

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4818636号
(P4818636)

(45) 発行日 平成23年11月16日 (2011.11.16)

(24) 登録日 平成23年9月9日 (2011.9.9)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 N 21/65 (2006.01) GO 1 N 21/65
GO 1 N 21/64 (2006.01) GO 1 N 21/64 G

請求項の数 10 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2005-133786 (P2005-133786)	(73) 特許権者	596092698
(22) 出願日	平成17年5月2日 (2005.5.2)		アルカテルルーセント ユーエスエー
(65) 公開番号	特開2005-321392 (P2005-321392A)		インコーポレーテッド
(43) 公開日	平成17年11月17日 (2005.11.17)		アメリカ合衆国 07974 ニュージャ
審査請求日	平成20年5月1日 (2008.5.1)		ーシー, マレイ ヒル, マウンテン アヴ
(31) 優先権主張番号	10/838594		ェニュー 600-700
(32) 優先日	平成16年5月4日 (2004.5.4)	(74) 代理人	100094112
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 岡部 譲
		(74) 代理人	100064447
			弁理士 岡部 正夫
		(74) 代理人	100085176
			弁理士 加藤 伸晃
		(74) 代理人	100106703
			弁理士 産形 和央

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 エバネッセント・フィールド励起を使用したスペクトル分析

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

テーパが施されていないセグメントと先細りのテーパが施されたセグメントとを有する光ファイバと、

前記先細りのテーパが施されたセグメントの側面に向かって開口する光開口を有する集光デバイスと備え、前記先細りのテーパが施されたセグメントの外側でありかつ前記先細りのテーパが施されたセグメントの前記側面に隣接して標本が配置され、そして、前記光ファイバへ光を伝送することで生成されるエバネッセント・フィールドに前記標本が晒されたことに応動して前記標本が放出する光を集光するように、前記光開口が構成され、

前記集光デバイスの前記光開口が、前記光ファイバの端部から放出される光を前記集光デバイスの視野から阻止するように構成されている装置。

【請求項 2】

前記集光デバイスが、前記先細りのテーパが施されたセグメントによって前記集光デバイスに境界が画定される立体角の外側から受け取る光を阻止するように構成されている、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記集光デバイスが集光した光の強度を測定し、かつ、測定した光強度から前記標本の化学種のラマン・スペクトルもしくはルミネセンス・スペクトルを決定するように構成された分光計をさらに備える請求項 1 に記載の装置。

【請求項 4】

10

20

前記光ファイバの前記テーパが施されていないセグメントが単一モード光ファイバとして機能するように構成される、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】

前記先細りのテーパが施されたセグメントの前記側面の一部に配置された内部表面を有する金属層をさらに備え、

前記光ファイバの前記テーパが施されていないセグメントが単一モード光ファイバとして機能するように構成され、そして、

前記光開口が、前記金属層の外部表面に位置する化学種が放出する光を集光するように構成されている、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 6】

前記標本の近傍の前記先細りのテーパが施された部分の直径が、前記単一モード・ファイバが運ぶようになされた光の波長以下である、請求項 5 に記載の装置。

【請求項 7】

標本をスペクトル分析する方法であって、

光ファイバの先細りのテーパが施されたセグメントもしくは部分的に非クラッドのセグメントに光が伝搬し、そして前記先細りのテーパが施されたセグメントもしくは部分的に非クラッドのセグメントの外側で横に隣接して配置された前記標本においてエバネッセント・フィールドを前記光が生成するよう、前記光をクラッド光ファイバに伝送する工程と、

前記光を伝送する工程に応答して、前記標本が集光デバイスの光開口に放出された光を集光する工程とを含み、前記光開口は、前記テーパが施されたセグメントもしくは部分的に非クラッドのセグメントの側面に向かって開口しており、さらに、

前記集光した光の強度を測定する工程を含み、

前記集光デバイスの前記光開口が、前記光ファイバの端部から放出される光を前記集光デバイスの視野から阻止する、方法。

【請求項 8】

前記伝送する工程は前記光ファイバのテーパが施されていないセグメントへ光を伝送するものであり、前記テーパが施されていないセグメントは、光に対して単一モード光ファイバとして動作するよう構成されている、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記集光する工程が、前記先細りのテーパが施されたセグメントもしくは部分的に非クラッドのセグメントによって集光デバイスに境界が画定される立体角の外側から受け取る光を阻止する方法で実施される、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記光ファイバの前記先細りのテーパが施されたセグメントもしくは部分的に非クラッドのセグメントが、光ファイバの先細りのテーパが施されたセグメントであり、前記光ファイバの先細りのテーパが施されたセグメントの一部の上に金属層が位置し、

