



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2022 00342

(22) Data de depozit: 16/06/2022

(41) Data publicării cererii:
29/12/2023 BOPI nr. 12/2023

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
MICROTEHNOLOGIE-IMT BUCUREȘTI,
STR.EROU IANCU NICOLAE 126A,
VOLUNTARI, IF, RO

(72) Inventatori:
• MOAGAR-POLADIAN GABRIEL,
ALEEA FUIORULUI NR.6, BL.Y3A, SC.1,
ET.6, AP.27, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B,
RO;
• MOAGAR-POLADIAN VICTOR,
ALEEA STANILANR.7, BL.H10, SC.C, ET.2,
AP.51, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO

(54) SENZOR DE PRESIUNE FOLOSIND TRANZISTOR CU EFECT
DE CÂMP CU DIELECTRIC ELASTOMERIC

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un senzor de presiune care folosește un tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric sau, în general, realizat dintr-o structură materială deformabilă reversibil. Senzorul de presiune, conform invenției, poate fi în varianta de tranzistor MOS sau în cea de tranzistor TFT. În varianta de tranzistor MOS, acesta este alcătuit dintr-un substrat (1) semiconductor care conține drena (2) și sursa (3) formate din regiuni semiconductoare cu dopaj opus celui al substratului și având deasupra metal, peste acest substrat (1), în care se formează canalul drenă-sursă, aflându-se un strat (5) dielectric, iar peste acesta se află un dielectric (6) elastomer, deasupra căruia se află electrodul (7) de poartă format dintr-un material conductor electric. În varianta TFT, senzorul este format dintr-un substrat (1) izolator electric pe care sunt depuse drena (2) și sursa (3) tranzistorului, formate, de regulă, din metal, peste care este depus un material (4) semiconductor în care se formează canalul drenă-sursă, peste care se depune apoi dielectricul (6) elastomer peste care este depus un electrod (7) de poartă, fabricat dintr-un material conductor electric. În ambele variante, pe electrodul (7) de poartă se poate afla cel puțin un strat (9) de material protector. Pentru funcționare, senzorul folosește cel puțin unul, de preferință

mai multe, dintre mecanismele următoare, și anume: modificarea transconductanței tranzistorului cu efect de câmp, efectul piezorezistiv în canalul drenă-sursă, efectul piezoelectric în dielectricul (6) elastomer, respectiv, efectul flexoelectric în dielectricul (6) elastomer, atunci când se aplică o tensiune pe electrodul (7) de poartă.

Revendicări: 14
Figuri: 6

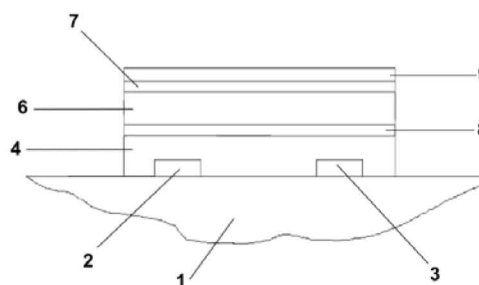


Fig. 1



SENZOR DE PRESIUNE FOLOSIND TRANZISTOR CU EFECT DE CÂMP CU DIELECTRIC ELASTOMERIC

Inventatori: Gabriel MOAGAR-POLADIAN, Victor MOAGAR-POLADIAN

Descriere:

Invenția se referă la un senzor de presiune care folosește un tranzistor cu efect de câmp al cărui dielectric de poartă este un elastomer sau, în general, o structură materială deformabilă reversibil. Prin tranzistor cu efect de câmp sunt considerate atât tranzistoarele de tip MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) cât și cele de tip TFT (Thin Film Transistor).

Este cunoscut un tip de senzor de presiune cu tranzistor MOS care utilizează o punte Wheatstone formată din două tranzistoare MOS și, respectiv, două elemente care prezintă efect piezorezistiv, fabricația făcându-se prin tehnologii specifice MEMS.

Dezavantajele acestui tip de senzor de presiune sunt:

- răspunsul său este dat doar de către efectul piezorezistiv
- folosește o tehnologie relativ complexă de fabricație
- nu permite o reglare prea amplă a caracteristicilor mecano-electrice ale senzorului

Este cunoscut un tip de senzor de presiune care folosește un tranzistor cu efect de câmp având în structura sa un sandwich de material piezoelectric de tipul PVDF-TrFE și material 2-dimensional MoS₂.

Dezavantajele acestui tip de senzor de presiune sunt:

- răspunsul său este dat doar de către efectul piezoelectric

Este cunoscut un tip de senzor de presiune care folosește un tranzistor MOS a cărui poartă este suspendată deasupra canalului drenă-sursă, dielectricul de poartă fiind fie aer, fie vid.

Dezavantajele acestui tip de senzor de presiune sunt:

- electrodul de poartă se poate rupe relativ ușor atunci când se aplică presiunea
- folosește o tehnologie relativ complexă de fabricație
- nu permite o reglare prea amplă a caracteristicilor mecano-electrice ale senzorului
- în cazul unor polarizări puternice între poartă și canalul drenă-sursă pot să apară scurgeri de sarcină de la poartă la canalul drenă-sursă, perturbând astfel funcționarea tranzistorului

Este cunoscut un senzor de presiune care folosește un tranzistor MOS al cărui dielectric de poartă conține un strat de electret.

Dezavantajele acestui tip de senzor de presiune sunt:

- răspunsul său este dat doar de către efectul piezoelectric
- nu permite o reglare prea amplă a caracteristicilor mecano-electrice ale senzorului
- are o tehnologie de fabricație destul de complexă
- are o variație semnificativă a sensibilității cu temperatura ambiantă datorată dependenței polarizării electrice a electretului de temperatură

Problema pe care o rezolvă invenția constă în aceea că oferă un senzor de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp care este mai sensibil decât cei din stadiul tehnicii deoarece folosește un material robust, înalt deformabil, care permite reglarea parametrilor mecano-electrici pe o gamă largă de valori, senzorul putând fi fabricat atât prin tehnologie CMOS uzuală cât și prin procese tehnologice de cost redus.

Soluția problemei, conform invenției, constă în utilizarea unui material elastomer drept dielectric de poartă al tranzistorului, ca atare sau structurat 3D, care permite o modificare sesizabilă a grosimii



hl

dielectricului de poartă la aplicarea unei presiuni mici, material elastomer care poate fi simplu sau de tip compozit. În cazul în care este compozit, matricea elastomeră va conține cel puțin un tip de nanoparticule și/sau alți polimeri având proprietăți electrice și mecanice bine controlate al căror rol este să ofere o comportare mecanică și/sau electrică a sensorului de presiune conform aplicațiilor în care acesta este utilizat. De asemenea, dielectricul poate avea proprietăți piezoelectrice și/sau flexoelectrice.

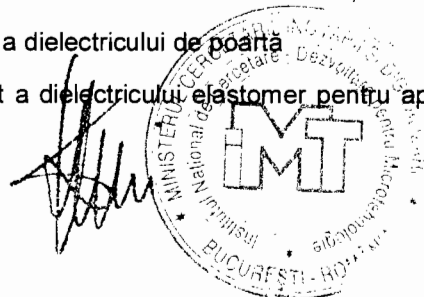
Tot de asemenea, sensorul poate oferi minimum trei mecanisme independente de variație a semnalului electric de ieșire în funcție de presiunea aplicată, mecanisme de variație al căror răspuns individual se adună unul cu altul, precum și posibilitatea de a folosi armonicile semnalului electric sinusoidal aplicat pe poarta tranzistorului pentru citirea variației de presiune.

