

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE FÍSICA GLEB WATAGHIN

Projeto de Instrumentação I (F 530)

Relatório Final

“Construção e testes de um dispositivo versátil para permitir o alinhamento rápido do feixe de raios-X em experiências com monocristais”



Aluna: Fernanda Cristina Rufino, RA: 122289

(f122289 (arroba) dac.unicamp.br)

Professor Orientador: Lisandro Pavie Cardoso

(cardoso (arroba) ifi.unicamp.br)

Professor responsável: Jose Joaquin Lunazzi

Junho/2013

Resumo

Nesse trabalho desenvolvemos um dispositivo mecânico, versátil, para permitir o alinhamento do feixe de raios-X em experiências com monocristais, e que utiliza a luz visível de um laser de Estado Sólido. O dispositivo foi acoplado ao gerador microfoco (foco efetivo de $50\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$) modelo Microflex, e é importante realçar que seu alinhamento não necessita ser preciso, pois o seu uso será principalmente para o pré-alinhamento do feixe de raios-X, ou seja, realizar o ajuste do feixe para uma incidência mais próxima possível do centro do cristal analisado, e também, do detector. Isto permitirá também otimizar o tempo de alinhamento do equipamento e minimizar possíveis exposições do operador aos raios-X, melhorando as condições de segurança do trabalho no laboratório. Todo o projeto foi desenvolvido no Laboratório de Preparação e Caracterização de Materiais (LPCM), do Departamento de Física Aplicada (DFA), IFGW, UNICAMP.

Introdução

Nas pesquisas realizadas no LPCM várias técnicas de difração de raios-X e equipamentos são normalmente utilizados, tais como: sistema de duplo cristal para o estudo de camadas semicondutoras epitaxiais, câmaras topográficas de raios-X por reflexão (Berg-Barrett) ou transmissão (Lang) visando obter imagens de defeitos cristalinos, difração múltipla de raios-X para o estudo de propriedades estruturais de camadas epitaxiais semicondutoras, implantação iônica em semicondutores, além de mapeamento da reflexão secundária Bragg-Superfície, que produz informações não obtidas por técnicas convencionais sobre a perfeição cristalina no plano da superfície ou em profundidade de estruturas epitaxiais semicondutoras ou mesmo, em monocristais implantados com íons. Todas essas técnicas já foram realizadas na geometria que utiliza o gerador Microflex, que é um gerador de um micro feixe de raios-X divergentes (5°), fabricado pela Rigaku Denki Co, que geraram contribuições encontradas na literatura [1 - 5], e, que para todos os trabalhos é sempre necessário um alinhamento preciso tanto do feixe de raios-X incidente nas amostras quanto da própria amostra, obtido pelo operador, que deve obedecer às normas de segurança do trabalho para o uso de radiação ionizante.

Objetivo do projeto

Este projeto tem como objetivo construir um dispositivo mecânico de alinhamento do feixe de raios-X incidente, utilizando a luz visível de um laser de Estado Sólido, ou mesmo, um apontador laser comercial, assim, melhorando as condições de segurança do trabalho, pois minimizará a exposição do operador aos raios-X, devido ao menor tempo de alinhamento. Além disso, trata-se de um dispositivo simples e de grande versatilidade, pois, pode ser utilizado em várias das geometrias das experiências normais de um laboratório de raios-X.

Trabalho Realizado

O dispositivo mecânico foi construído para permitir o acoplamento de um laser de luz verde comprado no comércio local, mostrado na figura 1 ainda dentro do seu estojo. Peças de alumínio foram utilizadas para a execução do dispositivo, e aparecem na figura 2, separadamente, para melhor visualização.



Figura 1. Laser de luz verde dentro do seu estojo.



Figura 2. Peças de alumínio do dispositivo para alinhamento do feixe de raios-X incidentes mostradas separadamente, para melhor visualização.

Especificações do Laser

O laser utilizado para a construção do dispositivo é da marca Laser Pointer, com comprimento de onda de (532 ± 10) nm, e sua potência foi medida no laboratório sendo de (15 ± 3) mW. A energia necessária para a sua operação vem de 2 pilhas modelo AAA.

