、抗CRP C7抗体が結合している金ナノ層センサーの反射スペクトル。図4B・3種の濃度のうちの1種のCRPとともにインキュベートされ、その後、3 μg/mlの金コロイド標識抗CRP C6抗体（C6-CGC）が導入された、抗CRP C7抗体が結合している金ナノ層センサーについての観測時間に対するピーク波長のシフトのプロット。右の表は、C6-CGCの導入の700秒後のピーク分析を示す。

【図5】抗CRP C7抗体が結合している金ナノ層センサーについての観測時間に対するピーク波長のシフトのプロット。矢印は、異なるチャネルにおける0～100 ng/ml濃度のCRP（インキュベーション時間が最小化されたCRPロード）、3 μg/mlの金コロイド標識抗CRP C6抗体（C6-CGC）、または1 mMのHCl（酸）のインジェクションの順序を示す。

【図6】3 μg/mlの金コロイド標識抗CRP C6抗体（C6-CGC）の即時導入後、図5のトレースについての観測時間に対するピーク波長のシフトのプロット。右の表は、C6-CGCの導入の700秒後のピーク分析を、CRPのインキュベーションで得たピークシフト（図4Bに示す値）と比較して示す。

【図7】3種の濃度のうちの1種のCRP及び金でコーティングされた銀ナノ構造体にコンジュゲートしているC6抗CRP抗体とともにインキュベートした、抗CRP C7抗体が結合している金ナノ層センサーについての観測時間に対するピーク波長のシフトのプロット。対照は、C7抗体の代わりにウシ血清アルブミン（BSA）が固定化された金ナノ層センサーであった。

【発明を実施するための形態】

【0015】

本発明は、複合金属ナノ構造体で標識された結合パートナーを用いることによって、LSPRに基づくアッセイにおける有意な増幅が達成されうる、という発見に部分的に基づく。従って、本発明は、LSPR表面（例えば、金属ナノ層を含有する表面）と、該金属ナノ層上に固定化された複数の捕捉分子と、生体分子と結合している複合金属ナノ構造体を含む複数の検出コンジュゲートとを含む、分析物検出デバイスを提供する。

【0016】

前記分析物検出デバイスは、サンドイッチアッセイ形式または直接競合アッセイ形式で構成されうる。例えば、1つの実施形態では、サンドイッチアッセイ形式での分析物検出

10

20

30

40

50

デバイスは、(i) 標的分析物に特異的に結合することができる結合パートナーと結合している複合金属ナノ構造体を含む、複数の検出コンジュゲート、(ii) 金属ナノ層を含有する表面、及び(iii) 該金属ナノ層上に固定化されておりかつ該標的分析物に特異的に結合することができる、複数の捕捉分子を含む。別の実施形態では、直接競合アッセイ形式での分析物検出デバイスは、(i) 標的分析物と結合している複合金属ナノ構造体を含む、複数の検出コンジュゲート、(ii) 金属ナノ層を含有する表面、及び(iii) 該金属ナノ層上に固定化されておりかつ該標的分析物に特異的に結合することができる、複数の捕捉分子を含む。

【0017】

本発明の分析物検出デバイスは、金属ナノ層を含有する表面を含む。前記表面は、チップ、ウェル、キュベット、またはビーズ等の任意の適切なサイズと形状でもよい。いくつかの実施形態では、前記表面は矩形チップである。他の実施形態では、前記表面はディスクである。特定の実施形態では、前記表面は、キュベット（例えば、円筒または矩形のキュベット）の底部、蓋、及び／または内壁である。さらに別の実施形態では、前記表面は、非金属粒子のアレイである。前記表面は、限定されないが、ガラス、石英、ケイ素、シリカ、ポリスチレン、黒鉛、布帛（例えば、ポリエチレン布帛）、メッシュ、または膜（例えば、ラテックス膜、ポリビニル膜、ナイロン膜、もしくはポリエステル膜）等の様々な材料から製造されうる。

【0018】

前記表面上に、好ましくは金属ナノ層が堆積している。前記金属ナノ層は、いくつかの実施形態では、特定の表面の全表面積を覆っていてもよい。他の実施形態では、前記金属ナノ層は、前記表面の一部のみに堆積されていてもよい。例えば、前記表面は複数の凹部またはウェルを含んでいてもよく、該凹部またはウェル内に前記金属ナノ層が堆積されている。他の実施形態では、前記金属ナノ層は、前記表面にわたって存在する複数の離間した堆積物として前記表面に施されていてもよい。前記金属ナノ層の光学特性は、該ナノ層の厚さ及び／またはナノ構造体の性質を変えることによって調整されうる。1つの実施形態では、前記ナノ層は、金属ナノアイランドからなる。別の実施形態では、前記ナノ層は、ナノロッドからなる。本発明のデバイス及び方法での使用に適した前記金属ナノ層の厚さとしては、約0.5 nmから約100 nm、約5 nmから約30 nm、または約3 nmから約10 nmが挙げられる。本発明のデバイス及び方法に用いることができる金属ナノ層コーティングを備えた典型的な表面としては、参照することによってその全体が本明細書に組み込まれる米国特許公開第2006/0240573号に記載の表面が挙げられる。

【0019】

特定の実施形態では、前記金属ナノ層は、金属フィルムである。基材表面への金属フィルムの堆積法は、当業者に公知であって、限定されないが、原子層堆積、パルスレーザー堆積、ドロップキャスティング、蒸着、及び吸着が挙げられる。例えば、Atanaso vら, Journal of Physics: Conference Series 514 (2014); Walters and Parkin, Journal of Materials Chemistry, 19: 574-590, 2009; 及びGuptaら, J. Appl. Phys. 92, 5264-5271, 2002を参照されたい。これらの各々は、参照することによってその全体が本明細書に組み込まれる。前記金属フィルムは、他の成分を含んでもよく、例えば、前記金属フィルムは、ポリマーフィルム、ラングミュアーブロジェットフィルム、または酸化フィルムでもよい。いくつかの実施形態では、前記金属フィルムは、各層が異なる金属を含む2つの層を含む。一例として、前記金属フィルムは、金層を重ねた銀層を含みうる。

【0020】

他の実施形態では、前記金属ナノ層は、前記表面に固定化された複数の金属ナノ構造体を含む。金属ナノ構造体は、前記表面の材料を試薬で処理して化学官能基（例えば、シアノ化物、アミン、チオール、カルボキシル、アルデヒド、またはマレイミド）を付加し、

10

20

30

40

50

処理された表面を金属ナノ構造体と反応させることによって、前記表面に固定化されうる。金属ナノ構造体は、かかる化学官能基に高い親和性で結合することが知られている。いくつかの実施形態では、前記金属ナノ層を構成する前記金属ナノ構造体は、球状ナノ粒子である。かかるナノ粒子は、約300nm未満、約200nm未満、または約150nm未満の直径を有する。いくつかの実施形態では、前記球状ナノ粒子は、約5nmから約200nm、約10nmから約100nm、または約20nmから約60nmの直径を有する。特定の実施形態では、前記金属ナノ層を作製するために使用される前記金属ナノ構造体のサイズは、前記検出コンジュゲートに用いられる前記複合ナノ構造体のサイズと同様である。かかる実施形態では、二組のナノ構造体のサイズを適合させることによって、反射率、発光、または散乱スペクトルの最適な波長シフトがもたらされうる。

10

【0021】

前記金属ナノ層（金属フィルムまたは複数の金属ナノ構造体）は、貴金属またはその複合材料からなってもよい。他の実施形態では、前記金属ナノ層（金属フィルムまたは複数の金属ナノ構造体）は、遷移金属またはその複合材料からなってもよい。特定の実施形態では、前記金属ナノ層は、金、銀、銅、白金、パラジウム、ルテニウム、ロジウム、オスミウム、イリジウム、チタン、クロム、カドミウム、亜鉛、鉄、コバルト、ニッケル、及びそれらの複合材料から選択される金属を含む。1つの特定の実施形態では、前記金属ナノ層（例えば、金属フィルムまたは複数の金属ナノ構造体）は金を含む。別の特定の実施形態では、前記金属ナノ層（例えば、金属フィルムまたは複数の金属ナノ構造体）は銀を含む。特定の実施形態では、前記金属ナノ層（例えば、金属フィルムまたは複数の金属ナノ構造体）は金と銀または金と銅の複合材料を含む。アルカリ金属（例えば、リチウム、ナトリウム、カリウム、ルビジウム、セシウム、及びフランシウム）またはランタニド元素（例えば、ラントン、セリウム、プラセオジム、ネオジム、プロメチウム、サマリウム、ユウロピウム、ガドリニウム、テルビウム、ジスプロシウム、ホルミウム、エルビウム、ツリウム、イッテルビウム、及びルテチウム）の使用は、LSPRピーク強度を向上しうる。従って、いくつかの実施形態では、前記金属ナノ層（金属フィルムまたは複数の金属ナノ構造体）は、1種以上のアルカリ金属またはランタニド元素からなってもよい。別の実施形態では、前記金属ナノ層（金属フィルムまたは複数の金属ナノ構造体）は、貴金属とアルカリ金属またはランタニド元素との組合せからなってもよい。

20

【0022】

本発明の分析物検出デバイスは、さらに、表面に堆積した前記金属ナノ層上に固定化された複数の捕捉分子を含む。前記捕捉分子は、標的分析物に特異的に結合することができる。本明細書で用いられる「特異的結合」とは、高い親和性、例えば、少なくとも 10^{-6} Mの親和性で標的分子に結合することを指す。いくつかの実施形態では、前記捕捉分子は、ハプテン及び他の小分子、薬物、ホルモン、生体高分子であって、抗体もしくはそのフラグメント（例えば、Fv、Fab、(Fab)₂、一本鎖、CDR等）、抗原、受容体、リガンド、ポリヌクレオチド、アプタマー、ポリペプチド、多糖類、リボ多糖類、糖ペプチド、リポタンパク質、または核タンパク質を非限定的に含む。特定の実施形態では、前記複数の捕捉分子は抗体である。他の実施形態では、前記複数の捕捉分子は抗原である。

