



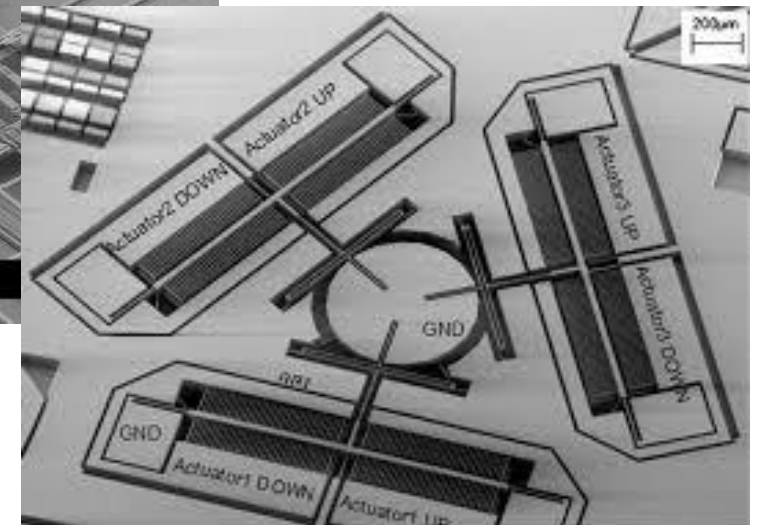
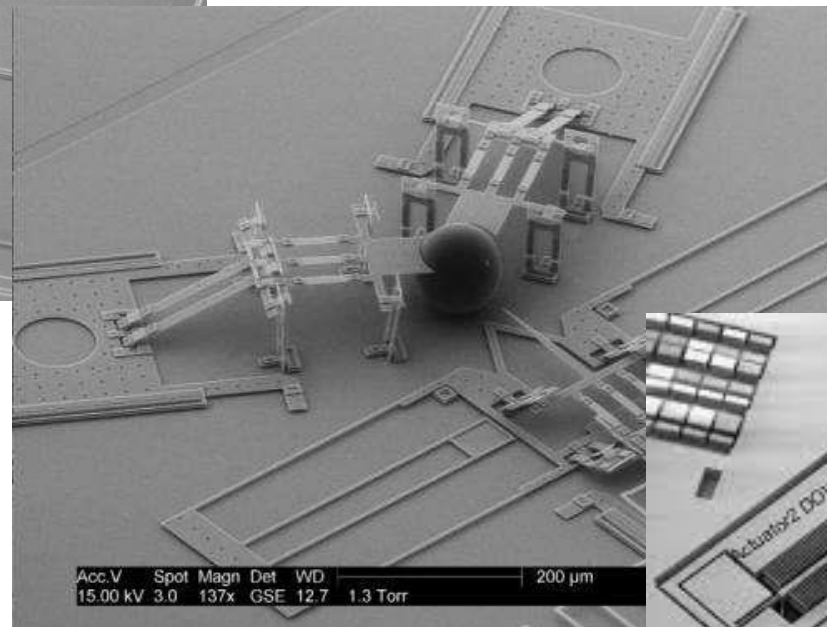
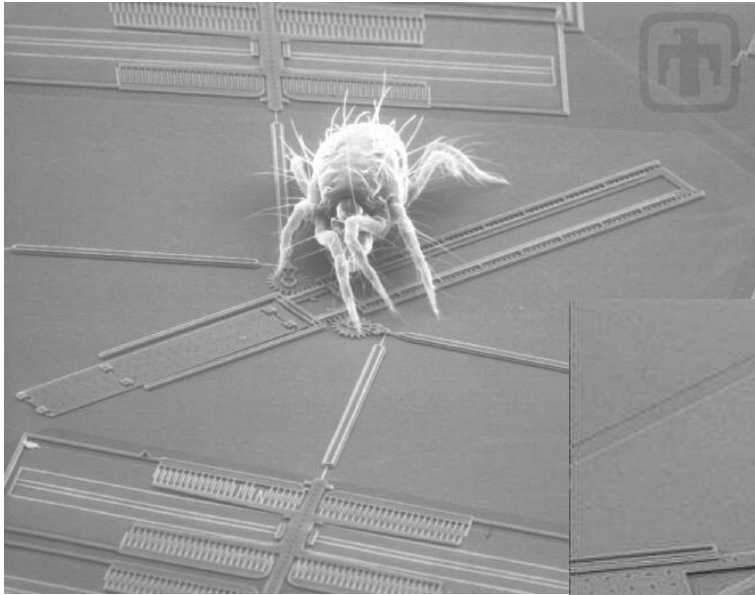
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMR 3301

**– Micro e Nano Fabricação –
2020.1**

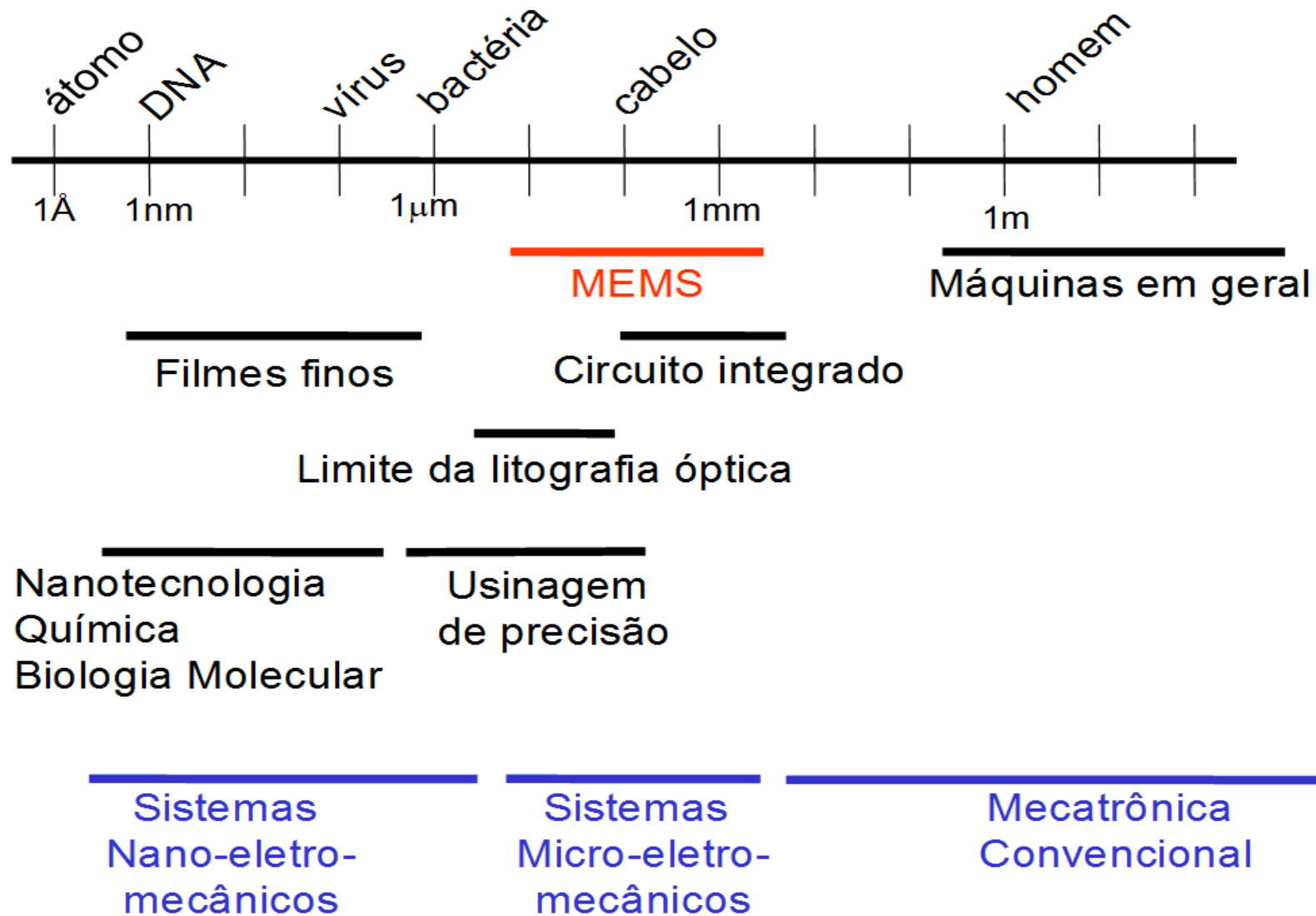


Introdução



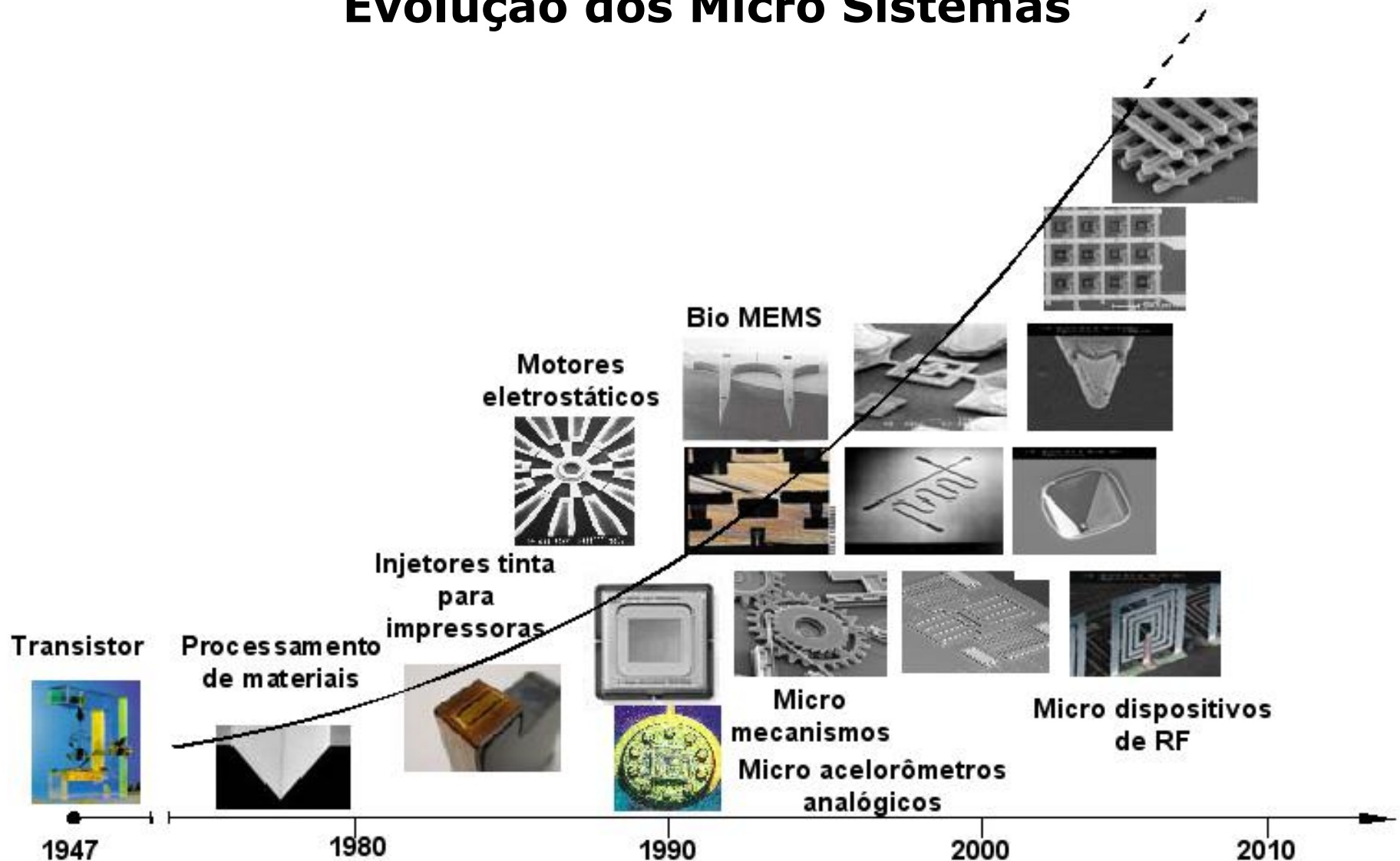


Meso – Micro – Nano – Angstrom





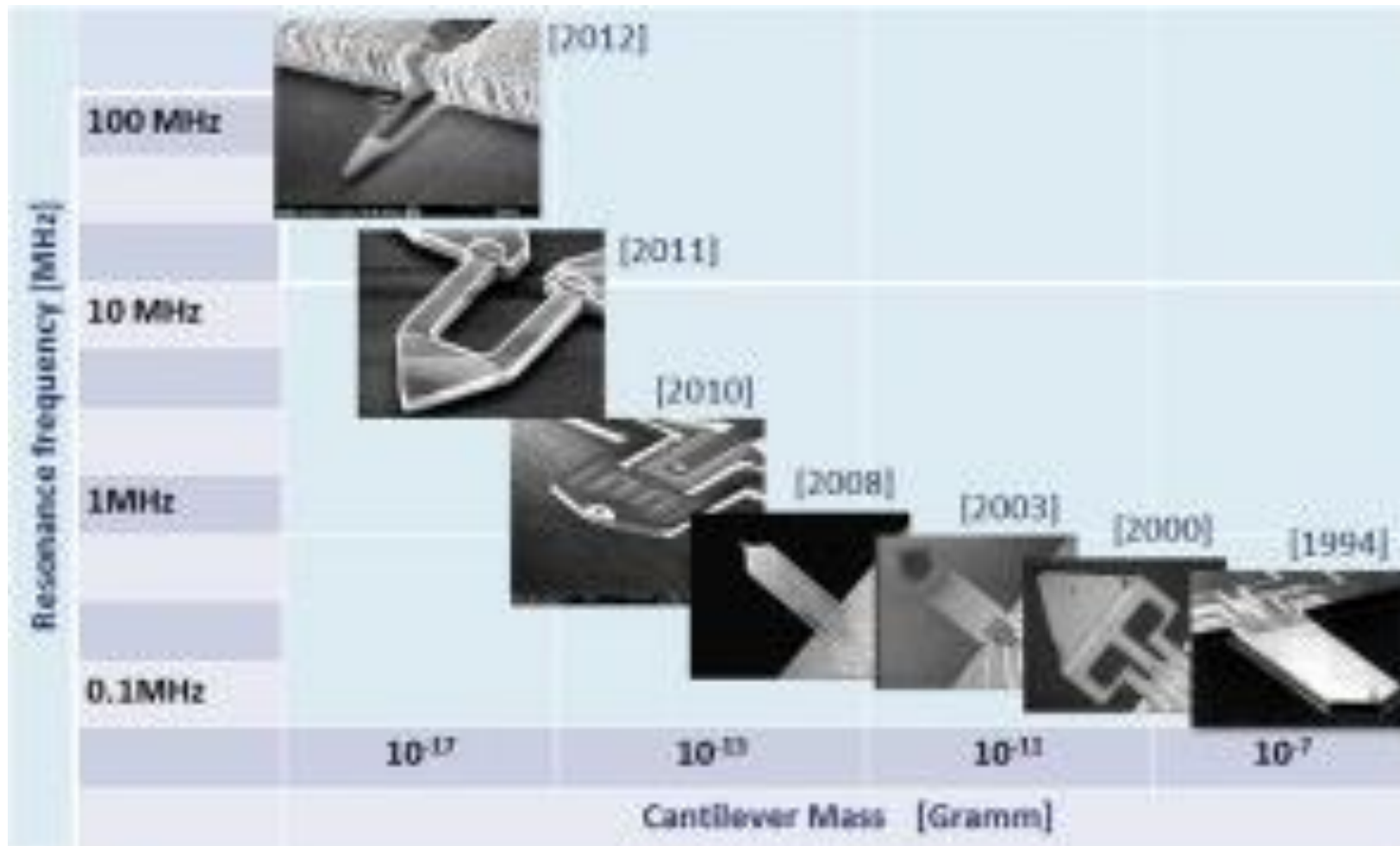
Evolução dos Micro Sistemas



Adaptado de Liu (2002)

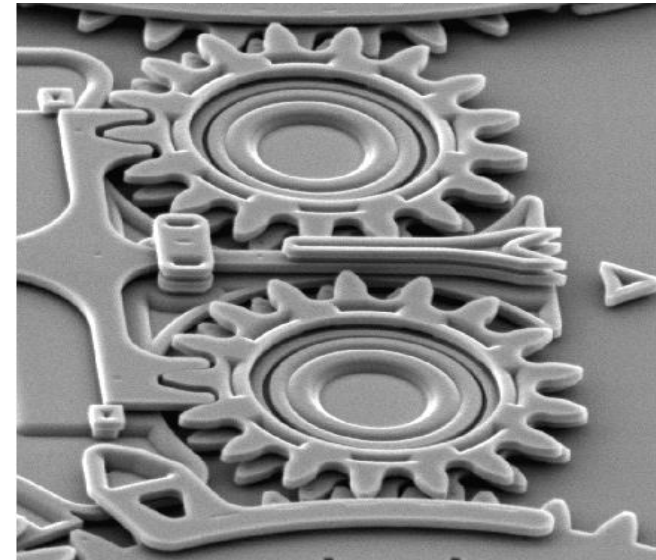
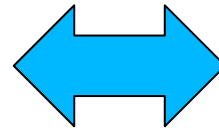
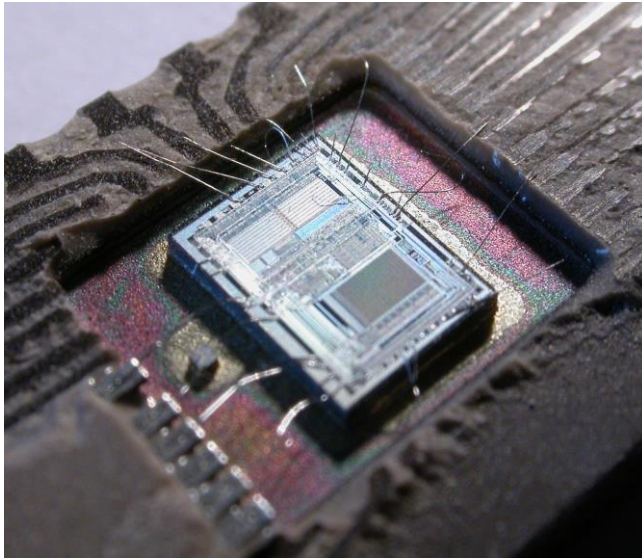


Evolução dos Micro Sistemas

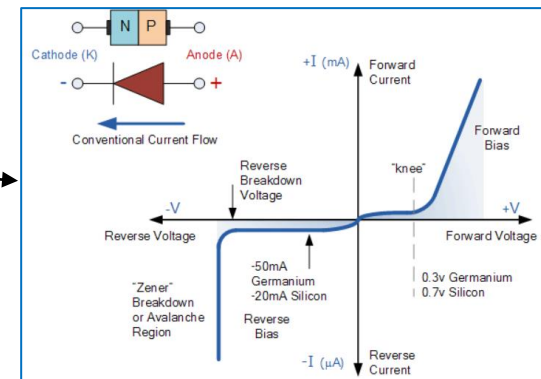




Circuitos Integrados (CI) e MEMS

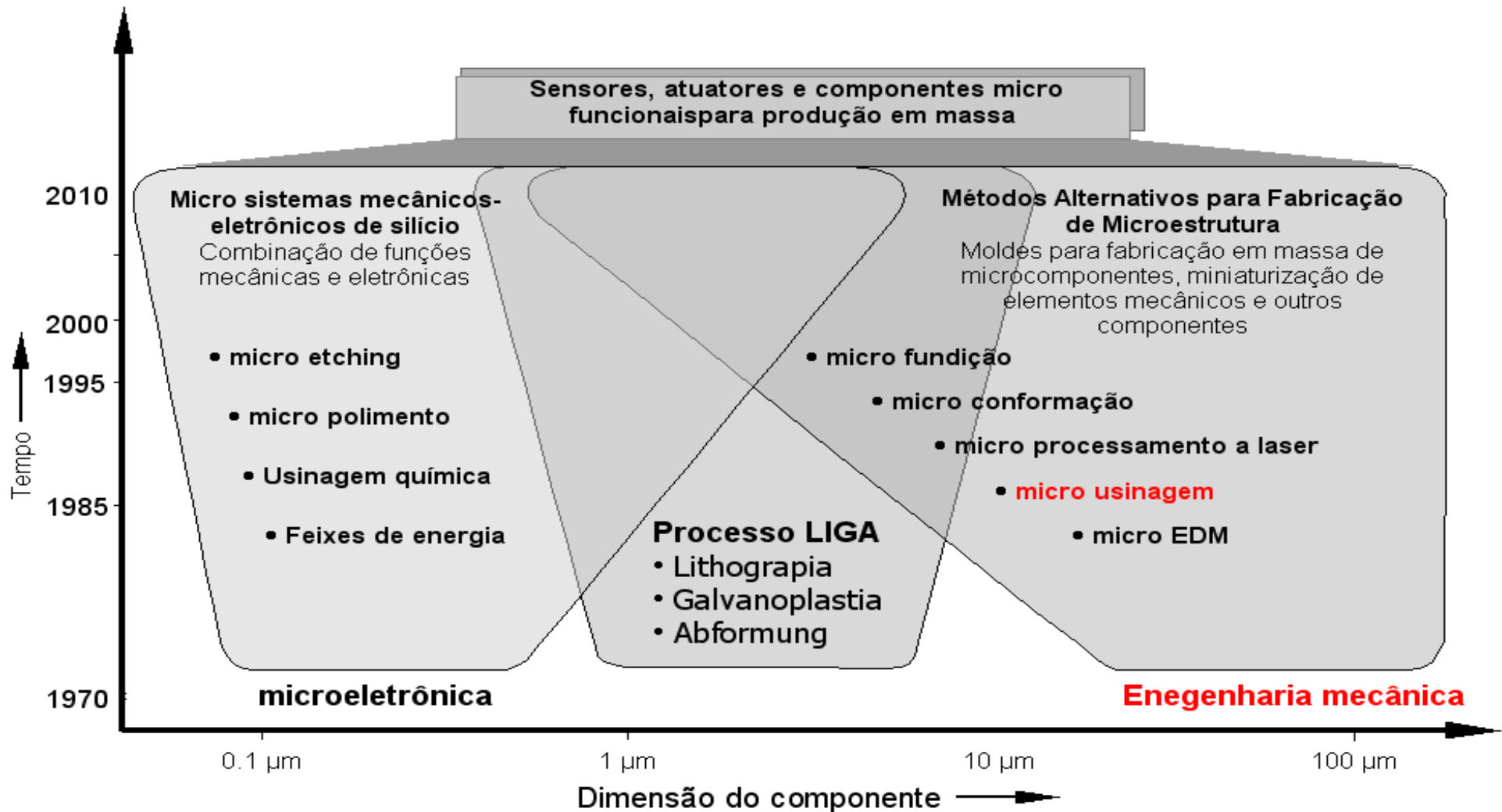


- Não são padronizadas (Ex. CMOS, BCMOS, etc.)
- Não tem junções p-n
- Materiais
- Partes móveis
- Etc.
- E sem roadmap



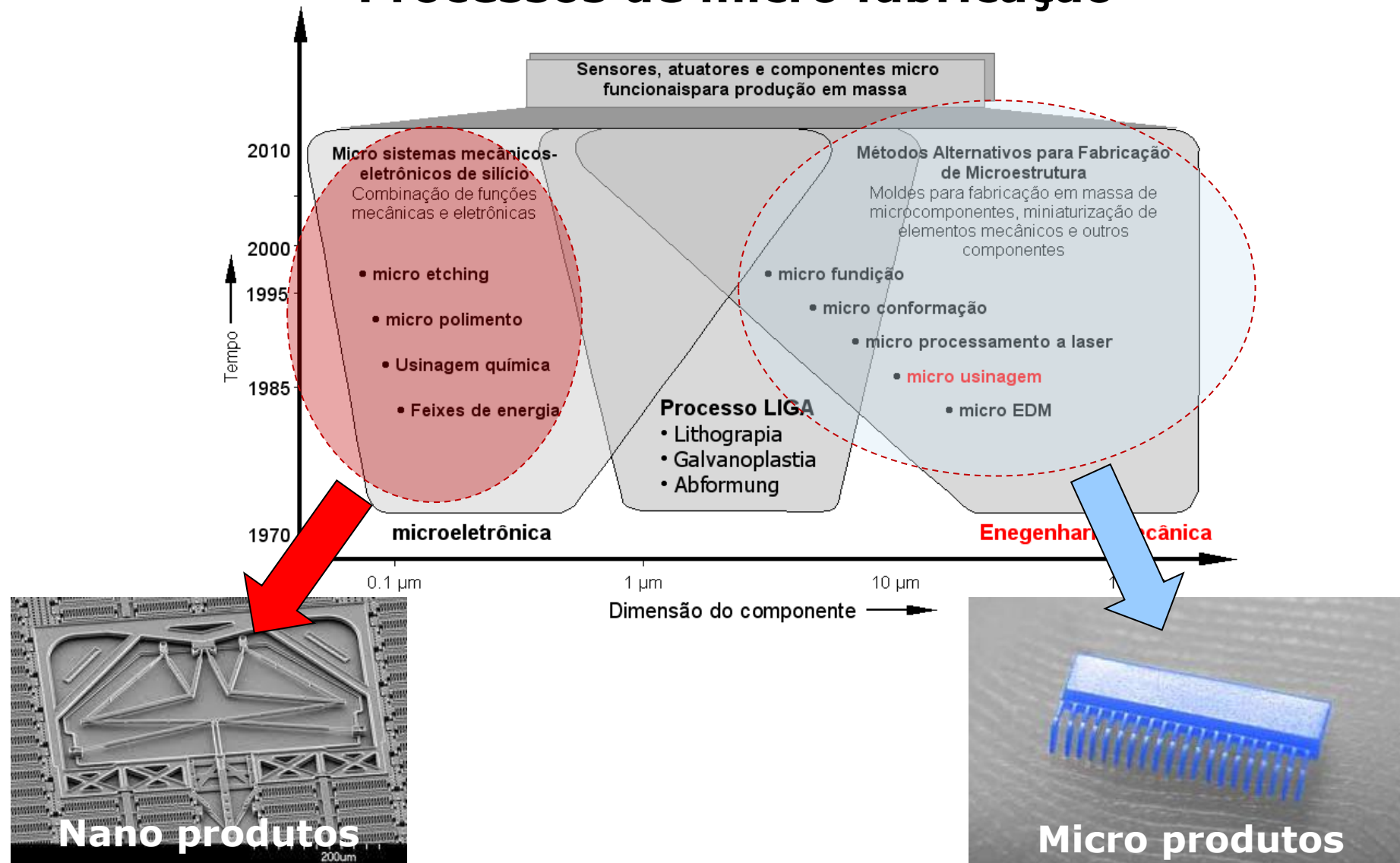


Processos de micro fabricação





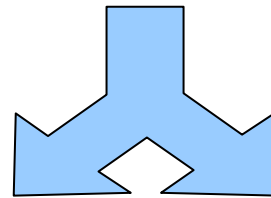
Processos de micro fabricação





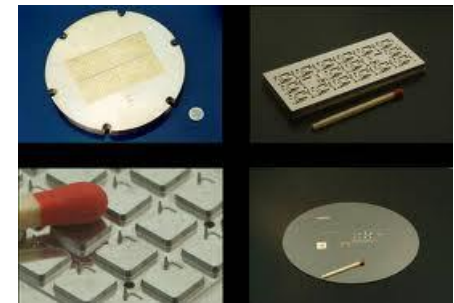
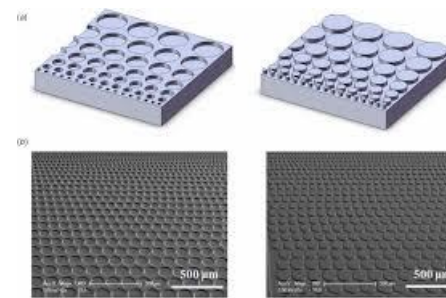
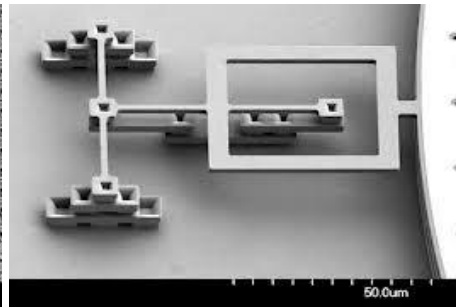
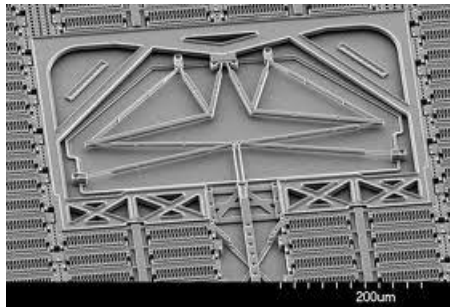
Processos de micro fabricação

micro fabricação



Tecnologias de
Micro Sistemas
(MST)

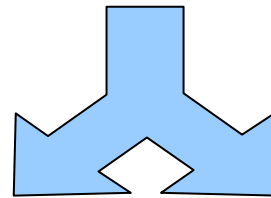
Tecnologias de
Micro Engenharia
(MET)



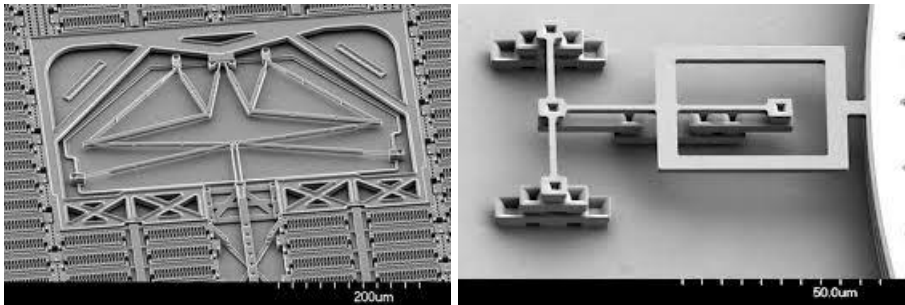


Processos de micro fabricação

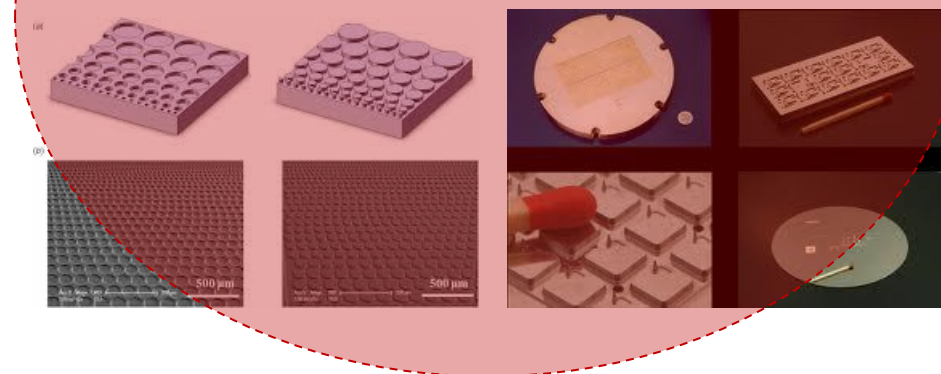
micro fabricação



Tecnologias de
Micro Sistemas
(MST)



