

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2008-533704
(P2008-533704A)

(43) 公表日 平成20年8月21日(2008.8.21)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 29/786 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 2 2	4 M 1 0 4
HO 1 L 21/336 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 1 7 K	5 F 1 1 0
HO 1 L 29/423 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 1 7 M	
HO 1 L 29/49 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 1 7 S	
HO 1 L 29/06 (2006.01)	HO 1 L 29/58 G	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2007-558173 (P2007-558173)
 (86) (22) 出願日 平成18年3月2日(2006.3.2)
 (85) 翻訳文提出日 平成19年10月29日(2007.10.29)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2006/007228
 (87) 国際公開番号 W02006/094038
 (87) 国際公開日 平成18年9月8日(2006.9.8)
 (31) 優先権主張番号 11/068,750
 (32) 優先日 平成17年3月2日(2005.3.2)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

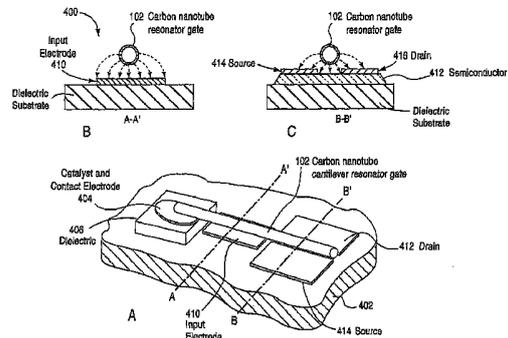
(71) 出願人 502270453
 ノースロップ グラマン コーポレイション
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州 90
 067、ロサンゼルス、センチュリー パ
 ーク イースト 1840
 (74) 代理人 100064746
 弁理士 深見 久郎
 (74) 代理人 100085132
 弁理士 森田 俊雄
 (74) 代理人 100083703
 弁理士 仲村 義平
 (74) 代理人 100096781
 弁理士 堀井 豊

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 カーボンナノチューブ共振トランジスタおよびその製造方法

(57) 【要約】

共振トランジスタは、基板と、基板上に形成されたソースおよびドレインと、入力電極と、カーボンナノチューブゲートを含む。ソースとドレインの間には、ギャップが形成されている。入力電極は、基板上に形成されている。カーボンナノチューブゲートは、その一端がコンタクト電極に固定され、ギャップおよび入力電極の真上に配置されており、片持ち支持されていることが好ましい。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

基板と、
前記基板上に形成されたソースと、
前記ソースとの間にギャップを形成して前記基板上に前記ソースに隣接して形成されたドレインと、
前記基板上に形成された入力電極と、
前記ギャップおよび前記入力電極の真上に配置され、コンタクト電極に一端が固定されたカーボンナノチューブゲートとを含む、共振トランジスタ。

【請求項 2】

前記コンタクト電極が、前記基板上に形成された誘電体層上に形成されており、前記カーボンナノチューブゲートが、前記ギャップおよび前記入力電極の真上に片持ち支持されている、請求項 1 の共振トランジスタ。

【請求項 3】

前記コンタクト電極を介して前記カーボンナノチューブゲートに DC バイアスが印加され、前記入力電極と前記カーボンナノチューブゲートとの間に RF 信号が印加される、請求項 1 の共振トランジスタ。

【請求項 4】

前記基板が、誘電物質を含む、請求項 1 の共振トランジスタ。

【請求項 5】

前記ソースおよび前記ドレインが、前記基板上に形成された半導体層上に形成されている、請求項 1 の共振トランジスタ。

【請求項 6】

基板と、
前記基板上に形成されたソースと、
前記ソースとの間にギャップを形成して前記基板上に形成されたドレインと、
前記基板上に形成された入力ゲート電極と、
前記ギャップおよび前記入力ゲート電極上の真上に配置され、前記ソース上に形成された第 1 コンタクト電極に第 1 端部が固定され、前記ドレイン上に形成された第 2 コンタクト電極に第 2 端部が固定されたカーボンナノチューブチャンネルとを含む、共振トランジスタ。

【請求項 7】

前記入力ゲート電極が、前記ギャップに少なくとも部分的に形成されている、請求項 6 の共振トランジスタ。

【請求項 8】

前記第 1 コンタクト電極および前記第 2 コンタクト電極を介して、前記カーボンナノチューブゲートに DC バイアスが印加され、前記入力ゲート電極と前記カーボンナノチューブゲートとの間に RF 信号が印加される、請求項 6 の共振トランジスタ。

