

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5466007号
(P5466007)

(45) 発行日 平成26年4月9日(2014.4.9)

(24) 登録日 平成26年1月31日(2014.1.31)

(51) Int. Cl.		F I			
GO 1 R	1/067	(2006.01)	GO 1 R	1/067	C
GO 1 R	1/073	(2006.01)	GO 1 R	1/073	E
GO 1 R	31/28	(2006.01)	GO 1 R	31/28	K
B 8 2 B	1/00	(2006.01)	B 8 2 B	1/00	
B 8 2 B	3/00	(2006.01)	B 8 2 B	3/00	

請求項の数 14 (全 52 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2009-533469 (P2009-533469)
 (86) (22) 出願日 平成19年10月15日(2007.10.15)
 (65) 公表番号 特表2010-507098 (P2010-507098A)
 (43) 公表日 平成22年3月4日(2010.3.4)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2007/081423
 (87) 国際公開番号 W02008/048938
 (87) 国際公開日 平成20年4月24日(2008.4.24)
 審査請求日 平成22年10月15日(2010.10.15)
 (31) 優先権主張番号 60/829,674
 (32) 優先日 平成18年10月16日(2006.10.16)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 60/938,673
 (32) 優先日 平成19年5月17日(2007.5.17)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 505377474
 フォームファクター, インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 945
 51, リバーモア, サウスフロント
 ロード 7005
 (74) 代理人 100079108
 弁理士 稲葉 良幸
 (72) 発明者 エルドリッジ, ベンジャミン エヌ.
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 945
 26, ダンビル, シェリ レーン 6
 51

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プローブカードアセンブリ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電子装置のテストを制御するように構成されたテスターへの複数の通信チャネルへの電気的インターフェースと、

前記電子装置の端子のパターンに対応するパターンで配置された接触端を有する複数の導電性スプリングプローブであって、前記プローブのそれぞれは、複数の垂直に整列したカーボンナノチューブのカラムを有し、前記カラムは、複数の可逆的変形可能領域を有するスプリング機構を有する、導電性スプリングプローブと、を備え、

前記可逆的変形可能領域は、それぞれ、前記電子装置との接触により前記カラムの長さを実質的に平行な方向に前記プローブの前記接触端に加えられる力にตอบสนองして、弾性的にかつ前記カラムの前記長さに実質的に平行な方向に縮み、

前記プローブのそれぞれは、前記プローブの前記スプリング機構が所定のバネ特性を有するように機械的に調整され、

前記所定のバネ特性は、前記可逆的変形可能領域のそれぞれのバネ特性の直列の和を有する、

プローブカードアセンブリ。

【請求項2】

前記プローブのそれぞれは、前記プローブを構成する前記カーボンナノチューブの個々の上又は間に配置される導電性材料を有する、請求項1に記載のプローブカードアセンブリ。

【請求項 3】

前記プローブのそれぞれは、前記プローブの前記接触端から突出する複数の構造を有する、請求項 2 に記載のプローブカードアセンブリ。

【請求項 4】

前記プローブのそれぞれの前記接触端は、前記接触端から突出する複数の構造を有する、請求項 1 に記載のプローブカードアセンブリ。

【請求項 5】

前記プローブのそれぞれの前記接触端における前記構造のそれぞれは、前記プローブを構成するカーボンナノチューブの個々の複数の端部を有する、請求項 4 に記載のプローブカードアセンブリ。

10

【請求項 6】

配線基板をさらに備え、

前記プローブのそれぞれの基部端は、接着剤によって前記配線基板に接着され、前記プローブのそれぞれは、前記プローブを構成するカーボンナノチューブの個々の間で該プローブの中に沁み込んだ前記接着剤の一部を有する、請求項 1 に記載のプローブカードアセンブリ。

【請求項 7】

前記接着剤は、前記プローブの前記基部端から前記プローブの少なくとも半分の長さに沿って前記プローブのそれぞれの内部に配置される、請求項 6 に記載のプローブカードアセンブリ。

20

【請求項 8】

前記可逆的変形可能領域は、前記カラムの前記長さに略垂直である、請求項 1 に記載のプローブカードアセンブリ。

【請求項 9】

前記プローブが取り付けられる配線基板と、前記プローブの一部分の周囲に配置される材料と、をさらに備え、前記材料は、前記配線基板に前記プローブを固着する、請求項 1 に記載のプローブカードアセンブリ。

【請求項 10】

前記材料は、前記配線基板上の電気端子の個々に前記プローブの個々を電気的に接続する、請求項 9 に記載のプローブカードアセンブリ。

30

【請求項 11】

前記プローブは、前記電気端子上に配置される、請求項 10 に記載のプローブカードアセンブリ。

【請求項 12】

前記プローブは、前記配線基板にエッチングされたくぼみに配置され、前記電気端子は、前記プローブから離間される、請求項 10 に記載のプローブカードアセンブリ。

【請求項 13】

電子装置のテストを制御するように構成されたテスターへの複数の通信チャンネルへの電気的インターフェースと、

前記電子装置の端子のパターンに対応するパターンで配置された接触端を有する複数の導電性スプリングプローブであって、前記プローブのそれぞれは、複数の垂直に整列したカーボンナノチューブを有し、前記プローブのそれぞれは、スプリング機構を有し、それにより、前記プローブは、前記電子装置との接触により前記プローブの前記接触端に加えられる力にตอบสนองして、弾性的にかつ前記力の方向と略平行である方向に変形する、導電性スプリングプローブと、を備え、

40

前記プローブのそれぞれは、所定のバネ特性を有するように機械的に調整され、

前記プローブのそれぞれの前記スプリング機構は、前記プローブの長さに沿って配置される複数の可逆的変形可能領域を備え、前記プローブの前記所定のバネ特性は、前記可逆的変形可能領域のそれぞれのバネ特性の直列の和を有する、
プローブカードアセンブリ。

50

【請求項 14】

電子装置のテストを制御するように構成されたテスターへの複数の通信チャネルへの電氣的インターフェースと、

前記電子装置の端子のパターンに対応するパターンで配置された接触端を有する複数の導電性スプリングプローブであって、前記プローブのそれぞれは、複数の垂直に整列したカーボンナノチューブを有し、前記プローブのそれぞれは、スプリング機構を有し、それにより、前記プローブは、前記電子装置との接触により前記プローブの前記接触端に加えられる力にตอบสนองして、弾性的にかつ前記力の方向と略平行である方向に変形する、導電性スプリングプローブと、を備え、

前記プローブのそれぞれは、所定のバネ定数を有するように機械的に調整され、

前記プローブのそれぞれの前記スプリング機構は、前記プローブの長さに沿って配置される複数の可逆的変形可能領域を備え、前記プローブの前記所定のバネ定数は、前記可逆的変形可能領域のそれぞれのバネ定数の直列の和を有する、

プローブカードアセンブリ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

カーボンナノチューブは、1990年代初期に発見された材料だが、多くの所望される特性を有する。例えば、カーボンナノチューブは、高剛性、靱性、および弾性等の所望する機械的特性を有することが可能である。別の実施例として、カーボンナノチューブは、導電性等の所望する電氣的特性を有することが可能である。これらの、および/または他の特性のため、カーボンナノチューブは、原子間力顕微鏡等の応用に使用するためのプローブを構成するための、有望な材料であってもよい(米国特許出願US2007/0051887参照)。しかしながら、このようなプローブは、垂直方向に、本質的に弱く、プローブが、カーボンナノチューブの座屈または変形を生じる表面と圧力接触する時、容易に変形されて効果的利用点を越え得る。

【背景技術】

【0002】

弾力性がある、柔軟で、変形可能な、または弾性のプローブ(機械的または電気機械的)は、典型的には、種々の用途で使用されてきたカーボンナノチューブ以外の材料で作製される。例えば、プローブのグループ(例えば、配列)は、プローブによりプローブされる(例えば、物理的に接触される)物体のパターンに対応するパターンで配置できる。このようなプローブは、導電性であり得、電子装置(例えば、半導体ダイ)の入力および/または出力端子部に接触し電子装置と一時的な圧力型電気接続を確立し、該接続を通して、テスト信号が電子装置に提供され、電子装置により発生される応答信号が検知され得る。このようなテストを通して、電子装置は、装置が適切に機能するかどうかを判断するために、および/または装置の動作を評定するために評価できる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

特定のプローブ用途により、このようなプローブが1つ以上の特定の機械特性を有することが所望され得る。例えば、いくつかの用途において、プローブに加えられる力に応じて、プローブが柔軟で弾力性のあることが所望され得る。例えば、このようなプローブは、プローブの接触部に加えられる力に応じて、圧縮、変形、屈曲、別様に移動により柔軟であり得、プローブは、プローブの接触部に加えられる力に応じる反力を発生し、次に、加えられた力がプローブの接触部から取り除かれた後、実質的に、プローブの元の形状、位置、または方向に戻ることににより弾力性があり得る。いくつかの用途において、プローブが特定の機械的特性を有するように調整することが所望され得る。長期間に渡る繰り返し使用による靱性、耐久性、およびコンシステンシー等の他の機械的特性も、所望され得る。例えば、このようなプローブが機械的特性における実質的な変化が起きることなく、

10

20

30

40

50

長期間に渡る繰り返し圧縮に耐えられることが所望され得る。

【 0 0 0 4 】

加えて、プローブ用途が電氣的な場合、このようなプローブが1つ以上の特定の電氣的特性を有することが所望され得る。例えば、いくつかの用途において、電氣的プローブが低電気抵抗および/または高通電容量を有することが所望されてもよい。

【 0 0 0 5 】

プローブ用途が電氣的かどうかにかかわらず、プローブが、製造性等の他の所望の特性を有することが所望され得る。例えば、いくつかの用途において、プローブの互いの間隔が近い(プローブ間のピッチまたは間隔が小さい)パターン(例えば、配列)でプローブを形成する必要がある場合がある。このような用途において、プローブの互いの間隔は近いが、プローブが互いに接触、別様に、干渉することなく、プローブに加えられる力に応じて、プローブが、圧縮、変形、屈曲、別様に、移動可能である(例えば、柔軟性を示す)ことが所望されてもよい。いくつかの用途において、グループのプローブの全ての接触部が、特定平面の特定の距離内に位置するように、プローブの接触部(例えば、接触先端)を平坦化することが所望されてもよい。いくつかの用途において、プローブが、極端な温度(例えば、高温、または低温)での繰り返し使用に耐えることが所望され得る。当然ながら、このようなプローブを効率的に、かつ経済的に作製可能である、および/またはこのようなプローブをプローブ器具に組み込み可能であることが所望され得る。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

以下に説明する本発明のいくつかの実施形態は、いくつかの場合、1つ以上の前述の所望の機械的、電氣的、製造性、または他の特性を有するカーボンナノチューブを含むプローブの製造および/または使用を補助する。

【 0 0 0 7 】

一部の実施形態においては、複数の垂直に整列したカーボンナノチューブを含むカラムは、電気機械的接点構造またはプローブとして構成され得る。一部の実施形態においては、カラムは、犠牲基板上で成長され、製品基板に移行され得るか、またはカラムは、製品基板上で成長され得る。一部の実施形態においては、カラムは、剛性等の機械的特性、導電性等の電氣的特性、および/または物理的接触特性を強化するように処理され得る。一部の実施形態においては、カラムは、所定のバネ特性を有するように機械的に調整され得る。一部の実施形態においては、カラムは、例えば、半導体ダイ等の電子装置を接続およびテストするために、電気機械的プローブとして使用でき、カラムは、電子装置の端子上に独特の跡を作製することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図1A】図1Aは、本発明のいくつかの実施形態に従う、基板上的カーボンナノチューブの例示的カラムを図示する。

【図1B】図1Bは、図1Aのカーボンナノチューブのカラムの1つを示す。

【図1C】図1Cは、図1Aのカーボンナノチューブのカラムの1つを示す。

【図2】図2は、本発明のいくつかの実施形態に従う、カーボンナノチューブのカラムを作製する例示的な浮動触媒工程を図示する。

【図3】図3は、本発明のいくつかの実施形態に従う、カーボンナノチューブのカラムを作製する例示的な浮動触媒工程を図示する。

【図4A】図4Aは、本発明のいくつかの実施形態に従う、カーボンナノチューブのカラムを作製する例示的な浮動触媒工程を図示する。

【図4B】図4Bは、本発明のいくつかの実施形態に従う、カーボンナノチューブのカラムを作製する例示的な浮動触媒工程を図示する。

【図5A】図5Aは、本発明のいくつかの実施形態に従う、カーボンナノチューブのカラムを作製する例示的な浮動触媒工程を図示する。

【図 6】図 6 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、カーボンナノチューブのカラムを作製する例示的な固定触媒工程を図示する。

【図 7】図 7 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、カーボンナノチューブのカラムを作製する例示的な固定触媒工程を図示する。

【図 8】図 8 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、カーボンナノチューブのカラムを犠牲基板から別の基板に移動する例示的な工程を図示する。

【図 9】図 9 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、カーボンナノチューブのカラムを犠牲基板から別の基板に移動する例示的な工程を図示する。

【図 10】図 10 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、カーボンナノチューブのカラムを犠牲基板から別の基板に移動する別の例示的な工程を図示する。

10

【図 11】図 11 A および 11 B は、本発明のいくつかの実施形態に従う、配線基板上のカーボンナノチューブのカラムを図示する。

【図 12】図 12 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、工程がカラムを基板に移動するステップを含む、カーボンナノチューブのカラムの作製の例示的な工程を図示する。

【図 13】図 13 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、工程がカラムを基板に移動するステップを含む、カーボンナノチューブのカラムの作製の例示的な工程を図示する。

【図 14】図 14 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、工程がカラムを基板に移動するステップを含む、カーボンナノチューブのカラムの作製の例示的な工程を図示する。

【図 15】図 15 A および 15 B は、本発明のいくつかの実施形態に従う、配線基板の上にカーボンナノチューブのカラムを成長させ、カラムを配線基板に固着し、および/またはカラムを配線基板に電気的に接続する例示的な工程を図示する。

20

【図 16】図 16 A および 16 B は、本発明のいくつかの実施形態に従う、配線基板の上にカーボンナノチューブのカラムを成長させ、カラムを配線基板に固着し、および/またはカラムを配線基板に電気的に接続する例示的な工程を図示する。

【図 17】図 17 A および 17 B は、本発明のいくつかの実施形態に従う、配線基板の上にカーボンナノチューブのカラムを成長させ、カラムを配線基板に固着し、および/またはカラムを配線基板に電気的に接続する別の例示的な工程を図示する。

【図 18】図 18 A および 18 B は、本発明のいくつかの実施形態に従う、配線基板の上にカーボンナノチューブのカラムを成長させ、カラムを配線基板に固着し、および/またはカラムを配線基板に電気的に接続する別の例示的な工程を図示する。

30

【図 19 A】図 19 A は、本発明のいくつかの実施形態に従う、カラムの接触端の中へを含み、カラムを通して沁み込まされた接着剤を伴うカーボンナノチューブの例示的なカラムを図示する。

【図 19 B】図 19 B は、本発明のいくつかの実施形態に従う、カラムの接触端が突出構造を有する、カラムの基部の中に沁み込まされた接着剤を伴うカーボンナノチューブの例示的なカラムを図示する。

【図 20】図 20 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、接触端から突出する突出構造の数を増加するための、図 19 B のカーボンナノチューブのカラムの処理を図示する。

【図 21】図 21 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、図 20 のカーボンナノチューブのカラムへの導体材料の追加を図示する。

40

【図 22】図 22 A および 22 B は、本発明のいくつかの実施形態に従う、導電性材料で充填され得る中空スペースを伴うカーボンナノチューブの例示的なカラムを図示する。

【図 23 A】図 23 A は、本発明のいくつかの実施形態に従う、概して、接触端の周辺に沿った角で、または他のポイントで形成される突出構造を伴うカーボンナノチューブの例示的なカラムを図示する。

【図 23 B】図 23 B は、本発明のいくつかの実施形態に従う、図 23 A のカラムの例示的な作製方法を図示する。

【図 23 C】図 23 C は、本発明のいくつかの実施形態に従う、図 23 A のカラムの例示的な作製方法を図示する。

【図 23 D】図 23 D は、本発明のいくつかの実施形態に従う、図 23 A のカラムの例示

50

的作製方法を図示する。

【図 2 3 E】図 2 3 E は、本発明のいくつかの実施形態に従う、図 2 3 A のカラムの例示的作製方法を図示する。

【図 2 4】図 2 4 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、特定のバネ特性または特性等を有するように、カーボンナノチューブのカラムを調整する例示的な工程を図示する。

【図 2 5】図 2 5 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、図 2 4 の工程に従うカーボンナノチューブのカラムの調整の例示の実施例を図示する。

【図 2 6】図 2 6 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、カーボンナノチューブのカラムを含むプローブを伴う接触器を備える例示的テストシステムを図示する。

【図 2 7】図 2 7 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、プローブカードアセンブリの形状で接触器を作製する例示的工程を図示する。

【図 2 8】図 2 8 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、図 3 4 に示されるプローブカードアセンブリが作製される図 2 7 の工程の実施例を図示する。

【図 2 9】図 2 9 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、図 3 4 に示されるプローブカードアセンブリが作製される図 2 7 の工程の実施例を図示する。

【図 3 0】図 3 0 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、図 3 4 に示されるプローブカードアセンブリが作製される図 2 7 の工程の実施例を図示する。

【図 3 1】図 3 1 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、図 3 4 に示されるプローブカードアセンブリが作製される図 2 7 の工程の実施例を図示する。

【図 3 2】図 3 2 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、図 3 4 に示されるプローブカードアセンブリが作製される図 2 7 の工程の実施例を図示する。

【図 3 3】図 3 3 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、図 3 4 に示されるプローブカードアセンブリが作製される図 2 7 の工程の実施例を図示する。

【図 3 4】図 3 4 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、図 3 4 に示されるプローブカードアセンブリが作製される図 2 7 の工程の実施例を図示する。

【図 3 5】図 3 5 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、電子装置またはテストされる装置の端子部のパターンに対応するパターンで、カーボンナノチューブのカラムを含むプローブを伴う、図 2 6 の接触器の斜視図を示す。

【図 3 6】図 3 6 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、図 2 6 のテストシステムのようなテストシステムにおいて、電子装置または装置をテストおよびさらに処理する例示的な工程を図示する。

【図 3 7】図 3 7 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、図 2 6 の電子装置の端子部を伴う接触器のプローブの例示的接触、およびプローブの接触端において突出構造を有するように、図 2 0 に示すように処理されるプローブにより端子部上に作製される穿刺跡の形状でのプローブ跡を図示する。

【図 3 8】図 3 8 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、図 2 6 の電子装置の端子部を伴う接触器のプローブの例示的接触、およびプローブの接触端において突出構造を有するように、図 2 0 に示すように処理されるプローブにより端子部上に作製される穿刺跡の形状でのプローブ跡を図示する。

【図 3 9】図 3 9 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、図 2 3 A のプローブのようなプローブにより端子上に残される穿刺跡の形状での例示的なプローブ跡を図示する。

【図 4 0】図 4 0 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、プローブの接触端で図 2 0 に図示される突出構造を概して欠損するプローブによる端子部上のカーボンナノチューブインプリントの形状での例示的なプローブ跡を図示する。

【図 4 1】図 4 1 A、4 1 B および 4 1 C は、図 3 8 - 4 0 に示されるプローブ跡のようなダイの端子部上にプローブ跡を伴う例示的な半導体ダイを図示する。

【図 4 2】図 4 2 は、ダイの端子部全体を擦る従来の技術のプローブにより作製される例示的な従来の技術のプローブ跡を図示する。

【図 4 3】図 4 3 A および 4 3 B は、本発明のいくつかの実施形態に従う、カーボンナノチューブのカラムを含み得るバネ接点構造を備える、例示的なインターポーザを図示する

10

20

30

40

50

。【図44】図44は、本発明のいくつかの実施形態に従う、カーボンナノチューブのカラムを含み得るバネ接点構造を備える、例示的な半導体ダイを図示する。

【発明を実施するための形態】

【0009】

本明細書は、本発明の例示的な実施形態および用途を説明する。しかしながら、本発明は、これらの例示的な実施形態および用途、または例示的な実施形態および用途が動作する、もしくは本明細書に説明される方法に限定されるものではない。さらに、図は、簡略化した、または部分的な図を示すものであり、図の要素の寸法は、明確さのために誇張されるか、別様に、縮尺はない。加えて、用語「上に」および「取り付けられる」が本明細書で使用されるが、1つの物体（例えば、材料、層、基板等）は、1つの物体が他の物体上に直接存在または取り付けられる、あるいは1つの物体と他の物体との間に1つ以上の介在物体が存在するかにかかわらず、別の物体の「上」に存在するか、または「取り付けられ」得る。また、提供される場合、方向（例えば、上方、下方、上側、下側、横、上、下、「x」、「y」、「z」等）は、相対的であり、単に、実施例として、かつ例証および説明を容易にするために提供されるものであり、限定するものではない。加えて、要素のリスト（例えば、要素a、b、c）を参照する場合、これらの参照は、リストに挙げられる要素自体のいずれか1つ、リストに挙げられる全てより少ない要素の任意の組み合わせ、および/またはリストに挙げられる要素の全ての組み合わせを含むことを意図する。

【0010】

図1Aは、本発明のいくつかの実施形態に従う、基板102上にカーボンナノチューブを含むカラム104の例示的なグループを図示する（基板102は、成長基板、中間基板、または製品基板であり得、基板102は、配線基板または製品基板の非限定的な実施例であり得る）。15個のカラム104が基板102上に示されるが、より多くの、または以下のカラム104が、基板102上に存在し得る。実際、数百または数千のカラム104が、基板102上に存在し得る。周知のように、カーボンナノチューブは、1つに絡み合った繊維状構造であり得、カラム104は、複数のカーボンナノチューブの絡み合ったものを含むことができる。カラム104は、したがって、カーボンナノチューブカラムとして称され得る。

【0011】

周知のように、個々のカーボンナノチューブは、カーボンナノチューブの壁の数および壁の厚さ、カーボンナノチューブの直径、およびカーボンナノチューブのキラリティ（横揺れ角）を含むが、これらに限定されない、数多くの属性を有し得る。加えて、カラム104のような1つの構造を形成するために絡み合ったカーボンナノチューブのグループは、グループにおける個々のカーボンナノチューブ間の平均間隔、グループにおけるカーボンナノチューブの平均の長さ、およびグループにおけるカーボンナノチューブの整列または方向を含むが、これに限定されない、数多くの属性を有し得る。

【0012】

カラム104のそれぞれにおけるカーボンナノチューブは、あらゆる特定の数の壁、壁の厚さ、直径、またはキラリティを有することに限定されるものでもなく、また、カラム104を形成するカーボンナノチューブは、カーボンナノチューブ間の特定の平均間隔、平均の長さ、または整列を限定するものでもない。しかし、一部の実施形態においては、それぞれのカラム104は、垂直に整列したカーボンナノチューブを含むことができる。垂直に整列したカーボンナノチューブを含むカラムは、「垂直に整列した」カーボンナノチューブカラムとして称される。非限定的にカラム104を含む、本明細書に説明されるあらゆるカーボンナノチューブのカラムは、垂直に整列したカーボンナノチューブカラムであり得る。

