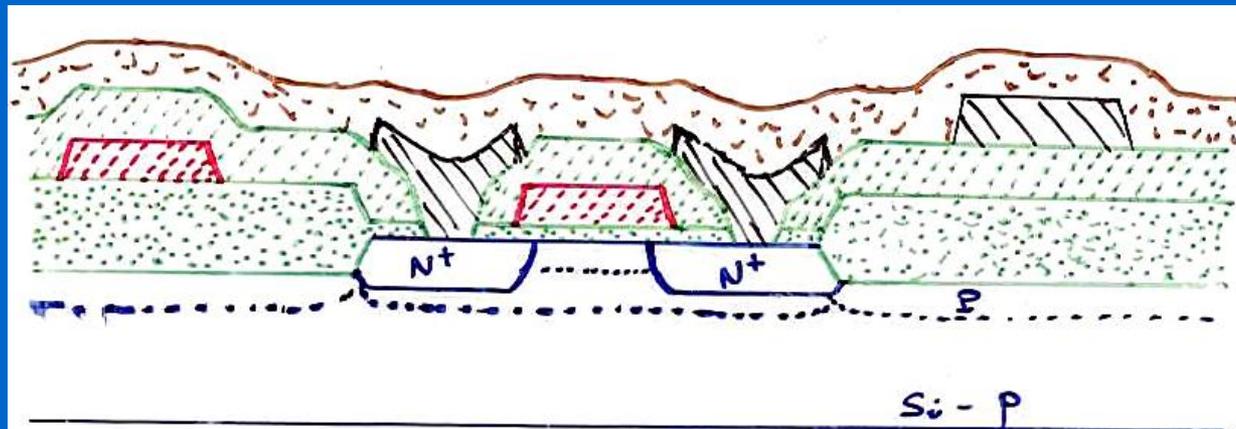


CORROSÃO ÚMIDA E LIMPEZA NA TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE DISPOSITIVOS



<u>cor</u>	<u>material.</u>
—	Si
...	SiO ₂ termico
////	SiO ₂ depositado
////	Si - poli
////	Al.
...	SiN

CORROSÃO ÚMIDA NA MICROELETRÔNICA

DEFINIÇÃO DE PADRÕES

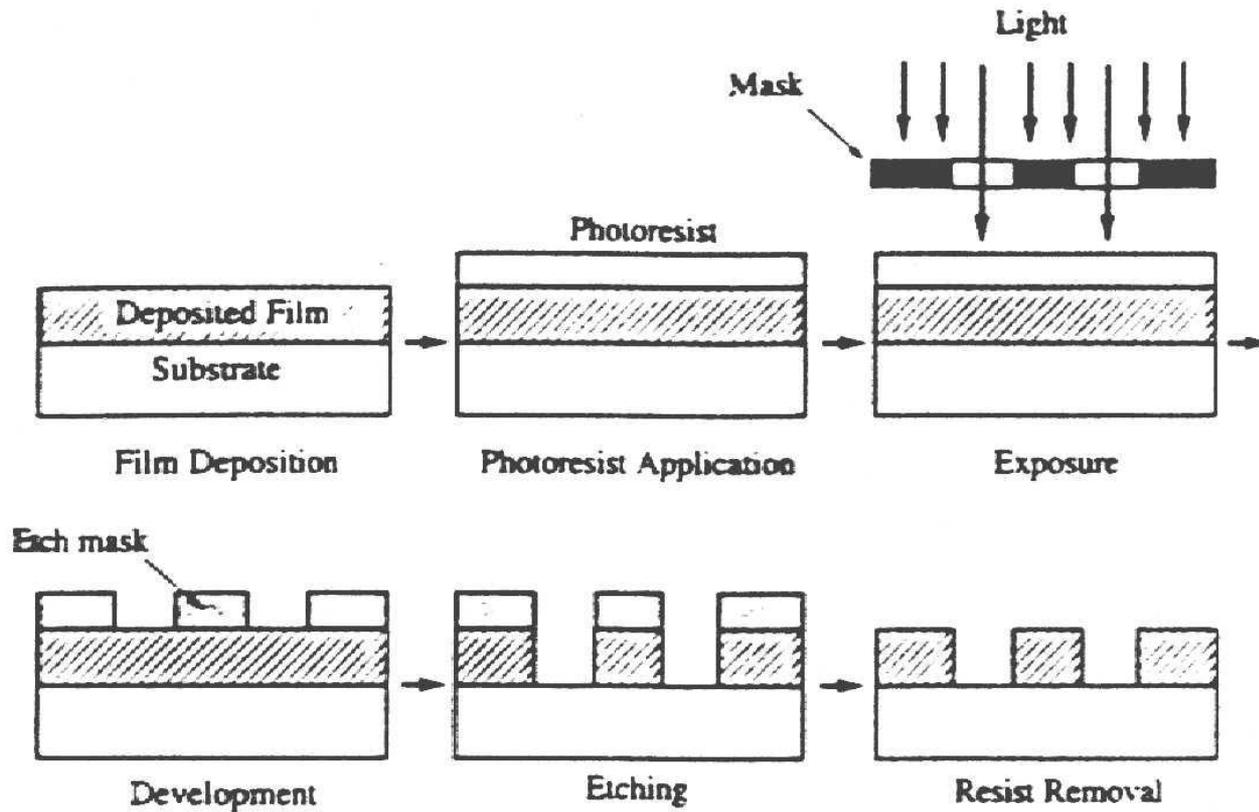


Figure 10-1 General process used in integrated circuit fabrication to define patterned films.

CORROSÃO ÚMIDA NA MICROELETRÔNICA

PERFIS DE *ETCHINGS*

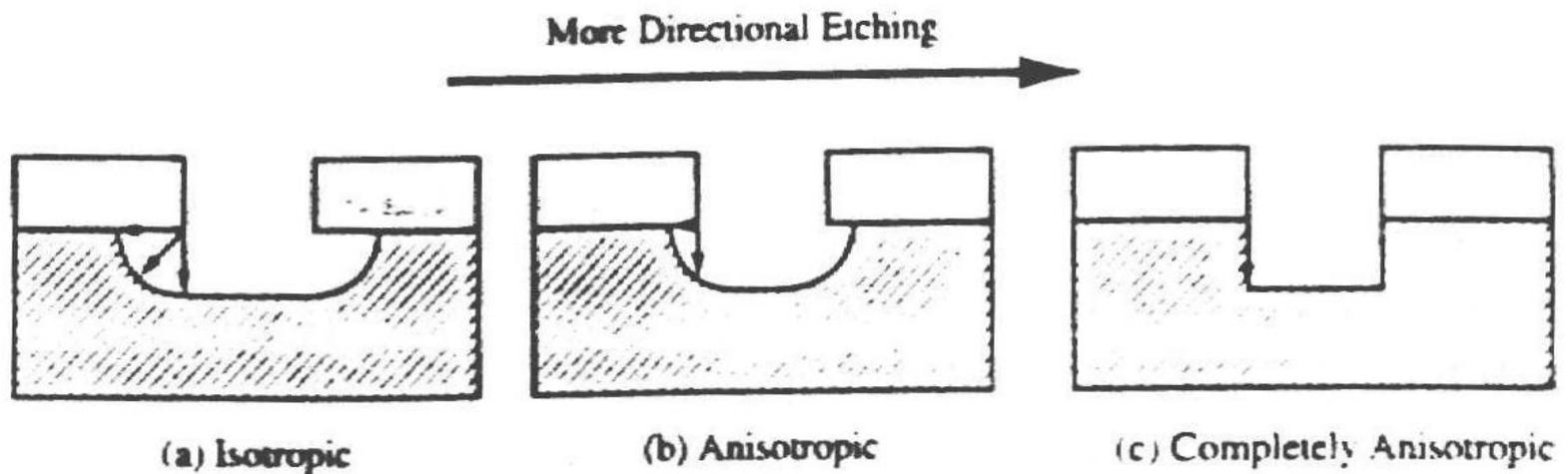


Figure 10-3 Etch profiles for different degrees of anisotropic, or directional, etching: (a) purely isotropic etching; (b) anisotropic etching; (c) completely anisotropic etching.

