

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-77652
(P2015-77652A)

(43) 公開日 平成27年4月23日(2015.4.23)

(51) Int.Cl.

B82Y 40/00 (2011.01)
G01N 27/00 (2006.01)
B82Y 15/00 (2011.01)

F 1

B82Y 40/00
G01N 27/00
B82Y 15/00

テーマコード(参考)

2G06O

Z

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号

特願2013-215828 (P2013-215828)

(22) 出願日

平成25年10月16日 (2013.10.16)

(71) 出願人 513217540

クオンタムバイオシステムズ株式会社
大阪府大阪市淀川区西中島7丁目14番3
5号

(74) 代理人 100137800

弁理士 吉田 正義

(74) 代理人 100148253

弁理士 今枝 弘充

(74) 代理人 100148079

弁理士 梅村 裕明

(72) 発明者 池田 修二

東京都小金井市貫井北町3-30-8

F ターム(参考) 2G06O AA07 AA15 AD06 AF01 AG06
AG11 JA07 JA10

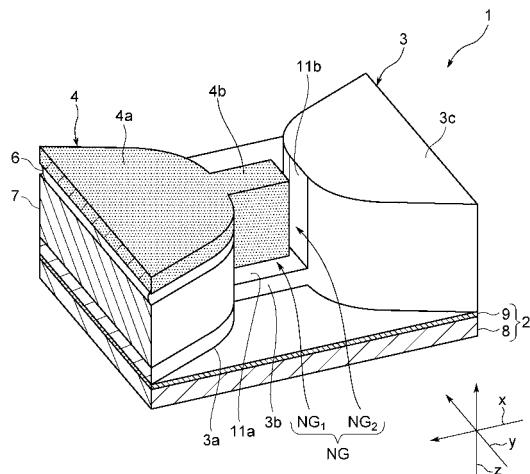
(54) 【発明の名称】ナノギャップ電極およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】第1電極部および第2電極部間のナノギャップの幅を小さくしても、測定対象を含んだ流体が容易にナノギャップを通過できるナノギャップ電極およびその製造方法を提案する。

【解決手段】ナノギャップ電極1では、第1電極部3および第2電極部4間にナノギャップNGの幅W1を小さく選定しても、基板2の面方向に延びる第1ギャップ領域NG₁だけでなく、基板2に対して直立に延び、末端が第1ギャップ領域NG₁と連通した第2ギャップ領域NG₂にも溶液が通過し得、その分、測定対象たる一本鎖DNAを含んだ溶液が容易にナノギャップNGを通過し得る。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

基板上に形成された第1電極部と、
該第1電極部に絶縁層を介して形成されたギャップ形成層上、または前記第1電極部に形成されたギャップ形成層上のいずれかに形成され、前記第1電極部に対して対向配置された第2電極部とを備え、

前記第1電極部および前記第2電極部間に、

前記基板の面方向に延びる第1ギャップ領域と、前記基板に対して直立に延び、末端が前記第1ギャップ領域と連通した第2ギャップ領域とからなるナノギャップが形成されている

10

ことを特徴とするナノギャップ電極。

【請求項 2】

前記第1電極部は、
薄膜部と、
前記薄膜部よりも膜厚が厚い厚膜部と、
前記薄膜部および前記厚膜部間に形成され、前記厚膜部よりも膜厚の薄い第1電極側ギャップ形成部とを有し、

前記第2電極部は、

前記薄膜部上に前記絶縁層および前記ギャップ形成層を介して設けられるか、または前記薄膜部上に前記ギャップ形成層のみを介して設けられる基体部と、

該基体部から先端が前記厚膜部に向けて延び、前記第1電極側ギャップ形成部との間に前記第1ギャップ領域を形成し、かつ前記厚膜部との間に前記第2ギャップ領域を形成する第2電極側ギャップ形成部とを有する

20

ことを特徴とする請求項 1 に記載のナノギャップ電極。

【請求項 3】

基板上に形成された第1電極部と、
前記基板上のギャップ形成層に形成され、前記第1電極部に対して対向配置された第2電極部とを備え、

前記第1電極部および前記第2電極部間に、

前記基板の面方向に延びる第1ギャップ領域と、前記基板に対して直立に延び、末端が前記第1ギャップ領域と連通した第2ギャップ領域とからなるナノギャップが形成されている

30

ことを特徴とするナノギャップ電極。

【請求項 4】

前記第2電極部は、
前記基板上に前記ギャップ形成層を介して設けられた基体部と、
前記第1電極部との間に前記第1ギャップ領域および前記第2ギャップ領域を設けて該第1電極部上に乗り上げるように形成された第2電極側ギャップ形成部とを有する

ことを特徴とする請求項 3 に記載のナノギャップ電極。

【請求項 5】

前記第1ギャップ領域の幅と、前記第2ギャップ領域の幅とが、前記ギャップ形成層の膜厚と同じ寸法に形成されている

ことを特徴とする請求項 1 ~ 4 のうちいずれか 1 項記載のナノギャップ電極。

【請求項 6】

段差を有した第1電極形成部を基板上に形成した後、前記第1電極形成部の段差に沿ってギャップ形成層を形成することで、前記基板の面方向に延び、かつ該基板に対して直立に延びた前記ギャップ形成層を形成する第1工程と、

前記ギャップ形成層上に第2電極形成部を形成した後、前記第1電極形成部の表面、前記基板に対して直立に延びた前記ギャップ形成層の表面、および前記第2電極形成部の表面を外部に露出させる第2工程と、

40

50

マスクを用いて前記第2電極形成部、前記ギャップ形成層、および前記第1電極形成部をパターニングすることにより、所定形状の第1電極部および第2電極部を形成し、前記基板の面方向に延び、かつ前記基板に対して直立に延びたギャップ形成層を、前記第1電極部および前記第2電極部間に形成する第3工程と、

前記ギャップ形成層を除去することで、前記基板の面方向に延びる第1ギャップ領域と、該基板に対して直立に延び、末端が前記第1ギャップ領域と連通した第2ギャップ領域とからなるナノギャップを、前記第1電極部および前記第2電極部間に形成する第4工程とを含むことを特徴とするナノギャップ電極の製造方法。

【請求項 7】

前記第1工程は、前記段差を有した第1電極形成部上の膜厚が薄い領域に絶縁層を形成した後、前記第1電極形成部の段差と前記絶縁層に沿って前記ギャップ形成層を形成し、

前記第3工程は、前記マスクを用いて前記絶縁層もパターニングし、前記第1電極部の膜厚が薄い領域に前記絶縁層を設けること

を特徴とする請求項 6 に記載のナノギャップ電極の製造方法。

【請求項 8】

基板上的一部に第1電極形成部を形成した後、前記第1電極形成部上および前記基板上にギャップ形成層を形成することで、前記基板の面方向に延び、かつ該基板に対して直立に延びた前記ギャップ形成層を形成する第1工程と、

前記ギャップ形成層上に第2電極形成部を形成する第2工程と、

マスクを用いて前記第2電極形成部、前記ギャップ形成層、および前記第1電極形成部をパターニングすることにより、所定形状の第1電極部および第2電極部を形成し、前記基板の面方向に延び、かつ前記基板に対して直立に延びたギャップ形成層を、前記第1電極部および前記第2電極部間に形成する第3工程と、

前記ギャップ形成層を除去することで、前記基板の面方向に延びる第1ギャップ領域と、該基板に対して直立に延び、末端が前記第1ギャップ領域と連通した第2ギャップ領域とからなるナノギャップを、前記第1電極部および前記第2電極部間に形成する第4工程とを含むことを特徴とするナノギャップ電極の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はナノギャップ電極およびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、対向した電極部間にナノスケールの間隙が形成された電極構造（以下、ナノギャップ電極と呼ぶ）が注目されており、ナノギャップ電極を用いた電子デバイスや、バイオデバイス等について研究が盛んに行われている。例えば、バイオデバイスの分野では、ナノギャップ電極を利用し、DNAの塩基配列を解析する分析装置が考えられている（例えば、特許文献 1 参照）。

【0003】

実際上、この分析装置では、ナノギャップ電極の電極部間にあるナノスケールでなる中空状の間隙（以下、ナノギャップと呼ぶ）に一本鎖 DNA を通過させ、当該一本鎖 DNA の塩基が電極部間のナノギャップを通過したときに電極部間を流れる電流を計測してゆき、当該電流値を基に一本鎖 DNA を構成する塩基を同定し得るようになされている。

【0004】

このような分析装置では、ナノギャップ電極の電極部間の距離が大きくなると、検出できる電流値が小さくなってしまい、高感度で試料を分析することが困難になるため、電極部間のナノギャップを小さく形成し得ることが望まれている。そのため、電極部間の距離が小さなナノギャップ電極の開発が進められている（例えば、特許文献 2 参照）。

10

20

30

40

50

【0005】

特許文献2では、基板上に金属層/SAM(Self Assembled Monolayer)またはAl₂O₃層/金属層の3層構造を作製し、その後、SAMまたはAl₂O₃層を除去することで垂直ナノギャップを製造する方法が開示されている。また、特許文献2では、一方の電極部として基板上に設けた第1の金属層の側面にSAMを形成し、当該SAMと接觸するように他方の電極部となる第2の金属層を基板上に形成した後、当該SAMを除去することにより第1の金属層と第2の金属層との間にプラナーナノギャップを作製する方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【0006】

【特許文献1】国際公開第2011/108540号

【特許文献2】特開2006-234799号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、かかる構成でなるナノギャップ電極では、電極部間の距離を小さく形成し得るものとの、その一方で、電極部間の距離を小さくした分だけ、測定対象となる一本鎖DNAを含んだ溶液がナノギャップを通過し難くなるという問題が生じる。

【0008】

20

そこで、本発明は以上の点を考慮してなされたもので、第1電極部および第2電極部間のナノギャップの幅を小さくしても、測定対象を含んだ流体が容易にナノギャップを通過できるナノギャップ電極およびその製造方法を提案することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

