

## Estudo das propriedades optoeletrônicas de dispositivos de rede de nanofios de germânio para aplicação em sensores de luz e células solares

MACEDO, J.M.M<sup>1</sup>, GOUVEIA, R.C<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Licenciatura em química, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Sertãozinho, jefersonmmooussa@gmail.com.

<sup>2</sup> Doutora em Física, Professora no IFSP, Câmpus Sertãozinho, [riama@ifsp.edu.br](mailto:riama@ifsp.edu.br).

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 1.05.07.00-0 Física da matéria condensada.

Apresentado no

10º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP  
27 e 28 de novembro de 2019- Sorocaba-SP, Brasil

**RESUMO:** Nas últimas décadas uma área com grande produtividade, em termos de pesquisa científica e tecnológica, é a de materiais semicondutores nanoestruturados; dentre as possíveis aplicações, uma é a investigação de propriedades optoeletrônicas de dispositivos baseados em nanofios, para aplica-los em sensores de luz ou células solares, já que a geometria dos nanofios – relação área superficial/ volume – favorece sua eficiência. Dentre os elementos estudados encontra-se o germânio e pesquisas recentes indicam que inserção de alguns tipos de impureza no germânio podem amplificar os efeitos fotoeletrônicos, melhorando o desempenho dos dispositivos. O presente projeto teve como objetivo sintetizar nanofios de germânio, com e sem a adição de cobre como dopante, produzir dispositivos de rede de nanofios na arquitetura metal-semicondutor-metal e investigar as propriedades optoeletrônicas destes. Os resultados mostraram eficiência na síntese de nanofios, tanto no aspecto morfológico quanto no de composição. Análises de fotocorrente nos dispositivos construídos mostraram elevação na corrente elétrica frente a incidência de radiação, além de verificar a existência de um padrão entre aumento da fotocorrente em relação a diferentes potências da luz aplicada ao dispositivo, indicando a possibilidade de aprofundamento de análise do comportamento desses padrões.

**PALAVRAS-CHAVE:** Semicondutores; nanofios; germânio; cobre; dopagem.

### Study of the optoelectronic properties of germanium nanowire network devices for application in light sensors and solar cells

**ABSTRACT:** In recent decades an area of big productivity in terms of scientific and technological research is nanostructured semiconductor materials. Among the possible applications, one is the investigation of optoelectronic properties of nanowire-based devices to apply them to light sensors or solar cells, since the geometry of nanowires - surface area / volume ratio - favors their efficiency. One element studied is germanium and recent research indicates that insertion of some types of impurity in germanium can amplify photoelectronic effects, improving device performance. The present project aimed to synthesize germanium nanowires, with and without the addition of copper as dopant, to produce nanowire network devices in the metal-semiconductor-metal architecture and to investigate their optoelectronic properties. The results showed efficiency in the synthesis of nanowires, both in the morphological aspect and in the composition. Photocurrent analyzes in the built devices showed an increase in the electric current with the incidence of radiation, and indicate the existence of a pattern relating photocurrent increase and different light powers applied to the device, motivating further analysis of the behavior of these patterns.

**KEYWORDS:** Semiconductors; nanowires; germanium; copper; doping.

### INTRODUÇÃO

O crescente processo de miniaturização dos dispositivos eletrônicos tem motivado a pesquisa em nanoestruturas, que passam a se constituir como blocos fundamentais de construção desse tipo de equipamento. Um dos temas de interesse dentro da área é a investigação de propriedades optoeletrônicas de dispositivos baseados em nanofios, com a finalidade de aplica-los em sensores de luz ou células solares. Esse tipo de nanoestrutura apresenta aumento na relação superfície/ volume que eleva a área

ativa dos dispositivos construídos, especialmente sensores, além de sua geometria apresentar vantagens nas etapas de conversão fotovoltaica (Garnett et. al., 2011).

Pesquisas com nanofios semicondutores mostram que o germânio merece atenção (Hobbs et. al., 2012), por apresentar características como: alta mobilidade de portadores, pequenos valores de *gap* de energia, grande capacidade de absorção de luz visível e infravermelha, e facilidade no processo de síntese (Kamimura, 2012). A síntese de nanofios de Germânio sem a adição de impurezas, é possível com uso de diversas técnicas, entre elas o método vapor-líquido-sólido – VLS (Ahn; Park, 2007). Algumas pesquisas relatadas na literatura também investigam a síntese e as características de nanofios de germânio dopados (Fukata et. al., 2010).

