



Fabricação e caracterização de membranas baseadas em nanoestruturas semicondutoras

Resumo

O crescimento de membranas de compostos III-V por Epitaxia de Feixe Molecular (Molecular Beam Epitaxy – MBE) é uma técnica amplamente utilizada para o estudo de características destes materiais¹⁻³. Foram utilizados valores padrão para a criação de membranas planas e poços quânticos bem estruturados^{4,5}. Arsenieto de Galio (GaAs), como um semicondutor de banda direta com alta mobilidade, vem sendo utilizado para criação de aparelhos elétricos e optoeletrônicos por décadas.^{6,7} Por este motivo, a necessidade do crescimento eficiente de nanomembranas de compostos de GaAs, bem como sua transferência bem sucedida do substrato original para um novo substrato, se fez crescente com o passar dos anos^{4,8}, seja para a utilização como substrato final, seja como um substrato virtual para heteroepitaxia^{9,10}. Tanto para engenharia de dispositivos quanto para a criação de placas solares, por exemplo, a transferência precisa de membranas de GaAs para novos substratos para serem usados como base de um circuito eletrônico é ponto chave para o desenvolvimento destas áreas¹¹.

Pensando nestas necessidades, este trabalho foi desenvolvido, a fim de se determinar, em laboratórios da Unicamp, produção de nanoestruturas baseadas em GaAs. Mais especificamente, foi determinada a criação e transferência de nanomembranas circulares de 150 μm de diâmetro de duas amostras: amostra de 10 nm de espessura de GaAs; e poços quânticos de 5 nm de espessura de GaAs, com barreiras de 10 nm de AlGaAs (GaAs-QW). Foi determinada a transferência de ambas substâncias para um substrato receptor de Silício, coberto com uma camada de 1,2 μm de photoresist, bem como da amostra de GaAs-QW para um substrato flexível constituído de fita adesiva 3M. Esta última foi utilizada também para se realizar medições óticas nas membranas de GaAs-QW em diferentes condições de tensionamento uniaxial, a fim de determinar como esta tensão se distribui na amostra e como que a mesma afeta ditas medidas óticas. Para tal, foram utilizadas medições de Photoluminescência (PL), bem como de Espectroscopia Raman. Para se determinar possíveis falhas nas amostras após a transferência, foram utilizadas microscopia ótica aliada a microscopia de força molecular (AFM). Os dados retirados nas amostras previamente ao processamento estão como na Figura 1.

