



\* B R 1 0 2 0 2 2 0 0 0 6 2 9 A 2 \*

República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,  
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102022000629-6 A2

(22) Data do Depósito: 13/01/2022

(43) Data da Publicação Nacional:  
25/07/2023

(54) **Título:** MÉTODO DE PREPARAÇÃO DE TRANSISTOR QUÂNTICO E TRANSISTOR QUÂNTICO MODIFICADO

(51) **Int. Cl.:** H01L 29/66; B82Y 10/00; H01L 21/335.

(52) **CPC:** H01L 29/66977; B82Y 10/00.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO.

(72) **Inventor(es):** PAULO ROBERTO BUENO; LAÍS CRISTINE LOPES.

(57) **Resumo:** MÉTODO DE PREPARAÇÃO DE TRANSISTOR QUÂNTICO E TRANSISTOR QUÂNTICO MODIFICADO. Trata a presente invenção de um novo método de preparação de transistor quântico e transistor quântico modificado, o qual trata-se de um dispositivo eletroeletrônico da área de microeletrônica formado por, ou então contendo, estruturas do tipo unidimensionais ou bidimensionais que apresentam condutância e capacitância quântica, correlacionados por emaranhamento quântico; onde o transistor quântico obtido funciona em modo A.C. (corrente alternada) ou por perturbações transientes. Estes permitem todas as aplicações já disponíveis em transistores clássicos que operam em modo D.C. (corrente contínua), mas com vantagens adicionais que permeiam maiores sensibilidades e melhor desempenho de transporte eletrônico e de informação a longas distâncias no dispositivo, propriedades intrínsecas dos fenômenos quânticos e novas arquiteturas de transistores até então não possíveis de serem realizadas em modo D.C., como tem sido o caso dos transistores clássicos



## **MÉTODO DE PREPARAÇÃO DE TRANSISTOR QUÂNTICO E TRANSISTOR QUÂNTICO MODIFICADO**

[001] Trata a presente invenção de um novo método de preparação de transistor quântico e transistor quântico modificado, o qual trata-se de um dispositivo eletroeletrônico da área de microeletrônica formado por, ou então contendo, estruturas do tipo unidimensionais ou bidimensionais que apresentam condutância e capacitância quântica, correlacionados por emaranhamento quântico; onde o transistor quântico obtido funciona em modo A.C. (corrente alternada) ou por perturbações transientes. Estes permitem todas as aplicações já disponíveis em transistores clássicos que operam em modo D.C. (corrente contínua), mas com vantagens adicionais que permeiam maiores sensibilidades e melhor desempenho de transporte eletrônico e de informação a longas distâncias no dispositivo, propriedades intrínsecas dos fenômenos quânticos e novas arquiteturas de transistores até então não possíveis de serem realizadas em modo D.C., como tem sido o caso dos transistores clássicos.

### **CAMPO DE APLICAÇÃO**

[002] O método de preparação de transistor quântico e transistor quântico modificado, objeto da presente invenção, tem aplicação na área de microeletrônica, mais especificamente para preparação de microestruturas com dimensões nanométricas moldadas em materiais unidimensionais ou bidimensionais, que apresentam excelentes propriedades eletrônicas, químicas, ópticas e magnéticas, para serem utilizadas em várias aplicações tais como: transistores de efeito de campo (FET) de diferentes naturezas: FET de metal-óxido-semicondutor (MOSFET) tipo depleção podendo ser N-canal ou P-canal e tipo intensificação podendo ser N-canal ou P-canal, junção FET (JFET) tipo depleção podendo ser N-canal ou P-canal, transistor de efeito de campo orgânico (OGFET) , transistor bipolar de porta isolada (IGBT), nanopartícula de memória orgânica

(NOMFET), transistor de efeito de campo de DNA (DNAFET), transistor de efeito de campo de semicondutor e metal (MESFET), transistor de alta mobilidade de elétrons (HEMT), diodos epitaxiais de recuperação rápida (FREDFET), transistor de efeito de campo sensível a íons (ISFET), transistor de efeito de campo quimicamente sensível (ChemFET), transistor de efeito de campo baseados em grafeno (GFET).

#### OBJETIVOS DA INVENÇÃO

[003] O método de preparação de transistor quântico e transistor quântico obtido, objeto da presente invenção, tem por objetivo apresentar um método de preparação de transistor quântico formado por estruturas unidimensionais ou bidimensionais correlacionados por emaranhamento quântico onde o transistor quântico obtido funciona em modo A.C. (corrente alternada) ou por perturbações transientes, os quais permitem todas as aplicações já disponíveis em transistores clássicos que operam em modo D.C. (corrente contínua) para arquiteturas de transistores até então não possíveis de serem realizadas em modo D.C.

É outro objetivo da invenção apresentar um método de preparação de transistor quântico economicamente viável e com melhor desempenho do transporte eletrônico no canal do transistor, oferecendo menor perda energética durante a operação.

[004] É, ainda, objetivo desta invenção apresentar um método de preparação de transistor quântico atuando como amplificadores ou interruptores, podendo ser empregado em componentes básicos de todos os chips eletrônicos e novos dispositivos transistores quânticos, desde que usando modos A.C. ou modulação similar de operação.

[005] Outro objetivo desta invenção é apresentar um método de preparação de transistor quântico cuja propriedade de emaranhamento de estruturas unidimensionais (1D) ou bidimensionais (2D) são muito mais sensíveis e precisas do que se tem até momento

para aplicação na saúde (diagnóstico de doenças, descobertas de novos compostos), meio ambiente (detecção de pesticidas, armas químicas, contaminantes na água, controle ecológico de poluição), indústria alimentícia (detecção de bactérias, contaminantes químicos e biológicos, controle de qualidade).

#### ESTADO DA TÉCNICA

[006] Em pesquisa realizada em bancos de dados especializados foram encontrados documentos referentes à métodos de preparação de dispositivos transistores quânticos, porém nenhum desses métodos e dispositivos microeletrônicos possuem as características de configuração e funcionamento conforme descritas nesta invenção.

Dentre esses documentos podem-se destacar os seguintes:

[007] O documento de patente JPH0595106A, que fornece um elemento quântico de boas propriedades de transmissão de sinal. Os transistores quânticos de linha fina são conectados por uma linha quântica do mesmo tamanho que o transistor quântico. Desse modo, a reflexão e o espalhamento do elétron em uma parte da fiação da conexão podem ser restringidos e um elemento de boa transmissão de sinal pode ser realizado;

[008] O documento de patente JPH01189968A, que apresenta dois estágios de camadas funcionais de Si dopados formando uma junção com a superfície de um substrato semiconductor de GaAs. Uma camada de GaAs não-dopada é fornecida na parte superior das camadas acima mencionadas, além disso, um eletrodo de porta é fornecido, fontes de alta densidade e regiões de drenagem são formadas em ambos os lados do eletrodo e eletrodos ôhmicos são fornecidos na camada superior dessas regiões. O transistor do tipo interferência quântica pode ser formado facilmente. Uma vez que as camadas de dopagem podem ser homoganeamente unidas ao substrato semiconductor a ser usado, as camadas de dopagem têm um alto grau de liberdade. Como resultado, um transistor do tipo interferência quântica de ultra alta velocidade pode ser formado facilmente; e

[009] O documento de patente EP3073728A1, que apresenta um transistor de efeito de campo de pontos quânticos de grafeno configurado para operar de tal forma que fótons incidentes sobre o mesmo fazem com que pares elétron-buraco sejam formados; um elemento conector conectado à porta traseira do transistor de efeito de campo de grafeno de ponto quântico; um elemento de comutação configurado para funcionar como um comutador de saída a fim de fornecer uma saída para uma corrente fluindo através do transistor de efeito de campo de grafeno de ponto quântico; em que o transistor de efeito de campo de grafeno de ponto quântico está configurado para ser polarizado por meio do elemento conector conectado à porta traseira de tal forma que os elétrons ou os buracos formados são presos em pelo menos um ponto quântico e, respectivamente, os buracos ou os elétrons migram para o canal do transistor quântico de efeito de campo de pontos quânticos de grafeno; e em que um dreno para fonte de voltagem conectado ao transistor de efeito de campo de pontos quânticos de grafeno faz com que uma corrente proporcional à carga dos buracos ou elétrons presos nos pontos quânticos pelos elétrons ou buracos fluam no canal.

#### PROBLEMA A SER RESOLVIDO

[010] O método de preparação e de dispositivos eletrônicos formados por, ou então contendo, estruturas do tipo unidimensionais ou bidimensionais que apresentam condutância e capacitância quântica com um tempo e uma taxa dinâmica de transferência e transporte de elétrons correlacionados por entrelaçamento ou emaranhamento quântico com os estados de energia capacitivos quânticos destas estruturas e que são característicos dos níveis de energia das estruturas eletrônicas unidimensionais ou bidimensionais, permite a preparação de microdispositivos vantajosos para diversas aplicações.