Uma possibilidade ainda pouco explorada é a utilização de dispositivos de rede de nanofios de germânio, intrínseco ou dopado, em dispositivos opto-eletrônicos. Este trabalho teve como objetivo a síntese de nanofios de germânio com adição de cobre como impureza, bem como sua caracterização estrutural, construção de dispositivos e caracterização de suas propriedades optoeletrônicas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O processo foi iniciado com a formação das nanopartículas do catalisador metálico. Para isso, foi feita a deposição de um filme fino de ouro (2nm), em substratos de Si/SiO<sub>2</sub> e vidro, por evaporação térmica (Edwards AUTO 306) em alto vácuo, com pressão inferior a 10<sup>-5</sup>mbar. Sequencialmente foi feito o tratamento térmico nestes substratos em um forno mufla adaptado para forno tubular (Magnu's, 1200°C). Para a síntese dos nanofios foi utilizado o método vapor-líquido-sólido (Kamimura, 2012), usando como precursor germânio puro e germânio com 20% de cobre.

A análise estrutural dos nanofios sintetizados foi feita com o uso de três técnicas experimentais: microscopia óptica (Zeiss Axio M2m, Zeiss 800x e Quimis Academic Q708-4K), microscopia eletrônica de varredura (FEG-SEM Zeiss supra 35) e difração de raios-x (Shimadzu XRD 6100, 40 kV, 30 mA, K $\alpha$  Cu 1,54nm, 10° a 60°, 1° /min). As técnicas de microscopia foram utilizadas para verificar a morfologia nanofios sintetizados, enquanto a difração de raios-x analisou a composição dos mesmos. Sequencialmente foi feita a fabricação dos dispositivos eletrônicos por meio da inserção de contatos metálicos (níquel – 80nm) sobre a rede de nanofios, realizada através de evaporação por feixe de elétrons em alto vácuo com pressão inferior a 10<sup>-5</sup>mbar. Para caracterização das propriedades optoeletrônicas dos dispositivos foi utilizado eletrômetro Keithley 6517, um micromanipulador para estabelecer contato da amostra com o eletrômetro, e uma lâmpada de potência para simular a radiação solar (Figura 1).

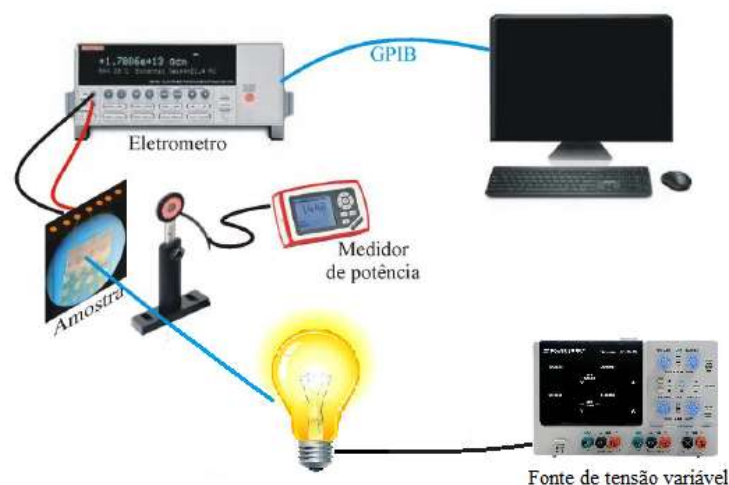


Figura 1: sistema de medidas utilizado para caracterização optoeletrônica.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises da morfologia e composição dos nanofios sintetizados, tanto nos substratos de Si/SiO<sub>2</sub> quanto vidro, evidenciaram resultados satisfatórios na utilização do método VLS. Por meio de imagens do microscópio eletrônico de varredura foi possível observar uma densidade considerável de nanofios em escala nanométrica, como mostrado na Figura 2.a. O método de difração de raios-x

identificou que os nanofios continham a estrutura cristalina de diamante característica do germânio, mostrando eficiência no processo de síntese (Figura 2.b).

