

PSI-5761 Introdução aos Processos de Fabricação em Microeletrônica

Fotolitografia

Laboratório de
Microeletrônica
Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

Prof. Roberto K. Onmori sala C2-70 (tel. 3091-5251)

email: RKONMORI@LME.USP.BR

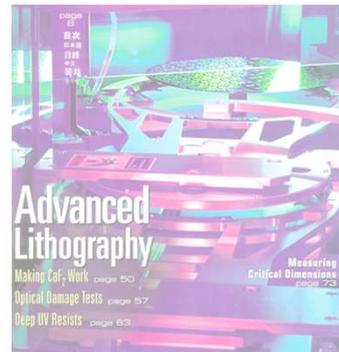
Prof. Fernando J. Fonseca sala C2-65 (tel. 3091-0730)

email: FERNANDO.EPUSP@GMAIL.COM



Tópicos a serem estudados:

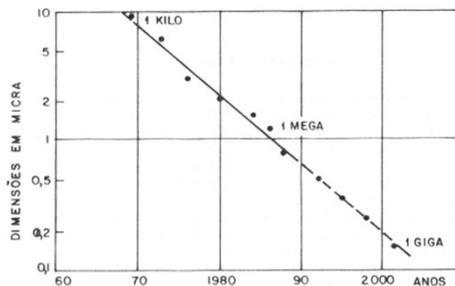
- Introdução
- Máscara – usos
- Idéia da dimensão um
- Fotoresiste
 - Matrix
 - Inibidor
 - Positivo
 - Negativo
 - Resíduos
 - Propriedades
 - Tipos de fotoresiste
- Máscaras – matrizes
- Processo fotográfico
- Fotorepetidora
- Fotorepetição
- “Pattern Generator”
- “Spinner”
- Transferência de imagem
- Fotoalinhadora
- Alinhamento
- Cuidados
- Revelação
- Etapas básicas no processo
- Litografia convencional
- Processo “Lift – off”
- Problemas de difração
- “Eletron beam”
 - Positivo
 - Negativo
 - Polímeros
- Raios – X
- Outros métodos
- Bibliografia
- Tema de artigo



Introdução

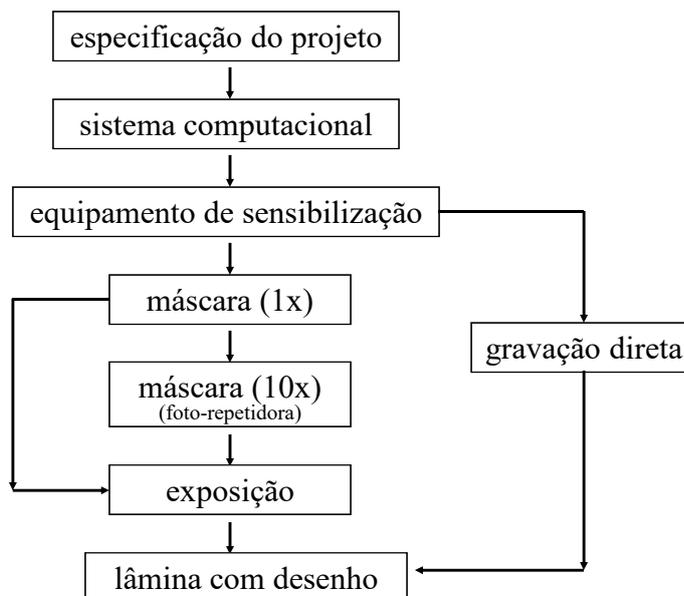
- Conjunto de técnicas necessárias para definir e executar padrões geométricos a estruturas de dispositivos.
- litografia: do grego “gravura em pedra”.
- papel fundamental na integração dos CIs.
- pentium 4 (2003): 42 milhões de transistores.
- pentium 4 HT 3.4G (2005): 168 milhões de transistores.
- memórias (2004) : computador DDR 2Gbyte U\$ 300.00
Sony (mem.stick) 1Gbyte U\$ 300.00

Hoje (2006) 2G – R\$ 300
1G – R\$ 300



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO EJJ 03.3

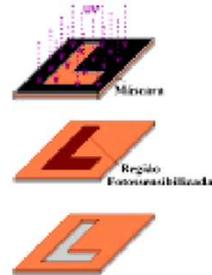
Fluxograma



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO EJJ 03.4

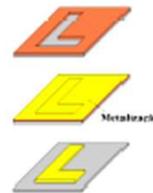
Desenho (máscara) e o Fotoresiste:

- A partir de uma geometria estabelecida, deseja-se transferir o desenho para o material fotosensível através do uso de uma fonte luminosa (luz).
- Após a sensibilização, faz-se a revelação e a posterior remoção do material fotosensível resultando na geometria desejada.



O material remanescente é utilizado para delinear geometrias:

- decapagens
- metalizações
- dopagens
- deposições
- SiO₂
- metal (Al,Au,Ag...)
- Si-poli