30

かかる課題を解決するため本発明の請求項1に示すナノギャップ電極は、基板上に形成された第1電極部と、該第1電極部に絶縁層を介して形成されたギャップ形成層上、または前記第1電極部に形成されたギャップ形成層上のいずれかに形成され、前記第1電極部に対して対向配置された第2電極部とを備え、前記第1電極部および前記第2電極部間には、前記基板の面方向に延びる第1ギャップ領域と、前記基板に対して直立に延び、末端が前記第1ギャップ領域と連通した第2ギャップ領域とからなるナノギャップが形成されていることを特徴とする。

【0010】

また、本発明の請求項3に示すナノギャップ電極は、基板上に形成された第1電極部と、前記基板上のギャップ形成層に形成され、前記第1電極部に対して対向配置された第2電極部とを備え、前記第1電極部および前記第2電極部間には、前記基板の面方向に延びる第1ギャップ領域と、前記基板に対して直立に延び、末端が前記第1ギャップ領域と連通した第2ギャップ領域とからなるナノギャップが形成されていることを特徴とする。

【0011】

40

また、本発明の請求項6に示すナノギャップ電極の製造方法は、段差を有した第1電極形成部を基板上に形成した後、前記第1電極形成部の段差に沿ってギャップ形成層を形成することで、前記基板の面方向に延び、かつ該基板に対して直立に延びた前記ギャップ形成層を形成する第1工程と、前記ギャップ形成層上に第2電極形成部を形成した後、前記第1電極形成部の表面、前記基板に対して直立に延びた前記ギャップ形成層の表面、および前記第2電極形成部の表面を外部に露出させる第2工程と、マスクを用いて前記第2電極形成部、前記ギャップ形成層、および前記第1電極形成部をパターニングすることにより、所定形状の第1電極部および第2電極部を形成し、前記基板の面方向に延び、かつ前記基板に対して直立に延びたギャップ形成層を、前記第1電極部および前記第2電極部間に形成する第3工程と、前記ギャップ形成層を除去することで、前記基板の面方向に延びる第1ギャップ領域と、該基板に対して直立に延び、末端が前記第1ギャップ領域と連通した第2ギャ

50

ップ領域とからなるナノギャップを、前記第1電極部および前記第2電極部間に形成する第4工程とを含むことを特徴とする。

【0012】

また、本発明の請求項8に示すナノギャップ電極の製造方法は、基板上の一部に第1電極形成部を形成した後、前記第1電極形成部上および前記基板上にギャップ形成層を形成することで、前記基板の面方向に延び、かつ該基板に対して直立に延びた前記ギャップ形成層を形成する第1工程と、前記ギャップ形成層上に第2電極形成部を形成する第2工程と、マスクを用いて前記第2電極形成部、前記ギャップ形成層、および前記第1電極形成部をパターニングすることにより、所定形状の第1電極部および第2電極部を形成し、前記基板の面方向に延び、かつ前記基板に対して直立に延びたギャップ形成層を、前記第1電極部および前記第2電極部間に形成する第3工程と、前記ギャップ形成層を除去することで、前記基板の面方向に延びる第1ギャップ領域と、該基板に対して直立に延び、末端が前記第1ギャップ領域と連通した第2ギャップ領域とからなるナノギャップを、前記第1電極部および前記第2電極部間に形成する第4工程とを含むことを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0013】

本発明の請求項1、請求項3、請求項6および請求項8によれば、第1電極部および第2電極部間のナノギャップの幅を小さく選定しても、基板の面方向に延びる第1ギャップ領域だけでなく、基板に対して直立に延び、末端が第1ギャップ領域と連通した第2ギャップ領域にも、測定対象を含んだ流体が通過し得るので、その分、当該流体が容易にナノギャップを通過し得るナノギャップ電極を提供し得る。

20

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】第1の実施の形態によるナノギャップ電極の全体構成を示す概略図である。

【図2】第1の実施の形態によるナノギャップ電極の上面構成を示す上面図と、ナノギャップ電極の側断面構成を示す側断面図である。

【図3】第1の実施の形態によるナノギャップ電極の製造方法の説明(1)に供する概略図である。

【図4】第1の実施の形態によるナノギャップ電極の製造方法の説明(2)に供する概略図である。

30

【図5】第1の実施の形態によるナノギャップ電極の製造方法の説明(3)に供する概略図である。

【図6】第2の実施の形態によるナノギャップ電極の全体構成を示す概略図である。

【図7】第2の実施の形態によるナノギャップ電極の上面構成を示す上面図と、ナノギャップ電極の側断面構成を示す側断面図である。

【図8】第2の実施の形態によるナノギャップ電極の製造方法の説明(1)に供する概略図である。

【図9】第2の実施の形態によるナノギャップ電極の製造方法の説明(2)に供する概略図である。

【図10】第2の実施の形態によるナノギャップ電極の製造方法の説明(3)に供する概略図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、図面を参照して本発明の実施形態について詳細に説明する。

【0016】

(1) 第1の実施の形態

(1-1) 第1の実施の形態によるナノギャップ電極の構成

図1において、1は第1の実施の形態によるナノギャップ電極を示し、所定形状の第1電極部3が基板2上に設けられているとともに、当該第1電極部3に設けた薄膜部3a上に絶縁層7とギャップ形成層としての絶縁層6を介して第2電極部4が設けられており、これら第1電

50

極部3および第2電極部4によって、幅がナノスケール（例えば1000 [nm] 以下）でなる中空状のナノギャップNGを形成している。そして、本発明では、基板2の面方向に沿って配置された第1ギャップ領域NG₁と、基板2に対して直立するよう配置され、末端が第1ギャップ領域NG₁と連通した第2ギャップ領域NG₂とでなる2方向に延びるナノギャップNGが、第1電極部3および第2電極部4間に形成されている点に特徴を有している。なお、基板2は、例えばシリコン基板8と、当該シリコン基板8上に形成された層状の酸化シリコン層9とから構成されており、例えばチタンナイトライド(TiN)等の金属部材からなる第1電極部3が、当該酸化シリコン層9上に形成された構成を有する。

【0017】

実際上、この実施の形態の場合、第1電極部3は、絶縁層6と絶縁層7とが表面に積層されている薄膜部3aと、当該薄膜部3aに一端が一体形成された帯状の第1電極側ギャップ形成部3bと、当該第1電極側ギャップ形成部3bの他端に一体形成された厚膜部3cとから構成されている。第1電極部3は、薄膜部3aおよび第1電極側ギャップ形成部3bの膜厚が、厚膜部3cの膜厚よりも薄く形成されており、膜厚の薄い薄膜部3aおよび第1電極側ギャップ形成部3bの上方に第2電極部4が配置された構成を有する。これにより第1電極部3は、薄膜部3aと、第1電極側ギャップ形成部3bの一部とに対して第2電極部4が重なるように配置され、一方、膜厚の厚い厚膜部3cには第2電極部4が重なることなく、厚膜部3cの上面が外部に露出し得るように形成されている。

【0018】

なお、図1に示すこの実施の形態の場合、第1電極部3は、帯状の第1電極側ギャップ形成部3bを中心には薄膜部3aおよび厚膜部3cの外郭形状がほぼ左右対称に形成されている。因みに、ここでは、例えば、薄膜部3aの外郭形状が略円形に形成され、厚膜部3cの外郭形状が略円形に形成されており、薄膜部3aおよび厚膜部3cの各中央先端部分に、帯状の第1電極側ギャップ形成部3bの端部が一体形成された構成を有する。

【0019】

また、第1電極部3は、厚膜部3cの膜厚が、薄膜部3aおよび第1電極側ギャップ形成部3bの膜厚よりも厚く形成されていることから、膜厚が厚い厚膜部3cには、第1電極側ギャップ形成部3bとの膜厚差分の高さを有したギャップ形成側面11bが形成されている。なお、この第1電極部3は、薄膜部3aおよび第1電極側ギャップ形成部3bの各膜厚が同一に形成され、第1電極側ギャップ形成部3bと厚膜部3cとの間にのみ段差を有し、これら面一に形成された薄膜部3aおよび第1電極側ギャップ形成部3b上方に第2電極部4が配置された構成を有する。

【0020】

かかる構成に加えて、第1電極側ギャップ形成部3bは、厚膜部3cのギャップ形成側面11bに対して直角に配置された平面状のギャップ形成上面11aを有しており、当該ギャップ形成上面11aに対し第1ギャップ領域NG₁（ナノギャップNG）を介して第2電極部4の第2電極側ギャップ形成部4bが対向配置されている。ここで、第1電極部3の薄膜部3aは、絶縁層6と絶縁層7を介して第2電極部4の基体部4aが設けられた構成を有し、当該絶縁層6と絶縁層7により第2電極部4と電気的に絶縁されている。

【0021】

なお、この実施の形態の場合、絶縁層6は、絶縁層7と酸化シリコン層9とは異なるエッチング条件を有する、例えばシリコンナイトライド(SiN)等の絶縁部材から形成されている。また、この絶縁層6は、絶縁層7上に形成され、第1電極部3の薄膜部3aとほぼ同じ外郭形状を有し、薄膜部3aの中央先端部分付近の所定の領域では、絶縁層7の側面に沿って形成されている。この絶縁層6は、製造過程において行われるナノギャップ形成時のウェットエッチング（後述する）により外周面が削られており、外郭形状が当該薄膜部3aよりも僅かに小さく形成されている。また、この実施の形態の場合、絶縁層7は、絶縁層6と酸化シリコン層9とは異なるエッチング条件を有し、第1電極部3と第2電極部4とを絶縁し得る、例えばアルミナ(Al₂O₃)等の絶縁部材から形成されている。また、この絶縁層7は、第1電極部の薄膜部3aとほぼ同じ外郭形状を有し、上面と側面の一部とに絶縁層6が

10

20

30

40

50

形成されている。

【0022】

第2電極部4は、例えばチタンナイトライド(TiN)等の金属部材により形成されており、絶縁層6上に積層形成された基体部4aと、当該基体部4aに一端が一体形成された帯状の第2電極側ギャップ形成部4bとを有している。この実施の形態の場合、第2電極部4は、基体部4aが第1電極部3の薄膜部3aと同様の外郭形状を有しており、当該基体部4aの外周が第1電極部3の薄膜部3aの外周と一致するように第1電極部3上に配置されている。そして、第2電極側ギャップ形成部4bの膜厚が、基体部4aの膜厚よりも厚く選定されている。

