

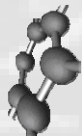
Extração de Policristais

Leitura: W. Zulehner, *Metrologia* **31** (1994) 255-261

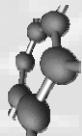
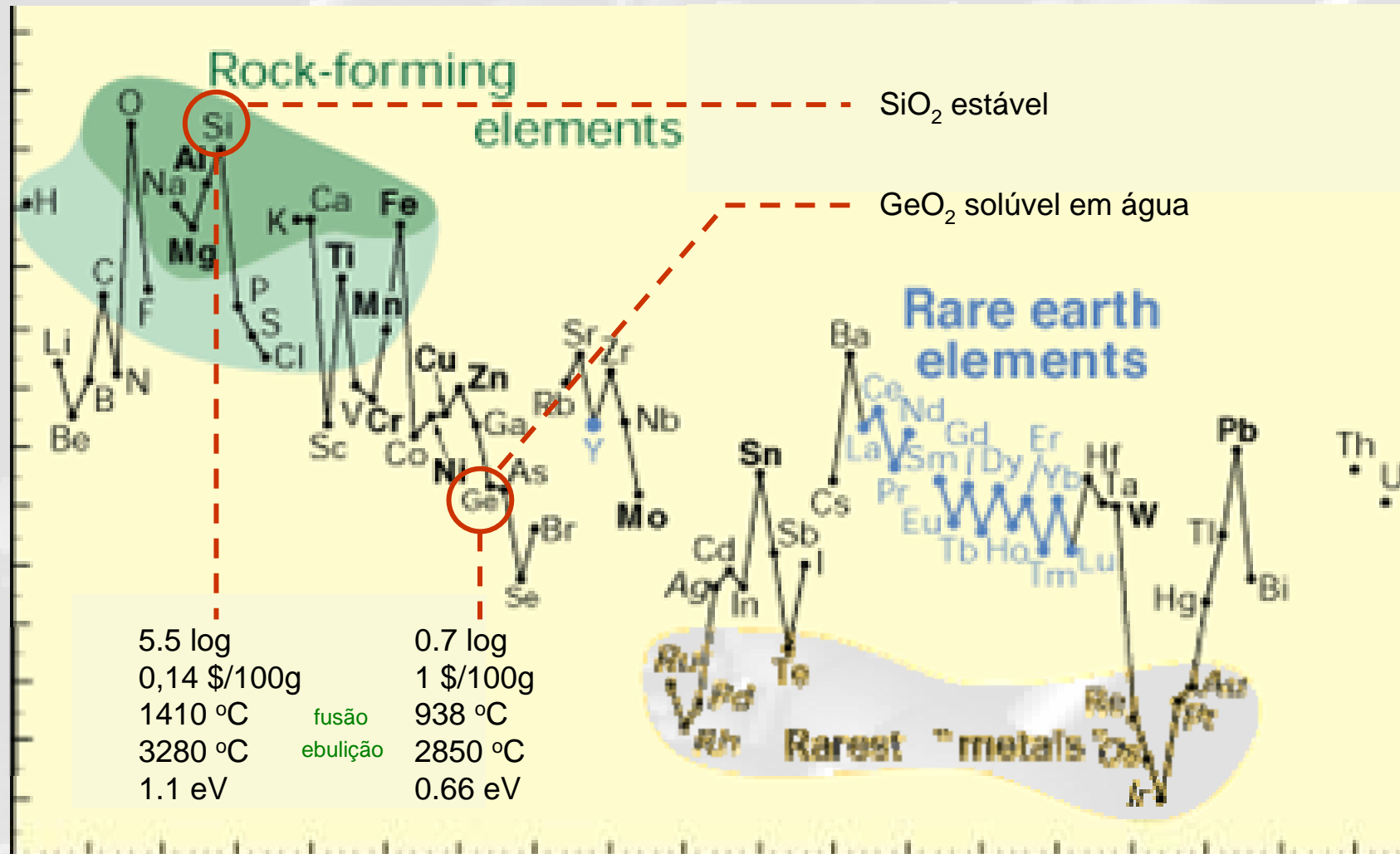
EEL6760 - Processamento de Materiais Eletrônicos

Prof. Carlo Requião da Cunha, Ph.D.