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO EJJ 03.5

Idéia do tamanho μm

fio de cabelo

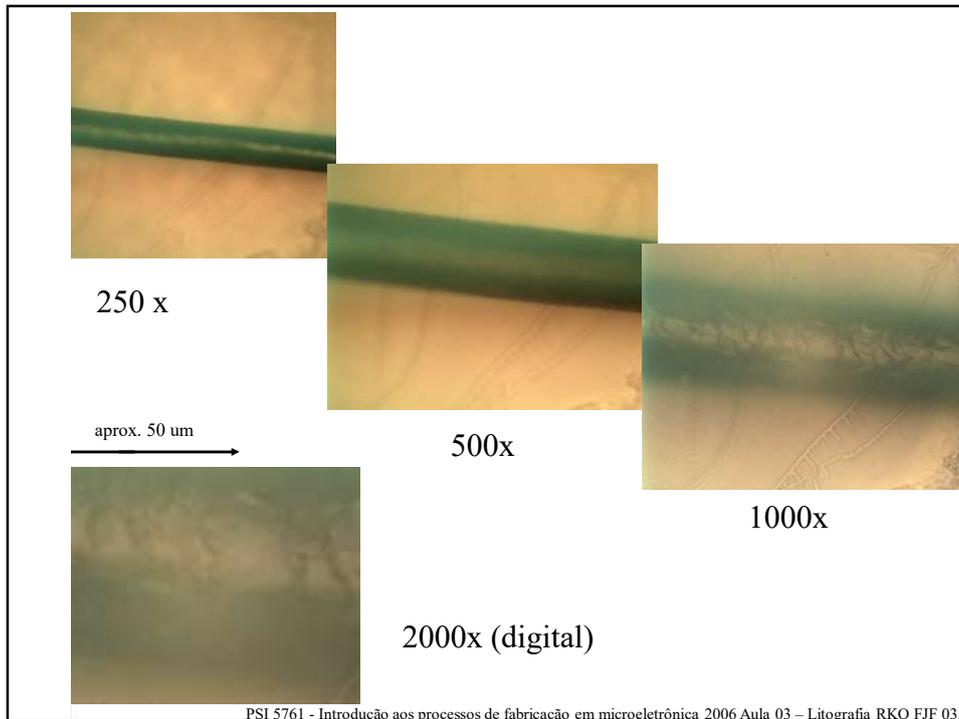


22,5x



80 x

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO EJJ 03.6



O Fotoresiste

- fotoresiste (exemplo: AZ 1350 para o processo óptico)
 - - material que muda a solubilidade após a exposição a luz
- dois tipos: positivo e **negativo**
- fotoresiste (FR):
 - “matrix” (resina):
 - boa adesão sobre a superfície a ser fotogravada
 - propriedades mecânicas
 - inerte à radiação
 - estabilidade térmica
 - viscosidade adequada
 - resistência ao ataque químico
 - flexibilidade
 - elevada pureza química
 - material homogêneo
 - material sensível a luz (inibidor) fotoativo
 - varia quimicamente com a ação da luz
 - propriedade de absorção da luz

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO EJJ 03.8

Características do fotoresiste

- o filme deve ser removido em tempo razoável
 - muito lento: tempo perdido
 - muito rápido: difícil controle e reprodutibilidade
- o resultado deve ser igual ao padrão do resiste
- as paredes do filme deve ter um perfil adequado
- o substrato não deve sofrer dano (ou o mínimo possível)
- após a sensibilização o resiste deve ser passível de remoção



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.9

Fotoreste positivo

- composição: matrix, inibidor (PAC), solvente
- o solvente é eliminado após o pré-bake
- matrix é uma resina de baixo peso molecular (novolac)
- o novolac dissolve em soluções aquosas alcalinas
- o PAC é insolúvel em solução aquosa e é fotosensível e impede que o novolac se dissolva (inibidor)
- PAC + matrix reage com a luz UV formando um material solúvel em solução alcalina (revelador) 1000-2000 A° seg
- não exposto 10-20 A° seg



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.10

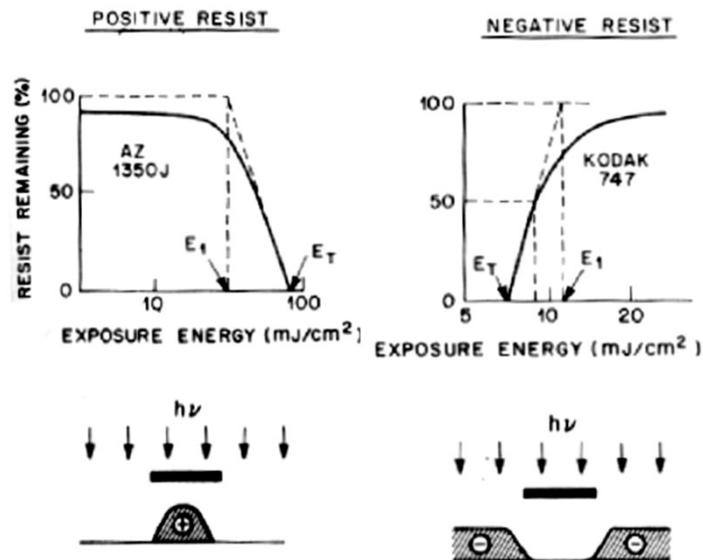
Fotoreviste **negativo**

- muito usado em sistemas até o VLSI mas o inchamento requer resolução de até 3 μm .
- vantagens:
 - melhor adesão em determinados substratos
 - maior rapidez na exposição possibilitando maior área exposta
 - maiores áreas
 - baixo custo ($\sim 1/3$ do positivo)
 - menor alteração em relação à temperatura
 - menor alteração com a diluição do revelador



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.11

Resíduos de fotoreviste em função do tempo de exposição



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.12

Propriedades

- sensibilidade: é definida como a energia necessária para causar uma resposta do fotoresiste. Esta grandeza possui limites práticos pois, se o FR apresenta alta sensibilidade pode ser que a sua vida útil seja reduzida.

$$S = \text{num. fotoindução} / \text{num. fótons absorvidos}$$

- Resistência a decapagem e estabilidade térmica: habilidade do resiste em suportar procedimentos de ataques químicos. Os resistes possuem boa resistência a ataques úmidos mas não para processos secos.
- Adesão: aplicado para diversas superfícies como Al, Au, Si. Apresenta problemas sobre Si-poli, metais e SiO₂
- Viscosidade: conteúdo sólido que fica após a eliminação do solvente e depende desse conteúdo e da temperatura como parâmetro da espessura do resiste



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.13

Tipos de fotoresiste positivo

resiste	% sólido	viscosidade
Kodak microresite 809	32	23
Hunt way HPR 204	28	17
Shipley AZ 1370	27	17
Shipley AZ 1350J	31	30
Shipley AZ 1450J	31	28



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.14

Máscaras matrizes

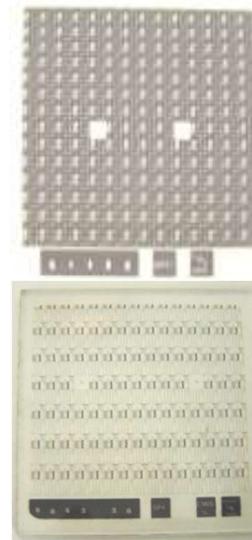
- placa de vidro (quartzo) planar com pouquíssima impureza
- coberto por :

material fotográfico

- exposição e revelação.
- material resultante serve como filtro de luz

metal (níquel cromo, alumínio...)