【0023】

また、第2電極部4の第2電極側ギャップ形成部4bは、x方向に延びる長手方向の長さが、第1電極部3にてx方向に延びる第1電極側ギャップ形成部3bの長手方向の長さよりも短く選定されている。これにより第2電極部4は、ナノギャップ電極1の上面構成を示す図2Aのように、第2電極側ギャップ形成部4bの外周が第1電極側ギャップ形成部3bの外周と一致するように配置されているものの、当該第2電極側ギャップ形成部4bの長さが、第1電極側ギャップ形成部3bの長さよりも短く形成されている分、第2電極側ギャップ形成部4bの先端と、厚膜部3cとの間に、外部と連通した幅W1の第2ギャップ領域NG₂(ナノギャップNG)を形成し得るようになされている。

【0024】

また、第2電極側ギャップ形成部4bは、図2AのA-A'部分の側断面構成を示す図2Bのように、根元が基体部4aにて片持ち支持され、その先端が厚膜部3cに向けて延びてあり、第1電極側ギャップ形成部3bにおけるギャップ形成上面11aとの間に、絶縁層6の膜厚分の幅W1でなる第1ギャップ領域NG₁(ナノギャップNG)を形成している。実際に、第2電極側ギャップ形成部4bは、図2Bに示したように、裏側にあるギャップ対向下面12aが、第1電極側ギャップ形成部3bにおけるギャップ形成上面11aと対向配置されており、ギャップ対向下面12aと、第1電極部3のギャップ形成上面11aとの間に、基板2の面方向に延びた第1ギャップ領域NG₁を形成し得る。

【0025】

かかる構成に加えて、第2電極側ギャップ形成部4bは、図1、図2Aおよび図2Bに示すように、第1電極部3の厚膜部3cにおけるギャップ形成側面11bに対して、ギャップ対向先端面12bが対向配置されており、ギャップ対向先端面12bと、第1電極部3のギャップ形成側面11bとの間に、基板2に対して直立(基板2の面方向と直交するz方向)に配置され、末端が第1ギャップ領域NG₁と連通した第2ギャップ領域NG₂を形成し得る。

【0026】

このように第1電極部3および第2電極部4間には、ギャップ形成上面11aおよびギャップ対向下面12a間ににおける第1ギャップ領域NG₁と、ギャップ形成側面11bおよびギャップ対向先端面12b間ににおける第2ギャップ領域NG₂とで構成されたナノギャップNGが形成され得る。なお、第1電極部3および第2電極部4間に形成されるナノギャップNGは、第1電極側ギャップ形成部3bおよび第2電極側ギャップ形成部4bの長手方向たるx方向と基板2上にて直交するy方向に向けて貫通しており、例えば基板2上においてy方向に流れる溶液等がナノギャップNG(第1ギャップ領域NG₁および第2ギャップ領域NG₂)を通過し得るようになされている。

【0027】

因みに、この実施の形態の場合では、ギャップ形成上面11aおよびギャップ対向下面12a間に第1ギャップ領域NG₁における幅W1と、ギャップ形成側面11bおよびギャップ対向先端面12b間に第2ギャップ領域NG₂における幅W1は、絶縁層6の膜厚とほぼ同じ寸法に形成されており、例えば0.5~30[nm]、さらには使用態様に応じて2[nm]以下或いは1[nm]以下に形成し得るようになされている。

【0028】

このようなナノギャップ電極1は、例えば図示しない電源によって第1電極部3と第2電極部4との間に一定の電圧が印加され、その状態で一本鎖DNAを含んだ溶液が第1電極部3

10

20

30

40

40

50

および第2電極部4間のナノギャップNGを流れ得る。ナノギャップ電極1は、溶液の流れに乗って運搬されてきた一本鎖DNAが第1電極部3および第2電極部4間のナノギャップNGを通過したときに、第1電極部3および第2電極部4間に流れる電流値を電流計にて計測させてゆき、その電流値の変化から一本鎖DNAの塩基配列を特定し得る。

【0029】

これに加えて、本発明のナノギャップ電極1は、第1電極部3および第2電極部4間のナノギャップNGの幅W1を小さく選定することで、高感度で試料を分析し得るとともに、この際、一本鎖DNAを含んだ溶液を、基板2と平行した第1ギャップ領域NG₁だけでなく、基板2に対して直立に配置された第2ギャップ領域NG₂にも通過させることができるので、その分より多くの溶液が容易にナノギャップNGを通過し得る。

10

【0030】

(1-2) 第1の実施の形態によるナノギャップ電極の製造方法

次に、第1の実施の形態によるナノギャップ電極1の製造方法について説明する。先ず始めに、例えば酸化シリコン層9がシリコン基板8上に形成された基板2を用意し、当該酸化シリコン層9の全面に、例えばCVD(Chemical Vapor Deposition)法によりチタンナイトライド(TiN)である層状の電極形成層を形成する。

【0031】

次に、フォトリソグラフィ技術によって、当該電極形成層をパターニングし、図3Aと、図3AのB-B'部分の側断面構成を示す図3Bのように、当該電極形成層の表面の所定領域をエッティングして段差を設け、膜厚が薄く四辺状に凹んだ薄膜領域13と、当該薄膜領域13よりも膜厚が厚く、薄膜領域13との境に段差分の高さの側面14aを有した四辺状の厚膜領域14とを有する第1電極形成部31を形成する。なお、この際、エッティングにより形成された第1電極形成部31の薄膜領域13には、後の工程において第1電極部3の薄膜部3aおよび第1電極側ギャップ形成部3bが形成され、一方、厚膜領域14には、後の工程において第1電極部3の厚膜部3cが形成され得る。

20

【0032】

続いて、第1電極形成部31の全面に例えばCVD法によりアルミナ(Al₂O₃)である層状の絶縁層を形成する。フォトリソグラフィ技術によって当該絶縁層をパターニングし、図3Cと、図3CのC-C'部分の側断面構成を示す図3Dのように、当該絶縁層の表面の所定の領域をエッティングして、第1電極形成部31の薄膜領域13上に絶縁層7を形成する。

30

【0033】

次いで、図3Cとの対応部分に同一符号を付して示す図3Eと、図3EのD-D'部分の側断面構成を示す図3Fのように、絶縁層7と段差を有した第1電極形成部31の全面に、例えばCVD法によりシリコンナイトライド(SiN)である層状の絶縁層6を形成し、第1電極形成部31に形成された段差とほぼ同じ形状の段差を有した絶縁層6を第1電極形成部31上に設ける。この場合、第1電極形成部31の薄膜領域13および厚膜領域14の上面には、基板2の面方向に沿った絶縁層6が形成され、第1電極形成部31の側面14aには、基板2に対して直立に延びた絶縁層6が形成され得る。また、絶縁層7の上面には、基板2の面方向に沿った絶縁層6が形成され、絶縁層7の側面には、基板2に対して直立に延びた絶縁層6が形成され得る。なお、一例として図3Fに示した絶縁層6は、絶縁層7が形成された第1電極形成部31に沿ってコンフォーマルに形成されており、薄膜領域13上に形成された絶縁層6の膜厚と、側面14aに沿って形成された絶縁層6の膜厚とがほぼ同一に形成されている。

40

【0034】

次いで、図3Eとの対応部分に同一符号を付して示す図4Aと、図4AのE-E'部分の側断面構成を示す図4Bのように、絶縁層6の全面に、例えばCVD法によってチタンナイトライド(TiN)からなる層状の第2電極形成部32を形成する。これにより、第2電極形成部32には、第1電極形成部31の薄膜領域13の表面13aと対向した対向下面32aと、第1電極形成部31の厚膜領域14における側面14aと対向した対向側面32bとが形成され得る。

【0035】

50

次いで、第2電極形成部32や、さらには第1電極形成部31における厚膜領域14上の絶縁層6、第1電極形成部31の厚膜領域14を、例えばC M P (Chemical and Mechanical Polishing)等の平坦化処理によってオーバ研磨してゆき、図4Aとの対応部分に同一符号を付して示す図4Cと、図4CのF-F'部分の側断面構成を示す図4Dのように、第1電極形成部31の薄膜領域13に第2電極形成部32を残存させるとともに、第1電極形成部31の厚膜領域14の表面を外部に露出させて、基板2に対し直立に延びた絶縁層6部分の表面を、第1電極形成部31および第2電極形成部32間から外部に露出させる。

【0036】

因みに、この実施の形態の場合、平坦化処理は、第1電極形成部31を研磨することなく、第2電極形成部32と、第1電極形成部31の厚膜領域14上の絶縁層6とだけを研磨し、第1電極形成部31の厚膜領域14、絶縁層6、および第2電極形成部32の各表面を全て外部に露出させるようにしてもよい。

10

【0037】

次いで、図4Cとの対応部分に同一符号を付して示す図4Eと、図4EのG-G'部分の側断面構成を示す図4Fのように、フォトリソグラフィ技術によってパターニングしたレジストマスク15を、外部に露出している第2電極形成部32上、絶縁層6上、および第1電極形成部31上に形成する。ここで、レジストマスク15は、図1に示す最終的に形成される第1電極部3の外郭形状に合わせて、その外郭形状が形成されている。

20

【0038】

実際に、この実施の形態の場合、レジストマスク15は、第1電極部3の薄膜部3aの外郭形状に合わせて略△形に形成された基体形成領域15aと、第1電極部3の第1電極側ギャップ形成部3bの外郭形状に合わせて帯状に形成されたギャップ形成領域15bと、第1電極部3の厚膜部3cの外郭形状に合わせて略△形に形成された基体形成領域15cとを有する。そして、レジストマスク15は、一方の基体形成領域15aとギャップ形成領域15bとが第2電極形成部32上に配置されるとともに、ギャップ形成領域15bの末端が絶縁層6上に配置され、さらに他方の基体形成領域15cが第1電極形成部31の厚膜領域14上に配置され得る。

20

【0039】

次いで、レジストマスク15に覆われておらず、外部に露出した第1電極形成部31と第2電極形成部32とを、例えばドライエッチングにより除去する。具体的には、図4Eとの対応部分に同一符号を付して示す図5Aと、図5AのH-H'部分の側断面構成を示す図5Bのように、第2電極形成部32をレジストマスク15でパターニングし、レジストマスク15に覆われた領域に第2電極部4を形成し、また、第1電極形成部31の厚膜領域14をレジストマスク15でパターニングして、レジストマスク15に覆われた領域に厚膜部3cを形成する。