【0013】

本明細書で使用されるように、カーボンナノチューブのカラム（例えば、カラム104）は、カラムを構成するカーボンナノチューブの大部分（すなわち、50%以上）が、カ

10

20

30

40

50

ラムの一端（例えば、端 108）で始まり、反対側の端（例えば、端 106）で終わるラムの長さに沿った連続した経路を形成する場合、「垂直に整列」されている。コラム 104 の 1 つの側面図を図示する図 1B および 1C は、実施例を図示する。図 1B および 1C において、コラム 104 を構成する数個のカーボンナノチューブ 110 を図示する。コラム 104 は、しかしながら、数千または数十万のこのようなカーボンナノチューブ 110 を含むことができる。図に示すように、コラム 104 を構成するカーボンナノチューブ 110 は、屈曲および/または捻られてもよく、したがって、互いに絡み合っている。図 1B において、カーボンナノチューブ 110 a の 1 つが強調され、図に示すように、カーボンナノチューブ 110 a は、コラム 104 の端 106、108 で始まって終わり、カーボンナノチューブ 110 a は、端 106、108（すなわち、コラム 104 の長さ L に沿った）間で連続する（端 106 は、基部端、接触端、第 1 端、または第 2 端の非限定的な実施例であり得、端 108 は、同様に、基部端、接触端、第 1 端、または第 2 端の非限定的な実施例であり得る）。図 1C において、別のカーボンナノチューブ 110 b が強調され、図に示すように、カーボンナノチューブ 110 b もまた、コラム 104 の端 106、108 で始まって終わり、カーボンナノチューブ 110 b は、端 106、108（すなわち、コラム 104 の長さ L に沿った）間で連続する。カーボンナノチューブ 110 a および 110 b の両方は、したがって、上の定義に従い、「垂直に整列」され、図 1A におけるコラム 104 のカーボンナノチューブの大部分（すなわち、少なくとも 50%）も、「垂直に整列」されている限り、コラム 104 は、「垂直に整列したカーボンナノチューブコラム」と称され得る。一部の実施形態においては、コラム 104 のカーボンナノチューブの 50% 以上の割合が垂直に整列され得る。例えば、一部の実施形態においては、60%、70%、75%、80%、90%、95%、98%、99%、またはコラム 104 を構成するカーボンナノチューブの多くの割合が、垂直に整列され得る。一部の実施形態においては、単一のカーボンナノチューブが、他の上に直接成長する複数のチューブを含んでもよく、1 つの連続経路をもたらす。例えば、このようなチューブは、以下に説明される例示的な固定触媒方法のように、固定触媒成長方法を使用して成長され得る。

【0014】

上述のように、垂直に整列したカーボンナノチューブコラム 104 であり得る、コラム 104 を成長させる数多くの工程があり、既存または将来開発される工程が、コラム 104 を成長させるために使用され得る。浮動触媒工程および固定触媒工程は、例示的な 2 つであるが、コラム 104 を成長させる工程はこれに限定されるものではない。概して、浮動触媒工程および固定触媒工程において、コラム 104 は、炭素および触媒源の存在下、成長表面上において成長され得る。さらに、記述のように、コラム 104 は、垂直に整列したカーボンナノチューブコラムとして成長され得る。

【0015】

図 2 - 5 は、本発明のいくつかの実施形態に従う、コラム 104 のようなコラムを成長させる浮動触媒工程の非限定的な実施例を図示する。図 2 に示すように、基板 202 が提供される。基板 202 は、コラムを支持するために適切な構造のいずれかであり得る。適切な基板 202 の非限定的な実施例は、半導体ウエハ、セラミック基板、有機材料を含む基板、無機材料を含む基板、またはその組み合わせのいずれかを含む。図 3 に示すように、成長材料 300 が、基板 202 上に堆積され得るか、または代替として、基板 202 は、成長材料 300 を伴って提供され得る。図に示されるように、成長材料 300 の表面 302 は、カーボンナノチューブコラムが成長され得る成長表面 302 であり得る。成長材料 300 は、カーボンナノチューブコラムを成長させるのに適切なあらゆる材料であり得る。例えば、材料 300 は、酸化フィルムを伴うか、または、その上に、酸化フィルムが、成長表面 302 が酸化物を含むように形成され得る、あらゆる材料であり得る。例えば、成長材料 300 は、シリコン材料であり得、成長表面 302 は、シリコン材料上に酸化フィルムを含むことができる。図 3 の要素 300 および 302 は、したがって、分離層であり得る。さらに、基板 202 は、シリコン基板（例えば、全くのシリコンウエハ）であり得、この場合、基板 202 および成長材料 300 は、同一層（すなわち、シリコン基板

10

20

30

40

50

)であり得る。成長材料300は、酸化フィルムを伴う材料に限定されない。例えば、成長材料300は、石英であり得る。

【0016】

図4Aおよび4B(それぞれ、斜視図および側断面図を示す)に示すように、マスク層402が、成長表面302上に堆積され、開口404が、成長表面302の選択された範囲を露出するマスク層402に形成され得る。図に示すように、カーボンナノチューブカラム(図5の502)は、開口404を通して露出される成長表面302の範囲上に成長され得る。開口404は、したがって、成長されるカーボンナノチューブカラムの所望の位置および断面形状に対応する位置およびパターンであり得る。マスク層402は、成長表面302上に堆積され得る、いずれかの材料または複数の材料を含んでもよく、開口404を有し得る。例えば、マスク層402は、成長表面302上のブランケット層に堆積され、その後、選択された部分の光反応性材料が光に暴露されることにより硬化され、硬化されない部分の材料が開口404形成するために除去され得る、光反応性材料(例えば、フォトレジスト材料)を含むことができる。マスク層402に適切な材料の他の非限定的な実施例は、開口404を含むパターンで堆積され得る、または堆積されてから開口404を有するようにパターン化され得る、あらゆる材料を含む。金は、このような材料の非限定的な実施例である。

10

【0017】

本説明の他の箇所において、図4Aおよびその付随するテキスト、ならびに他の図およびそれらの付随するテキストは、角型断面を図示するが、角型断面は、説明を容易にするために、単に、使用される。他の断面は、同様に可能で、具体的に企図される。例えば、円形、リング(またはドーナツ)、三角形と同様に、他の断面形状も使用される。

20

【0018】

図5Aおよび5B(それぞれ斜視図および横断面図を示す)に示すように、カーボンナノチューブカラム504は、開口404を通して暴露される成長表面302の範囲上に成長され得る。カラム504は、適切な周囲条件の存在下、触媒および炭素源を含む材料(例えば、ガス)を提供することにより成長され得る。例えば、成長表面302およびマスク層402を伴う基板202は、炉等(図示せず)の筐体の内部に配置され、筐体の内部が加熱され、触媒および炭素源を含むガスが、筐体の内部中に導入(例えば、注入)され得る。特定の触媒材料、炭素源材料、およびあらゆる他の材料およびこれらの材料の濃縮物および混合物だけでなく、特定の周囲条件(例えば、温度)も「製法」として称され、成長表面302上にカーボンナノチューブを成長させるために適切なあらゆる製法を称する。

30

【0019】

以下は、非限定的に、カラム504を成長させるために使用され得る例示的な製法である。基板202は、摂氏約750度に加熱され得る炉(図示せず)に配置され得る。炭素源としてキシレン(C_8H_{10})および触媒としてフェロセン($Fe(C_5H_5)_2$)を含むガスは、キャリアガス(例えば、アルゴンまたは別の一般的な不活性ガス)と混合され、炉(図示せず)に導入(例えば、注入)され得る。一部の実施形態においては、キャリアガスと混合されるフェロセンとキシレンの割合は、100ミリリットルのキシレンに対し、約1gのフェロセンであり得、フェロセン/キシレン混合物は、約6ミリリットル/時間の速度で、摂氏約150度の温度で、キャリアガスと混合され得る。前述の製法は、垂直に整列したカラムであるカラム504を生成する。記述のように、前述の製法は、単に、例示的であり、触媒および炭素源を含む他の材料が使用され得る。さらに、成長表面302は、摂氏750度以外の温度で、前述の触媒および炭素源に暴露され得る。

40

【0020】

特定の製法が使用されるかどうかにかかわらず、特定の温度で、触媒および炭素源を含む材料への成長表面302の暴露は、図5Aおよび5Bに一般敵に示すように、カラム504が、マスク層402の開口404を通して暴露される成長表面302の領域から成長させることをもたらす(2つのカラム504は、基板202からの成長を示すが、より多

50

くの、またはより少ないカラム504が、基板202から成長され得る)。記述のように、カラム504は、垂直に整列したカーボンナノチューブカラムであり得る。カラム504は、図1Aのカラム104の実施例であり得、基板202は、基板102の実施例であり得る。したがって、本明細書のカラム104の参照のいずれもが、カラム104の実施例としてカラム504を含み、本明細書の基板102の参照のいずれもが、基板102の実施例として基板202を含む。図2-5Bに図示される工程は、したがって、カラム104が成長される例示的な方法の1つである。

【0021】

図6および7は、本発明のいくつかの実施形態に従う、カラム104のようなカラムを成長させる固定触媒工程の非限定的な実施例を図示する。最初に、基板202は、上の図2のように提供され得る。図6に示すように、バッファ層602が、基板202上に堆積され、パターン触媒層604は、バッファ層602上に形成され得る。図6および7に示されていないが、バッファ層602も、パターン化され得る。例えば、バッファ層602は、概して、触媒層604と同一または類似するパターンを有するようにパターン化され得る。触媒層604は、上に説明するように、炭素源の存在下で、(垂直に整列した)カーボンナノチューブの成長をもたらすことのできる触媒材料を含むことができる。バッファ層602は、基板202と触媒層604との間にバッファを提供できる。バッファ層602は、触媒材料と有意に反応しないあらゆる材料および/または炭素源である材料であってもよい。酸化アルミニウム(Al_2O_3)は、適切なバッファ層602の非限定的な実施例である。触媒層604は、炭素源の存在下で、カーボンナノチューブの成長をもたらす材料を含むことができる。触媒層604は、バッファ層602の選択された領域にのみ触媒材料を堆積することにより形成され得る。代替として、触媒層604は、バッファ層602上にブランケット層の材料として触媒材料を堆積した後、堆積した触媒材料の選択された部分を除去して、触媒層604上に成長されるカーボンナノチューブカラムの所望の位置および断面形状に対応するパターンおよび形状で、触媒材料を残すことにより形成され得る(例えば、図6に示すように)。

【0022】

図7に示すように、カーボンナノチューブカラム704は、パターン化された触媒層604上に成長され得る。カラム704は、適切な周囲条件の存在下、炭素源を含む材料(例えば、ガス)を供給することにより成長され得る。例えば、バッファ層602および触媒層604(図6に示されるように)を伴う基板202は、炉(図示せず)等の筐体の内部に配置でき、筐体の内部は、加熱でき、炭素源を含むガスが筐体の内部中に導入(注入)され得る。触媒層604を構成する特定の材料、炭素源を構成する特定の材料、およびあらゆる他の材料およびこれらの材料の濃縮物および混合物だけでなく、特定の周囲条件(例えば、温度)も、「製法」として称され、触媒層604上にカーボンナノチューブを成長させるために適切なあらゆる製法は、カラム704を成長させるために使用され得る。

【0023】

以下は、カラム704を成長させるために使用され得る、例示的な非限定的な製法である。触媒層604は、あらゆる遷移金属を含むことができる。例えば、触媒層604は、鉄(Fe)を含むことができる。例えば、触媒層は、鉄(Fe)の層を含むことができ、バッファ層602は、酸化アルミニウム(Al_2O_3)を含むことができる。一部の実施形態においては、鉄(Fe)フィルムの厚さ対酸化アルミニウム(Al_2O_3)フィルムの厚さは、鉄(Fe)が約1.2対酸化アルミニウム(Al_2O_3)が10の割合であり得る。基板202は、摂氏約750度に加熱され得る炉(図示せず)に配置でき、炭化水素ガスが炉の中へ導入され得る。このような条件下において、触媒層604は、炭化水素ガス中の炭素から、パターン化された触媒層604上にカーボンナノチューブの成長を触媒できる。一部の実施形態においては、基板202が炉(図示せず)に配置された後、炉は、次のように動作され得る。約10分間、炉が摂氏約0度の温度である間、不活性ガス(例えば、アルゴン)が、約400標準立法センチメートル/分(sccm)の流量で、

10

20

30

40

50

炉を通して注入され得る。次に、約15分間、炉（図示せず）中の温度が摂氏0度から摂氏750度に変化する間、および、その後約10分間、温度が摂氏750度に保たれる間、不活性ガスは、約400 s c c mの流量で、炉を通して注入され続けられてもよい。その後、約5分間、温度が摂氏約750度に保たれている間、水素 H_2 を含有するガスが、約400 s c c mで、炉（図示せず）を通して流入する不活性ガスと混合され得る。例えば、水素を含有するガスは、 H_2 が約40対Arが約15の割合の H_2 / Ar であり得る。その後、炭素源が、炉が摂氏750度に保たれている間、炉を通して流入する不活性ガスに添加され得る。例えば、炭素源は、 C_2H_4 が約10対 H_2 が40対Arが10の割合の $C_2H_4 / H_2 / Ar$ を含有するガスであり得、これは、ガス中の炭素から触媒層604上に、図7に示すように、カーボンナノチューブの成長をもたらす。カラム704は、垂直に整列したカーボンナノチューブカラムとして触媒層604から成長できる。記述のように、前述の製法は、単に、例示的なものであり、他の材料が、触媒層604を含むことができ、異なる炭素源が使用され得る。さらに、触媒層604は、摂氏750度以外の温度で、前述の炭素源に暴露され得る。さらに、異なるガス混合物、流量、および時間期間が、使用され得る。

【0024】

使用される特定の製法にかかわらず、特定の温度での触媒層604の炭素源への暴露は、一般的に図7に示すように、カラム704の触媒層604からの成長をもたらす（2つのカラム704が、基板202から成長していることを示すが、より多くの、またはより少ないカラム704が、基板202から成長され得る）。カラム704は、垂直に整列したカーボンナノチューブカラムであり得る。カラム704は、図1のカラム104の実施例であり得る、基板202は、基板102の実施例であり得る。したがって、本明細書におけるカラム104に対するあらゆる参照は、カラム104の実施例としてカラム704を含み、本明細書における基板102に対するあらゆる参照は、基板102の実施例として基板202を含むことができる。図6および7に図示する工程は、したがって、カラム104が成長される別の例示的な方法である。

【0025】

カラム104を成長させるために使用される、カラム104が成長する浮動触媒、固定触媒または別の工程等の工程にかかわらず、カラム104が成長する基板は、カラム104が最終用途において使用される製品基板の全て、またはその一部分であり得る。代替として、カラム104が成長する基板は、カラムが中間基板または製品基板に移行される犠牲基板であり得る。「成長基板」（すなわち、カラムが成長する基板）は、したがって、製品基板または犠牲基板の全て、またはその一部分であり得る。カラム104が、犠牲基板上に成長する場合、カラムは、あらゆる適切な方法で、中間基板または製品基板に移行され得る。図8および9は、カラム104を別の基板に移行する非限定的な例示的工程を図示する。

【0026】

図8は、例えば、図2-5Bまたは図6および7に示す工程の1つに従う、基板102上に成長するカラム104を備える基板102を図示する。図8および9に示すように、カラム104の端部106は、カラム104が移行される基板802上に堆積された接着剤804（例えば、接着剤材料または接着剤を含む材料）と接触させられてもよい。接着剤804は、例えば、硬化性エポキシであり得る、エポキシであってもよい。記述するように、基板802は、カラム104が最終用途において使用される製品基板、またはカラム104が後に移行される中間基板であり得る（基板802は、非制限的な配線基板の実施例であり得る）。図9に示すように、一度、カラム104の端部106（図8参照）が接着剤804により基板802に接着されると、基板102は剥離されるか、別様にカラム104から除去され得る。

【0027】

接着剤804は、カラム104の端部106を接着するあらゆる材料であってもよい。一部の実施形態においては、接着剤804は、カラム104が基板102に取り付けられ

10

20

30

40

50

るより、より大きな接着力でカラム104の端部106を基板802に結合する材料であってもよい。一部の実施形態においては、接着剤804は、未硬化状態である間、概して、液体または半液体、別様に流動可能または半流動可能な状態であり得る、硬化可能な材料であり得る。接着剤が硬化する間に、カラム104の端部106は、接着剤804と接触させられてもよい。代替として、または加えて、接着剤804は、導電性であり得る。例えば、接着剤804は、導電性材料を含むことができる。適切な接着剤804の非限定的な実施例は、導電性エポキシ等のエポキシを含む。

【0028】

図8および9に示す移行工程は、単に、例示的であり、多くの変形が可能である。図10は、非限定的な変形を図示する。図10に示すように、接着剤804（図8参照）は、接着剤804の堆積物804'中にパターン化され得る。例えば、接着剤804は、図10に示す堆積物804'のパターンでのみ、選択的に堆積され得る。代替として、接着剤804は、図8に示すように、ブランケット層に堆積され、接着剤804の選択された部分は、図10に示す接着剤804の堆積物804'を残して、除去され得る。図10に示すように、接着剤804の堆積物804'は、カラム104の端部106のパターンに対応するパターンであり得る、カラム104の端部106は、接着剤804の堆積物804'と接触させられてもよい。別様に、図10におけるカラム104の基板802への移行は、図8-9に示す、および上述のように、カラム104の基板802への移行と同様であり得る。四角の様に示されるが、堆積物804'のパターンは、四角形以外のパターン（例えば、円形）であり得る。

【0029】

図8および9に図示される例示的移行工程のさらなる変形が可能である。例えば、カラム104の端部106が、図9に示すように接着剤804に接着され、必要であれば、接着剤804が、硬化した後、接着剤804の一部は、基板802から除去され得る。例えば、カラム104の端部106と基板802との間の接着材を除き、接着剤804の大部分は、除去され得る。

【0030】

カラム104を移行する工程は、カラム104が、電子装置上の電気端子、トレース、または他の導体要素に取り付けられ、かつ電氣的に接続される導電性相互接続構造（例えば、スプリングプローブまたは他のタイプのパネ接点構造）であり得る電子装置に、カラム104を移行するステップを含むことができる。図11Aおよび11B（それぞれ、斜視図および横断面図を示す）は、非限定的な実施例を図示する。

【0031】

図11Aおよび11Bに示すように、カラム104は、例えば、導体接着剤1104を用いて、他の端子部1110および/または回路要素（図示せず）（例えば、集積回路、レジスタ、コンデンサ、トランジスタ等）等の電気要素（図示せず）への内部配線1108（例えば、導電性導線および/またはビア）を含み得る配線基板1102（製品基板であり得る）の端子部1106（または他の電気要素）に取り付けられ得る（配線1108は、電気接続の非限定的な実施例であり得る）。配線基板1102は、カラム104が、スプリングプローブまたは他のタイプのパネ接点構造等の弾力性のある相互接続構造として使用される電子装置（図示せず）であるか、またはその一部分であり得る。配線基板1102は、例えば、プリント回路基板またはマルチプレイヤーセラミック配線基板等の配線基板であり得る。さらに、配線基板1102は、電気回路が集積される半導体ダイであり得る。さらに、配線基板1102は、カラムが取り付けられてもよい他のタイプの基板（例えば、半導体ウエハ）であり得る。さらに、複数の配線基板1102は、複合配線または製品基板（図示せず）を形成するために、種々の方法（保持または支持構造体に据え付けまたは接着される等）で、他の配線基板1102と組み合わせられ得る。

【0032】

カラム104が端子部1104に取り付けられる、多くの方法がある。例えば、図8-10の基板802は、導体材料（例えば、銅等の導体金属）のシートであり得る。カラム

10

20

30

40

50

104を、例えば図8および9または図10に示すような、基板802に取り付ける前に、基板802は、配線基板1102に取り付けられていてもよい。例えば、基板802は、最初は、配線基板1102の外側の導体層であった。コラム104が、図9または図10に示すように、基板802に取り付けられた後、基板802の一部が、したがって、基板802の残余物（または除去されなかった部分）であり得る端子部1106を残して、除去（例えば、エッチングにより）され得る。このような場合、接着剤1104は、図8および9の接着剤804の残留物、または図10の接着剤804の堆積物804'であり得る。代替として、基板802は、コラム104が、図8および9または図10に示すように、基板802に取り付けられた後、配線基板1102に取り付けられてもよく、次に、基板802の選択された部分が上述のように端子部1106を形成するために除去され得る。

10

【0033】

さらなる代替として、コラム104は、概して、図10に示すように、配線基板1102の端子部1104に移行され得る。例えば、図10における基板802は、配線基板1102に置換でき、接着剤804の堆積物804'は、配線基板1102の端子部1106上にあり得る（9つの端子部1106が示されるが、これより多くても少なくともよい）。コラム104の端部106は、次に、接着剤804の堆積物804'と接触させられてもよく、基板102は、上述のように、コラム104から剥離される。接着剤804が硬化可能材料の場合、堆積物804'は、基板102がコラム104から剥離される前に硬化され得る。

20

【0034】

図1-10を再び参照すると、図2-7に図示されるコラム104の作製の工程および図8-11Bに図示されるコラム104を別の基板に移行する工程は、単に、例示的であり、多くの変形が可能である。図12-14は、いくつかの例示的な変形を図示する。

【0035】

図12は、概して、図3に示されるように、成長表面302を有する成長材料300を伴う基板202を図示する。図12に示すように、カーボンナノチューブ1204の塊（例えば、連続したフィルムまたは連続したフォレスト）が、成長表面302上に成長され得る。例えば、カーボンナノチューブは、マスク層402が含まれないことを除き、上述のように、コラム504が図5Aおよび5Bで成長する同様の方法で成長してもよく、成長表面302の暴露範囲は、マスク層402の開口404に制限されない。むしろ、カーボンナノチューブは、図12に示すカーボンナノチューブ1204の塊を生成する、成長表面302の実質的に全てから成長できる。塊1204を形成するカーボンナノチューブは、垂直に整列し、塊1204は、したがって、垂直に整列したカーボンナノチューブの塊であり得る。

30

【0036】

カーボンナノチューブ1204の塊は、代替として、例えば、図6および7に図示される例示的な固定触媒方法等の固定触媒方法を含むことができる他の方法を使用して成長させてもよい。このような場合において、図12-14の成長材料300は、触媒層604が連続したブランケット層であってもよいことを除き、図6に示すバッファ層602のようなバッファ層、および触媒層604のような触媒層と置換され得る。カーボンナノチューブは、次に、図7に対して概して述べたように、カーボンナノチューブ1204の塊を生成できる、触媒層から成長され得る。

40

【0037】

図13に示すように、カーボンナノチューブ1204の塊の端部1206は、図10の基板802上の接着剤804の堆積物804'と接触させられてもよい。カーボンナノチューブ1204の塊の端部1206の一部は、したがって、基板802上の接着剤804の堆積物804'により基板802に接着され得る。接着剤804の堆積物804'は、カーボンナノチューブ1204の塊が、基板202に接着されるより大きい接着力で、カーボンナノチューブ1204の塊に接着できる。図14に示すように、カーボンナノチュ

50

ープ1204の塊が基板802から離れると、カーボンナノチューブのカラム1404が、カーボンナノチューブ1204の塊から引き抜かれ、したがって、離脱し得る。カラム1404は、接着剤804の堆積物804'により基板802に接着されるナノチューブ1204の塊の一部に対応し得る。9つのカラム1404が図14に示されるが、より多くの、または少ないカラム1404が塊1204から引き抜かれてもよい。

【0038】

図12-14に図示される工程は、したがって、図1のカラム104を作製する別の例示的な工程であり、カラム1404は、したがって、カラム104の実施例であり得る。基板802は、基板102の実施例であり得る。したがって、本明細書におけるカラム104のあらゆる参照は、カラム104の実施例としてカラム1404を含んでもよく、本明細書における基板102のあらゆる参照は、基板102の実施例として基板802を含むことができる。カラム1404は、図11Aおよび11Bに対する上述のあらゆる方法で、図11Aおよび11Bの端子部1106に接着され得る。

