4 Procedimento Experimental e Caracterização

4.1 Preparações dos Filmes Finos Multicamadas SC/FM

Os filmes finos de multicamadas SC/FM foram crescidos no sistema de Pulverização Catódica [Fullerton92, Kingetsu94] do Laboratório de Filmes Finos do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF). Todas as camadas de Nb, Co e Ag foram depositadas utilizando-se fontes DC. As técnicas utilizadas para a caracterização das amostras foram: Refletividade de Raios-X, Magnetização (PPMS), Microscopia de Força Atômica (AMF), Medidas de Transporte Elétrico em Baixas Temperaturas e Microscopia Eletrônica de Transmissão (TEM).

4.1.1 Teoria Básica do Magnetron Sputtering

As multicamadas SC/FM estudadas nesta tese foram crescidas pela técnica da pulverização catódica (Sputtering). O processo de pulverização consiste em ionizar um gás inerte entre dois eletrodos, um dos quais é formado por um alvo do material no qual se quer pulverizar e o outro onde é acondicionado o substrato onde irá crescer os filmes. Entre estes eletrodos uma diferença de potencial gera um plasma, onde os íons deste gás se aceleram e colidem com os átomos do alvo e pulverizam sua superfície. Os átomos ou aglomerados de átomos arrancados são depositados sobre um substrato na forma de filmes finos. Para alvos de boa condutividade elétrica, o campo elétrico aplicado entre os eletrodos pode ser de corrente contínua (DC) ou radiofrequência (RF), no entanto, para materiais isolantes e de baixa condutividade, o campo elétrico entre os eletrodos deve ser de corrente alternada de RF ou de uma fonte DC pulsada com freqüência da ordem dos MHz. O alvo é ligado à fonte de potencial negativo, e o suporte com o substrato é aterrado ou mantido em potencial flutuante [Stuart83].

A ionização dos átomos do gás inerte no plasma se processa pelas colisões com elétrons. Para aumentar a eficiência desta ionização pode-se confinar os elétrons perto da superfície do alvo mediante a aplicação de um campo magnético. Neste caso, a técnica se denomina Pulverização Catódica por Magnéton (Magnetron Sputtering). O alvo, além de estar ligado à fonte de potencial, agora se encontra instalado sobre uma fonte magnetron, a qual possui um arranjo de imãs permanentes dispostos de modo tal que numa região ao redor da superfície do alvo, um campo magnético toroidal é formado. Isto faz com que os elétrons tenham movimentos helicoidais em volta das linhas de campo magnético, devido à força de Lorentz, aumentando a probabilidade de choque, propiciando a ionização do gás. Desta forma a densidade de ionização é amplificada nesta região permitindo obter altas taxas de deposição [Eckertova86].

A Fig. 4.1 mostra a diversidade de partículas que chegam ao substrato no processo de pulverização.

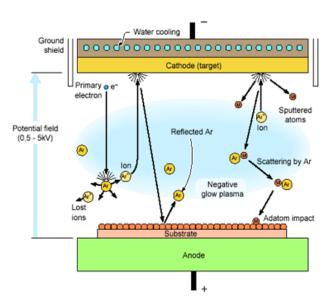


Figura 4.1: Espécies de partículas que atingem o substrato durante a deposição [Eckertova86].

4.1.2 Sistema de Pulverização Catódica

O sistema modular de deposição: ATC-2400 (Fig.4.2), da firma AJA Internacional, constituído por duas câmaras cilíndricas: uma principal de 750 mm de diâmetro, por 350 mm de altura, onde estão instaladas cinco fontes de Magnetron, três com 50 mm de diâmetro e duas com 40 mm de diâmetro. O sistema possui outra câmara de 100 mm de diâmetro chamado antecâmara que está acoplada à câmara principal por uma válvula manual de ultra alto vácuo. A função dela é permitir colocar e retirar os porta-substratos da câmara principal sem quebrar o vácuo. Os alvos dos materiais que desejam depositar

são instalados sobre as Magnetrons, as quais são ligadas às fontes de potencial DC ou RF, dependendo do tipo de material do alvo. Neste sistema, o alvo é colocado em um potencial negativo, um gás inerte (em nosso caso utiliza-se argônio ultra-puro) é inserido na câmara e através de uma fonte DC ou RF, pode-se fazer a ignição de um plasma.



