

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5908370号
(P5908370)

(45) 発行日 平成28年4月26日(2016.4.26)

(24) 登録日 平成28年4月1日(2016.4.1)

(51) Int.Cl.

G O 1 N 21/65 (2006.01)

F 1

G O 1 N 21/65

請求項の数 7 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2012-178767 (P2012-178767)
 (22) 出願日 平成24年8月10日 (2012.8.10)
 (65) 公開番号 特開2014-37971 (P2014-37971A)
 (43) 公開日 平成26年2月27日 (2014.2.27)
 審査請求日 平成27年4月6日 (2015.4.6)

(73) 特許権者 000236436
 浜松ホトニクス株式会社
 静岡県浜松市東区市野町 1126番地の1
 (74) 代理人 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹
 (74) 代理人 100113435
 弁理士 黒木 義樹
 (74) 代理人 100124291
 弁理士 石田 悟
 (74) 代理人 100140442
 弁理士 柴山 健一
 (72) 発明者 丸山 芳弘
 静岡県浜松市東区市野町 1126番地の1
 浜松ホトニクス株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】表面増強ラマン散乱ユニット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

主面を有する基板と、
 前記主面上に形成され、複数の凸部を有する微細構造部と、
 前記微細構造部上に形成され、表面増強ラマン散乱を生じさせる光学機能部を構成する導電体層と、を備え、

前記導電体層は、前記主面に沿うように形成されたベース部と、前記凸部に対応する位置において前記ベース部から突出する突出部と、を有し、

前記導電体層には、前記ベース部と前記突出部とによって、前記凸部が突出する方向における間隔が漸減するギャップが形成されており、

前記ギャップは、前記凸部が突出する方向から見た場合に、前記凸部の一部分に沿うように形成されており、その両端部において前記間隔が漸減している、表面増強ラマン散乱ユニット。

【請求項 2】

前記凸部は、前記主面に沿って周期的に配列されている、請求項 1 記載の表面増強ラマン散乱ユニット。

【請求項 3】

前記ギャップは、対応する前記凸部に対して同じ側に配置されている、請求項 1 又は 2 記載の表面増強ラマン散乱ユニット。

【請求項 4】

10

20

前記ギャップの前記間隔は、連続的に漸減している、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項記載の表面増強ラマン散乱ユニット。

【請求項 5】

前記突出部は、前記基板側の端部において括れた形状を有している、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項記載の表面増強ラマン散乱ユニット。

【請求項 6】

前記ベース部の厚さは、前記凸部の高さよりも小さくなっている、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項記載の表面増強ラマン散乱ユニット。

【請求項 7】

前記ベース部の厚さは、前記凸部の高さよりも大きくなっている、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項記載の表面増強ラマン散乱ユニット。 10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、表面増強ラマン散乱ユニットに関する。

【背景技術】

【0002】

従来の表面増強ラマン散乱ユニットとして、表面増強ラマン散乱 (S E R S : Surface Enhanced Raman Scattering) を生じさせる微小金属構造体を備えるものが知られている（例えば、特許文献 1 及び非特許文献 1 参照）。このような表面増強ラマン散乱ユニットにおいては、ラマン分光分析の対象となる試料が微小金属構造体に接触させられ、その状態で当該試料に励起光が照射されると、表面増強ラマン散乱が生じ、例えば 10^8 倍程度にまで増強されたラマン散乱光が放出される。 20

【0003】

ところで、例えば特許文献 2 には、基板の一面、及び当該基板の一面に形成された複数の微小突起部の上面（又は、当該基板の一面に形成された複数の微細孔の底面）のそれぞれに、非接触状態となるように（最短部分の間隔が $5 \text{ nm} \sim 10 \mu\text{m}$ 程度となるように）金属層が形成された微小金属構造体が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0004】

【特許文献 1】特開 2011 - 33518 号公報

【特許文献 2】特開 2009 - 222507 号公報

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】“Q-SERSTM G1 Substrate”、[online]、株式会社オプトサイエンス、[平成 24 年 7 月 19 日検索]、インターネット<URL:http://www.optoscience.com/maker/nanova/pdf/Q-SERS_G1.pdf>

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0006】

上述したように、いわゆるナノギャップが微小金属構造体に形成されていると、励起光が照射された際に局所的な電場の増強が起こり、表面増強ラマン散乱の強度が増大される。

【0007】

そこで、本発明は、好適なナノギャップによって表面増強ラマン散乱の強度を増大させることができる表面増強ラマン散乱ユニットを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の表面増強ラマン散乱ユニットは、主面を有する基板と、主面上に形成され、複

