

**Título em Português:** Desenvolvimento de Cavidade Laser Ti:Safira Femtossegundos

**Título em Inglês:** Femtosecond Ti:Sapphire Laser Cavity Development

**Autor:** Vinicius Pereira Pinto

**Instituição:** Universidade de São Paulo

**Unidade:** Instituto de Física de São Carlos

**Orientador:** Jarbas Caiado de Castro Neto

**Área de Pesquisa / SubÁrea:** Física da Matéria Condensada

**Agência Financiadora:** FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

## Desenvolvimento de Cavidade Laser Ti:Safira Femtossegundos

Vinícius Pereira Pinto

Dra. Fatima Maria Mitsue Yasuoka

Dra. Giovana Trevisan Nogueira

Orientador Prof. Dr. Jarbas Caiado de Castro Neto

Instituto de Física de São Carlos – Universidade de São Paulo

viniciuspinto@usp.br

### Objetivos

O laser Ti:Safira Femtossegundos é um laser de estado sólido pulsado desenvolvido por Moulton (1986). Ele é caracterizado por ser constituído de um cristal de safira ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dopada com íons de titânio ( $\text{Ti}^{3+}$ ) que possui uma estrutura de quatro níveis. O cristal possibilita o método *Kerr Lens Mode-locking* (ZILIO, 2009), uma vez que apresenta propriedades ópticas não lineares de terceira ordem que produz o efeito de autofocalização em altas intensidades. A operacionalidade do laser de pulsos ultracurtos exige a completa estabilidade da cavidade óptica, através do alinhamento preciso de forma a provocar o aumento do número de modos acoplados igualmente espaçados de acordo com a taxa de repetição, atingindo o regime de modos travados (*mode-locking*). É necessário a revisão óptica e otimização da cavidade com o objetivo de definir as condições de estabilidade para geração de pulsos ultracurtos.

### Métodos e Procedimentos

O projeto se baseia na caracterização, revisão e otimização da cavidade óptica para o desenvolvimento de um laser Ti:Safira femtossegundos. O meio de ganho do laser se baseia no cristal de safira dopado com titânio que tem pico de absorção em torno de 532nm e pico de emissão em torno de 780nm, como na Figura (1), o que permite utilizar um laser de bombeio que emite em 532nm.

A cavidade é composta por dois espelhos chirped curvos que, em conjunto a um terceiro espelho plano, são responsáveis pela compensação da dispersão de atraso de grupo do feixe intracavidade, ilustrada na Figura (2) e demonstrada na Figura (3). A montagem da cavidade é realizada com ajuste da altura do

feixe de bombeio e o feixe intracavidade, observando as reflexões corretas entre os espelhos. Em primeira etapa, o alinhamento do laser deve ter como objetivo otimizar o regime contínuo para potência média de saída maiores de 1W para a potência de bombeio de cerca de 5W.

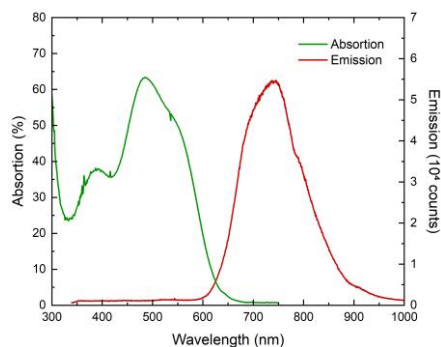


Figura 1: Espectro de absorção e emissão do cristal  $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$  utilizado na cavidade.

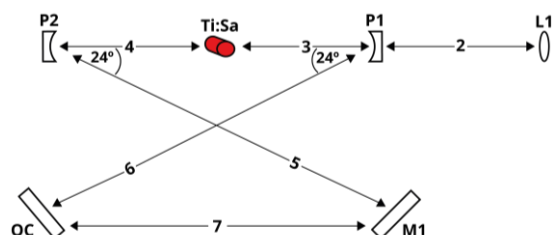


Figura 2: Cavidade laser Ti:Safira femtossegundos utilizando um par de espelhos chirped (P1 e P2) e um espelho plano (P1) para compensação de dispersão de atraso de grupo do feixe intracavidade.