前記伝送する工程によって、前記エバネッセント・フィールドの少なくとも一部を生成する表面プラズモンが前記先細りのテーパが施されたセグメントに沿って伝搬する、請求項 8 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は一般に分光測定(spectrographic measuring)方法およびシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

標本をスペクトル分析するためには、通常、光を使用して標本を照射し、かつ、照射された標本による光の吸収、散乱あるいは蛍光発光の強度を波長の関数として測定する必要がある。スペクトル分析の感度は、いくつかの照射条件に大きく左右される。

【0003】

10

20

30

40

50

重要な照射条件の1つは、スペクトル分析に使用される光検出器内の背景光の強度に係している。背景光には、照射光および標本によって散乱し、あるいは吸収される光、もしくは標本外部への蛍光発光が含まれている。背景光は、標本による吸収、散乱および/または蛍光を損ねている。

【0004】

もう1つの重要な照射条件は、標本部分における照射光の強度に係している。通常、標本のスペクトル感度は、標本中の照射光の強度が強いほど高くなる。標本中の照射光の強度は、物理的な制約によって制限されており、たとえば波長より短い直径に光ビームを集束させる能力は回折によって制限されている。したがって回折は、集束による標本中の照射強度を強くする能力を制限している。

10

【特許文献1】米国特許出願第10/824,245号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

スペクトルを分析している間、総合感度を高くする照射条件を生成することが望ましいことがしばしばである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

集光デバイス内の背景光の強度を小さくし、かつ、高い強度の励起フィールドを標本に提供する条件の下で様々な実施形態がスペクトル分析を実行することができる。詳細には、光ファイバ中を伝搬する光によって生成されるエバネッセント・フィールド(evanescent field)に標本がさらされ、標本によって光ファイバの外部に放出され、放射され、あるいは散乱する光からスペクトル測値が得られる。光ファイバは、標本のスペクトル感度が背景照射光によって台無しにならないよう、実質的に照射光を閉じ込めている。

20

【0007】

一実施形態は、光ファイバと集光デバイスとを有する装置を特徴としている。光ファイバは、テーパが施されていないセグメントおよび先細りのテーパが施されたセグメントを有している。集光デバイスは、標本を先細りのテーパが施されたセグメントの側面の外側に、側面に隣接して配置することによって標本が放出する光を集光する光開口を有している。光開口は、光ファイバの端部から放出される光を阻止している。

30

【0008】

いくつかの装置は、集光デバイスによって集光された光の強度を測定し、かつ、測定した光強度から標本の二次放出スペクトルを決定する光強度検出器を備えている。

【0009】

他の実施形態は、標本をスペクトル分析するための方法の特徴としている。この方法には、光をクラッド光ファイバ中に伝送する工程が含まれている。光は、光ファイバの先細りのテーパが施されたセグメントもしくは部分的に非クラッドのセグメントへ伝搬し、標本部分にエバネッセント・フィールドを生成する。標本は、先細りのテーパが施されたセグメントもしくは部分的に非クラッドのセグメントの外側に、セグメントに横方向に隣接して配置される。また、上記方法には、標本が光の伝送に応答して光開口中に放出する光を集光する工程が含まれている。光開口は、先細りのテーパが施されたセグメントもしくは部分的に非クラッドのセグメントの側面に向かって開いている。また、上記方法には、集光した光の強度を測定する工程が含まれている。

40

【0010】

また、上記方法のいくつかの実施形態には、前記測定した強度から前記標本の二次放出スペクトル、ルミネセンス・スペクトルもしくはラマン放出スペクトルを決定する工程が含まれている。

【0011】

上記装置および方法のいくつかの実施形態では、光ファイバのテーパが施されていないセグメントは、単一モード光ファイバとして機能している。

50

【 0 0 1 2 】

他の実施形態は、単一モード光ファイバと集光デバイスとを備えた装置を特徴としている。単一モード光ファイバは、光コアおよび光クラッドを有しており、また、テーパが施されていないセグメントおよびチップ・セグメントを有している。チップ・セグメントの内部は、クラッドの一部が除去されており、光コアの側面が露出している。集光デバイスは、標本が放出する光を集光する光開口を有している。標本は、チップ・セグメント内の露出側面に横方向に隣接して配置される。光開口は、光ファイバの端部から放出される光を阻止している。