30

【0023】

金属ナノ層またはナノ構造体への分子の固定化法は当業者には公知である。かかる方法としては、コンジュゲーションケミストリー、例えば、1エチル3[3ジメチルアミノプロピル]カルボジイミド塩酸塩（EDC）、スルホNHSカップリング、疎水性結合、またはチオエーテル化学を含むものが挙げられる。いくつかの実施形態では、前記分子は、より大きな担体分子またはタンパク質を介して間接的に、前記金属ナノ層またはナノ構造体に結合されうる。かかる間接的な結合は、前記分子が小さい場合（例えば、ホルモン、薬物、及び他の10kD未満の小分子の場合）に特に有用である。前記担体タンパク質は、前記標的分析物と特異的に相互作用できないことが好ましい。

40

【0024】

50

本発明の分析物検出デバイスはまた、複数の検出コンジュゲートも含みうる。検出コンジュゲートは、アッセイの構成によって、標的分析物に特異的に結合することができる結合パートナーまたは捕捉分子と結合している金属ナノ構造体を含む。例えば、前記デバイスがサンドイッチアッセイ形式で構成される実施形態では、前記検出コンジュゲートは、標的分析物に特異的に結合することができる結合パートナーと結合またはコンジュゲートしている金属ナノ構造体を含む。前記デバイスが直接競合アッセイ形式で構成される他の実施形態では、前記検出コンジュゲートは、標的分析物と結合またはコンジュゲートしている金属ナノ構造体を含む。

【0025】

前記結合パートナーは、前記捕捉分子と同じ種類の分子でよく、限定されないが、ハプテン及び他の小分子、薬物、ホルモン、生体高分子、例えば、抗体もしくはそのフラグメント（例えば、Fv、Fab、(Fab)₂、一本鎖、CDR等）、抗原、受容体、リガンド、ポリヌクレオチド、アブタマー、ポリペプチド、多糖類、リポ多糖類、糖ペプチド、リボタンパク質、または核タンパク質が挙げられる。いくつかの実施形態では、前記結合パートナーは、前記捕捉分子と同じ種類の分子であるが、好ましくは、前記捕捉分子の結合部位とは異なる位置で前記標的分析物に結合する。一例として、前記結合パートナーと前記捕捉分子はともに標的分析物を認識する抗体でもよいが、前記結合パートナーが前記標的分析物に結合するエピトープは、前記捕捉分子が前記標的分析物に結合するエピトープと離れており、理想的には重複していない。従って、特定の実施形態では、前記結合パートナーは、標的分析物の第一のエピトープを認識する抗体であって、前記捕捉分子は、標的分析物の第二のエピトープを認識する異なる抗体である。

【0026】

前記検出コンジュゲート中の前記金属ナノ構造体は、貴金属またはその複合材料からなりうる。いくつかの実施形態では、前記検出コンジュゲート中の前記金属ナノ構造体は、遷移金属またはその複合材料からなってもよい。いくつかの実施形態では、前記検出コンジュゲート中の前記金属ナノ構造体は、アルカリ金属またはランタニド元素と、貴金属または遷移金属との組み合わせを含んでもよい。特定の実施形態では、前記検出コンジュゲート中の金属ナノ構造体は、金、銀、銅、白金、パラジウム、ルテニウム、ロジウム、オスミウム、イリジウム、チタン、クロム、カドミウム、亜鉛、鉄、コバルト、ニッケル、及びそれらの複合材料から選択される金属を含む。1つの実施形態では、前記金属ナノ構造体は、金ナノ構造体である。別の実施形態では、前記金属ナノ構造体は、銀ナノ構造体である。

【0027】

好ましい実施形態では、前記検出コンジュゲート中の前記金属ナノ構造体は、複合金属ナノ構造体である。「複合金属ナノ構造体」とは、少なくとも2種の貴金属、遷移金属、アルカリ金属、またはランタニド元素を含むナノ構造体を指す。前記2種以上の金属は、合金の場合のように互いに混合されていてもよいし、前記ナノ構造体の別個の部分に存在してもよい。例えば、1種の金属が前記ナノ構造体のコアを形成することができ、第二の金属は前記ナノ構造体のシェルまたはコーティングを形成する。いくつかの実施形態では、前記複合金属ナノ構造体は、金、銀、銅、白金、パラジウム、ルテニウム、ロジウム、オスミウム、イリジウム、チタン、クロム、カドミウム、亜鉛、鉄、コバルト、及びニッケルから選択される少なくとも2種の金属を含む。他の実施形態では、前記複合金属ナノ構造体は、金、銀、銅、白金、パラジウム、カドミウム、鉄、ニッケル、及び亜鉛から選択される少なくとも2種の金属を含む。1つの特定の実施形態では、前記複合金属ナノ構造体は、金と銀を含む。別の実施形態では、前記複合金属ナノ構造体は、金と銅を含む。さらに別の実施形態では、前記複合金属ナノ構造体は、銀と銅を含む。

【0028】

いくつかの実施形態では、前記複合金属ナノ構造体の各々は、第一の金属と第二の金属の合金である。特定の実施形態では、前記複合金属ナノ構造体の各々は、第一の金属からなるコアと第二の金属からなるコーティングを含む。1つの実施形態では、前記コアは銀

10

20

30

40

50

であって、前記コーティングは金である。別の実施形態では、前記コアは銅であって、前記コーティングは金である。別の実施形態では、前記コアは銀であって、前記コーティングは銅である。いくつかの実施形態では、前記複合金属ナノ構造体の各々は、誘電体コア（例えば、二酸化ケイ素、硫化金、二酸化チタン、シリカ、及びポリスチレン）、第一の金属からなる第一のコーティング、並びに第二の金属からなる第二のコーティングを含む。1つの特定の実施形態では、前記コアはシリカであって、前記第一のコーティング（すなわち、内側コーティング）は銀のコーティングであり、前記第二のコーティングは金のコーティング（すなわち、外側コーティング）である。別の実施形態では、前記コアはシリカであって、前記第一のコーティング（すなわち、内側コーティング）は銅のコーティングであり、前記第二のコーティングは金のコーティング（すなわち、外側コーティング）である。
10

【0029】

いくつかの実施形態では、第一の金属を含む前記コアは、第二の金属でのコーティング工程の後、溶解され、前記第二の金属からなる中空構造を形成する。例えば、銀のコアを金ナノ粒子でコーティングすることで前記銀のコアの周囲に金のシェルを生じ、前記銀のコアをその後溶解または分解することで、中空ナノ金シェル構造が形成される。

【0030】

前記金属ナノ構造体は、球状ナノ粒子と同様、ナノプレート及びナノシェルを含む。ナノプレートは、厚さよりも大きな横寸法（例えば、エッジ長）を有する。ナノプレートとしては、ナノディスク、ナノ多角形、ナノ六角形、ナノキューブ、ナノリング、ナノ星形、及びナノブリズムが挙げられる。いくつかの実施形態では、前記金属ナノ構造体は、前記複合ナノ構造体を含めて、球状ナノ粒子、ピラミッド形ナノ粒子、六角形ナノ粒子、ナノチューブ、ナノシェル、ナノロッド、ナノドット、ナノアイランド、ナノワイヤ、ナノディスク、ナノキューブ、またはそれらの組合せから選択される形状を有する。不規則な形状を含む他の形状もまた可能である。特定の実施形態では、前記金属ナノ構造体のサイズ及び形状は、均一ではない - すなわち、前記金属ナノ構造体は、異なる形状とサイズのナノ構造体の不均質な混合物である。
20

【0031】

球状ナノ粒子については、適切な直径範囲としては、約 5 nm から約 2 0 0 nm、約 10 nm から約 1 0 0 nm、及び約 2 0 nm から約 6 0 nm が挙げられる。ナノプレートについては、エッジ長は約 1 0 nm から約 8 0 0 nm、約 2 0 nm から約 5 0 0 nm、約 5 0 nm から約 2 0 0 nm、約 3 0 nm から約 1 0 0 nm、または、約 1 0 nm から約 3 0 0 nm でもよい。前記ナノプレートの厚さは、約 1 から約 1 0 0 nm、約 5 nm から約 8 0 nm、約 1 0 nm から約 5 0 nm、または、約 5 nm から約 2 0 nm に及びうる。
30

【0032】

いくつかの実施形態では、前記ナノプレートは、2 を超えるアスペクト比を有する。アスペクト比は、厚さに対するエッジ長の比である。好ましくは、前記ナノプレートはアスペクト比約 2 から約 2 5 、約 3 から約 2 0 、約 5 から約 1 0 、約 2 から約 1 5 、または約 1 0 から約 3 0 を有する。

【0033】

前記結合パートナーまたは標的分析物は、前記金属ナノ構造体（例えば、複合ナノ構造体）に、前記捕捉分子の前記金属ナノ層への固定化のための上記と同様の方法を用いて結合またはコンジュゲートされうる。かかる方法としては、限定されないが、EDC コンジュゲーションケミストリー、スルホ N H S カップリング、疎水性結合またはチオエーテル化学が挙げられる。前記結合パートナーまたは標的分析物は、チオール、アミン、ジチオール、アクリルホスホラミダイト、アジド、またはアルキンを含む様々な化学官能基を介して、前記金属ナノ構造体に結合されうる。
40

【0034】

いくつかの実施形態では、前記表面に堆積される前記金属ナノ層に使用される金属は、前記検出コンジュゲート中の前記金属ナノ構造体の製造に使用される金属と同じでもよい
50

