

(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2008-303114

(P2008-303114A)

(43) 公開日 平成20年12月18日(2008.12.18)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>C O 1 B 31/02 (2006.01)</b>	C O 1 B 31/02 1 O 1 F	4 G 1 4 6
<b>B O 1 J 23/745 (2006.01)</b>	B O 1 J 23/74 3 O 1 M	4 G 1 6 9
<b>B 8 2 B 3/00 (2006.01)</b>	B 8 2 B 3/00	4 M 1 0 4
<b>H O 1 J 9/02 (2006.01)</b>	H O 1 J 9/02 B	5 C 1 2 7
<b>G O 1 N 13/10 (2006.01)</b>	G O 1 N 13/10 1 1 1 K	5 F O 3 3
審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 23 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2007-152632 (P2007-152632)	(71) 出願人	899000068
(22) 出願日	平成19年6月8日 (2007.6.8)		学校法人早稲田大学
			東京都新宿区戸塚町1丁目104番地
		(74) 代理人	100080089
			弁理士 牛木 護
		(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
		(74) 代理人	100119312
			弁理士 清水 栄松

最終頁に続く

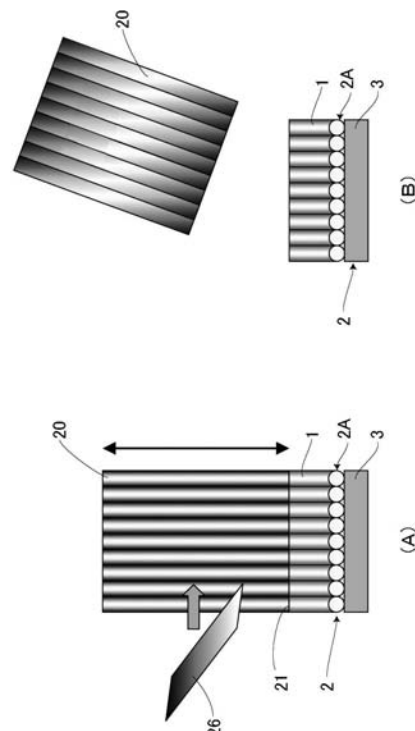
(54) 【発明の名称】 単層カーボンナノチューブ製造方法、半導体配線構造の製造方法、フィールドエミッションディスプレイ用電子部品の製造方法及び探針製造方法

## (57) 【要約】

【課題】従来に比して用途の自由度が高い単層カーボンナノチューブを容易に製造でき、生産効率を向上し得る単層カーボンナノチューブ製造方法、半導体配線構造の製造方法、フィールドエミッションディスプレイ用電子部品の製造方法及び探針製造方法を提案する。

【解決手段】初期単層カーボンナノチューブ20に外力を与えるだけで、不連続層21に沿って初期単層カーボンナノチューブ20が剥がれることにより、従来用いられていた薬品を使用することなく先端が均一に揃った欠陥のない単層カーボンナノチューブ1を製造できるので、薬品による官能基の修飾も起こらず、用途の自由度が高い単層カーボンナノチューブ1を容易に製造できる。また先端が均一に揃った欠陥のない単層カーボンナノチューブ1の製造を室温で、かつ短時間で行えと共に、フォトリソグラフィも用いることなく容易に製造できるので、単層カーボンナノチューブ1の生産効率を向上できる。

【選択図】図7



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

炭素化合物を含む原料ガスを用いた化学気相法によって成長基板に第 1 の単層カーボンナノチューブを根元成長させる成長ステップと、

前記第 1 の単層カーボンナノチューブの根元成長を停止させる根元成長停止ステップと

、  
再び前記原料ガスを用いた化学気相法によって、前記第 1 の単層カーボンナノチューブの根元部分に第 2 の単層カーボンナノチューブを所定の長さまで根元成長させ、前記第 1 の単層カーボンナノチューブと前記第 2 の単層カーボンナノチューブとの間に不連続層を形成する不連続層形成ステップと、

前記第 1 の単層カーボンナノチューブに外力を与えることにより、前記第 1 の単層カーボンナノチューブを前記不連続層から切除し、先端が揃った前記第 2 の単層カーボンナノチューブを前記成長基板に形成する切除ステップと

を備えることを特徴とする単層カーボンナノチューブ製造方法。

**【請求項 2】**

前記成長ステップは、500 μm 以上の長さに前記第 1 の単層カーボンナノチューブを根元成長させる

ことを特徴とする請求項 1 記載の単層カーボンナノチューブ製造方法。

**【請求項 3】**

前記不連続層形成ステップにおける前記化学気相法により用いる前記原料ガスは、前記成長ステップにおける前記化学気相法により用いた前記原料ガスよりもガス濃度が低いことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の単層カーボンナノチューブ製造方法。

**【請求項 4】**

第 1 の配線層と、前記第 1 の配線層上に所定パターンに形成された絶縁層と、前記絶縁膜間に設けられた接続部と、前記接続部を介在させて前記第 1 の配線層と接続した第 2 の配線層とを備える半導体配線構造の製造方法において、

炭素化合物を含む原料ガスを用いた化学気相法によって、前記絶縁膜間に露出した前記第 1 の配線層に第 1 の単層カーボンナノチューブを根元成長させる成長ステップと、

前記第 1 の単層カーボンナノチューブの根元成長を停止させる根元成長停止ステップと

、  
再び前記原料ガスを用いた化学気相法によって、前記第 1 の単層カーボンナノチューブの根元部分に第 2 の単層カーボンナノチューブを前記絶縁膜の高さまで根元成長させ、前記第 1 の単層カーボンナノチューブと前記第 2 の単層カーボンナノチューブとの間に不連続層を形成する不連続層形成ステップと、

前記第 1 の単層カーボンナノチューブに外力を与えることにより、前記第 1 の単層カーボンナノチューブを前記不連続層から切除し、前記絶縁膜の高さに先端が揃った前記第 2 の単層カーボンナノチューブを前記接続部として前記第 1 の配線層に形成する切除ステップと、

前記第 2 の単層カーボンナノチューブ及び前記絶縁膜の表面に前記第 2 の配線層を形成する配線形成ステップと

を備えることを特徴とする半導体配線構造の製造方法。

**【請求項 5】**

フィールドエミッションディスプレイに設けられ、絶縁膜間に設けられたエミッタから電子を放出するフィールドエミッションディスプレイ用電子部品の製造方法において、

炭素化合物を含む原料ガスを用いた化学気相法によって、前記絶縁膜間に露出したカソード電極に第 1 の単層カーボンナノチューブを根元成長させる成長ステップと、

前記第 1 の単層カーボンナノチューブの根元成長を停止させる根元成長停止ステップと

、  
再び前記原料ガスを用いた化学気相法によって、前記第 1 の単層カーボンナノチューブの根元部分に第 2 の単層カーボンナノチューブを所定の長さまで根元成長させ、前記第 1

10

20

30

40

50

の単層カーボンナノチューブと前記第 2 の単層カーボンナノチューブとの間に不連続層を形成する不連続層形成ステップと、

前記第 1 の単層カーボンナノチューブに外力を与えることにより、前記第 1 の単層カーボンナノチューブを前記不連続層から切除し、前記第 2 の単層カーボンナノチューブを前記エミッタとして前記カソード電極に形成する切除ステップと

を備えることを特徴とするフィールドエミッションディスプレイ用電子部品の製造方法。

#### 【請求項 6】

原子間力顕微鏡に設けられるカンチレバー先端に固定する探針の探針製造方法において、

炭素化合物を含む原料ガスを用いた化学気相法によって成長基板に第 1 の単層カーボンナノチューブを根元成長させる成長ステップと、

前記第 1 の単層カーボンナノチューブの根元成長を停止させる根元成長停止ステップと、

再び前記原料ガスを用いた化学気相法によって、前記第 1 の単層カーボンナノチューブの根元部分に第 2 の単層カーボンナノチューブを所定の長さまで根元成長させ、前記第 1 の単層カーボンナノチューブと前記第 2 の単層カーボンナノチューブとの間に不連続層を形成する不連続層形成ステップと、

前記第 1 の単層カーボンナノチューブに外力を与えることにより、前記第 1 の単層カーボンナノチューブを前記不連続層から切除し、先端が揃った前記第 2 の単層カーボンナノチューブを前記成長基板に形成する切除ステップと、

前記第 2 の単層カーボンナノチューブに前記カンチレバー先端に前記探針として前記第 2 の単層カーボンナノチューブを設ける探針設置ステップと

を備えることを特徴とする探針製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本発明は、単層カーボンナノチューブ製造方法、半導体配線構造の製造方法、フィールドエミッションディスプレイ用電子部品の製造方法及び探針製造方法に関し、例えば先端を均一に揃え、所定の長さ形成する必要がある単層カーボンナノチューブを製造する際に適用して好適なものである。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

従来、炭素原子からなる網目型チューブ構造を持つ素材で、同じ炭素原子からなるダイヤモンドやグラファイト或いは非晶質炭素とは全く異なる特性を有したカーボンナノチューブが知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

#### 【0003】

例えば長さが約 300 nm 以下でなる短小の単層カーボンナノチューブを製造する方法としては、予め所定長さまで成長させた単層カーボンナノチューブを強酸等の薬品でカットすることにより短小の単層カーボンナノチューブを製造する方法（以下、これを単に薬品カット法と呼ぶ）が知られている。

#### 【0004】

また、短小の単層カーボンナノチューブを製造する方法としては、基板に塗布した単層カーボンナノチューブ上にフォトリソグラフィ用レジストを塗り、ライン上のパターンを空けてその部分を酸素プラズマ照射してエッチングすることにより短小の単層カーボンナノチューブを製造する方法（以下、これを単にプラズマカット法と呼ぶ）が知られている。

【特許文献 1】特開 2006 - 36593 号公報

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 5 】

しかしながら、前述した薬品カット法においては、当該薬品を用いて単層カーボンナノチューブをカットする際に、短小の単層カーボンナノチューブの先端が不揃いになる等の欠陥が生じてしまうという問題があった。