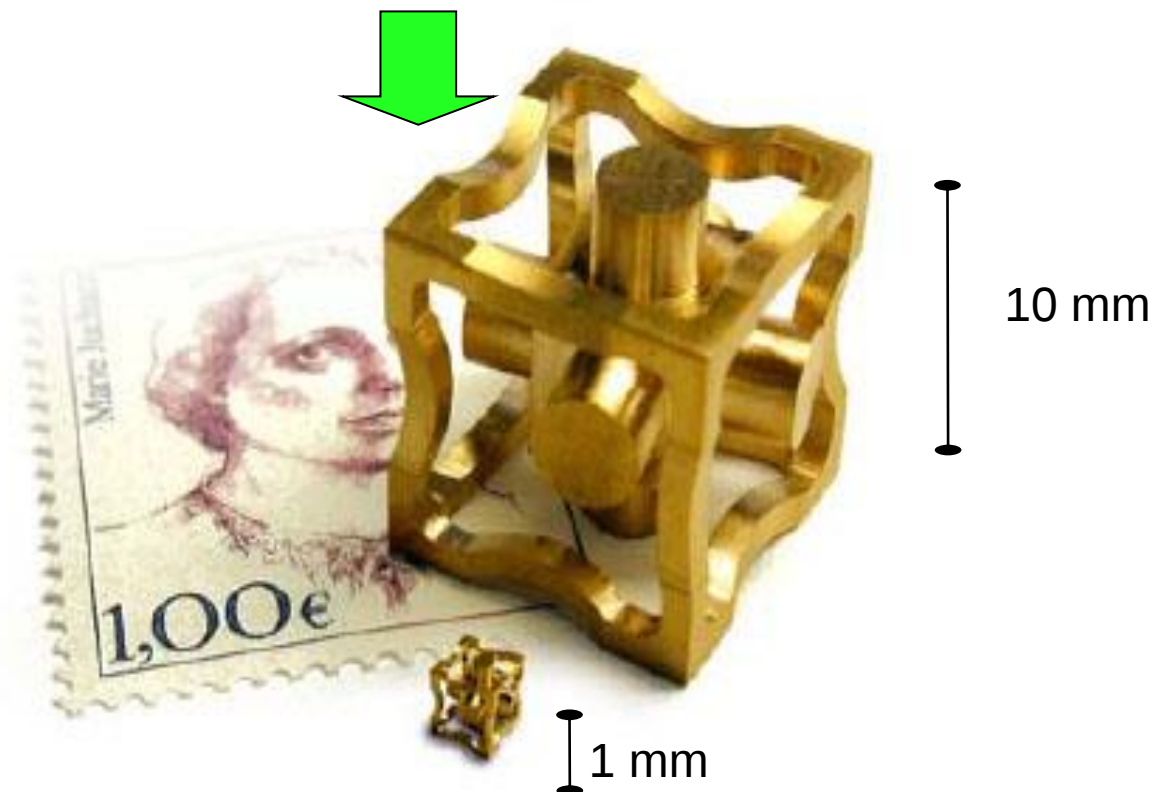
Tecnologias de
Micro Engenharia
(MET)





Processos de micro fabricação

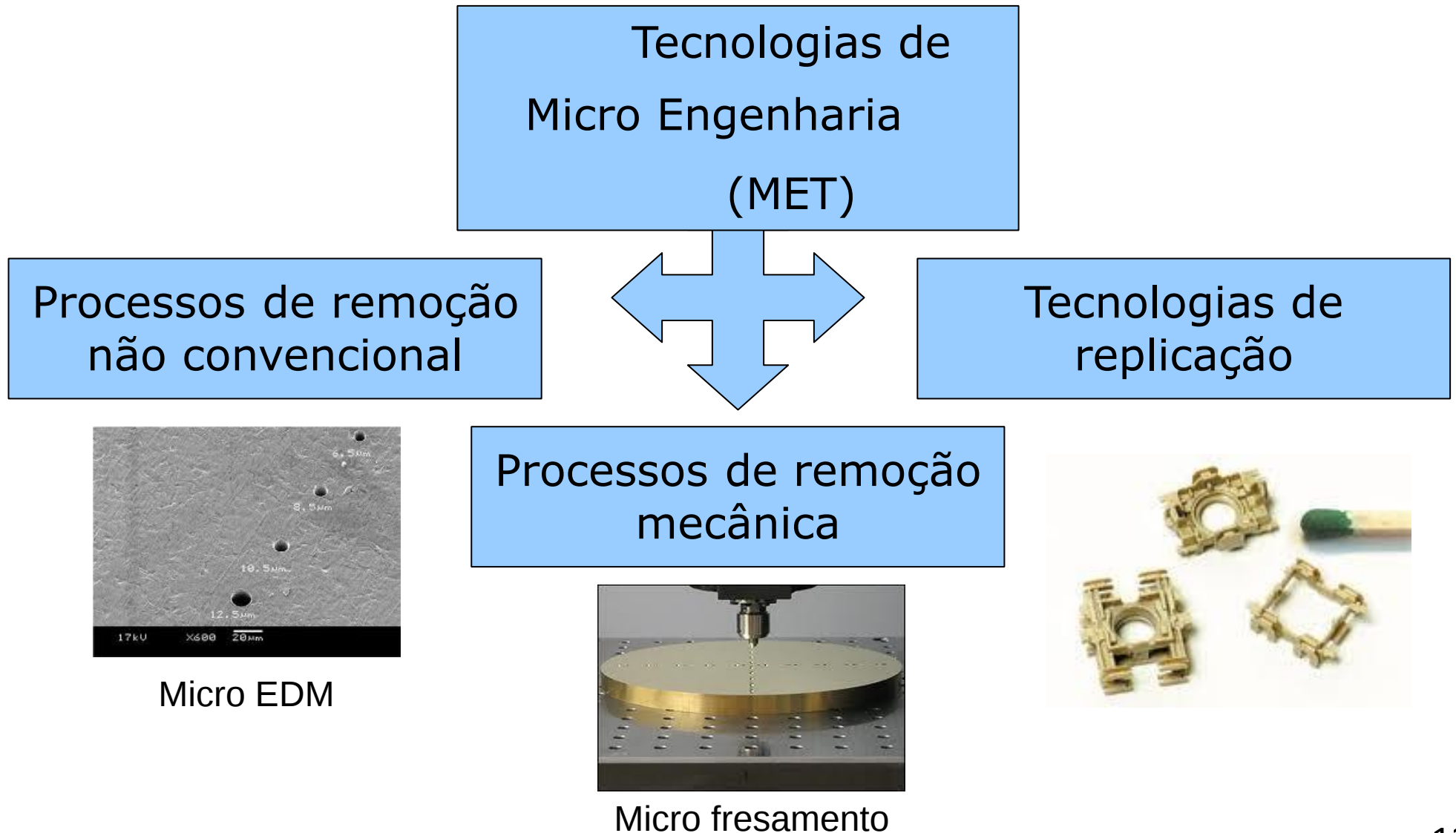
Tecnologias de Micro Engenharia
(MET)



<http://www.cnccookbook.com/CCNCNMillFeedsSpeedsMicroMachining.htm>

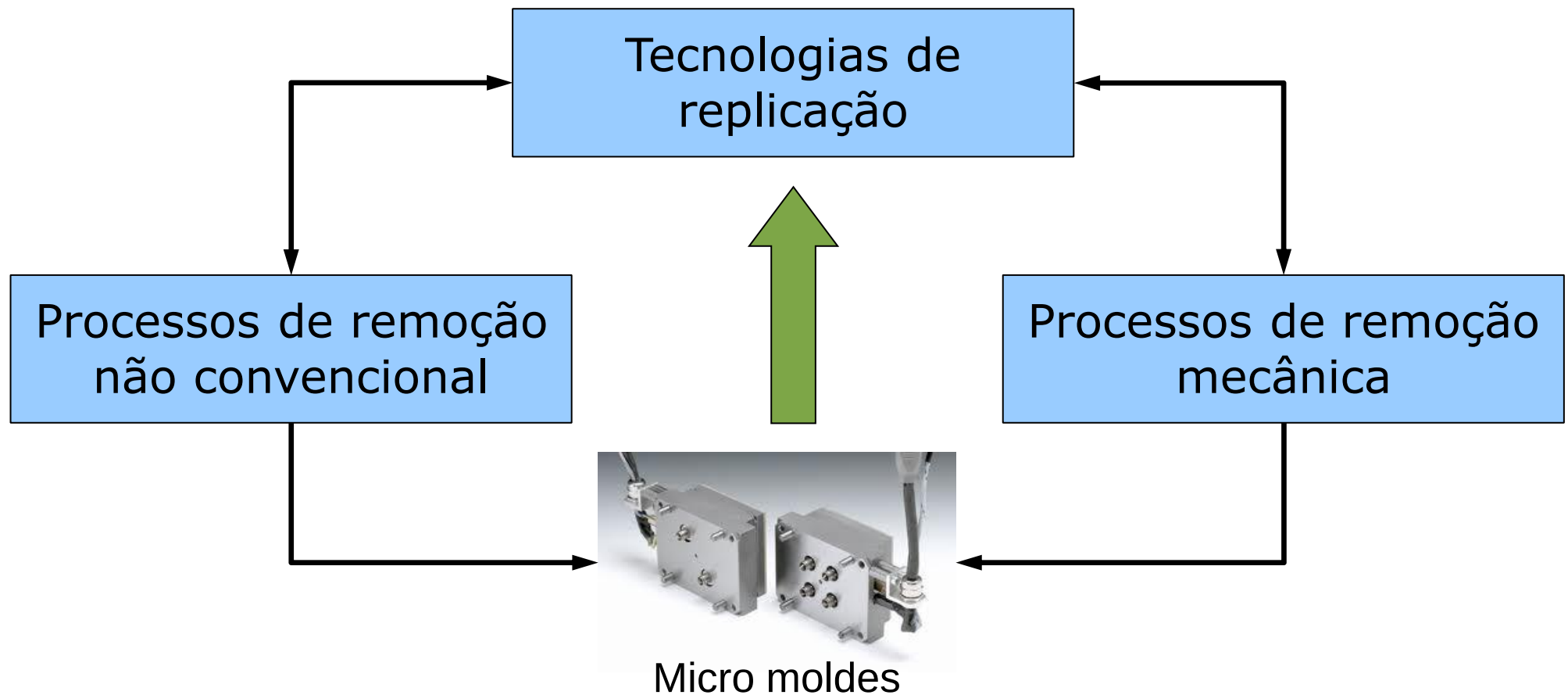


Processos de micro fabricação





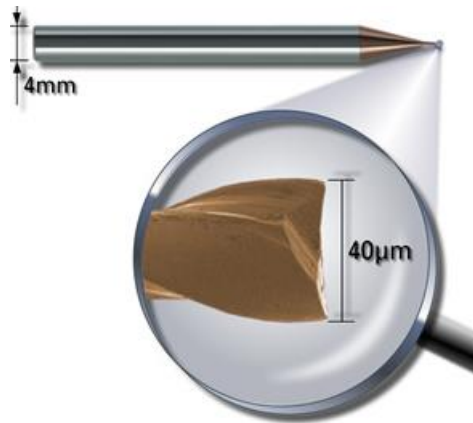
Processos de micro fabricação



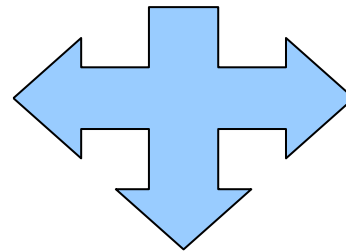


Processos de micro fabricação

Processos de remoção mecânica



Micro fresamento



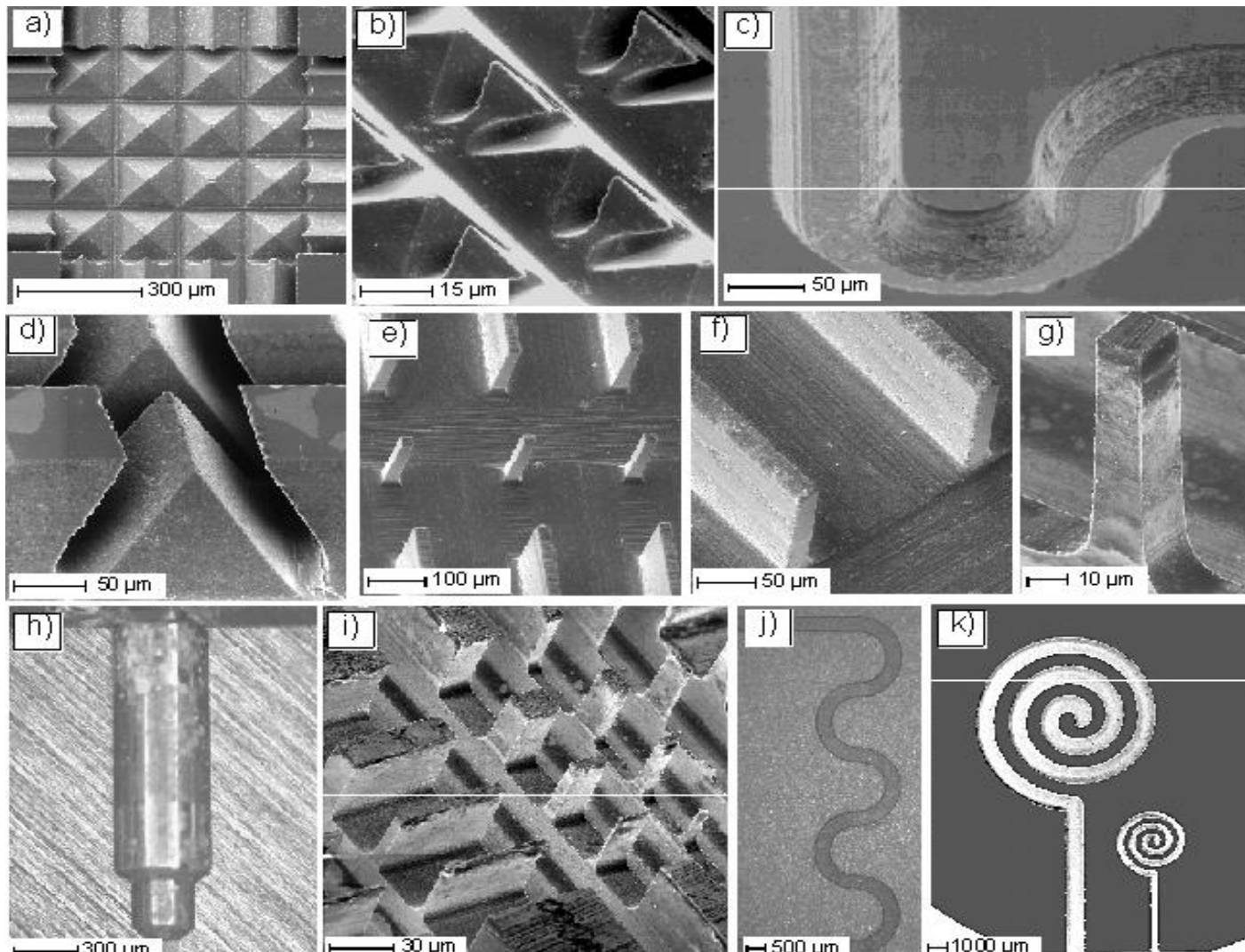
Micro furação



Micro retificação

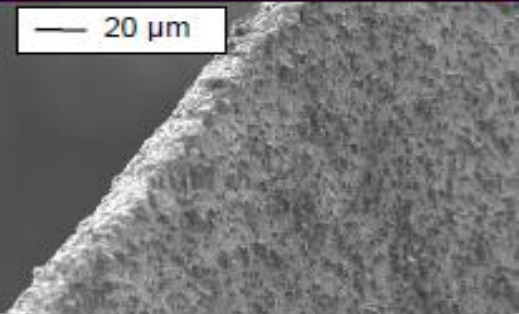
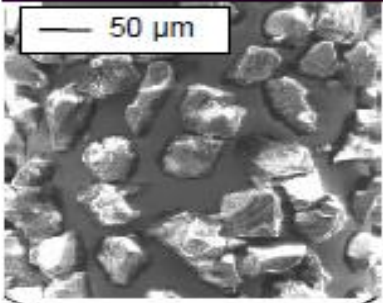
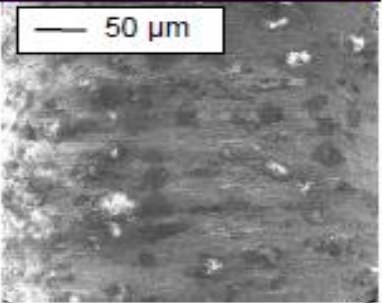
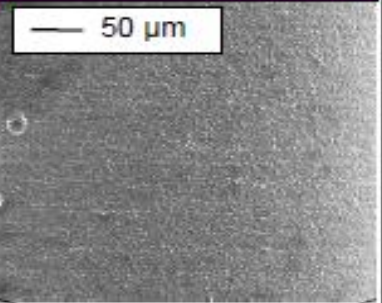
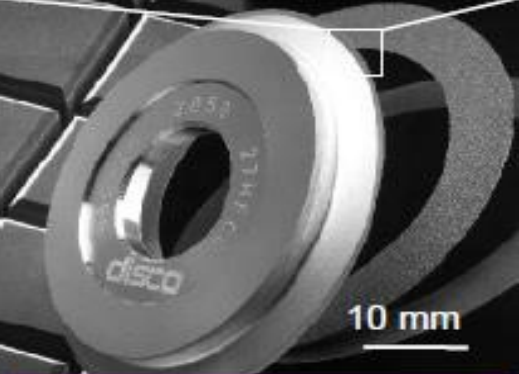
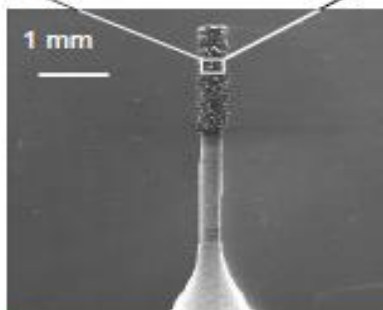
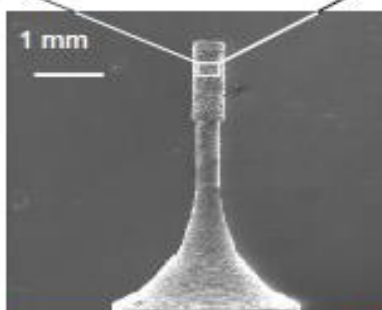
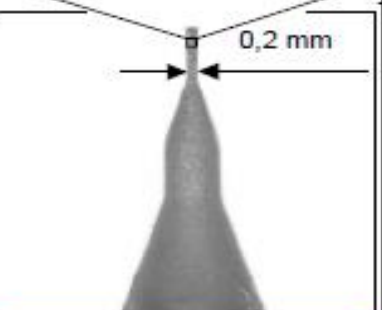


Técnicas de remoção mecânica - micro usinagem





Micro retificação

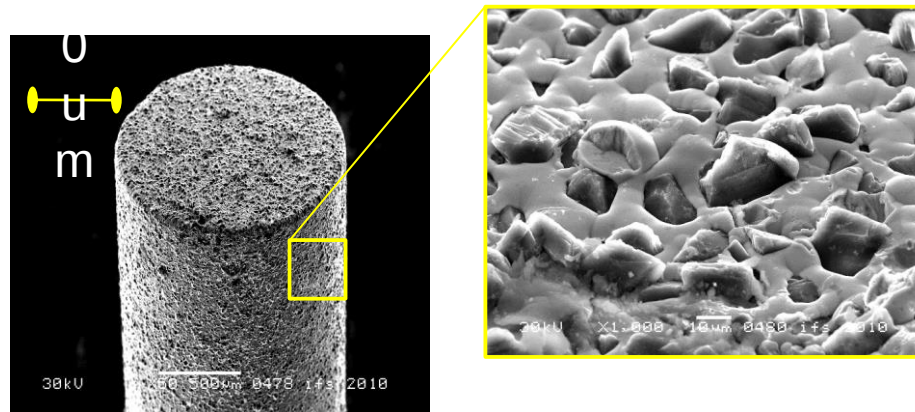
	Micro grinding-wheels	Micro grinding-pens		Tube-grinding-pen
Tools	Electro-plated 	electro.-plated 	sintered 	Diamond-layer 
Capabilities	 Micro grinding-wheel D 1/2-3	 diamond- grinding-pen D 64	 diamond- grinding-pen D 46	 CVD-diamond- grinding-pen D 2-6



Ferramentas de micro retificação

Electro-Plated Diamond Grinding Pins (Heson)

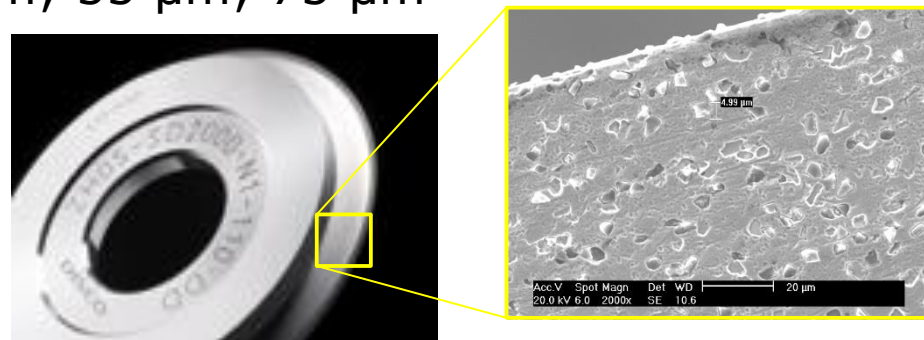
Tool Diameter: 0.5 mm; 1.5 mm; 3.0 mm



Electro-Plated Diamond Dicing Blades

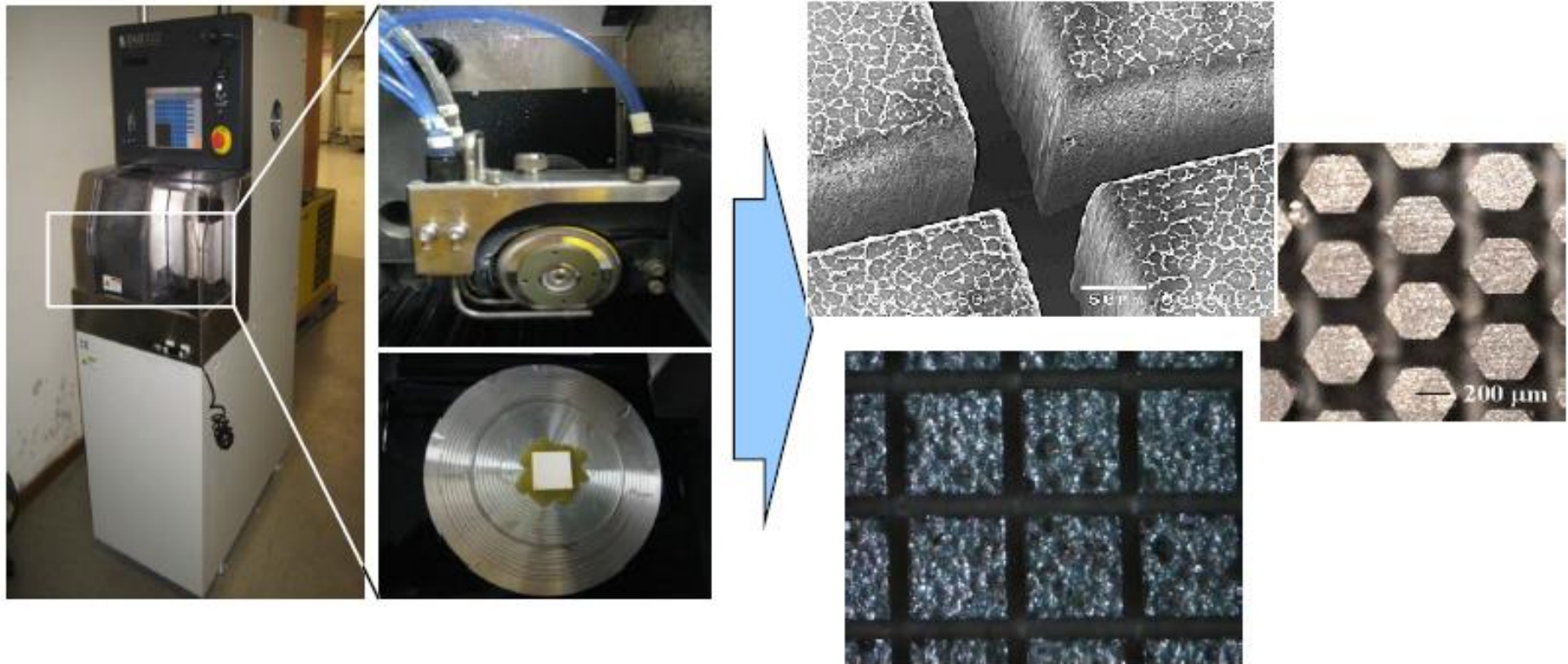
Outer diameter 55 mm

Thickness: 25 µm; 55 µm; 75 µm



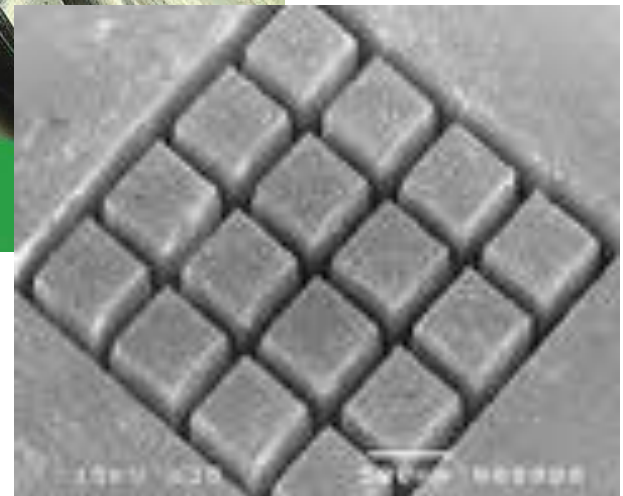


Possibilidades da micro retificação





Micro fresamento





Possibilidades da microfresamento



Filter mold



Gear mold



Hydro dynamic bearing punch



Electrode for insert chip



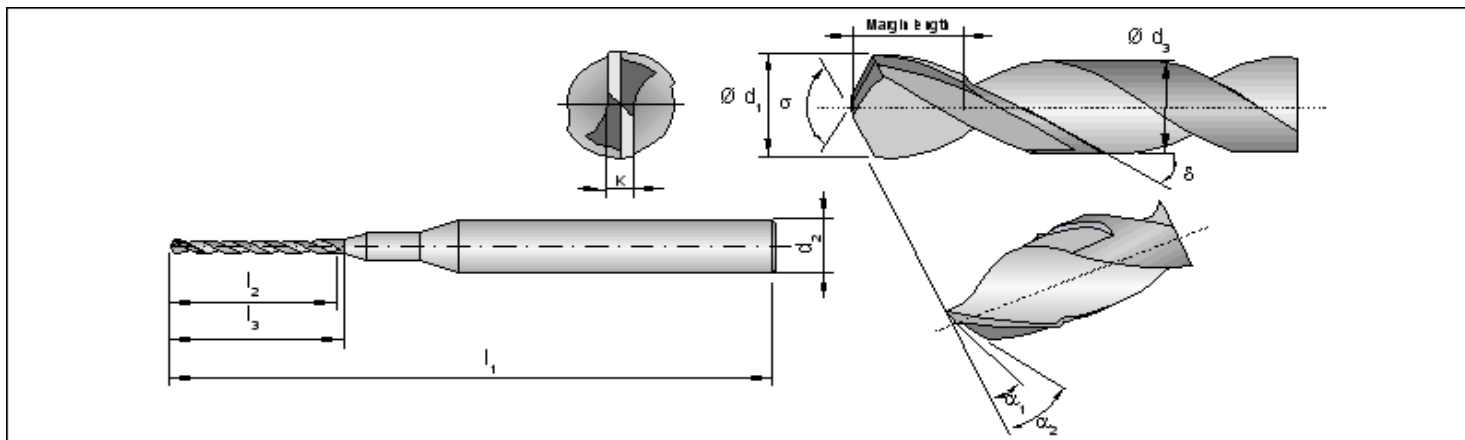
Reflector form



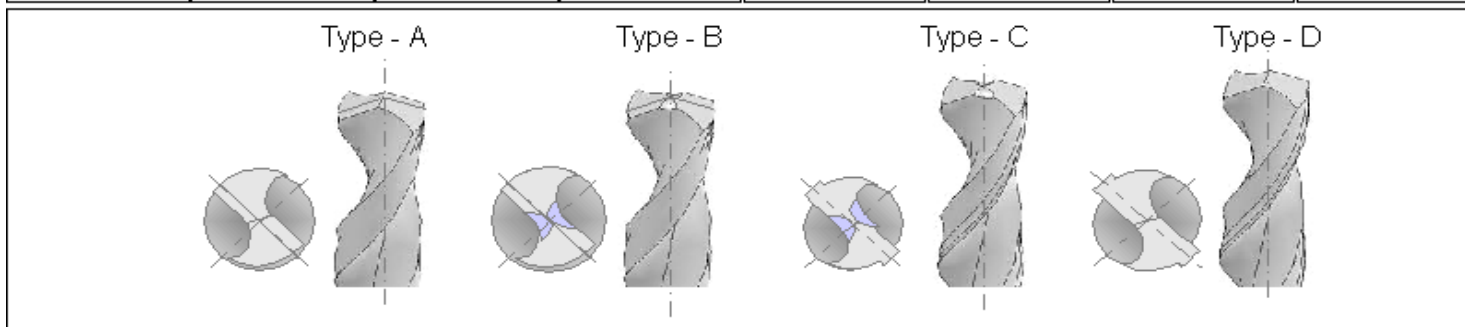
Gear punch



Micro furação com Brocas helicoidais

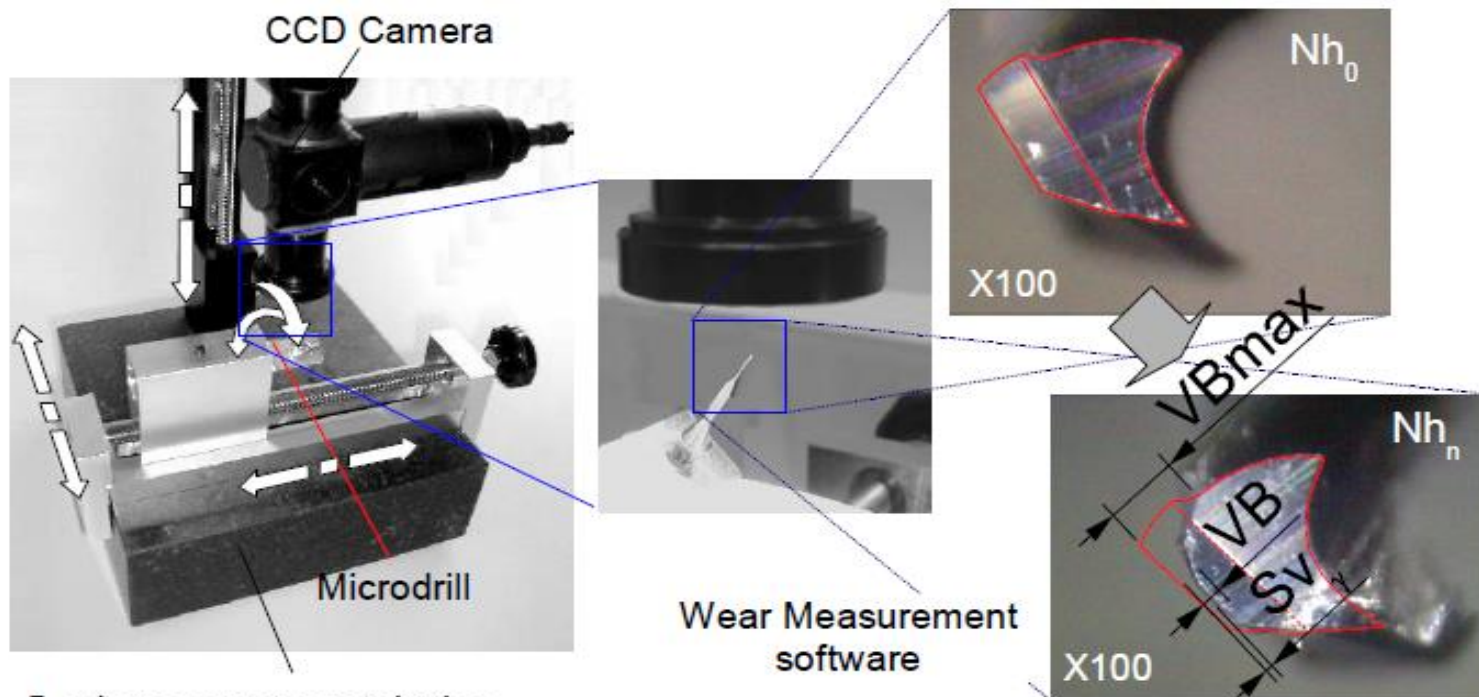


d_1 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	d_2 [mm]	σ	α_1	α_2	Type
0,5	38	7	3,175	$130^\circ \pm 5^\circ$	$15^\circ - 3^\circ$	$30^\circ - 3^\circ$	C-D
0,4	38	7	3,175	$130^\circ \pm 5^\circ$	$15^\circ - 3^\circ$	$30^\circ - 3^\circ$	C-D
0,3	38	7	3,175	$130^\circ \pm 5^\circ$	$15^\circ - 3^\circ$	$30^\circ - 3^\circ$	C-D
0,2	38	7	3,175	$130^\circ \pm 5^\circ$	$15^\circ - 3^\circ$	$30^\circ - 3^\circ$	C-D
0,1	38	7	3,175	$130^\circ \pm 5^\circ$	$15^\circ - 3^\circ$	$30^\circ - 3^\circ$	A-B
0,05	38	7	3,175	$130^\circ \pm 5^\circ$	$15^\circ - 3^\circ$	$30^\circ - 3^\circ$	A