Avantajele sensorului de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric sunt:

- este ușor de fabricat, putându-se folosi de exemplu tehnologie de inkjet printing
- proprietățile mecanice dar și cele dielectrice ale dielectricului de poartă și, deci, răspunsul mecano-electric pot fi ușor reglate pe o gamă largă de valori prin compoziția dielectricului de poartă, inclusiv prin folosirea unor compozite nanoparticule-elastomer
- sensibilitate crescută prin folosirea mai multor mecanisme de sesizare a presiunii, dintre care menționăm variația capacității condensatorului de poartă (format de electrodul de poartă, de dielectricul de poartă și de canalul drenă-sursă), efectul piezorezistiv care apare în canalul conductiv din substrat, efectul piezoelectric care apare în cazul folosirii unui elastomer piezoelectric sau care conține micro/nanoparticule piezoelectrice, respectiv efectul flexoelectric în cazul unui dielectric de poartă neomogen
- proprietățile mecanice dar și cele dielectrice ale dielectricului de poartă și, deci, răspunsul mecano-electric pot fi ușor reglate prin compoziția dielectricului de poartă, inclusiv prin folosirea unor compozite nanoparticule-elastomer
- izolare electrică poartă-canal mult mai bună decât în cazul tranzistoarelor MOS cu electrod mobil în gaz sau în vid
- electrodul de poartă nu se rupe în caz de supra-presiune
- dacă substratul este flexibil (se poate curba), sensorul poate măsura deformarea acestuia prin variația grosimii dielectricului de poartă ca urmare a întinderii / compresiei acestuia
- elastomerul poate fi de tip gel, având o deformabilitate foarte mare (de exemplu, PDMS depus și lăsat să reticuleze la temperatura camerei), oferind astfel sensorului sensibilitate mare
- elastomerul poate fi configurat 3D, de exemplu prin nanolitografie cu absorbție de doi fotoni, astfel încât să se obțină proprietățile electro-mecanice dorite prin reglarea deformabilității ca urmare a micro/nanostructurării acestuia
- oferă posibilitatea de compensare a variației sensibilității sensorului cu temperatura ambiantă
- într-una dintre variante, pe poartă se poate aplica o tensiune electrică variabilă cu o frecvență egală cu frecvența de rezonanță mecanică a elastomerului, ceea ce face ca să apară o modulare mare a curentului din canal (efect capacitiv + efect piezorezistiv + efect piezoelectric + efect flexoelectric). Orice presiune aplicată asupra sensorului, mai precis electrodului de poartă al acestuia, modifică frecvența de rezonanță și, deci, modularea curentului din canal (scoaterea din rezonanță duce la scăderea modulării). În plus, prin folosirea mai multor mecanisme de măsură se obțin armonice ale frecvenței respective, armonice a căror amplitudine depinde de valoarea presiunii aplicate și care pot fi citite independent.

În continuare este descrisă invenția în conformitate cu figurile 1 – 4 care reprezintă:

- Figura 1: structura schematică a sensorului în varianta de tranzistor TFT, vedere laterală
- Figura 2: structura schematică a sensorului în varianta de tranzistor MOS, vedere laterală
- Figura 3: schiță a structurii de tip compozit a dielectricului de poartă
- Figura 4: schița structurii de tip multi-strat a dielectricului elastomer pentru apariția efectului flexoelectric



- Figura 5: schema montajului de tip punte Wheatstone pentru citirea senzorului

- Figura 6: exemplu de structurare a stratului dielectric de poartă din elastomer folosind nanolitografia cu fotopolimerizare prin absorbție de doi fotoni - imagine de la microscopul cu baleierea fascicolului de electroni a unei structuri 3D de polimer realizată prin nanolitografia cu absorbție de doi fotoni (preluare de pe site-ul <https://www.nanoscribe.com/en/applications/3d-microfabrication-of-high-precision-structures-for-material-engineering>, accesat în data de 20.05.2022)

Senzorul de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric este format dintr-un substrat **1** care conține drena **2** și sursa **3** a tranzistorului.

În cazul unui tranzistor de tip TFT, drena **2** și sursa **3** sunt depuse pe substrat și sunt formate, de regulă, din metal. Substratul **1** este de regulă izolator în cazul tranzistoarelor TFT.

În cazul unui tranzistor de tip MOS, drena **2** și sursa **3** sunt realizate în substrat prin doparea locală a acestuia cu impurități opuse celei care dozează substratul **1** și au prevăzute apoi, deasupra lor, contacte metalice ohmice. În cazul tranzistorului MOS substratul **1** este întotdeauna semiconductor.

Apoi, în cazul tranzistorului de tip TFT, se depune materialul **4** care formează canalul drenă-sursă, peste care se depune apoi dielectricul elastomer **6**.

În cazul tranzistorului de tip MOS se depune, eventual, un strat **5**. Stratul **5** se poate obține fie prin depunere fizică sau chimică a unui dielectric subțire fie prin oxidarea termică a substratului **1**, rolul său fiind acela de a controla stările de suprafață de la interfața substrat **1** – strat **5**. Peste stratul **5** se depune apoi dielectricul elastomer **6**.

Dielectricul elastomer **6** poate fi omogen sau poate fi de tip compozit. În cazul când este de tip compozit, acesta conține matricea elastomerică **6a** în care există micro/nanoparticulele **6b**, micro/nanoparticule care au rolul de a regla proprietățile electrice și/sau mecanice ale matricii elastomere **6a**. Micro/nanoparticulele pot fi formate dintr-un material cu un singur tip de compoziție sau, în alte situații, din cel puțin două tipuri diferite de micro/nanoparticule.

În cazul în care dielectricul elastomer **6** este structurat 3D, între acesta și stratul **4** (tranzistor TFT), respectiv materialul **5** (tranzistor MOS) se depune un electrod **8** pentru uniformizarea câmpului electric aplicat canalului drenă-sursă.

Apoi, indiferent de tipul de tranzistor TFT sau MOS, peste dielectricul elastomer **6** se depune electrodul de poartă **7**, care este un material conductor, de preferință metal. Peste acesta se depune apoi stratul **9** protector.

Pentru fiecare depunere de material, stratul pe care acesta se depune poate fi mai întâi funcționalizat fizic (de exemplu tratament în plasmă de oxigen de putere mică) sau chimic (de exemplu cu straturi moleculare de modificare a tensiunii superficiale și a aderenței) astfel încât să se asigure proprietățile de udare și de aderență corespunzătoare unei bune stabilități a tranzistorului realizat.

Depunerile și procesările substratului și diferitelor părți componente se fac prin tehnologii în sine cunoscute, disponibile comercial, și de aceea nu le vom detalia aici.

Senzorul de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric funcționează astfel: presiunea se aplică, de preferință vertical, pe electrodul de poartă **7** al tranzistorului. Ca urmare a acestei acțiuni, dielectricul elastomer **6** se comprimă, micșorând distanța dintre electrodul de poartă **7** și materialul conductor **4** (în cazul tranzistorului de tip TFT), respectiv distanța dintre electrodul de poartă **7** și substratul **1** (în cazul tranzistorului MOS). Consecința acestei micșorări a distanței este aceea că este crescută valoarea capacității de poartă C_d , ceea ce duce la creșterea curentului drenă-sursă I_{DS} , în condițiile în care tensiunea electrică de poartă (poartă-sursă) V_{GS} și cea drenă-sursă V_{DS} sunt constante, conform formulei:

$$I_{DS} = \frac{W}{L} * \mu * C_d * \left[(V_{GS} - V_0) * V_{DS} - \frac{1}{2} * V_{DS}^2 \right] \quad (1)$$

unde I_{DS} reprezintă curentul drenă-sursă, W este lățimea canalului drenă-sursă, L este lungimea canalului drenă-sursă, V_{GS} este tensiunea poartă-sursă, V_0 este tensiunea de prag, V_{DS} este tensiunea drenă-sursă, μ este mobilitatea purtătorilor de sarcină în canalul drenă-sursă iar C_d reprezintă capacitatea dielectricului



de poartă (în aproximația inversiei puternice). După încetarea aplicării presiunii, dielectricul elastomer **6** revine la forma inițială.