[011] Tais estruturas podem conter um ou mais estados de energia quantizados

compostos por valores específicos de condutância e capacitância quântica. Essa correlação entre os estados quânticos de condutividade e capacitância são devido a um efeito de emaranhamento quântico entre o estado de condutância e capacitância cuja razão é uma frequência e seu inverso um tempo característico do estado dos materiais unidimensionais ou bidimensionais, sendo que ambos estados de condutância e capacitância quantizados possibilitam a aplicação deste fenômeno em dispositivos quânticos, tais como transistores de corrente alternada (A.C.) ou transistores transientes, quando a perturbação não é harmônica.

[012] As propriedades dos transistores quânticos A.C. ou transientes desenhados baseado neste tipo de fenômeno de emaranhamento quântico podem ser moduladas por métodos temporais transientes ou por perturbações harmônicas sobre essas estruturas unidimensionais ou bidimensionais e seus estados de energia quantizados. Um exemplo de perturbação temporal harmônica dessas estruturas quânticas emaranhadas é a perturbação experimental que faz uso da espectroscopia de impedância e suas derivações, mas essa não é a única técnica ou método que permite acesso a esse tipo de informação quantizada em estruturas unidimensionais ou bidimensionais, mas certamente é uma das mais versáteis e poderosas.

[013] Assim a presente invenção trata de um método de obtenção e dos transistores obtidos operando em modo A.C. com vantagens de também poder operar em meio eletroquímico quando necessário e que se utilizam de estados de emaranhamento quântico formados pela correlação de sinais entre estados de condução (condutância quântica) e armazenamento de energia (capacitância quântica), ambos estados quantizados, de materiais 1D ou 2D depositados sobre um substrato ou conectado entre dois terminais condutores, com grandes vantagens na sua utilização.

**DESCRIÇÃO DAS FIGURAS**

[014] A complementar a presente descrição de modo a obter uma melhor compreensão das características do presente invento e de seu potencial para utilização como transistores do tipo A.C. e de acordo com uma preferencial realização prática do mesmo, acompanha a descrição, em anexo, um conjunto de figuras, onde, de maneira exemplificada, embora não limitativa, se representou:

[015] A Figura 1 ilustra: em (a) uma arquitetura típica de um transistor de efeito de campo eletroquímico, onde é considerado apenas um terminal condutivo que atua como fonte e dreno, eletrodo de referência corresponde a porta e a estrutura 1D ou 2D corresponde ao canal. Nessa configuração o transistor opera em modo A.C. e pode ser monitorado por medidas dependentes do tempo ou da frequência. O eletrólito atua como dielétrico; e (b) corresponde a uma configuração de um transistor de efeito de campo clássico em que a densidade de elétrons no canal entre os dois terminais condutivos distintos (S e D) muda de acordo com a alteração da tensão da porta. O transistor clássico opera com base na resposta de tensão D.C..

[016] A Figura 2 ilustra em: (a) um diagrama de Nyquist impedimétrico de um eletrodo contendo o material 2D em um determinado potencial; e em (b) um diagrama de Nyquist capacitivo identificando a frequência de ressonância do estado quântico no ponto máximo do semicírculo ( $f_r$ ) e a frequência no máximo da capacitância extraída do diâmetro do semicírculo ( $f_s$ ). Foi utilizado líquido iônico puro e em diferentes concentrações como eletrólito.

[017] A Figura 3 ilustra em: (a) a medida da capacitância quântica em líquido iônico (IL), C1, C2 e C3; em (b) a medida da condutância em líquido iônico (IL), C1, C2 e C3; em (c) a medida da capacitância quântica em C4, C5 e C6; e em (d) a medida da condutância em C4, C5 e C6 de um eletrodo contendo o material 2D a partir da frequência correspondente da  $C_q$  em uma determinada faixa de potencial. Foi utilizado líquido iônico

puro e em diferentes concentrações como eletrólito.

[018] A Figura 4 ilustra em: (a) o 'rate' ou taxa de transferência de elétrons  $k$  em líquido iônico (IL), C1, C2 e C3 do eletrodo; e em: (b) o rate  $k$  em C4, C5 e C6 contendo o material 2D a partir da frequência correspondente da  $C_q$  em uma determinada faixa de potencial.

[019] A Figura 5 ilustra em: (a) a medida da capacitância quântica em líquido iônico (IL), C1, C2 e C3; em (b) a medida da condutância em líquido iônico (IL), C1, C2 e C3; em (c) a medida da capacitância quântica em C4, C5 e C6; e em (d) a medida da condutância em C4, C5 e C6 de um eletrodo contendo o material 2D a partir da frequência de ressonância que corresponde ao ponto máximo do semicírculo em uma determinada faixa de potencial. Foi utilizado líquido iônico puro e em diferentes concentrações como eletrólito.

[020] A Figura 6 ilustra em: (a) o 'rate' ou taxa de transferência de elétrons  $k$  em líquido iônico (IL), C1, C2 e C3 do eletrodo; e em (b) o rate  $k$  em C4, C5 e C6 contendo o material 2D a partir da frequência de ressonância que corresponde ao ponto máximo do semicírculo em uma determinada faixa de potencial. Foi utilizado líquido iônico puro e em diferentes concentrações como eletrólito.

#### DESCRIÇÃO GERAL DA INVENÇÃO

[021] O emaranhamento quântico é um fenômeno físico em que os estados quânticos de vários subsistemas não podem ser descritos independentemente um do outro, embora estejam espacialmente separados. Tal fenômeno oferece percepções exclusivas sobre os princípios fundamentais de nosso mundo físico e, ao mesmo tempo, fornece a base de novos protocolos de comunicação e sensoriamento que vão além das capacidades de seus equivalentes clássicos. Entre as principais aplicações se destacam as tarefas de processamento de informações, paradoxo de Einstein-Podolsky-Rosen, criptografia

quântica, codificação superdensa, teletransporte de informações, computação quântica, correção de erro assistida por emaranhamento, e como recurso tomográfico. A produção em larga escala ainda é um desafio, no entanto, o sucesso dos dispositivos de estado sólido na revolução da microeletrônica tem motivado cientistas e engenheiros a desenharem dispositivos baseados em materiais 1D e 2D, os quais diferentemente dos seus análogos clássicos, possuem propriedades quânticas específicas e que os diferem dos últimos.

[022] Estruturas com dimensões nanométricas moldadas em materiais unidimensionais ou bidimensionais apresentam excelentes propriedades eletrônicas, químicas, ópticas e magnéticas. Entre os materiais unidimensionais temos principalmente os nanotubos de carbono, tanto os de parede simples quanto os de paredes múltiplas, e entre os bidimensionais se destacam: grafeno, nitreto de boro hexagonal (hBN), metais de transição dicalcogenetos (TMDCs), fosforeno, camadas de hidróxidos duplos (LDHs), família de compostos monoelementais (Xenes), nitretos/carbonetos de metal (MXenes), óxidos do tipo perovskita, polímeros 2D, etc. Tais materiais têm sido usados como blocos de construção para o desenvolvimento de dispositivos quânticos.

[023] Dispositivos aplicando corrente alternada A.C. e transiente apresentam vantagens frente aos dispositivos de corrente contínua D.C., pois podem funcionar sob um campo elétrico relativamente baixo, o que é útil para aumentar a eficiência de emissão de informação e energia, reduzindo o consumo de energia e melhorando a estabilidade do dispositivo. A espectroscopia de impedância é uma técnica não destrutiva que utiliza um sinal A.C. para excitar ou perturbar um sistema medindo a resposta de corrente ou de tensão alternada.

[024] Uma das razões mais importantes de se trabalhar com corrente A.C. sinusoidal é que ela corresponde a tensão, utilizada em todo o mundo, para a transmissão de energia

e para a transmissão de informação e por este meio também pode ser otimizada a transmissão de sinais entre estados emaranhados quânticos. Por isso, e pelas vantagens acima mencionadas, a engenharia de corrente alternada é de grande importância na fabricação de dispositivos, especialmente os dispositivos eletrônicos quânticos. Nesse contexto, a espectroscopia de impedância e suas derivações são ferramentas versáteis e poderosas e já provaram ser úteis para avaliar as características de um circuito molecular em interfaces eletroquímicas e em sistemas analíticos.

[025] Por causa disso, a presente invenção de método e de transistores operando em modo A.C. (com vantagens de também poder operar em meio eletroquímico quando necessário) se utiliza de estados de emaranhamento quântico formados pela correlação de sinais entre estados de condução (condutância quântica) e armazenamento de energia (capacitância quântica), ambos estados quantizados, de materiais 1D ou 2D depositados sobre um substrato ou conectado entre dois terminais condutores.