CORROSÃO ÚMIDA NA MICROELETRÔNICA

PERFIS DE *ETCHINGS*

CARACTERÍSTICA DA CORROSÃO ÚMIDA

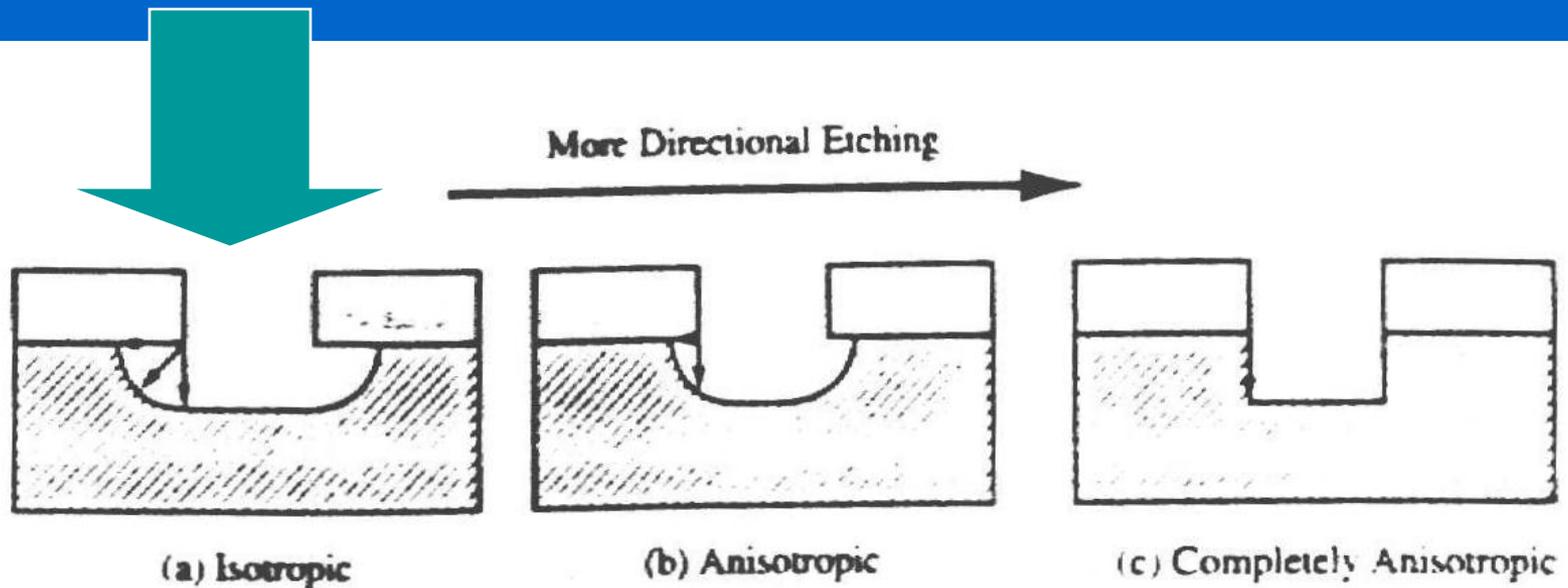


Figure 10-3 Etch profiles for different degrees of anisotropic, or directional, etching: (a) purely isotropic etching; (b) anisotropic etching; (c) completely anisotropic etching.

CORROSÃO ÚMIDA NA MICROELETRÔNICA

PRINCIPAIS PRODUTOS P/ ETCHING

Table 10-1 Common wet chemical etchants for various thin films used in IC fabrication

Material	Etchant	Comments
SiO ₂	HF (49% in water) "straight HF" NH ₄ F:HF (6:1) "Buffered HF" or "BOE"	Selective over Si (i.e., will etch Si very slowly in comparison). Etch rate depends on film density, doping. About 1/2 th the etch rate of straight HF. Etch rate depends on film density, doping. Will not lift up photoresist like straight HF.
Si ₃ N ₄	HF (49%) H ₃ PO ₄ :H ₂ O (boiling @ 130-150°C)	Etch rate depends strongly on film density, O, H in film. Selective over SiO ₂ . Requires oxide mask.
Al	H ₃ PO ₄ :H ₂ O:HNO ₃ :CH ₃ COOH (16:2:1:1)	Selective over Si, SiO ₂ , and photoresist.
Polysilicon	HNO ₃ :H ₂ O:HF (+ CH ₃ COOH) (50:20:1)	Etch rate depends on etchant composition.
Single crystal Si	HNO ₃ :H ₂ O:HF (+ CH ₃ COOH) (50:20:1) KOH:H ₂ O:IPA (23 wt. % KOH, 13 wt. % IPA)	Etch rate depends on etchant composition. Crystallographically selective; relative etch rates: (100): 100 (111): 1
Ti	NH ₄ OH:H ₂ O ₂ :H ₂ O (1:1:5)	Selective over TiSi ₂
TiN	NH ₄ OH:H ₂ O ₂ :H ₂ O (1:1:5)	Selective over TiSi ₂
TiSi ₂	NH ₄ F:HF (6:1)	
Photoresist	H ₂ SO ₄ :H ₂ O ₂ (125°C) Organic strippers	For wafers without metal. For wafers with metal.

LIMPEZA NA MICROELETRÔNICA

NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO E DENSIDADES DE DEFEITOS:

- **CRITICAL DEFECT SIZE:** tamanho máximo da partícula p/ criar um defeito em um chip = $1/2$ da mínima largura de linha;

LIMPEZA NA MICROELETRÔNICA

NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO E DENSIDADES DE DEFEITOS:

- ***CRITICAL DEFECT SIZE***: tamanho máximo da partícula p/ criar um defeito em um chip = $1/2$ da mínima largura de linha;
- ***LOCALIZED LIGHT SCATTERES (LLS)***: densidade de partículas medidas sobre lâminas virgens - sistemas automáticos - LASER;

LIMPEZA NA MICROELETRÔNICA

NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO E DENSIDADES DE DEFEITOS:

- **CRITICAL DEFECT SIZE:** tamanho máximo da partícula p/ criar um defeito em um chip = $1/2$ da mínima largura de linha;
- **LOCALIZED LIGHT SCATTERES (LLS):** densidade de partículas medidas sobre lâminas virgens - sistemas automáticos - LASER;
- **GATE OXIDE INTEGRITY (GOI):** controle de contaminantes no processo de fabricação dos isolantes de porta MOS - campos elétricos aplicados à porta - testar a tensão de ruptura máxima;

LIMPEZA NA MICROELETRÔNICA

NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO E DENSIDADES DE DEFEITOS:

- **CRITICAL DEFECT SIZE:** tamanho máximo da partícula p/ criar um defeito em um chip = 1/2 da mínima largura de linha;
- **LOCALIZED LIGHT SCATTERES (LLS):** densidade de partículas medidas sobre lâminas virgens - sistemas automáticos - LASER;
- **GATE OXIDE INTEGRITY (GOI):** controle de contaminantes no processo de fabricação dos isolantes de porta MOS - campos elétricos aplicados à porta - testar a tensão de ruptura máxima;
- **CONTAMINAÇÃO POR Fe, Na, Ca:** da ordem de 10^{10} cm^{-3} .

LIMPEZA NA MICROELETRÔNICA

Table 4-1 Semiconductor industry projected progress in chip size and feature size and the implications of this progress for defect size, density and contamination levels [4.1]

Year of First DRAM Shipment	1997	1999	2003	2006	2009	2012
Minimum Feature Size	250 nm	180 nm	130 nm	100 nm	70 nm	50 nm
Wafer Diameter (mm)	200	300	300	300	450	450
DRAM Bits/Chip	256M	1G	4G	16G	64G	256G
DRAM Chip Size (mm ²)	280	400	560	790	1120	1580
Microprocessor Transistors/chip	11M	21M	76M	200M	520M	1.40B
Maximum Wiring Levels	6	6-7	7	7-8	8-9	9
Minimum Mask Count	22	22/24	24	24/26	26/28	28
Critical Defect Size	125 nm	90 nm	65 nm	50 nm	35 nm	25 nm
Starting Wafer Total LLS (cm⁻²)	0.60	0.29	0.14	0.06	0.03	0.015
DRAM GOI Defect Density (cm⁻²)	0.06	0.03	0.014	0.006	0.003	0.001
Logic GOI Defect Density (cm⁻²)	0.15	0.15	0.08	0.05	0.04	0.03
Starting Wafer Total Bulk Fe (cm⁻³)	3 × 10¹⁰	1 × 10¹⁰	Under 1 × 10¹⁰			
Critical Metals on Wafer Surface After Cleaning (cm⁻²)	5 × 10⁹	4 × 10⁹	2 × 10⁹	1 × 10⁹	< 10⁹	< 10⁹
Starting Material Recombination Lifetime (µsec)	≥ 300	≥ 325	≥ 325	≥ 325	≥ 450	≥ 450

1. LIMPEZA - CONCEITOS BÁSICOS

CONTAMINAÇÃO PROVENIENTE:

•ETAPAS DE PROCESSOS;

•MANIPULAÇÃO/AMOSTRAS;

•SOLUÇÕES QUÍMICAS;

•SALAS SEM CONTROLE DE
PARTÍCULAS.

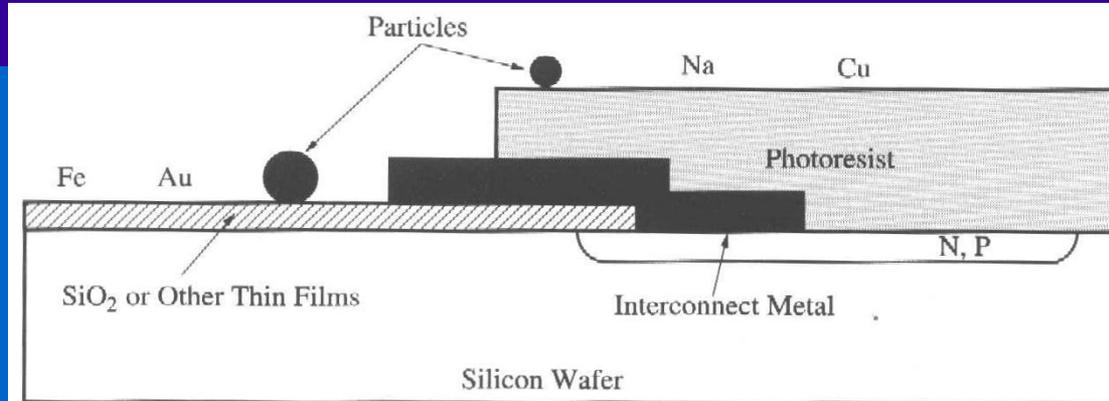


Figure 4-1 Example of a silicon wafer ready for cleaning. Contaminants include photoresist films, particles (usually 0.01 – 100 μm in size) and small concentrations of atoms or small clusters of metals, alkali ions, and other species.

