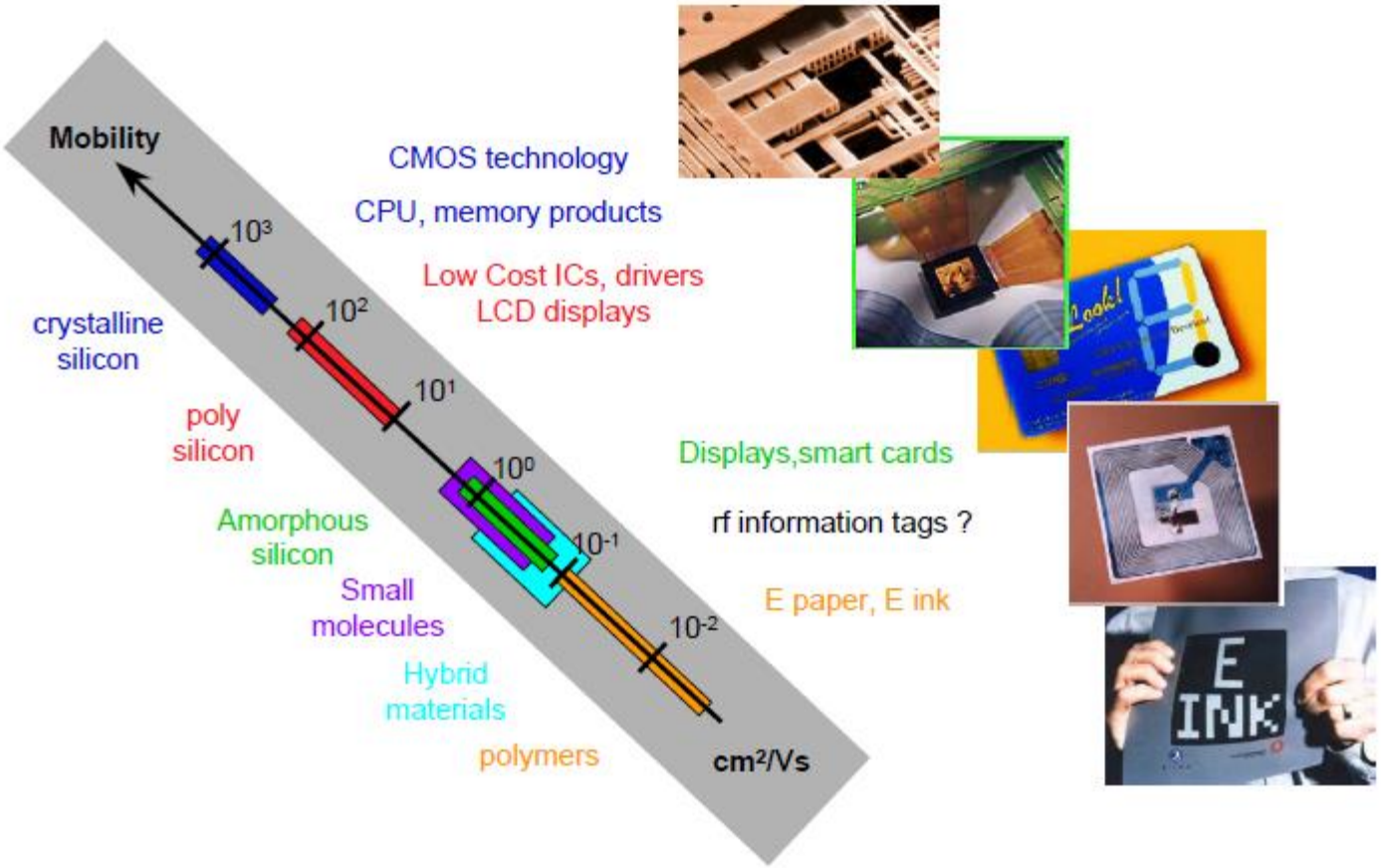
ORGANSKI TRANZISTORI SA EFEKTOM POLJA

Tehnologije organskih poluprovodničkih materijala i komponenti

- Šta je OFET?
- Struktura
- Uporede karakteristike standardnog i OFET-a
- Gde se koristi OFET?
- Prednosti i mane

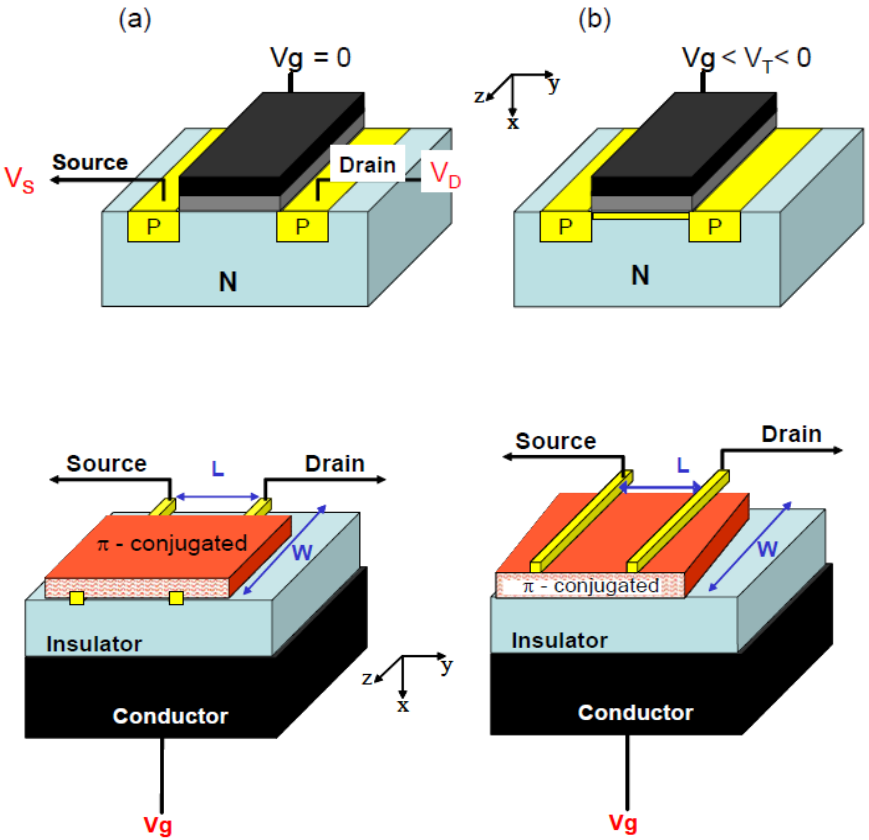


Molekularna priroda

- Veoma male dimenzije struktura
- Proces proizvodnje je relativno jeftin
- Nove tehnologije: meka litografija