[026] As estruturas unidimensionais (1D) e bidimensionais (2D) podem apresentar ambas condutância e capacitância quântica de acordo com um tempo e uma taxa temporal características de cada estado quântico destas estruturas. Esse comportamento está correlacionado com o emaranhamento (ou entrelaçamento) quântico deste estado quântico; típico dos valores e da razão dos valores entre condutância e capacitância quântica  $C_q$  deste estado. Esse emaranhamento corresponde a um fenômeno da mecânica quântica cujas propriedades em estruturas 1D e 2D permite realizar a engenharia de transistores quânticos que funcionam em modo A.C. (corrente alternada) ou por perturbações transientes. Esses transistores quânticos permitem todas as aplicações já disponíveis em transistores clássicos que operam em modo D.C. (corrente contínua), mas com vantagens adicionais que permeiam maiores sensibilidades e melhor desempenho de transporte eletrônico e de informação a longas

distâncias no dispositivo, intrínsecas dos fenômenos quânticos e novas arquiteturas de transistores até então não possíveis de serem realizadas em modo D.C., como tem sido o caso dos transistores clássicos.

[027] A capacitância quântica  $C_q$  é proporcional a densidade de estados do estado quântico. O estado emaranhado ocorre pelo entrelaçamento quântico dessa capacitância quântica com a condutância quântica  $G$  que, por sua vez, ocorre em passos de  $e^2/h$  e é máxima para canais metálicos de uma dimensão.

[028] O estado de emaranhamento quântico define uma taxa temporal do estado quântico que é dada pela razão  $k = G/C_q$  ou define um tempo característico de tal forma que  $R_q C_q$ , sendo  $R_q = 1/G$ .  $k$  possui unidade de frequência, i.e., em Hertz, e pode ser expressa também como uma constante de tempo em que  $R_q C_q$  com unidade em segundos. As componentes  $G$  e  $C_q$  são propriedades quantizadas da estrutura eletrônica dos materiais 1D e 2D e estão quanticamente emaranhadas, de tal forma que  $k$  ou  $R_q C_q$  nos permite identificar as mudanças que ocorrem no sistema pela medida e monitoramento desta propriedade quantizada.

[029] O estado temporal quântico e emaranhado deve ser acessado por medidas de corrente alternada (A.C.) ou medidas transientes, visto que nestas condições o estado quântico permanece quantizado independentemente do modo de transporte eletrônico associado a  $R$  ou  $G$ . Em regime de corrente contínua (D.C.) o canal quântico associado ao estado de condução ou resistência quântica requer que o mesmo seja perfeito ou tenha modo balístico de transmissão. Isso não é o caso de medidas A.C. ou transientes realizadas em sistemas emaranhados quânticos. Nas medidas A.C. ou transientes em sistemas emaranhados quânticos o transporte ocorrerá de forma quantizada independentemente do modo de transmissão do canal quântico de condução.

[030] As estruturas 1D são materiais estruturados unidimensionais que estão em nanoescala em uma dimensão. Os elétrons estão confinados em uma dimensão, indicando que os mesmos não podem se mover livremente. Como exemplo dessas estruturas temos os nanotubos de carbono de parede simples, nanotubos de carbono de paredes múltiplas, nanofitas de grafeno, nanofios semicondutores inorgânicos (Grupo IV - nanofios de Si e Ge, nanofios do Grupo III-V InAs, GaAs, GaN, nanofios do Grupo II-VI CdS, CdSe, ZnSe e nanofios de óxido metálico, como ZnO e SnO<sub>2</sub>);

[031] Os materiais bidimensionais (2D) são dimensionados em nanoescala em duas dimensões. Os elétrons são confinados em duas dimensões, indicando que os elétrons não podem se mover livremente, mas apenas dentro do plano 2D. Como exemplo dessas estruturas temos grafeno e seus derivados (grafeno obtido por deposição química em fase de vapor, grafeno epitaxial crescido em substratos de carvão de silício, grafeno obtido por esfoliação mecânica, óxido de grafeno e óxido de grafeno reduzido obtido pelo método de Hummers, *crumpled* grafeno, nanofitas de grafeno); grafeno dopado com nitrogênio, fósforo, enxofre, oxigênio, boro, além dos átomos pertencentes ao grupo dos metais alcalinos e ao grupo dos halogênios, etc.; nanocompósitos formado por grafeno/nanopartículas metálicas, grafeno/polímeros condutores, grafeno/nanotubos de carbono. Materiais 2D *beyond* grafeno (fósforo negro, MoS<sub>2</sub>, WSe<sub>2</sub> h-BN, CrS<sub>2</sub>, CrO<sub>2</sub>, VS<sub>2</sub>, VO<sub>2</sub>, NbSe<sub>2</sub>); nitreto de boro hexagonal e seus nanocompósitos com nanopartículas metálicas, polímeros, nanomateriais de carbono (grafeno e nanotubos), entre outros.

[032] Os materiais 1D ou 2D podem estar depositados em substratos de silício, Si/SiO<sub>2</sub>, ouro, germânio, carbono vítreo, óxido de índio e estanho (ITO), óxido de estanho dopado com flúor (FTO), substratos de PET (politereftalato de etileno), kapton, parileno-c, vidro, *corning*. O contato elétrico sobre os materiais 1D ou 2D depositados sobre os substratos podem ser de titânio/ouro, titânio/platina, cromo/ouro, platina, prata pura,

prata/estanho, prata/níquel, e outros tipos de prata, prata/óxido de cádmio, prata/óxido de estanho, tungstênio/prata, tungstênio/cobre, ativação de fósforo em Si epitaxial, Ge,  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ ,  $\text{Si}_y\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_x$ .

[033] O emaranhamento quântico é acessado por meio de medidas dependentes do tempo e/ou transientes (sendo o modo A.C. um tipo específico). Os valores das componentes  $G$  e  $C_q$  que compõem o emaranhamento (no caso de medidas elétricas harmônicas do tipo A.C.) podem ser obtidos preferencialmente, mas não somente. A partir dos gráficos de Nyquist impedimétrico ( $Z'$  versus  $-Z''$ ) e Nyquist capacitivo ( $C'$  versus  $C''$ ) e Bode impedimétrico ( $Z'$  ou  $Z''$  versus logaritmo da frequência) e capacitivo ( $C'$  ou  $C''$  versus logaritmo da frequência), são obtidos os dados correspondentes aos componentes do emaranhamento quântico.  $Z'$  e  $Z''$  correspondem, respectivamente, a componente real e componente imaginária da função impedância complexa. De forma similar,  $C'$  corresponde a componente real e  $C''$  corresponde a componente imaginária, onde a componente real está relacionada com a parte imaginária da impedância  $C' = Z''/\omega|Z|^2$  e a componente capacitiva imaginária com a parte real da impedância  $C'' = Z'/\omega|Z|^2$ . A função de impedância complexa medida  $Z^*(\omega)$  pode ser convertida na função de capacitância complexa  $C^*(\omega)$  pela relação  $C^*(\omega) = 1/j\omega Z^*(\omega)$ ,  $j = \sqrt{-1}$  e  $\omega$  corresponde a frequência angular que é dada por  $\omega = 2\pi f$ , onde  $f$  é a frequência.

[034] O pico de frequência do gráfico de Bode capacitivo da componente imaginária corresponde a frequência de ressonância ou ao valor de  $k$ . Essa taxa está associada a eletrodinâmica do estado emaranhado quântico entre a condutância  $G$  e a capacitância  $C_q$  do estado  $k = G/C_q$ .

[035] O valor da capacitância (componente real) em uma frequência angular específica do gráfico de Nyquist capacitivo, corresponde à  $C_q$  do estado emaranhado sempre que  $C_q$  dominar a resposta de capacitância equivalente eletroquímica do estado. A frequência

pode ser monitorada em diferentes meios e analisada frente a uma faixa de potencial, de forma a obter a  $C_q$  correspondente em função do potencial.

[036] O valor da capacitância (componente imaginária em uma frequência típica do processo) multiplicada pela frequência angular característica obtida no gráfico de Nyquist capacitivo, corresponde à condutância quântica  $G$  do estado emaranhado. A frequência pode ser monitorada em diferentes meios e analisada frente a uma faixa de potencial, de forma a obter a  $G$  correspondente em função do potencial.

[037] Qualquer tipo de ajuste matemático ou de circuito que permita obter os valores dos componentes de condução e capacitância quântica.

[038] A mudança do emaranhamento quântico ocorre devido a:

[039] Variação dos estados quantizados temporais de energia em função da concentração das espécies presentes no meio conectado ao *gate* ou ao canal do transistor A.C. ou transiente; ou a:

[040] Variação dos estados quantizados de acordo com as características físico-químicas do meio que está em contato com o *gate* ou ao canal do transistor A.C. ou transiente; ou a:

[041] Variação dos estados quantizados temporais de energia em função de uma intensidade de fótons que chegue ao *gate* ou ao canal do transistor A.C. ou transiente; ou a:

[042] Variação dos estados quantizados temporais de energia em função de uma intensidade de radiação eletromagnética que chegue ao *gate* ou ao canal do transistor A.C. ou transiente; ou a:

[043] Variação dos estados quantizados temporais de energia em função de uma variação de temperatura no *gate* ou ao canal do transistor A.C. ou transiente, ou a:

[044] Variação dos estados quantizados temporais de energia em função de uma massa variada no *gate* ou ao canal do transistor A.C. ou transiente; ou a:

[045] Variação dos estados quantizados temporais de energia em função de uma variação de campo elétrico ou magnético no canal do transistor A.C. ou transiente.