## 【 0 0 0 6 】

また、この薬品カット法では、薬品により官能基の修飾が起ることにより、水に溶けない単層カーボンナノチューブを可溶化することができるが、修飾されていないままの単層カーボンナノチューブが製造できないことから用途が限定されるという問題がある。

## 【 0 0 0 7 】

その他、このような薬品カット法では、元々用意した単層カーボンナノチューブのうち約 20 ~ 50 % 近くが製造過程において失われてしまい、無駄な単層カーボンナノチューブが発生してしまうという問題や、使用する薬品によっては製造工程において温度を 1000 近くまで上げなければならず、製造工程が複雑化するという問題、カット処理に数時間を要することからスループット（単位時間あたりの処理量）が悪いという問題、薬品を用いることから作業者に対して多少の危険が伴い、容易に製造し得ないという問題があった。

## 【 0 0 0 8 】

一方、後述したプラズマカット法においては、薬品カット法と同様に製造工程の際に多くの単層カーボンナノチューブが失われ、無駄な単層カーボンナノチューブが発生してしまうという問題があった。

## 【 0 0 0 9 】

また、このプラズマカット法では、フォトリソグラフィを使用するので、300 nm 以下の単層カーボンナノチューブを製造し難く、用途が限定されるという問題や、付着したレジストを完全に除去する必要があるため、製造工程が複雑化して容易に製造し難いという問題があった。

## 【 0 0 1 0 】

本発明は以上の点を考慮してなされたもので、従来に比して用途の自由度が高い単層カーボンナノチューブを容易に製造でき、生産効率を向上し得る単層カーボンナノチューブ製造方法、半導体配線構造の製造方法、フィールドエミッションディスプレイ用電子部品の製造方法及び探針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】

## 【 0 0 1 1 】

かかる課題を解決するため本発明の請求項 1 の単層カーボンナノチューブ製造方法は、炭素化合物を含む原料ガスを用いた化学気相法によって成長基板に第 1 の単層カーボンナノチューブを根元成長させる成長ステップと、前記第 1 の単層カーボンナノチューブの根元成長を停止させる根元成長停止ステップと、再び前記原料ガスを用いた化学気相法によって、前記第 1 の単層カーボンナノチューブの根元部分に第 2 の単層カーボンナノチューブを所定の長さまで根元成長させ、前記第 1 の単層カーボンナノチューブと前記第 2 の単層カーボンナノチューブとの間に不連続層を形成する不連続層形成ステップと、前記第 1 の単層カーボンナノチューブに外力を与えることにより、前記第 1 の単層カーボンナノチューブを前記不連続層から切除し、先端が揃った前記第 2 の単層カーボンナノチューブを前記成長基板に形成する切除ステップとを備えることを特徴とするものである。

## 【 0 0 1 2 】

また、本発明の請求項 2 の単層カーボンナノチューブ製造方法は、前記成長ステップは、500  $\mu$ m 以上の長さに前記第 1 の単層カーボンナノチューブを根元成長させることを特徴とするものである。

## 【 0 0 1 3 】

また、本発明の請求項 3 の単層カーボンナノチューブ製造方法は、前記不連続層形成ステップにおける前記化学気相法により用いる前記原料ガスは、前記成長ステップにおける前記化学気相法により用いた前記原料ガスよりもガス濃度が低いことを特徴とするもので

ある。

【 0 0 1 4 】

また、本発明の請求項 4 の半導体配線構造の製造方法は、第 1 の配線層と、前記第 1 の配線層上に所定パターンに形成された絶縁層と、前記絶縁膜間に設けられた接続部と、前記接続部を介在させて前記第 1 の配線層と接続した第 2 の配線層とを備える半導体配線構造の製造方法において、炭素化合物を含む原料ガスを用いた化学気相法によって、前記絶縁膜間に露出した前記第 1 の配線層に第 1 の単層カーボンナノチューブを根元成長させる成長ステップと、前記第 1 の単層カーボンナノチューブの根元成長を停止させる根元成長停止ステップと、再び前記原料ガスを用いた化学気相法によって、前記第 1 の単層カーボンナノチューブの根元部分に第 2 の単層カーボンナノチューブを前記絶縁膜の高さまで根元成長させ、前記第 1 の単層カーボンナノチューブと前記第 2 の単層カーボンナノチューブとの間に不連続層を形成する不連続層形成ステップと、前記第 1 の単層カーボンナノチューブに外力を与えることにより、前記第 1 の単層カーボンナノチューブを前記不連続層から切除し、前記絶縁膜の高さに先端が揃った前記第 2 の単層カーボンナノチューブを前記接続部として前記第 1 の配線層に形成する切除ステップと、前記第 2 の単層カーボンナノチューブ及び前記絶縁膜の表面に前記第 2 の配線層を形成する配線形成ステップとを備えることを特徴とするものである。

10

【 0 0 1 5 】

また、本発明の請求項 5 のフィールドエミッションディスプレイ用電子部品の製造方法は、フィールドエミッションディスプレイに設けられ、絶縁膜間に設けられたエミッタから電子を放出するフィールドエミッションディスプレイ用電子部品の製造方法において、炭素化合物を含む原料ガスを用いた化学気相法によって、前記絶縁膜間に露出したカソード電極に第 1 の単層カーボンナノチューブを根元成長させる成長ステップと、前記第 1 の単層カーボンナノチューブの根元成長を停止させる根元成長停止ステップと、再び前記原料ガスを用いた化学気相法によって、前記第 1 の単層カーボンナノチューブの根元部分に第 2 の単層カーボンナノチューブを所定の長さまで根元成長させ、前記第 1 の単層カーボンナノチューブと前記第 2 の単層カーボンナノチューブとの間に不連続層を形成する不連続層形成ステップと、前記第 1 の単層カーボンナノチューブに外力を与えることにより、前記第 1 の単層カーボンナノチューブを前記不連続層から切除し、前記第 2 の単層カーボンナノチューブを前記エミッタとして前記カソード電極に形成する切除ステップとを備えることを特徴とするものである。

20

30

【 0 0 1 6 】

また、本発明の請求項 6 の探針製造方法は、原子間力顕微鏡に設けられるカンチレバー先端に固定する探針の探針製造方法において、炭素化合物を含む原料ガスを用いた化学気相法によって成長基板に第 1 の単層カーボンナノチューブを根元成長させる成長ステップと、前記第 1 の単層カーボンナノチューブの根元成長を停止させる根元成長停止ステップと、再び前記原料ガスを用いた化学気相法によって、前記第 1 の単層カーボンナノチューブの根元部分に第 2 の単層カーボンナノチューブを所定の長さまで根元成長させ、前記第 1 の単層カーボンナノチューブと前記第 2 の単層カーボンナノチューブとの間に不連続層を形成する不連続層形成ステップと、前記第 1 の単層カーボンナノチューブに外力を与えることにより、前記第 1 の単層カーボンナノチューブを前記不連続層から切除し、先端が揃った前記第 2 の単層カーボンナノチューブを前記成長基板に形成する切除ステップと、前記第 2 の単層カーボンナノチューブに前記カンチレバー先端に前記探針として前記第 2 の単層カーボンナノチューブを設ける探針設置ステップとを備えることを特徴とするものである。

40

【発明の効果】

【 0 0 1 7 】

本発明の請求項 1 の単層カーボンナノチューブ製造方法によれば、第 1 の単層カーボンナノチューブに外力を与えるだけで、不連続層に沿って第 1 の単層カーボンナノチューブが剥がれることにより、従来用いられていた薬品も使用することなく先端が均一に揃った

50

欠陥のない第２の単層カーボンナノチューブを製造でき、かくして薬品による官能基の修飾も起こらず、従来に比して用途の自由度が高い第２の単層カーボンナノチューブを容易に製造できる。また、先端が均一に揃った欠陥のない第２の単層カーボンナノチューブの製造を室温で、かつ短時間で行えと共に、フォトリソグラフィも用いることなく容易に製造できるので、第２の単層カーボンナノチューブの生産効率を向上させることができる。

【００１８】

本発明の請求項２の単層カーボンナノチューブ製造方法によれば、第１の単層カーボンナノチューブの根元部分を確実に垂直配向させることができるので、これに伴い数ミクロン以下の第２の単層カーボンナノチューブであってもその先端部分を垂直配向させることができる。

10

【００１９】

本発明の請求項３の単層カーボンナノチューブ製造方法によれば、第２の単層カーボンナノチューブの根元成長の成長速度が遅くなり、ち密で、かつ短い第２の単層カーボンナノチューブを確実に製造できる。

【００２０】

本発明の請求項４の半導体配線構造の製造方法によれば、従来用いられていた薬品も使用することなく先端が均一に揃った欠陥のない第２の単層カーボンナノチューブを製造できるので、薬品による官能基の修飾も起こらず、従来に比して用途の自由度が高い第２の単層カーボンナノチューブを容易に製造できる。また、先端が均一に揃った欠陥のない第２の単層カーボンナノチューブは接続部として用いることができ、このように接続部として用いる第２の単層カーボンナノチューブの製造を室温で、かつ短時間で行えと共に、フォトリソグラフィも用いることなく容易に製造できるので、半導体配線構造の生産効率を向上させることができる。

20

【００２１】

本発明の請求項５のフィールドエミッションディスプレイ用電子部品の製造方法によれば、従来用いられていた薬品も使用することなく先端が均一に揃った欠陥のない第２の単層カーボンナノチューブを製造できるので、薬品による官能基の修飾も起こらず、従来に比して用途の自由度が高い第２の単層カーボンナノチューブを容易に製造できる。また、先端に欠陥のない第２の単層カーボンナノチューブはエミッタとして用いることができ、このようにエミッタとして用いる第２の単層カーボンナノチューブの製造を室温で、かつ短時間で行えと共に、フォトリソグラフィも用いることなく容易に製造できるので、フィールドエミッションディスプレイ用電子部品の生産効率を向上させることができる。