50

数の凸部を有する微細構造部と、微細構造部上に形成され、表面増強ラマン散乱を生じさせる光学機能部を構成する導電体層と、を備え、導電体層は、主面に沿うように形成されたベース部と、凸部に対応する位置においてベース部から突出する突出部と、を有し、導電体層には、ベース部と突出部とによって、凸部が突出する方向における間隔が漸減するギャップが形成されている。

【0009】

この表面増強ラマン散乱ユニットでは、ベース部と突出部とによって、凸部が突出する方向における間隔が漸減するギャップが、光学機能部を構成する導電体層に形成されている。この導電体層に形成されたギャップは、局所的な電場の増強が起こるナノギャップとして好適に機能する。したがって、この表面増強ラマン散乱ユニットによれば、好適なナノギャップによって表面増強ラマン散乱の強度を増大させることができる。10

【0010】

本発明の表面増強ラマン散乱ユニットでは、凸部は、主面に沿って周期的に配列されていてもよい。この構成によれば、表面増強ラマン散乱の強度を増大させることができる。

【0011】

本発明の表面増強ラマン散乱ユニットでは、ギャップは、凸部が突出する方向から見た場合に、凸部の一部分に沿うように形成されており、その両端部において間隔が漸減していてもよい。この構成によれば、ナノギャップとして好適に機能するギャップを増加させることができる。

【0012】

本発明の表面増強ラマン散乱ユニットでは、ギャップは、対応する凸部に対して同じ側に配置されていてもよい。この構成によれば、所定の偏光方向を有する光の強度を選択的に増大させることができる。20

【0013】

本発明の表面増強ラマン散乱ユニットでは、ギャップの間隔は、連続的に漸減していてもよい。この構成によれば、ベース部と突出部とによって形成されたギャップをナノギャップとして確実に機能させることができる。

【0014】

本発明の表面増強ラマン散乱ユニットでは、突出部は、基板側の端部において括れた形状を有していてもよい。この構成によれば、凸部が突出する方向における間隔が漸減するギャップを容易に且つ確実に得ることができる。30

【0015】

本発明の表面増強ラマン散乱ユニットでは、ベース部の厚さは、凸部の高さよりも小さくなっていてもよいし、或いは、ベース部の厚さは、凸部の高さよりも大きくなっていてもよい。いずれの構成によっても、好適なナノギャップによって表面増強ラマン散乱の強度を増大させることができる。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、好適なナノギャップによって表面増強ラマン散乱の強度を増大させることができる表面増強ラマン散乱ユニットを提供することが可能となる。40

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の一実施形態の表面増強ラマン散乱ユニットの平面図である。

【図2】図1のII-II線に沿っての断面図である。

【図3】図1の表面増強ラマン散乱ユニットの光学機能部の縦断面図である。

【図4】図3の光学機能部のピラー及び導電体層の斜視図である。

【図5】図3の光学機能部のピラー及び導電体層の平面図である。

【図6】図1の表面増強ラマン散乱ユニットの製造工程を示す断面図である。

【図7】図1の表面増強ラマン散乱ユニットの製造工程を示す断面図である。

【図8】実施例1の表面増強ラマン散乱ユニットの光学機能部のSEM写真である。

10

20

30

40

50

【図9】実施例1の表面増強ラマン散乱ユニットの蒸着工程を示す構成図である。

【図10】実施例1の表面増強ラマン散乱ユニットについてのストークスシフトとシグナル強度との関係を示すグラフである。

【図11】実施例1の表面増強ラマン散乱ユニットについての基板回転角度とシグナル強度との関係を示すグラフである。

【図12】実施例1の表面増強ラマン散乱ユニットについてのピラーピッチとシグナル強度との関係を示すグラフである。

【図13】図3の光学機能部の変形例のピラー及び導電体層の平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明の好適な実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、各図において同一又は相当部分には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

【0019】

図1及び図2に示されるように、S E R Sユニット（表面増強ラマン散乱ユニット）1は、ハンドリング基板2と、ハンドリング基板2上に取り付けられたS E R S素子（表面増強ラマン散乱素子）3と、を備えている。ハンドリング基板2は、矩形板状のスライドガラス、樹脂基板又はセラミック基板等である。S E R S素子3は、ハンドリング基板2の長手方向における一方の端部に片寄った状態で、ハンドリング基板2の表面2aに配置されている。