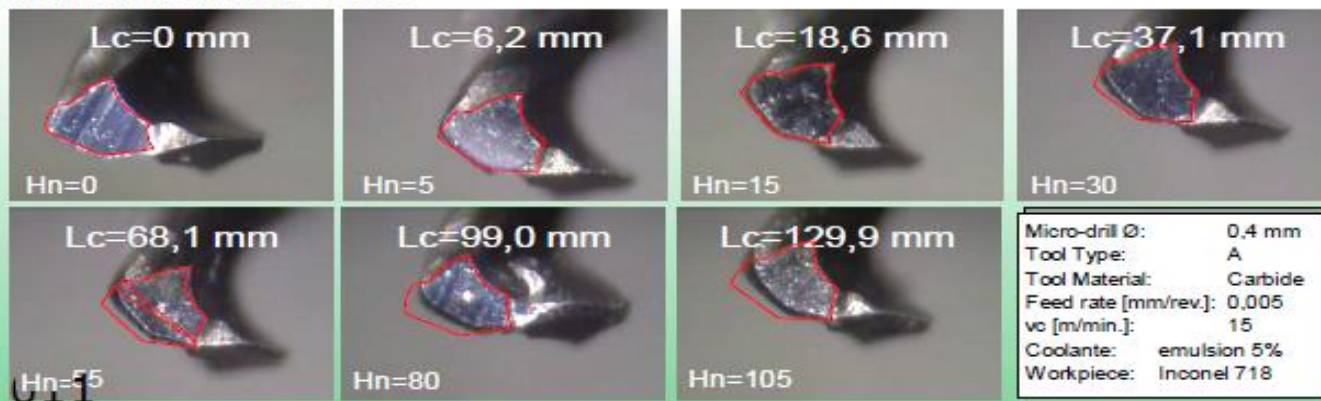




Micro furação com Brocas helicoidais

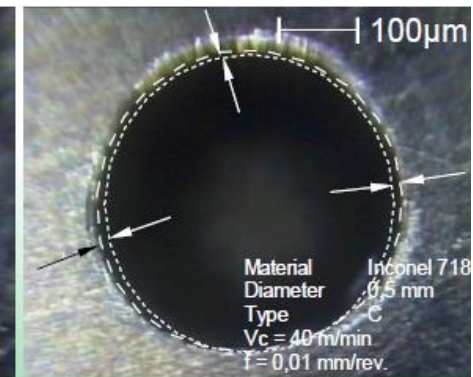
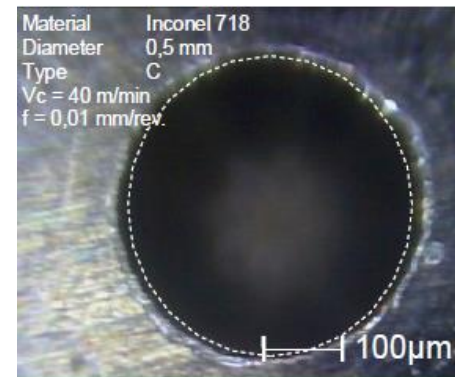
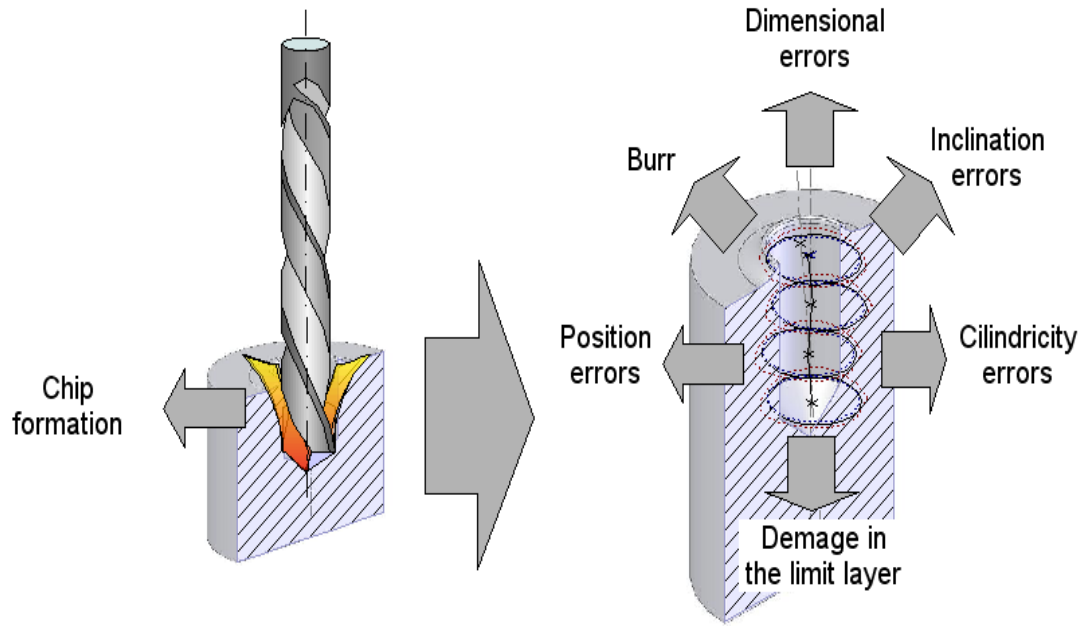


5 axis measurement device





Micro furação com Brocas helicoidais





Máquinas-ferramentas para da micro usinagem



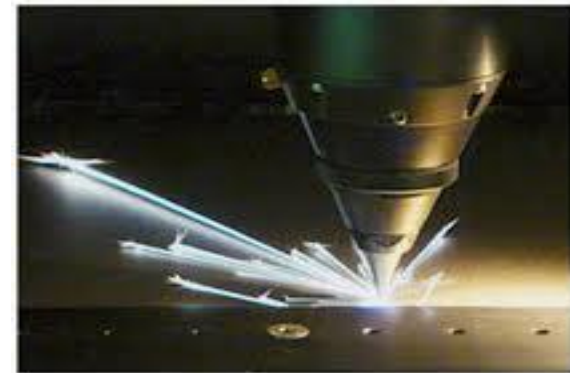
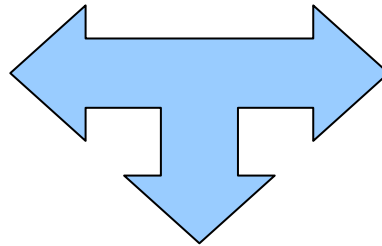


Processos de micro fabricação

Processos de remoção
não convencional



Micro EDM

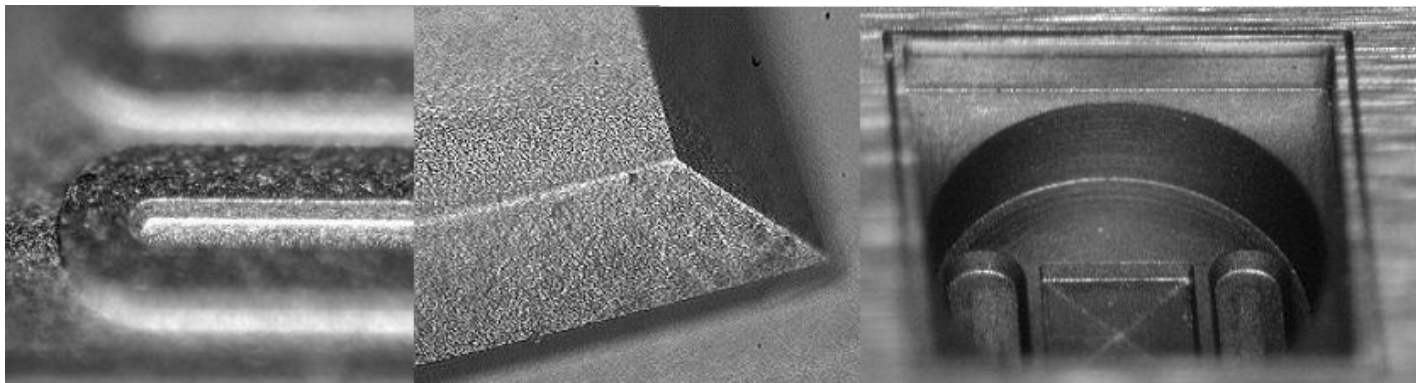
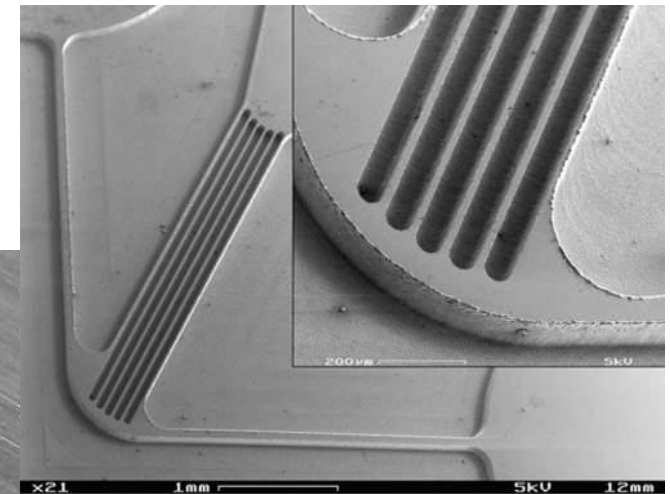
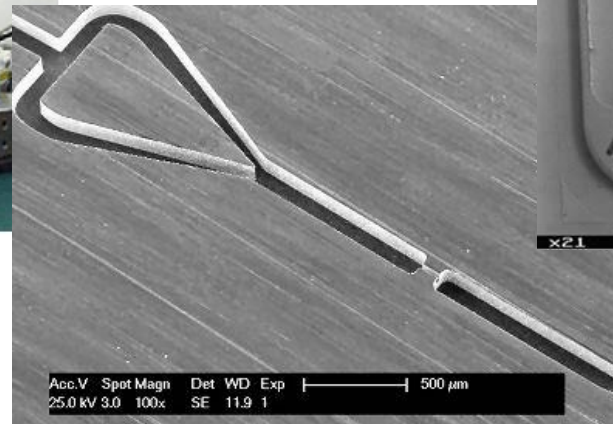
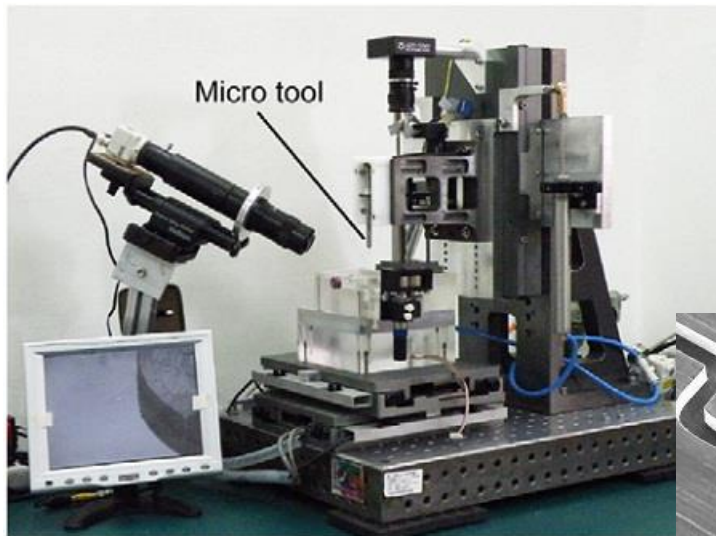


Micro usinagem a
LASER



Processos de remoção não convencional

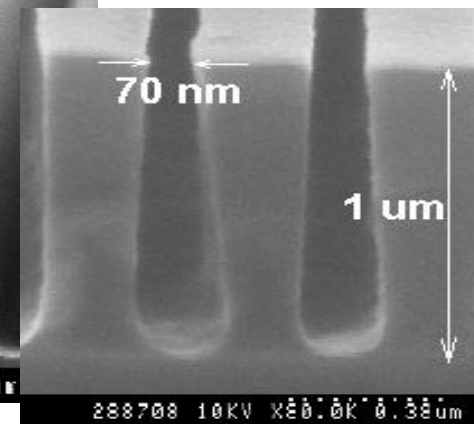
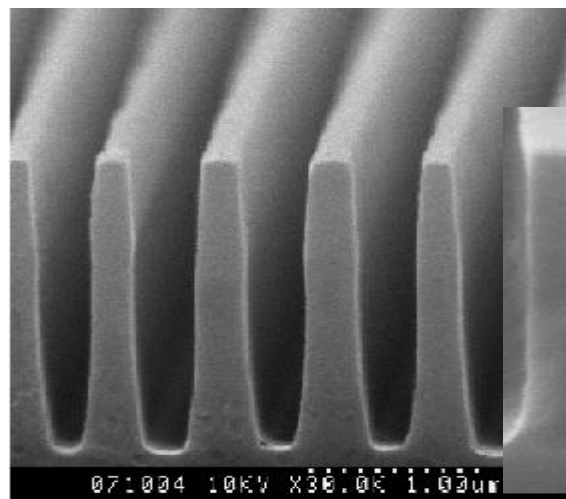
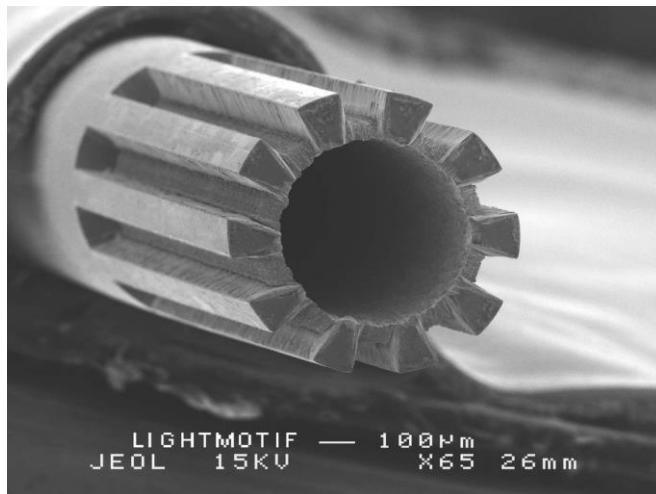
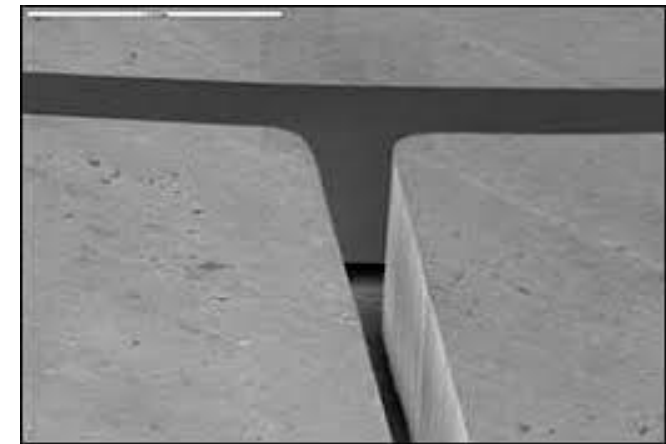
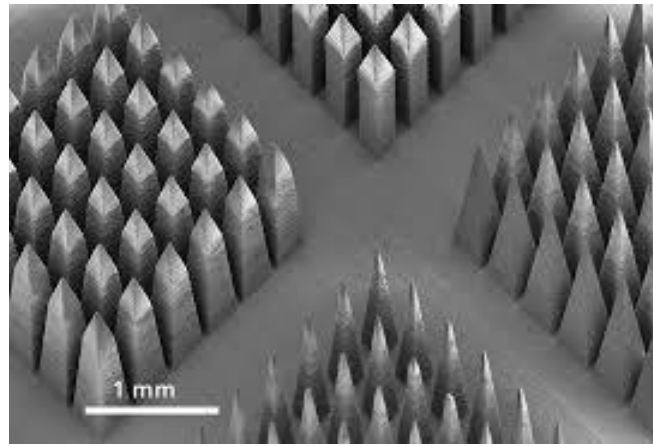
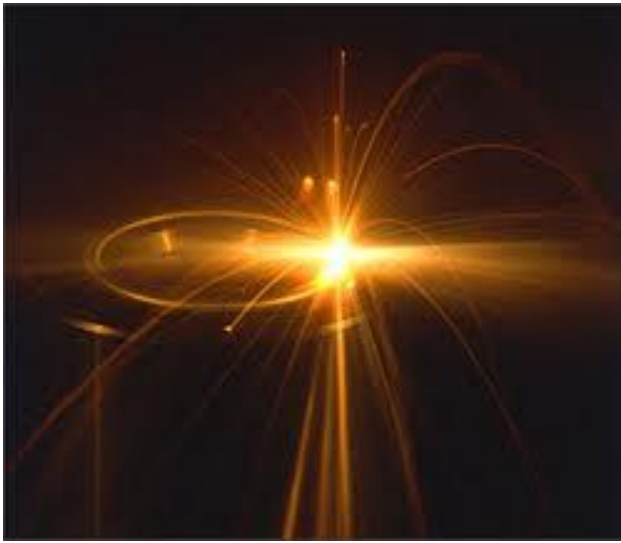
Micro EDM





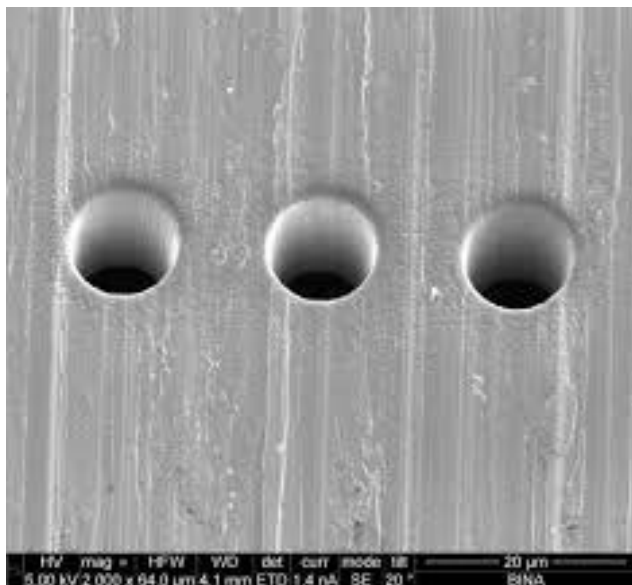
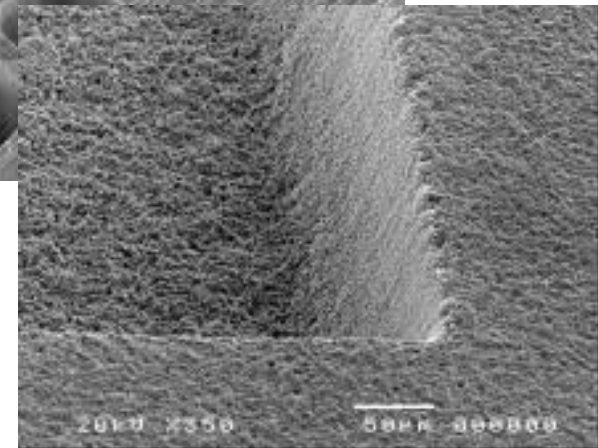
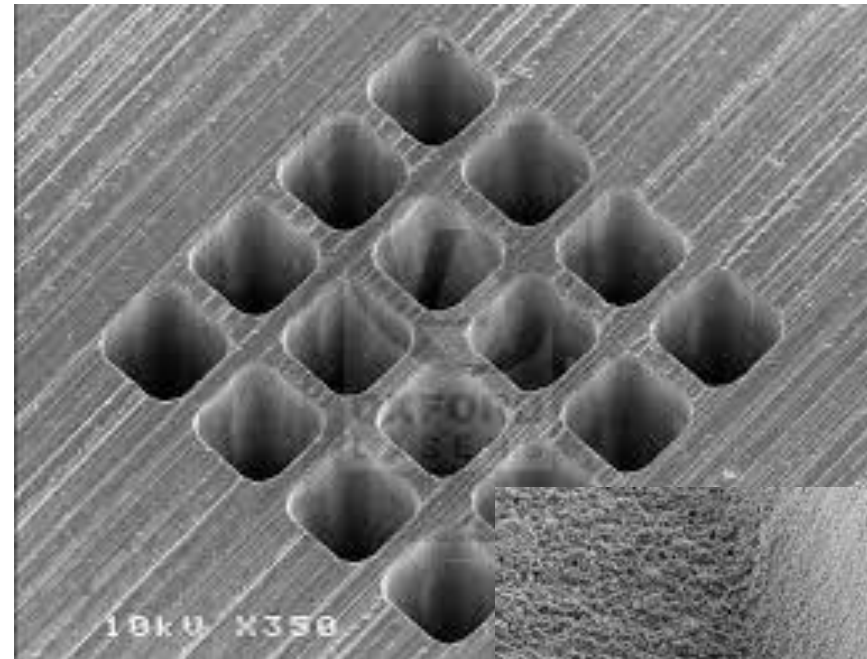
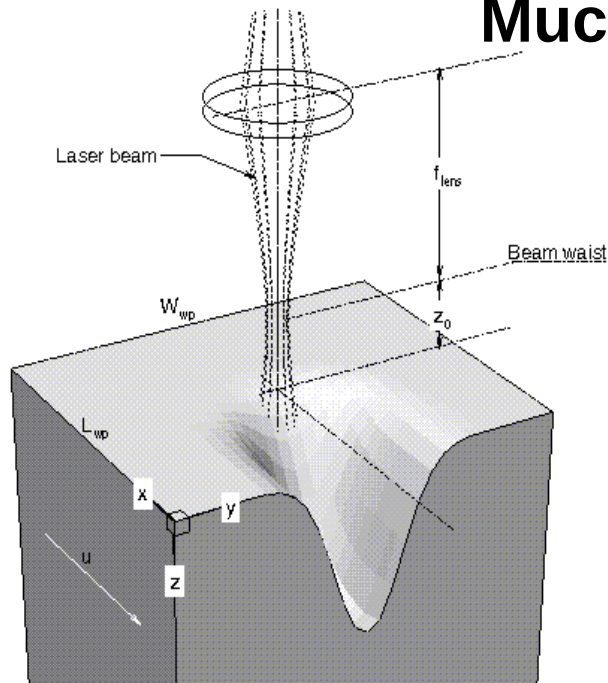
Processos de remoção não convencional

Micro usinagem a LASER





Micro Usinagem com LASER

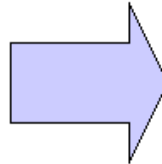




► Vantagens e Desvantagens

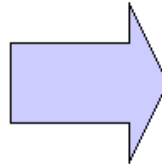
► Vantagens

Alta densidade de energia



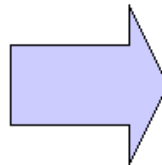
- ⇒ Elevada velocidade de trabalho
- ⇒ Região termicamente afetada pequena
- ⇒ Pequena distorção
- ⇒ Raios pequenos

Trabalho sem contato



- ⇒ Sem desgaste
- ⇒ Trabalho de peça delgada
- ⇒ Manuseio simples da peça

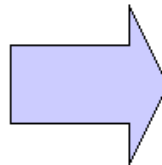
Fácil controle



- ⇒ Pequenas massas
- ⇒ Elevada automação
- ⇒ Integração em sistemas flexíveis
- ⇒ Trabalho de contornos

► Desvantagens

Custos elevados



- ⇒ Fonte
- ⇒ Condução de formação
- ⇒ Manuseio
- ⇒ Comando



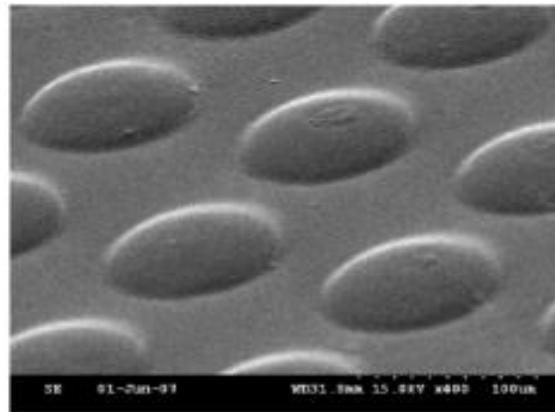
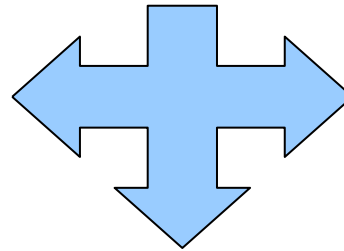
Processos de micro fabricação

Tecnologias de replicação

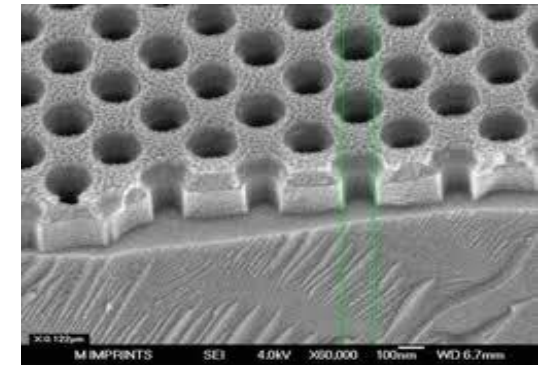


Micro injeção em moldes

Yang, Sen-Yeu et al., Fabrication of microlens arrays using UV micro-stamping with soft roller and gas-pressurized platform, Microelectronic Engineering 85 (2008) 603–609



micro termo conformação
hot embossing



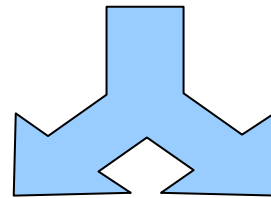
litografia de
nano impressão

LED wafer after SiO₂ pattern transfer. (Image credit: Molecular Imprints)
<http://nanotechweb.org/cws/article/indepth/32728>

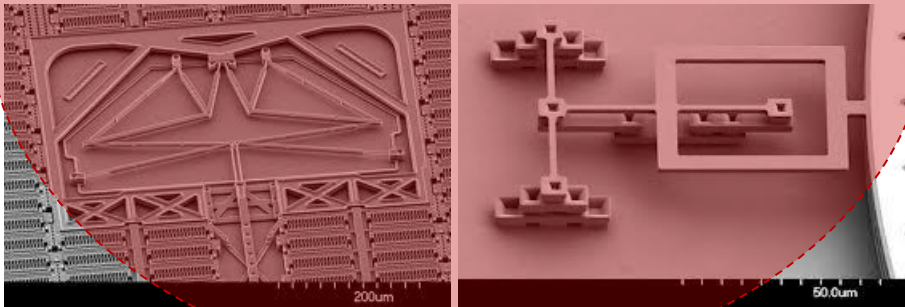


Processos de micro fabricação

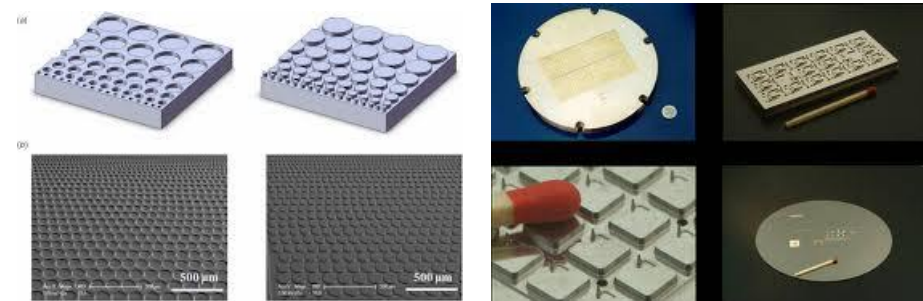
micro fabricação



Tecnologias de
Micro Sistemas
(MST)

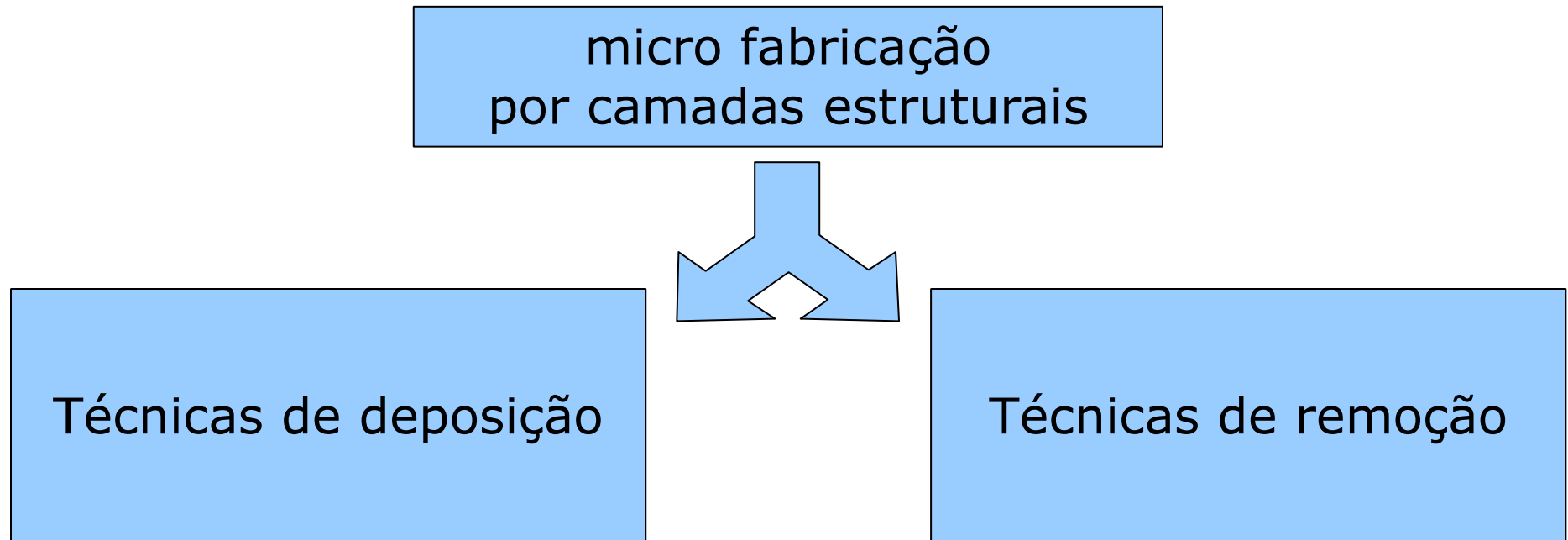


Tecnologias de
Micro Engenharia
(MET)



