

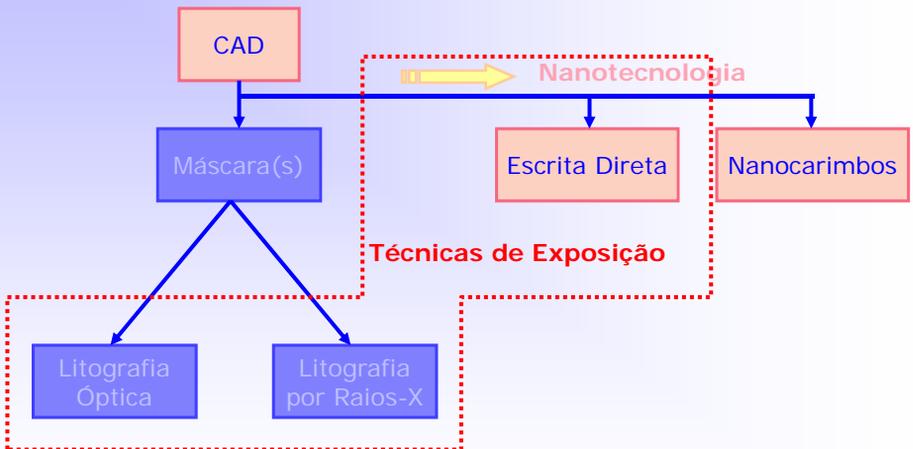


Processos Avançados de Microeletrônica

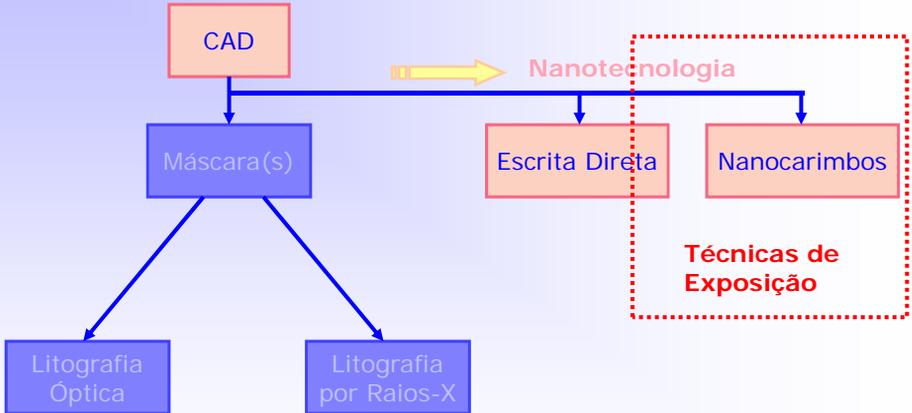
Litografia

Aula4

Prof. Dr. Antonio Carlos Seabra
Dep. Eng. de Sistemas Eletrônicos
Escola Politécnica da USP
acseabra@lsi.usp.br



Hoje



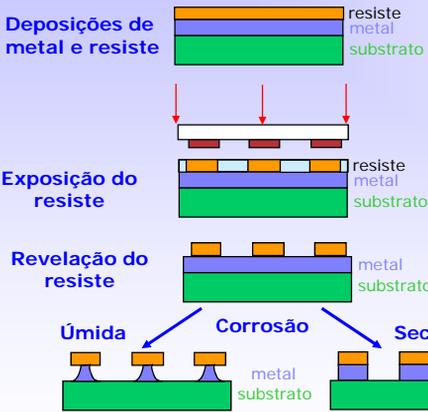
Litografia Top-Down

- Litografia Top-Down para Nanotecnologia
 - Litografia FE, FI, RX, Holografia
 - Processo Lift-off (com e sem sombreamento)
 - Processos de Máscara Embutida
 - Nanoimpressão
 - Varredura por Sonda
 - Processamento Litográfico
- Aplicações

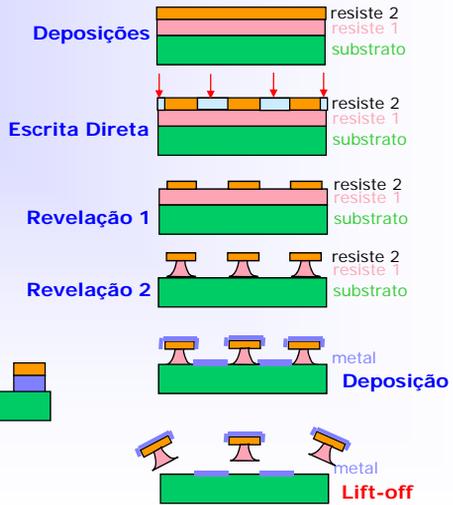


Lift-off

Processo Tradicional

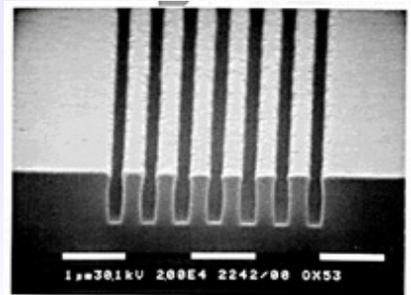
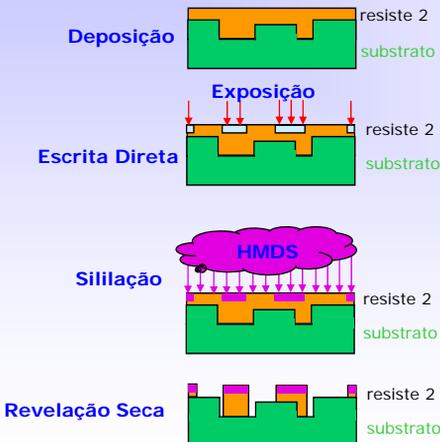