1. LIMPEZA - CONCEITOS BÁSICOS

CONTAMINAÇÃO
PROVENIENTE:

•ETAPAS DE PROCESSOS;

•MANIPULAÇÃO/AMOSTRAS;

•SOLUÇÕES QUÍMICAS

•SALAS SEM CONTROLE DE
PARTÍCULAS;

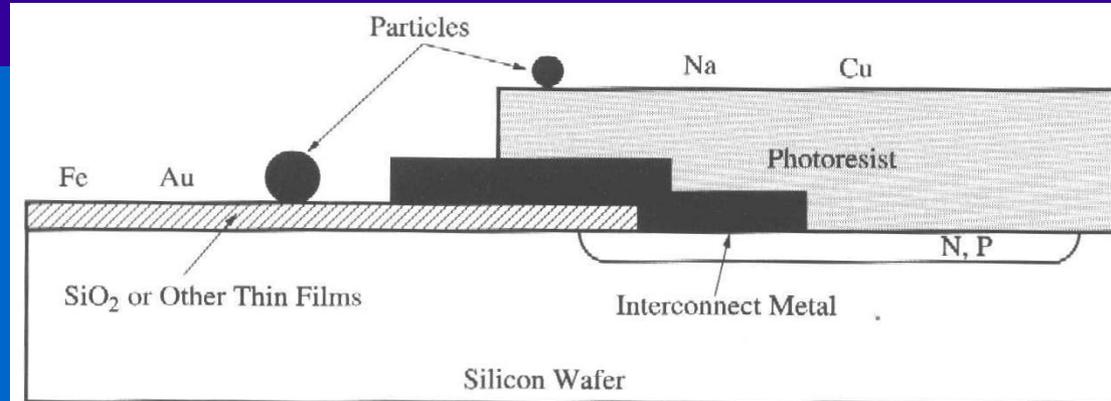


Figure 4-1 Example of a silicon wafer ready for cleaning. Contaminants include photoresist films, particles (usually 0.01 – 100 μm in size) and small concentrations of atoms or small clusters of metals, alkali ions, and other species.

ELEMENTOS INDESEJÁVEIS: Fe, Cu , Au

1. LIMPEZA - CONCEITOS BÁSICOS

CONTAMINAÇÃO
PROVENIENTE:

•ETAPAS DE PROCESSOS;

•MANIPULAÇÃO/AMOSTRAS;

•SOLUÇÕES QUÍMICAS;

•SALAS SEM CONTROLE DE
PARTÍCULAS.

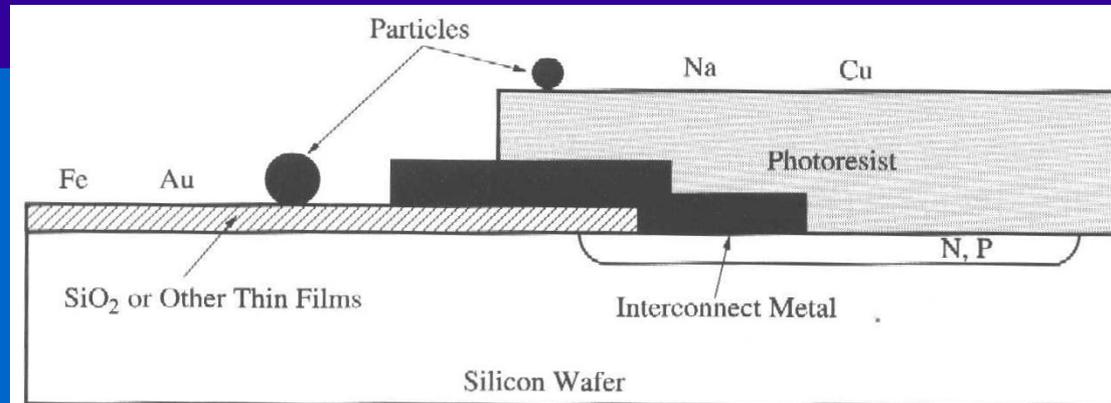


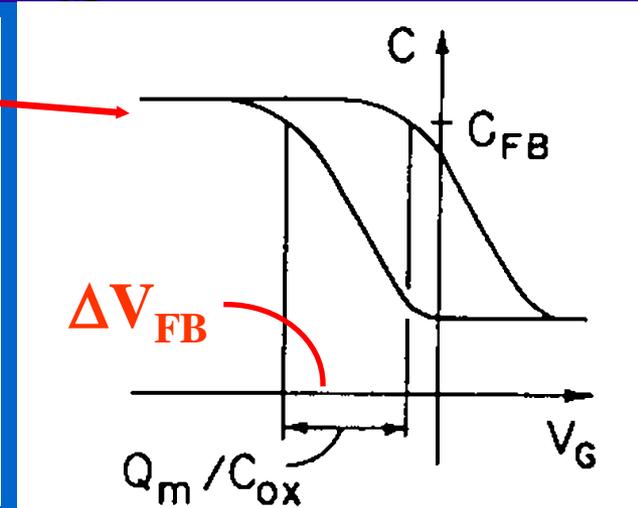
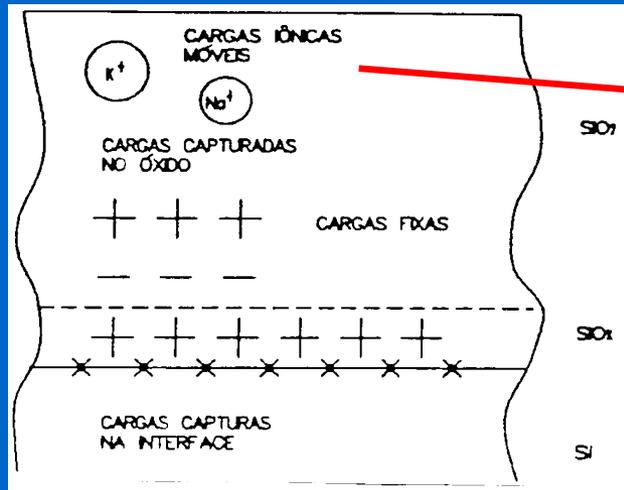
Figure 4-1 Example of a silicon wafer ready for cleaning. Contaminants include photoresist films, particles (usually 0.01 – 100 μm in size) and small concentrations of atoms or small clusters of metals, alkali ions, and other species.

ELEMENTOS INDESEJÁVEIS: Fe, Cu , Au
e principalmente íons alcalinos Na⁺ e K⁺.

1. LIMPEZA - CONCEITOS BÁSICOS

cargas móveis no óxido (Q_M) - íons alcalinos

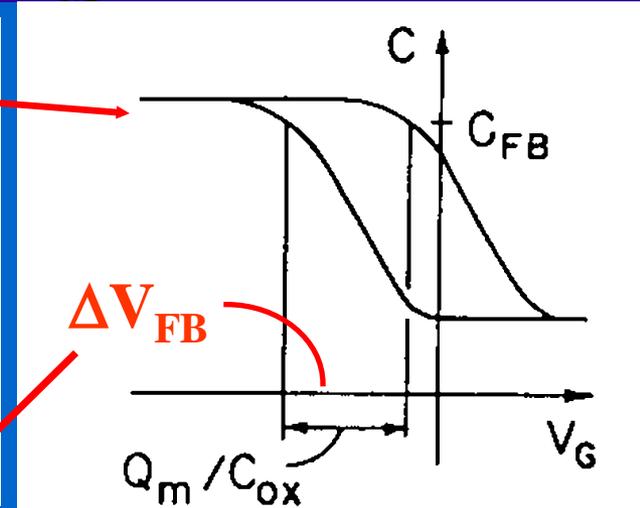
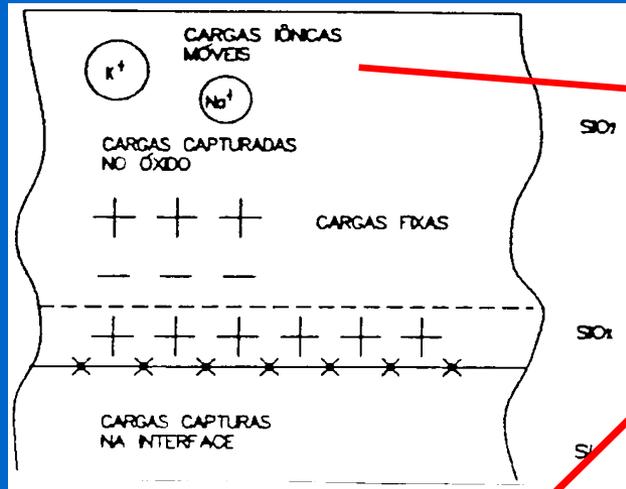
CAPACITOR
MOS
METAL
ÓXIDO
SILÍCIO



1. LIMPEZA - CONCEITOS BÁSICOS

cargas móveis no óxido (Q_M) - íons alcalinos

CAPACITOR
MOS
METAL
ÓXIDO
SILÍCIO



P/ óxido de 10nm e
 $Q_M = 6.5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$,
 $\Delta V_{TH} = 0.1 \text{ V}$

$$V_{TH} = V_{FB} + \frac{\sqrt{2\epsilon_{Si} N_A (2\phi_f)}}{C_{ox}} + \frac{qQ_M}{C_{ox}}$$