10

【0039】

図2-10および12-14に図示する実施例は、犠牲基板202上のカラム504または704または1404（塊1204の一部として成長する）の成長を図示するが、カラム104のようなカーボンナノチューブカラムが、代替として、製品基板上（例えば、カラムが最終用途で使用される基板）に成長され得る。図15A-16Bは、カーボンナノチューブ（垂直に整列したカーボンナノチューブカラムであり得る）のカラム1604が、配線基板1502上（製品基板であり得る）に成長され得る実施例を図示する。

20

【0040】

図15Aおよび15B（それぞれ、上面図および横断面図を示す）に示すように、配線基板1102と同一または類似し得る配線基板1502は、他の端子部1510または回路要素（例えば、集積回路、レジスタ、コンデンサ、トランジスタ等）等の電気要素（図示せず）に、内部配線1508（例えば、導電性導線および/またはビア）により、電気的に接続される電気端子部1504（4つが示されるが、より多く、またはより少なくてもよい）を含み得る（配線1508は、電気接続の非限定的な実施であり得る）。図16Aおよび16Bを参照すると、カラム1604は、カーボンナノチューブのカラムを成長させるために、本明細書に説明または記述されるあらゆる工程または技術を使用して、端子部1504上に成長され得る。

30

【0041】

例えば、カラム1604は、図2-5Bについて図示され、上述された浮動触媒工程を使用して成長され得る。図16Aおよび16B（それぞれ、上面図および横断面図を示す）に示すように、成長表面1602を伴う材料1608が、端子部1504上に堆積され得る。例えば、材料1608は、図3-5Bの材料300と同一またはそれに類似してもよく、成長表面1602は、成長表面302と同一またはそれに類似し得る。材料1608は、図2-5Bの材料300のようなプランケット材料として堆積でき、カラム1604が成長され得る位置（例えば、端子部1504上）を画定する開口404のような開口を伴うマスク層402のようなマスク層でマスクされ得る。代替として、材料1608は、カラム1604が成長され得る所（例えば、端子部1504）にのみ材料1608が位置するように、パターン化され得る。カラム1604は、次に、図5Aおよび5Bに対して上述される工程等の浮動触媒工程を使用して、成長表面1602から成長され得る。カラム1604は、垂直に整列したカーボンナノチューブカラムであり得る。

40

【0042】

図6および7に図示する固定触媒工程は、端子部1504上にカラム1604を成長させるために使用され得る工程の別の実施例である。固定触媒工程が使用される場合、材料1608は、触媒材料を含む触媒層であり得る。例えば、材料1608は、図6および7の触媒層604を構成する材料と同一またはそれに類似し得る。図6および7のバッファ層602と同一またはそれに類似し得るバッファ層（図16Aおよび16Bに図示せず）は、端子部1504と材料1608との間に堆積され得る。カラム1604は、次に、図

50

7に対して上述される工程等の固定触媒工程を使用して、材料1608（本実施例は触媒層であり得る）から成長され得る。コラム1604は、垂直に整列したカーボンナノチューブコラムであり得る。

【0043】

端子部1504上にコラム1604を成長させるために使用される工程にかかわらず、固着構造1606は、図16Aおよび16Bに示すように、コラム1604の部分の周辺に提供され得る。固着構造1606は、コラム1604を端子部1504および/または配線基板1502に固着でき、したがって、端子部1504および/または配線基板1502へのコラム1604の取り付けを強化できる（端子部1504は、配線基板1502の一部であってもよいため、コラム1604の端子部1504への固着は、コラム1604の配線基板1502への固着と考えられる）。固着構造1606は、コラム1604の端部の周辺への堆積のために適切なあらゆる材料を含み、固着構造1606を形成する材料は、あらゆる適切な方法で堆積され得る。例えば、固着構造1606は、端子部1504およびコラム1604の部分に電気メッキされる導電性材料を含む。別の実施例として、固着構造1606は、配線1502上にブランケット層として堆積される光反応性材料を含むことができる。光反応性材料は、コラム1604の部分の周辺のみを選択的に硬化してもよく、光反応性材料の未硬化部分は、除去される。また別の実施例として、浮動触媒工程がコラム1604を成長させるために使用される場合、および材料1608が配線基板1502上にブランケット層として最初に堆積される場合、およびマスク層（例えば、マスク層402のように）が端子部1504上の材料1608を露出する開口（例えば、マスク層402の開口404のように）を伴う材料1608上に堆積される場合、固着構造1606は、この場合、固着構造1606が配線基板1502の実質的に全てに位置され得る、マスク層であり得る。代替として、このようなマスク層（図示せず）は、図16Aおよび16Bに示すように、固着構造1606を形成するマスク層の残余物を残し、選択的に除去され得る。固着構造1606は、別の材料を含むことができる。例えば、固着構造1606は、流動可能または半流動可能な状態で、コラム1604の周辺に堆積され、それから硬化される、硬化材料を含むことができる。

【0044】

一部の実施形態においては、固着構造1606は、導電性であり得、したがって、コラム1604の端子部1504および/または配線基板1502への固着に加えて、コラム1604を端子部1504にも電氣的に接続できる。一部の実施形態においては、固着構造1606は、コラム1604の端子部1504および/または配線基板1502への取り付けの強さを有意に増大するために機能する必要がなく、したがって、固着構造である必要がない。このような場合、構造1606は、単に、または本質的に、コラム1604を端子部1504に電氣的に接続する役割を果たす。

【0045】

固着構造1606が、コラム1604の端子部1504および/または配線基板1502への取り付けの強さを増大するため、固着構造1606がコラム1604を端子部1504および/または配線基板1502に固着する強さを強化するために機能する場合、固着構造1606は、コラム1604とは異なる熱膨張係数を有するように選択され得る。例えば、固着構造1606は、単位当たり、コラム1604より温度の変化においてより伸張するように選択され得る。固着構造1606が周囲温度に温まると、固着構造1606が伸張し、したがって、コラム1604を「圧搾する」ように、固着構造1606は、周囲温度以下の温度で、コラム1604の端部の周辺に堆積され得る。

【0046】

図17A - 18Bは、本発明のいくつかの実施形態に従う、製品基板上にカーボンナノチューブコラムを成長させる、および製品基板にコラムを固着する別の例示的工程を図示する。図17A - 18Bは、本発明のいくつかの実施形態に従う、製品基板上において、カーボンナノチューブコラムを別の電気要素に電氣的に接続する、別の例示的工程も図示する。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 7 】

図 1 7 A および 1 7 B (それぞれ、斜視図および横断面図を示す)は、例示的な配線基板 1 7 0 2 (製品基板であり得、配線基板 1 1 0 2 および/または 1 5 0 2 に類似し得る)を図示する。示すように、配線基板 1 7 0 2 は、内部配線 1 7 0 8 (例えば、導体導線および/またはビアにより)他の端子部 1 7 1 0 および/または回路要素(例えば、集積回路、レジスタ、コンデンサ、トランジスタ等)等(図示せず)の電気要素(図示せず)に電氣的に接続される、複数の電気端子部 1 7 0 4 (2つが示されるが、より多くまたはより少なくてもよい)を含み得る(配線 1 7 0 8 は、電気接続の非限定的な実施例であり得る)。また、図 1 7 A および 1 7 B に示すように、くぼみ 1 7 0 5 が配線基板 1 7 0 2 中に形成され得る(例えばエッチング、切削等)。図 1 8 A および 1 8 B (それぞれ、上面図および横断面図を示す)に示すように、カーボンナノチューブ(垂直に整列したカーボンナノチューブカラムであり得る)のカラム 1 8 0 4 は、くぼみ 1 7 0 5 に成長され得る。したがって、くぼみ 1 7 0 5 は、カラム 1 8 0 4 が成長する位置で形成され得る。

10

【 0 0 4 8 】

カラム 1 8 0 4 は、カーボンナノチューブのカラムの成長のために、本明細書で説明または記述したあらゆる工程または技術を使用してくぼみ 1 7 0 5 に成長され得る。例えば、カラム 1 8 0 4 は、図 2 - 5 B に図示する、および図 2 - 5 B に対して上述される浮動触媒工程を使用して成長され得る。図 1 8 A および 1 8 B に示すように、成長表面 1 8 0 2 を伴う成長材料 1 8 0 8 は、くぼみ 1 7 0 5 に堆積され得る。例えば、材料 1 8 0 8 は、図 3 - 5 B の材料 3 0 0 と同一またはそれに類似してもよく、成長表面 1 8 0 2 は、成長表面 3 0 2 と同一またはそれに類似し得る。カラム 1 8 0 4 は、次に、図 5 A および 5 B に対して上述された工程等の浮動触媒工程を使用して成長表面 1 8 0 2 から成長され得る。

20

【 0 0 4 9 】

図 6 および 7 に図示する固定触媒工程は、くぼみ 1 7 0 5 にカラム 1 8 0 4 を成長させるために使用され得る工程の別の実施例である。固定触媒工程が使用される場合、材料 1 8 0 8 は、触媒材料を含む触媒層であり得る。例えば、材料 1 8 0 8 は、図 6 および 7 の触媒層 6 0 4 を構成する材料と同一またはそれに類似し得る。図 6 および 7 のバッファ層 6 0 2 と同一またはそれに類似するバッファ層(図 1 8 A および 1 8 B に図示せず)が、くぼみ 1 7 0 5 の底とくぼみ 1 7 0 5 の材料 1 8 0 8 との間に堆積され得る。カラム 1 8 0 4 は、次に、図 7 に対して上述される工程等の固定触媒工程を使用した材料 1 8 0 8 (この実施例においては触媒層)から成長され得る。

30

【 0 0 5 0 】

くぼみ 1 7 0 5 においてカラム 1 8 0 4 を成長させるために使用される工程にかかわらず、くぼみ 1 7 0 5 は、カラム 1 8 0 4 を配線基板 1 7 0 2 に固着できる。つまり、カラム 1 8 0 4 が配線基板 1 7 0 2 のくぼみ 1 7 0 5 にあるということは、カラム 1 8 0 4 を配線基板 1 7 0 2 に固着するのを補助できる。任意に、一部の実施形態においては、固着構造 1 8 0 6 が、図 1 8 A および 1 8 B に示すように、配線基板 1 7 0 2 の上およびカラム 1 8 0 4 の周囲で形成され得る。固着構造 1 8 0 6 は、さらに、カラム 1 8 0 4 を配線基板 1 7 0 2 に固着し、したがって、カラム 1 8 0 4 の配線基板 1 7 0 2 への取り付けをさらに強化できる。

40

【 0 0 5 1 】

固着構造 1 8 0 6 は、配線基板 1 7 0 2 上およびカラム 1 8 0 4 の周囲への堆積に適切なあらゆる材料を含むことができ、材料は、あらゆる適切な方法で堆積され得る。一部の実施形態においては、固着構造 1 8 0 6 は、図 1 6 A および 1 6 B の固着構造 1 6 0 6 のようであり得、そのように形成され、またはそのように堆積され得る。記述のように、固着構造 1 8 0 6 は、導電性であり得、図 1 8 A および 1 8 B に示すように、固着構造 1 8 0 6 は、固着構造 1 8 0 6、したがって、カラム 1 8 0 4 を、配線基板 1 7 0 2 上の、または中の電気要素に、電氣的に接続できる導電性トレース 1 8 0 7 に電氣的に接続され得る。例えば、図 1 8 A および 1 8 B に示すように、トレース 1 8 0 7 は、固着構造 1 8 0

50

6、したがって、コラム1804を端子部1704に接続できる。代替として、または加えて、1つ以上のトレース1807は、固着構造1806（したがって、コラム1804）を、レジスタ、コンデンサまたはトランジスタ等の電気構成要素または配線基板1702に接続できる。一部の実施形態においては、固着構造1806は、コラム1804の配線基板1702への固着の強化を増加するような機能を必要としないが、単に、または本質的にコラム1804を導線1807に電氣的に接続できる。

【0052】

図15A-18Bを参照すると、コラム1604および1804は、図1のコラム104の実施例であり得、配線基板1102、1502および1702は、図1の基板102の実施例であり得る。したがって、本明細書におけるコラム104のあらゆる参照は、コラム104の実施例として、コラム1604および/またはコラム1804を含むことができ、本明細書における基板102のあらゆる参照は、基板102の実施例として、配線基板1102、配線基板1502および/または配線基板1702を含むことができる。

10

【0053】

図15A-18Bに示す工程は、単に、例示的であり、多くの変形が可能である。例えば、配線基板1502上にコラム1604を成長させるより、コラム1604は、犠牲基板（例えば、図2-5Bまたは図6および7に示すように）上に成長され、（例えば図8-11Bのいずれかに示す、またはそれらに対する上述の技術のいずれかを使用して）配線基板1502に移行され得る。例えば、コラム1604は、端子部1504上に堆積される接着剤804のような接着剤を使用して、端子部1504に接着され得る。別の実施例として、配線基板1702上にコラム1804を成長させるより、コラム1804は、犠牲基板（例えば、図2-5Bまたは図6および7に示すように）上に成長され、（例えば図8-11Bのいずれかに示す、またはそれらに対する上述の技術のいずれかを使用して）配線基板1702に移行され得る。例えば、コラム1804は、くぼみ1705上に堆積される接着剤804のような接着剤を使用して、くぼみ1705に接着され得る。

20

【0054】

どのように、またはどのようなタイプの基板コラム104が作製されるかにかかわらず、一部の実施形態においては、コラム104は、コラム104の1つ以上の特性を強化するために処理され得る。コラム1604および/または1804は、以下に記述するように、同様に処理され得るが、以下の説明は、簡素化のためにコラム104を使用する。例えば、コラム104は、コラム104の機械的剛性を強化するために処理され得る。別の実施例として、コラム104は、コラムの導電性を向上するために処理され得る。さらに別の実施例として、コラム104の接触部は、コラム104の接触特性を強化するために処理され得る。

30

【0055】

図19Aは、コラム104が、例えば、上述および図8-10に図示される移行工程の1つに従う、移行基板802に接着された後の、コラム104の詳細図を示す。例えば、概して上述のように、コラム104の端部106は、基板802（図19Aの部分図にも示す）上の接着剤804（図19Aの部分図にも示す）に配置されていてもよく、接着剤804は硬化されていてもよく、そして基板102は、図8および9または図10にあるように、コラム104から剥離されていてもよい。代替として、コラム104は、基板または基板802以外の別の物体に移行されていてもよい。例えば、図11Aおよび11Bに示すように、コラム104は、接着剤1104により配線基板1102上の端子部1106に取り付けられていてもよく、その場合、接着剤1104が図19Aの接着剤804に代わり、端子部1106が、図19Aの基板802に代わり得る。さらに他の代替として、コラム104は、接着剤804のような接着剤により、基板802のような他の基板、または端子部または他の要素あるいは物体に取り付けられることができる。

40

【0056】

図19Aに示す実施例を再び参照すると、上述のように、コラム104は、カーボンナノチューブ110として図19Aにいくつか図示される複数のカーボンナノチューブを含

50

むことができる。接着剤 804 が硬化すると、接着剤 804 は、カラム 104 の個々のカーボンナノチューブ 110 間の毛細管作用により沁み込まれることができる。つまり、接着剤 804 は、カーボンナノチューブ 110 間に「沁み込む」ことができ、したがって、カラム 104 の中へ沁み込むことができる。典型的には、接着剤 804 は、接着剤 804 に配置される端部 106 で、カラム 104 の中へ沁み込み始め、接着剤は、次に、本実施例においては、接触端 1904 (例えば、電気装置の端子等の物体と接触させるように構成される端部) であり得る反対側の端部 108 方向にカラム 104 を沁み込んで上昇し続けることができる (接触端 1904 は、第 1 端または第 2 端の非限定的な実施例であり得る)。接着剤 804 がカラム 104 に沁み込み上昇する端部 106 からの距離は、これに限定されないが、接着剤 804 が硬化される時間量、接着剤 804 の粘度、温度等の周囲条件、空気圧および/または他の要因を含む、数多くの要因に依存し得る。任意に、カラム 104 を通した接着剤 804 の広がりを防止する材料は、カラム 104 の全体または一部分に適用され得る。例えば、パリレン (図示せず) は、接着剤 804 がカラム 104 のこれらの部分に広がるのを防止するように、または接着剤 804 が、パリレンが適用されるカラム 104 のこれらの部分に広がるのを少なくともも妨げるまたは著しく遅くするように、(例えば、化学気相蒸着により) 適用され得る。

10

【0057】

図 19A は、接着剤 804 がカラム 104 の全体または実質的に全体を通して沁み込むことができる、本発明のいくつかの実施形態に従う、非限定的な実施例を図示する。例えば、接着剤 804 は、接着剤 804 が、カラム 104 の長さの 90% を通して沁み込んだ場合、カラム 104 の実質的に全体を通して沁み込んだと考えられる。カラム 104 全体に渡るまたはほぼ全体に渡る硬化接着剤 804 の存在は、カラム 104 の機械的剛性を著しく増大する。例えば、一部の実施形態においては、カラム 104 の機械的剛性は、カラム 104 の中で沁み込んだ接着剤 804 なしのカラム 104 の機械的剛性より、100、200、300、400、500 またはそれ以上であり得る。一部の実施形態においては、カラム 104 の機械的剛性の増大は、100 倍未満であり得る。

20

【0058】

図 19B は、接着剤 804 が、端部 106 付近のカラム 104 の一部分の中でのみ沁み込んだ、非限定的な実施例を図示する。したがって、図 19B に示す実施例において、カラム 104 の大半は、実質的に、接着剤 804 がなく、接着剤 804 は、端部 106 付近のカラム 104 の基部の中にだけ沁み込んでいる。図 19B に示す実施例において、接着剤 804 は、カラム 104 の剛性にほとんど、または全く影響がないことがある。

30

【0059】

図 19A および 19B に示す実施例は、単に、例示的であり、多くの変形が可能である。例えば、接着剤 804 は、カラム 104 の任意の距離を上昇し端部 106 から端部 108 まで広がることができる。例えば、接着剤 804 は、端部 106 から反対側の端部 108 まで、カラム 104 の全長の 2%、5%、10%、20%、40%、60%、80%、90% または 100% で、カラム 104 の中に広がるることができる。代替として、接着剤 804 は、カラム 104 の長さの 2% 未満で、または上の任意のあらゆるパーセンテージで、端部 106 からカラム 104 の中に広がるることができる。典型的には、接着剤 804 が端部 106 からカラム 104 の中で沁み込めば沁み込むほど、カラム 104 の剛性がより大きくなる。

40

【0060】

図 20 に示すように、カラム 104 は、上述のように、カラム 104 の接触端 1904 で、(ポイント、特徴または構造の非限定的な実施例であり得る) 突出構造 1912 を作製するために処理でき、接触端 1904 は、電気装置 (図示せず) と接触させるように構成されるカラム 104 の端部 106、108 (本実施例において、端部 108) の 1 つであり得る。構造 1912 は、端部またはカーボンナノチューブ 110 の個々 (例えば、集合) の端部分を含むことができる。

【0061】

50

一部の実施形態においては、接触端1904は、突出構造1912を作製するために、エッチングされ得る。図20は、エッチング機構2002が、接触端1904上に突出構造1912を生成するために、エッチ接触端1904をスパッタできる実施例の非限定的な実施例を図示する。このような場合において、エッチング機構2002は、スパッタエッチング機械であり得る。代替として、他のエッチング技術が使用され得る。例えば、接触端1904は、突出構造1912を生成するために、反応性イオンエッチングの対象となり得る。このような場合において、エッチング機構2002は、反応性イオンエッチング機械であり得る。他のエッチング技術が、構造1912または類似する構造を生成するために接触端1904上で使用され得る。このような他のエッチング技術は、湿式エッチング技術を含むが、これに限定されるものではない。さらに、エッチング以外の技術が、構造1912を生成するために使用され得る。例えば、機械的研削機構が、突出のような構造1912を生成できる、接触端1904の表面を粗面化するために使用され得る。別の実施例として、機械的刻印付け(imprinting)技術が構造1912を作製するために接触端1904に適用され得る。

10

【0062】

前述の処理は、接着剤804が、図19Bに示すようなコラム104の中へ沁み込んだ(つまり、接着剤804が、コラムの中へ部分的に沁み込んだ)、コラム104上で実施されるように図20に図示されるが、構造1912が接触端1904上に作製される処理は、図19Aに示すような、接着剤804が、コラム104のすべておよび接触端1904の中へ沁み込んだコラム104に適用され得る。実際、構造1912が接触端1904上で作製される処理は、端部106からどれだけ離れて、接着剤804がコラム104の中へ沁み込むかにかかわらず、あらゆるコラム104に適用され、処理は、接着剤804が沁み込んでいないコラム104にも適用される。

20

【0063】

記述されるように、コラム104も、または代替として、導電性を向上するために処理され得る。例えば、導電性材料は、数多くの方法で、コラム104に塗布され得る。一部の実施形態においては、導電性材料は、コラム104の外表面に塗布でき、また他の実施形態においては、導電性材料は、電子的にコラム104の個々のカーボンナノチューブに塗布でき、また他の実施形態においては、導電性材料は、コラム104(例えば、個々のカーボンナノチューブの間)を通して分散でき、また他の実施形態においては、前述のあらゆる組み合わせが使用され得る。

30

【0064】

一部の実施形態においては、導電性材料は、一般的に、コラム104の外側に堆積され得る。例えば、導電性材料は、一般的に、コラム104の外側に電気メッキ、別様に、堆積(例えば、スパッタ)され得る。他の実施形態においては、導電性材料は、例えば、原子層蒸着(ALD)または化学気相蒸着(CVD)を使用して、個々のカーボンナノチューブに、または個々のカーボンナノチューブの間に適用され得る。

【0065】

図21は、導体材料2102がコラム104に添加された後のコラム104を図示する。原子層蒸着(ALD)または化学気相蒸着(CVD)等の技術を使用して、導体材料2102は、一般的にコラム104の外側上に導体材料2102を堆積することに加え、または代替として、個々のカーボンナノチューブ上に堆積されるか、または、コラム104内の個々のカーボンナノチューブの間に埋め込まれ得る。例えば、ALDまたはCVDにより堆積されることにより、導体材料2102は、コラム104を貫通でき、コラム104の個々のカーボンナノチューブ110上あるいは周囲および/または個々のカーボンナノチューブ110の間に埋め込まれ得る。一部の実施形態においては、個々のカーボンナノチューブ110上の材料2102の厚さは、コラム104を構成する個々のカーボンナノチューブ110の間の平均間隔の半分または未満であり得る。個々のカーボンナノチューブのこのような処理は、チューブが個々のチューブが独立した動きを保持できる一方で、電気的および/または機械的特性を向上し得る。例えば、記述のように、このような処

40

50

理は、カラム104の導電性および/または剛性を増大する。さらに、このような処理（例えば、カラム104を構成する個々のカーボンナノチューブ上、周囲および/または間の導体材料2102の存在等）は、実質的に、カラム104を構成するカーボンナノチューブの他のものに対して、カーボンナノチューブの個々の独立した動きを妨げない。例えば、記述するように、個々のカーボンナノチューブ110上の材料2102の厚さは、カラム104を構成する個々のカーボンナノチューブ110の間の平均間隔の半分または未満であり得、これは、個々のカーボンナノチューブ110が互いに対して動くことができるカーボンナノチューブ110間の間隔を残す。

【0066】

カラム104が、図19Aに示すように処理され、したがって、カーボンナノチューブ110の間でカラムの中に沁み込む接着剤804を含む場合、ALDまたはCVDは、接着剤804内に導体材料を埋め込み得る。導体材料2102は、あらゆる導電性材料を含むことができ、カラム104を構成するカーボンナノチューブより、より大きな導電性を有し得る。適切な材料は、金、銅、および他の導電性金属だけでなく、導電性非金属を含むが、これに限定されない。

