UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76

Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXIII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS SEMANA NACIONAL DE CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA - 2019

Caracterização elétrica de um Sensor de pH usando um Transistor de Efeito de Campo com Gate-Estendido e Arduino.

William Max dos Santos Silva Silva¹; Ernando Silva Ferreira²

1. Bolsista Probic/Uefs, Graduando em Bel.Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail:

max.fisuefs@gmail.com

2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: ernando@yahoo.com

PALAVRAS-CHAVE: EGFET; Arduino®; pH.

INTRODUÇÃO

Devido às aplicações dos biossensores no desenvolvimento dos mais variados segmentos, como processamento de alimentos, farmácia, medicina entre outros, e com o avanço exponencial da microeletrônica, esses sensores vêm se tornando a cada dia mais baratos e compactos, possibilitando medidas confiáveis em tempo real, tão seguras quanto as dos aparelhos empregados em laboratórios de análise. (Sugimoto L. 2003)

Sensores são dispositivos capazes de mensurar ou quantificar uma grandeza – luminosidade, pressão, pH – a partir de um sinal físico ou químico. São compostos também por um transdutor, o qual converte um sinal de entrada para um domínio desejável, geralmente sinal elétrico (Balbinot, A.; Brusamarello.2011).

Os biossensores baseados na técnica de potenciometria, proposta por Nernst, em 1888, constituem uma das técnicas mais aplicadas para medidas de pH, atividade fundamental nos mais diversos campos da ciência, uma vez que com estes é possível se fazer medidas indiretas de ureia, colesterol, glicose e etc. (Daniel R. Thévenot, et al. 1999).

Com o advento dos transistores, muitas pesquisas levaram ao desenvolvimento do *Ion Sensitive Field Effect Transistor* (ISFET) e suas aplicações como biossensor (Bergveld, P. 2003). Dentro desta perspectiva, neste trabalho propõe simular e caracterizar eletricamente uma membrana comercial sensível a H^+ , feita de um filme fino de FTO (*Fluorine Tin Oxide*) depositado sobre um substrato de vidro.

1.1 O EGFET

Em 1970, Bergveld (Bergveld, P., et al, 1970, 2003) propõem pela primeira vez um sensor baseado em FET, o ISFET, que é uma tecnologia cara e inflexível. (Silva, Gláucio Ribeiro. 2009)

Anos depois, um novo dispositivo similar ao ISFET foi criado, o *Extended-gate field effect transistor* (EGFET) (Van der Spiegel.1983). Este consiste basicamente de um eletrodo de referência V_{ref} , um MOSFET comercial, com um eletrodo de trabalho

ligado ao seu *gate*. Isto garante flexibilidade ao EGFET, uma vez que o eltrodo de trabalho pode ser substituído por qualquer outro, e os transistores usados so acessveis e reutilizveis, tornando-se um timo sensor de *pH*. Porm, ainda h muitas pesquisas sendo realizadas na busca de membranas que respondam a uma ampla faixa de *pH*. Algumas caractersticas do material interferem na sensibilidade; uma delas a cristalinidade. Nesse sentido, FTO apresenta particularidades interessantes (Diniz, Pablo .2008).

Os sensores de *pH* do tipo EGFET tm a sua corrente modulada a partir do campo eltrico gerado pelos ons (H^+) da soluo, os quais alteram o potencial entre a membrana e o eletrlito, tendo como modelo para o sistema a teoria *electrolyte insulator semiconductor* (EIS), que leva em considerao a teoria *Site-bending model* e o funcionamento do ISFET, que tambm se aplica ao EGFET. Vale lembrar que o comportamento do EGFET s diverge do MOSFET em V_{TH} , devido s contribuies do dipolo de superfcie (χ_s), do potencial de superfcie, (ψ), definido pelo meio, e do potencial do eltrodo de referncia (E_{ref}). Sendo assim, a corrente que flui do dreno ao *source* (I_{DS}) para o MOSFET na regio no saturada (Resende, S. M. 1996) dada por:

$$I_{DS} = \frac{\mu_n C_{ox} W}{L} \left[V_{GS}(V_{GS} - V_{TH}) - \frac{V_{DS}^2}{2} \right], \quad (1)$$

Sendo V_{GS} a tenso aplicada entre o *gate* e o *source*, e V_{DS} a tenso entre o *dreno* e o *source*. Para a regio saturada, I_{DS} dada por:

$$I_{DS} = \frac{\mu_n C_{ox} W}{2L} [(V_{GS} - V_{TH})^2], \quad (2)$$

Onde μ_n , C_{ox} , W e L so parmetros do dispositivo e V_{TH} dada por:

$$V_{TH}(EGFET) = V_{TH}(MOSFET) + E_{ref} - \psi + \chi_s - \frac{\phi_s}{q}. \quad (3)$$