【 0 0 1 3 】

以下、実例実施形態について、添付の図および詳細な説明を参照してより完全に記述するが、本発明は、様々な形態で具体化することが可能であり、本明細書において説明する実施形態に何ら限定されない。

10

本明細書においては、類似の参照数表示は、類似の機能を備えたフィーチャを表している。

また、本明細書においては、いくつかのフィーチャの寸法は、実施形態をより良好に示すべく拡大もしくは縮小されている。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 4 】

様々なタイプのスペクトル分析において、背景光は、所望の光を台無しにする雑音として作用している。たとえばラマン・スペクトル分析では、背景光の強度は、測定すべきラマン光の強度より数桁大きい。ラマン光は、標本の分子を励起するために使用される照射光の強度よりはるかに微弱な強度を有していることがしばしばであり、そのため、ラマン・スペクトルは、照射光すなわち迷光の波長付近の測定が困難であることがしばしばである。迷照射光を除去することにより、ラマン光に基づくスペクトル分析の感度が著しく向上する。

20

【 0 0 1 5 】

様々な実施形態によれば、標本の照射に使用される波長およびその近辺における迷光の強度が著しく低減される。

【 0 0 1 6 】

図 1 および 2 は、化学種 (chemical species) 8 によって形成された標本をスペクトル分析するためのシステム 10 を示したものである。システム 10 は、照射源 12、光ファイバ 14、集光系 16、光分光計 18 およびデータ・プロセッサ 20 を備えている。

30

【 0 0 1 7 】

照射源 12 は、強度が強く、かつ、単色である光を生成し、集束光学系 13 を介して照射光を光ファイバ 14 の端部に伝送している。例示的照射源は、様々なタイプのレーザ、たとえば半導体ダイオード・レーザを備えている。

【 0 0 1 8 】

光ファイバ 14 は、テーパが施されていないセグメント 22 およびテーパが施されたセグメント 24 を備えている。テーパが施されていないセグメント 22 は、照射源 12 によって生成される波長で標準の単一モード光ファイバとして機能している。テーパが施されたセグメント 24 は、テーパが施されていないセグメント 22 の直径から端面 26 のより小さい直径まで、徐々に先細りのテーパが施されている。本明細書においては、先細りのテーパが施された光ファイバ・セグメント内の光クラッド層および/または光コアの外径は、徐々に小さくなっている。端面 26 には、テーパが施されていないセグメント 22 の直径より著しく小さい直径を持たせることができるが、先細りのテーパが施されたセグメント 24 が、照射源 12 の波長の光を横方向にリークさせることはない。先細りのテーパが施された例示的セグメント 24 は、当分野で知られている技法に従って標準の単一モード光ファイバを引っ張ることによって構築されている。

40

【 0 0 1 9 】

集光デバイス 16 は、先細りのテーパが施されたセグメント 24 の側面 34 に向かって

50

開いた入口開口 17 を有している。入口開口 17 は、側面 34 に横方向に隣接した局部側方領域 28 から放出される光を集光している。標本には、側方領域 28 上に位置する化学種 8 が含まれている。

【0020】

集光デバイス 16 は、光拡大鏡 32、視野開口 30 および分光計 18 を備えている。光拡大鏡 32 は、単一のレンズであるか、あるいは多重レンズ倍率系である。視野開口 30 は、光拡大鏡 32 と分光計 18 の間に配置されている。視野開口は、局部側方領域 28 を通過する光を除く実質的にすべての背景光を阻止している。分光計 18 は、光強度検出器を備えた回折ベースの分光計である。ラマン多段分光計のような分光計は、内部で生成される迷光を制御するため、いくつかのアプリケーションではラマン多段分光計が有利である。例示的光分光計は、米国の NJ 08820-3012、Edison、Park Avenue 3880 在所の Jobin Yvon 社 (www.jobinyvon.com) が製造しているモデル T64000 三段ラマン分光計、モデル U1000 二段分光計およびモデル LabRam HR 800 高解像度ラマン分析器を備えることができる。

