



# Técnicas de Análise de Materiais para Microdispositivos

Prof. Dr. Antonio Carlos Seabra  
[acseabra@lsi.usp.br](mailto:acseabra@lsi.usp.br)

# Apresentação do Curso

---

- Introdução
- Tipos de Análise
  - Análises Físico/Químicas de Inspeção (não destrutivas)
  - Análises Físico/Químicas destrutivas
  - Medidas Elétricas em Microdispositivos
  - Medidas Elétricas em Circuitos Integrados
- Bibliografia



# Apresentação do Curso

---

- Análises Físico-Químicas e suas Aplicações em Microdispositivos
  - AES - Espectroscopia de Elétrons Auger
  - RBS - Espectrometria de Retroespalhamento Rutherford
  - XRD - Difração de Raios-X
  - Microscopia (Óptica, SEM, TEM, SPM)
  - SIMS - Espectrometria de Massa de Íons Secundários
  - FTIR - Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier



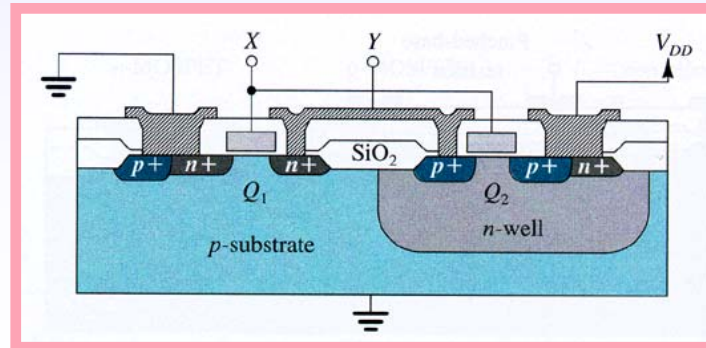
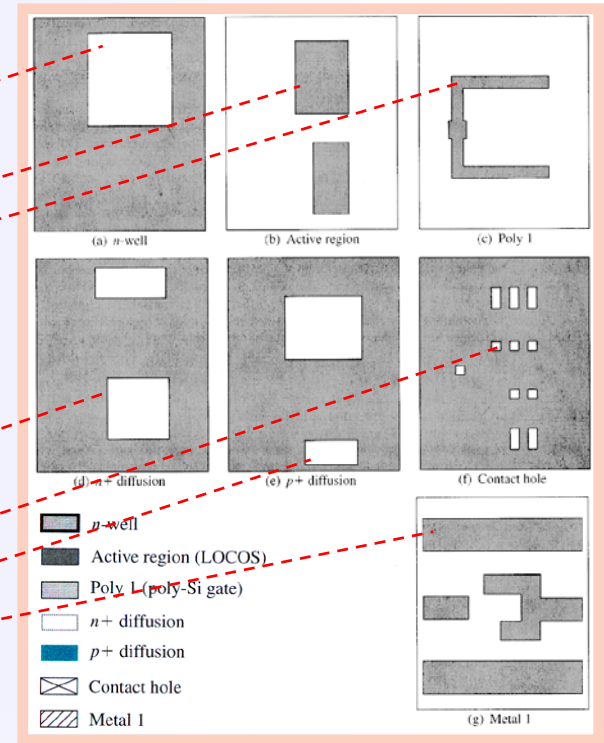
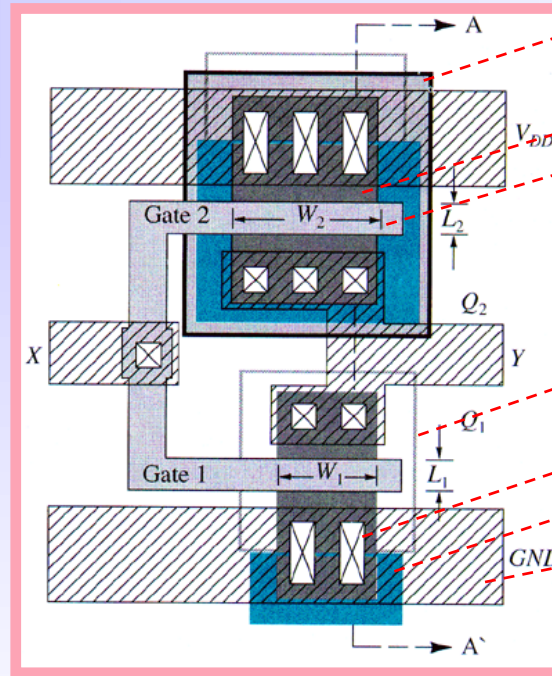
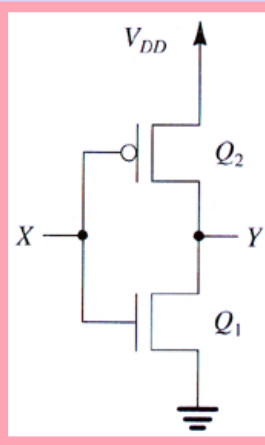
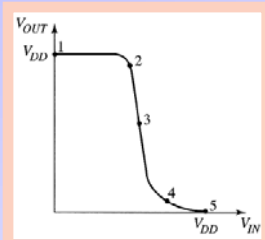
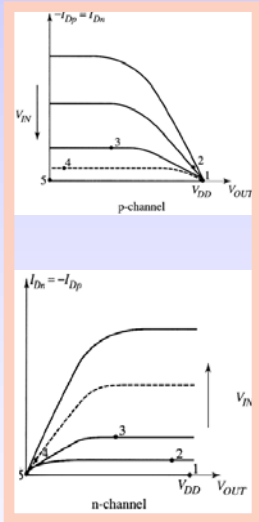
# Bibliografia