【0067】

導体材料2102は、カラム104の導電性の強化に加えて、カラム104の剛性を強化され得る。別の代替として、非導体材料（図示せず）が、導体材料2102の堆積に対して上述される同様の方法で、カラム104（例えば、個別のカーボンナノチューブ110上および/または周囲、および/またはカラム104のカーボンナノチューブ110の間）内に堆積され得る。例えば、このような非導体材料（図示せず）は、カラム104の機械的特性（例えば、剛性）を強化するために堆積され得る。このような非導体材料（図示せず）は、導体材料2102の代わりに、または加えて堆積され得る。

【0068】

カラム104を導体粒子の中へ沁み込ませることは、カラム104の導電性を向上するための別の処理の実施例であり得るが、これに限定されるものではない。例えば、導体粒子を含有する溶液が、カラム104の中へ沁み込まされ得る。一部の実施形態においては、このような溶液は、接着剤804がカラムの中へ沁み込む上述の技術および原理を使用して、カラム104の中へ沁み込まされ得る。一部の実施形態においては、このような溶液は、ナノサイズの粒子の導体材料を含有できる。例えば、このような溶液は、銀のナノ粒子を含み得る。ナノサイズの導体粒子、例えば、銀のナノ粒子は、カラム104の中へ沁み込むことができ、カラム104を構成するカーボンナノチューブ110の個々の上および/または周囲および/または間に入れることができる。これらの粒子は、したがって、カラム104の導電性を向上することができる。

【0069】

導体材料2102がカラム104に添加される図21に図示される処理に限定されないが、これを含むカラム104の導電性を向上するための上述のいずれか1つ以上の処理は、端部106からどれだけ離れて、接着剤804がカラム104の中へ沁み込むかにかかわらず、あらゆるカラム104に適用され、処理は、接着剤804が沁み込んでいないカラム104にも適用される。さらに、カラム104の導電性を向上するためにカラム104に導体材料2102が添加される図21に図示される処理は、構造1912を作製するために、図20に示すようにカラム104が処理されているかどうかにかかわらず、カラム104に適用され得る。したがって、図21に示す構造1912が存在する必要はない。

【0070】

記述のように、または記述するように、本明細書におけるカラム504、704、1404、1604、1804、2204、2304および2304'は、カラム104の実施例である。したがって、図19A-21に図示する処理のいずれか1つ以上は、カラム504、704、1404、1604、1804、2204、2304および2304'のいずれにでも適用され得る。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 1 】

図 2 2 A および 2 2 B は、カラムのカーボンナノチューブの導電性を向上する別の例示的工程を図示する。図 2 2 A および 2 2 B は、基板 2 2 0 2 の端子部 2 2 0 6 に取り付けられる単一のカラム 2 2 0 4 の斜視図を示す。カラム 2 2 0 4 は、示すように、端部 2 2 2 0 から端子部 2 2 0 6 までカラム 2 2 0 4 の長さを延在できる中空部 2 2 0 8 (内部空洞の非限定的な実施例であり得る) を含むことができる。概して、カラム 2 2 0 4 は、垂直に整列したカーボンナノチューブのカラムを成長させるために、本明細書に記述する技術のいずれかを使用して成長され得る。中空部 2 2 0 8 は、あらゆる適切な方法で形成され得る。例えば、カラム 2 2 0 4 は、犠牲プラグ構造 (図示せず) の周囲で成長され得る。例えば、図 2 - 5 B に示すカラム 5 0 4 の作製工程は、中空部 2 2 0 8 の形状およびサイズの犠牲プラグ構造を、マスク層 4 0 2 の開口部 4 0 4 により露出される成長表面 3 0 2 の範囲の一部分上に配置することにより修正され得る。次に、カラム 5 0 4 のようなカラムが、開口部 4 0 4 により露出されるが犠牲プラグ構造により覆われない表面 3 0 2 の範囲から成長される。これらのカラムは、これらのカラムの中心が、除去され、よって、中空部 2 2 0 8 を伴うカラム 2 2 0 4 をもたらず、犠牲プラグ構造 (図示せず) を備え得ることを除き、カラム 5 0 4 のようであり得る。犠牲プラグ構造 (図示せず) は、カラム 2 2 0 4 からプラグ構造を物理的に引っ張るか、またはエッチング、または別様に、犠牲プラグ構造を溶解することを含む、あらゆる適切な方法で除去され得る。実際、本明細書に図示されるカーボンナノチューブのカラムを成長させるための工程のいずれも、中空部 2 2 0 8 を伴うカラム 2 2 0 4 のようなカラムを生成するために、概して上述のような犠牲プラグ構造の周囲にナノチューブのカラムを成長させるために修正され得る。犠牲プラグ構造の周囲にカーボンナノチューブのカラムを成長させるのではなく、カラム 2 2 0 4 は、本明細書に記述される成長技術のいずれかを使用して、中空部 2 2 0 8 なしに成長され得る。その後、中空部 2 2 0 8 は、エッチング、またはカラムの一部を切り離すことにより作製され得る。カラム 2 2 0 4 を構成するカーボンナノチューブ (図示せず) は、垂直に整列でき、カラム 2 2 0 4 は、したがって、垂直に整列したカーボンナノチューブカラムであり得る。中空部 2 2 0 8 は、四角断面で示されるが、他の断面タイプも同様に考えられる。

10

20

【 0 0 7 2 】

どのようにカラム 2 2 0 4 が作製されるかにかかわらず、図 2 2 A および 2 2 B に示すように、中空部 2 2 0 8 は、中空部 2 2 0 8 中に堆積され得るあらゆる導電性材料 2 2 1 0 であり得る、導電性材料 2 2 1 0 で充填され得る (図を容易にするために、中空部 2 2 0 8 は、導体材料 2 2 1 0 で部分的に充填され、図 2 2 A および 2 2 B に示されるが、中空部 2 2 0 8 は、導体材料 2 2 1 0 で完全に充填される)。一部の実施形態においては、導体材料 2 2 1 0 は、カラム 1 0 4 を構成するカーボンナノチューブ 1 1 0 より、より大きな導電性を有し得る。一部の実施形態においては、比較的低融解点を伴う導体材料を含み得るこの導体材料 2 2 1 0 は、融解の間に中空部 2 2 0 8 中に堆積され、次に冷却され得る。例えば、導体材料 2 2 1 0 は、はんだであり得る。別の実施例として、導体材料 2 2 1 0 は、導体材料 2 2 1 0 が中空部 2 2 0 8 内で硬化する、流動可能または半流動可能状態で中空部 2 2 0 8 の中に堆積され、それから硬化される硬化材料であり得る。例えば、導体材料 2 2 1 0 は、硬化可能な導体エポキシであり得る。

30

40

【 0 0 7 3 】

カラム 2 2 0 4 は、図 1 のカラム 1 0 4 の実施例であり得る、基板 2 2 0 2 は、基板 1 0 2 の実施例であり得る。したがって、本明細書のカラム 1 0 4 のあらゆる参照は、カラム 1 0 4 の実施例として、カラム 2 2 0 4 を含むことができ、本明細書の基板 1 0 2 のあらゆる参照は、基板 1 0 2 の実施例として、基板 2 2 0 2 を含むことができる。例えば、カラム 5 0 4、7 0 4、1 4 0 4、1 6 0 4、1 8 0 4、2 2 0 4、2 3 0 4 および 2 3 0 4 のいずれもが、2 2 1 0 のように導体材料で充填され得る中空部 2 2 0 8 を伴うカラム 2 2 0 4 のように構成され得る。

【 0 0 7 4 】

50

コラム 2 2 0 4 の剛性は、断面積および長さの関数であり得、一方、ナノチューブのコラムの表面を処理することにより付与される導電性は、断面積の関数であり得る。コラム 2 2 0 4 の中央を中空に作製し、次に、上述の方法の 1 つにより内外表面をより導電性になるように処理することは、剛性への影響を最小限にしながら導電性の増大を可能にする。

【 0 0 7 5 】

図 1 9 - 2 2 B は、1 つのコラム 1 0 4 (またはコラム 1 0 4 の実施例であり得るコラム 2 2 0 4) を示すが、コラム 1 0 4 の機械的剛性、接触、および / または導電性特性を強化するために、図 1 9 - 2 2 B に図示される技術は、多くのコラム 1 0 4 に適用される。さらに、図 1 9 - 2 2 B に図示される技術は、単に、例示的であり、多くの変形および代替が可能である。

10

【 0 0 7 6 】

図 2 3 A は、本発明のいくつかの実施形態に従い、カーボンナノチューブのコラムの接触特性の例示的な代替強化を図示する。図 2 3 A は、犠牲基板、中間基板、または製品基板であり得る、基板 2 3 0 0 (部分図で示す) 上のカーボンナノチューブのコラム 2 3 0 4 を図示する。示すように、コラム 2 3 0 4 は、コラム 2 3 0 4 の接触端 2 3 0 2 で、ピーク構造 2 3 1 2 (突出構造またはポイント、特徴、または構造の非限定的な実施例であり得る) を含むことができる。例えば、ピーク構造 2 3 1 2 は、図 2 3 A に示すように、接触端 2 3 0 2 の角であり得る。代替として、ピーク構造 2 3 1 2 は、接触端 2 3 0 2 の他の位置であり得る。このような他の位置は、接触端 2 3 0 2 の外周または外辺に沿うかまたは近くであり得る。さらに、4 つのピーク構造 2 3 1 2 が図 2 3 A に示されるが、接触端 2 3 0 2 は、より多くまたはより少ないピーク構造 2 3 1 2 を有し得る。ピーク構造 2 3 1 2 は、コラム 2 3 0 4 を構成するカーボンナノチューブの個々 (または集合) の端部を含むことができる。

20

【 0 0 7 7 】

ピーク構造 2 3 1 2 は、接触端 2 3 0 2 の接触特性を強化できる。例えば、使用時、コラム 2 3 0 4 の接触端 2 3 0 2 は電子装置 (図示せず) の端部に対して押し付けられることにより、一時的に、電子装置との圧力型電気接続を作製し得る。ピーク構造 2 3 1 2 は、端部上の任意の細片または層 (例えば、酸化層) を含む端子を貫通でき、したがって、端子を接触させる接触端 2 3 0 2 の能力を強化できる。例えば、ピーク構造 2 3 1 2 の存在は、コラムが、概して同一または類似する断面積を有すると仮定すると、コラムと端子との間の同一の接触力において、ピーク構造を欠くコラムより端子に対してより大きな圧力を効果的に提供できる。

30

【 0 0 7 8 】

ピーク構造 2 3 1 2 のような構造を生成するあらゆる方法が、コラム 2 3 0 4 を作製するのに使用され得る。例えば、図 2 - 5 B に図示する浮動触媒方法、または図 6 および 7 に図示される固定触媒方法が、コラム 2 3 0 4 を成長させるのに使用され得るが、これに限定されるものではない。コラム 2 3 0 4 の成長工程中に、コラム 2 3 0 4 が所望の長さに成長すると、ガスの流動 (浮動触媒方法が使用される場合、触媒材料および炭素源を、または固定触媒方法が使用される場合、炭素源を含有する) は、ピーク構造 2 3 1 2 が所望されるコラム 2 3 0 4 の端部の位置に向けられるガスの流動がコラム 2 3 0 4 の端部の他の部分へのガスの流動を増加することなく増大するように変更され得る。代替として、ピーク構造 2 3 1 2 が所望されるコラム 2 3 0 4 の端部の位置に向けられるガスの流動を増加するのではなく、コラム 2 3 0 4 の端部の他の位置に向けられるガスの流動が、実質的に、低減または停止され得る。これを達成するための一方法は、ピーク構造 2 3 1 2 を形成するために、ガスがテンプレートの所望の領域のみを通る所望の時間に、テンプレートを所定の位置に移動することであり得る。ピーク構造 2 3 1 2 が所望されるコラム 2 3 0 4 の端部の位置に向けられるガスの流動を増加するまた別の代替案が所望される場合、ピーク構造 2 3 1 2 が所望されるコラム 2 3 0 4 の端部の位置に向けられるガスの活性成分 (浮動触媒方法が使用される場合、触媒材料および炭素源を、または固定触媒方法が使

40

50

用される場合、炭素源を含有する)の濃度が、カラム2304の端部の他の部分への流動ガスの活性成分の濃度を増加することなく、増加され得る。それらは、ピーク構造2312が所望されるカラム2304の端部の位置でのカーボンナノチューブの成長速度の加速をもたらす。

【0079】

ピーク構造2312を形成する非限定的な方法の別の実施例として、大部分の製法は、概して、特定の長さまでカーボンナノチューブカラムを均一に成長させることができるが、その後は均一には成長し続けられないことが判明した。いくつかの場合において、カラムの不均一な成長の継続がピーク構造2312のような例外をもたらす。

【0080】

図23B-23Eは、本発明のいくつかの実施形態に従う、ピーク構造2312のようなピーク構造を伴うカラム2304のようなカラムを作製するための技術のさらなる実施例を図示するが、これに限定されるものではない。

【0081】

図23Bおよび23Cは、ピーク構造2312を形成するために使用され得る機械的な刻印付けスタンプ2330(成形用具の非限定的な実施例であり得る)の使用を図示する。示すように、所望のピーク構造2312の逆(またはネガティブ)形状を伴う成形頭部2332(成形の非限定的な実施例であり得る)を含むスタンプ2330は、図23C(カラム2304およびスタンプ2330の横断面図を示す)に最もよく見られるように、カラム2304の上に配置され、カラム2304の端部2302に対して圧縮され、カラム2304の端部2302の中にピーク構造2312を刻印付けし得る。

【0082】

図23Dおよび23Eは、カラム2304のようなカラム2304'が中央部2309および1つ以上の中央部2309から延在する1つ以上の延長部2307を有するようにパターン化され得る成長材料2306から成長され得る技術を図示する(4つの延長部2307が示されるが、より多くのまたはより少ない伸長部が使用され得る)。カラム2304'は、図2-7に示す非限定的な工程を含む本明細書に開示されるカーボンナノチューブのカラムを成長させるための工程のいずれかを使用して、成長材料2306(図3の成長材料300または図6の触媒層604のようであり得る)上に成長され得る。カラム2304'は、成長材料2306の中央部2309から概して均一に成長できるが、延長部2307上、および特に延長部2307の先端近くでより速い速度で成長できることが知られている。したがって、図23Eに示すように、ピーク構造2312'が、延長部2307の先端に対応するカラム2304'の角である、カラム2304'の角で形成される傾向があり得る。カラム2304'の角でのより速い成長は、概してピーク構造2312に類似され得る図23Eに示すようなピーク構造2312'になり得る。

【0083】

どのようにカラム2304が形成されるかにかかわらず、カラム2304は、図1のカラム104の実施例であり、基板2300は、基板102の実施例であり得る。したがって、本明細書におけるカラム104へのあらゆる参照は、カラム104の実施例としてカラム2204を含むことができ、本明細書における基板102へのあらゆる参照は、基板102の実施例として基板2300を含むことができる。

【0084】

カラム104のようなカーボンナノチューブのカラム、特に、垂直に整列したカーボンナノチューブカラム(例えば、上述のようなカラム104は、必要ではないが、垂直に整列したカーボンナノチューブカラムであり得る)は、パネ特性を有し得る。例えば、カラム104の自由端への力(加えられる力)の印加において、カラム104は圧縮、屈曲、変形、または移動してもよく、加えられた力に対する反力を生成し得る。加えられた力の除去において、カラム104は、実質的にその原形および/または位置を回復、またはその原形および/または位置の一部を少なくとも回復できる(例えば、カラム104は、弾性的に変形可能であり得る)。カラム104のようなカーボンナノチューブのカラム(記

10

20

30

40

50

述されるように、垂直に整列したカーボンナノチューブカラムであり得る)は、1つ以上の特定のバネ特性を有するように調整され得る。カラムは、カラムに特定のレベルの調整力を加えることにより調整でき、調整力は、調整力のレベルに対応する値、または値等を有する1つ以上のバネ特性を付与できる。典型的には、その後、カラムは、調整力未満であるカラムへの印加力に対して、調整された特性を実質的に保持する。元の調整力以上の力がカラムに加えられる場合、大きい力は、カラムを再調整し、大きい力に対応するようにバネ特性を変更する。

【0085】

図24は、本発明のいくつかの実施形態に従う、カーボンナノチューブの1つ以上のカラムを調整するための例示的工程2400を図示する。図の説明および目的を容易にするため、図24の工程2400は、カラム104のバネ定数(k値、または剛性としても知られる)の調整として図示され、以下に説明される。周知のように、バネ構造のバネ定数は、バネを力が変位させる距離で割られた力のレベルであり得る(バネの弾性範囲内)。つまり、 $k = F / d$ であり、式中、「k」はバネ定数、「F」はバネに加えられる力、そして「d」は、力Fがバネを変位させる距離である。工程2400は、しかしながら、カラム104のバネ定数を調整することに限定されず、また工程2400は、カラム104のバネ特性の調整にも限定しない。むしろ、工程2400は、カラム104の他のバネ特性または他のタイプのカーボンナノチューブ構造を調整するために使用され得る。

【0086】

2402で、1つ以上のバネ特性の値または値の範囲に調整力の数レベルを関連付けるデータが得られる。例えば、このようなデータは、実験的に取得され得る。特定のタイプ(例えば、特定の成長製法を使用して作製される、特定のサイズおよび形状等を有する)のカラム(例えば、カラム104)が、カラムタイプの1つ以上のバネ特性の特定の値または値の範囲に、特定の調整力レベルを関連付けるデータを実験的に取得するために使用され得る。例えば、第1の調整力が、カラム104の長さに略平行である方向で、カラム104のようであり得る実験的なカラム(図示せず)に印加され得る。第1の調整力が実験的なカラムに印加された後、テストが、1つ以上のバネ特性の値を決定するために、実験的なカラム上で実施され得る。例えば、テストは、そのバネ定数、およびバネ定数が有効である弾性範囲を測定するために実験的なカラム上で実施され得る。第1の調整力のレベルは、次に、記録され、測定されたバネ定数および弾性範囲と関連付けされる。それから、第1の調整力以上の第2の調整力が、実験的なカラムに印加され、得られたカラムのバネ定数および弾性範囲が、再び測定され得る。第2の調整力のレベルは、次に、記録され、測定されたバネ定数および弾性範囲と関連付けされる。さらに大きな調整力のカラムへの印加および得られたカラムのバネ定数および弾性範囲の記録の工程が、得られたカラムのバネ定数および弾性範囲が、いくつかの調整力において記録されるまで繰り返えされ得る。

【0087】

表1は、上の段落0051で記述される例示的な製法を使用して作製されるカラム104における実験的なバネ定数および弾性範囲データを示す。例えば、カラム104は、連続した調整力が、それぞれの調整力がカラム104に付与する、得られたカラムのバネ定数および弾性範囲を決定するために加えられる「実験的」なカラムとして選択され得る。この選択されたカラム104は、この特定のカラム104が、製品に集積される最終の作業カラム104(例えば、図26に対して説明されるコンタクタ2606、または図34に対して説明されるプローブカードアセンブリ3400のような)ではなく、前述のデータを取得するために使用されるため、「実験的」と称され得る。0.6グラムの初期調整力を、実験的なカラムとして選択されたカラム104の自由端(例えば、印加力に対して移行または移動するように構成されるカラムの端)に加えた後、実験的なカラム104は、自由端の移動の0~5ミクロンの弾性範囲内で、約0.17グラム/ミクロンのバネ定数を有することが分かった。同様に、0.7グラムの別の調整力を、実験的なカラム104の自由端に加えた後、実験的なカラム104は、自由端の移動の0~10ミクロンの弾

10

20

30

40

50

性範囲内で、約 0.12 グラム / ミクロンのバネ定数を有することが分かった。この工程は、次に、力の 0.8 グラム、0.9 グラム、1.0 グラムおよび 1.1 グラムの調整力で繰り返され、以下の表 1 に示す、得られたバネ定数および弾性範囲を取得した。

【 0 0 8 8 】

【 表 1 】

表 1		
調整力	バネ定数	弾性範囲
0.6 グラム	0.17 グラム / ミクロン	0-5 ミクロン 変位
0.7 グラム	0.12 グラム / ミクロン	0-10 ミクロン 変位
0.8 グラム	0.10 グラム / ミクロン	0-15 ミクロン 変位
0.9 グラム	0.09 グラム / ミクロン	0-20 ミクロン 変位
1.0 グラム	0.08 グラム / ミクロン	0-25 ミクロン 変位
1.1 グラム	0.07 グラム / ミクロン	0-30 ミクロン 変位

10

20

表 1 のデータは、単に、例示的であり、説明および例示としてのみ提供される。このようなデータは、異なるタイプのカラムにより変動し得る。例えば、データは、カラムを作製するために使用される製法、カラムのサイズ、カラムの形状等により変動し得る。

【 0 0 8 9 】

再び図 2 4 を参照すると、調整力のレベルを特定のバネ特性に関連させるデータが、2 4 0 2 で取得されると、実験的カラムとしての同一の標準タイプの作業カラムは、特定のバネ特性の値を有するように調整され得る。これらのカラムは、製品（例えば、図 2 6 に対して説明される接触器 2 6 0 6、または図 3 4 に対して説明されるプローブカードアセンブリ 3 4 0 0 のような）で使用されるため、これらのカラムは、「作業」と称され得る。カーボンナノチューブの作業カラムは、2 4 0 2 で使用される実験的カラムと概して類似し、かつ同一の標準タイプである。例えば、作業カラムは、2 4 0 2 でデータを取得するために使用される実験的カラムと同一または類似する製法、概して同一または類似するサイズ、および / または概して同一または類似する形状を使用して作製され得る。

30

【 0 0 9 0 】

作業カラムが置かれる特定の使用または使用等により、バネ定数の特定の値または値の範囲が、2 4 0 4 で選択され得る。次に、2 4 0 6 で、2 4 0 2 で取得した実験的データが、2 4 0 4 で選択されたバネ定数の値または値の範囲に最も密接に関連する調整力レベルを決定するために参照され得る。2 4 0 8 で、2 4 0 6 で選択された調整力が作業カラムに印加され、該調整力は、2 4 0 4 で選択されたバネ定数の所望の値とほぼ同じであるバネ定数を作業カラムに付与し得る。

40

【 0 0 9 1 】

図 2 5 は、基板 1 0 2（図 1 参照）上のカラム 1 0 4 上の表 1 のデータを使用して調整され得る、図 2 4 の工程 2 4 0 0 における 2 4 0 4、2 4 0 6、および 2 4 0 8 の実施例を図示するが、これに限定されない。図 2 5 は、カラム 1 0 4 が調整された後のカラム 1 0 4 の例示的な挙動も図示する。

【 0 0 9 2 】

図 2 5 のカラム 1 0 4 は、本明細書に説明され、カラム 1 0 4 の実施例として同定されるカラムのいずれかであるか、またはカラム 5 0 4、7 0 4、1 4 0 4、1 6 0 4、1 8

50

04、1904、2204、2304および/または2304'等の本明細書に記述される他のあらゆるカラムであり得る。基板102(および/またはカラム504、704、1404、1604、1804、1904、2204および/または2304のそれぞれの基板)は、犠牲基板、中間基板、または製品基板であり得、カラム104が成長された成長基板であるか、またはカラム104が成長基板から移行される基板であり得る。基板102は、したがって、基板102の実施例として、本明細書に同定される基板のいずれかであり得る。さらに、基板102が配線基板1502または配線基板1702の場合、図25に図示される調整工程は、あらゆる固着構造1606および/または1806がカラム104の周囲に形成される前またはされた後、および図19B-22に図示されるカラム104のあらゆる処理の前または後のカラム104上で実施され得る。図25は、1つのカラム104を示す、基板102の部分図を含む。図1に示されるように、しかしながら、複数(2から数百、数千、または数十万またはそれ以上)のカラム104が、基板102上にあり得る、各カラムは、(同時に、順次に、またはグループで)調整され得る。

