

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6236552号
(P6236552)

(45) 発行日 平成29年11月22日(2017.11.22)

(24) 登録日 平成29年11月2日(2017.11.2)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 29/786 (2006.01)

H O 1 L 21/336 (2006.01)

H O 2 N 1/00 (2006.01)

H O 1 L 29/78 6 2 2

H O 1 L 29/78 6 2 6 C

H O 1 L 29/78 6 1 7 M

H O 1 L 29/78 6 1 8 Z

H O 2 N 1/00

請求項の数 15 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2016-572708 (P2016-572708)
 (86) (22) 出願日 平成27年8月12日(2015.8.12)
 (65) 公表番号 特表2017-519369 (P2017-519369A)
 (43) 公表日 平成29年7月13日(2017.7.13)
 (86) 国際出願番号 PCT/CN2015/086732
 (87) 国際公開番号 W02016/023490
 (87) 国際公開日 平成28年2月18日(2016.2.18)
 審査請求日 平成28年12月12日(2016.12.12)
 (31) 優先権主張番号 201410393613.6
 (32) 優先日 平成26年8月12日(2014.8.12)
 (33) 優先権主張国 中国 (CN)

(73) 特許権者 516044129
 北京納米能源与系統研究所
 中国北京市海淀区学院路30号天工大厦C座100083
 (74) 代理人 110001771
 特許業務法人虎ノ門知的財産事務所
 (72) 発明者 張 弛
 中華人民共和国北京市海淀区学院路30号天工大厦C座 100083
 (72) 発明者 唐 偉
 中華人民共和国北京市海淀区学院路30号天工大厦C座 100083
 (72) 発明者 張 麗敏
 中華人民共和国北京市海淀区学院路30号天工大厦C座 100083

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

導電基板(10)と、
 前記導電基板(10)の正面に形成される絶縁層(20)と、
 前記絶縁層(20)の上方に形成されるチャネル層(31)と、前記チャネル層(31)の上方に形成されるドレイン(32)及びソース(33)と、前記導電基板(10)の裏面に形成されるゲート(34)と、を含む電界効果トランジスタユニット(30)と、
 前記ゲート(34)の下面に形成される静止摩擦層(41)と、前記静止摩擦層(41)に対向して設けられる移動可能摩擦層(42)と、前記移動可能摩擦層(42)の外側に形成され、前記ソース(33)に電気的に接続される第2の導電層(44)と、を含む摩擦発電ユニット(40)と、

を備え、

前記静止摩擦層(41)及び移動可能摩擦層(42)は、帯電列における異なる位置にある材料で作製され、外力の作用によって、前記静止摩擦層(41)及び移動可能摩擦層(42)は、分離状態と接触状態との間に往復して切り換えられる

ことを特徴とする摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタ。

【請求項 2】

前記ドレイン(32)とソース(33)が所定の距離で離れ、かつ、両者の間に所定の電位差が保持され、

接触状態では、前記静止摩擦層(41)と移動可能摩擦層(42)が互いに接触して摩

10

20

擦電荷を発生し、

分離状態では、前記静止摩擦層(41)と移動可能摩擦層(42)が離れ、前記摩擦電荷によって、前記第2の導電層(44)とソース(33)との間に電位差を発生し、前記第2の導電層(44)と前記ソース(33)との間に電子が流れて、前記ソース(33)とゲート(34)との間に電位差を発生し、前記チャンネル層(31)のチャンネル幅を変化させることで、前記ソース(33)とドレイン(32)との間の電流の大きさを調節することを特徴とする請求項1に記載のバックゲート電界効果トランジスタ。

【請求項3】

前記静止摩擦層(41)および移動可能摩擦層(42)のうちの一方は、材料が金属材料、金属合金材料又は導電性酸化物材料である

10

ことを特徴とする請求項1に記載のバックゲート電界効果トランジスタ。

【請求項4】

前記ゲート(34)は、材料が金属材料、金属合金材料又は導電性酸化物材料であり、前記静止摩擦層(41)を兼ね、及び/又は、

前記移動可能摩擦層は、材料が金属材料、金属合金材料又は導電性酸化物材料であり、前記第2の導電層(44)を兼ねる

ことを特徴とする請求項3に記載のバックゲート電界効果トランジスタ。

【請求項5】

前記金属材料は、金、銀、白金、アルミニウム、ニッケル、銅、チタン、及びクロムであり、

20

前記導電性酸化物材料は、酸化インジウム・スズ(ITO)又はアルミニウムドーパ酸化亜鉛(AZO)であり、

前記金属合金材料は、金、銀、白金、アルミニウム、ニッケル、銅、チタン、及びクロムのうちの少なくとも2種で作製される合金である

ことを特徴とする請求項3に記載のバックゲート電界効果トランジスタ。

【請求項6】

前記静止摩擦層(41)と移動可能摩擦層(42)のうちの他方は、材料が絶縁材料又は半導体材料である

ことを特徴とする請求項3に記載のバックゲート電界効果トランジスタ。

【請求項7】

30

前記絶縁材料は、アニリンホルムアルデヒド樹脂、ポリホルムアルデヒド、エチルセルロース、ポリアミド11、ポリアミド6-6、羊毛及びその織物、蚕糸及びその織物、紙、ポリエチレングリコールスクシナート、セルロース、セルロースアセテート、ポリエチレングリコールアジペート、ポリフタル酸ジアリル、再生繊維スポンジ、綿及びその織物、ポリウレタンエラストマー、スチレン-アクリロニトリルコーポリマー、スチレン-ブタジエンコーポリマー、木材、硬化ゴム、アセテート、人造繊維、ポリメチルメタクリレート、ポリビニルアルコール、ポリエステル、ポリイソブチレン、ポリウレタンフレキシブルスポンジ、ポリエチレンテレフタレート、ポリビニルブチラール、ブタジエン-アクリロニトリルコーポリマー、クロロブレンゴム、天然ゴム、ポリアクリロニトリル、ポリ(塩化ビニリデン-co-アクリルニトリル)、ポリビスフェノールAカーボネート、塩化ポリエーテル、ポリ塩化ビニリデン、ポリ(2,6-ジメチルポリフェニレン基酸化物)、ポリスチレン、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリジフェニルプロパンカーボネート、ポリエチレンテレフタレート、ポリイミド、ポリ塩化ビニル、ポリジメチルシロキサン、ポリクロロトリフルオロエチレン、ポリテトラフルオロエチレン、及び、パリレンC、パリレンN、パリレンD、パリレンHT、パリレンAF4を含むパリレンの中の1種又は複数種であり、

