

ESTUDO COMPARATIVO DE PROPRIEDADES ELETRÔNICAS DE DISPOSITIVOS DE REDE DE NANOFIOS DE GERMÂNIO COM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES

JOÃO VÍTOR C. MACHADO¹, ADENILSON J. CHIQUITO², RIAMA C. GOUVEIA³

¹ Cursando Ensino Técnico Integrado em Automação Industrial, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Sertãozinho. joaovitormachado2013@gmail.com.

² Graduado em Física pela UFSCar, mestre e doutor em Física pela mesma Universidade e Pós-Doutor em Física pela USP. Atualmente é Professor Associado no Depto. de Física da Universidade Federal de São Carlos. chiquito@df.ufscar.br

³ Doutora em Física pela UFSCar. Mestre em Ensino de Ciências Exatas - Física pela UFSCar. Possui graduação em Licenciatura em Física pelo CEFETSP. Atualmente é professora do IFSP, campus Sertãozinho. riama@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 1.05.07.10-8 Transp. Eletrônicos e Prop. Elétricas de Superfícies, Interfaces e Películas

Apresentado no

8º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP

06 a 09 de novembro de 2017 - Cubatão-SP, Brasil

RESUMO: Este trabalho de pesquisa propõe a síntese de nanofios de germânio pelo método de crescimento vapor-líquido-sólido, bem como a caracterização destas nanoestruturas em relação a algumas de suas propriedades, como diâmetro, comprimento e composição, com o uso de técnicas de microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura e difração de raios-x. Também propõe a construção de dispositivos de rede de nanofios, com os nanofios de germânio sintetizados, no formato metal – semicondutor – metal, com diferentes configurações em relação à posição e/ou ao tamanho dos contatos e da rede de nanoestruturas para investigação de propriedades elétricas e/ou optoeletrônicas que sejam influenciadas pela arquitetura do dispositivo. Foram realizados tratamentos térmicos de filmes finos de ouro para formação de nanopartículas catalisadoras, a partir das quais foram sintetizados nanofios de germânio, posteriormente analisados por microscopia óptica. Foram também construídos dispositivos por meio da deposição de contatos metálicos sobre a rede de nanofios, nos quais foram efetuadas medidas de corrente em função da tensão aplicada. Os resultados colhidos, dos comparativos entre as propriedades elétricas observadas, mostram uma relação de dependência entre a resistência densidade da rede de nanofios nos dispositivos desenvolvidos e apontam para uma variação destas propriedades com o passar do tempo.

PALAVRAS-CHAVE: Germânio; Nanofios; Propriedades elétricas.

COMPARATIVE STUDY OF ELECTRONIC PROPERTIES OF NORMAL NETWORK DEVICES OF GERMANIUM WITH DIFFERENT SETTINGS

ABSTRACT: This work proposes the synthesis of germanium nanowires by the vapor-liquid-solid growth method, as well as the characterization of these nanostructures in relation to some of their properties, such as diameter, length and composition, using optical microscopy techniques, Scanning electron microscopy and x-ray diffraction. It also proposes the construction of nanowire network devices, with the synthesized germanium nanowires in the metal - semiconductor - metal format, with different configurations in relation to the position and / or size of the contacts and nanostructures network for investigation of electrical properties And / or optoelectronics that are influenced by the device architecture. Thin films of gold for the formation of catalytic nanoparticles, from which Germanium nanowires were synthesized, were analyzed by light microscopy. Devices were also constructed by depositing metal contacts on the nanowire network, in which current measurements were made as a function of the applied voltage. The results obtained, from the comparisons between the observed electrical properties, show a dependence relationship between the resistance of the nanowire network in the developed devices and point to a variation of these properties with the passage of time.

KEYWORDS: Germanium; Nanowires; Methodology; Electrical properties.

INTRODUÇÃO

O elemento químico germânio faz parte da história dos equipamentos eletrônicos baseados em semicondutores desde seus anos iniciais, sendo o primeiro material semicondutor a ser produzido na forma de monocristais de alta pureza (ORTON, 2004) e os primeiros transistores foram construídos a partir de substratos de germânio (CLAEYS; SIMOEN, 2007).

Nos dias de hoje, estão sendo realizadas pesquisas sobre o crescimento de nanofios de germânio e sua aplicação em dispositivos como transistores, sensores, células solares, etc. Os nanofios de germânio podem ser sintetizados por vários métodos, sendo um dos mais comuns e eficientes o mecanismo vapor-líquido-sólido, ou VLS, (CAO, 2004), em que vapor de germânio é adsorvido por um metal catalisador em estado líquido, geralmente ouro, e precipita-se na interface líquido-sólido compondo o nanofio cristalino (O'REGAN et. al., 2014).