EEL/CTC/UFSC



1. Si vs. Ge

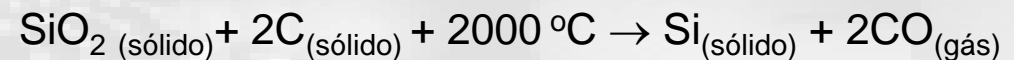


2. Extração de Silício

Quartzita



- Pedra metamórfica originária da areia;
- Areia é convertida através de calor e pressão de compressão tectônica;
- Ortoquartzita é 99% SiO₂;
- Redução da sílica em MGS (~98%):



Acontece em um forno de arco elétrico. No

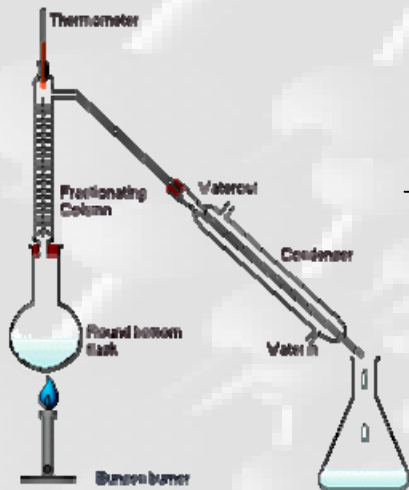
eletrodo forma SiC que reage com SiO₂ e forma SiO e CO. Silício precipita.

Principais impurezas: Al e Fe! Consumo: ~14kWh/kg.

3. Conversão em SiHCl_3

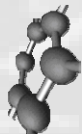
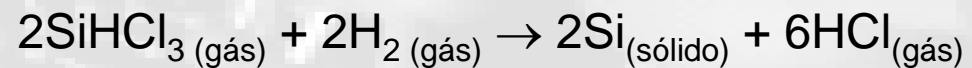
triclorosilano

- Moagem de MGS para pó fino;
- Reação de Si com $\text{HCl}_{(\text{gás})}$ a 300 °C com catalisador $\rightarrow \text{AlCl}_3 + \text{FeCl}_3 + \text{SiHCl}_3$;
- Triclorosilano é líquido nas CNTP (ebulissão a 32 °C);
- Distilação fracionada elimina impurezas;



EGS \rightarrow

Processo Siemens 1150 °C e dias



GRUDE

Grupo de Dispositivos Eletrônicos

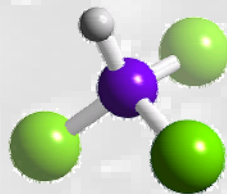
4. Mercado



~1



2



20



80

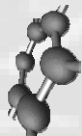


400



1300

[US\$/kg]



GRUDE
Grupo de Dispositivos Eletrônicos

<http://www.fullman.com/semiconductors/semiconductors.html>

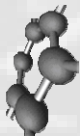
Crescimento de Monocristais

Leitura: Y. Peng C. Shu e Y. T. Chew, *Mat. Sci. Forum* **437-438** (2003) 355
T. Fukao e N. Kenmochi, ECCOMAS 2004

EEL6760 - Processamento de Materiais Eletrônicos

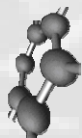
Prof. Carlo Requião da Cunha, Ph.D.

