

Fotônica em Materiais Desordenados no INCT de Fotônica

A pesquisa básica e aplicada no desenvolvimento de materiais fotônicos, cujas aplicações vão desde as comunicações ópticas até à energia solar, tem explorado uma diversidade de alternativas tanto na evolução da engenharia de fabricação destes materiais, como no uso de suas propriedades oriundas da interação luz-matéria. Em geral, se utiliza materiais “bem comportados”, uniformes, ordenados, como cristais fotônicos. Meios desordenados, que espalham a luz, são geralmente indesejáveis. Entretanto, em recente série de artigos na revista *Nature Photonics* (volume 7, Março/2013), alguns autores destacam a importância e os avanços obtidos no uso de meios desordenados em fotônica, particularmente em fenômenos de transporte, localização de Anderson com fótons e aplicações na área médica. Em um dos artigos, D. Wiersma (*Nature Photonics* 7, 188 (2013)) apresenta uma excelente revisão descrevendo o estado da arte no uso de meios desordenados em fotônica. Os tópicos descritos no artigo incluem uma revisão sobre os principais processos de interferência e propagação da luz em meios espalhadores, como a luz pode ser aprisionada nestes meios (gerando importantes analogias com a localização de Anderson em semicondutores), fenômenos de transporte fotônico em meios com baixa dimensionalidade, ordem na desordem e fenômenos de ressonância, meios espalhadores na natureza (com ênfase em meios biológicos), espalhamento múltiplo no regime quântico e emissão laser em meios aleatórios (*Random Lasing*).

Neste último tópico, *Random Lasing*, o grupo de Óptica Não Linear do Departamento de Física da UFPE no Recife, que sedia a coordenação do INCT de Fotônica (Instituto Nacional de Fotônica) tem dado contribuições importantes. Os trabalhos nesta área são coordenados pelos professores Cid B. de Araújo (coordenador do INCT) e Anderson S. L. Gomes.

A área de pesquisa em *Random Lasers (RL)* – lasers aleatórios - é hoje bastante ativa. Um dos pesquisadores do INCT de Fotônica (Anderson Gomes) é co-autor no artigo que é considerado o *milestone* no tema [ver entrevista de H. Cao na *Nature Photonics* 7, 164 (2013)]. Desde 1994, ano em que foi publicado o artigo intitulado “*Laser action in strongly scattering media*” por Lawandy, Balachandaran, Gomes and Sauvain [*Nature* 368, 436 (1994)], uma miríade de artigos explorando diferentes materiais e geometrias como meios espalhadores foram publicados em áreas multidisciplinares, além de ter crescido o entendimento do processo de emissão laser em meios fortemente espalhadores.

Destacamos nesta Nota três artigos publicados pelo INCT de Fotônica. Em 2007, foi realizado pela primeira vez um RL em fibra óptica. Uma fibra microestruturada do tipo “*hollow core*” foi usada, onde foi introduzido no núcleo oco uma mistura de Rodamina 6G com nanopartículas de TiO_2 , na qual foi obtido emissão laser, conforme ilustrado na figura abaixo. Esta foi a primeira demonstração de um RL em fibra usando meios desordenados nanoestruturados. O trabalho foi publicado na *Physical Review Letters* 99, 153903 (2007).

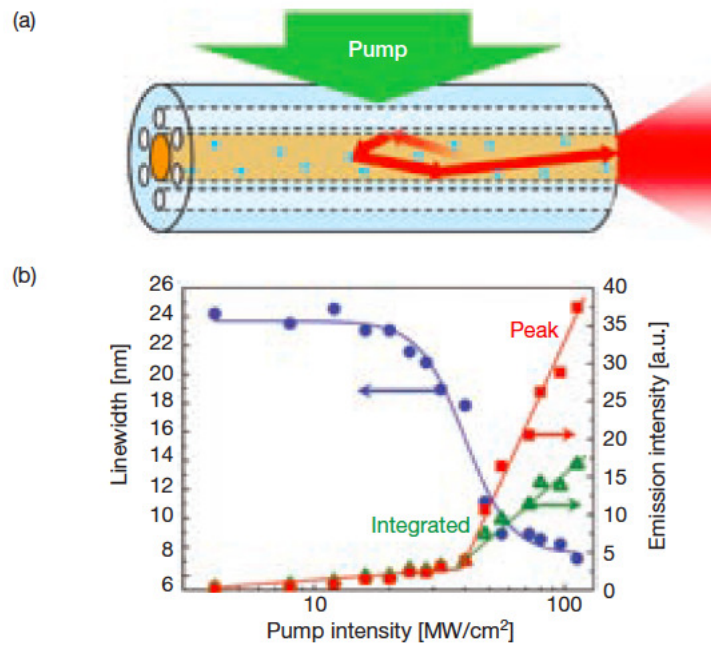


Figura 1 – (a) Geometria de bombeamento no *Random Laser* em Fibra, no qual o segundo harmônico de um laser de Nd:YAG foi usado. (b) Redução na largura de linha (curva em azul) e intensidade da emissão laser em função da potencia de bombeamento, mostrando duas assinaturas características de emissão laser.

Em outro trabalho original desenvolvido no INCT de Fotônica, um RL foi desenvolvido usando um pó com grãos de dimensões micrométricas, obtido por pulverização de um vidro fluoroindato dopado com Nd^{3+} . Neste caso, além da preparação e caracterização do material fotônico utilizado como meio emissor e espalhador, a excitação do laser foi baseada num esquema de conversão ascendente de frequência para obter emissão na região do ultravioleta. A figura 2 mostra os resultados obtidos demonstrando a emissão laser no comprimento de onda de 318 nm a partir da excitação em 575nm.