- necessita de fotoresiste
- exposição, revelação e remoção do metal
- o metal resultante serve como filtro de luz



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.15

Fabricação: processo fotográfico

confeção do “rubylith”

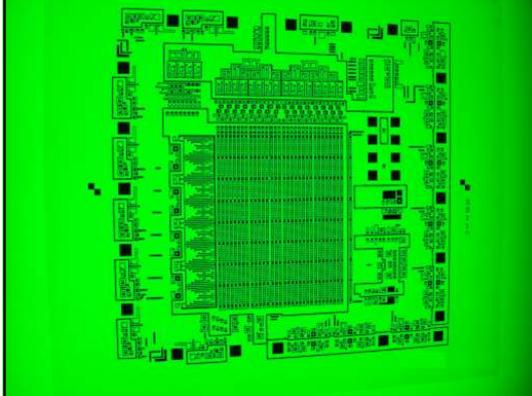
detalhe do
cortador

coordenatógrafo

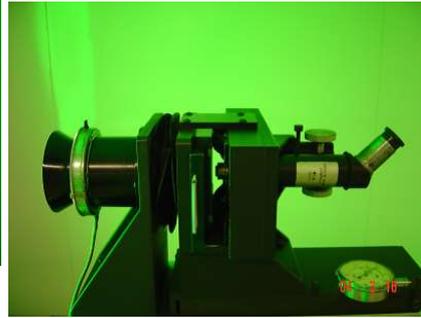


PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.16

Fotografia e redução de 15 a 25 x



desenho com $60 \times 60 \text{ cm}^2$

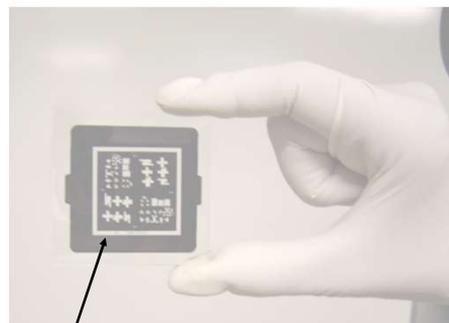
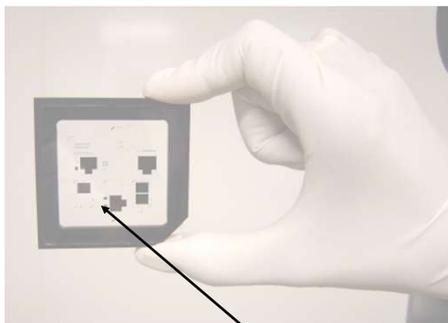


máscara com $4 \times 4 \text{ cm}^2$
(desenho com $3 \times 3 \text{ cm}^2$
para redução de 20x)



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 - Litografia RKO FJF 03.17

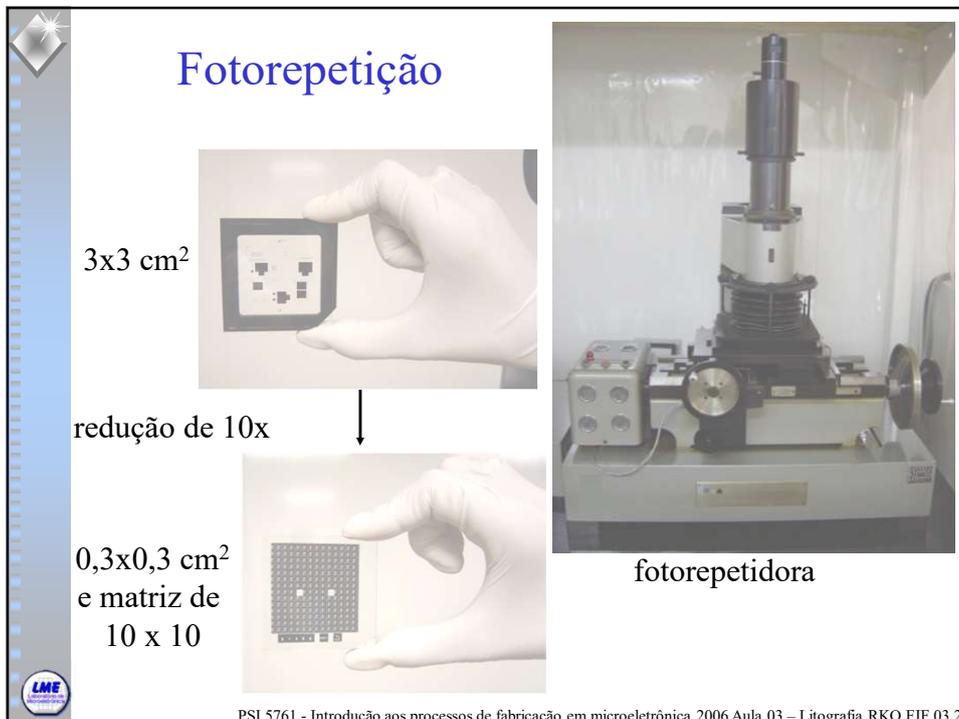
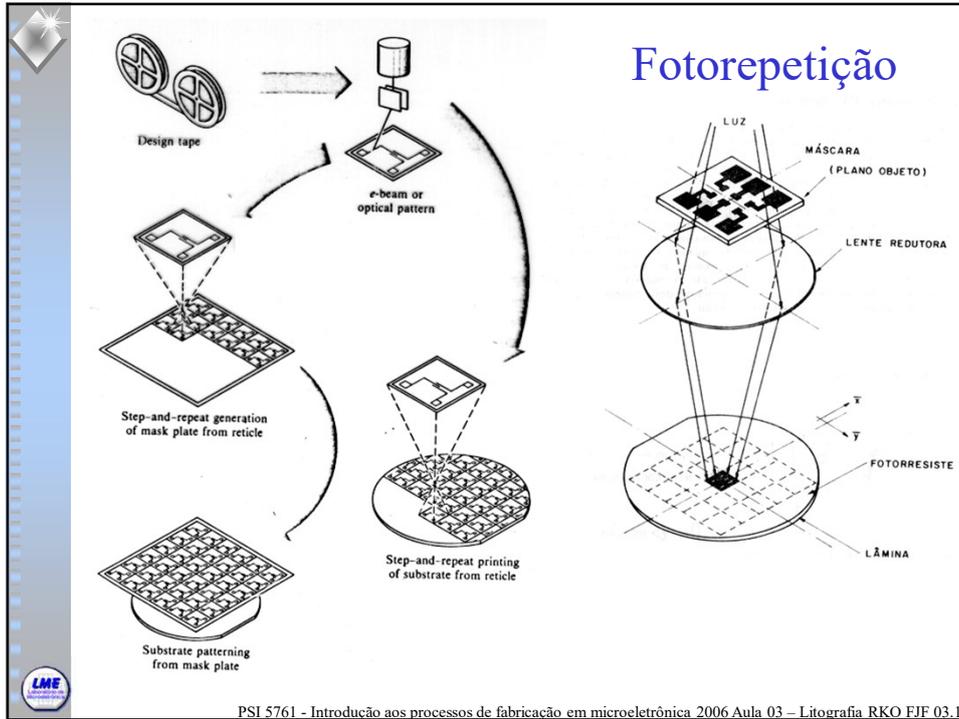
Máscara fotografada e revelada