30

【００２２】

本発明の請求項６の探針製造方法によれば、従来用いられていた薬品を使用することなく先端が均一に揃った欠陥のない第２の単層カーボンナノチューブを製造できるので、薬品による官能基の修飾も起こらず、従来に比して用途の自由度が高い第２の単層カーボンナノチューブを容易に製造できる。また、先端が均一に揃った欠陥のない第２の単層カーボンナノチューブは探針として用いることができ、このように探針として用いる第２の単層カーボンナノチューブの製造を室温で、かつ短時間で行えと共に、フォトリソグラフィも用いることなく容易に製造できるので、ＡＦＭ用の探針の生産効率を向上させることができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【００２３】

以下図面に基づいて本発明の実施の形態を詳述する。

【００２４】

(１)単層カーボンナノチューブの製造方法

図１において、１は本発明によるカーボンナノチューブ製造方法により製造された高さが約２８０ｎｍとなる短小の単層カーボンナノチューブ１を示し、これら単層カーボンナノチューブ１は、化学機械研磨(Chemical Mechanical Polishing (CMP))等を用い

50

ることなく、先端が均一に平坦化され得る。

【0025】

實際上、第2の単層カーボンナノチューブとしての単層カーボンナノチューブ1は、直径が約1～3nm程度で微小に形成され、1本では垂直に配向し得ないものの、成長基板2の成長面2Aに高密度に成長し得ることから分子間力によって互いに支え合うことで垂直に配向され得る。ここで、先ず始めに成長基板2の製造方法（以下、単に成長基板製造処理と呼ぶ）について以下説明する。

【0026】

この場合、図2（A）に示すように、シリコン（Si）基板3を用意し、アルミニウム（Al）をターゲットとしたスパッタ法を用いて、図2（B）に示すような反応防止層としてのアルミニウム層4をシリコン基板3上に成膜する。次いで、アルミニウム層4を酸化させることにより、図2（C）に示すように、厚さが約10～70nm程度の酸化アルミニウム（ $Al_2O_3$ ）層5をシリコン基板3上に形成する。

【0027】

次いで、鉄をターゲットとしたスパッタ法を用いて、約0.5nm程度の厚さの触媒層6を酸化アルミニウム層5上に成膜した後、再びアルミニウムをターゲットとしたスパッタ法を用いて、図2（D）に示すようなアルミニウム層7を触媒層6上に成膜する。

【0028】

次いで、アルミニウム層7を酸化させることにより、図2（E）に示すように、酸化アルミニウム層8を触媒層6上に形成し、これにより酸化アルミニウム層5、触媒層6及び酸化アルミニウム層8が順次積層された成長面2Aを、シリコン基板3の表面に設けた成長基板2が形成され得る。

【0029】

このような成長基板製造処理により形成された成長基板2は、図3に示すような先端放電型ラジカルCVD（Chemical Vapor Deposition（化学気相））装置10を用いて成長面2Aに単層カーボンナノチューブ1が生成され得る。

【0030】

ここで先端放電型ラジカルCVD装置10は、ヒータ（図示せず）を備えた加熱台11をチャンバ12内に備えており、成長基板2が加熱台11に載置されることにより、ヒータを介して当該成長基板2を所定温度に加熱し得る。またチャンバ12内は、内部の気体が真空ポンプ13によって排気されることにより減圧状態に維持し得るようになされている。

【0031】

實際上、先端放電型ラジカルCVD装置10は、先ず始めに前処理として、約5min間、圧力を20Torrに保持したチャンバ12内において、加熱台11に載置された成長基板2をヒータにより約600の温度に加熱する。

【0032】

これにより、図4（A）に示すような成長基板2は、図4（B）に示すように、成長面2Aに有する触媒微粒子を高密度で配置し得るようになされている。

【0033】

前処理が終了すると、図3に示したように、この状態のまま先端放電型ラジカルCVD装置10は、成長処理として、ガス導入口15から原料ガスであるメタンガス（ $CH_4$ ）を5sccmの流量でチャンバ12内に供給すると共に、キャリアーガスとして水素ガス（ $H_2$ ）を45sccmの流量でチャンバ12内に供給し得るようになされている。

【0034】

またこれと同時に先端放電型ラジカルCVD装置10は、チャンバ12内の上部に設けたアンテナ16から2.45GHzのマイクロ波を60Wで出力し、当該アンテナ16の先端に直径約10mm程度のプラズマボールPBを発生させ得る。

【0035】

かかる構成に加えて先端放電型ラジカルCVD装置10は、加熱台11を上下方向に移動可能に支持する支持手段17が設けられており、当該支持手段17によって、アンテナ16の先端

10

20

30

40

50

と成長基板 2 との間の距離  $d$  を、プラズマボール PB 内若しくは近傍で生じたメタンガスのラジカルがラジカル状態で成長基板 2 に到達できる距離に調整し得るようになされている。

【0036】

因みに、この実施の形態の場合、支持手段 17 は、アンテナ 16 の先端と成長基板 2 との間の距離  $d$  を約 50 mm に調整し、プラズマボール PB 内若しくは近傍で生じたメタンガスのラジカルがラジカル状態で成長基板 2 に到達できるように加熱台 11 を支持している。

【0037】

このように先端放電型ラジカル CVD 装置 10 は、上述した条件に設定された CVD 法（化学気相法）による成長処理を実行し、原料ガスであるメタンガスをプラズマ化して、図 4（C）に示すように、加熱台 11 に載置した成長基板 2 の成長面 2A に第 1 の単層カーボンナノチューブとしての初期単層カーボンナノチューブ 20 を成長させてゆく。なおこの場合、初期単層カーボンナノチューブ 20 は、成長基板 2 の成長面 2A と接触している根元部分が成長（以下、これを根元成長と呼ぶ）してゆき、ほぼ垂直に配向成長し得るようになされている。

10

【0038】

そして、先端放電型ラジカル CVD 装置 10 は、上述した CVD 法による成長処理を約 1 ～ 1.5 時間継続して実行することにより、成長基板 2 の成長面 2A に初期単層カーボンナノチューブ 20 を、500 nm 以上の所定長さまで成長させ得る。

【0039】

次いで、先端放電型ラジカル CVD 装置 10 は、根元成長停止処理として、チャンバ 12 内の圧力を 20 Torr に保持した状態でアンテナ 16 への電力供給と、加熱台 11 のヒータへの電力供給とを所定時間停止させる。

20

【0040】

因みに、この実施の形態の場合、アンテナ 16 への電力供給と、加熱台 11 のヒータへの電力供給とを停止させる所定時間（以下、これを単に停止時間と呼ぶ）は約 5 ～ 30 min に設定されている。このように先端放電型ラジカル CVD 装置 10 は、所定の停止時間を設けることで、加熱台 11 に設けた成長基板 2 を一旦冷却し得るようになされている。

【0041】

また、停止時間内では、アンテナ 16 と加熱台 11 のヒータとへの電力供給を停止するようにしたことにより、メタンガス及び水素ガスがチャンバ 12 内へ供給され続けても、初期単層カーボンナノチューブ 20 の根元成長が停止し得るようになされている。

30

【0042】

その後、先端放電型ラジカル CVD 装置 10 は、所定の停止時間が経過して根元成長停止処理が終了すると、不連続層形成処理として、加熱台 11 のヒータへの電力供給を再び開始し当該加熱台 11 に載置された成長基板 2 を約 600℃ に加熱すると共に、アンテナ 16 への電力供給を再び開始し当該アンテナ 16 の先端から 2.45 GHz のマイクロ波を 60 W で出力し得る。

【0043】

また、これと同時に先端放電型ラジカル CVD 装置 10 は、0.5 ～ 1 min の間だけ、ガス導入口 15 から原料ガスであるメタンガス（ $\text{CH}_4$ ）を 2 sccm の流量でチャンバ 12 内に供給すると共に、キャリアガスとして水素ガス（ $\text{H}_2$ ）を 198 sccm の流量でチャンバ 12 内に供給し、ガス導入口 15 からのメタンガス及び水素ガスの供給量と供給時間とを調整し得るようになされている。

40

【0044】

ここで先端放電型ラジカル CVD 装置 10 は、初期単層カーボンナノチューブ 20 を根元成長させる成長処理時に比べて、チャンバ 12 内へのメタンガスの供給割合を 5 sccm から 2 sccm にして、メタンガスのガス濃度を低くすることにより、初期単層カーボンナノチューブ 20 に比べて、ち密で、かつ短小の単層カーボンナノチューブ 1 を成長させ得るようになされている。

50



## 【 0 0 4 5 】

これにより、成長基板 2 の成長面 2A では、図 4 ( D ) に示すように、初期単層カーボンナノチューブ 20 の根元部分に、第 2 の単層カーボンナノチューブとしての単層カーボンナノチューブ 1 が新たに根元成長し始めると共に、メタンガスのガス濃度と供給時間とに対応した密度で所定の長さまで単層カーボンナノチューブ 1 を根元成長させ得る。

## 【 0 0 4 6 】

また、このとき初期単層カーボンナノチューブ 20 及び単層カーボンナノチューブ 1 間には、アンテナ 16 と加熱台 11 のヒータとへの電力供給を停止して初期単層カーボンナノチューブ 20 の根元成長を一旦停止させたことから、成長基板 2 に沿って炭素結晶が不連続となった平坦状の不連続層 21 が形成され得る。

10

## 【 0 0 4 7 】

このようにして成長基板 2 には、成長面 2A に根元成長した単層カーボンナノチューブ 1 と、当該単層カーボンナノチューブ 1 の先端に不連続層 21 を介在させて設けられた初期単層カーボンナノチューブ 20 とからなる単層カーボンナノチューブ構造体 25 を形成し得るようになされている。

## 【 0 0 4 8 】

ここで初期単層カーボンナノチューブ 20 を成長させた後に、単層カーボンナノチューブ 1 を成長基板 2 上に成長させたときの様子を、電子顕微鏡を用いて観察したところ、図 5 及び図 6 に示すような結果が得られた。