EEL/CTC/UFSC



1. Métodos

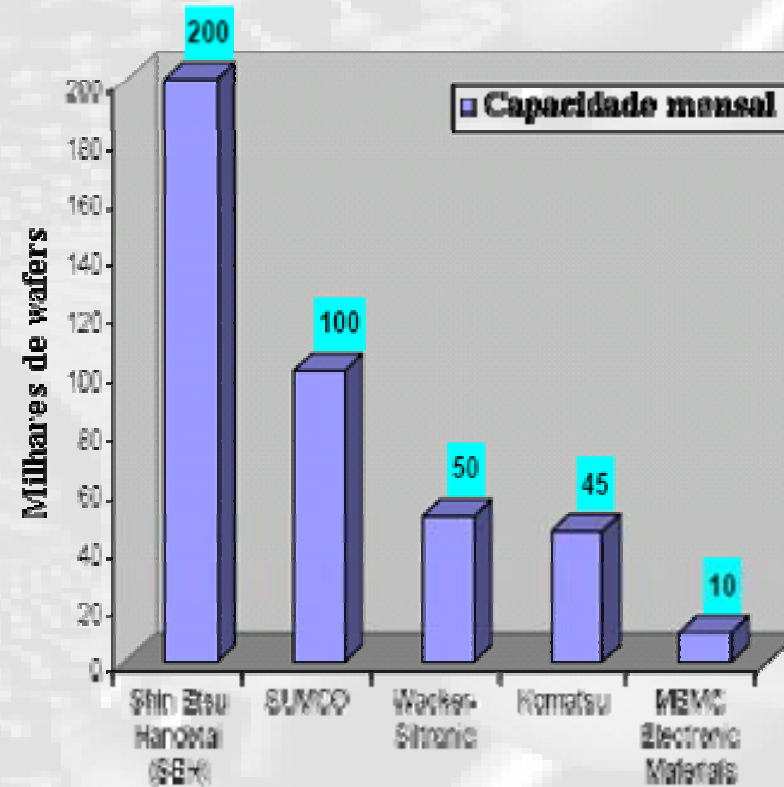
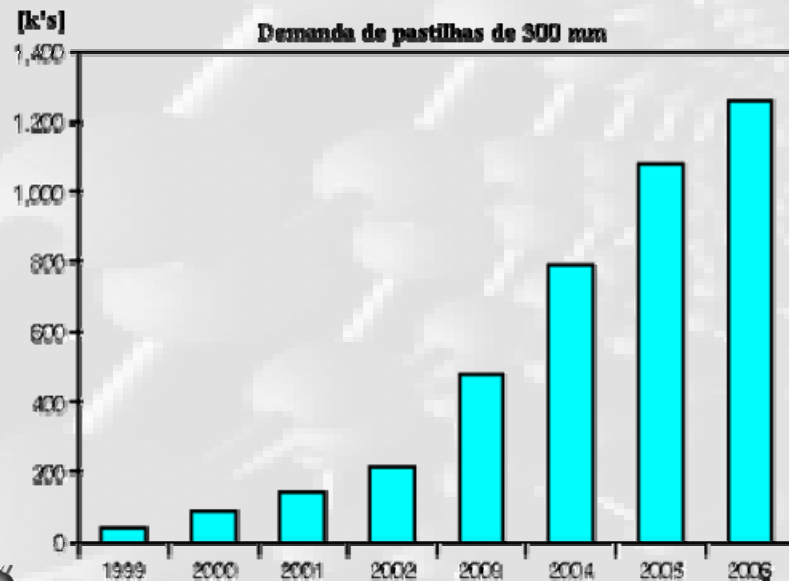
- **Czochralski** ou Teal-Little Si, Ge, InSb, GaAs
- **Zona Flutuante** (*Float zone*) Si
- Nivelamento de Zona (*Zone Leveling*) Ge, GaAs, InSb, InAs
- Verneuil Óxidos refratários
- **Bridgman** GaAs e alguns II-VI's
- Gradiente de temperatura SiC, diamante



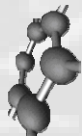
2. Czochraski (CZ)

