Relatório Final
Construção de um Laser de Ar

Aluno: Hugo L.O. Meneguele **RA** 008885

Orientador: Leandro R. Tessler

Introdução

Neste Relatório Final está descrito todo o processo de montagem e operação da cavidade de um laser de nitrogênio que funciona em pressão atmosférica, sem necessidade de espelhos ou vidrarias; tal laser, de extrema simplicidade, emite um feixe coerente no espectro ultravioleta a partir do nitrogênio atmosférico.

A alimentação do feixe é feita por uma fonte de alta tensão, mais especificamente um *flyback* de monitor. Os detalhes sobre a fonte e seu uso estão documentados no relatório do aluno Lucas Sanfelici para esta mesma disciplina (F 809-Instrumentação para Ensino-1º semestre de 2004).

O interesse de tal projeto para a área de ensino reside no fato de que a montagem da cavidade é relativamente simples e muito barata, podendo ser realizada por alunos no 1º ano de cursos de Ciências Exatas. Devido à presença de alta tensão, entretanto, é necessária extrema cautela ao executar o experimento.

Teoria

O laser de ar nada mais é que um laser de nitrogênio que utiliza as moléculas atmosféricas de nitrogênio para emitir. Seu princípio de funcionamento é o seguinte: quando uma descarga elétrica de alta corrente passa pelas moléculas, ela gera um feixe coerente cujo comprimento de onda é de 337 nm (ultra-violeta).

O processo tem início quando uma molécula de Nitrogênio se choca com um elétron presente na corrente. Ao absorver energia, ela se torna instável, retornando para um estado de energia mais baixa através da emissão de um fóton, que, ao passar perto de outra molécula excitada, a estimula a emitir um fóton idêntico, por efeito de proximidade. Isso continua enquanto o pulso encontra mais moléculas excitadas que moléculas absorsoras.

Para o Nitrogênio, o número de moléculas no estado menos energético (absorsoras) cresce rapidamente: quando há mais moléculas no estado menos energético que moléculas excitadas, termina a emissão laser, mesmo que ainda existam moléculas excitadas no gás. O processo todo dura cerca de 10ns.

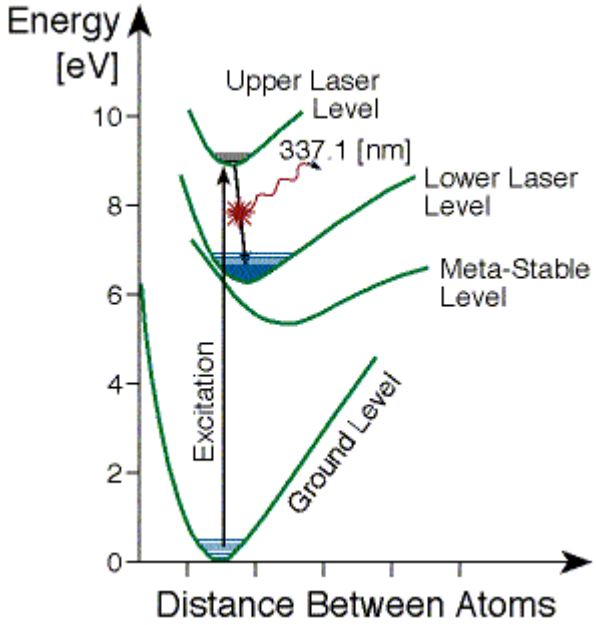

Figura 1: diagrama de energia do Nitrogênio excitado

Materiais Utilizados

- 1 placa de alumínio com dimensões 210x297 mm e 2 mm de espessura
- 2 placas de alumínio com dimensões 135x190 mm e 2 mm de espessura
- 2 tiras de alumínio dobradas em L com dimensões 10x20x190 mm e 2 mm de espessura
- 1 placa de acrílico de 210x297 mm e 1,5 mm de espessura

- 4 “pés” de borracha para suporte da montagem
- 2 indutores com indutância da ordem de 10^{-6} H cada.
- 2 cabos de alta tensão.
- 4 tiras de madeira para fixarem a montagem.
- Fonte de alta tensão que forneça no mínimo 10 kV.