---

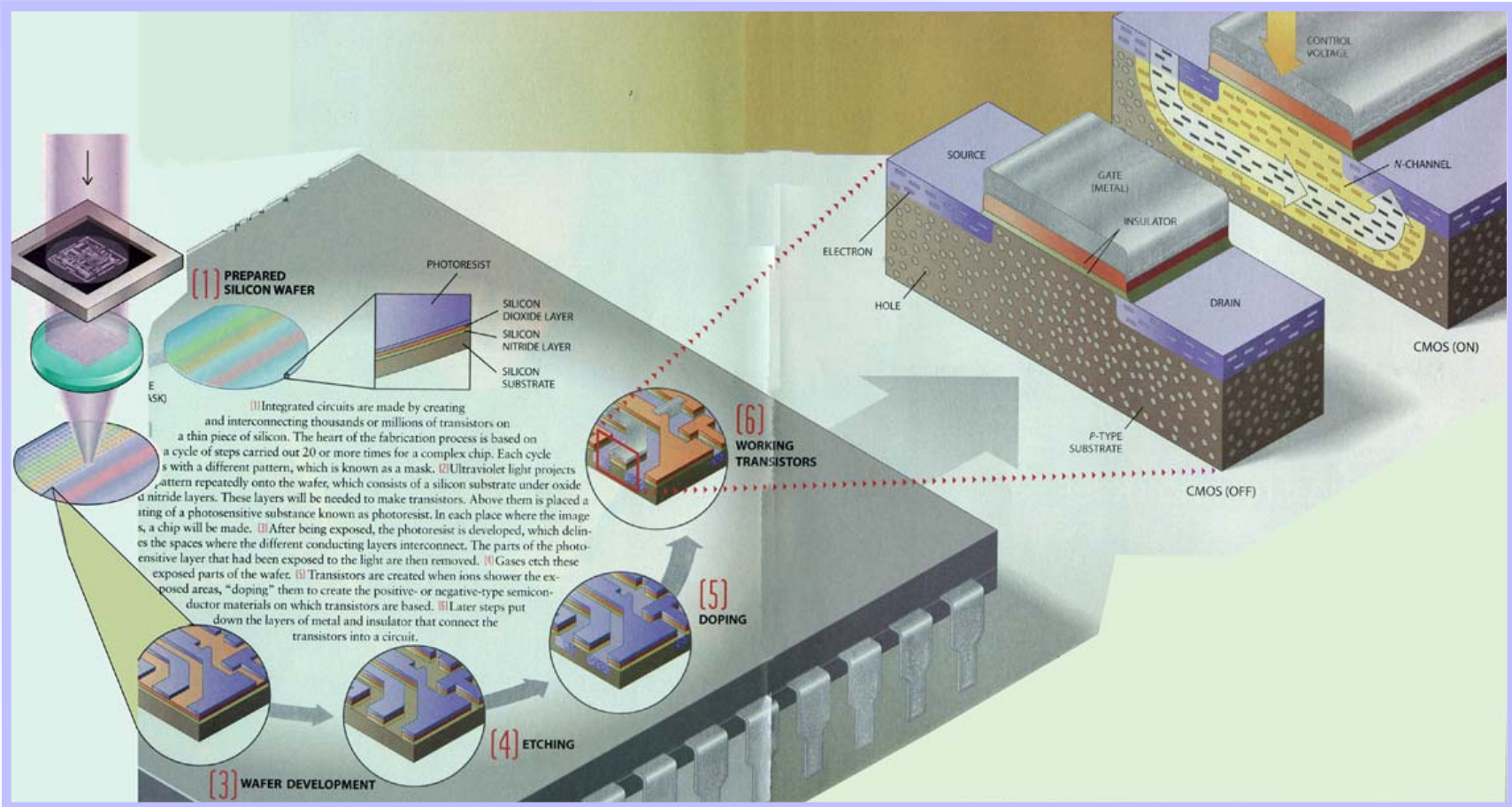
- **Apostilas do curso sobre AES, SIMS, SEM**
- **Introdução: S. M. Sze "VLSI Technology", Capítulo 12, McGraw-Hill, 1983.**
- **L.C. Feldman e J.W. Mayer "Fundamentals of Surface and Thin Film Analysis", North-Holland, 1986.**
- AES: D. Briggs e M. P. Seah "Practical Surface Analysis", Caps. 1 a 6.
- SEM, TEM: L.C.Sawyer e D.T. Grubb "Polymer Microscopy", Caps. 1 e 2, Cambridge Press, 1986.
- SPM: D.P. Woodruff, T.A. Delchar "Modern Techniques of Surface Science", Capítulo 6, 2a. Ed., Cambridge Press, 1994.
- SIMS: A. Benninghoven et. al. "SIMS - Basic Concepts, Instrumental Aspects, Applications and Trends, John Wiley & Sons, 1987.
- Aplicações em Microdispositivos: Solid-Sate Technology, Semiconductor International, etc.