- Líquido → sólido
99.999999999% pureza

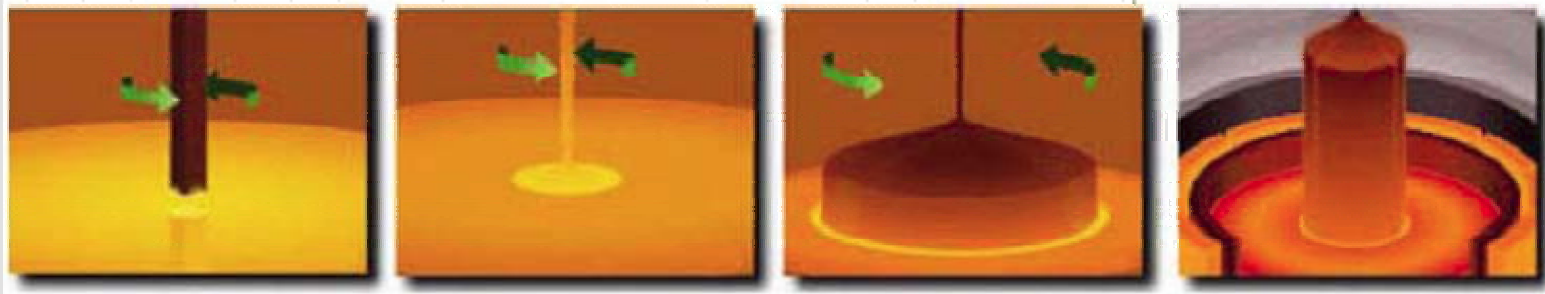
- Os maiores: SEH,
SUMCO, Wacker-Siltronic,
Komatsu e MEMC



- 200 US\$ / pastilha



Czochralski

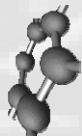


<http://www.isomet.com/FinalWebSite/FOHomePage/FOXtalGrowth.htm>

http://en.wikipedia.org/wiki/Czochralski_process

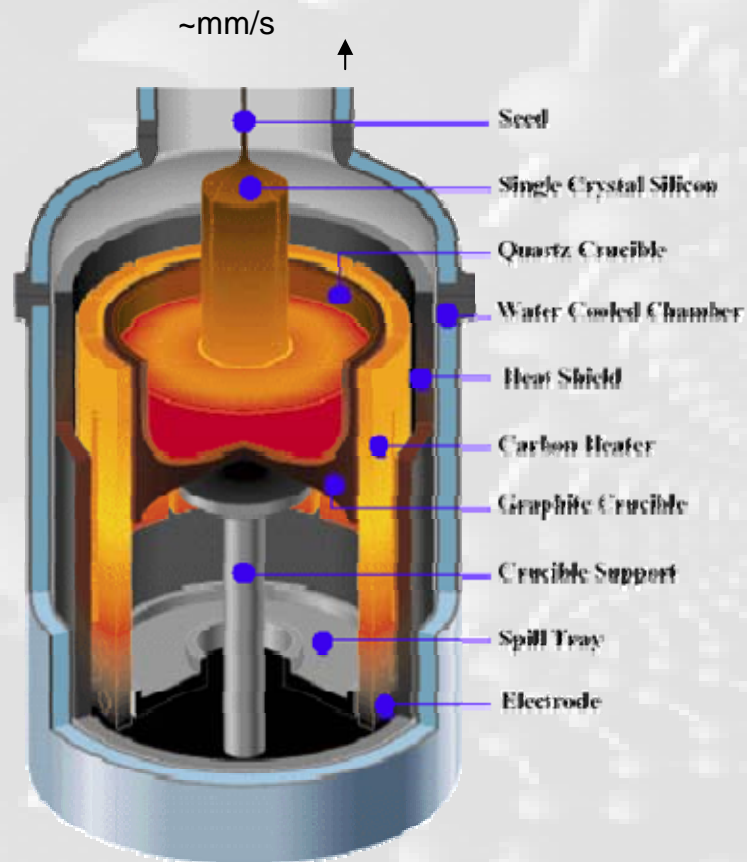
<http://www.cyberstar.fr/crystal/czochralski.htm>

<http://www.fullman.com/semiconductors/crystalgrowing.html>



GRUDE
Grupo de Dispositivos Eletrónicos

Czochralski



$$\left(-k_l A \frac{dT}{dx} \Big|_l \right) - \left(-k_s A \frac{dT}{dx} \Big|_s \right) = L \frac{dm}{dt}$$

k = Condutividade térmica

A = Área transversal

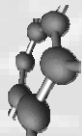
L = Calor latente de fusão

m = Massa do cristal

$$V_{\max} = \frac{kA}{L} \frac{dT}{dm} = \frac{k}{\rho L} \frac{dT}{dx}$$

densidade

~30% - 50% do máximo



GRUDE

Grupo de Dispositivos Eletrónicos

3. Incorporação de Impurezas

(modelo: Normal Freezing)

1. Impurezas estão distribuídas uniformemente no material derretido;
2. Impurezas não difundem no material já solidificado;
3. Impurezas chegam na interface líquida-sólida na mesma concentração de quando estavam no material derretido.