30

【0040】

また、この際、第2電極部4の基体部4aは、レジストマスク15の基体形成領域15aにより第2電極形成部32がパターニングされることで形成され得る。さらに、ギャップ対向下面12aおよびギャップ対向先端面12bを有した第2電極側ギャップ形成部4bは、レジストマスク15のギャップ形成領域15bにより第2電極形成部32がパターニングされることで形成され得る。一方、第1電極部3の厚膜部3cには、第2電極部4のギャップ対向先端面12bと対向するギャップ形成側面11bが形成され得る。因みに、レジストマスク15に覆われていない外部に露出した第1電極形成部31を除去した領域には、酸化シリコン層9が露出する。また、レジストマスク15に覆われていない外部に露出した第2電極形成部32を除去した領域では、基板2の面方向に延び、かつ基板2に対して直立に延びた絶縁層6が露出するため、当該絶縁層6に覆われている第1電極形成部31の薄膜領域13は、この段階ではパターニングされない。

40

【0041】

次いで、レジストマスク15に覆われていない外部に露出した絶縁層6を、例えばドライエッチングにより除去する。この際、絶縁層6を除去するドライエッチングは、第1電極形成部31および第2電極形成部32を除去するドライエッチングとは別のガスによる。これにより、図5Aとの対応部分に同一符号を付して示す図5Cと、図5CのI-I'部分の側

50

断面構成を示す図 5 D のように、レジストマスク 15 に覆われておらず、絶縁層 6 が除去された領域には、絶縁層 7 と第 1 電極形成部 31 の薄膜領域 13 が残存して外部に露出する。また、絶縁層 6 は、第 2 電極部 4 の外郭形状（基体部 4a および第 2 電極側ギャップ形成部 4b）に合わせて残存し、さらに、第 2 電極側ギャップ形成部 4b の先端と、第 1 電極形成部 31 の厚膜部 3c との間に基板 2 に対して直立するよう残存する。

【 0 0 4 2 】

因みに本実施の形態では、例えばドライエッチングにより、レジストマスク 15 に覆われていない部分に露出している第 1 電極形成部 31 と第 2 電極形成部 32 を除去した後、第 2 電極形成部 32 が除去されたことにより外部に露出した絶縁層 6 を別のエッチングにより除去しているが、第 1 電極形成部 31 と第 2 電極形成部 32 と絶縁層 6 を同じエッチングにより続けて除去してもよい。10

【 0 0 4 3 】

なお、膜厚が例えば 2 [nm] でなる膜厚の薄い絶縁層 6 が形成されているときには、第 1 電極形成部 31 と第 2 電極形成部 32 を除去する際に、第 2 電極形成部 32 の下に形成されている絶縁層 6 も同時に除去されることがある。この場合は、絶縁層 6 が除去されたことにより外部に露出した第 1 電極形成部 31 の薄膜領域 13 および絶縁層 7 の表面もエッチングされ、第 1 電極形成部 31 および絶縁層 7 に段差が形成されることがある。

【 0 0 4 4 】

その後、レジストマスクに覆われていない外部に露出した絶縁層 7 を、例えばドライエッチングにより除去する。この際、絶縁層 7 を除去するドライエッチングは、第 1 電極形成部 31 および第 2 電極形成部 32 を除去するドライエッチングと絶縁層 6 を除去するドライエッチングとは別のガスによる。これにより、絶縁層 7 が除去された領域には、第 1 電極形成部 31 の薄膜領域 13 が残存して外部に露出する。20

【 0 0 4 5 】

次いで、レジストマスク 15 に覆われていない外部に露出した第 1 電極形成部 31 を、例えばドライエッチングにより除去し、当該第 1 電極形成部 31 をパターニングすることにより第 1 電極部 3 を形成した後、レジストマスク 15 をアッシングにより除去し、図 5 C との対応部分に同一符号を付して示す図 5 E と、図 5 E の J J' 部分の側断面構成を示す図 5 F のように、レジストマスク 15 に覆われていた第 1 電極部 3 および第 2 電極部 4 を外部に露出させる。30

【 0 0 4 6 】

これにより、基板 2 上には、膜厚の薄い薄膜部 3a および第 1 電極側ギャップ形成部 3b と、膜厚の厚い厚膜部 3c とを有した第 1 電極部 3 が形成され、第 1 電極部 3 の薄膜部 3a 上に、絶縁層 7 と絶縁層 6 を介して第 2 電極部 4 の基体部 4a が設けられ、第 1 電極側ギャップ形成部 3b 上に、絶縁層 6 を介して第 2 電極部 4 の第 2 電極側ギャップ形成部 4b が設けられ得る。また、第 1 電極部 3 は、厚膜部 3c の表面と、第 2 電極部 4 の表面とが面一に形成され、基板 2 の面方向において厚膜部 3c が絶縁層 6 を介して第 2 電極側ギャップ形成部 4b と並ぶように対向配置され得る。すなわち、第 2 電極側ギャップ形成部 4b は、ギャップ対向下面 12a が、第 1 電極側ギャップ形成部 3b のギャップ形成上面 11a に絶縁層 6 を介して対向配置され、かつ、ギャップ対向先端面 12b が、厚膜部 3c のギャップ形成側面 11b に絶縁層 6 を介して対向配置され得る。40

【 0 0 4 7 】

次いで、ギャップ形成上面 11a およびギャップ対向下面 12a 間の絶縁層 6 と、ギャップ形成側面 11b およびギャップ対向先端面 12b 間の絶縁層 6 とを、例えばウェットエッチングにより除去する。これにより、図 1、図 2 A および図 2 B に示すように、ギャップ形成上面 11a とギャップ対向下面 12a との間には、基板 2 の面方向に延びる第 1 ギャップ領域 NG₁ が形成される。また、ギャップ形成側面 11b とギャップ対向先端面 12b との間には、基板 2 に対し直立に延び、下末端が前記第 1 ギャップ領域と連通した第 2 ギャップ領域 NG₂ が形成される。かくして、これら第 1 ギャップ領域 NG₁ および第 2 ギャップ領域 NG₂ で構成されたナノギャップ NG を有したナノギャップ電極 1 を製造し得る。50

【0048】

ここで、このような製造方法によって製造されるナノギャップ電極1は、第1電極部3および第2電極部4間に形成する絶縁層6の膜厚が、第1電極部3および第2電極部4間に形成されるナノギャップNGの幅W1となることから、製造過程において絶縁層6の膜厚を単に調整するだけで、所望の幅でなるナノギャップNGを容易に製造し得る。また、絶縁層6の膜厚は、極めて薄く形成し得ることから、その分、第1電極部3および第2電極部4間に形成されるナノギャップNGの幅W1も小さくし得る。

【0049】

なお、第1電極部3の第1電極側ギャップ形成部3bと、第2電極部4の第2電極側ギャップ形成部4bとの間にある絶縁層6を除去する際、第1電極部3の薄膜部3aと第2電極部4の基体部4aとの間にある絶縁層6も、ウェットエッティングに用いる薬液に触れることから外周面が削られ、その結果、外郭が当該薄膜部3aおよび基体部4aよりも僅かに小さく形成され得る。また、絶縁層7の側面と第2電極部4の第2電極側ギャップ形成部4bとの間に形成されている絶縁層6は、ウェットエッティングに用いる薬液に触れにくいため、エッティングされずに残存し得る。

10

【0050】

(1-3) 作用及び効果

以上の構成において、本発明のナノギャップ電極1では、薄膜部3aと厚膜部3cとの間に膜厚の薄い第1電極側ギャップ形成部3bを有した第1電極部3を基板2上に設け、当該薄膜部3a上に絶縁層7と絶縁層6を介して第2電極部4を設けるようにした。また、このナノギャップ電極1では、第2電極部4に形成した第2電極側ギャップ形成部4bを、第1電極部3の第1電極側ギャップ形成部3bに対向配置し、これら第1電極側ギャップ形成部3bおよび第2電極側ギャップ形成部4b間に、基板2の面方向に延びる第1ギャップ領域NG₁を形成した。さらに、このナノギャップ電極1では、第2電極部4の第2電極側ギャップ形成部4bの先端を、第1電極部3の厚膜部3cに対向配置し、これら第2電極側ギャップ形成部4bおよび厚膜部3c間に、基板2に対して直立に延び、末端が第1ギャップ領域NG₁と連通した第2ギャップ領域NG₂を形成した。

20

【0051】

これにより、ナノギャップ電極1では、第1電極部3および第2電極部4間のナノギャップNGの幅W1を小さく選定することで、高感度で試料を分析し得るとともに、第1電極部3および第2電極部4間のナノギャップNGの幅W1を小さく選定した際、一本鎖DNAを含んだ溶液を、基板2と平行した第1ギャップ領域NG₁だけでなく、基板2に対して直立に配置された第2ギャップ領域NG₂にも通過させることができるので、その分より多くの溶液が容易にナノギャップNGを通過できる。

30

【0052】

また、このようなナノギャップ電極1の製造方法としては、先ず始めに、基板2上に形成した第1電極形成部31に段差と絶縁層7を形成した後、この段差と絶縁層7に沿って、基板2の面方向に延び、かつ基板2に対して直立にも延びた絶縁層6を形成する。次いで、絶縁層6上に第2電極形成部32を形成した後、第1電極形成部31の表面、基板2に対して直立に延びた絶縁層6の表面、および第2電極形成部32の表面を外部に露出させ、レジストマスク15を用いて、これら第2電極形成部32、絶縁層6、絶縁層7、および第1電極形成部31をパターニングする。

40

【0053】

これにより、所定形状の第1電極部3および第2電極部4を形成し得るとともに、基板2の面方向に延び、かつ基板2に対して直立にも延びた絶縁層6を、第1電極部3および第2電極部4間に形成する。最後に、第1電極部3および第2電極部4間の絶縁層6を除去することで、基板2の面方向に延びる第1ギャップ領域NG₁と、基板2に対して直立に延び、末端が第1ギャップ領域NG₁と連通した第2ギャップ領域NG₂とからなるナノギャップNGを、第1電極部3および第2電極部4間に形成する。