Lift-off



Processos de Máscara Embutida (BIM)

Sililação

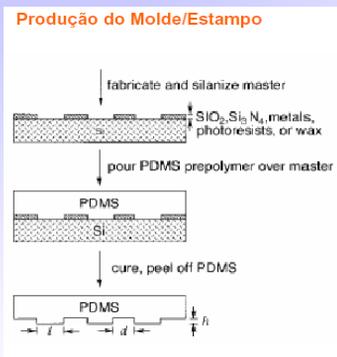


Nanoimpressão (nanocarimbos)

- Nanoimpressão é um tipo de impressão por contato onde as geometrias são geradas por deformação/transformação física ao invés de reações fotoquímicas
- Potencial
 - Produtividade
 - Resolução
- Dificuldades
 - Defeitos
 - Pouca capacidade de alinhamento



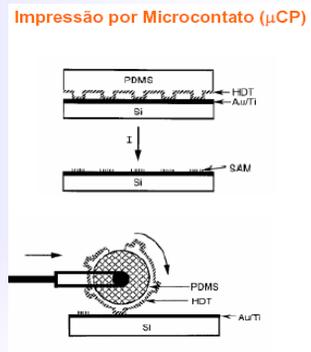
Nanoimpressão por Microcontato (μ CP)



PDMS – Poly(DiMethylSiloxana)

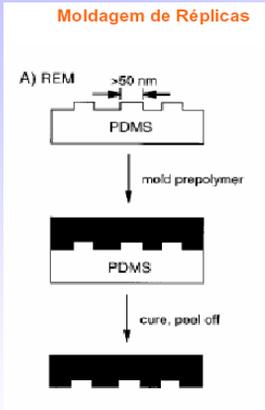
SAM – Monocamada Autoorganizada

HDT – HexaDecanoThiol

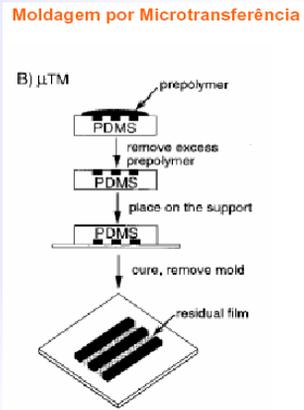


Nanoimpressão por Microcontato (μ CP)

Moldagem de Réplicas

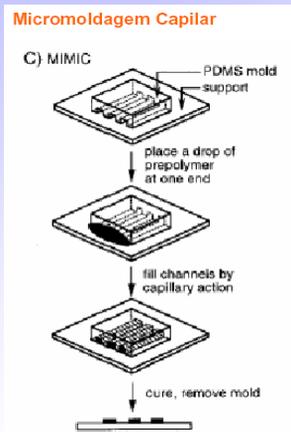


Moldagem por Microtransferência

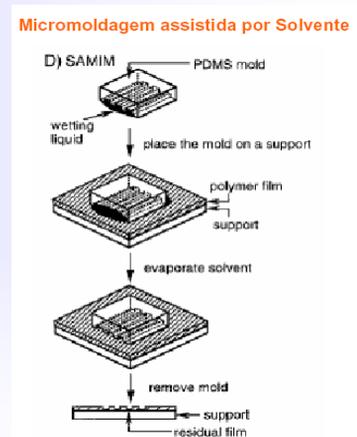


Nanoimpressão por Microcontato (μ CP)

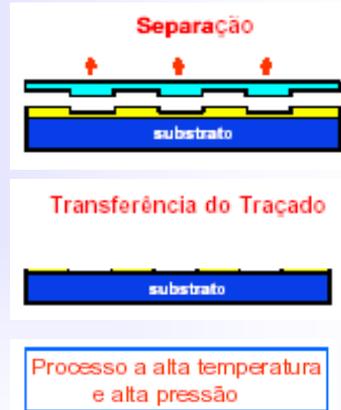
Micromoldagem Capilar



Micromoldagem assistida por Solvente

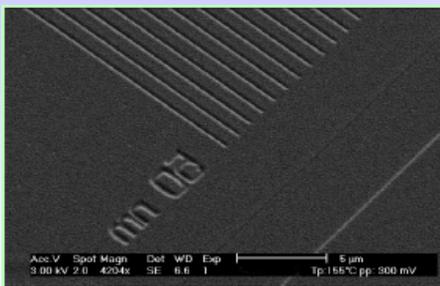


Litografia por Nanoimpressão (NIL)

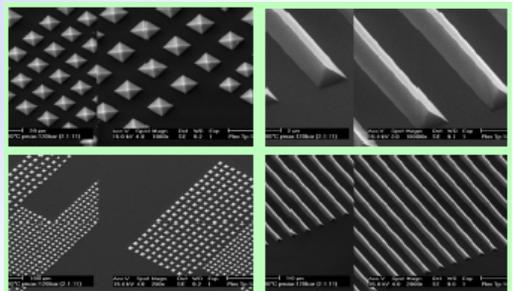


Resultados por Nanoimpressão (NIL)