# Projeto e Fabricação de CIs

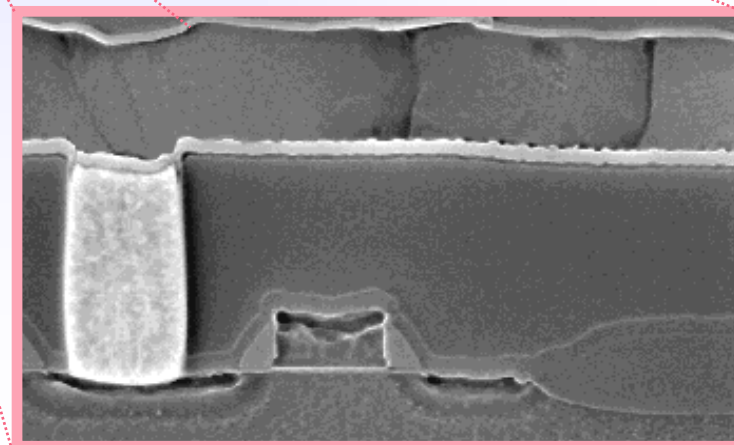
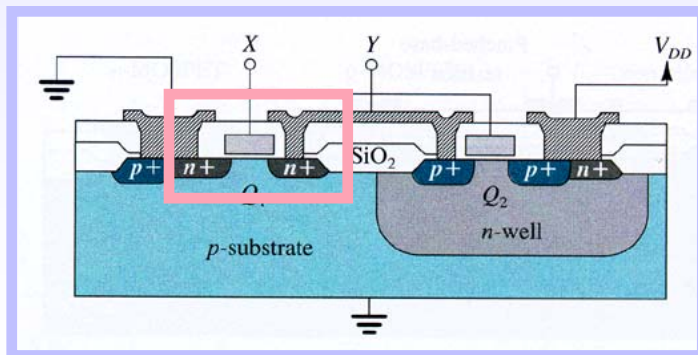
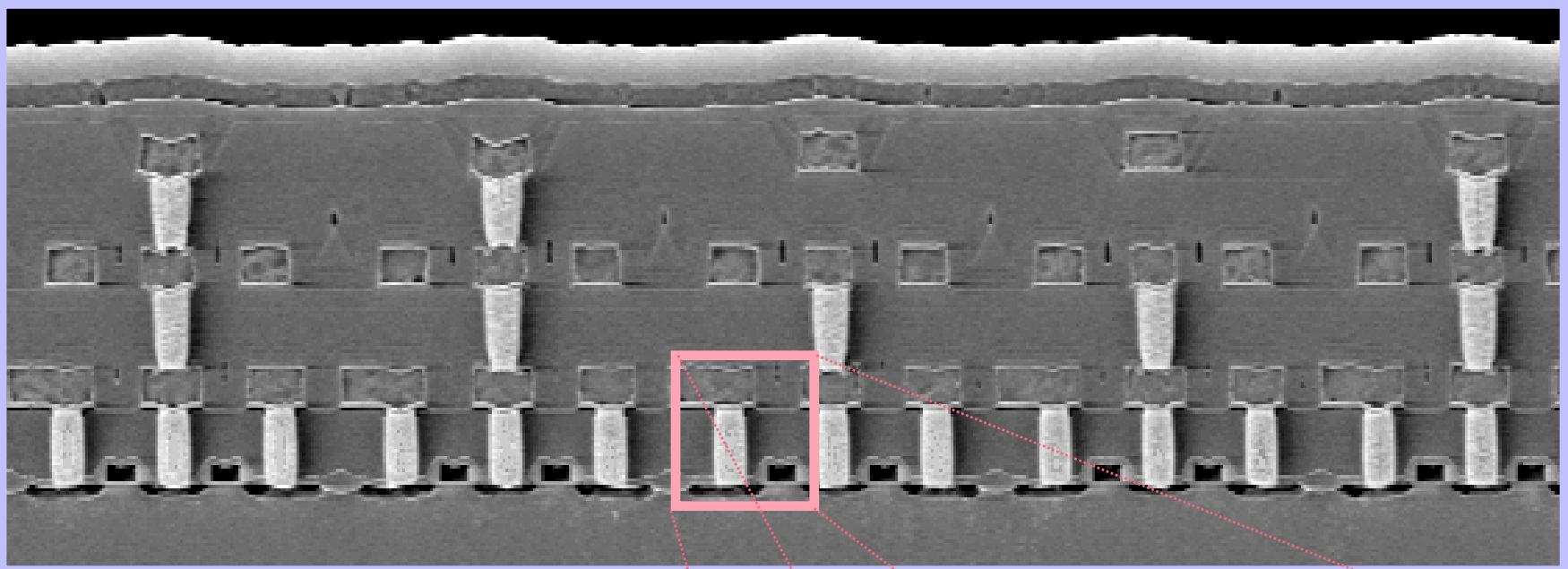