Coefficiente de segregação:

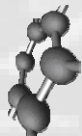
$$k_0 = \frac{C_s}{C_l} \begin{array}{l} \text{Solubilidade no sólido} \\ \text{Solubilidade no derretido} \end{array} \longrightarrow C_s = k_0 C_o (1 - X)^{k_0 - 1}$$

↑ Fração solidificada

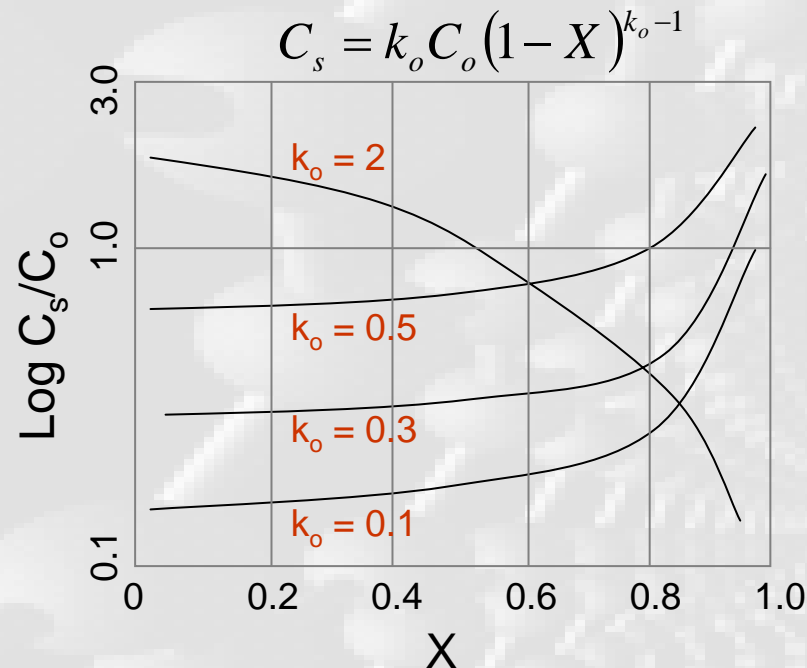
Relação de *normal freezing*

	Al	As	B	C	Cu	Fe	O	P	Sb
K_0	2×10^{-3}	0.3	0.8	7×10^{-3}	4×10^{-4}	8×10^{-6}	1.25	0.35	2.3×10^{-2}

Uniformidade axial de resistividade



4. Normal Freezing



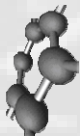
- Apenas 60% de Ingots dopados com B são utilizados. Para P e As é ainda pior < 50%.

- Convecção não uniforme pode alterar propriedades do crescimento → convecção forçada! 2-50 rpm
- Camada de fronteira existe e anula condição 1. Átomos difundem para o ingot!

Coeficiente de segregação efetivo:

$$k_e = \frac{k_o}{k_o + (1 - k_o)e^{-VB/D}}$$

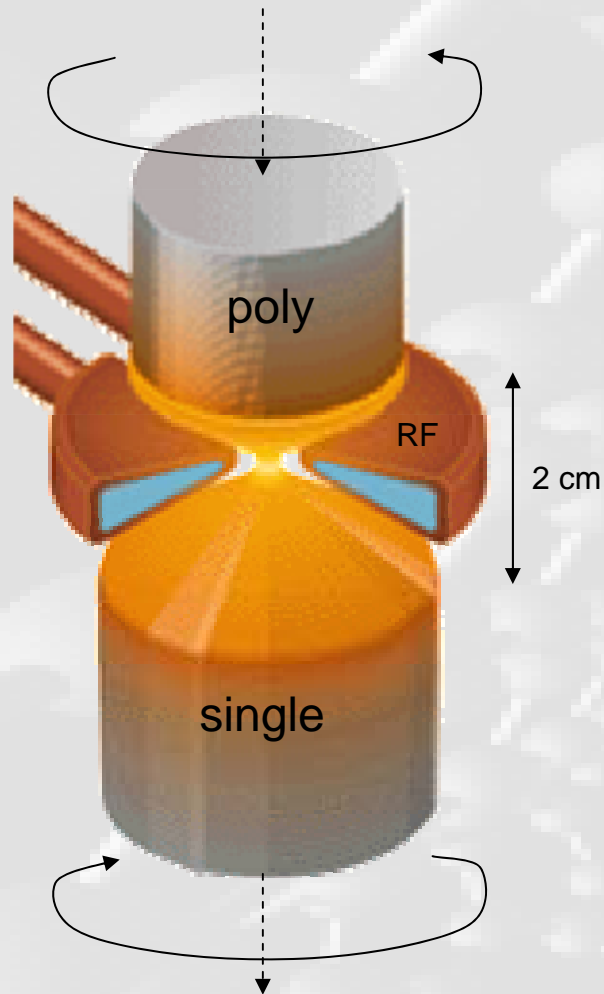
- V: Velocidade de crescimento
D: Coeficiente de difusão
B: Espessura de fronteira



5. Problemas com CZ

1. Distribuição radial de densidade de dopantes gerado por convecção térmica e zona de interface: Controlar velocidade;
2. Incorporação de oxigênio com o *crucible* de quartzo sendo consumido durante o crescimento;
3. Incorporação não-intencional de dopantes metálicos: Gettering;
4. Incorporação de deslocamentos: técnica de *dash*, começa com alta velocidade e então move para baixas velocidades de crescimento a fim de criar um *pescoço* no ingot;
5. E III-V's?? GaAs por exemplo:
 - Tensão de cisalhamento 0.40MPa (Si: 1.85 MPa) cria mais deslocamentos,
 - Baixa condutividade térmica cria mais gradientes de temperatura,
 - $\text{Ga}_{\text{líquido}} + \text{As}_{\text{sólido}} \rightarrow \text{GaAs}_{\text{sólido}}$ é altamente exotérmica,
 - Pressão de vapor do As \gg Ga = perda de estequiometria.