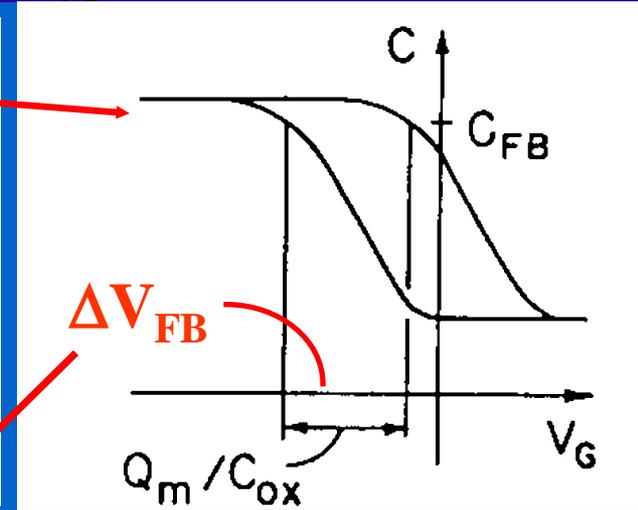
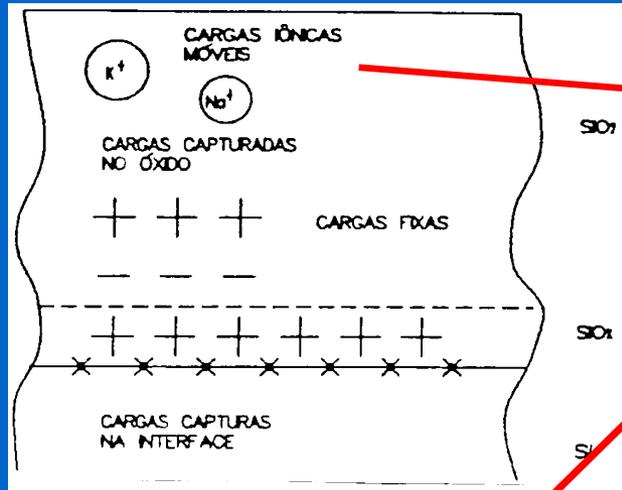
TENSÃO DE LIMIAR

TENSÃO DE *FLAT-BAND*

1. LIMPEZA - CONCEITOS BÁSICOS

cargas móveis no óxido (Q_M) - íons alcalinos

CAPACITOR
MOS
METAL
ÓXIDO
SILÍCIO



P/ óxido de 10nm e
 $Q_M = 6.5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$,
 $\Delta V_{TH} = 0.1 \text{ V}$

$$V_{TH} = V_{FB} + \frac{\sqrt{2\varepsilon_{Si} N_A (2\phi_f)}}{C_{ox}} + \frac{qQ_M}{C_{ox}}$$

TENSÃO DE LIMIAR

TENSÃO DE *FLAT-BAND*

NÍVEIS ACEITÁVEIS - $Q_M \approx 10^{10} \text{ cm}^{-2}$

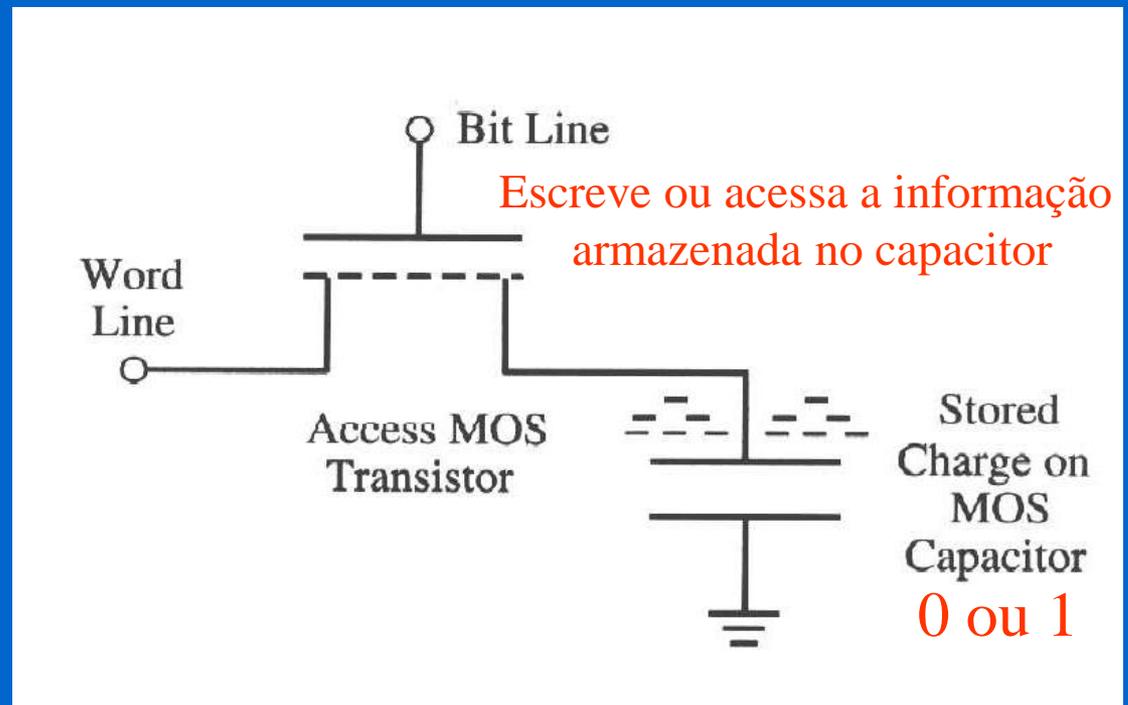
1. LIMPEZA - CONCEITOS BÁSICOS

MEMÓRIAS DE DRAM (MEMÓRIAS DE ACESSO RANDÔMICO-DINÂMICAS)

BITS- GUARDADOS NA FORMA DE CARGA
ARMAZENADA EM UM CAPACITOR MOS

atualmente \Rightarrow 256Mbits DRAMs

A informação
armazenada no
capacitor espera
para ser lida



1. LIMPEZA - CONCEITOS BÁSICOS

MEMÓRIAS DE DRAM (MEMÓRIAS DE ACESSO RANDÔMICO-DINÂMICAS)

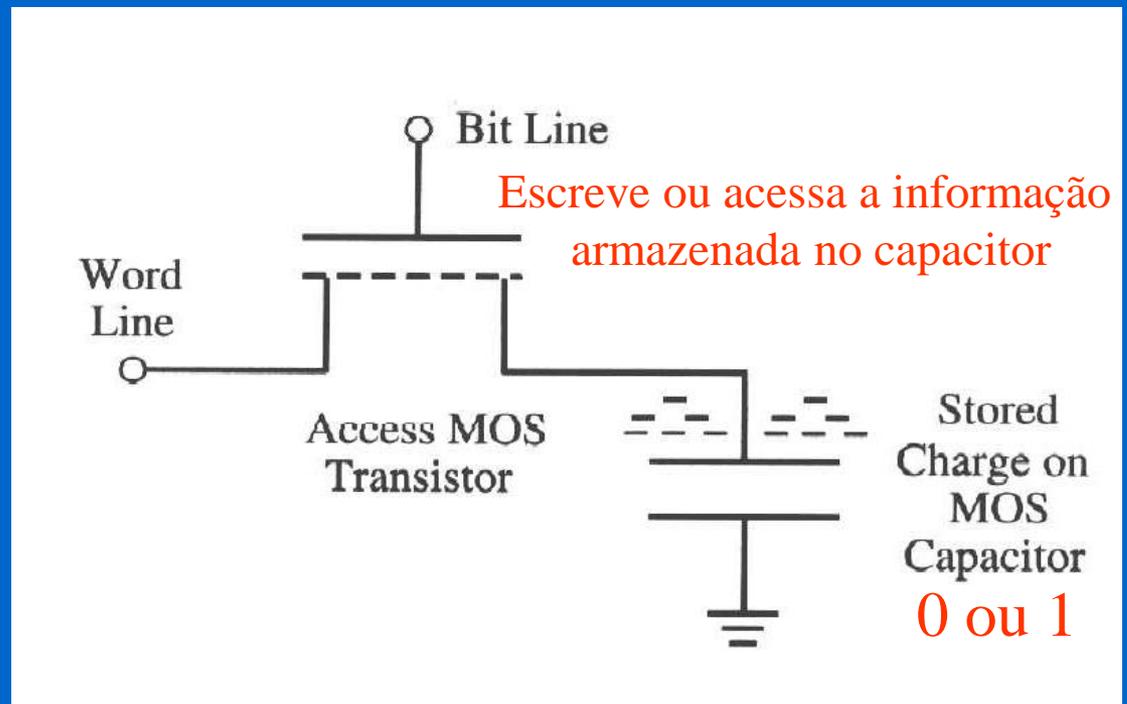
BITS- GUARDADOS NA FORMA DE CARGA
ARMAZENADA EM UM CAPACITOR MOS

atualmente \Rightarrow 256 Mbits DRAMs

A informação
armazenada no
capacitor espera
para ser lida



I_{FUGA} no capacitor
diminui
gradativamente a
carga armazenada



Devido à elementos metálicos: Cu, Fe, Au

1. LIMPEZA - CONCEITOS BÁSICOS

MEMÓRIAS DE DRAM (MEMÓRIAS DE ACESSO RANDÔMICO-DINÂMICAS)