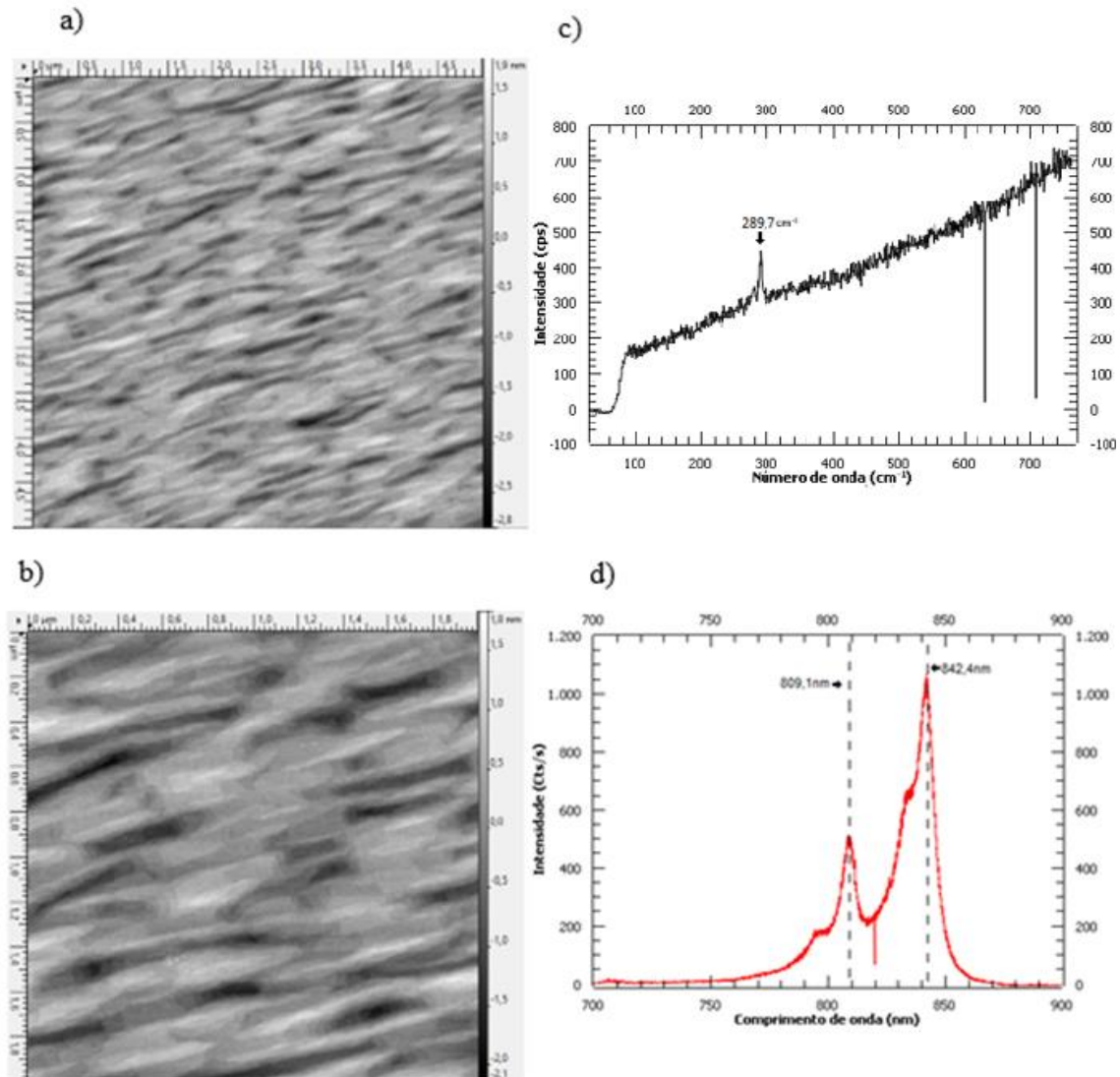


Figura 1-Medições nas amostras como foram crescidas. a) medição de AFM de GaAs com 5 μm de lado; b) medição de AFM de GaAs com 1 μm de lado; c) medição de Raman de GaAs com 1 μm de lado; d) medição de fotoluminescência de GaAs-QW de 700nm a 900nm

Após a retirada de dados iniciais, uma série de transferências foram conduzidas em diferentes condições, descritas no relatório final entregue à PIBIC, onde se determinou que, para a transferência de amostras de GaAs, as condições ideais de transferência são de aquecimento do substrato receptor a 50°C, com resist depositado próximo à transferência, de forma que as membranas transferidas sob estas condições apresentam pouca ou nenhuma falha, e uma rugosidade superficial próxima à da amostra prévia à transferência. Para as amostras de GaAs-QW observou-se que as condições de transferência ideais são as mesmas, com distinção somente na temperatura do substrato receptor, que deve estar a 70°C. Para estas amostras, o poço de potencial que emite o sinal a 842,4 nm observado na Figura 1d não é observado novamente após a transferência, e o sinal em 809,1 nm sofre um red-shift de entre 5 nm e 10 nm, diferente para cada transferência, que pode ser atribuído a tensão aplicada na amostra no momento da transferência.



Para se analisar a influência que a tensão uniaxial se tem nas características óticas da amostra de GaAs-QW, foram conduzidas leituras, distantes 10 μm uma da outra, de ambas PL e Raman ao longo de diâmetros perpendiculares da amostra (chamados de eixos X e Y), sob diferentes condições de tensionamento, a saber: varreduras sem tensionamento (i); varreduras com tensionamento sobre o eixo Y de leitura, sendo aplicada tensão pressionando a amostra na superfície de um poste de 2,5 cm de diâmetro (ii); varredura com tensionamento sobre um eixo a 45° no sentido horário do eixo X, se aplicando a tensão da mesma forma que na supracitada, utilizando o mesmo poste (iii); e varredura com tensionamento sobre um eixo a 45° no sentido horário do eixo X, se aplicando a tensão da mesma forma que na supracitada, mas se utilizando um poste de 1,25 cm de diâmetro (iv). Ao se plotar o comprimento de onda de pico destas leituras em função da posição sobre o diâmetro no qual foram retiradas, foram obtidos gráficos como na Figura 2, que mostra as medições resultantes da condição de tensionamento sobre o eixo Y utilizando o poste de 2,5 cm de diâmetro