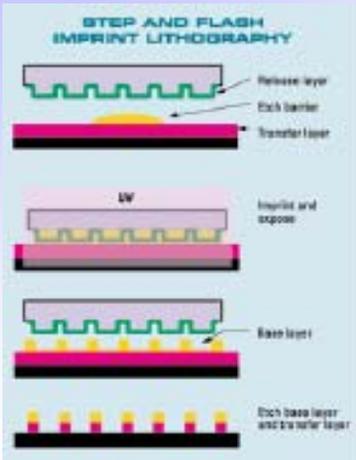
Linhas de 50nm



Estruturas 3D



Litografia de Impressão por Passo e Exposição (SFIL)

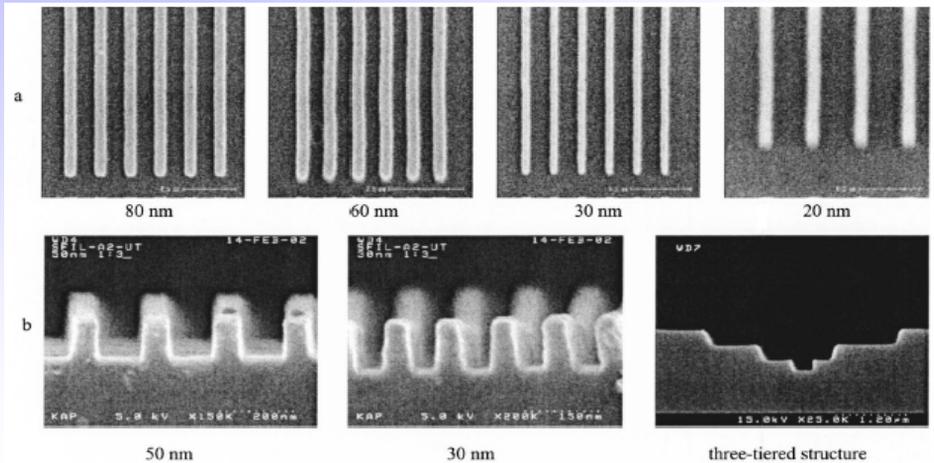


Processo a baixa pressão e baixa temperatura

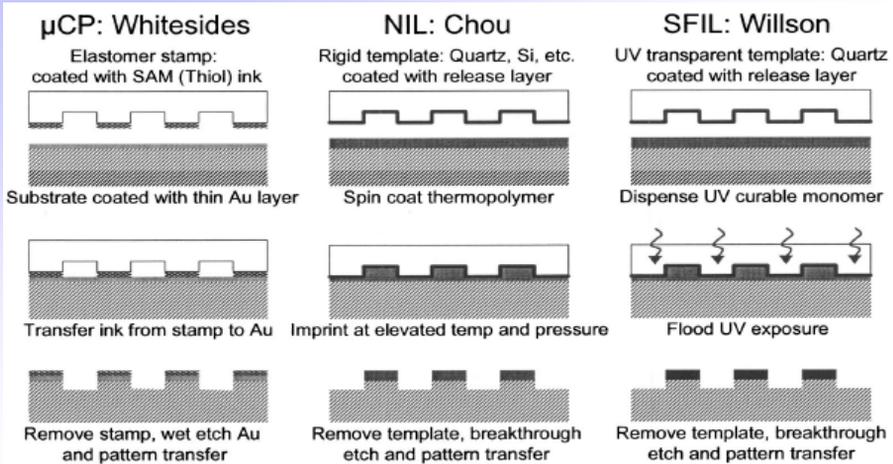


Nanoimpressão (SFIL)

SFIL (Resnick, 2003)



As três Técnicas Principais de Nanoimpressão



Equipamentos comerciais para nanoimpressão

- Molecular Imprints

IMPRIO 55 Lithography System

Research

The Imprio™ 55 system is literally shaping the future of nano-lithography. This entry level tool is based on the unique Step and Flash Imprint Lithography technology called S-FIL™.

The Imprio 55 delivers high resolution, moderate alignment, and 3-dimensional replication to customers seeking an affordable, small size, sub-50 nanometer lithography tool. The Imprio 55 is the perfect "le-beam amplifier". E-beam systems can now be used as pattern generators to create imprint templates, which in turn, enable researchers to replicate critical experimental structures in minutes with S-FIL, rather than in days with e-beam lithography.

The Imprio 55 is a cost-competitive, research-oriented nano-imprinter for universities and small laboratories. This tool is specifically targeted towards researchers studying basic science in the area of nanotechnology.

- Resolution: Sub-50 nanometers.
- Alignment: < 1 μ m, for (X, Y, and Rotation).
- Flexibility: Handles up to 200 mm wafers.
- Field size: up to 25 x 25 mm active print area.