Com os nanofios sintetizados é possível construir dispositivos eletrônicos, bastando para isto a adição de contatos metálicos. É possível construir dispositivos com um único nanofio e com uma rede de nanofios, sendo que os dispositivos em rede aumentam a área ativa do dispositivo e sua durabilidade, sendo importantes na elaboração de sensores (ZHOU et. al., 2006 e BAO et. al., 2008).

Características das redes de nanofios, como diâmetros e comprimentos dos nanofios ou a sua densidade e distribuição, podem afetar propriedades ópticas e elétricas dos dispositivos, como resistência ou resposta optoeletrônica. Assim, o objetivo geral deste trabalho de pesquisa foi construir dispositivos de nanofios de germânio do tipo rede de nanofios em diferentes arquiteturas e investigar, comparativamente, propriedades elétricas e/ ou optoeletrônicas desses dispositivos, determinando vantagens e desvantagens de cada arquitetura.

MATERIAL E MÉTODOS

A síntese dos nanofios foi realizada pelo método VLS no qual vapor do material semicondutor (Germânio) é adsorvido por uma semente metálica líquida e precipita-se resultando na nanoestrutura (O'REGAN et. al., 2014; WU; YANG, 2001). O metal mais utilizado como catalisador é o ouro, com vasta literatura relativa ao crescimento de nanofios de germânio (GU et. al., 2001; KAMIMURA et. al., 2012; SUN et. al., 2006; WU; YANG, 2001).

Todas as etapas do processo de síntese de nanofios pelo método VLS, desde a formação das nanopartículas catalisadoras até o crescimento propriamente dito, são desenvolvidos em um forno tubular (Magnu's, 1200°C, adaptado para forno tubular). A fase inicial de síntese é a formação das nanopartículas do catalisador metálico, realizada através do tratamento térmico, a temperatura de 600°C por 30min, de um filme fino (2nm) de ouro depositado por evaporação térmica em alto vácuo (pressão inferior a 10⁻⁵mbar) sobre os substratos (Si/SiO₂ e quartzo). Para o crescimento, 40mg de pó de germânio (Aldrich, pureza > 99,99%) são colocados no centro do forno enquanto o substrato com as nanopartículas metálicas é colocado em uma posição (14cm do centro) que ficará, durante a síntese, com a temperatura desejada (600°C); o sistema é devidamente fechado e passa por um processo de limpeza, evacuando-se o tubo até uma pressão de 10⁻²mbar à temperatura de 120°C, com aplicação de fluxo de argônio (Air Liquide, pureza > 99,998%) de 100sccm; após a limpeza a temperatura do forno é elevada até 950°C, a bomba de vácuo é desligada e o fluxo de argônio é mantido em 100sccm, de forma que este sirva como gás de arraste para o vapor de germânio; após 1h de síntese o forno é desligado e resfriado naturalmente até a temperatura ambiente (KAMIMURA, 2012).

A análise estrutural dos nanofios sintetizados foi realizada com uso dos microscópios ópticos Zeiss Axio M2m, ampliação de 1600x, Microscópio Zeiss (800x) e Lupa 40x e Quimis Q70S-4K.

Para a fabricação dos dispositivos de rede de nanofios foi feita a evaporação direta uma camada metálica, com o uso de uma máscara de sombra. Em alguns dispositivos a evaporação dos contatos foi realizada antes da síntese e em outros depois do crescimento da rede. Foram usados como contatos os metais titânio e prata, cada um em diferentes dispositivos, o primeiro evaporado por feixe de elétrons e o último depositado por evaporação térmica, fazendo uso da evaporadora Edwards AUTO 306 equipada com electron-beam e fonte térmica. Os arranjos de dispositivos desenvolvidos foram os de matriz de contatos (0,5mm de diâmetro e espaçamento de 0,5mm) e interdigital.

Para a verificação das propriedades dos dispositivos de rede de nanofios de germânio, foram utilizadas medidas de corrente em função da tensão aplicada em sistema composto por um eletrômetro (Keithley 6517) e um micromanipulador.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas durante o trabalho 27 sínteses para a caracterização inicial, que permitiram verificar que os nanofios possuem comprimento de dezenas de nanômetros com razão comprimento/diâmetro da ordem de 10^3 , o que é bastante interessante para a fabricação dos dispositivos.

Iniciando pelo estudo comparativo entre o comportamento das características elétricas de dispositivos com diferentes densidades de redes de nanofios, observou-se uma relação direta entre a densidade da rede e a intensidade da corrente nos dispositivos, como mostra o gráfico da Figura 1a. Realizaram-se quinze medições, entre diferentes dispositivos, com resultados semelhantes.