10

【0021】

光拡大鏡 32 は、側方領域 28 が概ね拡大鏡の焦点に位置するように配置されている。光拡大鏡 32 は、たとえば照射波長の約 $1/2$ の半径を有する回折限界スポットを分光計 18 の視野絞り 30 上に投影していることが好ましく、それにより領域 28 によって画定される円錐からの光のみが集光デバイス 16 のスリット形もしくは円形の視野開口 30 を通過することができる。照射光は、領域 28 を介して先細りのテーパが施されたセグメント 24 からリークしないため、照射光が標本の化学種 8 による集光デバイス 16 中への微弱な光放出を台無しにすることはない。

20

【0022】

例示的光拡大鏡 32 は、倍率の大きい、たとえば約 10 倍ないし 100 倍の顕微鏡対物レンズを備えている。部分的にはこの高倍率のため、集光デバイス 16 の視野は、微小な側方領域 28 に限定されている。集光デバイス 16 の視野には、光ファイバ 14 の両端は含まれていない。光ファイバの両端は、たとえば視野絞り 30 によって視野から閉め出されている。通常、集光デバイス 16 の視野は、さらに、先細りのテーパが施されたセグメント 24 が集光デバイス 16 に境界を画定する立体角に限定されている。視野がこのように制限されているため、集光デバイス 16 および分光計 18 内の迷光の集光が少なくなっている。さもないと分析中の標本からの光がこのような迷光によって台無しになる。

30

【0023】

また、集光デバイス 16 は、焦点距離が短いこと、および光拡大鏡が領域 28 に近接して配置されていることによって標本の周りの大きな立体角中に放出されるすべての光を集光することができる。たとえば、集光デバイス 16 は、標本が 以上の立体角中に放出するすべての光を集光することができる。

【0024】

分光計 18 は、選択された波長範囲で集光された光の強度を測定している。選択される波長範囲は、照射源 12 の波長に晒すことによって化学種 8 が生成するラマン光もしくは二次放出光の波長に対応している。測定する光は、たとえば化学種 8 を自由伝搬光で照射することによって生成され、あるいは光ファイバ 14 のテーパが施されていない部分 22 が移送するようになされた波長範囲の光のエバネッセント・フィールドに化学種 8 を露出することによって生成される。

40

【0025】

データ・プロセッサ 20 は、測定された光強度の電気データを分光計 18 からケーブル 19 を介して受け取っている。データ・プロセッサ 20 は、受け取ったデータから化学種 8 の二次放出スペクトル、たとえばラマン・スペクトルを生成している。

【0026】

化学種 8 は、側方領域 28 で、光ファイバ 14 中を伝搬する光によって生成されるエバ

50

ネッセント・フィールドに晒される。このエバネッセント・フィールドによって化学種 8 が励起され、光を二次放出する。光ファイバ 14 は、側方領域 28 部分における光ファイバの直径が、テーパが施されていないセグメント 22 に沿った光ファイバの直径より著しく小さい場合であっても、側方領域 28 を介して照射光がリークしないようになされている。このような光のリークがないのは、一部には、照射源 12 の波長で単一モード光ファイバとして機能している、テーパが施されていないセグメント 22 によるものである。テーパが施されていないセグメント 22 内では、伝搬モードは、光ファイバの中心部分で強い強度を有しており、そのため、伝搬モードと先細りのテーパが施されたセグメント 24 内におけるクラッド・モードとの結合、つまり先細りのテーパが施されたセグメント 24 からリークすることになるモードとの結合が極めて微弱な結合になっている。先細りのテーパが施されたセグメント 24 は、このようなリークを回避するだけの十分な大きさの直径を有し、かつ、伝搬モードのエバネッセント・フィールドが側方領域 28 内の外部表面 34 を超えて展開するよう、十分に小さい直径を有している。

10

【0027】

これらの理由により、先細りのテーパが施されたセグメント 24 は、セグメント 24 からの光のリークをもたらすことなく、その側面 34 に隣接する強力なエバネッセント・フィールドを生成している。領域 28 内では、標本の化学種 8 は自由伝搬照射光ではなく「エバネッセント・フィールド」に晒されるため、集光される光には実質的に照射光が存在せず、したがって領域 28 に位置する化学種 8 による超微弱な光放出が照射光によって台無しになることはない。この超微弱な光放出は、その波長が照射光の波長に近い波長であっても台無しになることはない。

20

【0028】

同様に、光ファイバ 14 の不純物が実質的な雑音光を集光デバイス 16 内に生成することはない。このような不純物は、先細りのテーパが施されたセグメント 24 中を伝搬する照射光に応答してラマン光を放出するが、不純物によるこのような放出のほとんどは、先細りのテーパが施されたセグメント 24 内の伝搬が拘束されているため、自由伝搬光として領域 28 を介して放出されることはない。

