

Estudo e Fabricação de Nanopontas Fotônicas

Aluna: Letícia de Sousa Magalhães

Orientador: Prof. Dr. Paulo Dainese

Departamento de Eletrônica Quântica, Instituto de Física “Gleb Wataghin”

Universidade Estadual de Campinas

Resumo

Este projeto tem como objetivo observar experimentalmente o armadilhamento optomecânico de nanopontas fotônicas em uma fibra de cristal fotônico. Para tanto é preciso atingir um design conveniente para perfil geométrico dessas pontas para que sejam o mais curtas possível dentro do critério de adiabaticidade com o objetivo de conferir robustez mecânica e aumentar a taxa de sucesso de medidas. Posteriormente serão feitas medidas para demonstrar experimentalmente o autoalinhamento do sistema devido a forças ópticas.

1. Introdução

Materiais fotônicos microestruturados oferecem o potencial para o controle da propagação da luz e sua interação com a matéria. Avanços em técnicas de fabricação permitem a realização de estruturas com escalas micro-a nanométricas com excelente uniformidade. Esta extraordinária capacidade de fabricação permite estudar em detalhes propriedades fundamentais dos fenômenos de interação luz-matéria, tanto em regime linear quanto não-linear. Baseado neste entendimento, é possível desenvolver metodologias que permitam utilizar estas estruturas para aplicações diversas como em comunicações ópticas, em sensores, em lasers de alta potência e outros.

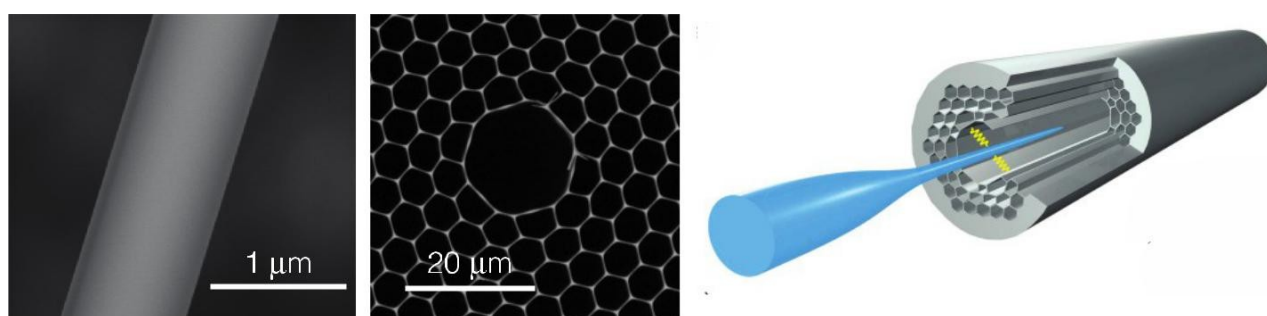


Figura 2: imagens de microscopia eletrônica de varredura de um nanofio de sílica (esquerda) e de uma fibra de cristal fotônico de núcleo oco (centro); esquema de acoplamento de luz em uma fibra de cristal fotônico utilizando uma nanoponta de modo óptico casado [1].

O projeto de iniciação científica aqui proposto se enquadra dentro de um projeto Jovem Pesquisador FAPESP (pesquisador principal Prof. Paulo Dainese), cujo objetivo é estudar processos de interação luz-matéria em microestruturas fotônicas. Dentro deste projeto, um dos focos tem sido o estudo de nanofios de sílica para o controle da propagação da luz e excitação de fônons acústicos por meio de forças ópticas [2-4]. A Figura 1 mostra uma imagem de microscopia eletrônica de um nanofio fabricado em nosso grupo, com diâmetro de aproximadamente 850 nm. Ao longo dos últimos dois anos, nosso grupo desenvolveu métodos de aperfeiçoamento na fabricação destes nanofios, atingindo diâmetros de até 70nm de diâmetro [2-4]. Isso nos permitiu estudar

em detalhes o fenômeno de Espalhamento Brillouin nestas estruturas [4]. No processo de espalhamento Brillouin, um fóton incidente excita fônons acústicos (ondas elásticas de altíssima frequências, > GHz). Esta excitação se dá pois o campo eletromagnético exerce forças tanto no corpo do material (chamadas forças eletroestrutivas), quanto na superfície do material (pressão de radiação). Controlando o diâmetro do nanofio, nosso grupo demonstrou pela primeira vez um exato balanço destas duas forças agindo no nanofio, resultando no perfeito cancelamento do espalhamento Brillouin [4].