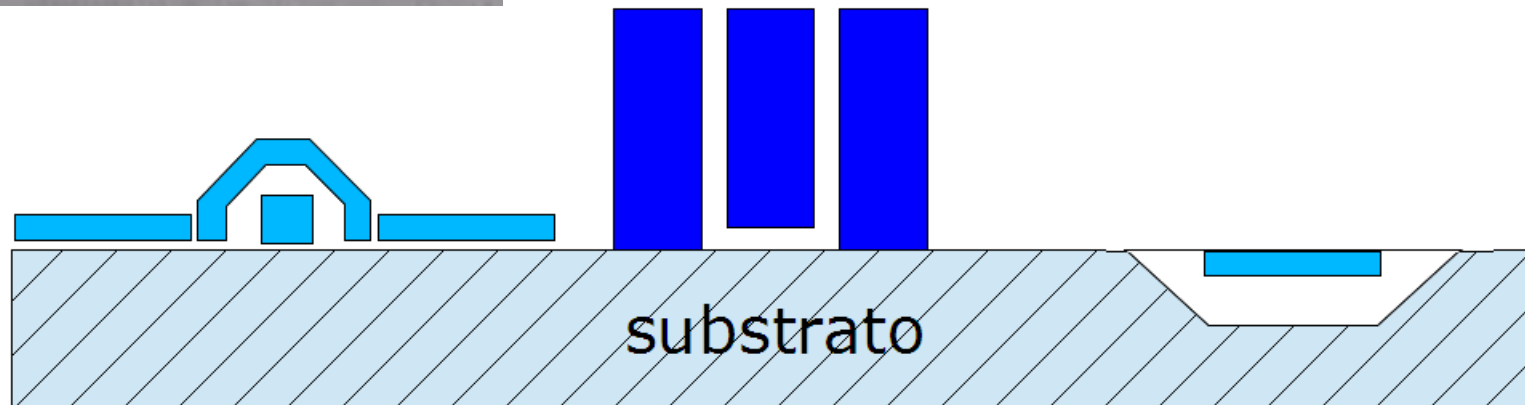
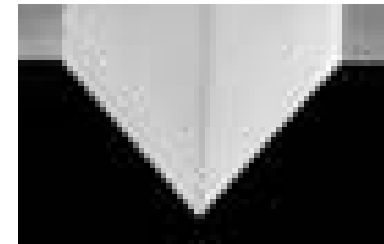
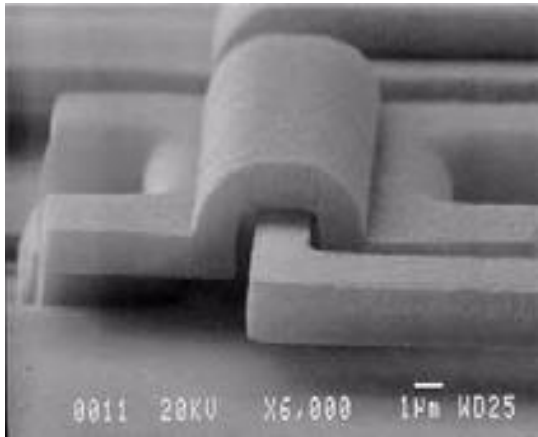


Processos de micro fabricação





Micro fabricação por camadas estruturais



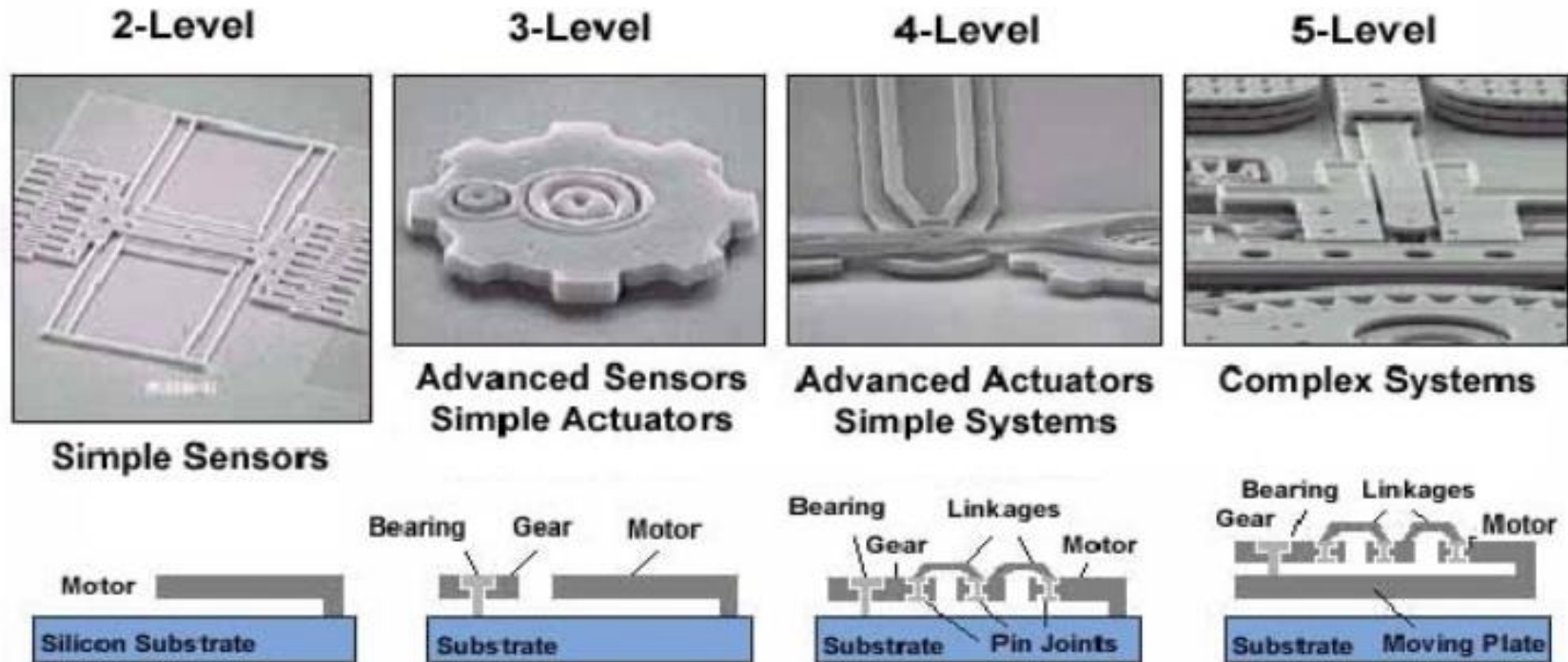
Usinagem superficial
Surface machining

Microforma

Bulk machining



Micro fabricação por camadas estruturais

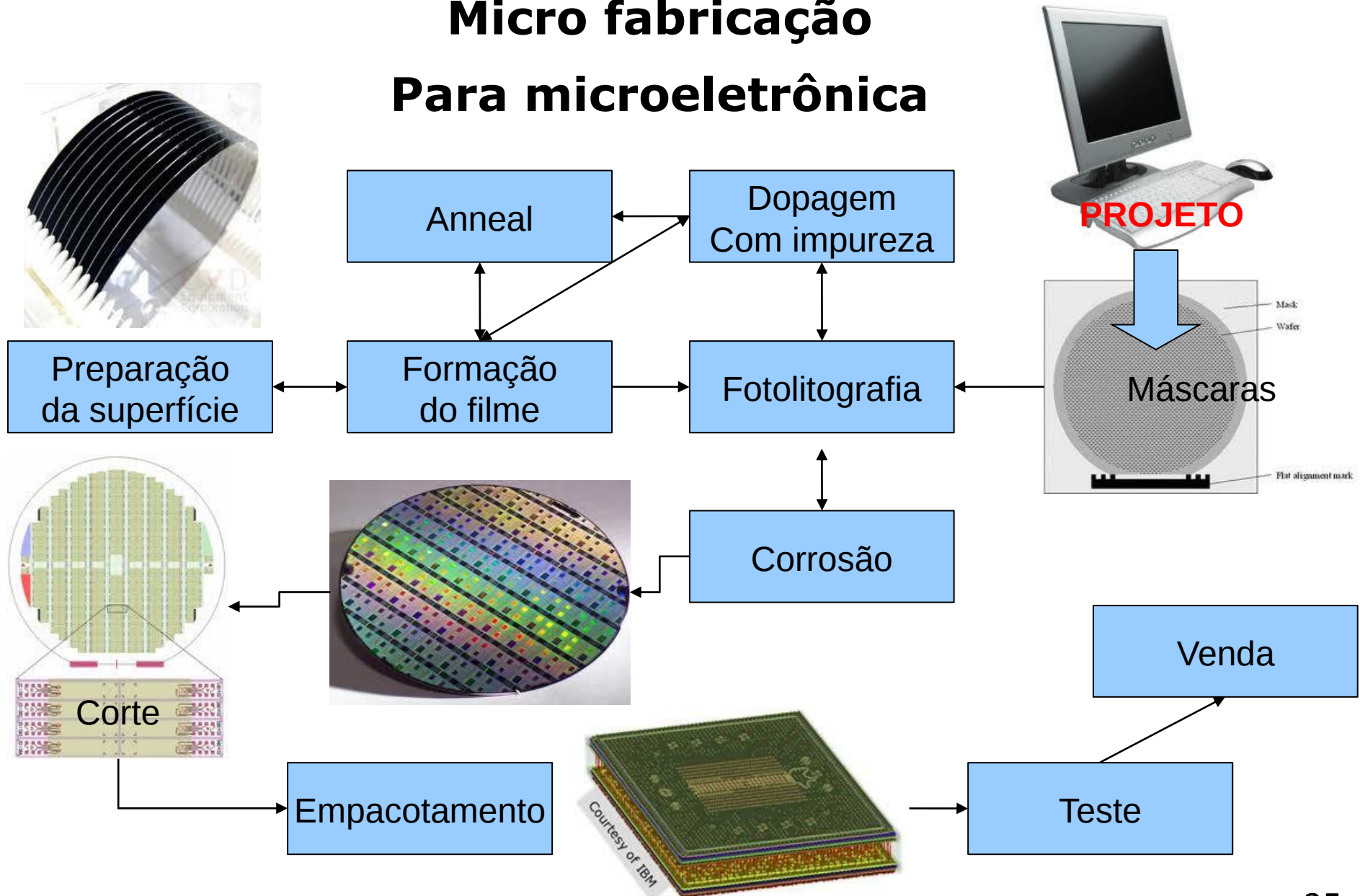


A micro fabricação por camadas estruturais é constituída de quatro áreas separadas:

- Substratos e Dopantes $\Rightarrow$ Ponto de Partida
- Patterning $\Rightarrow$ Fotolitografia
- Processos aditivos $\Rightarrow$ Deposição (CVD, PVD, ...)
- Processos subtrativos $\Rightarrow$ Etching

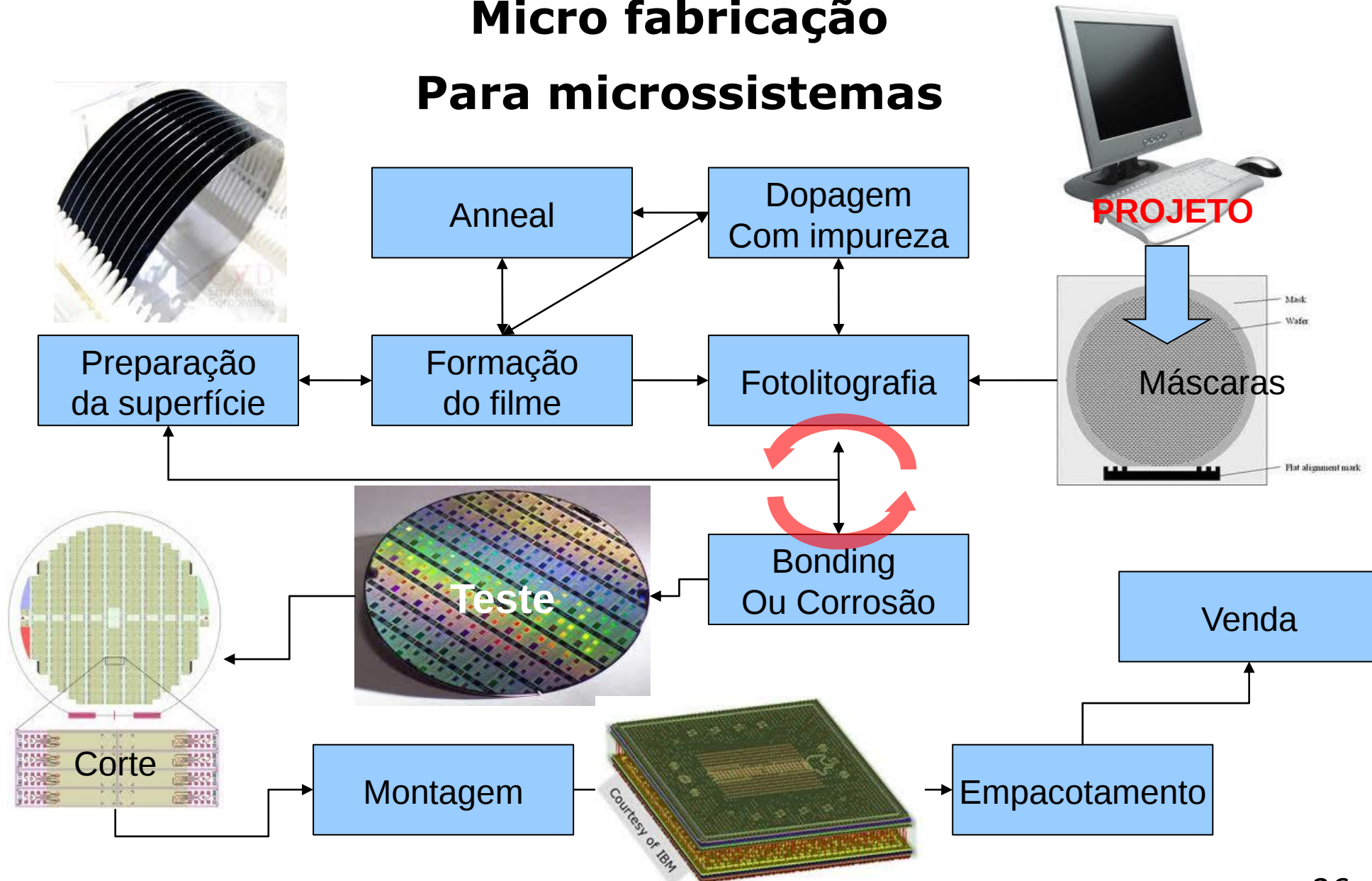


Micro fabricação Para microeletrônica



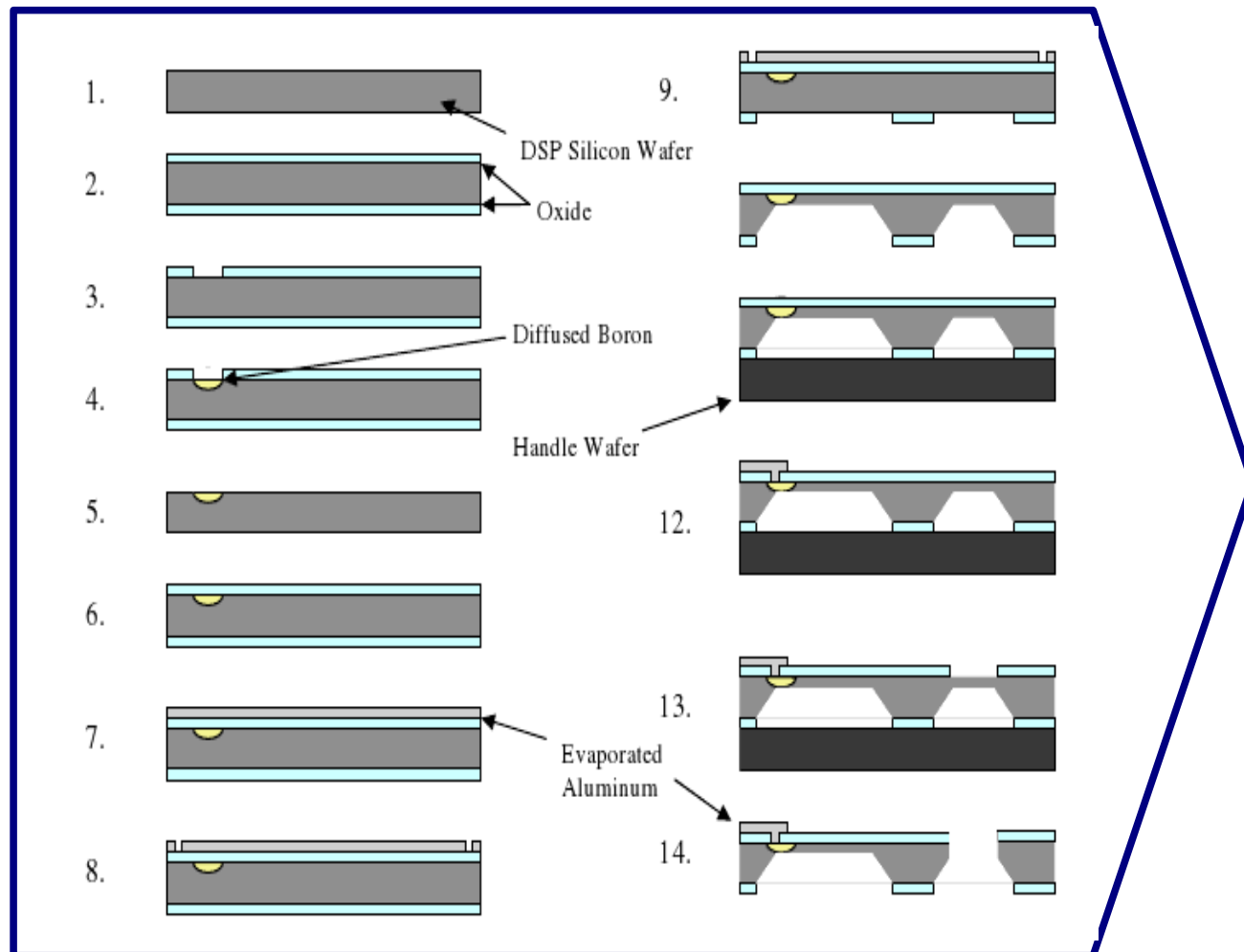


Micro fabricação Para microssistemas





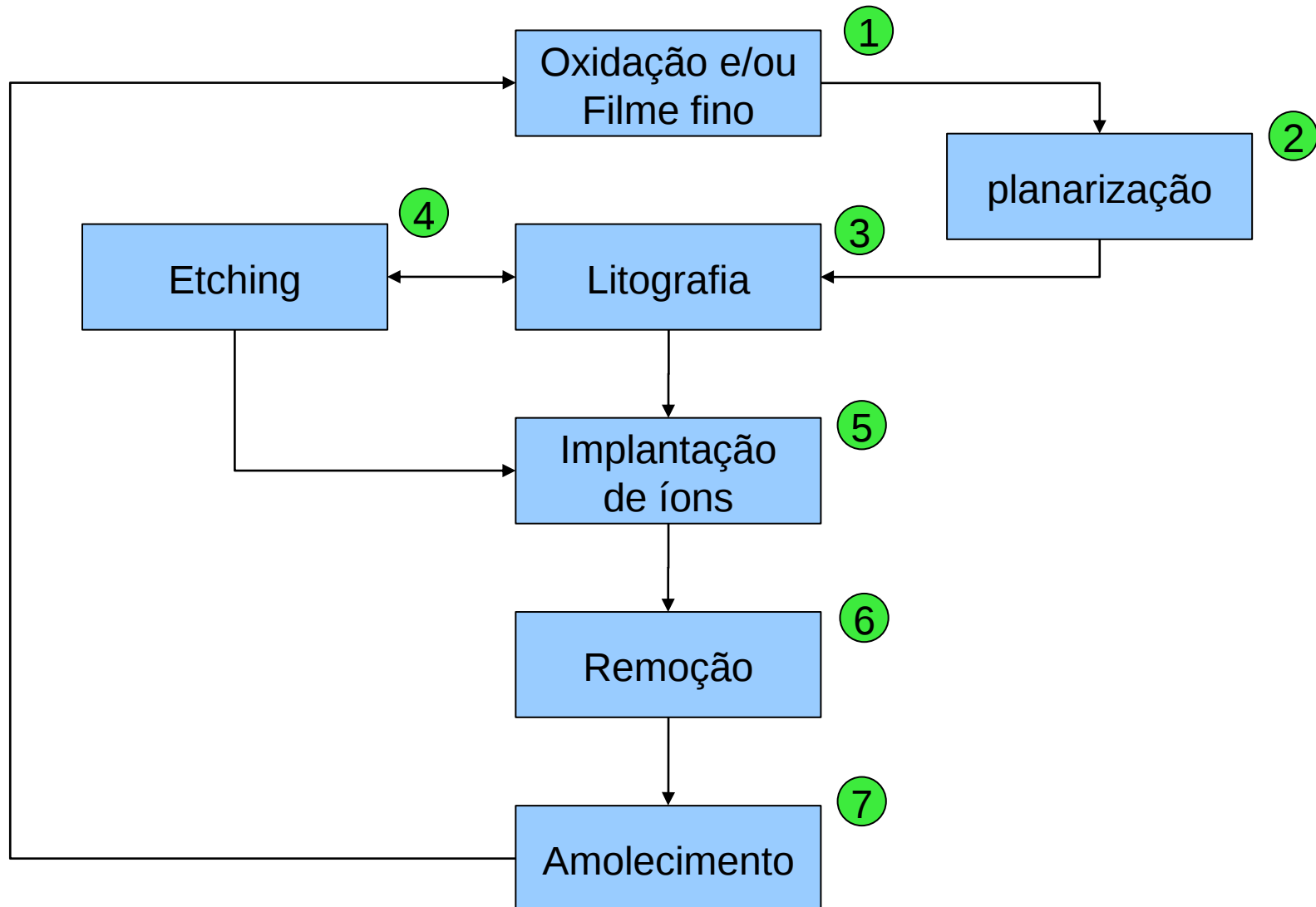
Sequência básica de como produzir estruturas



- Fotolitografia
- *Etching* – Corrosão
 - Dry etching
 - Wet etching
- Bulk micromachining
- Surface micromachining
- Fusion Bonding
- Feixes de energia

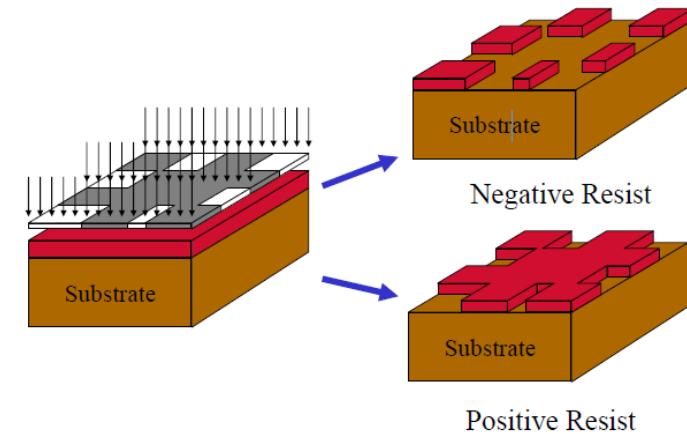
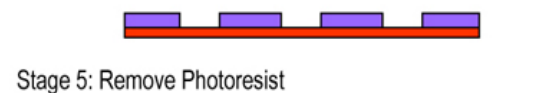
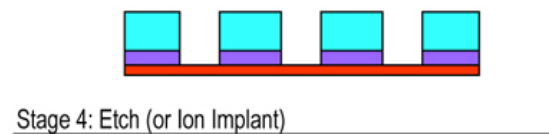
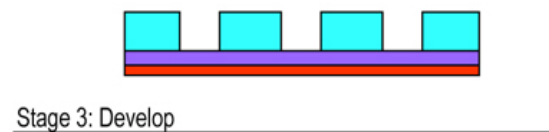
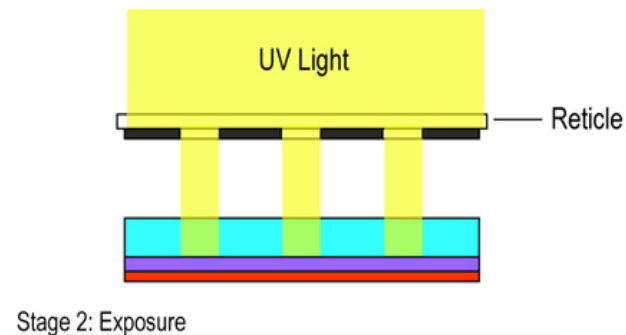
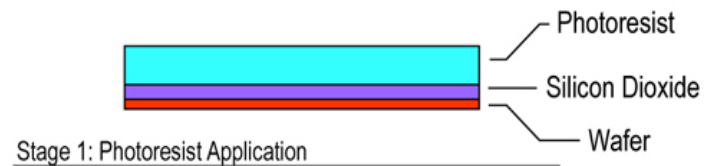
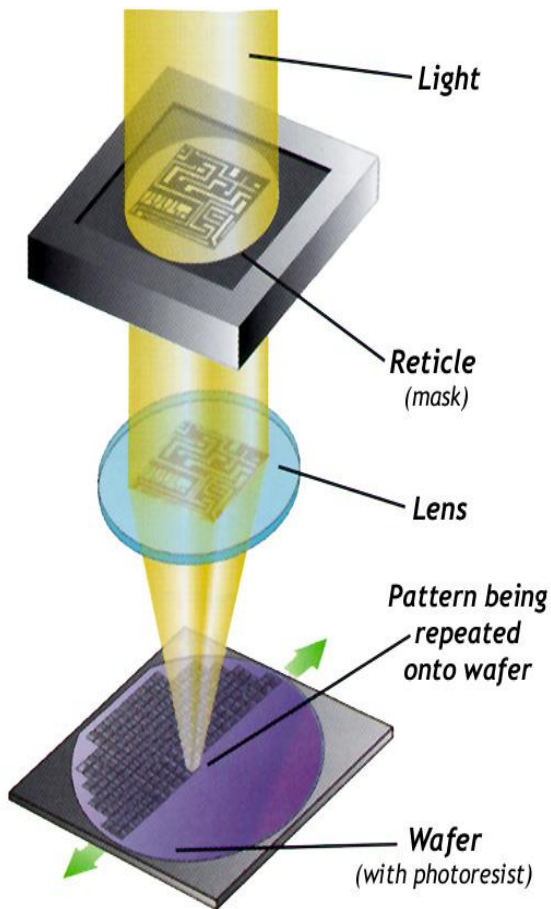


Fotolitografia - *Photolithografia*





Fotolitografia - *Photolithografia*





Corrosão (*Etching*) – Bulk Machining

Fabricação utilizando o material de base (ex. Silício)

Processos primários

- Mascaramento
- *Etching*
- *Wafer Bonding*

Fabricação de grandes micro estruturas

Pouco controle sobre as dimensões

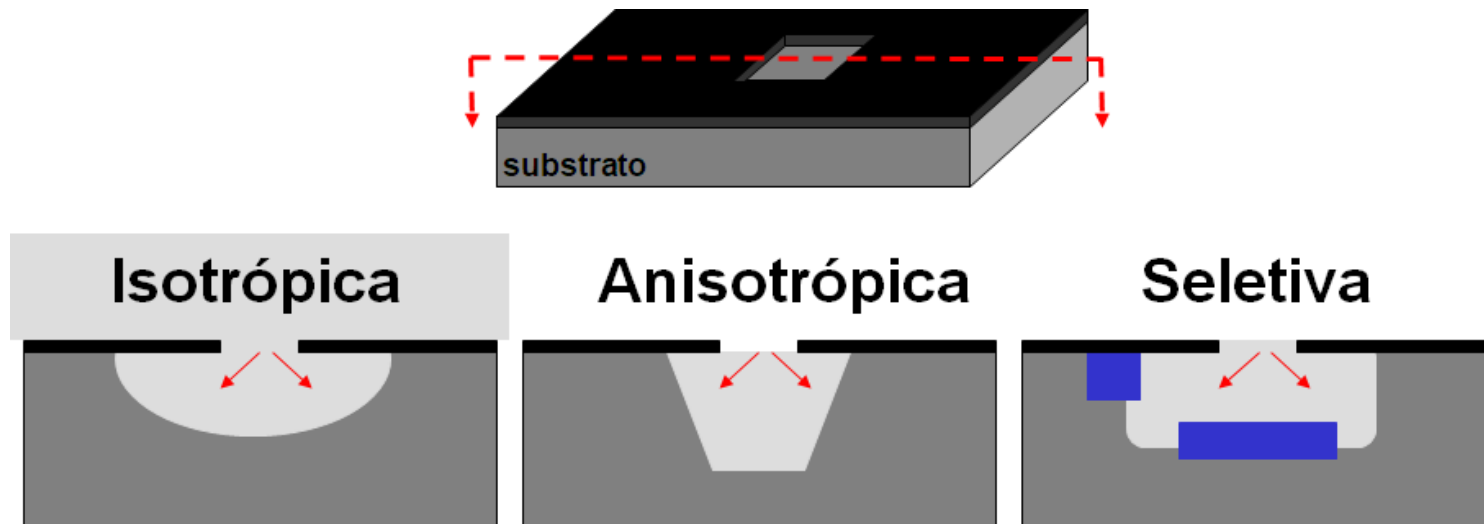
Remoção em uma ou duas direções

Processo primário



Corrosão (*Etching*) - *Bulk Machining*

- Substratos
- Mascaramento
- Deposição de filme fino
- Etching
- Remoção do material de sacrifício
- Wafer Bonding
- Adição de outros materiais



➔ **Corrosão : úmida (líquida) e seca (plasma)**

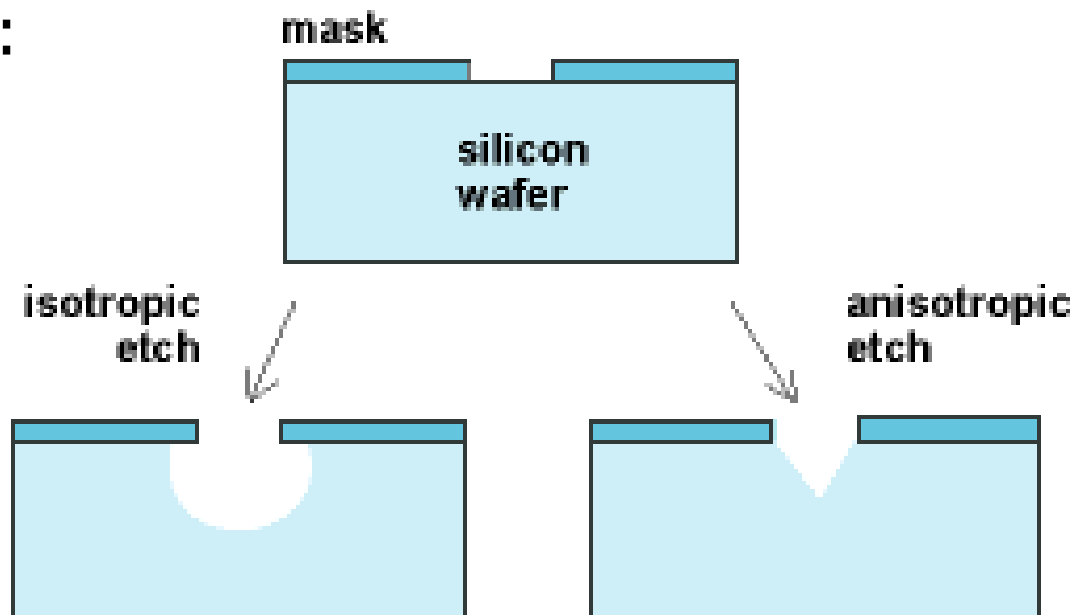


Corrosão (*Etching*) - *Bulk Machining*

- *Wet Etching*

- A remoção ocorre praticamente igual em todas as direções
- Processo limitado pela difusão