【0054】

50

かくして以上より、第1電極部3および第2電極部4間のナノギャップNGの幅W1を小さくしても、第1ギャップ領域NG₁だけでなく第2ギャップ領域NG₂にも溶液が通過し得、その分、測定対象たる一本鎖DNAを含んだ溶液が容易にナノギャップNGを通過し得るナノギャップ電極1を製造できる。

【0055】

また、このような製造方法では、絶縁層6の膜厚を調整するだけで第1電極部3および第2電極部4間のナノギャップNGの幅W1を容易に調整し得る。さらに、この製造方法では、絶縁層6の膜厚は極めて薄く形成し得ることから、当該絶縁層6の膜厚に対応した極めて小さい幅W1のナノギャップNG(第1ギャップ領域NG₁および第2ギャップ領域NG₂)を容易に、かつ確実に形成できる。

10

【0056】

(2) 第2の実施の形態

(2-1) 第2の実施の形態によるナノギャップ電極の構成

図1との対応部分に同一符号を付して示す図6において、21は第2の実施の形態によるナノギャップ電極を示し、第1の実施の形態とはナノギャップNGの側断面形状が略U形に形成されている点で相違している。そして、第2の実施の形態も、基板2の面方向に沿って配置された第1ギャップ領域NG₃と、基板2に対して直立するように配置され、末端が第1ギャップ領域NG₃と連通した第2ギャップ領域NG₄とでなる2方向に延びるナノギャップNGが、第1電極部23および第2電極部24間に形成されている点に特徴を有している。

20

【0057】

実際上、基板2には、第1電極部23が酸化シリコン層9上に設けられるとともに、第1電極部23と対をなす第2電極部24がギャップ形成層としての導電層26を介して酸化シリコン層9上に設けられており、第1電極部23の帯状の第1電極側ギャップ形成部23b上方に、第2電極部24の第2電極側ギャップ形成部24bが乗り上げるように配置され、これら第1電極側ギャップ形成部23bおよび第2電極側ギャップ形成部24b間に、幅がナノスケール(例えば1000 [nm]以下)でなる中空状のナノギャップNGが形成され得る。

20

【0058】

ここで、第1電極部23は、全体が例えばチタンナイトライド(TiN)等の金属部材から形成されており、所定形状に形成された基体部23aと、長手方向の一端が基体部23aに一体成形された第1電極側ギャップ形成部23bとを有している。なお、図6に示す第1電極部23の基体部23aは、図6の上面構成を示す図7Aのように、外郭形状が略U形に形成されており、帯状の第1電極側ギャップ形成部23bの一端が、当該基体部23aの先端中央部に一体形成された構成を有する。図7AのK-K'部分の側断面構成を示す図7Bのように、第1電極側ギャップ形成部23bは、基板2の面方向に沿って延びる平面状のギャップ形成上面28aと、このギャップ形成上面28aの末端から基板2に対して直立に延びる平面状のギャップ形成先端面28bとを有し、これらギャップ形成上面28aおよびギャップ形成先端面28bがナノギャップNGを介して第2電極部24と対向配置されている。

30

【0059】

第2電極部24は、全体が例えばチタンナイトライド(TiN)等の金属部材から形成されており、基板2上に導電層26を介して設けられた基体部24aと、長手方向の根元が基体部24aに一体成形され、かつ第1電極部23の第1電極側ギャップ形成部23bにナノギャップNGを介して乗り上げるように形成された第2電極側ギャップ形成部24bとを有している。なお、この実施の形態の場合、導電層26は、酸化シリコン層9とは異なるエッチング条件を有する、例えばチタン(Ti)等の導電部材から形成されている。

40

【0060】

因みに、この第2の実施の形態の場合においても、図7Aにて点線で示すように、導電層26は、第2電極部24の基体部24aとほぼ同じ外郭形状を有するものの、製造過程において行われるナノギャップ形成時のウェットエッティング(後述する)により外周面が削られており、外郭形状が当該基体部24aよりも僅かに小さく形成されている。

50

【0061】

なお、図6および図7Aに一例として示す第2電極部24の基体部24aは、外郭形状が、第1電極部23の基体部23aと対称な略形に形成されており、帯状の第2電極側ギャップ形成部24bの根元が、当該基体部24aの先端中央部に一体形成されている。また、第2電極側ギャップ形成部24bは、その外郭が、第1電極側ギャップ形成部23bの外郭と一致するように配置されているとともに、図7Bに示したように、ナノギャップNGを介して第1電極側ギャップ形成部23bに対向配置されている。

【0062】

実際上、この第2電極側ギャップ形成部24bは、第1電極側ギャップ形成部23bのギャップ形成上面28aに対し、ギャップ対向下面29aを対向配置させ、このギャップ対向下面29aと、ギャップ形成上面28aとの間に、基板2の面方向に沿って第1ギャップ領域NG₃を形成し得る。また、第2電極部24は、ギャップ対向下面29aから基板2に向けて延びるギャップ対向側面29bを基体部24aに有しており、第1電極側ギャップ形成部23bのギャップ形成先端面28bに対しギャップ対向側面29bを対向配置させ、当該ギャップ対向側面29bと、ギャップ形成先端面28bとの間に、基板2に対して直立（基板2の面方向と直交するz方向）に配置され、末端が第1ギャップ領域NG₃と連通した第2ギャップ領域NG₄を形成し得る。

10

【0063】

このように第1電極部23および第2電極部24間に、ギャップ形成上面28aおよびギャップ対向下面29a間における第1ギャップ領域NG₃と、ギャップ形成先端面28bおよびギャップ対向側面29b間における第2ギャップ領域NG₄とで構成されたナノギャップNGが形成され得るようになされている。なお、第1電極部23および第2電極部24間に形成されるナノギャップNGは、第1電極側ギャップ形成部23bおよび第2電極側ギャップ形成部24bの長手方向たるx方向と基板2上にて直交するy方向に向けて貫通しており、例えば基板2上においてy方向に流れる溶液等がナノギャップNG（第1ギャップ領域NG₃および第2ギャップ領域NG₄）を通過し得るようになされている。

20

【0064】

なお、本実施の形態の場合、導電層26の側面と第1電極側ギャップ形成部23bのギャップ形成先端面28bとが対向配置されており、その間の領域にもナノギャップが形成されている。導電性を有する導電層26は電極として機能し得るので、この部分もナノギャップ電極として機能し得る。

30

【0065】

因みに、この実施の形態の場合では、図7Bに示すように、ギャップ形成上面28aおよびギャップ対向下面29a間の第1ギャップ領域NG₃における幅W1と、ギャップ形成先端面28bおよびギャップ対向側面29b間の第2ギャップ領域NG₄における幅W1は、導電層26の膜厚とほぼ同じ寸法に形成されており、例えば0.5～30 [nm]、さらには使用態様に応じて2 [nm]以下或いは1 [nm]以下に形成し得るようになされている。

【0066】

このようなナノギャップ電極21は、例えば図示しない電源によって第1電極部23と第2電極部24との間に一定の電圧が印加され、その状態で一本鎖DNAを含んだ溶液が、図示しない案内手段によって、第1電極部23および第2電極部24間にナノギャップNGを流れ得るように導かれる。ナノギャップ電極21は、溶液の流れに乗って運搬されてきた一本鎖DNAが第1電極部23および第2電極部24間にナノギャップNGを通過したときに、第1電極部23および第2電極部24間に流れる電流値を電流計にて計測させてゆき、その電流値の変化から一本鎖DNAの塩基配列を特定し得る。

40

【0067】

これに加えて、本発明のナノギャップ電極21でも、第1電極部23および第2電極部24間にナノギャップNGの幅W1を小さく選定することで、高感度で試料を分析し得るとともに、この際、一本鎖DNAを含んだ溶液を、基板2と平行した第1ギャップ領域NG₃だけでなく、基板2に対して直立に配置された第2ギャップ領域NG₄にも通過させることができるので、その分より多くの溶液がナノギャップNGを通過し得る。

【0068】

50

(2-2) 第2の実施の形態によるナノギャップ電極の製造方法

次に、第2の実施の形態によるナノギャップ電極21の製造方法について説明する。ここで、図8Aは上面構成を示す上面図であり、図8Bは図8AのL-L'部分の側断面構成を示す側断面図である。図8Aおよび図8Bに示すように、先ず始めに、例えば酸化シリコン層9がシリコン基板8上に形成された基板2を用意し、例えばチタンナイトライド(TiN)からなり、フォトリソグラフィ技術によって四辺状にパターニングされた第1電極形成部41を酸化シリコン層9の一部領域に形成する。この場合、パターニングされた第1電極形成部41には、上面41aと基板2との境に膜厚分の高さの側面41bが形成され得る。また、このようにして形成された第1電極形成部41は、後の工程においてパターニングされ、第1電極部23の基体部23aおよび第1電極側ギャップ形成部23bとなり得る。

10

【0069】

次いで、図8Aとの対応部分に同一符号を付して示す図8Cと、図8CのM-M'部分の側断面構成を示す図8Dのように、側面41bを有した第1電極形成部41上および基板2上に、例えばCVD法によりチタン(Ti)でなる層状の導電層26を形成する。これにより導電層26には、第1電極形成部41の側面41bにより基板2との境に形成された段差とほぼ同じ形状の段差が表面に形成され得る。

20

【0070】

この場合、第1電極形成部41の上面41aおよび基板2上には、基板2の面方向に沿った導電層26が形成され、第1電極形成部41の側面41bには、基板2に対して直立に延びた導電層26が形成され得る。なお、一例として図8Dに示した導電層26は、第1電極形成部41および基板2に沿ってコンフォーマルに形成されており、第1電極形成部41の上面41aに形成された導電層26の膜厚と、側面41bに沿って形成された導電層26の膜厚とがほぼ同一に形成されている。

30

【0071】

次いで、図8Cとの対応部分に同一符号を付して示す図8Eと、図8EのN-N'部分の側断面構成を示す図8Fのように、導電層26の全面に、例えばCVD法によってチタンナイトライド(TiN)からなる層状の第2電極形成部42を形成する。ここで、第2電極形成部42には、導電層26に形成された段差とほぼ同じ形状の段差が形成され得る。これにより、第2電極形成部42の下面には、第1電極形成部41の上面41aと導電層26を介して対向する対向下面42aが形成されるとともに、第1電極形成部41の側面41bと導電層26を介して対向する対向側面42bが形成される。

