



(12)

## CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2016 00021**

(22) Data de depozit: **12/01/2016**

(41) Data publicării cererii:  
**28/07/2017** BOPI nr. **7/2017**

(71) Solicitant:  
• **RAVARIU CRISTIAN,**  
*STR. IZVORUL CRIȘULUI NR. 15, BL. A8,*  
*SC. F, AP. 83, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B,*  
*RO*

(72) Inventatori:  
• **RAVARIU CRISTIAN,**  
*STR. IZVORUL CRIȘULUI NR. 15, BL. A8,*  
*SC. F, AP. 83, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B,*  
*RO*

(54) **TRANZISTOARE CU FILME ORGANICE p/n SUPRAPUSE,  
PENTRU APLICAȚII BIOMIMETICE ȘI INDUSTRIALE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un tranzistor cu filme organice de tip p și de tip n suprapuse, cu consum de arie înjumătățit, utilizat în electronică. Tranzistorul conform invenției este alcătuit din terminalele porților de sus (1) și de jos (2), un electrod (3) al porții de sus și un electrod (4) al porții de jos, un izolator (5) al porții de sus și un izolator (6) al porții de jos, niște filme de semiconductori organici de tip p, respectiv, tip n (7, 8), niște contacte metalice (9, 10) dispuse pe filmul n de sursă, respectiv, de drenă, niște contacte metalice (11, 12) dispuse pe filmul p de sursă, respectiv, de drenă, un fir metalic de legătură (13) și o zonă (14) care delimitează filmul n de filmul p, și poate fi joncțiune metalurgică sau izolator.

Revendicări: 4  
Figuri: 9

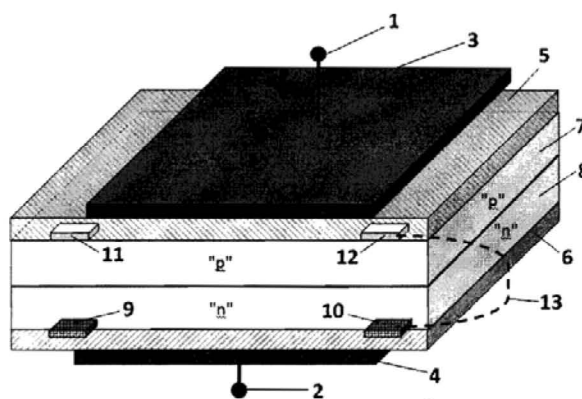
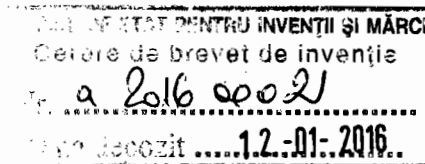


Fig. 1





## **Tranzistoare cu filme organice p/n suprapuse pentru aplicații biomimetice și industriale**

### **DESCRIEREA INVENȚIEI**

Invenția se referă la tranzistoare organice cu filme subțiri, cu integrarea pe verticală a filmelor n și p. Tranzistoarele conform invenției sunt înrudite cu tranzistoarele organice cu filme subțiri.

Invenția face parte din **domeniul tehnic** al electronicii, respectiv al dispozitivelor electronice.

**Starea artei astăzi**, în domeniul tranzistoarelor cu filme subțiri (Thin Film Transistor - TFT), arată că sunt folosite astăzi la crearea ecranelor plate în tehnologia TFT, au apărut și tranzistoare organice (Organic Thin Film Transistor - OTFT). Acestea din urmă folosesc conducția electrică prin polimeri, de exemplu oligomeri, precum pentacena sau tetracena, grație conjugării moleculare. Tranzistoarele OTFT conduc curent între sursă și drenă, uzual prin canal de acumulare, indus de o tensiune convenabilă aplicată pe poartă și alteori printr-un canal de volum, [C. Ravariu et al, Organic Field Effect Transistor OFET Optimization Considering Volume Channel Conduction Mechanism, IEEE Internat. Conference of Semiconductors, Sinaia, Romania, pp. 113-117, 2015].

Tranzistoarele OTFT au fost realizate în diverse variante [Patent International WO 2006/088211 A1, autori - Yamaga Takumi, Sagisaka Toshiya, titlu - Tranzistor cu film subtire organic]. Ele au suferit mult timp de conducție electrică mai precară decât cele TFT sau MOS din două motive: (i) materialele organice ofereau mobilități mult mai mici - de ordinul  $10^{-8} \div 10^{-2}$   $\text{cm}^2/\text{Vs}$  prin anii 1998 [M.J.M. Vissenberg et al., Phys. Rev. B, 57, pp.12964, 1998], iar după optimizări până la  $8\text{cm}^2/\text{Vs}$  [V. Podzorov et al., Single-crystal organic field effect transistors with the hole mobility  $8\text{cm}^2/\text{Vs}$ , Appl. Phys. Lett., 83(17), pp. 3504–3506, 2003]; (ii) transferul curentului către contactele metalice de sursă/drenă sunt puternic limitate de trapele de la interfețe și de nivele Fermi din metale. De aceea curenții de conducție sunt în gama micro-amperilor, [H. Klauk, Organic thin-film transistors, Chem. Soc. Review, vol. 39, pp. 2643–2666, 2010].

Aceste dezavantaje ale OTFT față de tranzistoarele TFT anorganice și cele MOS, devin proprietăți cheie pentru construirea unui dispozitiv electronic biomimetic. Membrana celulei vii conține stratul bilipidic ca izolator electric, străbătut din loc în loc de canale

Ravariu C.

ionofore de  $K^+$  și  $Na^+$ . Permeabilitatea selectivă a canalelor ionofore la cele două tipuri de ioni mențin un potențial de repaus celular (PR) în plaja  $-100mV \div -60mV$ , prin sechestrarea unui surplus de ioni pozitivi de  $Na^+$  în exteriorul membranei:  $-90mV$  la celula musculară,  $-70mV$  la celula beta pancreatică [Constantin Ionescu-Tîrgoviște. Tratat de diabetologie Paulescu. Editura Academiei Române, București, 2004]. Când se declanșează potențialul de acțiune celular, PA, specific ca valoare de la celulă la celulă: circa  $+30mV$  pentru neuroni, sau  $-30mV$  pentru celula beta pancreatică, au loc scurgeri de curent de ordinul microamperilor în timpi de acțiune de ordinul mili-secundelor.