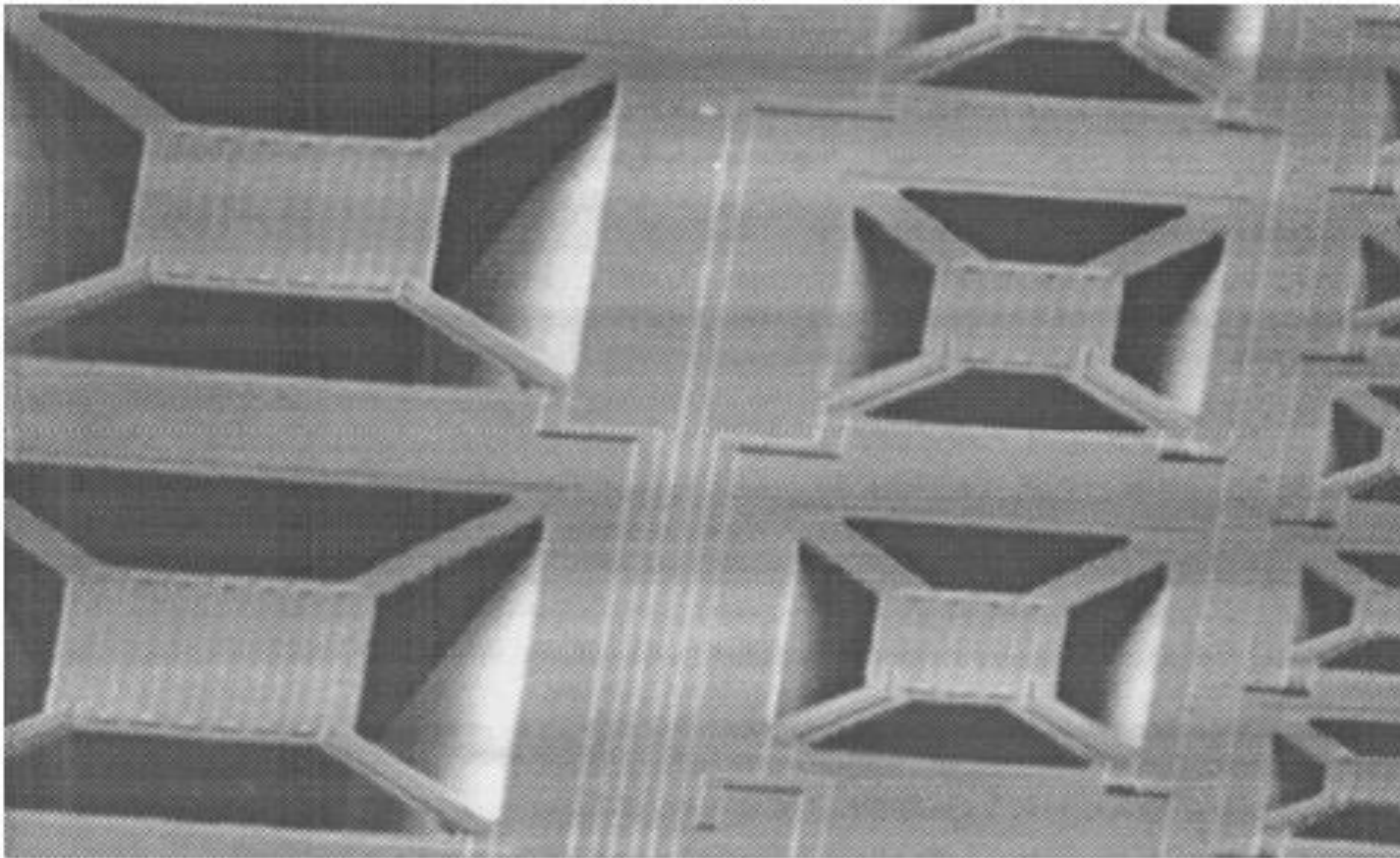
Pode ser:





Corrosão (*Etching*) - Bulk Machining

- *Wet Etching* - Exemplo





Corrosão (*Etching*) - Bulk Machining

- *Wet Etching* – Desvantagem

Controle da profundidade da cavidade

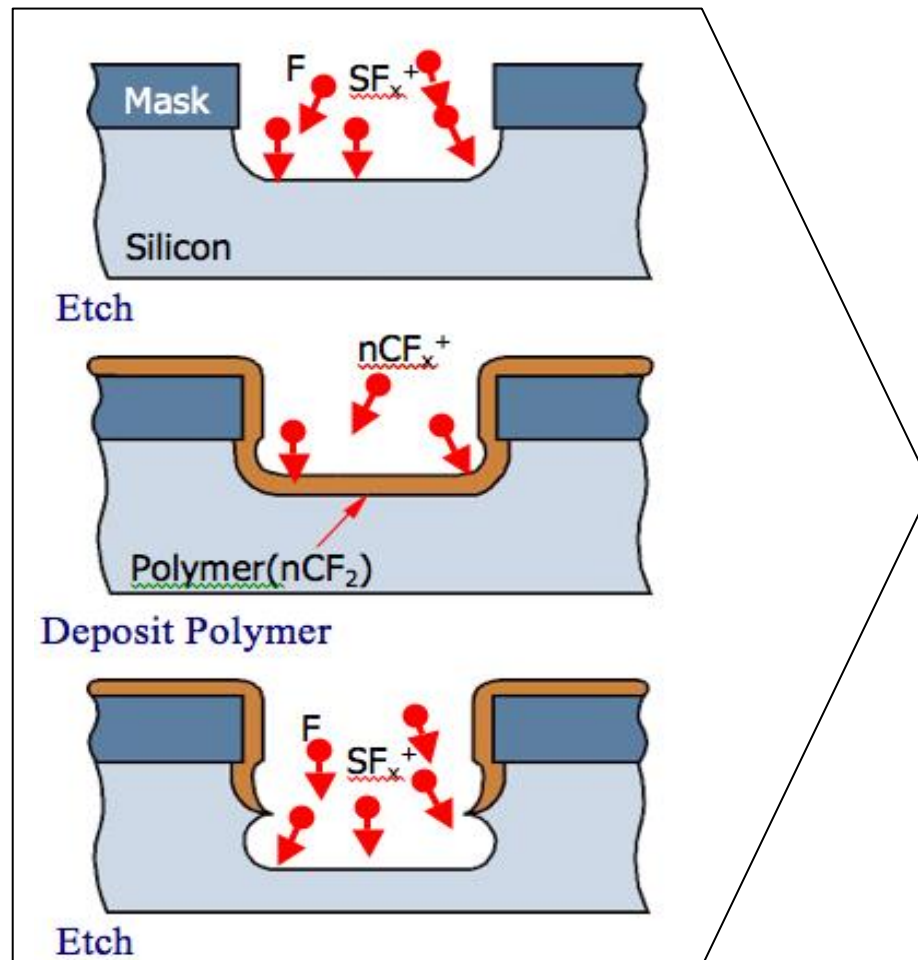
Formas de controle da profundidade

- Tempo de ataque
- Absorção de Infra Vermelho
- taxa de remoção em cavidades



Corrosão (*Etching*) - *Bulk Machining*

- Dry Etching, reactive ion etching



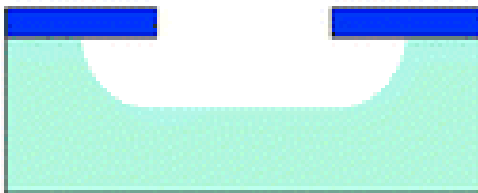


Corrosão (*Etching*) - *Bulk Machining*

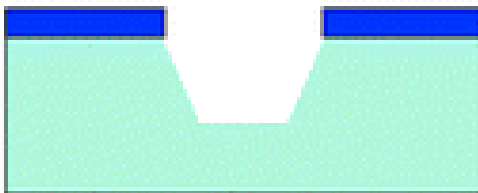
Bulk Micromachining - Dry Etching, reactive ion etching

a. bulk micromachining

isotropic etching

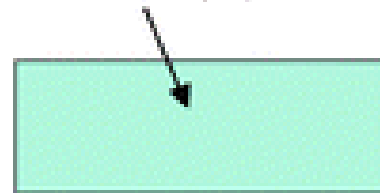


anisotropic etching

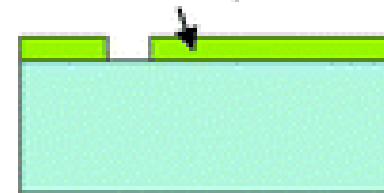


b. surface micromachining

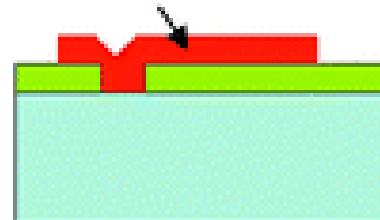
substrate (Si)



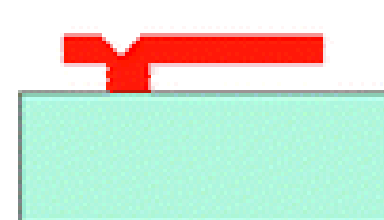
sacrificial layer



structural layer

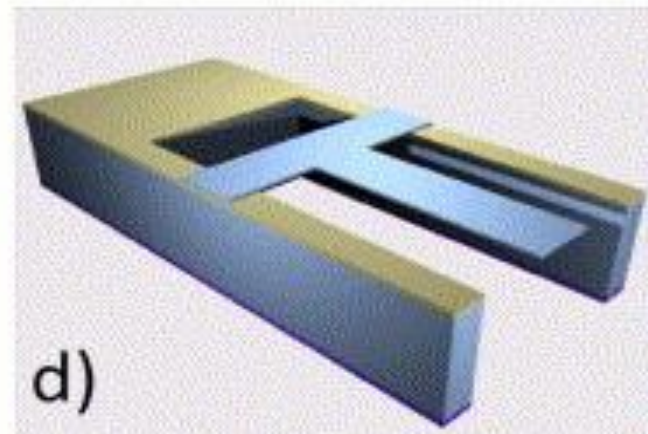
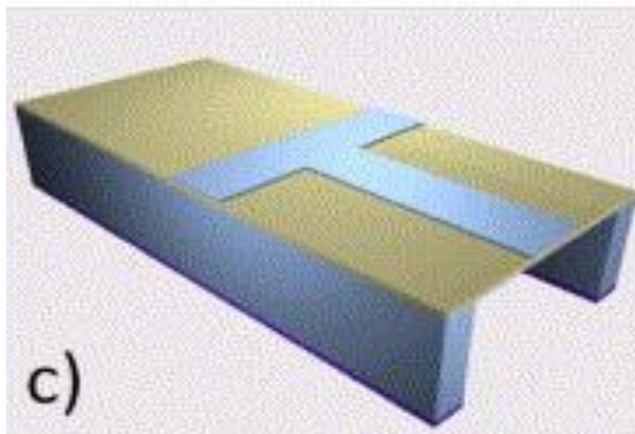
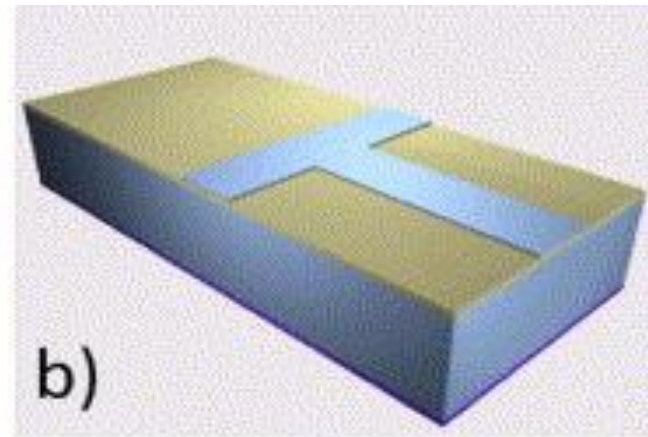
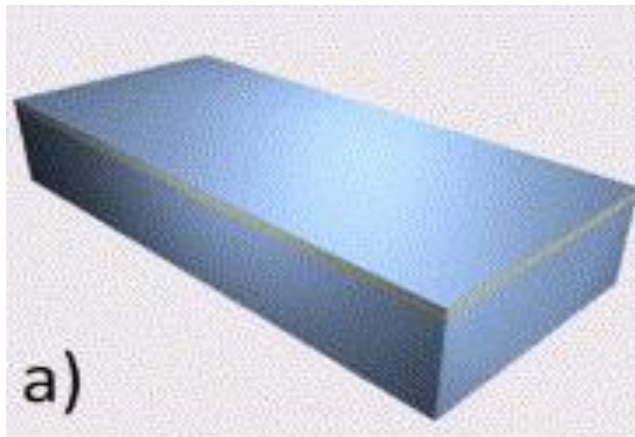


microstructure





Corrosão (*Etching*)





Surface Micromachining

Fabricação usando filmes finos

- Fabricação de circuitos integrados

Princípio básico

- Remoção de camadas de sacrifício

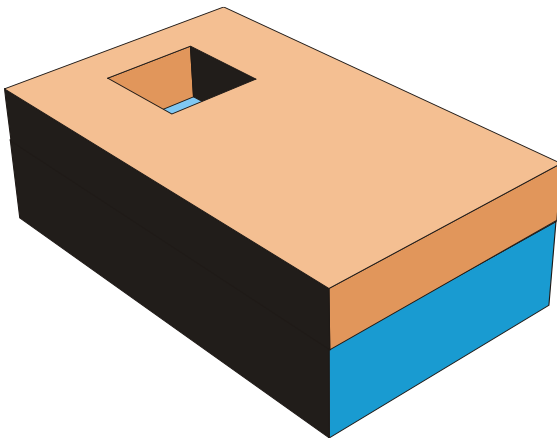
Processo plano bem definido

Camadas múltiplas

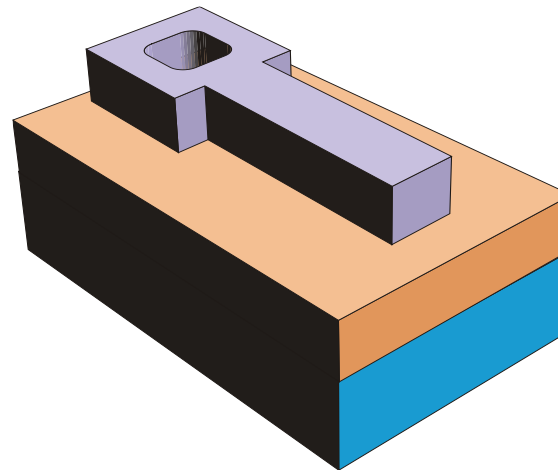
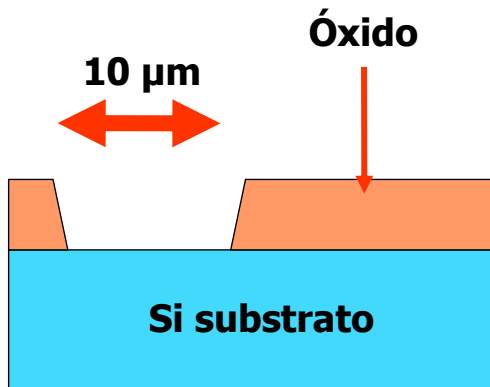
2D e 1/2



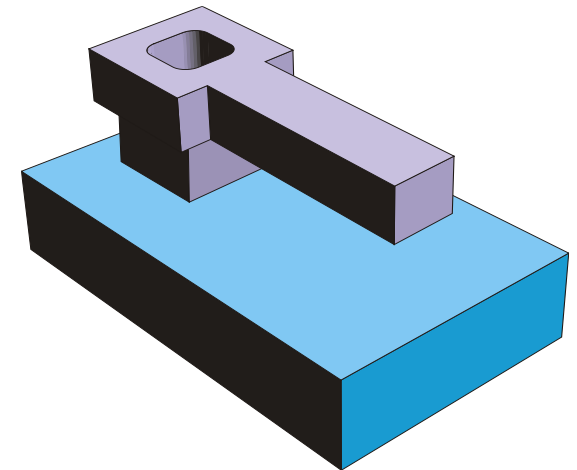
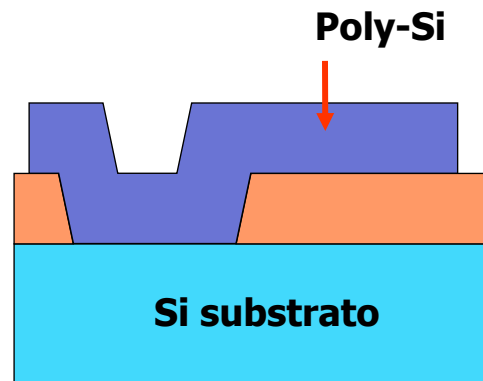
Surface Micromachining



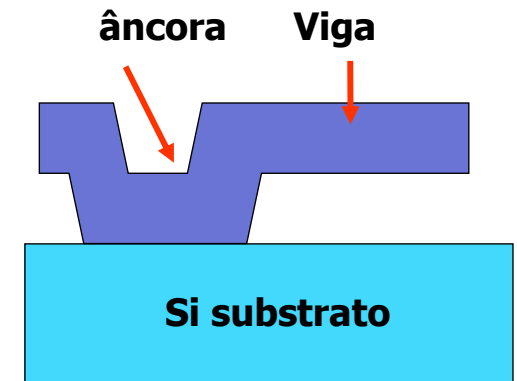
*Deposição e
máscara de óxido*



Deposição de Silício



Corrosão sacrificial





Surface Micromachining

Etapas



1) Deposição da camada de Passivação



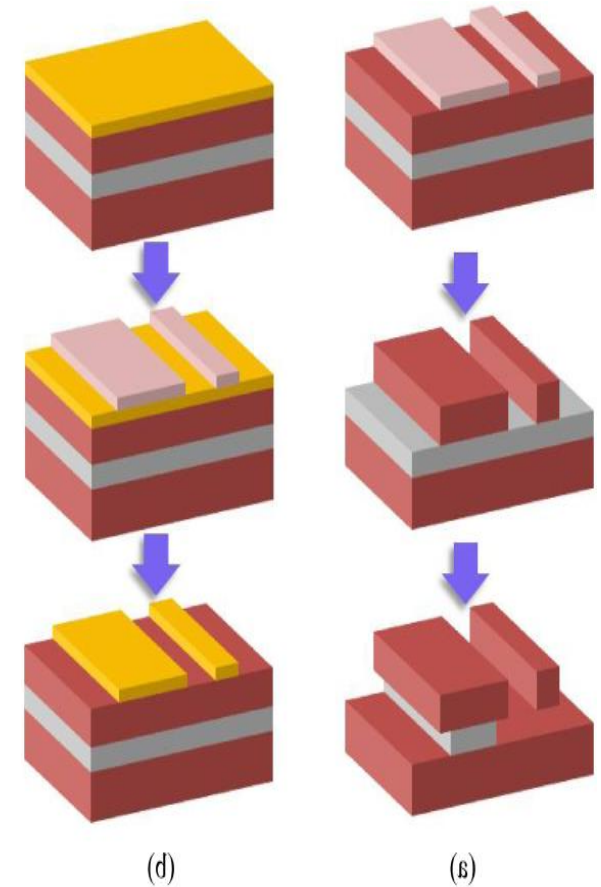
2) Deposição e geração do padrão geométrico da camada de sacrifício



3) Deposição e geração do padrão geométrico da camada estrutural



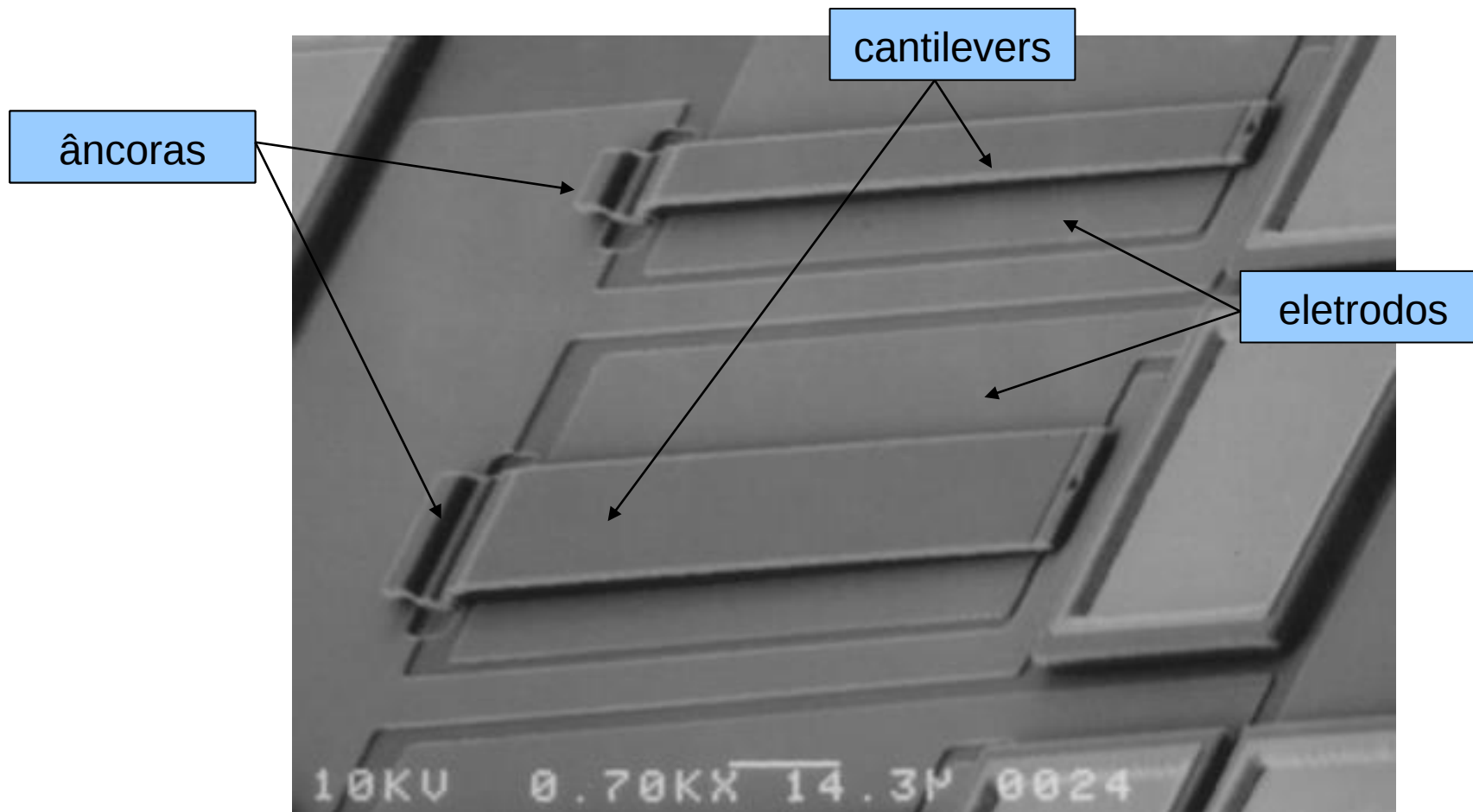
4) Remoção da camada de sacrifício





Surface Micromachining

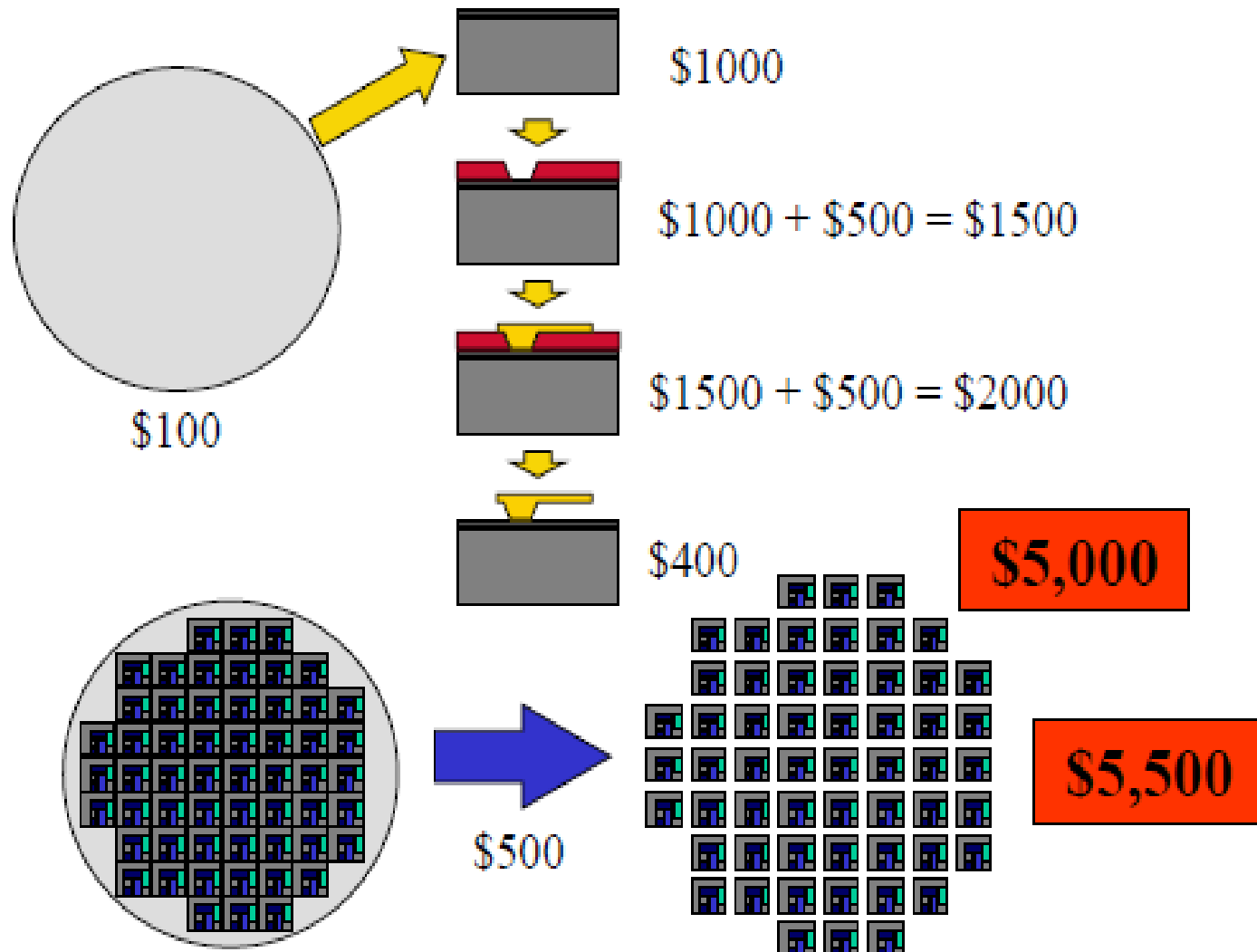
Exemplo





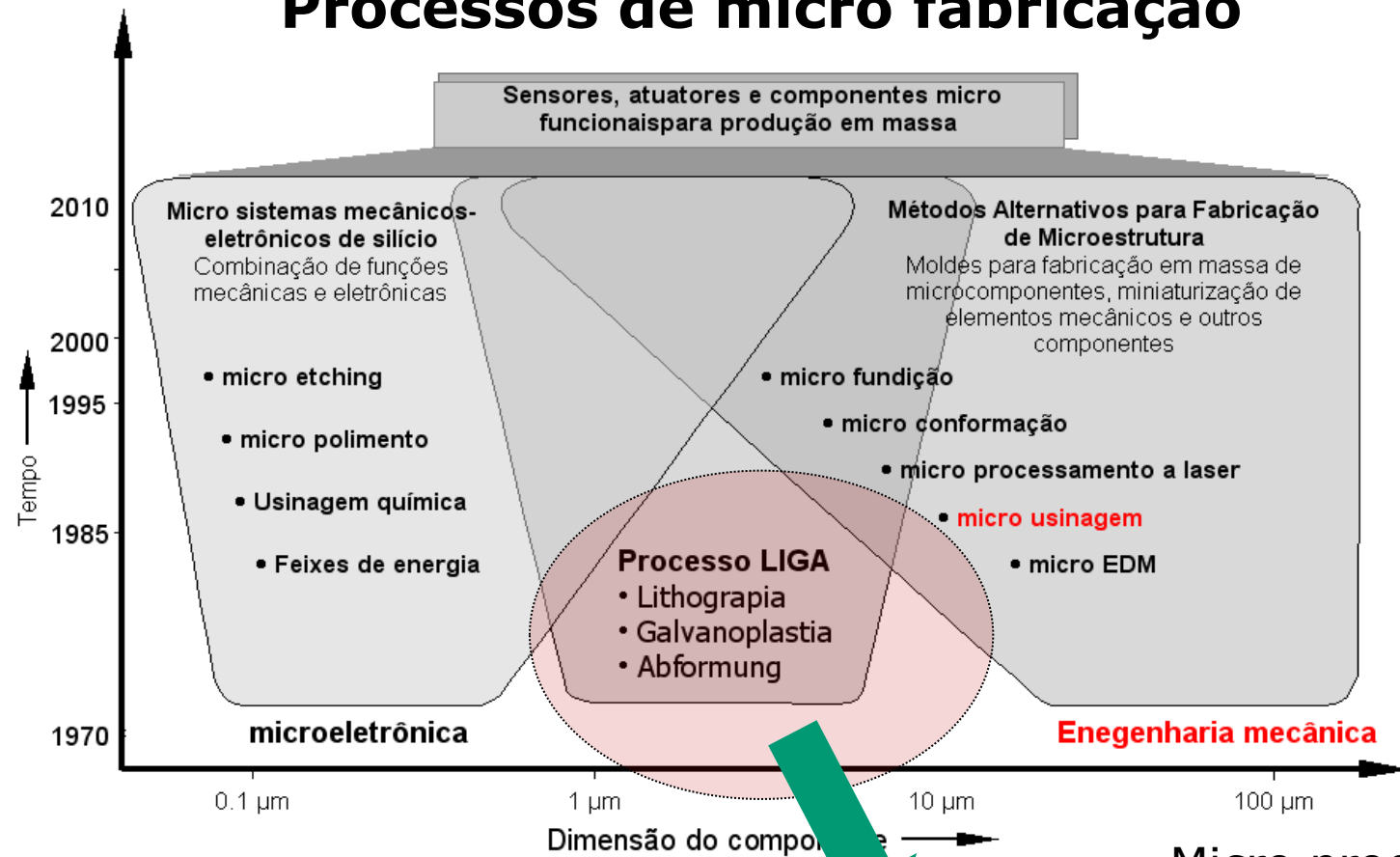
Surface Micromachining

➤ Formação do custo

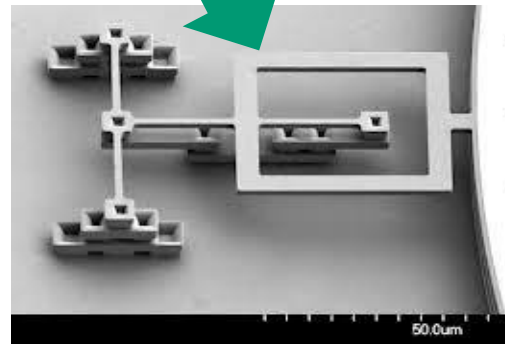




Processos de micro fabricação



Micro produtos





Processo LIGA

- Anacronismo do alemão para *Lithographie*, *Galvanoformung*, *Abformung* – Litografia, galvanoplastia e moldagem (conformação)
- LIGA é tecnologia de três estágios de micro fabricação, utilizada para produzir estruturas com elevado índice de esbeltes
- O processo LIGA também pode ser utilizado para produzir estruturas móveis, e estruturas em camadas através da adição de camadas de sacrifício e multimascaras