emulsão fotográfica



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 - Litografia RKO FJF 03.18



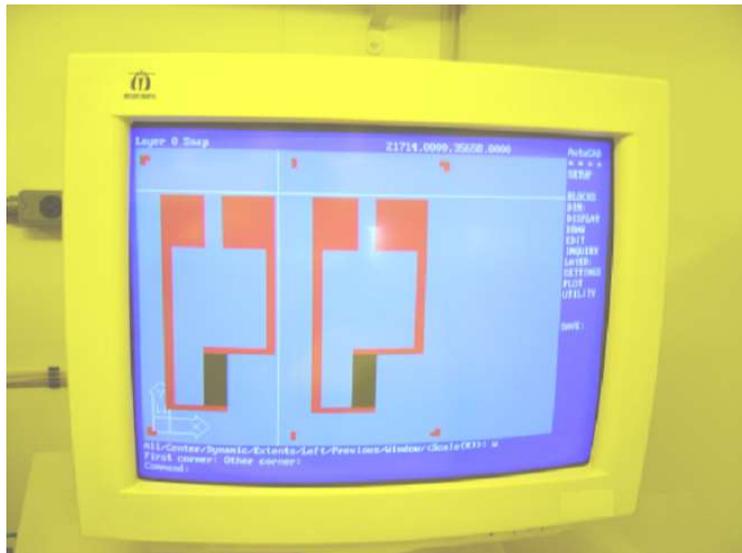
Gerador de padrões (“Pattern Generator”) :

pode gerar máscaras e também pode fazer escrita direta.

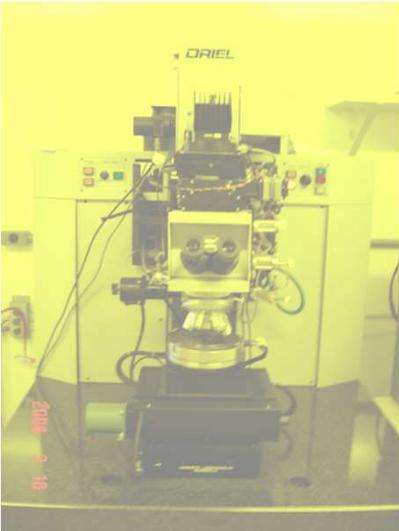
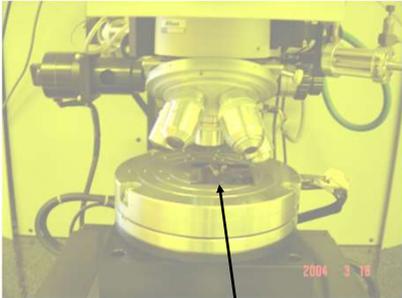
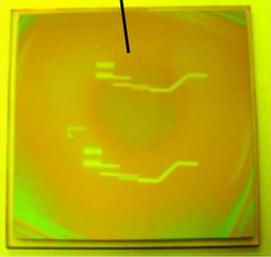


PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.21

Computador para desenhar o formato da figura



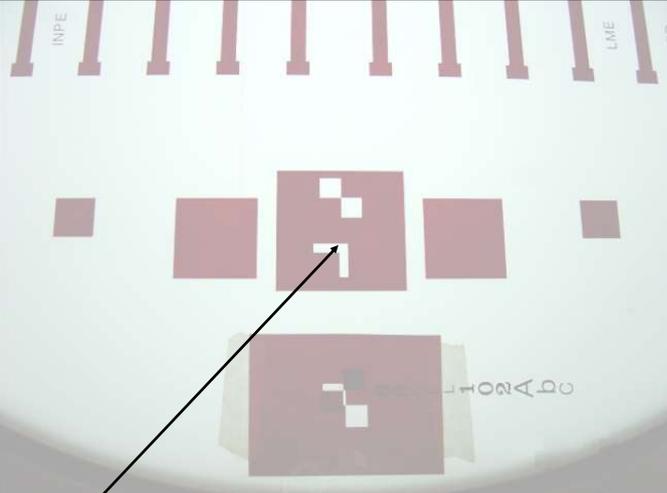
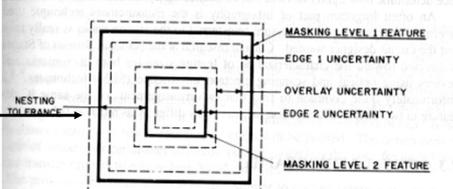
PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.22

gerador de padrões

máscara com fotoresiste (já revelada)
(pode ser substituída pela lâmina de silício com fotoresiste)

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.23

marcas de alinhamento

limites de erro

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.24

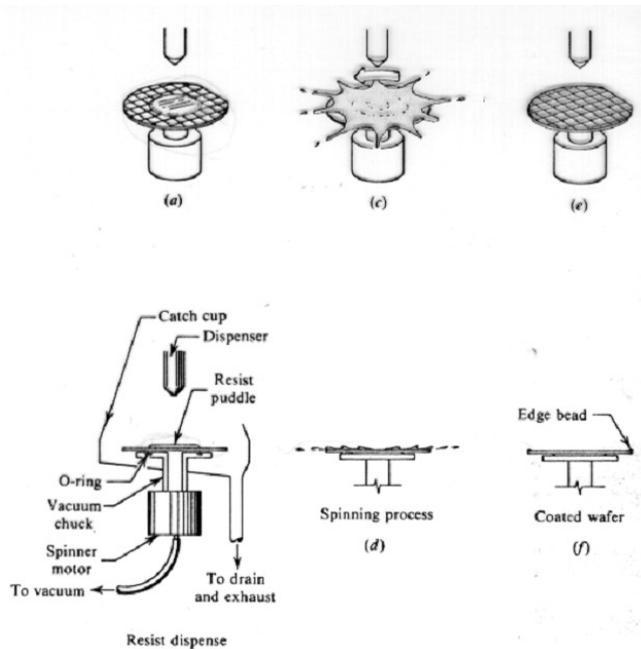


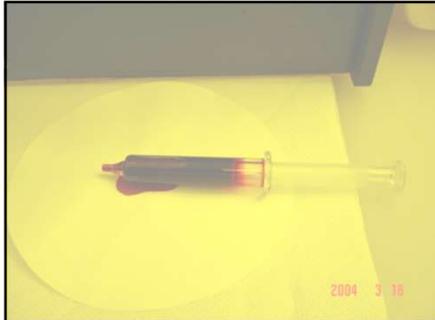
capela (iluminação amarela)
para deposição e revelação
do fotoresiste

produtos químicos



“Spinner”





1 - fotoresiste



2 - amostra no spinner



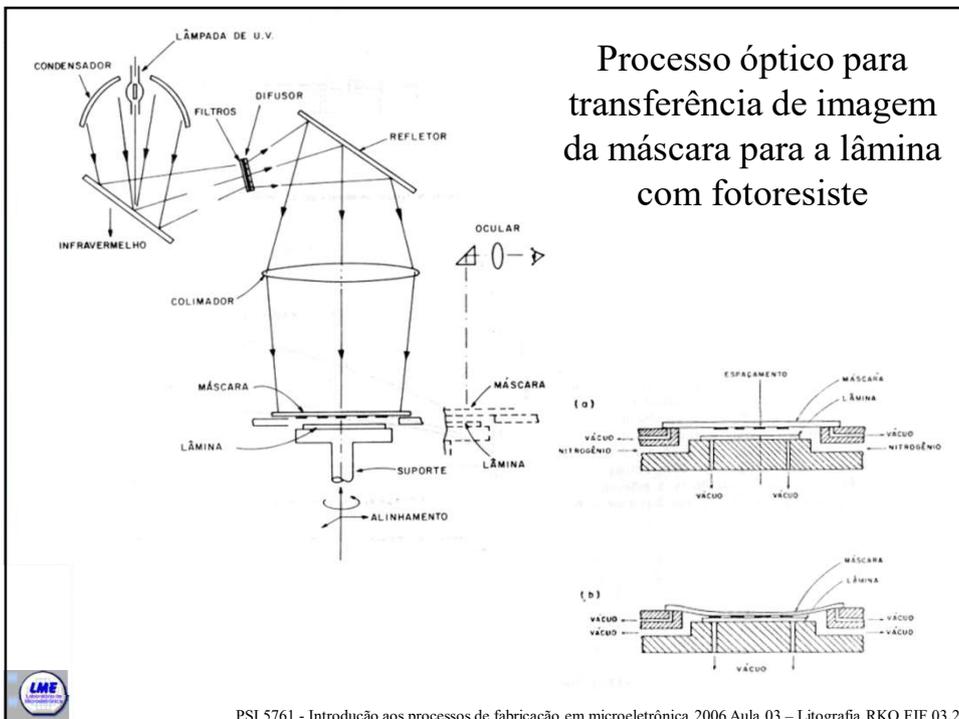
3 - aplicação do fotoresiste e posterior rotação



4 - estufa para secagem "pré-backing"



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006



Fotoalinhadora

- alinhamento da máscara e
- exposição ao UV

suporte para a máscara

luz UV exposição

amostra com fotoresiste a ser exposto (ex.lâmina)