A otimização da potência para o regime contínuo se dá com o deslocamento da posição de um dos espelhos curvos e da variação angular dos espelhos planos para correções. É importante verificar o astigmatismo dos feixes de saída, uma vez que os ângulos calculados podem apresentar pequenas divergências experimentais.

Em seguida, é importante diminuir o parâmetro confocal do laser para atingir o regime de modos travados, observando o espectro de emissão do feixe de saída se alargar, em torno de 780nm.

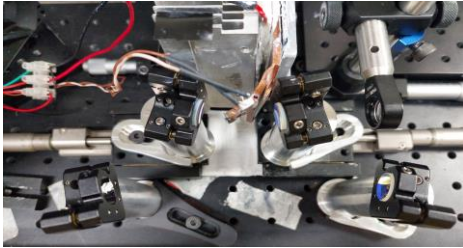


Figura 3: Fotografia da cavidade laser, com o cristal ao centro, acoplado a um sistema de refrigeração a ar.

Uma vez atingido o regime de modos travados, é necessário otimizá-lo para que não apresente picos de emissão em regime contínuo e que se mantenha estável, para operação correta.

### Resultados Preliminares

Com uma revisão da cavidade foi possível avaliar problemas nos componentes intracavidade e montagem, fazendo modificações que permitiram alcançar mais de 1,2W de potência média de saída para o regime contínuo com cerca de 5W de bombeio, correspondendo a aproximadamente 25% de eficiência, demonstrado na Figura (3). Este resultado preliminar mostrou que, ao diminuir o parâmetro confocal do feixe laser ao aproximar os espelhos curvos, é possível atingir o regime de modos travados de forma instável, ainda com picos de emissão laser em regime contínuo, registrado na Figura (4).

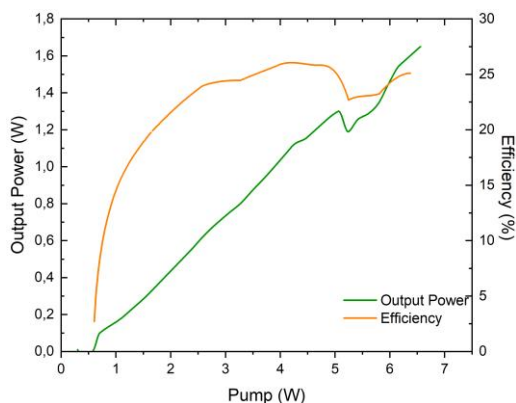


Figura 3: Potência de Saída e Eficiência do laser Ti:Safira em modo contínuo.

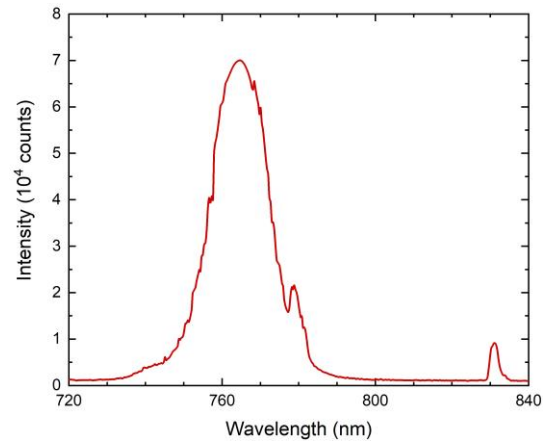


Figura 4: Espectro do laser Ti:Safira em regime de modos travados instável com alguns picos de emissão em regime contínuo.

### Conclusões

Os estudos da cavidade foram importantes para análise dos componentes e identificação dos problemas enfrentados com a dificuldade de atingir o regime de modos travados. As atividades realizadas possibilitaram o desenvolvimento de técnicas para alinhamento de cavidades ópticas e controle de parâmetros importantes para a sua operação. Foi apontado durante a revisão da cavidade que a montagem atual não permite total liberdade no controle das distâncias dos espelhos curvos para obter um regime de modos travados com estabilidade necessária.