Figura 4.2: Sistema de deposição por Pulverização Catódica (Sputtering) do CBPF.

O sistema possui três fontes DC e duas fontes RF, permitindo colocar até cinco alvos dentro dessa câmara. Um único substrato pode assumir varias posições sobre os canhões de plasma, possibilitando depositar várias camadas de até cinco materiais diferentes. Em uma das posições da porta substrato, encontra-se uma caixa, dentro da qual possui um sistema de resfriamento e aquecimento para variar a temperatura do substrato de 16 até 1000°C. Uma célula de Knudsen se encontra instala entre dois Magnetrons possibilitando o crescimento de filmes através de evaporação térmica de metais enriquecidos com isótopos de interesse.

As duas câmaras têm sistemas de bombeamento independentes, o vácuo final da câmara principal é de ordem de 2.0×10^{-8} Torr que é chamada de pressão de base (P_B); na antecâmara o vácuo pode atingir 2.0×10^{-7} Torr. Introduz-se uma atmosfera de argônio de alta pureza até atingir uma pressão de trabalho (P_T) adequada.

Todos os processos de deposição das multicamadas são controlados por um sistema computacional, onde o tempo de deposição para cada alvo define a espessura da camada desejada, desde que seja conhecida, previamente, a taxa de deposição de cada alvo. Fig. 4.3 mostrando a esquema do sistema de deposição [DEPaula02, Biondo01].

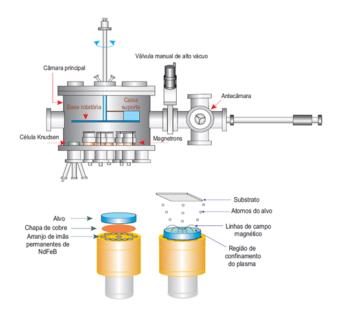


Figura 4.3: Esquema do sistema Sputtering do CBPF, e esquema de um magnetron e do processo de pulverização.

4.1.3 Procedimento Experimental de Produção

Substratos

Todos os filmes finos estudados foram depositados sobre substratos de Si <111> monocristalino, com polimento em única face, espessura de 290 μ m e diâmetro de 10 cm. Os substratos foram cortados manualmente em tamanhos retangulares de 10 mm \times 12 mm. Para a limpeza dos substratos foi utilizada uma rotina desenvolvida no próprio laboratório que consiste de limpeza mecânica com álcool isopropílico, banho em solução com detergente extra da Merck e por fim cavitação em água destilada e deionizada fervente em ultra-som por 30 minutos. Depois da limpeza os substratos são secos com nitrogênio ionizado e prontos para a deposição dos filmes.

Os substratos possuem uma camada de óxido que impede a formação de ligas entre o material depositado e o silício do substrato uma vez que o oxido é bem estável. Durante a deposição, os substratos foram mantidos à temperatura ambiente.

Alvos

Na Tab. 4.1 estão apresentadas as informações dos alvos utilizados neste trabalho para deposição por Sputtering.

Alvos	Diâmetros (mm)	Espessuras (mm)	Purezas (%)
Nb	38	3	99,95
Co	51	3	99,95
Ag	38	3	99,99

Tabela 4.1: Alvos utilizados na preparação das multicamadas SC/FM.

Calibração das Taxas de Deposição

Após definir os substratos e alvos a serem utilizados na deposição, antes de depositar as multicamadas precisamos determinar as taxas de deposição de cada alvo. Para isso primeiro preparamos uma monocamada para cada alvo que se deseja depositar, mantendo as condições idênticas ás que serão utilizados na deposição das multicamadas. O tempo da deposição da monocamada é cronometrado com precisão e a espessura de cada monocamada pode ser determinada pelo ajuste da curva de refletividade de Raios-X. Os ajustes das curvas de refletividade foram realizados pelo utilizados um software WINGIXA da Phillips. Como se conhece o tempo de deposição (t) de cada monocamada, as taxas de deposição (T_x) de cada alvo podem ser determinadas.

$$T_x = d/t (4-1)$$

onde d é espessura.

A Tab. 4.2 apresentando os valores das taxas utilizadas e os parâmetros detalhados de deposição nesta tese. Todos as distâncias entre o alvo e o substrato são 103 mm.