## 【 0 0 4 9 】

20

図 5 及び図 6 において明らかなように、初期単層カーボンナノチューブ 20 と単層カーボンナノチューブ 1 との間には、不連続となる不連続層 21 が形成されていることが観察できた。なお、図 5 においては初期単層カーボンナノチューブ 20 の長さ  $H_1$  が約  $840\text{ }\mu\text{m}$  に選定され、単層カーボンナノチューブ 1 の長さ  $H_2$  が約  $280\text{ nm}$  に選定されている。

## 【 0 0 5 0 】

次いで、図 7 ( A ) に示すように、初期単層カーボンナノチューブ 20 の側面にカット等のような係止手段 26 を係止させ、当該係止手段 26 によって、不連続層 21 の面方向に沿った方向へ当該初期単層カーボンナノチューブ 20 に対して外力を与えることにより、図 7 ( B ) に示すように、初期単層カーボンナノチューブ 20 が不連続層 21 から剥がれて単層カーボンナノチューブ 1 と分離する。

30

## 【 0 0 5 1 】

このように初期単層カーボンナノチューブ 20 は、炭素結晶が不連続となった不連続層 21 を介在させて単層カーボンナノチューブ 1 の先端に設けられていることから、側面側から外力を与えるだけで不連続層 21 部分から切断させ得る。

## 【 0 0 5 2 】

ここで初期単層カーボンナノチューブ 20 を単層カーボンナノチューブ 1 から分離させたときの様子を、電子顕微鏡を用いて観察したところ、図 8 に示すような結果が得られた。

## 【 0 0 5 3 】

図 8 において明らかなように、成長基板 2 に単層カーボンナノチューブ 1 が残っていることが観察できた。また先端部分が均一に揃っていることから、不連続層 21 に沿って初期単層カーボンナノチューブ 20 が剥がれたことが観察できた。

40

## 【 0 0 5 4 】

ここで、係止手段 26 によって初期単層カーボンナノチューブ 20 を側面の両方向からゆっくり剥がしていったときの様子 ( 図 9 ( A ) ) を光学顕微鏡を用いて観察した。また、係止手段 26 によって初期単層カーボンナノチューブ 20 を一方向から勢いよく剥がしたときの様子 ( 図 9 ( B ) ) を光学顕微鏡を用いて観察した。

## 【 0 0 5 5 】

図 9 ( A ) に示すように、係止手段 26 によって初期単層カーボンナノチューブ 20 を側面の両方向からゆっくり剥がしていったときには、単層カーボンナノチューブ 1 が成長基板 2 から剥がれずに初期単層カーボンナノチューブ 20 のみをきれいに剥がせることが観察でき

50

た。

【 0 0 5 6 】

一方、図 9 ( B ) に示すように、係止手段 26 によって初期単層カーボンナノチューブ 20 を一方向から勢いよく剥がしたときには、初期単層カーボンナノチューブ 20 だけでなく、単層カーボンナノチューブ 1 も成長基板 2 から剥がれてしまうことが観察できた。

【 0 0 5 7 】

図 9 ( A ) 及び ( B ) において明らかなように、係止手段 26 によって初期単層カーボンナノチューブ 20 を側面の両方向から外力を次第に与えてゆくことで、単層カーボンナノチューブ 1 を成長基板 2 に残しつつ、初期単層カーボンナノチューブ 20 だけを不連続層 21 から剥がせることが確認できた。

【 0 0 5 8 】

また、係止手段 26 によって初期単層カーボンナノチューブ 20 を不連続層 21 から剥がす前と、当該係止手段 26 によって初期単層カーボンナノチューブ 20 を不連続層 21 から剥がした後とにおける先端表面の様子を電子顕微鏡を用いて観察した。

【 0 0 5 9 】

初期単層カーボンナノチューブ 20 を不連続層 21 から剥がす前は、当該初期単層カーボンナノチューブ 20 が存在していることから、先端表面が不均一で揃っておらず、かつ荒いことが確認できた。

【 0 0 6 0 】

一方、図 8 の単層カーボンナノチューブ 1 を上方向から観察した図 10 ( A ) や、図 10 ( B ) に示すように、初期単層カーボンナノチューブ 20 を不連続層 21 から剥がした後では、単層カーボンナノチューブ 1 の先端が露出していることから、初期単層カーボンナノチューブ 20 の先端表面よりも、先端表面が均一に揃っており、かつ細かいことが確認できた。

【 0 0 6 1 】

( 2 ) 動作及び効果

以上の構成において、上述した単層カーボンナノチューブ製造方法では、メタンガスを用いた C V D 法によって成長基板 2 に初期単層カーボンナノチューブ 20 を根元成長させた後、初期単層カーボンナノチューブ 20 の根元成長を一旦停止させる。

【 0 0 6 2 】

また、この単層カーボンナノチューブ製造方法では、再びメタンガスを用いた C V D 法によって、初期単層カーボンナノチューブ 20 の根元部分に単層カーボンナノチューブ 1 を所定の長さまで根元成長させ、これにより初期単層カーボンナノチューブ 20 と単層カーボンナノチューブ 1 との間に不連続層 21 を形成する。

【 0 0 6 3 】

そして、この単層カーボンナノチューブ製造方法では、初期単層カーボンナノチューブ 20 の側面に係止手段 26 を係止させ、そのまま不連続層 21 に面に沿った方向へ外力を与えることにより、初期単層カーボンナノチューブ 20 を不連続層 21 から切除し、先端が均一に揃った所定長さの単層カーボンナノチューブ 1 を成長基板 2 に形成する。

【 0 0 6 4 】

従って、この単層カーボンナノチューブ製造方法では、切除処理として、初期単層カーボンナノチューブ 20 の側面に外力を与えるだけで、成長基板 2 に沿って形成された平坦状の不連続層 21 から初期単層カーボンナノチューブ 20 が剥がれ、先端が均一に揃った欠陥のない単層カーボンナノチューブ 1 を容易に製造できる。

【 0 0 6 5 】

また、この切除処理は、室温で行えると共に、短時間で行えることから生産効率を向上させることができる。さらに従来用いられていた薬品を使用しないことから、薬品による官能基の修飾も起こらないので、従来に比して用途の自由度が高い単層カーボンナノチューブ 1 を製造できる。

【 0 0 6 6 】

ここで単層カーボンナノチューブ1から切除した初期単層カーボンナノチューブ20については、そのまま原形を留めることから、別の用途に用いることができ、かくして無駄な単層カーボンナノチューブが発生することを防止できる。

【0067】

また、この単層カーボンナノチューブ製造方法では、従来のプラズマカット法と異なり、フォトリソグラフィを使用しないので、300nm以下の短小の単層カーボンナノチューブ1を製造することができ、かくして従来に比して用途の自由度が高い単層カーボンナノチューブを容易に製造できる。

【0068】

そして、単層カーボンナノチューブ製造方法では、初期単層カーボンナノチューブ20のうち、先端部分の数十ミクロン程度は倒れているものの、当該初期単層カーボンナノチューブ20の長さを500μm以上としたことにより、初期単層カーボンナノチューブ20の根元部分については確実に垂直配向させることができるので、これに伴い数ミクロン以下の単層カーボンナノチューブ1であってもその先端部分を垂直配向させることができる。

【0069】

また、単層カーボンナノチューブ製造方法では、初期単層カーボンナノチューブ20の成長処理にチャンバ12内へ供給するメタンガスのガス濃度に比べて、単層カーボンナノチューブ1を根元成長させる際にチャンバ12内へ供給するメタンガスのガス濃度を低くするようにしたことにより、単層カーボンナノチューブ1の根元成長の成長速度が遅くなり、ち密で、かつ短小の単層カーボンナノチューブ1を確実に製造できる。

【0070】

以上の構成によれば、初期単層カーボンナノチューブ20の側面に外力を与えるだけで、不連続層21に沿って初期単層カーボンナノチューブ20が剥がれることにより、従来用いられていた薬品を使用することなく先端が均一に揃った欠陥のない単層カーボンナノチューブ1を製造できるので、薬品による官能基の修飾も起こらず、従来に比して用途の自由度が高い単層カーボンナノチューブ1を容易に製造できる。

【0071】

また、先端が均一に揃った欠陥のない単層カーボンナノチューブ1の製造を室温で、かつ短時間で行えと共に、フォトリソグラフィも用いることなく容易に製造できるので、単層カーボンナノチューブ1の生産効率を向上させることができる。

【0072】

(3) 単層カーボンナノチューブ製造方法の有用性

(3-1) 半導体配線構造の製造方法

図11(A)～(C)は、本発明の単層カーボンナノチューブ製造方法を用いて半導体配線構造50(図11(C))を製造する一連の製造工程を示すものである。

【0073】

實際上、成長基板2に相当する第1の配線層51には、所定パターンで絶縁膜52が形成されており、例えばビアや溝等の凹部が絶縁膜52に形成され、このような絶縁膜52間の凹部底面に成長基板製造処理が施されている。この場合、絶縁膜52間の凹部底面に露出した第1の配線層51上には成長面2Aが形成されている。

【0074】

これにより先端放電型ラジカルCVD装置10(図3)を用いて、上述した単層カーボンナノチューブ製造方法と同様に、メタンガスを用いたCVD法を用いて、絶縁膜52間の成長面2Aに初期単層カーボンナノチューブ20を根元成長させた後、当該初期単層カーボンナノチューブ20の根元成長を一旦停止させる。

【0075】

次いで、再びメタンガスを用いたCVD法によって、絶縁膜52間の初期単層カーボンナノチューブ20の根元部分に単層カーボンナノチューブ1を根元成長させる。このとき、図11(A)に示すように、初期単層カーボンナノチューブ20と単層カーボンナノチューブ1との間に形成される不連続層21が、絶縁膜52の高さと一致するように、単層カーボンナ