。例えば、1つの実施形態では、前記表面に堆積した前記金属ナノ層は、金フィルムまたは複数の金ナノ構造体を含み、かつ、前記検出コンジュゲートは金ナノ構造体を含む。他の実施形態では、前記表面に堆積される前記金属ナノ層に使用される金属は、前記検出コンジュゲートの前記金属ナノ構造体の作製に使用される金属とは異なる。例えば、いくつかの実施形態では、前記表面に堆積した前記金属ナノ層は、銀フィルムまたは複数の銀ナノ構造体を含み、かつ、前記検出コンジュゲートは金ナノ構造体を含む。他の実施形態では、前記表面に堆積した前記金属ナノ層は、金フィルムまたは複数の金ナノ構造体を含み、かつ、前記検出コンジュゲートは銀ナノ構造体を含む。特定の実施形態では、前記表面に堆積した前記金属ナノ層は、金フィルムまたは複数の金ナノ構造体を含み、かつ、前記検出コンジュゲートは複合ナノ構造体を含む。関連する実施形態では、前記複合ナノ構造体は、金でコーティングされた銀ナノ構造体を含む。他の特定の実施形態では、前記表面に堆積した前記金属ナノ層は、金フィルムまたは複数の金ナノ構造体を含み、かつ、前記検出コンジュゲートは、金でコーティングされた銅ナノ構造体を含む複合ナノ構造体を含む。さらに他の実施形態では、前記表面に堆積した前記金属ナノ層は、金フィルムまたは複数の金ナノ構造体を含み、かつ、前記検出コンジュゲートは、金でコーティングされたマグネタイトナノ構造体を含む複合ナノ構造体を含む。さらに他の実施形態では、前記表面に堆積した前記金属ナノ層は、金フィルムまたは複数の金ナノ構造体を含み、かつ、前記検出コンジュゲートは、金及びアルカリ金属またはランタニド元素を含む複合ナノ構造体を含む。

【0035】

本発明はまた、本明細書に記載の本発明の分析物検出デバイスを含むキットを含む。1つの実施形態では、前記キットは、(i)複数の捕捉分子が固定化されている金属ナノ層を含有する表面及び(ii)本明細書に記載の複数の検出コンジュゲートを含む組成物を含む。特定の実施形態では、前記組成物は、後に前記検出方法の実施中に前記表面と接触させられるように、前記表面とは別に包装される。いくつかの実施形態では、前記複数の検出コンジュゲートを含む前記組成物は、例えばペレットまたはビーズの形で凍結乾燥されている。関連する実施形態では、前記金属ナノ層を含有する前記表面は、チップ、ディスク、またはキュベットでありうる。1つの特定の実施形態では、前記金属ナノ層を含有する前記表面は、遠心ロータでの使用に適合したキュベットである。かかる実施形態では、前記金属ナノ層は、前記キュベットの蓋、底部、及び/または壁に堆積されうる。

【0036】

特定の実施形態では、本明細書に記載の分析物検出システムのすべての構成要素は、遠心ロータまたはディスク内に含まれる。例えば、ロータまたはディスクは、1つ以上の反応チャンバを含むことができ、ここに、固定化された捕捉分子を含む前記金属ナノ層表面及び前記複数の検出コンジュゲートが配置される。1つの実施形態では、前記金属ナノ層表面は、前記反応チャンバの底部に位置するチップである。別の実施形態では、前記金属ナノ層は、前記反応チャンバの底に直接堆積されている。さらに別の実施形態では、前記金属ナノ層表面は、前記金属ナノ層でコーティングされたビーズ(例えば、プラスチックビーズ)である。かかる実施形態のすべてにおいて、前記捕捉分子は前記金属ナノ層表面に固定化されている。関連する実施形態では、前記複数の検出コンジュゲートは、凍結乾燥された組成物、例えば、凍結乾燥ビーズまたはペレットの形で存在する。

【0037】

別の実施形態では、捕捉分子は、コロイド懸濁液内の金属ナノ構造体にコンジュゲートしている。試験試料の存在下で前記懸濁液に前記複数の検出コンジュゲートが添加される。前記試料中に前記標的分析物が存在する場合、前記検出コンジュゲートと、前記捕捉分子を含む懸濁された前記ナノ構造体との間で複合体が形成され、光シグナルの変化(例えば、懸濁された前記ナノ構造体のピーク吸収波長のシフト)がもたらされる。

【0038】

従って、いくつかの実施形態では、前記キットは、1つ以上の反応チャンバを有するロータまたはディスクを含むとともに、各反応チャンバは、(i)本明細書に記載の複数の

10

20

30

40

50

検出コンジュゲートを含む凍結乾燥された組成物及び(i i)金属ナノ層でコーティングされたビーズであって、前記金属ナノ層上に複数の捕捉分子が固定化されている、ビーズを含む。かかるキットは、試験試料を前記ロータまたはディスクに接触させ、前記ロータまたはディスクに遠心力を加えることで前記試験試料を前記反応チャンバに供給し、そこで前記試料が前記複数の検出コンジュゲート及び固定化された捕捉分子を含む前記金属ナノ層でコーティングされたビーズと混ざる、一工程の分析物検出アッセイを提供する。前記ロータまたはディスクが2つ以上の反応チャンバを含む実施形態では、前記検出コンジュゲート及び捕捉分子は、各反応チャンバにおいて異なる分析物を検出できるように選択されうる。これらのロータ形式検出デバイスは、サンドイッチアッセイ形式、直接競合アッセイ形式、または前記ロータが複数の反応チャンバを含む場合は両方で構成されうる。

10

【0039】

本明細書で説明されている任意のタイプの金属ナノ層または金属ナノ構造体を、これらロータ形式検出デバイスで用いることができる。いくつかの実施形態では、前記ビーズ上の前記金属ナノ層コーティングは金ナノ層であり、かつ、前記検出コンジュゲートの前記金属ナノ構造体は金ナノ構造体である。他の実施形態では、前記ビーズ上の前記金属ナノ層コーティングは銀ナノ層であり、かつ、前記検出コンジュゲートの前記金属ナノ構造体は銀ナノ構造体である。さらに他の実施形態では、前記ビーズ上の前記金属ナノ層コーティングは金ナノ層であり、かつ、前記検出コンジュゲートの前記金属ナノ構造体は銀ナノ構造体である。1つの実施形態では、前記ビーズ上の前記金属ナノ層コーティングは金ナノ層を重ねた銀ナノ層であり、かつ、前記検出コンジュゲートの前記金属ナノ構造体は金ナノ構造体である。特定の実施形態では、前記ビーズ上の前記金属ナノ層コーティングは金ナノ層であり、かつ、前記検出コンジュゲートの前記金属ナノ構造体は複合ナノ構造体である。例えば、1つの実施形態では、前記複合ナノ構造体は、金でコーティングされた銀ナノ構造体である。別の実施形態では、前記複合ナノ構造体は、金でコーティングされた銅ナノ構造体である。

20

【0040】

本発明のキットはまた、前記デバイスを用いて試験試料中の分析物を検出するための取扱説明書、生体試料を収集するためのデバイスもしくは道具、並びに／または、固体材料(例えば、土壤、食品、及び生体組織)から試料を採取するための抽出緩衝液を含んでもよい。

30

【0041】

本発明はまた、試料中の標的分析物の検出方法も提供する。1つの実施形態では、前記方法は、(i)試験試料を本明細書に記載の複数の検出コンジュゲートと混合する工程；(i i)該混合物を本明細書に記載の複数の捕捉分子が固定化された金属ナノ層を含有する表面に接触させる工程；(i i i)該表面を紫外 可視 赤外スペクトルの波長範囲内の光源に暴露する工程；(i v)該表面からの光シグナルを測定する工程を含み、ここで、該光シグナルの変化は、該試料中に該標的分析物が存在することを示す。

【0042】

いくつかの実施形態では、前記検出方法はサンドイッチアッセイである。かかる実施形態では、前記検出コンジュゲートは、結合パートナーと結合している金属ナノ構造体を含み、該結合パートナーは、前記試料中に前記標的分析物が存在する場合に前記標的分析物に特異的に結合することができ、それにより分析物 - 検出コンジュゲート複合体が形成される。前記金属ナノ層表面に固定化された前記複数の捕捉分子もまた、前記試料中に前記標的分析物が存在する場合に前記標的分析物に特異的に結合することができる。前記金属ナノ層が光源に暴露されると、光シグナルが測定され、前記光シグナルの変化は、前記試料中に分析物が存在することを示す。例として、前記標的分析物を含む試料を前記複数の検出コンジュゲートと混合した場合、前記標的分析物が前記検出コンジュゲートの前記結合パートナーと結合し、分析物 - 検出コンジュゲート複合体が形成される。これらの複合体は、同様に、前記分析物を介して、前記金属ナノ層表面に固定化された前記複数の捕捉分子に結合し、これにより、前記検出コンジュゲートの前記金属ナノ構造体を、前記金属

40

50

ナノ層表面にごく接近させる。前記金属ナノ層表面で吸収または散乱される光量は、前記複合体中の前記金属ナノ構造体の近接性に影響され、ひいてはピーク吸収波長のシフトの増大を生じ、これは前記試料中に前記標的分析物が存在することを示す。

【0043】

他の実施形態では、前記検出方法は競合アッセイである。かかる実施形態では、前記検出コンジュゲートは、目的の前記標的分析物と結合している金属ナノ構造体を含む。前記サンドイッチアッセイ法のように、前記金属ナノ層表面に固定化された前記複数の捕捉分子は、前記標的分析物に特異的に結合することができる。この種類のアッセイでは、前記検出コンジュゲートは、最初に前記捕捉分子に結合する。標的分析物を含む試料がこれら初期の複合体と混合されると、前記試料中の非標識すなわち遊離の標的分析物は、前記捕捉分子への結合について前記検出コンジュゲートと競合する。この種類のアッセイにおける光シグナルの変化は、前記検出コンジュゲート中の前記金属ナノ構造体が前記金属ナノ層表面から離れたことに起因し、これに比例して前記ピーク吸収波長の波長シフトが減少する。10