Variația curentului drenă-sursă este citită în circuitul exterior. Practic, este vorba de modularea transconducanței tranzistorului. Menționăm faptul că, indiferent de modelul utilizat pentru a descrie expresia curentului drenă-sursă în funcție de tensiunile electrice aplicate (de exemplu Ithantola-Moll, Saha, sau alte modele), dependența curentului drenă-sursă este liniară în capacitatea de poartă.

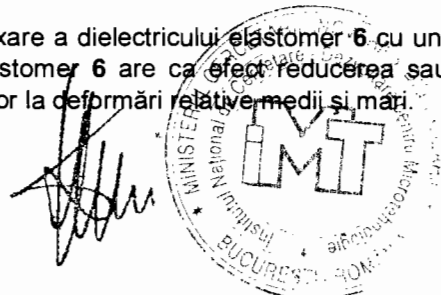
Senzorul propus de noi permite modularea curentului drenă-sursă I_{DS} prin variația capacității C_d datorate variației grosimii dielectricului elastomer **6**, prin variația mobilității μ prin efectul piezorezistiv (dacă acesta poate apărea în canalul drenă-sursă) datorat transmiterii presiunii de la electrodul de poartă **7** la dielectricul elastomer **6** și de la acesta mai departe la materialul **4** (tranzistor TFT) sau substratului **1** (tranzistor MOS), precum și prin variația tensiunii de prag V_0 prin efect piezoelectric în cazul în care dielectricul elastomer **6** are și proprietăți piezoelectrice, dar și prin variația tensiunii de prag V_0 ca urmare a efectului flexoelectric care apare în dielectricul elastomer **6** având astfel de proprietăți.

Presiunea poate fi produsă prin cel puțin una dintre variantele: apăsare pe electrodul de poartă **7** cu o anumită forță, sau aplicarea unei presiuni de fluid (gaz, lichid) asupra acestui electrod de poartă **7**, sau aplicarea presiunii unei unde acustice care se deplasează prin mediul situat deasupra electrodului de poartă **7** perpendicular sau oblic față de acest electrod **7**, sau aplicarea unei accelerații care are cel puțin o componentă pe direcția perpendiculară pe suprafața electrodului de poartă **7**, caz în care forța de inerție va face ca electrodul de poartă **7** să se deplaseze în raport cu materialul conductor **4** (tranzistor TFT), respectiv substrat **1** (tranzistor MOS). În cazul accelerației, deasupra electrodului de poartă **7** și situat chiar pe acesta se poate plasa un material dens având o densitate mare și o anumită grosime, rolul acestui material dens fiind acela de a măări presiunea datorată forței de inerție în cazul mișcării accelerate. De asemenea, dacă substratul **1** este flexibil, presiunea aplicată asupra senzorului se poate datora curbării substratului, ceea ce are ca efect variația grosimii dielectricului elastomer **6** și tensionarea mecanică a canalului drenă-sursă din materialul **4** (tranzistor TFT), respectiv din substratul **1** (tranzistor MOS). În această ultimă variantă, senzorul poate măsura curbura substratului **1**.

Pentru a optimiza acest tip de senzor, se poate apela la utilizarea efectului piezorezistiv. Astfel, materialul **4** (tranzistor TFT), respectiv substratul **1** semiconductor (tranzistor MOS), este ales astfel încât să prezinte efect piezorezistiv. În acest caz, trebuie considerate doar acele materiale și acele orientări cristaline (în cazul substratului **1** semiconductor) pentru care rezistivitatea electrică scade cu creșterea presiunii aplicate asupra lor. În acest caz, senzorul funcționează astfel: presiunea aplicată pe electrodul de poartă **7** se aplică dielectricului elastomer **6** modificând astfel capacitatea de poartă. În plus, prin intermediul dielectricului elastomer **6**, presiunea este transmisă materialului **4** (tranzistor TFT), respectiv substratului **1** semiconductor (tranzistor MOS), producând variația rezistivității electrice a canalului drenă-sursă. Astfel, creșterea curentului drenă-sursă se face atât prin creșterea capacității de poartă cât și prin scăderea rezistivității electrice a canalului drenă-sursă.

De asemenea, tot în scopul optimizării parametrilor senzorului, dielectricul elastomer **6** poate fi format dintr-un compozit conținând o matrice **6a** elastomeră și micro/nanoparticule **6b**. Aceste micro/nanoparticule **6b** pot oferi, după caz, reglarea proprietăților mecanice ale dielectricului elastomer **6** cum ar fi, de exemplu dar fără a restrânge generalitatea, rigiditatea mecanică sau reglarea proprietăților electrice ale dielectricului elastomer **6** cum ar fi, de exemplu dar fără a restrânge generalitatea, permitivitatea electrică. De asemenea, micro/nanoparticulele **6b** pot fi alcătuite dintr-un material piezoelectric cum ar fi, de exemplu dar fără a restrânge generalitatea, $BaTiO_3$. Mai mult, dielectricul elastomeric **6** poate fi alcătuit dintr-un amestec de polimeri dintre care unul elastomeric iar celălalt având proprietăți mecanice și/sau termice și/sau electrice diferite, un caz particular fiind acela în care acest al doilea polimer este piezoelectric cum ar fi, de exemplu dar fără a restrânge generalitatea, PVDF-TrFE. În acest din urmă caz, dielectricul elastomer **6** capătă proprietăți piezoelectrice. Atât în cazul utilizării unor micro/nanoparticule **6b** piezoelectrice cât și în cazul utilizării unui amestec de polimeri din care unul elastomer și unul piezoelectric, trebuie ca materialul piezoelectric să producă o polarizare electrică în lungul direcției de acțiune a forței / presiunii, și anume pe direcția normală la canalul drenă-sursă, mai precis pe materialul **4** (tranzistor TFT), respectiv pe substratul semiconductor **1** (tranzistor MOS).

De asemenea, un alt caz particular de mixare a dielectricului elastomer **6** cu un alt polimer este acela în care polimerul adăugat dielectricului elastomer **6** are ca efect reducerea sau chiar anularea efectului de histeresis mecanic specific elastomerilor la deformări relative medii și mari.



În cazul utilizării acestor materiale piezoelectrice, în cele două variante menționate în paragraful anterior, mecanismul de funcționare al senzorului cuprinde atât modularea transconductanței tranzistorului prin modularea capacității de poartă cât și modularea conductivității canalului drenă-sursă prin câmpul electric normal pe canal generat de către dielectricul elastomer 6 având proprietăți piezoelectrice. Mai mult, pentru a optimiza sensibilitatea senzorului se pot folosi în combinație toate cele trei mecanisme menționate anterior și anume modularea transconductanței, a rezistivității canalului drenă-sursă prin efect piezorezistiv și, respectiv, a conductivității canalului drenă-sursă prin câmpul electric generat prin efect piezoelectric în dielectricul elastomer 6. În acest caz, materialul 4 (tranzistor TFT), respectiv substratul semiconductor 1 (tranzistor MOS) vor fi alcătuite din materiale piezorezistive în timp ce dielectricul elastomer 6 va avea proprietăți piezoelectrice.