Rezumându-ne doar la acest biosistem observăm că avem de a face cu două tipuri de purtători de sarcină electrică - ionii de  $Na^+$  care pozitivează mediul intra-celular și ionii de  $K^+$  care prin eflux negativează mediul intra-celular, având mobilități de ordinul  $10^{-5} \div 10^{-2} \text{ cm}^2/Vs$ . Aceste proprietăți sunt mult mai bine oferite de mobilitățile și curenții de electroni și goluri în semiconductorii organici față de cei anorganici. Cu ceva ani în urmă s-a încercat definirea unei structuri electronice biomimetice elementare pe Siliciu, forțând artificial proprietățile de material pentru a reduce curenții și mobilitățile la valorile din lumea vie [C. Ravariu et al, Simulations of some electro-mechanical phenomenon at nano-cellular level, IEEE Internat. Semiconductor Conference, Sinaia, Romania, pp. 127-130, 2009]. Cu mai mulți ani în urmă, a fost descris un circuit biomimetic format din diode semiconductoare tot cu două tipuri de purtători - electronii și golurile, lângă surse de tensiune care să modeleze pragurile de deschidere/închidere a canalelor ionofore - cunoscut ca celebrul circuit Huxley-Hodgkin, echivalent al canalelor ionofore [1963 - Huxley & Hodgkin Premiul Nobel; amplu explicat în cartea Electronică Medicală de R. Strungaru, Ed. Didactică și Pedagogică, 1982, pp. 10-21].

Dezavantajul principal al modelui electronic Huxley-Hodgkin este că tensiunea de prag a diodelor care mimează tensiunea declanșatoare a potențialului de acțiune, nu este decuplată de curentul care îl produce. În celula vie, poarta este activată de un stimul, dar prin ea nu trece curent, ci doar deschide un canal. În această propunere de brevet, se prezintă un tranzistor OTFT cu două canale separate n și p, activate de două porți, care mimează închiderea/deschiderea celor două canale ionice trans-membranare de  $Na^+$  și  $K^+$ . Este admisibilă premiza că materialele organice din cadrul unui OTFT, sunt mult mai apropiate de proprietățile materiei organice vii, decât materialele din TFT.

Necesitatea dezvoltării unor dispozitive biomimetice sunt evidente prin toate subiectele abordate în Jurnalul Bioinspiration & Biomimetics cu Factor de Impact  $>2.1$  - ce abordează frecvent subiecte de biomimetism în domeniul biocompatibilității suprafetelor, al dispozitivelor biomecanice sau materiale pentru protetică medicală. În viitorul apropiat se mai conturează o cauză care va conduce la căutarea asiduă de dispozitive biomimetice în toate domeniile, inclusiv cel electronic, cum este pentru prezentul OTFT conform invenției. Standardele de etică medicală și-au crescut în așa

măsură exigențele, încât se prevede că în următorii ani subiecții umani vor deveni aproape inaccesibili, în timp ce accesul la baza de date de animale se va restrânge drastic. Recomandările OMS sunt de a testa noile medicamente pe culturi izolate de celule, sau alternativ, pe dispozitive biomimetice [Biomimetics/tissue engineering - in Raport OMS-WHO: Future Use of Materials for Dental Restoration, 2009 disponibil la: [apps.who.int/iris/bitstream/10665/202500/1/9789241500647\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/202500/1/9789241500647_eng.pdf)]. În acest scop, tranzistorul organic cu filme p/n suprapuse, conform invenției, poate fi folosit ca model primar de deschidere/blocare a unor canale ionofore, sub acțiunea unor stimuli medicamentoși mimați de tensiuni echivalente aplicate pe porțile de sus / jos.

Însă aplicațiile tranzistorul organic cu filme p/n suprapuse, conform invenției, se vor propune în continuare și pentru alte domenii decât cele biomimetice.

**În scopul realizării tranzistorului OTFT cu filme p/n suprapuse se cunosc tehnologiile de realizare a tranzistoarelor OTFT în variantele: TGTC - Top Gate Top Contacts - cu poartă sus și contacte sursă/drenă jos; BGBC - Bottom Gate Bottom Contacts - cu poartă jos și contacte tot jos, precum și combinații între ele (ex. TGBC sau BGTC). Tehnologia cu ambele porți furnizează OTFT cu poartă duală și a fost recent descrisă, [B. Kumar et al., Single and dual gate OTFT based robust organic digital design, Microelectronics Reliability, 54(2), pp. 100–109, 2014]. Tot aici se descrie realizarea unui inversor logic ce utilizează tranzistoare OTFT cu canale p și n. Uzual pentacena cu contacte de aur asigură conducție de tip p [H. Klauk, Chem. Soc. Review, 2010], dar din 2014 a fost descrisă și pentacena de tip n cu contacte de aluminiu [T-D. Tsai et al., The origins in the transformation of ambipolar to n-type pentacene-based organic field-effect transistors, Organic Electronics, vol.15, p.1759–1766, 2014].**

În privința alegerii izolatorilor de poartă sus și jos, compatibili tehnologic cu semiconductorii organici, în particular pentacena, se apelează la PMMA (Poli-Metil-Met-Acrlat). PMMA poate fi depus peste un strat conductiv ITO (Indium Tin Oxide, adică oxid de Indiu și Staniu) - ca metal al porții de jos [V. K. Singh et al., Accurate characterization of organic thin film transistors in the presence of gate leakage current, AIP Advances vol. 1, 042123:1-12, 2011]. În plus PMMA s-a dovedit a induce un stress termic minor, pentru a spori fiabilitatea dispozitivelor OTFT [N. Wrachien et al., Effects of thermal and electrical stress on DH4T-based organic thin-film-transistors with PMMA gate dielectrics, Microelectronics Reliability, vol. 55, 2015, p.1790–1794].