30

【0072】

次いで、図8Eとの対応部分に同一符号を付して示す図9Aと、図9AのO-O'部分の側断面構成を示す図9Bのように、フォトリソグラフィ技術によりパターニングしたレジストマスク44によって、第2電極形成部42と導電層26とをパターニングして、第1電極形成部41の上面41aの一部領域と、第1電極形成部41が形成されていない基板2上の領域とに導電層26と第2電極形成部42とを残存させる。

40

【0073】

因みにこの工程では、例えばドライエッティングにより、レジストマスク44に覆われていない部分に露出している第2電極形成部42を除去し、これにより外部に露出した導電層26も同じドライエッティングにより続けて除去しているが、第2電極形成部42と導電層26とを条件の異なる別のドライエッティングにしてもよい。なお、導電層26の膜厚が例えば2[nm]と薄いときには、第2電極形成部42と導電層26とを除去する際に、導電層26の下に形成されている第1電極形成部41の表面もエッティングされることもあり、この場合は、第1電極形成部41の上面41aに段差が形成されることがある。

【0074】

その後、レジストマスク44をアッシングにより除去して、レジストマスク44に覆われていた第2電極形成部42を外部に露出させる。これにより、図9Aとの対応部分に同一符号を付して示す図9Cと、図9CのP-P'部分の側断面構成を示す図9Dのように、第1電極形成部41の上面41aに、導電層26と第2電極形成部42とが乗り上げた領域と、上面41a

50

が外部に露出した領域とを形成する。

【0075】

次いで、図9Cとの対応部分に同一符号を付して示す図9Eと、図9EのQ Q'部分の側断面構成を示す図9Fのように、フォトリソグラフィ技術によりパターニングした新たなレジストマスク45を、外部に露出している第1電極形成部41から第2電極形成部42に亘って設ける。ここで、レジストマスク45は、図6に示す最終的に形成される第1電極部23および第2電極部24を合わせた外郭形状に形成されている。

【0076】

実際に、この実施の形態の場合、レジストマスク45は、第1電極部23の基体部23aの外郭形状に合わせて略V形に形成された基体形成領域45aと、第1電極側ギャップ形成部23bおよび第2電極側ギャップ形成部24bの外郭形状に合わせて帯状に形成されたギャップ形成領域45bと、第2電極部24の基体部24aの外郭形状に合わせて略V形に形成された基体形成領域45cとを有する。そして、レジストマスク45は、一方の基体形成領域45aが、第2電極形成部42がない第1電極形成部41の上面41a上に配置されるとともに、他方の基体形成領域45cとギャップ形成領域45bとが第2電極形成部42上に配置され得る。

10

【0077】

次いで、レジストマスク45に覆われていない外部に露出した第1電極形成部41と第2電極形成部42とを、例えばドライエッチングにより除去し、図9Eとの対応部分に同一符号を付して示す図10Aと、図10AのR R'部分の側断面構成を示す図10Bのように、第1電極形成部41に基体部23aを形成するとともに、基体部24aおよび第2電極側ギャップ形成部24bでなる第2電極部24を第2電極形成部42から形成する。

20

【0078】

なお、この際、第2電極部24の基体部24aは、レジストマスク45の基体形成領域45cにより第2電極形成部42がパターニングされることで形成され、ギャップ対向下面29aおよびギャップ対向側面29bを有した第2電極側ギャップ形成部24bは、レジストマスク45のギャップ形成領域45bにより第2電極形成部42がパターニングされることで形成され得る。また、レジストマスク45に覆われていない外部に露出した第1電極形成部41を除去した領域には、酸化シリコン層9が露出し、レジストマスク45に覆われていない外部に露出した第2電極形成部42を除去した領域には、導電層26が露出する。

30

【0079】

次いで、レジストマスク45に覆われていない外部に露出した導電層26を、例えばドライエッチングにより除去する。なお、導電層26を除去するドライエッチングは、第1電極形成部41および第2電極形成部42を除去するドライエッチングとは別のガスによる。これにより、図10Aとの対応部分に同一符号を付して示す図10Cと、図10CのS S'部分の側断面構成を示す図10Dのように、基板2上の導電層26が除去された領域には、酸化シリコン層9が露出する。また、導電層26が除去された領域には、後に第1電極側ギャップ形成部23bを形成するために残存させていた第1電極形成部41が露出する。

【0080】

次いで、レジストマスク45に覆われていない露出した第1電極形成部41を、例えばドライエッチングによって除去した後、レジストマスク45をアッシングにより除去する。これにより、図10Cとの対応部分に同一符号を付して示す図10Eと、図10EのT T'部分の側断面構成を示す図10Fのように、レジストマスク45のギャップ形成領域45bがあった領域に第1電極形成部41を残存させ、ギャップ形成上面28aおよびギャップ形成先端面28bを有した第1電極側ギャップ形成部23bを形成し、当該第1電極側ギャップ形成部23bを備えた第1電極部23を形成する。

40

【0081】

このようにして形成された第1電極側ギャップ形成部23bは、ギャップ形成上面28aが、第2電極側ギャップ形成部24bのギャップ対向下面29aに対し、導電層26を介して対向配置され、また、ギャップ形成先端面28bが、第2電極側ギャップ形成部24bのギャップ対向側面29bに対し、導電層26を介して対向配置され得る。

50

【0082】

次いで、ギャップ形成上面28aおよびギャップ対向下面29a間の導電層26と、ギャップ形成先端面28bおよびギャップ対向側面29b間の導電層26を、例えばウェットエッティングにより除去する。これにより、図6、図7Aおよび図7Bに示すように、ギャップ形成上面28aとギャップ対向下面29aとの間には、基板2の面方向に延びる第1ギャップ領域NG₃が形成される。また、ギャップ形成先端面28bとギャップ対向側面29bとの間には、基板2に対して直立に延び、上末端が第1ギャップ領域NG₃と連通した第2ギャップ領域NG₄が形成される。かくして、第1電極部23および第2電極部24間に、これら第1ギャップ領域NG₃および第2ギャップ領域NG₄で構成された側断面V形のナノギャップNGを有したナノギャップ電極21を製造し得る。

10

【0083】

ここで、このような製造方法によって製造されるナノギャップ電極21は、第1電極部23および第2電極部24間に形成する導電層26の膜厚が、第1電極部23および第2電極部24間に形成されるナノギャップNGの幅W1となることから、製造過程において導電層26の膜厚を単に調整するだけで、所望の幅でなるナノギャップNGを容易に製造し得る。また、導電層26の膜厚は、極めて薄く形成し得ることから、その分、第1電極部23および第2電極部24間に形成されるナノギャップNGの幅W1も小さくし得る。

【0084】

なお、第1電極側ギャップ形成部23bと、第2電極側ギャップ形成部24bとの間にある導電層26を除去する際、第2電極部24の基体部24aと酸化シリコン層9との間にある導電層26も、ウェットエッティングに用いる薬液に触れることから外周面が削られ、その結果、外郭が当該基体部24aよりも僅かに小さく形成され得る。

20

【0085】

(2-3)作用及び効果

以上の構成において、本発明のナノギャップ電極21では、第1電極側ギャップ形成部23bを有した第1電極部23を基板2上に設け、当該基板2上に導電層26を介して第2電極部24を設けるようにした。また、このナノギャップ電極21では、第2電極部24に形成した第2電極側ギャップ形成部24bを、第1電極部23の第1電極側ギャップ形成部23bの上方にて対向配置させ、これら第1電極側ギャップ形成部23bおよび第2電極側ギャップ形成部24b間に、基板2の面方向に延びる第1ギャップ領域NG₃を形成した。さらに、このナノギャップ電極21では、第1電極部23の第1電極側ギャップ形成部23bの先端を、第2電極部24の基体部24aに対向配置し、これら第1電極側ギャップ形成部23bおよび基体部24a間に、基板2に対して直立に延び、末端が第1ギャップ領域NG₃と連通した第2ギャップ領域NG₄を形成した。

30

【0086】

これにより、ナノギャップ電極21では、第1電極部23および第2電極部24間のナノギャップNGの幅W1を小さく選定することで、高感度で試料を分析し得るとともに、第1電極部23および第2電極部24間のナノギャップNGの幅W1を小さく選定した際、一本鎖DNAを含んだ溶液を、基板2と平行した第1ギャップ領域NG₃だけでなく、基板2に対して直立に配置された第2ギャップ領域NG₄にも通過させることができるので、その分より多くの溶液が容易にナノギャップNGを通過できる。

40

【0087】

また、このようなナノギャップ電極21の製造方法としては、先ず始めに、基板2の一部領域に第1電極形成部41を形成して基板2と第1電極形成部41との間に段差を設け、これら基板2上および第1電極形成部41上に導電層26を形成し、基板2の面方向に延び、かつ基板2に対して直立にも延びた導電層26を段差部分に設ける。次いで、導電層26上に第2電極形成部42を形成した後、第1電極形成部41、導電層26、および第2電極形成部42を、レジストマスク44,45を用いてパターニングする。

【0088】

これにより、所定形状の第1電極部23および第2電極部24を形成する。この場合、第1電極部23の第1電極側ギャップ形成部23bに、導電層26を介して第2電極部24の第2電極側ギャ

50

ップ形成部24bが乗り上げた段差形状を形成し、これにより基板2の面方向に延び、かつ基板2に対し直立にも延びた導電層26を、第1電極部23および第2電極部24間に形成する。最後に、第1電極部23および第2電極部24間に導電層26を除去することで、基板2の面方向に延びる第1ギャップ領域NG₃と、基板2に対して直立に延び、末端が第1ギャップ領域NG₃と連通した第2ギャップ領域NG₄とからなるナノギャップNGを、第1電極部23および第2電極部24間に形成する。

【0089】

かくして以上より、第1電極部23および第2電極部24間にナノギャップNGの幅W1を小さくしても、第1ギャップ領域NG₃だけでなく第2ギャップ領域NG₄にも溶液が通過し得、その分、測定対象たる一本鎖DNAを含んだ溶液が容易にナノギャップNGを通過し得るナノギャップ電極21を製造できる。10