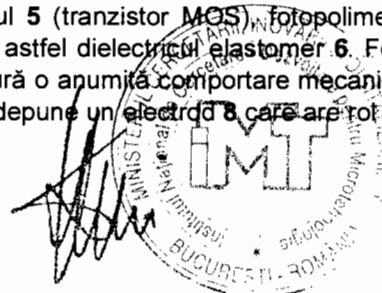
De asemenea, dielectricul elastomer 6 poate fi alcătuit dintr-o succesiune de straturi 6-1...6-n, cu 'n' număr natural, paralele cu canalul drenă-sursă și având proprietăți mecanice diferite și/sau gradient al formei (de exemplu, dar fără restrânge generalitatea, trunchi de piramidă cu baza dreptunghiulară), în așa fel încât în dielectricul elastomer 6 să apară un câmp electric datorat efectului flexoelectric atunci când acesta este presat. Acest câmp electric, perpendicular pe canalul drenă-sursă, se va adăuga câmpului electric produs de tensiunea poartă-sursă, schimbând astfel valoarea curentului drenă-sursă. Câmpul electric produs de efectul flexoelectric este liniar în forța aplicată.

O problemă importantă care poate apare în cazul elastomerilor este cea a unui coeficient de dilatare termică de valori ridicate. Astfel, dacă senzorul este supus unor variații de temperatură, dielectricul elastomer 6 se poate dilata termic și astfel poate modifica capacitatea de poartă, lucru care ar fi interpretat în mod eronat ca un semnal de presiune. Pentru a compensa acest efect, senzorul este conectat într-o punte de tip Wheatstone. Pe una dintre ramurile punții se află senzorul, pe ramura alăturată un tranzistor identic cu senzorul ca geometrie și materiale utilizate și care are rol de referință, pe celelalte două ramuri fiind plasați doi rezistori identici de valoare R_0 , valoare astfel aleasă încât puntea să fie la echilibru (ieșire semnal egală cu zero atunci când puntea este alimentată electric) în absența unei presiuni aplicate pe senzor. Dacă temperatura variază, atât tranzistorul care alcătuiește senzorul cât și cel de referință își vor modifica capacitatea de poartă în același fel și, deci, curentul drenă-sursă din fiecare ramură va varia în același mod, ceea ce va face ca puntea să rămână în echilibru. Astfel, puntea se va dezechilibra doar în momentul în care pe tranzistorul care alcătuiește senzorul se aplică o presiune.

Într-o altă variantă, pe electrodul de poartă 7 se aplică o tensiune electrică continuă peste care se suprapune una de tip sinusoidal a cărei frecvență este egală cu frecvența de rezonanță mecanică a dielectricului elastomer 6 la mișcarea verticală a acestuia (adică normal pe electrodul de poartă 7) astfel încât, datorită câmpului electric dintre electrodul de poartă 7 și canalul drenă-sursă, dielectricul elastomer 6 va începe să oscileze. Frecvența de rezonanță este dată de proprietățile mecanice ale dielectricului elastomer 6, de grosimea acestuia și de masa electrodului de poartă 7. Atât variația capacității de poartă cât și stresul mecanic aplicat asupra canalului drenă-sursă și care modulează conductivitatea acestui canal prin efect piezorezistiv cât și, respectiv, eventualul efect piezoelectric, vor face ca amplitudinea curentului drenă-sursă la frecvența respectivă să fie mai mare decât la orice altă frecvență. De asemenea, deoarece atât tensiunea electrică aplicată cât și capacitatea de poartă, respectiv conductivitatea electrică a canalului drenă-sursă, variază la aceeași frecvență, curentul drenă-sursă va conține și armonice ale frecvenței de rezonanță, cea mai importantă dintre acestea fiind armonică a doua (dublul frecvenței inițiale), a cărei amplitudine depinde de amplitudinea frecvenței de inițiale de oscilație precum și de proprietățile de disipare mecanică ale dielectricului elastomer 6. Dacă pe electrodul de poartă 7 se aplică o presiune, atunci se iese din condiția de rezonanță și amplitudinea armonicii a doua a curentului drenă-sursă va scădea, lucru ce se va putea observa în circuitul exterior de citire a senzorului. De asemenea, dacă o pe electrodul de poartă 7 se depune, de exemplu, un strat subțire sau se adsoarbe o masă de material, atunci se iese din condiția de rezonanță și amplitudinea componentei curentului de drenă-sursă la frecvența inițială se va micșora.

În toate situațiile (TFT, MOS), grosimea dielectricului elastomer 6 este mai mică decât distanța dintre drena 2 și sursa 3, de preferință de cel puțin 10 ori mai mică.

De asemenea, în oricare dintre aceste variante de tranzistor (TFT, MOS) dielectricul elastomer 6 poate fi configurat 3D prin tehnici în sine cunoscute. De exemplu, se poate porni de la un fotopolimer depus pe materialul 4 (tranzistor TFT), respectiv pe materialul 5 (tranzistor MOS) fotopolimer care poate fi polimerizat prin absorbție optică de doi fotoni rezultând astfel dielectricul elastomer 6. Folosind această tehnică, se pot realiza micro/nanostructuri 3D care asigură o anumită comportare mecanică și electrică a dielectricului 6, reglată după necesități. În acest caz, se depune un electrod 8 care are rol de a uniformiza



câmpul electric aplicat canalului drenă-sursă. Acest electrod **8** este flotant și nu este legat la circuitul exterior, fiind situat între materialul **4** (tranzistor TFT), respectiv materialul **5** (tranzistor MOS), și dielectricul elastomer **6**.

Tot de asemenea, în toate situațiile, electrodul de poartă **7** poate avea deasupra sa cel puțin un strat **9** de material protector cu rolul de a reduce riscul deteriorării acestuia ca urmare a exercitării presiunii și/sau a contactului cu fluide care pot ataca chimic electrodul de poartă **7**.

Ca metode de fabricare ale acestui senzor, menționăm:

- în varianta tranzistor TFT, se folosește tehnologia de ink jet printing, prin care diferitele componente se depun prin utilizarea unor cerneluri specifice care conțin materialele respective sau nanoparticulele acestora (în cazul electrozilor de drenă și sursă **2**, respectiv **3**, și a electrodului de poartă **7**). De exemplu, se pornește de la un substrat **1** izolator electric pe care se depun electrozii **2** și **3**. Urmează sinterizarea acestora folosind radiație infraroșie. După sinterizare, se depune materialul **4**. Dacă este cazul, și acestuia i se face un tratament post-depunere de întărire. Urmează apoi depunerea dielectricului elastomer **6**, urmată de tratamentul post-depunere specific (fie tratament cu radiație infraroșie, fie cu radiație ultravioletă pentru reticulare, în funcție de materialul utilizat). Apoi se depune electrodul de poartă **7** care este apoi sinterizat. La final se depune, dacă este nevoie, stratul / straturile de protecție **9** ale electrodului de poartă **7**. Toate aceste procedee sunt în sine cunoscute și nu vor fi detaliate aici. Dacă este necesar, fiecare material peste care se depune un alt strat este mai întâi funcționalizat fizic sau chimic astfel încât să se asigure proprietățile de udare și de aderență corespunzătoare unei bune stabilități mecanice, electrice și chimice a tranzistorului realizat

- în varianta tranzistor MOS, se pornește de la un substrat **1** semiconductor în care, prin procedee în sine cunoscute din industria microelectronică, se realizează drena **2** și sursa **3**, după care se realizează stratul **5** (fie depunere chimică din fază de vapori în anumite condiții, fie oxidare termică a substratului **1** înainte de realizarea drenei **2** și sursei **3**). După aceasta, se depune dielectricul elastomer **6** prin spinning, după care se face tratamentul post-depunere al acestuia. Apoi se depune electrodul de poartă **7**. La final se depune, dacă este nevoie, stratul / straturile de protecție **9** ale electrodului de poartă **7**. Toate aceste procedee sunt în sine cunoscute din industria microelectronică și nu vor fi detaliate aici. Dacă este necesar, fiecare material peste care se depune un alt strat este mai întâi funcționalizat fizic sau chimic astfel încât să se asigure proprietățile de udare și de aderență corespunzătoare unei bune stabilități mecanice, electrice și chimice a tranzistorului realizat

În toate situațiile în care se folosesc materiale piezoelectrice în componența dielectricului elastomer **6**, se aplică inițial un câmp electric vertical pe dielectricul elastomer **6** paralel cu grosimea acestuia, acest câmp electric având rolul de a polariza electric componenta piezoelectrică. După polarizare, câmpul electric extern este îndepărtat iar tranzistorul poate fi folosit mai departe în aplicații.