【0029】

照射波長およびその近辺の波長の迷光がこのように著しく除去されるため、システム 10 は、化学種 8 の微弱な二次放出スペクトル、たとえば微弱なラマン・スペクトルの測定に有利である。

30

【0030】

先細りのテーパが施されたセグメント 24 の例示的实施形態は、側方領域 28 に隣接する微小な直径を有している。先細りのテーパが施されたセグメント 24 の直径は照射光の波長より小さくすることが可能であり、したがって極めて強力なエバネッセント・フィールドが側方領域 28 に生成される。直径をこのように小さくすることにより、先細りのテーパが施されたセグメント 24 に隣接する測方の空間のエバネッセント・フィールドを極めて強力にすることができる。領域 28 では、先細りのテーパが施された例示的セグメント 24 は、照射波長よりはるかに小さくすることも可能な直径を有している。例示的光ファイバ 14 は、標準の単一モード光ファイバを引っ張ることによって形成された、先細りのテーパが施されたセグメント 24 を有している。このような先細りのテーパが施されたチップ・セグメントを備えた光ファイバは、イスラエルの Jerusalem 91487、Malcha、Manhat Technology Park 在所の Nanonics Imaging 社 (www.nanonics.co.il) が、裸 NSOM 光ファイバ・プローブとして市販している。

40

【0031】

図 3A ~ 3D は、図 1 に示すシステム 10 の他の実施形態の光ファイバ 14 に取って代わる光ファイバ・デバイス 14A ~ 14D を示したものである。

【0032】

図 3A ~ 3D を参照すると、光ファイバ・デバイス 14A ~ 14D は、単一モード光フ

50

ファイバ 14 を備えており、金属層 36 A、36 B、36 C、36 D が光ファイバ 14 の先細りのテーパが施されたセグメント 24 の外部表面 34 を覆っている。例示的金属層 36 A ~ 36 D は、厚さが概ね表面プラズモン侵入度に等しいか、あるいはそれより薄い金、白金および / または銀の膜である。

【0033】

光ファイバ・デバイス 14 A ~ 14 D の各々は、テーパが施されていないセグメント 22 が光ファイバ 14 の反対側の端部から受け取る照射に応答して、先細りのテーパが施されたセグメント 24 に沿って表面プラズモンを生成している。表面プラズモンは、金属層 36 A ~ 36 D と光ファイバ 14 の間の側面 34 に沿って伝搬する。表面プラズモンは、金属層 36 A ~ 36 D の外部表面 38 上に位置する標本の化学種 8 を励起するエバネッセント・フィールドに寄与している。エバネッセント・フィールドに対する表面プラズモンの寄与により、標本の化学種 8 による光放出が促進される。

10

【0034】

光ファイバ・デバイス 14 A ~ 14 C は、構造 40 A、40 B、40 C の 1 つまたは複数のアレイを備えている。構造 40 A、40 B、40 C のアレイは、テーパが施されていないセグメント 22 からの照射光を、先細りのテーパが施されたセグメント 24 に沿って伝搬する表面プラズモンに変換するべく、テーパが施されていないセグメント 22 に隣接して配置されている。個々のアレイにおける構造 40 A ~ 40 C は、同様の断面輪郭を有しており、たとえば回折格子を形成するべく、先細りのテーパが施されたセグメント 24 の一部の軸に沿って規則的に分布している。構造 40 A ~ 40 C の例示的形態は、先細りのテーパが施されたセグメント 24 の全円周もしくは円周の一部を取り囲むリングである。

20

【0035】

図 3 A および 3 C を参照すると、光ファイバ・デバイス 14 A、14 C の構造 40 A、40 C は、先細りのテーパが施されたセグメント 24 の外部側面 34 上に配置された誘電体あるいは半導体バンプもしくはディンプルである。半導体バンプは、光ファイバ 14 の石英ガラスもしくは金属層 36 A の金属のいずれかの誘電率とは実質的に異なる誘電率を有している。例示的バンプは、窒化ケイ素でできている。

