

O Silício

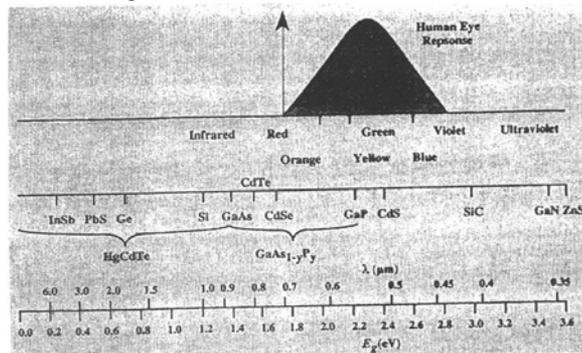
Si, existente em grande quantidade na Terra.

Processo de Czochralski (crescimento de cristais de Si) para formação de wafers de silício.

Facilidade de obtenção do SiO_2 (um bom isolante) a temperaturas médias na presença de oxigénio.

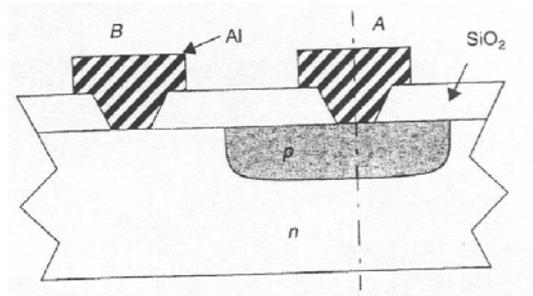
Propriedades ópticas

O silício é muito utilizado para a construção de fotodetectores para a região visível do espectro electromagnético. A absorção pelo Si é dependente do comprimento de onda da luz incidente. Isto dificulta o fabrico de fotodetectores para a intensidade mas abre a possibilidade de fabricar sensores de côr.



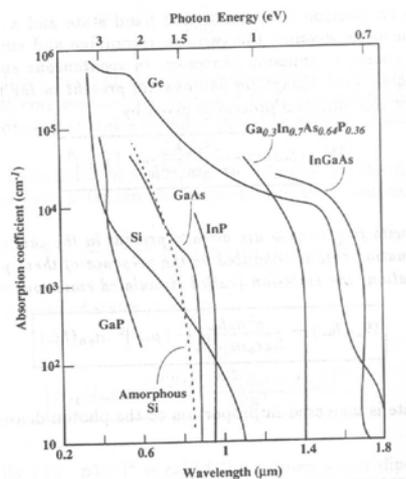
Propriedades ópticas

- Dopagem p num substrato n, formando um fotodetector. Dois contactos são abertos na camada de SiO₂ para n e p.



Propriedades ópticas

- Absorção óptica dos semicondutores em função do comprimento de onda.
Si quase transparente para $\lambda > 1 \mu\text{m}$



Propriedades mecânicas

Si é um excelente material para aplicações micromecânicas:

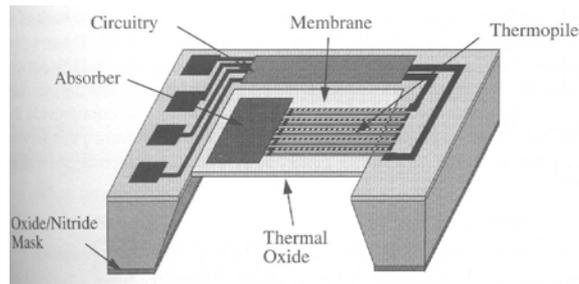
- baixa densidade, $2.33 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$
- elevado grau de elasticidade (Young's modulus),
 $E=164 \text{ GPa}$
- elevado grau de dureza, 11 GPa
- muito boa resistência à fractura, $0.1-0.5 \text{ GPa}$
- sem stress residual

Estruturas 3D em Silício

- Pontes
- Pranchas
- *Frames*
- Massas sólidas
- Membranas flexíveis
- Partes móveis
- Engrenagens, rodas dentadas

Propriedades térmicas do silício

- Coeficiente de expansão térmica,
 $\alpha=2.33 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$
- Condutividade térmica, $147 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$