10

【0093】

図25の数字2500、2520および2540は、調整力 F_T が、(例えば、カラムの長さに略平行である方向で)カラム104の自由端2506(接触端の非限定的な実施例であり得る)に加えらる調整工程中の種々の状態のカラム104を図示し、図25の数字2560および2580は、カラム104の長さに略平行である方向で、自由端2506に加えらる作業力 F_W に対応する調整されたカラム104を図示する。自由端2506は、加えられる力に対して移動できるカラム104の端部であり得る、自由端は、したがって、カラム104の特定の構造に依存する端部104または106であり得る、(例えば、接触端1904のような)接触端に対応し得る。数字2500は、力が自由端2506に加えらる前の初期状態2500におけるカラム104を図示する。初期状態2500において、しかしながら、カラム104は、図19B-22Bに図示する非限定的な処理を含む、本明細書に図示、説明または記述される処理のいずれか1つ以上が既に施行されていてよい。代替として、初期状態2500において、カラム104は、図19B-22Bに図示する非限定的な処理を含む、本明細書に図示、説明または記述される処理のどれも施こされていなくてもよい。

20

【0094】

図24の工程2400を参照すると、2404で、所望のバネ定数が、カラム104のために選択され得る。所望のバネ定数は、カラムの目的または製品に基づき選択され得る。例えば、カラム104の特定の目的または製品使用において、0.10グラム/ミクロンのバネ定数が所望されることが決定されてもよい。図24の工程2400における2406において、0.10グラム/ミクロンである、または約0.10グラム/ミクロンであるバネ定数をカラム104に付与する調整力 F_T が、決定され得る。本実施例において、これは、約0.8グラムの調整力 F_T をカラム104の自由端2506に印加することが、0~15ミクロンの自由端2506の移動の弾性範囲内で0.10グラム/ミクロンのバネ定数を有するようにカラム104を調整できることを示す、上の表1を参照することにより達成され得る。そこで、工程2400の2408で、調整力 F_T が、カラム104の自由端2506に印加され得る。

30

40

【0095】

図25を参照すると、状態2520は、自由端2506に加えらる調整力 F_T を伴うカラム104を示す。図25の状態2520に描かれるように、調整力 F_T の印加は、カラム104を圧縮でき、可逆的変形可能領域2522をカラム104の長さに沿って形成させ、それは、カラム104の長さに略垂直であり得る。3つの領域2522が、図25のカラム104上に示されるが、カラム104上に3つ以上のこのような領域2522、またはカラム104上に3つ未満の領域2522があり得る。一部の実施形態においては、カラム104上に1つの可逆的変形可能領域2522があり得る。カラム104における座屈または座屈領域は、可逆的変形可能領域2522の実施例であり得るが、これに限

50

定されるものではない。示すように、調整力 F_T は、カラム 104 の長さに略平行である方向で自由端 2506 に印加でき、これは、一部の実施形態においては、カラム 104 は、取り付けられる基板 102 の表面に略垂直であり得る。これに応じて、カラム 104 は、カラム 104 の長さ L に略平行であり、カラム 104 が取り付けられる基板 102 の表面に略垂直であり得る、調整力 F_T の方向に略平行である方向に圧縮できる。図 25 に示されるように、可逆的変形可能領域 2522 は、カラム 104 の長さ L に略垂直であり得る。典型的には、調整力 F_T が大きいほど、形成する可逆的変形可能領域 2522 の数が大きい。各可逆的変形可能領域 2522 は、バネ特性を有し、個別のバネとして機能できる。カラム 104 の長さに沿った複数のこのような可逆的変形可能領域 2522 は、直列の複数のバネとして機能でき、カラム 104 のバネ特性は、変形可能領域 2522 のバネ特性の直列の和を備えることができる。例えば、カラム 104 のバネ定数は、変形可能領域 2522 のそれぞれのバネ定数の直列の和を備えることができる。(周知のように、連続した「 n 」個のバネのバネ定数(または他のバネ特性)の直列の和は、次の式により得られてもよい： $1/k_{sum} = (1/k_a) + (1/k_b) + (1/k_c) \dots + (1/k_n)$ であって、式中、 k_{sum} は、バネ定数 k_a を伴う第 1 バネ、バネ定数 k_b を伴う第 2 バネ、バネ定数 k_c を伴う第 3 バネ、およびバネ定数 k_n を伴う第 n バネのバネ定数の直列の和である。したがって、例えば、それぞれが 1 つのバネ定数を伴う直列の 5 つのバネの直列の和は次のようである： $k_{sum} = k/5$ 、式中、 k_{sum} は、連続した 5 つのバネのそれぞれのバネ定数 k の直列の和である)。カラム 104 の固有のバネ特性と共に可逆的変形可能領域 2522 は、自由端 2506 と基板 102 に取り付けられるカラムの端部(基端部の非限定的な実施例であり得る)との間のカラムにおける、スプリング機構または機構等の実施例であり得るが、これに限定されるものではない。一緒にグループ化されているように示されるが、可逆的変形可能領域 2522 は、互いに隣接している必要はない。記述のように、座屈および/または座屈領域は、可逆的変形可能領域の実施例であり得るが、これに限定されるものではない。

【0096】

図 25 の状態 2520 に描かれるように、調整力 F_T は、カラム 104 を圧縮でき、調整力 F_T の印加前の自由端 2506 の初期位置 2508 と調整力 F_T の印加時の自由端 2506 の位置 2524 との間の差異であり得る、初期圧縮距離 2526 に自由端 2506 を変位させる。状態 2540 は、調整力 F_T の除去後のカラム 104 を示す。図 25 の状態 2540 に描かれるように、自由端 2506 は、少なくとも、一部、可逆的変形可能領域 2522 のバネ作用により、回復位置 2542 に移動できる。自由端 2506 が回復位置 2542 に移動する距離 2546 は、カラム 104 の弾性回復を表わすことができ、回復位置 2542 と初期位置 2508 との間の距離は、調整力 F_T に対するカラム 104 の塑性変形 2544 を表わすことができる。

【0097】

カラム 104 は、これで特定のバネ定数を有するように調整される。説明される非限定的な実施例において、カラム 104 は、上の表 1 に示される特性を有すると仮定され、上述のように、カラムに印加された調整力 F_T は、0.8 グラムであった。上の表 1 で、カラム 104 は、これで、移動の 0 ~ 15 ミクロンの弾性範囲内で 0.10 グラム/ミクロンのバネ定数を有することができる。その後、カラム 104 は、自由端 2506 の移動の 0 ~ 15 ミクロンの弾性範囲内で 0.10 グラム/ミクロンのバネ定数を伴うバネとして機能できる。調整力 F_T (例えば、本実施例において、0.8 グラム未満) 未満の力が自由端 2506 に加えられる限り、カラム 104 は、0.10 グラム/ミクロンのほぼ一定のバネ定数を保持できる。

【0098】

図 25 の状態 2560 および 2580 は、調整力 F_T 未満である作業力 F_w が自由端 2506 に加えられる実施例を図示する。状態 2560 のカラム 104 に図示されるように、作業力 F_w は、カラム 104 に、自由端 2506 を位置 2542 から位置 2562 に移動できるカラム 104 (例えば、可逆的変形可能領域 2522 圧縮) の長さ L に平行であ

10

20

30

40

50

る略方向に圧縮させる。状態 2580 のカラム 104 に図示されるように、作業力 F_w の除去時、カラム 104 の自由端 2506 は、ほぼ位置 2542 に戻ることができ、したがって、実質的な弾性回復を受ける。カラム 104 は、反復される調整力 F_T 未満の、作業力 F_w の印加および除去に応じて実質的な弾性回復（例えば、位置 2542 にほぼ戻る）を受け続けることができる。記述のように、自由端 2506 に加えられる調整力 F_T 以上の力は、さらなる可逆的変形可能領域、すなわちバネ定数を変更できるカラム 104 の長さに沿った可逆的変形可能領域 2522 を作製できる新規調整力として機能できる。例えば、引き続き表 1 を使用した非限定的な実施例において、自由端 2506 への 1.0 グラムまたは約 1.0 グラムの新規調整力の印加は、0 ~ 25 ミクロン変位または約 0 ~ 25 ミクロン変位の弾性範囲内で、カラム 104 に 0.08 グラム / ミクロンまたは約 0.08 グラム / ミクロンのバネ定数を有するようにさせる。その後、カラム 104 は、概して、図 25 の状態 2560 および 2580 に示すように、新規調整力未満である作業力の印加に反応できる。

【0099】

上述のように、カラム 104 のようなカーボンナノチューブのカラムは、多くの印加に使用され得る垂直に整列したカーボンナノチューブカラムであり得る。例えば、カラム 104 は、電子装置等のテスト装置のためのテストシステムにおける電気機械的なスプリングプロープであり得る。図 26 は、電気機械的なプロープ 2610 がカラム 104 のようなカーボンナノチューブのカラムを含む、本発明のいくつかの実施形態に従う例示的なテストシステム 2600 を図示する。示すように、テストシステム 2600 は、テスト中の 1 つ以上の電気装置 (DUT) 2614 のテストを制御するように構成されるテスター 2602 を備えることができる。DUT は、したがって、電子装置であり得る。複数の通信チャンネル 2604 および接触器 2606 は、テスター 2602 と DUT 2614 との間の電力およびアース、およびテスト、反応および他の信号のための複数の電気経路を提供できる。テスター 2602 は、通信チャンネル 2604 と接触器 2606 を通して、DUT 2614 の端子部 2616 の個々に提供されるテスト信号を発生することにより DUT 2614 をテストできる。テスター 2602 は、次に、テスト信号に応じて、DUT 2614 により発生された応答信号を評価できる。応答信号は、DUT 2614 の端子部 2616 の個々に検知され、接触器 2606 および通信チャンネル 2604 を通してテスター 2602 に提供される。

【0100】

テスター 2602 は、1 つ以上のコンピュータまたはコンピュータシステム等の電子制御装置を備えることができる。接触器 2606 は、電気的インターフェース 2608、導電性スプリングプロープ 2610、および電気的インターフェース 2608 とプロープ 2610 との間を接触器 2606 を通る電気的インターフェース 2608、導電性スプリングプロープ 2610、および電気接続部 2618（例えば、接触器 2606 上またはその中の導電性トレースおよび / またはビア）を備えることができる。プロープ 2610 のレイアウトおよび数は、概して、プロープ 2610 の個々が端子部 2616 の個々に接触することにより、端子部 2616 の個々と圧力型電気接続するように、DUT 2614 の端子部 2616 のレイアウトおよび数に対応できる。DUT 2614 は、整列した端子部 2616 およびプロープ 2610 が、整列したプロープ 2610 と端子部 2616 との間の電気接続を確立するのに十分な力で接触させられるように、プロープ 2610 の個々と端子部 2616 の個々を整列し、そして DUT 2614 を移動するように DUT 2614 を移動できる、可動チャック 2612 上に配置され得る。代替としてまたは加えて、接触器 2606 は、移動され得る。チャンネル 2604 への電気的インターフェースを備えることができる電気的インターフェース 2608 は、テスター 2602 へ、そしてテスター 2602 からの電気経路を含むことができる通信チャンネル 2604 に接続され得る。電気的インターフェース 2608 が通信チャンネル 2604 に接続され、プロープ 2610 が端子部 2616 と接触すると、通信チャンネル、接触器 2606（電気的インターフェース 2608 およびプロープ 2610 を含む）は、テスター 2602 と DUT 2614 の端子部 26

10

20

30

40

50

16との間の複数の電気経路を提供できる。さらに、1つ以上の中間基板(図示せず)は、プローブ2610と接触器2606との間に配置され得る。

【0101】

DUT2614は、個片化されていない半導体ウエハの1つ以上のダイ、ウエハから個片化された1つ以上の半導体ダイ(パッケージされたまたはパッケージされていない)、キャリアまたは他の保持装置に配置された個片化された半導体ダイの配列の1つ以上のダイ、1つ以上の複数ダイ電子モジュール、1つ以上のプリント回路基板、およびあらゆる他のタイプの電子装置であり得る。図26のDUT2614は、したがって、前述の装置または類似する装置のいずれかの1つ以上であり得る。周知のように、半導体ダイは、電気回路が集積される半導体材料を含み、端子部2616は、電気回路に、そして電気回路から電気接続を提供するボンドパッドであり得る。

10

【0102】

記述のように、プローブ2610は、垂直に整列したナノチューブカラムであり得るカーボンナノチューブのカラムを備えることができる。例えば、プローブ2610は、本明細書に説明されるあらゆる工程を使用して作製されるカラム104(例えば、カラム504、704、1404、1604、1804、2204、2304、および2304')であり得る、カラム104を備え、また、本明細書に説明されるあらゆる1つ以上の処理(例えば、図19A-22Bに示すような)の後のカラム104も含むことができる。さらに、プローブ2610を備えるカラム104は、接触器2606に固着される、および/または端子部あるいは接触器2606の他の電気要素に、図11A、11Bおよび15

20

【0103】

図27は、本明細書のいくつかの実施形態に従うカーボンナノチューブのカラムを備えるプローブ2610を伴う接触器2606の作製の例示的な工程2700を図示し、図28-34は、カラム104を備えるプローブを伴うプローブカードアセンブリ3400の形態で、例示的接触器2606が作製され得る例示的な実施工程2700を図示する。にもかかわらず、工程2700は、カラム104を備えるプローブ2610を伴うプローブカードアセンブリ3400または接触器2606の形態で、接触器2606を作製することに限定されない。例えば、工程2700は、カーボンナノチューブのカラムの他のタイプを備えるプローブ2610を伴う接触器2606を作製するために使用され得る。

30

【0104】

図27に示すように、カーボンナノチューブのカラムは、2702で取得され得る。2702でのカラムの取得は、前に成長したカラムを取得することを含むことができ、または2702でのカラムの取得は、カラムを成長させることを含むことができる。図28は、図27の2702の実施例を図示するが、これに限定されるものではない。図28に示すように、カラムの取得2702は、カラム104が成長される成長基板であるか、またはカラム104が移行され、カラム104が輸送または出荷される中間基板であり得る、基板102上でカラム104を取得することを含むことができる。

40

【0105】

再び図27を参照すると、2702で取得したカラムは、2704(第1配線基板上のカラムを配列する非限定的な実施例であり得る)で、配線基板に移行され得る。2704での移行は、図2-5Bおよび図6および7で図示される移行工程を含む、本明細書に説明される移行工程のいずれかを使用して達成され得る。図29および30は、カラム104が、基板102から、一表面上に導電性端子部2904、反対側の表面上に導電性端子部2906、そして配線基板2902上および/または配線基板2902を通して電気経路2908(例えば、トレースおよび/またはビア)を備える配線基板2902に移行される実施例を図示するが、これに限定されるものではない(電気経路2908は、電気接続の実施例であり得るが、これに限定されるものではない)。図29に示すように、接着剤804が、端子部2904上に堆積でき、カラム104の端部106は、例えば、概し

50

て図10に示すように、接着剤804と接触させられてもよい。上述のように、接着剤804は、硬化可能な導電性接着剤であり得る。コラム104の端部106が接着剤804と接触させられた後に、接着剤804が硬化され得る。例えば、接着剤804は、特定の期間、またはあらゆる他の適切な方法で、接着剤804を加熱することにより、接着剤804が周囲の空気に暴露されることにより硬化され得る。図30に示すように、基板102は、コラム104から剥離でき、これは、図9に対する上述のような、概して同様の方法で達成され得る。図30に示す基板102の剥離は、接着剤804が硬化したのちに行うことができる。

【0106】

図19Aおよび19Bに対する上述のように、接着剤804は、コラム104の中に沁み込むことができる。したがって、図27の2704での基板102から配線基板2902へのコラム104の移行は、コラム104が、端部106で配線基板2902の端子部2904に取り付けられるだけでなく、コラム104の中に沁み込まれた接着剤804を含む各コラム104をももたらす。図19Aおよび19Bに対する上述のように、接着剤804は、コラム104の長さに沿った短い距離だけコラム104の中に沁み込み、接着剤804は、コラム104の全てまたは実質的に全ての長さに沿ったコラム104の中に沁み込み、または接着剤は、それらの中間であるコラム104の長さに沿って沁み込むことができる。図30において、概して図19Bに示すように、短い距離だけコラム104の中に沁み込んだ接着剤804を示す。

【0107】

図29に示すように、コラム104を端子部2904に接着するのではなく、くぼみ（例えば、図17Aおよび17Bのくぼみ1705のような）が、配線基板2902で形成または提供され、コラム104は、くぼみ（図示せず）において配線基板2902に接着され得る。例えば、接着剤804は、くぼみ（図示せず）に堆積でき、コラム104の端部106は、くぼみ（図示せず）に挿入され得る。接着剤804は、次に、上述のように、硬化され、基板102がコラム104から剥離され得る。

【0108】

図29-31に示す実施例の例示的な代替として、図27の2704は、代替として、図11Aおよび11Bに対する上で説明される実施例のいずれかを使用して、配線基板2902にコラム104を移行することにより達成され得る。例えば、図28-34における配線基板2902は、したがって、図11Aおよび11Bの配線基板1102と有効に置換され得る。

【0109】

例示的な代替として、図27の2702および2704は、コラム104が配線基板2902上に成長される作用により置換され得る。例えば、コラム104は、コラム1604が図15A-16Bの配線基板1502上で成長されるのと同じかまたは類似した方法で、配線基板2902上に成長されるか、またはコラム104は、コラム1804が図17A-18Bの配線基板1702上で成長されるのと同じかまたは類似した方法で、配線基板2902上に成長され得る。例えば、図28-34の配線基板2902は、したがって、図15A-16Bの配線基板1502、または図17A-18Bの配線基板1702と有効に置換され得る。図27の2702および2704のまた別の例示的な代替として、コラム104は、例えば、図31に示すように、配線基板2902に取り付けられる2702で取得され得る。この場合、図27の2704は、実施される必要はない。

【0110】

図27の工程2700の説明に戻ると、2706で、コラム104は、コラム104の1つ以上の特性を強化するために処理され得る。例えば、図20に図示するように、接触端1904は、接触端1904から突出する構造1912を作製するために、例えば、反応性イオンエッチングまたはスパッタエッチング等によりエッチングで、処理され得る。別の実施例として、導電性材料が、概して、図21に対して示され、上述されるように、コラム104上に（例えば、外側に）堆積および/またはコラム104内に埋め込まれて

10

20

30

40

50

もよい。上述のように、それは、カラム 104 の導電性を向上できる。任意に、カラム 104 は、図 22A および 22B に示すカラム 2204 の中空部 2208 のような中空部を伴い成長されるか、またはそれを有するように作製でき、中空部は、カラム 104 の導電性を代替としてまたは加えて向上できる導電性材料（例えば、図 22A および 22B の材料 2210 のような）で充填され得る。

【0111】

図 31 は、導体材料が、図 21 に対して概して上述のような原子層蒸着または化学気相蒸着あるいは類似する技術を使用して、カラム 104 上または内（例えば、個々のカーボンナノチューブ上および/または周囲、および/またはカラム 104 を構成する個々のカーボンナノチューブの間）に埋め込まれる実施例を図示するがこれに限定されるものではない。カラム 104 上または内（例えば、個々のカーボンナノチューブ上および/または周囲、および/またはカラム 104 を構成する個々のカーボンナノチューブの間）に埋め込まれる導体材料の存在は、図 31 のカラム 104 の暗い影により表わされる。これは、概して、図 21 に示すカラム 104 のようなカラム 104 を作製できる。示されていないが、図 31 のカラム 104 の接触端 1904 は、図 20 に示す構造 1912 のような突出構造を有することができる。

10

【0112】

再び図 27 の工程 2700 を参照すると、カラムを配線基板に固着するための作用が、2708 で取られてもよい、および/または 2708 でカラムを配線基板の端子部に電氣的に接続する作用が取られてもよい。配線基板 2902 上およびカラム 104 の周囲に提供または形成される固着構造 3202 を示す図 32 に、非限定的な実施例を示す。例えば、固着構造 3202 は、図 16A および 16B の固着構造 1606 のようであり得、そのように作製され得る。固着構造 3202 は導電性であり得、したがって、カラム 104 と配線基板 2902 上の端子部 2904 との間を電氣的に接続するか、または電気接続を強化し得る。代替として、固着構造 3202 は、図 18A および 18B に示すような、図 18A および 18B に示す固着構造 1806 のようであり得、配線基板 2902 上の導電性トレース（例えば、図 18A および 18B のトレース 1807 のような）に接続できる。例えば、上述のように、カラム 104 が、端子部 2904（例えば、くぼみ 1705 が、図 17A および 17B の端子部 1704 から離されるような）から離されたくぼみ（例えば、図 17A および 17B のくぼみ 1705 のような）に配置される場合、このようなトレースは、固着構造 3202、したがって、カラム 104 を配線基板 2902 上の端子部 2904 に電氣的に接続できる。

20

30

【0113】

再び図 27 の工程 2700 を参照すると、カラムの 1 つ以上のバネ特性は、2710 で調整され得る。例えば、カラム 104 の 1 つ以上のバネ特性は、図 24 および 25 に対して図示および上述される調整技術に従い、調整され得る。例えば、種々の調整力レベルを特定のバネ特性に関連させるデータが、カラム 104 のようなカラムにおいて、図 24 の 2402 で取得されると、1 つ以上の所望のバネ特性をカラム 104 に付与する調整力が、図 24 に対して概して上述されるように、2406 で決定でき、選択された調整力が、所望のバネ特性をカラム 104 に付与するように、カラム 104 の接触端 1904 に印加され得る（例えば、図 24 の 2408）。例えば、図 24 および 25 に対する上述のように、カラム 104 は、カラム 104 の接触端 1904 に特定の調整力を加えることにより、特定のバネ定数値（またはバネ定数値の所望の範囲内のバネ定数値）を有するように調整され得る。

40

【0114】

調整力は、個別に各カラム 104 に印加され得る。代替として、いくつかの実施形態に従う非限定的な実施例を図示する図 33 に示すように、プレート 3302 の略平面の表面 3304 が、選択された調整力 F_T でカラム 104 の接触端 1904 に対して押圧され、調整力 F_T を複数のカラム 104（全カラムまたは全カラム未満を含む）の接触端 1904 に同時に印加し得る。カラム 104 のバネ特性の調整に加えて、図 33 に示すプレート

50

3302の使用は、カラム104の接触端1904を平坦化もできる。例えば、調整力 F_{\uparrow} をプレート3302に加えた後、カラム104の接触端1904は、表面2608の面に対応する空間内の略平面に位置され得る。

【0115】

再び図27の工程2700を参照すると、配線基板は、2712で、接触器2606を形成するために1つ以上の要素と組み合わせられ得る。図34は、配線基板2902が、図26のテストシステム2600の接触器2606の非限定的な実施例であり得るプローブカードアセンブリ3400を形成するために、インターフェース基板3402および電気相互コネクタ3406と組み合わせられる非限定的な実施例を示すが、これに限定されるものではない。図34に示すように、インターフェース基板3402は、通信チャンネル2604（図26参照）への電氣的インターフェース2608を伴う板または他の基板を含んでもよく、インターフェース基板3402は、インターフェース基板3402を通る電気相互コネクタ3406への配線3412（例えば、インターフェース基板3402上またはその中の導電性トレースおよび/またはビア）を含むことができる。インターフェース基板3402は、例えば、プリント回路基板または他のタイプの配線板であり得る。