40

前記半導体材料は、シリコン、ゲルマニウム、第III及び第V族化合物、第II及び第VI族化合物、III-V族化合物とII-VI族化合物とからなる固溶体、ガラス半導体、有機半導体、半導体酸化物、及び、複雑酸化物の中の1種又は複数種である

ことを特徴とする請求項6に記載のバックゲート電界効果トランジスタ。

50

【請求項 8】

前記静止摩擦層(41)と移動可能摩擦層(42)との間に弾性部材(43)を設置すること、前記静止摩擦層(41)と移動可能摩擦層(42)との間に弾性又は非弾性部材を設置すること、あるいは、前記移動可能摩擦層(42)及び第2の導電層(44)に接続部材を設置することによって、前記移動可能摩擦層(42)と前記静止摩擦層(41)が所定の距離で離れるようにする

ことを特徴とする請求項1に記載のバックゲート電界効果トランジスタ。

【請求項 9】

前記弾性部材は、弾性ゴム部材、パネ又は単純支持梁構造である

ことを特徴とする請求項8に記載のバックゲート電界効果トランジスタ。

10

【請求項 10】

前記絶縁層(20)は、SOI基板における上層のSiO₂であり、

前記導電基板(10)は、前記SOI基板における下層のSi材料がn型又はp型ドーピングされて形成したものである

ことを特徴とする請求項1乃至請求項9のいずれか1項に記載のバックゲート電界効果トランジスタ。

【請求項 11】

前記チャネル層(31)は、p型ドーピング又はn型ドーピングの半導体材料であり、

当該p型ドーピング又はn型ドーピングの半導体材料の抵抗率 ρ は、 $1\Omega\cdot\text{cm} < \rho < 100\Omega\cdot\text{cm}$ を満たしている

20

ことを特徴とする請求項1乃至請求項9のいずれか1項に記載のバックゲート電界効果トランジスタ。

【請求項 12】

前記ドレイン(32)及びソース(33)は、材料が金属又は非金属導体材料である

ことを特徴とする請求項1乃至請求項9のいずれか1項に記載のバックゲート電界効果トランジスタ。

【請求項 13】

前記ソース(33)及びドレイン(32)と、チャネル層との接触は、オーミック接触又はショットキー接触であり、

前記ソース(33)は、接地しており、前記ドレインの電圧Vは、 $1\text{V} < V < 10\text{V}$ を満たしている

30

ことを特徴とする請求項1乃至請求項9のいずれか1項に記載のバックゲート電界効果トランジスタ。

【請求項 14】

前記静止摩擦層(41)と移動可能摩擦層(42)が離れた距離Lは、 $0 < L < 800\mu\text{m}$ を満たしている

ことを特徴とする請求項1乃至請求項9のいずれか1項に記載のバックゲート電界効果トランジスタ。

【請求項 15】

前記距離Lは、 $0 < L < 80\mu\text{m}$ を満たしている

40

ことを特徴とする請求項13に記載のバックゲート電界効果トランジスタ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ナノエレクトロニクス及び電子デバイス技術分野に関し、特に、摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタに関する。

【背景技術】

【0002】

電界効果トランジスタは、ゲート電圧によって素子における電流伝送過程を制御するトランジスタデバイスである。バックゲートSOI構造に基づく金属-酸化物-半導体電界効

50

果トランジスタ(MOSFET)は、構造が簡単で、電界が低く、トランスコンダクタンスが高く、短いチャネル特性が良好であるなどの長所を有すると共に、そのバック基板をバックゲートとし、バックゲート電圧によって最上層シリコンにおける導電チャネルの幅を調節することができる。電界効果トランジスタ技術が十分に成熟であるにも関わらず、デバイスユニットの三端部の構造によって、特にゲート電源を提供する必要があり、集積が複雑である。そして、このような電界効果トランジスタで作製される圧力センシングデバイスは、外部環境と電子デバイスとが直接的に作用してインタラクションを実行するメカニズムを欠いている。

【0003】

圧電効果は、圧電材料が応力作用によって変形する際に発生した内部電位現象である。酸化亜鉛、窒化ガリウム、硫化カドミウムなどの圧電半導体材料について、圧電効果は、金属-半導体の界面障壁及びPN接合の伝送性質を変化することができる。これは圧電エレクトロニクス効果である。当該圧電エレクトロニクス効果は、実際に、圧電効果と半導体効果との組み合わせである。圧電エレクトロニクス効果は、部材が受ける機械的な作用を局所電子制御信号に変換するので、圧電位をゲート電圧として調節し、および、歪み、応力や圧力によって電子デバイス、マイクロナノ電気機械デバイス及びセンサーを駆動し制御する新たな方法を実現している。

【0004】

圧電エレクトロニクストランジスタと伝統的な電界効果トランジスタは、異なる動作原理及び構造を有している。原理的には、伝統的な電界効果トランジスタは、印加電圧を制御信号とするものであるが、圧電エレクトロニクストランジスタは、機械的な変形によって電子制御信号を発生するものである。構造的には、伝統的な電界効果トランジスタは、三端部の部材であるが、圧電エレクトロニクストランジスタは、二端部の部材であり、その仮想の第3の端部の代わりに印加圧力を利用して、伝送特性に対する制御を実現している。これらの特徴によって、圧電エレクトロニクストランジスタは、伝統的なトランジスタにおけるゲート電極の作製を減少させ、機械的な圧力と電子デバイスとの直接的なインタラクションを実現できる。その適用範囲は、人工知能、マン-マシンインタラクション、生物医療及び通信等の分野を含む。ただし、圧電エレクトロニクストランジスタは、必ず圧電材料で作製され、それが発生する圧電電位の調節可能性、材料の選択及び適用が制限されている。

【0005】

近年、中国科学院北京納米能源与系統研究所及び米国ジョージア理工学院の王中林教授は、摩擦式ナノ発電機という概念を提出している。摩擦式ナノ発電機は、接触帯電及び静電誘導の原理に基づいて、金属電極がメッキされた2種の高分子ポリマーフィルムを貼り合わせてデバイスを構成し、外力の作用によって、デバイスは機械的に変形し、2層のポリマーフィルム間に互いに摩擦し、電荷が分離されて電位差を形成する。当該電位差は、エネルギーの自己供給式の主動的な圧力センサーとされてもよく、半導体部材の制御信号とされてもよい。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記技術課題に鑑みて、本発明は、バックゲート電界効果トランジスタを提供しており、摩擦帯電効果及び金属-酸化物-半導体電界効果トランジスタを組み合わせ、摩擦発電機によって発生される静電位を電界効果トランジスタのゲート信号とし、半導体におけるキャリア伝送特性に対する調節を実現する。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタは、
導電基板10と、
導電基板10の正面に形成される絶縁層20と、