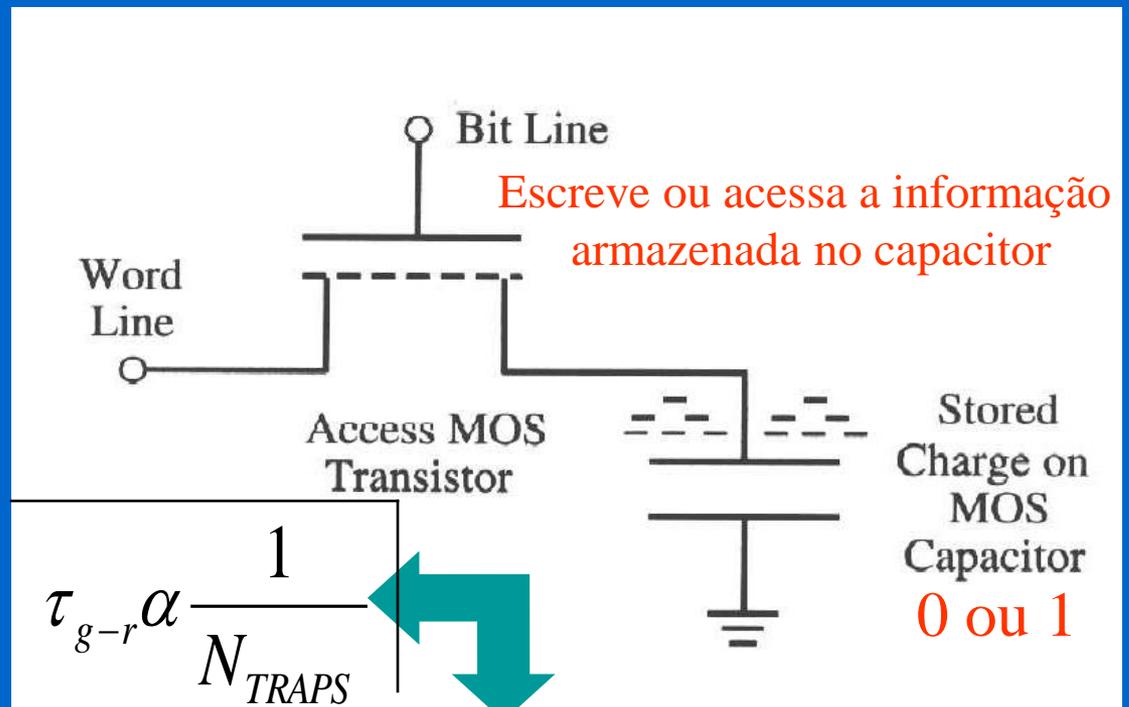
BITS- GUARDADOS NA FORMA DE CARGA
ARMAZENADA EM UM CAPACITOR MOS

atualmente \Rightarrow 256Mbits DRAMs

A informação armazenada no capacitor espera para ser lida



I_{FUGA} no capacitor diminui gradativamente a carga armazenada



Devido à elementos metálicos: Cu, Fe, Au

CENTROS DE RECOMBINAÇÃO

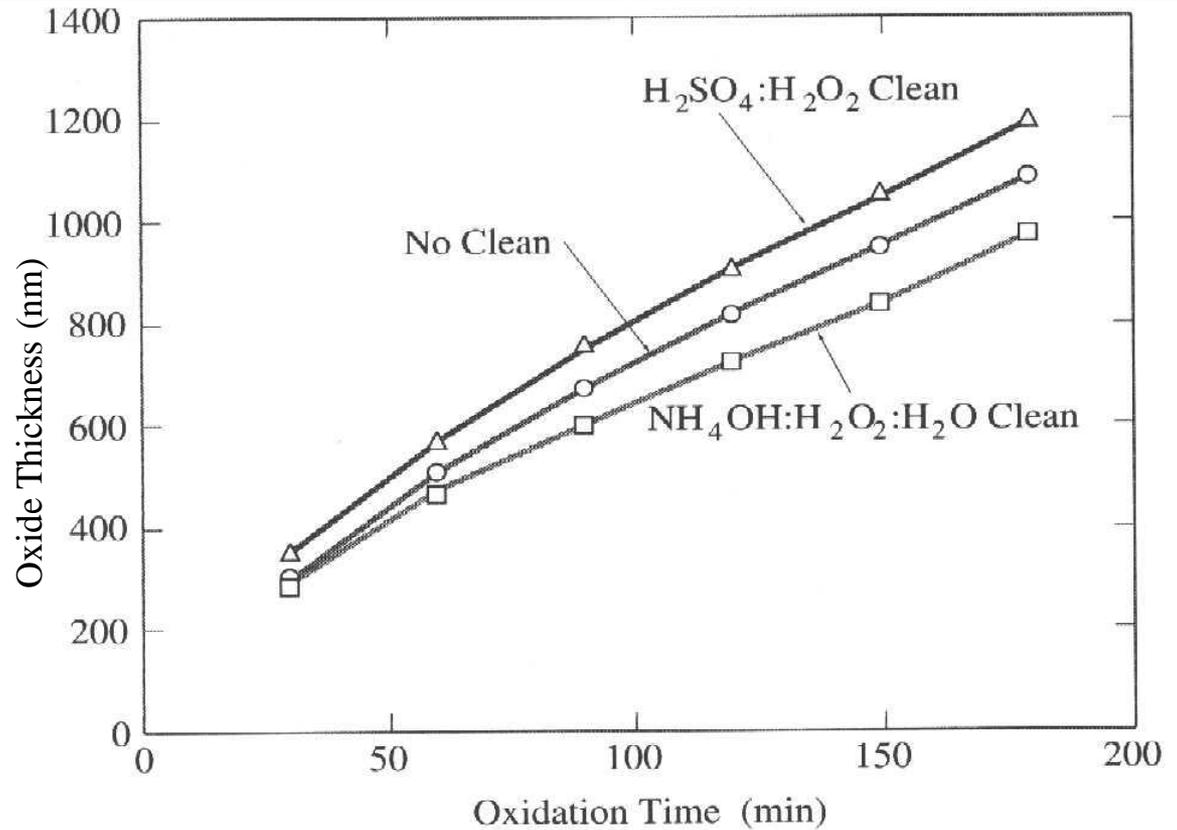
1. LIMPEZA - CONCEITOS BÁSICOS

Table 4-1 Semiconductor industry projected progress in chip size and feature size and the implications of this progress for defect size, density and contamination levels [4.1]

Year of First DRAM Shipment	1997	1999	2003	2006	2009	2012
Minimum Feature Size	250 nm	180 nm	130 nm	100 nm	70 nm	50 nm
Wafer Diameter (mm)	200	300	300	300	450	450
DRAM Bits/Chip	256M	1G	4G	16G	64G	256G
DRAM Chip Size (mm ²)	280	400	560	790	1120	1580
Microprocessor Transistors/chip	11M	21M	76M	200M	520M	1.40B
Maximum Wiring Levels	6	6-7	7	7-8	8-9	9
Minimum Mask Count	22	22/24	24	24/26	26/28	28
Critical Defect Size	125 nm	90 nm	65 nm	50 nm	35 nm	25 nm
Starting Wafer						
Total LLS (cm⁻²)	0.60	0.29	0.14	0.06	0.03	0.015
DRAM GOI						
Defect Density (cm⁻²)	0.06	0.03	0.014	0.006	0.003	0.001
Logic GOI						
Defect Density (cm⁻²)	0.15	0.15	0.08	0.05	0.04	0.03
Starting Wafer						
Total Bulk Fe (cm⁻³)	3 × 10¹⁰	1 × 10¹⁰	Under 1 × 10¹⁰			
Critical Metals on Wafer Surface After Cleaning (cm⁻²)	5 × 10⁹	4 × 10⁹	2 × 10⁹	1 × 10⁹	< 10⁹	< 10⁹
Starting Material Recombination Lifetime (μsec)	≥ 300	≥ 325	≥ 325	≥ 325	≥ 450	≥ 450