[046] A mudança do emalhamento quântico também pode ocorrer em função da modificação física ou química do *gate* com moléculas eletroativas ou não.

[047] Algumas técnicas de medidas dependentes do tempo e transiente compreendem: avVoltametria de onda quadrada (SWV); a voltametria de pulso diferencial (DPV); a espectroscopia de impedância (elétrica e eletroquímica, EIE). No caso da EIE, também envolve suas derivações tais como a espectroscopia de capacitância (elétrica e eletroquímica), bem como outras funções de imitância (elétrica e eletroquímica).

[048] Os transistores obtidos empregando o uso da corrente alternada (modo A.C. de operação) são caracterizados por serem economicamente viáveis e com melhor desempenho do transporte eletrônico no canal do transistor, oferecendo menor perda energética durante a operação. Os transistores são caracterizados por atuarem como amplificadores ou interruptores, podendo ser empregados em componentes básicos de todos os chips eletrônicos e novos dispositivos transistores quânticos, desde que usando modos A.C. ou modulação similar de operação. Os transistores obtidos podem ser empregados como transistores de efeito de campo, bipolar de junção, transistores de pequenos sinais, de comutação, transistores de força, foto transistores, entre outros.

[049] Os Transistores obtidos poder ser transistores de efeito de campo (FET) de diferentes naturezas, tais como: FET de metal-óxido-semicondutor (MOSFET) tipo depleção podendo ser N-canal ou P-canal e tipo intensificação podendo ser N-canal ou P-canal, junção FET (JFET) tipo depleção podendo ser N-canal ou P-canal, transistor de efeito de campo orgânico (OGFET) , transistor bipolar de porta isolada (IGBT),

nanopartícula de memória orgânica (NOMFET), *transistor* de efeito de campo de DNA (DNAFET), transistor de efeito de campo de semicondutor e metal (MESFET), transistor de alta mobilidade de elétrons (HEMT), diodos epitaxiais de recuperação rápida (FREDFET), transistor de efeito de campo sensível a íons (ISFET), transistor de efeito de campo quimicamente sensível (ChemFET), transistor de efeito de campo baseados em grafeno (GFET).

[050] Para que o emaranhamento quântico possa ser utilizado, o canal deve ser de materiais com dimensões 1D ou 2D e o transistor operar em regime A.C. ou transiente com estados emaranhados entre a condutância e a capacitância.

[051] O fenômeno de emaranhamento quântico é caracterizado pela possibilidade de ser usado em comunicação óptica, tecnologias emergentes de computação quântica e criptografia quântica, teletransporte quântico (redes quânticas e cálculos quânticos), ciência da informação quântica, sensoriamento, dispositivos multiplexáveis, metrologia, microscópios aprimorados, biologia quântica (bússola biológica), de tal forma que:

[052] A comunicação óptica pulsada é ajustada as frequências dos transistores promovendo as comunicações baseadas no espaço, como satélite para satélite e veículo espacial para veículo espacial (incluindo HAPs, *high-altitude platform-station*), que eventualmente podem ser ideais para aplicação de servidor a servidor e de roteador a roteador para conectividade com a Internet;

[053] O computador quântico pode usar bits quânticos, ou qubits, que por sua vez, codifica o zero e o um em dois estados quânticos distinguíveis. Onde a criptografia quântica permite comunicações completamente seguras entre partes distantes e o emaranhamento quântico de estados pode ser diferencial para este tipo de tecnologia;

[054] O teletransporte quântico pode transmitir informações em redes quânticas (no caso específico mencionado aqui pode ser pelo uso do emaranhamento quântico) e pode

servir como uma operação elementar em computadores quânticos. Sistemas transistores com estados emaranhados pode ser diferencial também neste tipo de tecnologia;

[055] A ciência da informação quântica, utilizando a propriedade de emaranhamento e estruturas 1D e 2D pode estudar as menores partículas de matéria e energia tal como é o caso de férmions, para obter e processar informações de maneiras que não podem ser alcançadas com base nos princípios da física clássica. Essa categoria engloba metrologia, sensoriamento, comunicação, computação e simulação quântica;

[056] A metrologia e o sensoriamento quânticos, utilizando a propriedade de emaranhamento podem fornecer maior precisão em comparação com produtos baseados em física clássica ou tecnologias quânticas existentes. Incluem relógios atômicos, gravímetros e gradiômetros gravitacionais, unidades de movimento inercial, magnetômetros atômicos, scanners de magnetoencefalografia, microscópios eletrônicos, dispositivos de imagem giratória nuclear assistida por quantum, sistemas de Global Position System (GPS), sensor de concentração de gás, entre outros;

[057] A computação e simulação quântica, utilizando a propriedade de emaranhamento e estruturas 1D e 2D podem oferecer a possibilidade de computação de uma forma exponencialmente maior no que se refere ao espaçamento entre estados do que poderia ser acessível com a computação clássica e permitir o uso de hardware quântico para empreender as propriedades críticas de um sistema quântico complexo;

[058] Os biossensores quânticos, utilizando a propriedade de emaranhamento e estruturas 1D e 2D podem ser muito mais sensíveis e precisos do que se tem até momento para aplicação na saúde (diagnóstico de doenças, descobertas de novos compostos), meio ambiente (detecção de pesticidas, armas químicas, contaminantes na água, controle ecológico de poluição), indústria alimentícia (detecção de bactérias,

contaminantes químicos e biológicos, controle de qualidade). Para a detecção do analito podem requerer modificação dos materiais 1D e 2D com receptores;

[059] Os biossensores quânticos, utilizando a propriedade de emaranhamento e estruturas 1D e 2D podem ser ópticos, eletroquímicos, colorimétricos, piezoelétricos, magnéticos sempre que baseados no fenômeno de emaranhamento quântico de um transistor A.C. ou transiente. O biossensor pode reconhecer qualitativamente ou quantitativamente um analito. Os biossensores quânticos podem ser dispositivos multiplexáveis que são caracterizados por detectar mais de um analito. Os biossensores podem ser dispositivos de *point-of-care* que são caracterizados por serem portáteis e por permitirem testes de diagnóstico rápido e em tempo real;

[060] O receptor ancorado nos materiais 1D e 2D podem ser a base de aptâmeros, anticorpos, antígenos, fragmentos de anticorpos, oligossacarídeos, peptídeos, células, bactérias, partículas virais, enzimas e proteínas; e

[061] O analito reconhecido pelo receptor pode ser aptâmeros, anticorpos, antígenos, fragmentos de anticorpos, oligossacarídeos, peptídeos, células, bactérias, partículas virais, enzimas e proteínas;

#### DESCRIÇÃO DETALHADA E EXEMPLO DE REALIZAÇÃO DA INVENÇÃO

[062] A presente invenção trata de um método de obtenção e de transistores operando em modo A.C. com vantagens de também poder operar em meio eletroquímico quando necessário e que se utiliza de estados de emaranhamento quântico formados pela correlação de sinais entre estados de condução (condutância quântica) e armazenamento de energia (capacitância quântica), ambos estados quantizados, de materiais 1D ou 2D depositados sobre um substrato ou conectado entre dois terminais condutores.

[063] Em ambos os casos essas estruturas 1D e 2D (ver Figura 1) formam um canal de

um transistor com os eletrodos contendo contatos elétricos adequados e conectados com o meio externo e que permitem o acesso aos estados de condutância e capacitância quântica do canal (conforme definido nas equações 1 e 2 abaixo, respectivamente) e que operam de acordo com um tempo e uma razão condutância/capacitância (de acordo com a equação 3 abaixo) como sinal característico e que variam quanticamente em conformidade a uma variação imposta pelo meio no canal do transistor que está em contato com o meio através do terminal chamado de *gate* ou porta (veja abaixo). Esse estado quântico emaranhado é dependente do meio no qual o transistor está inserido e permite também as aplicações do emaranhamento quântico como transistores de efeito de campo A.C. e transiente.

[064] O sistema de transistor de efeito de campo convencional pode ser composto por três elementos: '*source*' (S), '*drain*' (D) e '*gate*' (G). O '*source*' (fonte) é o terminal por onde os transportadores de carga entram no canal, enquanto o '*drain*' (dreno) consiste no terminal em que as cargas deixam o canal e o '*gate*' (porta) é responsável por modular a condutividade no '*channel*' (canal). Os terminais representam o ponto em que o transistor está conectado ao circuito e esse é constituído por materiais condutores, como por exemplo ouro e titânio. Em uma configuração contendo apenas um terminal condutivo este atuará como fonte e dreno. Neste exemplo, as estruturas unidimensionais ou bidimensionais depositadas sobre um substrato base ficará exposta ao meio e atuará como o canal e o eletrodo de referência, que pode ser platina, atuará como porta (Figura 1a). Em uma configuração contendo dois terminais, que são distinguíveis fisicamente um do outro, ambos estarão acoplados por uma conexão condutora e, portanto, um atuará como fonte e o outro como dreno (Figura 1b). Ambas as configurações podem conter ou não um eletrólito, ou seja, o meio pode ser líquido, gasoso ou outro estado físico ou químico da matéria.