10

20

30

40

50

絶縁層 20 の上方に形成されるチャネル層 31 と、チャネル層 31 の上方に形成されるドレイン 32 及びソース 33 と、導電基板 10 の裏面に形成されるゲート 34 と、を含む電界効果トランジスタユニット 30 と、

ゲート 34 の下面に形成される静止摩擦層 41 と、静止摩擦層 41 に対向して設けられる移動可能摩擦層 42 と、移動可能摩擦層 42 の外側に形成され、ソース 33 に電氣的に接続される第 2 の導電層 44 と、を含む摩擦発電ユニット 40 と、

を備え、

静止摩擦層 41 及び移動可能摩擦層 42 は、帯電列における異なる位置にある材料で作製され、外力の作用によって、静止摩擦層 41 及び移動可能摩擦層 42 は、分離状態と接触状態との間に往復して切り換えられる。

10

【発明の効果】

【0008】

上記技術案から分かるように、本発明の摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタは、以下の有益な効果を有している：

(1) 摩擦帯電効果及びバックゲート電界効果トランジスタを組み合わせ、摩擦発電機によって発生される静電位をゲート信号とし、半導体におけるキャリア伝送特性に対する調節を実現し、良好な調節特性を有している。

(2) 伝統的なトランジスタにおけるゲート電極の給電電圧の代わりに、摩擦発電機によって発生される静電位をゲート信号として、機械圧力と電子デバイスとの直接的なインタラクションを実現し、半導体材料の選択範囲は圧電エレクトロニクストランジスタより広い。

20

(3) 電界効果トランジスタ全体は、SOI シリコンシート及び摩擦発電機に基づいて作製され、構造が簡単で、集積しやすく、デバイスの微型化及び行列化を実現しやすい。

(4) 摩擦発電機における移動可能摩擦層を、圧力を受ける部分として、SOI ベース及びゲート、ソースなどは、圧力を直接的に受けない。また、移動可能摩擦層と SOI ベースとの間には、弾性部材によって接続されてもよい。このため、バックゲート電界効果トランジスタは、全体的に、大きい機械的な変形を受けることができ、外力センシングの範囲が圧電エレクトロニクストランジスタより広い。

【図面の簡単な説明】

【0009】

30

【図 1】図 1 は、本発明の第 1 の実施例による摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタの構造概念図である。

【図 2】図 2 は、図 1 に示すバックゲート電界効果トランジスタの動作原理図である。

【図 3】図 3 は、図 1 に示すバックゲート電界効果トランジスタのソース・ドレイン電圧 V_D が 5 V である場合、ソース・ドレイン電流 I_D が移動可能摩擦層とゲートとの間隔 d_1 につれて変化する曲線である。

【図 4】図 4 は、本発明の第 2 の実施例による摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタの構造概念図である。

【図 5】図 5 は、本発明の第 3 の実施例による摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタの構造概念図である。

40

【図 6】図 6 は、図 5 に示すバックゲート電界効果トランジスタの動作原理図である。

【図 7】図 7 は、図 5 に示すバックゲート電界効果トランジスタのソース・ドレイン電圧 V_D が 5 V である場合、ソース・ドレイン電流 I_D が移動可能摩擦層と静止摩擦層との間隔 d_1 につれて変化する曲線である。

【図 8】図 8 は、本発明の第 4 の実施例による摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタの構造概念図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

本発明は、摩擦発電機とバックゲート電界効果トランジスタとを組み合わせ、摩擦発電機の一つの摩擦層をバックゲート電界効果トランジスタのゲートと固定し、又は、両者を

50

一つの部材に合成し、外力によって別の摩擦層と上記一つの摩擦層とを接触して帯電させ、ゲート電位を発生し、半導体におけるキャリアの伝送特性に対する調節を実現するものである。

【0011】

理解の便宜上、まず、本発明に係る主要な素子に番号を付与して説明し、図面又は明細書の記載において、類似又は同じ部分について、以下のように、同じ番号を用いて説明する。

- 10 - 導電基板；
- 20 - 絶縁層；
- 30 - 電界効果トランジスタユニット；10
- 31 - チャネル層； 32 - ドレイン；
- 33 - ソース； 34 - ゲート；
- 40 - 摩擦発電ユニット；
- 41 - 静止摩擦層； 42 - 移動可能摩擦層；
- 43 - 弾性部材； 44 - 第2の導電層。

本発明の目的、技術案並びに利点をより明瞭にするために、以下、具体的な実施例を組み合わせて、図面を参照して、本発明をさらに詳細に説明する。

なお、図面に記載されていない実現方式が、当業者に公知される形式であることを説明すべきである。また、本明細書には、特定値を含むパラメーターを例示したが、パラメーターは相応的な値と確実に同じである必要がなく、許される誤差範囲又は設計的約束内に相応的な値に近づいてもよい。また、以下の実施例に言及される、例えば「上」、「下」、「前」、「後」、「左」、「右」などの方向用語は、図面を参照する方向のみである。したがって、使用される方向用語は、本発明を説明するものであり、本発明を制限するものではない。20

【0012】

一、第1の実施例

本発明の第1の例示的な実施例において、摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタを提供している。図1は、本発明の第1の実施例による摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタの構造概念図である。図1に示すように、本実施例における摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタは、導電基板10と、導電基板10の正面に形成される絶縁層20と、絶縁層20の上方に形成されるチャネル層31、チャネル層31の上方に形成されるドレイン32及びソース33、導電基板10の裏面に形成されるゲート34、を含む電界効果トランジスタユニット30と、導電基板10と相対的に静止する静止摩擦層41、静止摩擦層41に対向して設けられる移動可能摩擦層42、移動可能摩擦層42の外側に形成されると共に、静止摩擦層41に電氣的に絶縁され、ソース33に電氣的に接続される第2の導電層44、を含む摩擦発電ユニット40と、を含み、前記静止摩擦層41及び移動可能摩擦層42は、帯電列における異なる位置にある材料で作製され、外力の作用によって、静止摩擦層41と移動可能摩擦層42は、分離状態と接触状態との間に往復に切り換えることができる。30

【0013】

以下、本実施例における接触帯電に基づくバックゲート電界効果トランジスタの各組成部分を詳細に説明する。40

【0014】

本実施例は、SOI基板を採用しており、当該SOI基板におけるSiベースをp型高濃度にして導電基板10とし、Siベースの上方のSiO₂層を絶縁層20とする。その中、Siベースの厚さh₁は500μmであり、p型高濃度にした後に、抵抗率は0.1Ω・cmより小さい。SiO₂層の厚さh₂は150nmである。商用SOI基板を採用することで、バックゲート電界効果トランジスタの作製ステップを節約し、製品の歩留まりを向上することができる。