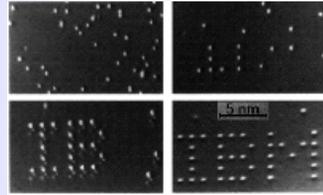




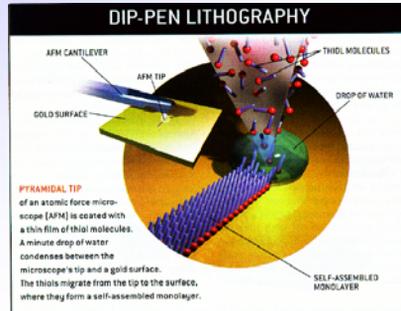
Litografia por Varredura de Sonda

- AFM, STM
 - Arraste
 - Pinçagem
 - Exposição
 - Dip-pen

(Eigler, 1990)



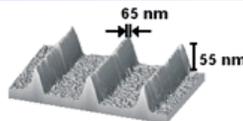
(Mirkin, 1999)



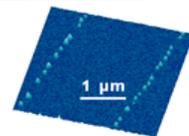
Litografia por Varredura de Sonda



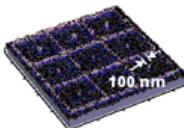
Conducting Polymers



Silicon Nanostructures

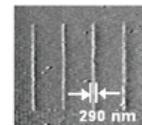
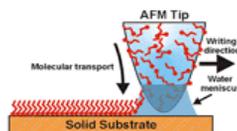


Single Nanoparticle Lines

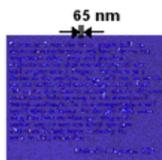


Protein Nanoarrays

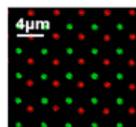
Dip-Pen Nanolithography



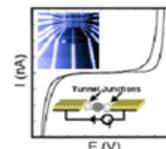
Sol Gel Templates



Small Organic Molecules



Ultrahigh Density DNA Arrays



Single Particle Devices



No Brasil

- Litografia por Feixe de Elétrons
 - Cenpra (feixe gaussiano, ~100nm, escrita direta?)
 - CCS-UNICAMP (feixe moldado, ~300nm)
- Holografia
 - Profa. Lucila Cescatto (IFGW-Unicamp)
- Microscópio Eletrônicos de Varredura Adaptados
 - USP
 - DEMA-UFSC
 - UFMG
 - UFPE

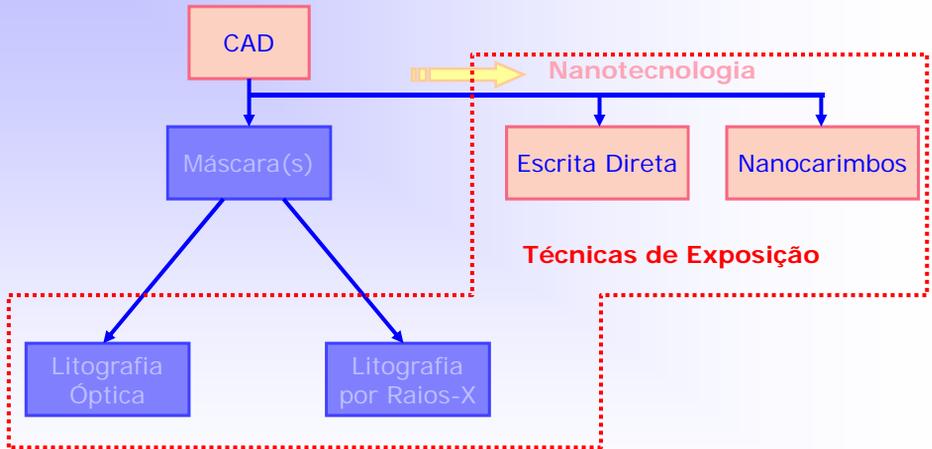


Litografia Top-Down

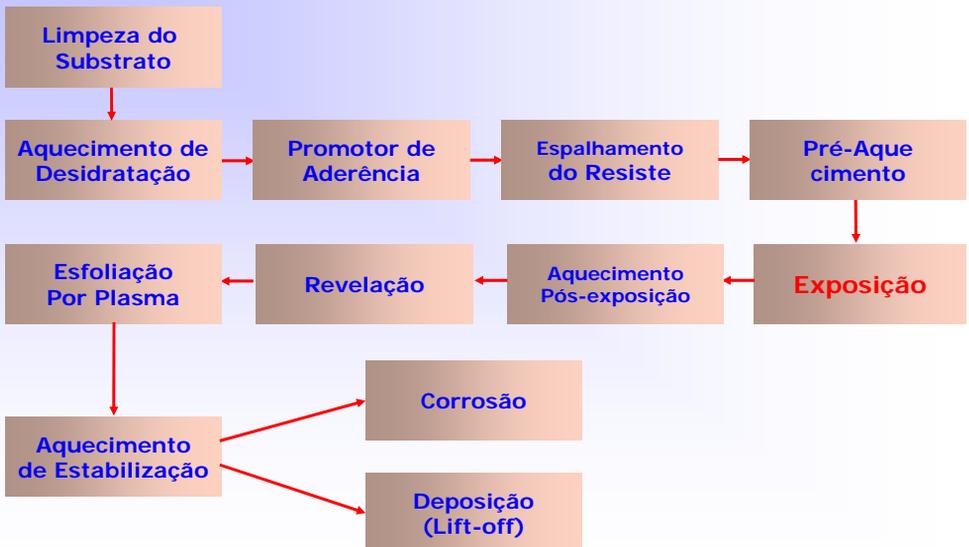
- Litografia na Indústria de CIs
 - Litografia Óptica
 - Litografia por Raios-X
- Litografia Top-Down para Nanotecnologia
 - **Preparação das amostras**
 - **Recomendações**
 - **Aplicações**