【請求項 9】

前記基板が、誘電物質を含む、請求項 6 の共振トランジスタ。

【請求項 10】

前記ソースおよび前記ドレインが、前記基板上に形成された誘電体層上に形成されている、請求項 6 の共振トランジスタ。

【請求項 11】

基板と、
前記基板上に形成されたソースと、
前記ソースとの間にギャップを形成して前記基板上に前記ソースに隣接して形成されたドレインと、
前記基板上に形成された入力電極と、
前記ギャップおよび前記入力電極の真上に配置され、第 1 コンタクト電極および第 2 コ

10

20

30

40

50

ンタクト電極に第 1 端部および第 2 端部がそれぞれ固定されたカーボンナノチューブゲートとを含む、共振トランジスタ。

【請求項 1 2】

前記第 1 コンタクト電極および前記第 2 コンタクト電極が、前記基板上に形成された誘電体層上に形成されており、前記カーボンナノチューブゲートは、前記ソースおよび前記ドレインが、前記カーボンナノチューブゲートの長手方向軸の異なる側にあるように、前記ギャップおよび前記入力電極にブリッジをかける、請求項 1 1 の共振トランジスタ。

【請求項 1 3】

前記第 1 コンタクト電極および前記第 2 コンタクト電極を介して、前記カーボンナノチューブゲートに DC バイアスが印加され、前記入力電極と前記カーボンナノチューブゲートとの間に RF 信号が印加される、請求項 1 1 の共振トランジスタ。

10

【請求項 1 4】

前記基板が、誘電物質を含む、請求項 1 1 の共振トランジスタ。

【請求項 1 5】

前記ソースおよび前記ドレインが、前記基板上に形成された半導体層上に形成されている、請求項 1 1 の共振トランジスタ。

【請求項 1 6】

前記トランジスタが、共振ゲート電界効果トランジスタを含む、請求項 1 の共振トランジスタ。

【請求項 1 7】

前記トランジスタが、共振ゲート電界効果トランジスタを含む、請求項 6 の共振トランジスタ。

20

【請求項 1 8】

前記トランジスタが、共振ゲート電界効果トランジスタを含む、請求項 1 1 の共振トランジスタ。

【請求項 1 9】

前記トランジスタが、共振チャンネル電界効果トランジスタを含む、請求項 1 の共振トランジスタ。

【請求項 2 0】

前記トランジスタが、共振チャンネル電界効果トランジスタを含む、請求項 6 の共振トランジスタ。

30

【請求項 2 1】

前記トランジスタが、共振チャンネル電界効果トランジスタを含む、請求項 1 1 の共振トランジスタ。

【請求項 2 2】

基板上に、互いに隣接し、ギャップによって分離されているソースおよびドレインを形成するステップと、

前記基板上に入力電極を形成するステップと、

前記基板上にコンタクト電極を形成するステップと、

前記カーボンナノチューブゲートが、その一端が前記コンタクト電極に固定され、前記入力電極および前記ギャップにブリッジをかけるように、前記コンタクト電極上にカーボンナノチューブゲートを形成するステップとを含む、共振トランジスタの製造方法。

40

【請求項 2 3】

前記コンタクト電極が、前記基板上に形成された誘電体層上に形成されており、前記カーボンナノチューブゲートが、前記ギャップおよび前記入力電極の真上に片持ち支持されている、請求項 2 2 の方法。

【請求項 2 4】

さらに、前記コンタクト電極を介して前記カーボンナノチューブゲートに DC バイアスを印加するステップと、

前記入力電極と前記カーボンナノチューブゲートとの間に RF 信号を印加するステップ

50

とを含む、請求項 2 2 の方法。

【請求項 2 5】

前記基板が、誘電物質を含む、請求項 2 2 の方法。

【請求項 2 6】

前記ソースおよび前記ドレインが、前記基板上に形成された半導体層上に形成されている、請求項 2 2 の方法。

【請求項 2 7】

前記カーボンナノチューブゲートが、触媒上に成長している、請求項 2 2 の方法。

【請求項 2 8】

基板上にソースおよびドレインを、該ソースとドレインとの間にギャップがある状態で形成するステップと、

前記基板の上の前記ギャップ内に、入力ゲート電極を少なくとも部分的に形成するステップと、

前記ソース上に形成された第 1 コンタクト電極に第 1 端部が固定され、前記ドレイン上に形成された第 2 コンタクト電極に第 2 端部が固定されるように、前記ギャップおよび前記入力電極の真上に、カーボンナノチューブチャンネルを形成するステップとを含む、共振トランジスタの製造方法。