Materiais usados nas microtecnologias

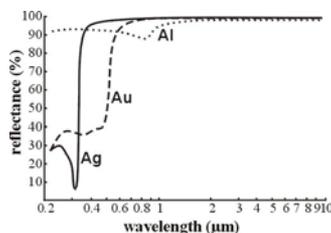
- **Materiais compatíveis com Si**
 - Si, puro
 - p-Si, n-Si, dopagem com Boro ou Fósforo
 - Si Wafer com os cristais orientados nas direcções [100], [110], [111]
 - Polissilício puro, cristais sem orientação
 - Poly-p, Poly-n, dopagem com Boro ou Fósforo respectivamente
 - SiO₂, isolante, quase transparente à luz visível (n=1.4-1.5), ideal para membranas finas, exhibe stress residual compressivo
 - Si₃N₄, isolante, quase transparente à luz visível (n=2.2-2.5), ideal para membranas finas, exhibe stress residual em tensão.
 - Al, metal utilizado para as ligações, bom grau de dureza para evaporação térmica ou sputtering.

Filmes finos

- Formação de filmes finos (na ordem dos micrómetros ou menor) de diferentes materiais sobre um wafer de silício
- Estes filmes podem ser formatados e padronizados por técnicas litográficas e técnicas de corrosão dos materiais em causa
- Metais nobres como o Au e a Ag, contaminam os circuitos de microelectrónica causando falhas, portanto wafers de silício com metais nobres têm que ser processados usando equipamento dedicado apenas a esta tarefa.
- Os metais nobres geralmente são padronizados recorrendo à técnica de *lift-off*.

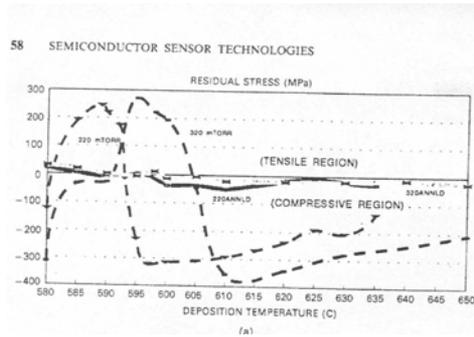
Materiais usados nas microtecnologias

- **Materiais não compatíveis com Si**
 - Ag e Au, muito macios para evaporação, mas com boas propriedades ópticas para a zona do visível e infra-vermelho respectivamente.
 - Cu, material de baixa resistividade comparado com o Al. Requer processo especial para fazer o seu crescimento em wafers de silício.
 - TiO_2 , filmes finos para filtros ópticos

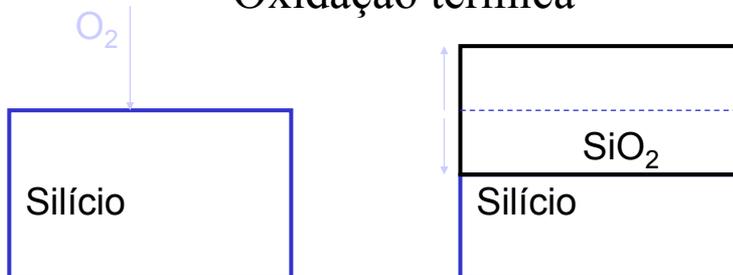


Stress residual em filmes finos

- Condições de deposição (temperatura, pressão) dos filmes fazem variar o stress residual. O *LPCVD* Si_3N_4 apresenta stress residual de 0.125-1 GPa conforme a variação de temperatura e o *annealing*. Em baixo está representado o stress residual do *LPCVD Poly* quando depositado a diferentes pressões e sem *annealing*.



Oxidação térmica



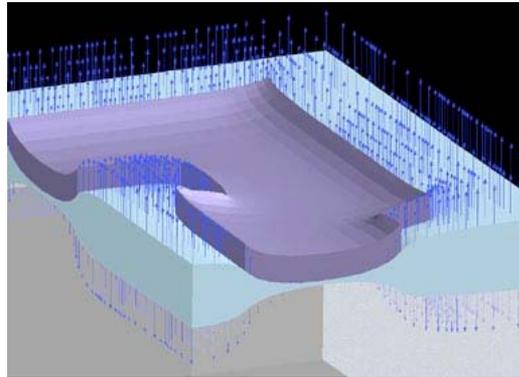
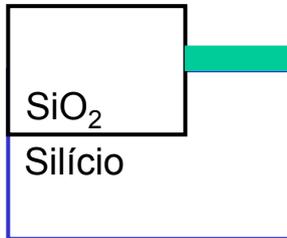
O silício é consumido à medida que o dióxido de silício cresce.