Montagem do dispositivo

O dispositivo foi montado de maneira a que o laser ficasse numa direção coaxial com a do feixe de raios-X, como mostra o esquema na figura 3, no qual, a linha vermelha representa o feixe de raios-X e a linha verde, o feixe do laser. O dispositivo foi adaptado ao longo (1,21 m) tubo colimador como mostra a figura 4. Deve-se observar que a adaptação foi feita de maneira a permitir, manter o vácuo primário dentro do tubo colimador e a substituição da fenda no final do tubo, sem causar problema para o laser e para o alinhamento do feixe. Além disso, esta fenda é também importante durante a realização das experiências, pois com ela, modifica-se a divergência do feixe incidente na amostra.

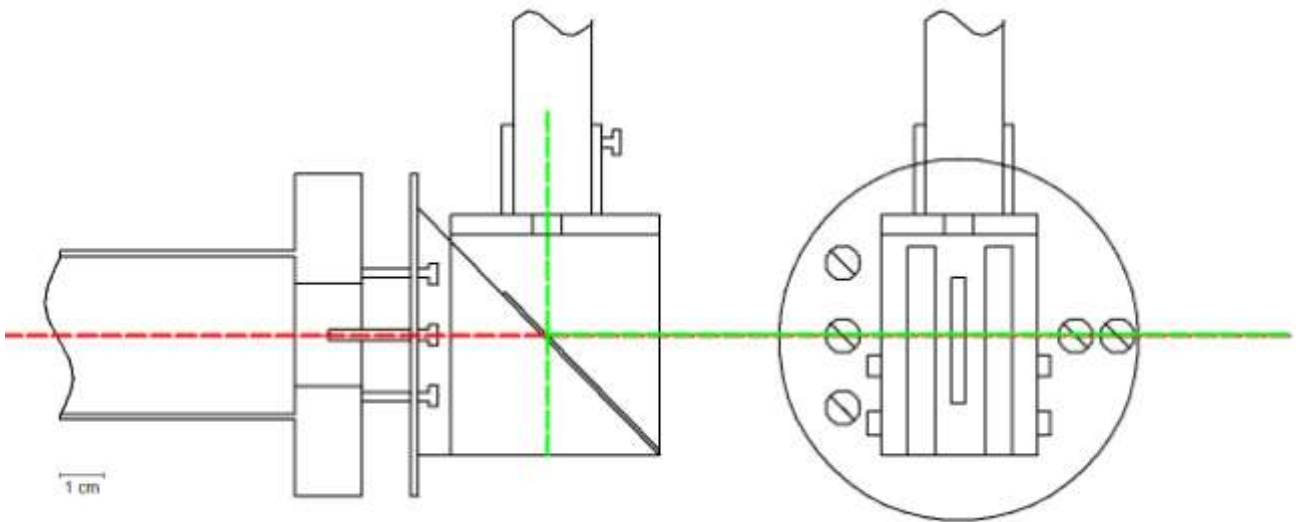


Figura 3. Esquema do posicionamento do dispositivo no colimador do feixe incidente de raios-X.



Figura 4. Adaptação do dispositivo mecânico ao colimador de raios-X.

A figura 5.a) exibe uma vista frontal do dispositivo, já montado no colimador. No interior do dispositivo há um suporte com uma inclinação de 45° com a horizontal, como mostra em detalhe a figura 5.b), sobre o qual se encontra uma película de polietileno, que por ser transparente, produz uma difícil identificação nesta figura. Na figura 5.c) observa-se outra visão do dispositivo, onde se observa, embora apenas parcialmente, que o laser já está colocado na vertical.