Já com os resultados preliminares, é possível observar que o projeto está próximo de alcançar os objetivos de atingir o regime de modos travados totalmente estabilizado e que seja possível fazer sua caracterização.

### Referências Bibliográficas

- [1] MOULTON, P. F. **Spectroscopic and Laser Characteristics of Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**. J. Opt. Soc. Am. B, OSA, v. 3, n. 1, p. 125–133, Jan 1986.
- [2] ZILIO, S. C. **Óptica Moderna - Fundamentos e Aplicações**. Universidade de São Paulo: Instituto de Física de São Carlos, 2009.
- [3] NOGUEIRA, G. T.; CRUZ, F. C. **Efficient 1 GHz Ti:Sapphire Laser with Improved Broadband Continuum in the Infrared**. Opt. Lett., Optica Publishing Group, v. 31, n. 13, p. 2069–2071, Jul 2006.

# Femtosecond Ti:Sapphire Laser Cavity Development

Vinícius Pereira Pinto

Dr. Fatima Maria Mitsue Yasuoka

Dr. Giovana Trevisan Nogueira

Supervisor Prof. Dr. Jarbas Caiado de Castro Neto

São Carlos Institute of Physics/University of São Paulo

viniciuspinto@usp.br

## Objectives

The Ti:Sapphire femtosecond laser is an ultra-short pulse solid-state laser developed by Moulton (1986). It is characterized by having a sapphire crystal ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) doped with titanium ions ( $\text{Ti}^{3+}$ ), that has a four-level structure, as a gain medium. The crystal enables the Kerr Lens Mode-locking method (ZILIO, 2009), since it has third-order nonlinear optical properties that produces the self-focusing effect at high intensities. The operability of the ultra-short pulse laser requires complete stability of the optical cavity, through precise alignment in order to cause the number of coupled modes equally spaced according to the repetition rate, reaching the regime of mode-locking. It is necessary optical revision and cavity optimization in order to define the stability conditions for ultra-short pulse generation.

## Materials and Methods

The project is based on the characterization, review and optimization of the optical cavity for the development of a femtosecond Ti:Sapphire laser. The laser gain medium is based on a titanium-doped sapphire crystal that has an absorption peak around 532nm and the maximum gain around 780nm, as shown in Figure (1), which allows the use of a pump laser that emits at 532nm.

The cavity is composed of two curved chirped mirrors (P1 and P2) that, together with a third plane mirror (P1), are responsible for compensating the group delay dispersion of the intracavity beam, illustrated in Figure (2) and demonstrated in Figure (3).

The cavity assembly is performed by adjusting the height of the pump beam and the intracavity beam, observing the correct reflections between the mirrors. As a first step, the laser

alignment should aim to optimize the continuous regime for average output power greater than 1W for a pump power of about 5W.

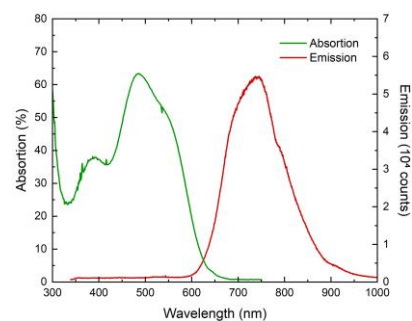


Figure 1: Absorption and emission spectrum of the  $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$  crystal used in the cavity.

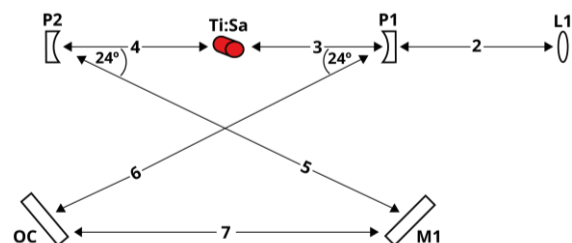


Figure 2: Ti:Sapphire laser cavity femtoseconds using a pair of chirped mirrors (P1 and P2) and a plane mirror (P1) for intracavity beam group delay scatter compensation.

