



Universidade de São Paulo

Projeto Acadêmico

17 de Abril de 2019

1. Identificação

Docente: 51067-Masao Matsuoka

Unidade: Instituto de Física

Departamento: Física Nuclear

Função: Prof
Associado

Jornada: RDIDP

Mérito: MS-5

Projeto interdisciplinar: Não

2. Objetivos e metas articulados com o Projeto Acadêmico do Depto e/ou Unidade e com o Perfil Docente

2.1 Objetivos

Ensino:

Contribuir para a formação de alunos de graduação de diversos cursos e alunos de pós-graduação.

Pesquisa:

Realizar pesquisas na área "Física Aplicada com Partículas e Radiação", no intuito de formação e caracterização de filmes finos no Grupo de Cristais Iônicos, Filmes Finos e Datação, pertencente ao DFN.

Extensão:

Divulgar as atividades, áreas de pesquisa e conhecimento técnico desenvolvidos no departamento para estudantes e público em geral.



Universidade de São Paulo

Projeto Acadêmico

17 de Abril de 2019

2.2 Metas

Ensino:

(1) Reformar cursos de graduação experimentais (laboratórios) oferecidos pelo IF para alunos da EP; (2) Ministrando cursos de graduação para alunos do IF; (3) Oferecer uma disciplina, relacionada com atividades do DFN, na pós-graduação; (4) Aumentar o número de alunos de IC, mestres e/ou doutores.

Pesquisa:

Produção de filmes finos semicondutores de: (1) InN e (2) Ga₂O₃, com auxílio de feixes iônicas, e caracterização dos filmes finos assim produzidos, visando suas aplicações optoeletrônicas.

Neste item, a frase “auxílio de feixes iônicos” se refere neste contexto ao método ion beam assisted deposição, IBAD, que emprega simultaneamente duas técnicas: a deposição em vácuo de material, sobre substratos em temperatura ambiente a 500 °C, usando um evaporador por feixe de elétrons; o bombardeamento de íons energéticos oriundos de uma fonte de íons com energia de 70-1200 eV, podendo formar compostos de elementos de material evaporado e de íons. O Grupo de Cristais Iônicos, Filmes Finos e Datação disponibiliza a máquina IBAD, financiada pela FAPESP (Proc.: 1999/00013-06) e montada no Grupo. Uma das vantagens do método IBAD é que, como as duas técnicas empregadas trabalham dentro de uma câmara de vácuo independentemente, pode variar separadamente três parâmetros de deposição: a energia e fluxo de íons, e o fluxo de átomos evaporados, possibilitando a formação de filmes estequiométricos. Um dos parâmetros importantes e fundamentais no processo IBAD é a arrival rate ratio, ARR(I/A), definida pela razão do fluxo de íons incidentes relativa ao fluxo de átomos evaporados e transportados ao substrato.

Extensão:

Oferecer palestras, minicursos ou oficinas em edições anuais do Curso de Verão organizado pelo IF.



Universidade de São Paulo

Projeto Acadêmico

17 de Abril de 2019

2.3 Como este projeto se articula com o do Departamento e/ou Unidade?

Ensino:

O objetivo deste projeto está de acordo com os Objetivos 04 e 05 do DFN. As metas (1), (3) e (4) acima correspondem, respectivamente, à Ação “Estimular um discussão constante para a criação e reformulação de disciplinas ...”, ao Indicador “Efetivo oferecimento das disciplinas de graduação e pós-graduação de competência do DFN”, à Meta “Manter ou ampliar o número de orientações de mestres e doutores nas varias áreas de atuação do DFN”, que estão descritos no projeto do DFN.

Pesquisa:

As frases “Física Aplicada com Partículas e Radiação” e “formação e caracterização de filmes finos” no objetivo deste projeto correspondem, respectivamente, a uma das três linhas de pesquisa descritas no projeto do DFN e ao Objetivo 03 do Grupo de Cristais Iônicos, Filmes Finos e Datação. A meta do projeto está de acordo com a ação do Grupo “Realizar pesquisas em filmes finos produzidos com auxilio de feixes iônicos para aplicações mecânicas, óticas e eletrônicas”.

Extensão:

O objetivo e a meta acima escritos são de acordo com os respectivos do projeto do DFN.

2.4 Como este projeto se articula com o Perfil Docente almejado?

Trabalhar e pesquisar com alunos são importantes e essenciais para aumentar a produção científica (orientações de alunos e publicação de artigos em revistas científicas). Tenho enfrentado dificuldade enorme em atrair novos alunos de graduação e de pós-graduação. Para captar novos alunos, enviei cartazes de propaganda à CPG, também os afixei no IF e dei uma palestra numa edição do Curso de Verão oferecido pelo IF, mas não houve sucesso.

Uma das prováveis razões é que, durante anos, tenho dado aula para alunos da EP nos cursos de graduação experimentais (laboratórios) e assumia



Universidade de São Paulo

Projeto Acadêmico

17 de Abril de 2019

ocasionalmente a coordenação do curso, reduzindo a oportunidade de encontrar e conhecer alunos do IF. Pois, como sou formado em engenharia, prefiro ministrar estes cursos pragmáticos e considero que todos os alunos de engenharia devem conhecer o tratamento de dados experimentais e manuseios de equipamentos básicos.