【0020】

S E R S素子3は、ハンドリング基板2上に取り付けられた基板4と、基板4上に形成された成形層5と、成形層5上に形成された導電体層6と、を備えている。基板4は、シリコン又はガラス等によって矩形板状に形成されており、数百 μm × 数百 μm ~ 数十 mm × 数十 mm 程度の外形及び100 μm ~ 2 mm 程度の厚さを有している。基板4の裏面4bは、ダイレクトボンディング、半田等の金属を用いた接合、共晶接合、レーザ光の照射等による溶融接合、陽極接合、又は樹脂を用いた接合によって、ハンドリング基板2の表面2aに固定されている。

【0021】

図3に示されるように、成形層5は、微細構造部7と、支持部8と、枠部9と、を含んでいる。微細構造部7は、周期的パターンを有する領域であり、成形層5の中央部において基板4と反対側の表層に形成されている。微細構造部7には、数nm ~ 数百nm程度の直径及び高さを有する円柱状の複数のピラー（凸部）11が、基板4の表面（主面）4aに沿って、数十nm ~ 数百nm程度（好ましくは、250nm ~ 800nm）のピッチで周期的に配列されている。微細構造部7は、基板4の厚さ方向から見た場合に、数mm × 数mm程度の矩形状の外形を有している。支持部8は、微細構造部7を支持する矩形状の領域であり、基板4の表面4aに形成されている。枠部9は、支持部8を包囲する矩形環状の領域であり、基板4の表面4aに形成されている。支持部8及び枠部9は、数十nm ~ 数十 μm 程度の厚さを有している。このような成形層5は、例えば、基板4上に配置された樹脂（アクリル系、フッ素系、エポキシ系、シリコーン系、ウレタン系、P E T、ポリカーボネート、無機有機ハイブリット材料等）又は低融点ガラスをナノインプリント法によって成形することで、一体的に形成される。

【0022】

導電体層6は、微細構造部7から枠部9に渡って形成されている。微細構造部7においては、導電体層6は、基板4と反対側に露出する支持部8の表面8aに達している。導電体層6は、数nm ~ 数 μm 程度の厚さを有している。このような導電体層6は、例えば、ナノインプリント法によって成形された成形層5に金属（A u, A g, A l, C u又はP t等）等の導電体を蒸着することで、形成される。S E R S素子3では、微細構造部7、及び支持部8の表面8aに形成された導電体層6によって、表面増強ラマン散乱を生じさせる光学機能部10が構成されている。

【0023】

10

20

30

40

50

図4及び図5に示されるように、導電体層6は、基板4の表面4aに沿うように形成されたベース部61と、各ピラー11に対応する位置においてベース部61から突出する突出部62と、を有している。ベース部61は、支持部8の表面8aに層状に形成されている。ベース部61の厚さは、数nm～数百nm程度であり、ピラー11の高さよりも小さくなっている。突出部62は、各ピラー11の一部を露出させた状態で各ピラー11を覆うように形成されており、少なくとも基板4側の端部において括れた形状を有している。

【0024】

導電体層6には、ベース部61と突出部62とによって、ピラー11が突出する方向における間隔dが漸減するギャップGが形成されている。ギャップGは、0～数百nm程度の間隔dを有している。ギャップGは、ピラー11が突出する方向から見た場合に、各ピラー11の一部分に沿うように三日月状に形成されており、その両端部G1において間隔dが連続的に漸減している。つまり、ピラー11が突出する方向におけるギャップGの間隔dは、両端に近付くにつれて徐々に小さくなっている。ここで、各ギャップGは、対応するピラー11に対して同じ側に配置されている。

【0025】

なお、ベース部61の厚さは、ピラー11の高さよりも大きくなっていてもよく、突出部62は、各ピラー11の延長線上に形成されていてもよい。この場合にも、導電体層6には、ベース部61と突出部62とによって、ピラー11が突出する方向における間隔dが漸減するギャップGが形成される。

【0026】

以上のように構成されたSERSユニット1は、次のように使用される。まず、ハンドリング基板2の表面2aに、例えばシリコーン等からなる環状のスペーサを、SERS素子3を包囲するように配置する。続いて、ピペット等を用いて、スペーサの内側に溶液の試料（或いは、水又はエタノール等の溶液に粉体の試料を分散させたもの）を滴下し、光学機能部10上に試料を配置する。続いて、溶媒の蒸発を防止し、また、レンズ効果を低減させるために、スペーサ上にカバーガラスを載置し、溶液の試料と密着させる。