【0036】

光ファイバ・デバイス 14 A、14 C は、先細りのテーパが施されたチップ・セグメントを備えた単一モード・ファイバ、たとえば上で説明した先端が引っ張られた光ファイバから製造することができる。製造方法の 1 つには、光ファイバ 14 の先細りのテーパが施されたチップ・セグメント 24 上にリソグラフィを使用してマスクを形成する工程、マスクされた、先細りのテーパが施されたチップ・セグメント 24 上に誘電体を蒸着する工程、および残留マスク材料を除去し、構造 40 A、40 C の規則的なアレイの製造を完成するべくプラズマ・エッチングを実施する工程が含まれている。また、この製造方法には、先細りのテーパが施されたセグメント 24 および構造 40 A、40 C の上への金属層 36 A、36 C の蒸着を実施する工程が含まれている。たとえば、参照によりその全体が本明細書に組み込まれている、G i r s h B l u m b e r g による 2004 年 4 月 14 日出願の米国特許出願第 10 / 824,245 号（本明細書においては「'245 特許出願」）に、光ファイバ・デバイス 14 A、14 C の製造に適した例示的プロセスが記載されている。

30

40

【0037】

光ファイバ・デバイス 14 B の場合、構造 40 B は、先細りのテーパが施されたセグメント 24 の外部表面 34 のリング様ピットを充填するべく展開した金属層 36 B のディンプルである。

【0038】

この光ファイバ・デバイス 14 B も、先細りのテーパが施されたチップ・セグメントを有する単一モード・ファイバ、たとえば上で説明した先端が引っ張られた光ファイバから製造することができる。製造には、先細りのテーパが施されたチップ・セグメント 24 上

50

にリソグラフィを使用してマスクを形成する工程、ガラス・エッチングを使用して、先細りのテーパが施されたチップ・セグメント 24 にエッチングを施す工程、および残留マスク材料を除去するべくプラズマ・エッチングを施す工程が含まれている。エッチング工程により、先細りのテーパが施されたチップ・セグメント 24 の外部側面 34 にリング様ピットの規則的なアレイが生成される。また、製造には、リング形ピットを充填し、かつ、金属層 36 B および構造 40 B のアレイを生成するべく、先細りのテーパが施されたセグメント 24 上への金属層 36 B の蒸着を実施する工程が含まれている。たとえば、特許出願に、光ファイバ・デバイス 14 B の製造に適した例示的プロセスが記載されている。

【0039】

光ファイバ・デバイス 14 C は、光ファイバ 14 の端面 26 を覆っている金属共振器を備えている。照射光を反射する金属共振器は、先細りのテーパが施されたセグメント 24 内に定在波フィールド分布を生成することができる。このようなフィールド分布は、金属層 36 C の外部表面 38 上に位置している標本の化学種 8 を励起するためのエバネッセント・フィールドの生成に有利である。

【0040】

図 3 D を参照すると、光ファイバ・デバイス 14 D は、先細りのテーパが施されたセグメント 24 を有しており、その領域 28 部分の直径は、単一モード光ファイバ 14 が移送するようになされた照射光の波長より著しく小さくなっている。先細りのテーパが施されたセグメント 24 のこの領域 28 部分の直径の小ささが、伝搬する光に、構造の周期的なアレイのない表面 34 に沿った表面プラズモンを生成させている。

【0041】

光ファイバ・デバイスは、たとえば標準の化学機械研磨プロセスによって光クラッドが部分的に除去され、あるいは完全に除去されたチップ・セグメントを有してもよい。光クラッドが除去されているため、単一モード光ファイバの光コアの側面は、チップ・セグメントの領域内で横方向に露出する。側面は、光コアの中心軸に対して微小角度をなすように製造される。本発明者らは、このような構造により、側面と光コアの中心軸の間の角度が十分に小さいことを条件として、照射光が自由に放射するのではなく、側方領域にエバネッセント・フィールドが生成されると考えている。また、一般的に分厚いクラッド層を除去することにより、領域内の照射フィールドの強度が実質的に増し、延いてはこのようなフィールドによって外部側面上に位置する標本の化学種中に生成される励起が強化される。

【0042】

図 4 は、図 1 に示すシステム 10 を使用して化学種をスペクトル分析する方法 50 を示したもので、システム 10 には、たとえば図 2 に示す光ファイバ 14 あるいは図 3 A ~ 3 D に示す光ファイバ・デバイス 14 A ~ 14 D のうちのいずれか 1 つが使用されている。