Alvos	P_b	P_T	Taxa	Ignição	I	Tensão	Potência
	(Torr)	(Torr)	$(\mathring{A}/\mathrm{s})$		(mA)	(V)	(W)
Nb	2×10^{-8}	$2,7 \times 10^{-3}$	0,70	DC	55	317	18
Co	2×10^{-8}	$2,7 \times 10^{-3}$	1,52	DC	105	405	42
Ag	2×10^{-8}	$2,7 \times 10^{-3}$	2,87	DC	54	370	20

Tabela 4.2: Parâmetros de deposição.

4.2 Sistema Nb/Co, Diagrama de Fase e Tratamento Térmico

4.2.1 Sistema Multicamadas Nb/Co

Os filmes finos de Nb/Co foram depositados em multicamadas com um período de deposição bem determinado conforme descrito a seguir.

Durante a realização deste trabalho foram produzidas 36 amostras: umas séries de amostras preparadas do sistema Nb/Co são apresentadas no texto, na Fig. 4.4 e na Tab. 4.3 de acordo com a nomenclatura:

Substrato/[o primeiro material da bi-camada (espessura do primeiro material)/segundo material (espessura do segundo material)](sub-índice indicando o numero de repetições das bi-camada)/último material (espessura)/camada protetora (espessura).

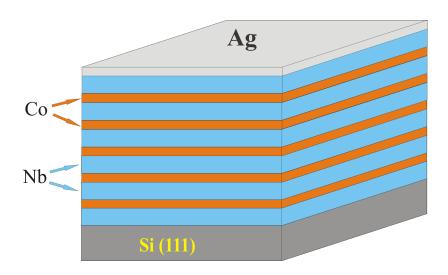


Figura 4.4: Ilustração esquemática das multicamadas SC/FM [Nb/Co]₅.

Números e nomes das amostras	Séries de sistema Nb/Co (espessura em nm)
01 (Co5)	$Si/[Nb(100)/Co(5)]_5/Nb(100)/Ag(5)$
02 (Co10)	$Si/[Nb(100)/Co(10)]_5/Nb(100)/Ag(5)$
03 (Co20)	$Si/[Nb(100)/Co(20)]_5/Nb(100)/Ag(5)$
04 (Co5)	$Si/[Nb(100)/Co(5)]_5/Nb(100)$
05 (Co10)	$Si/[Nb(100)/Co(10)]_5/Nb(100)$
06 (Co20)	$Si/[Nb(100)/Co(20)]_5/Nb(100)$

Tabela 4.3: Quadro esquemático apresentando as séries de multicamadas produzidas nesta tese. Cada serie foram feitos 6 amostras. Números e nomes das amostras Séries de sistema Nb/Co (espessura em nm).

O sistema Nb/Ag não é um sistema SC/FM, porque o elemento Ag é um material paramagnético. A camada de Ag só é uma camada protetora "cap layer". Este sistema foi preparado para domínio da técnica e para termos um

referencial de comparação com o sistema SC/FM. As amostras 04, 05 e 06 foram preparadas para análise a rugosidade no AFM.

4.2.2 Diagrama de Fase e Tratamento Térmico

Diagrama de Fase

Foi feito um tratamento térmico para as amostras buscando obter nanopartículas magnéticas ordenadas. A temperatura foi escolhida através da análise do diagrama de fase de Nb/Co, como mostrado na Fig. 4.5. Pode-se ver que acima de $\sim 530^{\circ}$ C (~ 800 K) (linha vermelha), a solução solida vai formar o composto Co₇Nb₂ e na temperatura de $\sim 430^{\circ}$ C, o Co tem uma transformação de fase de Cúbico de Face Centrada (CFC) para Hexagonal Compacta (HCP). Para não induzir a formação destes compostos onde ocorra a transformação de fase de Co, pois isso não é de interesse no nosso resultado final, fizemos todo o tratamento térmico a 500° C.