【0015】

S O I 基板以外、本発明は、他のタイプの材料によって導電基板 1 0 及び絶縁層 2 0 を作製してもよい。その中、導電基板 1 0 は、例えば、C u、A l、A u、A g 及び P t という金属導体材料、又は n 型高濃度にした S i 材料を採用して作製してもよく、抵抗率が $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$ よりも小さいという要求を満たせばよい。導電基板 1 0 の厚さ h_1 の選択可能範囲は、 $300 \mu\text{m}$ h_1 1mm である。また、絶縁層 2 0 の材料は、例えば、S i N、A l₂ O₃ などの他の絶縁材料であってもよい。当該絶縁層 2 0 の厚さ h_2 の選択可能範囲は、 2nm h_2 200nm である。

【0016】

本実施例において、チャネル層 3 1 は、p 型ドープの S i 層であり、最上層シリコンと単に言われる。当該最上層シリコン 3 1 は、S i フィルムに対して p 型ドープを行うこと
10
によって形成される。p 型ドープを介して、当該最上層シリコン 3 1 の抵抗率 ρ は、 $1 \Omega \cdot \text{cm}$ ρ $100 \Omega \cdot \text{cm}$ であり、その厚さ h_3 は $2 \mu\text{m}$ である。また、当該チャネル層は、例えば、G e などの他の p 型ドープ半導体材料であってもよく、厚さ h_3 の選択可能範囲は、 $1 \mu\text{m}$ h_3 $100 \mu\text{m}$ である。

【0017】

チャネル層 3 1 の上方において、金属材料 A l によってドレイン 3 2 及びソース 3 3 を作製して形成する。当該ドレイン 3 2 及びソース 3 3 と、チャネル層 3 1 との接触は、オーミック接触又はショットキー接触である。ソース 3 3 は、グランドに接続されており、ドレイン 3 2 の電圧は、ソース 3 3 の電圧より 5 V だけ高い。なお、当業者は、両者の電位差 V を合理的に調整してもよく、一般的には、当該電位差 V は、 1V V 10V を満たしている。
20

【0018】

本実施例において、ソースとドレインとの間の間隔 L_1 は、 $200 \mu\text{m}$ であり、ソース 3 3 とゲート 3 4 との垂直方向における重なり面積 S_1 は、 $200 \mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$ である。本発明の他の実施例において、ソースとドレインとの間の間隔 L_1 の選択可能範囲は、 100nm L_1 1cm であり、両者の垂直方向における重なり面積 S_1 は、ゲート 3 4 の面積の 25% ~ 50% であり、一般的には、重なり面積 S_1 は、 $100 \text{nm} \times 100 \text{nm}$ S_1 $1 \text{cm} \times 1 \text{cm}$ を満たしている。

【0019】

S O I ベースの裏面において、金属材料 A l によってゲート 3 4 を作製する。当該ゲート 3 4 と S O I ベースの p 型高濃度の S i ベースとの間にオーミック接触が形成されている。
30

【0020】

当業者であれば分かるように、A l 材料以外、ドレイン 3 2、ソース 3 3 及びゲート 3 4 は、例えば、A l、A u、P t、C u などの他の金属材料で作製されてもよい。また、例えば、I T O (酸化インジウム・スズ)、A Z O (アルミニウムドープ酸化亜鉛) などの金属材料性質を有する非金属材料によってソース及びドレインを作製してもよい。

【0021】

本実施例において、摩擦発電ユニット 4 0 は、静止摩擦層 4 1 と、弾性部材 4 3 を介して静止摩擦層 4 1 に対向して設けられるとともに電氣的に絶縁される移動可能摩擦層 4 2
40
と、移動可能摩擦層の外側に作製され、ソース 3 3 に電氣的に接続される第 2 の導電層 4 4 と、を含む。

【0022】

本実施例において、電界効果トランジスタのゲートを静止摩擦層とし、移動可能摩擦層 4 2 は、ポリイミド (K a p t o n) 有機高分子材料で作製される。

【0023】

本実施例において、静止摩擦層 4 1 と移動可能摩擦層 4 2 が所定の距離で離れ、外力作用によって分離状態と接触状態との間に往復して切り換えられるように、静止摩擦層 4 1 と移動可能摩擦層 4 2 との間にゴム材料で作製される弾性部材を設ける。ただし、これは、本発明を制限するものではない。他の実施例においては、他の方式によって、静止摩擦
50

層 4 1 と移動可能摩擦層 4 2 が外力作用によって分離状態と接触状態との間に往復して切り換えられることを実現してもよい。例えば、以下の通りである。

(1) 弾性部材は、バネ又は M E M S 工程によって作製される単純支持梁部材であってもよい；

(2) 静止摩擦層 4 1 は、弾性又は非弾性部材によって、移動可能摩擦層 4 2 と所定の距離で離れ、分離状態と接触状態との間に往復して切り換えられる；あるいは、

(3) 静止摩擦層 4 1 と移動可能摩擦層 4 2 とが接続されておらず、移動可能摩擦層 4 2 と第 2 の導電層 4 4 に接続部材を設けるだけで、静止摩擦層 4 1 と移動可能摩擦層 4 2 が所定の距離で離れ、静止摩擦層 4 1 と移動可能摩擦層 4 2 とが外力作用によって分離状態と接触状態との間に往復して切り換えられる。このような構造のトランジスタデバイスは、他のデバイスとともに使用されることができる。

10

【 0 0 2 4 】

本実施例において、第 2 の導電層 4 4 は、A l 材料で作製される。当業者であれば分かるように、当該第 2 の導電層は、例えば、A u、A g、P t、I T O、A Z O などの他の金属又は類金属の導体材料で作製されてもよい。本発明ではこれを限定しない。

【 0 0 2 5 】

なお、本実施例において、A l 層及びポリイミド有機高分子材料をそれぞれ採用して、静止摩擦層及び移動可能摩擦層を作製している。しかしながら、当該静止摩擦層及び移動可能摩擦層は、帯電列における異なる位置にあるいずれの 2 種の材料で作製されてもよい。