Para reverter esta situação, pretendo: (i) ministrar cursos de graduação oferecidos para alunos do IF [Meta (2) em Ensino do projeto acima escrita]; (ii) oferecer uma disciplina na pós-graduação [Meta (3) em Ensino]; (iii) divulgar as atividades desenvolvidas por mim em eventos científicos [Meta em Extensão]; (iv) pesquisar semicondutores que atraem muita atenção [Meta em Pesquisa].

3. Planejamento das atividades para cumprir as metas

3.1 Ensino em Graduação

Tenho ministrado, durante alguns anos, duas disciplinas de graduação experimentais: Física Experimental A (primeiro semestre) e B (segundo semestre), para os estudantes da EP. Elaborei dois experimentos: Choque Bidimensional e Circuito RC, nas respectivas disciplinas, levando em conta: (a) a simplificação de aparelhagem para facilitar o transporte de equipamentos didáticos do IFUSP ao laboratório no campus da USP em Santos; (b) a modernização dos guias de estudo (apostila) e de trabalho (relatório), introduzindo a cada experimento os equipamentos mais modernos disponíveis; (c) a percepção clara de leis da natureza físicas nos procedimentos experimentais.

Respeito ao item (a), por exemplo, o experimento Choque Bidimensional no IF usa uma aparelhagem consistindo de: (i) uma mesa de vidro (60 x 60 cm²) com uma tampa metálica paralela à mesa, que fica em cima da mesa; (ii) dois discos metálicos, um lado de cada disco tendo uma coluna central, que podem se mover entre a mesa e a tampa com auxílio de ar comprimido



Universidade de São Paulo

Projeto Acadêmico

17 de Abril de 2019

para diminuir o atrito entre a mesa e o corpo; (iii) uma alta tensão pulsada de 10 kV aplicada entre a coluna e a tampa, para registrar a trajetória de cada corpo em um papel encerado fixado à tampa.

Substitui a aparelhagem acima citada por uma nova, composta de: (I) uma rampa de 20 cm de comprimento; (II) duas esferas de ferro de 2 cm de cada. Uma esfera desce pela rampa e se choca com outra na extremidade da rampa; (III) um papel de carbono para registrar o local de queda de cada esfera. Essa nova aparelhagem eliminou a mesa de vidro com tampa pesadas, uso de compressor de ar e de fonte de alta tensão pulsada que pode dar choques elétricos ao operador, e o papel encerado que falta no mercado.

Pretendo aperfeiçoar os dois experimentos acima citados e/ou elaborar novos experimentos relacionados com as disciplinas, e depois migrar para cursos destinados a alunos do IF.

3.2 Ensino em Pós-Graduação

Pretendo ministrar aula sobre minha área de pesquisa, baseada em um curso de pós-graduação, titulado "Ion Beam Assisted Deposition and Applications", dado por mim em inglês durante quatro dias, na "Kumamoto University", Kumamoto, Japão, em 2010.

O conteúdo do curso foi o seguinte:

1. Vacuum Science and Technology
2. Deposition Methods
 - 2.1. Physical vapor deposition
 - 2.2. Chemical vapor deposition
 - 2.3. Deposition processes
3. Ion Beam Assisted Deposition (IBAD) Systems
 - 3.1. Motivation for IBAD processing
 - 3.2. IBAD system
 - 3.2.1. Vapor sources
 - 3.2.2. Quartz deposition rate monitor
 - 3.2.3. Ion sources
 - 3.3. Deposition parameters



Universidade de São Paulo

Projeto Acadêmico

17 de Abril de 2019

- 3.3.1. Arrival rate ratio
- 3.3.2. Calculation of arrival rate ratio
- 4. Ion-Surface Interactions in Solids
 - 4.1 General features, energy, units, and Bohr model
 - 4.2 Dynamics of elastic collisions
 - 4.2.1 Kinematic of elastic collisions
 - (a) Laboratory coordinate system
 - (b) Center of mass coordinate system
 - (c) Relative coordinate system
 - 4.2.2 Motion under a central force
 - 4.2.3 Rutherford backscattering
 - 4.3 Cross section
 - 4.3.1. Angular differential cross-section
 - 4.3.2. Energy-transfer cross-section
 - 4.4 Ion stopping
 - 4.4.1. Electronic stopping
 - 4.4.2. Nuclear stopping
 - 4.5 Interatomic potentials
 - 4.6 Ion-solid simulations
- 5. Characterizations of thin films and surfaces
 - 5.1 Film thickness and hardness
 - 5.1.1. Profilometry
 - 5.1.2. Hardness
 - 5.2 Structural characterization
 - 5.2.1. X-ray diffraction (XRD)
 - 5.2.2. Scanning Electron Microscopy (SEM)
 - 5.3 Chemical characterization
 - 5.3.1. Auger Electron spectroscopy (AES)
 - 5.3.2. X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)
 - 5.3.3. Elastic Recoil Detection Analysis (ERDA)
 - 5.4. Examples of analysis results
 - 5.4.1. CNx
 - 5.4.2. Ni metallization
 - 5.4.3. ZrNx