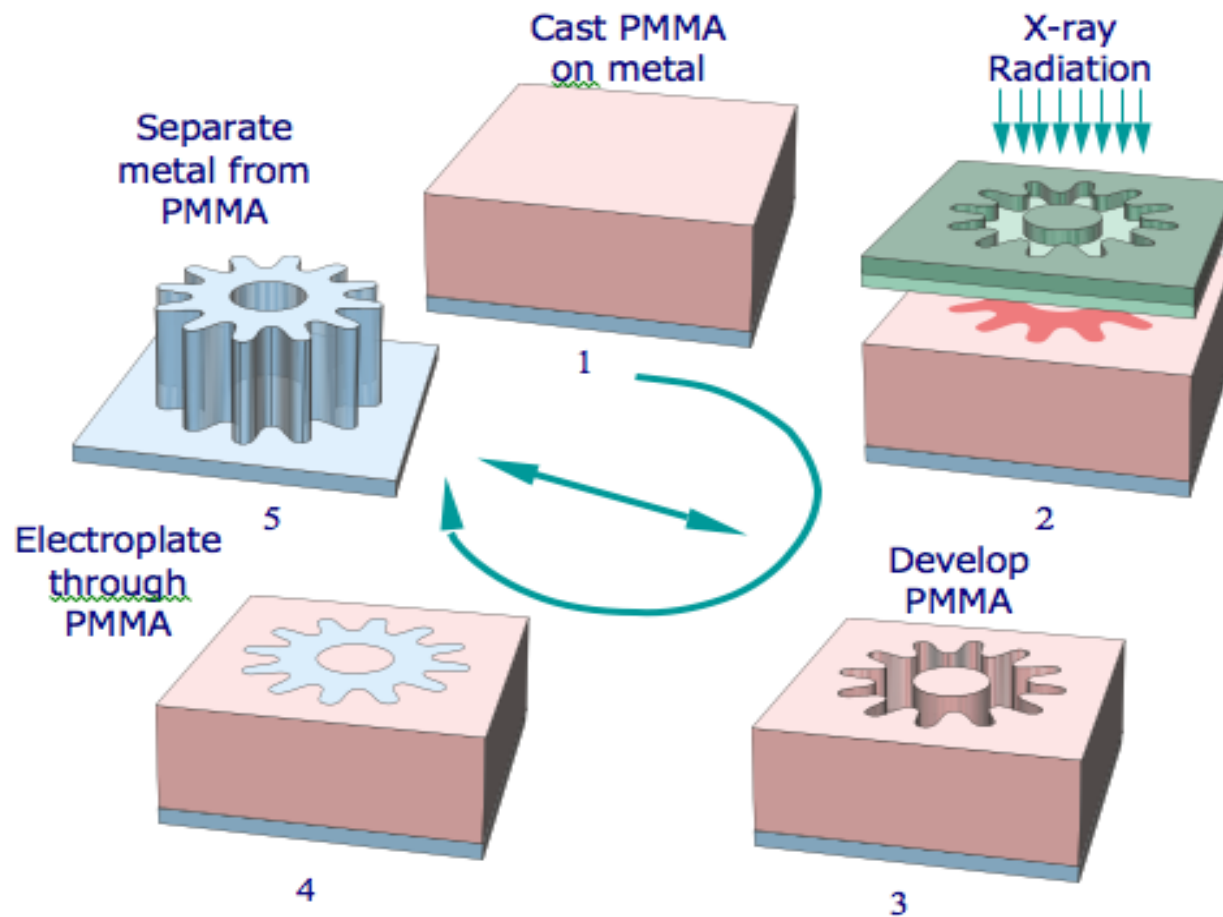


Processo LIGA

- LIGA é uma técnica de fabricação híbrida que consiste em:
 - Litografia
 - Litografia por feixe de elétrons
 - Litografia por feixe de íons focados
 - Litografia a LASER
 - Litografia profunda com Raio -X usando radiação sincrotron
 - Eletrodeposição
 - Crescimento de camadas
 - Moldagem
 - *Usinagem para remoção de excessos depositados*



Processo LIGA





Processo LIGA

➤ Vantagens

- Grande razão de esbeltes
- Propriedades estruturais
- Espessuras de parede entre 100-1000 μ m
- Litografia EUV é uma alternativa barata
- Maior intensidade de energia
- Excelente paralelismo



Processo LIGA

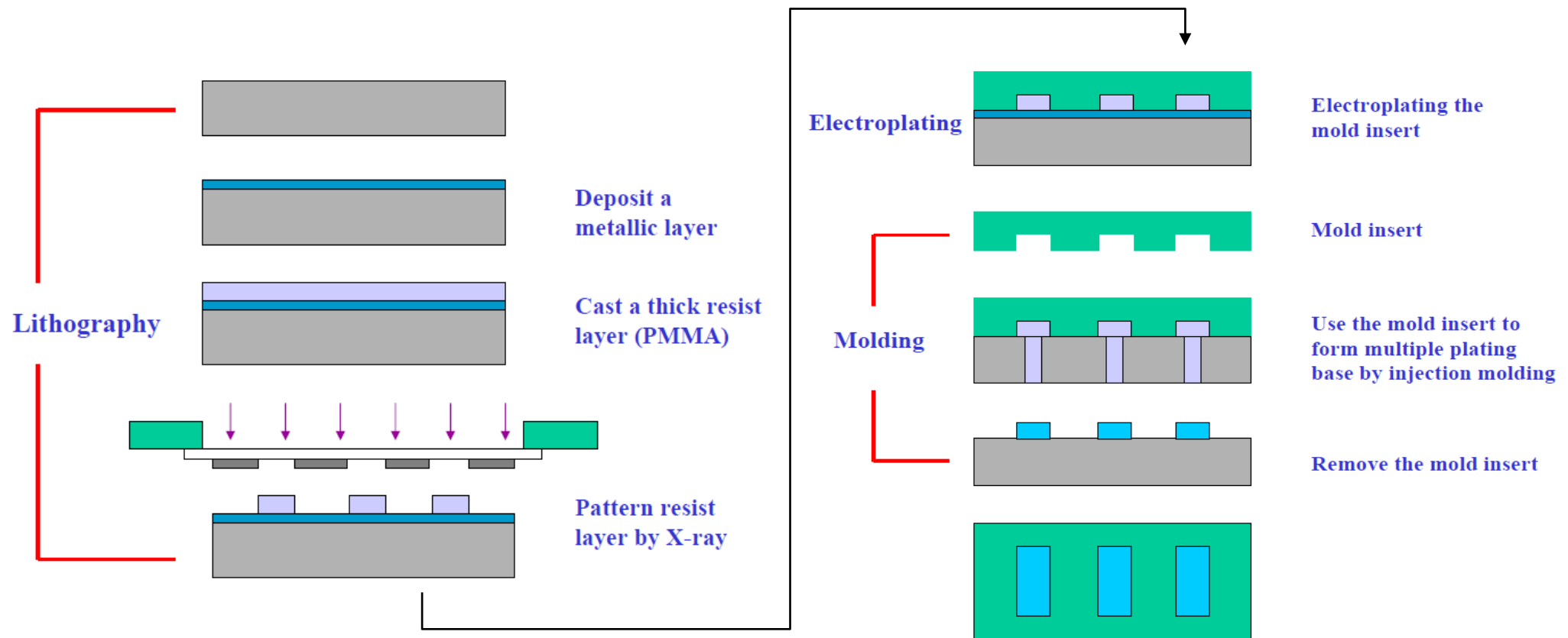
➤ Desvantagens

- É um processo caro devido ao custo de equipamentos
- Lento
- Processo complicado
- Difícil transição da pesquisa (lab.) para a produção
- Projeto e fabricação das máscaras



LIGA - Litografia

➤ Processo típico



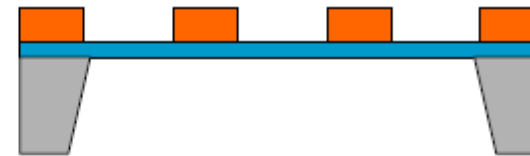


LIGA - Litografia

➤ Fabricação das Mascaras



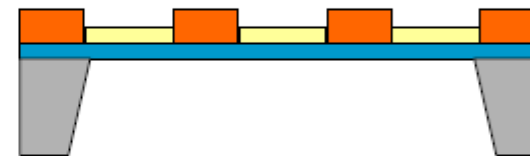
Sputter the
material for
carrier
membrane



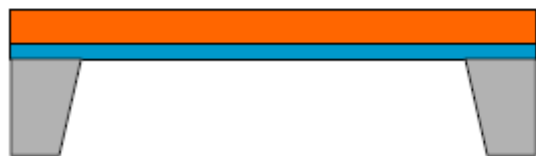
PR is
patterned
by UV
lithography



Backside etch
Si to form the
membrane

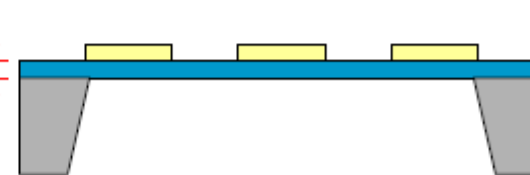


Electroplating
absorber layer
for X-ray



Spin coat PR

2~3um



Remove PR and
complete the
**intermediate
mask**



LIGA - Galvanoplastia

- As estruturas fabricadas por Litografia de Raio-X são materiais plásticos, a obtenção de estruturas metálicas é feita por deposição galvânica
- Ni é o material mais comum para eletrodeposição galvânica na moldagem no processo LIGA
- Tanto níquel puro quanto suas ligas podem ser depositados, apesar de muitas vezes não ser possível garantir a composição e uniformidade química da liga depositada



LIGA - Galvanoplastia

Alguns pontos são importantes na deposição galvânica

- ⇒ A adesão
- ⇒ O índice de esbeltes
- ⇒ A tensão residual
- ⇒ e a presença bolhas de hidrogênio



LIGA - Moldagem

- Moldagem representa uma técnica de replicação para produção seriada
- A técnica mais comum é a injeção em moldes
 - ⇒ fusão do material
 - ⇒ injeção sob pressão no molde
 - ⇒ solidificação



LIGA - Moldagem

➤ Vantagens

- Flexibilidade quanto ao tipo de polímero
- Automatização da produção
- baixo custo,
- Baixo ciclo de produção

➤ Desvantagens

- Resfriamento do molde, trocas de calor
- Desmoldagem
- Dosagem de injeção de 10 a 1.000 mg (controle)
- Granulometria do material antes da injeção
- Limpeza e eliminação do ar das matrizes
- Controle do processo para peças de alta esbeltes



LIGA - Moldagem

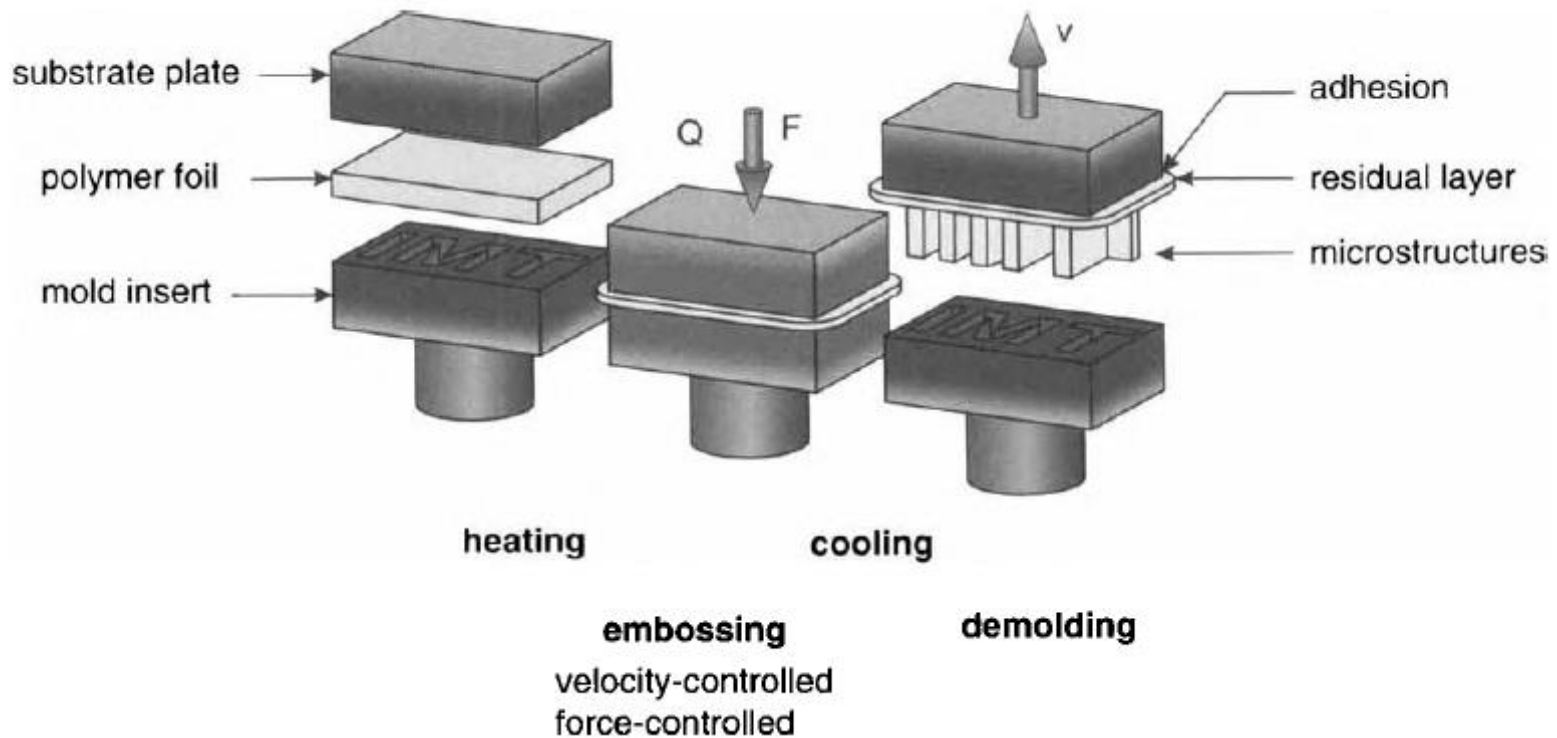
Micro *Hot Embosing*

- O processo de *Hot Embosing* é uma técnica desenvolvida em meados dos anos 70 do século XX, de fabricação por replicação de microestruturas
- Seu objetivo é a produção seriada de microcomponentes a baixo custo
- Neste molde é produzido por Litografia, galvanoplastia e *Etching*



LIGA - Moldagem

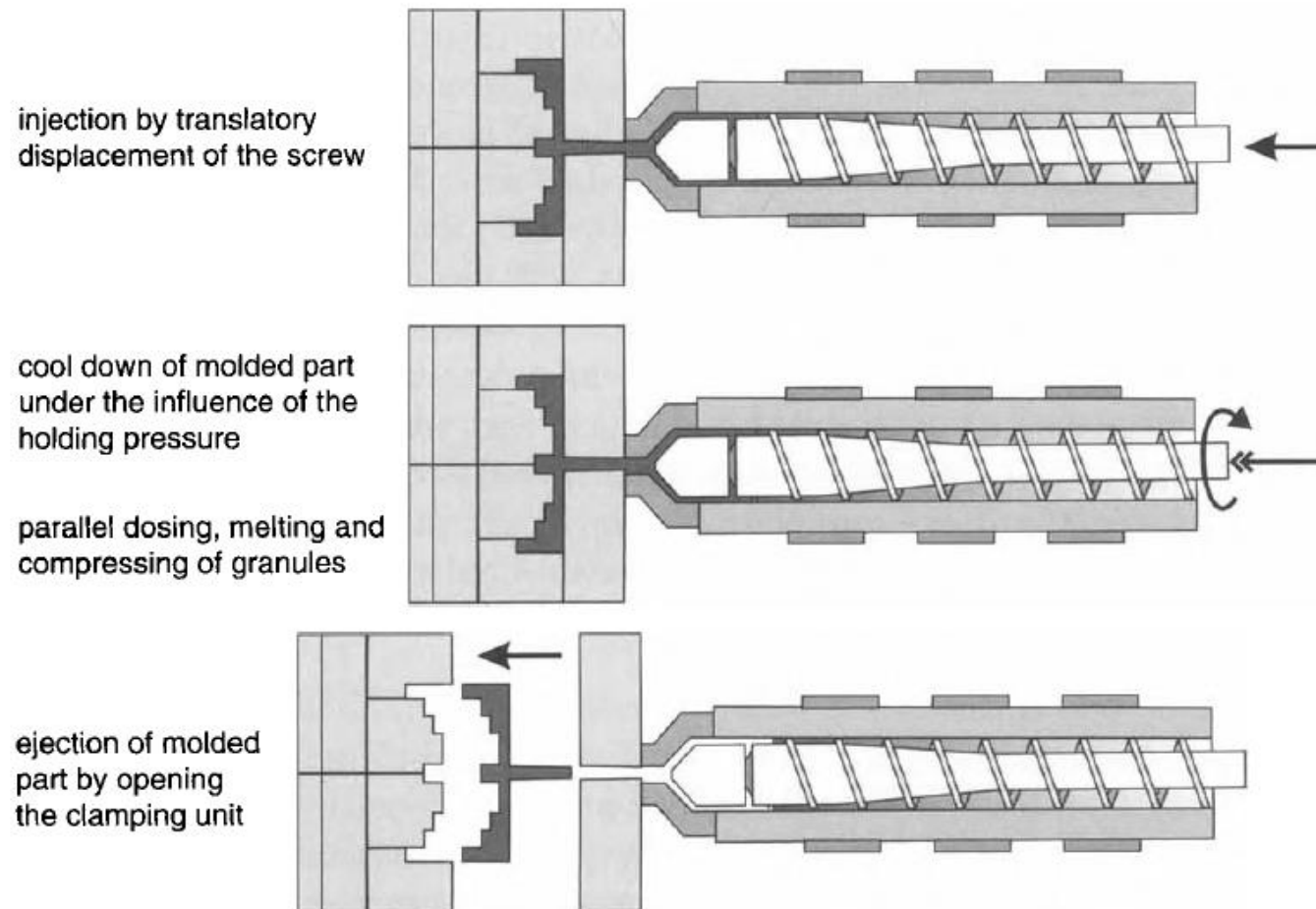
➤ *Micro Hot embossing*





LIGA - Moldagem

Micro injeção





Processo LIGA - Moldagem

➤ Materiais

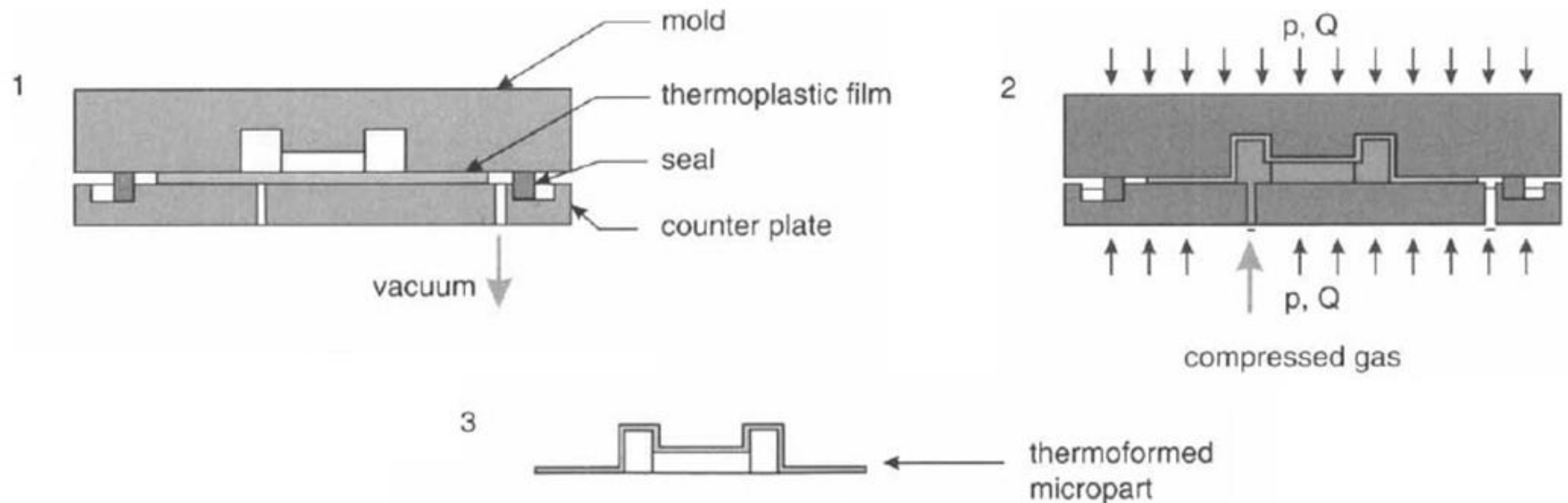
- Polímeros termoplásticos amorfos: Ex. PMMA PC. COC, PSU, PU poliuretano expandido, PA – Poliamida, outros
- polímeros termoplásticos semicristalinos: Ex. PP, PE, POM, LCP, PEEK
- matéria curáveis por exposição ao UV
- Compósitos de polímeros amorfos e semi cristalinos com cerâmicas
- Pós metálicos, Ex. Ferro-carbono, aços inoxidáveis, ações liga
- Pós cerâmicos, Ex. zircônia, alumina, outros.



LIGA - Moldagem

Termo conformação / *Vaccun form*

- Termo conformação é outra técnica de replicação aplicada ao processo LIGA





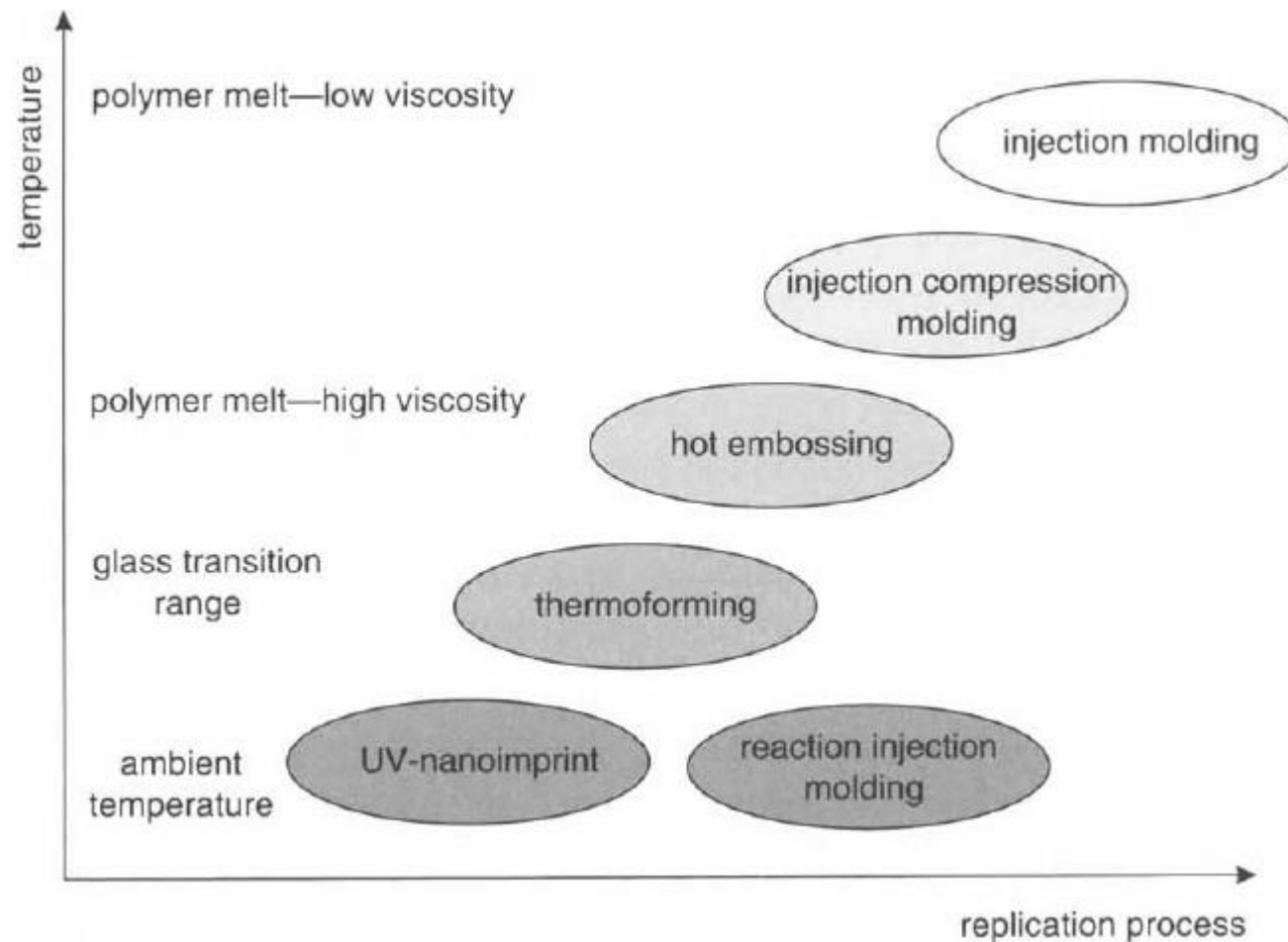
LIGA - Moldagem

- **Vantagens** da termo conformação
 - Processo com grande potencial para replicação de estruturas micrométricas complexas
 - Permite o uso de filmes pré estruturados por *Hot Embossing*
- **Desvantagens**
 - Incapacidade de gerar peças com alto índice de esbeltes
 - Dificuldade de se obter cantos com alta definição geométrica



Processo LIGA - Moldagem

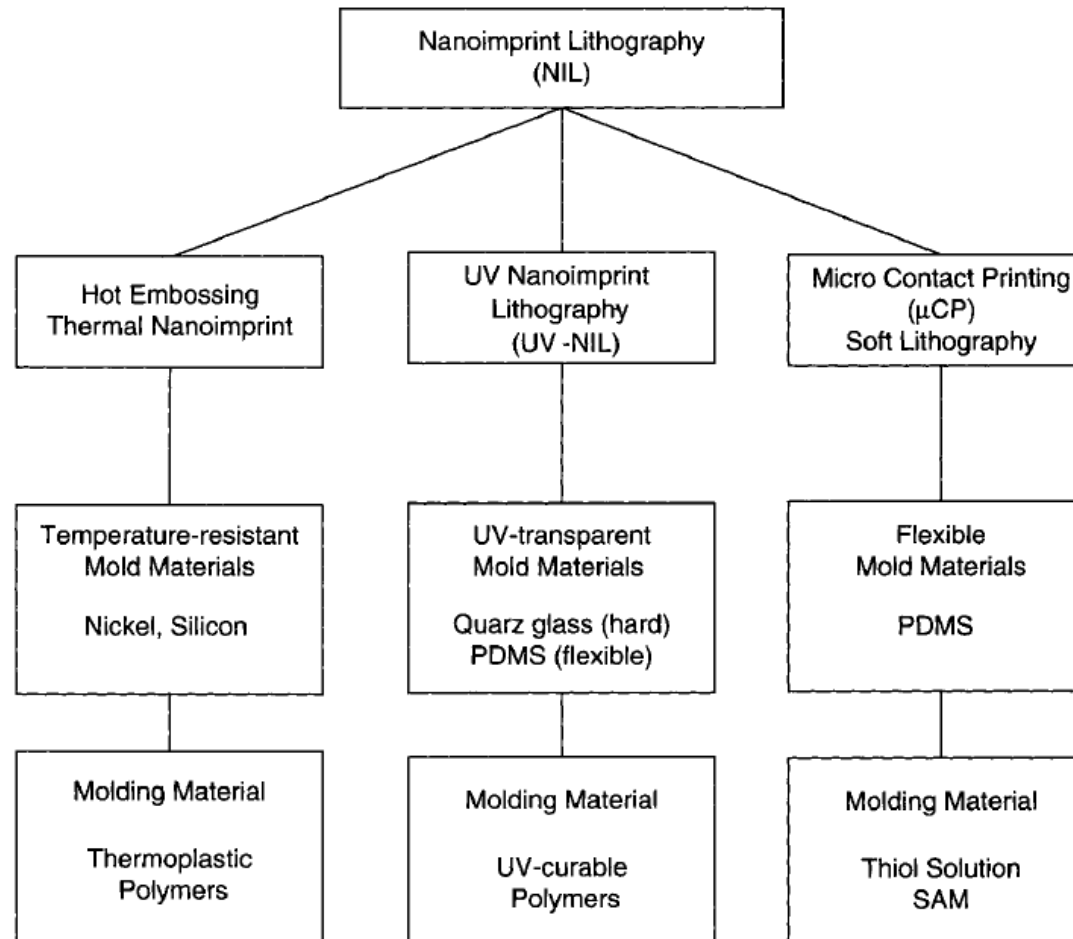
- Temperatura para diversos processo de micro replicação





LIGA - Moldagem

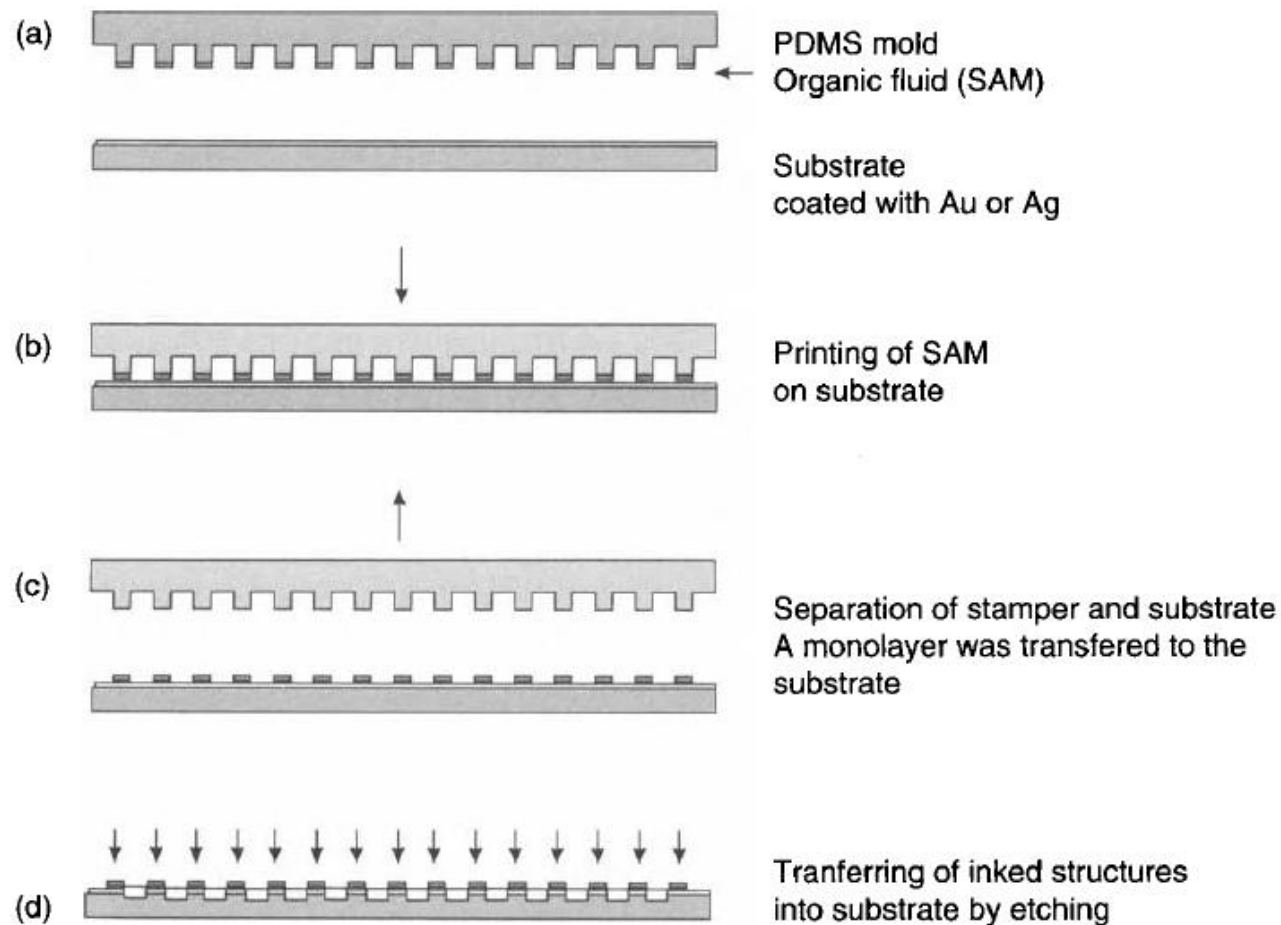
➤ Processos de nano impressão - *Nanoimprint*