10

【0116】

電気相互コネクタ3406は、個々の配線3412と配線基板2902の端子部2906を電氣的に接続するあらゆる電気コネクタであり得る。一部の実施形態においては、電気相互コネクタ3406は、可撓性または柔軟であり得る。電気コネクタ3406の非限定的な実施例は、電線、導電性バネ、およびはんだを含む。相互コネクタ3406の他の非限定的な実施例は、導電性のポスト、ポール、ポゴピンおよび突起構造を含む。

20

【0117】

インターポーザ（例えば、図43Aおよび43Bに示すインターポーザ4300のような）は、電気相互コネクタ3406のまた別の非限定的な実施例である。インターポーザは、一部の実施形態においては、インターフェース基板3402および配線基板2902との間に配置され得る配線基板（例えば、図43Aおよび43Bの4302）を備えることができる。第1のセットの導電性バネ接点（例えば、図43Aおよび43Bの4302の片側から延在する104のような）は、インターポーザ配線基板（図示せず）から配線3412に延在し、第2のセットの導電性バネ接点（例えば、図43Aおよび43Bの4302のもう片側から延在する104のような）は、インターポーザ配線基板から配線基板2902上の端子部2906に延在できる。第1のセットの導電性バネ接点は、インターポーザ配線基板を通して第2のセットの導電性バネ接点に（例えば、図43Bの4308により）電氣的に接続され得る。

30

【0118】

配線基板2902は、端子部2906およびカラム104を含むプローブ2610と共にプローブヘッド3410を構成し得るが、ブラケット3408によりインターフェース基板3402に取り付けられ得る。代替として、配線基板2902は、これに限定されないが、ネジ、ボルト、クランプおよび/または他のタイプの固定具を含む他の手段により、インターフェース基板3402に取り付けることができる。一部の実施形態においては、配線基板2902は、プローブカードアセンブリ3400（例えば、スチフナープレート（図示せず）またはプローブカードアセンブリ3400がテスト筐体（図示せず）に取り付けられる、またはその中もしくは上に据え付けられる取り付け構造物）の別の構成要素に取り付けることができる。一部の実施形態においては、プローブカードアセンブリ3400は、プローブヘッド3410のような複数のプローブヘッドを備えることができ、1つ以上のプローブヘッド（例えば、プローブヘッド3410等）の位置または方向は、独立して調節可能であり得る。電気相互コネクタ3406が可撓性の場合、電気相互コネクタ3406は、プローブヘッド3410（またはプローブカードアセンブリ3400が複数のプローブヘッド3410を有する場合、複数のプローブヘッド3410）の位置または方向がインターフェース基板3402に対して調節または変更されても、配線3412と端子部2906との間の電気接続を保持できる。

40

50

【 0 1 1 9 】

記述のように、プローブカードアセンブリ 3 4 0 0 は、コネクタ 2 6 0 6 の実施例であり得る、したがって、テストシステム 2 6 0 0 のコネクタ 2 6 0 6 として使用され得る。プローブカードアセンブリ 3 4 0 0 のプローブ 2 6 1 0 は、例えば、チャック 2 6 1 2 が端子部 2 6 1 6 の個々を動かしてプローブ 2 6 1 0 の個々と接触（例えば、図 3 4 のコラム 1 0 4）させるように、DUT 2 6 1 4 の端子部 2 1 6 との圧力型電気コネクタを作ることができる。

【 0 1 2 0 】

図 3 4 のプローブカードアセンブリ 3 4 0 0 は、単に、例示的であり、多くの変形が可能である。例えば、上述のように、図 1 1 A および 1 1 B の配線基板 1 1 0 2 は、図 3 4 の配線基板 2 9 0 2 に置換され得る。また上述のように、コラム 1 0 4 は、基板 1 0 2 から配線基板 2 9 0 2 に移行されるのではなく、配線基板 2 9 0 2 上で成長され得る。したがって、例えば、図 2 7 の工程 2 7 0 0 の 2 7 0 2 および 2 7 0 4 は、配線基板 2 9 0 2 の端子部 2 9 0 6 上のコラム 1 0 4 の成長作用と置換され得る。例えば、図 1 5 A - 1 6 B に図示される工程は、コラム 1 0 4 を成長させるために使用され得る。したがって、一部の実施形態においては、図 3 4 のプローブカードアセンブリ 3 4 0 0 における配線基板 2 9 0 2 は、図 1 6 A および 1 6 B に示すように、コラム 1 6 0 4（図 3 4 のコラム 1 0 4 の代わりに）を伴う配線基板 1 5 0 2 と置換され得る。別の実施例として、図 1 7 A - 1 8 B に図示される工程は、コラム 1 0 4 を成長させるために使用され得る。したがって、一部の実施形態においては、図 3 4 のプローブカードアセンブリ 3 4 0 0 における配線基板 2 9 0 2 は、図 1 8 A および 1 8 B に示すように、コラム 1 8 0 4（図 3 4 のコラム 1 0 4 の代わりに）を伴う配線基板 1 7 0 2 と置換され得る。

【 0 1 2 1 】

図 2 7 の工程 2 7 0 0 は、単に、例示的であり、多くの変形が可能である。例えば、既に記述した例示的な変形に加えて、一部の実施形態において、2 7 0 2、2 7 0 4、2 7 0 8、2 7 1 0 および / または 2 7 1 2 の配列は変更され得る。例えば、2 7 1 0 は、2 7 0 4、2 7 0 6 および / または 2 7 0 8 の前に実施され得る。別の実施例として、2 7 0 8 は、2 7 0 6 の前に実施され得る。さらに別の実施例として、2 7 1 2 は、2 7 0 6、2 7 0 8 および / または 2 7 1 0 の前に実施され得る。

【 0 1 2 2 】

図 3 4 のプローブカードアセンブリ 3 4 0 0 は、接触器 2 6 0 6（図 2 6 参照）の一実施例である。接触器 2 6 0 6 は、他の形態を取ることができる。例えば、接触器 2 6 0 6 は、可撓性膜接触器を含むことができる。さらに別の実施例として、接触器 2 6 0 6 は、本質的には、配線基板 2 9 0 2 から成ることができる。例えば、コラム 1 0 4 が、図 3 3 に示すように調整および / または平坦化された後、配線基板 2 9 0 2 は、接触器 2 6 0 6 であり得る。例えば、端子部 2 9 0 6 は、図 2 6 の電氣的インターフェース 2 6 0 8 であり得、コラム 1 0 4 が、プローブ 2 6 1 0 であり得る。多くの他の変形が可能である。

【 0 1 2 3 】

接触器 2 6 0 6 の形態または実施形態にかかわらず、垂直に整列したカーボンナノチューブのコラム 1 0 4 は、従来のプローブを超えたプローブとしてのいくつかの予想される利点がある。プローブとしてコラム 1 0 4 を伴う配線基板 2 6 0 6 の斜視図および端子部 2 5 1 6（例えば、ボンドパッドであり得る）を伴う DUT 2 5 1 4 の部分的な斜視図を示す図 3 5 は、このような利点の実施例を示す。例えば、示すように、コラム 1 0 4（プローブ 2 6 1 0 を構成する）の接触端 1 9 0 4（上述のように、コラム 1 0 4 の端部 1 0 6 または端部 1 0 8 に対応できる）は、DUT 2 5 1 4 上の端子部 2 5 1 6 の個々のパターンに対応するパターンに配置され得る。端子部 2 5 1 6 のピッチ 3 5 1 2 および / または 3 5 1 4 は、図 3 5 に示すように、隣接する端子部 2 5 1 6 の中心間の距離（3 5 1 2 および / または 3 5 1 4 と対応する）として定義され得る。コラム 1 0 4 のピッチ 3 5 0 2 および / または 3 5 0 4 は、同様に、図 3 5 にも示すように、隣接するコラム 1 0 4 の接触端 1 9 0 4 の中心間の距離（3 5 0 2 および / または 3 5 0 4 と対応する）として定

10

20

30

40

50

義され得る。カラム104のピッチ3502は、端子部2516のピッチ2512とほぼ同じ（例えば、許容可能な誤差の公差またはマージン内）であり得る。

【0124】

一部の実施形態においては、各カラム104は、端子部2516との接触に応答して、カラム104の長さに沿って方向付けられる垂直軸3420に実質的にほぼ沿ってのみ移動（例えば、圧縮、座屈、変形等）し、垂直軸3420（カラム104の長さとは略平行であり得る）と略平行であり得る接触端1904上に力を生成できる。一部の実施形態においては、垂直軸3420は、そこからカラム104が延在する配線基板2902の表面に略垂直であり、端子部2516が配置されるDUT2514の表面に対しても略垂直であり得る。垂直軸3420も、プローブ2610と端子部2516との間の接触から生じるプローブ2610の接触端1904に対する力の方向に略平行でもあり得る。接触端1904の移動が、実質的に垂直軸3420に沿ってだけであるため、カラム104のピッチ3502および/または2504は、DUT（例えば、DUT2514のような）の端子部（例えば、端子部2516のような）との接触に応答する移動が垂直軸3420に沿わないかなりの成分を含むプローブ（図示せず）より、著しく小さい（より密接）ことが可能である。これは、垂直軸3420に垂直である隣接するプローブの移動のあらゆる成分が、隣接するプローブの接触部を互いに向かって移動させ得るためである。このようなプローブの最小ピッチは、典型的には、互いに向かって隣接するプローブの接触部が移動する量より大きくなくてはならない。そうでなければ、隣接するプローブの接触部は、互いに接触するだろう。一部の実施形態においては、少なくとも20ミクロンの大きさ（または密接）のピッチ3502および/または3504が、図35に示すカラム104において達成でき、これは、図35に示すカラム104が、DUT2514を20ミクロンの大きさ（または密接）のピッチ3512および/または3514を伴う端子部2516と接触できることを意味する。一部の実施形態においては、20ミクロン未満のピッチ3502および/または3504が、図35に示すカラム104において達成され得る。

【0125】

図44に対して以下により詳しく記述するように、カラム104は、接触器2606ではなくDUT2514の端子部2516に取り付けられてもよい。このような場合、接触器2606（またはプローブカードアセンブリ3400）上のプローブ2610は、端子部2516から延在するカラム104を接触するように構成される平坦な端子部と置換され得る。別様に、図26のテストシステム2600と図36のテスト工程3600（以下に説明される）とは、概して、図示および記述されるように同様であり、同様に動作することができる。

【0126】

図36は、図26のテストシステム2600のようなテストシステムにおけるDUT（例えば、DUT2614のような）をテストするための例示的工程3600を図示する。図36に示すように、1つ以上のDUTが、3602で、ステージ上に配置され得る。例えば、1つ以上のDUT2614は、図26のテストシステム2600のステージ2612上に配置され得る。再び図36の工程3600を参照すると、3604で、プローブ2610（上述のとおり、図34および35に示すようなカラム104を含むことができる）の個々およびDUT2614の端子部2516の個々が、接触させられ得る。例えば、ステージ3602は、端子部2516の個々をプローブ2610の個々と整列するように移動でき、ステージは、次に、整列した端子部2516の個々とプローブ2610を互いに接触するように移動され得る。代替としてまたは加えて、接触器2606が、移動され得る。前述のプローブ2610の個々と端子部2516との間の接触は、プローブ2610の個々と端子部2516との間の圧力型電気接続を、一時的に確立することができる。プローブ2610の個々と端子部2516の個々との間のこの接触は、カラム104の長さとは略平行である、接触端1904でのプローブ2610（したがって、カラム104）上の力を生成し、カラム104を弾性的およびカラムの長さとは略平行である方向および力の方向に変形させることができる。

【 0 1 2 7 】

再び図36を参照すると、DUT2514は、3606でテストされ得る。例えば、図26のテスター2602は、電力およびアース、およびDUT2514に集積された回路へのテスト信号を、通信チャンネル2604および接触器2606を通してプローブ2610が接触するDUT端子部2616の個々に送ることができ、テスター2602は、DUT端子部2616、接触器2606および通信チャンネル2604と接触するプローブ2610の個々を通して応答信号を検知することにより、テスト信号に応じてDUT2514（例えば、DUT2514に集積された回路により）により発生される応答信号を検知できる。テスター2602は、次に、検知した応答信号を予測される応答信号と比較できる。検知した応答信号が予測される応答信号と同一の場合、テスター2602は、DUT2514が正常に機能し、テストをパスしたと結論するが、そうでなければ、テスター2602は、DUT2514が不良であると結論づけることができる。再び図36の工程3600を参照すると、3606でテストをパスしたDUT2514は、3608でさらに処理される。例えば、DUT2514が半導体ダイの場合、ダイは、3610でダイのエンドユーザに出荷するために、梱包されるか、別様に3608で調整され得る。

10

【 0 1 2 8 】

3604でのプローブ2610と端子部2616との間の接触は、端子部2616上にプローブ跡（「スクラブ跡」として称されることもある）を生じる。（プローブ跡は接触跡とも称され得る）。プローブ2610は、カーボンナノチューブのカラム104を含むため、プローブ2610によりDUT端子部2516上に残されたプローブ跡（図26参照）は、独特で、針プローブ、カンチレバータイプのプローブ、または他のタイプのプローブにより作られたスクラブ跡と少なくとも可視的に区別できる。例えば、図37は、カラム104を含むプローブ2610（この部分図も示す）と接触させられるDUT2514の端子部2516の部分図を示し、図38は、プローブ2610との接触から外れる端子部2516を示す。図38に示すように、プローブ2610により端子部2516の表面3704上に作られた跡3802は、本質的には、プローブ2610の接触端1904から突出する突出機構1912により表面3704に作られた小さい穿刺から成る。さらに、跡3802は、端子部2516の表面3704上の限られた範囲（周辺3804により図38に図示される）に位置する。限られた範囲3804は、プローブ2610の接触端1904の接触範囲に対応できる（端子部2516に面する接触端1904の一部は、接触端1904の面として称され得る。限られた範囲3804は、接触端1904の面の範囲に対応できる。）。例えば、限られた範囲3804は、70ミクロン（または未満）×70ミクロン（または未満）（4900平方ミクロンの範囲に対応できる）であり得、これは、上述のように、一部の実施形態においては、接触端1904の接触範囲のおおよその寸法であり得る。構造1912のサイズにより、存在する場合、各突出跡3802のサイズは、典型的には、端子部2516の表面3704上の25平方ミクロン未満であり得、典型的には、表面3704から5ミクロン未満、端子部2516の中に穿通する。種々の実施形態において、各穿刺跡3802は、典型的には、端子部2516の表面3704上の20、15または10平方ミクロン未満であり得、典型的には、表面3704から4、3または2ミクロン未満、端子部2516の中に穿通する。各カラム104の接触端904での構造1912のサイズおよび数により、穿刺跡3802により乱された端子部2516の表面3704上の総範囲は、端子部3516の表面3704上の総範囲の30%未満であり得る。種々の実施形態において、穿刺跡3802により乱された端子部2516の表面3704上の総範囲は、端子部3516の表面3704上の総範囲の25%、20%、15%、10%または5%未満であり得る。さらに、一部の実施形態においては、跡3802により乱された（または占められた）周辺3804により境界付けされる限られた範囲のパーセンテージは、40%、30%、20%または15%以下であり得る。一部の実施形態においては、跡3802により乱された（または占められた）周辺3804により境界付けされる限られた範囲のパーセンテージは、40%以上または15%以下であり得る。

20

30

40

50

【 0 1 2 9 】

記述のように、プローブ 2 6 1 0 を構成するカラム 1 0 4 は、構造 1 9 1 2 を生成するために処理される必要はない（例えば、図 2 0 に示すように）。図 3 9 に示すように、突出構造 1 9 1 2 を作製するために処理されなかった接触端 1 9 0 4 を含むプローブ 2 6 1 0 により端子部 2 5 1 6 の表面 3 7 0 4 上に作製された凹み 3 9 0 2（例えば、点のくぼみ）は、本質的には、表面 3 7 0 4 の凹み 3 9 0 2 から成る。突出構造 1 9 1 2 を生成するために処理されず、したがって、尖ったまたは突出した様な構造に欠けるカラム 1 0 4 の接触端 1 9 0 4 は、少なくとも顕微鏡レベルでは、平らではない。つまり、接触端 1 9 0 4 でのわずかな突出領域があり、該接触端は、例えば、接触端 1 9 0 4 を形成するカーボンナノチューブの他の端部からわずかに突出するカーボンナノチューブの端部の集合を含む。これは、端子部 2 5 1 6 の表面 3 7 0 4 の凹み 3 9 0 2 をもたらす。凹み 3 9 0 2 は、端子部 2 5 1 6 の表面 3 7 0 4 上の限られた範囲（周辺 3 9 0 4 により境界付けされる範囲により、図 3 9 に図示される）に位置され得る。限られた範囲 3 9 0 4 は、プローブ 2 6 1 0 の接触端 1 9 0 4 の接触範囲（例えば、接触面）に対応し得る（端子部 2 5 1 6 に面する接触端 1 9 0 4 の一部は、接触端 1 9 0 4 の面として称され得る。限られた範囲 3 9 0 4 は、接触端 1 9 0 4 の面の範囲に対応し得る）。例えば、限られた範囲 3 9 0 4 は、7 0 ミクロン（または未満）× 7 0 ミクロン（または未満）（4 9 0 0 平方ミクロンの範囲に対応し得る）であり得、これは、上述のように、一部の実施形態においては、接触端 1 9 0 4 の接触範囲のおおよその寸法であり得る。各凹み 3 9 0 2 のサイズは、典型的には、端子部 2 5 1 6 の表面 3 7 0 4 上の凹み 3 9 0 2 の幅で、約 5 ミクロン未満であり得、凹み 3 9 0 2 は、典型的には、表面 3 7 0 4 から 5 ミクロン未満、端子部 2 5 1 6 の中に穿通する。種々の実施形態において、各凹み 3 9 0 2 は、典型的には、凹みの幅で、4、3 または 2 ミクロン未満であり得、典型的には、表面 3 7 0 4 から 4、3 または 2 ミクロン未満、端子部 2 5 1 6 に穿通する。一部の実施形態においては、凹み 3 9 0 2 により乱された（または占められた）端子部 2 5 1 6 の表面 3 7 0 4 上の総範囲は、端子部 3 5 1 6 の表面 3 7 0 4 上の総範囲の 3 0 % 未満であり得る。種々の実施形態において、凹み 3 9 0 2 により乱された端子部 2 5 1 6 の表面 3 7 0 4 上の総範囲は、端子部 3 5 1 6 の表面 3 7 0 4 上の総範囲の 2 5 %、2 0 %、1 5 %、1 0 % または 5 % 未満であり得る。さらに、一部の実施形態においては、凹み 3 9 0 2 により乱された（または占められた）周辺 3 9 0 4 により境界付けされる限られた範囲のパーセンテージは、4 0 %、3 0 %、2 0 % または 1 5 % 以下であり得る。一部の実施形態においては、凹み 3 9 0 2 により乱された（または占められた）周辺 3 9 0 4 により境界付けされる限られた範囲のパーセンテージは、4 0 % 以上または 1 5 % 以下であり得る。

【 0 1 3 0 】

上述のように、プローブ 2 6 1 0 は、代替として、図 2 3 A に示すように、ピーク構造 2 3 1 2 を備えるカラム 2 3 0 4 を含むことができる。例えば、ピーク構造 2 3 1 2 は、カラム 2 3 0 4 の接触端 2 3 0 2 の角に位置することができる。図 4 0 は、カラム 2 3 0 4 を含むプローブと端子部 2 5 1 6 とが接触させられた（例えば、図 3 6 の 3 6 0 4 で）後の DUT 端子部 2 5 1 6 の表面 3 7 0 4 を図示する。図 4 0 に示すように、カラム 2 3 0 4 を含むプローブ 2 6 1 0 により、端子部 2 5 1 6 の表面 3 7 0 4 上に作製された跡 4 0 0 2 は、本質的には、ピーク構造 2 3 1 2 により作製された小さな穿刺から成る。記述のように、ピーク構造 2 3 1 2 は、カラム 2 3 0 4 の接触端 2 3 0 2 の角に位置してもよく、ピーク構造 2 3 1 2 により作製された跡 4 0 0 2 は、範囲の角に位置され得る（周辺 4 0 0 4 により、図 4 0 に図示される）。限られた範囲 4 0 0 4 は、カラム 2 3 0 4 の接触端 2 3 0 2 の接触範囲に対応できる（図 2 3 A を参照）（端子部 2 5 1 6 に面する接触端 1 9 0 4 の一部は、接触端 1 9 0 4 の面として称され得る。限られた範囲 4 0 0 4 は、接触端 1 9 0 4 の面の範囲に対応し得る。）。例えば、限られた範囲 4 0 0 4 は、7 0 ミクロン（または未満）× 7 0 ミクロン（または未満）（4 9 0 0 平方ミクロンの範囲に対応し得る）であり得、これは、上述のように、一部の実施形態においては、接触端 2 3 0 4 の接触範囲のおおよその寸法であり得る。記述のように、カラム 2 3 0 4 は、図 2 3

10

20

30

40

50

Aに示すように、4つのピーク構造2312を有することができるか、またはカラム2304は、4つのピーク構造2312より、より多くの、またはより少ないピーク構造を有することができる。図40に示す端子部2516の表面3704は、したがって、より多くの、またはより少ない跡4002を有することができる。ピーク構造2312のサイズにより、各穿刺跡4002のサイズは、典型的には、端子部2516の表面3704上で20平方ミクロン未満であり得る、典型的には、表面3704から5ミクロン未満、端子部2516の中に貫通できる。種々の実施形態において、各穿刺跡4002は、典型的には、端子部2516の表面3704上で15平方ミクロン、10平方ミクロンまたは5平方ミクロン未満であり得る、典型的には、表面3704から4、3または2ミクロン未満、端子部2516の中に貫通できる。各カラム2304の接触端2302でのピーク構造2312のサイズおよび数により、穿刺跡4002により乱された端子部2516の表面3704上の総範囲は、端子部3516の表面3704上の総範囲の15%未満であり得る。種々の実施形態において、穿刺跡4002により乱された端子部2516の表面3704上の総範囲は、端子部3516の表面3704上の総範囲の10%、5%または3%未満であり得る。さらに、一部の実施形態においては、穿刺跡4002により乱された(または占められた)周辺4004により境界付けされる限られた範囲のパーセンテージは、40%、30%、20%または15%未満または同等であり得る。一部の実施形態においては、穿刺跡4002により乱された(または占められた)周辺4004により境界付けされる限られた範囲のパーセンテージは、40%以上または15%未満であり得る。

10

【0131】

20

図41Aは、DUT2514の非限定的な実施例であり得る、例示的な半導体ダイ2514'を図示する。示すように、ダイ2514'は、例えば、ボンドパッドであり得る、複数の端子部2516'を有することができる。図41Aは、端子部2516'が、図37および38のように構成され(つまり、プローブ2610は、カラム104の接触端1904で構造1912を生成するように処理されたカラム104を含む(図20参照))、図36の工程3600に図示するようにテストされるプローブ2610により接触された後の端子部2516'を図示する。図41Aに示すように、ダイ2514'の端子部2516'上のプローブ跡は、本質的には、図38に示すように、プローブ2610の接触端1904に対応する周辺3904内に位置する穿刺跡3802から成る(つまり、概して、限られる)。図38に対して上述されるように、穿刺跡3802は、プローブ2610の接触端1904から突出する構造1912により作製され得る。端子部2514'上の穿刺跡3802は、図38に対して上述されるようなものであり得る。