【0043】

方法 50 には、光が光ファイバの先細りのテーパが施されたセグメントもしくは部分的に非クラッドのセグメントへ伝搬するよう、照射光を光クラッド単一モード光ファイバ中に伝送する工程が含まれている（工程 52）。先細りのテーパが施されたセグメントもしくは部分的に非クラッドのセグメント中では、光ファイバの単一モード・セグメントの伝搬モードによって光が励起されており、また、先細りのテーパが施されたセグメントが適切な直径を有しているため、照射光が光ファイバの側面から部分的にリークすることはない。適切に先細りのテーパが施されたセグメントもしくは部分的に非クラッドのセグメントを備えた例示的光ファイバ 14 は、図 2、3 A、3 B、3 C 及び 3 D に示すセグメント 24、25 を備えている。

【0044】

方法 50 には、照射光の伝送にตอบสนองして、光ファイバの先細りのテーパが施されたセグメントもしくは部分的に非クラッドのセグメントに隣接して生成されるエバネッセント電磁界を使用して標本の化学種を励起する工程が含まれている（工程 54）。標本の化学種

10

20

30

40

50

は、光ファイバの先細りのテーパが施されたセグメントもしくは部分的に非クラッドのセグメントの外側に横方向に隣接して配置される。いくつかの実施形態では、先細りのテーパが施されたセグメントもしくは部分的に非クラッドのセグメント中の照射光によってエバネッセント・フィールドが生成されている。他の実施形態では、照射光が、先細りのテーパが施されたセグメントもしくは部分的に非クラッドのセグメントの側面に沿って伝搬する表面プラズモンを生成し、生成された表面プラズモンがエバネッセント・フィールドの少なくとも一部を生成している。

【 0 0 4 5 】

方法 5 0 には、標本の化学種がその励起に応答して放出する光を集光する工程が含まれている（工程 5 6）。集光デバイスは、先細りのテーパが施されたセグメントもしくは部分的に非クラッドのセグメントの側面に向かって開いた入口開口を有している。集光デバイスは、図 2、3 A ~ 3 D に示すデバイス 1 6 のような 1 つまたは複数の光学レンズおよび視野開口を備えることができる。集光デバイスは、先細りのテーパが施されたセグメントもしくは部分的に非クラッドのセグメントによって境界が画定される立体角の外側の光を阻止し、それにより集光デバイス内の背景光を低減している。詳細には、集光デバイスは、光ファイバの端部からの照射光を阻止している。

10

【 0 0 4 6 】

方法 5 0 には、集光した光の強度を測定し、測定した強度から標本の化学種のスペクトルを決定する工程が含まれている（工程 5 8）。例示的スペクトルには、二次放出スペクトルおよびラマン・スペクトルが含まれている。

20

【 0 0 4 7 】

当業者には、本明細書、図面および本出願の特許請求の範囲に照らして、本発明の他の実施形態が明らかであろう。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 8 】

【図 1】標本のスペクトル分析を実行するためのシステムのブロック図である。

【図 2】図 1 に示すシステムの一実施形態に使用される照射光ファイバの先端部分の拡大横断面図である。

【図 3 A】図 1 に示すシステムの他の実施形態のための照射光ファイバ・デバイスの拡大横断面図である。

30

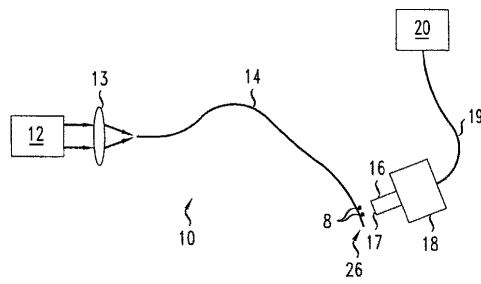
【図 3 B】図 1 に示すシステムの他の実施形態のための照射光ファイバ・デバイスの拡大横断面図である。

【図 3 C】図 1 に示すシステムの他の実施形態のための照射光ファイバ・デバイスの拡大横断面図である。

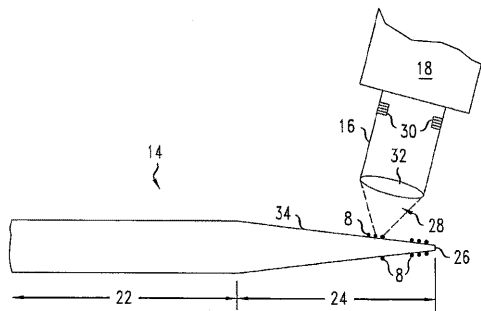
【図 3 D】図 1 に示すシステムの他の実施形態のための照射光ファイバ・デバイスの拡大横断面図である。