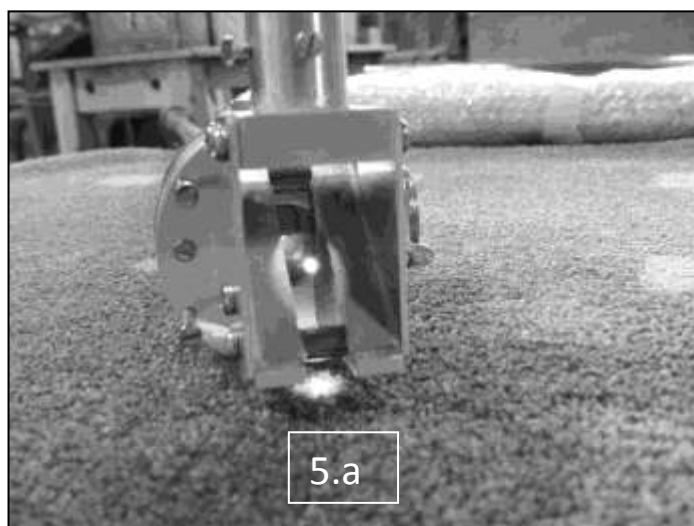


Figura 5. Detalhes do dispositivo desenvolvido e montado no colimador, com sua visão frontal (5.a). Uma vista mais detalhada desse suporte é também disponibilizada (5.b) em que aparece o suporte a 45° com a horizontal com a película de polietileno, presente, embora de difícil visibilidade. Também é mostrada uma perspectiva da montagem do dispositivo com o laser na vertical (5.c).

O receptáculo para suporte do laser é exibido de forma a que o seu feixe de luz verde esteja dirigido para a película como mostra a figura 6.a), e depois, já com o laser em posição de uso, na figura 6.b). Na figura 6.c), o suporte é apresentado em maiores detalhes numa visão ampliada.

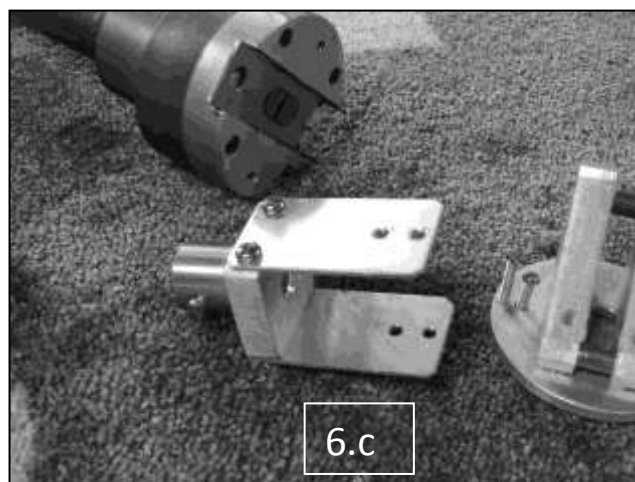


Figura 6. O laser adaptado no seu suporte (6.a), que também aparece em visão ampliada com o laser já fixado (6.b), e o suporte isolado (6.c) para uma melhor visualização.

É necessário ter a possibilidade de realizar o alinhamento do laser em relação à película para que se possa ajustar exatamente o feixe no centro do goniostato de círculo completo, que é a peça onde estará o cristal a ser analisado pela técnica de difração de raios-X. Portanto, foi pensada uma peça com ajuste feito por parafusos (método dos três pontos), que estão fixos no suporte do laser, como mostra claramente a figura 7. O alinhamento do laser com os raios-X é feito de maneira semelhante ao laser em relação à película, por três pontos que estão localizados na face lateral dispositivo, como mostra a figura 8. Além disso, pode-se observar que esta peça, que será fixada ao tubo colimador, apresenta um orifício no seu centro, de forma a permitir a passagem do feixe de raios-X, e como ela está separada do colimador pelos três parafusos, pode-se também, trocar a fenda que controla a divergência do feixe de raios-X incidentes na amostra, sem qualquer problema, mesmo durante as operações de alinhamento do cristal.



Figura 7. Detalhes da peça de ajuste do dispositivo ao colimador de raios-X. O orifício na parte central permite a passagem do feixe de raios-X.