[065] Como exemplo mostramos a variação das componentes condutivas e capacitivas de um transistor operando em modo eletroquímico acompanhadas a partir de duas frequências específicas obtidas por medidas de espectroscopia de capacitância derivada da impedância: a frequência de ressonância do estado quântico obtida no ponto máximo do semicírculo no diagrama de Nyquist capacitivo ( $f_r$ , Figura 2b) e a frequência obtida no máximo da capacitância, que é extraída do diâmetro do semicírculo do diagrama de Nyquist capacitivo ( $f_s$ , Figura 2b) em cada concentração. A variação da frequência é observada ao alterar a concentração de sal no líquido iônico (dielétrico). Com o aumento da concentração iônica, que está em contato com a estrutura 1D ou 2D e contém níveis de energia quantizados, se observa uma mudança no potencial externo que afeta o canal quântico que por sua vez responde de forma emaranhada, isto é, há uma interdependência nas respostas das propriedades capacitivas ( $C_q$ ) e condutivas ( $G$ ).

[066] Ambas frequências podem ser utilizadas como parâmetros de monitoramento do estado quântico emaranhado em função de mudanças impostas ao meio (porta ou mudanças no canal do transistor). Observou-se que as mudanças ocorrem de forma emaranhadas e quantizadas, demonstrando a aplicação dos princípios de funcionamento do transistor A.C. no monitoramento do ambiente no qual ele está em contato.

[067] Segundo a presente invenção, a prova da viabilidade do uso de eletrodos fabricados como estruturas unidimensionais (1D) ou bidimensionais (2D) como transistores A.C., compreende, por exemplo, uma estrutura 2D a base de carbono com estados quantizados que é depositada de forma controlada sobre um substrato base, não-condutor e plano e então é realizada a deposição de um contato elétrico ôhmico adequado para a realização das medidas, as quais são realizadas em modo eletroquímico. Para essas medidas é aplicado um potencial aos contatos e a estrutura 2D atua como eletrodo de trabalho; platina é empregada como contra eletrodo e quase-

referência.

[068] Conforme ilustrado na Figura 1a, na presente invenção o transistor de efeito de campo eletroquímico consiste em um terminal atuando como fonte e dreno (poderia possuir uma configuração contendo dois terminais conforme apresentado na Figura 2b), o eletrodo de platina como porta e a estrutura 2D o canal. O eletrólito empregado é um líquido iônico (que atua como dielétrico na configuração do transistor) e a este dielétrico ou líquido iônico são adicionadas quantidades de sal em 6 (seis) concentrações distintas a fim de alterar a concentração iônica do meio e suas propriedades. Essas alterações implicaram em mudança no campo elétrico no canal do transistor A.C. e conseqüentemente provocaram uma mudança quantizada da resposta, conforme pode ser visto pela mudança descontinuada da condutância  $G$  e capacitância quântica  $C_q$  conforme indicado nas Figuras 3 e 5.

[069] A mudança ocorre de forma emaranhada entre a condutância e a capacitância quântica no canal do transistor A.C. e isso pode ser observado quando se analisa a razão dentre  $G/C_q$  que corresponde a uma taxa temporal de transferência eletrônica (Figuras 4 e 6), conforme pode ser notado pela teoria apresentada abaixo. As medidas de espectroscopia de impedância que foram utilizadas para a obtenção de  $G$  e  $C_q$  foram realizadas usando um potenciostato equipado com um analisador de resposta em frequência (Figura 2a).

[070] Os diagramas de espectroscopia de capacitância derivada da impedância (Figura 2b) foram adquiridos em uma ampla faixa de frequência, com uma perturbação senoidal de 10 mV no potencial de circuito aberto. A função de impedância complexa medida  $Z^*(\omega)$  foi convertida na função de capacitância complexa  $C^*(\omega)$  pela relação  $C^*(\omega) = 1/j\omega Z^*(\omega)$ , onde  $\omega$  é a frequência angular e  $j = \sqrt{-1}$ . Assim, os componentes real e imaginário da capacitância são acessados como  $C' = Z''/\omega|Z|^2$  e  $C'' = Z'/\omega|Z|^2$ , onde

$|Z| = \sqrt{Z'^2 + Z''^2}$  é o módulo da função de impedância complexa.

[071] Para obter a espectroscopia de capacitância derivada da impedância, inicialmente as medidas de espectroscopia de impedância são realizadas em um potencial fixo, como pode ser visto no diagrama de Nyquist presente na Figura 2a. Os dados de espectroscopia de impedância são convertidos em dados de capacitância complexos, mostrados na Figura 2b. A partir do gráfico de Nyquist capacitivo foram extraídas as frequências  $f_r$  e  $f_s$  identificadas na Figura 2b. Ambas as frequências foram obtidas frente a variação imposta pelo meio, e então analisadas frente a uma faixa de potencial.

[073] A capacitância eletroquímica, por sua vez, é definida como:

$$\frac{1}{C_\mu} = \frac{1}{C_e} + \frac{1}{C_q} \quad (\text{fórmula 1})$$

onde  $C_\mu$  é a capacitância eletroquímica (capacitância equivalente),  $C_e$  corresponde a capacitância geométrica ou eletrostática e  $C_q$  é a capacitância quântica. Como  $C_e \gg C_q$  para estruturas 1D e 2D quantizadas,  $C_\mu \sim C_q$ . Ou seja, em situações em que há uma significativa densidade de elétrons em estados acessíveis na nanoestrutura, como é o caso do presente sistema a base de grafeno, cuja estrutura eletrônica é formada por átomos de carbono dispostos bidimensionalmente,  $C_\mu$  é dominado por  $C_q$  e, conseqüentemente, a triagem do campo elétrico é governada pela dinâmica do elétron atenuado pelo ambiente eletroquímico que se relaciona com os fenômenos quânticos associados a  $C_q$ .

[073] Ambas as frequências foram avaliadas em diferentes concentrações iônicas. As Figuras 3a e 3c correspondem a  $C_q$  do sistema e as Figuras 3b e 3d correspondem a condutância  $G$  para a frequência na máxima capacitância, em menores e maiores concentrações iônicas, respectivamente. As Figuras 5a e 5c correspondem a medida de  $C_q$  do sistema 2D e as Figuras 5b e 5d correspondem a  $G$  na frequência de ressonância,

em menores e maiores concentrações iônicas, respectivamente.

[074] A condutância,  $G(\mu)$ , está relacionada com o processo de transferência/transporte de elétrons e é descrita por:

$$G(\mu) = \left(\frac{2e^2}{h}\right) \sum_n T_n(\mu) = G_0 \sum_n T_n(\mu) \quad (\text{fórmula 2})$$

onde  $G_0 = 2e^2/h$  é a condutância quântica e  $\sum_n T_n(\mu)$  é a matriz de probabilidade de transmissão de elétrons em um canal quântico para o transporte dos elétrons neste canal em um determinado potencial químico  $\mu$ . Em um canal quântico ideal, a matriz de transmissão equivale a uma unidade, e nesse caso,  $G(\mu)$  é igual a  $G_0$ . Os canais representam as probabilidades de comunicação entre estados de energia quantizados que trocam elétrons entre si e a transmitância do elétron depende das características físicas da região de espalhamento.

[075] No entanto, é importante ressaltar que o transporte eletrônico associado a  $G(\mu)$  quando medido em modo A.C. ou transiente permanece quantizado independentemente do modo de transmissão do elétron durante o transporte eletrônico. No caso clássico e em modo de corrente contínua, D.C., embora universal, apenas é quantizado se há uma transmitância perfeita do canal ou balística.

[076] Essa correlação entre condutância e capacitância quântica já foi observada na transferência de elétrons em escala nanométrica de filmes moleculares e podem ser caracterizados por um "rate" ou taxa de transferência de elétrons  $k$  que é expressado pela razão entre as funções  $G$  e  $C_\mu$  de tal forma que:

$$k(\mu) = \frac{2e^2}{h} \sum_n T_n(\mu) \left(\frac{1}{C_e} + \frac{1}{C_q}\right) = \frac{G(\mu)}{C_\mu(\mu)} \quad (\text{fórmula 3})$$

Para o caso presente  $C_e \gg C_q$  e, portanto,  $k$  para o sistema 2D corresponde a  $k = G/C_q$ . As Figuras 4a e 4b e as Figuras 6a e 6b correspondem a uma taxa de transferência eletrônica  $k = G/C_q$  que é determinado pela relação entre capacitância quântica

(armazenamento de energia) e condutância quântica (transporte de carga) dentro da estrutura 2D a base de carbono. Note que  $k$  é uma unidade temporal de frequência medida em  $s^{-1}$  (1/segundos ou equivalente a Hertz) e pode ser também interpretada como uma constante de tempo em que  $G = 1/R$  oferece  $k^{-1} = \tau = R_q C_q$  e portanto, de forma que é possível caracterizar um estado emaranhado quântico e um estado de energia temporal em função de diferentes concentrações iônicas do eletrólito presente no meio. Como  $G$  e  $C_q$  são quantizados e estão quanticamente emaranhados,  $k$  obtido para a estrutura 1D ou 2D é também quantizado e é uma propriedade temporal intrínseca do sistema 1D ou 2D que pode ser utilizado como canal quântico em um transistor, no caso eletroquímico, e que, por sua natureza de emaranhamento, permite a transmissão de energia e informação a longas distâncias e é extremamente sensível a mudanças no ambiente químico acoplado ao canal quântico e seu nível de energia temporal.

