

**Título em Português:** Desenvolvimento da parte mecânica da Cavidade Laser Ti:Safira Femtossegundo

**Título em Inglês:** Development of the mechanical parts of the Ti:Sapphire Femtosecond Laser Cavity

**Autor:** Vinicius Henrique Pereira Giroto

**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:** CNPq - PIBIC

## Desenvolvimento da parte mecânica da Cavity Laser Ti:Safira Femtossegundo

Vinicius Henrique Pereira Giroto

Dra. Fatima Maria Mitsue Yasuoka

Prof. Dr. Jarbas Caiado de Castro Neto

Instituto de Física de São Carlos – Universidade de São Paulo

viniciusgiroto@usp.br

### Objetivo

O laser Ti:Safira Femtossegundo é um laser de estado sólido pulsado, cuja cavidade do tipo *bow-tie*, que é constituído de um cristal de safira ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dopada com íons de titânio ( $\text{Ti}^{3+}$ ), dois espelhos curvos *chirped* e um espelho plano e um espelho plano de saída. 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*). Foi necessário realizar a revisão óptica e otimização da cavidade com o objetivo de definir as condições de estabilidade para geração de pulsos ultracurtos. Este trabalho está relacionado ao desenvolvimento de toda a parte mecânica da referida cavidade. Utilizando o software mecânico SolidWorks®, toda a parte de fixação dos suportes dos componentes ópticos e o suporte do cristal sobre uma base de alumínio foram projetados para se obter a condição ideal para atingir o regime de modos travados.

### Método e Procedimento

O projeto se baseia no desenvolvimento de suportes de fixação e alinhamento dos componentes ópticos e do suporte do cristal de Ti:Safira, que necessita estar em ângulo de

Brewster. O ângulo de Brewster é baseado no índice de refração do material. O índice de refração para Ti:Safira é 1,76, resultando em  $60,4^\circ$  do ângulo de Brewster, ilustrado na Figura 1. A concepção mecânica do projeto se baseia na caracterização, revisão e otimização da cavidade óptica para o desenvolvimento de um laser Ti:Safira femtossegundos do trabalho de Vinicius Pereira (FAPESP - 2021\_08202-8). O meio ativo do laser é o cristal de safira dopado com titânio que tem pico de absorção em torno de 532 nm e pico de emissão em torno de 780 nm, o que exige que o laser de bombeio seja em 532 nm (Laser Verdi/Coherent).

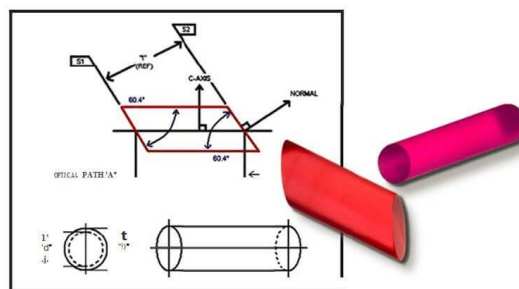


Figura 1: Dimensional do cristal Ti:Safira

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 o projeto da cavidade em bancada ilustrada pela Figura 3.

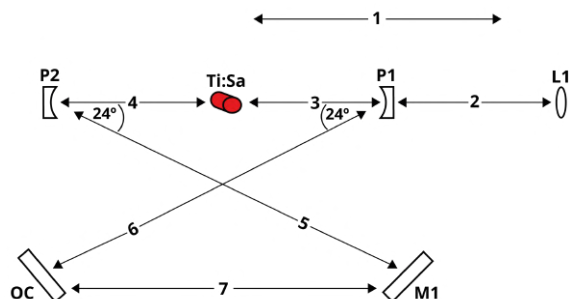


Figura 2: Cavidade laser Ti:Safira femtossegundos utilizando um par de espelhos chirped (P1 e P2) e um espelho plano (P1) para compensação de dispersão de atraso de grupo do feixe intracavidade

