

Estudo e fabricação de transistores orgânicos de efeito de campo com porta eletrolítica

Study and fabrication of electrolyte-gated organic field-effect transistors

RESUMO

Henrique Schavarski
schavarski@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Douglas José Coutinho
douglasjcoutinho@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Com o crescente avanço da área de eletrônica orgânica, além de aplicações na fabricação de dispositivos eletrônicos, há uma nova vertente, os biossensores. Este trabalho tem por objetivo fabricar e investigar as propriedades elétricas de um transistor orgânico de efeito de campo com porta eletrolítica (*electrolyte-gated organic field-effect transistor* - EGOFET). Os terminais dreno e fonte do transistor consistem de um filme fino interdigitado de ouro, fabricado utilizando a técnica de fotolitografia e evaporação térmica. A camada semicondutora, consiste de um polímero semicondutor poly(3-hexylthiophene) (P3HT), depositado via técnica de *spin-coating*. A camada dielétrica é composta por uma solução aquosa e um fio condutor de Ag/AgCl como eletrodo de porta do dispositivo. A tensão de chaveamento do transistor (V_G) foi de aproximadamente -0,5V, voltagem bem abaixo daquelas observadas em dispositivos utilizando dielétricos sólidos. Uma razão ON/OFF de 20 vezes foi obtida, aplicando-se $V_D = -0,5V$. A corrente de condução do canal para $V_G = -0,5V$ e $V_D = -0,5V$ foi de 15 μA . A transcondutividade (gm) do transistor foi de 17 μS . Neste trabalho, mostramos um transistor orgânico de efeito de campo, fabricado e caracterizado em nosso laboratório, com desempenho igual ou superior aos valores encontrados na literatura, visando posteriormente à aplicação em biossensores.

PALAVRAS-CHAVE: EGOFET. P3HT. Polímero orgânico.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

With the growing advancement of organic electronics, in addition to applications in the fabrication of electronic devices, there is a new aspect, biosensors. This work aims to manufacture and investigate the electrical properties of an electrolyte-gated organic field-effect transistor (EGOFET). The drain and source terminals of the transistor consist of a gold interdigitated. The semiconductor layer, consists of a poly (3-hexylthiophene) (P3HT) semiconductor polymer, deposited via spin-coating technique. The dielectric layer is composed of an aqueous solution and an Ag / AgCl lead wire as the device gate electrode. The transistor switching voltage (V_G) was approximately -0,5V. An ON/OFF ratio of 20 times was obtained by applying $V_D = -0,5V$. Channel conduction current for $V_G = -0,5V$ and $V_D = -0,5V$ was 15 μA . The transconductivity (gm) of the transistor was 17 μS . In this work, we show a field effect organic transistor, manufactured and characterized in our laboratory, with performance equal to or superior to the values found in the literature, aiming later the application in biosensors.

KEYWORDS: EGOFET. P3HT. Organic polymer.

INTRODUÇÃO

A eletrônica orgânica é uma importante área da ciência focada no estudo e fabricação de dispositivos semicondutores produzidos a partir de moléculas orgânicas baseadas em carbono. Entre as suas principais vantagens estão o desenvolvimento de dispositivos mais baratos e uso de materiais flexíveis como substrato. Destaca-se a grande quantidade formas de fabricação que vão desde impressão à *spin-coating*.

Além de aplicações na fabricação de dispositivos eletrônicos, há uma nova vertente para a área, relacionada aos biossensores. Os materiais eletrônicos orgânicos possuem a capacidade de biocompatibilidade, propriedade essa fundamental para a transdução de sinais elétricos e iônicos.