【請求項 2 9】

さらに、前記第 1 コンタクト電極および前記第 2 コンタクト電極を介して、前記カーボンナノチューブゲートに DC バイアスを印加するステップと、

前記入力ゲート電極と前記カーボンナノチューブゲートとの間に RF 信号を印加するステップとを含む、請求項 2 8 の方法。

【請求項 3 0】

前記基板が、誘電物質を含む、請求項 2 8 の方法。

【請求項 3 1】

前記ソースおよび前記ドレインが、前記基板上に形成された誘電体層上に形成されている、請求項 2 8 の方法。

【請求項 3 2】

前記カーボンナノチューブチャンネルが、触媒上に成長している、請求項 2 8 の方法。

【請求項 3 3】

前記カーボンナノチューブゲートが、第 2 端部に固定されている、請求項 2 2 の方法。

【請求項 3 4】

さらに、前記基板上にブリッジピースを形成するステップを含み、前記カーボンナノチューブゲートが、前記第 1 端部と前記第 2 端部との間で前記ブリッジピースと接触している、請求項 2 3 の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

国有ライセンス権

本発明は、JPL/DARPA から付与された契約番号 30011555 に基づいて国庫補助によってなされた。国が、本発明における権利を有する。

【0002】

発明の背景

発明の技術分野

本発明は、カーボンナノチューブ装置に関する。より詳細には、本発明は、カーボンナノチューブから製造された共振トランジスタに関する。

【背景技術】

【0003】

関連技術の説明

カーボンナノチューブは、フラレンのアーケ蒸発合成の生成物として、1990年代

10

20

30

40

50

の初めに発見された。その後、科学者らは、カーボンナノチューブが、驚くべき物理的特性を有することを見出し、多くの異なる用途での利用可能性に注目している。例えば、カーボンナノチューブは、高周波（HF）範囲からマイクロ波範囲で作動する高品質の機械共振器にとって多くの魅力的な特性を有する。

【0004】

簡単なカーボンナノチューブ共振器を図1に示す。「両持ち支持された」共振器100は、カーボンナノチューブ（CNT）102を含み、カーボンナノチューブ（CNT）102は、両端104aおよび104bに固定され、電圧Vの電極106によってバイアスされている。共振器100のキャパシタンスは、以下によって表わすことができる。

【0005】

【数1】

$$\text{キャパシタンス} = \frac{2\pi\epsilon}{\text{LN}[h/r + ((h/r)^2 - 1)^{1/2}]}$$

【0006】

ここで、hは、電極106とナノチューブ102との距離（つまりギャップgの大きさ）、rは、ナノチューブ102の半径である。

【0007】

CNT102は、静電および電荷注入の2つのメカニズムによって作動する。

静電アクチュエーションは、以下によって表わされるナノチューブ軸に垂直に加えられる力に関する。

【0008】

【数2】

$$\text{力} = \frac{1}{2} * dC/dh * V^2,$$

【0009】

静電アクチュエーションは、「Micromechanical Resonators for Oscillators and Filters」, C.T.-C. Nguyen, Proc. 1995 IEEE Ultrasonics Symposium, 489-99, 1995に詳細に記載されており、その全内容は、引用することによって本明細書に組み込まれるものとする。

【0010】

電荷注入アクチュエーションは、軸ひずみに関し、それは、以下によって表わすことができる。

【0011】

【数3】

$$\delta L/L_t \approx \delta n/10$$

【0012】

ここで、n = 過剰電子 / 炭素原子。チューブ軸に垂直な動きは、バックリングにより引き起こされる。電荷注入アクチュエーションは、「Carbon Nanotube Actuators」, R.H. Baughman et al., Science, 284, 1340-4, 1999および「Charge-Induced Anisotropic Distortions of Semiconducting and Metallic Carbon Nanotubes」, Y.N. Gartstein et al., Phys. Rev. Lett., 89, July 2002に記載されており、各内容は、引用することによって本明細書に組み込まれるものとする。

【0013】

両方のアクチュエーションのメカニズムは、ナノチューブ102と電極106との間のキャパシタンスCに依存する。しかし、簡単な分析から、合理的な大きさのギャップgに

10

20

30

40

50

ついて、ナノチューブ共振器の実効抵抗が非常に大きくなることが明らかとなる。

【0014】

図2Aは、共振器100をモデル化するLC回路200を示す。回路では、インダクタンスL、キャパシタンスCおよび抵抗Rは、以下によって表わすことができる。

【0015】

【数4】

$$L = \frac{m}{\eta^2} \quad C = \frac{\eta^2}{k} \quad R = \frac{(km)^{1/2}}{Q\eta^2}$$