LIGA - Moldagem

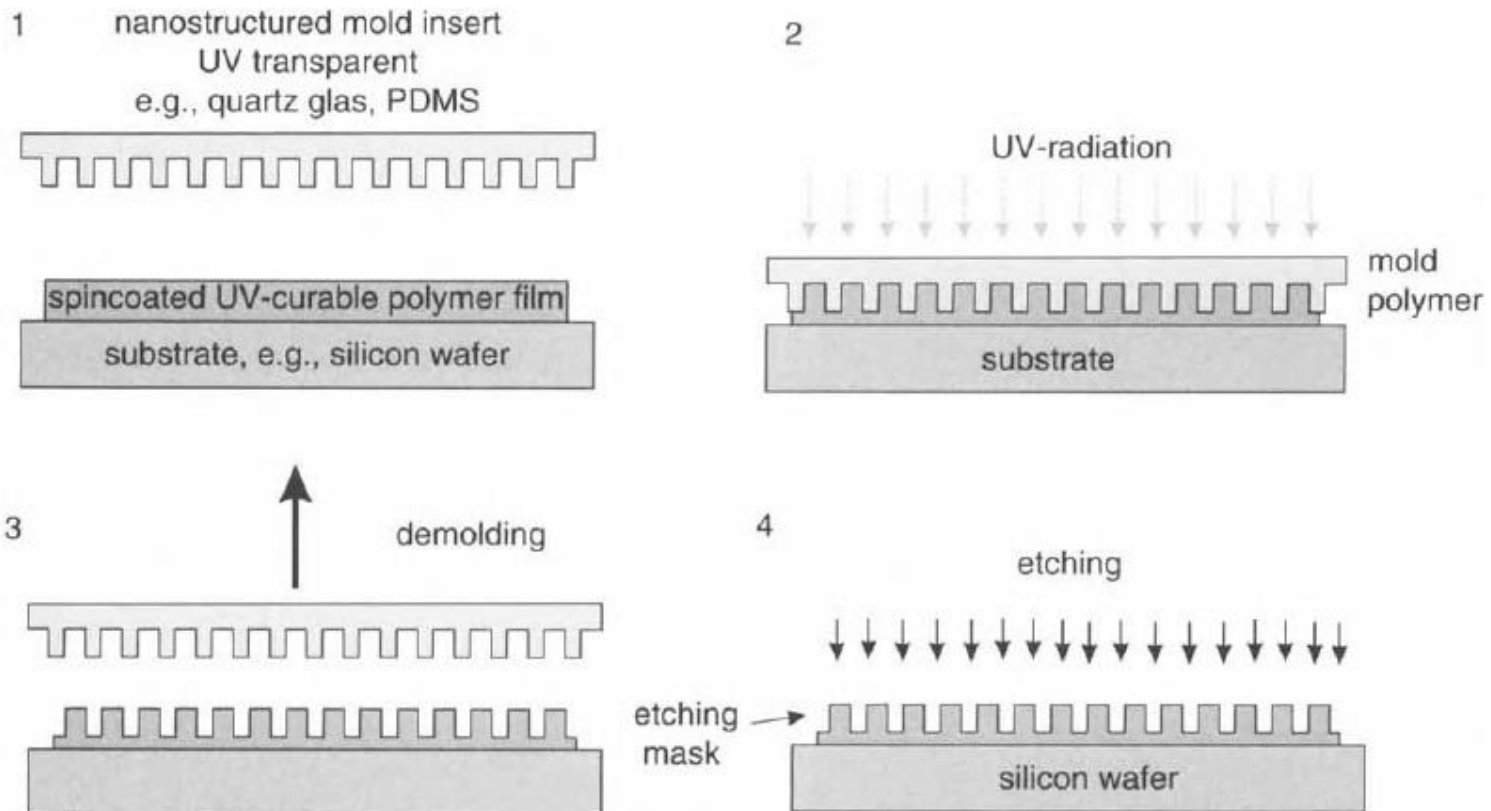
➤ Processos de nano impressão - *Micro Contact Printing*





LIGA - Moldagem

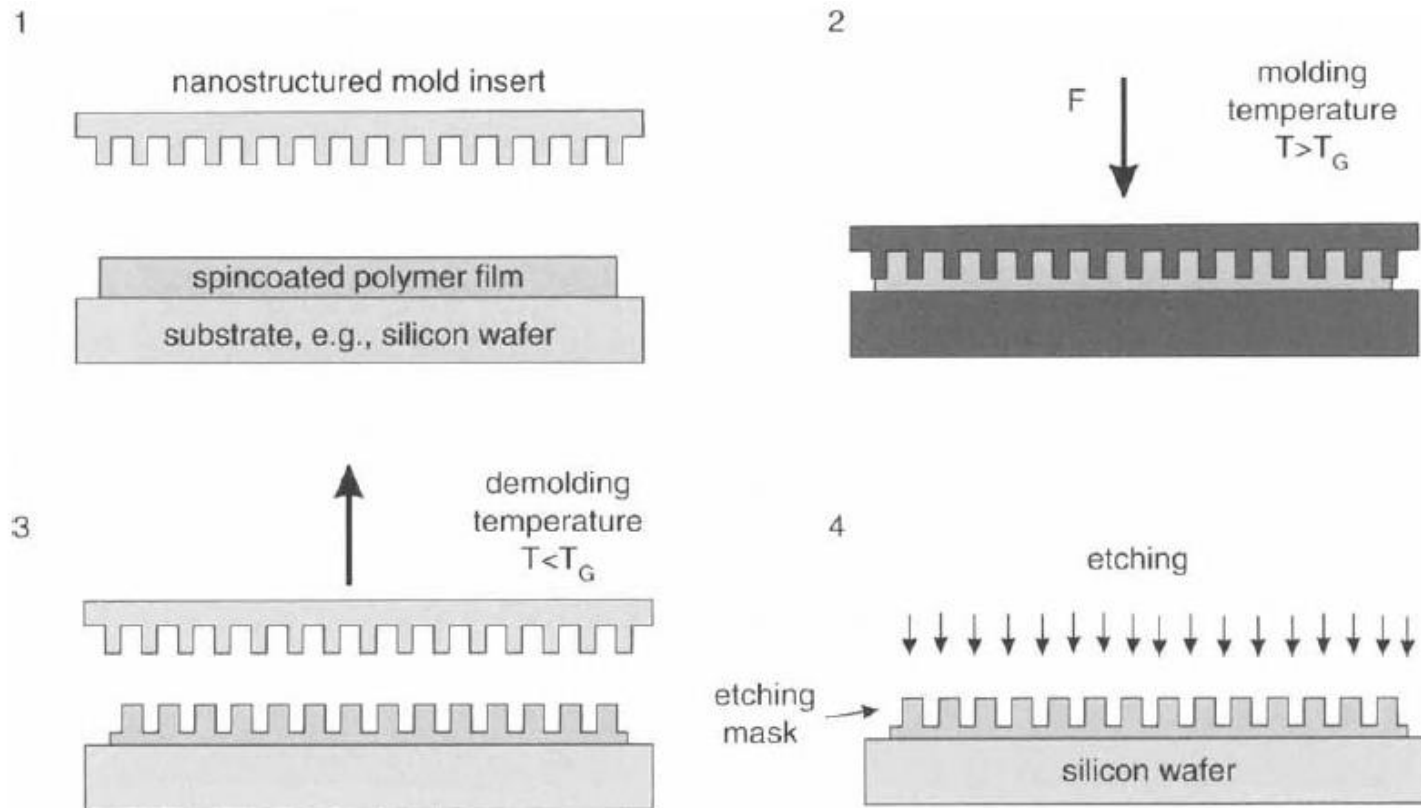
- Processos de nano impressão - *Nanoimprint of UV-Curable Materials*





LIGA - Moldagem

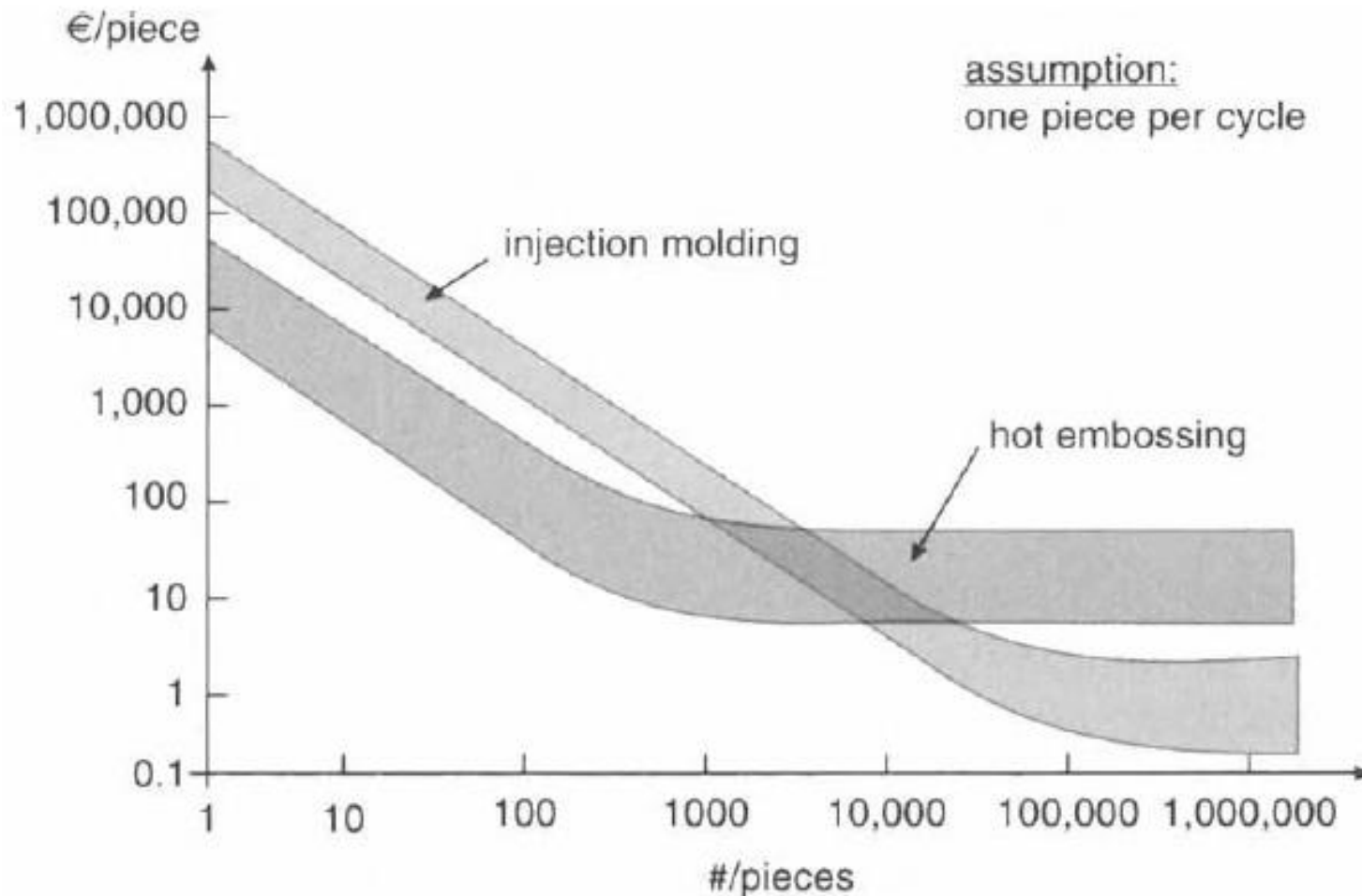
- Processos de nano impressão - *Nanoimprint of Thermoplastic Polymers*





LIGA - Moldagem

➤ Relação custo efetividade





Técnicas de deposição

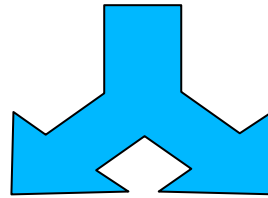
Os processo de deposição de filmes é uma das técnicas de micro fabricação.

A necessidade de se depositar filmes finos com espessura controlada variando da alguns nanômetros até cerca de 100 micrômetros, em posições pré-definidas, requer o conhecimentos de técnicas específicas.

O filme depositado pode posteriormente ser removido localmente usando processos de *ettching*, litografia entre outros já descritos nas aulas anteriores



Técnicas de deposição



Por reação Química

- Deposição Química de Vapor (CVD)
- Eletrodeposição
- Oxidação térmica

Por reação Física

- Deposição Física de Vapor (PVD)
- Fundição



Técnicas de deposição por reação química

- As técnicas de deposição por reação química exploram a criação de materiais sólidos, diretamente a partir de reações químicas, gás e/ou composições de líquido ou com o material do substrato.
- O material sólido geralmente não é o único produto formado pela reação. Subprodutos podem incluir ainda outros sólidos, líquidos e gases.



Deposição Química de Vapor (CVD)

- A Deposição Química de Vapor é a técnica que permite a formação de um filme sólido não-volátil sobre um substrato pela reação reagentes que contêm os componentes químicos necessários na fase de vapor.
- Os gases reagentes são introduzidos em uma câmara onde são decompostos e sofrem reação para formar uma película fina na superfície.



Deposição Química de Vapor (CVD)

Variações:

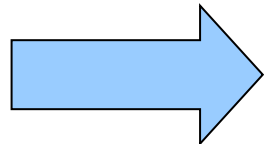
- *CVD – Chemical Vapor Deposition*
- *APCVD – Atmospheric Pressure CVD*
- *LPCVD – Low Pressure CVD*
- *PECVD – Plasma Enhanced CVD*
- *HDPECVD – High Density Plasma Enhanced CVD*



Deposição Química de Vapor (CVD)

A qualidade avaliada em termos de aderência, uniformidade da espessura do filme, deposição em cantos vivos, entre outras variam em função do material e do processo CVD empregado

Uma boa recomendação diz que quanto mais alta temperatura de processo melhor qualidade do material depositado e menor a probabilidade do surgimento de defeitos.



QUAIS AS CONSEQUÊNCIAS ?



Deposição Química de Vapor (CVD)

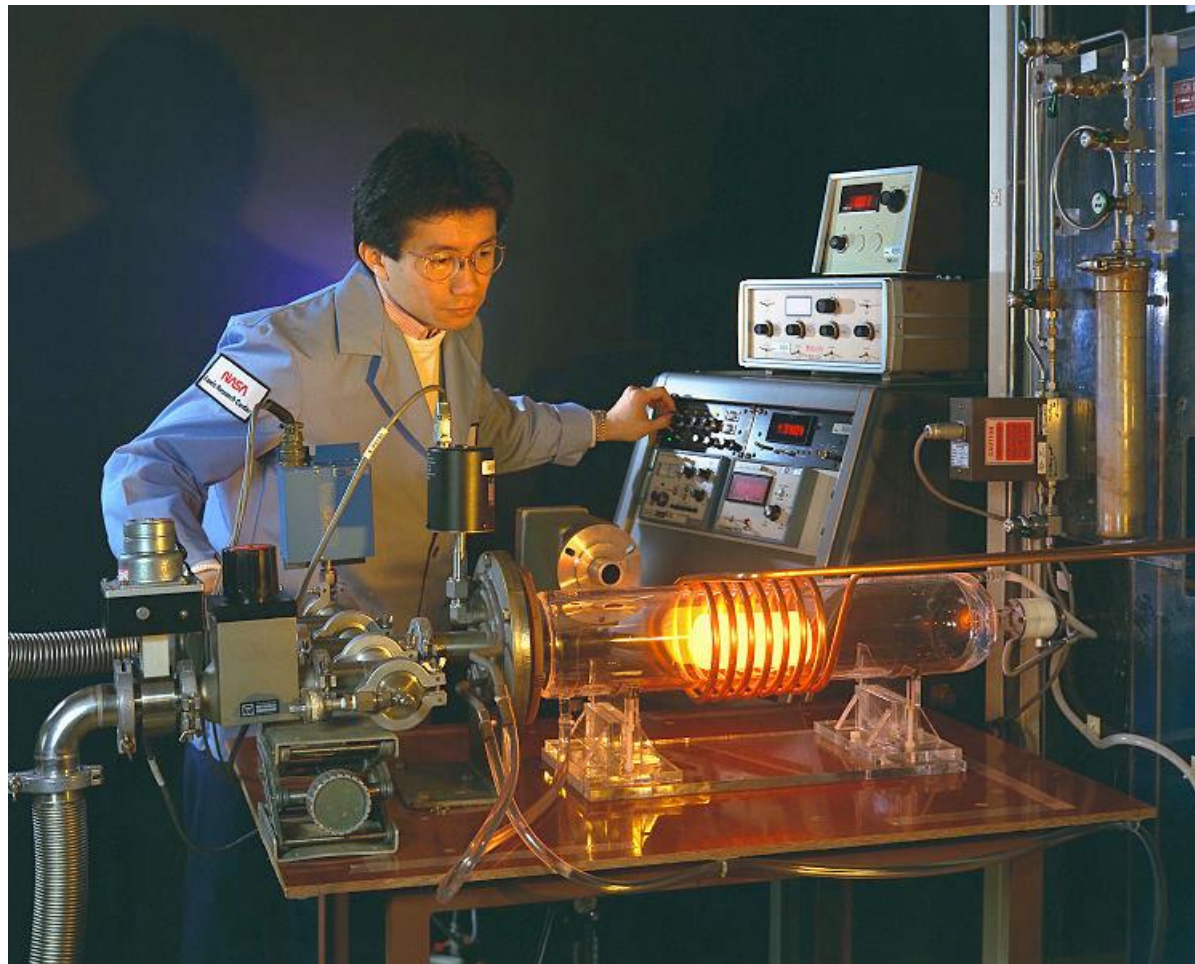
As duas mais importantes tecnologias CVD aplicadas em microfabricação são a *Low Pressure CVD* (LPCVD - $T_t > 600^{\circ}\text{C}$) e a *Plasma Enhanced CVD* (PECVD - T_t até 300°C).

O processo LPCVD produz camadas com excelente uniformidade de características e espessura do material.

O processo PECVD a qualidade dos filmes depositados tendem a ser inferiores devido as temperaturas mais altas.



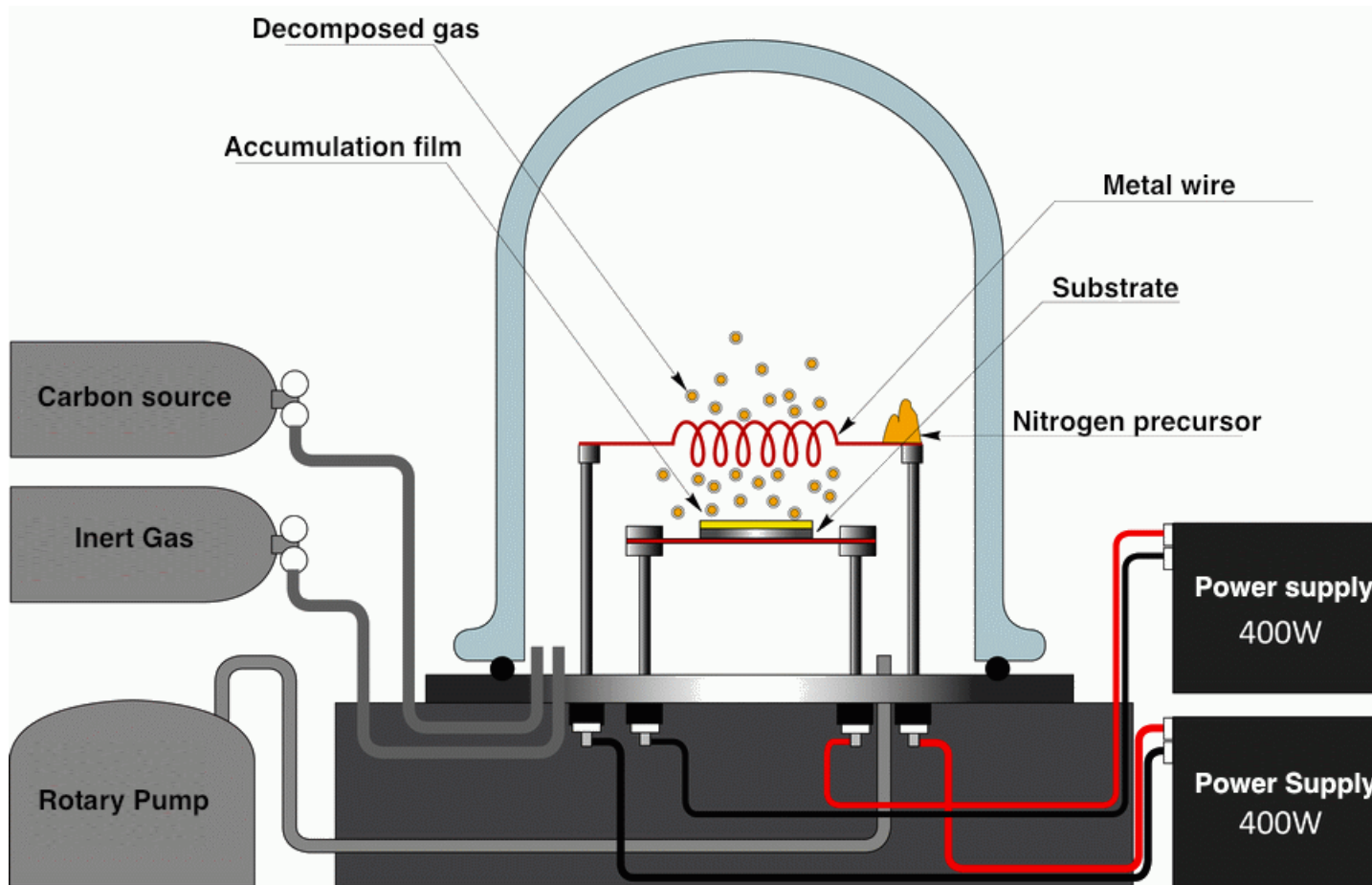
Deposição Química de Vapor (CVD)



http://commons.wikimedia.org/wiki/File:CVD_Reaction_Chamber_-_GPN-2000-001466.jpg



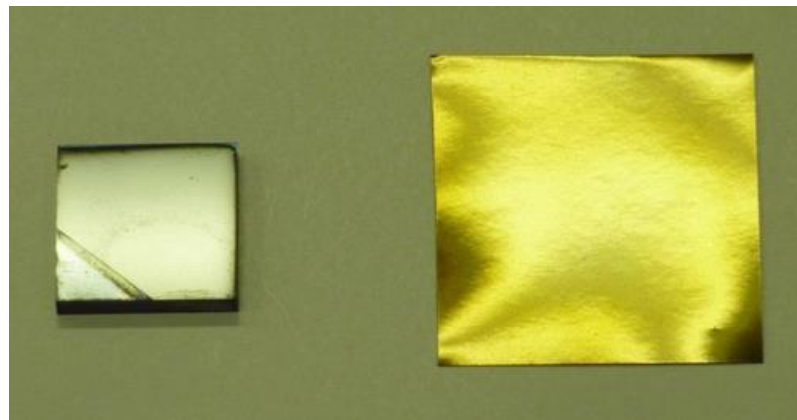
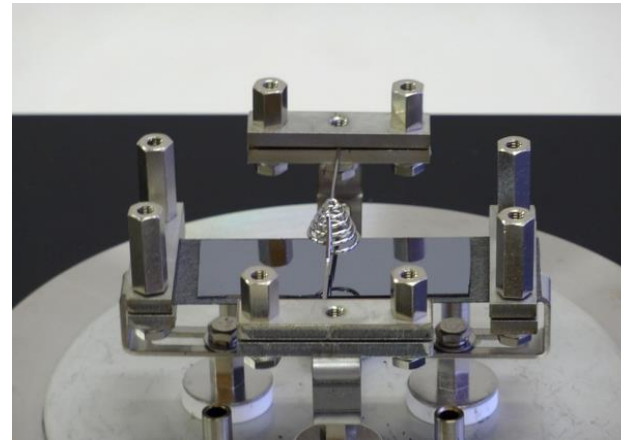
Deposição Química de Vapor (CVD)



<http://www.nabond.com/CVD20Coating20Device20with20heating20Metal20wire.html>



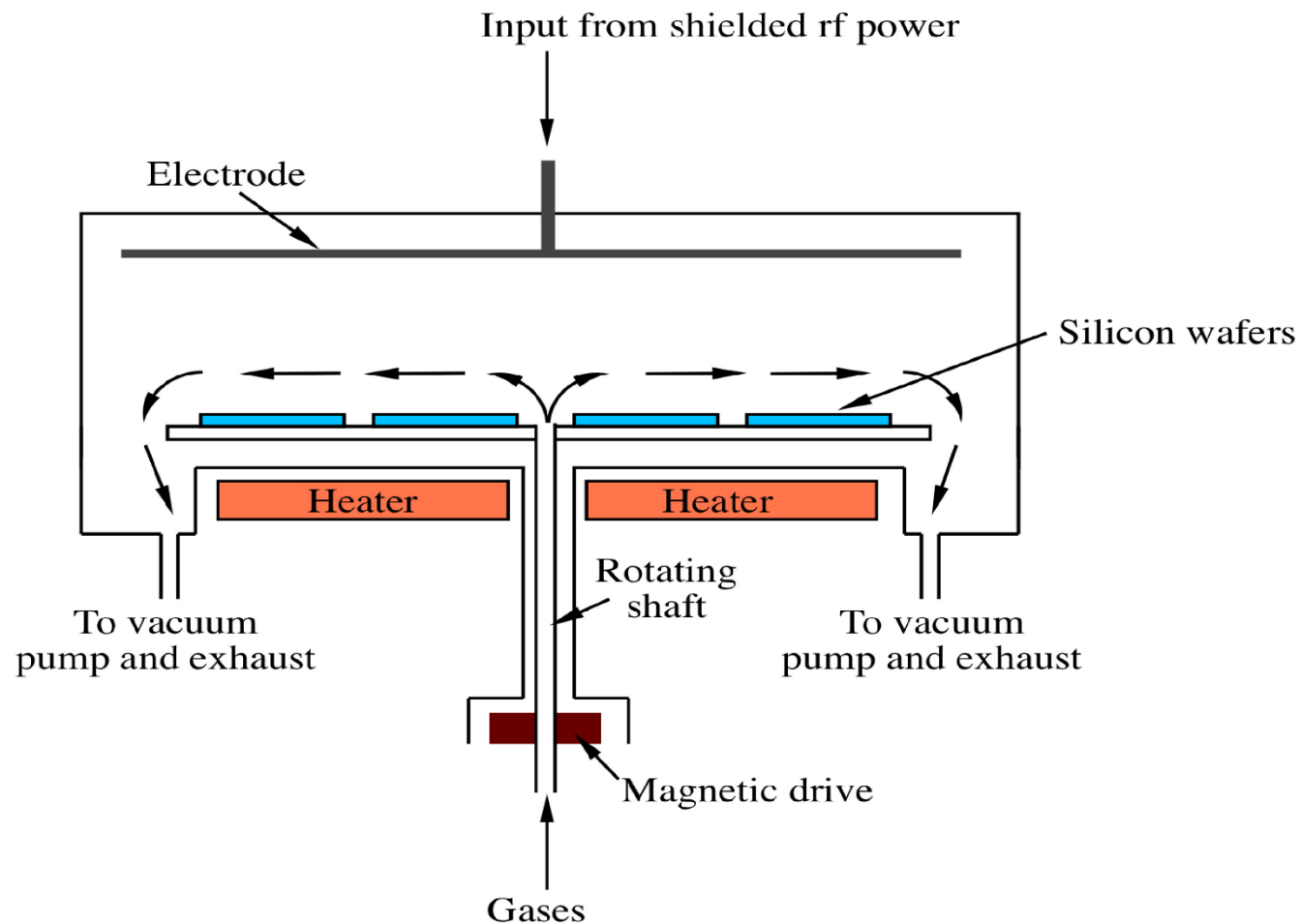
Deposição Química de Vapor (CVD)



Left: with methane, finished Diamond Like Carbon (DLC) film is created on WC.
Right: with nitrogen precursor, a golden titanium nitride film is formed on the surface of Ti



Deposição Química de Vapor a baixa pressão (LPCVD)





Deposição Física de Vapor (PVD)

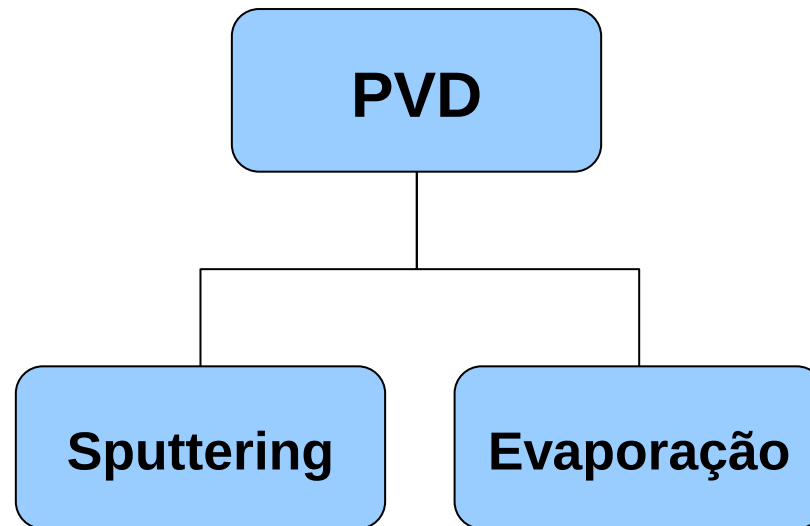
A Deposição Física de Vapor (PVD) abrange um número de tecnologias de deposição em que material é liberada de uma fonte e transferidos para o substrato.

As duas tecnologias mais importantes são a evaporação e o *sputtering*.