Este trabalho tem por objetivo fabricar e investigar as propriedades elétricas de um transistor orgânico de efeito de campo com porta eletrolítica (*electrolyte-gated organic field-effect transistor* - EGOFET) utilizando P3HT (*poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl)*) como semicondutor, uma solução aquosa como dielétrico e um fio condutor de Ag/AgCl como eletrodo de porta.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o substrato foi adotado uma placa de vidro com dimensões 3cm x 1,5cm x 1,1mm que servirá como base para os contatos e camadas que compõe os dispositivos. Os terminais dreno e fonte do transistor compõem-se de um filme fino interdigitado de ouro, que pode ser visto na Figura 1, fabricado diretamente em cima do substrato de vidro utilizando a técnica de fotolitografia e evaporação térmica.

O comprimento total do interdigitado é de 3cm e a distância entre os filamentos que formam o canal variam entre 50 μ m e 125 μ m. Essa distância entre filamentos pode ser a mesma para os 5 transistores contidos em um mesmo substrato ou apresentar distâncias diferentes, dependendo apenas da máscara utilizada para sua fabricação.

A estrutura escolhida por conveniência de fabricação é definida como *top-gate bottom-contacts*, que indica que os terminais de dreno e fonte se encontram na parte inferior do dispositivo, diretamente à cima do substrato, enquanto a porta encontra-se na parte superior. Esses são separados pela camada isolante. A representação da estrutura pode ser observada na Figura 2.

O P3HT é um polímero que vem sendo amplamente utilizado pela comunidade científica por apresentar importantes características orgânicas e eletrônicas. Neste trabalho esse polímero foi empregado para a formação da camada semicondutora.

Neste escopo, o Tolueno foi utilizado como solvente para o P3HT, o que viabiliza a utilização de *spin-coating* como técnica de deposição, tornando assim o processo mais barato e com maior facilidade de execução.

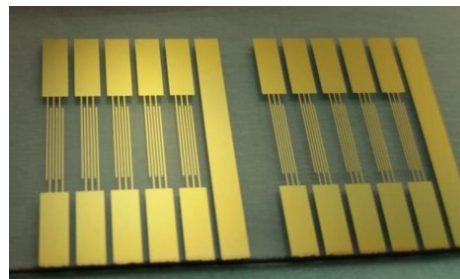
A rotação do *spin-coating* para a deposição do P3HT foi definida como 3500rpm durante 60s é realizada com o substrato devidamente limpo em acetona, água deionizada e álcool isopropílico. A rotação é escolhida de modo a produzir o filme mais uniforme possível.

A camada dielétrica é composta por uma solução aquosa depositada sobre o filme semicondutor. Considerando que o filme de P3HT é hidrofóbico e tende a repelir a solução aquosa, antes de aplicar a camada dielétrica, se faz necessário posicionar uma fita espessa e com formato adequado, a fim de represar esta solução sobre o filme semicondutor e sobre o interdigitado.

Um fio condutor de Ag/AgCl é utilizado como eletrodo de porta e é posicionado com uma de suas pontas dentro da solução aquosa do dielétrico, de modo a não entrar em contato com o filme semicondutor. Conclui-se então a estrutura do transistor.

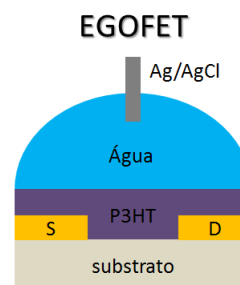
Após a fabricação os dispositivos foram avaliados a partir de um *source measure unit* (SMU) KEITHLEY 2614B, de onde se retirou os resultados e possibilitou a caracterização dos dispositivos. Em geral, as curvas de saída a seguir, que relacionam corrente de dreno (I_D) com a tensão de dreno (V_D), são tomadas variando a tensão de porta (V_G) de 0V a -0,5V em 6 passos e variando V_D de 0V a -0,5V em 21 passos.

Figura 1 – Substrato com interdigitado de ouro



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 2 – Configuração do dispositivo



Fonte: Autoria própria (2019).