【0016】

ここで、 m = 有効質量、 k = ばね定数、 $\eta = V \cdot dC/dh$ 、 h は、電極106からナノチューブ102までの距離（つまり、ギャップ g ）である。

【0017】

図2Bは、電極106からナノチューブ102までの距離（ h ）の関係における共振器100の動作抵抗を示す。示すように、ギャップが小さい場合（ h は、ナノチューブの半径より非常に小さい）、共振器100は、低い動作抵抗（オーム）を有するであろう。しかし、電極間隔が、ナノチューブ半径より著しく大きい場合、カーボンナノチューブ共振器は、非常に大きな動作抵抗を有することとなる。したがって、50の入インピーダンスの従来のRF試験装置に利用可能な信号強度を向上するために、高インピーダンス緩衝増幅器がナノ機械共振器の出力で必要となる。カーボンナノチューブ共振器の高インピーダンスは、実際の装置で問題を提示し、超並列処理は、抵抗を管理可能な範囲とすると考えられている。

【0018】

トランジスタにカーボンナノチューブを組み込む試みがなされている。図5Aは、カーボンナノチューブのチャンネルに成長したカーボンナノチューブ502を有するFET500の図を示す。図5Bは、トランジスタ500の電圧-電流特性のグラフである。この構成は、IBM株式会社によって報告されており、「Single- and multi-wall carbon nanotube field-effect transistors」, R. Martel, T. Schmidt, H. R. Shea, T. Hertel and Ph. Avouris, Applied Physics Letters, 73, 17, pp 2447-9, 1998で出版されており、その内容は、引用することによって本明細書に組み込まれるものとする。

【0019】

この装置500は、ゲート504が、ソース506とドレイン508の下の全表面にわたって延在し、非常に高いインピーダンスを引き起こすという問題を有している。したがって、装置500は、高周波数はいうまでもなく、適度な周波数でさえ作動することができない。

【0020】

前述の内容のから考えて、新規の改良されたカーボンナノチューブ共振器およびその製造方法を開発する必要性がある。

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0021】

発明の概要

本発明の実施形態によれば、基板と、基板上に形成されたソースおよびドレインと、入力電極と、カーボンナノチューブゲートとを含む共振トランジスタが提供される。ソースとドレインの間には、ギャップが形成されている。入力電極は、基板上に形成されている。カーボンナノチューブゲートは、コンタクト電極に一端が固定され、ギャップおよび入力電極の真上に配置されており、片持ち支持されていることが好ましい。

【0022】

10

20

30

40

50

本発明の実施形態によれば、基板と、基板上に形成されたソースおよびドレインと、入力ゲート電極と、カーボンナノチューブチャンネルとを含む共振トランジスタが提供される。ソースとドレインの間には、ギャップが形成されている。入力ゲート電極は、基板上に形成されている。カーボンナノチューブチャンネルは、ギャップおよび入力電極の真上に配置されている。カーボンナノチューブチャンネルは、ソース上に形成された第1コンタクト電極に第1端部が固定されており、ドレイン上に形成された第2コンタクト電極に第2端部が固定されている。

【0023】

本発明の実施形態によれば、基板と、基板上に形成されたソースおよびドレインと、入力電極と、カーボンナノチューブゲートとを含む共振トランジスタが提供される。ソースとドレインの間には、ギャップが形成されている。カーボンナノチューブゲートは、ギャップおよび入力電極の真上に配置されており、第1コンタクト電極と第2コンタクト電極に第1端部および第2端部がそれぞれ固定されている。

10

【0024】

本発明の実施形態によれば、共振トランジスタを製造する方法が提供される。その方法は、基板上にソースおよびドレインを形成するステップを含む。ソースおよびドレインは、互いに隣接しており、ギャップによって分離されている。その方法は、基板上に入力電極を形成するステップを含む。さらに、コンタクト電極が基板上にあり、カーボンナノチューブゲートが、コンタクト電極に一端が固定され、入力電極およびギャップにブリッジをかけるように、カーボンナノチューブゲートはコンタクト電極上に形成されている。

20

【0025】

本発明の実施形態によれば、共振トランジスタを製造する方法が提供される。その方法は、ギャップがソースとドレインの間にある状態で、基板上にソースおよびドレインを形成するステップを含む。さらに、入力ゲート電極は、基板上のギャップ内に少なくとも部分的にある。カーボンナノチューブチャンネルは、ギャップおよび入力電極の真上に形成されている。カーボンナノチューブゲートは、ソース上に形成された第1コンタクト電極に第1端部が固定され、ドレイン上に形成された第2コンタクト電極に第2端部が固定されている。