20

【 0 0 2 6 】

ここでの「帯電列」とは、電荷に対する吸引の程度に応じて材料を並べた序列を意味する。2 種の材料が互いに接触する瞬間、接触する面において、正電荷が、帯電列における極性が比較的になる材料の表面から、帯電列における極性が比較的になる材料の表面に移動する。今まで、電荷の移動のメカニズムを完全に解釈できる統一の理論がない。一般的に、このような電荷の移動は、材料の表面の仕事関数に係り、電子またはイオンが接触面で移動することで電荷の移動を実現すると考えられる。なお、電荷の移動には、2 種の材料間の相対摩擦を必要せず、互いに接触すればよい。そのうち、上記「接触電荷」とは、帯電列における極性の異なる 2 種の材料が接触摩擦して離間した後、その表面が有する電荷を意味する。一般的に、このような電荷が材料の表面のみに分布され、分布の最大の深さが約 1 0 n m に過ぎないと考えられる。なお、接触電荷の符号は、正味の電荷の符号である。即ち、正の接触電荷を持つ材料の表面の一部の領域には、負電荷の集まり領域がある可能性もあるが、表面の正味の電荷全体の符号は正である。

30

【 0 0 2 7 】

本実施例において、静止摩擦層 4 1 がゲート 3 4 を兼ねるため、当該静止摩擦層は、導体材料で作製される必要がある。絶縁体に対して、導体はいずれも電子が奪われやすい摩擦帯電の特性を有し、常に帯電列におけるエンドに位置している。常用な導体は、金属、導電性酸化物又は導電高分子を含む。その中、金属は、金、銀、白金、アルミニウム、ニッケル、銅、チタン、クロム又はセレン、及び上記金属からなる合金を含む。導電性酸化物は、例えば、酸化インジウム・スズ A Z O、I T O 等がある。導電材料自身が導電素子として利用できるため、静止摩擦層に導電材料が用いる場合、導電素子と静止摩擦層とを併用してもよい。

40

【 0 0 2 8 】

本実施例において、ポリイミド (K a p t o n) 有機高分子材料によって移動可能摩擦層を作製する以外、他の導体又は絶縁材料等が第 1 の摩擦材料に接触して帯電した後に負電荷を帯電した材料によって、当該移動可能摩擦層を作製してもよい。当該導体は、静止摩擦層 4 1 の材料と異なる導体材料であればよい。絶縁材料であれば、ここでは、常用な絶縁材料を例示し、帯電列が正極性から負極性までの順に配列すると、アニリンホルムアルデヒド樹脂、ポリホルムアルデヒド、エチルセルロース、ポリアミド 1 1、ポリアミド 6 - 6、羊毛及びその織物、蚕糸及びその織物、紙、ポリエチレングリコールスクシナー

50

ト、セルロース、セルロースアセテート、ポリエチレングリコールアジペート、ポリフル酸ジアリル、再生繊維スポンジ、綿及びその織物、ポリウレタンエラストマー、スチレン-アクリロニトリルコポリマー、スチレン-ブタジエンコポリマー、木材、硬化ゴム、アセテート、人造繊維、ポリメチルメタクリレート、ポリビニルアルコール、ポリエステル (polyester)、ポリイソブチレン、ポリウレタンフレキシブルスポンジ、ポリエチレンテレフタレート、ポリビニルブチラール、ブタジエン-アクリロニトリルコポリマー、クロロブレンゴム、天然ゴム、ポリアクリロニトリル、ポリ(塩化ビニリデン-co-アクリロニトリル)、ポリビスフェノール A カarbonate、塩化ポリエーテル、ポリ塩化ビニリデン、ポリ(2,6-ジメチルポリフェニレン基酸化物)、ポリスチレン、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリジフェニルプロパン carbonate、ポリエチレンテレフタレート、ポリイミド、ポリ塩化ビニル、ポリジメチルシロキサン、ポリクロロトリフルオロエチレン、ポリテトラフルオロエチレン、及び、パリレン C、パリレン N、パリレン D、パリレン HT、パリレン AF 4 を含むパリレンが挙げられる。

【0029】

また、半導体材料と金属が異なる摩擦帯電の特性を有するため、半導体材料は、移動可能摩擦層を作製する原料とされてもよい。よく使用される半導体は、ケイ素、ゲルマニウム、ヒ化ガリウムやリン化ガリウム等のような III 及び第 V 族化合物、硫化カドミウムや硫化亜鉛等のような II 及び第 VI 族化合物、及び、ガリウム - アルミニウム - ヒ素やガリウム - ヒ素 - リン等のような III-V 族化合物と II-VI 族化合物とからなる固溶体、を含む。上記した晶質半導体以外に、非晶質のガラス半導体、有機半導体などもある。また、例えば、マンガ、クロム、鉄又は銅の酸化物、酸化ケイ素、酸化マンガ、酸化クロム、酸化鉄、酸化銅、酸化亜鉛、 BiO_2 、及び、 Y_2O_3 のような、非導電性の酸化物、半導体酸化物及び複雑な酸化物も摩擦帯電の特性を有し、摩擦の過程で表面電荷を形成するため、本発明の摩擦層として使用してもよい。

【0030】

紙幅の関係で、使用可能な全ての材料を例示することができないため、ここでは、参照として、いくつかの具体的な物質を例示する。もちろん、これらの具体的な材料は、本発明の保護範囲を限定する要素ではない。当業者は、発明の示唆の下で、これらの材料の摩擦帯電の特性に基づいて、類似する他の材料を容易に選択することができる。

【0031】

図 2 は、図 1 に示すバックゲート電界効果トランジスタの動作原理図である。以下、図 2 を組み合わせて、本実施例における電界効果トランジスタの動作原理を説明する。

1、図 2 (a) を参照し、ゲート 34 と移動可能摩擦層 42 は、一対の摩擦面を形成し、初期状態では、それらの間隔は d_0 であり、ドレイン 32 及びソース 33 は外部電源に接続され、チャンネル層 31 に電流 I_D が形成される。

2、図 2 (b) を参照し、外力 F の作用によって、移動可能摩擦層 42 とゲート 34 は接触して摩擦を発生し、異なる電子吸引能力によって、移動可能摩擦層 42 は負電荷を帯電し、ゲート 34 は正電荷を帯電する。

3、図 2 (c) を参照し、外力 F が低減するにつれて、ゲート 34 と移動可能摩擦層 42 は離れていき、それらの間隔は d_1 ($d_1 < d_0$) となる。この過程において、電子は、電氣的なバランスとなるように、第 2 の導電層 44 からソース 33 に流れる。ソース 33 は負電荷を帯電し、ゲート 34 と共に垂直方向における内部電界を形成する。