# As Etapas de Fabricação de CIs



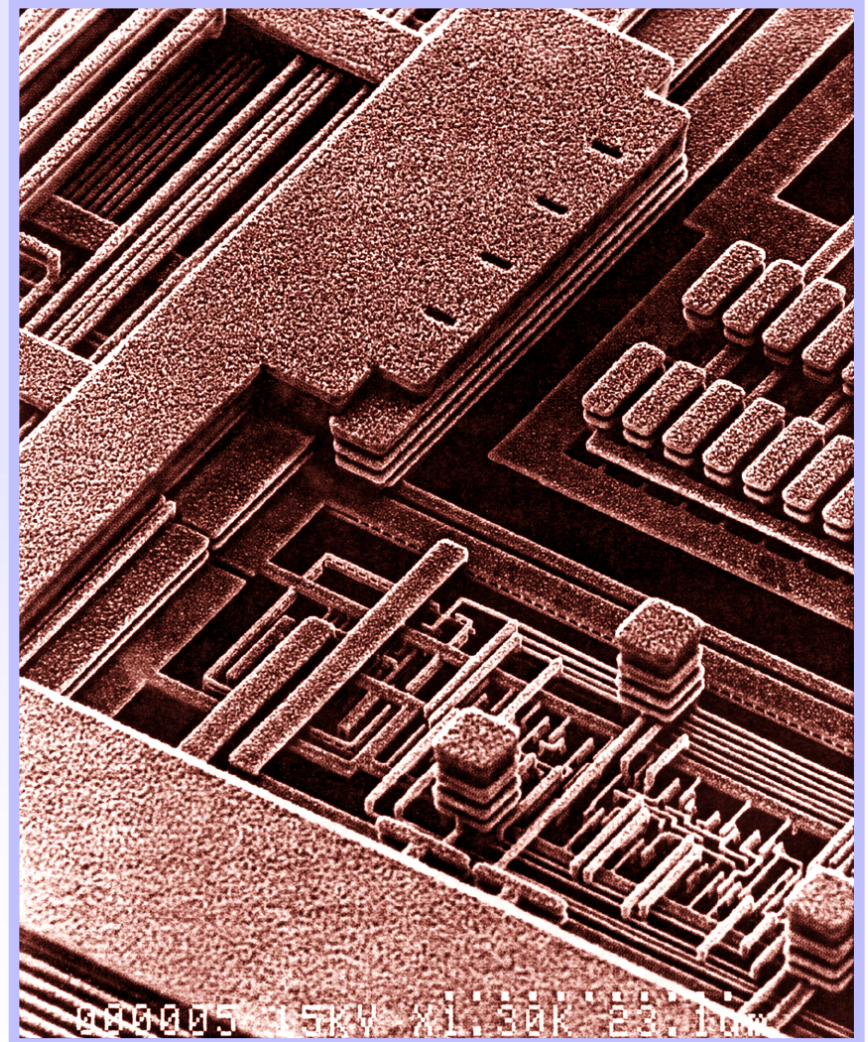
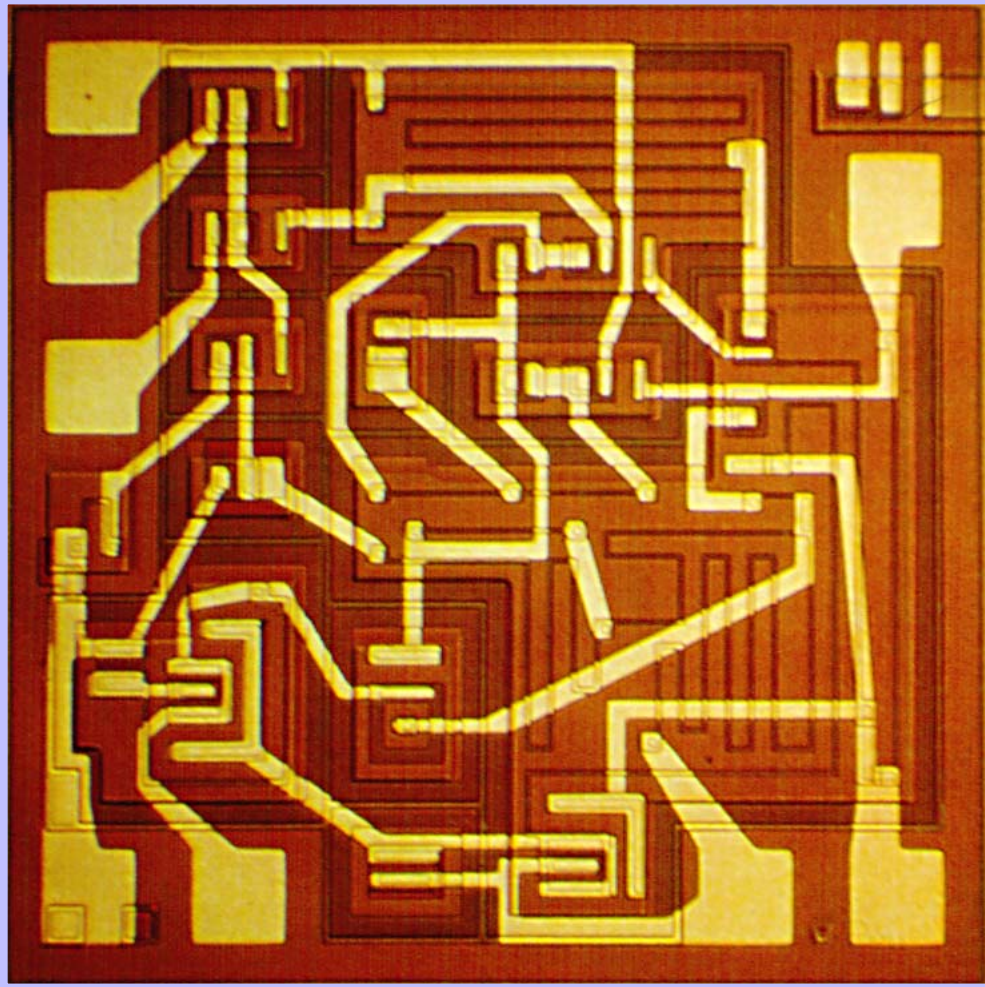


# Projeto e Fabricação de CIs





# Projeto e Fabricação de CIs





# Introdução

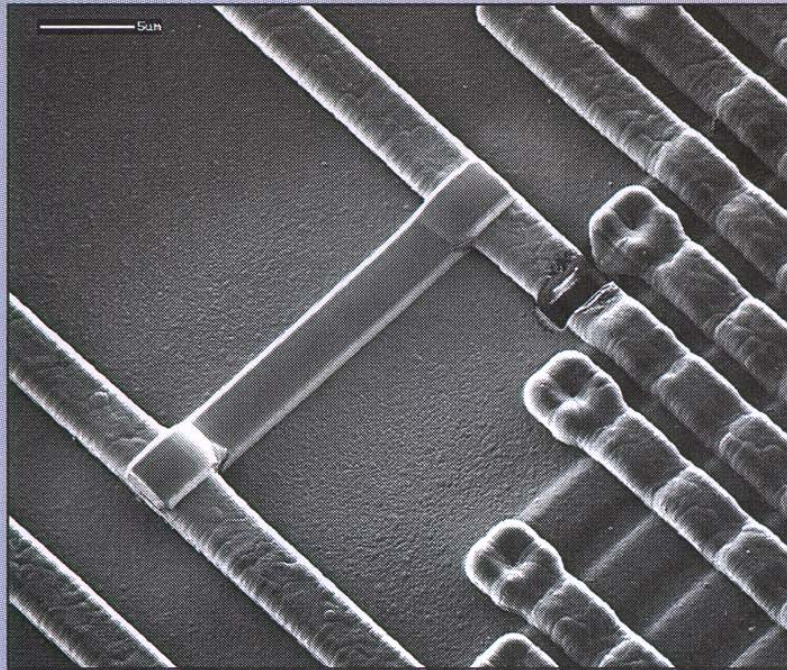
---

- **Objetivo do Curso**
  - Apresentar as técnicas de análise disponíveis na USP
  - Selecionar a técnica mais apropriada para solucionar os problemas encontrados
  
- **Importância das Técnicas de Análise**
  - Monitoramento e caracterização de etapas de processo e de produtos
  - Diagnóstico de problemas em processos e produtos
  - Desenvolvimento de novas etapas e produtos