The power optimization for the continuous regime occurs with the displacement of the position of one of the curved mirrors and the angular variation of the flat mirrors for corrections. It is important to verify the astigmatism of the output beams, since the calculated angles may present small experimental divergences.

Next, it is important to decrease the confocal parameter of the laser to reach the locked mode regime, observing the emission spectrum of the output beam to widen, around 780nm.



Figure 3: Photograph of the laser cavity, with the crystal in the center, coupled to an air cooling system.

Once the locked mode regime is reached, it is necessary to optimize it so that it does not present emission peaks in a continuous regime and that it remains stable, for correct operation.

## Results

Reviewing the cavity, it was possible to evaluate problems in the intracavity and assembly components. Modifications are made that allowed reaching more than 1.2W of average output power for the continuous regime with about 5W of pump. It corresponds to approximately 25% efficiency, demonstrated in Figure (4). This preliminary result showed that, by decreasing the confocal parameter of the laser beam when approaching the curved mirrors, it was possible to reach the modelock regime in an unstable condition, still with peaks of laser emission in continuous regime, registered in Figure (5).

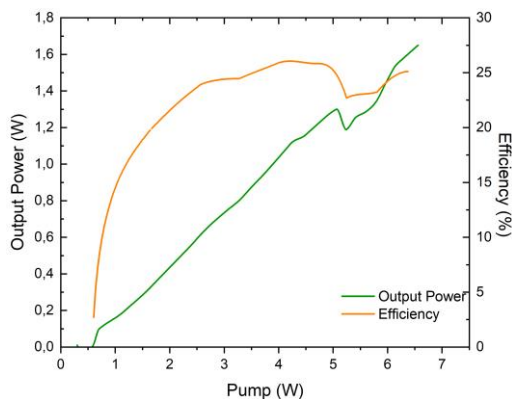


Figure 4: Output Power and Efficiency of the Ti:Sapphire laser in continuous mode.

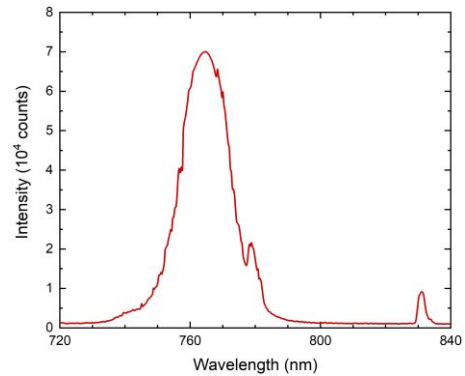


Figure 5: Ti:Sapphire laser spectrum in unstable modelock regime with some emission peaks in continuous mode.

## Conclusions

The cavity studies were important for analyzing the components and identifying the problems faced with the difficulty of reaching the modelocked regime. The activities carried out made it possible to develop techniques for aligning optical cavities and controlling important parameters for their operation. It was pointed out during the cavity review that the current setup does not allow complete freedom in controlling the distances of the curved mirrors to obtain a modelock regime with the necessary stability.

Already with the preliminary results, it is possible to observe that the project is close to reaching the objectives of getting the fully modelock regime and that it is possible to make its characterization.

## References

- [1] MOULTON, P. F. **Spectroscopic and Laser Characteristics of Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**. J. Opt. Soc. Am. B, OSA, v. 3, n. 1, p. 125–133, Jan 1986.
- [2] ZILIO, S. C. **Óptica Moderna - Fundamentos e Aplicações**. Universidade de São Paulo: Instituto de Física de São Carlos, 2009.
- [3] NOGUEIRA, G. T.; CRUZ, F. C. **Efficient 1 GHz Ti:Sapphire Laser with Improved Broadband Continuum in the Infrared**. Opt. Lett., Optica Publishing Group, v. 31, n. 13, p. 2069–2071, Jul 2006.