【0090】

また、このような製造方法では、導電層26の膜厚を調整するだけで第1電極部23および第2電極部24間にナノギャップNGの幅W1を容易に調整し得る。さらに、この製造方法では、導電層26の膜厚は極めて薄く形成し得ることから、当該導電層26の膜厚に対応した極めて小さい幅W1のナノギャップNG（第1ギャップ領域NG₃および第2ギャップ領域NG₄）をも形成できる。

【0091】

（3）他の実施の形態

なお、本発明は、本実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨の範囲内で種々の変形実施が可能であり、例えば、電極部3,4(23,24)や、基板2、ギャップ形成層としての絶縁層6(導電層26)、絶縁層7、レジストマスク15(44,45)等の部材については種々の部材を適用してもよく、また、ナノギャップ電極1(21)を製造する際に形成する各層は必要に応じてスパッタリング法等のその他種々の方法を用いて形成するようにしてもよい。20

【0092】

さらに、上述した第1および第2の実施の形態においては、電極部3,4(23,24)間にナノギャップNGに一本鎖DNAを通過させ、当該一本鎖DNAの塩基が電極部3,4(23,24)間にナノギャップNGを通過したときに電極部3,4(23,24)間に流れる電流値を電流計にて計測させるナノギャップ電極1(21)について述べたが、本発明はこれに限らず、その他種々の用途にナノギャップ電極を適用してもよい。ここでは、測定対象を含んだ流体として、一本鎖DNAを含んだ溶液を適用したが、本発明はこれに限らず、流体として、液体や気体等その他種々の流体を適用してもよく、また測定対象として、例えばウイルスや細菌等その他種々の測定対象を適用してもよい。30

【0093】

さらに、上述した第1および第2の実施の形態においては、ギャップ形成層としての絶縁層6(導電層26)をコンフォーマルに形成した場合について述べたが、本発明はこれに限らず、例えば成膜条件(温度や、圧力、使用するガス、流量比等)を変えることで、絶縁層6(導電層26)をコンフォーマルに成膜せずに場所により膜厚を変えて形成してもよい。40

【0094】

このように絶縁層6(導電層26)をコンフォーマルに成膜せずに場所により膜厚を変えた場合、絶縁層6(導電層26)から形成されるナノギャップNGとしては、基板2の面方向に延びる第1ギャップ領域NG₁(NG₃)の幅と、基板2に対して直立に延び、末端が第1ギャップ領域NG₁(NG₃)と連通した第2ギャップ領域NG₂(NG₄)の幅とが異なるものとなる。例えば、第2の実施の形態において、側面41bを有する第1電極形成部41を形成した際に、フォトレジストに含まれるポリマーが側面41bに付着し、そのままの状態で側面41bに導電層26が形成されると、第1電極部23のギャップ形成先端面28bと第2電極部24のギャップ対向側面29bとの間の幅もポリマーの分だけ大きくなり得る。その結果、第2のナノギャップ領域NG₄の幅が、第1のナノギャップ領域NG₃の幅よりも大きくなり得る。また、第1電極形成50

部41の側面41bにポリマーが付着していない場合、導電層26を形成する時のCVD法の条件を変えてカバレッジを低下させれば、上面41a上に形成される導電層26の膜厚よりも側面41bに形成される導電層26の膜厚の方が薄く形成され得る。その結果、第2のナノギャップ領域NG₄の幅が、第1のナノギャップ領域NG₃の幅よりも小さくなり得る。

【0095】

この場合であっても、上述した第1および第2の実施の形態と同様に、第1電極部3(23)および第2電極部4(24)間のナノギャップNGの幅W1を小さく選定しても、基板2の面方向に延びる第1ギャップ領域NG₁(NG₃)だけでなく、基板2に対して直立に延びた第2ギャップ領域NG₂(NG₄)にも溶液が通過し得、その分、測定対象たる一本鎖DNAを含んだ溶液が容易にナノギャップNGを通過し得る。

10

【0096】

また、上述した第1の実施の形態においては、第1電極部3の薄膜部3a上に絶縁層7と絶縁層6を介して第2電極部4の基体部4aを設けた場合について述べたが、本発明はこれに限らず、例えば絶縁層7を形成せずに絶縁層6の膜厚を厚くして、第1電極部3の薄膜部3a上にギャップ形成層としての絶縁層6のみを介して第2電極部4の基体部4aを設けてもよい。

【0097】

さらに、上述した第2の実施の形態においては、ギャップ形成層として導電部材からなる導電層26を適用した場合について述べたが、本発明はこれに限らず、ギャップ形成層として、絶縁部材からなる絶縁層を適用してもよい。

20

【符号の説明】

【0098】

1、21 ナノギャップ電極

2 基板

3、23 第1電極部

3a 薄膜部

3b、23b 第1電極側ギャップ形成部

3c 厚膜部

4、24 第2電極部

4a、23a、24a 基体部

30

4b、24b 第2電極側ギャップ形成部

6、7 絶縁層

26 導電層

31、41 第1電極形成部

32、42 第2電極形成部

15、44、45 レジストマスク(マスク)

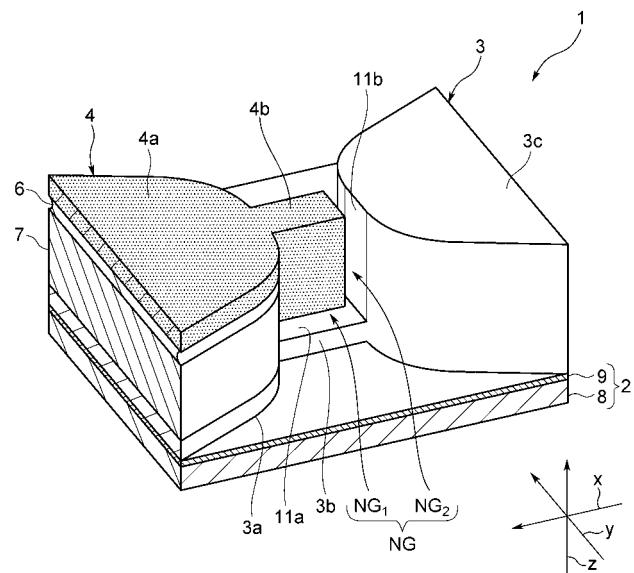
NG₁、NG₃ 第1ギャップ領域

NG₂、NG₄ 第2ギャップ領域

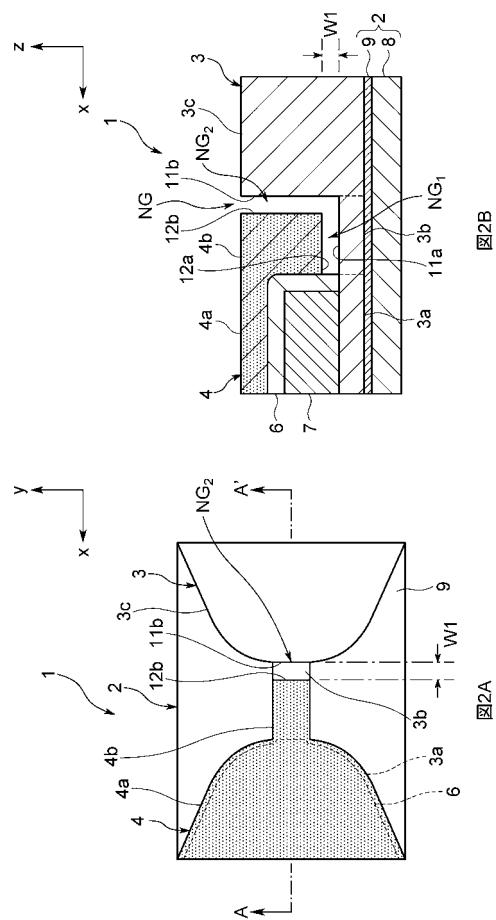
NG ナノギャップ

40

【図1】



【図2】



【図3】

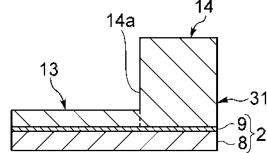
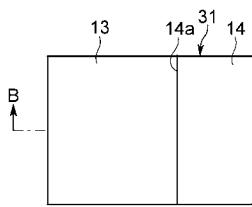


図3A

図3B

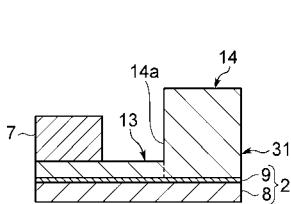
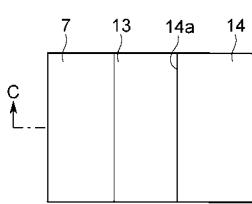


図3C

図3D

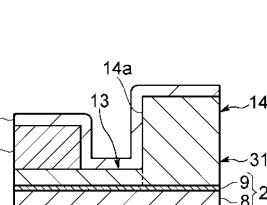
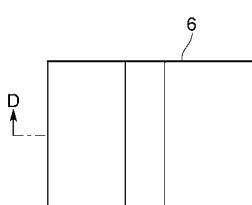


図3E

図3F

【図4】

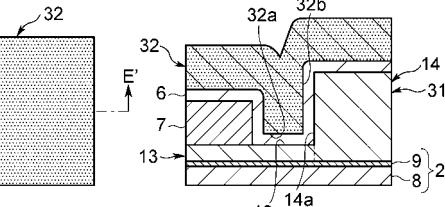
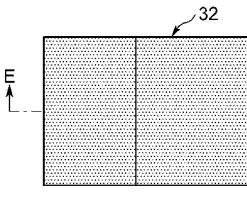


図4A

図4B

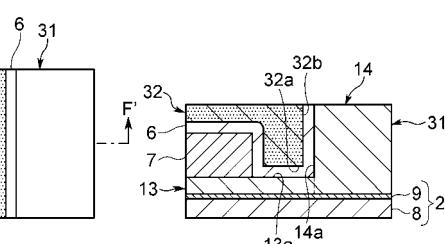
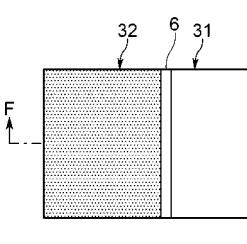