6. Float-Zone (FZ)



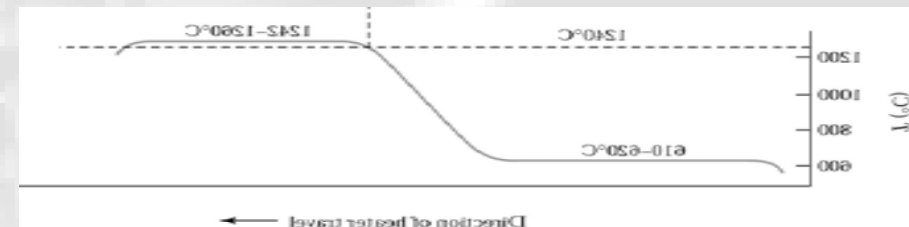
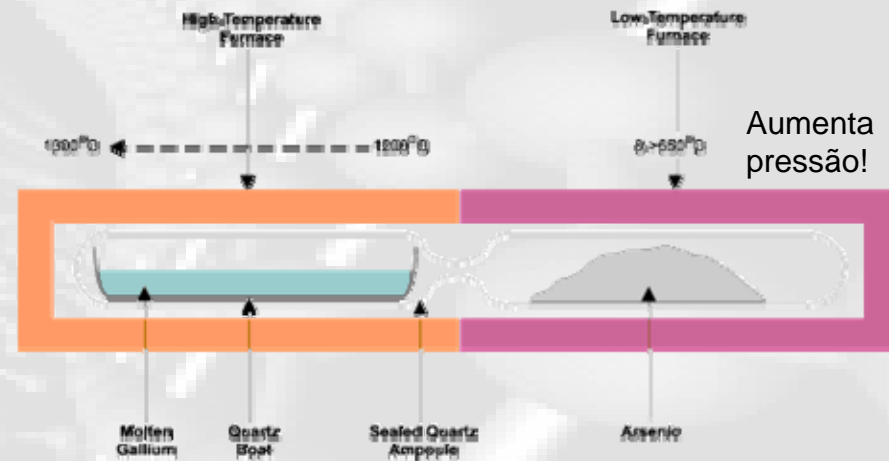
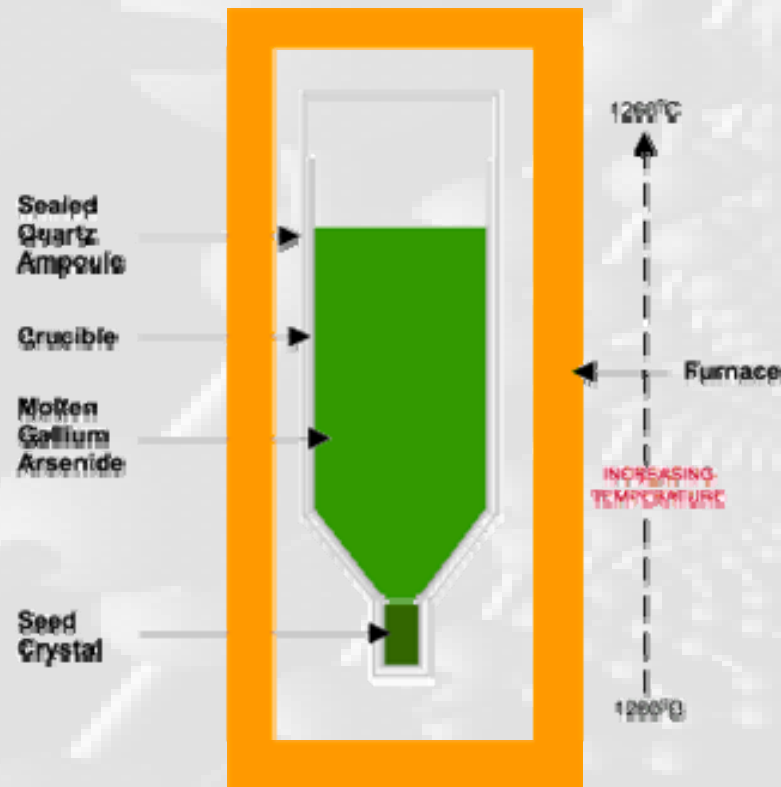
- Maior pureza;
- Mais caro;
- Wafers menores;
- Difícil de dopar;
- Sem gettering com oxigênio;
- Primeiramente para dispositivos de potência e detectores de radiação.



T.F. Ciszek, M.R. Page, T.H. Wang, and J.A. Casey; **Float-Zone and Czochralski Crystal Growth and Diagnostic Solar Cell Evaluation of a New Solar-Grade Feedstock Source**, 29th IEE PV Specialists Conference New Orleans, Louisiana May 20-24, 2002E

7. Bridgman

- $\frac{3}{4}$ do mercado de GaAs!
- Formato de "D";

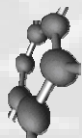


Pastilhas

EEL6760 - Processamento de Materiais Eletrônicos

Prof. Carlo Requião da Cunha, Ph.D.

EEL/CTC/UFSC



1. Wafers

1. Policristal



2. Monocristal



3. Aparamento



4. Moedura



5. Laminação



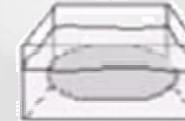
6. Arredond.



7. Lapidação



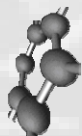
8. Corrosão



9. Polimento



10. Inspeção



Wafers

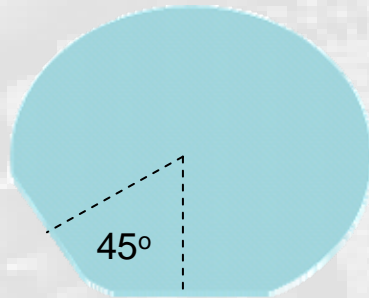
p-type

n-type

(111)

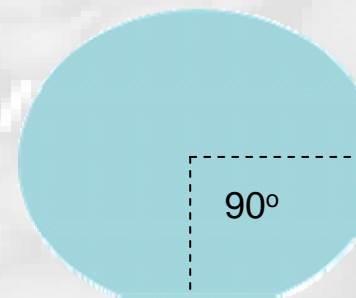


(0 1 -1)