Até agora



Processamento Litográfico

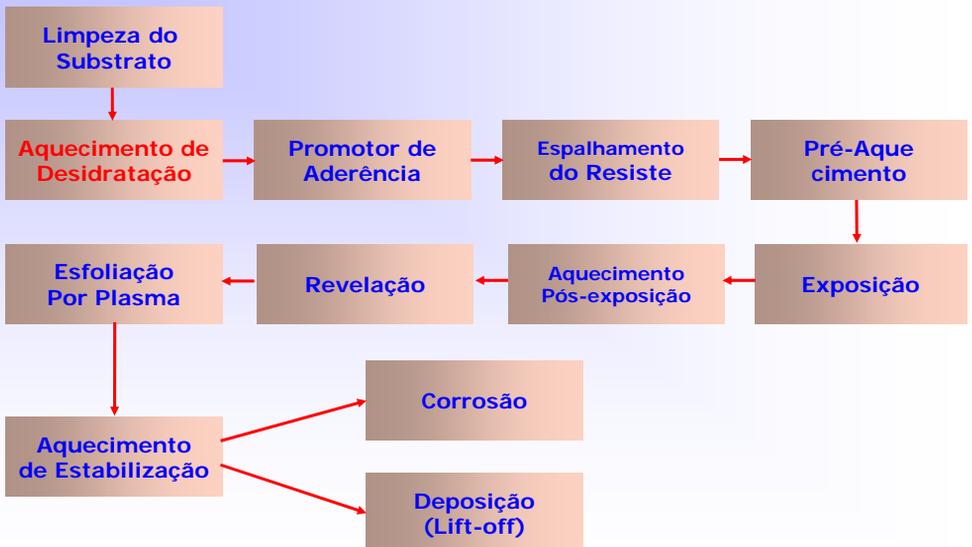


Limpeza do Substrato

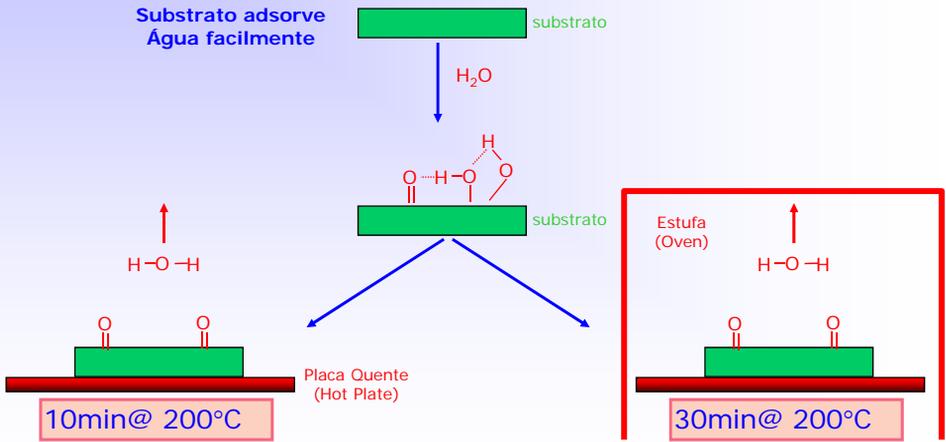
- Lâmina
 - nova: álcool isopropílico 5min@ 80°C
 - Se não, Inspecção do substrato em microscópio óptico
- Remoção de óxido nativo (p.ex. BOE 5s para Si)
- Limpeza com solventes:
 - Acetona PA 5min@ 80°C +
Álcool isopropílico 5min@ 80°C
- Se já foi processada com resiste
 - Remoção do resiste (Removedor apropriado / plasma de O₂)
 - Acetona PA 5min@ 80°C +
Álcool isopropílico 5min@ 80°C
- Inspecção do substrato em microscópio óptico