4、図 2 (d) を参照し、外力 F がなくなる場合、移動可能摩擦層 42 とゲート 34 は完全に離れ、それらの間隔は d_0 に戻す。この場合、ソース 33 は、ゲート 34 とほぼ同じ電量の負電荷を帯電して電氣的なバランスを形成し、垂直方向における内部電界が最大となる。この過程において、チャンネル層 31 は、内部電界の作用のため、電荷の極化を発生して、チャンネル層 31 の下面に電子を吸引させるとともに空孔を反発させ、空乏層を発生する。これによって、チャンネル層 31 における導電チャンネルの幅を低減させたので、チャンネル層 31 における電流 I_D の大きさを低減させ、半導体キャリアの伝送を調節する作用を奏している。

10

20

30

40

50

5、図2(e)を参照し、外力Fの再び作用によって、移動可能摩擦層42とゲート34は近接しており、それらの間隔は d_1 ($d_1 < d_0$)となる。この過程において、電子は、電氣的なバランスとなるように、ソース33から第2の導電層44に流れる。ソース33に帯電する負電荷が減少し、ゲート34と共に形成される垂直方向における内部電界も減少し、この過程において、チャンネル層31における導電チャンネルの幅が大きくなり、電流 I_D が大きくなる。

次の循環において、外力Fが作用する際に、移動可能摩擦層42とゲート34が再び接触し、ソース33に帯電する負電荷がほとんど第2の導電層44に回流して電氣的なバランスを形成し、電流 I_D 方向に垂直する内部電界が最小となり、図2(b)に示す状態に戻す。

10

【0032】

上記原理から分かるように、本実施例における摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタにおいて、外力Fは、半導体における電流方向に垂直する静電荷電界の大きさを調節でき、ゲート電圧の作用を奏し、半導体における電流の大きさに対する調節を実現することができる。

【0033】

本実施例において、絶縁層20の厚さが最上層シリコン31の厚さより遥かに小さく、かつ、SOI基板10が非常に低い抵抗率を有するため、ゲート電圧は、移動可能摩擦層42とゲート34との間隔の増加につれて大きくなり、形成されるゲート電圧の最大値は近似的に以下の[数1]のように示される。

20

【数1】

$$V_G = \frac{Q_0 \cdot \epsilon_K \cdot d_0 \cdot d_{Si}}{\epsilon_{Si} \cdot S_1 \cdot (\epsilon_K \cdot d_0 + \epsilon_0 \cdot d_K)} \quad (1)$$

【0034】

ただし、 Q_0 および d_0 は、それぞれ、移動可能摩擦層42とゲート34が接触して摩擦することによって発生した電荷量、および、離れた間隔であり、 S_1 は、ソース33とゲート34との垂直方向における重なり面積であり、 d_K および ϵ_K は、それぞれ、移動可能摩擦層42の厚さおよび誘電率であり、 d_{Si} および ϵ_{Si} は、それぞれ、最上層シリコン31の厚さおよび誘電率であり、 ϵ_0 は、空気の誘電率である。

30

【0035】

図3は、図1に示すバックゲート電界効果トランジスタのソース・ドレイン電圧 V_D が5Vである場合、ソース・ドレイン電流 I_D が移動可能摩擦層とゲートとの間隔 d_1 につれて変化する曲線である。図3において、横座標は、2つの摩擦層の離れた距離であり、縦座標は、チャンネル層を流れる電流である。図3を参照すると、静止摩擦層とゲートとの間隔 d_1 の増大につれて、チャンネル層を流れる電流は小さくなる。そして、2つの摩擦層の往復運動によって、ソースとゲートとの間に電位差を発生し、チャンネル層のチャンネル幅を変化させ、ソース・ドレイン間の電流の大きさを調節する作用を奏している。

【0036】

本発明において、静止摩擦層41と移動可能摩擦層42との間の所定の距離Lの範囲は、 $0 < L < 800 \mu m$ であることが好ましく、 $0 < L < 80 \mu m$ であることがより好ましい。

40

【0037】

なお、上記した静止摩擦層と移動可能摩擦層は、相対的なものであり、2つの摩擦層のうちの一方を静止摩擦層とし、他方を摩擦層とすればよく、通常意味上の“静止”および“移動可能”ではない。

【0038】

上記実施例の説明から分かるように、本実施例のバックゲート電界効果トランジスタは、伝統的なトランジスタにおけるゲート電極の給電電圧の代わりに、摩擦発電機によって発生した静電位をゲート信号とし、機械的な圧力と電子デバイスとの直接的なインタラクシ

50

ョンを実現するとともに、その構造が簡単で、製作集積しやすく、デバイスの微型化及び行列化を実現しやすく、材料の選択範囲が広い、といった従来技術の圧電エレクトロニクストランジスタに存在しない多くの長所を備える。

【 0 0 3 9 】

二、第 2 の実施例

本発明の第 2 の例示的な実施例において、他の接触帯電に基づくバックゲート電界効果トランジスタを提供している。図 4 は、本発明の第 2 の実施例による摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタの構造概念図である。図 4 を参照すると、本実施例は第 1 の実施例の構造に類似しており、チャンネル層 3 1 が n 型ドーパの Si 材料で作製されることのみが異なっている。

10

【 0 0 4 0 】

当業者であれば理解できるように、本実施例のバックゲート電界効果トランジスタの電流変化傾向は、図 3 に示す曲線と逆になっており、移動可能摩擦層と静止摩擦層との距離の増大につれて、チャンネル層を流れる電流が大きくなる。

【 0 0 4 1 】

本実施例と第 1 の実施例との共通点は以下の通りである：摩擦発電機の移動可能摩擦層は、圧力を受ける部材とされ、SOI ベースおよびゲート、ソースなどは圧力を直接的に受けない。また、移動可能摩擦層と SOI ベースとの間は、弾性部材によって接続されてもよい。このため、バックゲート電界効果トランジスタは、全体的に大きい機械的な変形を受けることができる。圧電エレクトロニクストランジスタより、外力のセンシング範囲及び半導体材料の選択範囲が広い。

20

【 0 0 4 2 】

三、第 3 の実施例

本発明の第 3 の例示的な実施例において、他の摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタを提供している。図 5 は、本発明の第 3 の実施例による摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタの構造概念図である。図 5 に示すように、本実施例のバックゲート電界効果トランジスタは、第 1 の実施例の構造に類似しており、以下のことが異なっている：静止摩擦層は、ポリイミド高分子材料で作製され、ゲート 3 4 に固定される；移動可能摩擦層は、アルミニウム板であり、静止摩擦層との間に絶縁材料のパネを介して隔離される；当該アルミニウム板は、リード線によってソース 3 3 に直接的に電氣的に接続されている。