Dezavantajul acestor metode ar fi consum mare de arie dacă sunt folosite tranzistoare separate cu canal n și apoi p. Integrarea lor pe verticală, conform invenției, are avantajul reducerii ariei pe chip și posibilitatea colectării însumate a curenților de electroni și cei de goluri, oferind capabilitați în curent superioare. De asemenea, soluția descrisă în [C. Ravariu et al, Organic Field Effect Transistor OFET Optimization

Considering Volume Channel Conduction Mechanism, IEEE Int. Conf. of Semic., Romania, pp. 113-117, 2015], cu contacte adânci de sursă/drenă nu este rentabilă, deoarece scurtcircuitarea capetelor ambelor canale conduce la un curent minor de ordinul pico-amperi, specific canalului de volum și nu canalelor de acumulare.

**Tranzistorul organic cu filme p/n suprapuse, conform invenției, este alcătuit din film conductiv ITO pentru metalul porții de jos, deasupra se depune izolatorul PMMA de jos, deasupra se depune stratul de pentacena de tip n și se configurează electrozii metalici de sursă/drenă tip n din Aluminiu, apoi deasupra se depune stratul de pentacena de tip p și se configurează electrozii metalici de sursă/drenă tip p de Aur, deasupra se depune stratul de PMMA de sus și deasupra se depune electrodul metalic al porții de sus din ITO. Poarta de jos deține controlul asupra structurii OTFT cu canal n, iar poarta de sus deține controlul asupra structurii OTFT cu canal p.**

**Avantajele invenției:**

- creșterea densității de impachetare și scaderea ariei consumate pe chip;
- creșterea curentului total de drenă în regimul de conducție ON, prin însumarea curenților colectați în drenă atât din canalul n cât și din canalul p;
- ajustarea parametrilor din tehnologia organică, cum ar fi sarcini de interfață sau dopări prin intermediul tensiunilor aplicate pe electrozii cuplați ai celor două porți de sus/jos;
- tranzistoarele OTFT cu filme p/n suprapuse conform invenției beneficiază de toate facilitățile tehnologice ale zilelor noastre pentru obținerea structurii suprapuse;
- oferă aplicații ca dispozitive biomimetice, care pot fi utilizate în două direcții importante: în industria farmaceutică / protetică și apoi în industria ecranelor OTFT.

**Un exemplu de realizare a tranzistoarelor cu filme organice p/n suprapuse, conform invenției, este prezentat în continuare, în legătură cu fig.1 + fig.8, în care:**

Fig. 1 prezintă structura de ansamblu a tranzistorului cu filme organice p/n suprapuse.

Fig. 2 prezintă o secțiune transversală prin tranzistorul OTFT cu filme organice p/n

suprapuse, pe care s-au evidențiat cele două canale de electroni și de goluri, sub acțiunea tensiunilor pe porți.

Fig. 3 prezintă caracteristica statică de ieșire la tranzistorul organic superior cu canal p.

Fig. 4 prezintă caracteristica de transfer al tranzistorului organic superior cu canal p.

Fig. 5 prezintă comparativ două caracteristici de ieșire: la tranzistorul organic inferior cu canal n, și la un tranzistor TFT\* uzual cu film n din compuși ai Siliciului.



Fig. 6 prezintă o familie de caracteristici de transfer ale tranzistorului organic inferior cu canal n.

Fig. 7 prezintă vectorii de curent total și contururi colorate ale densității de electroni și goluri în filmele de Pentacenă de tip "n" și respectiv de tip "p".

Fig. 8 prezintă o primă aplicație a tranzistorului organic cu filme p/n suprapuse, de inversor logic.

Fig. 9 prezintă a doua aplicație a tranzistorului organic cu filme p/n suprapuse, ca dispozitiv biomimetic pentru canalele ionofore de sodiu și potasiu din membranele celulelor vii.

Tranzistorul cu filme organice p/n suprapuse, OTFT-p/n, conform invenției, apare în fig. 1 și este alcătuit din firele terminale ale contactelor porții de sus 1 și porții de jos 2, electrodul porții de sus 3 și electrodul porții de jos 4, electrozii de poartă putând fi realizați din materialul ITO sau alte metale compatibile tehnologic, izolatorul de sus 5 și izolatorul de jos 6, recomandând pentru compatibilizarea tehnologică ca ambii izolatori să fie organici din PMMA, filmul de semiconductor organic de pentacenă de tip "p" 7, care este plasat deasupra filmului de semiconductor organic de pentacenă de tip "n" 8, cu aceleași ordine de mărime pentru dopări  $\sim 5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  tehnologic realizabile, contactul metalic de sursă pe filmul n S\_n 9, contactul metalic de drenă pe filmul n D\_n 10, contactul metalic de sursă pe filmul p S\_p 11, contactul metalic de drenă pe filmul p S\_p 12, iar în mod facultativ un fir metalic de legatura extern 13, care leagă D\_n cu D\_p pentru a însuma curenții colectați prin cele două canale, dacă se dorește.