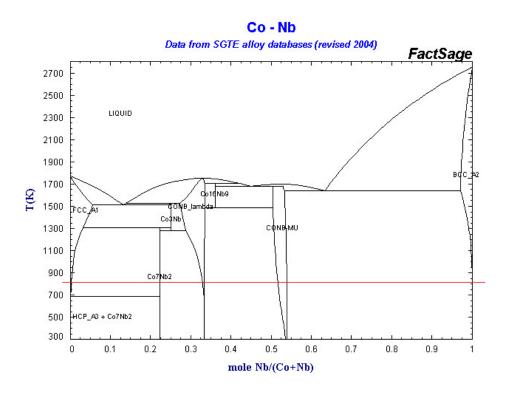


Figura 4.5: Diagrama de Fase do sistema Nb/Co

Tratamento Térmico

Após definir o temperatura de tratamento térmico as amostras de filmes finos preparadas foram divididas em cinco grupos:

- (a) Amostras 01 A, 02 A e 03 A foram recozidas a temperatura 500°C, durante uma hora.
- (b) Amostras 01 B, 02 B e 03 B foram recozidas a temperatura 500°C, durante três horas.
- (c) Amostras 01 C, 02 C e 03 C foram recozidas a temperatura 500°C, durante trinta minutos.
- (d) Amostras 01 D, 02 D e 03 D são sem tratamento térmico, que foram feito a análise de magnetismo e transporte.
 - (e) Amostras 04, 05 e 06 foram feito a análise a rugosidade pelo AFM.

Foi feito recozimentos das amostras num forno de tubo de quartzo com vácuo para evitar que as amostras se oxidassem. Este forno é equipado com controlador de tempo e temperatura cujo esquema é mostrado na Fig. 4.6, o recozimento foi realizado sob a pressão de $\sim 3.0 \times 10^{-5}$ mbar.

Os objetivos do recozimento são: remover tensões produzidas durante o crescimento de filme fino por sputtering e alterar as propriedades mecânicas como resistência, ductilidade, etc. Modificar características elétricas e magnéticas, ajustar o tamanho dos grãos, regularizar a textura, remover gases e produzir uma microestrutura definida.

O procedimento de recozimento é:

- (a) Embrulhar as amostras preparadas com folhas finas de Tântalo (Ta) que também protege as amostras, e depois de devidamente envolvido é acondicionado dentro de um tubo de quartzo. Uma das extremidades do tubo de vácuo é vedado e a outra é conectada uma bomba de vácuo turbo molecular;
- (b) Quando a pressão no interior do tubo chegar a $\sim 3.0 \times 10^{-5}$ mbar, o conjunto é introduzido no interior de um forno cilíndrico com uma rampa de temperatura programada para atingir a temperatura de $500 \pm 5^{\circ}$ C, que após o período de tempo programado, é retirado e posto a resfriar lentamente até atingir a temperatura ambiente sobre a pressão controlada;
- (c) Quando o tubo atingir a temperatura ambiente, as amostras são retiradas.

4.3 Preparação das Amostras de seção transversal para MET

Para as medidas de Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET) é necessária uma preparação especial das amostras analisadas. Neste trabalho,



Figura 4.6: Sistema de tratamento térmico ao vácuo do CBPF

foram preparadas amostras para análise da seção transversal, bastante utilizada em filmes semicondutores (Si, Ge, GaAs, InGaP, etc.) com objetivo de se visualizar as interfaces. É necessário nesta técnica deixar as amostras finas o suficiente para que haja transmissão de elétrons para poder obter as informações estruturais desejadas.

Na primeira etapa do procedimento emprega-se um disco de diamante, e corta-se dois retângulos de 10 mm \times 2 mm. Nesta técnica, dois pedaços da mesma amostra são coladas ambas as faces dos filmes, com um adesivo a base de resina epóxi amorfo (G1) que é invisível ao feixe de elétrons formando um sanduíche. Posteriormente são introduzidos dentro de um tubo de latão e cortada em fatias de aproximadamente 500 μ m. Após o corte, é feito um desbaste com lixamento e posterior polimentos mecânicos nas duas faces mantendo o paralelismo entre as mesmas até atingir uma espessura entre 70 e 100 μ m nas amostras. Depois de polida a amostra, é feito um desbastamento na parte central com um disco em rotação e pasta de diamante. Esta técnica se chama "dimpling". Finalmente é realizado um afinamento no centro da amostra com um feixe de íons focalizados incidindo à um baixo ângulo, utilizando o equipamento PIPS (Precision Ion Polishing Sistem) da marca Gatan.

