

Università degli Studi di Salerno

Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione

IX Ciclo – Nuova Serie

(Anno Accademico 2009 – 2010)

TESI DI DOTTORATO

"A study on the role of dielectric and its interface in the performances of Organic Thin-Film Transistors"

(Studio sul ruolo del dielettrico e della sua interfaccia nelle prestazioni dei transistori organici a film sottile)

CANDIDATO: RICCARDO MISCIOSCIA

Abstract

I transistori organici a film sottile (Organic Thin-Film Transistor) possono essere considerati ai nostri giorni componenti fondamentali nell'Elettronica Organica su Larga Area (Organic Large-Area Electronics). Il ruolo giocato dai dispositivi della suddetta tipologia è cruciale sia nel campo dei display di informazioni sia in un'ampia classe di probabili applicazioni che beneficiano di dispositivi elettronici amplificatori o commutatori. Per questi motivi, grossi investimenti tecnologici sono stati fatti per ottimizzare le caratteristiche prestazionali legate alla commutazione dello stato elettrico del pixel in modo da ottenere dinamiche sufficienti a una corretta rappresentazione di testi, informazioni, immagini in movimento, filmati ecc. Oltre che per le ricadute tecnologiche ed industriali dell'utilizzo degli OTFT, è di notevole importanza il loro impiego nella Scienza dei Materiali applicata all'Elettronica Organica come metodo investigativo considerando, quindi, essi stessi come un esperimento atto alla caratterizzazione delle proprietà di semiconduttori, isolanti e interfacce facendo leva sulla fisica che sottende il funzionamento dei transistor ad effetto di campo.

Lo scopo della presente indagine è legato alla relazione che intercorre tra le prestazioni elettriche degli OTFT, le proprietà dei dielettrici di gate e la fisica delle interfacce gate-canale. Come è noto, dette interfacce, sono responsabili della crescita di film di materiali parzialmente ordinati/disordinati la cui qualità policristallina ha un fondamentale impatto sul trasporto di carica elettrica. Benchè tali legami siano qualitativamente noti ed in parte già quantitativamente esplorati, le cause e le relazioni alla base di detti legami non sono ancora completamente comprese anche a causa della ampia varietà di casi che nella pratica possono presentarsi. Tenendo presente che i

dielettrici di gate sono per questo considerati uno dei fattori chiave nella modellizzazione e nell'ottimizzazione di dispositivi OTFT, le finalità e gli sforzi di questo lavoro si sono concentrati attorno all'interpretazione del ruolo giocato dagli isolanti e dalle loro interfacce nella determinazione delle prestazioni dei transistor organici. Tra gli aspetti fondamentali investigati, annoveriamo le perdite di gate e i modelli di estrazione necessari a stimare la corrente di canale scevra da non idealità legate alla corrente di gate, la relazione tra la bagnabilità della superficie dielettrica e la crescita del pentacene (usato come semiconduttore di canale), la morfologia del materiale di canale, il trasporto di carica all'interfaccia e la sua attivazione termica.

In particolare, i regimi di funzionamento dei dispositivi e i parametri di prestazione sono stati studiati considerando alcuni comportamenti non ideali che possono deviare le interpretazioni fisiche dei meccanismi di trasporto dei portatori conducendo a considerazioni errate. In questa analisi la conduzione parassita nel dielettrico di gate è stata esplicitamente portata in conto poichè interessante sia dal punto di vista scientifico che industriale. Infatti, le perdite di gate figurano spesso come un *problema nascosto* benchè presente in molti studi di letteratura. Nondimeno, esse sono potenzialmente dominanti in casi significativi che coinvolgono l'impiego di isolanti depositi da soluzione, dielettrici con spessori sub-micrometrici e/o polimerici; infatti esse sono responsabili delle dissipazioni statiche in implementazioni circuitali basate su tecnologia OFET (transistori organici ad effetto di campo). Al fine di ottenere dispositivi ottimizzati, abbiamo studiato le prestazioni degli OTFT al variare del materiale dielettrico; a tal fine, abbiamo utilizzato la bagnabilità superficiale dell'isolante come parametro guida da minimizzare per ottenere canali maggiormente prestazionali. Seguendo qn questo approccio, dopo aver analizzato dielettrici commerciali di differenti spessori e studiato la mobilità per effetto di campo in un modello che includesse le perdite di gate, abbiamo agito sulla natura delle interfacce al fine di ottenere superfici idrofobiche e quindi provocare la crescita di grani di pentacene di dimensioni elevate nella zona di canale.