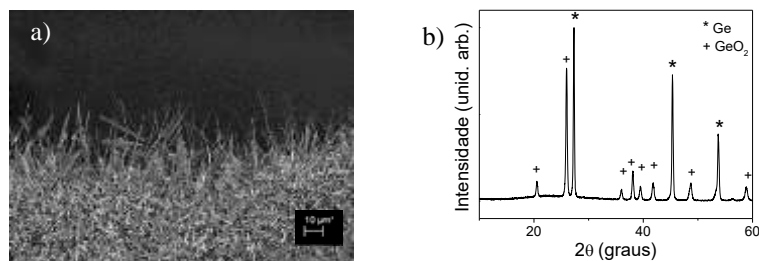


FIGURA 2: a) Imagem feita pelo MEV mostrando uma densa rede de nanofios em escala nanométrica; b) Padrão de raios-x de uma amostra ndicam composição dos nanofios de germânio.

Posteriormente a construção dos dispositivos com evaporação de contatos metálicos sobre a amostra, medidas de fotocorrente foram realizadas com a aplicação de radiação eletromagnética entre os contatos do dispositivo. Essa radiação foi provida por uma lâmpada de potência que simulou a luz solar. Ao incidir sobre o dispositivo, ocorreu um aumento na intensidade da corrente em diferentes tensões, de acordo com a variação da intensidade da luz incidida, como observado na figura 3.a. Verificou-se também que a fotocorrente possui um padrão de crescimento respondente a intensidade da potência da radiação envolvida (Figura 3.b).

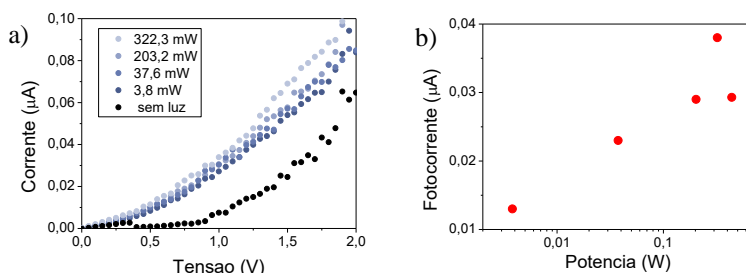


FIGURA 3: a) Relação entre tensão e corrente de um dispositivo ao qual foi incidido potências de luz; b) relação entre fotocorrente e potência da luz incidida no dispositivo.

## CONCLUSÕES

Conclui-se que os dispositivos construídos utilizando nanofios de germânio com adição de cobre apresentaram efeito de fotocorrente, evidenciando sua sensibilidade à radiação que simula a solar. Também foi possível verificar um padrão existente entre intensidade da corrente elétrica nos dispositivos e a potência da radiação incidida, mostrando a possibilidade de aprofundamento para identificação do padrão e sua causa, bem como continuidade de análises que incluem uma avaliação fotovoltaica dos dispositivos.

## AGRADECIMENTOS

Ao NanOLab, pela parceria na realização das sínteses e caracterizações das nanoestruturas e ao CNPQ, pela bolsa de iniciação científica na modalidade PIBITI.

## REFERÊNCIAS

- AHN, Y. H.; PARK, J ET AL. Efficient visible light detection using individual germanium nanowire field effect transistors. **Applied Physics Letters**, v. 91, p. 162102, 2007.
- GARNETT, ERIK C. ET. AL., Nanowire Solar Cells, **Materials Research**, v. 41, p. 269-295, 2011.
- FUKATA, N. ET. AL., Doping and Raman Characterization of Boron and Phosphorus Atoms in Germanium Nanowires **ACS Nano**, v. 4, n. 7, p. 3807-3816, 2010.
- HOBBS, RICHARD G. ET. AL. Semiconductor Nanowire Fabrication by Bottom-Up and Top-Down Paradigms. **Chemistry of Materials**. v. 24, p. 1975-1991, 2012.
- KAMIMURA, HANAY. **Nanofios de Ge: síntese e dispositivos**. São Carlos, 2012. 67f. Dissertação de Mestrado – UFSCar.