【0044】

試験試料は、生体試料または環境もしくは食品試料から調製される抽出物を含む任意の種類の液体試料でもよい。1つの特定の実施形態では、前記試験試料は生体試料である。生体試料としては、限定されないが、全血、血漿、血清、唾液、尿、胸水、汗、胆汁、脳脊髄液、糞便、膣液、精液、眼水晶体液、粘液、滑液、腹水、羊水、生検組織、唾液、及び細胞溶解物が挙げられる。生体試料は、がん、感染症（例えば、ウイルス、細菌、寄生虫、または真菌感染症）、心血管疾患、代謝性疾患、自己免疫疾患等の病状を有する疑いのあるヒト対象または動物対象から採取することができる。前記生体試料はまた、定期検診を受ける健康な対象（例えば、ヒトまたは動物）から採取してもよい。20

【0045】

前記方法のいくつかの実施形態では、前記試験試料を複数の検出コンジュゲートと混合し、続いて当該混合物を前記固定化された捕捉分子を含む前記金属ナノ層表面に接触させる。他の実施形態では、前記試験試料を、前記固定化された捕捉分子を含む前記金属ナノ層表面に接触させ、続いて前記複数の検出コンジュゲートを添加する。特定の実施形態では、前記試料、前記複数の検出コンジュゲート、及び前記固定化された捕捉分子を含む前記金属ナノ層表面を同時に接触させる。例えば、前記試料の両試薬との同時の接触は、上記ロータ形式検出デバイスで生じうる。30

【0046】

上記分析物検出デバイスのいずれかが本発明の検出方法に使用されうる。従って、本明細書に記載の様々な金属ナノ層表面、捕捉分子、及び検出コンジュゲートが前記検出方法での使用に適する。例えば、前記方法のいくつかの実施形態では、金属ナノ層を含有する前記表面は、チップ、ウェル、キュベット、またはビーズである。前記方法の特定の実施形態では、金属ナノ層を含有する前記表面は、遠心ロータに組み込まれた、または遠心ロータでの使用に適合したキュベットの壁及び底部である。これら及び他の実施形態では、前記表面上の前記金属ナノ層は、金フィルム等の金属フィルムである。前記方法の他の実施形態では、前記表面上の前記金属ナノ層は、前記表面に固定化された複数の金属ナノ構造体、例えば金ナノ構造体を含む。40

【0047】

前記検出方法の特定の実施形態では、前記検出コンジュゲートは、結合パートナーまたは標的分析物と結合している複合金属ナノ構造体を含む。本明細書に記載の通り、複合金属ナノ構造体は、少なくとも2種の貴金属または遷移金属を含む。前記方法のいくつかの実施形態では、前記複合金属ナノ構造体は、金、銀、銅、白金、パラジウム、ルテニウム、ロジウム、オスミウム、イリジウム、チタン、クロム、カドミウム、亜鉛、鉄、コバルト、及びニッケルから選択される少なくとも2種の金属を含む。前記方法の他の実施形態では、前記複合金属ナノ構造体は、金、銀、銅、白金、パラジウム、カドミウム、鉄、ニッケル、及び亜鉛から選択される少なくとも2種の金属を含む。1つの特定の実施形態で50

は、前記複合金属ナノ構造体は、金と銀を含む。別の実施形態では、前記複合金属ナノ構造体は、金と銅を含む。さらに別の実施形態では、前記複合金属ナノ構造体は、銀と銅を含む。本発明の前記方法で使用される前記複合金属ナノ構造体としては、球状ナノ粒子、ピラミッド形ナノ粒子、六角形ナノ粒子、ナノチューブ、ナノシェル、ナノロッド、ナノドット、ナノアイランド、ナノワイヤ、ナノディスク、ナノキューブ、またはそれらの組合せ等の多数の異なる形状を挙げることができる。

【0048】

特定の実施形態では、本発明の方法で使用される前記複合金属ナノ構造体は、第一の金属と第二の金属の合金である。いくつかの実施形態では、本発明の方法で使用される前記複合金属ナノ構造体は、第一の金属からなるコアと第二の金属からなるコーティングを含む。特定の実施形態では、前記複合金属ナノ構造体は、銀のコアと金のコーティングを含む。他の実施形態では、前記複合金属ナノ構造体は、銅のコアと金のコーティングを含む。別の実施形態では、前記コアは銀であり、前記コーティングは銅である。いくつかの実施形態では、前記複合金属ナノ構造体の各々は、誘電体コア（例えば、二酸化ケイ素、硫化金、二酸化チタン、シリカ、及びポリスチレン）、第一の金属からなる第一のコーティング、並びに第二の金属からなる第二のコーティングを含む。前記検出方法の1つの特定の実施形態では、前記コアはシリカであって、前記第一のコーティング（すなわち、内側コーティング）は銀のコーティングであり、前記第二のコーティングは金のコーティング（すなわち、外側コーティング）である。別の実施形態では、前記コアはシリカであって、前記第一のコーティング（すなわち、内側コーティング）は銅のコーティングであり、前記第二のコーティングは金のコーティング（すなわち、外側コーティング）である。10

【0049】

本発明の検出方法は、標的分析物の定性的または定量的な量を測定するのに使用される。かかる方法は、試料中の標的分析物のおおよその量を測定するのに特に有用であって、とりわけ、特定の医学的状態の診断または薬物療法の有効性の評価に使用できる。1つの実施形態では、標的分析物の量が既知の試料について本明細書に記載の通りに前記金属ナノ層表面からの光シグナルの変化を測定することによって検量線を作成し；試験試料についての光シグナルの変化を測定し；前記試験試料についての光シグナルの変化と、前記検量線として得られた値を比較することによって、特定の分析物についての標的分析物の量を決定することができる。いくつかの実施形態では、第一の試薬と第二の試薬の複合体の量の測定は、試験試料からの吸光度比及び／または反応速度を、複合体の量が既知の試料からの吸光度比及び／または反応速度と比較し、それによって、前記試験試料中の前記複合体の量を決定することを含む。試験試料から得られた定量値は、所定の閾値と比較されてもよく、ここで、当該所定の閾値は、前記標的分析物の異常または正常レベルのどちらかを示す。20

【0050】

本発明の検出方法は、試料中の微量の標的分析物を検出するための高感度の技術を提供する。実施例によって実証されているとおり、試料中のナノグラム量の標的分析物を検出できるように、金ナノ構造体コンジュゲートを用いて金ナノ層表面からのプラズモン共鳴に基づくシグナルの増幅を実現することができる。従って、前記方法の1つの実施形態では、ナノグラム量の標的分析物の存在が検出される。本発明者らは、意外にも、複合金属ナノ構造体コンジュゲートを用いることによって、金ナノ層表面からのプラズモン共鳴に基づくシグナルの有意に大きな増幅が実現されうることを見出した。分析物に特異的な抗体とコンジュゲートしている、金でコーティングされた銀ナノ構造体の使用は、ピコグラム量の前記標的分析物の検出を可能にしたが、これは、金ナノ構造体コンジュゲートで得られるものと比較して、感度が1000倍増加している。実施例3を参照されたい。従つて、前記方法のいくつかの実施形態では、ピコグラム量の前記標的分析物の存在が検出される。前記方法の他の実施形態では、フェムトグラム量の前記標的分析物の存在が検出される。より高い感度は、前記複合金属ナノ構造体並びに／または金属ナノ層表面の組成及び／もしくは形状を変えることによって得ることができる。30

【0051】

金属ナノ構造体に入射光が当たると、前記金属中の伝導体電子は、前記入射電磁波と同じ周波数で集合的に振動する。これら共鳴振動の結果として、前記ナノ構造体は、特定の波長範囲で光を強く吸収及び散乱する。貴金属または遷移金属を含む金属ナノ構造体の場合のこの波長範囲は紫外 可視 赤外スペクトルにあり、これは前記ナノ構造体の個々の組成に依存する。従って、本発明の方法に使用するのに適した電磁エネルギーを印加するための光源としては、アーク灯及びレーザ等の、紫外 可視スペクトルまたは紫外 可視

赤外スペクトルに入る波長範囲を適用しうる任意の光源を挙げることができる。いくつかの実施形態では、前記光源は、特定の波長の光が前記金属ナノ層表面に適用されうるよう 10 に、モノクロメータを備えうる。

【0052】

前記金属ナノ層及びナノ構造体の光学特性は、それらのサイズ、形状、及び組成に依存する。例えば、固体金ナノ粒子は、粒径に依存して約 515 nm から約 560 nm の吸収ピーク波長 (λ_{max}) を有する。直径 30 nm の球状金ナノ粒子は、約 520 nm で最大限に吸収し、粒径が大きくなるにつれて λ_{max} は長波長側へとシフトする。銀及び銅の粒子は、紫外 / 青または赤色領域（例えば、約 350 nm から約 500 nm）に λ_{max} を有し、粒径が大きくなるにつれて λ_{max} は長波長側へとシフトする。金属ナノロッドは、横 λ_{max1} 及び縦 λ_{max2} を有する。異なる金属の合金は、通常、構成金属の吸収ピークの中間域に吸収ピークを示す。例えば、金と銀の 50 / 50 合金を含むナノ構造体は、約 470 nm の λ_{max} を示し、金の量が増加するにつれて吸収ピークは長波長側へとシフトする。前記 LSPR シグナルの局所媒質屈折率の変化に対する感度は、前記ナノ構造体の形状や配置を変えることで変更できる。例えば、非球形粒子（例えば、ナノプリズム、ナノロッド、ナノシェル、等）は、球形のものと比較して増加した LSPR 感度を有する。いくつかの実施形態では、光学特性（例えば、特定の波長での吸収 / 散乱）は、前記表面に堆積した前記金属ナノ層または前記検出コンジュゲートに使用される前記金属ナノ構造体のサイズ、形状、または組成を変えることで、特定の用途に合わせて調整される。 20