În continuare sunt prezentate câteva exemple de realizare a senzorului.

În varianta de tranzistor TFT, se pornește de la un substrat **1** izolator electric. Acesta poate fi sticlă sau polimer de tip PET. Prin inkjet printing se depun doi electrozi din argint care formează drena **2** și sursa **3**, inclusiv traseele lor până la contactele externe. Depunerea de electrozi se face folosind o cerneală pe bază de nanoparticule metalice, de exemplu, dar fără a restrânge generalitatea, pe bază de nanoparticule de argint. După depunere, are loc sinterizarea cu ajutorul unei lămpi de infraroșu, în cazul folosirii PET ca substrat făcându-se o sinterizare rapidă pentru a preveni topirea sa. Apoi, tot prin inkjet printing, se depune materialul **4** care este un semiconductor organic, de exemplu PEDOT:PSS. Se realizează o evaporare ușoară a solventului, prin încălzire. Apoi se depune dielectricul elastomer **6** prin inkjet printing, folosindu-se ca elastomer PDMS. Se realizează apoi o încălzire ușoară pentru a grăbi evaporarea solventului, după care se face tratament termic la 90 °C pentru a întări elastomerul. Într-o altă versiune, tratamentul termic se poate face la temperatură mai joasă, elastomerul rezultat fiind mai flexibil. La final, se depune prin inkjet printing electrodul de poartă **7** care este format din argint și se realizează contactul acestuia la circuitul extern prin procedee în sine cunoscute. Într-o altă versiune, dielectricul elastomer **6** este alcătuit dintr-un compozit de PDMS ca matrice **6a** și nanoparticule de sticlă ca material **6b** care conferă proprietăți mecanice de rigiditate mai mare decât a PDMS simplu. Tot într-o altă versiune, dielectricul elastomer **6** este alcătuit dintr-un amestec de PDMS și PCDF-TrFE (solventul inclus) astfel încât rezultă un dielectric elastomer **6** piezoelectric. De asemenea, într-o altă versiune, matricea **6a** este din PDMS iar materialul **6b** este reprezentat din nanoparticule piezoelectrice din BaTiO₃. În aceste două cazuri se aplică inițial un câmp electric vertical pe dielectricul elastomer **6** paralel cu grosimea acestuia, acest câmp electric având rolul de



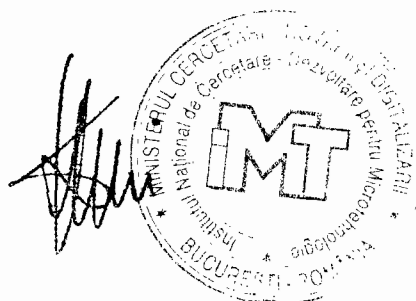
a polariza componenta piezoelectrică. După polarizare, câmpul electric extern este îndepărtat iar tranzistorul poate fi folosit mai departe în aplicații. De asemenea, într-o altă versiune, materialul 4 are proprietăți piezorezistive, de exemplu este PEDOT:PSS. Într-o altă variantă, dielectricul elastomer 6 PDMS este depus și lăsat la evaporare lentă 12 h, după care se depune electrodul de poartă 7, dielectricul elastomer 6 format astfel fiind un gel elastomer și oferind astfel o sensibilitate crescută a senzorului.

În varianta de tranzistor MOS, se pornește de la un substrat semiconductor 1 din Siliciu. Drena 2 și sursa 3 se realizează prin difuzia unui dopant de tip p, de exemplu bor. Se execută traseele de metal până la electrozii de contact externi prin procedee în sine cunoscute în tehnologia microelectronică de depunere și configurare de straturi subțiri metalice. Se efectuează eventuala sinterizare necesară unui bun contact metal-zonă dopată la drenă / sursă. Prin depunere chimică în fază de vapori se depune un strat de material 5 din SiO_2 cu o grosime de 100 nm. Peste acest material 5 se depune, prin spinning, o soluție de elastomer PDMS. După spinning, solventul este evaporat și astfel rămâne în loc dielectricul elastomer 6. Peste acest dielectric elastomer 6 se depune, prin tehnici în sine cunoscute, electrodul de poartă 7 din metal și se realizează conexiunea acestuia la circuitul exterior. Într-o altă versiune, dielectricul elastomer 6 este alcătuit dintr-un compozit de PDMS ca matrice 6a și nanoparticule de sticlă ca material 6b care conferă proprietăți mecanice de rigiditate mai mare decât a PDMS simplu. Tot într-o altă versiune, dielectricul elastomer 6 este alcătuit dintr-un amestec de PDMS și PVDF-TrFE (solventul inclus) astfel încât rezultă un dielectric elastomer 6 piezoelectric. În acest caz, se aplică inițial un câmp electric vertical pe dielectricul elastomer 6 paralel cu grosimea acestuia, acest câmp electric având rolul de a polariza componenta piezoelectrică. După polarizare, câmpul electric extern este îndepărtat iar tranzistorul poate fi folosit mai departe în aplicații. De asemenea, într-o altă versiune, matricea 6a este din PDMS iar materialul 6b este reprezentat din nanoparticule piezoelectrice din BaTiO_3 . Fiind substrat 1 din Siliciu, acesta are proprietăți piezorezistive.

În oricare dintre variantele de tranzistor (TFT, MOS), dielectricul elastomer 6 este format prin structurarea 3D a unui fotopolimer folosind de exemplu, dar fără a restrânge generalitatea, fotopolimerizarea prin absorbția de doi fotoni, rezultând astfel un material mult mai deformabil iar permitivitatea electrică relativă fiind mai mică decât a materialului ca atare nestructurat 3D. În acest caz, se depune inițial, prin ink jet printing, un electrod 8 din argint pe materialul 4 (tranzistor TFT), respectiv pe materialul 5 (tranzistor MOS), după care pe el se depune precursorul care prin fotopolimerizare formează dielectricul elastomer 6.

De asemenea, în oricare dintre variantele de tranzistor (TFT, MOS), dielectricul elastomer 6 este format din mai multe straturi 6-1 ... 6-n, cu 'n' număr natural, având în compoziție PDMS și un alt polimer care reglează proprietățile mecanice, al căror modul Young crește de la stratul 6-n aflat în contact cu electrodul de poartă 7 la stratul 6-1, creșterea modulului Young fiind produsă de raportul diferit între volumul de PDMS și cel de polimer adăugat specific fiecărui strat în parte. Prin aplicarea unei presiuni pe electrodul de poartă 7 apare un câmp electric prin efect flexoelectric, câmp electric care se suprapune peste cel produs de tensiunea electrică aplicată pe electrodul de poartă 7.