10

20

30

40

50

ノチューブ1を根元成長させる。

【0076】

次いで、図示しない係止手段によって初期単層カーボンナノチューブ20の側面に外力を与えることにより、初期単層カーボンナノチューブ20を不連続層21から剥がし、これにより、図11(B)に示すように、単層カーボンナノチューブ1における均一に揃った先端を、絶縁膜52の表面位置に一致させることができる。

【0077】

従って、図11(C)に示すように、絶縁膜52及び単層カーボンナノチューブ1の表面に第2の配線膜53を積層形成することにより、絶縁膜52の表面と単層カーボンナノチューブ1の先端とに第2の配線層53を密着させて配置させることができ、かくして第1の配線層51と第2の配線層53とを確実に単層カーボンナノチューブ1を介して電氣的に接続させることができる。

【0078】

以上の構成によれば、初期単層カーボンナノチューブ20の側面に外力を与えるだけで、不連続層21に沿って初期単層カーボンナノチューブ20が剥がれることにより、従来用いられていた薬品を使用することなく先端が均一に揃った欠陥のない単層カーボンナノチューブ1を製造できるので、薬品による官能基の修飾も起こらず、従来に比して用途の自由度が高い単層カーボンナノチューブ1を容易に製造できる。

【0079】

また、先端が均一に揃った欠陥のない単層カーボンナノチューブ1は接続部として用いることができ、このように接続部として用いる単層カーボンナノチューブ1の製造を室温で、かつ短時間で行えと共に、フォトリソグラフィも用いることなく容易に製造できるので、半導体配線構造50の生産効率を向上させることができる。

【0080】

(3-2) フィールドエミッションディスプレイ(FED(電界放出ディスプレイ))  
用電子部品の製造方法

上述した単層カーボンナノチューブ製造方法により製造された単層カーボンナノチューブ1は、先端部分が尖っていることから、高いフィールドエミッション効率を得ることができ、かくしてフィールドエミッションディスプレイにおけるエミッタとしても用いることができる。

【0081】

図12は、電子部品としてのフィールドエミッションディスプレイ60を示すものであり、フィールドエミッションディスプレイ60は、成長基板2に相当するカソード電極61上に設けた絶縁膜62間に、上述した単層カーボンナノチューブ製造方法を用いて単層カーボンナノチューブ1を製造し、この単層カーボンナノチューブ1をエミッタとして使用したものである。

【0082】

このフィールドエミッションディスプレイ60を製造する場合であっても、先端放電型ラジカルCVD装置10(図3)を用いて、上述した単層カーボンナノチューブ製造方法と同様に、メタンガスを用いたCVD法を用いて、絶縁膜62間に露出したカソード電極61上の成長面2Aに初期単層カーボンナノチューブを根元成長させた後、当該初期単層カーボンナノチューブの根元成長を一旦停止させる。

【0083】

次いで、再びメタンガスを用いたCVD法によって、絶縁膜61間の初期単層カーボンナノチューブの根元部分に、単層カーボンナノチューブ1を新たに根元成長させる。このとき、初期単層カーボンナノチューブと、絶縁膜62の表面位置付近にまで成長させた単層カーボンナノチューブ1との間には不連続層21が形成され得る。

【0084】

次いで、図示しない係止手段によって初期単層カーボンナノチューブの側面に外力を与えることにより、初期単層カーボンナノチューブを不連続層から剥がす。これにより、カ

10

20

30

40

50

ソード電極61上の絶縁膜62間に単層カーボンナノチューブ1が配置されると共に、当該単層カーボンナノチューブ1の先端が絶縁膜62の表面位置付近に位置したフィールドエミッションディスプレイ用電子部品66を製造し得る。

【0085】

その後、図12に示すように、フィールドエミッションディスプレイ用電子部品66に、ゲート電極63、収束電極64及びアノード電極65を順次設けることによりフィールドエミッションディスプレイ60を製造し得る。このように単層カーボンナノチューブ1は、フィールドエミッションディスプレイ60のエミッタとして用いることができる。

【0086】

以上の構成によれば、初期単層カーボンナノチューブの側面に外力を与えるだけで、不連続層に沿って初期単層カーボンナノチューブが剥がれることにより、従来用いられていた薬品を使用することなく先端が均一に揃った欠陥のない単層カーボンナノチューブ1を製造できるので、薬品による官能基の修飾も起こらず、従来に比して用途の自由度が高い単層カーボンナノチューブ1を容易に製造できる。

【0087】

また、先端が揃った欠陥のない単層カーボンナノチューブ1はエミッタとして用いることができ、このようにエミッタとして用いる単層カーボンナノチューブ1の製造を室温で、かつ短時間で行えと共に、フォトリソグラフィも用いることなく容易に製造できるので、フィールドエミッションディスプレイ用電子部品66の生産効率を向上させることができる。

【0088】

(3-3) A F M (Atomic Force Microscope (原子間力顕微鏡)) の深針製造方法

上述した単層カーボンナノチューブ製造方法については、A F Mのカンチレバー先端に設けられる探針の探針製造方法にも用いることができる。

【0089】

この場合、先ず始めに上述した単層カーボンナノチューブ製造方法に基づいて、初期単層カーボンナノチューブを不連続層から切除し、先端が均一に揃った所定長さからなる単層カーボンナノチューブを成長基板に形成する。

【0090】

次いで、再びメタンガスを用いたC V D法によって、図13(A)に示すように、単層カーボンナノチューブ1の根元部分に第3層目となる単層カーボンナノチューブ70を所定の長さまで根元成長させることにより、単層カーボンナノチューブ1及び単層カーボンナノチューブ70間に不連続層21を形成する。

【0091】

ここで、単層カーボンナノチューブ1は、先端部分が揃っていることから、単層カーボンナノチューブ1にA F M (図示せず) のカンチレバー先端72を押し付けることにより、当該カンチレバー先端72に接着部材等により単層カーボンナノチューブ1を探針として設けることができる。

【0092】

このように第3層目まで単層カーボンナノチューブを成長させておけば、触媒(不純物)が付着していない第2層目たる単層カーボンナノチューブ1を探針として用いることができる。因みに、第3層目を成長させない状態のまま第2層目たる単層カーボンナノチューブ1を探針として用いるようにしても良い。

【0093】

以上の構成によれば、初期単層カーボンナノチューブの側面に外力を与えるだけで、不連続層に沿って初期単層カーボンナノチューブが剥がれることにより、従来用いられていた薬品を使用することなく先端が均一に揃った欠陥のない単層カーボンナノチューブ1を製造できるので、薬品による官能基の修飾も起こらず、従来に比して用途の自由度が高い単層カーボンナノチューブ1を容易に製造できる。

【0094】

10

20

30

40

50

また、先端が均一に揃った欠陥のない単層カーボンナノチューブ 1 は、カンチレバー先端 72 に取り付け易く、探針として用いることができ、このように探針として用いる単層カーボンナノチューブ 1 の製造を室温で、かつ短時間で行えたと共に、フォトリソグラフィも用いることなく容易に製造できるので、AFM 用の探針の生産効率を向上させることができる。

#### 【0095】

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、成長基板 2 として種々の成長基板を用いても良く、これに応じて化学気相法として熱 CVD 法や光 CVD 法等の種々の化学気相法を用いても良く、要は、初期単層カーボンナノチューブ 20 に外力を与えるだけで、不連続層 21 に沿って初期単層カーボンナノチューブ 20 が剥がれ、これにより先端が均一に揃った欠陥のない単層カーボンナノチューブ 1 を製造できれば良い。

#### 【0096】

また、上述の実施の形態において、初期単層カーボンナノチューブ 20 を根元成長させるときの原料ガスのガス濃度に比べて、単層カーボンナノチューブ 1 を根元成長させるときの原料ガスのガス濃度のほうを低くするようにしたが、本発明はこれに限らず、初期単層カーボンナノチューブ 20 を根元成長させるときの原料ガスのガス濃度と、単層カーボンナノチューブ 1 を根元成長させるときの原料ガスのガス濃度とを同じにしたり、高くするようにしても良い。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0097】

【図 1】本発明による単層カーボンナノチューブ製造方法により製造された単層カーボンナノチューブの全体構成を示し概略図である。

【図 2】成長基板製造処理の製造工程を示す断面図である。

【図 3】先端放電型ラジカル CVD 装置の全体構成を示す概略図である。

【図 4】単層カーボンナノチューブの製造工程 (1) を示す概略図である。

【図 5】初期単層カーボンナノチューブ及び単層カーボンナノチューブを成長基板上に成長させたときの様子を電子顕微鏡を用いて観察したときの写真である。

【図 6】初期単層カーボンナノチューブ及び単層カーボンナノチューブ間の詳細構造を電子顕微鏡を用いて観察したときの写真である。

【図 7】単層カーボンナノチューブの製造工程 (2) を示す概略図である。

【図 8】単層カーボンナノチューブを電子顕微鏡を用いて観察したときの写真である。

【図 9】異なる方法で初期単層カーボンナノチューブを剥がしたときの様子を光学顕微鏡を用いて観察したときの写真である。

【図 10】初期単層カーボンナノチューブ及び単層カーボンナノチューブの先端の様子を電子顕微鏡を用いて観察したときの写真である。

【図 11】半導体配線構造の製造工程を示す概略図である。

【図 12】本発明による単層カーボンナノチューブ製造方法を用いて製造されたフィールドエミッションディスプレイの全体構成を示す概略図である。

【図 13】AFM のカンチレバー先端に設けられる探針の探針製造工程を示す概略図である。

#### 【符号の説明】

#### 【0098】

- 1 単層カーボンナノチューブ (第 2 の単層カーボンナノチューブ)
- 2 成長基板
- 20 初期単層カーボンナノチューブ (第 1 の単層カーボンナノチューブ)
- 21 不連続層
- 50 半導体配線構造
- 51 第 1 の配線層
- 52, 62 絶縁膜