【0026】

本発明の様々な実施形態のさらなる用途および利点について、図面を参照して以下に説明する。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

好ましい実施形態の詳細な説明

本発明は、様々な異なる形態で具現化してもよいが、本開示は、本発明の原理の例を提供すると考えられ、本発明が、本明細書に記載されたおよび/または説明された好ましい実施形態に限定されることは意図されないという理解のもとで、多くの実例となる実施形態を本明細書に記載する。

【0028】

作製された第1微小電気機械システム(MEMS)装置のうちの1つは、共振ゲートトランジスタ(RGT)であり、「The Resonant Gate Transistor」, H. C. Nathanson, W. E. Newell, R. A. Wickstrom and J. R. Davis, IEEE Trans ED-14, 117-133, 1967に記載されており、その全内容は、引用することによって本明細書に組み込まれるものとする。共振ゲートトランジスタは、シリコン系電界効果トランジスタ(FET)のゲートに形成された、微小機械タングステンまたはゴールドビーム共振器を含む。微小機械ビーム共振器は、FET高Q帯域通過ゲイン特性を付与した。しかし、共振ゲートトランジスタは、低周波操作以外のいずれにも使用することができず、現代のデジタルエレクトロニクスを支持する流れがなくなった。

40

【0029】

50

本発明は、カーボンナノチューブ共振器をFETに集積して、集積緩衝増幅器を作製する。この集積カーボンナノチューブ共振緩衝増幅器装置は、基本的なカーボンナノチューブ共振器より著しく低い出力インピーダンスを有しており、その結果、実際の信号処理回路により容易に集積される。さらに、この装置は、従来のRGTよりはるかに高い周波数で作動することができる。

【0030】

本明細書では、共振ゲートトランジスタおよび共振チャンネルトランジスタの2つの装置構成を検討する。

【0031】

カーボンナノチューブ共振ゲートトランジスタ

単層カーボンナノチューブ(SWNT)またはそのアレイは、触媒によって種をまかれ、図3に示すように基板に平行な所望の方向に成長している。ナノチューブ102は、種触媒304を備えた基板300の溝302にブリッジをかけるように成長することができる。典型的技術は、「Growth of single-walled carbon nanotubes from discrete catalytic nanoparticles of various sizes」, Liu, Y. M.; Kim, W.; Zhang, Y. G.; Rolandi, M.; Wang, D. W.; Dai, H. J., J. Phys. Chem. B (2001), 105, 11424-11431に記載されており、その全内容は、引用することによって組み込まれるものとする。この技術によって、SWNTは、電極上に浮かされ、片持ち支持されることができる。しかし、本発明は、SWNTを成長させる任意の特有の技術に限定されることを意味しない。

【0032】

本発明によるカーボンナノチューブRGTでは、カーボンナノチューブは、FETに組み入れられ、FETのゲートとして使用される。図4Aから4Cを参照して、カーボンナノチューブ共振ゲートトランジスタを示す。装置400は、基板402上の誘電体層406上の触媒404上(電極上)に成長したカーボンナノチューブ102を含む。ナノチューブ102は、入力電極410および半導体層412上にブリッジをかけるように、一端が触媒/電極404に固定され、片持ち支持されている。トランジスタソース414およびドレイン416は、半導体層412上に形成されており、各々は、ナノチューブ102の反対面上にある。

【0033】

電極404および入力電極410を介して、バイアス電圧およびRF信号電圧が共振器に印加され、それによって、信号周波数 f でナノチューブを振動させる。これは、入力電極410とソース-ドレイン出力との間でインピーダンス変換を提供するFETチャンネルの電流を調整する時変電界をもたらす。FETのソース-ドレイン電流の変化は、ナノチューブの共振周波数で最大になる。その結果、装置400は、高Q値およびゲイン特性を達成する。

【0034】

誘電性基板402を利用することは、シリコンを使用する先行技術のトランジスタとは対照的に、マイクロ波振動数で低い伝導性に関連するロスをも最小限にする役割を果たす。この装置構成は、様々なシリコン・オン・インシュレーター(SOI)、III-Vおよび広いバンドギャップSiCおよびGaNトランジスタの手法に適合する。カーボンナノチューブの高い成長温度により作製に制限があることが留意されるべきである。