În fig. 2, într-o secțiune transversală în timpul operării tranzistorului cu filme organice p/n suprapuse, conform invenției, se observă, pe lângă elementele constructive 1 ÷ 13, următoarele elemente - joncțiunea metalurgică 14 ce delimitează filmul "n" de filmul "p", dezvoltarea unei regiuni de sarcină spațială 15 mult extinsă de o parte și de alta a joncțiunii metalurgice corespunzătoare joncțiunii pn verticale polarizate invers, canalul de acumulare de goluri 16 notat cu succesiunea p+, canalul de acumulare de electroni 17 notat cu succesiunea n-, sarcinile pozitive de interfață 18 plasate între izolatorul de sus și filmul "p" și notate +Qit\_p și sarcinile pozitive de interfață 19 plasate între izolatorul de jos și filmul "n" și notate +Qit\_n.

Așa cum la tranzistorul MOS se poate apela la un strat de oxid îngropat, conform tehnologiei SOI Siliciu pe izolator, pentru a izola dielectric complet dispozitivul de substrat, tot așa și la tranzistorul OTFT-p/n conform invenției se poate insera un strat de izolator în locul joncțiunii metalurgice, caz în care reperul 14 din fig. 2 reprezintă un strat subțire de izolator. Toate celelalte elemente din figura 2 rămân neschimbate și în acest

caz. Se poate apela la această soluție în acele aplicații care impun polarizări la  $V_{sus} > 0$ ,  $V_{jos} < 0$ , care ar polariza direct joncțiunea p/n verticală, ce ar favoriza scurgerile.

**Principiul de funcționare pentru tranzistorul OTFT cu filme organice p/n suprapuse**, conform invenției, ține cont de posibilitatea activării a două canale de acumulare: unul de electroni în filmul de tip "n" comandat de poarta de jos și unul de goluri în filmul de tip "p" comandat de poarta de sus.

Atât timp cât filmul n, de la subsol, este polarizat la o tensiune pe poarta de jos peste un prag  $V_{Tn}$ ,  $V_{jos} > V_{Tn}$ , analog oricărui n-TFT și cu  $V_{s_n} = 0V$  și  $V_{D_n} > 0V$ , iar atât timp cât filmul p, plasat superior, este polarizat la o tensiune negativă pe poarta de sus peste un prag  $|V_{Tp}|$ ,  $V_{sus} < V_{Tp} < 0$ , analog oricărui p-TFT și cu  $V_{s_p} = 0V$  și  $V_{D_p} < 0V$ , tranzistorul organic cu filme p/n suprapuse, conform invenției, se comportă ca două tranzistoare OTFT independente, unul cu canal n și celălalt cu canal p și decuplate electric, întrucât joncțiunea verticală p/n este mereu polarizată invers. În acest caz tranzistorul conform invenției, oferă 2 tranzistoare OTFT, dar care ocupă o arie cât a 1 tranzistor.

Aceste observații se pot constata în fig. 2. Deoarece activarea ambelor canale - 16 de goluri și 17 de electroni, impune  $V_{sus} < 0$ ,  $V_{jos} > 0$ , rezultă că însuși regimul normal de funcționare în conducție al tranzistorului impune o polarizare inversă a joncțiunii p/n verticale, de unde rezultă o regiune de sarcină spațială 15 lângă joncțiunea metalurgică 14, care barează scurgeri de curent între cele două canale n și p.

În continuare, se probează pe un simulator de dispozitive electronice funcționarea tranzistorului organic cu filme p/n suprapuse, conform invenției, în fig. 3 ÷ 7.

Fig. 3 prezintă caracteristica statică de ieșire la tranzistorul organic plasat superior, cu canal p, între electrozii  $S_p$  și  $D_p$ , când tensiunea de pe poarta de sus este menținută la valoarea de -2V. Se observă că tranzistorul intră în saturație pe la  $\sim -1V$ , ceea ce confirmă relația:  $V_{Dsat} = V_{sus} - V_{Tp}$ .

Fig. 4 prezintă caracteristica de transfer a tranzistorului organic plasat superior, cu canal p, între electrozii  $S_p$  și  $D_p$ , la tensiunile  $V_{s_p} = 0V$ ,  $V_{D_p} = -3V$  și  $-4V < V_{sus} < 0V$  - la scala logaritmică. Caracteristica la scală liniară este furnizată calitativ. Se extrage tensiunea de prag,  $V_{TP} \cong -1V$ , ca fiind acea tensiune pe poartă la care curentul scade de la valoare în conducție de circa  $10^{-6}A$ , la valoarea  $10^{-8}A$ . S-a monitorizat și curentul pe poartă, pentru a verifica inexistența curenților de scurgeri spre poartă. Acest lucru se întâmplă pentru grosimi ale PMMA peste 100nm. Valoarea negativă a tensiunii de prag probează apariția unui canal p indus de poarta de sus.

Fig. 5 prezintă comparativ două caracteristici de ieșire: la tranzistorul organic plasat inferior, cu canal n, între  $S_n$  și  $D_n$  când tensiunea pe poarta de jos este +5V și la un



tranzistor TFT\* de referință cu film n din compuși uzuali ai Siliciului polarizat la  $V_G=+5V$ . Mobilitatea electronilor fiind cea mai redusă în materialele organice, s-a obținut un curent de saturație mai scăzut prin filmul n, față de filmul organic superior tip p - de la fig. 3 și de asemenea mai scăzut față de tranzistorul TFT\* de referință.