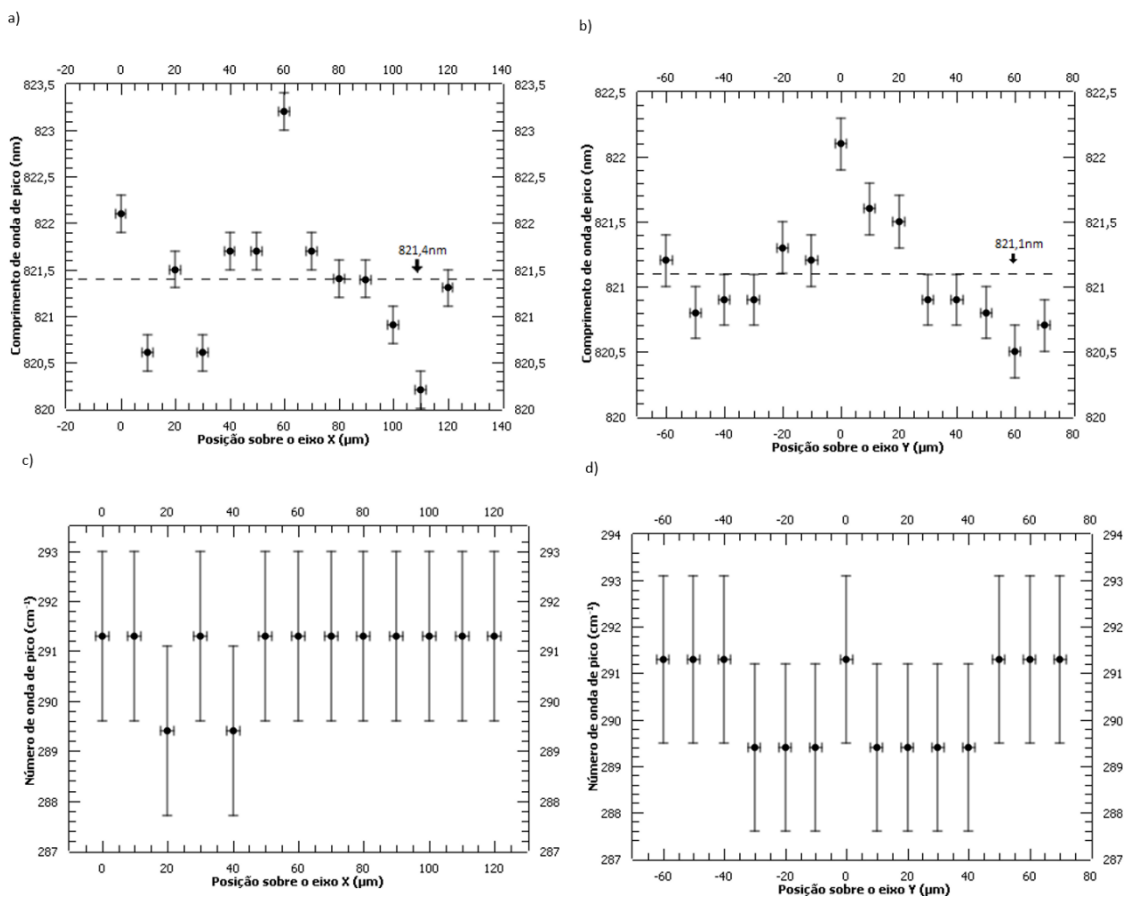


Figura 2-Medições de tensão aplicada sobre o eixo Y utilizando o poste de 2,5cm: a) varredura de PL sobre o eixo X; b) varredura de PL sobre o eixo Y; c) varredura de Raman sobre o eixo X; e d) varredura de Raman sobre o eixo Y

