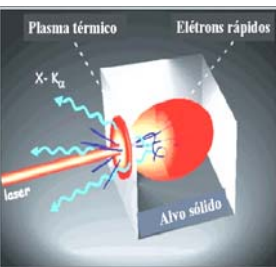


1 - Introdução

Grandes avanços estão sendo realizados no uso de lasers pulsados e amplificados para produzir pulsos ultracurtos de raios X. Os mecanismos de produção de raios X dependem do regime de interação do laser com a matéria (podendo ser sólida ou gasosa). No regime não relativístico onde as intensidades são da ordem de 10^{16} a 10^{17} W/cm², e o laser colide contra um alvo sólido em ambiente de vácuo, um plasma térmico de 300eV produz elétrons de alta energia que são acelerados contra o alvo ionizando as camadas mais internas dos átomos e produzindo *bremstrahlung* e radiação característica K α . Este processo ocorre com a mesma duração da largura temporal do pulso de laser produzindo portanto pulsos de raios X com larguras de alguns femtosegundos. Este tipo de fonte é conhecida na literatura como fonte K-alfa pela emissão de radiação característica.

Neste projeto temos por objetivo a construção de uma fonte de raios X pulsada do tipo K-alfa (ou plasma laser) a partir de um laser amplificado com largura temporal de 100fs, 1mJ de energia e 1kHz de taxa de repetição. Projetos deste tipo realizados em outros laboratórios demonstram ser possível obter pulsos de raios X com 200fs de duração a partir de um tamanho de fonte da ordem de 5 μ m, propiciando coerência espacial da ordem de 100 μ m, alto brilho e emissão isotrópica em 4 π radianos.



Esquema de produção de raios X por fontes plasma lasers. Foto retirada de <http://foa.ensta.fr>

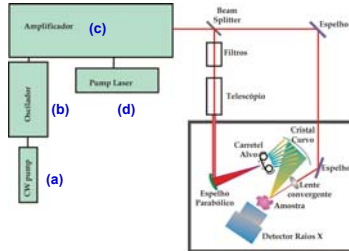
Este projeto, inédito no Brasil, tem por objetivo viabilizar uma fonte de raios X para estudos da dinâmica ultra-rápida de processos físicos e químicos com resolução atômica. Experimentos do tipo *pump-probe* (bomba-sonda) estão previstos abrindo caminhos para estudo de fenômenos ultra-rápidos como transições de fase, estudo de excitações coletivas na física da matéria condensada, assim como propriedades magnéticas de sólidos.

O projeto envolve várias etapas importantes como a focalização do laser amplificado para alcançar intensidades da ordem de 10^{16} W/cm²; a construção de um alvo sólido móvel que recebe um pulso de laser em uma nova superfície do alvo; o desenvolvimento de uma câmara de vácuo contendo estes componentes além de uma estação experimental para realização de experimentos de difração de raios X em amostras foto-excitadas pelo laser de alta potência.

2 - Montagem Experimental

O sistema de laser amplificado utilizado no desenvolvimento deste projeto consiste de um oscilador de Ti:Safira (b) alimentado por um laser de onda contínua (a). Os pulsos depois de formados no oscilador entram em um estágio de amplificação (c, d) resultando em pulsos com energia de 1mJ, largura temporal de 100fs e taxa de repetição de 1KHz.

A base crucial para a produção de raios X pulsados consiste na obtenção de altas intensidades *I* quando um intenso pulso laser incide sobre um alvo sólido.



Esquema do sistema de laser amplificado e processo de produção de raios X

Focalização:
ESPELHOS PARABÓLICOS
vs
LENTE CONVERGENTES

Baixa absorção:
→ máxima intensidade!!!
Sem aberração cromática!!!!

$$I = \frac{E}{A\tau}$$

E: Energia
A: Área do ponto focal
 τ : Duração do pulso

Quando o feixe de laser possui distribuição de intensidade gaussiana no espaço e no tempo, a equação de *I* pode ser escrita como:

$$I = \frac{E}{\pi w_0^2 \tau} \Rightarrow w_0 = 0.5 \frac{\lambda f}{D}$$

I mínima para produção de raios X a partir de um alvo de Titânio

$$I = 10^{16} \text{ W/cm}^2$$

Laser pulsado!!!!

$$E = 1\text{mJ}$$

$$I = 10^{16} \text{ W/cm}^2$$

$$\tau = 100\text{fs}$$



$$A = 100\mu\text{m}^2 \quad 2w_0 \sim 10\mu\text{m}$$

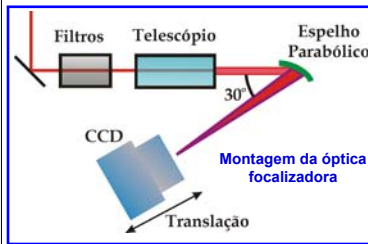
Objetivo atual do projeto

→ Obtenção de focos de 5 a 10 μ m de diâmetro!!!!!!