[077] Desta forma, podemos observar a correlação da capacitância  $C_q$  e da condutância quântica  $G$  da estrutura 2D de acordo com a variação da força iônica no líquido iônico que está em contato com a estrutura 2D e que impõe um campo elétrico ao canal quântico que responde de forma quantizada. Observa-se que qualquer alteração entre seus componentes afeta o equilíbrio de cargas quantizado, devido ao efeito de acoplamento quântico entre eles, podendo então ser monitorado por medidas dependentes do tempo ou da frequência, como é o caso da espectroscopia de impedância, entre outras e demonstrando que as mudanças ocorrem em saltos e não de forma contínua. Essa correlação entre a condutividade e a capacitância quântica estão diretamente relacionados ao emaranhamento quântico de tal forma que possibilita a aplicação deste fenômeno como transistores A.C. e transientes e qualquer modificação imposta em uma região espacial do material pode ser sentida tanto na capacitância, quando na condutância, em regiões distintas do material.

[078] Exemplifica-se a razão entre condutância e capacitância, que se descreve fisicamente através da transferência eletrônica definida como  $k = G/C_q$ , como uma propriedade quantizada tal como também o são os elementos individuais de condutância e capacitância da estrutura, sendo que as mudanças ocorrem em saltos e não de forma contínua, exemplificando a elevada quantização do sistema. O uso destas propriedades tem impacto importante no design de transistores A.C. ou transientes que são intrinsecamente temporais, diferentemente dos seus análogos clássicos e que funcionam em modo D.C. e contínuo, intrinsecamente independentes do tempo.

[079] É certo que quando o presente invento for colocado em prática, poderão ser introduzidas modificações no que se refere a certos detalhes, sem que isso implique afastar-se dos princípios fundamentais que estão claramente substanciados no quadro reivindicatório, ficando assim entendido que a terminologia empregada não teve a finalidade de limitação.

[080] Assim, pelas características de configuração e funcionamento, acima descritas, pode-se notar claramente que o MÉTODO DE PREPARAÇÃO DE TRANSISTOR QUÂNTICO E TRANSISTOR QUÂNTICO MODIFICADO, tratam-se de um método e dispositivo novos para o Estado da Técnica o qual reveste-se de condições de inovação, atividade inventiva e industrialização inéditas, que o fazem merecer o Privilégio de Patente de Invenção.

## REIVINDICAÇÕES

1 - **MÉTODO DE PREPARAÇÃO DE TRANSISTOR QUÂNTICO**, **caracterizado por** compreenderem estruturas unidimensionais (1D) e bidimensionais (2D) que apresentam comportamento de condutância  $G$  e de capacitância quântica  $C_q$  de acordo com um tempo e uma taxa temporal de cada estado quântico destas estruturas correlacionados com o emaranhamento (ou entrelaçamento) quântico deste estado quântico; onde as componentes  $G$  e  $C_q$  são propriedades quantizadas da estrutura eletrônica dos materiais 1D e 2D e estão quanticamente emaranhadas; onde nas estruturas unidimensionais (1D) os elétrons são confinados em uma dimensão e as estruturas bidimensionais (2D) os elétrons são confinados em uma ou duas dimensões, indicando que os elétrons podem se mover livremente com velocidade ao redor da velocidade de Fermi apenas dentro do plano 1D e 2D, respectivamente; ditas estruturas configuram transistores modificados por engenharia quântica funcionando em modo A.C. (corrente alternada) ou por perturbações transientes com estados emaranhados entre a condutância e a capacitância.

2 - **MÉTODO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** a capacitância quântica  $C_q$  ser proporcional à densidade de estados quânticos; e o estado emaranhado ocorrer pelo entrelaçamento quântico da capacitância quântica com a condutância quântica  $G$  que, por sua vez, ocorre em passos de  $e^2/h$  e é máxima para canais metálicos de uma dimensão.

3 - **MÉTODO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o estado temporal quântico e emaranhado ser acessado por medidas de corrente alternada (A.C.) ou medidas transientes visto que o transporte ocorre de forma quantizada independentemente do modo de transmissão do canal quântico de condução.

4 - **MÉTODO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** os materiais de estruturas unidimensionais (1D) compreenderem nanotubos de carbono de parede simples, nanotubos de carbono de paredes múltiplas, nanofitas de grafeno, nanofios semicondutores inorgânicos Grupo IV - nanofios de Si e Ge, nanofios do Grupo III-V InAs, GaAs, GaN, nanofios do Grupo II-VI CdS, CdSe, ZnSe e nanofios de óxido metálico, como ZnO e SnO<sub>2</sub>.

5 - **MÉTODO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** os materiais de estruturas bidimensionais (2D) compreenderem grafeno e seus derivados: grafeno obtido por deposição química em fase de vapor, grafeno epitaxial crescido em substratos de carbeto de silício, grafeno obtido por esfoliação mecânica, óxido de grafeno e óxido de grafeno reduzido obtido pelo método de Hummers, *crumpled* grafeno, nanofitas de grafeno; grafeno dopado com nitrogênio, fósforo, enxofre, oxigênio, boro, além dos átomos pertencentes ao grupo dos metais alcalinos e ao grupo dos halogênios, e outros; nanocompósitos formado por grafeno/nanopartículas metálicas, grafeno/polímeros condutores, grafeno/nanotubos de carbono; materiais 2D *beyond* grafeno, fósforo negro, MoS<sub>2</sub>, WSe<sub>2</sub> h-BN, CrS<sub>2</sub>, CrO<sub>2</sub>, VS<sub>2</sub>, VO<sub>2</sub>, NbSe<sub>2</sub>; nitreto de boro hexagonal e seus nanocompósitos com nanopartículas metálicas, polímeros, nanomateriais de carbono (grafeno e nanotubos), entre outros.

6 - **MÉTODO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** os materiais de estruturas unidimensionais (1D) e de estruturas bidimensionais (2D) estarem depositados em substratos de silício, Si/SiO<sub>2</sub>, ouro, germânio, carbono vítreo, óxido de índio e estanho (ITO), óxido de estanho dopado com flúor (FTO), substratos de PET (politereftalato de etileno), kapton, parileno-c, vidro, *corning*.

7 - **MÉTODO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o emaranhamento quântico ser acessado por meio de medidas dependentes do tempo e/ou transientes; onde os valores das componentes  $G$  e  $C_q$  podem ser obtidos preferencialmente, mas não somente por: a partir dos gráficos de Nyquist impedimétrico ( $Z'$  versus  $-Z''$ ) e Nyquist capacitivo ( $C'$  versus  $C''$ ) e Bode impedimétrico ( $Z'$  ou  $Z''$  versus logaritmo da frequência) e capacitivo ( $C'$  ou  $C''$  versus logaritmo da frequência); pelo pico de frequência do gráfico de Bode capacitivo da componente imaginária; pelo valor da capacitância (componente real) em uma frequência angular específica do gráfico de Nyquist capacitivo; pela frequência monitorada em diferentes meios e analisada frente a uma faixa de potencial; pelo valor da capacitância multiplicada pela frequência angular característica obtida no gráfico de Nyquist capacitivo; pela frequência monitorada em diferentes meios e analisada frente a uma faixa de potencial, de forma a obter  $G$  correspondente em função

do potencial; e por qualquer tipo de ajuste matemático ou de circuito que permita obter os valores dos componentes de condução e capacitância quântica.

8 - **MÉTODO**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** a mudança do emaranhamento quântico ocorrer devido a: variação dos estados quantizados temporais de energia em função da concentração das espécies presentes no meio conectado à porta ou ao canal do transistor A.C. ou transiente; variação dos estados quantizados de acordo com as características físico-químicas do meio que está em contato com a porta ou ao canal do transistor A.C. ou transiente; variação dos estados quantizados temporais de energia em função de uma intensidade de fótons que chegue a porta ou ao canal do transistor A.C. ou transiente; variação dos estados quantizados temporais de energia em função de uma intensidade de radiação eletromagnética que chegue a porta ou ao canal do transistor A.C. ou transiente; variação dos estados quantizados temporais de energia em função de uma variação de temperatura na porta ou ao canal do transistor A.C. ou transiente; variação dos estados quantizados temporais de energia em função de uma massa variada na porta ou ao canal do transistor A.C. ou transiente; e variação dos estados quantizados temporais de energia em função de uma variação de campo elétrico ou magnético no canal do transistor A.C. ou transiente.