1. LIMPEZA - CONCEITOS BÁSICOS

Estudo da Oxidação após limpeza

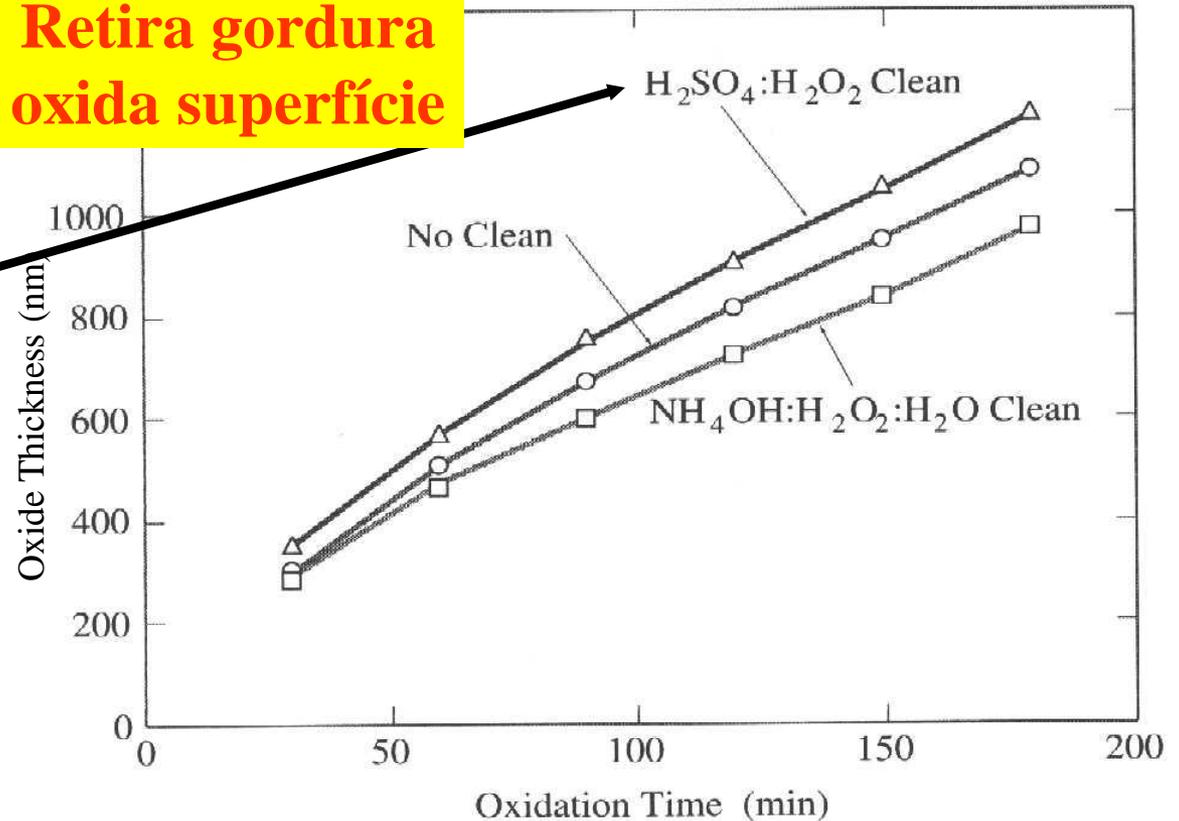


1. LIMPEZA - CONCEITOS BÁSICOS

Estudo da Oxidação
após limpeza

Retira gordura
oxida superfície

tox↑ ⇒ após piranha



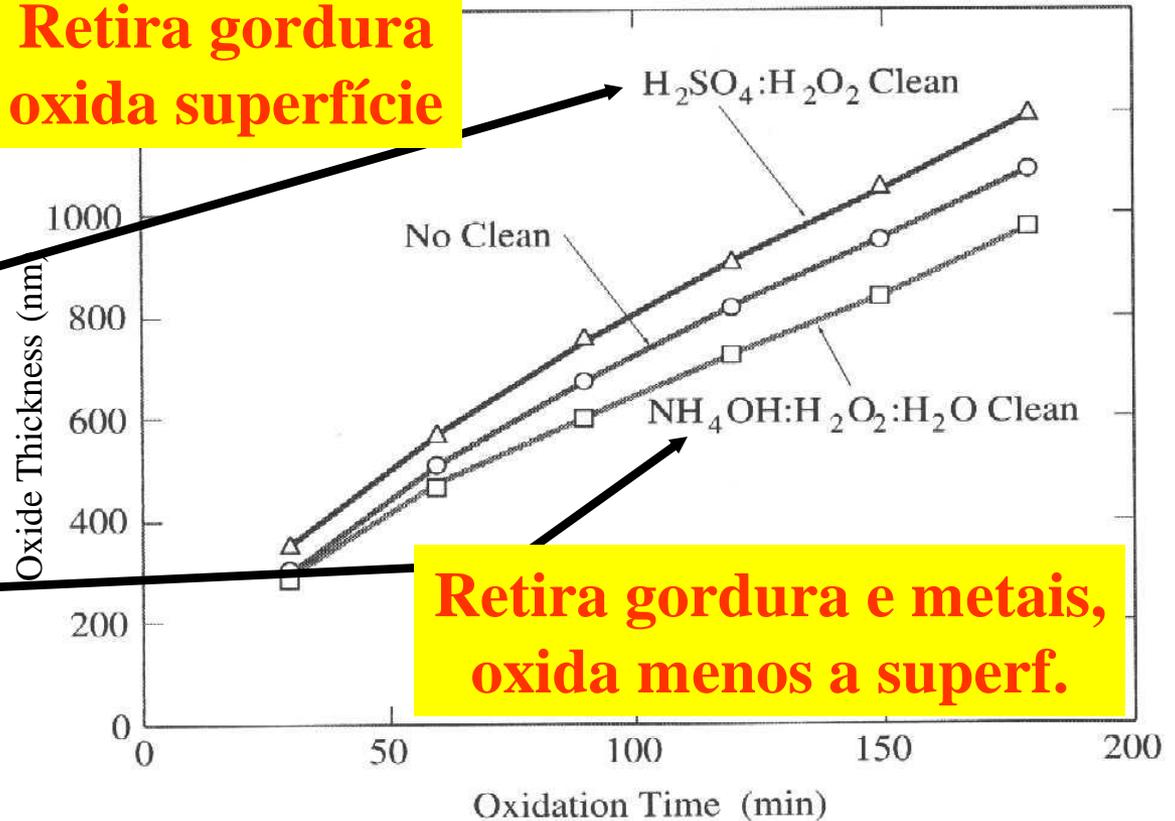
1. LIMPEZA - CONCEITOS BÁSICOS

Estudo da Oxidação
após limpeza

tox \uparrow \Rightarrow após piranha

tox \downarrow \Rightarrow após amoníaco

Retira gordura
oxida superfície



Retira gordura e metais,
oxida menos a superf.

1.1. LIMPEZA - Nível 1 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: SALAS LIMPAS

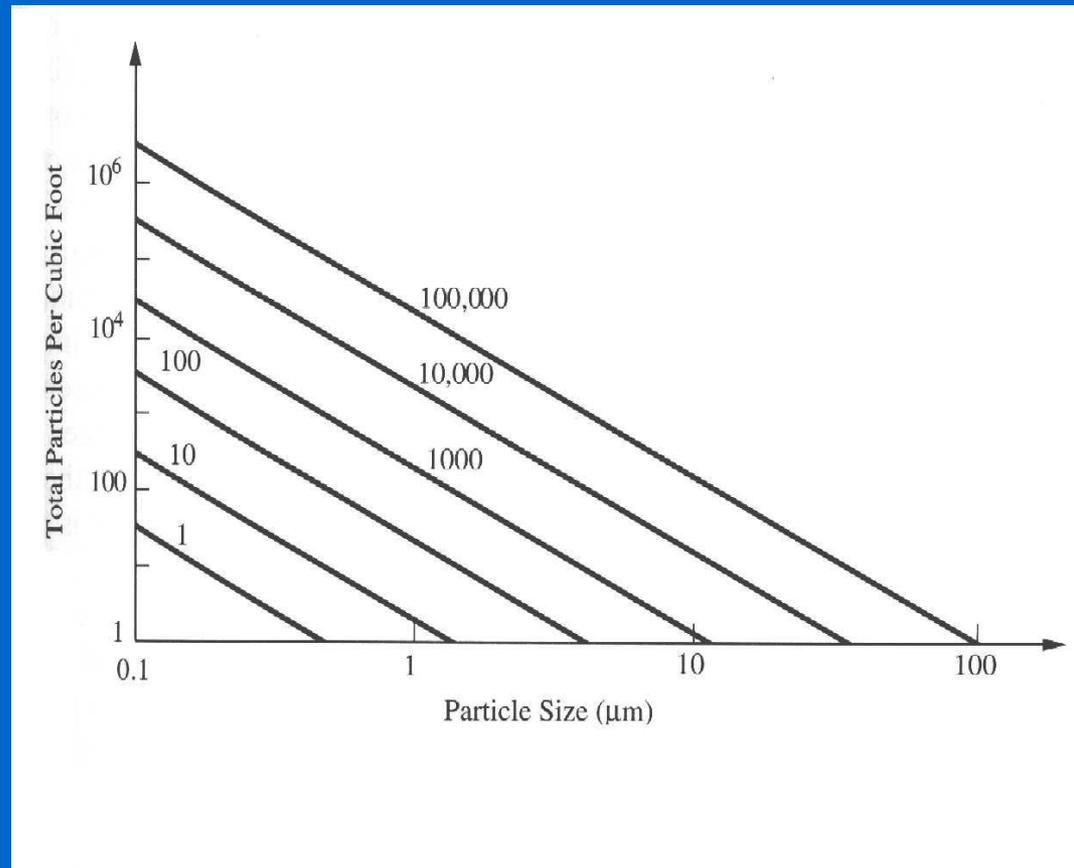
CLASSES DE LIMPEZA DE SALAS LIMPAS:

CLASSE1 \Rightarrow 1partícula/pé³

CLASSE10 \Rightarrow 10partículas/pé³

CLASSE100 \Rightarrow 100partículas/pé³

CLASSE1000 \Rightarrow 1000partículas/pé³



Partículas provenientes das pessoas, dos instrumentos, das máquinas, das soluções químicas e dos gases de processos.