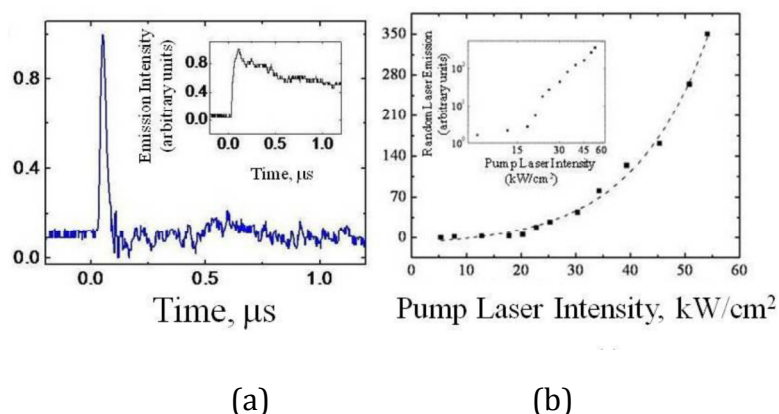


Figura 2 – (a) Comportamento temporal da emissão laser no ultravioleta. Para excitação com baixa intensidade de luz a fluorescência consiste de pulsos de microssegundos. Para excitação acima do limiar de operação do laser a duração

do pulso diminui drasticamente para alguns nanossegundos. (b) intensidade emitida pelo laser em função da intensidade de excitação.

Este é o primeiro laser aleatório baseado no princípio de transferência de energia entre íons. O trabalho foi publicado em *Optics Express* 19, 5626 (2011).

Mais recentemente, um novo tipo de laser aleatório foi demonstrado pelo INCT de Fotônica. Neste caso, usando a técnica de MOCVD, nanomembranas de TiO_2 na forma de “borboletas”, conforme mostrado na figura 3, foram preparadas no laboratório de nanofabricação recentemente implantado na sede do INCT, no Recife, e caracterizadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

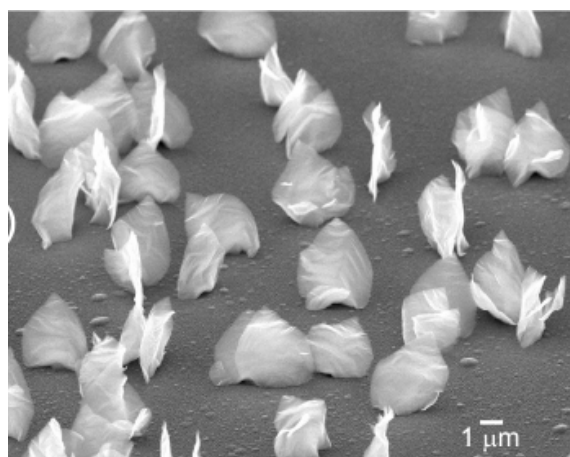


Figura 3 – Imagens obtidas por MEV das nanomembranas de TiO_2 . As dimensões das “asas”(no topo) são de cerca de 10nm, espessura média de centenas de nm e área superficial de algumas dezenas de μm^2 .

Esta nanoestrutura desordenada, foi utilizada para fabricar um microchip formado por um filme polimérico contendo rodamina 6G, aplicado por *spin-coating*, sobre as nanomembranas de TiO_2 . Usando um laser de excitação operando em 532nm, foi obtida e caracterizada a emissão laser coerente, conforme mostrado na figura 4.

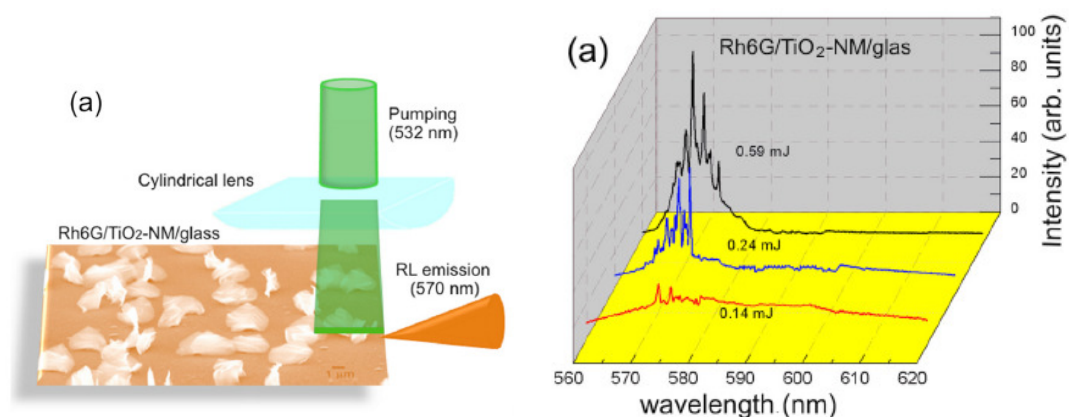


Figura 4 – (a) Esquema de excitação e emissão do RL; (b) evolução da emissão laser em função da energia de excitação, mostrando a estrutura de modos do RL.

Diversos meios desordenados encontrados na Natureza, inclusive meios biológicos, têm sido usados como exemplos para o desenvolvimento de lasers aleatórios.

Esta é uma área de grande futuro, pois além do conhecimento científico gerado, aplicações nas áreas de energia solar e geração de imagens em meios biológicos impactam diretamente em desafios globais que podem beneficiar a sociedade.

No INCT de Fotônica o esforço nesta área está sendo continuado através da concepção, realização e aplicação de outros tipos de lasers aleatórios. Atualmente além dos laboratórios localizados na sede do INCT, no Recife, o grupo do IPEN-São Paulo coordenado pelo Dr. Niklaus Wetter, que também faz parte do INCT de Fotônica, está trabalhando com lasers aleatórios excitados por lasers de diodos tendo já publicado trabalhos nesta área.