45°

(0 1 -1)

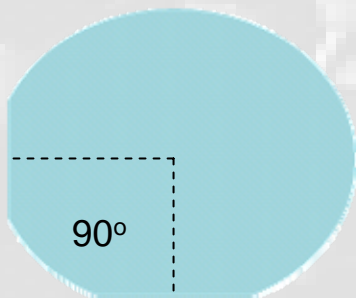


90°

Si

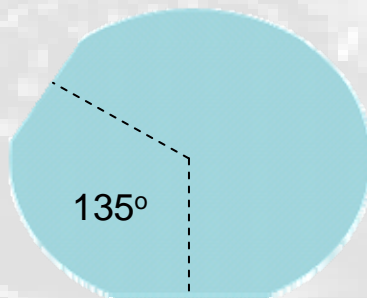
GaAs

(100)



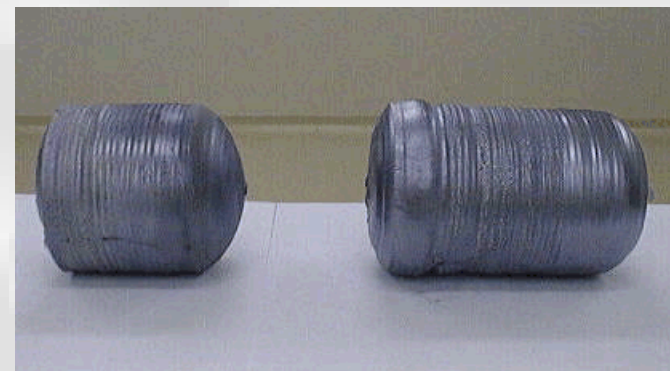
90°

(0 1 -1)



135°

(0 1 -1)



2. Limpeza

- Química

- Húmida

- Piranha: $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2$ (4:1) 90°C-15min

- RCA

- RCA1: $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ (1:1:5) remove orgânicos

- RCA2: $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ (1:1:5) remove metálicos

} 70°C-10min

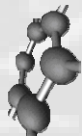
- Seca

- Plasma de oxigênio: íons reativos de oxigênio convertem hidrocarbonetos em CO_2 e H_2O ;

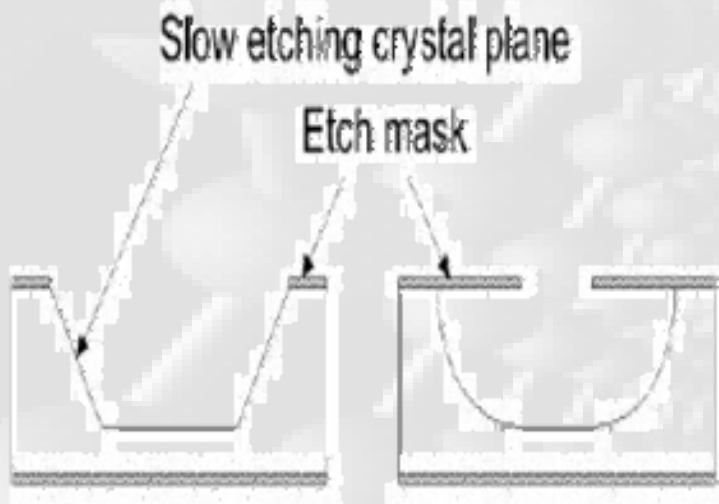
- UV/Ozone: O_3 reativo oxida hidrocarbonetos;

- Mecânica

- Ultrasônica



3. Corrosão Química



Anisotropic Isotropic

www.memsnet.org/mems/processes/etch.html

PRÓS

- Fácil e barato;
- Pode ser altamente seletiva;
- Suave com o substrato.

CONTRAS

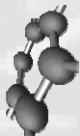
- Muito sensível a parâmetros como temperatura e agitação;
- Solução pode não ser muito limpa;
- Disperdício.

KOH

TMAH (Tetramethylammoniumhydroxide)

EDP (Ethylenediaminepyrocatechol)

HF:HNO₃:CH₃COOH



GRUDE

Grupo de Dispositivos Eletrônicos