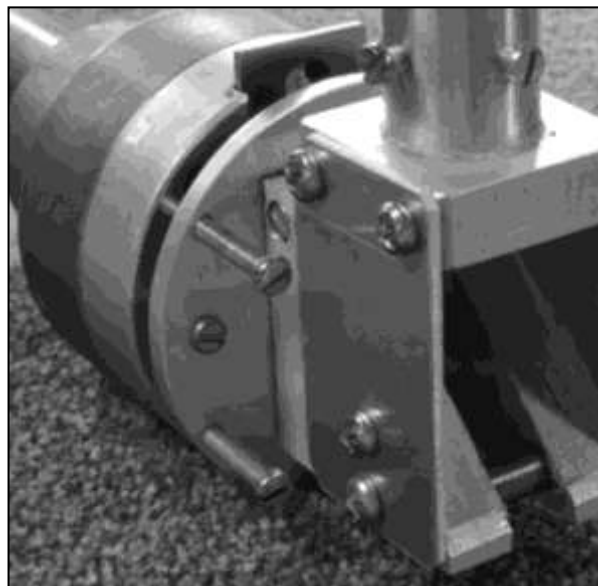


Figura 8. Dispositivo montado no colimador mostrando em detalhe os parafusos para ajuste nas direções dos feixes do laser e de raios-X, assim como, da fenda que controla a divergência do feixe de raios-X incidente na amostra.

Finalmente, vamos mostrar na figura 9 abaixo, o resultado obtido para a construção e a correspondente montagem do dispositivo que foi projetado neste trabalho.



Figura 9: Dispositivo mecânico para o pré-alinhamento do feixe de raios-X para experiências com essa radiação.

Torna-se importante mencionar que testamos a atenuação da película com o detector disponível no difratômetro do Microflex, com o fundo de escala em 100%. A atenuação do filme encontrada foi em torno de $(12,0 \pm 0,5)\%$.

Mudanças realizadas no projeto inicial

No projeto inicial o acoplamento do dispositivo seria na geometria utilizada normalmente para medidas de curvas de rocking com o Microflex, mas, devido a complicações durante o desenvolvimento, e pelo fato que verificamos que o dispositivo seria de maior importância para a difração múltipla, foi decidido que seu acoplamento dar-se-ia na geometria que é utilizada para experiências de difração múltipla com a montagem do Microflex.

Resultados

Com o dispositivo acoplado no colimador realizamos os primeiros testes, e os resultados foram muito satisfatórios. Pela figura 10 pode-se observar o caminho do feixe de luz verde do laser, que será o mesmo do feixe de raios-X, que saindo do dispositivo está incidindo no cristal, GaAs (001) colocado no centro do goniostato de círculo completo, sobre uma cabeça goniométrica, onde se alinha a amostra completamente, para manter a normal aos planos escolhidos (primários) fixa quando há

rotação em torno do goniostato. Daí, ele é refletido na amostra e segue para a fenda e para o detector, ambos mostrado pelas flechas brancas, para indicar a posição do feixe do laser.



Figura 10: Resultado da montagem do dispositivo no colimador já na geometria para as experiências de difração de raios-X com monocristais. Vê-se a amostra fixa no goniostato de círculo completo e a indicação do caminho do feixe de laser passando pela fenda e incidindo no detector.

Abaixo, observamos em detalhes a trajetória do laser através da figura 11, que nos mostra, claramente, a incidência do feixe no cristal e na fenda. Na figura 12 é possível ver o laser incidindo e sendo refletido na película inclinada e saindo em direção ao cristal. É importante ressaltar que a escolha da película foi de grande importância, pois mesmo com as luzes da sala acesas, como é possível ver nas imagens, o local no qual o feixe incide é bem visível. Isso ocorre devido à atenuação da película ter um valor baixo.