O crescimento ocorre em oxigénio e/ou vapor a 800-1200 °C

Filmes com $\sim 2\mu\text{m}$ é o máximo valor prático possível

Oxidação térmica

- A oxidação pode ser mascarada com nitreto de silício, que evita a difusão do O_2

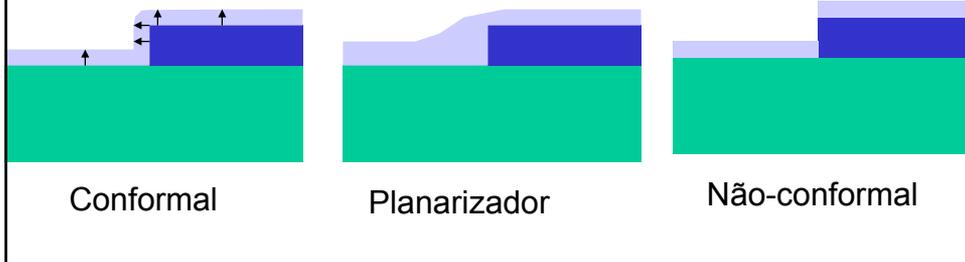


Aspectos da deposição - Compatibilidade

- Compatibilidade térmica
 - A oxidação térmica e os filmes LPCVD são mutuamente compatíveis
 - A oxidação térmica e o LPCVD não são compatíveis com polímeros (derretem/ardem) e com a maioria dos metais (formação eutética, difusão, contaminação do forno)
- Compatibilidade topográfica
 - Não se pode fazer spin-coat sobre degraus elevados
 - Deposição sobre rasgos profundos deixa buracos

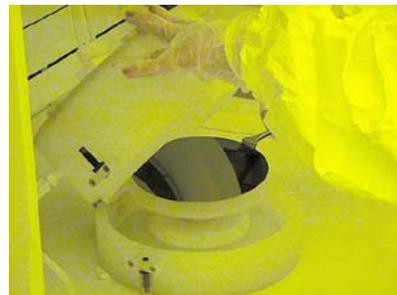
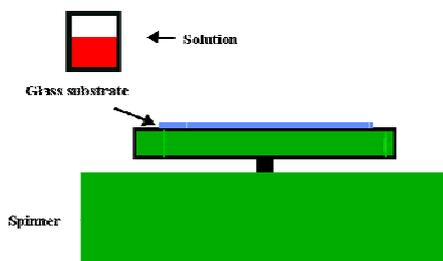
Aspectos da deposição - Conformabilidade

- Um coating (cobertura) *conformal* cobre todas as superfícies com uma película uniforme
- Um coating planarizador tende a reduzir o degrau vertical da secção transversal
- Um coating não-*conformal* deposita mais nas superfícies do topo do que nas superfícies da base e/ou laterais

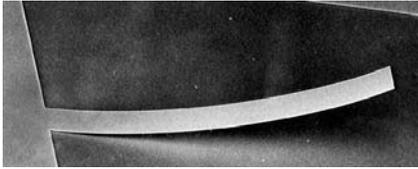


Spin Coating

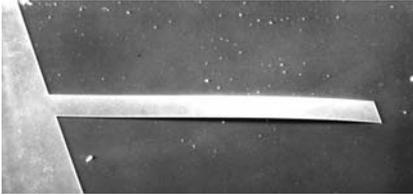
- Um líquido viscoso é colocado no centro do wafer
- O wafer roda entre 1000-5000 RPM, 30 s
- Baked (levar ao forno) em pratos quentes 80-500 °C, 10-1000s
- Aplicação de corrosivos e solventes, secar
- Deposição de polímeros, precursores sol-gel



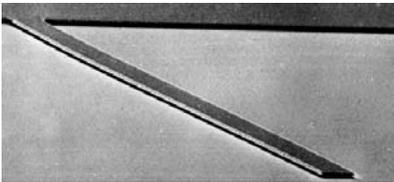
Gradientes de stress residual



Mais tenso no topo



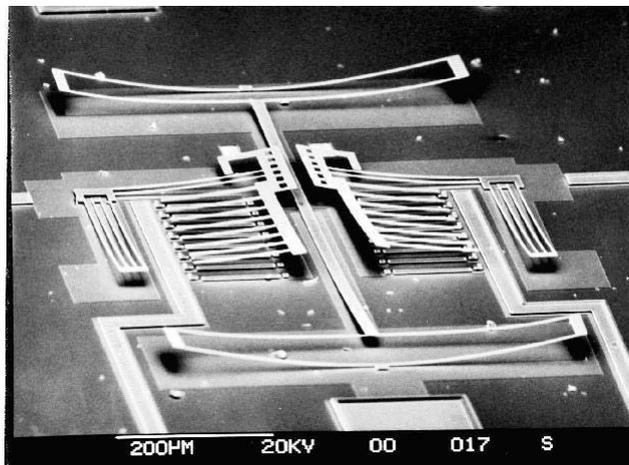
Mais compressivo no topo



Medida certa!