Deposição Física de Vapor (PVD)

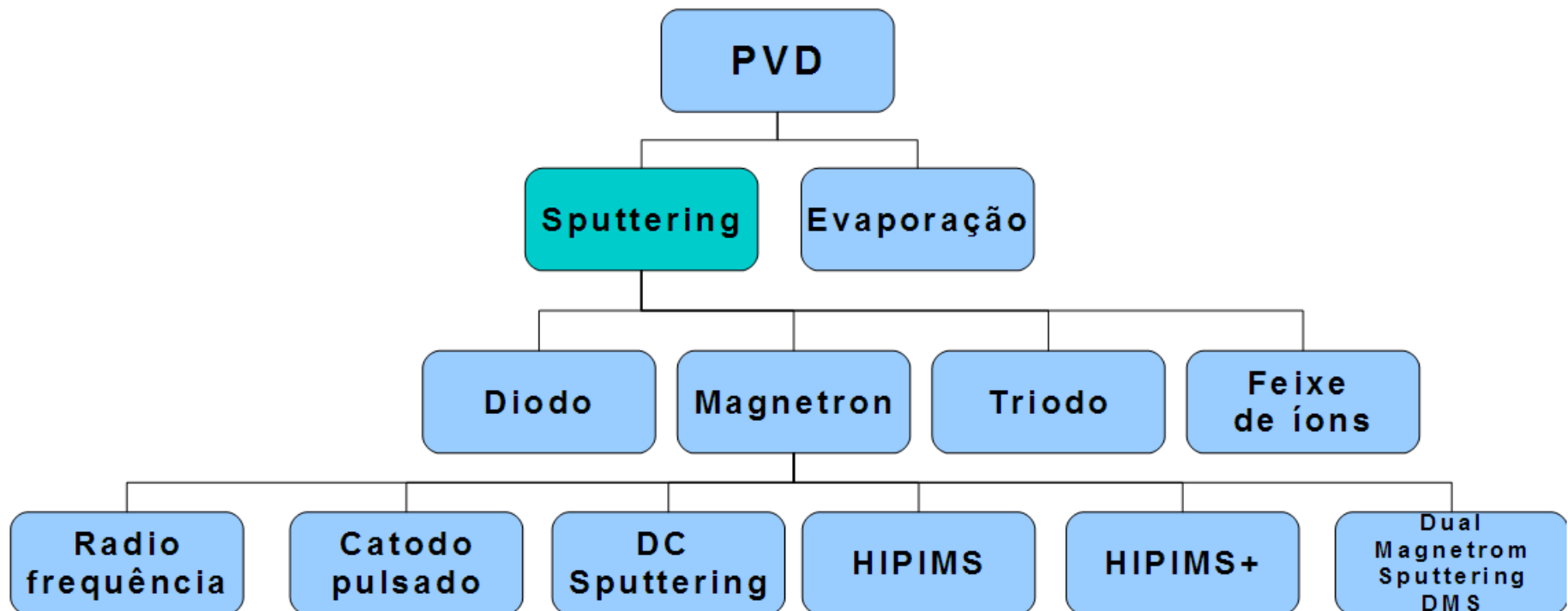
Tecnologias de deposição





Deposição Física de Vapor (PVD)

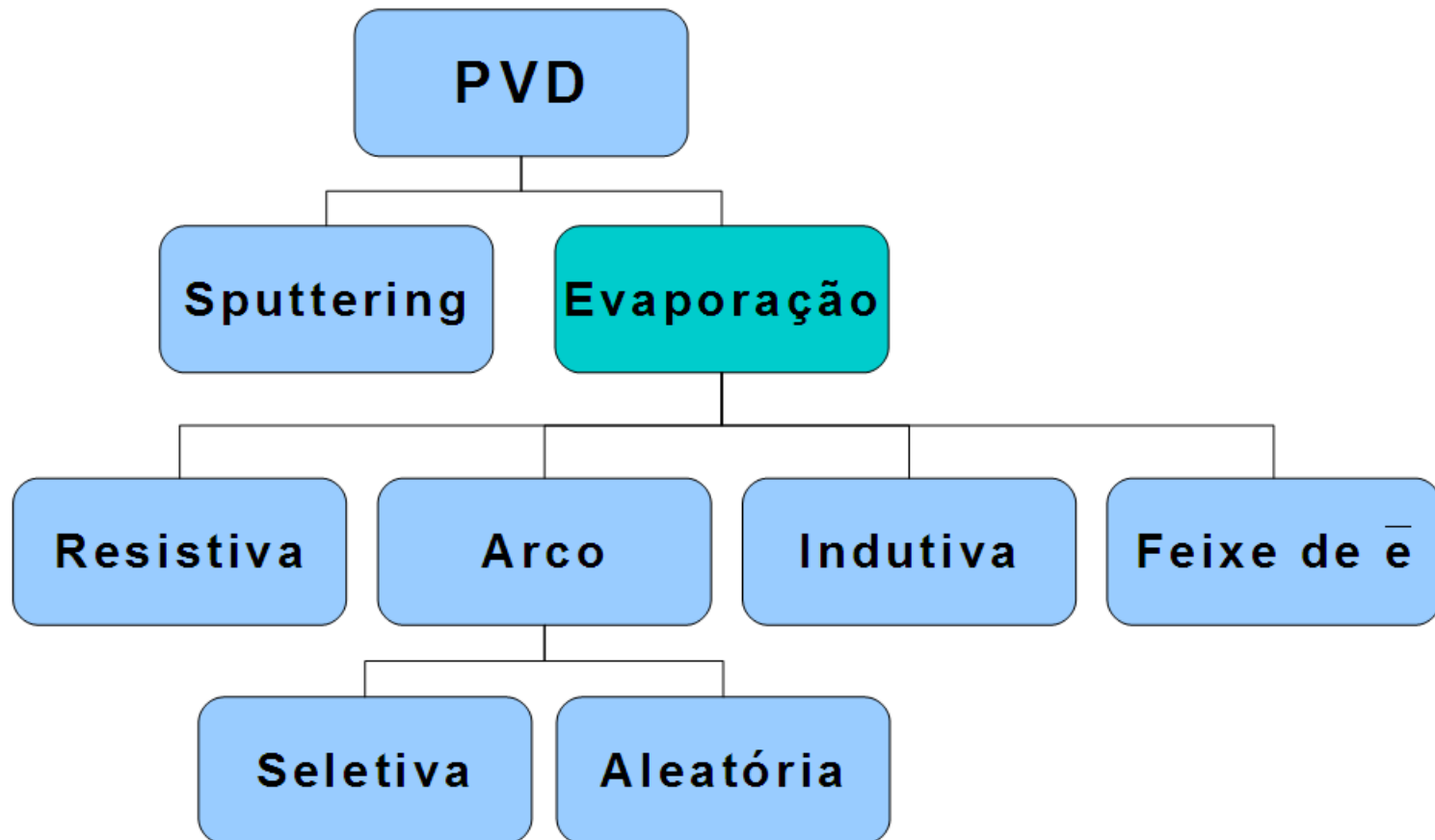
Tecnologias de deposição





Deposição Física de Vapor (PVD)

Tecnologias de deposição





Deposição Física de Vapor (PVD)

Quando eu quero usar PVD?

PVDs compreendem as tecnologias padrão de deposição de metais.

É muito mais comum do que o uso dos processos CVD para metais, uma vez que pode ser executado com menor risco e de forma mais barata em relação custo de materiais.



Deposição Física de Vapor (PVD)

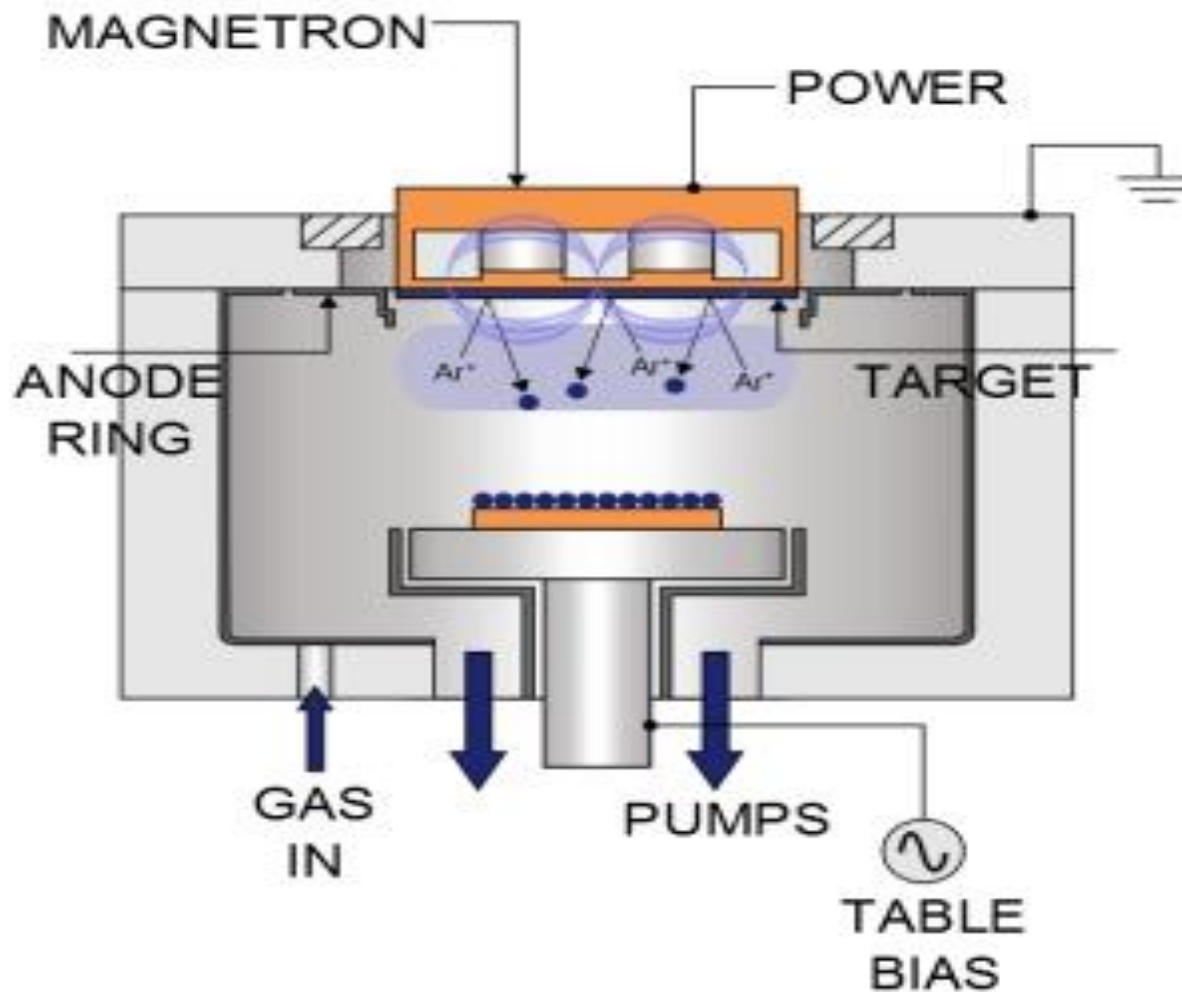
Quando usar PVD?

A qualidade dos filmes são inferiores as produzidas por CVD, o que para metais, significa maior resistividade e para isoladores mais defeitos e trincas.

Perde também em termo de cobertura de área com relação ao CVD.



Deposição Física de Vapor (PVD)





EVAPORAÇÃO

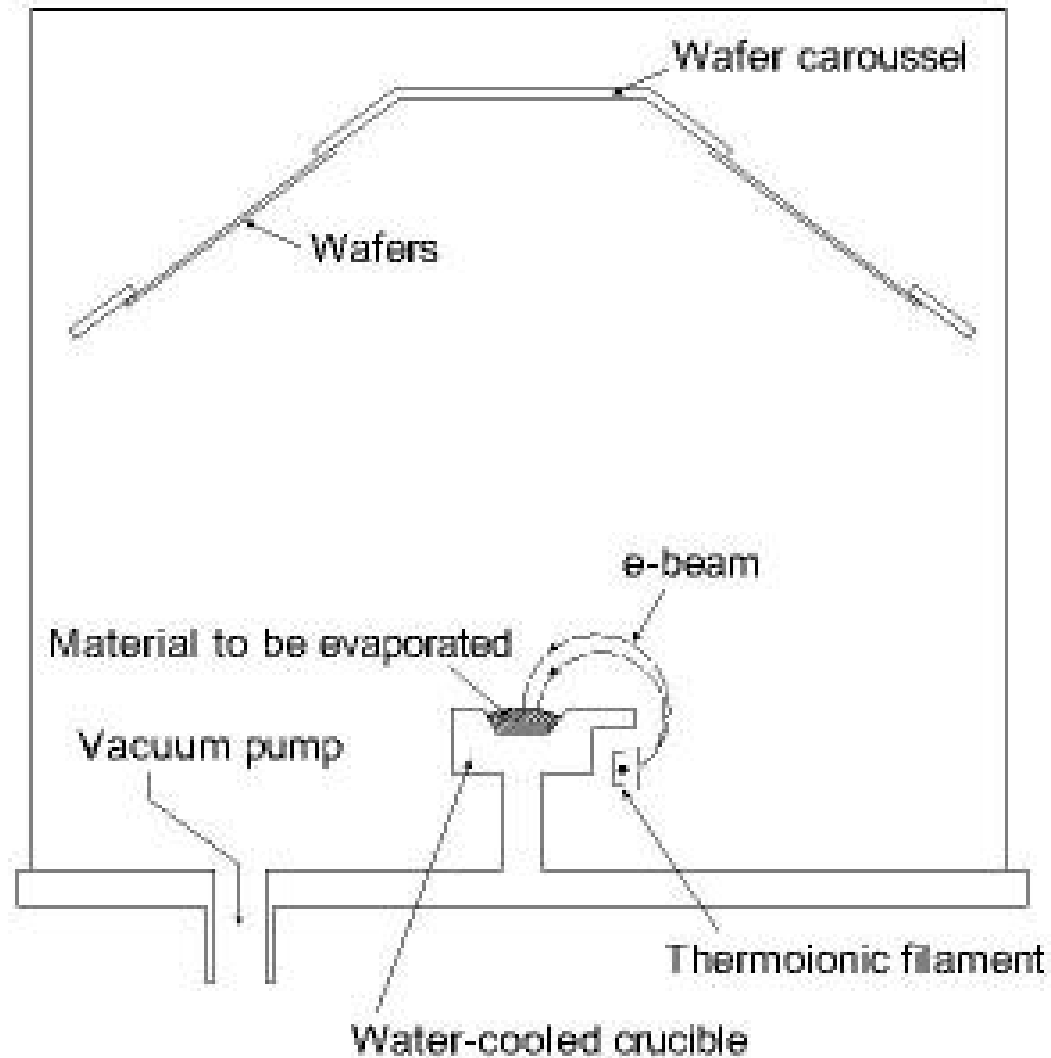
Na deposição de filmes por evaporação o substrato é colocado dentro de uma câmara de vácuo, em que um bloco (fonte) do material a ser depositado também está localizado.

O material de origem é então aquecido até o ponto onde começa a evaporar.

O vácuo é necessário para permitir que as moléculas evaporadas vaguem livremente na câmara, e posteriormente se condensam em todas as superfícies



EVAPORAÇÃO





Sputtering

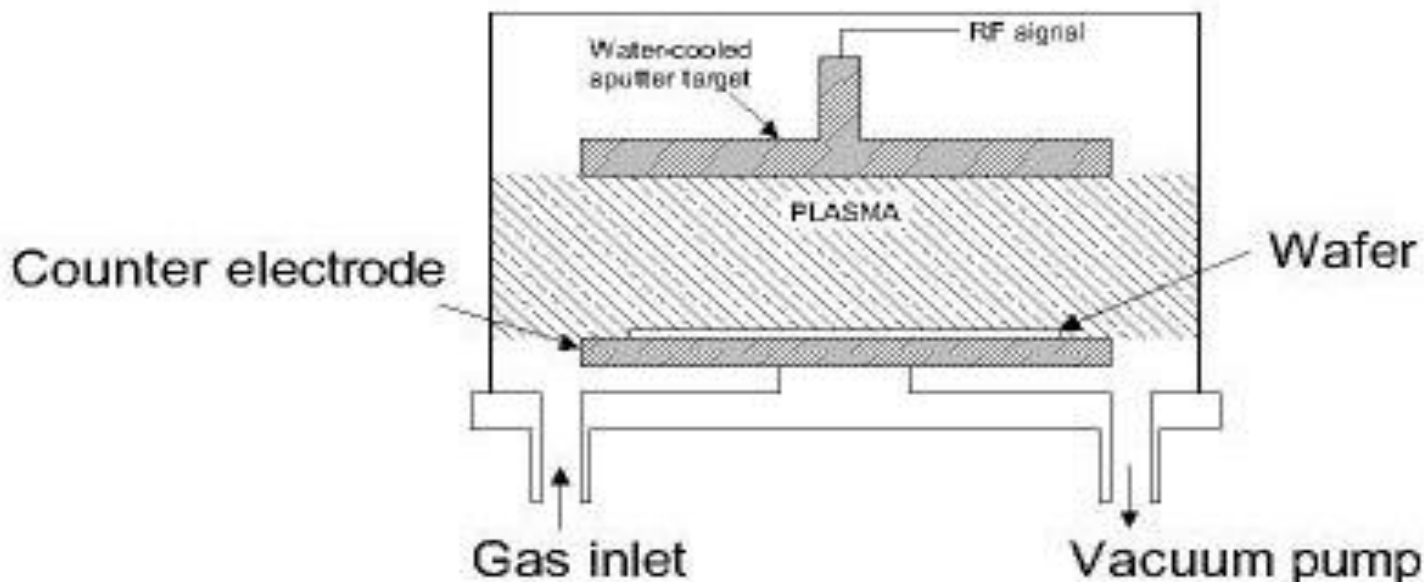
O substrato é colocado em uma câmara de vácuo com o material de origem, chamado um alvo, e um gás inerte (como argônio) é introduzido a baixa pressão.

Um plasma de gás é gerado usando uma fonte de energia de RF, fazendo com que o gás para se tornar ionizado.



Sputtering

Os íons são acelerados em direção a superfície do alvo, fazendo com que os átomos do material fonte para romper o destino na forma de vapor e condensar em todas as superfícies, incluindo o substrato.





ELETRODEPOSIÇÃO

Eletrodeposição ou galvanoplastia é geralmente restrito aos materiais eletricamente condutores.

Existem basicamente duas tecnologias para a deposição: galvanoplastia e o *Electroless plating*.



GALVANOPLASTIA

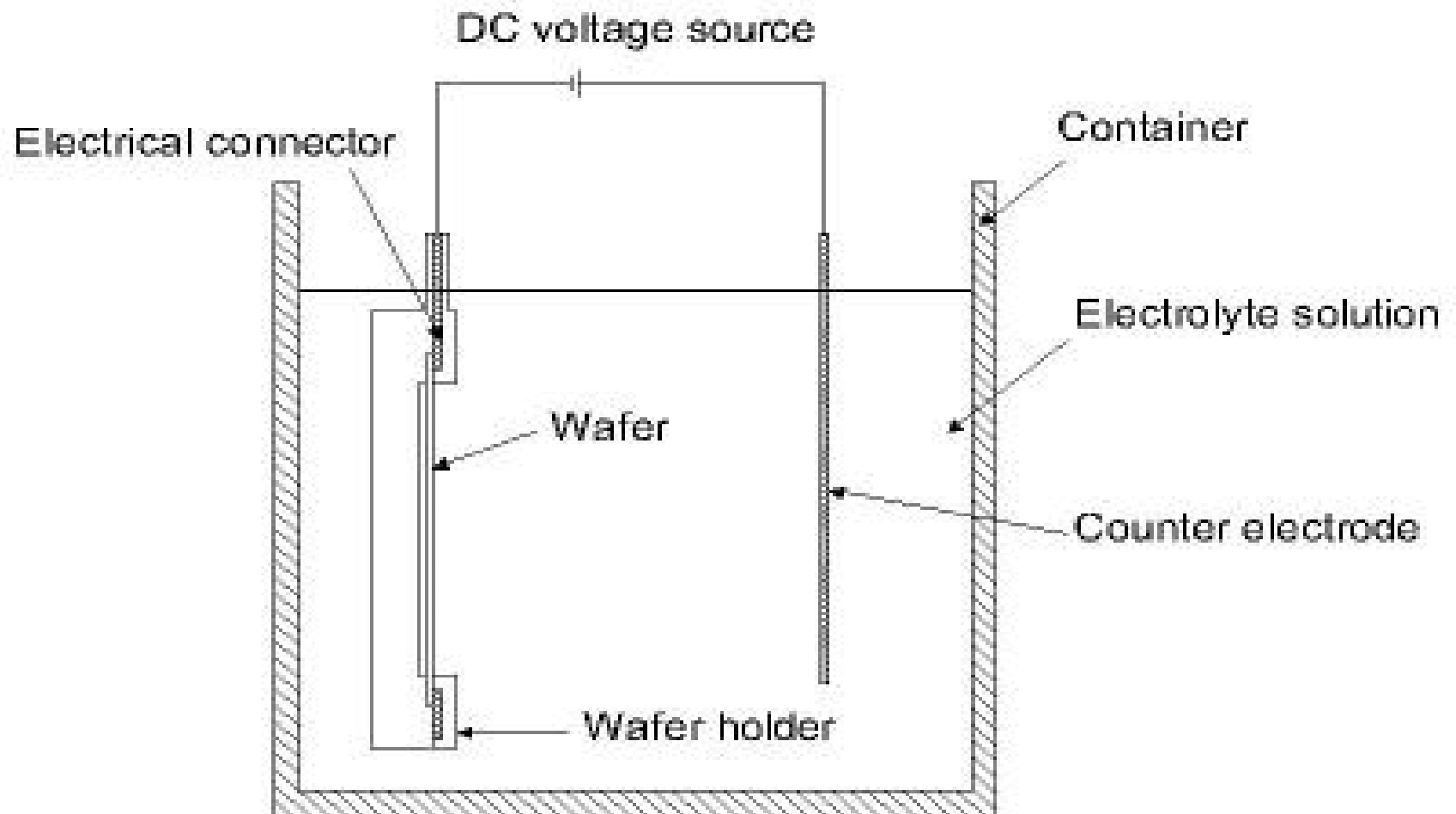
No processo de galvanoplastia, o substrato é colocado em uma solução eletrolítica.

Quando um potencial elétrico é aplicado o substrato e um eletrodo contrário (geralmente platina) imersos no eletrólito, ocorre uma reação química de redox, resultando na formação de um filme de material sobre o substrato e, geralmente, alguns geração de gás.



GALVANOPLASTIA

Processo





ELECTROLESS PLATING

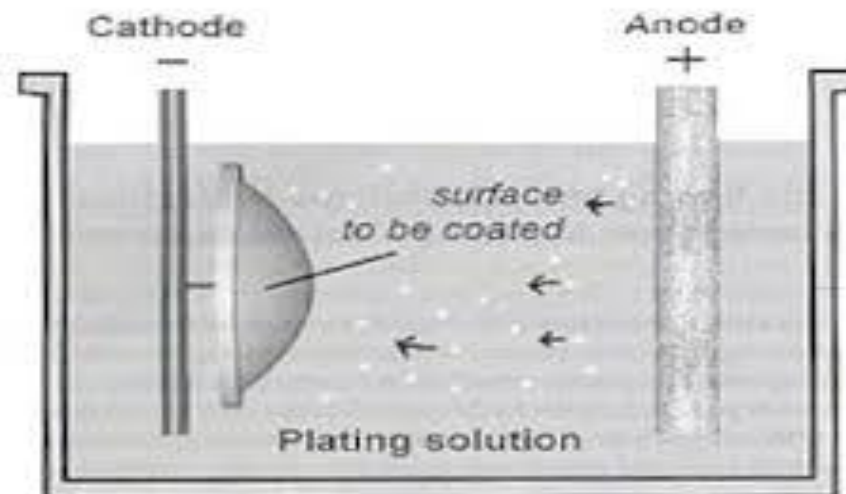
Este processo é desejável, uma vez que não exige qualquer potencial elétrico externo e o contato ao substrato durante o processamento.

A desvantagem está no controle da reação e consequentemente a uniformidade e a espessura do filme



ELECTROLESS PLATING

No processo de *electroless plating* é usada uma solução química mais complexa, em que deposição acontece espontaneamente em qualquer superfície que tenha um potencial eletroquímico suficientemente elevado com a solução.

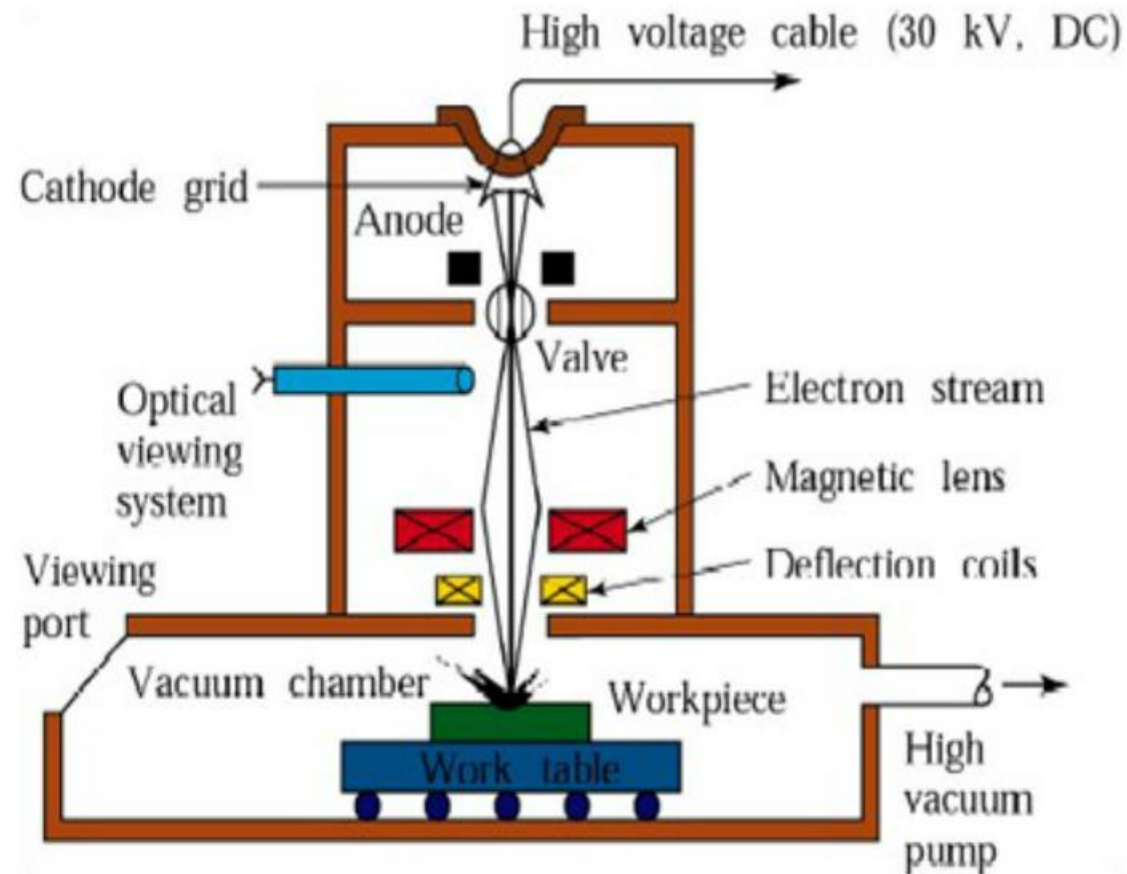




Usinagem por Feixe de Elétrons

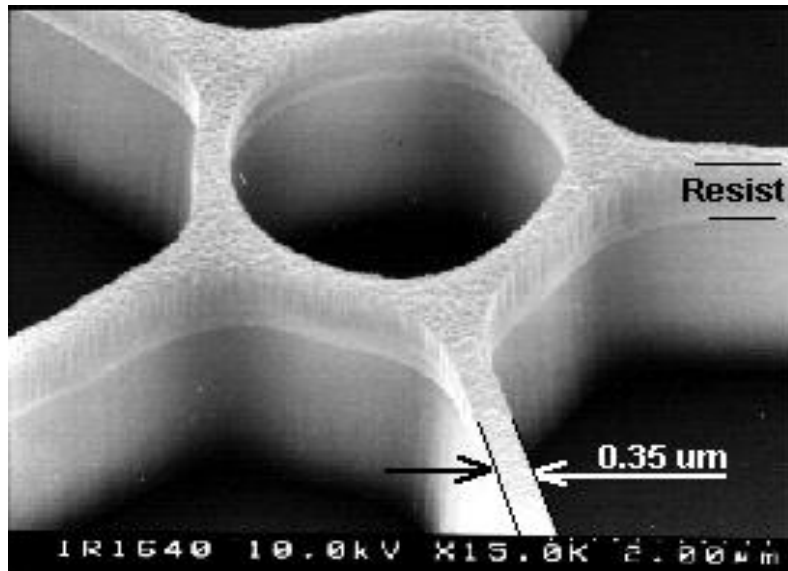
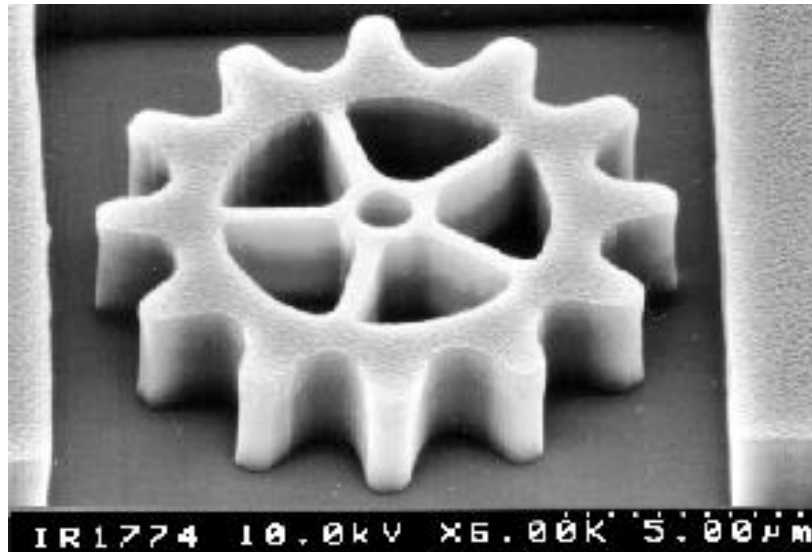
Generalidades

- O processo de remoção ocorre através do impacto de um feixe concentrado de elétrons sobre a superfície da peça
- Em vista da colisão do feixe, ocorre fusão e vaporização do material da peça no ponto de incidência, chamado “ponto focal”, formando um furo
- Com a combinação de um movimento de avanço transversal, o furo acompanha tal deslocamento
- Na geração de furos, estes apresentam certa conicidade, que pode ser controlada com a intensidade do feixe





Aplicações



- Com grandes densidade de energia é possível efetuar-se perfuração, furação, fresamento, corte e gravação
- Para a perfuração de placas de aço inóx de 0,1 mm de espessura com furos de 0,2 mm de diâmetro é possível uma frequência de 3000 furos por segundo
- Tal aplicação dá-se para a fabricação de tubeiras de queimadores de gás, anéis de injeção de turbinas, furos de refrigeração em palhetas de turbinas, cabeçotes de fixação para a obtenção de fibras de vidro, tambores de filtros etc

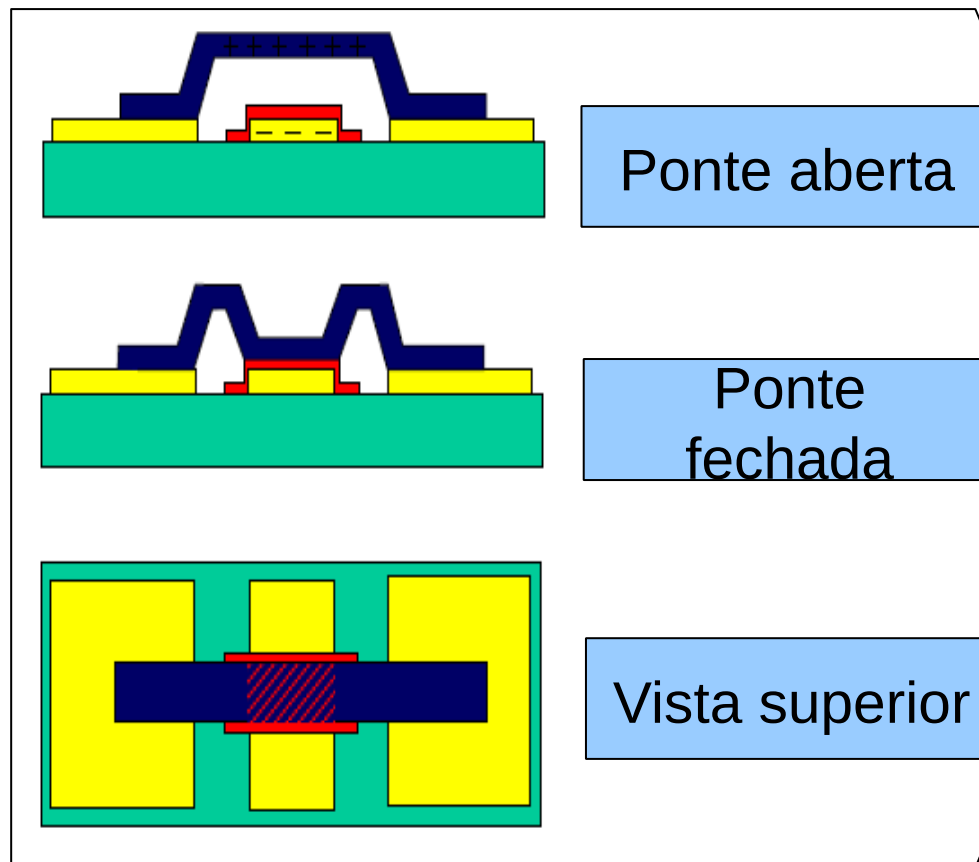


Questionamentos finais

- ▶ Explique as etapas do processo de Micro fabricação por camadas estruturais
- ▶ Quais as vantagens da remoção química (etching) anisotrópico com relação a remoção isotrópica?
- ▶ Quais processos compõem o LIGA?
- ▶ Quando usar CVD?
- ▶ Processos de CVD são ideais quando se quer uma película fina com ampla área de cobertura.
- ▶ Compare os processos de CVD e PVD na micro fabricação.
- ▶



Desenvolva a sequência de fabricação para a micro estrutura abaixo



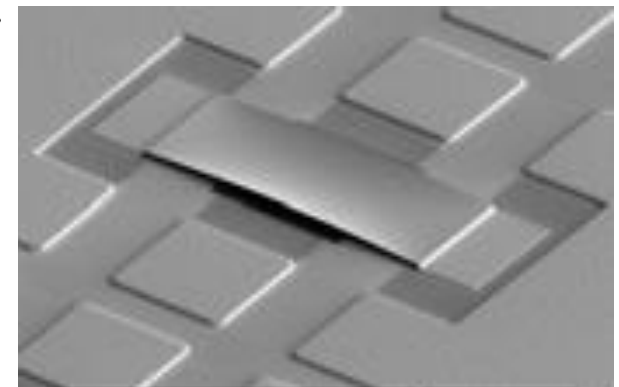
Substrato

CPW

Dielétrico

Membrana

Contato





Fim da aula