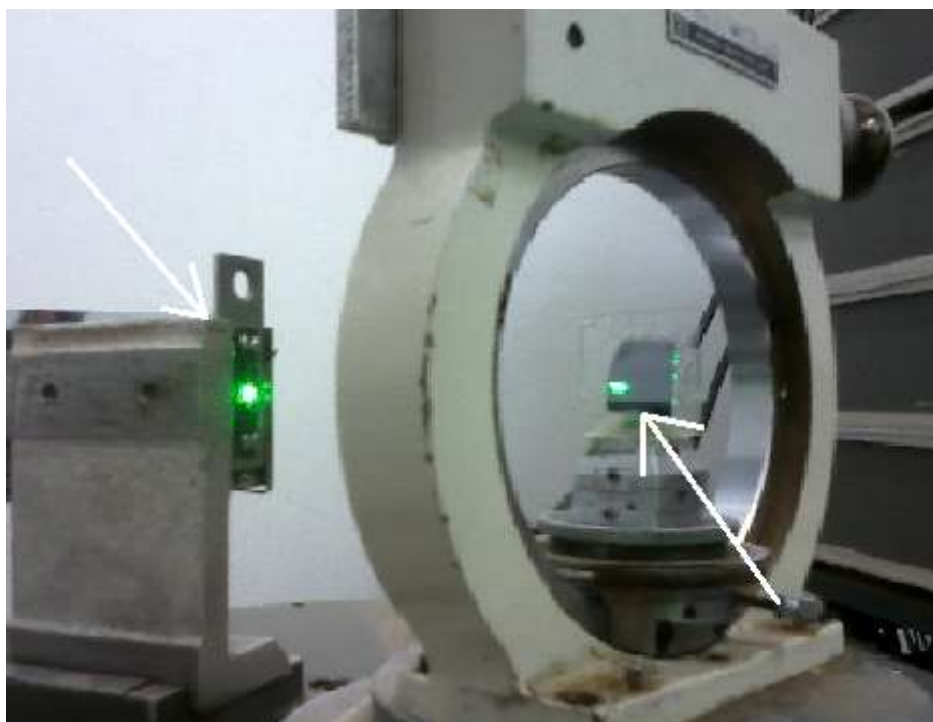


Figura 11: Caminho do feixe do laser incidindo no cristal sobre a cabeça goniométrica e sendo refletido na fenda à esquerda.

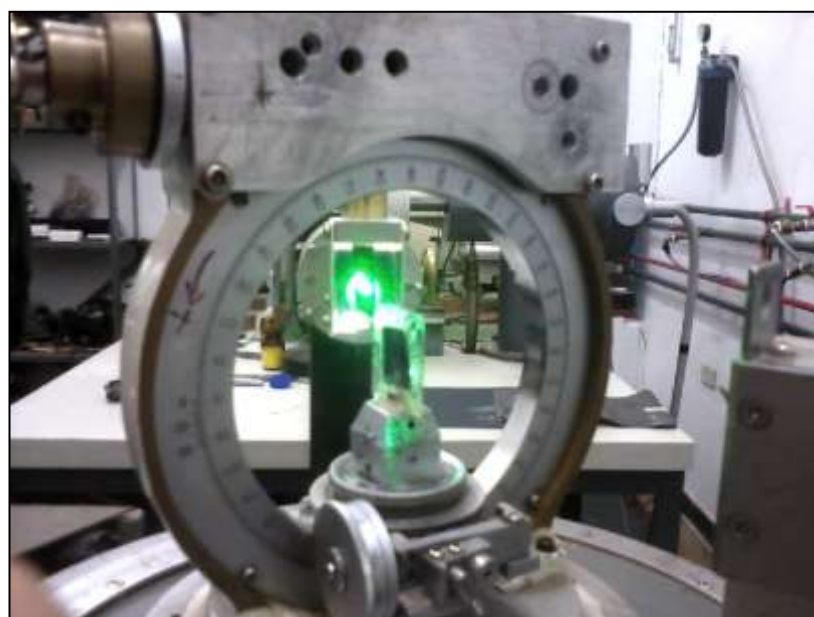


Figura 12: Feixe do laser incidindo a película dentro do dispositivo

No alinhamento do difratômetro baseado no gerador de raios-X (Microflex), o feixe de raios-X e do laser estão fixos, sendo possível ajustar apenas os ângulos θ e 2θ goniômetro, para a posições da amostra e do detector, respectivamente, em relação a referência do $\theta = 0^\circ$. O feixe do laser será usado, então, para o pré-alinhamento do goniômetro e para verificar o caminho correto a ser seguido pelo feixe de raios-X até o detector. O alinhamento fino da amostra será feito normalmente com o feixe de raios-X, utilizando os dois graus de liberdade disponíveis no goniostato de círculo completo, que são: rotação da amostra em torno da normal à sua superfície (ϕ) e inclinação da amostra no goniostato (χ). Além desses ajustes, operador ainda pode contar com as duas translações e os dois

arcos nas direções perpendiculares fornecidas pela cabeça goniométrica, sobre a qual a amostra é colocada, como aparece claramente nas figuras 11 e 12.