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.29

Máquinas industriais de fotolitografia

Laser pattern generator performs like wafer stepper

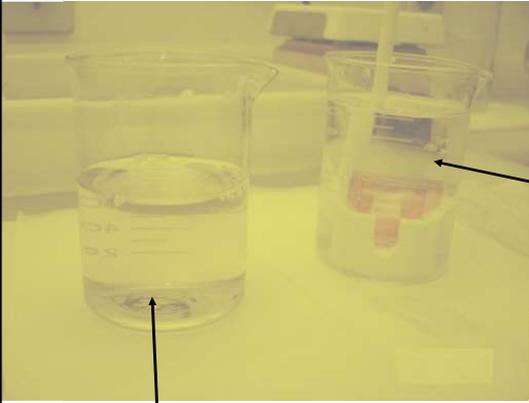
The Sigma7300 laser pattern generator's resolution and pattern accuracy are targeted to volume production at the 90nm and 65nm technology nodes. The system works like a micro-stepper with a programmable mask. It is based on this company's spatial light modulator (SLM) technology. The SLM is an IC with a flat, mirror-like surface, DUV light is reflected off the surface of the SLM to expose photoresist on a photomask blank, forming the pattern of the mask. The tool uses a 248nm laser with 2kHz flash rate and a 0.82 NA. It employs many of the same resolution enhancement techniques that wafer steppers use to achieve maximum resolution and CD control. **Micronic Laser Systems AB, Taby, Sweden; ph 46/8-638-5200, ulf.sundstrom@micronic.se, www.micronic.se.**

Metrology tools inspect up to 120wph

These stand-alone and integrated 200mm and 300mm metrology tools for 65nm and 45nm nodes have the repeatability and matching needed to enable reliable process control. The capabilities of the ultra-II tools on CVD etch/polish stops and hard masks enable low-*k* integration. *MetaPULSE-II* provides fab-proven second-generation pulse technology for all stages of copper integration from ultrathin barrier deposition to post-CMP residual barrier, dishing, and erosion process control. *Wafer-View* automates macro-defect inspection for lithography or CMP at speeds of up to 120wph. **Rudolph Technologies Inc., Flanders, NJ; ph 973/448-4316, jclerico@rudolphtech.com, www.rudolphtech.com.**

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.30

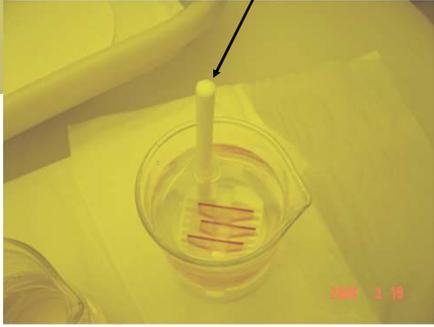
Revelação



béquer com água

“cestinha”

béquer com revelador



LME

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.31

Verificando a revelação

secagem com jato de nitrogênio

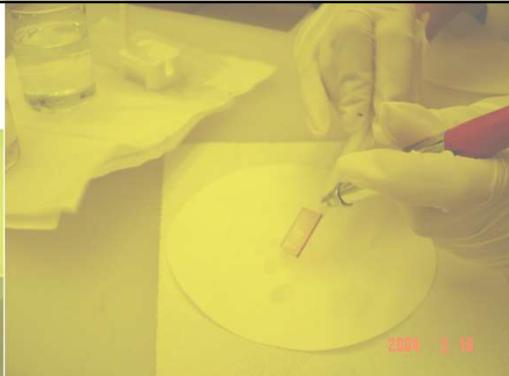


LME

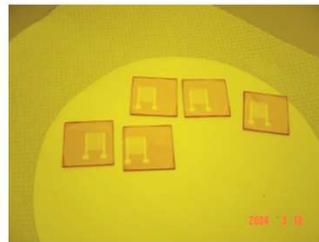
PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.32

secagem com jato de nitrogênio

secagem na estufa: pós-backing



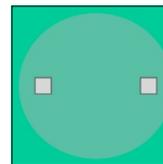
amostras fotografadas



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.33

Cuidados:

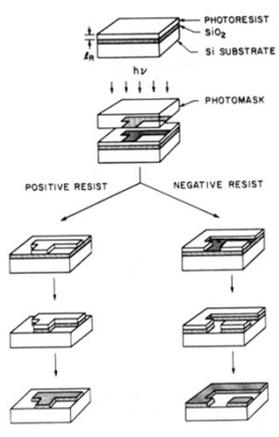
- luz ambiente
- positivo x negativo!
 - onde remover (ou não remover)
- área de visão abaixo da fotomascara
 - visão do que está em baixo
 - contraste transparente x escuro
- produtos químicos
- resiste ao processo seguinte? (plasma, vácuo....)
- armazenamento (seco, limpo...)



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.34

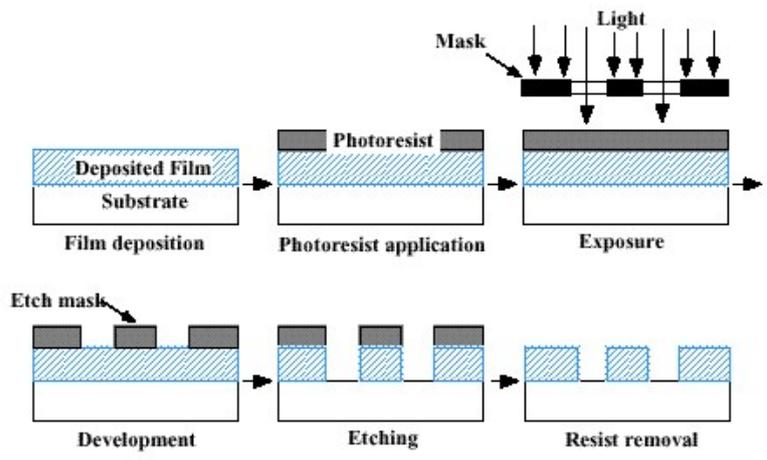
Etapas básicas no processo

- preparação do substrato (limpeza, uso de HMDS...)
- aplicação do fotoresiste (temperatura, tempo, rotação..)
- pré-baking (temperatura, tempo,..)
- alinhamento
- exposição
- revelação
- pós-baking (temperatura, tempo,..)
- etching (decapagem)
- remoção do fotoresiste