Os resultados mostram que a média dos comprimentos de onda de pico das leituras de PL ao longo do eixo X e do eixo Y são próximas uma da outra, apresentando as seguintes médias: a medição não tensionada (i) apresentou média de comprimentos de onda de pico ao longo do eixo X em 818,5 nm, enquanto ao longo do eixo Y a média foi de 818,3 nm; a medição tensionada (ii) apresentou média de comprimentos de onda de pico ao longo do eixo X em 821,4 nm, enquanto ao longo do eixo Y a média foi de 821,1



nm; a medição tensionada (iii) apresentou média de comprimentos de onda de pico ao longo do eixo X em 821,3 nm, enquanto ao longo do eixo Y a média foi de 820,6 nm; por fim, a medição tensionada (iv) apresentou média de comprimentos de onda de pico ao longo do eixo X em 821,8 nm, enquanto ao longo do eixo Y a média foi de 821,5 nm. Quanto às medições de Raman, não foi possível notar alteração no sinal do comprimento de onda de pico das amostras nas diferentes condições de tensionamento, sugerindo que esta medição não é afetada por tal alteração de condição da membrana.

Estes dados apontam que a aplicação de tensão se distribui uniformemente ao redor da amostra, sendo proporcional à tensão aplicada. Isso corrobora a hipótese que o poço de potencial que emite o sinal de 809,1 nm na amostra crescida é o que se mantém nas membranas transferidas, apenas alterado pela tensão aplicada na hora da amostra, que adiciona de 5 nm a 10 nm no sinal deste poço. Em contraste, o poço que emite o sinal em 842,4 nm deixa de existir após a transferência, podendo ser atribuído à presença da barreira de potencial constituída pela camada sacrificial de AIs, que é corroída na transferência. A leitura do sinal de Raman não aponta alteração no sinal em nenhuma forma devido à aplicação de tensão. Se comparando este resultado com outros trabalhos¹², é possível notar que esta ausência de alteração no número de onda do sinal de Raman pode ser atribuída a uma incerteza experimental de uma escala de grandeza maior que a alteração esperada devido à aplicação de tensão. Dessa forma, novas medições devem ser conduzidas para se observar uma alteração significativa no sinal de Raman devido a diferentes condições de tensionamento.



Referências

1. Cho, A. Y. ADVANCES IN MOLECULAR-BEAM EPITAXY (MBE). *J. Cryst. Growth* **111**, 1–13 (1991).
2. Cho, A. Y. Twenty years of molecular beam epitaxy. *J. Cryst. Growth* **150, Part 1**, 1–6 (1995).
3. Cho, A. Y. Growth of Periodic Structures by the Molecular-Beam Method. *Appl. Phys. Lett.* **19**, 467–468 (1971).
4. Mei, Y. F. *et al.* Optical properties of a wrinkled nanomembrane with embedded quantum well. *Nano Lett.* **7**, 1676–1679 (2007).
5. Deneke, C. & Schmidt, O. G. Lithographic positioning, areal density increase and fluid transport in rolled-up nanotubes. *Phys. E-Low-Dimens. Syst. Nanostructures* **23**, 269–273 (2004).
6. Cheng, C.-W. *et al.* Epitaxial lift-off process for gallium arsenide substrate reuse and flexible electronics. *Nat. Commun.* **4**, 1577 (2013).
7. Hjort, K. Sacrificial etching of III - V compounds for micromechanical devices. *J. Micromechanics Microengineering* **6**, 370–375 (1996).
8. Malachias, A. *et al.* Wrinkled-up nanochannel networks: Long-range ordering, scalability, and X-ray investigation. *ACS Nano* **2**, 1715–1721 (2008).
9. Garcia Jr., A. J. *et al.* In-place bonded semiconductor membranes as compliant substrates for III–V compound devices. *Nanoscale* **11**, 3748–3756 (2019).
10. Silva, S. F. C. da *et al.* InAs migration on released, wrinkled InGaAs membranes used as virtual substrate. *Nanotechnology* **25**, 455603 (2014).
11. Zamiri, M. *et al.* Antimonide-based membranes synthesis integration and strain engineering. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **114**, E1–E8 (2017).
12. Cerdeira *et al.* Stress-Induced Shifts of First-Order Raman Frequencies of Diamond- and Zinc-Blende-Type Semiconductors.