【図 4】図 1 に示すシステムを使用して標本をスペクトル分析する方法を示す流れ図である。

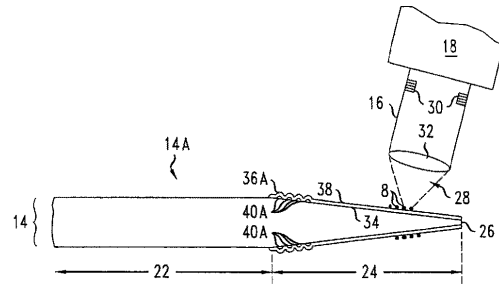
【図 1】



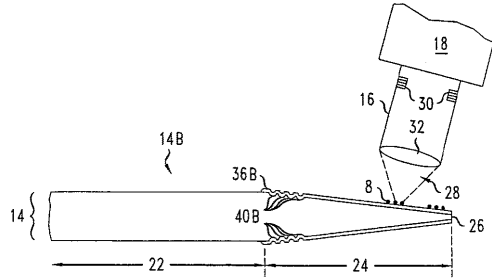
【図 2】



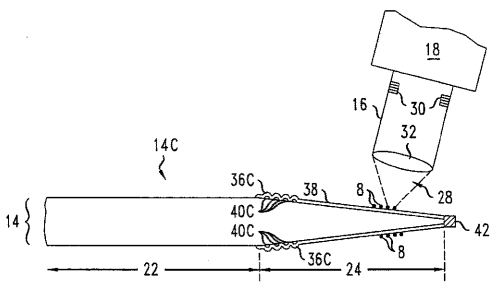
【図 3 A】



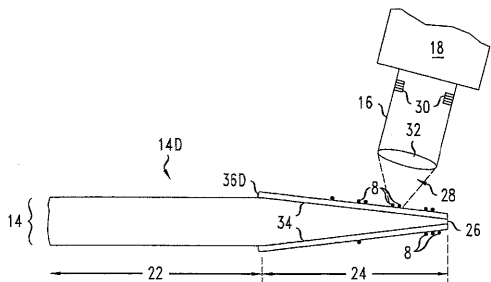
【図 3 B】



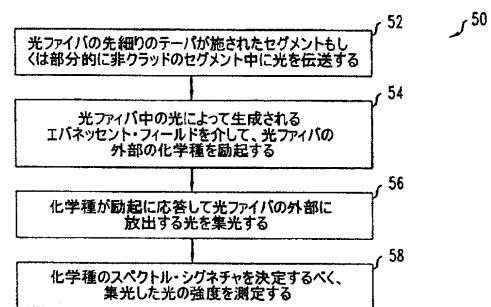
【図 3 C】



【図 3 D】



【図 4】



 フロントページの続き

- (74)代理人 100096943
弁理士 臼井 伸一
- (74)代理人 100101498
弁理士 越智 隆夫
- (74)代理人 100096688
弁理士 本宮 照久
- (74)代理人 100104352
弁理士 朝日 伸光
- (74)代理人 100128657
弁理士 三山 勝巳
- (72)発明者 ガーッシュ ブルンバーク
アメリカ合衆国 07974 ニュージャーシィ, ニュー プロヴィデンス, ローレル ドライヴ
62
- (72)発明者 ブライアン エス・デニス
アメリカ合衆国 07928 ニュージャーシィ, チャサム, リバー ロード 420, アパート
メント ジー2

審査官 田嶋 亮介

- (56)参考文献 特開昭62-080610(JP,A)
特開平09-258108(JP,A)
特開平05-157700(JP,A)
特開2001-194310(JP,A)
特開平07-107346(JP,A)
特開2001-242083(JP,A)
国際公開第03/106942(WO,A1)
特開2002-257732(JP,A)
特開平06-058878(JP,A)
特表2001-504582(JP,A)
特表平10-506712(JP,A)
Tuan Vo-Dinh, Nanobiosensors: Probing the Sanctuary of Individual Living Cells, Journal
of Cellular Biochemistry Supplement, 2002年, No.39, pages154-161

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 21/00 - 21/01
G01N 21/17 - 21/74
G02B 6/12 - 6/14
G02B 6/28; 6/287; 6/293
G11B 9/00 - 9/14