1.1. LIMPEZA - Nível 1 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: SALAS LIMPAS

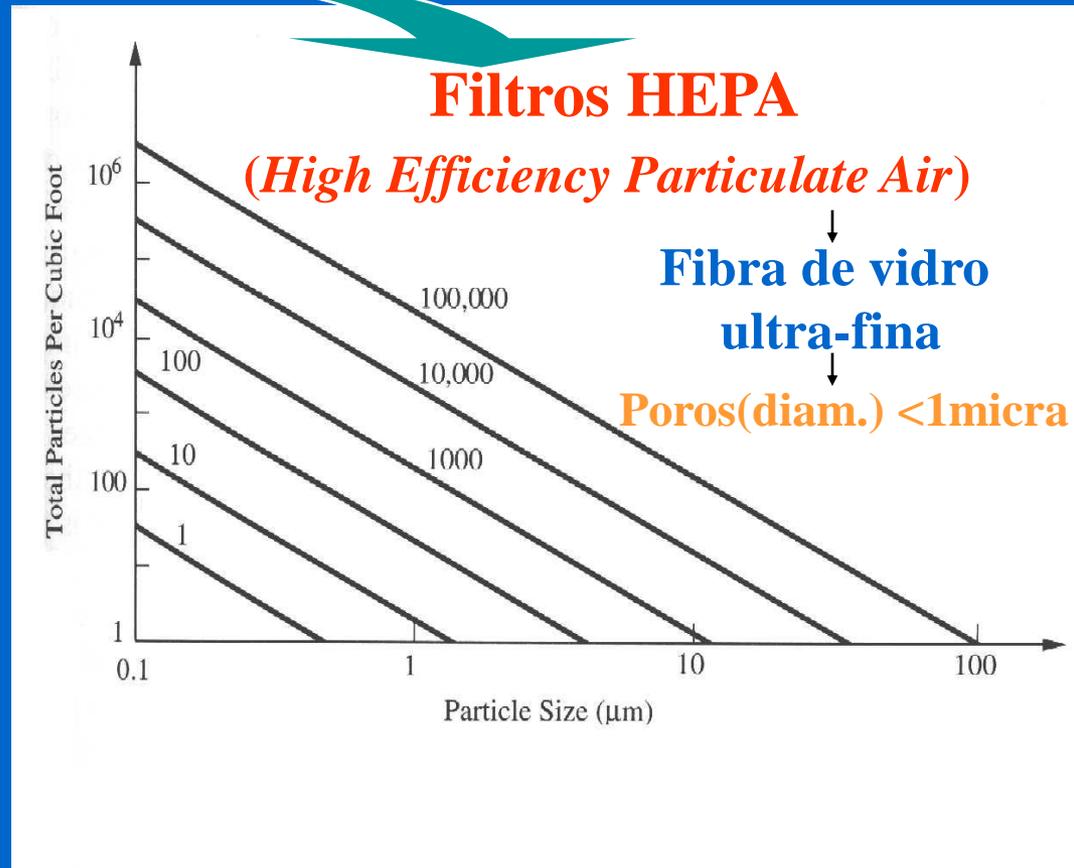
CLASSES DE LIMPEZA DE SALAS LIMPAS:

CLASSE1 \Rightarrow 1partícula/pé³

CLASSE10 \Rightarrow 10partículas/pé³

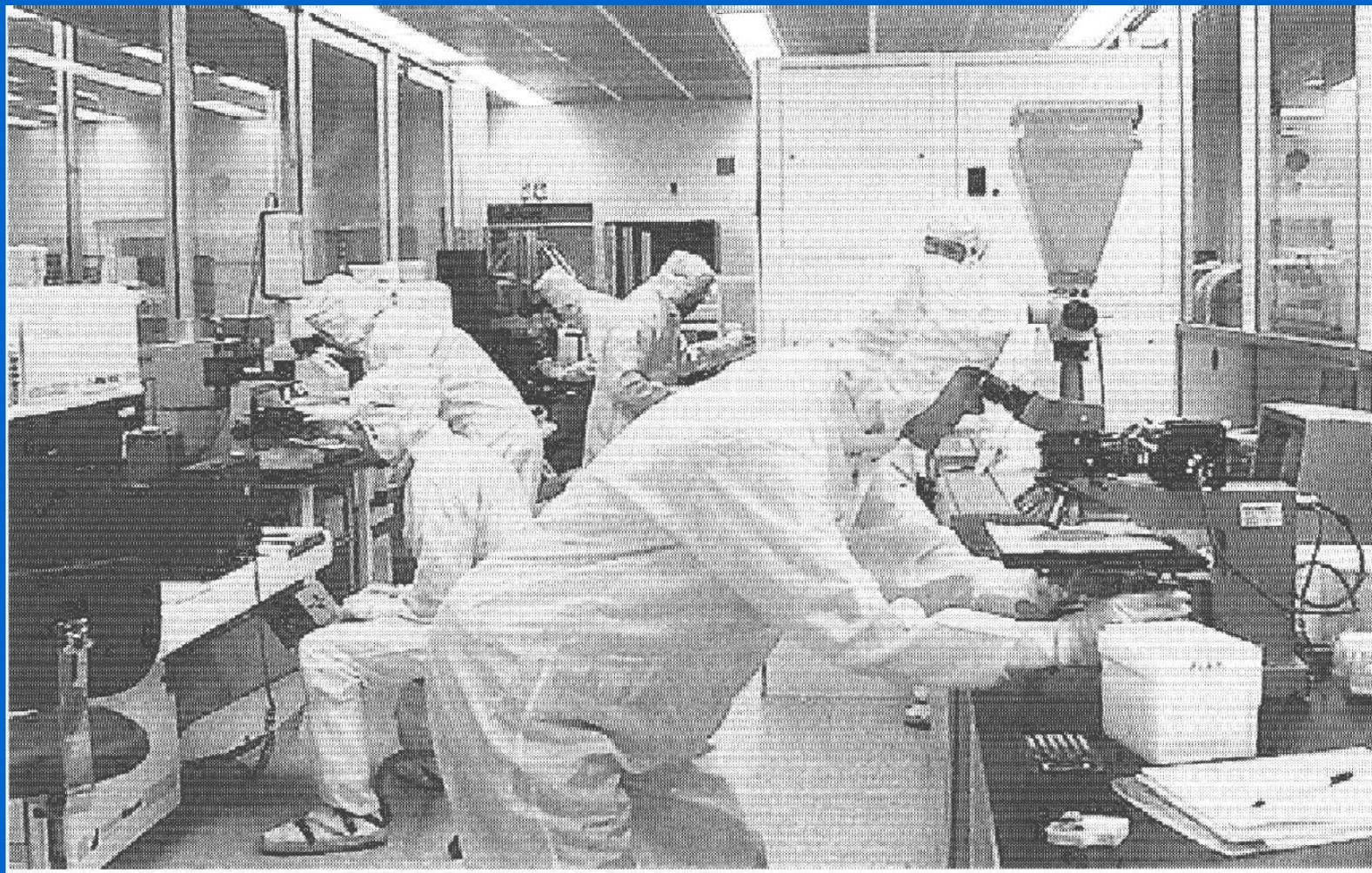
CLASSE100 \Rightarrow 100partículas/pé³

CLASSE1000 \Rightarrow 1000partículas/pé³

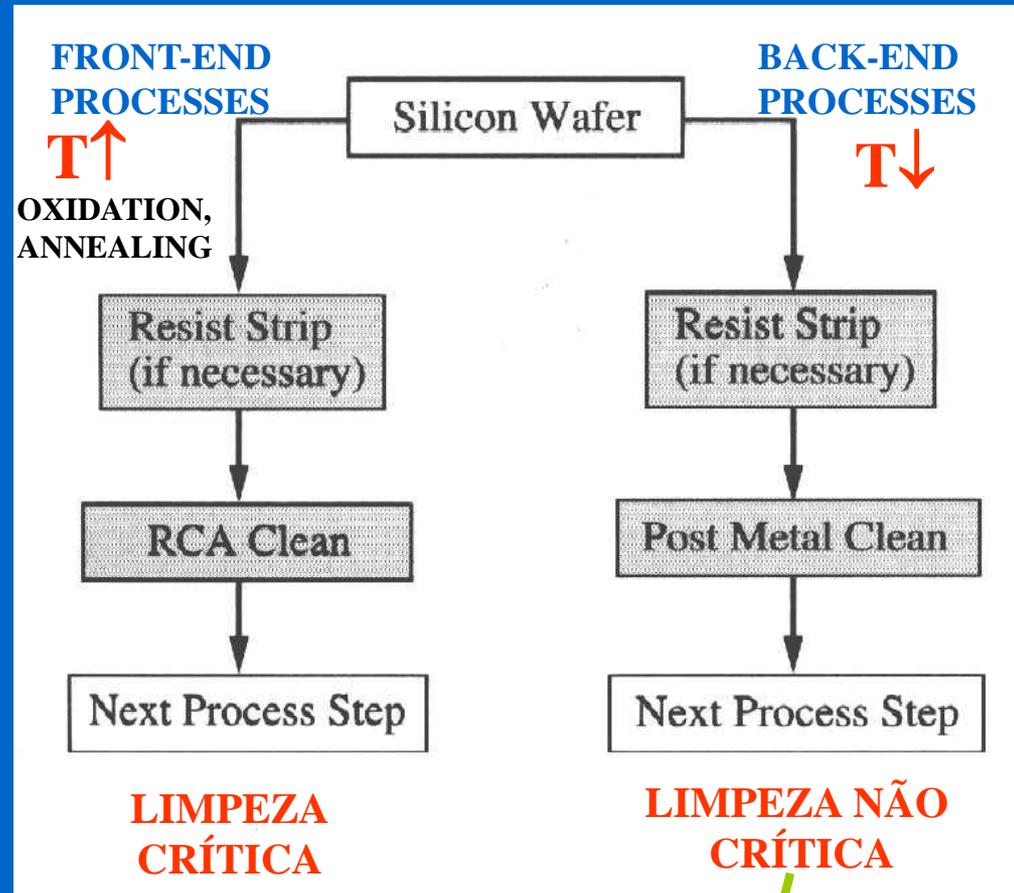


Partículas provenientes das pessoas, dos instrumentos, das máquinas, das soluções químicas e dos gases de processos.