30

【 0 0 4 3 】

図 6 は、図 5 に示すバックゲート電界効果トランジスタの動作原理図である。以下、図 6 を組み合わせて、本実施例の電界効果トランジスタの動作原理を説明する：

1、図 6 (a) に示すように、移動可能摩擦層 4 2 とポリイミド高分子ポリマーフィルム 4 1 は一対の摩擦面を形成し、初期状態では、それらの間隔は d_0 であり、ドレイン 3 2 及びソース 3 3 は外部電源に接続され、チャンネル層 3 1 に電流 I_D が形成されている。

2、図 6 (b) に示すように、外力 F の作用によって、移動可能摩擦層 4 2 と静止摩擦層 4 1 は接触して摩擦を発生し、異なる電子吸引能力によって、静止摩擦層 4 1 は負電荷を帯電し、移動可能摩擦層 4 2 は正電荷を帯電する。

40

3、図 6 (c) に示すように、外力 F が低減するにつれて、移動可能摩擦層 4 2 と静止摩擦層 4 1 は離れていき、それらの間隔は d_1 ($d_1 < d_0$) となる。この過程において、電子は、電氣的なバランスとなるように、ソース 3 3 から移動可能摩擦層 4 2 に流れる。ソース 3 3 は正電荷を帯電し、静止摩擦層 4 1 と共に垂直方向における内部電界を形成する。

4、図 6 (d) に示すように、外力 F がなくなる場合、静止摩擦層 4 1 と移動可能摩擦層 4 2 は完全に離れ、それらの間隔は d_0 に戻す。この場合、ソース 3 3 は、速く移動可能摩擦層 4 2 とほぼ同じ電量の正電荷を帯電して電氣的なバランスを形成し、垂直方向における内部電界が最大となる。この過程において、チャンネル層 3 1 は、内部電界の作用のため、電荷の極化を発生して、チャンネル層 3 1 の下面に空孔を吸引させるとともに電子を

50

反発させ、強化層を発生する。これによって、チャンネル層 3 1 におけるキャリアの濃度を増加させたので、チャンネル層 3 1 における電流 I_D の大きさを向上させ、半導体キャリア伝送を調節する作用を奏している。

5、図 6 (e) に示すように、外力 F の再び作用によって、移動可能摩擦層 4 2 と静止摩擦層 4 1 は近接しており、それらの間隔は d_1 ($d_1 < d_0$) となる。この過程において、電子は、電気的なバランスとなるように、移動可能摩擦層 4 2 からソース 3 3 に流れる。ソース 3 3 に帯電する正電荷が減少し、静止摩擦層 4 1 と共に形成される垂直方向における内部電界も減少し、この過程において、チャンネル層 3 1 におけるキャリアの濃度が小さくなり、電流 I_D が小さくなる。

6、外力 F が完全に作用する際に、移動可能摩擦層 4 2 と静止摩擦層 4 1 が再びに接触し、ソース 3 3 に帯電する正電荷がほとんど移動可能摩擦層 4 2 に回流し、電気的なバランスを形成し、電流 I_D 方向に垂直する内部電界は最小となり、図 6 (b) に示す状態に戻す。したがって、外力 F は、半導体における電流方向に垂直する静電荷電界の大きさを調節することができ、ゲート電圧の作用を奏し、半導体における電流の大きさに対する調節を実現することができる。

【 0 0 4 4 】

本実施例のバックゲート電界効果トランジスタにおいて、シリカ絶縁層 2 0 の厚さがチャンネル層 3 1 の厚さより遥かに小さく、かつ、S O I 基板層 1 1 が非常に低い抵抗率を有するため、強化モードに対して、外力 F によって形成されるゲート電圧の最大値は近似に以下の [数 2] のように示される。

【 数 2 】

$$V_G = - \frac{Q_0 \cdot \varepsilon_K \cdot d_0 \cdot d_{Si}}{\varepsilon_{Si} \cdot S_1 \cdot (\varepsilon_K \cdot d_0 + \varepsilon_0 \cdot d_K)} \quad (2)$$

【 0 0 4 5 】

ただし、 Q_0 及び d_0 は、それぞれ、静止摩擦層 4 1 と移動可能摩擦層 4 2 が接触して摩擦することによって発生した電荷量、および離れた間隔であり、 S_1 は、ソース 3 3 とゲート 3 4 との垂直方向における重なり面積であり、 d_K および ε_K は、それぞれ、静止摩擦層 4 1 の厚さおよび誘電率であり、 d_{Si} および ε_{Si} は、それぞれ、チャンネル層 3 1 の厚さおよび誘電率であり、 ε_0 は空気の誘電率である。

【 0 0 4 6 】

図 7 は、図 5 に示すバックゲート電界効果トランジスタのソース・ドレイン電圧 V_D が 5 V である場合、ソース・ドレイン電流 I_D が移動可能摩擦層と静止摩擦層との間隔 d_1 につれて変化する曲線である。図 7 から分かるように、静止摩擦層と移動可能摩擦層との間隔の d_1 の増大につれて、チャンネル層を流れる電流が大きくなる。そして、2 つの摩擦層の往復運動によって、ソースとゲートとの間に電位差を発生し、チャンネル層のチャンネル幅を変化させ、ソース・ドレイン間の電流の大きさを調節する作用を奏している。

【 0 0 4 7 】

本実施例において、静止摩擦層 4 1 と移動可能摩擦層 4 2 との間の所定の距離の範囲は、0 - 8 0 0 μm であることが好ましく、0 - 8 0 μm であることがより好ましい。

【 0 0 4 8 】

四、第 4 の実施例

本発明の第 4 の例示的な実施例において、別の摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタを提供している。図 8 は、本発明の第 4 の実施例による摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタの構造概念図である。図 8 を参照すると、本実施例は第 3 の実施例の構造に類似しており、チャンネル層 3 1 が n 型ドーパの Si 材料で作製されることのみが異なっている。

【 0 0 4 9 】

当業者であれば理解できるように、本実施例のバックゲート電界効果トランジスタの電

10

20

30

40

50

流変化傾向は、図 7 に示す曲線と逆になっており、移動可能摩擦層と静止摩擦層との間の距離の増大につれて、チャンネル層を流れる電流が大きくなる。

【 0 0 5 0 】

ここまでは、図面を組み合わせる本発明の 4 つの実施例を詳細に説明している。上記説明に基づいて、当業者は、本発明の摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタを明確に理解できると考えられる。

