

Trabalho

Título em Português:	Redução do limiar de lasers aleatórios induzida por nanopartículas de SiO ₂
Título em Inglês:	Reduction of the Threshold of Random Lasers Induced by SiO ₂ Nanoparticles
Autor:	Vitor Eduardo Kock de Sá
Instituição:	Universidade de São Paulo
Unidade:	Instituto de Física de São Carlos
Orientador:	Leonardo De Boni
Área de Pesquisa / SubÁrea:	Física da Matéria Condensada
Agência Financiadora:	CNPq - PIBIC

REDUÇÃO DO LIMAR DE LASERS ALEATÓRIOS INDUZIDA POR NANOPARTÍCULAS DE SiO_2

Vitor Eduardo Kock de Sá

Leonardo De Boni

IFSC/USP

vitordesa@usp.br

Objetivos

Lasers aleatórios são fontes alternativas de luz monocromática com princípio de funcionamento similar ao dos lasers convencionais, mas cuja estrutura só precisa de centros espalhadores e um meio ativo. Eles apresentam propriedades distintas das de um laser convencional, como a baixa coerência espacial, que impede a produção de speckle e outros padrões de interferência, além da arquitetura simplificada, que possibilita dispositivos em escala micrométrica e em filmes finos.

Com o intuito de entender melhor a influência das nanopartículas na eficiência dos lasers aleatórios, foram produzidas amostras com quatro concentrações de nanopartículas de SiO_2 , e analisado com os espectros de emissão se comportam com a variação da energia de bombeio.

Métodos e Procedimentos

As amostras foram sintetizadas em parceria com o IGCE da UNESP e enviadas para as medidas no grupo de fotônica do IFSC. Elas são compostas de uma resina polimérica, com Rodamina B como meio ativo e centros espalhadores de SiO_2 . Como o foco do trabalho é identificar como as nanopartículas modificam as propriedades do laser aleatório, foram

produzidas amostras com diferentes concentrações de SiO_2 .

As medidas foram realizadas com a montagem experimental automatizada representada na Figura 1, na qual um laser de bombeio excita a amostra e a emissão resultante é coletada por um espectrômetro. Os espectros são adquiridos e armazenados, enquanto a lâmina de onda é rotacionada automaticamente para variar a energia de bombeio.

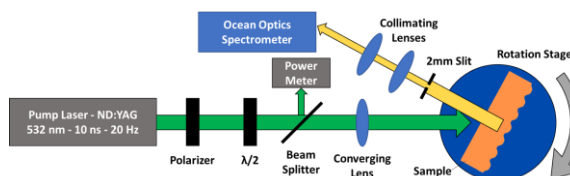


Figura 1: Diagrama esquemático da montagem experimental de laser aleatório automatizada.

Resultados

Inicialmente, as amostras foram posicionadas na montagem e a energia de bombeio fixada em 2 mJ por pulso. Os espectros de cada amostra foram coletados, e na Figura 2 estão as medidas das amostras com 0% e 1.0% de concentração. Os espectros obtidos são similares, todas apresentando um pico estreito do laser em 591 nm e, em sua base, uma banda mais larga e de baixa intensidade, típica da fluorescência da Rodamina.

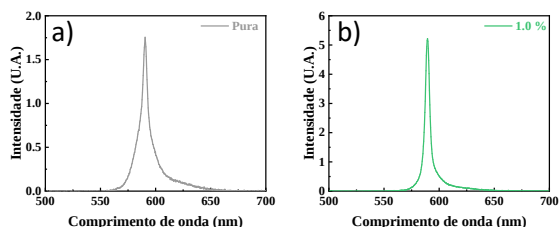


Figura 2: Espectros de emissão de duas amostras submetidas a uma energia de bombeio fixa de 2 mJ por pulso. a) 0% b) 1.0%.

Após a confirmação do comportamento laser em todas as amostras, foram executadas medidas com a variação da energia de bombeio. Em todos os casos a progressão do espectro foi similar: iniciam com uma banda larga e de baixa intensidade, que cresce e se estreita após o limiar laser. Um software foi utilizado para ajustar as curvas e obter a intensidade no pico e a largura à meia altura (FWHM) das bandas em função da energia de pulso. A comparação entre as amostras está na Figura 3.