【0027】

続いて、SERSユニット1をラマン分光分析装置にセットし、光学機能部10上に配置された試料に、カバーガラスを介して励起光を照射する。これにより、光学機能部10と試料との界面で表面増強ラマン散乱が生じ、試料由来のラマン散乱光が増強されて放出される。よって、ラマン分光分析装置では、高精度なラマン分光分析が可能となる。

【0028】

なお、光学機能部10上への試料の配置の方法には、上述した方法の他に、次のような方法がある。例えば、ハンドリング基板2を把持して、溶液である試料（或いは、水又はエタノール等の溶液に粉体の試料を分散させたもの）に対してSERS素子3を浸漬させて引き上げ、ブローして試料を乾燥させてもよい。また、溶液である試料（或いは、水又はエタノール等の溶液に粉体の試料を分散させたもの）を光学機能部10上に微量滴下し、試料を自然乾燥させてもよい。また、粉体である試料をそのまま光学機能部10上に分散させてもよい。

【0029】

次に、SERSユニット1の製造方法の一例について説明する。まず、図6の(a)に示されるように、マスタモールドMM及びフィルム基材Fを用意する。マスタモールドMMは、微細構造部7に対応する微細構造部M7と、微細構造部M7を支持する支持部M8と、を含んでいる。支持部M8上には、複数の微細構造部M7がマトリックス状に配列されている。続いて、図6の(b)に示されるように、マスタモールドMMにフィルム基材Fを押し当て、その状態で加圧及び加熱することにより、複数の微細構造部M7のパターンをフィルム基材Fに転写する。続いて、図6の(c)に示されるように、フィルム基材FをマスタモールドMMから離型することにより、複数の微細構造部M7のパターンが転写されたレプリカモールド(レプリカフィルム)RMを得る。

【0030】

10

20

30

40

50

続いて、図7の(a)に示されるように、基板4となるシリコンウェハ40を用意し、その表面40aにUV硬化性の樹脂を塗布することにより、成形層5となるナノインプリント層50をシリコンウェハ40上に形成する。続いて、図7の(b)に示されるように、ナノインプリント層50にレプリカモールドRMを押し当て、その状態でUVを照射してナノインプリント層50を硬化させることにより、レプリカモールドRMのパターンをナノインプリント層50に転写する。続いて、図7の(c)に示されるように、レプリカモールドRMをナノインプリント層50から離型することにより、複数の微細構造部7が形成されたシリコンウェハ40を得る。

【0031】

続いて、蒸着法によってAu、Ag等の金属を成形層5上に成膜し、導電体層6を形成する。続いて、微細構造部7ごとに(換言すれば、光学機能部10ごとに)シリコンウェハ40を切断することより、複数のSERS素子3を得る。続いて、SERS素子3をハンドリング基板2上に取り付けて、SERSユニット1を得る。

【0032】

なお、上述したナノインプリント法に代えて、2次元形状のパターンを有するマスクをホトエッチや電子ビーム描写等によって形成し、当該マスクを用いたエッチングによって、基板4上に微細構造部7を形成してもよい。いずれの場合においても、蒸着法によって微細構造部7に導電体層6を形成することで、導電体層6にナノオーダーのギャップGを単純な工程で且つ再現性良く形成することができ、SERSユニット1の大量生産が可能となる。

【0033】

以上説明したように、SERSユニット1では、ベース部61と突出部62とによって、ピラー11が突出する方向における間隔dが漸減するギャップGが、光学機能部10を構成する導電体層6に形成されている。この導電体層6に形成されたギャップGは、局所的な電場の増強が起こるナノギャップとして好適に機能する。したがって、SERSユニット1によれば、好適なナノギャップによって表面増強ラマン散乱の強度を増大させることができる。

【0034】

また、複数のピラー11が基板4の表面4aに沿って周期的に配列されているので、表面増強ラマン散乱の強度を増大させることができる。

【0035】

また、ギャップGが、ピラー11が突出する方向から見た場合に、ピラー11の一部分に沿うように形成されており、その両端部G1において間隔dが漸減しているので、ナノギャップとして好適に機能するギャップGを増加させることができる。