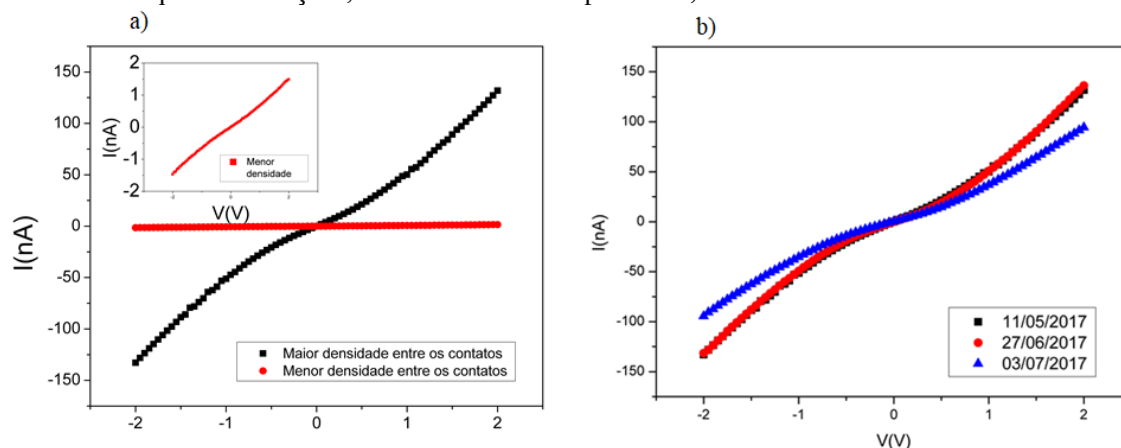


FIGURA 1. Corrente em função da tensão em: a) dispositivos com densidades distintas; b) diferentes datas, em um mesmo dispositivo.

Com relação à influência do tempo na condutividade de corrente, até o momento foram realizadas três medidas elétricas em diferentes dispositivos, em um período de cinquenta e um dias. Foi constatado, em todos os dispositivos analisados, o aumento da resistência das redes em função do tempo, indicando possível oxidação da rede, conforme exposto na Figura 1b.

CONCLUSÕES

A síntese de nanofios pelo método VLS, bem como a construção de dispositivos trouxe resultados bastante satisfatórios, permitindo a análise das propriedades elétricas conforme objetivos do trabalho. Foi possível constatar que a intensidade da corrente está diretamente ligada a densidade da rede de nanofios entre os contatos. Também foi possível verificar a durabilidade dos dispositivos de rede, observando seu comportamento elétrico com o passar do tempo; mesmo com um perceptível aumento da resistência foi notável a durabilidade que tem apresentado diante das caracterizações.

Outras análises ainda serão empreendidas no sentido de verificar a variação das propriedades elétricas e opto-eletrônicas conforme a configuração dos contatos.

REFERÊNCIAS

- BAO, Haifeng et. al. Single-crystalline Bi₂S₃ nanowire network film and its optical switches, *Nanotechnology*, v.19, p. 335302, 2008.
- CAO, Guozhong, *Nanostructures and Nanomaterials: synthesis, properties and applications*. Imperial College Press, 2004.
- CLAEYS, Cor; SIMOEN, Eddy, *Germanium-Based Technologies: from materials to devices*. Elsevier, 2007.
- GU, G. et al. Growth and electrical transport of germanium nanowires, *Journal of Applied Physics*, v. 90, n.11, p. 5747-5751, 2001.
- KAMIMURA, Hanay. et. al., Growth and electrical characterization of semiconducting Ge nanowires, *Physica E*, v. 44, p. 1776-1779, 2012.
- KAMIMURA, Hanay, *Nanofios de Ge: síntese e dispositivos*, 2012, 67f. Dissertação (Mestrado em Física), Departamento de Física, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.
- O'REGAN, C. et. al. Recent advances in the growth of germanium nanowires: synthesis, growth dynamics and morphology control, *Journal of Material Chemistry C*, v.2, p. 14-33, 2014.
- ORTON, John, *The Story of Semiconductors*. University Press, 2004.
- SUN, X H et. al., Germanium nanowires: synthesis, morphology and local structure studies, *Nanotechnology*, v. 17, p. 2925–2930, 2006.
- WU, Yiyang; YANG, Peidong Direct Observation of Vapor-Liquid-Solid Nanowire Growth, *Journal of American Chemical Society*, v. 123, p. 3165-3166, 2001.
- ZHOU, X.T. et. al., Silicon nanowires as chemical sensors, *Chemical Physics Letters*, v. 369, p. 220–224, 2003.