Fig. 6 prezintă o familie de caracteristici de transfer ale zonei de tranzistor organic cu canal n, la scală logaritmică, între electrozii  $S_n$  și  $D_n$ , la tensiunile  $V_{S_n} = 0V$  și  $V_{D_n} = +7V$ ,  $-10V < V_{jos} < +20V$ , pentru diverse valori ale sarcinilor de interfață  $Q_{it_n}$  - reperul 19 și  $Q_{it_p}$  - reperul 18 din fig. 2. Un grafic calitativ al caracteristicii de transfer la scală liniară este inserat pentru cele mai probabile date tehnologice,  $Q_{it_n}=10^{11}e/cm^2$  și  $Q_{it_p}=2 \times 10^{12}e/cm^2$ . Se extrage tensiunea de prag,  $V_{Tn} = -1.8V$ , ca fiind acea tensiune la care curentul scade la valoarea  $10^{-8}A$ , pentru tranzistorul organic cu canal n cu valorile cele mai probabile tehnologic pentru  $Q_{it}$ . De aici se constată un lucru important: tranzistorul cu canal n este un tranzistor cu *canal inițial*, datorită sarcinilor pozitive de interfață care atrag electroni formând canal de acumulare chiar și la o tensiune nulă pe poartă (la  $V_{jos} = 0 \rightarrow I_{D_n} \neq 0$ ). De aceea, tensiunea de prag este negativă.

Fig. 7 dorește să demonstreze apariția *canalului inițial în filmul organic n și a canalului indus în filmul organic p*. În acest scop se aplică tensiuni favorabile curenților prin cele două filme:  $V_{S_n} = 0V$ ,  $V_{D_n} = +5V$  și  $V_{S_p} = 0V$ ,  $V_{D_p} = -5V$ , dar  $V_{sus} = V_{jos} = 0$ . În fig. 7 se observă că valori semnificative ale vectorilor de curent total ( $J_{tot} \geq 200A/cm^2 = 2\mu A/\mu m^2$ ) apar doar în canalul de acumulare de electroni din filmul organic n, apropiat de interfața cu izolatorul PMMA de jos. Se constată și o îngustare a canalului de la sursa  $S_n$  spre drena  $D_n$ , relevată de o îngustare a zonelor colorate intens pentru concentrațiile mari de electroni. În schimb, în filmul organic p se observă că sarcina pozitivă de interfață,  $Q_{it_p}$ , respinge golurile de la interfața cu izolatorul de sus și chiar pe o distanță mare în volumul filmului p. De aceea în zona canalului apare un mare spațiu colorat corespunzător unei concentrații zero de goluri - în dreptul canalului. Curenții în filmul p sunt codați cu vectorii cei mai scurți, corespunzători  $J_{tot} \approx 0$  în acest caz.

#### Aplicații ale tranzistorului OTFT cu filme organice p/n suprapuse

Fig. 8 prezintă o primă aplicație a tranzistorului organic cu filme p/n suprapuse, conform invenției. Cercetând literatura internațională, se constată că o primă aplicație cerută în industrie este crearea de inversoare logice cu tranzistoarele TFT. În cazul nostru, cuplând cele două drene cu conectorul facultativ (reperul 13 în fig. 1) de pe care se culege tensiunea  $V_{out}$  la ieșire, și conectând împreună cele două porți pe care se aplică semnalul de la intrare,  $V_{in}$ , se realizează o celulă inversoare logică, fig. 8. Sursa  $S_p$  se conectează la potențialul 0V corespunzător lui 0Logic, iar sursa  $S_n$  se conectează la potențialul -5V corespunzător lui 1Logic, admițând o logică negativă.



Funcționarea inversorului se explică așa: (i) dacă  $V_{in} = 0V$  (0-logic), canalul p este blocat, dar canalul inițial n permite transmiterea tensiunii  $V_{s_n} = -5V$  către drena  $D_n$ , adică la ieșire,  $V_{out} = -5V$  (1-logic); (ii) dacă  $V_{in} = -5V$  (1-logic), canalul p este deschis aflându-ne cu  $V_{sus} < V_{Tp} = -1V$ , iar canalul n este blocat deoarece ne aflăm la  $V_{jos} < V_{Tn} = -1.8V$  (vezi în fig.4 și 6 - caracteristicile liniare). În acest caz, canalul p permite transmiterea tensiunii  $V_{s_p} = 0V$  către drena  $D_p$ , adică la ieșire,  $V_{out} = 0V$  (0-logic). Propagarea acestor potențiale de la surse către drene se explică perfect similar cu aceleași propagări de la inversorul CMOS. O ultimă observație aici: când tehnologia va permite (de exemplu crearea de sarcini de interfață negative), se va putea obține un canal p inițial și un canal n indus. Atunci tranzistorului organic cu filme p/n suprapuse, conform invenției va putea lucra ca inversor logic, apelând la logica pozitivă.

De aici se pot dezvolta o serie de aplicații industriale. O aplicație specială ar fi crearea de circuite de comandă a luminozității pixelilor pe ecranele din tehnologia TFT, cu tranzistoare OTFT-p/n care să comute într-un ritm mult mai apropiat de viteza de vizualizare a utilizatorului, pe care să le numim ecrane biomimetice. Reglajul brut se face din alegerea materialului organic semiconductor, cu o mobilitate a purtătorilor în gama  $10^{-5} \dots 10^{+1} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ . Iar reglajul fin se face din polarizarea tranzistoarelor și aducerea timpilor de comutație în plaja timpilor de comutație a imaginilor înregistrate pe retină.

Fig. 9 prezintă o aplicație a tranzistorului organic cu filme p/n suprapuse, conform invenției, ca dispozitiv biomimetic. Acest tranzistor mimează funcția canalelor de sodiu și potasiu transmembranare. În starea (a), în condiții de echilibru, pe membrană se stabilește potențialul de repaus  $PR = -70mV$ , având canalul ionilor de  $Na^+$  închis și canalul de  $K^+$  slab deschis, fig. 9.a. Atunci când pe porțile OTFT-p/n se aplică o tensiune nulă, canalul n al tranzistorului este slab deschis și canalul p este închis, fig. 9.a. Starea "slab deschisă" corespunde apariției canalului inițial la tensiunea  $V_{jos} = 0$ , stare care mimează efluxul continuu slab, în repaus celular, al ionilor de potasiu. Tensiunea drenă-sursă pe tranzistorul cu canal p are valoarea  $PR = -70mV$ , iar pe tranzistorul cu canal n are valoare flotantă, dependentă de ionii de potasiu.