【0035】

したがって、100MHzから100GHzの範囲の周波数で有効に作動することができるカーボンナノチューブ共振ゲートトランジスタを作製してもよい。

【0036】

カーボンナノチューブ共振チャンネルトランジスタ

本発明の他の実施形態によれば、カーボンナノチューブ共振チャンネルトランジスタ(RCT)を図6に示す。装置600は、カーボンナノチューブ102の一端がトランジス

タソース602に固定され、ナノチューブ102の他端がトランジスタドレイン604に固定されて、入力(ゲート)電極606にブリッジをかける以外は、図4の装置400に類似している。適切なDCバイアスを、カーボンナノチューブ102に印加すると、ナノチューブ102と入力電極606との間に印加されたRF信号が、ナノチューブを信号周波数で振動させることとなる。この振動に関連する時変電界は、ナノチューブチャンネルのキャリアを調整し、それにより、ナノチューブ振動と同調してソース-ドレイン電流を変化させる。RF入力信号が、ナノチューブの共振周波数と一致する場合、大きな変位は、装置に高Q-帯域通過ゲイン特性を付与するソース-ドレイン電流の大きな変化をもたらす。本発明は、ソース-ドレイン出力で、共振インピーダンスを著しくより低い値に変換する。

10

【0037】

図4および図6の各装置構成は、共振ゲートトランジスタおよび共振チャンネルトランジスタの両方に適用することができる。

【0038】**共振フィルタ**

上記装置は、多重極フィルタ特性を達成するために変更することができる。本発明の実施形態によれば、多重極フィルタを図7に示す。装置700は、図4の装置400に類似するが、ナノチューブ102の両端が固定されており、さらに、ナノチューブ102の中間に配置されたブリッジ702を含む。従って、触媒706を有する第2誘電体層702を使用して、電極/触媒404の反対側にナノチューブ102の遠心端を固定する。

20

【0039】

ブリッジ702は、ナノチューブ102の2つの共振部間に制御された結合を提供する。その結果、フィルタは、制御可能な通過帯域形状で達成される。カーボンナノチューブ102は、共振間の結合が、ブリッジ702の幅によって制御された状態で、固定された端部からブリッジ702上に連続していることが好ましい。

【0040】

多くのメカニカルフィルタの構成は、「High-Q HF Micromechanical Filters」, Frank D. Bannan, III, John R. Clark, and Clark T. - C. Nguyen, IEEE J. of Solid State Circuits, 35, 4, pp 512-26, 2000に記載されており、その全内容は、引用することによって本明細書に組み込まれるものとする。当業者は、別の共振器を作製するために、さらにブリッジを加えることにより、本発明が、多重極構成に拡大することが容易に理解される。さらに、装置700は、共振ゲート構成として示されているが、共振チャンネルフィルタの構成も意図される。

30

【0041】

このように、多くの好ましい実施形態について、図面を参照して十分に上述した。これらの好ましい実施形態に基づいて、本発明について記載したが、本発明の趣旨および範囲内にありながら、ある変更、変化および別の構造が明らかであることは当業者に明らかであろう。