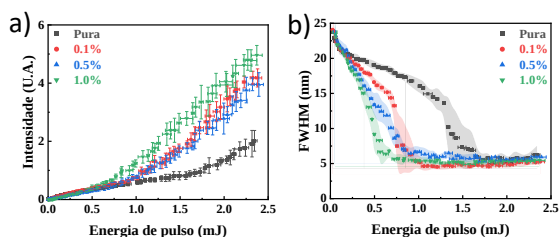


Figura 3: Comparação dos resultados das quatro amostras: a) intensidades b) larguras espectrais.

A principal diferença entre as amostras está no limiar laser, ponto em que ocorre a transição de emissão espontânea para estimulada, sendo que a amostra pura apresentou a maior energia necessária e a de 1.0%, a menor. No gráfico de intensidade, em todos os casos a curva inicia-se na região de fluorescência, mas como os limiares são distintos, a mudança na inclinação da curva ocorre em pontos diferentes, indicando maior eficiência energética nas amostras com maior concentração de SiO_2 .

No gráfico da largura espectral, todas as curvas começam com cerca de 20 nm (fluorescência) e convergem para 5.2 nm (laser). A única diferença significativa está no ponto de transição de banda larga para estreita. Em ambos os gráficos, os resultados para 0.1% e 0.5% são similares, embora diferenças nos limiares tenham sido detectadas, sugerindo que a concentração não é tão impactante nesse intervalo quanto nos demais.

Conclusões

Todas as amostras produziram lasers aleatórios, mas com diferentes eficiências e intensidades. Quanto maior a concentração, menor a energia necessária para atingir a inversão de população e a ação laser. Na amostra de 1.0%, a energia caiu para cerca de 40% da necessária na amostra sem nanopartículas, demonstrando como a quantidade de espalhadores modifica diretamente a eficiência energética dos lasers aleatórios. Não foi identificada saturação do comportamento, sendo necessárias amostras de concentrações superiores a 1.0% para determinar o ponto em que a energia de limiar volta a aumentar e a eficiência diminua.

Referências

- [1] ROMERO, A. L. S. Sistema experimental automatizado para estudos de Laser Aleatório em plataformas poliméricas flexíveis combinadas a biomateriais. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023
- [2] B. Redding, M. A. Choma, and H. Cao, "Speckle-free laser imaging using random laser illumination," *Nat. Photonics*, vol. 6, no. 6, pp. 355–359, 2012.
- [3] Wiersma, D. The smallest random laser. *Nature* 406, 133–135 (2000). <https://doi.org/10.1038/35018184>

REDUCTION OF THE THRESHOLD OF RANDOM LASERS INDUCED BY SiO₂ NANOPARTICLES

Vitor Eduardo Kock de Sá

Leonardo De Boni

IFSC/USP

vitordesa@usp.br

Objectives

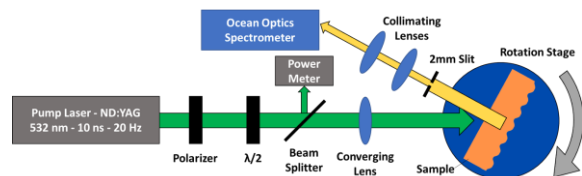
Random lasers are alternative sources of monochromatic light, with a principle similar to that of conventional lasers, but whose structure requires only scattering centers and an active medium. They present distinct properties compared to conventional lasers, such as low spatial coherence, which prevents the formation of speckle and other interference patterns, in addition to a simplified architecture that enables devices at the micrometric scale and in thin films.

In order to better understand the influence of nanoparticles on the efficiency of random lasers, samples with four concentrations of SiO₂ nanoparticles were produced, and the behavior of the emission spectra was analyzed as the pump energy was varied.