O procedimento de preparação de amostras de HRTEM pela técnica "cross-section" é descrito de forma esquemática na Fig. 4.7:

- (a) Uma amostra de filme fino com substrato Si foi clivada em dois pedaços, e colada nas faces de filme.
- (b) O sanduíche é introduzido em um tubo de latão com diâmetro de 3 mm (determinada pelo porta amostras) e colado com G1.
- (c) Depois de colada no tubo de latão, amostra é cortada de uma fatia de aproxima 500 μ m de espessura.

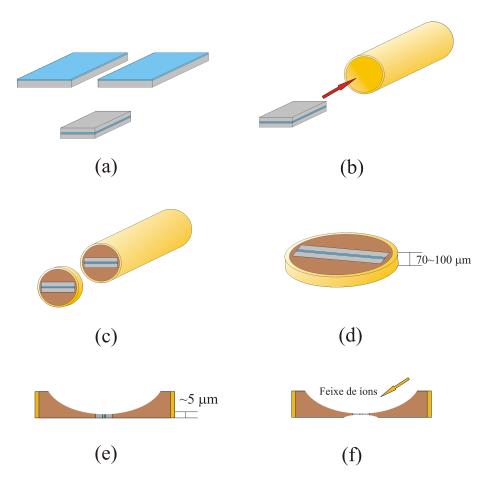


Figura 4.7: Sequência esquemática de preparação amostra para secção transversal

- (d) Este disco é lixado e polido até ficar uma espessura entre 70 e 100 μ m mantendo o paralelismo entre as faces.
- (e) A parte central deste disco é desbastado (dimpling) até atingir uma espessura menor que 5 μ m.
- (f) Afinamento iônico até perfuração com bombardeamento de um feixe iônico de argônio com incidência rasante ao plano do filme.

4.4 Técnicas de Caracterização

4.4.1 Caracterização Magnética e de Transporte Elétrico

Sistema de Medidas de Propriedades Físicas (PPMS)

Para a realização das medidas de magnetometria foi utilizado o Sistema de Medidas de Propriedades Físicas (PPMS), marca Quantum Design, no Laboratório Multiusuário do CBPF. Esse sistema permite realizar medidas

de magnetização, calor específico ou resistividade em função da temperatura que pode variar de 2 a 400 K com o campo magnético variando de -9 a 9 T.

O sistema de PPMS consiste basicamente de um cilindro grande, onde é posicionado um flange onde é fixado o porta amostra. Ao longo do cilindro bobinas que geram campos magnéticos necessários para as medidas magnéticas. A medida da técnica de magnetização é feita da seguinte forma: a amostra magnetizada é submetida a um movimento oscilatório, paralelo ao eixo do cilindro e as bobinas de detecção, montadas junto ao cilindro, induzem uma força eletromotriz produzida pelo movimento da amostra. Esse sinal induzido é proporcional ao momento magnético associado à amostra (variação do fluxo magnético) e à velocidade da amostra durante esse movimento. Portanto, sabendo-se a velocidade da amostra em movimento, juntamente com o sinal induzido, pode-se obter a resposta magnética da amostra.

O objetivo deste processo é obter as curvas da magnetização das amostras em função do campo magnético e da temperatura. Por isso, o sistema dispõe de software que acompanha essa variação e, programando-se as rotinas desejadas, tais como, aumento ou diminuição do campo magnético e ou da temperatura, definimos o número de pontos. O intervalo de medidas, a taxa de variação de campo magnético, temperatura, etc.

Transporte Elétrico

As medidas de resistência elétrica dos filmes finos foram realizadas por um sistema de Criostato He⁴, marca Oxford, do Laboratório de Supercondutividade do CBPF. Este sistema possibilita realizar as medidas de resistência em baixas temperaturas (variando de 1,5 a 300 K). Além disso, se instalado no sistema um magneto supercondutor que produz um campo magnético de até sete Teslas, as medidas de resistividade e de magneto-resistência pode ser feitas em todas as amostras. Fig. 4.8 mostra o esquema deste sistema [Hernandez11].