3 – Tamanho Focal

Os testes iniciais estão sendo realizados com um laser de He-Ne, o qual incide sobre um telescópio cuja função é colimar e expandir o feixe ~20x, necessária para a otimização da focalização do feixe através do espelho parabólico.

Tamanho do foco do espelho parabólico $\propto \frac{1}{\text{Tamanho do feixe incidente!!!}}$ → Telescópio!!!

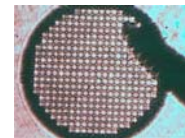


Após a expansão, o feixe incide sobre um espelho parabólico (cobertura de Au, 50mm de diâmetro), que focaliza o feixe a um ângulo de 30° do feixe incidente.

Uma CCD ao longo da linha do foco do espelho permite determinar o tamanho do foco, bem como a profundidade focal.

É importante garantir que a CCD não se sature, pois a intensidade no foco é muito alta!!! Para garantir a não saturação, foram utilizados diversos filtros.

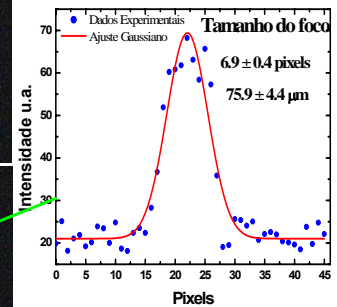
Para a medida do tamanho focal do feixe foi necessário a calibração da câmera CCD, feita através da imagem de uma grade para microscopia eletrônica de transmissão (TEM). Os furos desta grade possuem 130 μ m de diâmetro.



Tamanho do pixel da CCD: 11 μ m x 11 μ m

Foto da grade de microscopia eletrônica de transmissão.

Imagens obtidas para diferentes posições da CCD em relação ao espelho.

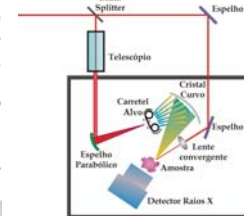


Perfil de linha do foco!!!!

Espelhos parabólicos de diâmetros 76.2mm e 101.6mm e focalização a 90° já encontram-se em nosso laboratório para testes futuros.

4 – Aplicações e perspectivas

Uma das primeiras aplicações que pretendemos implementar com essa fonte de raios X envolve a exploração da coerência do feixe para realização de imagens por contraste de fase. Pretendemos verificar o potencial desta fonte para obtenção desse tipo de imagem utilizando corpos de prova e em seguida utilizá-los para obtenção de imagens de mamografia *in-vitro*.



Esquema da geração de raios X e sua utilização em um experimento de bomba-sonda.

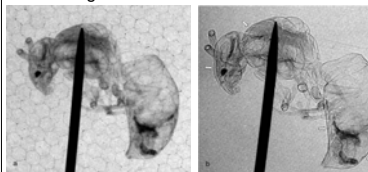


Imagem por absorção! Radiação não precisa ser coerente.

Imagem por contraste de fase!! Exige fonte coerente!

Outra aplicação importante se refere ao uso da natureza pulsada do feixe de raios X que pretendemos utilizar para medir o comportamento microscópico de uma liga de ferro-níquel (INVAR). Pretendemos estudar a evolução dos parâmetros de rede em tempos muito curtos após a excitação por um pulso laser com comprimento de onda no infravermelho.

5 – Referências

- T. Katsouleas, Nature **431** (2004) 515
- C. G. R. Geddes *et al.*, Nature **431** (2004) 538
- S. P. D. Mangles *et al.*, Nature **431** (2004) 535
- J. Faure *et al.*, Nature **431** (2004) 541
- M. Bargheer *et al.*, Science **306** (2004) 1771
- C. Rischel *et al.*, Nature **390** (1997) 490
- A. Rousse *et al.*, Phys. Rev. E **50** (1994) 2200
- M. M. Murnane *et al.*, Science **251** (1991) 531
- A. Rousse *et al.*, Phys. Rev. Lett. **93** (2004), 135005