【図面の簡単な説明】

40

【0042】

【図1】 図1は、簡単なカーボンナノチューブ共振器の図である。

【図2】 図2A、2Bは、それぞれ、図1の共振器をモデル化する回路、および動作抵抗共振器のための電極間隔を表わすグラフを示す。

【図3】 図3は、溝の真上に成長した片持ち支持されたカーボンナノチューブの図である。

【図4】 図4Aから4Cは、本発明の実施形態によるカーボンナノチューブ共振ゲートトランジスタの様々な図である。

【図5】 図5Aは、先行技術のカーボンナノチューブ電界効果トランジスタ(FET)特性の図である。図5Bは、図5AのFETの電流-電圧特性のグラフである。

50

【図6】図6は、本発明の実施形態によるカーボンナノチューブ共振チャンネルトランジスタの図である。

【図7】図7は、二極カーボンナノチューブ共振ゲートトランジスタの図である。

【図1】

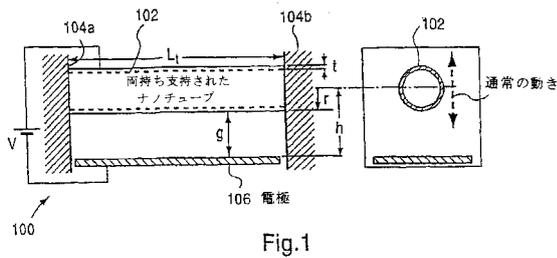


Fig.1

【図2】

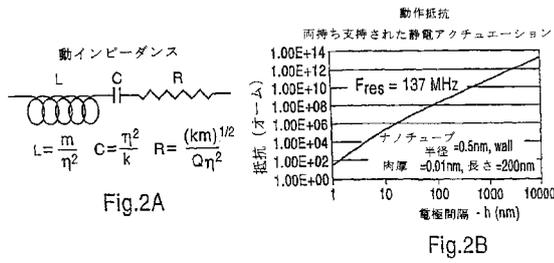


Fig.2A

Fig.2B

【図3】

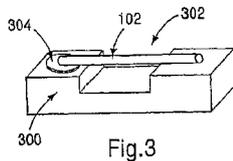


Fig.3

【図4】

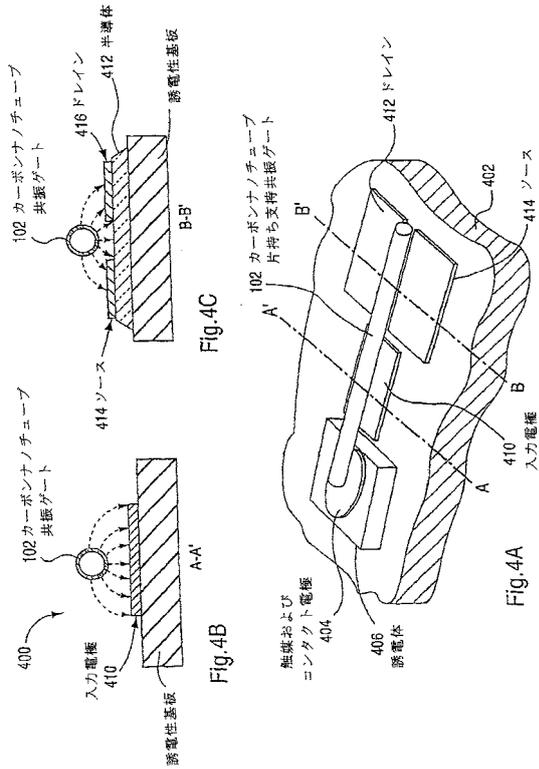
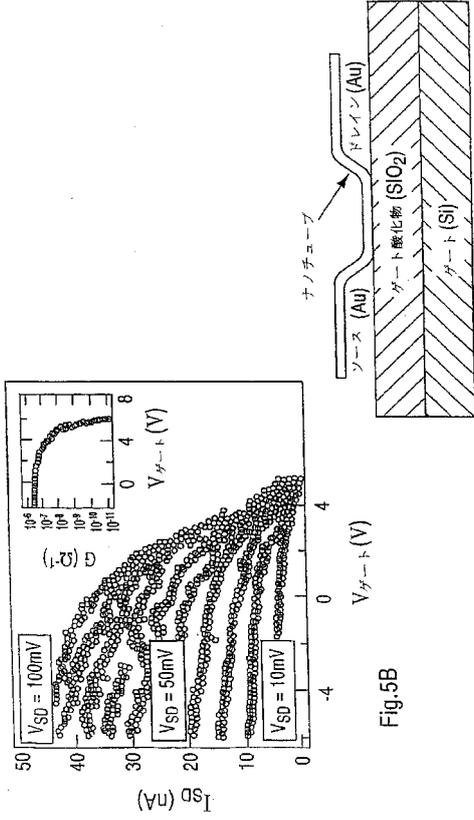