În starea (b), apare potențialul de acțiune  $PA = +30mV$ , care se aplică între  $D_n$  și  $S_n$ , menținând valori flotante pe drenă-sursa tranzistorului cu canal p. La apariția unui stimul extern, (ex. neurotransmițător  $Ach^{(+)}$  sau medicament), se închid canalele la potasiu și se deschid canalele la  $Na^+$ , care pătrund în mediul intra-celular și modifică potențialul electric al membranei, în timpul etapei depolarizării membranare. Acest fenomen este reprezentat de tranzistorul organic cu filme p/n suprapuse, conform invenției, prin blocarea canalului n de către poarta de jos polarizată la  $V_{jos} < V_{Tn}$ , și prin deschiderea canalului p de către poarta de sus polarizată la  $V_{sus} \ll V_{Tp}$ , fig. 9.b. Se poate constata astfel, ca tranzistorul OTFT-p/n conform invenției îndeplinește o funcție biomimetică.

## REVEDICĂRI

1. Tranzistorul cu filme organice p/n suprapuse alcătuit din fire terminale ale porții de sus **1** și porții de jos **2**, electrodul porții de sus **3** și electrodul porții de jos **4**, izolatorul de sus **5** și izolatorul de jos **6**, filmul de semiconductor organic de tip "p" **7**, plasat în joncțiune cu filmul semiconductor organic de tip "n" **8**, contactele metalice pe filmul n de sursă **9** și de drenă **10**, contactele metalice pe filmul p de sursă **11** și de drenă **12**, un fir metalic de legătură **13**, care în mod facultativ leagă doi dintre electrozii de sursă/drenă, pentru a însuma curenții colectați prin cele două canale și zona **14** ce delimitează filmul "n" de filmul "p", care poate fi joncțiune metalurgică sau izolator subțire.

2. Tranzistorul conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că poate ajusta anumite date tehnologice impuse de o anumită tehnologie organică**, cum ar fi sarcini de interfață, dopări sau mobilități de purtători, prin intermediul tensiunilor aplicate pe electrozii cuplați ale porților **3** și **4** putând realiza un inversor logic, integrând funcția a 2 tranzistoare cu filme organice pe o arie cât a unui singur tranzistor

3. Tranzistorul conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că oferă un efect nou - utilizatorul să perceapă derularea imaginilor pe ecrane realizate în tehnologia organică**, cu aceeași viteză cu care el procesează imaginile în creier, crescând mult percepția vizuală a derulării imaginilor în mișcare.

4. Tranzistorul conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că oferă un model de dispozitiv electronic biomimetic**, ce mimează potențialele de repaus și de acțiune prin canalele ionofore transmembranare ale celulelor vii, cu posibile aplicații în industria farmaceutică sau protetică.

DESENELE EXPLICATIVE

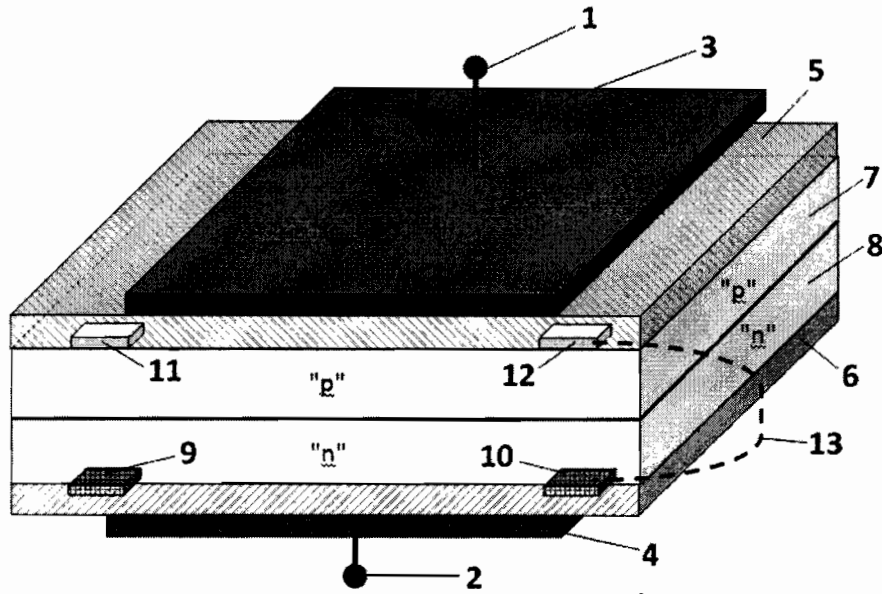


Fig. 1.