Într-un alt exemplu, între electrodul de poartă 7 și sursa 3 se aplică o diferență de potențial cu variație sinusoidală în timp și având amplitudinea de 5 V și frecvența egală cu frecvența de rezonanță mecanică a dielectricului elastomer 6, în acest caz dielectricul elastomer 6 începând să oscileze cu amplitudine mare. Variația capacității de poartă cu câmpul aplicat, precum și variația conductivității electrice a canalului (în cazul utilizării și a efectului piezorezistiv) și, respectiv, a curentului de poartă prin apariția câmpului electric produs prin efect piezoelectric (în cazul utilizării și a efectului piezoelectric) face ca în curentul drenă-sursă să apară armonici ale frecvenței tensiunii electrice aplicate, armonici a căror amplitudine depinde, în general neliniar, de amplitudinea semnalului inițial de frecvență fundamentală (cea de rezonanță). Aplicarea unei presiuni asupra electrodului de poartă 7 face ca frecvența de rezonanță mecanică a dielectricului elastomer 6 să se modifice și, prin aceasta, să se modifice și amplitudinea de oscilație. În acest caz, se vor modifica și amplitudinile armoniilor semnalului inițial, lucru ce poate fi



SENZOR DE PRESIUNE FOLOSIND TRANZISTOR CU EFECT DE CÂMP CU DIELECTRIC ELASTOMERIC

Inventatori: Gabriel MOAGAR-POLADIAN, Victor MOAGAR-POLADIAN

Bibliografie

- [1] P. Ancey, N. Abele, F. Casset - "MOS transistor with a deformable gate", United States Patent 7304358
- [2] W. Buesser - "Pressure-sensitive amplifier stage", United States Patent 8698213
- [3] K. Sato - "Semiconductor pressure sensor and fabrication method thereof", United States Patent 9395258
- [4] K. Sato - "Semiconductor pressure sensor and fabrication method thereof", United States Patent 9117932
- [5] S. Hu, Z. Shi, W. Zhao, L. Wang, G. Yang - "Multifunctional piezoelectric elastomer composites for smart biomedical or wearable electronics", Composites Part B: Engineering vol. 160, p. 595-604, (2019)
- [6] X. Cheng, Y. Gong, Y. Liu, Z. Wu, X. Hu - "Flexible tactile sensors for dynamic triaxial force measurement based on piezoelectric elastomer", Smart Materials and Structures, vol. 29, no. 7, (2020)
- [7] H. Yusuke, O. Masahiro, H. Shinichi, Y. Toshinobu, S. Wataru - "Piezoelectric elastomer composite material and its manufacturing method", JP2002185054 (A) — 2002-06-28
- [8] Z.-H. Zhang, T.-L. Ren, Y.-H. Zhang, R.-R. Han, L.-T. Liu - "Low Power and High Sensitivity MOSFET-Based Pressure Sensor", Chin. Phys. Lett. vol. 29, no. 8, p. 088501, (2012)
- [9] Z.-H. Zhang, Y.-H. Zhang, L.-T. Liu, T.-L. Ren - "A Novel MEMS Pressure Sensor with MOSFET on Chip", Proceedings of IEEE Sensors Conference, p. 1564, (2008)
- [10] W. Park et al. - "Characteristics of a pressure sensitive touch sensor using a piezoelectric PVDF-TrFE/MoS2 stack", Nanotechnology vol. 24, p. 475501, (2013)
- [11] J. A. Voorthuyzen, P. Bergveld - "The PRESSFET: an pressure sensor integrated electret-MOSFET based pressure sensor", Sensor and Actuators, vol. 14, p. 349 - 360, (1988)
- [12] R. V. Bârsan - *Fizica și tehnologia circuitelor MOS integrate pe scară mare*, Ed. Academiei R.S.R., (1982)
- [13] K. Salah, K. Fouad - "Performance Optimization of Pressure Sensor Based on Suspended Gate MOSFET", Advanced Engineering vol. 30, p. 43-53, (2018)
- [14] H. Ji et al - "Giant flexoelectric response via mechanical and material design in elastomers", Mechanics of Materials vol. 165, p. 104186, (2022)

Glosar

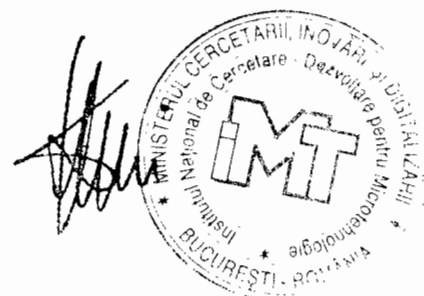
PEDOT:PSS = poly(3,4-ethylenedioxythiophene) : polystyrene sulfonate

PDMS = polydimethylsiloxane

PVDF-TrFE = poly(vinylidene fluoride-co-trifluoroethylene) copolymer

PET = poly(ethylene terephthalate)

MEMS = sisteme micro-electro-mecanice (din engleză Micro-Electro-Mechanical Systems)



SENZOR DE PRESIUNE FOLOSIND TRANZISTOR CU EFECT DE CÂMP CU DIELECTRIC ELASTOMERIC

Inventatori: Gabriel MOAGAR-POLADIAN, Victor MOAGAR-POLADIAN

Revendicări:

Senzor de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric conform invenției caracterizat prin aceea că, în varianta de tip tranzistor TFT, este alcătuit dintr-un substrat **1** izolator electric pe care sunt depuse drena **2** și sursa **3** ale tranzistorului formate, de regulă, din metal, peste care este depus materialul **4** în care se formează canalul drenă-sursă, peste care se depune apoi dielectricul elastomer **6**, pe acest dielectric elastomer **6** fiind depus electrodul de poartă **7** care este un material conductor, de preferință metal, electrodul de poartă **7** putând avea deasupra sa cel puțin un strat **9** de material protector, pentru funcționare senzorul folosind cel puțin unul, de preferință mai multe, dintre mecanismele următoare și anume modificarea transconductanței tranzistorului cu efect de câmp, efectul piezorezistiv în canalul drenă-sursă, efectul piezoelectric în dielectricul elastomer **6**, respectiv efectul flexoelectric în dielectricul elastomer **6** atunci când pe electrodul **7** se aplică o presiune.

2. Senzor de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric conform invenției caracterizat prin aceea că, în varianta de tip tranzistor MOS, este alcătuit dintr-un substrat **1** semiconductor în care sunt realizate, prin doparea acestuia cu impurități opuse celei care dopează substratul **1** și având prevăzute contacte metalice ohmice, drena **2** și sursa **3** ale tranzistorului, peste substratul **1** fiind depus un strat **5** care se poate obține fie prin depunere fizică sau chimică a unui dielectric subțire fie prin oxidarea termică a substratului **1**, rolul său fiind acela de a controla stările de suprafață de la interfața substrat **1** – strat **5**, peste stratul **5** fiind depus dielectricul elastomer **6** iar peste acesta fiind depus electrodul de poartă **7**, electrodul de poartă **7** putând avea deasupra sa cel puțin un strat **9** de material protector, pentru funcționare senzorul folosind cel puțin unul, de preferință mai multe, dintre mecanismele următoare și anume modificarea transconductanței tranzistorului cu efect de câmp, efectul piezorezistiv în canalul drenă-sursă, efectul piezoelectric în dielectricul elastomer **6**, respectiv efectul flexoelectric în dielectricul elastomer **6** atunci când pe electrodul **7** se aplică o presiune.

3. Senzor de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric conform revendicărilor **1** și **2** caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, dielectricul elastomer **6** este alcătuit dintr-un gel elastomer.

