

Desenvolvimento de sistema para medidas eletrônicas e optoeletrônicas em dispositivos nanotecnológicos

RAFAEL CÉSAR VERONEZ OLETO, RIAMA COELHO GOLVEIA

¹ Graduando em engenharia elétrica, voluntário, IFSP, Câmpus sertãozinho, rafaeloleto@hotmail.com

² Doutora em física, professora do IFSP campus Sertãozinho, 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 a nanotecnologia tem se desenvolvido significativamente, sendo uma perspectiva promissora tanto em termos de novas aplicações quanto na redução dos atuais equipamentos eletrônicos. Uma característica interessante dos dispositivos nanoeletrônicos é a pequena potência de operação, que reduz a dissipação de energia na forma de calor. A redução da potência é promovida por uma redução nas correntes que circulam no dispositivo, o que implica, na fase de desenvolvimento e caracterização, na necessidade de equipamentos de precisão. Os dispositivos nanoeletrônicos podem funcionar com correntes da ordem de nanoampère, que estão fora da faixa de atuação dos multímetros tradicionais. Nesse contexto, o objetivo deste projeto foi desenvolver um sistema que permitisse medidas de corrente da ordem de nanoampère, possibilitando a caracterização, em termos de resistência, comportamento dos contatos elétricos, resposta optoeletrônica, entre outros, em dispositivos nanoeletrônicos. Foram realizados testes usando diferentes amplificadores operacionais, em circuitos compostos por um divisor de tensão, uma fase de isolamento e uma de amplificação. Até o momento foram medidas correntes da ordem de nanoampères que: resultaram em valores de resistência dentro da tolerância, em resistor de 100MΩ, e permitiram a identificação correta de comportamento retificador e até mesmo sensibilidade a luz nos contatos metal-semicondutor de um dispositivo de rede de nanofios.

PALAVRAS-CHAVE: nanotecnologia, caracterização elétrica, semicondutores.

Electronic and optoelectronic measurement system for nanotechnology devices

ABSTRACT: In recent decades nanotechnology has developed significantly and is a promising prospect in terms of new applications and the reduction of electronic equipment. An interesting feature of nanoelectronic devices is the small operating power, which reduces heat dissipation. The power reduction is promoted by a reduction in the currents circulating in the device, which implies, in the development and characterization phase, the need for precision in measurement equipments. Nanoelectronic devices can operate with nanoampère currents, which are outside the range of operation of traditional multimeters. In this context, the objective of this project was to develop a system that would allow current measurements of the order of nanoampère, enabling the characterization, in terms of resistance, behavior of electrical contacts, optoelectronic response, among others, in nanoelectronic devices. Tests were performed using different operational amplifiers, in circuits composed by a voltage divider, an isolation stage and an amplification one. So far, current measurements in the order of nanoampère: led to a resistance value within the tolerance range on a 100MΩ resistor, and allow the correct identification of rectifier and even light sensitivity behavior in the metal-semiconductor contacts of a nanowire network device.

KEYWORDS: nanotechnology, electrical characterization, semiconductors.

INTRODUÇÃO

A eletrônica evoluiu significativamente desde a construção do primeiro transistor em 1947 (Chiquito; Lanciotti, 1998), tanto na compreensão dos fenômenos que envolvem os semicondutores, através da aplicação de conceitos de mecânica quântica à estrutura da matéria, quanto em relação às aplicações tecnológicas, em especial com a redução do tamanho dos dispositivos (Orton, 2004).

Para continuar progredindo, estão sendo necessárias novas abordagens, como a pesquisa em nanoestruturas, entre eles os nanofios semicondutores (Hobbs et. al, 2012). As nanoestruturas apresentam propriedades distintas das encontradas nos materiais maiores, abrindo uma variedade de novas possíveis aplicações (Cao, 2004). Uma questão interessante dos dispositivos nanoestruturados é a redução da dissipação de energia na forma de calor, uma vez que funcionam com baixas correntes e consequentemente potência de trabalho reduzida.

Apesar da vantagem oferecida pelas baixas correntes em termos de aplicação tecnológica, este fato dificulta a caracterização dos nanofios semicondutores durante o processo de pesquisa, exigindo equipamentos que sejam capazes de medir correntes da ordem de nanoampères. Os amperímetros que fazem parte dos multímetros tradicionais, presente na maioria dos laboratórios de física e eletrônica, não atendem a estas expectativas, já que suas escalas costumam variar apenas até microampères.