Fig.4C

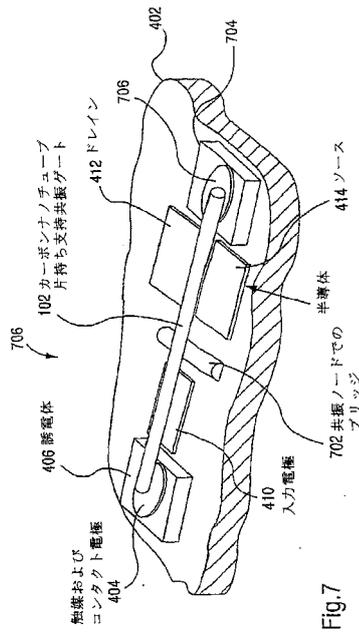
Fig.4B

Fig.4A

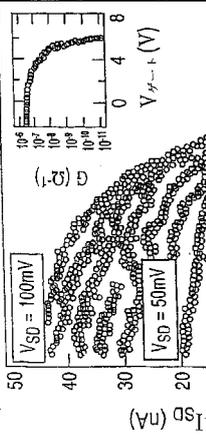
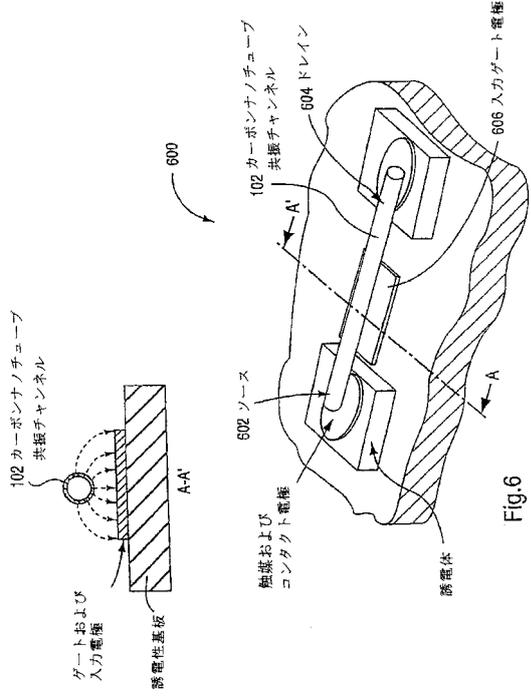
【 図 5 】



【 図 7 】



【 図 6 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

		International application No PCT/US2006/007228
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. H01L29/86 H01L29/423 H01L51/05 B82B1/00 G11C13/02 B81B3/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L B82B G11C B81B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2004/108586 A (AMBIENT SYSTEMS, INC) 16 December 2004 (2004-12-16) paragraphs [0095] - [0101]; figures 8,10,11	1-5 1-5,16, 19, 22-27,34
Y		
X	WO 02/080360 A (CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 10 October 2002 (2002-10-10) abstract; figures 1-3	6-10, 28-33
X	WO 01/03208 A (PRESIDENT AND FELLOWS OF HARVARD COLLEGE; LIEBER, CHARLES, M; RUECKES,) 11 January 2001 (2001-01-11) abstract; figures 4A,2,8	6-10, 28-33
Y		17,20
	-/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 18 September 2006		Date of mailing of the international search report 27/09/2006
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 6818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel: (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3018		Authorized officer Dauw, Xavier

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/US2006/007228

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	NATHANSON H C ET AL: "THE RESONANT GATE TRANSISTOR" IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, IEEE SERVICE CENTER, PISACATAWAY, NJ, US, vol. ED-14, no. 3, March 1967 (1967-03), pages 117-133, XP001040818 ISSN: 0018-9383 cited in the application the whole document	1-5, 16-27
X	GB 2 382 718 A (* LG ELECTRONICS INC) 4 June 2003 (2003-06-04)	11-15,33
Y	abstract; figures 20-25	18,21,34
A	WO 2004/088719 A (NANTERO, INC; RUECKES, THOMAS; SEGAL; BRENT, M; VOGELI, BERNHARD; BROC) 14 October 2004 (2004-10-14) abstract; figures 6-8	1-34
A	EP 0 259 614 A (LGZ LANDIS & GYR ZUG AG; LANDIS & GYR BETRIEBS AG). 16 March 1988 (1988-03-16) abstract; figures 1-3	1-34

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/US2006/007228

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2004108586 A	16-12-2004	AU 2003297422 A1	04-01-2005
		EP 1628907 A1	01-03-2006
		US 2004238907 A1	02-12-2004
		US 2005104085 A1	19-05-2005
WO 02080360 A	10-10-2002	NONE	
WO 0103208 A	11-01-2001	AU 782000 B2	23-06-2005
		AU 5905500 A	22-01-2001
		CA 2372707 A1	11-01-2001
		EP 1194960 A1	10-04-2002
		JP 2003504857 T	04-02-2003
GB 2382718 A	04-06-2003	NONE	
WO 2004088719 A	14-10-2004	CA 2520661 A1	14-10-2004
		EP 1609188 A2	28-12-2005
EP 0259614 A	16-03-1988	CH 670914 A5	14-07-1989
		DE 3776237 D1	05-03-1992
		GR 3004073 T3	31-03-1993
		JP 63073554 A	04-04-1988
		NO 873761 A	11-03-1988
		US 4979149 A	18-12-1990

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)
H 0 1 L 29/06 6 0 1 N

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(74)代理人 100098316
弁理士 野田 久登

(74)代理人 100109162
弁理士 酒井 将行

(74)代理人 100111246
弁理士 荒川 伸夫

(72)発明者 アダム, ジョン・ダグラス
アメリカ合衆国、2 1 1 0 8 メリーランド州、ミラズビル、ポイント・フィールド・ドライブ
、5 2 0

Fターム(参考) 4M104 AA03 AA04 AA09 BB36 CC05 GG09
5F110 AA01 AA30 BB13 CC01 EE01 EE22 EE29 FF01 GG02