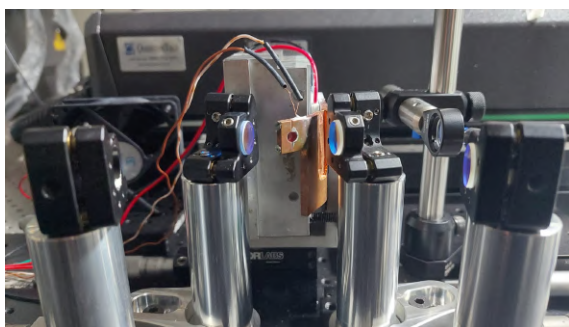


Figura 3: Fotografia da cavidade laser, com o cristal ao centro, acoplado a um sistema de refrigeração a ar

A montagem da cavidade é realizada com ajuste da altura do feixe de bombeio e o feixe intracavidade, que são realizados pelos suportes que fixam cada um dos componentes ópticos (Figura 4).



Figura 4: Projeto mecânico do suporte de fixação dos componentes ópticos

A figura 5 ilustra um dispositivo projetado em alumínio que auxilia no posicionamento dos elementos ópticos e alinhamento da cavidade.



Figura 5: Régua projetada para posicionamento dos elementos ópticos e alinhamento do laser

A figura 6: Ilustra a carenagem projetada para cobrir todo o sistema óptico do laser Ti:Safira.



Figura 6: Carenagem da cavidade do Laser Ti:Safira

A figura 7: Ilustra a caixa de controle projetada

para controlar a temperatura de operação do laser Ti:Safira femtossegundo.



Figura 7: Caixa de controle de temperatura do laser Ti:Safira femtossegundo

Em primeira etapa, o alinhamento do laser deve ter como objetivo otimizar o regime contínuo para potência média de saída maiores de 1 W para a potência de bombeio de cerca de 5 W. 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 780 nm. 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 a revisão da cavidade foi possível avaliar problemas na posição dos componentes ópticos da cavidade e na montagem mecânica como um todo. Realizando as modificações necessárias foi possível alcançar mais de 1,2 W de potência média de saída para o regime contínuo com cerca de 5 W de bombeio. 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 8.

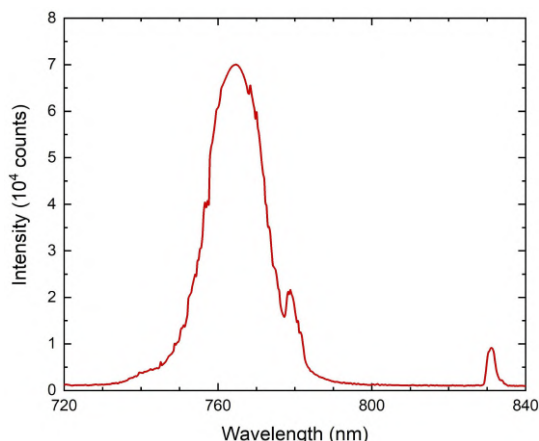


Figura 8: Espectro do laser Ti:Safira em regime de modos travados instável com alguns picos de emissão em regime contínuo

A figura 9 ilustra a montagem do Laser Ti:Safira femtossegundo montado em bancada.

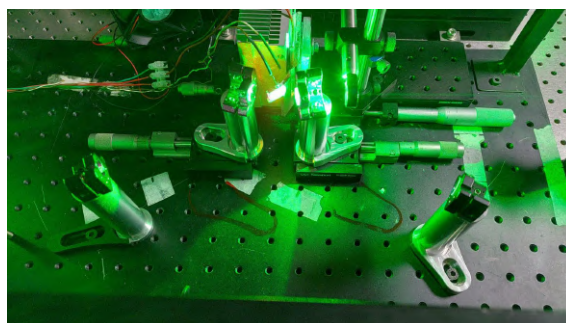


Figura 9: Montagem em bancada do laser Ti:Safira femtossegundo

## 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. Os dispositivos de fixação dos elementos ópticos em três pontos de controle de direção projetados para auxiliar no alinhamento da cavidade permitiram o desenvolvimento de técnicas para alinhamento de cavidades ópticas e controle de parâmetros importantes para a sua operação. Mesmo assim, 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. O que requer algumas modificações de dimensionamento na parte mecânica. Já com os resultados preliminares, é possível observar que o projeto está próximo de alcançar o objetivo de atingir o regime de modos travados totalmente estabilizado.