【0053】

入射光と前記金属ナノ層表面と間の相互作用は、反射光または透過光としてモニタリングされうる。入射光の吸収量または散乱量は、反射モードの吸収スペクトルまたは透過モードの吸収スペクトルとして測定されうる。いくつかの実施形態では、前記金属ナノ層から測定される光シグナルは、光の反射、吸光度スペクトル、散乱スペクトル、及び / または発光スペクトルの場合がある。 30

【0054】

前記結合パートナーと標的分析物と捕捉分子と間の複合体の形成に起因する、前記金属ナノ層と前記検出コンジュゲート中の前記金属ナノ構造体と間のプラズモンカップリングは、前記金属ナノ層の局在表面プラズモン共鳴スペクトルに変化をもたらす。例えば、かかる変化としては、光消衰の増加、光の反射の増加、並びに / または散乱及び / もしくは発光シグナルの増加を挙げることができる。いくつかの実施形態では、前記試料中に前記標的分析物が存在することを示す光シグナルの変化としては、シフト、すなわち、光学散乱の増加もしくは減少、またはこれらの特徴の組合せが挙げられる。特定の実施形態では、前記試料中に前記標的分析物が存在することを示す光シグナルの変化は、スペクトルピーク波長シフトである。1つの実施形態では、前記光学スペクトルピークの波長シフトは、200 nm から 1200 nm のスペクトルウインドウ内のレッドシフト（例えば、長波長側へのシフト）でありうる。別の実施形態では、前記光学スペクトルピークの波長シフトは、200 nm から 1200 nm のスペクトルウインドウ内のブルーシフト（例えば、短波長側へのシフト）でありうる。光シグナルのこれらの変化は、一定の反応時間後の特定の時点で測定されうる。追加として、または別の方針として、反応時間中の光シグナルの変化（例えば、速度決定）が測定されうる。両方の種類の測定を、標的分析物の定性的または定量的分析のどちらかに使用できる。 40

【0055】

種々の波長での光シグナルの様々な測定手段や、消衰スペクトル、散乱スペクトル、または発光スペクトルの様々な取得手段が、当技術分野で公知である。任意の分光光度計または光度計器が本開示の方法での使用に適する。いくつかの非限定的な例としては、プレートリーダー、Cobas Far a アナライザー、並びにPiccolo express（登録商標）及びVetscan アナライザー（Abaxis, Inc.、カリフォルニア州ユニオンシティー）、光ファイバーリーダー（例えば、Light Path（商標）S4（LambdaGen、カリフォルニア州メンローパーク））、SPR機器（例えば、GE Health careより入手可能なBiacore機器）、オリンパス、日立等の遠心アナライザーが挙げられる。

10

【0056】

本発明はまた、(i) 結合パートナーと結合している複合金属ナノ構造体を含む検出コンジュゲート、(ii) 標的分析物、及び(iii) 捕捉分子が固定化された金属ナノ層でコーティングされたビーズを含むアッセイ複合体も含み、該検出コンジュゲート中の該結合パートナーは、該標的分析物上の第一のエピトープと結合し、かつ、該捕捉分子は該標的分析物上の第二のエピトープと結合し、それによって、該検出コンジュゲート、標的分析物、及び該捕捉分子を含む複合体が形成される。いくつかの実施形態では、前記アッセイ複合体は、遠心ロータでの使用に適合したキュベット内に含まれる。他の実施形態では、前記アッセイ複合体は、遠心ロータまたはディスクの反応チャンバ内に含まれる。

20

【0057】

前記アッセイ複合体中の前記結合パートナー及び前記捕捉分子は、ハプテン及び他の小分子、薬物、ホルモン、生体高分子、例えば、抗体またはそのフラグメント（例えば、Fv、Fab、(Fab)₂、一本鎖、CDR等）、抗原、受容体、リガンド、ポリヌクレオチド、アプタマー、ポリペプチド、多糖類、リポ多糖類、糖ペプチド、リボタンパク質、または核タンパク質を含めた上記のいずれかの種類の分子でありうる。1つの実施形態では、前記結合パートナーは抗体であり、前記捕捉分子は異なる抗体である。

【0058】

前記金属ナノ層及び複合金属ナノ構造体は、上記に詳述されている。1つの実施形態では、前記ビーズ（例えば、プラスチックまたはガラスピーズ）の前記金属ナノ層コーティングは金ナノ層である。別の実施形態では、前記ビーズの前記金属ナノ層コーティングは銀ナノ層である。前記ビーズは、好ましくは、0.5 cm未満だが0.1 mmより大きい。特定の実施形態では、前記複合金属ナノ構造体は、金でコーティングされた銀ナノ構造体である。他の実施形態では、前記複合金属ナノ構造体は、金でコーティングされた銅ナノ構造体である。さらに他の実施形態では、前記金属ナノ構造体は、銀イオン、銅イオン、またはこれらイオンの両方でドープされた金を含む。

30

【0059】

任意の種類の標的分析物、特に疾患の診断において重要なものが、本発明の方法、デバイス、及びアッセイ複合体を用いて検出されうる。標的分析物としては、限定されないが、タンパク質、酵素、抗原、抗体、ペプチド、核酸（RNA、DNA、mRNA、miRNA）、ホルモン、糖タンパク質、多糖、毒素、ウイルス、ウイルス粒子、薬物分子、ハプテン、または化学薬品を挙げることができる。いくつかの実施形態では、前記標的分析物は、ヒト及び/または動物の感染症に関連するマーカーまたは抗原である。他の実施形態では、前記標的分析物は、特定の生理学的状態または病理学的状態に関連するマーカーまたは抗原である。

40

【0060】

特定の実施形態では、前記標的分析物は、病原性抗原または病原性抗原に対する抗体である。例えば、前記病原性抗原は、ウイルス抗原（例えば、ネコ白血病ウイルス、イヌパルボウイルス、口蹄疫ウイルス、インフルエンザウイルス、肝炎A型、B型、C型ウイルス、HIVウイルス、ヒトパピローマウイルス、エブスタイン・バーウイルス、狂犬病ウイルス、等）、細菌性抗原（例えば、エールリヒア属（Ehrlichia）、ボレリア

50

属 (Borrelia)、アナプラズマ属 (Anaplasma)、炭疽 (Anthrax)、サルモネラ属 (Salmonella)、バシラス属 (Bacillus)、等)、真菌抗原、または寄生虫抗原 (例えば、イヌ糸状虫、ジアルジア・ランブリア (Giardia lamblia)、熱帯熱マラリア原虫 (plasmodium falci parum)、アフリカトリパノソーマ症、トリパノソーマ・ブルセイ (Trypanosoma brucei)、等) であります。他の実施形態では、前記標的分析物は、疾患関連抗原または疾患関連抗原に対する抗体である。疾患関連抗原としては、限定されないが、がん関連抗原もしくはマーカー (例えば、PSA、AFP、CA125、CA15-3、CA19-9、CEA、NY-ESO-1、MUC1、GM3、GD2、ERBB2、等)、心血管疾患に関連する抗原もしくはマーカー (例えば、トロポニン、C反応性タンパク質、脳性ナトリウム利尿ペプチド、CKMB、脂肪酸結合タンパク質、等)、代謝関連抗原もしくはマーカー (例えば、甲状腺刺激ホルモン、チロキシン、レプチン、インスリン)、または自己免疫疾患関連抗原もしくはマーカー (例えば、自己抗体) が挙げられる。特定の実施形態では、前記標的分析物は、炎症性の抗原またはマーカー (例えば、C反応性タンパク質、MRP14、MRP8、25F9、等) である。他の実施形態では、前記標的分析物は、妊娠に関連する抗原またはマーカー (例えば、胎児抗原、ヒト総毛性ゴナドトロピン) である。
10

【0061】

本発明はまた、複合金属ナノ構造体の調製法も提供する。1つの実施形態では、前記方法は、ポリマーと塩化金酸の混合物を含む第一の溶液を調製する工程、銀または銅ナノ構造体を含む第二の溶液を調製する工程、及び該第一の溶液と該第二の溶液を一定期間インキュベートする工程を含み、得られる混合物は、金でコーティングされた銀ナノ構造体または金でコーティングされた銅ナノ構造体を含む。前記得られる混合物は、好ましくは、約515nmから約670nm、または約520nmから約560nmのピーク吸光度を有する。1つの実施形態では、前記得られる混合物は、約530nmのピーク吸光度を有する。
20

【0062】

前記第一の溶液の調製に使用されるポリマーは、ポリビニルピロリドン、ポリビニルアルコール、ポリアクリレート、ポリエチレングリコール、ポリエチレンイミン、ポリアスパラギン酸、ポリグルタミン酸、種々のガム、ゼラチン、またはこれらのいずれかを含む混合ポリマーのうちのいずれかでもよい。1つの特定の実施形態では、前記ポリマーはポリビニルピロリドンである。前記ポリマーの分子量を変えることで、異なる種類のコーティングされたナノ構造体を得ることができる。前記ポリマーの適切な分子量範囲としては、約5,000ダルトンから約150,000ダルトン、約10,000ダルトンから約100,000ダルトン、約20,000ダルトンから約80,000ダルトンが挙げられる。いくつかの実施形態では、前記ポリマーは、50,000ダルトン未満の分子量を有する。他の実施形態では、前記ポリマーは、20,000ダルトン未満の分子量を有する。特定の実施形態では、前記ポリマーは、約10,000ダルトンの分子量を有する。
30