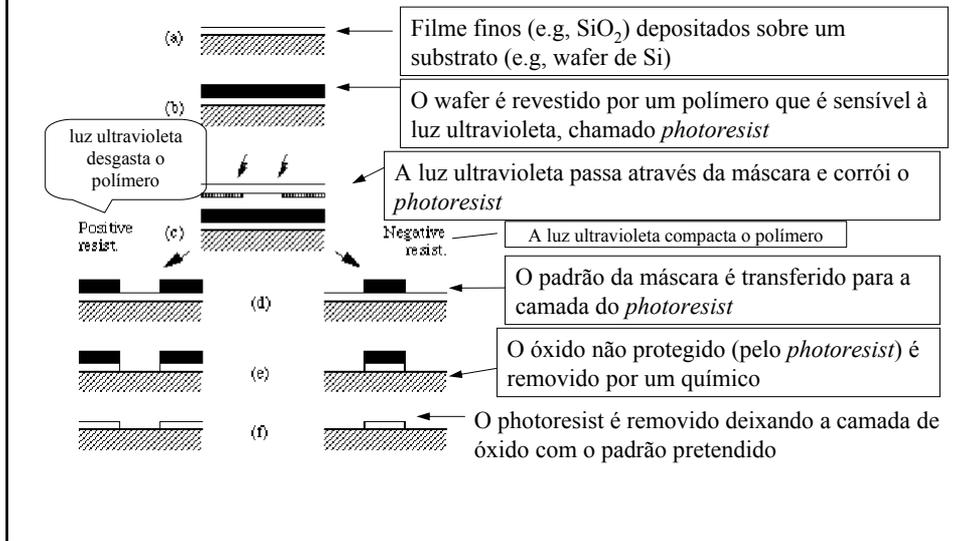
Após recozedura ~1000C durante
~60.

Gradientes de stress residual



Um mau dia!

Fotolitografia na micromaquinagem



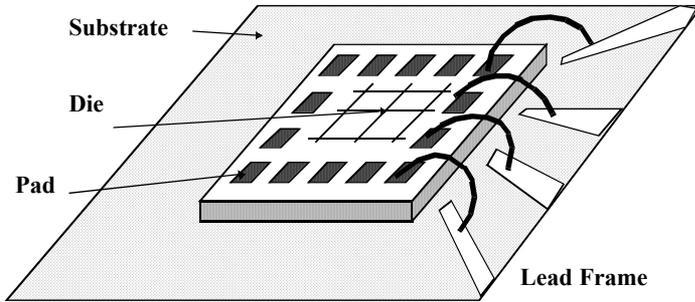
Encapsulamento

• Requisitos

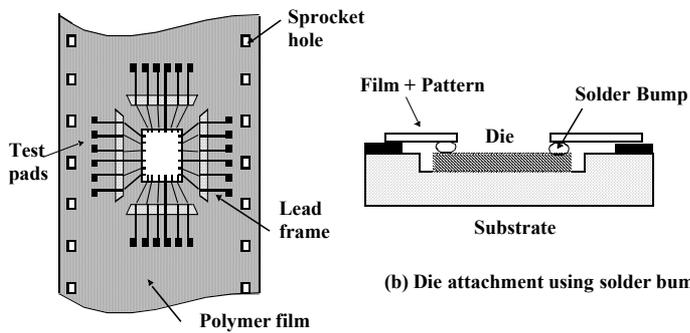
- Eléctrico: parasitas reduzidos
- Mecânico: robusto e durável
- Térmico: remoção eficiente do calor
- Económico: barato!

Técnicas de Bonding

Wire Bonding



Tape-Automated Bonding (TAB)



(a) Polymer Tape with imprinted wiring pattern.

(b) Die attachment using solder bumps.

Flip-Chip Bonding