Montagem

A montagem da cavidade é feita da seguinte forma: a fonte de alta tensão é conectada à cavidade, sendo o fio terra (preto, na figura) ligado à placa de metal inferior e o pólo positivo (vermelho, na figura) ligado à placa de metal superior esquerda.

Na placa superior direita está a ponta superior do faiscador, enquanto a ponta inferior está na placa inferior.

Entre as placas superiores e a inferior existe um material isolante, como acrílico ou filmes plásticos. Como se está lidando com alta tensão, é importante se assegurar que a camada isolante possui a espessura e a área necessárias para evitar o surgimento de arcos voltaicos. Em nossa montagem, utilizamos uma placa de acrílico.

Parafusados nas placas superiores, existem tiras de alumínio dobradas em L, colocadas de frente uma para outra, de forma a funcionarem como capacitores de placas paralelas.

Entre as tiras em L são colocados os indutores.

O experimento em si gera muita luz, especialmente devido ao faiscador (*figura 3)*. Isso atrapalha a detecção do laser, que apresenta baixa intensidade. Para eliminar essa luminosidade, é importante cobrir o faiscador com uma caixa.

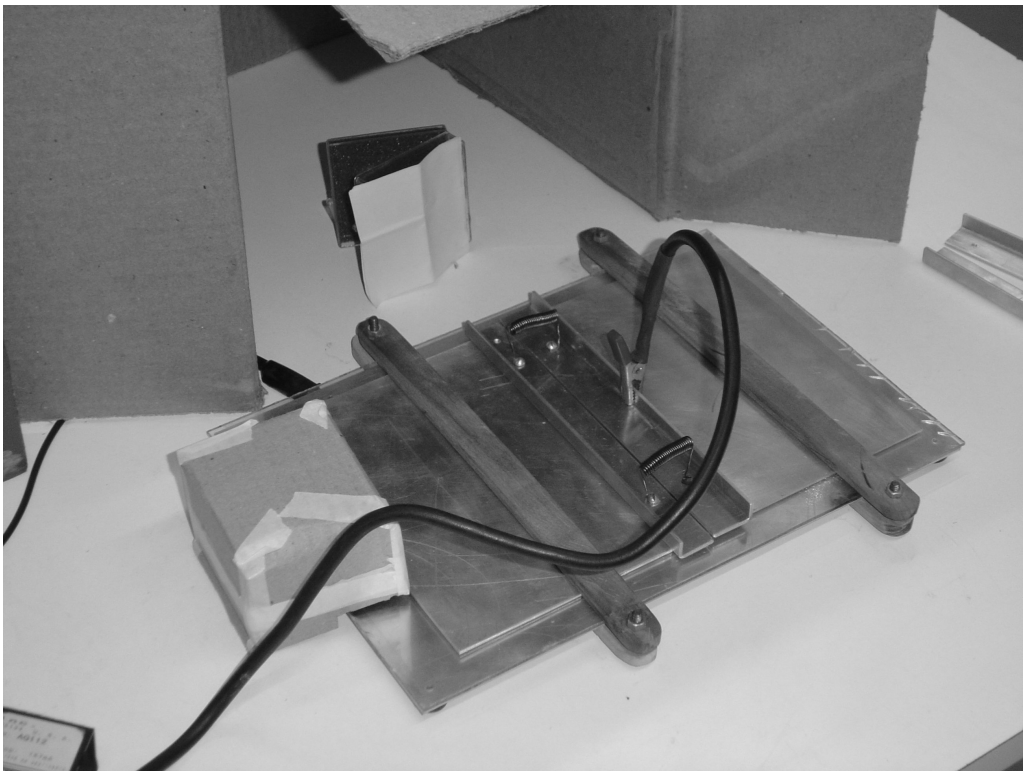

Figura 2: a montagem pronta

Figura 3 : montagem funcionando, com faiscador coberto

Operação

O princípio de operação do laser é o seguinte: a fonte de alta tensão carrega a placa esquerda superior que, através dos indutores, carrega a placa direita. Esta se descarrega pelo faiscador mas, durante essa descarga, a placa esquerda voltou a se carregar, sendo que sua descarga foi atrasada pelos indutores.