As medidas de resistência elétrica neste trabalho foram realizadas utilizado um método de quatro pontas: em dois contatos são aplicado corrente e outros dois são medidas a voltagem, como mostrado na Fig. 4.9. Esta técnica é um método comum de medida de resistência de folha [Scofield87, James65]. Este método apresenta uma vantagem: elimina as contribuições dos contatos e dos cabos empregados na leitura do potencial sobre a amostra. A resistividade elétrica é calculada pela equação:

$$\rho = R \frac{A}{l} \tag{4-2}$$

onde: ρ é a resistividade; R é a resistência elétrica de uma amostra de filme uniforme que obedece a lei de Ohm; A é a área transversal da amostra que é

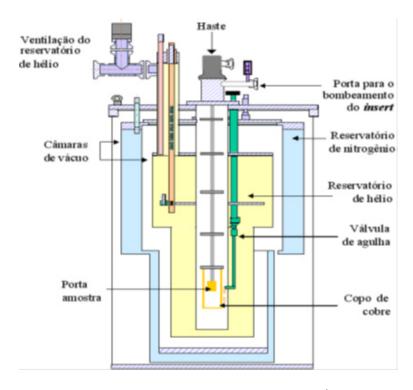


Figura 4.8: Esquema do sistema Criostato He⁴ do Oxford

medida em metros quadrados; l é o comprimento entre dois contatos.

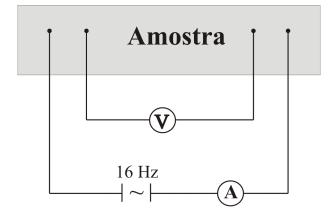


Figura 4.9: Esquema do método de quatro pontos utilizado para a medida de resistividade elétrica.

Os contatos elétricos na amostra foram feitos usando tinta de prata, e os fios de platina de 25 μ m de diâmetro. Os fios são conectados ao suporte da amostra com solda de estanho. Para realizar as medidas de resistividade, durante o processo de medição, usa-se uma ponte de resistência AC (modelo LR-700, Linear Research), aplicando uma corrente AC de 16 Hz.

Caracterização Estrutural

Refletividade de Raios-X (XRR)

Foi utilizada a técnica de refletividade de Raios-X para determinar as espessuras das camadas e a rugosidade atômica nas interfaces das multicamadas. Quando um filme fino de densidade uniforme é depositado em um substrato, a refletividade de Fresnel no substrato com a refletividade na superfície do filme os raios refletidos na superfície da interface ar/filme e filme/substrato gera padrões de interferência que apresenta oscilações denominadas franjas de Kiessi. [Miceli86]. A Fig. 4.10 mostra como o feixe de Raios-X incide na amostra.

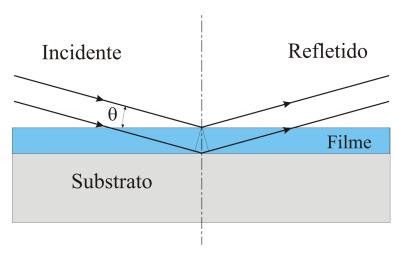


Figura 4.10: Desenho esquemático de como são realizados a incidência e a reflexão de Raios-X em uma amostra de filme finos.

As espessuras das camadas podem ser calculadas aplicando-se a lei de Bragg, ou seja:

$$q = \frac{4\pi sen\theta}{\lambda} = \frac{2\pi n}{d} \to d = \frac{n\lambda}{2sen\theta}$$
 (4-3)

onde:

q representa a transferência de momento;

 θ é o ângulo de incidência do feixe de Raios-X;

 λ é o comprimento de onda dos Raios-X;

d é a espessura da estrutura que se quer investigar e n é um número inteiro.

A rugosidade interfacial das multicamadas é diretamente proporcional à declividade da curva de refletividade. Assumindo que a rugosidade da interface R(z) pode ser descrita por uma função Gaussiana, a função de densidade de probabilidade em termos da posição na interface é obtida como:

$$R(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}exp(\frac{-z^2}{2\sigma_y^2})$$
 (4-4)

onde: z é a posição na interface e σ é o desvio padrão médio ou rugosidade média quadrática. Experimentalmente um dos parâmetros que geralmente é extraído das medidas de refletividade é a rugosidade média quadrática.