9 - **TRANSISTOR QUÂNTICO MODIFICADO**, **caracterizado por** compreender estruturas unidimensionais (1D) e bidimensionais (2D) que apresentam comportamento de condutância  $G$  e de capacitância quântica  $C_q$  de acordo com um tempo e uma taxa temporal de cada estado quântico destas estruturas correlacionados com o emaranhamento (ou entrelaçamento) quântico deste estado quântico; depositados ou conectado entre dois terminais condutores; onde as componentes  $G$  e  $C_q$  são propriedades quantizadas da estrutura eletrônica dos materiais 1D e 2D e estão quanticamente emaranhadas; onde nas estruturas unidimensionais (1D) os elétrons são confinados em uma dimensão e as estruturas bidimensionais (2D) os elétrons são confinados em duas dimensões, indicando que os elétrons não podem se mover livremente, mas apenas dentro do plano 1D e 2D, respectivamente; onde ditas estruturas definem o canal e configuram o transistor quântico funcionando em modo A.C. (corrente alternada) ou por perturbações transientes com estados emaranhados entre a

condutância e a capacitância.

10 - **TRANSISTOR**, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado por** o substrato poder ser de silício, Si/SiO<sub>2</sub>, ouro, germânio, carbono vítreo, óxido de índio e estanho (ITO), óxido de estanho dopado com flúor (FTO), substratos de PET (politereftalato de etileno), kapton, parileno-c, vidro, *corning*.

11 - **TRANSISTOR**, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado por** o canal com os eletrodos conter contatos elétricos adequados e conectados com o meio externo para o acesso aos estados de condutância e capacitância quântica do canal que operam de acordo com um tempo e uma razão condutância/capacitância como sinal característico e variam quanticamente em conformidade a uma variação imposta pelo meio no canal do transistor que está em contato com o meio através do terminal *gate* ou porta; dito estado quântico emaranhado sendo dependente do meio no qual o transistor está inserido, onde a mudança do emaranhamento quântico ocorre em função da modificação física ou química da porta com moléculas eletroativas ou não.

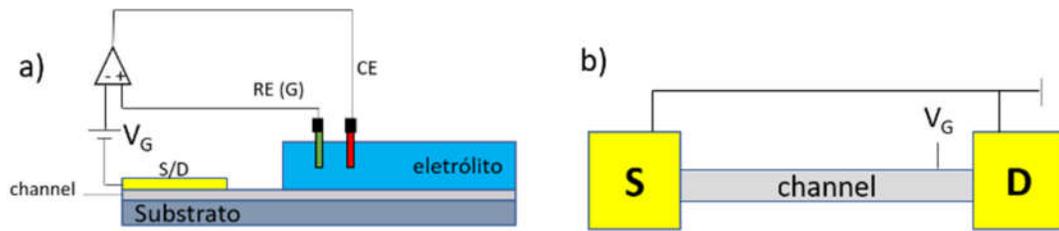
12 - **TRANSISTOR**, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado por** o emaranhamento quântico conferir propriedade para transistores de efeito; pode operar em meio eletroquímico quando necessário; de efeito de campo (FET), de metal-óxido-semicondutor (MOSFET) tipo depleção podendo ser N-canal ou P-canal e tipo intensificação podendo ser N-canal ou P-canal, junção FET (JFET) tipo depleção podendo ser N-canal ou P-canal, transistor de efeito de campo orgânico (OGFET), transistor bipolar de porta isolada (IGBT), nanopartícula de memória orgânica (NOMFET), transistor de efeito de campo de DNA (DNAFET), transistor de efeito de campo de semicondutor e metal (MESFET), transistor de alta mobilidade de elétrons (HEMT), diodos epitaxiais de recuperação rápida (FREDFET), transistor de efeito de campo sensível a íons (ISFET), transistor de efeito de campo quimicamente sensível (ChemFET), e transistor de efeito de campo baseados em grafeno (GFET).

13 - **TRANSISTOR**, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado por** os materiais de estruturas unidimensionais (1D) compreenderem nanotubos de carbono de parede simples, nanotubos de carbono de paredes múltiplas, nanofitas de grafeno, nanofios semicondutores inorgânicos Grupo IV - nanofios de Si e Ge, nanofios do Grupo III-V InAs,

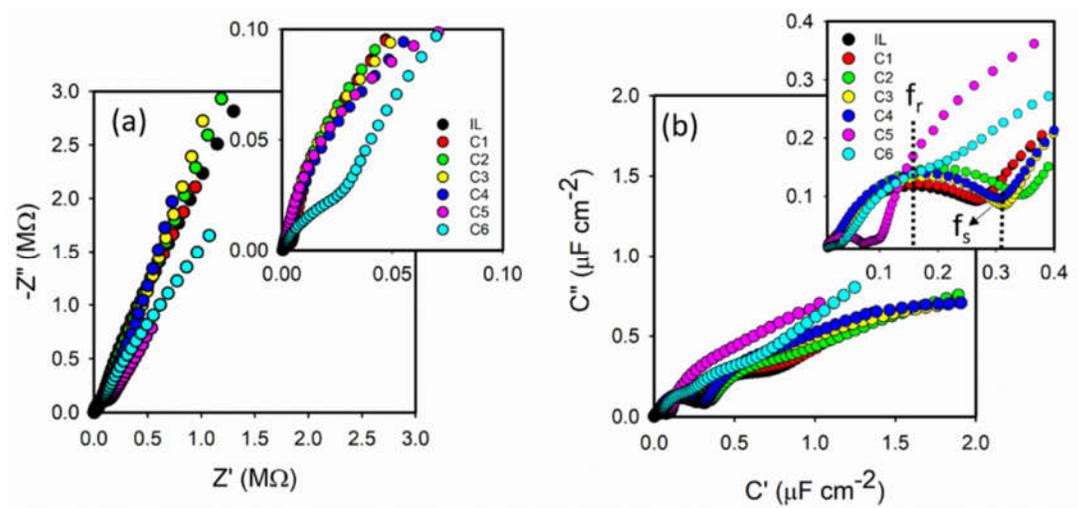
GaAs, GaN, nanofios do Grupo II-VI CdS, CdSe, ZnSe e nanofios de óxido metálico, como ZnO e SnO<sub>2</sub>.

14 - **TRANSISTOR**, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado por** os materiais de estruturas bidimensionais (2D) compreenderem grafeno e seus derivados: grafeno obtido por deposição química em fase de vapor, grafeno epitaxial crescido em substratos de carbetto de silício, grafeno obtido por esfoliação mecânica, óxido de grafeno e óxido de grafeno reduzido obtido pelo método de Hummers, *crumpled* grafeno, nanofitas de grafeno; grafeno dopado com nitrogênio, fósforo, enxofre, oxigênio, boro, além dos átomos pertencentes ao grupo dos metais alcalinos e ao grupo dos halogênios, e outros; nanocompósitos formado por grafeno/nanopartículas metálicas, grafeno/polímeros condutores, grafeno/nanotubos de carbono; materiais 2D *beyond* grafeno, fósforo negro, MoS<sub>2</sub>, WSe<sub>2</sub> h-BN, CrS<sub>2</sub>, CrO<sub>2</sub>, VS<sub>2</sub>, VO<sub>2</sub>, NbSe<sub>2</sub>; nitreto de boro hexagonal e seus nanocompósitos com nanopartículas metálicas, polímeros, nanomateriais de carbono (grafeno e nanotubos), entre outros.

15 - **TRANSISTOR**, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado por** o contato elétrico sobre os materiais depositados sobre os substratos poderem ser titânio/ouro, titânio/platina, cromo/ouro, platina, prata pura, prata/estanho, prata/níquel, e outros tipos de prata, prata/óxido de cádmio, prata/óxido de estanho, tungstênio/prata, tungstênio/cobre, ativação de fósforo em Si epitaxial, Ge, Ge<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>, Si<sub>y</sub>Ge<sub>1-x-y</sub>Sn<sub>x</sub>.