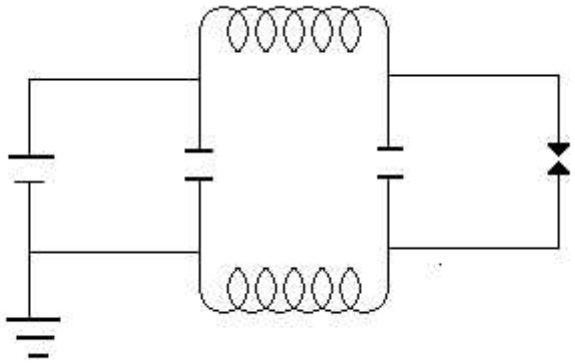

Figura 4: circuito relativo à montagem.

Dessa forma, surge uma diferença de potencial entre as paredes do trilho, que funciona como um capacitor, gerando um campo elétrico que ioniza a atmosfera no estreito intervalo de 1 mm. Essa ionização nada mais é que um plasma, suficiente para gerar um feixe coerente com comprimento de onda na região ultra-violeta.

Trata-se de um feixe pulsado, cuja freqüência é dada por $\frac{1}{\sqrt{LC}}$, sendo que a indutância é da ordem de 10^{-6} H e a capacitância no trilho é da ordem de 10^{-10} F. Para detectar esse feixe, basta colocar uma folha de papel branco na frente do aparato: quando o feixe for emitido, será possível observar um ponto luminoso no papel, pois a celulose possui a propriedade de luminescer quando exposta à luz ultra-violeta.

Figura 5: laser emitido. Nota-se um ponto luminoso no papel.

Problemas e Modificações

Ao longo da execução do projeto, nos deparamos com alguns problemas, que serão relatados aqui no intuito de facilitar o trabalho de algum aluno que no futuro esteja disposto a repetir nossa montagem.

Uma vez montada a cavidade, o primeiro problema que surgiu foi o aparecimento de arcos voltaicos indesejados. Só devem existir faíscas elétricas no dispositivo faiscador; todas as demais devem ser eliminadas ou, pelo menos, reduzidas. Para isso, é necessário certificar-se que o material isolante apresenta as dimensões necessárias (pelo menos a mesma área da placa inferior, com 3 mm de espessura) e não possui falhas ou rachaduras.

Arcos no interior da fenda de 1 mm também devem ser eliminados ou bastante reduzidos: com o uso de uma lixa pode-se remover as minúsculas pontas que servem como atratoras de faíscas nas tiras em L. Se possível, as beiradas devem ficar levemente arredondadas. O ideal é que na fenda haja apenas um plasma violeta brilhante, pontilhado por poucas faíscas uniformemente distribuídas.

Um fator que pode gerar muitos arcos é o ar muito úmido:preferencialmente, o experimento deve ser executado em um ambiente com atmosfera seca.

Outro problema ocorrido foi o excesso de corrente elétrica. A primeira fonte de tensão era um *flyback* de monitor que nos fornecia 25 mil volts e não suportava correntes muito elevadas: isso foi corrigido quando passamos a utilizar como fontes bobinas que fornecem apenas 10kV e suportam correntes de até 3 A. Tal bobina nada mais é que o faiscador do experimento do Trilho de Ar em F 129 (Física Experimental I).

O principal problema, no entanto, refere-se à própria emissão do laser: essa emissão não ocorrerá a menos que as placas que formam o trilho estejam perfeitamente paralelas. Leves desníveis fazem com que haja um grande acúmulo de faíscas de um dos lados do trilho; isso significa que nesse lado as paredes do trilho estão mais próximas que no outro.