Na medida de refletividade foi utilizado o difratômetro do Laboratório de Cristalografia e Difração de Raios-X do CBPF, modelo X'PERT da marca Phillips. O software WinGixa foi utilizado para fazer ajustes das curvas experimentais de refletividade espectral para os filmes depositados, permitindo o controle da espessura e da rugosidade das interfaces. Com estes parâmetros, foram calculadas as taxas de deposição dos filmes produzidos.

Microscópico de Força Atômica (AFM)

O microscópico de força atômica (AFM) é um instrumento que permite a obtenção de informações locais, com resolução atômica, da superfície de filmes finos, possibilitando a investigação de propriedades tais como: rugosidade superficial, dureza, rigidez e elasticidade. Neste trabalho AFM foi usada para o estudo da rugosidade superficial.

As medidas de rugosidade, apresentadas nesta tese, foram realizadas no Laboratório de Microscopia de Força Atômica do IMR, China, Modelo: Veeco NS3A. Utilizando o software de NanoScope v6.13 da D-D The Aquarium Solution Ltdium Solution Ltd, foi possível processar as imagens de AFM e obter os valores de rugosidade (R), período (T), amplitude (A) e frequência (f) de onda das superfícies.

Microscopia Eletrônica de Transmissão de Alta Resolução (HRTEM)

A Microscopia eletrônica de transmissão de alta resolução (HRTEM) foi usada para estudar as propriedades em nanoescala da interface de multicamadas.

A HRTEM é uma técnica que permite obter informação estrutural e química de materiais com resolução atômica [Williams09]. Em particular, a aquisição de imagens resolvidas no tempo permite o estudo dinâmico dos aspectos atomísticos.

A Fig. 4.11 mostra o processo de formação da imagem da alta resolução. Um feixe de elétrons atravessa uma amostra, levando a informação estrutural dela, após o interferométrico da lente de elétrons forma uma imagem de alta resolução. Quando a amostra é suficientemente fina, pode-se ignorar a absorção de ondas de elétrons, então, o espalhamento dos elétrons incidentes no interior da amostra causa somente a mudança de fase da onda eletrônica incidente,

mantendo constante a sua amplitude. Este tipo de amostra se chama objeto de fase, que é representado matematicamente por uma função de transmissão. A física de difração específica, e o processo de formação de imagem podem ser encontrados na literatura.

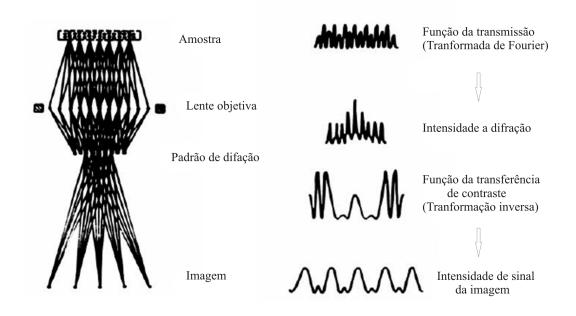


Figura 4.11: Esquemática de processo de imagem de HRTEM.

No processo da formação de imagem de alta resolução, o contraste de imagem é proporcional à projeção da função potencial de cristal, a imagem pode revelar a estrutura real da amostra, mas isso acontece somente em uma condição definida, como aproximação objeto de fase fraco, a melhor fotografia em condições de melhor foco. Na verdade, a aproximação objeto de fase fraco é muito difícil de atingir. Quando a espessura da amostra for superior a um valor determinado, ou as amostras que contêm elementos pesados, o modo de aproximação de fase fraco pode falhar. Outro modo de formação de imagem é chamado de razão, ou contraste de Z, que pode revelar diretamente as informações da estrutura cristalina [Williams09].

As análises de seção transversal das multicamadas do sistema de Nb/Co foram realizadas no Laboratório microanálise de materiais no instituto de ciência dos materiais, Alemanha, sob a responsabilidade do Prof. Wolfgang Jäger. O microscópio usado é HRTEM de 200 kV, modelo JEOL - JEM2100.

Os métodos aplicados foram: formação das imagens com compo claro (BF) e compo escuro (DF) para a determinação de tamanho de grãos a detecção de partículas da segunda fase; difração de elétrons de área selecionada (SAED) para obter a padrão de difração; campo escuro de alto ângulo em STEM

(HAADF-STEM) para gerar imagem de Z-contraste. Energia-dispersiva de Raios-X e análises espectroscópicas de linha de varredura (EDXS).