4. Senzor de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric conform revendicărilor **1** și **2** caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, substratul **1** în cazul tranzistorului MOS, respectiv materialul **4** în cazul tranzistorului TFT, au proprietăți piezorezistive.

5. Senzor de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric conform revendicărilor **1**, **2** și **4** caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, dielectricul elastomer **6** are și proprietăți piezoelectrice, efectul piezoelectric producând o polarizare electrică în lungul direcției de acțiune a forței / presiunii, și anume pe direcția normală la canalul drenă-sursă, mai precis pe materialul **4** în cazul tranzistorului TFT, respectiv pe substratul semiconductor **1** în cazul tranzistorului MOS, proprietățile piezoelectrice dorite rezultând fie din mixarea matricii elastomere **6a** cu micro/nanoparticule **6b** care prezintă efect piezoelectric, fie prin amestecarea elastomerului dielectric **6** cu un polimer piezoelectric, în toate aceste cazuri aplicându-se inițial un câmp electric vertical pe dielectricul elastomer **6** paralel cu grosimea acestuia, câmpul electric având rolul de a polariza electric componenta piezoelectrică, după polarizare câmpul electric de polarizare externă fiind îndepărtat, iar tranzistorul putând fi folosit apoi în aplicații.

6. Senzor de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric conform revendicărilor **1**, **2** și **4** caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, dielectricul elastomer **6** este alcătuit dintr-o succesiune de straturi **6-1...6-n**, cu 'n' număr natural, paralele cu canalul drenă sursă și având proprietăți mecanice diferite și/sau fiind configurate pe verticală după o anumită formă cum ar fi de exemplu, dar fără a restrânge generalitatea, trunchi de piramidă cu baza dreptunghiulară, astfel încât în dielectricul elastomer **6** să apară un câmp electric datorat efectului flexoelectric, câmp electric care este perpendicular pe canalul drenă-sursă.

7. Senzor de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric conform revendicărilor **1**, **2** și **4** caracterizat prin aceea că dielectricul elastomer **6** poate fi omogen sau poate fi de



tip compozit, în cazul când este de tip compozit acesta conținând matricea elastomeră **6a** în care există micro/nanoparticulele **6b**, micro/nanoparticule care au rolul de regla proprietățile electrice și/sau mecanice ale matricii elastomere **6a**, micro/nanoparticulele **6b** care pot fi formate la rândul lor dintr-un material având o singură compoziție sau, în alte situații, sunt formate din cel puțin două tipuri diferite de micro/nanoparticule.

8. Sensor de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că presiunile care se aplică pot rezulta din cel puțin una dintre situațiile următoare, și anume aplicarea unei forțe / apăsare pe electrodul de poartă **7**, respectiv a unei presiuni a unui fluid pe electrodul de poartă **7**, respectiv a presiunii unor unde acustice perpendiculare sau oblice pe electrodul de poartă **7**, respectiv a unei accelerații care are cel puțin o componentă perpendiculară pe electrodul de poartă **7**, respectiv a curbării substratului **1**.

9. Sensor de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric conform revendicărilor 1-6 caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, tranzistorul cu efect de câmp utilizează ca mecanism de conversie presiune mecanică – semnal electric cel puțin două dintre mecanismele următoare și anume modularea a capacității de poartă, respectiv efectul piezorezistiv, respectiv efectul piezoelectric, respectiv efectul flexoelectric

10. Sensor de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric conform revendicărilor 1-7 caracterizat prin aceea că, pentru a compensa influența temperaturii asupra senzorului, senzorul este conectat într-o punte de tip Wheatstone, pe una din ramurile punții aflându-se senzorul, pe ramura alăturată acestuia fiind un tranzistor identic cu senzorul ca geometrie și materiale utilizate și care are rol de referință, pe celelalte două ramuri ale punții Wheatstone fiind plasați doi rezistori identici de valoare R_0 , valoare astfel aleasă încât puntea să fie la echilibru în absența unei presiuni aplicate pe senzor, variația temperaturii producând o variație identică a capacității de poartă și, prin aceasta, o variație identică a curentului drenă-sursă în cele două tranzistoare păstrând astfel puntea în echilibru, puntea dezechilibrându-se doar în momentul în care pe tranzistorul care alcătuiește senzorul se aplică o presiune.

11. Sensor de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric conform revendicărilor 1-6 caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, dielectricul elastomer **6** este format prin structurarea 3D a unui fotopolimer folosind de exemplu, dar fără a restrânge generalitatea, fotopolimerizarea prin absorbția de doi fotoni, în acest caz în structura tranzistorului fiind inclus și un electrod **8** flotant pentru uniformizarea câmpului electric al electrodului de poartă **7** la nivelul canalului drenă-sursă.

12. Sensor de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric conform revendicărilor 1, 2, 4, 5, 6 și 7 caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, tranzistorul este operat în regim rezonant, și anume prin aplicarea, între electrodul de poartă **7** și sursa **3**, a unei diferențe de potențial cu variație sinusoidală în timp și având frecvența egală cu frecvența de rezonanță mecanică a dielectricului elastomer **6**, în acest caz dielectricul elastomer **6** netensionat mecanic de presiunea externă începând să oscileze cu amplitudine mare pe o direcție perpendiculară pe canalul drenă-sursă, curentul drenă-sursă conținând în acest caz atât o componentă de frecvență egală cu frecvența diferenței de potențial între electrodul de poartă **7** și sursa **3** cât și armonice ale acestei frecvențe, armonici a căror amplitudine depinde, în general neliniar, de amplitudinea semnalului inițial de frecvență fundamentală / de rezonanță mecanică, aplicarea unei presiuni asupra electrodului de poartă **7** făcând ca frecvența de rezonanță mecanică a dielectricului elastomer **6** să se modifice și, prin aceasta, să se modifice și amplitudinea de oscilație a acestuia, astfel modificându-se și amplitudinile armoniilor semnalului inițial, modificare ce poate fi observată în circuitul de citire al tranzistorului.

13. Sensor de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric conform revendicării 1 caracterizat prin aceea că în varianta tranzistor de tip TFT, pentru fabricarea acestuia se folosește tehnologia de ink jet printing care conține cel puțin etapele următoare, și anume pornindu-se de la un substrat **1** izolator electric se depun pe acesta prin ink jet printing electrozii **2** și **3**, efectuându-se apoi sinterizarea acestora folosind radiație infraroșie, după care se depune prin ink-jet printing materialul **4**, acestuia făcându-i-se, după caz, un tratament post-depunere de întărire, urmând apoi depunerea prin ink jet printing a dielectricului elastomer **6**, urmată de tratamentul post-depunere specific acestuia, apoi depunându-se prin ink jet printing electrodul de poartă **7** care este apoi sinterizat, la final depunându-se, dacă este nevoie, stratul / straturile de protecție **9** ale electrodului de poartă **7** și, dacă este necesar, fiecare material peste care se depune un alt strat fiind mai întâi funcționalizat fizic sau chimic astfel încât să se



asigure proprietățile de udare și de aderență corespunzătoare unei bune stabilități mecanice, electrice și chimice a tranzistorului realizat.