10

20

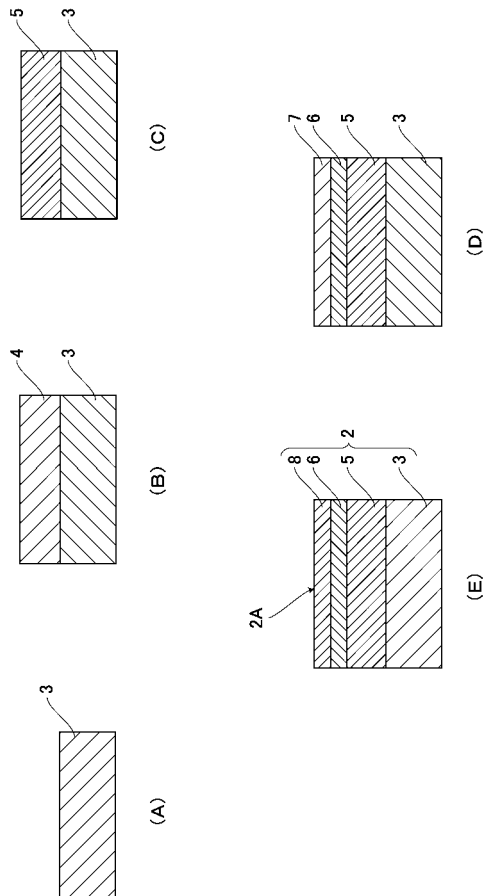
30

40

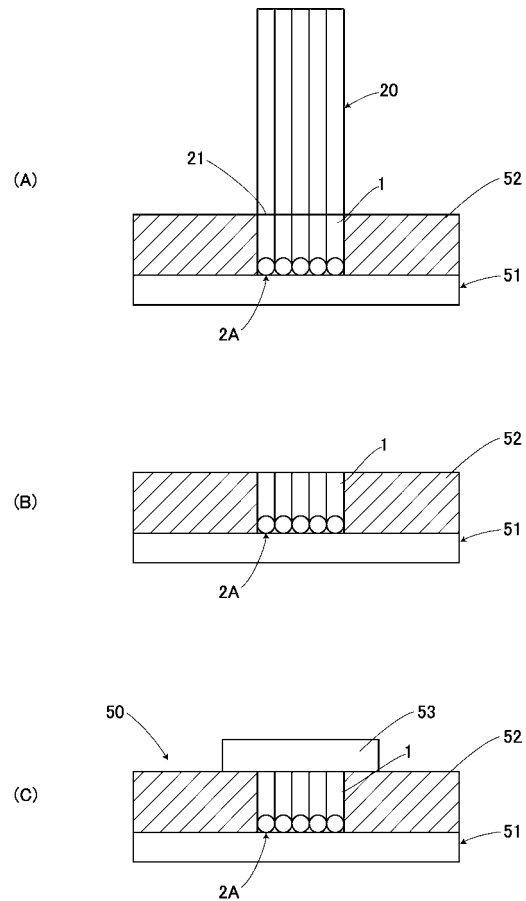
50

- 53 第 2 の配線層
- 60 フィールドエミッションディスプレイ
- 61 カソード電極
- 66 フィールドエミッションディスプレイ用電子部品
- 72 カンチレバー先端

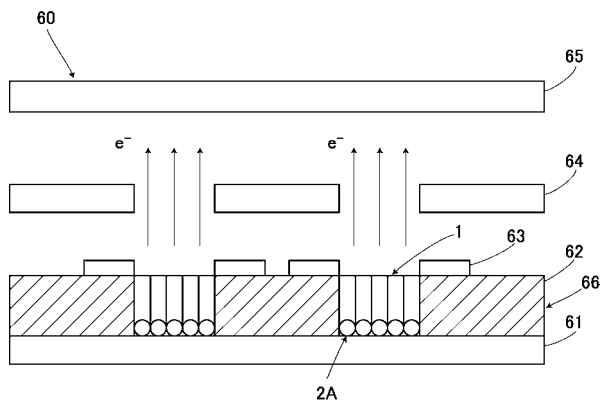
【図 2】



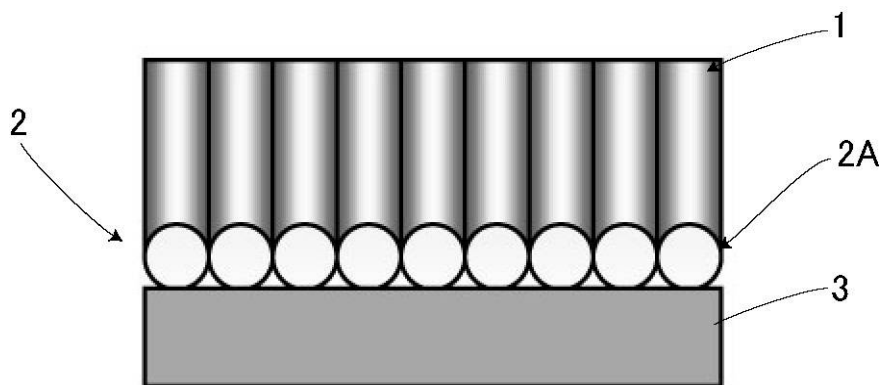
【図 1 1】



【図 12】



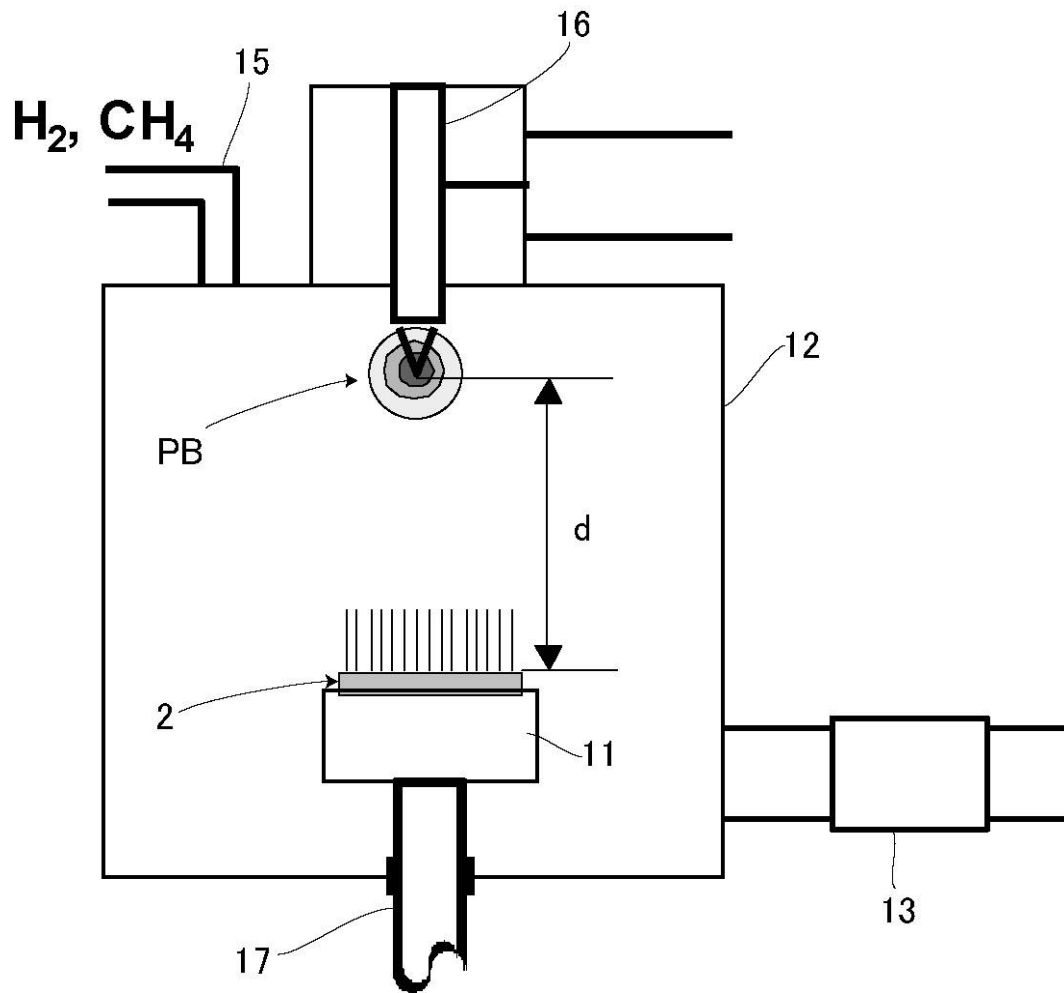
【図 1】



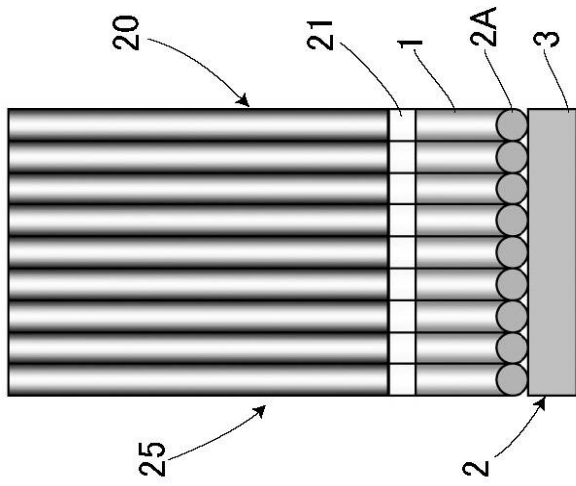


【図 3】

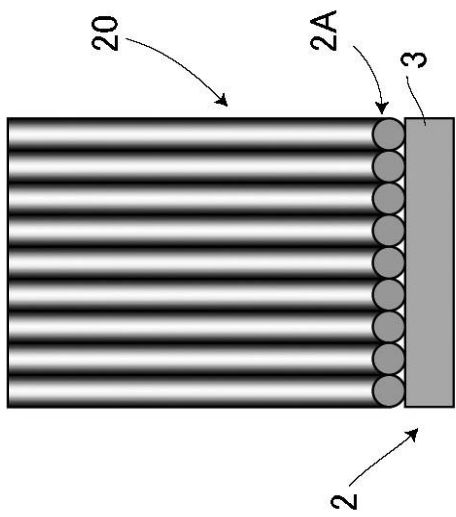
10



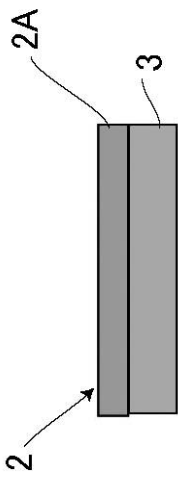
【図 4】



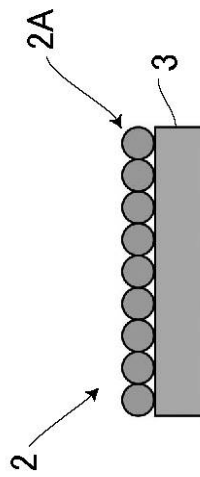
(D)