【0063】

前記金のコーティングの特性は、ポリマーと塩化金酸の濃度比を調整することによって制御されうる。例えば、ポリマーと塩化金酸の濃度比は、約100:1から約1:100、約2:1から約5:1、または約1.5:1から約8:1である。いくつかの実施形態では、ポリマーと塩化金酸の濃度比は、1:1である。適切なポリマー濃度としては、限定されないが、水またはエタノール中で、約0.1%から約20%wt / ウェットが挙げられる。適切な塩化金酸の濃度としては、限定されないが、約0.001Mから約1.0M、約0.010Mから約0.500M、及び約0.050Mから約0.100Mが挙げられる。
40

【0064】

塗布効率及び厚さもまた、コーティング溶液 (すなわち、第一の溶液) のpHとハロゲン化物含量に影響されうる。特定の実施形態では、前記溶液のpHは、約3から約14の
50

範囲に維持される。前記溶液の前記ハロゲン化物含量は、いくつかの実施形態では、150 mM未満である。他の実施形態では、前記溶液の前記ハロゲン化物含量は、約0から約50 mMの範囲である。

【0065】

銀及び銅ナノ構造体の溶液の調製法は当業者には公知である。例えば、銀または銅ナノ構造体を含む前記第二の溶液は、各々が参照することによってその全体が本明細書に組み込まれる米国特許公開第2012/0101007号、米国特許公開第2014/0105982号、または米国特許公開第2013/0230717号に記載の方法のいずれかによって調製されうる。1つの実施形態では、銀または銅ナノ構造体を含む前記第二の溶液は、銀源または銅源と還元剤を混合することによって調製される。適切な銀源としては、銀塩、例えば、硝酸銀が挙げられる。適切な銅源としては、硫酸銅(II)、塩化銅(II)、水酸化銅(II)、硝酸銅(II)、酢酸銅(II)及び、トリフルオロ酢酸銅(II)が挙げられる。前記銀源または銅源と反応してナノ構造体を形成できる還元剤としては、グルコース、アスコルビン酸、水素化ホウ素ナトリウム、及びPVP等のポリマーのアルカリ性溶液(例えば、pH7.5を超える)を挙げることができる。特定の実施形態では、前記還元剤はアスコルビン酸である。前記銀ナノ構造体または銅ナノ構造体の所望の形状及び光学スペクトルピークは、当業者に知られる通り、反応物の比や濃度を調整することによって実現されうる。ほんの一例として、高濃度の前記還元剤は、5角両錐形状ナノ構造体をもたらしうるのに対し、低濃度の前記還元剤は、細長いナノワイヤまたはチューブをもたらしうる。前記ナノ構造体の個別の形状に応じて、銀または銅ナノ構造体を含む前記第二の溶液は、約550 nmから約1000 nm、約600 nmから約700 nm、約630 nmから約680 nm、約750 nmから約850 nm、約900 nmから約940 nm、約580 nmから約620 nm、約550 nmから約750 nmのピーク吸光度を有しうる。特定の実施形態では、銀ナノ構造体を含む前記第二の溶液は、約600 nm(すなわち、595 nmから605 nm、端点を含む)のピーク吸光度を有する。いくつかの実施形態では、銅ナノ構造体を含む前記第二の溶液は、約585 nm(すなわち、580 nmから590 nm、端点を含む)のピーク吸光度を有する。いくつかの実施形態では、銅ナノ構造体を含む溶液のピーク吸光度は、同様のサイズ及び形状の銀ナノ構造体を含む溶液のピーク吸光度よりも大きい(すなわち、レッドシフトしている)。

【0066】

いくつかの実施形態では、第一の溶液の第二の溶液とのインキュベーション期間は、少なくとも12時間である。他の実施形態では、第一の溶液の第二の溶液とのインキュベーション期間は、24時間より長く、好ましくは48時間より長く、より好ましくは少なくとも72時間である。前記インキュベーション期間中に前記反応混合物のピーク吸光度の変化をモニタリングし、前記インキュベーション時間を適切に調整することができる。例えば、(例えば、520 nmから550 nmの領域における)短波長側へのピーク吸光度のシフトは、前記金でコーティングされたナノ構造体が安定化されたことを示しうる。特定の実施形態では、得られるナノ構造体の塩化ナトリウム(例えば、0.25~1M)に対する安定性は、前記ナノ構造体の適正なコーティングを示すために用いられる。

【0067】

特定の実施形態では、本発明は、光学濃度が約50/mLより大きいナノ構造体の合成法を提供する。1つの実施形態では、前記方法は、本明細書に記載のポリマーを塩化金酸と混合する工程、該混合物を所定の温度で第一の期間攪拌する工程、該混合物にアスコルビン酸を添加する工程、及び該混合物を第二の期間インキュベートする工程を含む。前記ナノ構造体のサイズ及び形状は、ポリマーと塩化金酸の濃度比並びにインキュベーションの温度及び時間によって決まる。ポリマーと塩化金酸の前記濃度は、上述した範囲でもよい。前記温度は、所望の前記ナノ構造体のサイズ及び形状を基に調整されうるが、約4から約100の範囲でありうる。同様に、前記インキュベーション期間(すなわち、第一の期間)は、前記ナノ構造体の所望の特性に基づいて調整されうるが、約15分から1日に及びうる。

10

20

30

40

50

【0068】

いくつかの実施形態では、前記第一のインキュベーション期間の後、約0.1~1部のアスコルビン酸（例えば、約1~5M）が前記混合物に添加される。前記アスコルビン酸の添加後の第二のインキュベーション期間は約1~約24時間でもよい。理論に拘束されるわけではないが、アスコルビン酸の添加は、生じるナノ構造体量の実質的な増加をもたらす。

【0069】

特定の実施形態では、前記方法は、さらに、前記混合物に、約1~約100部の塩化金（例えば、約0.001Mから1M）、硝酸銀（例えば、約0.001Mから1M）、または他の金属（例えば、貴金属、遷移金属、アルカリ金属、もしくはランタニド元素）を追加またはドープする工程を含む。このドーピング工程は、得られるナノ構造体の共鳴強度をさらに増加させることができる。いくつかの実施形態では、前記塩化金、硝酸銀、または他の金属は、前記反応物にアルコルビン酸が添加される前に前記混合物に添加される。他の実施形態では、前記塩化金、硝酸銀、または他の金属は、アスコルビン酸の添加後に前記混合物に添加される。前記金属とアスコルビン酸の添加順序を調整し、得られるナノ構造体を所望の形状及びサイズに合わせてもよい。

10

【0070】

本発明は、以下、追加の実施例によってさらに説明されるが、これら実施例は限定とは解釈されないものとする。当業者には、本開示に照らし、開示され、本発明の趣旨及び範囲から逸脱することなく同等または同様の結果をさらに得る具体的な実施形態に対して、多くの変更がなされうることが理解されよう。

20

【0071】

本開示を通して参照されるすべての特許文献及び非特許文献は、すべての目的のため、参考することによってその全体が本明細書に組み込まれる。

【実施例】

【0072】

実施例1. 金ナノ粒子とコンジュゲートしている分析物を用いたLSPRシグナルの增幅
金ナノ層フィルムが堆積したプラスチックチップを用意することによって、分析物検出システムを調製した。この金ナノ層フィルムにヒトIgGタンパク質(100μg/ml)を固定化してセンサー表面を作製した。対照のセンサーは、この金ナノ層フィルムにウシ血清アルブミンを固定化することで構成した。これら2種類のセンサー表面を、金ナノ層表面への光の照射及び前記表面からの反射光の収集を行う発光集光ファイバーを備えた機器内に配置した。

30

【0073】

遊離のプロテインA(10μg/ml)を含む試料を、これら2種類のセンサー表面に接触させ、反射スペクトルの変化を測定した。図1に示すように、固定化されたヒトIgGを含むセンサーに遊離のプロテインAを導入しても、ピーク波長のシフトによって測定される金ナノ層フィルムの反射スペクトルにおける有意な目に見える変化は生じていない。

40

【0074】

これらのセンサー表面を1mMの塩酸で処理することによって再生し、これらセンサー表面に、2種の異なる濃度(3.5μg/ml及び0.175μg/ml)で金コロイドナノ粒子(CGC)にコンジュゲートしたプロテインAを含む試料を接触させた。プロテインA(すなわち、標的分析物)が金コロイドナノ粒子にコンジュゲートしていた場合に、金ナノ層表面の反射スペクトルの変化が強められた。具体的には、3.5μg/mlのプロテインA-CGCは、10μg/mlの非標識プロテインAより大きなピーク波長シフトをもたらした。図1、センサー2参照。プラズモン共鳴シグナルの增幅は、ナノグラム濃度のプロテインA-CGCの検出を可能にするのに十分大きかった。図1、センサー3参照。BSAセンサーの反射スペクトルの変化は、センサー表面へのプロテインA分子の非特異的結合を表しており、当該変化は、固定化されたIgG分子にプロテインA分子

50

が特異的に結合することによって誘導される変化よりも有意に小さい。

【0075】

この最初の実験の結果は、標的分析物を金コロイドナノ粒子に結合させることによって、金属ナノ層表面での結合事象によって誘導される局在表面プラズモン共鳴シグナルの変化の大きな増幅が実現されうることを示している。ナノグラム量の分析物が検出される場合に、ほぼ60倍の感度の増加が認められる。