Conclusão

Nesse equipamento, o completo alinhamento da amostra a ser analisada é fundamental. Isso tem por objetivo fazer com que o feixe incidente de raios-X incida na amostra com a maior intensidade possível, de forma a permitir as experiências com boa resolução e discriminação do feixe difratado. Com a instalação do dispositivo ao colimador o alinhamento será executado com maior precisão e em um tempo menor. Isso é possível, pois o foco do feixe de raios-X é coaxial ao feixe do laser, e pelo laser sabemos onde o feixe incidente está atingindo a amostra, e assim, ajustá-la adequadamente. Além disso, a utilização do Microflex passa a ser mais segura, já que como agora é possível visualizar o local onde o feixe está atingindo conseguimos prevenir possíveis exposições aos raios-X.

A construção desse dispositivo também foi importante devido ao seu baixo custo de fabricação, sendo o laser o dispositivo de maior preço, mas como foi observado, seu resultado foi muito satisfatório, já que a visualização de seu feixe após atingir a película ainda estava bem visível ao olho humano. E como a película teve pouca atenuação, o laser pode ser trocado por apontadores mais simples com menos potência, assim com um custo ainda menor.

Opinião do orientador

Meu orientador concorda com o que expressei neste relatório e deu a seguinte opinião:

O trabalho foi sendo realizado pela Fernanda com a grande ajuda do Rogério Marcon, nosso técnico, e operador experiente do Microflex, da melhor forma possível e com dedicação, como ela sempre atua nas atividades experimentais do LPCM. O resultado obtido representa uma boa contribuição para o nosso laboratório, e como explicado no relatório, o dispositivo projetado, construído e testado, poderá ser colocado em outras geometrias do LPCM para facilitar o alinhamento dessas geometrias, e diminuindo o tempo de operação com os raios-X.

Comentário final do orientador sobre o projeto:

Trata-se de um projeto simples, mas que representa uma boa contribuição para o LPCM, e que será de grande utilidade para o nosso laboratório, num futuro muito próximo, pois estamos esperando a chegada de um novo goniômetro a ser doado pelo LNLS, e que se encontrava na estação XRD1, que sempre utilizamos nas nossas experiências. Portanto, o dispositivo construído já deverá ser utilizado na nova geometria a ser montada no Microflex mesmo. Ele foi fruto da observação do trabalho cotidiano com radiação ionizante, e da possibilidade de diminuir o tempo de uso dessa radiação, através do uso de um dispositivo simples para realizar o pré-alinhamento da geometria utilizada.

Fiquei muito contente com o trabalho dedicado da Fernanda junto com o Marcon no desenvolvimento deste projeto, pois, eles discutiram o projeto, executaram a construção do dispositivo, e finalmente, testaram numa geometria simples, com resultados muito positivos. Como sempre, este curso do prof. Lunazzi oferece muito boas oportunidades para os estudantes participarem efetivamente de um projeto, que não só consolida a formação deles, como permite a

interação com os membros de um laboratório de pesquisa nas atividades cotidianas, que reverte em aprendizado do estudante e, contribuição para os laboratórios envolvidos.

Referências

- [1] "Simulation of Hybrid Reflections in the X-Ray Multiple Diffraction Experiments", S.L. Morelhão & L.P. Cardoso, J. Crystal Growth (1991) 110, 543-552
- [2] "Structural Properties of Heteroepitaxial Systems Using Hybrid Multiple Diffraction in Renninger Scans", S.L. Morelhão & L.P. Cardoso, J. Appl. Phys. (1993), 73(9), 4218-4226
- [3] "Analysis of Interfacial Misfit Dislocation by X-Ray Multiple Diffraction", S.L. Morelhão & L.P. Cardoso, Solid State Comm. (1993) 88(6), 465-469
- [4] "X-Ray Multiple Diffraction Phenomenon in the Evaluation of Semiconductor Crystalline Perfection", S.L. Morelhão & L.P. Cardoso, J. Appl. Cryst. (1996) 29, 446-456
- [5] "Sensitivity of Bragg-Surface Diffraction to Analyze Ion-Implanted Semiconductors", M.A. Hayashi, S.L. Morelhão, L.H. Avanci, L.P. Cardoso, J.M. Sasaki, L.C. Kretly and S.L. Chang, Appl. Phys. Lett. (1997) 71(18), 2614-2616