

2º SEMESTRE DE 2021

FI281 - Tópicos em Ciência dos Materiais I - "Fundamentos de Microscopia Eletrônica de Transmissão Aplicada a Ciência dos Materiais"

Turma

A

Créditos

4

Horário

Segunda - 14h às 16h

Quarta - 14h às 16h

Docente

Daniel Mario Ugarte

Pre-Requisitos

-

Objetivos

Ser capaz de compreender informações contidas em publicações científicas onde foram utilizadas técnicas tradicionais ou avançadas associadas a microscopia TEM. Fornecer a base teórica sólida para quem deseja iniciar uma formação prática para utilizar microscópios TEM.

Ementa:

- 1) microscopia básica; projeção e varredura. Transformadas de Fourier. Alguns conceitos ópticos: resolução, profundidade de campo, brilho. O sistema óptico (traçado de raios).
- 2) óptica eletrônica: fontes de elétrons, lentes, alinhamento do sistema óptico. Óptica de Fourier. Óptica da nova geração, corretores de aberrações e monocromadores.
- 3) Interações de matéria eletrônica, seções eficazes: elástica e inelástica. Dano de radiação. A detecção anula de campo escuro (ADF).
- 4) Cristalografia. Redes, Celda unitária, simetria. Grupo pontual e grupo espacial. Rede recíproca. Notação cristalográfica. Projeção estereográfica.

- 5) Difração. Lei de Bragg. Esfera de Ewald. Fator de estrutura. Difração e Interferência.
- 6) Difração de elétrons. Efeito de filme fino. Erro de excitação.
- 7) Difração de área selecionada (SAD). Indexação e exemplo de aplicações. Difração dupla. Caracterização avançada de materiais. Orientação de cristais.
- 8) Linhas de Kikuchi. Orientação precisa da amostra. Micro-difração e nano-difração (seu alinhamento e configurações ópticas). Difração de Precessão (PED).
- 9) Preparação de amostras. Pó, filmes finos. Afinamento iônico. Microtomia. Etc.
- 10) Teoria cinemática. Difração de Fraunhofer e Fresnel. Aproximação de coluna. Distância de excitação. Franjas de Fresnel. Condição de dois feixes. Campo brilhante (BF) e campo escuro (DF)
- 11) Difração dinâmica. Equações de Howie e Wheelan. Erro de excitação efetiva. Métodos de feixe (two beam) e feixe fraco (Weak-Beam). Formulação por ondas de Bloch. Superfície de dispersão.
- 12) Imagens. Contraste de difração. Faixas de espessura, contornos de curvatura, defeitos planares, imagens de discordância, precipitados, etc.
- 13) Difração de feixe convergente (CBED) . Linhas HOLZ. Aplicações: Determinação da simetria, medidas de espessura, polaridade, etc.
- 14) Microscopia de alta resolução (HRTEM). Contraste de fase.
- 15) Microscopia de varredura em transmissão (STEM) Imagem incoerente. A sonda de elétrons. O detector do campo escuro (ADF). Ronchigram.
- 16) Espectroscopia de raios x dispersiva em energia (EDS). Nano-análise. Detectores, análise qualitativa e quantitativa. Sensibilidade de resolução espacial. Método de Cliff-Lorimer. Mapeamento EDS.
- 17) Espectroscopia de elétrons por perda de energia (EELS). Informações do espectrômetro disponíveis na EELS: estado eletrônico, valência, simetria, determinação da constante dielétrica. Plasmons de superfície.
- 18) Processamento de dados. Imagens hyperspectrais. Análise multivariada e métodos de "machine-learning".

Conteúdo Programático:

O curso visa fornecer uma introdução abrangente à microscopia eletrônica de transmissão (TEM) no campo da ciência dos materiais. Considerando que o TEM é instrumento operado por um único usuário,

ele representa uma plataforma analítica com a versatilidade incomparável, dando acesso à informação estrutural e química do micrômetro com a escala sub-Angstrom. Para uma amostra fina (<100 nm de espessura), transparente de elétrons pode-se realizar medições para obter informações sobre a cristalinidade, estrutura de grãos, tamanho, e defeitos, e a composição química. A estrutura do cristal pode ser trabalhada com resolução atômica, que permite a observação de bordas de grão, interfaces e defeitos. De fato, a microscopia TEM é o principal método de análise estrutural direta para o estudo de nanossistemas (verdadeiramente nano).

No fim do curso, o estudante deve ser capaz de: a) identificar técnicas TEM adequados para a resolução de problemas científicos específicos, b) interpretar os dados TEM apresentados nos artigos; c) entender o impacto dos avanços tecnológicos que, por exemplo, levaram à resolução sub-Angstrom pela correção da aberração; d) fornecer fundamentos para aprender técnicas avançadas como holografia, tomografia, etc.

Bibliografia

- Transmission Electron Microscopy: A textbook for Materials Science
D.B. Williams, C.B. Carter 2016
- Companion to Williams and Carter's book on TEM
Transmission Electron Microscopy:
Diffraction, Imaging, and Spectrometry 2016
- Introduction to Conventional Transmission Electron Microscopy
Marc De Graef
- Electron Microscopy of Thin Crystals
P. Hirsh, A. Howie, R. Nicholson, D.W. Pashley, M.J. Whelan
- Transmission Electron Microscopy
L. Reimer
- Electron Microscopy: Principles and Fundamentals
S. Amelinckx, D. van Dyck, J. van Landuyt, G. van Tendeloo
- Electron Microdiffraction
J.C.H. Spence, J.M. Zuo
- Aberration-Corrected Imaging in Transmission Electron Microscopy: An Introduction
Rolf Erni
- Aberration-Corrected Analytical Transmission Electron Microscopy



INSTITUTO DE FÍSICA "GLEB WATAGHIN"
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA



Ryk Brydson 2011

- Electron Energy-Loss Spectroscopy in the Electron Microscope
R.F. Egerton, 2011

- Scanning Transmission Electron Microscopy Imaging and Analysis
Stephen J. Pennycook Peter D. Nellist 2011

Observações

-