【0036】

また、各ギャップGが、対応するピラー11に対して同じ側に配置されているため、所定の偏光方向を有する光の強度を選択的に増大させることができる。

【0037】

また、ギャップGの間隔dが連続的に漸減していることにより、ギャップGをナノギャップとして確実に機能させることができる。

【0038】

また、突出部62が、基板4側の端部において括れた形状を有しているので、ピラー11が突出する方向における間隔dが漸減するギャップGを容易に且つ確実に得ることができる。

【0039】

次に、図4及び図5に示されたピラー11及び導電体層6を有するSERSユニット1の実施例について説明する。図8は、実施例1のSERSユニットの光学機能部のSEM写真である。なお、図8は、基板の表面に垂直な方向に対して30°傾いた方向から光学機能部を撮影したSEM写真である。

【0040】

10

20

30

40

50

実施例1のS E R Sユニットを次のように作成した。まず、ホール径120nm及びホール深さ200nmのホールがホール間隔(隣り合うホールの中心線間の距離)360nmで正方格子状に配列されたモールドを用いて、ガラスからなる基板上の樹脂をナノインプリント法で成形し、微細構造部を作成した。作成した微細構造部においては、ピラーの直径は120nm、高さは180nm、ピラーピッチ(隣り合うピラーの中心線間の距離)は360nmとなった。

【0041】

続いて、作成した微細構造部上にバッファ層としてTiを抵抗加熱真空蒸着法で成膜した。バッファ層の成膜条件は、「膜厚：2nm、蒸着レート：0.02nm/s、成膜時の真空度： 2×10^{-5} torr、基板傾き角：20°、基板回転：なし、基板温度制御：なし」とした。続いて、バッファ層上に導電体層としてAuを抵抗加熱真空蒸着法で成膜し、実施例1のS E R Sユニットを得た。導電体層の成膜条件は、「膜厚：50nm、蒸着レート：0.02nm/s、成膜時の真空度： 1.5×10^{-5} torr、基板傾き角：20°、基板回転：なし、基板温度制御：なし」とした。

【0042】

ここで、基板傾き角： θ とは、図9の(a),(b)に示されるように、蒸着源100の蒸着方向D1と基板4の表面4aに垂直な方向D2とが角度 θ を成すように、蒸着源100に対して基板4を配置することを意味する。図8の光学機能部のSEM写真では、図8の右手前側から蒸着が行われたため、ピラーに対して左側にギャップが開いている。

【0043】

図10は、実施例1のS E R Sユニットについてのストークスシフトとシグナル強度との関係を示すグラフであり、図11は、実施例1のS E R Sユニットについての基板回転角度とシグナル強度との関係を示すグラフである。ここでは、実施例1のS E R SユニットのS E R S素子をメルカプト安息香酸エタノール溶液(1mM)に2時間浸漬した後、エタノールでリーンスし、窒素ガスで乾燥させて、当該S E R S素子の光学機能部上に試料を配置した。その試料について、基板の表面に垂直な中心線回りに基板を45°ずつ回転させながら各基板回転角度(すなわち、0°, 45°, 90°, 135°, 180°)において、波長785nmの励起光でラマン分光測定を行った。

【0044】

その結果、図10に示されるように、基板回転角度45°, 135°のいずれにおいても、メルカプト安息香酸のS E R Sスペクトルが得られた。また、図11は、図10の場合におけるストークスシフト 1072cm^{-1} のピーク強度についての結果であるが、基板回転角度に応じてシグナル強度が変化していることから、各ピラー11においてギャップが同じ側に配置されていると、偏光方向の依存性が生じることが分かる。なお、基板回転角度45°の場合に、励起光の偏光方向と、ピラーに対するギャップの配置方向とが一致している。

【0045】

図12は、実施例1の表面増強ラマン散乱ユニットについてのピラーピッチとシグナル強度との関係を示すグラフである。このグラフは、図10の場合におけるストークスシフト 1072cm^{-1} のピーク強度についての結果である。図12に示されるように、基板回転角度45°, 135°のいずれにおいても、表面増強ラマン散乱の強度はピラーピッチ(隣り合うピラーの中心線間の距離)に依存しており、表面増強ラマン散乱の強度の増大を図る上では、ピラーピッチは250nm~800nmであることが好ましいことが分かる。ピラーの直径が異なっても、概ねこのプロットに乗る。なお、図12のグラフ中の「duty」とは、微細構造部のピラー幅とピラー間のスペースとの比を意味する。