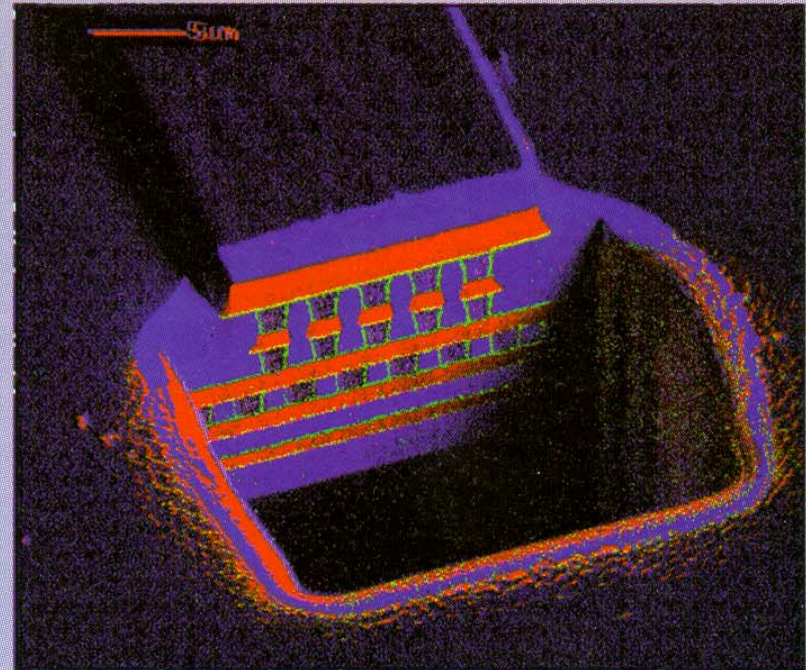


# Introdução

---



*FIB disconnects and adds circuit paths*



*FIB generated SIMS map*

# Introdução

---

## Seqüência das Aulas

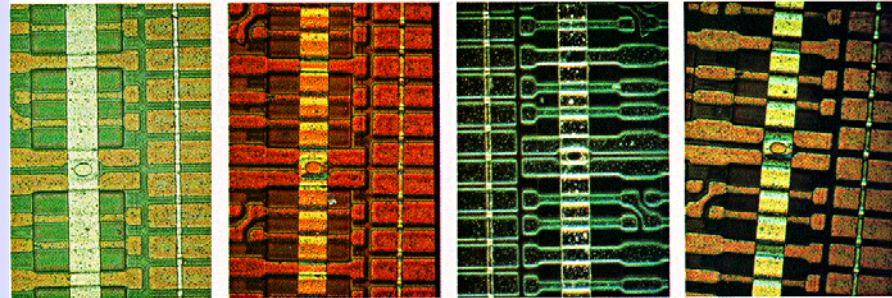
- § Aula 1: Introdução
- § Aula 2: Microscopia Óptica e Eletrônica (SEM)
- § Aula 3: Microscopia de Força Atômica (AFM)
- § Aula 4: Espectrometria de Massa de Íons Secundários (SIMS)
- § Aula 5: Espectrometria de Massa de Íons Secundários (SIMS)
- § Aula 6: Espectroscopia de Infravermelho empregando Transformada de Fourier (FTIR)
- § Aula 7: Retroespalhamento de Rutherford (RBS)
- § Aula 8: Retroespalhamento de Rutherford (RBS)
- § Aula 9: Difração de Raios X (XRD)
- § Aula 10: Difração de Raios X (XRD)
- § Aula 11: Apresentação de Trabalhos
- § Aula 12: Prova



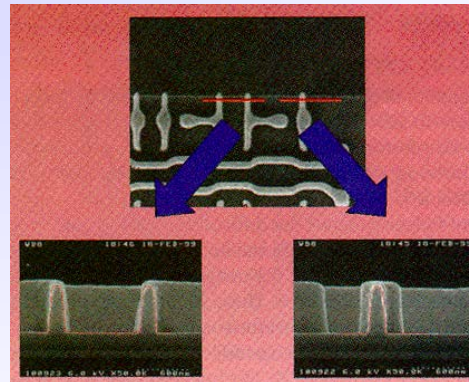


# Técnicas Abordadas no Curso

- Inspeção Óptica
- Perfilometria
- Elipsometria
- 4-pontas
- EM
- AES
- SIMS
- RBS
- XRD/TXRFA
- FTIR
- Medidas Elétricas I
- Medidas Elétricas II



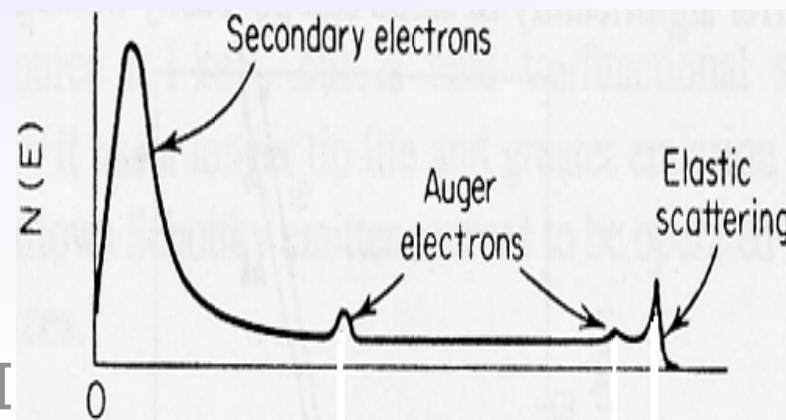
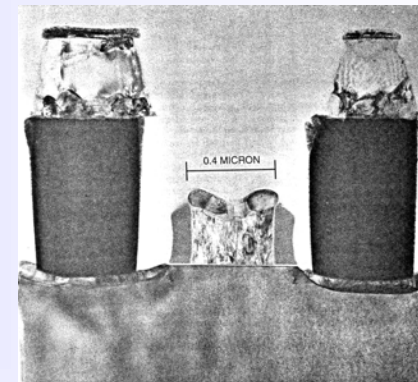
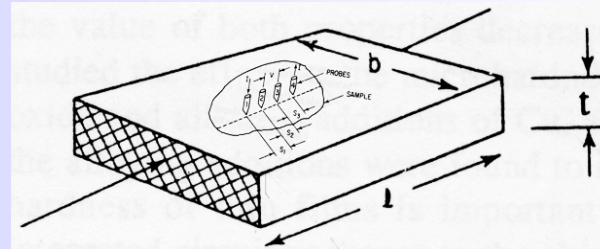
1. Wafer structures are shown in various light contrasts. From left to right: brightfield, color interference, darkfield and confocal contrast. (Source: Leica)