### Referências Bibliográficas

- [1] MOULTON, P. F. **Spectroscopic and Laser Characteristics of  $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$** . 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  $\text{Ti:Sapphire}$  Laser with Improved Broadband Continuum in the Infrared**. Opt. Lett., Optica Publishing Group, v. 31, n. 13, p. 2069–2071, Jul 2006.

## Development of the mechanical parts of the Ti:Sapphire Femtosecond Laser Cavity

**Vinicius Henrique Pereira Giroto**

**Dr. Fatima Maria Mitsue Yasuoka**

**Dr. Jarbas Caiado de Castro Neto**

Instituto de Física de São Carlos – University of São Paulo

viniciusgiroto@usp.br

### Objectives

The Ti:Sapphire Femtosecond laser is a pulsed solid state laser, with a bow-tie cavity. It is composed of a sapphire crystal ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) doped with titanium ions ( $\text{Ti}^{3+}$ ), two curved chirped mirrors, a plane mirror and an exit plane mirror. In order to operate the ultrashort pulse laser, precise alignment of the cavity's optics is required, which results in an increase in the number of equally spaced acoplation modes based on the repetition rate, up to mode-locking. It was necessary to perform the optical review and optimization of the cavity in order to define the stability conditions for generating ultrashort pulses. The objective of this project is to develop the entire mechanical part of the cavity. Using SolidWorks® mechanical software, the entire fixing of the optical components and crystal supports on an aluminum base were designed so as to obtain the ideal condition to achieve mode-locking.

### Material and Method

The project is centered on the development of supports for fixing and aligning the optical components and the support for the Ti:Sapphire crystal, which needs to be at the Brewster angle. The Brewster angle is based on the refractive index of the material. The refractive index for Ti:Sapphire is 1.76, resulting in the Brewster angle of  $60.4^\circ$  (Figure 1). The mechanical design of the project is based on characterization, review and optimization of the

optical cavity for the development of a femtosecond Ti:Sapphire laser by Vinicius Pereira (FAPESP - 2021\_08202-8). The active medium of the laser is a titanium-doped sapphire crystal, which has an absorption peak around 532 nm and an emission peak around 780 nm, which requires the pump laser to be at 532 nm (Verdi/Coherent Laser).

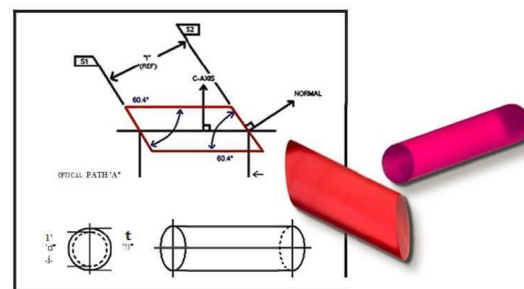


Figure 1: Ti:Sapphire crystal dimensions

The cavity is composed of two curved chirped mirrors which, together with a third plane mirror, are responsible for the compensation of the group delay dispersion of the intracavity beam (Figure 2) and the bench cavity design (Figure 3).

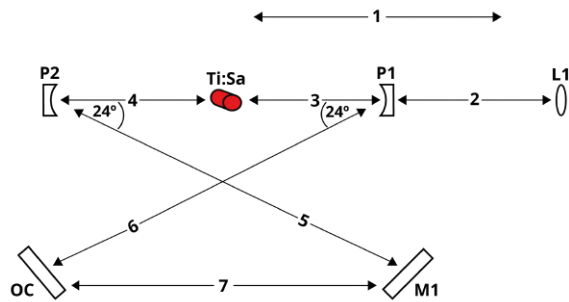


Figure 2: Ti:Sapphire femtosecond laser cavity using a pair of chipped mirrors (P1 and P2) and a plane mirror (P1) for intracavity beam group delay dispersion compensation

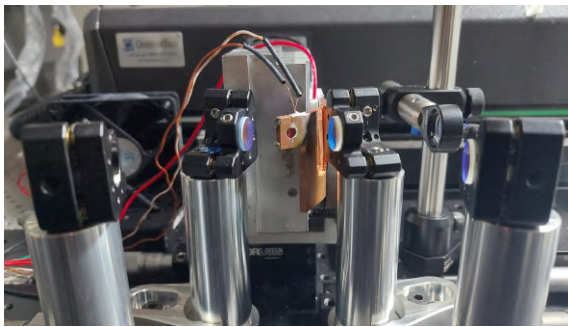


Figure 3: Picture of the laser cavity, with the crystal in the center, coupled to an air cooling system

The cavity assembly is performed by adjusting the height of the pump beam and the intracavity beam, which are performed by the supports that fix each of the optical components (Figure 4).