【0046】

以上、本発明の一実施形態について説明したが、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。例えば、ピラー11の配列構造は、2次元の配列に限定されず、1次元の配列であってもよいし、正方格子状の配列に限定されず、三角格子状の配列であってもよい。また、ピラー11の断面形状は、円形に限定されず、橢円、或いは三角形や四角形等

10

20

30

40

50

の多角形であってもよい。一例として、図13に示されるように、ピラー11の断面形状が四角形であっても、ピラー11の断面形状が円形である場合と同様に、ベース部61と突出部62とによって、ピラー11が突出する方向において間隔dが漸減するギャップGが導電体層6に形成される。この場合にも、ピラー11が突出する方向から見た場合に、ギャップGは、ピラー11の一部分に沿うように形成されており、その両端部G1において間隔dが連続的に漸減している。以上のように、SERSユニット1の各構成の材料及び形状には、上述した材料及び形状に限らず、様々な材料及び形状を適用することができる。

【0047】

ここで、隣り合う一対の凸部（ピラー11に対応するもの）に着目した場合に、一方の凸部の外面に形成された導電体層と、他方の凸部の外面に形成された導電体層との間の距離よりも、ベース部と突出部とによって形成されたギャップの幅は小さくなっている。これにより、微細構造部の構造のみでは得られないような狭いギャップ（ナノギャップとして好適に機能するギャップ）を容易に且つ安定的に形成することができる。10

【0048】

また、微細構造部7は、上記実施形態のように、例えば支持部8を介して、基板4の表面4a上に間接的に形成されていてもよいし、基板4の表面4a上に直接的に形成されていてもよい。また、導電体層6は、上記実施例のように、微細構造部7に対する金属の密着性を向上させるためのバッファ金属（Ti、Cr等）層等、何らかの層を介して、微細構造部7上に間接的に形成されていてもよいし、微細構造部7上に直接的に形成されていてもよい。20

【0049】

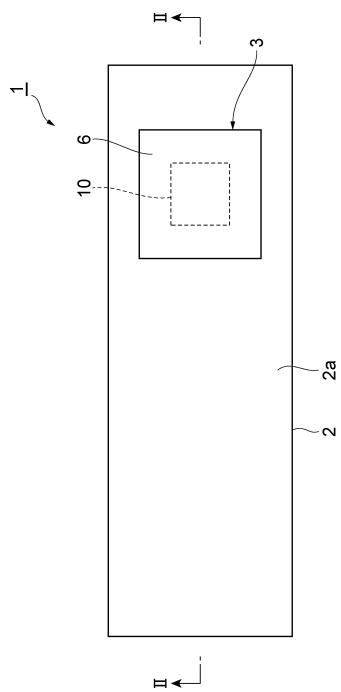
また、ベース部61の厚さは、上記実施形態のように、ピラー11の高さよりも小さくなっていてもよいし、或いは、ベース部61の厚さは、ピラー11の高さよりも大きくなっていてもよい。いずれの構成によっても、好適なナノギャップによって表面増強ラマン散乱の強度を増大させることができる。

【符号の説明】

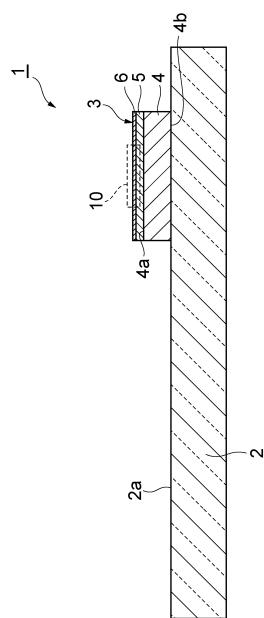
【0050】

1...SERSユニット（表面増強ラマン散乱ユニット）、4...基板、4a...表面（正面）、6...導電体層、7...微細構造部、10...光学機能部、11...ピラー（凸部）、61...ベース部、62...突出部、G...ギャップ。30