Onde ϕ_s a funo trabalho do dipolo de superfcie. No EGFET, a forma com a qual o potencial do *gate* modulada a partir da atividade de H^+ explicada pelo modelo de stio de ligaes (*site-bending model*). Este modelo foi proposto por Yates e generalizado por Fung em 1986. Neste modelo, a membrana sensvel, um xido, tm stios de ligaes anfteros, e, dada a interao com os prtons da soluo, formam-se tambm stios neutros, cidos e bsicos, os quais podem ser descritos pelas constantes de equilbrio cido (K_a) e base (K_b). Seja o pH_{PZC} ou *pH* no ponto de carga zero e K a constante de Boltzman, C_{DL} capacitncia da dupla camada, e o parmetro β expressa a sensibilidade do xido em funo do *pH*.

$$2,303(pH_{PZC} - pH) = \frac{q\psi}{kT} + \sinh^{-1} \left(\frac{q\psi}{kT\beta} \right); \beta = \frac{2q^2 N_s \left(\frac{K_a}{K_b} \right)^{-1/2}}{C_{dl} kT}. \quad (4)$$

MATERIAL E MTODOS

Para realizar a caracterizao do FTO fora utilizado um CMOS (do ingls *Complementary Metal Oxide Semiconductor*) comercial, CD4007UBE, como transdutor de sinal e para aquisio de dados o Arduino. A montagem experimental pode ser vista na imagem[1].

Figura 1. a) Montagem para análise do CD4007UBE. b) Montagem para análise do EGFET.

Foi selecionado um transistor tipo N para medida, tendo como *gate source drain* os pinos seis, oito e sete, respectivamente. Para polarização são necessárias duas fontes, e neste caso utilizou-se DAC's (do inglês Digital-to-Analog Converter), MPC4725, estes controlados pelo Arduino® a partir de sinais digitais. Para medida de corrente *dreno source* (I_{DS}) usou-se um resistor de 15Ω em série com o CD4007UBE. Como prediz a teoria, a corrente deve ser a mesma em todo circuito. Neste caso, então, basta medir a tensão no resistor para obtenção de I_{DS} .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes da montagem do EGFET foi preciso caracterizar o transistor para garantir o seu funcionamento. Para tal foram obtidas curvas de transcondutância e característica (I_{DS} vs V_{DS}) de modo manual e automatizado com o sistema de aquisição de dados que fora produzido. Vide figuras 2, 3 e 4.

Figura 2.a) Curvas características CD4007UBE, medidas manuais. b) Curvas características CD4007UBE, medidas automatizadas.

É visível que o sistema de aquisição funcione assim como o transdutor de sinal, mesmo com sinal ruidoso é possível caracterizar o dispositivo com o sistema de aquisição.

a) b)
 Figura 3.a) Curvas transcondutância CD4007UBE, medidas automatizadas. b) Curvas características EGFET, medidas manuais.

Com estas curvas é possível observar a resposta do sistema, o transdutor ou EGFET, em relação às tensões de entrada, determinando o valor de V_{TH} , ou seja, tensão para haver condução. Observe que para o EGFET há uma mudança neste valor, como esperado, vide eq.[3].

a) b)
 Figura 4.a) Curvas características EGFET, medidas automatizadas. b) Curvas características EGFET, medidas manuais.

Houve um problema durante as medidas, pois o eletrodo de trabalho utilizado degrada-se sob V_{ref} maiores que 2,5V e durante a medida houve falha de comunicação entre o Arduino e o DAC's. Sobretudo, o comportamento é razoável, se comparado à medida, a menos do valor de saturação. Enfim, foi possível mostrar a usabilidade e funcionamento do sistema automático de aquisição de dados; claro que o sistema precisa de melhorias, e também precisa do EGFET para caracterização elétrica de membranas, respeitando as características da mesma.

REFERÊNCIAS

- Bergveld, P.1970. Development of an Ion-Sensitive Solid-State Device for Neurophysiological Measurements. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Bm17,1,p.70-71
- Van der spiegel, J., Lauks, I., Chan, P., Babic, D.1983. The extended gate chemically sensitive field effect transistor as multi-species microprobe. Sens. Actuators 4,p.291–298.
- Daniel R. Thévenot, et al. 1999. Electrochemical Biosensors: Recommended Definitions and Classification, Pure Appl. Chem., Vol. 71, No.12, p. 232-348.
- Sugimoto L.2003. Biossensores: de tão simples e baratos, as pessoas desconfiam, Jornal da Unicamp, 232, p.8.
- Bergveld, P. 2003. Thirty years of ISFETOLOGY: what happened in the past 30 years and what may happen in the next 30 years. Sens. Actuators B: Chem. 88, p1–20.
- Diniz, Pablo Batista.2008. Dispositivos semicondutores a partir de óxidos de estanho e zinco, Ribeirão Preto, pp. 171.
- Silva, Gláucio Ribeiro.2009. Materiais micro e nanoestruturados para sensores de íons do tipo EGFET. Ribeirão Preto.p.6-33.
- Balbinot, A.; Brusamarello, V.J.2011. Instrumentação e Fundamentos de Medidas 2a. ed. LTC,p.9-11.