【 0 0 5 1 】

また、上記した各素子及び方法に対する定義は、実施例に言及された具体的な構造、形状又は方式に限られず、当業者は、それに関して簡単に変更又は変換することができる。

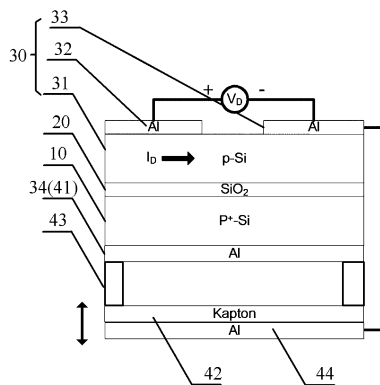
【 0 0 5 2 】

上記のように、本発明の摩擦接触帯電効果に基づくバックゲート電界効果トランジスタは、摩擦発電機と金属-酸化物-半導体電界効果トランジスタとを組み合わせ、摩擦発電機の一つの摩擦層をバックゲート電界効果トランジスタのゲートと固定し、又は両者の一つの部材に合成し、外力によって別の摩擦層と上記一つの摩擦層とを接触して帯電させ、ゲート電位を発生してゲート信号とされ、半導体におけるキャリア伝送特性に対する調節を実現するものであり、調節特性が良好であり、センシング範囲が広く、作製及び集積しやすいなどの長所を有し、センサー、マン-マシンインタラクション、マイクロ電気機械システム、ナノロボット及びフレキシブルエレクトロニクスなどの分野に広く適用されることができ、良好な適用前景を有している。

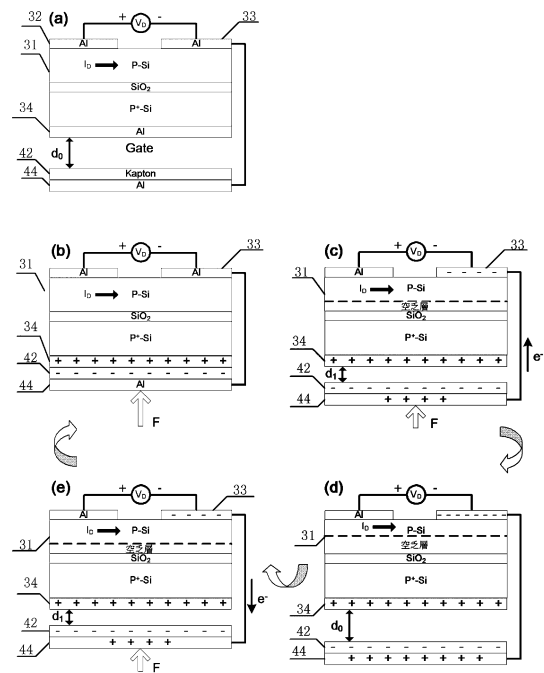
【 0 0 5 3 】

上記した具体的な実施例により、本発明の目的、技術案及び有益な効果をさらに詳細に説明している。上記内容は、本発明の具体的な実施例のみであり、本発明を制限するものではなく、本発明の主旨及び原則内の任意の補正、等価的な置き換え、改善などが、いずれも本分野の保護範囲に属することを理解すべきである。

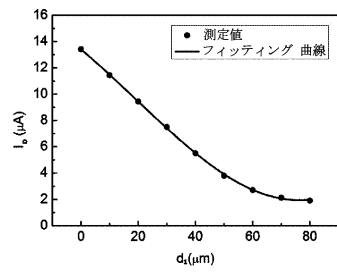
【 図 1 】



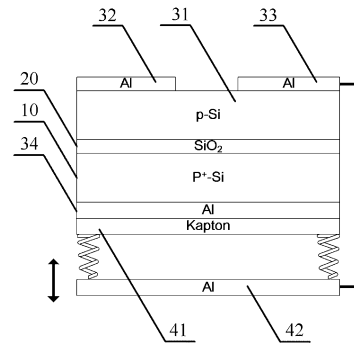
【 図 2 】



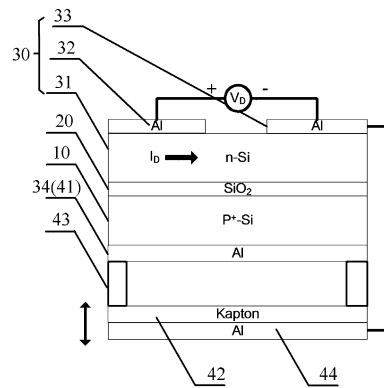
【図 3】



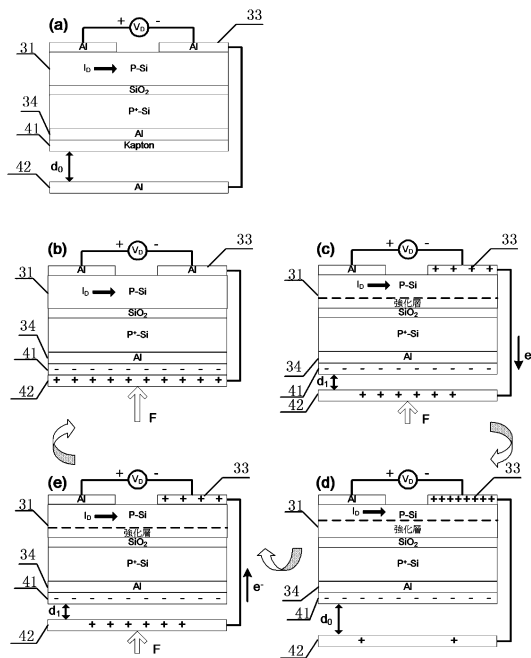
【図 5】



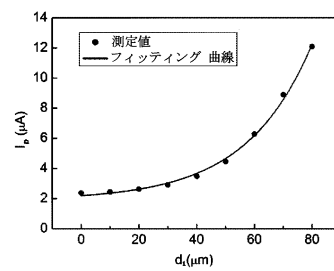
【図 4】



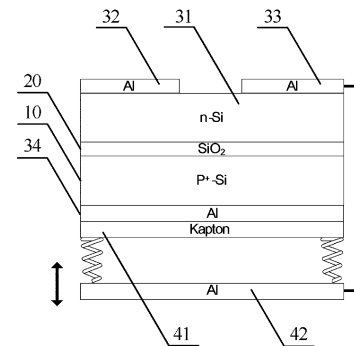
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(72)発明者 王 中林

中華人民共和国北京市海淀区学院路30号天工大厦C座 100083

審査官 加藤 俊哉

(56)参考文献 米国特許出願公開第2014/0084748(US, A1)

特開2008-182088(JP, A)

特開2011-242153(JP, A)

特開平10-178182(JP, A)

特開2007-178256(JP, A)

特開昭58-164271(JP, A)

特開2014-121204(JP, A)

特開2008-109772(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 29/786

H01L 21/336

H02N 1/00