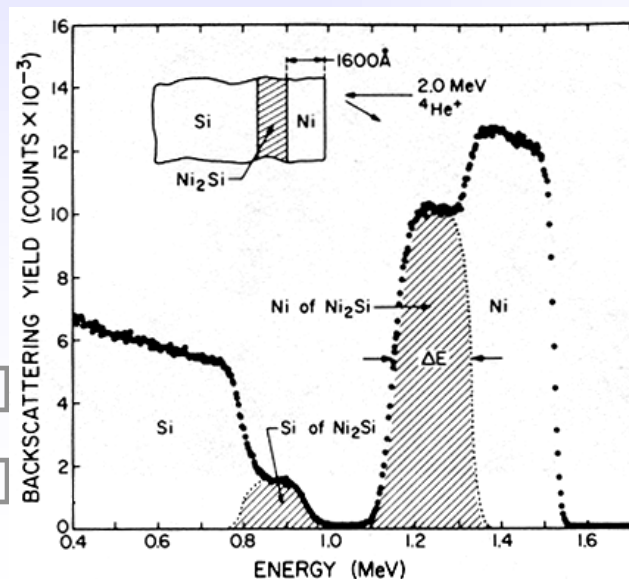
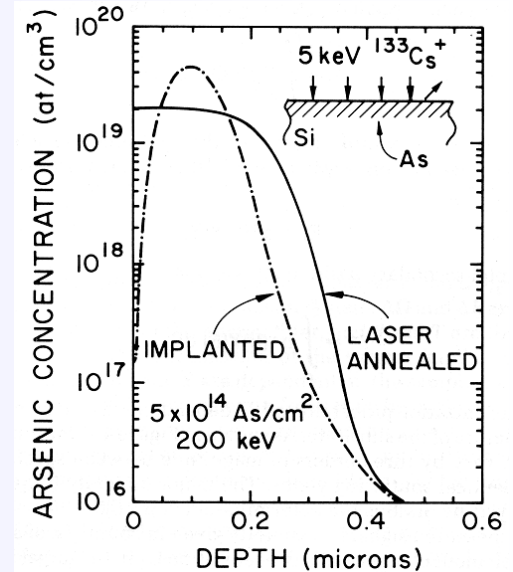
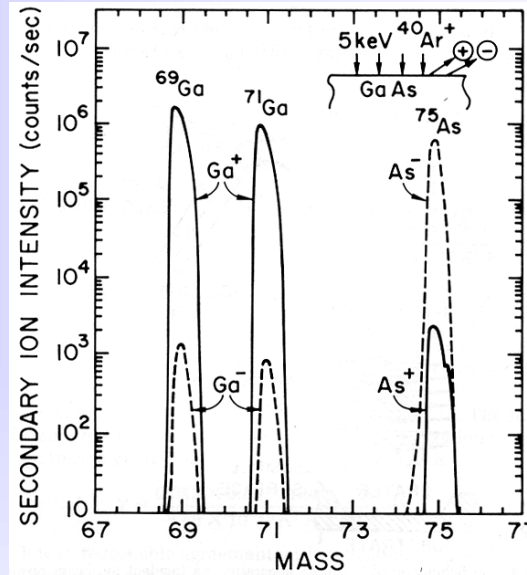
# Técnicas Abordadas no Curso

- Inspeção Óptica
- Perfilometria
- Elipsometria
- 4-pontas
- EM
- AES
- SIMS
- RBS
- XRD/TXRFA
- FTIR
- Medidas Elétricas I
- Medidas Elétricas II



# Técnicas Abordadas no Curso

- Inspeção Óptica
- Perfilometria
- Elipsometria
- 4-pontas
- EM
- AES
- SIMS
- RBS
- XRD/TXRFA
- FTIR
- Medidas Elétricas ]
- Medidas Elétricas ]



# Técnicas Abordadas no Curso

---

- Inspeção Óptica
- Perfilometria
- Elipsometria
- 4-pontas
- FTIR
- EM
- AES
- SIMS
- RBS
- XRD/TXRFA
- FTIR
- Medidas Elétricas I
- Medidas Elétricas II