【0076】

実施例2. サンドイッチアッセイにおけるLSPRシグナルの増幅

本実施例は、金ナノ粒子複合体での局在表面プラズモン共鳴シグナルの増幅が、標的分析物が金ナノ粒子に直接コンジュゲートされないサンドイッチアッセイ形式でも実現されうるかどうかを評価するために設計された一連の実験を示す。金ナノ層チップ表面は、実施例1に記載の通りに調製した。このチップ表面に堆積した金ナノ層フィルムに、C反応性タンパク質(CRP)(100μg/ml)に対するC7抗体を固定化して、抗CRPセンサーを作製した。このC7抗体と異なる、CRPの非重複エピトープを認識するC6抗体を、いくつかの実験については金コロイドナノ粒子にコンジュゲートさせ(C6-CGC)、他の実験については非標識の形で使用した。

10

【0077】

最初の一連の実験では、3種の異なる濃度(1ng/ml、10ng/ml、または100ng/ml)のうちの1種のCRPを含む試料を抗CRPセンサーと15~20分間インキュベートし、金ナノ層の反射スペクトルの変化をモニタリングした。図2に示すように、センサー表面上に固定化されたC7抗CRP抗体へのCRPの結合時に、極めて最小限のピークシフトが認められた。その後、センサー表面を非標識C6抗CRP抗体(1μg/ml)に暴露しても、さらなる有意なピークシフトは生じなかった。図2参照。同様に、その後、センサー表面を3μg/mlのC6-CGCに暴露しても、さらなる反射スペクトルの変化は生じなかった。これは、結合したCRP分子はおそらく非標識C6抗体で飽和したことを見ている。図2参照。

20

【0078】

第二の一連の実験では、3種の異なる濃度(1ng/ml、10ng/ml、または100ng/ml)のうちの1種のCRPを含む試料を抗CRPセンサーと15~20分間インキュベートした。その後、2種の異なる濃度(1μg/ml及び3μg/ml)のC6-CGCを導入し、反射スペクトルの変化を測定した(図3及び4A)。これらの結果は、C6抗CRP抗体の金ナノ粒子への結合は、非標識C6抗体と比較してピーク波長シフトを増幅することを見ている。C6-CGCの濃度を増加させると、用量依存的にピーク波長のシフトが生じる。しかしながら、1ng/mlと10ng/mlの間のシグナルの差は小さかった(図4B)。

30

【0079】

第三の一連の実験では、分析物のインキュベーション時間がシグナルの発達に与える影響を評価した。抗CRPセンサーを0ng/ml、10ng/ml、または100ng/mlのCRPを含む試料と接触させ、分析物のインキュベーション時間または洗浄なしで直ちに3μg/mlのC6-CGCを導入した。図5及び6に示す通り、分析物のインキュベーション時間が短いと、ピーク波長シフトが小さくなる。

40

【0080】

これら3組の実験の結果は、LSPRシグナルの増幅は、サンドイッチアッセイ形式において金ナノ粒子コンジュゲートを用いて実現されうるということを示している。非標識抗体と比較して、検出抗体が金コロイド粒子で標識されている場合にシグナルのシフトの増強が認められ、それによって、ナノグラム濃度の分析物の検出が可能になる。

【0081】

実施例3. 金でコーティングされた銀ナノ構造体でのシグナル増幅の増強

結合パートナーを標識するために使用される金属の種類を変えることがLSPRシグナルの増幅に影響したかどうかを調べるために、複合金属ナノ構造体を調製した。具体的には

50

、金でコーティングされた銀ナノ構造体を以下のようにして調製した。室温で激しく攪拌しながら 50.0 mL の脱イオン H₂O、500.0 μL のクエン酸三ナトリウム (75 mM)、200 μL の AgNO₃ (200 mM)、及び 500.0 μL の H₂O₂ (27%) を添加することによって、銀ナノ構造体を調製した。その後、この水溶液に 500 μL アリコートの NaBH₄ (200 mM) を速やかに注入し、淡黄色への変色を引き起した。数分にわたり、暗黄色から赤色、紫色へと変色が続き、最終的に青色で安定した。UV / 可視スペクトルは、当該溶液のピーク吸光度を 604.5 nm に決定した。

【0082】

この青色溶液 5.0 mL を、50 μL のポリビニルピロリドン (PVP MW 10,000 20% エタノール溶液) と 50 μL の HAuCl₄ (20 mM) の混合物に添加することによって、銀ナノ構造体に金コーティングが追加された。72 時間のインキュベーション時間の後、この試料は暗赤色になり、ピーク吸光度 534.5 nm を呈した。これらナノ粒子を、20,000 rpm で 20 分間の遠心分離によって 2 度洗浄し、2.0 mL の脱イオン H₂O に再懸濁した。この溶液は深紅色、吸収ピーク 530.3 nm、及び総吸光度 15.0 OD 単位を呈した。

【0083】

600.0 μL の Au@AgNP と 20.0 μL の C6 抗 CRP 抗体 (8.0 mg / mL) を 880.0 μL の脱イオン H₂O に添加することによって、金でコーティングされた銀ナノ構造体 (Au@AgNP) が C6 抗 CRP 抗体にコンジュゲートされたが、最終的な抗体濃度は 17.8 μg / mL / OD であった。4 で 2 時間のインキュベーション期間の後、この試料を 30,000 g で 20 分間遠心分離し、PBS 中に BSA (10 mg / mL) を含むブロッキング溶液 1.5 mL に再懸濁した。抗 CRP C6 抗体にコンジュゲートしたこの Au@AgNP は、さらなる使用まで 4 で保管した。

【0084】

実施例 2 に記載の通りに抗 CRP 金ナノ層センサーを調製したところ、530 nm にピーク吸収を呈した。固定化抗体なしの金ナノ層を含有する対照センサーも調製した。これらのセンサーは 100 μL の PBS で平衡化した。

【0085】

PBS で 1.5 OD まで希釈された、Au@AgNP とコンジュゲートしている C6 抗 CRP 抗体 100 μL を、1、10、または 500 pg / mL の CRP 抗原と 1 分間予備混合した。その後、当該混合物を、抗 CRP センサー表面または対照センサー表面と接触させ、金ナノ層表面の反射スペクトルの変化を測定した。これらの結果は、CRP - 抗体複合体のセンサー表面への結合によって誘導されたピーク波長シフトが、金でコーティングされた銀ナノ構造体によって増強されたことを示している (図 7)。金でコーティングされた銀ナノ構造体を用いたところ、1 pg / mL の CRP 抗原の検出が可能であったが、これは、金ナノ粒子で得られたものと比較して 1000 倍の感度向上である。抗原が高濃度の場合は結合部位が飽和し、さらなるシフトは生じない。

【0086】

本実験の結果は、複合ナノ構造体 (例えば、金でコーティングされた銀ナノ構造体) を用いて分析物の結合パートナーを標識した場合に、金属ナノ層表面からの LSPR シグナルの顕著に増強された增幅が実現されることを実証している。

【0087】

実施例 4 . 光学濃度が高いナノ構造体の合成

以下の試薬を、示した順番に混合し、最終体積 1 mL の金ナノ粒子を調製した：0.1 mL の 1% PVP - 10 (1% wt / wt)、0.2 mL の 0.1 M 塩化金、0.1 mL の 5 N NaOH、0.4 mL の水、及び 0.2 mL の 1 M アスコルビン酸。反応混合物は、毎添加後に混合した。この反応の大部分は室温で 24 時間後に完結したことが、分光計測によって示された。本プロトコルによって、LSPR ピーク約 535 nm と、対応する光学濃度約 80 / mL を示す球状金ナノ粒子が得られた。さらなる金または銀の積層は、あらかじめ形成された金ナノ粒子に硝酸銀または塩化金を添加して行った。過剰の試薬

10

20

30

40

50

は 30,000 g の 1 ~ 2 時間の遠心分離によって除去した。

【 0088 】

別の反応では、20%のPVP (w t / w t) 0.05 ml を水 0.25 ml、5NのNaOH 0.1 ml、1Mのクエン酸ナトリウム 0.1 ml、0.1Mの塩化金 0.5 ml、及び1Mのアスコルビン酸 1 ml と混合した。本プロトコルは、OD 約 90 / ml で、LSPR ピーク約 525 nm の金コロイド粒子の即時形成をもたらした。最終的な反応混合物中、金 2.5 mM と金 25 mM の間で、最終的な OD と金濃度の間に直線状の対応が認められた。

【 0089 】

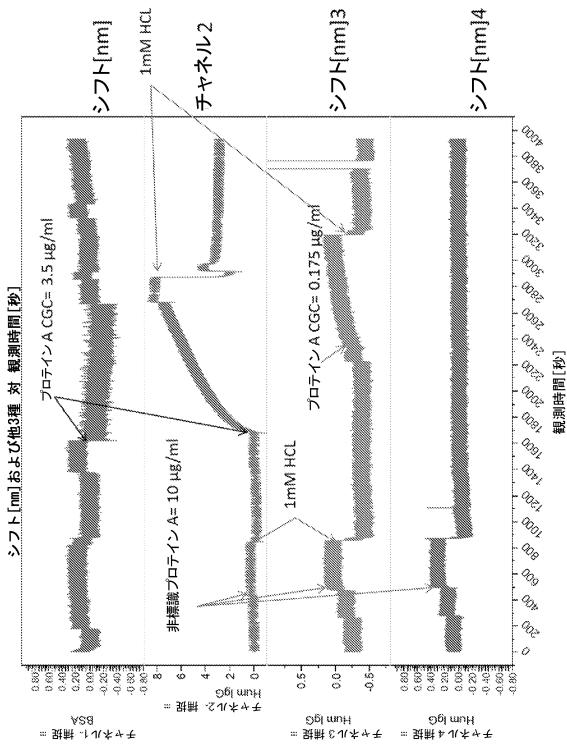
本開示の発明は、特定の方法に限定されず、これらのように記載されたプロトコル及び材料は変えることができる事が理解される。本明細書で使用される用語は、特定の実施形態のみを説明する目的のためであって、添付の特許請求の範囲によってのみ限定される本発明の範囲を限定することを意図しないこともまた理解される。