14. Senzor de presiune folosind tranzistor cu efect de câmp cu dielectric elastomeric conform revendicării 2 caracterizat prin aceea că în varianta tranzistor de tip MOS, pentru fabricarea acestuia, fabricare ce conține cel puțin etapele următoare, se pornește de la un substrat **1** semiconductor în care, prin procedee în sine cunoscute din industria microelectronică, se realizează drena **2** și sursa **3**, după care se realizează stratul **5** fie prin depunere fizică sau chimică a unui dielectric, fie prin oxidare termică a substratului **1** înainte de realizarea drenei **2** și sursei **3**, după care se depune dielectricul elastomer **6** prin spinning, după care se face tratamentul post-depunere al acestuia, urmată apoi de depunerea, prin tehnici în sine cunoscute, a electrodului de poartă **7**, la final depunându-se, dacă este nevoie și folosind tehnici în sine cunoscute, stratul / straturile de protecție **9** a electrodului de poartă **7** și, dacă este necesar, fiecare material peste care se depune un alt strat fiind mai întâi funcționalizat fizic sau chimic astfel încât să se asigure proprietățile de udare și de aderență corespunzătoare unei bune stabilități mecanice, electrice și chimice a tranzistorului realizat.



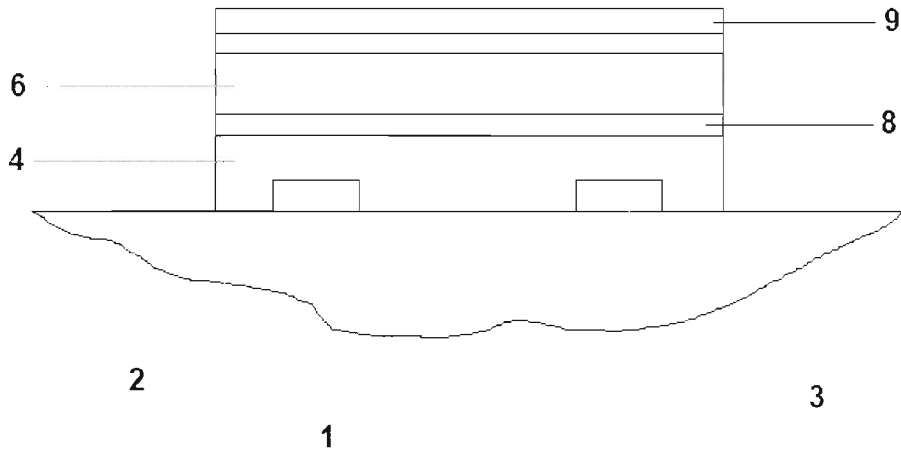
SENZOR DE PRESIUNE FOLOSIND TRANZISTOR CU EFECT DE CÂMP CU DIELECTRIC ELASTOMERIC

Inventatori: Gabriel MOAGAR-POLADIAN, Victor MOAGAR-POLADIAN

Desene:

Figura 1

7



TFT

Figura 2

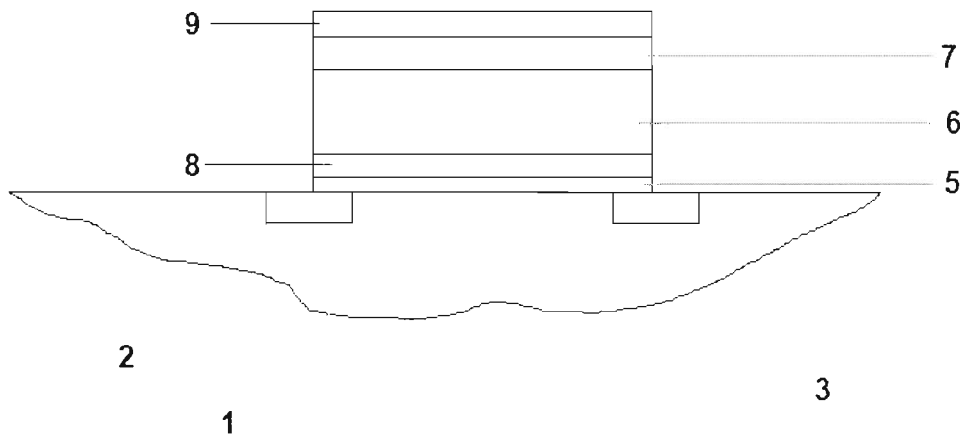


Figura 3

6b

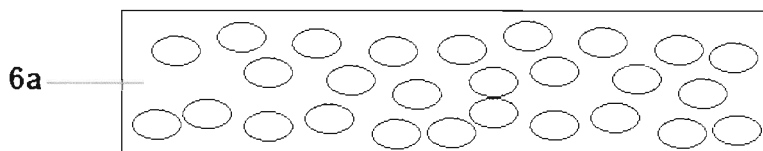


Figura 4

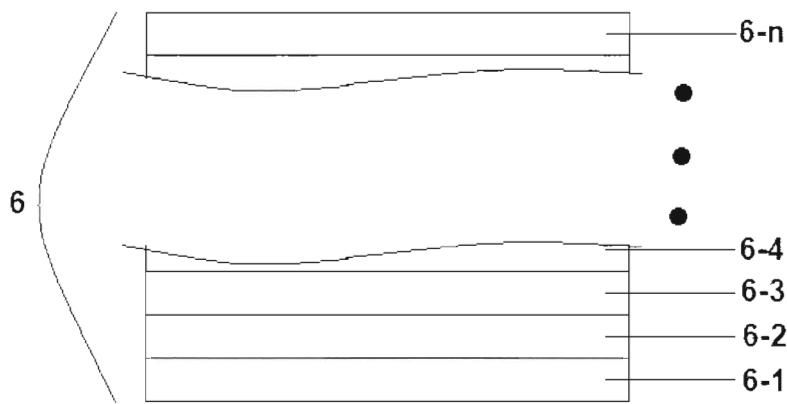


Figura 5

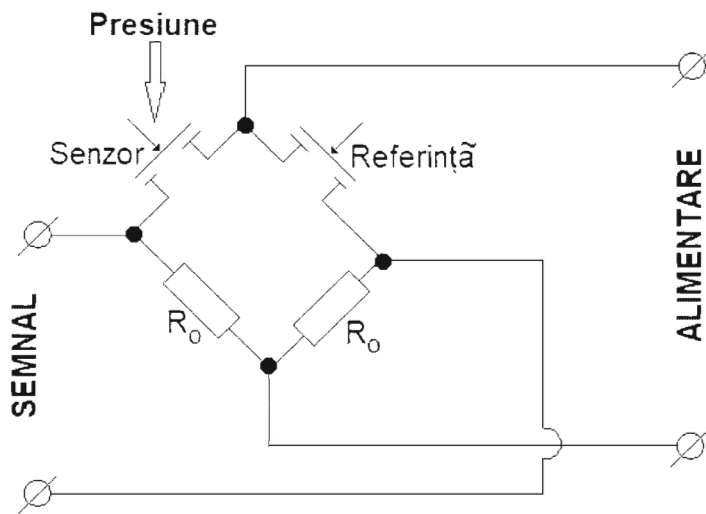
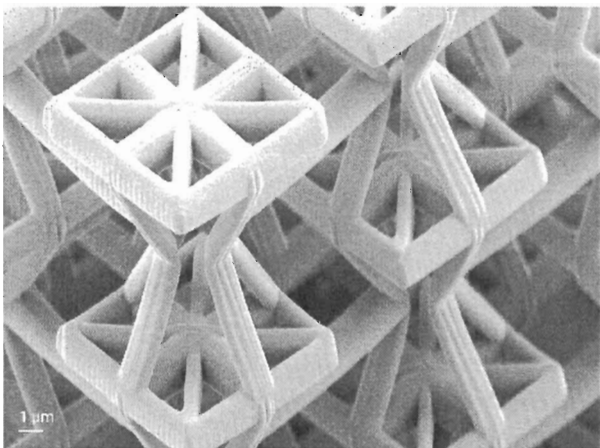


Figura 6



(preluat de pe site-ul <https://www.nanoscribe.com/en/applications/3d-microfabrication-of-high-precision-structures-for-material-engineering>, accesat in data de 20.05.2022)