# Comparação Geral das Técnicas F/Q Abordadas no Curso

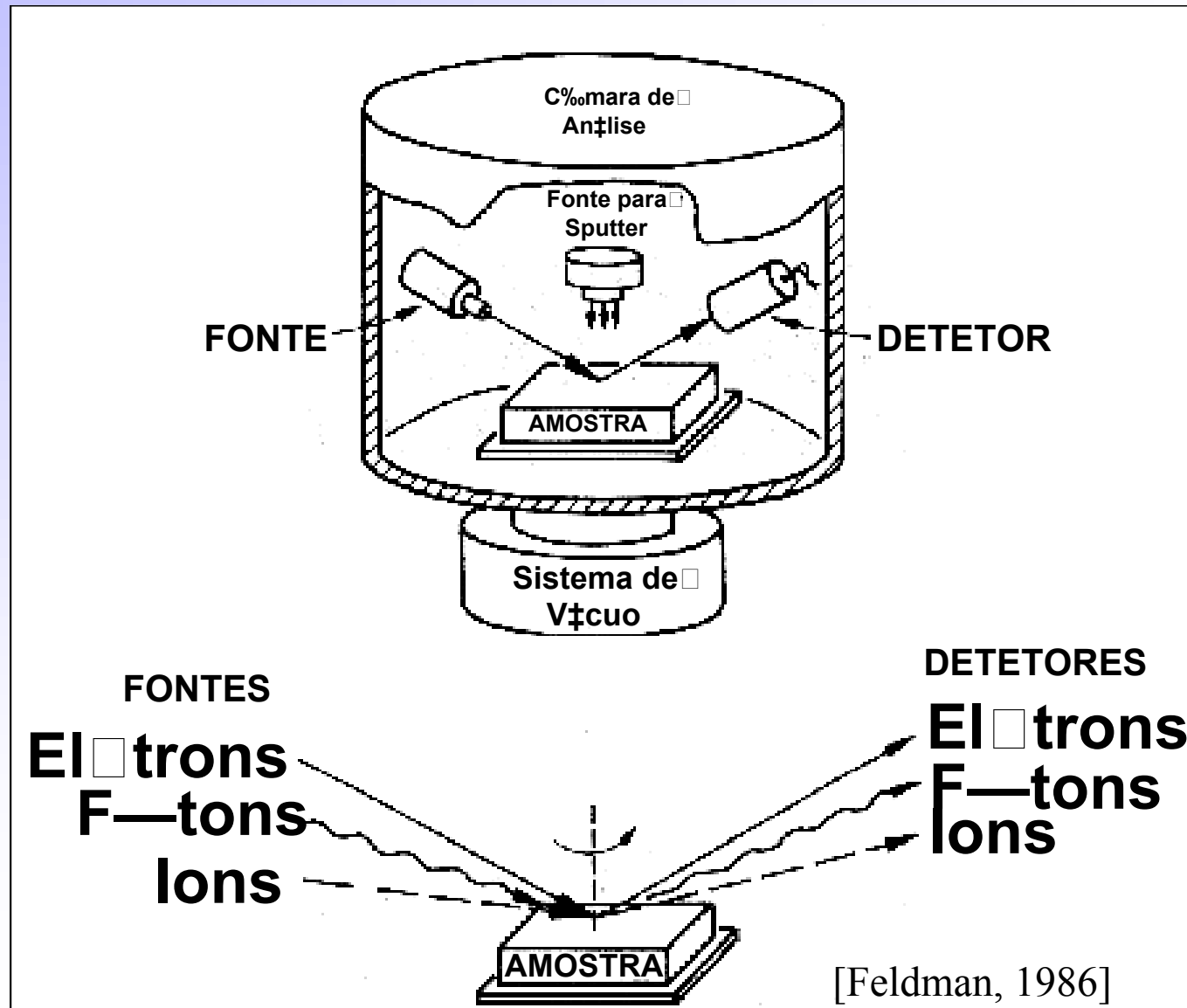
Instrumento de Análise	Observação Morfológica	Análise Elementar	Estrutura Cristalina	Ligações Químicas
AES	✓	✓		
RBS		✓		
XRD			✓	✓
SEM	✓			
TEM	✓		✓	
SPM	✓			
SIMS		✓		
FTIR		(✓)		✓

[Sze, 1986] [JEOL, 1996]