Nesse contexto, o objetivo deste projeto foi desenvolver um sistema que permitisse medidas de corrente da ordem de nanoampère. Essas medidas possibilitam a caracterização dos dispositivos nanoeletrônicos em termos de resistência e a análise do comportamento dos contatos elétricos – ôhmico ou retificador.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho teve início com uma pesquisa bibliográfica que consistiu na busca, em livros, dissertações e periódicos, de textos publicados sobre nanotecnologia e sobre sistemas de medidas elétricas para nanoestruturas, constituindo-se em um meio para fornecer fundamentação teórica para os processos utilizados no trabalho científico.

Na parte prática, levando em consideração que existia uma placa previamente elaborada, sem nenhum tipo de manual que tratasse de sua construção, o trabalho iniciou pela análise de funcionamento do circuito, buscando verificar se o princípio para a medição de corrente era aplicável. Partindo da análise do circuito foi estabelecida a equação que relacionava a medida de tensão de saída, feita em um multímetro, com a corrente na amostra. Com a equação em mãos, como não havia nenhuma menção ou conhecimento sobre quaisquer testes que já tivessem sido realizados com a placa, foram efetivados medidas de corrente em resistores de $10\text{M}\Omega$, $40\text{M}\Omega$ e $100\text{M}\Omega$, com tensões variando entre 0 e 3V, buscando verificar a validade dos resultados.

Os primeiros resultados não foram satisfatórios, sendo verificado que os amplificadores operacionais utilizados na placa (LM358/ CA3140) não isolavam adequadamente o circuito da amostra do circuito amplificado. Outros problemas foram identificados, como tensões instáveis na saída e ganho variado do amplificador de saída.

Para resolver os problemas na placa inicial, algumas medidas foram tomadas, como a substituição dos amplificadores operacionais, por um circuito integrado com melhor desempenho na isolação do circuito (OPA 2376). Os resistores utilizados foram substituídos por resistores de alta precisão, para evitar a variação do ganho. Também foi efetivada uma simplificação no circuito de alimentação variável da amostra, alterando os limites de variação da tensão.

Após a obtenção dos componentes o novo circuito foi montado no protoboard, no intuito de testar a ideia antes de executar uma placa definitiva. Foram, então, realizados novamente os testes com resistores ($10\text{M}\Omega$, $40\text{M}\Omega$, $90\text{M}\Omega$) e, tendo em vista os resultados positivos destes, com um dispositivo de rede de nanofios. Os testes foram efetivados variando-se a tensão na amostra entre 0 e 3V ou entre 0 e 4V, dependendo do caso, e medindo-se a tensão de saída do sistema, convertida através da equação obtida anteriormente na corrente da amostra. Os mesmos testes foram realizados com e sem a presença de luz na amostra de nanofios, para investigar o comportamento optoeletrônico do dispositivo.

Os dados obtidos em todos os processos de medida foram organizados em tabelas e serviram de base para a construção de gráficos, que permitiram a determinação da resistência, no caso dos resistores, e a identificação do comportamento ôhmico ou retificador dos dispositivos, tanto os resistores quanto amostras de rede de nanofios, nas amostras de comportamento optoeletrônico foram feitos testes com diferentes intensidade de luz no intuito de identificar uma variação no gráfico tensão corrente do nanoamperímetro caso a amostra tivesse alguma sensibilidade a luz, esse mesmo teste foi feito no laboratório com os equipamentos de maiores precisão, na ideia de comparar os resultados dos dois processos de medidas e se os objetivos foram alcançados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio de pesquisas bibliográficas observou-se que existem diversos tipos de equipamentos prontos para medidas elétricas para dispositivos nanotecnológicos, mas o custo desses materiais não é pequeno. A ideia é, portanto, executar um projeto simples e com um custo-benefício satisfatório dentro do campus do IFSP, no intuito de selecionar as melhores amostras para testes mais avançados em laboratórios com equipamentos mais precisos.