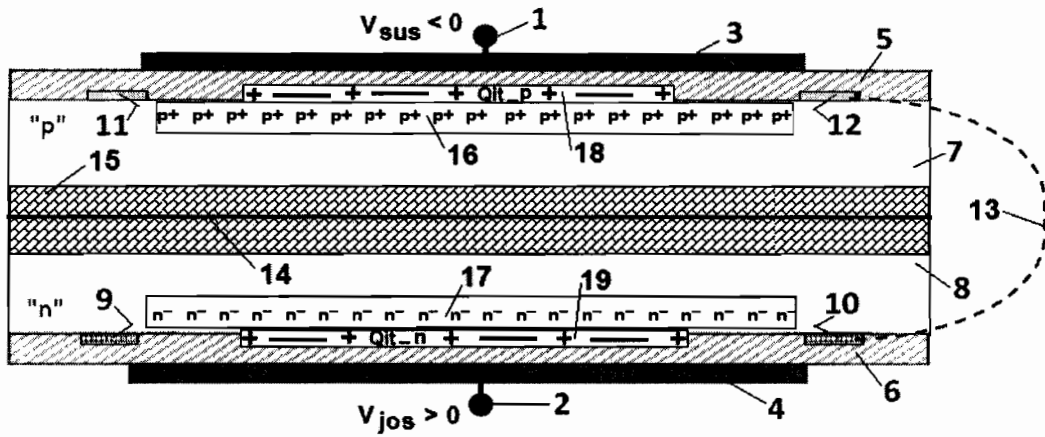


Fig. 2

*Rana*

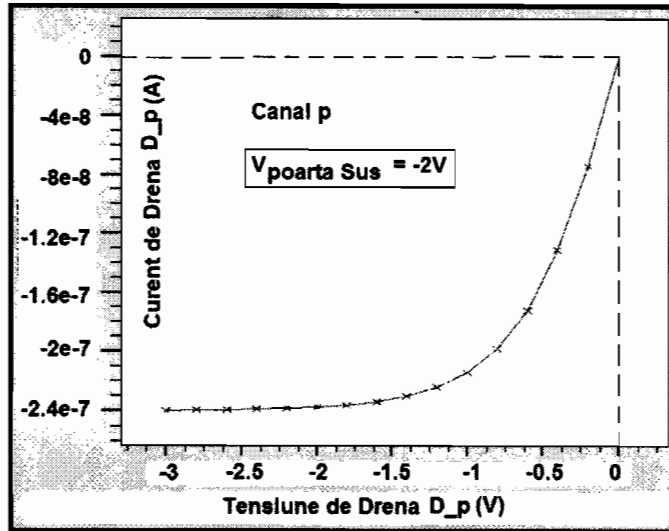


Fig. 3.

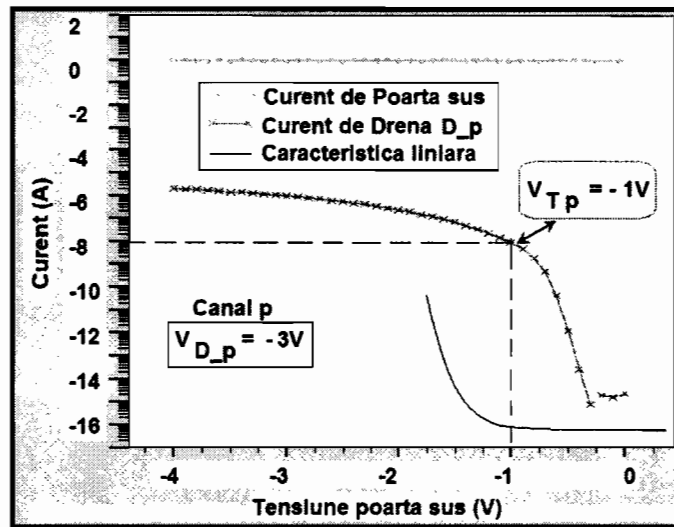


Fig. 4.

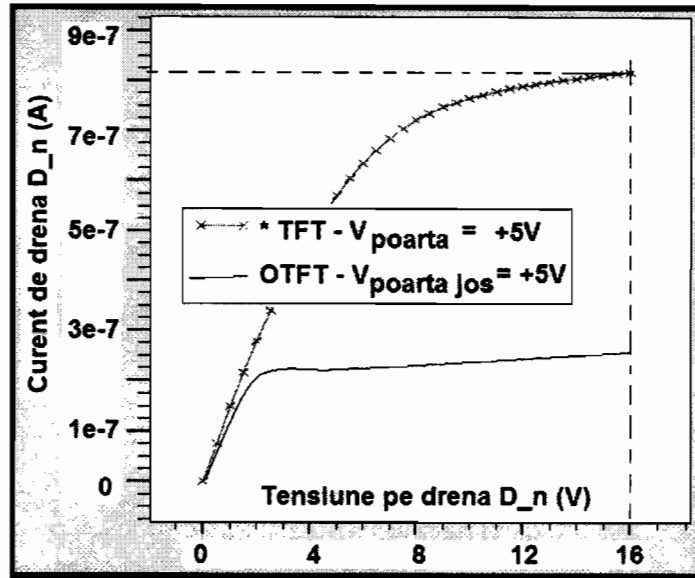


Fig. 5.

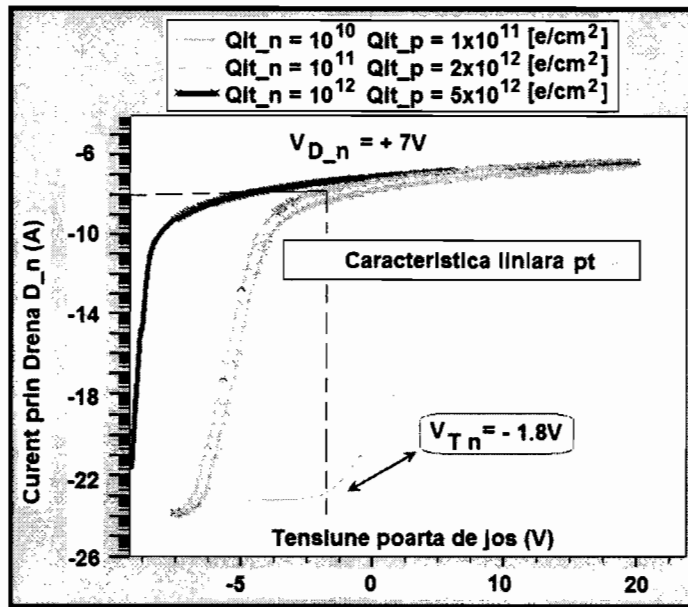


Fig. 6.