Universidade de São Paulo

Projeto Acadêmico

17 de Abril de 2019

5.4.4. ZrOx

5.4.5. TiNx

5.4.6. SiNxOy

3.3 Pesquisa

(1) Filmes finos de InN

Nitretos do grupo III (AlN, GaN e InN) são semicondutores com o bandgap direto, podendo ser emissores de luz com alta eficiência. Sua fase cristalina estável é wurtzita (Wz) hexagonal. A energia de bandgap varia de 0,7 eV para InN hexagonal (h-InN) a 6,2 eV para h-AlN, através de 3,4 eV para h-GaN, e dois nitretos podem formar ligas. Cada liga ternária possui propriedades intermediárias entre os dois nitretos e a energia de bandgap, conforme a composição química, pode cobrir a região espectral de UV a IR. Como as propriedades de ligas dependem fortemente de InN, InN é um material chave.

(1.1) Fases politípicas

Existe outra estrutura metastável, zinc blende (ZB) cúbica. A diferença entre as fases Wz e ZB está na seqüência de empilhamento da camada de N e da camada de In ao longo eixo-c da célula unitária hexagonal: o hexagonal close-packing, hcp, e o cubic close-packing, ccp, respectivamente.

Descobrimos em medidas de difração de raios-X (DRX) um indício experimental de coexistência das fases Wz e ZB. O objetivo é correlacionar a formação das duas fases com os parâmetros de deposição: ARR(N/In), definida como a razão do fluxo de íons de N relativo aquele de átomos de In evaporados, a energia de íons e temperatura de substrato. O procedimento tem as seguintes etapas: produzir filmes finos de InN com diferentes parâmetros de deposição; medir os filmes produzidos com DRX e analisar os resultados obtidos.

(1.2) Controle de condutividade elétrica e produção de junção p-n

Como InN tem a afinidade eletrônica alta, seu bandgap estreito e a presença de defeitos doadores, há o acúmulo extremo de elétrons na superfície e o filme de InN não-dopado é sempre do tipo-n. As propriedades elétricas de InN do tipo-p (InN dopado com Mg, InN:Mg) serão ocultadas pelo transporte



Universidade de São Paulo

Projeto Acadêmico

17 de Abril de 2019

de elétrons acumulados na superfície.

Não há substrato adequado para o crescimento de InN devido à inadequação entre as constantes de rede de InN e do substrato. A safira, mais usada agora como o material de substrato, será adotada para a formação de InN, apesar de uma inadequação da constante de rede de 26% com h-InN. Serão produzidos filmes finos de h-InN mais puros possíveis, introduzindo uma camada intermediária entre o substrato e o filme, para minimizar o efeito da inadequação; em seguida, a condutividade elétrica e a concentração de elétrons residuais serão medidas. Uma vez que seja formado h-InN puro, serão produzidos filmes finos de InN:Mg e a junção p-n de InN e em seguida, serão determinados o efeito Hall e a condutividade elétrica.

(2) Filmes finos de Ga₂O₃

Ga₂O₃ pode ser usado para a eletrônica de potência, fotodetectores de UV, células solares, filmes semicondutores transparentes, devido ao campo de ruptura maior que Si e GaN e ao bandgap direto de 4,7 eV. Há cinco polimorfos conhecidos de Ga₂O₃ e, dentre eles, a estrutura monoclinica (beta) é estável nas condições normais e o mais estudado.

Beta-Ga₂O₃ não dopado apresenta a condutividade elétrica do tipo-n devida à presença de dopantes doadores não intencionais como Si e H. Há relato de que nanowires de Ga₂O₃:N indicam a condutividade elétrica do tipo-p. Serão formados e analisados filmes finos de beta-Ga₂O₃ e beta-Ga₂O₃:N. O procedimento experimental é o seguinte: (i) evaporar um material Ga₂O₃ e depositar o filme com irradiação de íons de Ar, variando os parâmetros de deposição; (ii) analisar os filmes finos assim formados em termos de DRX e condutividade elétrica; (3) preparar filmes finos de Ga₂O₃:N com irradiação de íons de Ar + N e analisar os filmes finos como descrito acima.

3.4 Cultura e Extensão

Propor uma palestra, minicurso ou oficina em uma edição do Curso de Verão à comissão organizadora.



Universidade de São Paulo

Projeto Acadêmico

17 de Abril de 2019

3.5 Nacionalização e Internacionalização

Nada a declarar.

3.6 Orientação

Pretendo orientar dois alunos de graduação e dois alunos de pós-graduação no projeto de pesquisa "Produção de filmes finos semicondutores". Os alunos podem aprender a tecnologia de vácuo (como operar a máquina IBAD), interação entre íons e sólido (colisão binária elástica, stopping power, ion range, danos de radiação, simulação computacional de íons e sólido, mecanismo IBAD) e técnicas de medidas elétricas e de DRX.

3.7 Gestão Universitária

Nada a declarar.

3.8 Outros

Nada a declarar.

3.9 Atividades Priorizadas [se pertinente]

Nada a declarar.