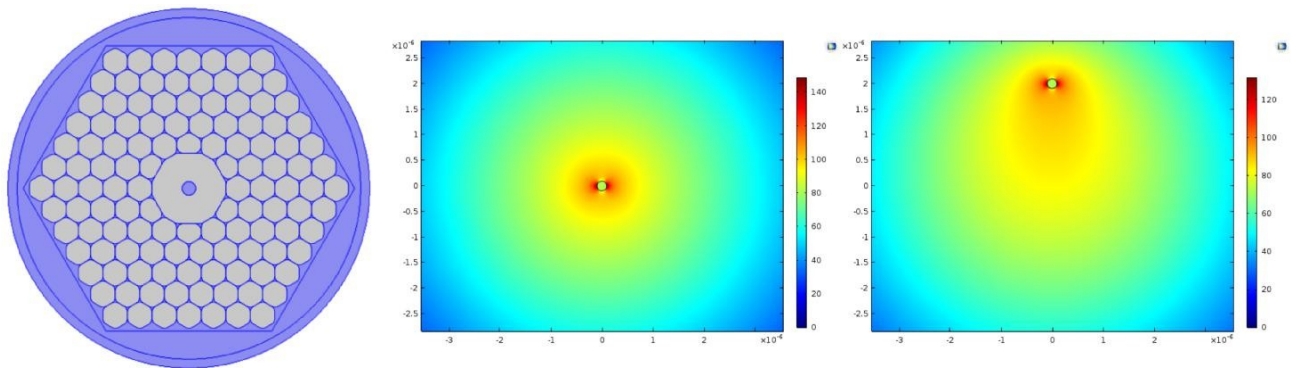


Figura 3: Esquerda: seção transversal do guia, a cor azul corresponde à silica e a cor cinza corresponde ao ar. Para esta ilustração o diâmetro do nanospike foi exagerado. Centro e direita: Resultado de simulação com o software COMSOL para o supermodo guiado na estrutura, o gradiente de cor representa a componente transversal do vetor de Poynting. Este modo é responsável pelo armadilhamento optomecânico da nanoponta.

Recentemente, S. Xie e co-autores [1] propuseram o uso de nanopontas de 150 nm para estudos de forças ópticas entre um nanofio e uma Fibra de Cristal Fotônico (Photonic Bandgap Fiber, PBGF). A Figura 1b mostra uma imagem de microscopia eletrônica de varredura de uma amostra de PBGF de nosso laboratório, cujo núcleo tem em torno de 16 microns (ou seja, muito maior que a nanoponta). A Figura 1c mostra um esquemático em que uma nanoponta de 150 nm de diâmetro na extremidade do nanofio é utilizada para excitar o modo fundamental da PBGF. Neste trabalho [1], um laser é acoplado ao nanofio por uma das extremidades e se propaga ao longo deste até atingir a outra extremidade onde foi fabricada a nanoponta. O trabalho de S. Xie e co-autores mostrou que, ao inserir a nanoponta dentro do núcleo da PBGF, as forças exercidas pelo campo eletromagnético fazem com que a nanoponta seja

deslocada para o centro do núcleo. Isso significa que as forças ópticas exercidas pelo laser se propagando no nanofio fazem com que o mesmo se auto-alinhe com a PBGF. O resultado é que, por estarem perfeitamente alinhados, a luz se propagando através do nanofio é eficientemente acoplada dentro da PBGF, sem a necessidade de alinhamento mecânico de precisão. Este resultado é interessante não apenas fundamentalmente no estudo de forças ópticas, mas também podemos começar a imaginar aplicações como o auto-alinhamento entre fibras e lasers – um problema de alta complexidade na indústria de opto-eletrônica.

Este projeto tem a importância de inserir a aluna nesta área de pesquisa e serve de base para que possamos imaginar outras estruturas fotônicas com a capacidade de autoalinhamento e autoestabilização devido a efeitos optomecânicos.