(C)

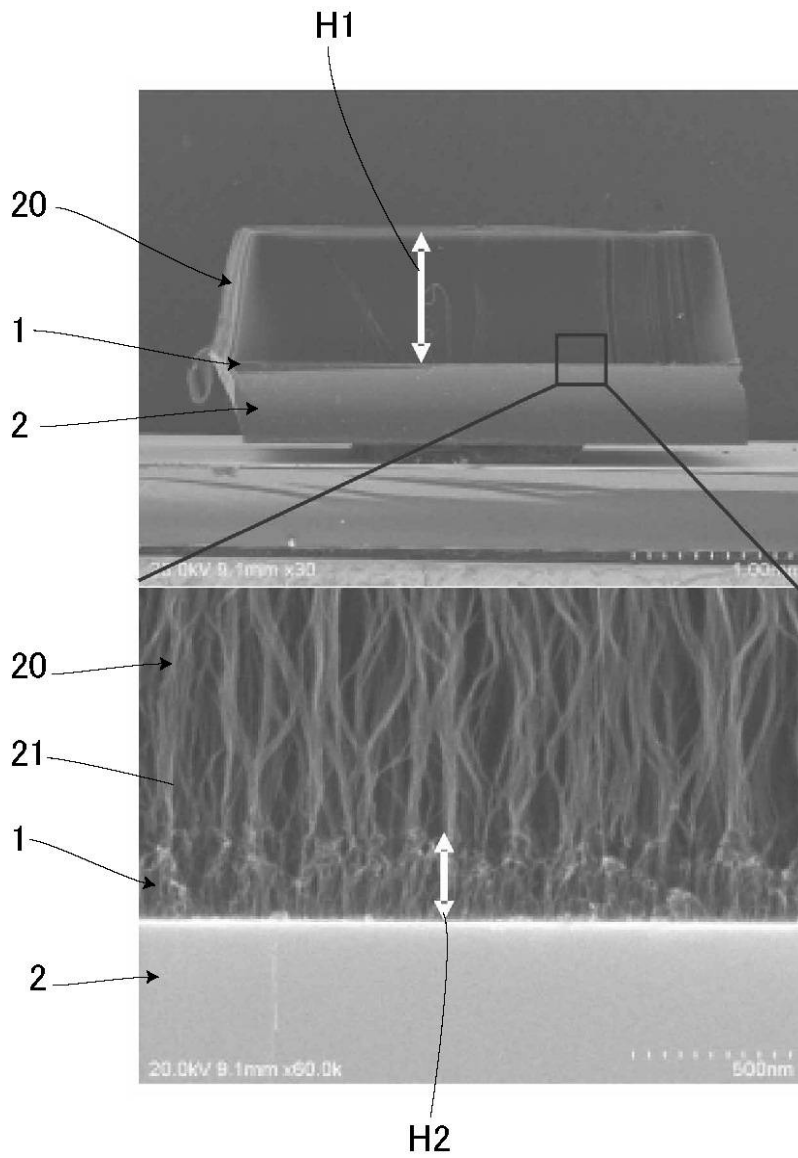


(A)

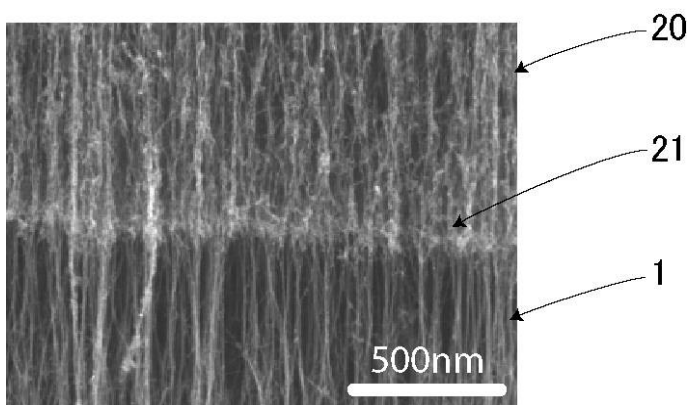


(B)