Figure 4: Mechanical design of the optical components fixing support

Figure 5 illustrates a device designed in aluminum to assist in positioning the optical elements and aligning the cavity.



Figure 5: Ruler designed for the positioning of the optical elements and laser alignment

Figure 6 illustrates the box designed to cover the entire Ti:Sapphire laser optical system.



Figure 6: Ti:Sapphire Laser Cavity Box

Figure 7 shows the control box developed to control the operating temperature of the Ti:Sapphire femtosecond laser.



Figure 7: Ti:Sapphire Femtosecond Laser Temperature Control Box



As a first step, the laser alignment should aim to optimize the continuous regime for an average output power greater than 1 W for a pump power of about 5 W. Next, it is critical to decrease the laser confocal parameter to reach mode-locking, observing the emission spectrum of the output beam widening, approximately 780 nm. Having accomplished mode-locking, it is necessary to optimize it so that there are no emission peaks during the continuous regime and that it remains stable for correct operation.

## Results

With the cavity review, it was possible to evaluate problems in the position of the optical components of the cavity and in the mechanical assembly as a whole. By carrying out the necessary modifications, it was possible to achieve more than 1.2 W of average output power for the continuous regime with about 5 W of pumping. In this preliminary study, it was found that by decreasing the confocal parameter of the laser beam by approaching the curved mirrors, mode-locking can be achieved in an unstable way while still producing peaks of laser emission in the continuous regime, as shown in Figure 8.

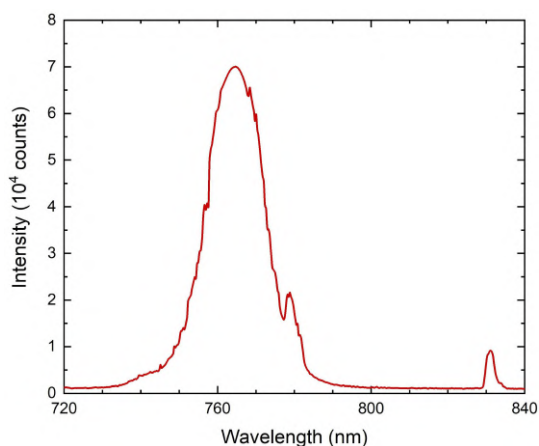


Figure 8: Ti:Sapphire laser spectrum in unstable mode-locking with some emission peaks in continuous mode

Figure 9 illustrates the Ti:Sapphire Femtosecond Laser assembly.

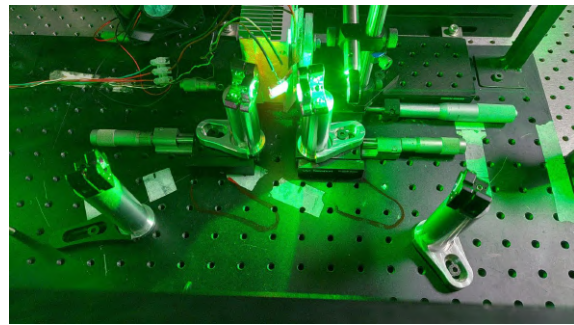


Figure 9: Bench mount of the Ti:Sapphire femtosecond laser

## Conclusions

These cavity studies provided invaluable information for analyzing the components and identifying the difficulties faced in reaching mode-locking. Fixing devices for optical elements with three different control points designed to assist in cavity alignment allowed the development of techniques for optical cavity alignment. Concepts like these allow control of key parameters for its operation. Even so, it was pointed out during the cavity review that the current assembly does not provide complete freedom in controlling the distances of the curved mirrors to obtain mode-locking with the necessary stability. Which requires some sizing modifications in the mechanical part. Based on the preliminary results, it is evident that the project is on its way to achieving the objective of achieving fully stabilized mode-locking.

## 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.