Rarely

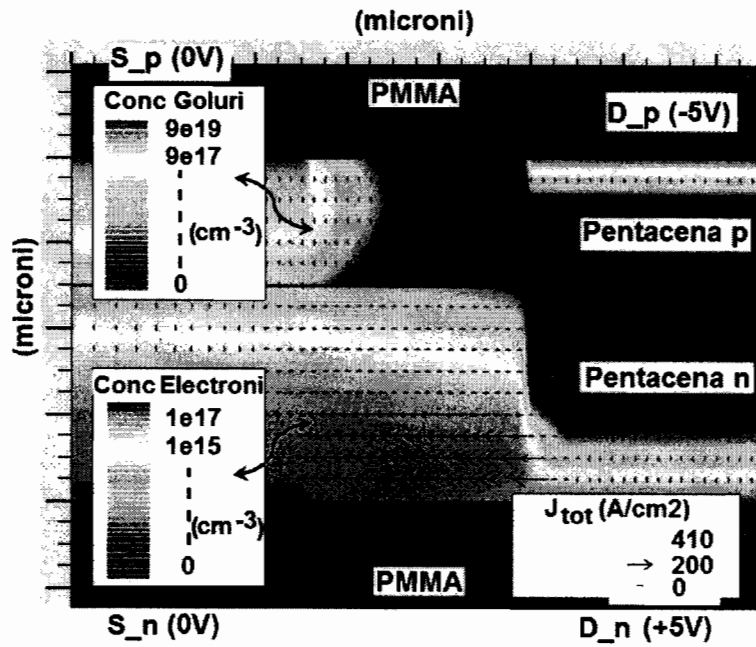


Fig. 7.

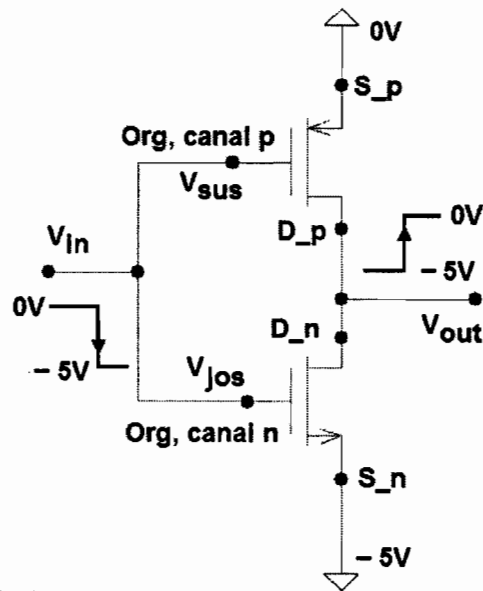


Fig. 8.

*Rarely*

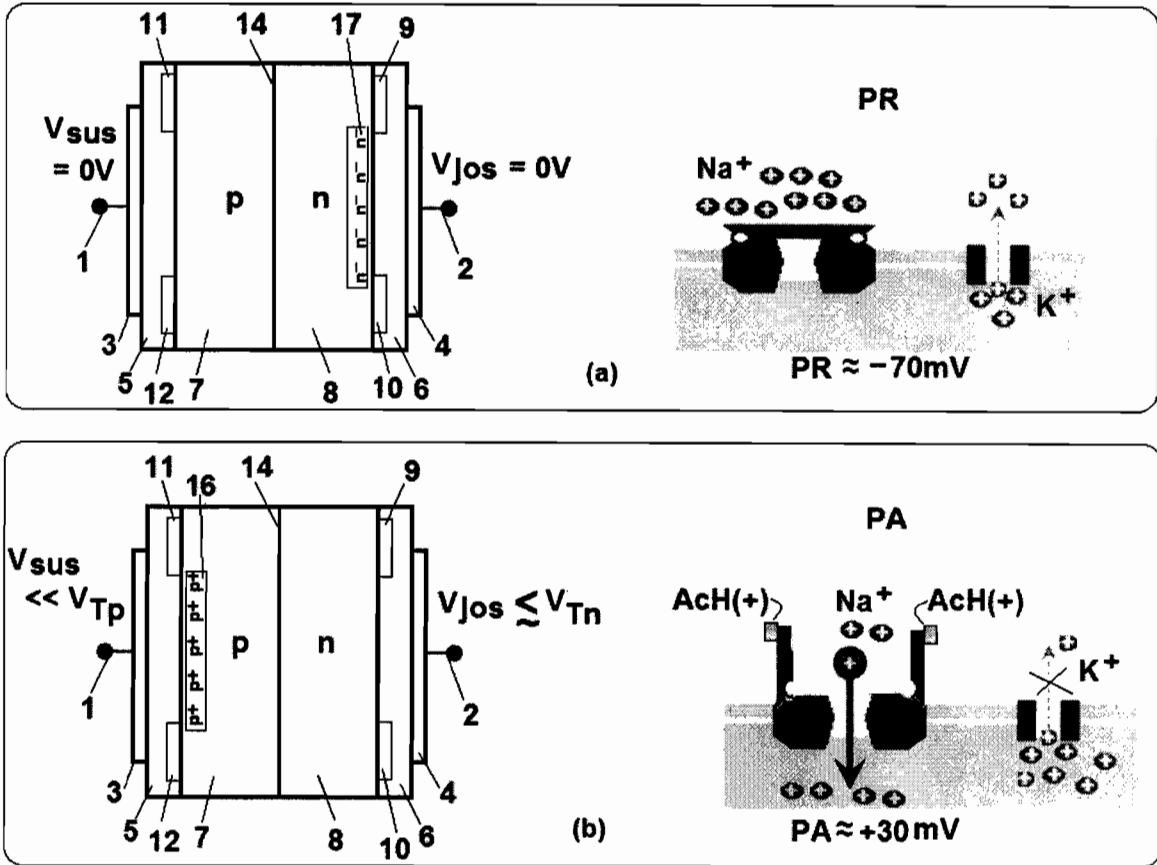


Fig. 9.