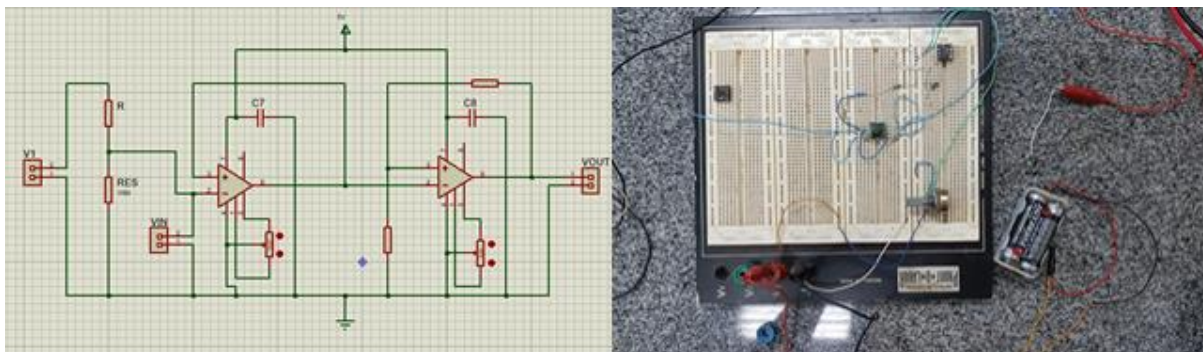


Figura 1 - Circuito simplificado do nanoamperímetro elaborado no Proteus 8.0 e o circuito montado na protoboard.

A análise do circuito inicial mostrou que ele foi desenvolvido com um divisor de tensão alimentado por um circuito regulador de tensão ajustável de zero a quatro volts, onde a amostra (R) é ligada em serie com um resistor de $10\text{M}\Omega$, de forma que a corrente que passa na amostra também passa no resistor. Como a corrente é muito baixa (na escala de nanoamperes), a ideia é pegar a tensão sobre o resistor de $10\text{M}\Omega$ (que é proporcional à corrente que o atravessa, que é a corrente a ser medida) e passar por dois amplificadores operacionais. O primeiro amplificador serve para isolar o circuito de medição do circuito da amostra (sem ganho), para não permitir interferência dos instrumentos de medidas conectados na saída (multímetros convencionais, ao serem conectados nos circuito consomem uma corrente elétrica baixa, mas mesmo sendo baixa interfere nas medidas das amostras de nanofios). O segundo amplificador para realizar a amplificação do sinal, permitindo a leitura da tensão de saída, que está relacionada com a corrente que passa no resistor de $10\text{M}\Omega$ e, portanto, na amostra, pela equação (1), sendo I a corrente a ser medida, V_{out} a tensão lida na saída e G o ganho do circuito, determinado pela relação de resistências no segundo amplificador operacional. O esquema elétrico básico do circuito, cujo princípio de funcionamento é válido para a obtenção de corrente, está apresentado na Figura 1.

$$I = \frac{V_{out}}{10 \cdot 10^6 G} \quad (1)$$

O circuito inicial utilizava a ideia citada, que é válida para o processo de medida, mas os dados obtidos nos primeiros testes com resistores mostraram que apresentava alguns problemas: 1) no circuito de alimentação, que restringia muito os valores possíveis de saída; 2) nos amplificadores operacionais, pelo fato de seu circuito interno ter um resistor na alimentação do transistor que chaveia a passagem da corrente no momento em que o amplificador tem as tensões de entrada amplificadas, não chegando à tensão máxima, que já era reduzida pelo limite da tensão de alimentação, e deixando as medidas instáveis ao chegar a uma tensão abaixo de 500mV.

Após a troca dos amplificadores operacionais por um circuito integrado, que internamente tem dois amplificadores operacionais com uma capacidade de melhor isolamento do circuito da amostra com o circuito de medição de tensão amplificada, foi obtido um resultado mais satisfatório, reduzindo os problemas do ganho variável e das tensões que não ficavam estáveis na saída, restando um problema nas baixas tensões, muito menor do que nos testes anteriores, ainda a ser investigado.

Os resultados dos testes finais com o resistor de $90\text{M}\Omega$ estão apresentados na Figura 2. O gráfico destaca o comportamento ôhmico, esperado para um resistor, e o valor de resistência obtido através do inverso do coeficiente angular da reta, de $85,3\text{M}\Omega$, encontra-se na faixa de tolerância do resistor, mostrando que o sistema tem o funcionamento esperado.

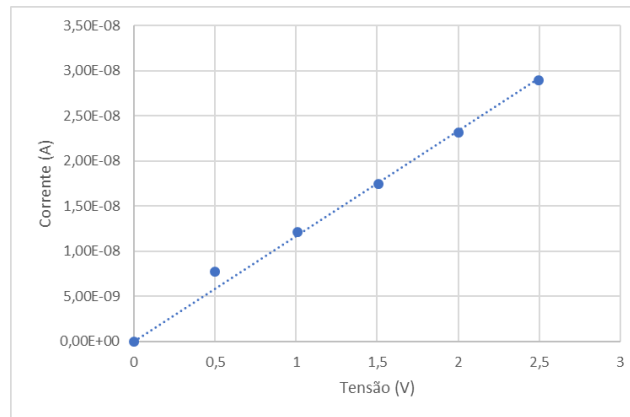


Figura 2. Corrente em função da tensão aplicada para um resistor de 90MΩ.