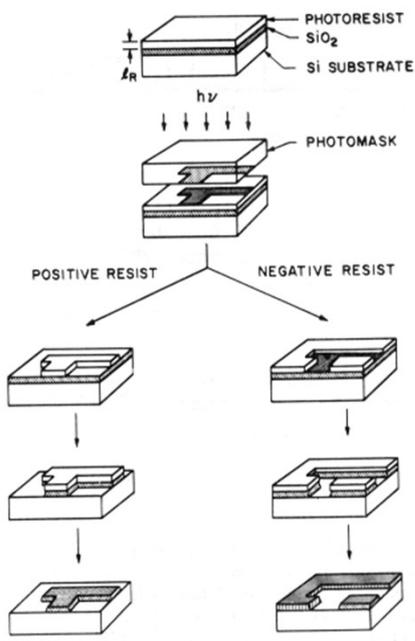
PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.35

Litografia convencional



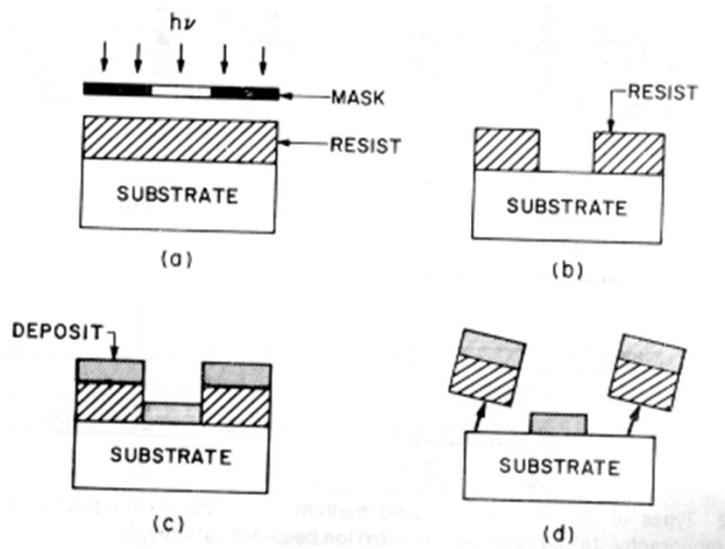
PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.36

Litografia convencional



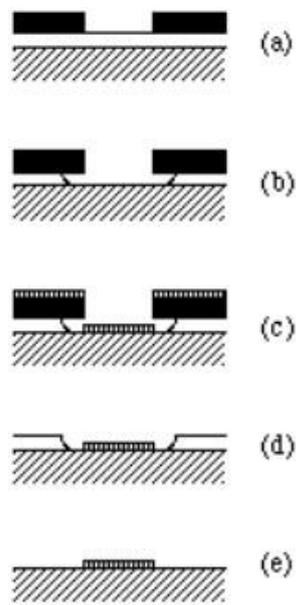
PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.37

Processo “lift - off”



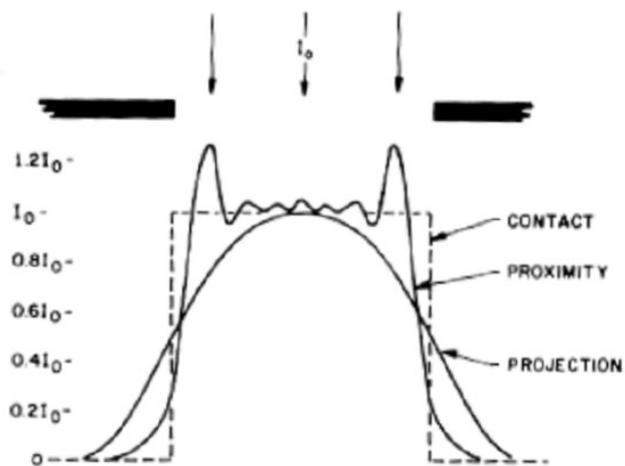
PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 – Litografia RKO FJF 03.38

Processo "lift - off" (detalhe)



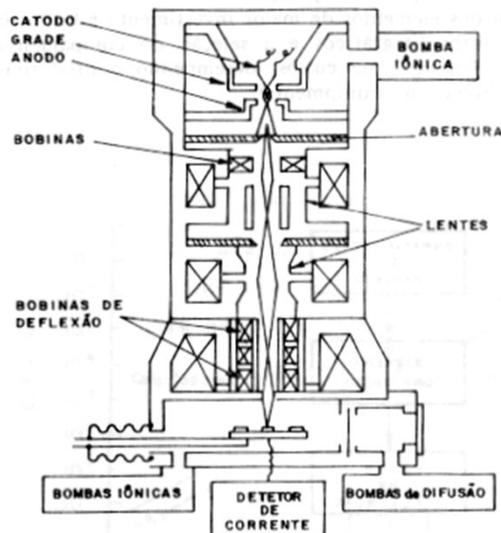
PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 - Litografia RKO FJF 03.39

Problemas: difração



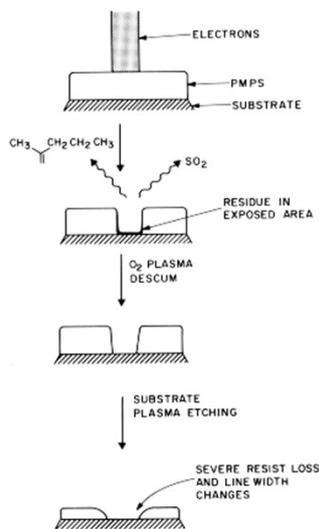
PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 - Litografia RKO FJF 03.40