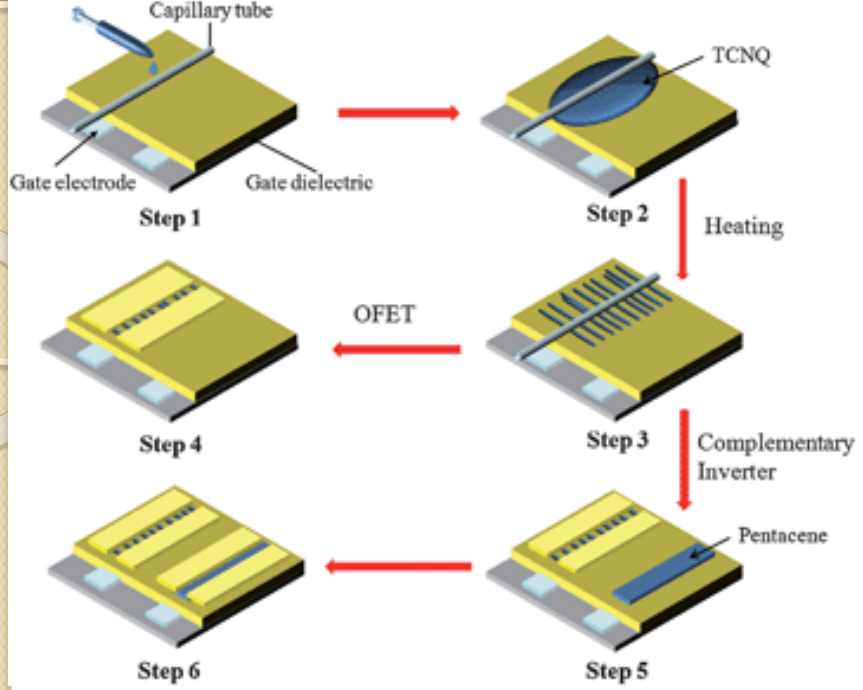
Mogućnost kreiranja FET-ova od organskih materijala pruža pregršt mogućnosti za proizvodnju jeftine elektronike.

UPOREĐIVANJE STRUKTURA

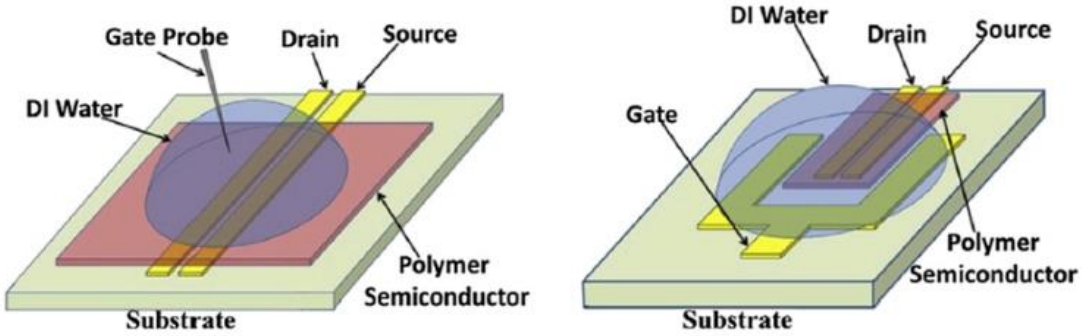


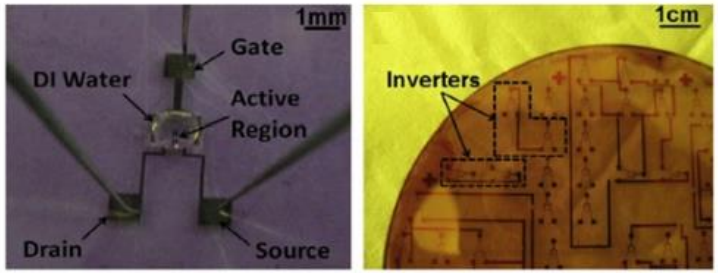
- metal ili dopirani organski provodnik;
- izolator;
- π- konjugovani materijal.

Nema pn spoja između sorsa i drejna, nego je on direktno izveden π-konjugovanim poluprovodnikom koji predstavlja kanal.



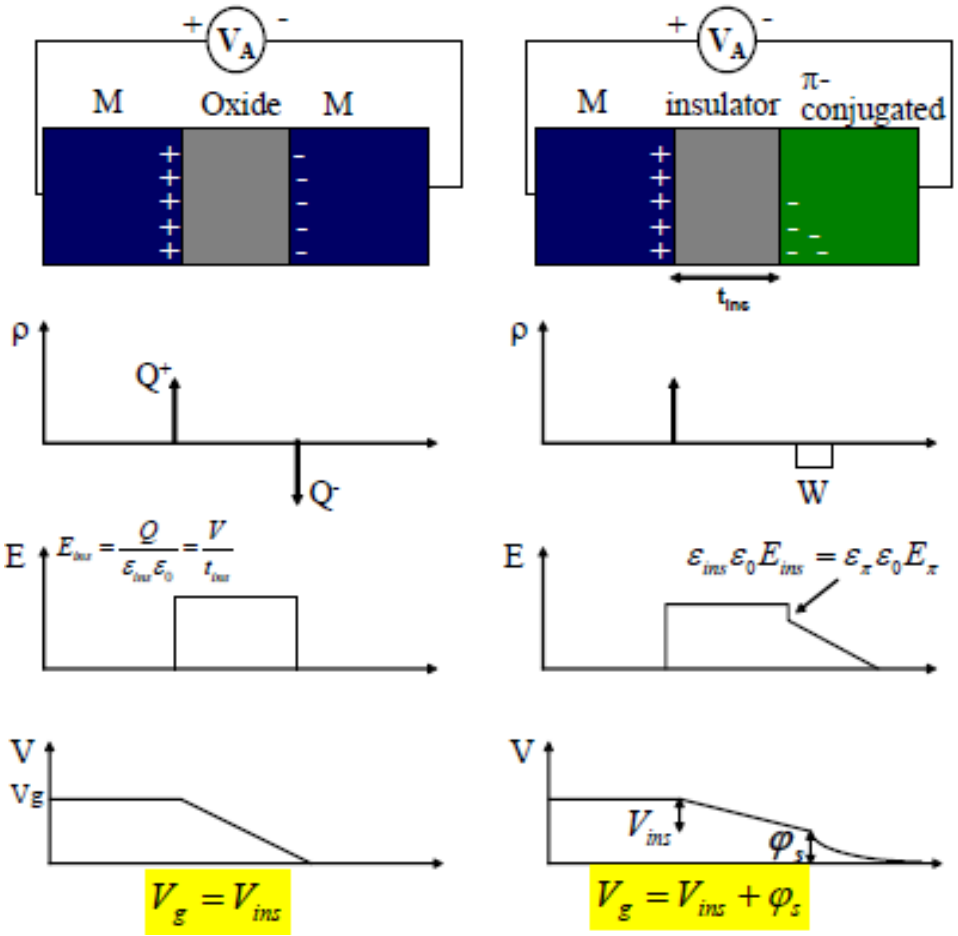
Faze u proizvodnji organskih tranzistora sa efektom polja (OFET)





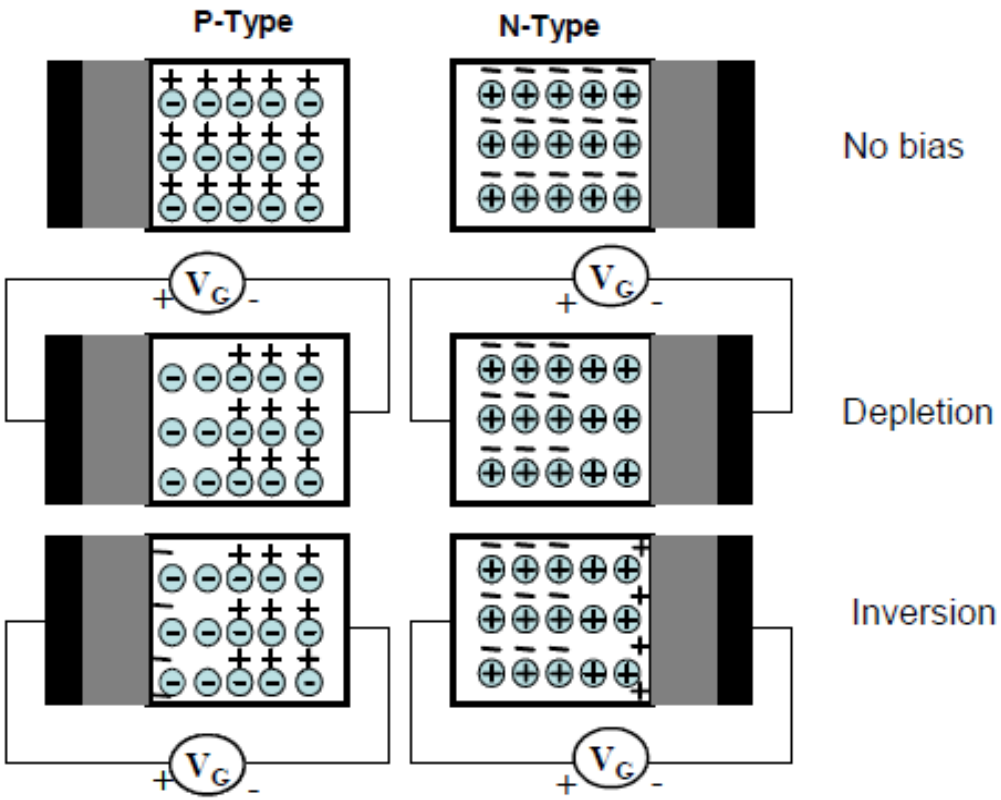
Planarni organski tranzistor sa efektom polja (OFET) sa vodenim gejtom

CIπ KONDENZATORI



Formiranje kapacitivnog kanala je od ključnog značaja za rad FET-ova.

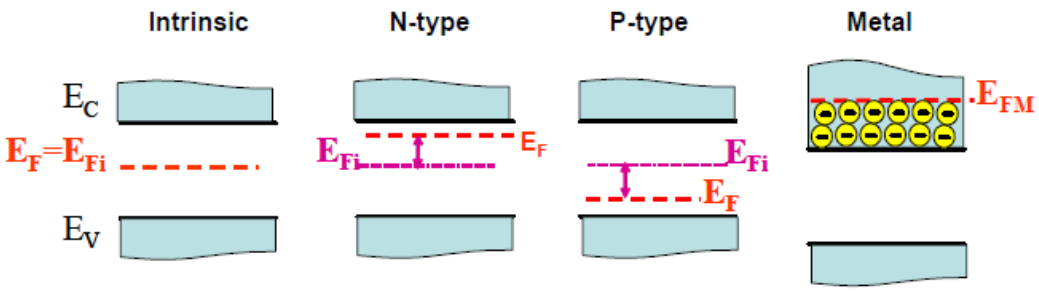
Poređenje metal-oksid-metal i metal-oksid-poluprovodnik kondenzator



Formiranje osiromašenog sloja

Kako proces inverzije zavisi od parametara materijala?

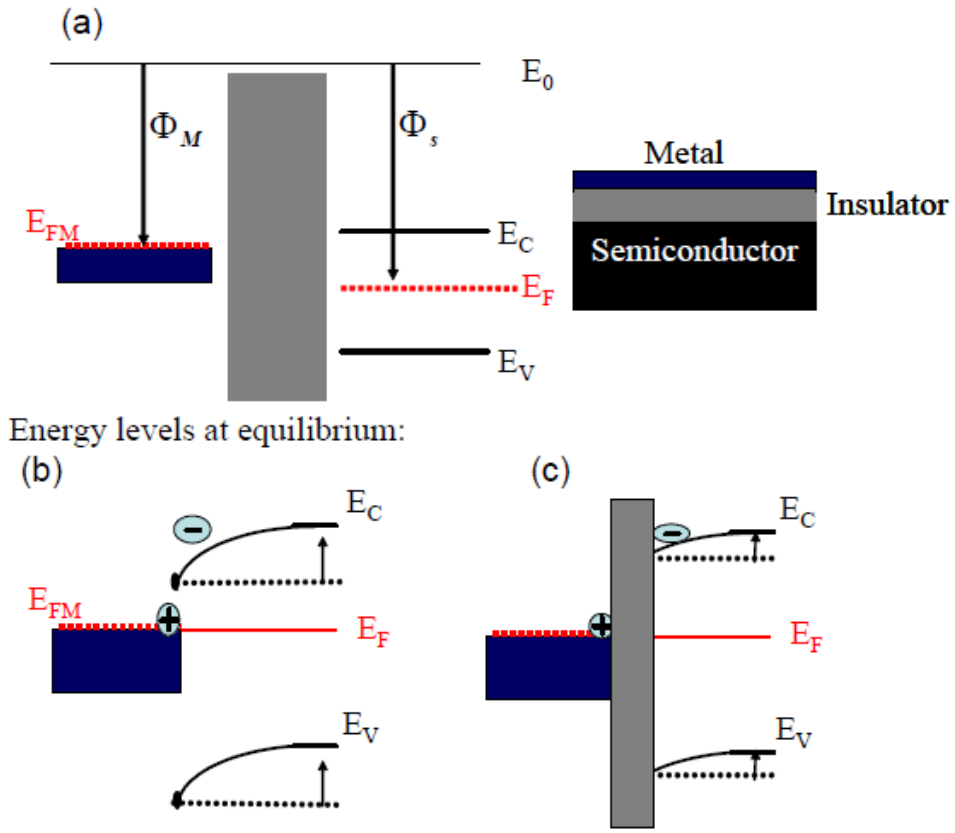
Koliko je potrebno da bude vrednost napon na gejtu da bi se formirao provodni put od sorsa ka drejnu?



Dijagram energija za unutrašni, N-tip, P-tip poluprovodnik i metal

Spoj poluprovodnika i metala i ravnoteža koju treba ostvariti kroz izolacioni sloj.

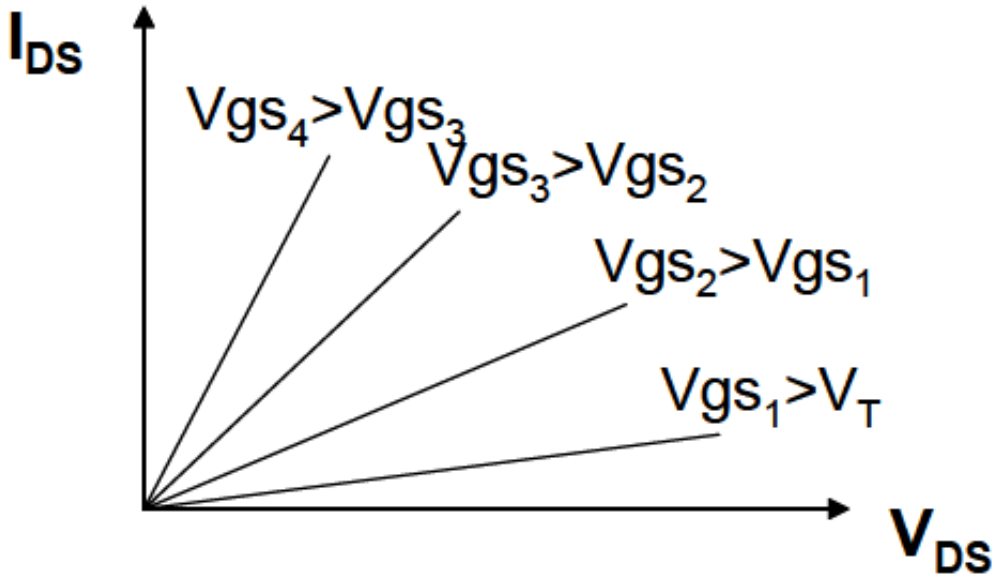
Kao najveću prepreku pri protoku struje vidimo nedovoljan broj nosioca naelektrisanja u kanalu.



Zonski dijagram strukture metal-izolator-poluprovodnik

KARAKERISTIKE TRANZISTORA

Linearni režim rada

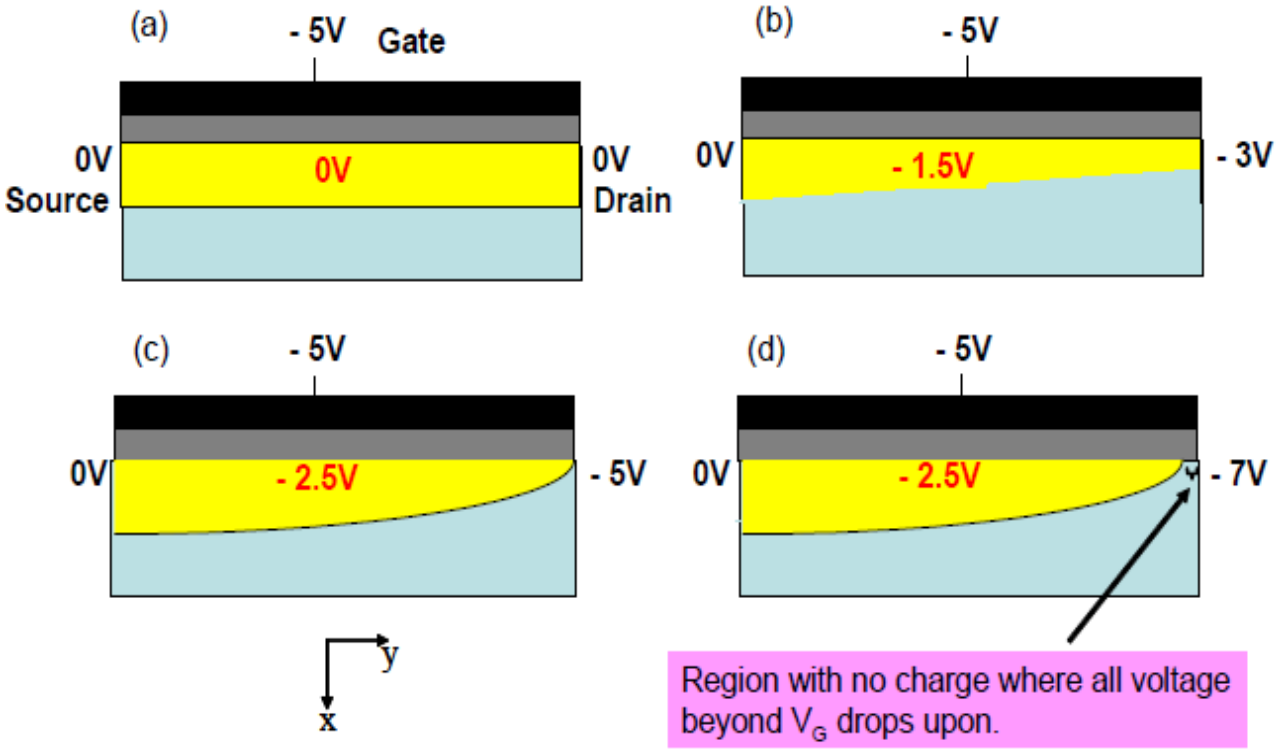


I-V karakteristika u linearnoj oblasti rada

$$I_{DS} = \frac{W}{L}\mu C_{ins}(V_{GS} - V_T)V_{DS}$$

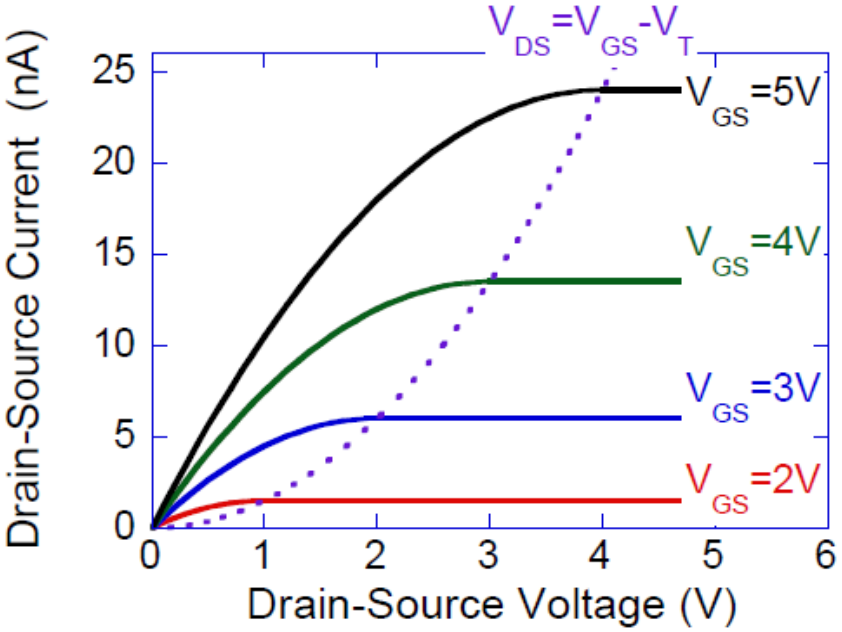
$$R_{ON} = \frac{V_{DS}}{I_{DS}} = \left[\frac{W}{L}\mu C_{ins}(V_{GS} - V_T)\right]^{-1}$$

Ne linearni režim rada



Šematski prikaz gustine naelektrisanja kroz kanal za različite vrednosti napona na drejnu

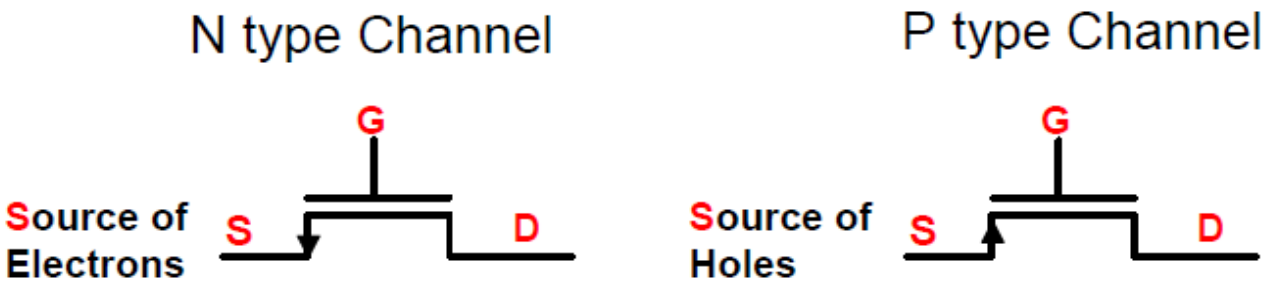
Efekat zasićenja



I-V karakteristika tranzistora N-tipa

Gustina naelektrisanja nije unifomna kroz kanal nego opada kako se krećemo kroz kanal.

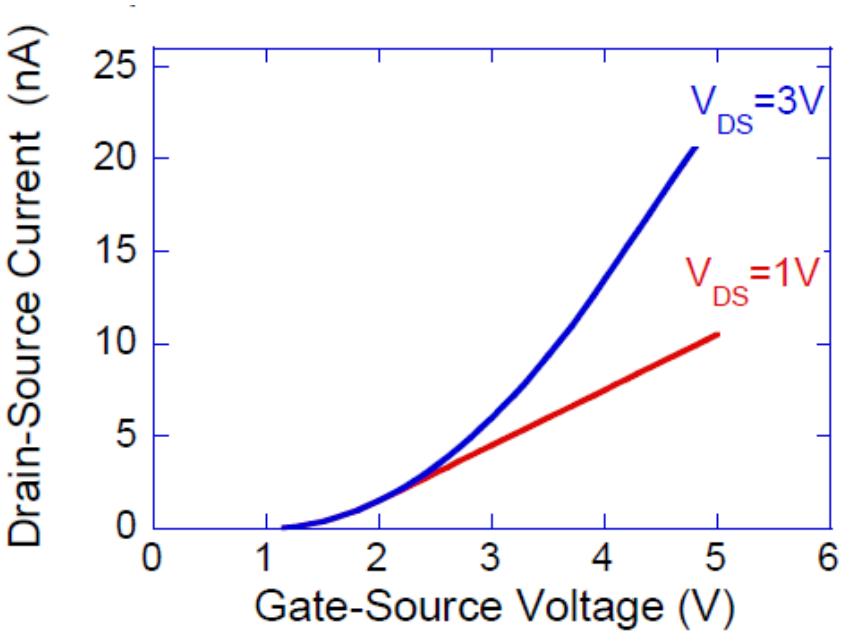
$$I_{DS_SAT} = \frac{W}{L_{EFF}} \mu C_{ins} (V_{GS} - V_T)^2$$



Električni simboli za N i P kanalne FET-ove

PARAMETRI MATERIJALA
Clπ-FET-a

Pokretljivost

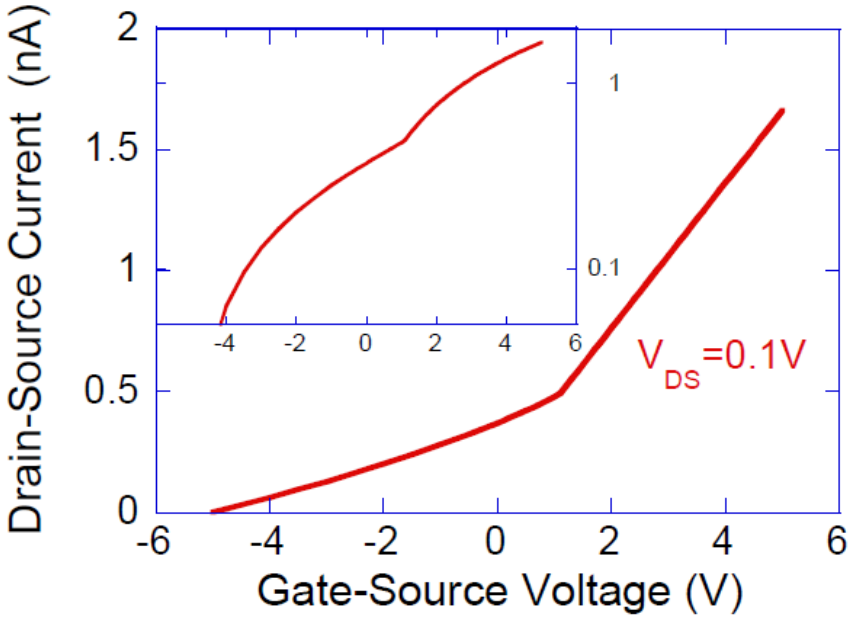


I-V karakteristika N kanalnog tranzistora

$$\mu = \begin{cases} \dfrac{I_{DS}}{\frac{W}{L}C_{ins}[(V_{GS}-V_T)V_{DS}-\frac{V_{DS}^2}{2}]} & \textit{Linearna oblast} \\ \dfrac{I_{DS_SAT}}{\frac{W}{L_{EFF}}C_{ins}(V_{GS}-V_T)^2} & \textit{Saturaciona oblast} \end{cases}$$

$$\mu = \frac{\frac{\partial}{\partial V_{GS}} I_{DS}}{\left(\frac{W}{L}C_{ins}V_{DS}\right)}$$

Pozadinsko dopiranje



I-V karakteristika dopiranog N-kanalnog tranzistora na osnovu struje zasićenja, struje I_{DS} *i struje balka*

$$I_{DS_Bulk} = qN_D \frac{W}{L} \mu (d_\pi - W_{dep}) V_{DS}$$

TEHNIKE PROIZVODNJE

U OFET arhitekturi prvo je postavljena gejt elektroda, i depozicija tankog filma od organskog materijala je uglavnom poslednji korak. Najčešće, gejt se sastoji od visoko dopiranog silicijuma, na kome je silicijum dioksid dobijen termičkim narastanjem. Sors i Drejn su deponovani na ovom izolatorskom sloju konvencionalnim monolitografskim postupcima. Glavna prednost ovakvog pristupa je korišćenje standardnih tehnologija silicijumske mikroelektronike i delom tehnologija monolitografije. Ovo su procedure koje su gotovo uvek prisutne pri proizvodnji komponenata i kao takve omogućavaju proizvodnju komponenti malih dimenzija. Međutim, u skorije vreme se razvijaju nove tehnologije koje koriste supstrate i izolatore od organskih materijala.

Depozicija poluprovodničkog tankog filma

Depozicija poluprovodničkih tankih filmova je najvažniji korak prilikom proizvodnje OFET-a, posebno u slučajevima kada ovakva komponenta sadrži termički oksidovan sloj izolatora kao supstrat, gde je ostatak procesa proizvodnje kontrolisan konvencionalnim tehnikama.

Elektropolimerizacija

Elektrohemijska polimerizacija je jedna od vodećih tehnika za sintezu provodnih polimera, i izveštaji o elektrohemijski proizvedenom OFET-u datiraju još iz 80tih prošlog veka. Iako ova tehnika poseduje brojne prednosti u ostalim primenama CPs-a, nedestaci su brojni kada se govori o proizvodnji OFET-a. Kao prvo, elektropolimerizacija je moguća samo na provodnim supstratima. Zbog ovog razloga, poluprovodnik je najpre realizovan na sors i drejn elektrodama, produženje poluprovodnika preko elektroda je postignuto lateralnom ekspanzijom depozita. Rezulat je visoko poremećen sloj tankog filma i slab kvalitet spoja izolator-poluprovodnik . Kao drugo, CPs je u svojoj oksid, provodnoj formi, i ovo se mora prepraviti (uglavnom elektrohemijski) kako bi ovaj sloj postao poluprovodan. Ovo doprinosi dodatnoj distorziji oblasti sorsa. U današnje vreme ova tehnika se više ne koristi za izradu OFET-a.

Solution-Processed depozicija

Jedan od najelegantnijih načina za realizaciju tankog filma je *spin-coating*. Kada je ova tehnika dobro savladana, njom je moguća proizvodnja veoma homogenog filma sa savršenom kontrolom njegove debljine na relativno velikim površinama. Zahtev koji treba ispuniti prilikom primene ove tehnologije je dobra rastvorljivost polimera. Naprotiv, većina CPs nije rastvorljiva. Problem se može prevazići kalemljenjem rastvorljivih grupa sa polimerom ili korišćenjem rastvorljivog polimera koji je dalje pretvoren u CP preko odgovarajućeg fizičkog ili hemijskog tretmana.

Vakuumsko naparavanje

Spin-coating, tehnika koja zahteva visoki viskozitet, uglavnom nije primenljiva na male molekule. Oni se najčešće deponuju vakunskim naparavanjem, koje zahteva zagrevanje materijala pod regulisanim pritiskom. Proces je izveden komori sa ceoma visokim vakuumom. Organski materijal se zagreva Džulovim efektom, u nekim slučajevima i ubrzanim elektronima, i supstrat je postavljem nekoliko centimetara iznad organskog materijala. Moguće je zapaziti da se ova tehnika ne može koristiti za polimere, koji teže da se raspadnu i pucaju pri visokim temperaturama. Glavna prednost predstavlja laku kontrolu narastanja i debljine tankog filma, kao i čistoće istog. Jedna od glavnih mana je ta da zahteva veoma softisticiranu tehnologiju za kontrolu procesa.

Langmuir-Blodgett Tehnika

Alternativa predstavlja pravljenje tankih filmova od malih molekula primenom Langmuir-Blodgett tehnike, koja omogućuje preciznu kontrolu strukture i debljine tankog filma.

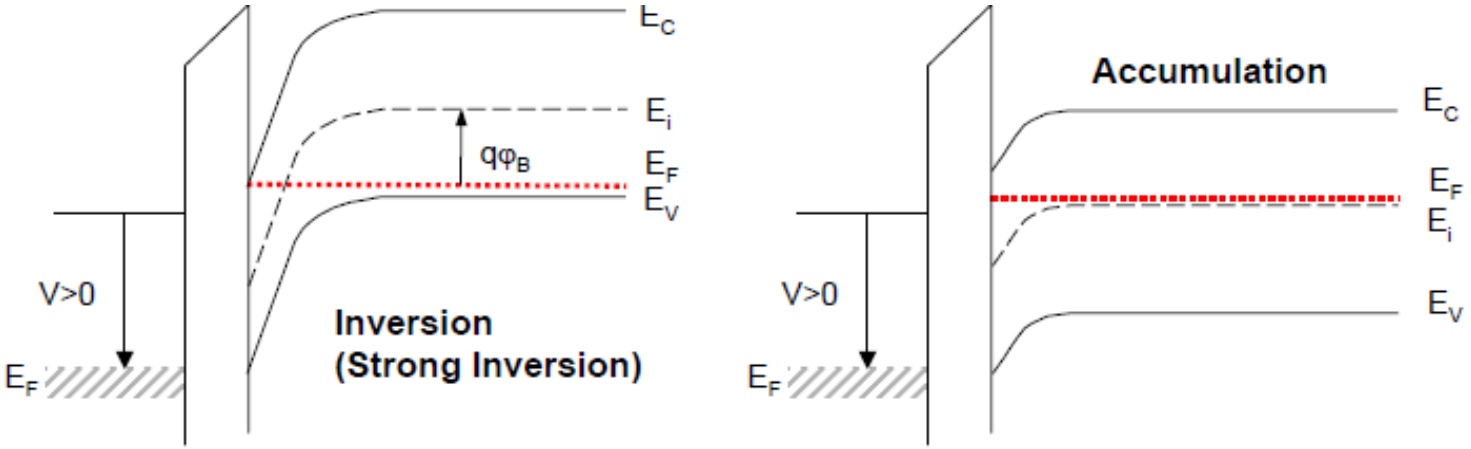
Zapažamo da je ova tehnika u principu ograničena na amfifilske molekule, sastavljene od hidrofobskog lanca i hidrofobskih glavnih grupa, što nije slučaj sa većinom molekula korišćenim u proizvodnji OFET-a. Naravno, postoje pokušaji mešanja sa slojevima quinquethiophena (5T) i arachidične kiseline, kojim se dobijaju veoma dobre komponente. Međutim, mešanje električno aktivnih i pasivnih jedinjenja vodi ka smanjenju pokretljivosti ako se ova tehnika poredi sa tehnikom vakuumskog naparavanja kojom se dobija znatno veća pokretljivost.

MOGUĆE APLIKACIJE

Poznato je da imamo dva tipa tranzistora sa efektom polja:

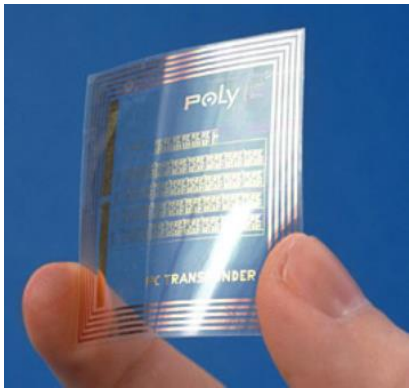
1.Invertovani tip: *dovođenjem napona na gejtu koji je veći od napona praga formira se invertovani sloj – poluprovodnik je dopiran i formiranje kanala se vrši inverzijom poluprovodnika.*

2.FINFET: *Tranzistori na tankom filmu – akumulacioni tip, imamo unutrašnji poluprovodnik, a do formiranja kanala dolazi nagomilavanjem naelektrisanja.*



Fleksibilni displeji gde se Clπ FET-ovi koriste kao prekidači.

Pametne kartice i pametne oznake koje zahtevaju relativno nisku gustinu tranzistora i fleksibilnost.



Organska priroda uređaja može posluziti u farmaceutske svrhe usled mogućnosti tih uređaja da reaguju na neke biološke i hemiske promene.

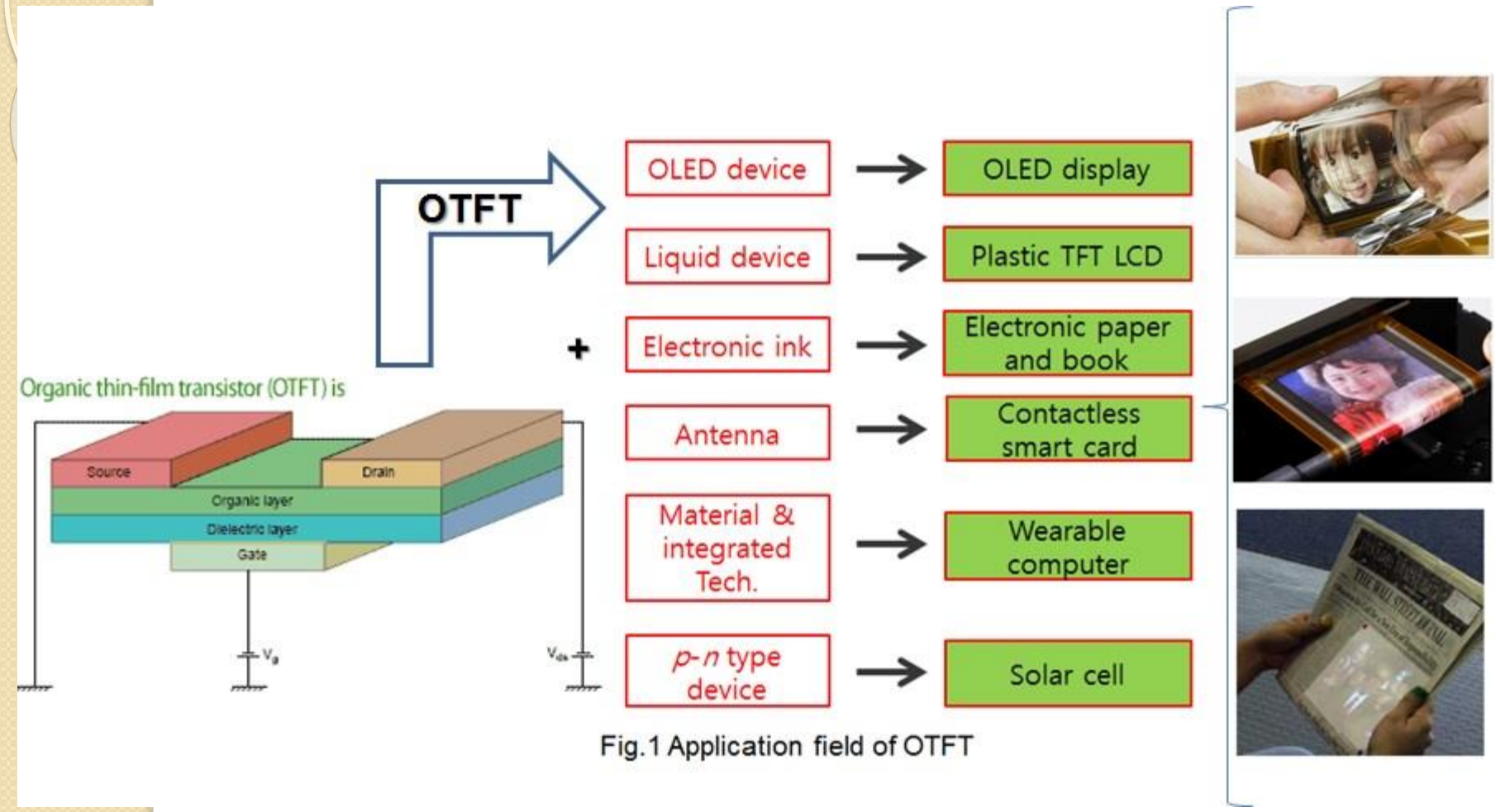


Fig.1 Application field of OTFT