**Figura 1**



**Figura 2**

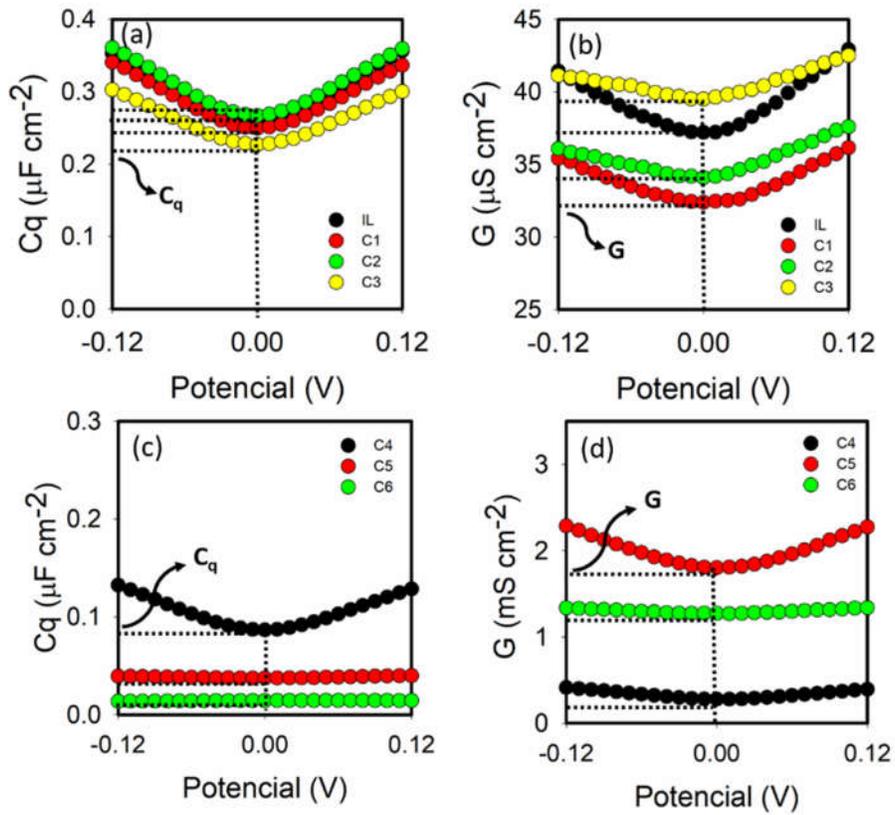


Figura 3

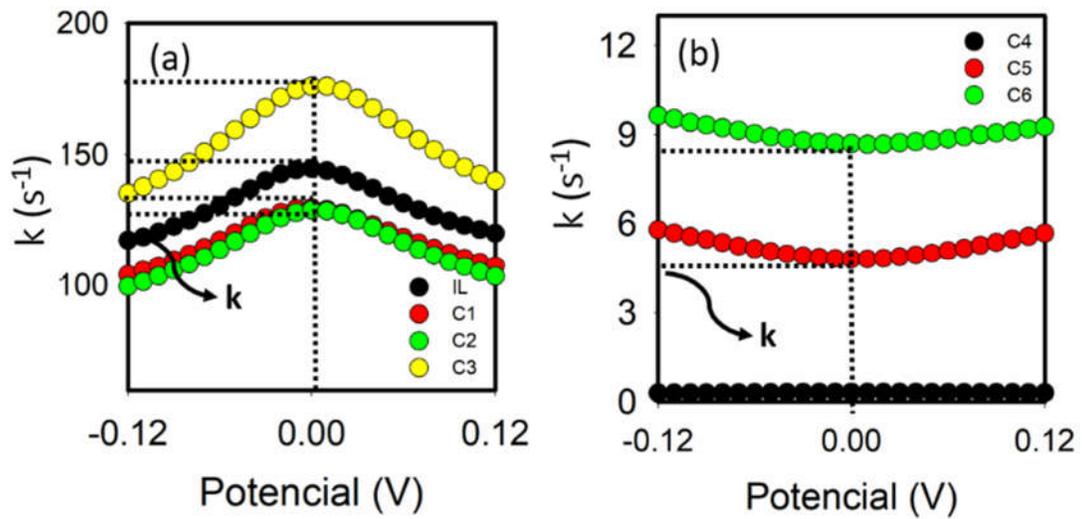
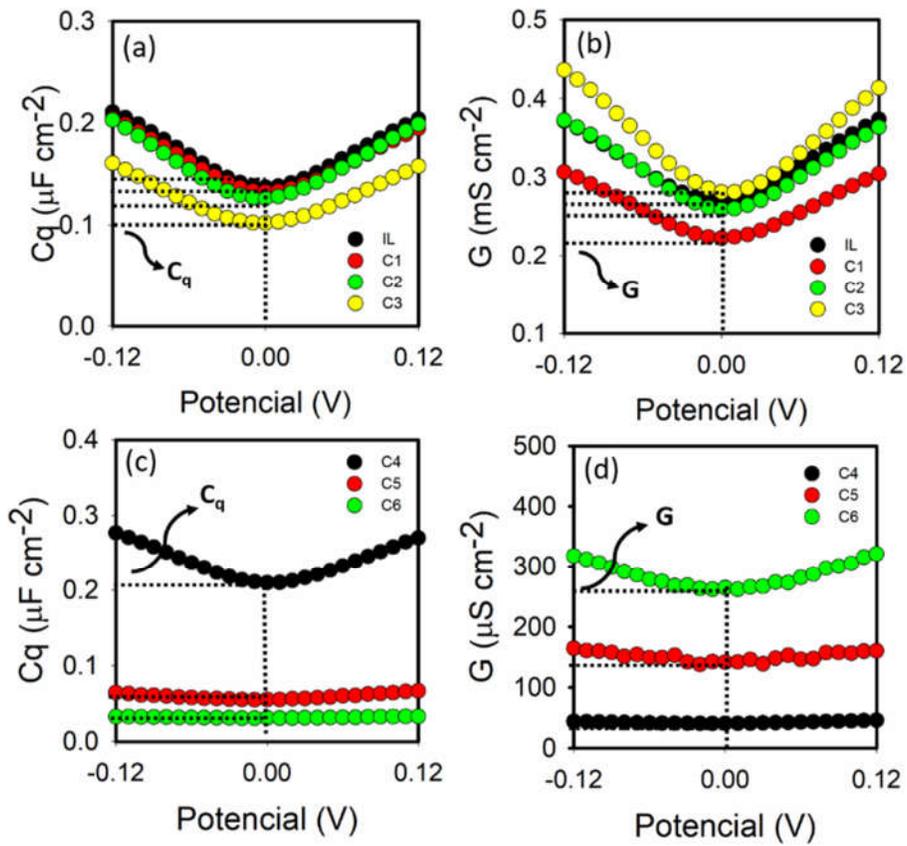
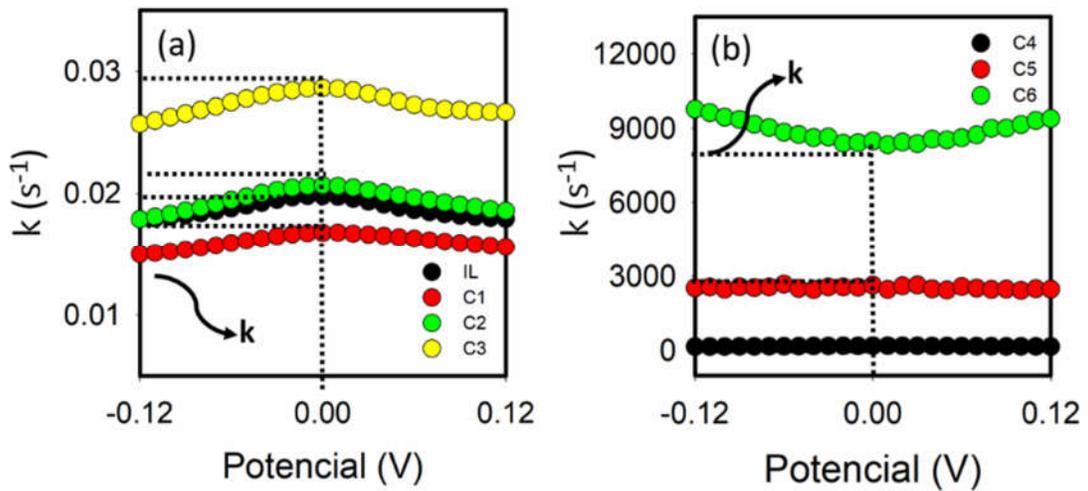


Figura 4



**Figura 5**



**Figura 6**

## RESUMO

**MÉTODO DE PREPARAÇÃO DE TRANSISTOR QUÂNTICO E TRANSISTOR QUÂNTICO MODIFICADO**

Trata a presente invenção de um novo método de preparação de transistor quântico e transistor quântico modificado, o qual trata-se de um dispositivo eletroeletrônico da área de microeletrônica formado por, ou então contendo, estruturas do tipo unidimensionais ou bidimensionais que apresentam condutância e capacitância quântica, correlacionados por emaranhamento quântico; onde o transistor quântico obtido funciona em modo A.C. (corrente alternada) ou por perturbações transientes. Estes permitem todas as aplicações já disponíveis em transistores clássicos que operam em modo D.C. (corrente contínua), mas com vantagens adicionais que permeiam maiores sensibilidades e melhor desempenho de transporte eletrônico e de informação a longas distâncias no dispositivo, propriedades intrínsecas dos fenômenos quânticos e novas arquiteturas de transistores até então não possíveis de serem realizadas em modo D.C., como tem sido o caso dos transistores clássicos.