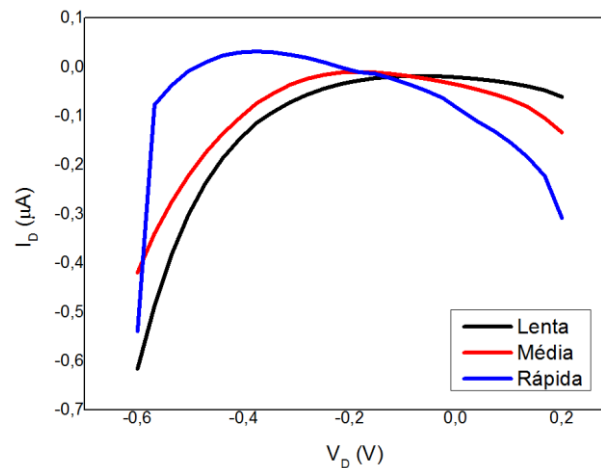
RESULTADOS E DISCUSSÃO

VELOCIDADE DE MEDIÇÃO

O primeiro ponto a ser analisado é referente à velocidade de leitura e sua influência nos resultados. A partir da Figura 3 observa-se que quanto mais rápido a leitura, mais distorcidos serão os resultados, o que está relacionado ao tempo de ionização do dielétrico, isto é, uma vez aplicado a diferença de potencial na porta, os íons contidos na água tendem a se dispersar na superfície do eletrodo e na

superfície do filme de P3HT, fenômeno que causa o efeito de campo, mas que não ocorre instantaneamente. Logo se conclui que a leitura lenta é mais adequada.

Figura 3 – Curva de transferência com diferentes velocidades de leitura, lenta com 26s de medida, média com 2,6s de medida e rápida com 0,26 segundos de medida



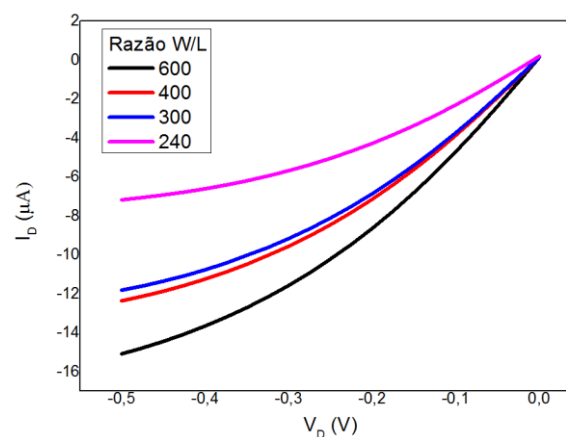
Fonte: Autoria própria (2019).

VARIAÇÃO DE CANAL

Na sequência foi realizado o estudo da influência da variação da largura (W) e conseqüentemente da razão largura por comprimento (W/L). A Figura 4 mostra quatro transistores variando o W de 50 μ m a 125 μ m, fabricados ao mesmo tempo sobre o mesmo substrato.

Imediatamente, após a fabricação, foi realizada apenas uma medida em cada transistor, buscando reduzir ao máximo os efeitos da degradação. Observa-se que a corrente de dreno é diretamente proporcional a razão W/L, como esperado.

Figura 4 – Curva de saída para quatro diferentes transistores em um mesmo substrato variando a razão W/L

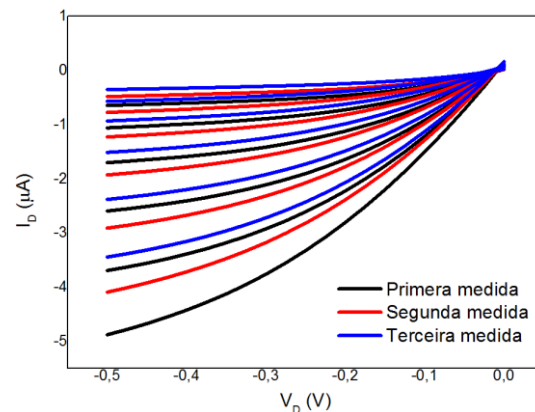


Fonte: Autoria própria (2019).

DEGRADAÇÃO

De antemão se sabe que a degradação em função de estresse elétrico diminui a corrente de dreno. O fenômeno é observável ao fazer três conjuntos de medidas em um mesmo transistor onde a cada medida, para os mesmos valores de tensão, a corrente é menor (Figura 5).