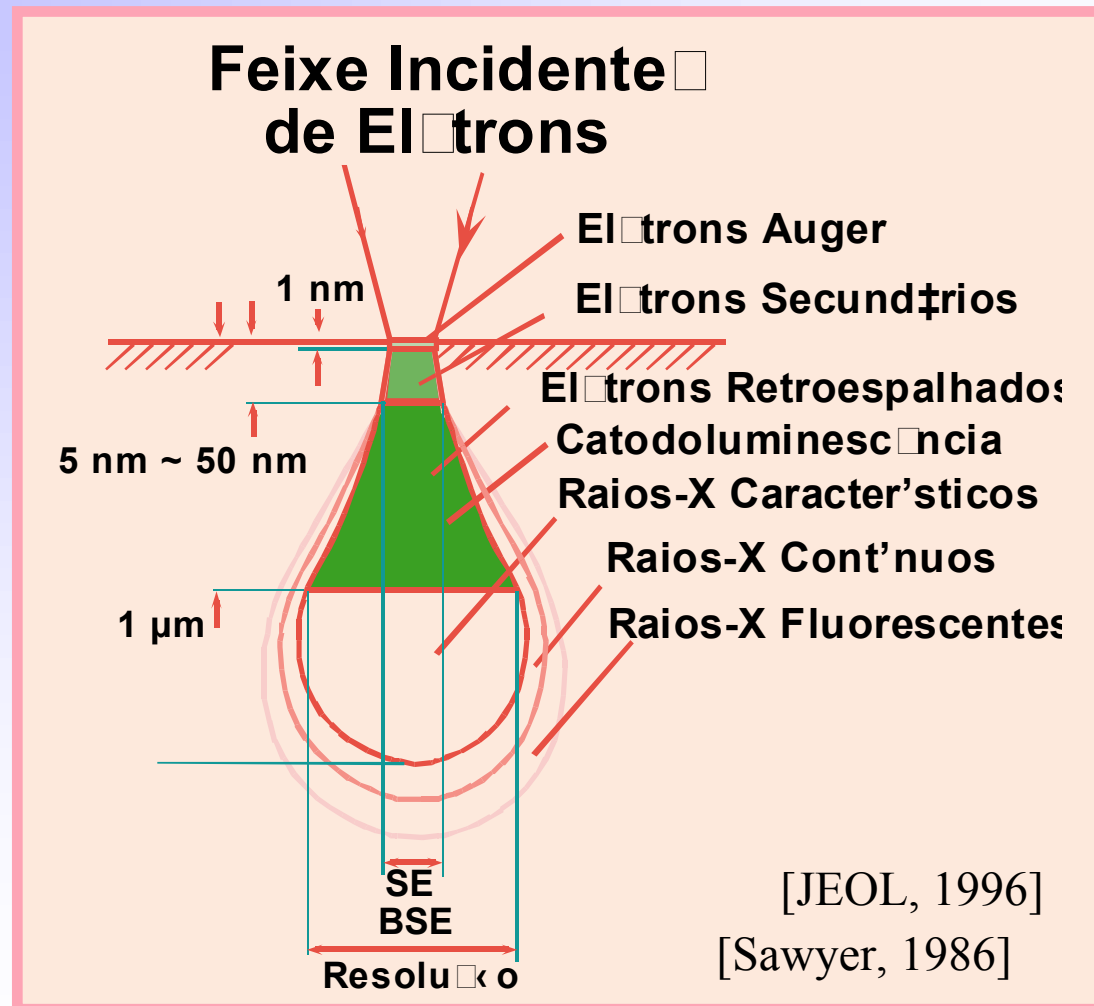


# Princípios das Técnicas

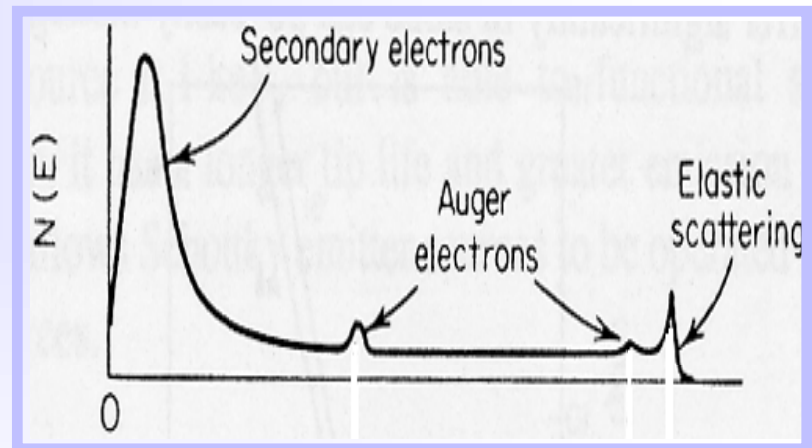
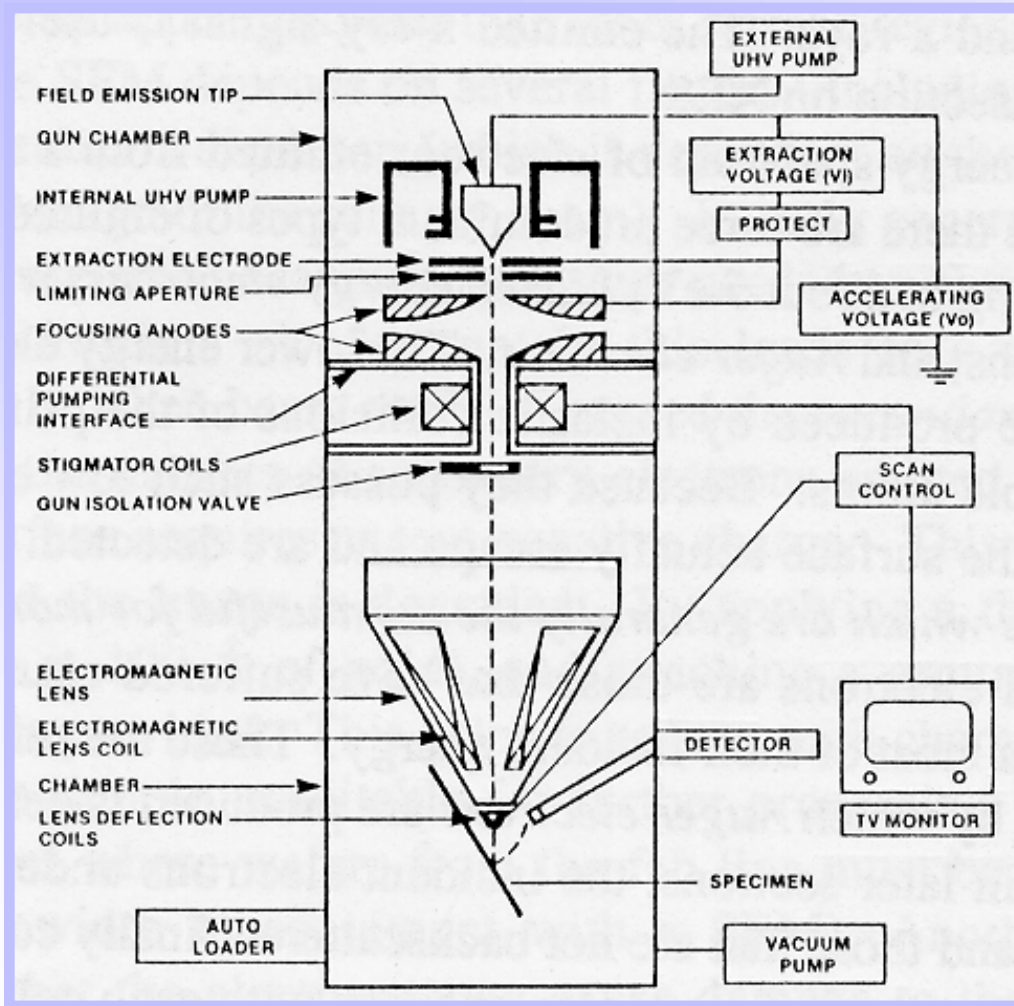


Instrumento de Análise	Feixe de Excitação	Radiação Analisada	Resolução (Horiz./Vertical)	Atmosfera	Principais Informações	Limite de Detecção
AES	Elétrons	Elétrons	(10nm/3nm)	Alto vácuo	-Elem > He -Concentrações -Espessuras -Imagem	~0,1-1% at. (semiquant.)
RBS	Íons	Íons		Vácuo	-Elem > C -Concentrações -Espessuras	~0,01-10% at. (quant.)
XRD	Raios-X	Raios-X		Atmosfera	-Fases -Orient. Crist. -Estresse -Tamanho de cristalito	—
SEM	Elétrons	Elétrons (Raios-X)	(5nm/8nm) (1-5 $\mu$ m)	Vácuo	-Topografia -Seção Transversal -Largura de Linhas (EDX: Elem. >F) WDX: Elem. >B)	~1% (EDX)
TEM	Elétrons	Elétrons	(0,08nm)	Vácuo	-Seção Transversal -Tamanho de crist. -Fases -Orient. Crist.	—
SPM	(Elétrons)	(Elétrons)	(0,1nm/0,001nm)	Vácuo/Líquido/ Atmosfera	-Perfis -Concentrações -Espessuras -Imagem	—
SIMS	Íons	Íons	(1 $\mu$ m/0,3nm)	Alto Vácuo	-Todos elem. -Isótopos, Moléculas -Concentrações -Espessura -Imagem	~0,001% at. (semiquant.)
FTIR	IV	IV	(10 $\mu$ m/100nm)	Nitrogênio	-Lig. polares -Estrut. Molecular -Concentrações -Espessuras	(quantitativo)

# Interação Elétron - Amostra



# Microscopia Eletrônica



[Wolf, 1986]



# Comparação Geral das Técnicas Abordadas no Curso