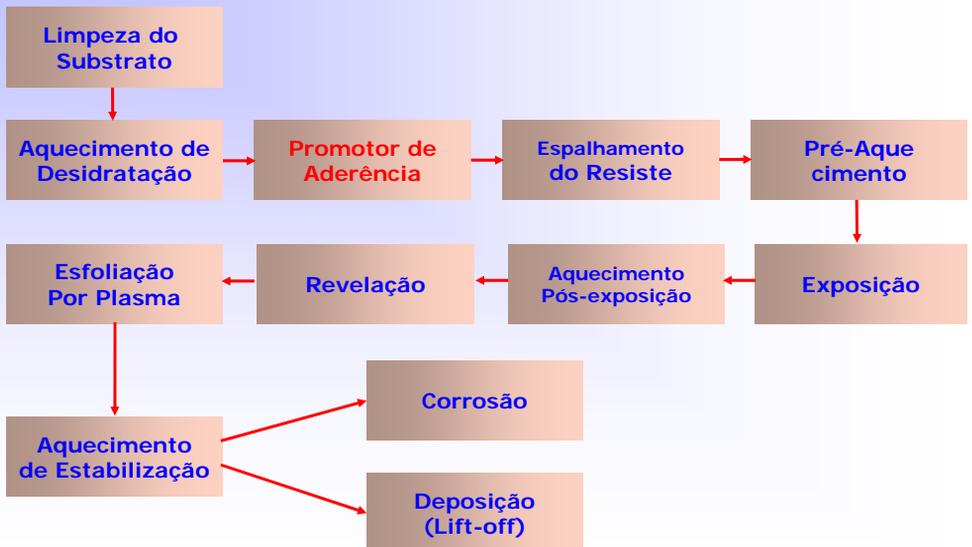
Processamento Litográfico



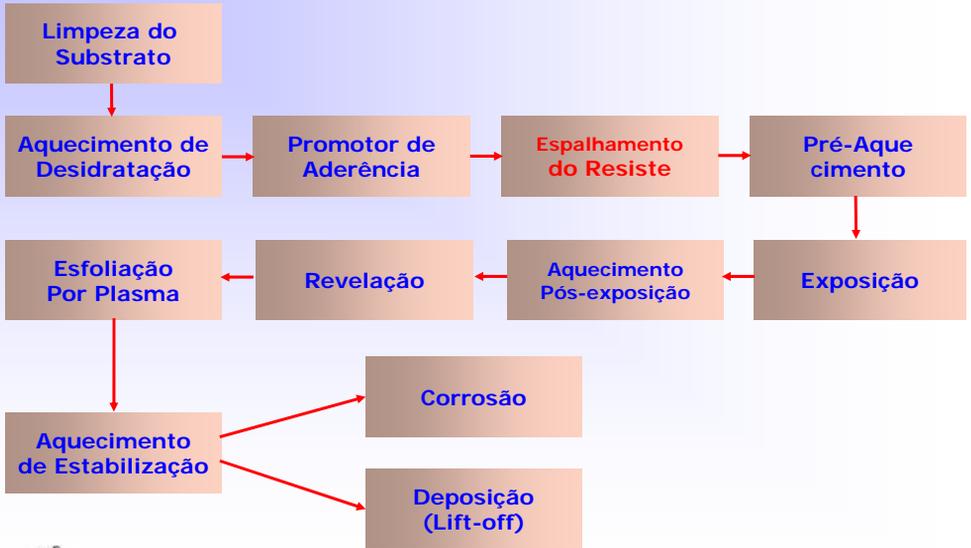
Aquecimento de Desidratação (Dehydration Bake)



Processamento Litográfico

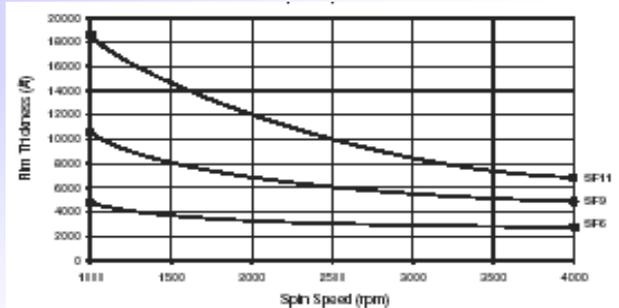
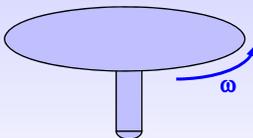


Processamento Litográfico



Espalhamento do Resiste (spinning)

- Seguir recomendação do fabricante, em geral na rotação adequada por 30 segundos



- A física de espalhamento do resiste é complicada e depende fortemente da taxa de evaporação do solvente utilizado. Por isso os fabricantes preferem utilizar sempre os mesmos solventes

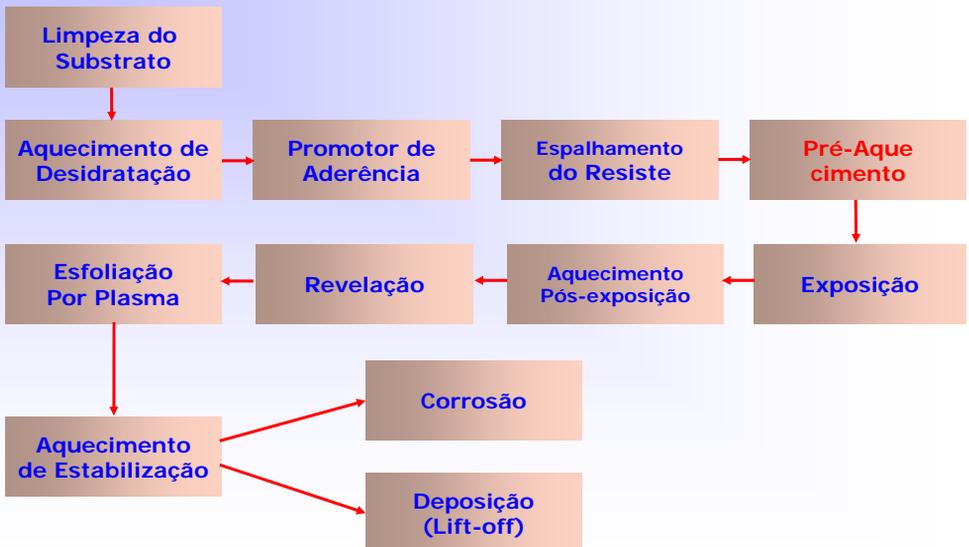


Espalhamento do Resistive (spinning)

- Amostras com diâmetros menores que 10mm não permitem uma cobertura uniforme com resistive.
 - Em GaAs isso é um problema
 - Se possível evitar amostras pequenas