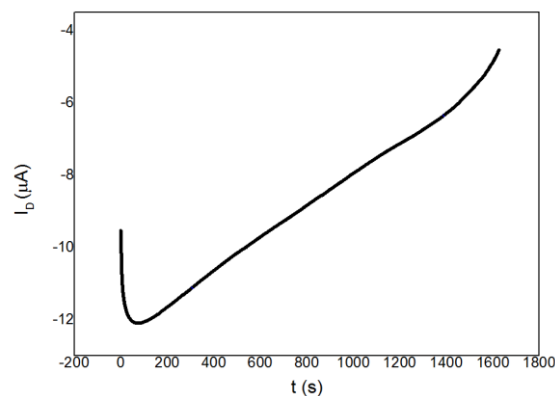
Figura 5 – Três conjuntos de medidas realizadas em um mesmo transistor



Fonte: Autoria própria (2019).

Uma maneira de avaliar a degradação é aplicar V_G e V_D e observar o comportamento da corrente de dreno em relação ao tempo (Figura 6). Após a completa polarização do dielétrico, a corrente decai de forma aproximadamente linear com uma taxa de $4,4\text{nA/s}$.

Figura 6 – Corrente de dreno em função do tempo

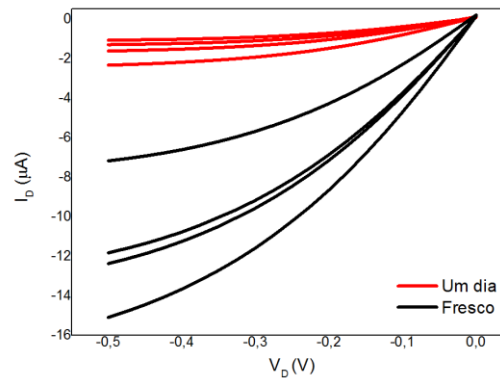


Fonte: Autoria própria (2019).

Para verificar que a degradação não ocorre apenas em função do estresse elétrico, o seguinte experimento foi realizado desta forma: dois conjuntos de dispositivos foram fabricados no mesmo dia e se utilizando dos mesmos métodos. Um dos conjuntos foi imediatamente submetido a medidas, enquanto o outro foi submetido às mesmas medidas apenas um dia depois.

A comparação entre os conjuntos de medidas pode ser observada na Figura 7. O conjunto medido após um dia, apresenta níveis de corrente muito inferiores, que destaca a sua degradação em função do tempo.

Figura 7 – Primeira medição em um conjunto de transistores que varia a razão W/L, quando fresco em comparação com a primeira medição realizada em um conjunto após um dia de sua fabricação



Fonte: Autoria própria (2019).

CONCLUSÃO

Os dispositivos fabricados para o desenvolvimento deste trabalho apresentam algumas características promissoras, como um bom grau de reprodutibilidade, que facilita o estudo, e a baixa tensão de operação, que é um importante aspecto de componentes em microeletrônica.

O dispositivo proposto, ainda que funcional, apresenta um coeficiente de degradação bastante acentuado, o que por momento limita bastante a sua aplicação prática. Porém, tendo em vista se tratar de uma pesquisa inicial, fica em aberto o estudo do encapsulamento do dispositivo, bem como outros métodos que minimizem os efeitos da degradação.

REFERÊNCIAS

LEITE, G. V. **Desenvolvimento, caracterização e otimização de transistores orgânicos de efeito de campo**. Dissertação (Doutorado em Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

KERGOAT, L.; HERLOGSSON, L.; BRAGA, D.; PIRO, B.; PHAM, M.; CRISPIN, X.; BERGGREN, M. and HOROWITZ, G. 2010. **A Water-Gate Organic Field-Effect Transistor**. *Adv. Mater.*, 22: 2565-2569. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adma.200904163>. Acesso em: 19 ago. 2019.