10

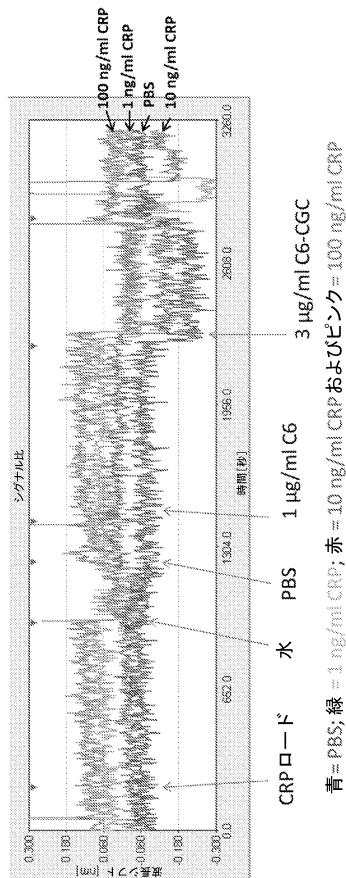
【 0090 】

当業者には、通常に過ぎない実験を用いて、本明細書に記載の本発明の特定の実施形態の多くの等価物を認め、または確認することが可能になろう。かかる等価物は、以下の特許請求の範囲に含まれるように意図される。

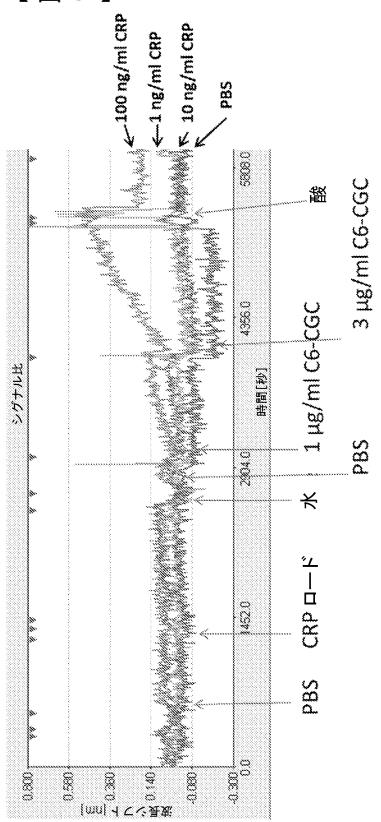
【 図 1 】



【 図 2 】

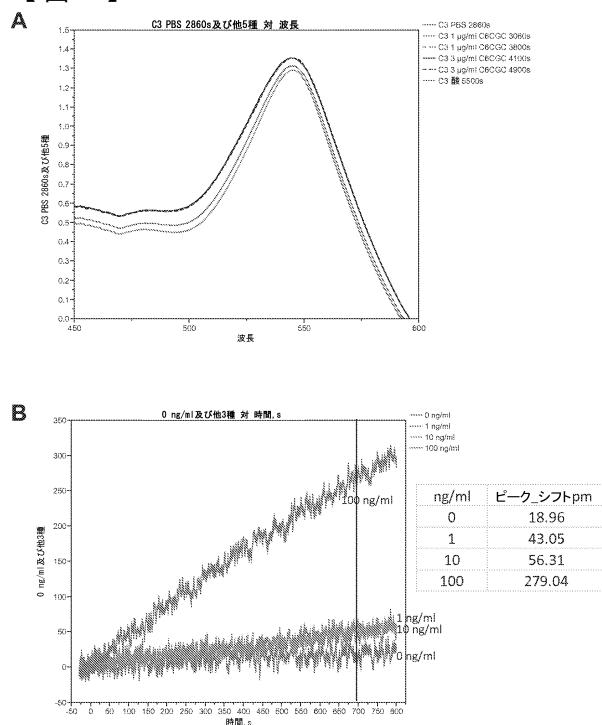


【図3】

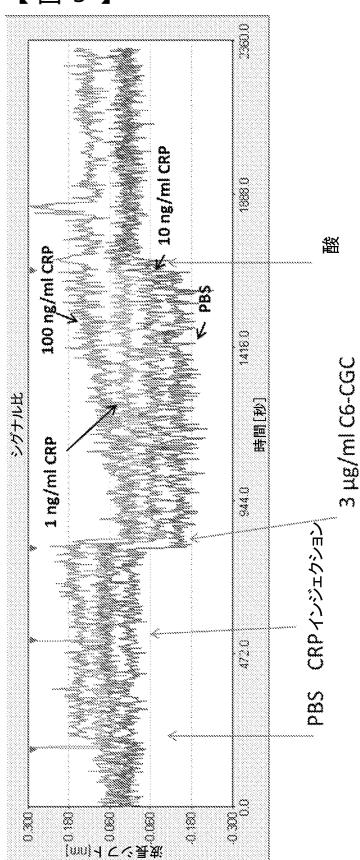


青 = PBS; 緑 = 1 ng/ml CRP; 赤 = 10 ng/ml CRP; 赤 = 100 ng/ml CRP

【図4】

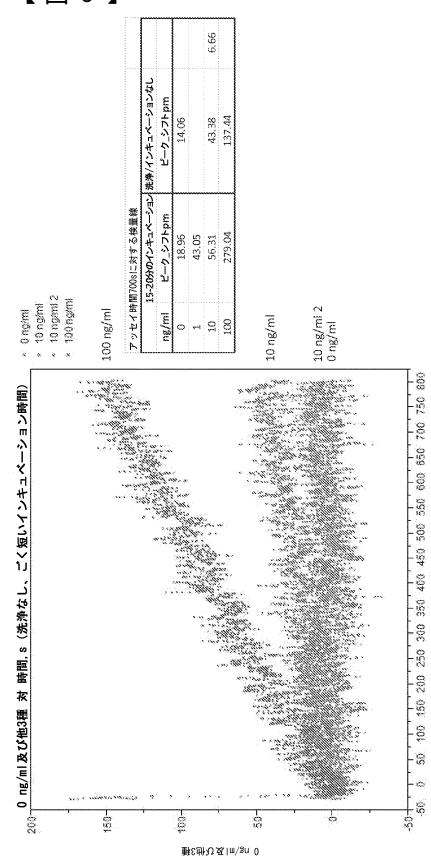


【図5】

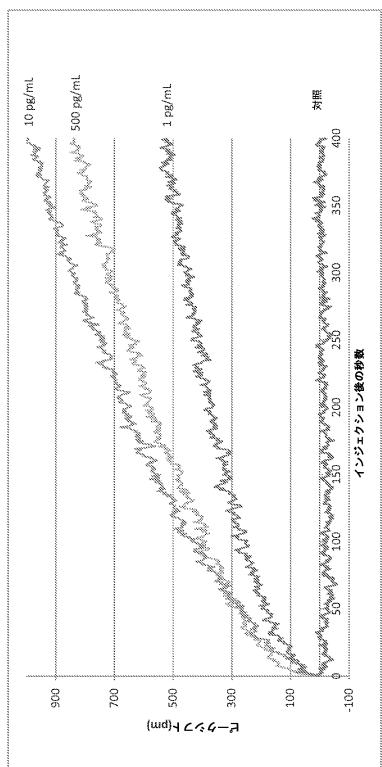


青 = PBS; 緑 = 1 ng/ml CRP; 赤 = 10 ng/ml CRP; 赤 = 100 ng/ml CRP

【図6】



【図7】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	
G 0 1 N 21/41	(2006.01)	G 0 1 N 33/542
		G 0 1 N 21/41 1 0 2

(74)代理人 100142929
弁理士 井上 隆一
 (74)代理人 100148699
弁理士 佐藤 利光
 (74)代理人 100128048
弁理士 新見 浩一
 (74)代理人 100129506
弁理士 小林 智彦
 (74)代理人 100205707
弁理士 小寺 秀紀
 (74)代理人 100114340
弁理士 大関 雅人
 (74)代理人 100121072
弁理士 川本 和弥
 (72)発明者 メーラ ラジェッシュ ケイ。
アメリカ合衆国 94544 カリフォルニア州 ヘーワード サウスウェイック ドライブ 25
410 #109
 (72)発明者 チャン ヴィンセント
アメリカ合衆国 94582 カリフォルニア州 サンラモン アンドレアス ウェー 1207
 (72)発明者 アロン ケニス ピー。
アメリカ合衆国 94110 カリフォルニア州 サンフランシスコ フェア オークス ストリート 201
 (72)発明者 クレル アッシャー^一
アメリカ合衆国 35222 アラバマ州 バーミングハム エセックス ロード 818

審査官 西浦 昌哉

(56)参考文献 特開2010-286331 (JP, A)
 特開2005-195440 (JP, A)
 特表2013-525800 (JP, A)
 国際公開第2011/148870 (WO, A1)
 国際公開第2014/059274 (WO, A1)
 特開2009-150708 (JP, A)
 国際公開第2012/077756 (WO, A1)
 MURSHID, N. et al., Gold plating of silver nanoparticles for superior stability and preserved plasmonic and sensing properties, Chemical Communications, 2013年12月18日, Vol. 49/No.97, pp.11355-11357
 DONG, P. et al., Ultrathin Gold-Shell Coated Silver Nanoparticles onto a Glass Platform for Improvement of Plasmonic Sensors, APPLIED MATERIALS AND INTERFACES, 2013年03月11日, Vol.5/No.7, pp.2392-2399
 CUI, Y. et al., Synthesis of AgcoreAushell Bimetallic Nanoparticles for Immunoassay Based on Surface-Enhanced Raman Spectroscopy, Journal of Physical Chemistry B, 2006年04月02日, Vol.110/No.9, pp.4002-4006

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G 01 N 33 / 48 - 33 / 98