30

【0132】

図41Bは、端子部2514'が、図39に対して上述されるように構成され(つまり、プローブ2610は、接触端1904が、カラム104の接触端1904で構造1912を生成するように処理されないカラム104を含む(図20参照))、図36の工程3600に図示するようにテストされるプローブ2610により接触された後の端子部2514'を伴うダイ2514'を図示する。図41Bに示すように、ダイ2514'の端子部2516'上の凹み3902は、本質的には、図39に示すように、プローブ2610の接触端1904に対応する周辺3804内に位置する凹み3902から成る(つまり、概して、限られる)。図39に対して上述されるように、凹み3902は、プローブ2610を含むカラム104を含むカーボンナノチューブの端部により作製され得る。端子部2514'上の凹み3902は、図39に対して上述されるようであり得る。

40

【0133】

図41Cは、DUT2514の非限定的な別の実施例であり得る、別の例示的な半導体ダイ2514''を図示する。ダイ2514''のように、ダイ2514''は、例えば、ボンドパッドであり得る、複数の端子部2516''を有することができる。本実施例において、図34の接触器2606(図26および35参照)またはプローブカードアセンブリ3400のプローブ2610は、図23Aのカラム2304を含むことができる。示すように、ダイ2514''が、カラム2304を含むプローブ2610により接触され

50

、図36の工程3600に図示されるようにテストされた後、ダイ2514'の端子部2516'上のプローブ跡は、本質的には、図40に示すように、プローブ2610(図23Aに示すように、カラム2304を含む)の接触端2302に対応する周辺4004内に沿って位置する穿刺跡4002から成る(つまり、概して、限られる)。

【0134】

図40A-41Cの半導体ダイ2514'および2514''は、単に、例示的であり、多くの変形が可能である。例えば、各ダイ2514'、2514''上の端子部2516'および2516''の数およびレイアウトは、単に、例示的である。ダイ2516'は、図40に示すのとは異なるパターンで配列され得、異なる数の端子部2516'を有することができる。同様に、ダイ2516''は、図41に示すのとは異なるパターンで配列され得、異なる数の端子部2516''を有することができる。

10

【0135】

図42は、ダイ4202の端子部4204を接触するように構成され、次に、端子部4204を横切って擦る、典型的な従来の技術のプローブ(図示せず)により作製された典型的なプローブ跡4208を図示する。示すように、プローブ跡4208は、典型的には、端子部4204の表面4206のゲージまたはトレンチから成る。プローブ跡4208は、典型的には、従来の技術のプローブ(図示せず)との初期接触に対応するヒール部分4210から、典型的には、端子部4202を横切る従来の技術のプローブ(図示せず)の擦り運動の端部に対応する爪先部分4212に延在する。プローブ跡4208は、したがって、従来の技術のプローブ(図示せず)がヒール部分4210と接触し、次に、爪先部分4212へと端子部4204を横切って擦る時に、作製される。図42に示すように、プローブ跡の寸法は、典型的には、次のようであり、プローブ跡2408の幅Wは、概して、端子部4204と接触する従来の技術のプローブの部分の幅に対応し、プローブ跡2408の長さLは、概して、端子部4204を横切る従来の技術のプローブ(図示せず)の擦り運動の長さに対応し、そして表面4206から端子部4204の中へのプローブ跡2408の深度Dは、概して、従来の技術のプローブ(図示せず)および/または端子部4204が、従来の技術のプローブ(図示せず)と端子部4204との間の初期接触後、他方に向かって移動させられた距離であり得、過剰移動距離に対応する。W、DおよびLのいくつかの典型的な実施例は、Wが20ミクロン、Lが20ミクロン、そしてDが10ミクロンを含む。

20

30

【0136】

加えて、図42に示すように、碎片堆積4214が、典型的には、プローブ跡4208の爪先部分4212で形成する。碎片堆積4214は、特に、従来の技術のプローブ(図示せず)が、プローブ跡4208のヒール部分4210から爪先部分4212に擦る時に、端子部4202から掘られるおよび/または端子部4202の表面4206から削り取られる、端子部4202の材料および/または端子部4202の表面4206上の材料(例えば、酸化フィルム)を含むことができる。

【0137】

本発明は、限定されないが、本質的に、図38に示す穿刺跡3802、図39の凹み3902、または図40に示す穿刺跡4002から成る例示的なプローブ跡は、図42に示す従来の技術のプローブ跡より、より有利であり得る。これは、半導体ダイの端子部(例えば、ボンドパッド)上のプローブ跡が、いくつかの問題を生じるからである。第1に、プローブ跡は、配線が端子部に結合されるのを妨げる(半導体素子の端子部は、しばしば、配線により保護包装の導体に接続される)。第2に、配線がプローブ跡を有する端子部に正常に結合されても、プローブ跡は、配線と端子部との間の結合の有効寿命を低減し得る。第3に、プローブ跡は端子部を弱め、端子部を緩ませるかまたは半導体素子から外れさせる。端子部を弱め、(プローブ跡の有害な影響の議論については、Puar(「Puar」)の米国特許第5,506,499号第2段落第21-40行および第3段落第7-25行参照)。前述の問題は、プローブ跡のサイズの低減および/またはプローブ跡が端子部の表面と作製する不連続のレベルを低減することにより低減され得る。したがって

40

50

、例えば、図38に示す端子部2516の表面3704における穿刺跡3802が、図42に示す従来の技術のプローブ跡4208より非常に小さいため、穿刺跡3802は、従来の技術のプローブ跡4208よりプローブ跡に対して、上述の問題のいずれをも生じにくい。加えて、図38に示す端子部2516の表面3704上の穿刺跡3802により作製された不連続は、プローブ跡4208および図42の端子部4202の表面4206上の碎片堆積4214により作製された不連続より非常に小さいため、穿刺跡3802は、従来の技術のプローブ跡4208および碎片堆積4214よりプローブ跡に対して、上述の問題のいずれをも生じにくい。図39の凹み3902および図40に示す穿刺跡4002は、同様に、非常に小さく、従来の技術のプローブ跡4208および碎片堆積4214より低い不連続を端子部2516の表面3704上に作製するため、プローブ跡に対して、上述の問題のいずれをも生じにくい。

10

【0138】

明らかであるが、プローブ跡4208は、図38の穿刺跡3802のどの1つよりも、図39の凹み3902よりも、または図40の個々の穿刺跡4002のどの1つよりも非常に大きい。さらに、プローブ跡4208および碎片堆積4214は、図38の穿刺跡3802が、端子部2516の表面3704を乱すより、図39の凹み3902が、端子部2516の表面3704を乱すより、または図40の穿刺跡4002が、端子部2516の表面3704を乱すより大きなパーセンテージの端子部4204の表面4206を乱す。

【0139】

図26の接触器2606のような接触器および図34のプローブカードアセンブリ3400のようなプローブカードアセンブリだけが、カーボンナノチューブのカラム104の用途ではない。図43Aおよび43B（それぞれ、斜視図および横断面図を示す）は、カラム104がインターポーザ4300のバネ接点構造（例えば、相互接続構造）を備える、別の例示的用途を図示する。インターポーザ4300は、カラム104が取り付けられる配線基板4302（例えば、プリント回路基板、セラミック基材または他の配線基板）を備えることができる。示すように、カラム104（第1のバネ接点構造および第2のバネ接点構造の非限定的な実施例であり得る）は、配線基板4302の反対側（第1の表面および第2の表面の実施例であり得る）に取り付けられてもよい。例えば、図43Bに示すように、カラム104のいくつかは、配線基板4302の片側の端子部4306に取り付けられ、他のカラム104は、配線基板の反対側の端子部4306に取り付けられてもよい。配線4308（例えば、配線基板4302の中または上のトレースおよび/またはビア）は、配線基板4302の片側の端子部を配線基板4302の反対側の端子部4306と電気的に接続できるため、配線基板4302の片側のカラム104を配線基板4302の反対側のカラム104と電気的に接続する。配線4308は、電気接続の実施例であり得るが、これに限定されるものではない。

20

30

【0140】

カラム104は、本明細書に説明または記述されるあらゆる技術または工程を使用して成長され得る。さらに、カラム104は、犠牲基板（例えば、基板202）上で成長され、例えば、図2-7および12-14に示すように、（例えば、8-11Bまたは12-14に図示される技術のいずれかを使用して）配線基板4302に移行され得る。代替として、カラム104は、本明細書に説明または記述されるあらゆる適切な技術または工程を使用して、配線基板4302の端子部4306上に成長され得る。例えば、カラム104は、カラム1604が、図15A-16Bの端子部1504上に成長されるのと同様の方法で、端子部4306上に成長され得る。また別の代替として、カラム104は、カラム1804が、図17A-18Bのくぼみ1705で成長されるのと同様の方法で、配線基板4302のくぼみ（図示せず）で成長され得る。さらに、カラム104は、図19-22Bに図示する、または本明細書に説明または記述されるいずれか1つ以上の処理を使用して処理でき、カラム104は、図16Aおよび16Bの固着構造1606または図18Aおよび18Bの固着構造1806のようであり得る固着構造4304により、または

40

50

本明細書に説明または記述されるあらゆる固着技術を使用して、端子部 4 3 0 6 および / または配線基板 4 3 0 2 に固着され得る。一部の実施形態においては、カラム 1 0 4 は、カラム 2 2 0 4 または 2 3 0 4 のようであり得る。

【 0 1 4 1 】

図 4 4 は、カラム 1 0 4 が、半導体ダイ 4 4 0 2 の端子部 (例えば、ボンドパッド) 4 4 0 4 に取り付けられるパネ接点構造 (例えば、相互接続構造) を備える、別の例示的な用途を図示し、これは、配線基板の非限定的な実施形態であり得る。ダイ 4 4 0 2 は、あらゆるタイプの半導体ダイであり得る。例えば、ダイ 4 4 0 2 は、メモリまたはデータ記憶回路、デジタル論理回路、プロセッサ回路等を備えることができる。周知のように、端子部 4 4 0 4 は、ダイ 4 4 0 2 に集積される回路に電氣的に接続でき、したがって、信号の入力および出力、電力およびアースを提供できる。

【 0 1 4 2 】

カラム 1 0 4 は、本明細書に説明または記述するあらゆる技術または工程を使用して成長され得る。さらに、カラム 1 0 4 は、犠牲基板 (例えば、基板 2 0 2) 上で成長され、例えば、図 2 - 7 および 1 2 - 1 4 に示すように、(例えば、8 - 1 1 B または 1 2 - 1 4 に図示される技術のいずれかを使用して) ダイ 4 4 0 2 に移行され得る。代替として、カラム 1 0 4 は、本明細書に説明または記述されるあらゆる適切な技術または工程を使用して、ダイ 4 4 0 2 の端子部 4 4 0 4 上に成長され得る。例えば、カラム 1 0 4 は、カラム 1 6 0 4 が、図 1 5 A - 1 6 B の端子部 1 5 0 4 上に成長されるのと同様の方法で、端子部 4 4 0 4 上に成長され得る。また別の代替として、カラム 1 0 4 は、カラム 1 8 0 4 が、図 1 7 A - 1 8 B のくぼみ 1 7 0 5 で成長されるのと同様の方法で、ダイ 4 4 0 2 のくぼみ (図示せず) で成長され得る。さらに、カラム 1 0 4 は、図 1 9 - 2 2 B に図示する、または本明細書に説明または記述されるいずれいか 1 つ以上の処理を使用して処理でき、カラム 1 0 4 は、図 1 6 A および 1 6 B の固着構造 1 6 0 6 または図 1 8 A および 1 8 B の固着構造 1 8 0 6 のようであり得る固着構造 (図示せず) により、または本明細書に説明または記述されるあらゆる固着技術を使用して、端子部 4 4 0 4 および / またダイ 4 4 0 2 に固着され得る。一部の実施形態においては、カラム 1 0 4 は、カラム 2 2 0 4 または 2 3 0 4 のようであり得る。

【 0 1 4 3 】

ダイ 4 4 0 4 は、個片化されたダイ (つまり、ダイ 4 4 0 4 が作製されたシリコンウエハから個片化される) であり得る、ダイ 4 4 0 4 は、パッケージされるかまたはパッケージされないままであり得る。代替として、ダイ 4 4 0 4 は、ダイ 4 4 0 4 が作製されたウエハから個片化されていなくてもよい。例えば、ダイ 4 4 0 2 は、ダイ 4 4 0 2 が作製されたウエハの一部であるままで、カラム 1 0 4 は、ダイ 4 4 0 2 に取り付けられてもよい。一部の実施形態においては、カラム 1 0 4 は、ダイがウエハから個片化される前に、シリコンウエハ上のダイ (例えば、ダイ 4 4 0 2 のような) の一部または全てに取り付けられてもよい。上述のように、このようなダイ (ウエハから個片化される前または後) は、図 2 6 のテストシステム 2 6 0 0 のようなテストシステムで、および図 3 6 の工程 3 6 0 0 のようなテスト工程に従い、テストされ得る。上述のように、このような場合、カラム 1 0 4 は、D U T 2 6 1 4 の端子部 2 6 1 6 に取り付けられてもよく、接触器 2 6 0 6 上の プローブ 2 6 1 0 は、D U T 2 6 1 4 の端子部 2 6 1 6 から延在するカラム 1 0 4 と接触するように構成される平坦な端子部と置換され得る。プローブカードアセンブリ 3 4 0 0 が接触器 2 6 0 6 として使用される場合、プローブ 2 6 1 0 は、同様に、平坦な端子部と置換され得る。

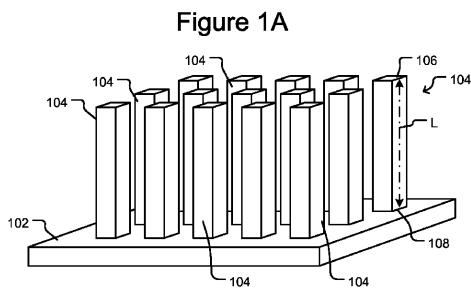
【 0 1 4 4 】

カラム 1 0 4 (したがって、カラム 5 0 4、7 0 4、1 4 0 4、1 6 0 4、1 8 0 4、2 2 0 4、2 3 0 4 および 2 3 0 4') だけでなくプローブ 2 6 1 0 も、パネ接点構造、プローブ、スプリングプローブ、第 1 のパネ接点構造、第 2 のパネ接点構造またはテストプローブの非限定的な実施例であり得る。

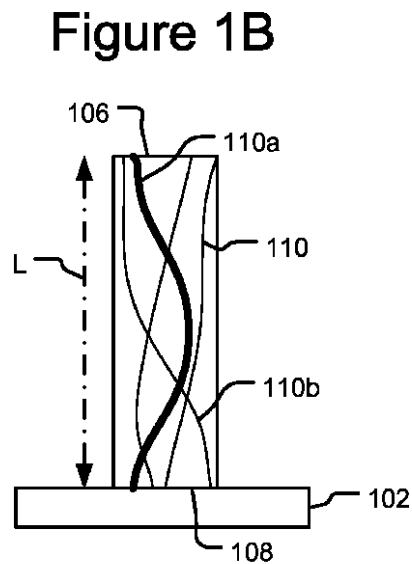
【 0 1 4 5 】

本発明の特定の実施形態および用途が、本明細書で説明されたが、本発明がこれらの例示的な実施形態および用途、または例示的な実施形態および用途が動作されるまたは本明細書に説明される方法に限定される意図はない。例えば、実施形態は、コラム 104 が、配線基板の端子部に取り付けられる、および/または電気的に接続されるように本明細書に図示されるが、コラム 104 は、配線基板の中または上の他の電気要素に取り付けることができる。実際、端子部は、電気要素の非限定的な実施例であり得る。別の実施例として、コラム 104 (したがって、コラム 504、704、1404、1604、1804、2204、2304 および 2304') だけでなくプローブ 2610 も、バネ接点構造、プローブ、スプリングプローブ、第 1 バネ接点構造、第 2 バネ接点構造またはテストプローブの非限定的な実施例であり得る。