Processamento Litográfico

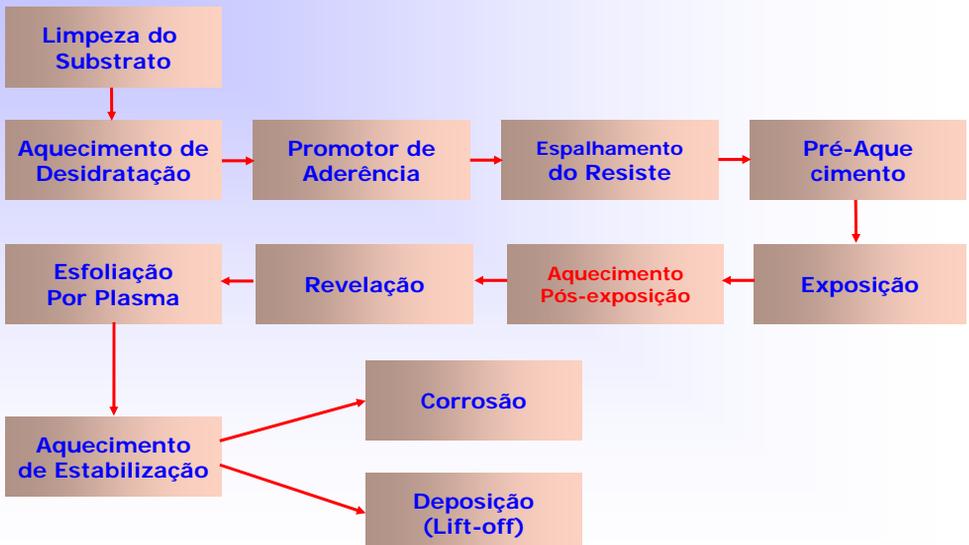


Aquecimento pré-exposição (prebake ou softbake)

- Utilizado para evaporar eficientemente o solvente do resiste.
- Consulte o fabricante sobre as condições adequadas, mas tipicamente é realizado por 1min@ 90°C em placa quente ou 30min@ 90°C em estufa.
- Resistes espessos ($> 5\mu\text{m}$) requerem que a lâmina volte à temperatura ambiente de forma lenta, preferencialmente sobre a placa quente, para evitar rachaduras no resiste

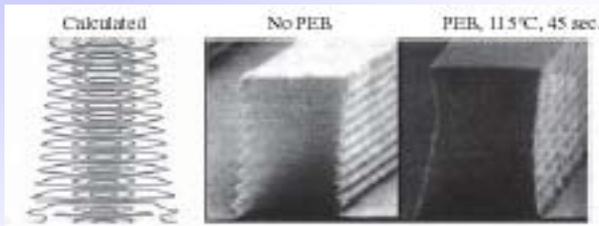


Processamento Litográfico



Aquecimento pós-exposição (post-exposure bake, PEB)

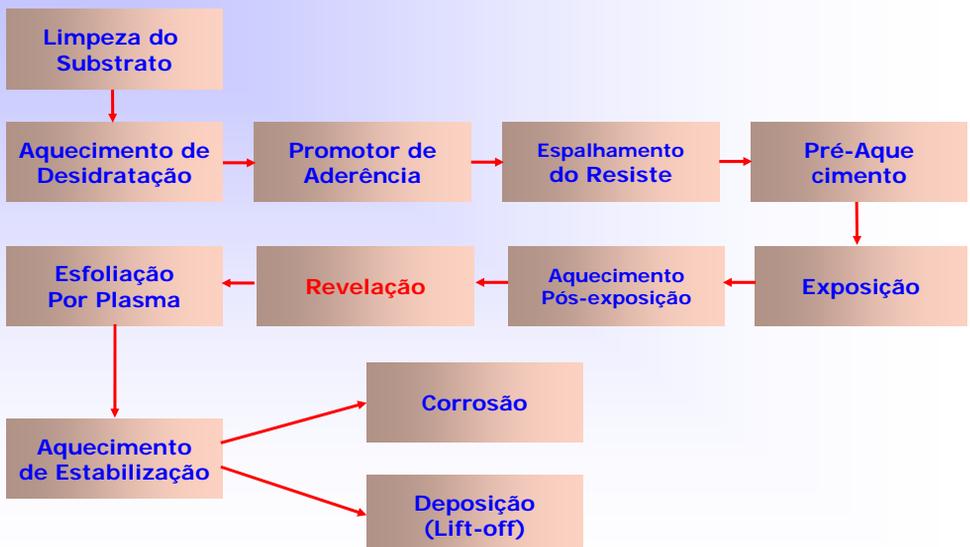
- Empregado para reduzir fenômenos de ondas estacionárias no resiste:



- Empregado para ativar reações químicas em resistes p/ DUV (248nm e abaixo) – Muito utilizados em LFE
- Resistes mais convencionais (PMMA, AZ, não necessitam desta etapa)