Materials and Methods

The samples were synthesized in collaboration with IGCE at UNESP and sent for measurements at the Photonics group of IFSC. They are composed of a polymeric resin with Rhodamine B as the active medium and SiO₂ as scattering centers. Since the focus of this work is to identify how nanoparticles modify the properties of random lasers, samples with different concentrations of SiO₂ were prepared.

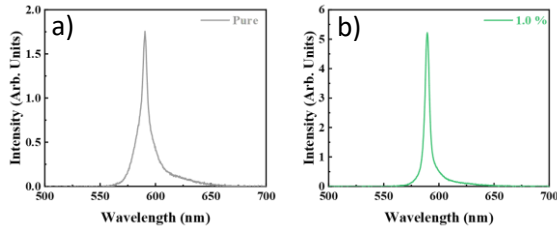
The measurements were carried out with the automated experimental setup shown in Picture 1, where a pump laser excites the sample and the resulting emission is collected by a spectrometer. The spectra are acquired and stored, while the wave plate is automatically rotated to vary the pump energy.



Picture 1: Schematic diagram of the automated random laser experimental setup.

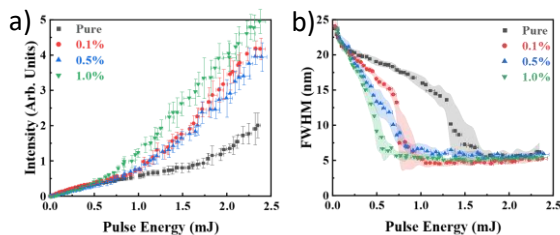
Results

First, the samples were positioned in the setup and the pump energy was fixed at 2 mJ per pulse. The spectra of each sample were collected, and Picture 2 shows the results for the samples with 0% and 1.0% concentration. The spectra are similar, all of them showing a narrow laser peak at 591 nm and, at its base, a broader and weaker band, typical of Rhodamine fluorescence.



Picture 2: Emission spectra of two samples under a fixed pump energy of 2 mJ. a) 0% b) 1.0%.

After confirming the lasing behavior in all samples, measurements were performed while varying the pump energy. In every case, the spectral evolution was similar: it started with a broad, low intensity band, which increased and narrowed after the laser threshold. A software was used to fit the curves and extract the peak intensity and the full width at half maximum (FWHM) of the measured bands as a function of pump pulse energy. The comparison between the samples is shown in Picture 3.



Picture 3: Comparison between the results of the four samples: a) intensities and b) spectral widths.

The main difference between the samples lies in the laser threshold, the point at which the transition from spontaneous to stimulated emission occurs. The pure sample required the highest threshold energy, while the 1.0% sample required the lowest. In the intensity graph, all curves start similarly in the fluorescence region, but since the thresholds are different, the change in slope occurs at distinct points, indicating higher energy efficiency for samples with greater SiO₂ concentration.

In the spectral width graph, all curves start around 20 nm, characteristic of fluorescence, and converge to 5.2 nm, characteristic of lasing.

The only significant difference lies in the point of transition from the broad to the narrow band. In both graphs, the results for 0.1% and 0.5% are similar, although slight differences in the laser thresholds were detected, suggesting that concentration is less impactful in this interval than in the others.

Conclusions

All samples produced random lasers, but with different efficiencies and intensities. The higher the concentration, the lower the energy required to achieve population inversion and lasing. In the 1.0% sample, the threshold energy dropped to about 40% of the energy required for the sample without nanoparticles, showing how the amount of scatterers directly modifies the energy efficiency of random lasers. No saturation of this behavior was identified, and samples with concentrations above 1.0% are needed to determine the point at which the threshold energy starts to increase again and the efficiency decreases.

References

- [1] ROMERO, A. L. S. Sistema experimental automatizado para estudos de Laser Aleatório em plataformas poliméricas flexíveis combinadas a biomateriais. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023
- [2] B. Redding, M. A. Choma, and H. Cao, "Speckle-free laser imaging using random laser illumination," *Nat. Photonics*, vol. 6, no. 6, pp. 355–359, 2012.
- [3] Wiersma, D. The smallest random laser. *Nature* 406, 133–135 (2000).
<https://doi.org/10.1038/35018184>