Pode-se considerar que existe um nível suficiente de paralelismo quando as faíscas se distribuem uniformemente ao longo de todo o trilho. Nessa situação, é possível observar uma leve formação de plasma no fundo do trilho, prenúncio da emissão de laser.

Resolvidos esses problemas, é só colocar uma folha de papel comum (nós utilizamos um *post-it* amarelo, mas papel branco serve igualmente bem) a uma distância de 10 cm do trilho e observar o surgimento de um ponto brilhante, indicativo da presença do feixe. Esse ponto, no entanto, não surge sempre. É necessário faiscar várias vezes para observar o fenômeno.

Precauções

O experimento envolve o uso de alta tensão. Os procedimentos de segurança devem ser rigorosamente seguidos.

- A cavidade é basicamente um capacitor. Ou seja, mesmo desligada pode ainda estar carregada. NÃO DEVE SER TOCADA ANTES DE SER ATERRADA.

- Para aterrar a cavidade, é necessário fazer contato entre as placas em L, entre as pontas do faiscador e entre a placa inferior e a superior esquerda (onde está o pólo positivo da fonte). SEM ESSES PASSOS, NÃO HÁ GARANTIA DE QUE A FONTE ESTÁ ATERRADA.
- O procedimento de aterragem deve ser repetido até que não seja mais possível perceber faíscas ou ruídos na cavidade. Se após duas repetições ainda forem perceptíveis faíscas e ruídos, a fonte deve ser retirada da tomada, a cavidade deve ser definitivamente aterrada e o experimento interrompido até que se descubra o motivo das descargas.
- • Caso não ocorra nenhuma faísca com o experimento ligado, nem mesmo no faiscador, a fonte deve ser imediatamente desligada e a cavidade aterrada. Depois, devem ser procurados possíveis curto-circuitos na montagem.
- • Os arcos voltaicos descarregados na atmosfera ocasionam o surgimento de ozônio (O_3); se o cheiro se tornar muito forte, o experimento deve ser interrompido até o restabelecimento do ambiente.
- • Incêndios causados pelo experimento são de TIPO C (materiais elétricos), devendo ser combatidos por EXTINTORES DE GÁS CARBÔNICO OU PÓ QUÍMICO, NUNCA POR EXTINTORES DE ESPUMA OU ÁGUA. (espuma e água são condutores).
- Em caso de choque elétrico, por menor que pareça, a vítima deve ser encaminhada para um hospital, ou no mínimo ser mantida sob observação.
- • Em caso de suspeita de intoxicação por ozônio, a vítima deve ser mantida sob observação.

Conclusão

Ao final do projeto, fomos capazes de trabalhar com materiais de alta tensão, bem como desenvolvermos um sistema de laser de baixo custo e de exigência desafiante, que pode agradar aos alunos universitários dos primeiros anos. Aplicação direta de princípios

eletrônicos, esse projeto não apresenta grandes dificuldades teóricas e proporciona um grande contato com a Física Experimental, um grande atrativo tanto para aqueles que se identificam com a área quanto para aqueles que, mesmo se considerando teóricos, se interessam pelos problemas inesperados de uma situação prática.

Agradecemos ao Engenheiro Pedro Raggio (LEI), pelo apoio e paciência na elaboração dos projetos mecânicos e aquisição de materiais; ao Ari, pelas dicas e explicações de quem já tentou antes; ao técnico Jorge, da Oficina Central, por ter feito toda a parte de corte e dobra dos metais durante a greve; ao pessoal da Oficina Eletrônica do LEI, pelo apoio com as fontes de tensão; ao Professor Munemasa Machida, pelas considerações a respeito o processo de surgimento de plasma e a David Chinellato, pelas fotos tiradas.

Referências

spt06.chez.tiscali.fr/00/air.htm

www.montagar.com/~patj/n2lmnu.htm

www.repairfaq.org/sam/lasercn2.htm

www.technology.niagarac.on.ca/people/mcsele/lasers/

www.repairfaq.org/sam/lasersam.htm