Nella parte sperimentale, per la preparazione degli OTFT abbiamo confrontato le prestazioni di dispositivi ottenuti mediante l'utilizzo di composti altamente idrofobici, trattamenti di preconditionamento superficiale (in parte mutuati dai processi già noti) e la deposizione di strati buffer nanometrici. Proseguendo su questa linea, per favorire le prestazioni abbiamo sviluppato e introdotto un materiale ibrido organico-inorganico di nuova concezione depositato da una soluzione: il *Tetraetil Ortosilicato / 1H,1H,2H,2H-Perfluorodecil trietoxysilano* (più semplicemente nota come PFTEOS:TEOS). Strati di siffatto materiale, caratterizzato da unità superficiali perfluoroalchiliche responsabili delle desiderate proprietà idrofobiche, sono stati depositati da soluzione per spin-coating su una gate metallica mediante la tecnica sol-gel. In un successivo passo di ottimizzazione, è stato introdotto un sottile (<10nm) strato di adattamento in PMMA - *poli(metilmetacrilato)* per migliorare la qualità dell'interfaccia e ridurre le perdite di gate.

Il legame tra la mobilità di carica e la morfologia del canale per i dielettrici considerati è stato estrapolato ed analizzato denunciando la singolarità del PFTEOS:TEOS rispetto ad una ben regola empirica generalmente condivisa. Sfuggendo alle usuali considerazioni riguardo l'effetto dei bordi di grano sul trasporto di carica nel canale, dette singolarità hanno spinto ad adottare l'attivazione termica dei portatori come metodo di indagine per guadagnare una visione più profonda nell'interpretazione dei difetti nello strato semiconduttore.

Le analisi termiche del meccanismo di trasporto di carica, effettuate per i campioni considerati, hanno mostrato una generale validità della regola di Meyer-Neldel sia per i dielettrici

polimerici che per gli ibridi innovativi. Inoltre, l'estrazione di parametri energetici nei diagramma di Arrhenius applicata alle caratterizzazioni elettriche statiche è stata in grado di rivelare le differenze in termini di legame tra le mobilità massime e le energie caratteristiche (E_{MN}) in ciascun film nel confronto tra OTFT con dielettrici convenzionali e dispositivi realizzati con gli ibridi (in particolare col PFTEOS:TEOS).

Le differenze nella natura e nella qualità dell'interfaccia dielettrico/semiconduttore organico hanno quindi mostrato di essere correlate alla temperatura isocinetica (oltre che all'energia di attivazione dei portatori) e, in ultima analisi, al parametro " σ " della funzione gaussiana di densità di stati in banda di valenza interpretabile come grado di disordine energetico nel canale. Più in dettaglio, adottando questo metodo di indagine, alternativo rispetto a quanto sviluppato in letteratura, è stato possibile rilevare una inversione nell'andamento della mobilità in funzione della temperatura isocinetica (T_{MN}) tra i campioni con dielettrico PMMA e gli ibridi in TEOS/PFTEOS:TEOS ed evidenziare le specificità introdotte dalla natura del dielettrico innovativo nei fenomeni di trasporto termicamente attivati. Per questo motivo, la natura del dielettrico è stata riconosciuta come responsabile di un ampio spettro di fenomeni termicamente attivabili nella risposta elettrica di semiconduttori parzialmente disordinati. Per cui è stato necessario attribuire alle caratterizzazioni termiche un ruolo discriminante nello studio di dielettrici non convenzionali e delle loro interfacce verso il canale poichè intimamente legate al disordine nella nanostruttura in mezzi policristallini come il pentacene.

In conclusione, il comportamento di un isolante di nuova concezione è stato caratterizzato e analizzato confrontandolo con dielettrici studiati in precedenza scoprendo andamenti non comuni nella relazione tra la mobilità e l'energia di attivazione termica. Quest'ultima ha infatti esibito un trend decrescente rispetto al disordine energetico. Ciò è esattamente l'opposto rispetto all'andamento evidenziato dai transistor in PMMA; ciò dimostra che esistono casi in cui la dipendenza tra mobilità e microstruttura non viene rispettata e che le motivazioni di ciò possono essere indagate mediante lo studio dell'energia di Meyer-Meldel incoraggiando l'investigazione e l'impiego del PFTEOS:TEOS nel campo degli OTFT.

L'Elettronica Organica deve ancora affrontare molte sfide prima di affermarsi come competitiva in settori di mercato ancora parzialmente lasciati scoperti dalla tecnologia cosiddetta *convenzionale*. Da questo punto di vista, la possibilità di sfruttare le singolarità di classi di dielettrici innovative per rompere i legami assestati tra prametri di processo e prestazioni fisiche, unita alla disponibilità di tecniche di indagine e modellizzazione di secondo ordine, può essere un promettente punto di inizio per ulteriori sviluppi sia nel campo delle non-idelaità degli isolanti di gate sia nello studio del trasporto di carica.