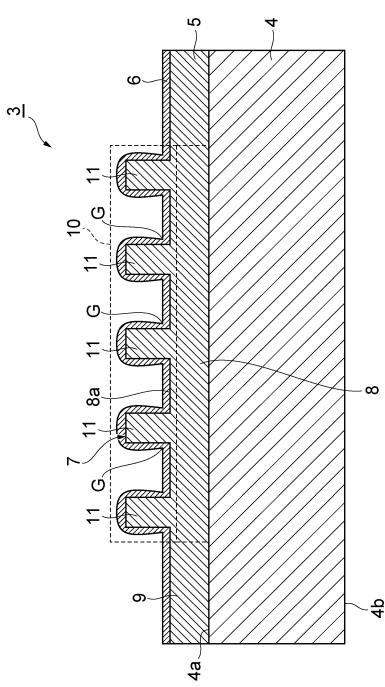
【図1】



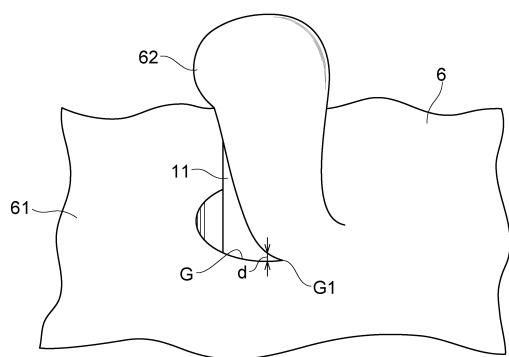
【 四 2 】



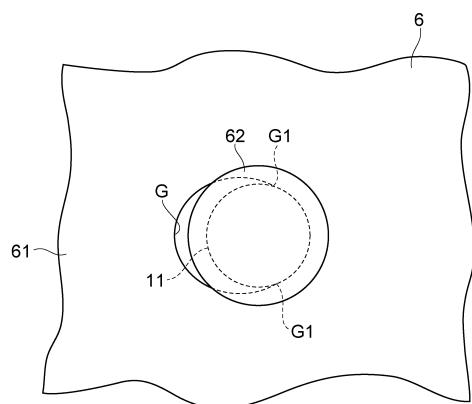
【図3】



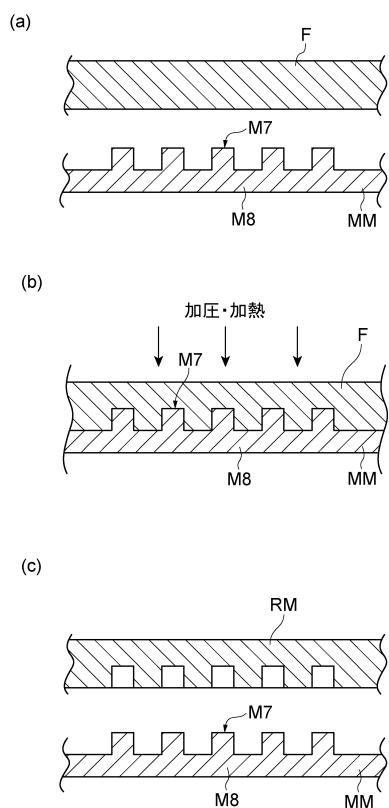
【 四 4 】



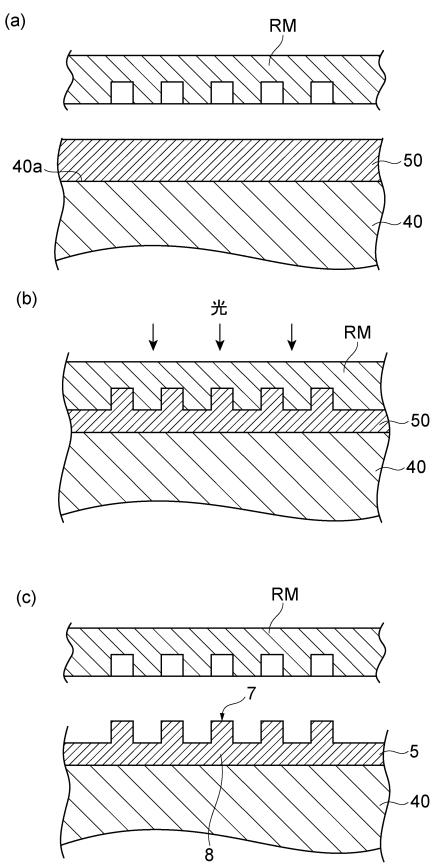
【図5】



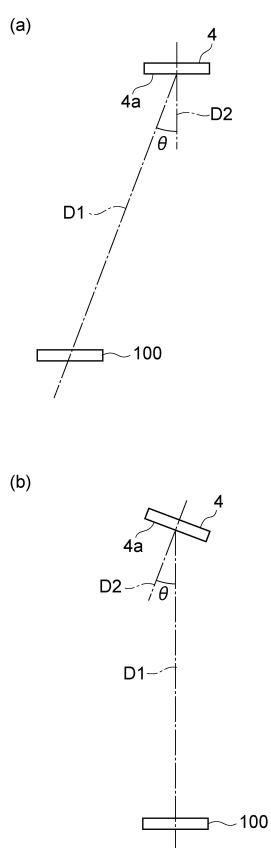
【図6】



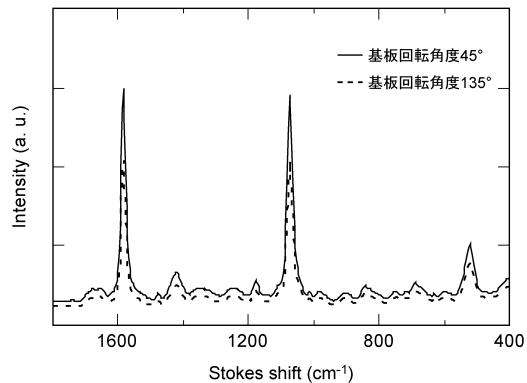
【図7】



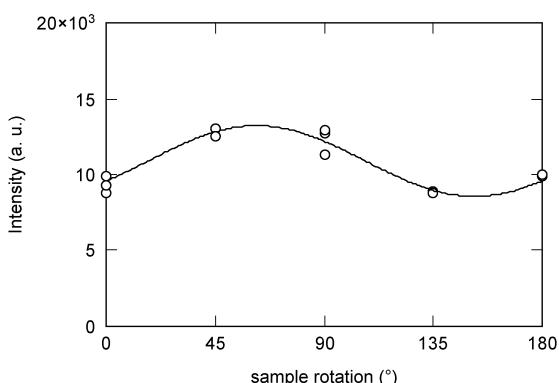
【図9】



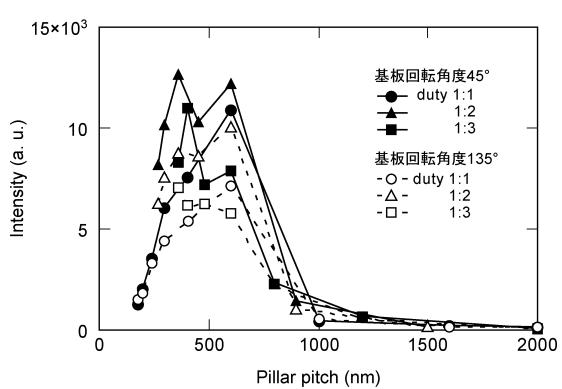
【図10】



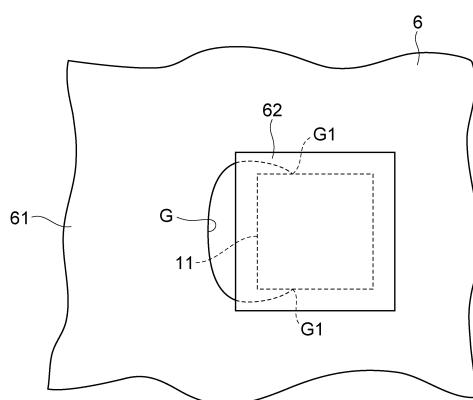
【図11】



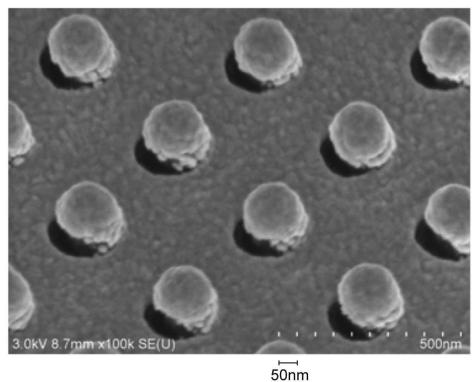
【図12】



【図13】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 柴山 勝己
静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

(72)発明者 伊藤 将師
静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

(72)発明者 廣畠 徹
静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

(72)発明者 亀井 宏記
静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

審査官 横尾 雅一

(56)参考文献 米国特許出願公開第2011/0166045(US, A1)
米国特許出願公開第2011/0116089(US, A1)
米国特許出願公開第2008/0094621(US, A1)
特表2008-519254(JP, A)
特開2009-236830(JP, A)
特開2011-107032(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 21/00 - 21/74
B82Y 15/00
B82Y 40/00
JSTPlus / JMEDPlus / JST7580 (JDreamIII)