【図 1 A】

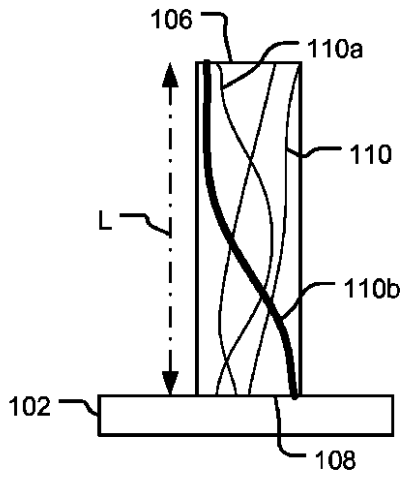


【図 1 B】



【 図 1 C 】

Figure 1C



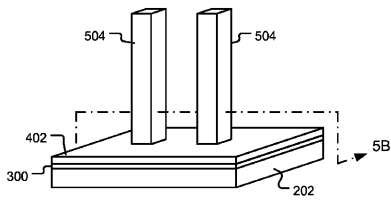
【 図 2 】

Figure 2



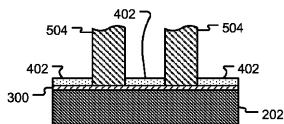
【 図 5 A 】

Figure 5A



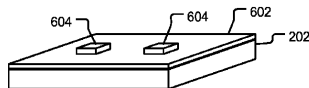
【 図 5 B 】

Figure 5B



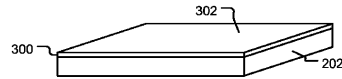
【 図 6 】

Figure 6



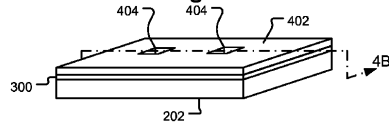
【 図 3 】

Figure 3



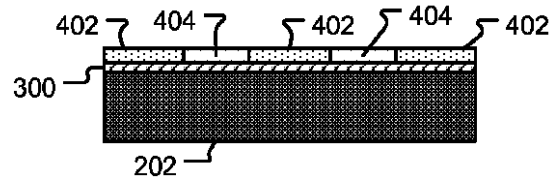
【 図 4 A 】

Figure 4A



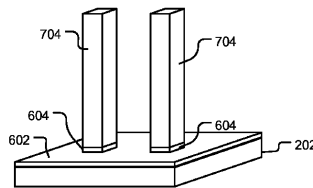
【 図 4 B 】

Figure 4B



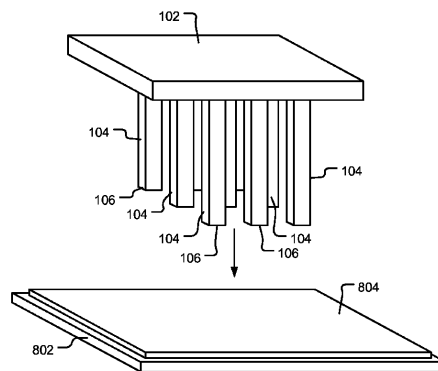
【 図 7 】

Figure 7



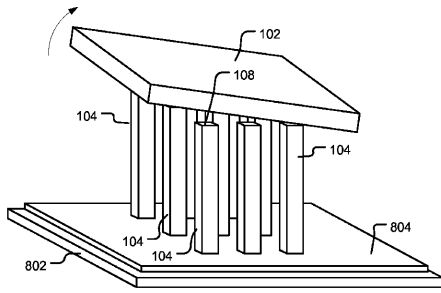
【 図 8 】

Figure 8



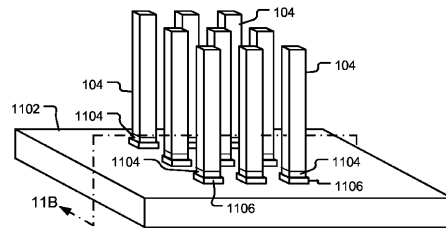
【 図 9 】

Figure 9



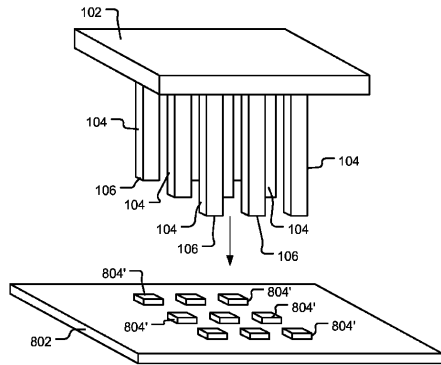
【 図 1 1 A 】

Figure 11A



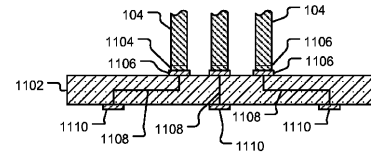
【 図 1 0 】

Figure 10



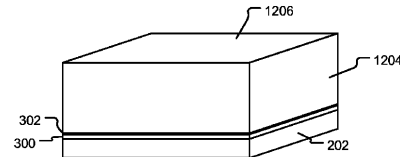
【 図 1 1 B 】

Figure 11B



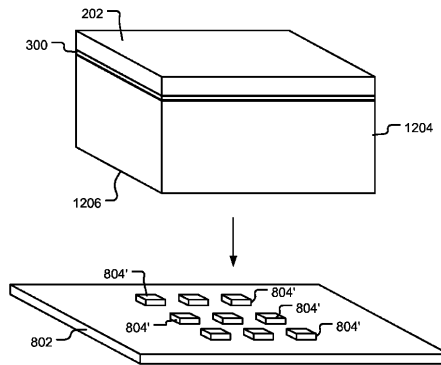
【 図 1 2 】

Figure 12



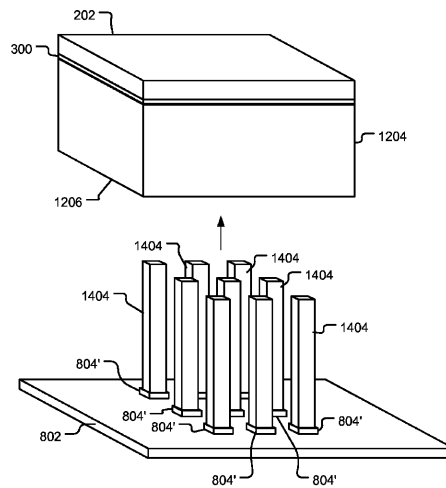
【 図 1 3 】

Figure 13



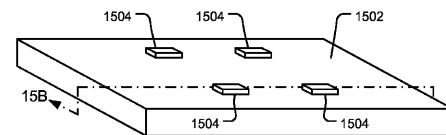
【 図 1 4 】

Figure 14



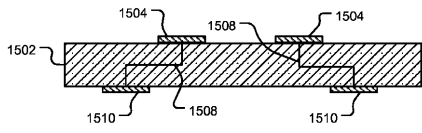
【 図 1 5 A 】

Figure 15A



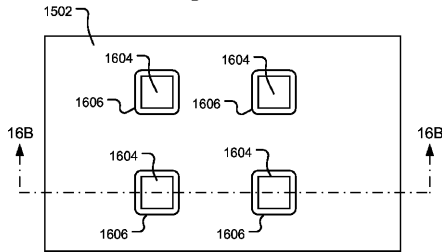
【 図 15 B 】

Figure 15B



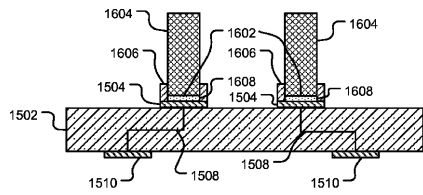
【 図 16 A 】

Figure 16A



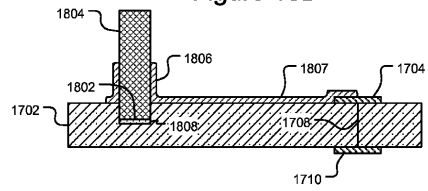
【 図 16 B 】

Figure 16B



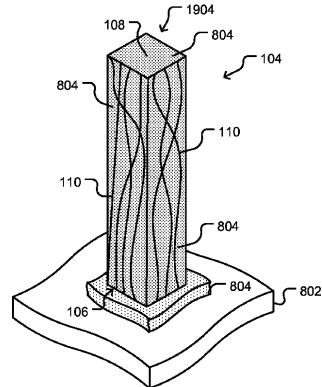
【 図 18 B 】

Figure 18B



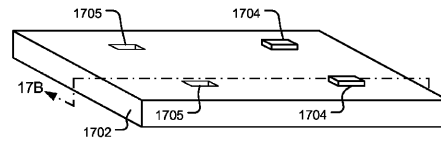
【 図 19 A 】

Figure 19A



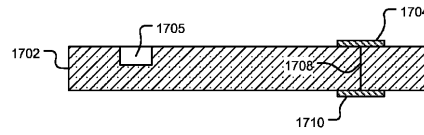
【 図 17 A 】

Figure 17A



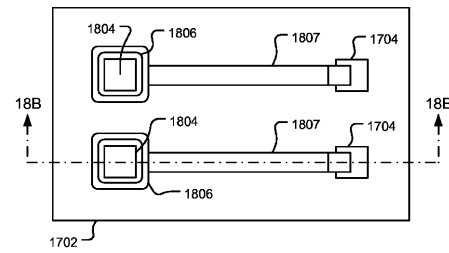
【 図 17 B 】

Figure 17B



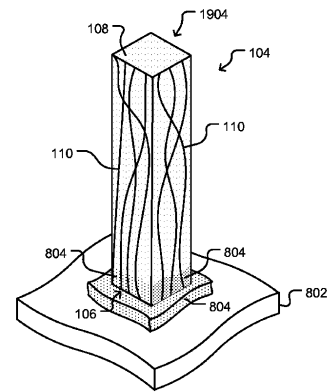
【 図 18 A 】

Figure 18A



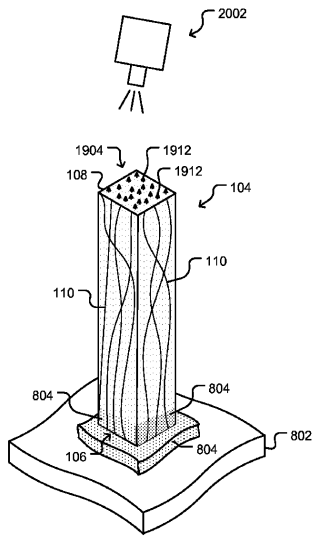
【 図 19 B 】

Figure 19B



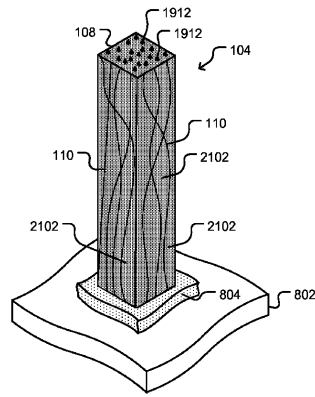
【 図 2 0 】

Figure 20



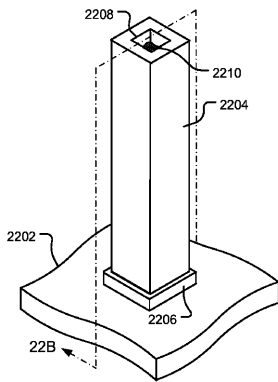
【 図 2 1 】

Figure 21



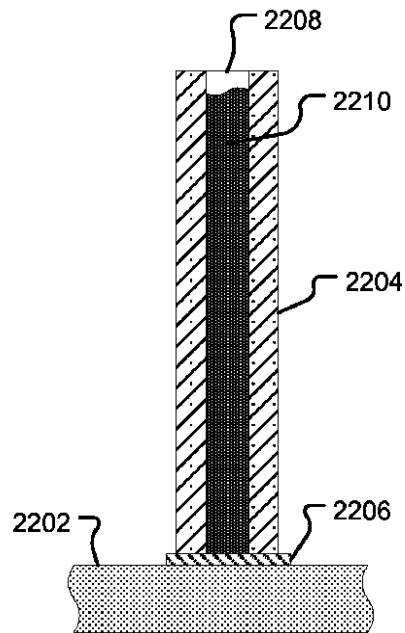
【 図 2 2 A 】

Figure 22A



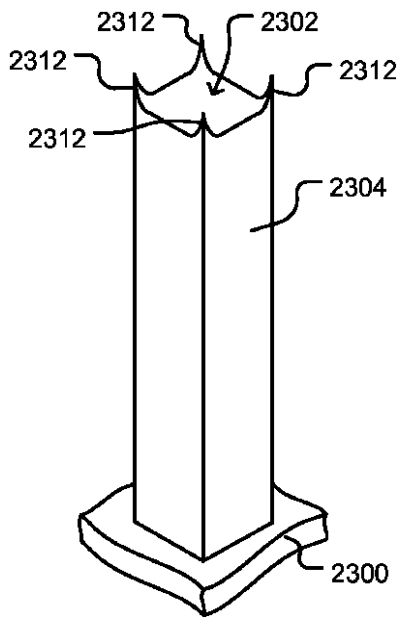
【 図 2 2 B 】

Figure 22B



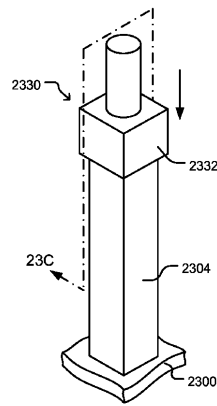
【 図 2 3 A 】

Figure 23A



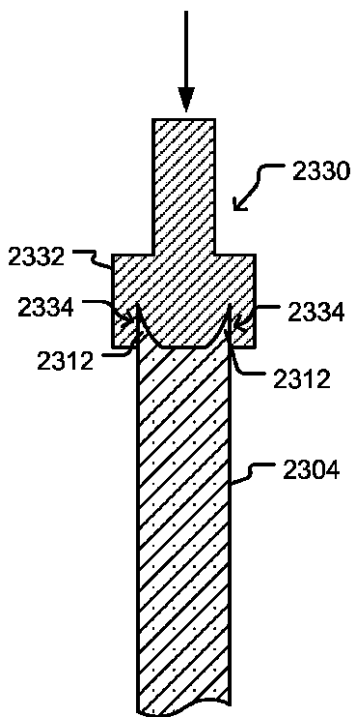
【 図 2 3 B 】

Figure 23B



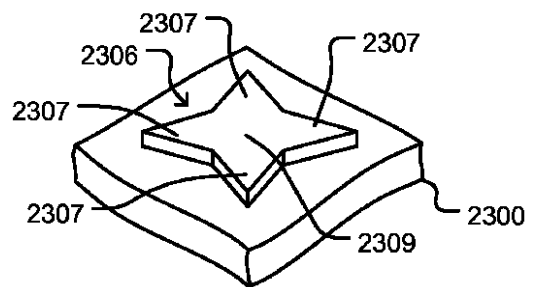
【 図 2 3 C 】

Figure 23C



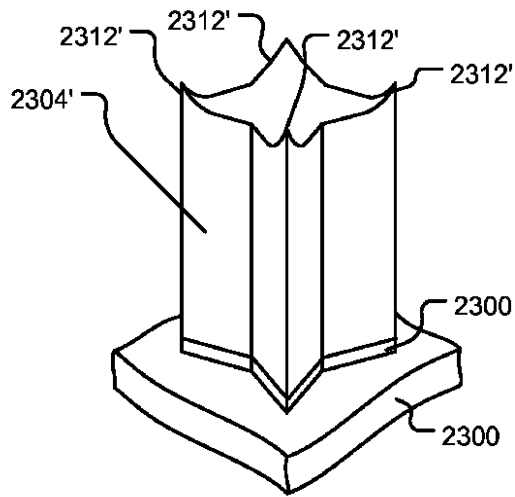
【 図 2 3 D 】

Figure 23D



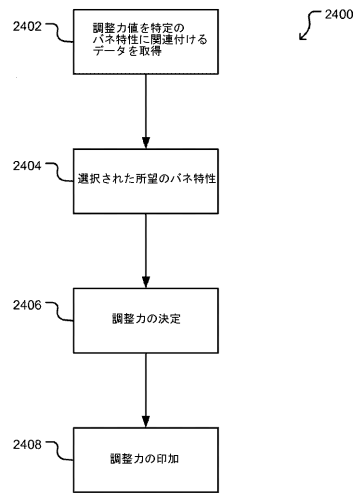
【図23E】

Figure 23E



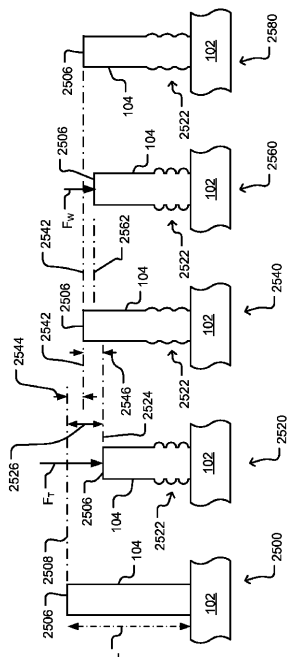
【図24】

Figure 24



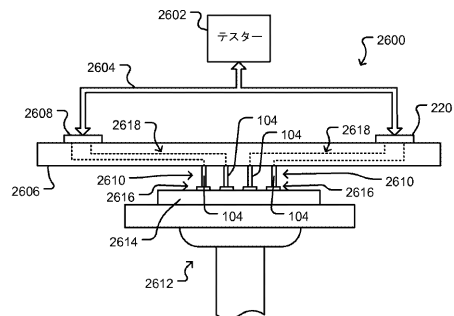
【図25】

Figure 25

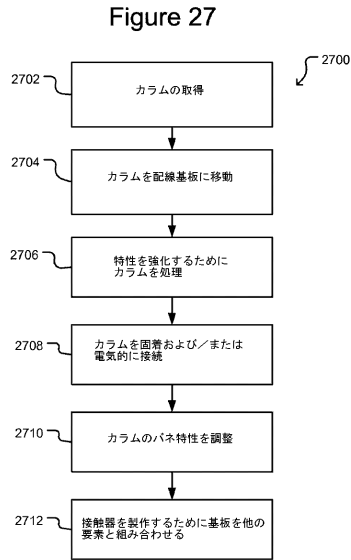


【図26】

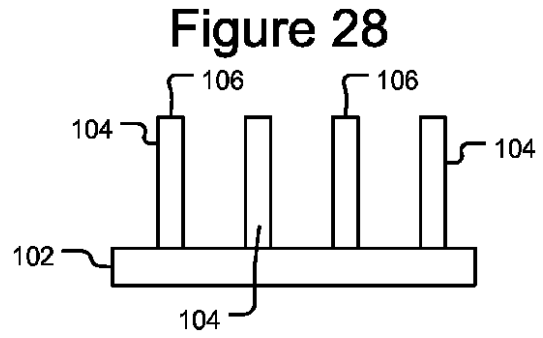
Figure 26



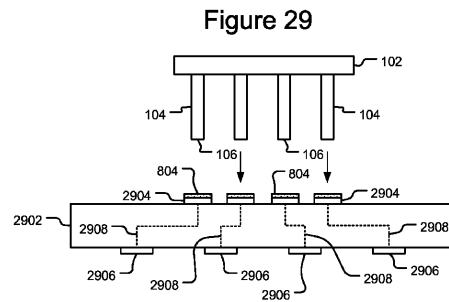
【図 27】



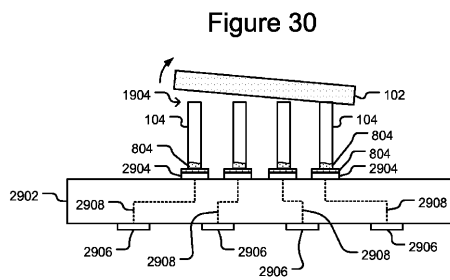
【図 28】



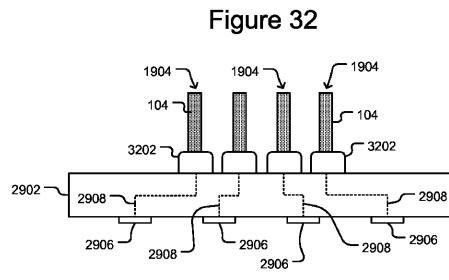
【図 29】



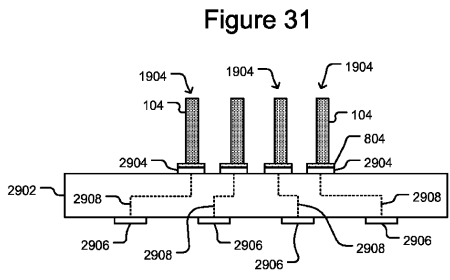
【図 30】



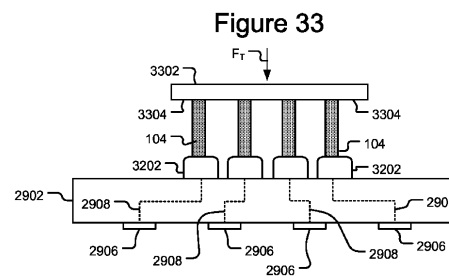
【図 32】



【図 31】



【図 33】



【 図 3 4 】

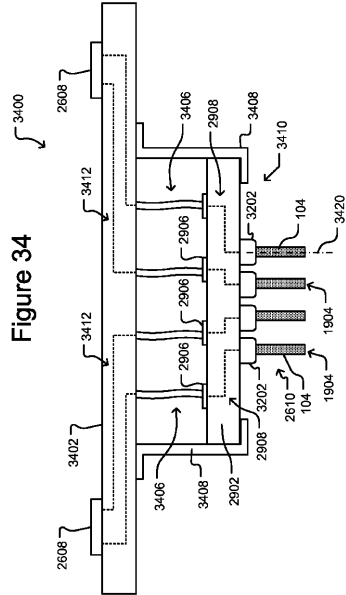


Figure 34

【 図 3 5 】

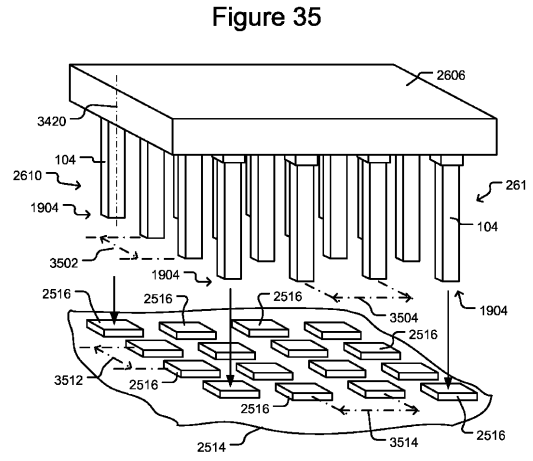


Figure 35

【 図 3 6 】

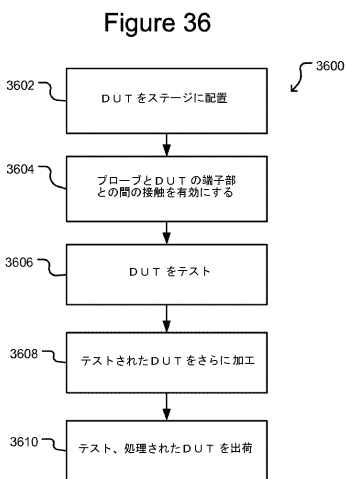


Figure 36

【 図 3 7 】

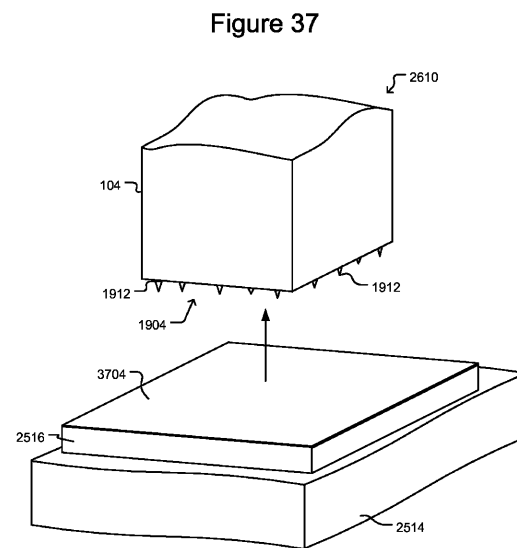
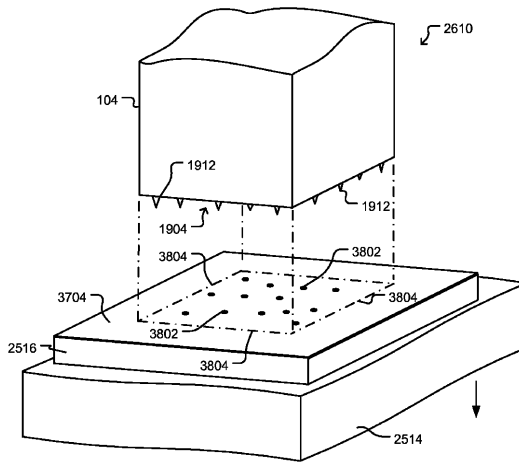


Figure 37

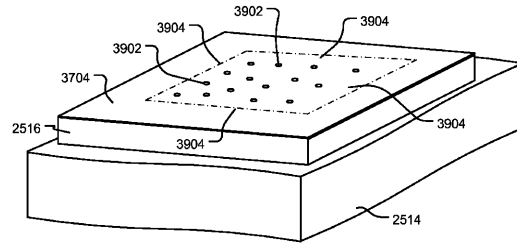
【 図 3 8 】

Figure 38



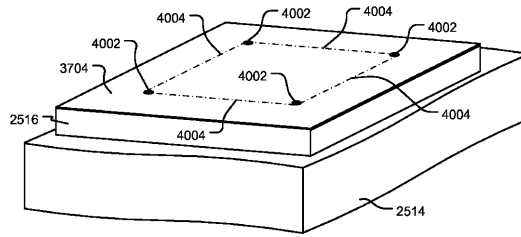
【 図 3 9 】

Figure 39



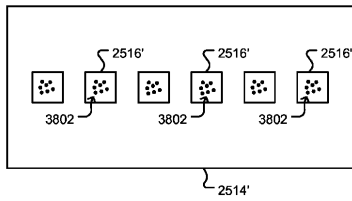
【 図 4 0 】

Figure 40



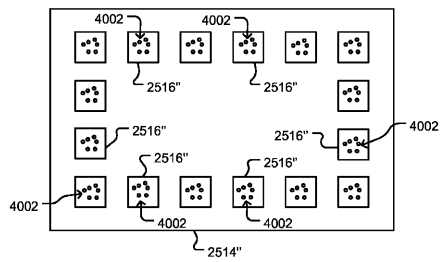
【 図 4 1 A 】

Figure 41A



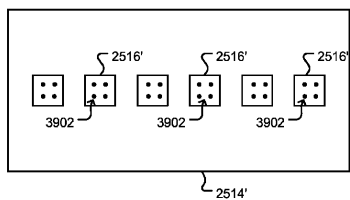
【 図 4 1 C 】

Figure 41C



【 図 4 1 B 】

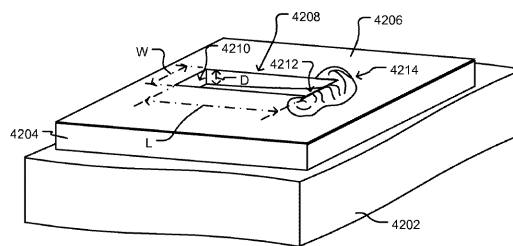
Figure 41B



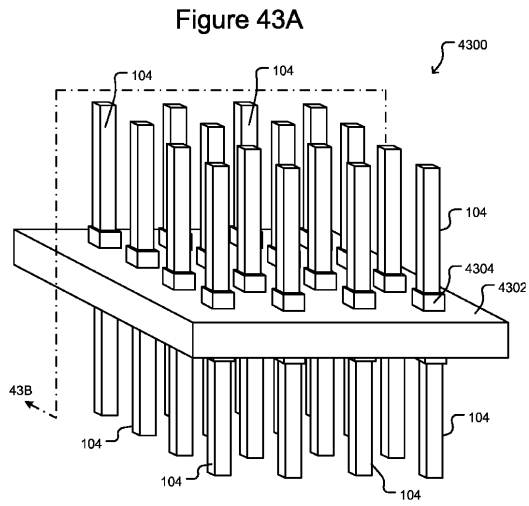
【 図 4 2 】

Figure 42

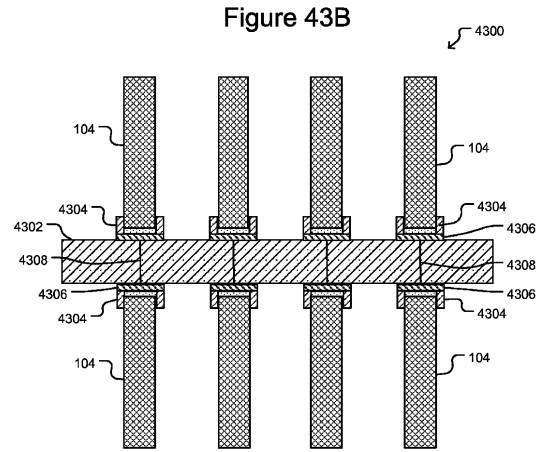
(従来技術)



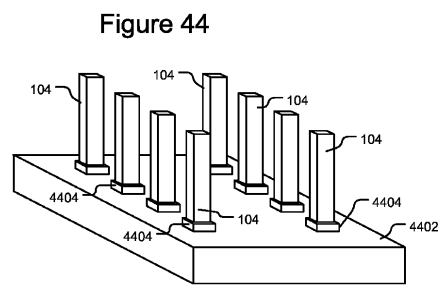
【 図 4 3 A 】



【 図 4 3 B 】



【 図 4 4 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I	
H 0 1 R 33/74	(2006.01)	H 0 1 R 33/74	B
H 0 1 R 33/76	(2006.01)	H 0 1 R 33/76	5 0 5 Z
H 0 1 R 13/24	(2006.01)	H 0 1 R 13/24	
C 0 1 B 31/02	(2006.01)	C 0 1 B 31/02	1 0 1 F

(31)優先権主張番号 11/872,008

(32)優先日 平成19年10月13日(2007.10.13)

(33)優先権主張国 米国(US)

(72)発明者 グリッターズ, ジョン ケー.
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 4 5 5 0, リバーモア, エルダー サークル 5 8 7 3

(72)発明者 マーテンス, ロドニー アイ.
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 4 5 2 6, ダンビル, レッドバド コート 4 4

(72)発明者 スロカム, アレクサンダー エイチ.
 アメリカ合衆国 ニュー ハンプシャー 0 3 3 0 4, ボウ, ワン メリル クロッシング

(72)発明者 ヤグリオグル, オニック
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 4 5 8 2, サン ラモン, バスウッド ドライブ 2 4
 4 8

審査官 中村 和正

(56)参考文献 特表2000-516708(JP,A)
 特開2003-284304(JP,A)
 特開2006-177759(JP,A)
 米国特許出願公開第2004/0106218(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 R	1 / 0 6 7
B 8 2 B	1 / 0 0
B 8 2 B	3 / 0 0
G 0 1 R	1 / 0 7 3
G 0 1 R	3 1 / 2 8
H 0 1 R	1 3 / 2 4
H 0 1 R	3 3 / 7 4
H 0 1 R	3 3 / 7 6
C 0 1 B	3 1 / 0 2