2. Objetivos

A meta central deste projeto é fabricar e caracterizar nanopontas com perfil otimizado em nanofios de sílica. Para isso definimos os seguintes objetivos específicos:

a) Atingir um design conveniente para o perfil geométrico das nanopontas e fabricá-lo. Devemos ter amostras adiabáticas e mecanicamente robustas de modo a aumentar a taxa de sucesso das medidas.

b) Caracterização óptica. Deve-se confirmar experimentalmente o armadilhamento optomecânico das nanopontas no centro da PBGF e, se possível, explorar o conteúdo modal excitado na estrutura.

3. Metodologia

Fabricação: No processo de fabricação de nanofios (tapers) uma chama aquece um pequeno comprimento de uma fibra óptica com 125 micrometros de

diâmetro. No instante em que a temperatura atingi a temperatura da região de transição do vidro, as extremidades da fibra são puxadas e consequentemente a região quente se afina até atingir um diâmetro desejado. Controlando-se parâmetros como o comprimento da região quente em função da alongação lateral, é possível atingir perfis geométricos diversos.

Caracterização: A caracterização consiste em medir a transmitância do sistema para diferentes situações de alinhamento em função da potência. Devemos montar um setup como na figura 4.

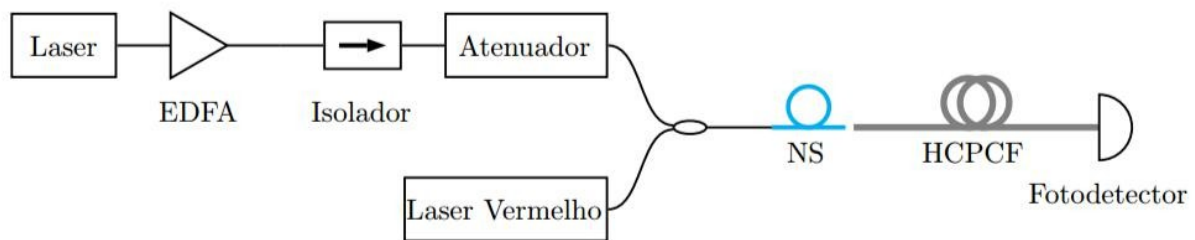


Figura 4: Esquema do setup experimental. A força óptica é diretamente proporcional à potência. Sendo assim aumentar a potência significa aumentar a força óptica e portanto aumentar o alinhamento da estrutura. Logo, a medida experimental consiste em inserir a nanoponta em uma HCPCF e observar o comportamento da transmitância em função da potência. A luz do laser (comprimento de onda 1550 nm) é amplificada por um EDFA (erbium-doped fiber amplifier), passa por um isolador e então por um atenuador antes de chegar ao NS. A potência de entrada é variada pelo atenuador. Também acoplamos um laser vermelho ao NS para facilitar a sua visualização durante o processo de alinhamento com a HCPCF

4. Referências

- [1] S. Xie, R. Pennetta, and P St. J. Russell, "Self-alignment of glass fiber nanospire by optomechanical back-action in hollow -core photonic crystal fiber," *Optica* 3, 277-282 (2016).
- [2] O. Florez Peñaloza, P F Jarschel, C. Serpa, C. M. Cordeiro, and P C. Dainese, "Brillouin Scattering in Silica Microwires," in *Latin America Optics and Photonics Conference, OSA Technical Digest (online)* (Optical Society of America, 2014), paper LTh2A.3.
- [3] O. Florez, P F Jarschel, and P Dainese, "Diameter characterization of silica microwires using forward Brillouin scattering," in *2015 European Conference on Lasers and Electro-Optics - European Quantum Electronics Conference*, (Optical Society of America, 2015), paper CK_P_38.
- [4] O. Florez, P F Jarschel, Y A.V. Espinel, C.M.B. Cordeiro, T.P Mayer-Alegre, G.S. Wiederhecker, and P Dainese, "Brillouin Scattering Self-Cancellation," accepted for publication at *Nature Communications*, online version at ArXiv e-prints 1601.05248 (2016)
- [5] T. A. Birks and Y W. Li, "The shape of fiber tapers," in *Journal of Lightwave Technology*, vol. 10, no. 4, pp. 432-438, Apr 1992.