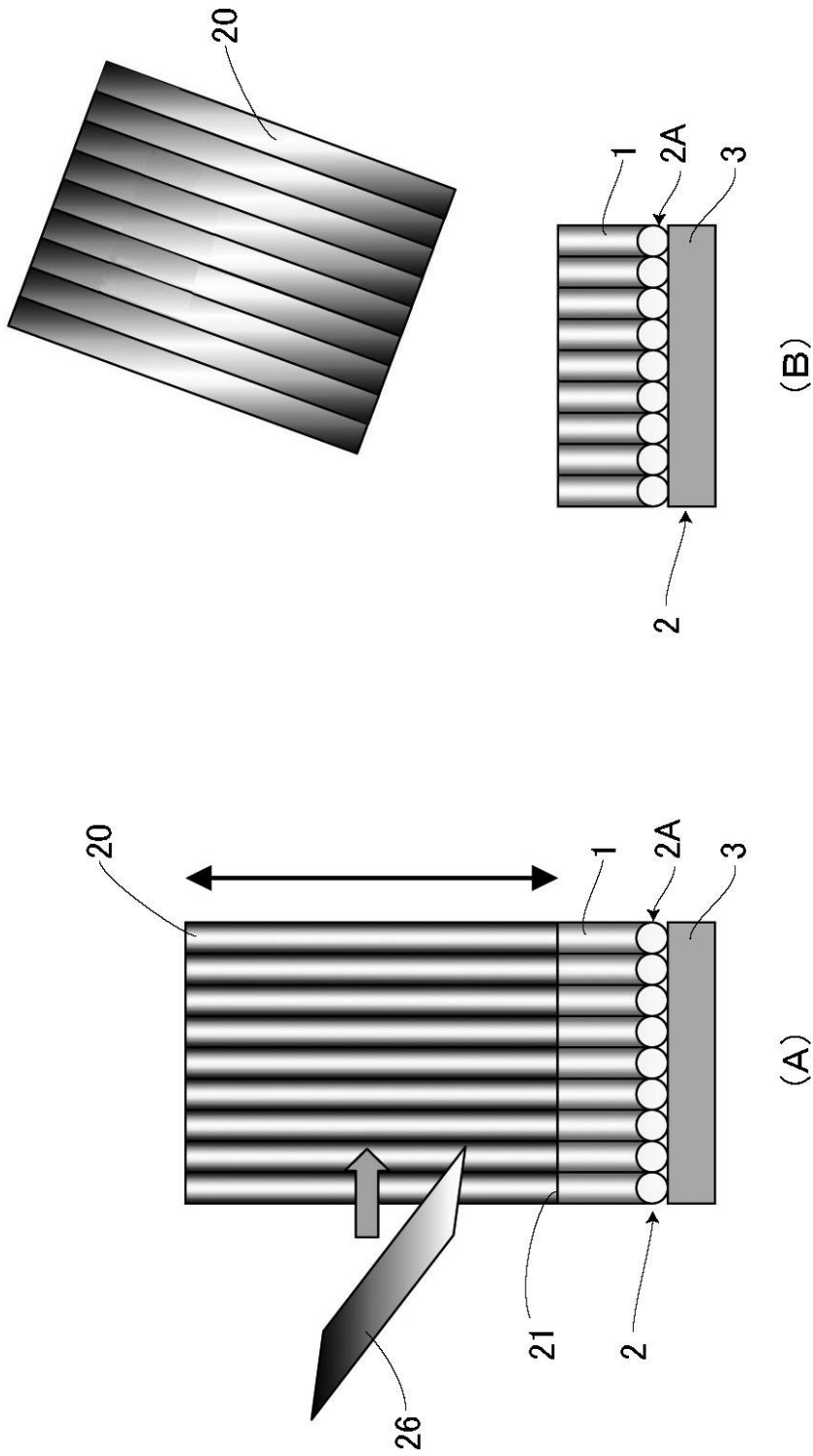
【 図 5 】



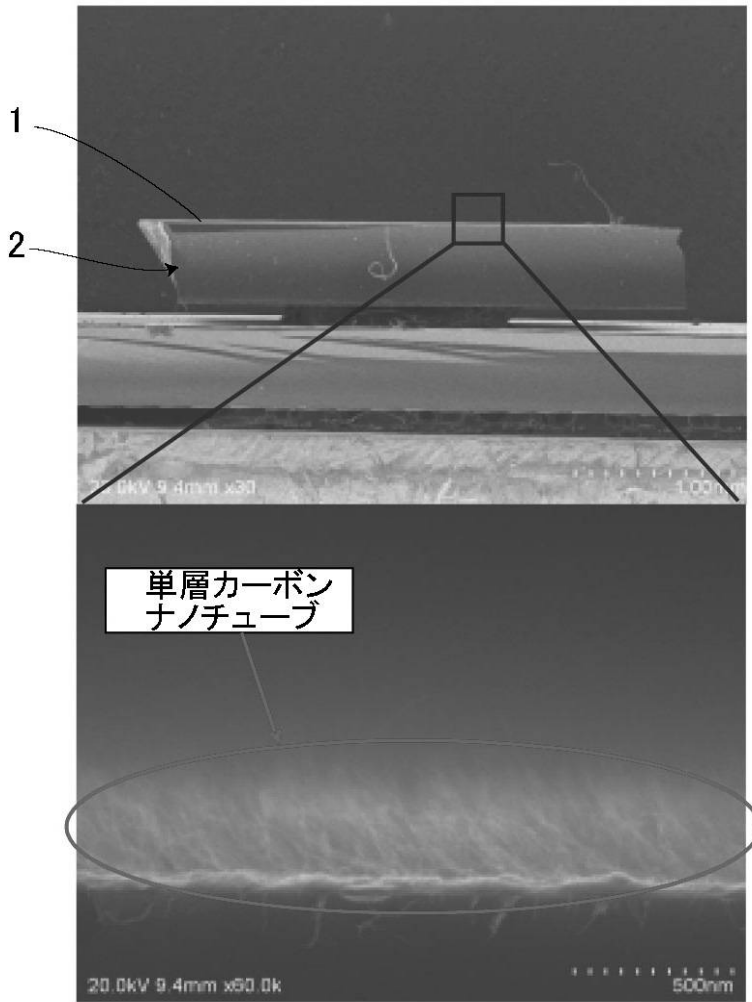
【 図 6 】



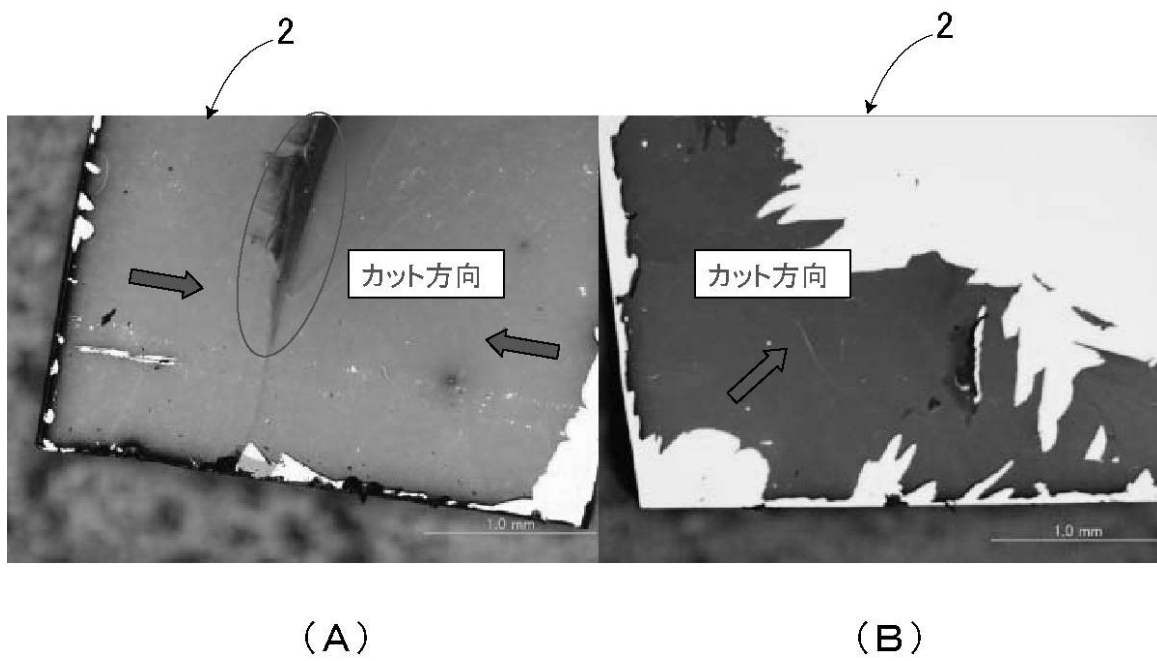
【 図 7 】



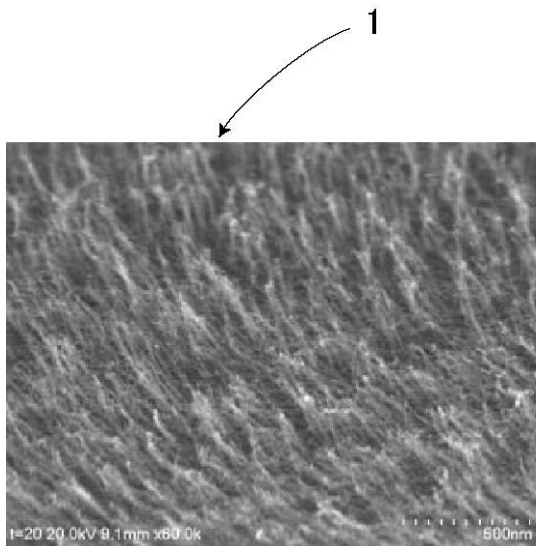
【 図 8 】



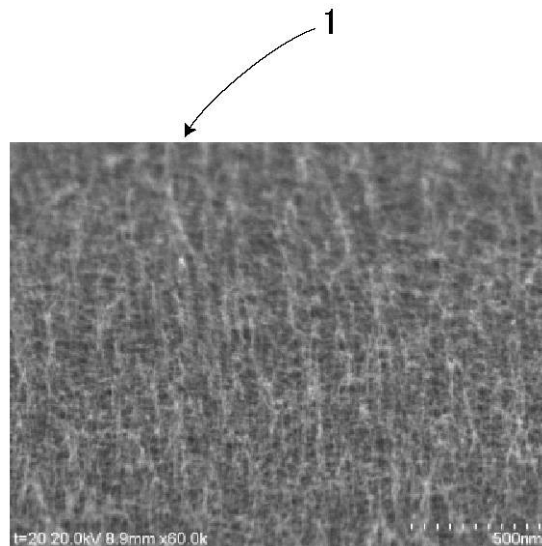
【 図 9 】



【図 10】

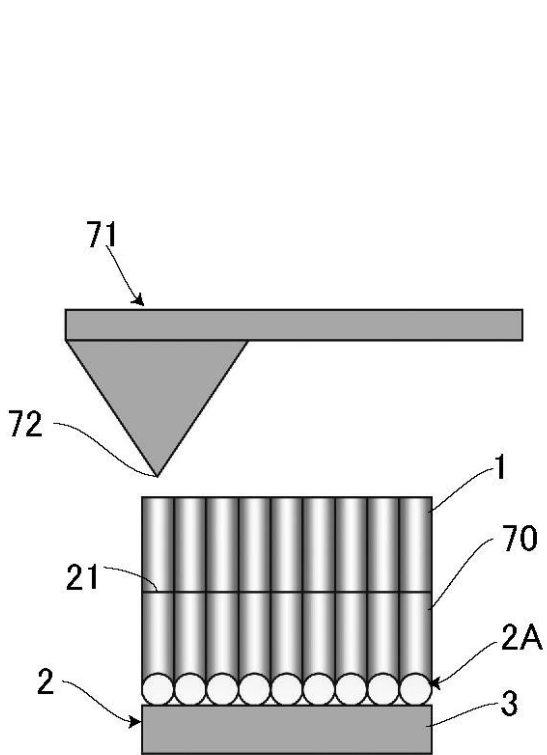


(A)

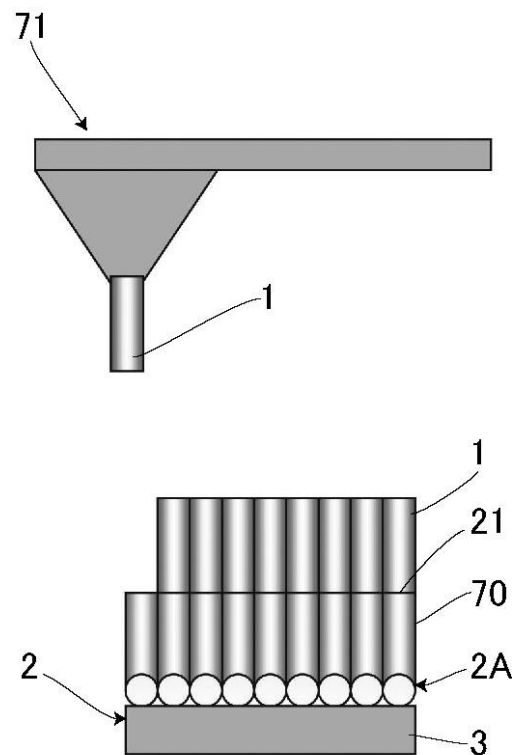


(B)

【図 13】



(A)



(B)

## フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
<b>H 0 1 L 21/285 (2006.01)</b>		H 0 1 L 21/285	C	
<b>H 0 1 L 21/3205 (2006.01)</b>		H 0 1 L 21/88	M	
<b>H 0 1 L 23/52 (2006.01)</b>		H 0 1 L 21/90	A	
<b>H 0 1 L 21/768 (2006.01)</b>				

(72)発明者 川原田 洋

東京都新宿区大久保 3 丁目 4 番 1 号 学校法人 早稲田大学理工学術院内

(72)発明者 岩崎 孝之

東京都新宿区大久保 3 丁目 4 番 1 号 学校法人 早稲田大学理工学研究科内

F ターム(参考) 4G146 AA12 AB04 AB06 AC02A AD29 BA12 BA48 BB22 BB23 BC09  
 BC25 BC31B BC33B BC42 BC44 BC48 CB08 DA03  
 4G169 AA03 AA08 BA01B BC66B CB81 DA06 EA08 EB15Y FB02  
 4M104 BB36 DD43 DD46 FF21  
 5C127 AA01 BA15 BB07 CC03 DD07 DD08 DD32 DD62 DD69 EE15  
 5F033 JJ00 PP02 PP07 WW01