図4C

図4D

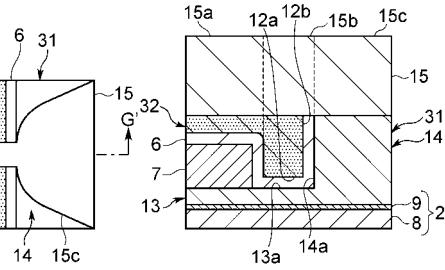
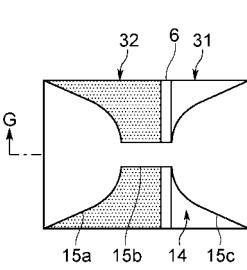
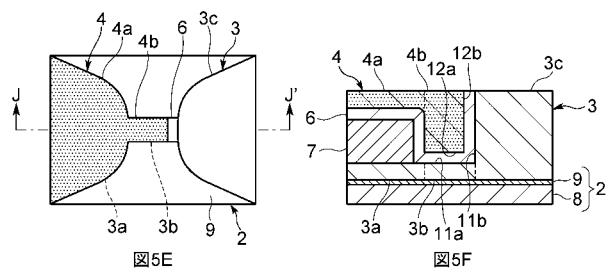
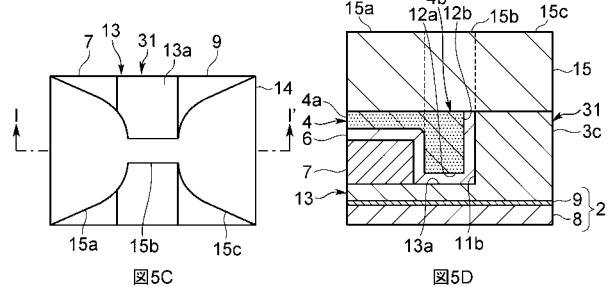
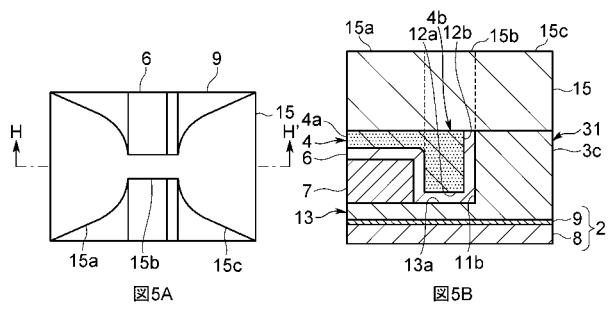


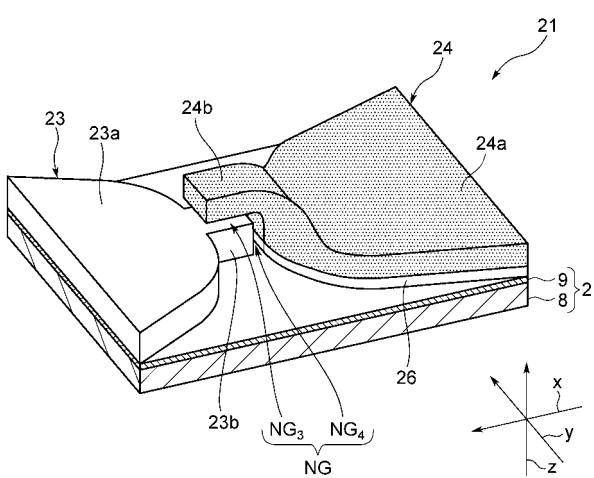
図4E

図4F

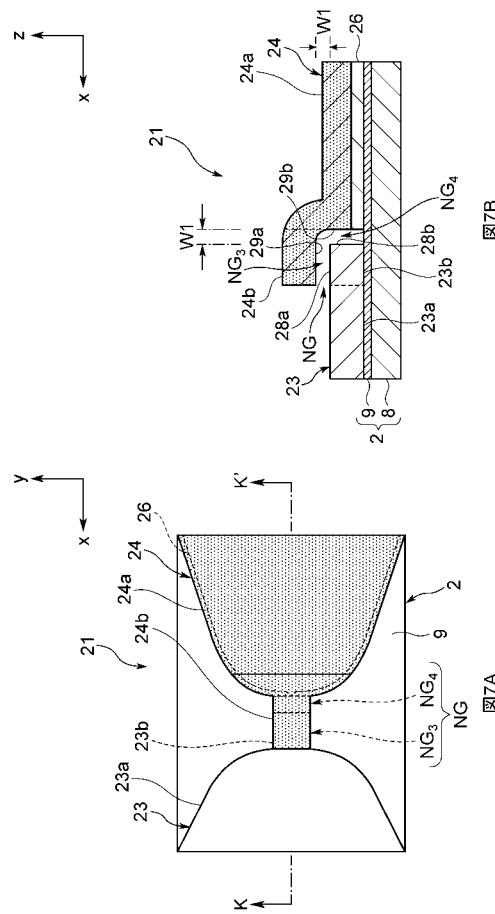
【図5】



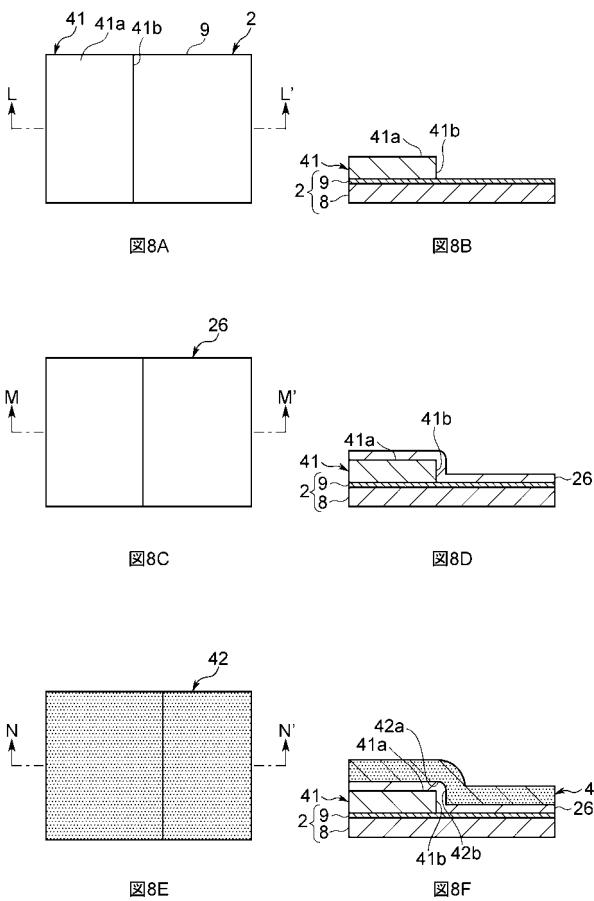
【図6】



【図7】



【図8】



【図9】

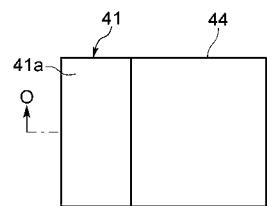


図9A

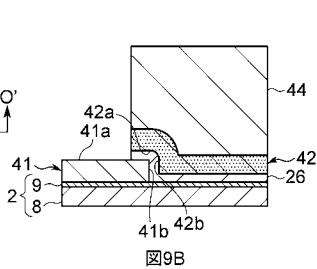


図9B

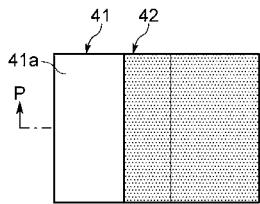


図9C

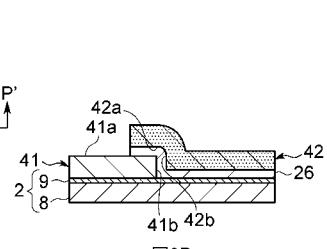


図9D

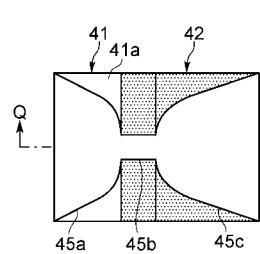


図9E

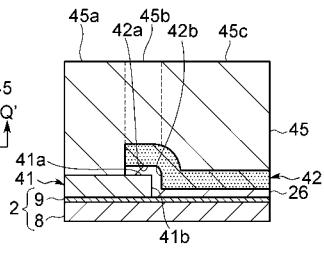


図9F

【図10】

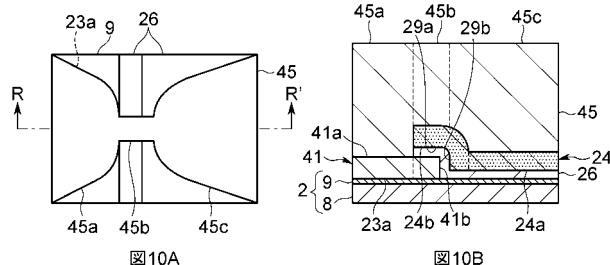


図10A

図10B

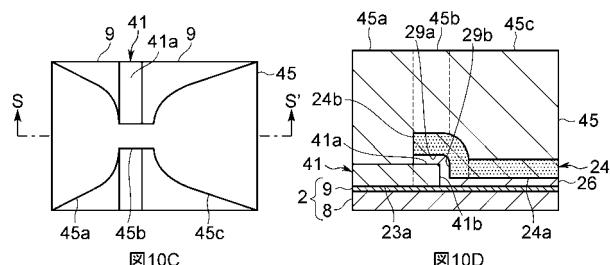


図10C

図10D

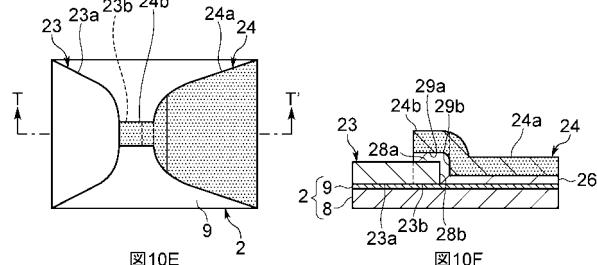


図10E

図10F