Processamento Litográfico

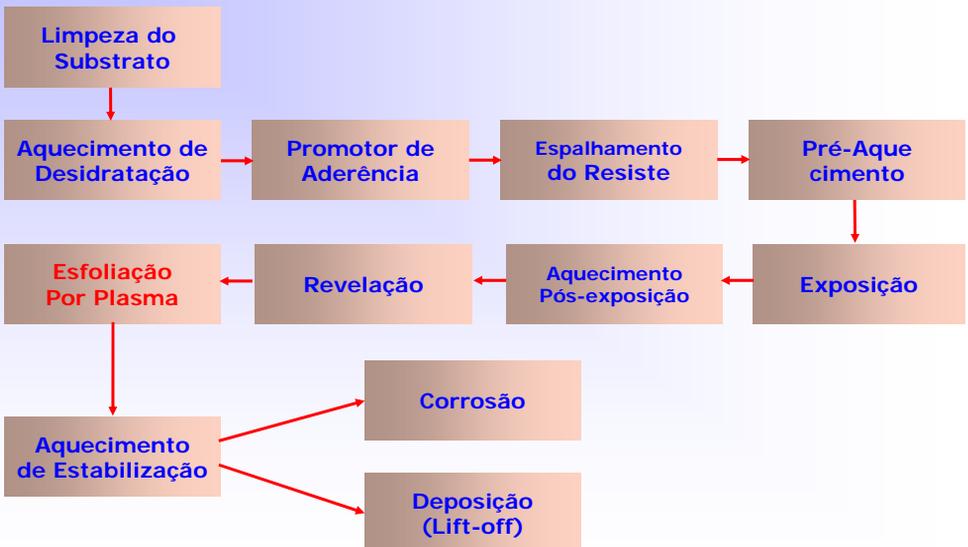


Revelação

- Quando adquirir o resiste, adquira também o revelador apropriado
- Solução alcalina. Soluções simples como NaOH (Shipley 351) ou KOH (AZ400K) podem ser utilizadas, mas devido à contaminação de dispositivos CMOS por íons móveis, reveladores MIF (isentos de íons metálicos) são utilizados. São em geral baseados em TMAH (MF312, 300-MIF) e podem conter surfactantes
- Cada revelador utiliza uma diluição própria para o resiste de escolha. Podem ser trocados até certo ponto mas convém acompanhar cuidadosamente alterações introduzidas no processo
- Muitos reveladores corroem alumínio



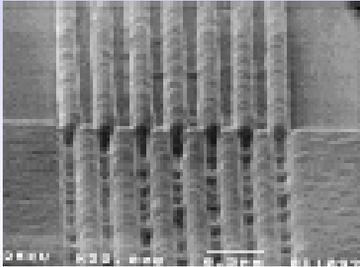
Processamento Litográfico



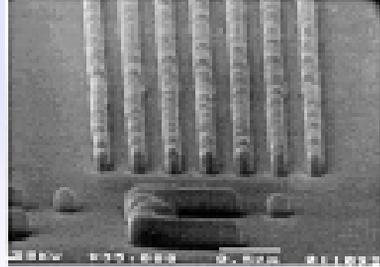
Esfoliação por Plasma (Plasma Flash)

- Plasma de O_2 , 5s

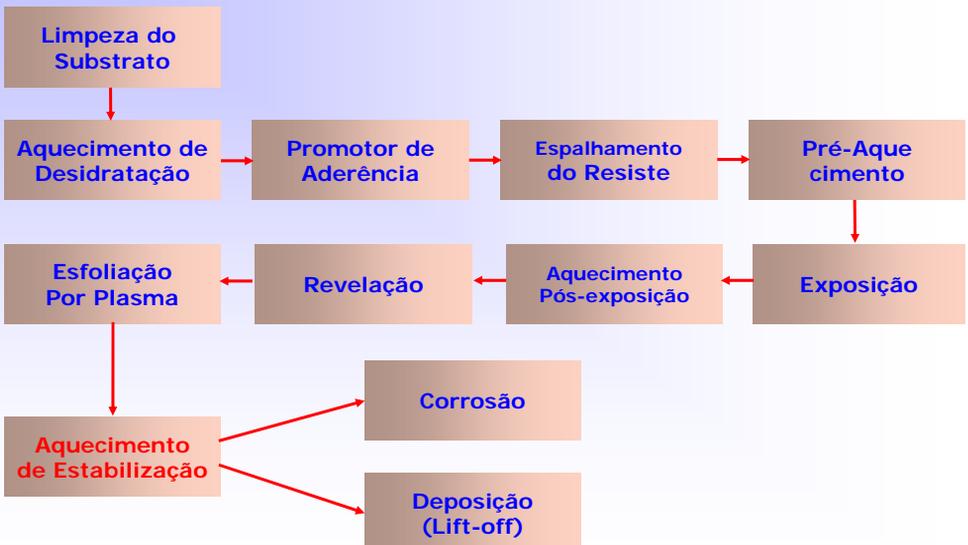
Antes



Depois

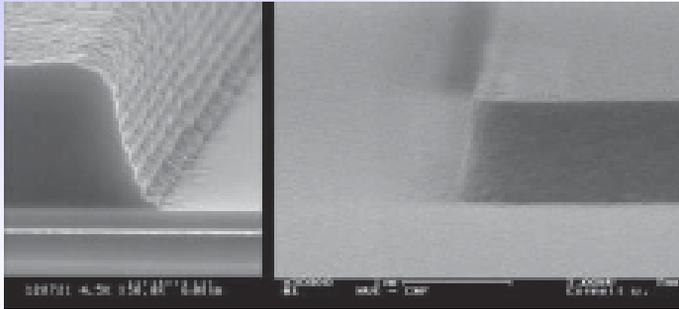


Processamento Litográfico



Aquecimento de Estabilização (hard-bake)

- Em geral utilizado para melhorar a resistência ao processo de corrosão (por plasma) posterior. Siga as recomendações do fabricante



Shipley 1813 no postbake

Shipley 1813 115°C 60 sec. Postbake