A curva obtida com o sistema desenvolvido para a amostra de nanofios, apresentada na Figura 3, evidencia o caráter retificador do dispositivo, identificado anteriormente em medidas realizadas no NanOLab, da UFSCar, e permite a estimativa de resistência na ordem de centenas de mega ohms.

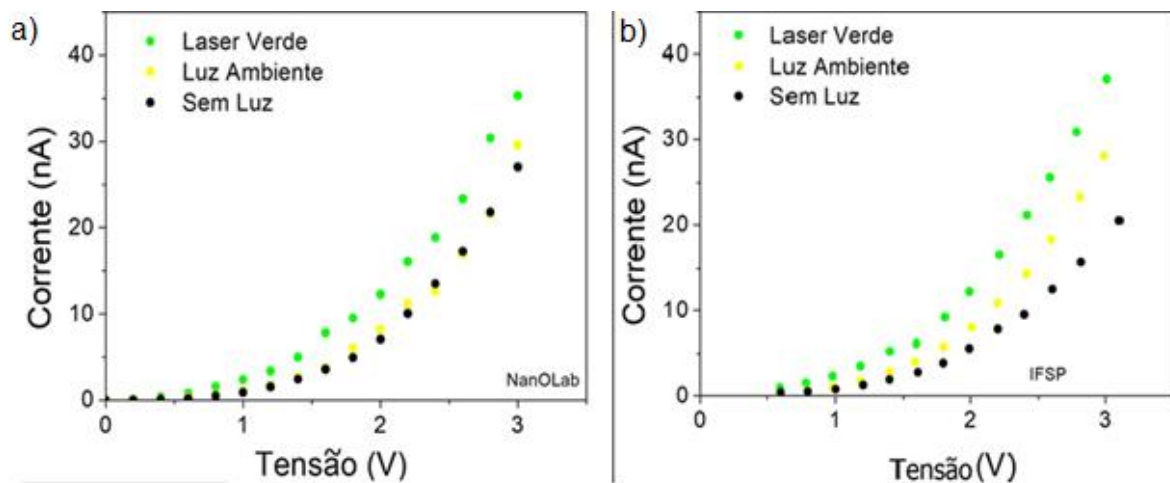


Figura 3 – Gráfico de corrente em função da tensão aplicada para um dispositivo de rede de nanofios.

As curvas obtidas na figura 3-b foram obtidas através da variação da tensão na entrada do nanoamperímetro e cada gráfico representa a resposta da saída em corrente variando a intensidade de luz na amostra o resultado obtido não foi exatamente idêntico a os resultados da figura 3-a obtidos no laboratório da UFSCar devido a vários fatores como umidade do ar, o dia das medidas foram em dias diferentes, além de que a luz ambiente dos dois lugares não terem a mesma intensidade, mas o equipamento de medida cumpre seu papel de identificar comportamento ôhmico ou optoeletrônico e se a amostra reage a luz ou não podendo classificar a rede de nanofios como uma rede insensível ou sensível a luz.

CONCLUSÕES

O sistema baseado em divisor de tensão e amplificadores operacionais mostrou-se eficiente para a realização de medidas em amostras de nanofios, com correntes da ordem de nanoamperes. Além da determinação/estimativa de resistência da ordem de mega ohms, o sistema permitiu a diferenciação do tipo de comportamento do contato metal/semicondutor do dispositivo de teste, sendo adequado para caracterizações iniciais e seleção de amostras interessantes para pesquisas mais aprofundadas em equipamentos de maior precisão.

Apesar de o sistema cumprir seu objetivo, o circuito apresenta dificuldade ao medir valores de corrente quando a tensão sobre a amostra é menor que 0,8V, sendo necessário implementar melhorias,

como o aumento da precisão nos componentes utilizados e a redução de ruídos, ate mesmo implementação de um sistema microprocessado para realizar as medidas de forma mais rápida e eficiente.

REFERÊNCIAS

CAO, GUOZHONG, Nanostructures and Nanomaterials: synthesis, properties and applications. London, UK: Imperial College Press, 2004.

CHIQUITO, A. J. LANCIOTTI JR, F. O Transistor, 50 Anos. Revista Brasileira de Ensino de Física. São Paulo, v. 20, n. 4, p. 309-314, 1998.

HOBBS, RICHARD G. ET. AL. Semiconductor Nanowire Fabrication by Bootom-Up and Top- Down Paradigms. Chemistry of Materials. v. 24, p. 1975-1991, 2012.

ORTON, JOHN. The Story of Semiconductors. Oxford: University Press, 2004