Electron beam

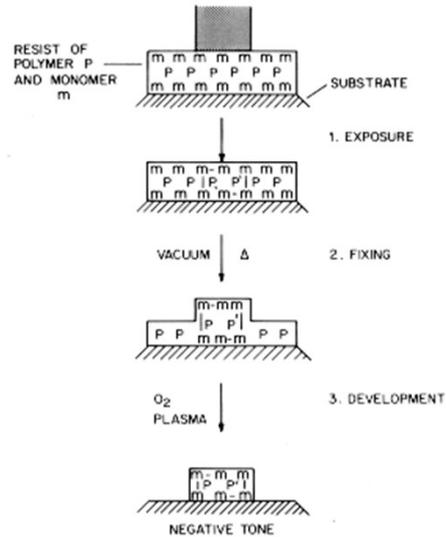


PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 - Litografia RKO FJF 03.41

“positivo”

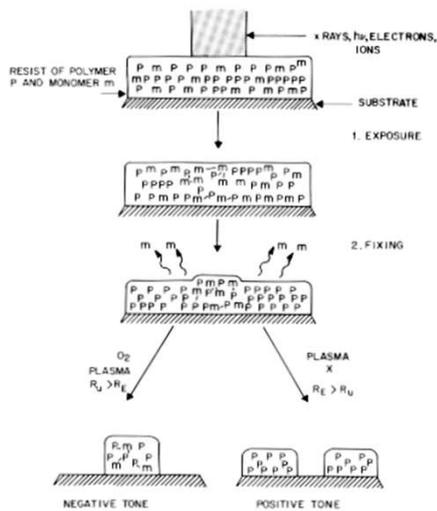


“negativo”

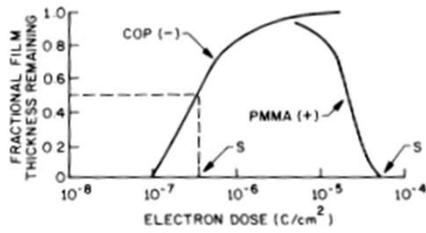


PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 - Litografia RKO FJF 03.42

Processo de sensibilização do polímero por electron-beam



resíduos x dose

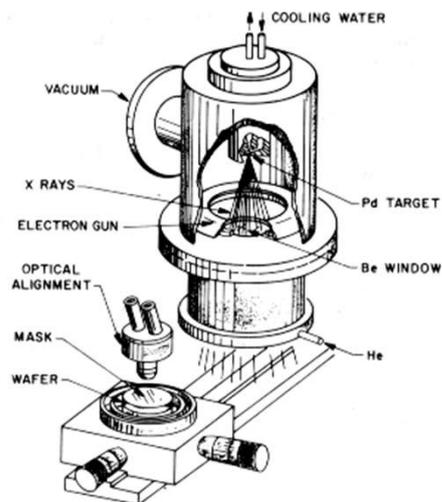
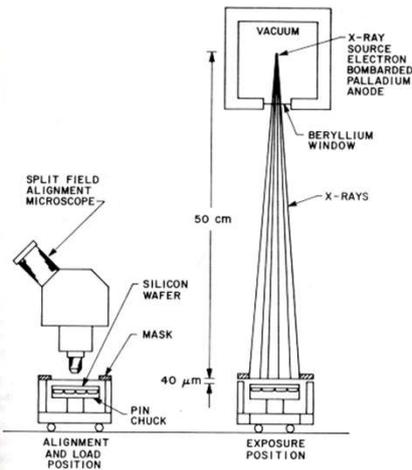


polímeros utilizados como fotoresiste

CLASS	MALEIMIDE	STYRENE	ACRYLIC	ACENAPHTHALENE	VINYLCARBAZOLE
$(CH_3)_2Si-$					
16		12	14	19	17
CH_3-Si-					
		13	15	20	18

PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 - Litografia RKO FJF 03.43

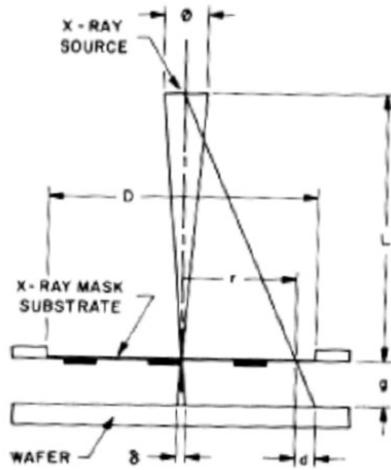
Litografia por raios - X



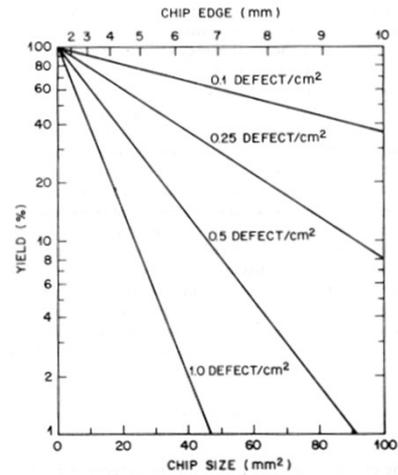
PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 - Litografia RKO FJF 03.44



Posicionamento da máscara



Quantidade de defeitos por área e campo



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 - Litografia RKO FJF 03.45



Outros métodos

- Ion beam lithography
- Deep UV lithography
- multi level resists
- Inorganic resists



PSI 5761 - Introdução aos processos de fabricação em microeletrônica 2006 Aula 03 - Litografia RKO FJF 03.46



Referências bibliográficas:

- Processos em microeletrônica, V. Baranauskas, Ed. V. Baranauskas, Campinas, 1990.
- VLSI Technology, 2nd Edition, S.M. SZE, McGraw-Hill, 1988.
- VLSI Electronics Microstructure Science, vol 6, Material and Process Characterization, Edited by Norman G. Einsprch, Academic Press, 1983
- Semiconductor Devices, Physics and Technology, S.M. SZE, Murray Hill, New Jersey, 1985

Tema para apresentação:

