

Fabricação e caracterização elétrica de heterojunções híbridas

Orientador: Carlos César Bof Bufon

Instituto: Laboratório Nacional de Nanotecnologia

Grupo: Laboratório de Microfabricação (LMF)

Introdução

Após mais de duas décadas de intensa investigação em pontos quânticos, nanopartículas e nanofios, as nanomembranas têm representado uma terceira onda de pesquisa em nanomateriais^{1, 2, 3}. Além do ponto de vista da pesquisa básica, esse novo tipo de nanoestruturas tem possibilitado o desenvolvimento de uma geração de dispositivos com novas funcionalidades e aplicação em diversas áreas do conhecimento como energia⁴, biotecnologia⁵, microeletrônica⁶ e eletrônica molecular⁷.

Quando comparadas com estruturas convencionais tipo “bulk”, as nanomembranas se destacam por serem finas (de ~100nm até algumas monocamadas), flexíveis e maleáveis. Essas propriedades fazem dessa nova classe de nanomateriais um forte candidato para o desenvolvimento da futura geração de sensores, atuadores, baterias e dispositivos eletrônicos em uma plataforma flexível, compacta e biodegradável.

Em nanomembranas, tanto o esforço de compressão como o de tração podem ser precisamente controlados de modo a gerar padrões e formas distintos como μ -tubos e μ -fitas com espessuras em escala nanométrica. Além disso, pelo fato de serem finas, as nanomembranas podem ser integradas em outros sistemas (por exemplo, nos circuitos eletrônicos e fluídicos) através de métodos convencionais de micro- e nanofabricação. As estruturas e os padrões gerados pelas nanomembranas podem ser funcionalizados com camadas orgânicas trazendo para o sistema inorgânico seletividade química e bioquímica, bem como a possibilidade de sua integração em sistemas biológicos. Como exemplo, a figura 1 mostra o uso de nanomembranas híbridas (metais/óxidos/orgânicos) auto-enroladas para a microfabricação de capacitores ultra compactos.

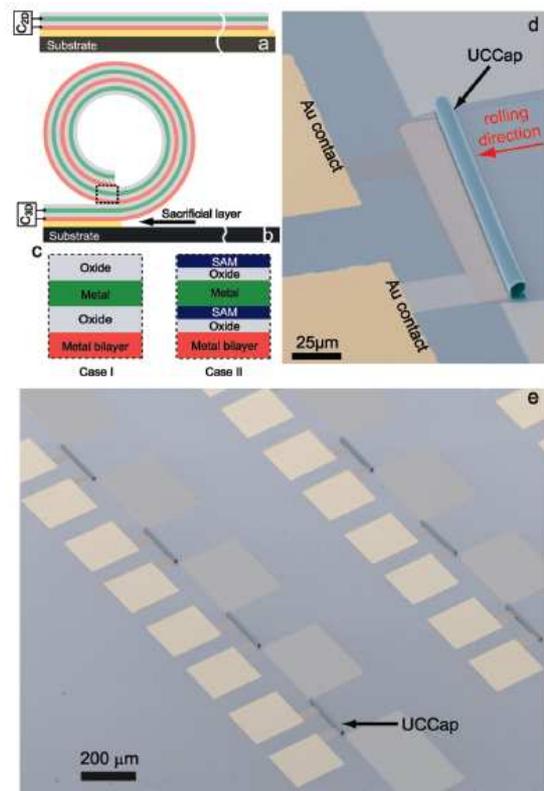


Figura 1 - (a) Sequencia de camadas depositadas para gerar os dispositivos auto-enrolados após a remoção da camada sacrifício. (c) Sequencia de camadas criadas para a formação de dispositivos orgânico/inorgânicos. (d-e) Imagens de SEM dos capacitores. ⁴

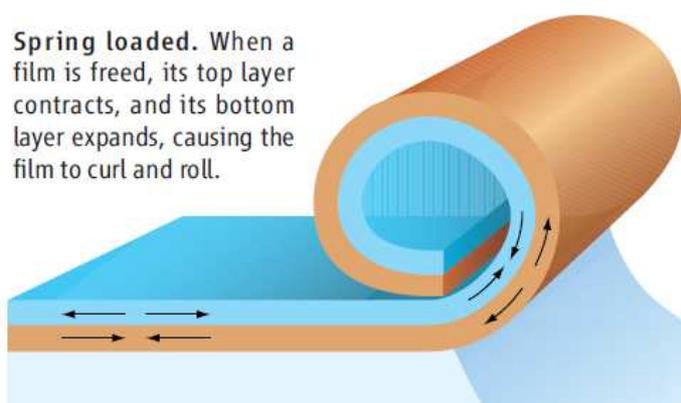
Objetivos

O objetivo principal deste projeto é a fabricação e caracterização elétrica de heterojunções híbridas preparadas a partir da combinação de nanomembranas e outras nanoestruturas orgânicas e inorgânicas. Além de participar de um projeto de extrema relevância para o LNNano, o estudante de iniciação científica se familiarizará com os vários processos de microfabricação de dispositivos, incluindo fotolitografia e deposição de filmes finos, que servirão de base para a produção das heterojunções. Além disso, o estudante aprenderá a gerar os padrões tridimensionais de nanomembranas e fará um estudo sistemático das propriedades elétricas das heterojunções como função dos componentes orgânicos presentes na heterojunção. Durante todo o processo de fabricação, o estudante fará uso de ferramentas de caracterização como microscopia de força atômica, para determinar as espessuras e rugosidade dos filmes, e da microscopia ótica para avaliar a dinâmica de formação dos microtubos.

Metodologia

Os dispositivos serão microfabricados sobre substratos de silício sobre óxido de silício (SOI –silicon-on-insulator) utilizando como camada de sacrifício um filme de óxido de germânio. Tanto a definição dos padrões litográficos como a deposição dos filmes finos será executada no LMF. Duas séries de dispositivos serão preparadas: uma contendo uma heterojunção de Si/Al₂O₃/Au e outra incorporando uma monocamada orgânica a partir de auto-organização (SAM). Neste último caso a heterojunção formada será Si/Al₂O₃/SAM/Au. O contato de Au será feito a partir do auto-enrolamento de uma nanomembrana metálica. Para isso uma combinação de multicamada de filmes finos composta por Cr, Ti e Au será empregada. Enquanto a camada de Au é responsável pelo contato elétrico com a heterojunção, o Cr que possui um esforço mecânico de compressão e o Ti, um esforço de tração, são as camadas tensionadas

que geram os μ -tubos. Uma vez que a camada de sacrifício localizada abaixo desta multicamada metálica é removida de forma seletiva, a tensão mecânica existente na nanomembrana relaxa e o filme adquire a forma tridimensional através do processo de enrolamento⁸, como ilustrado na figura 2. Posteriormente, uma nova sequência de camadas será definida com a inclusão de 5 a 10 nm de óxido de alumínio depositada por ALD (*atomic layer deposition*) no topo da camada tensionada. Esta camada tem como função o controle preciso do diâmetro do microtubo. Desta forma, assim que enroladas, tanto os tubos formados por nanomembranas metálicas terão as suas paredes internas cobertas por óxido de alumínio e a parede externa por Au. Em paralelo a todos os passos do processo, as camadas depositadas serão avaliadas por AFM, uma vez que a espessura e a rugosidade dos



Spring loaded. When a film is freed, its top layer contracts, and its bottom layer expands, causing the film to curl and roll.

Figura 2 – Antes de relaxar, a camada inferior possui uma tensão de compressão enquanto que a camada superior uma de tração. Assim que a camada de sacrifício é removida, a tensão mecânica é relaxada e a nanomembrana assume uma forma tubular.⁸

Posteriormente, uma nova sequência de camadas será definida com a inclusão de 5 a 10 nm de óxido de alumínio depositada por ALD (*atomic layer deposition*) no topo da camada tensionada. Esta camada tem como função o controle preciso do diâmetro do microtubo. Desta forma, assim que enroladas, tanto os tubos formados por nanomembranas metálicas terão as suas paredes internas cobertas por óxido de alumínio e a parede externa por Au. Em paralelo a todos os passos do processo, as camadas depositadas serão avaliadas por AFM, uma vez que a espessura e a rugosidade dos

filmes influenciam diretamente na formação dos microtubos. Maiores detalhes sobre o processo básico podem ser encontrados da referência 7.

Para o estudo de caso, dois sistemas serão desenvolvidos e caracterizados: um formado por Si/Al₂O₃/Au e outro incorporando uma monocamada de moléculas orgânicas auto-organizadas (ácido alquil fosfônico, por exemplo) para formar a heterojunção Si/Al₂O₃/SAM/Au. Tanto a variação da espessura da camada de óxido (Al₂O₃) como o tipo de camada orgânica incorporada na heterojunção, serão empregadas como variáveis para o controle das propriedades eletrônicas dos dispositivos.

Resultados esperados

Ao final deste projeto esperamos ter fabricado, caracterizado e interpretado os mecanismos de transporte de carga através das heterojunções híbridas.

Esperamos ainda treinar o estudante nas técnicas de processamento de dispositivos e na formação das nanomembranas híbridas, de modo que, ao final do projeto, ele seja capaz não somente de utilizar o sistema por ele desenvolvido, mas também contribuir na criação de novas heteroestruturas.

Este projeto oferecerá ao estudante a oportunidade de desenvolver um projeto multidisciplinar e de acrescentar à sua formação profissional o aprendizado de técnicas e métodos que são fundamentais para o desenvolvimento de dispositivos independente da área de conhecimento.

Referências

¹ J. A. Rogers, et al., *Synthesis, assembly and applications of semiconductor nanomembranes*. **Nature** **477**, 45 (2011).

² R. M. Michelle s, et al., *Elastically relaxed free-standing strained-silicon nanomembranes*. **Nature Materials** **5**, 388 (2006).

³ O. G. Schmidt, et al. , *Thin solid films roll up into nanotubes*. **Nature** **410**, 1688 (2001)

⁴ C. C. Bof Bufon et al., *Self-assembled ultra-compact energy storage elements based on hybrid nanomembranes*. **Nano Lett.** **10**, 2506 (2010).

⁵ R. Vendamme, et al., *Robust free-standing nanomembranes of organic/inorganic interpenetrating networks*. **Nature Materials** **5**, 494 (2006).

⁶ Zhang, P. et al. *Electronic transport in nanometre-scale silicon-on-insulator membranes*. **Nature** **439**, 703 (2006)

⁷ C. C. Bof Bufon et al., *Hybrid electronics based on organic/inorganic nanomembranes*. **Nano Lett.** **11**, 3727 (2011).

⁸ A. Cho, *Pretty as You Please, Curling films turn themselves into nanodevices*. **Science** **313**, 164 (2006).