1.1. LIMPEZA - Nível 1 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: SALAS LIMPAS



1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA DE LÂMINAS



Limpeza orgânica

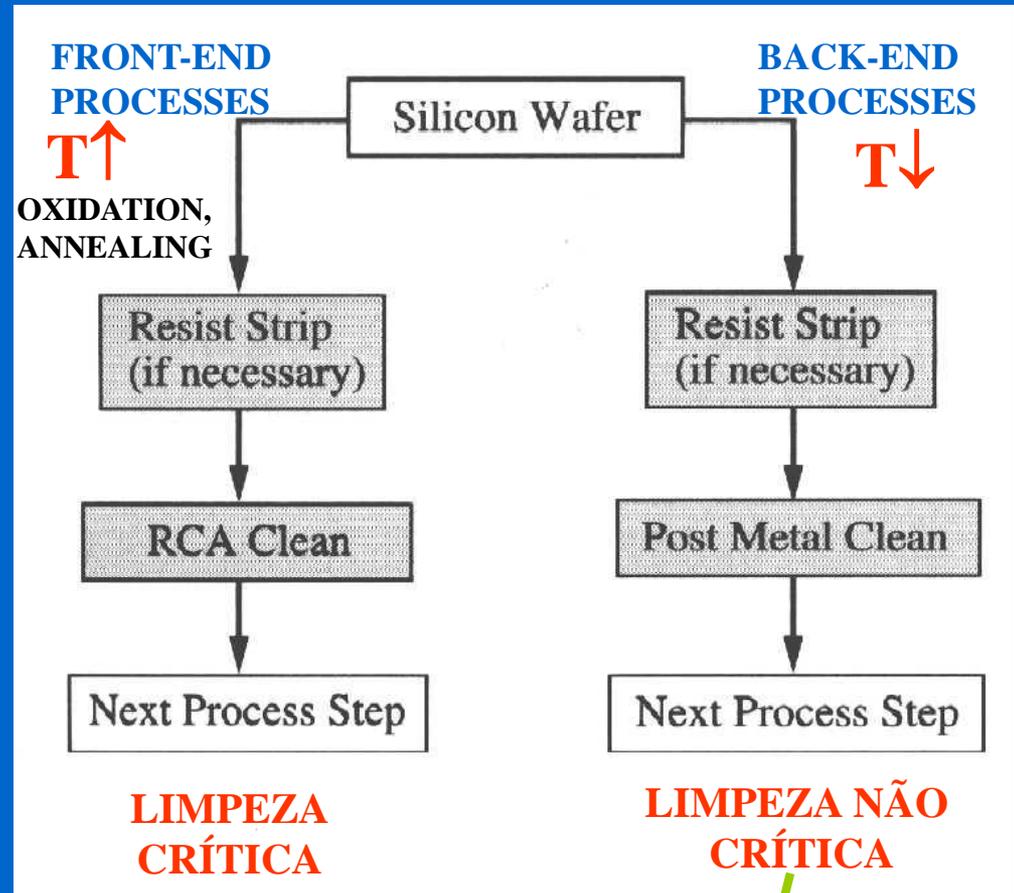
1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA DE LÂMINAS

REMOÇÃO DE RESISTE

(polímero) :

•solução piranha:

ácido(H_2SO_4) + oxidante forte(H_2O_2)



Limpeza orgânica

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA DE LÂMINAS

REMOÇÃO DE RESISTE

(polímero) :

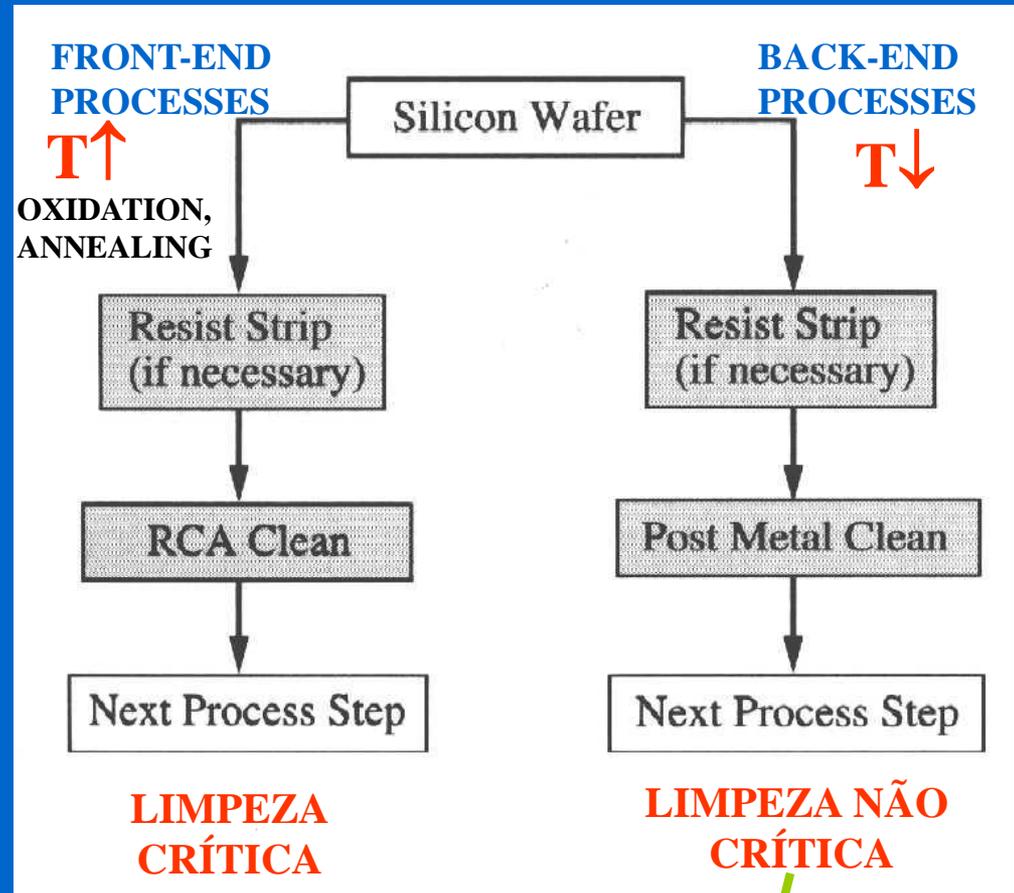
•solução piranha:

ácido(H_2SO_4) + oxidante forte(H_2O_2)



p/ decompor o resiste em

$CO_2 + H_2O$



Limpeza orgânica

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA DE LÂMINAS

REMOÇÃO DE RESISTE

(polímero) :

• **solução piranha:**

ácido (H_2SO_4) + oxidante forte (H_2O_2)



p/ decompor o resiste em

$CO_2 + H_2O$

• **Limpeza orgânica:**

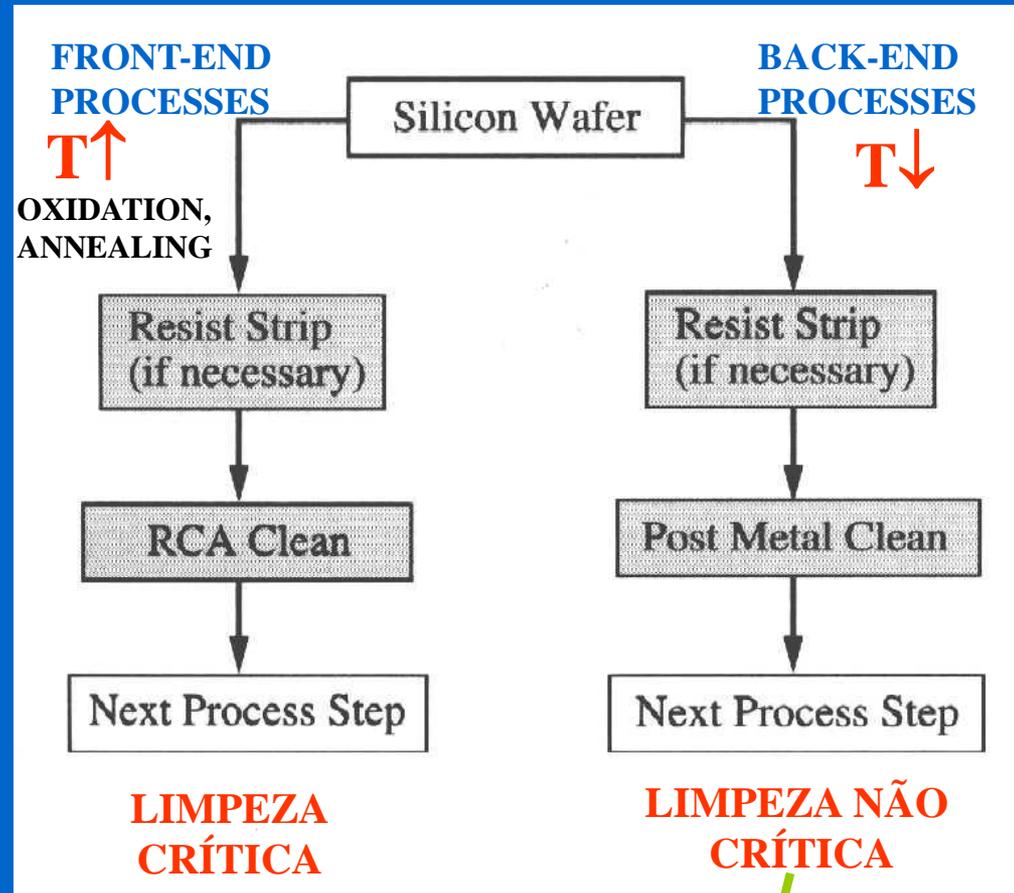
acetona fria +

acetona aquecida

(80°C/10min)

+ isopropanol aquecido

(80°C/10min)



Limpeza orgânica

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA DE LÂMINAS

REMOÇÃO DE RESISTE

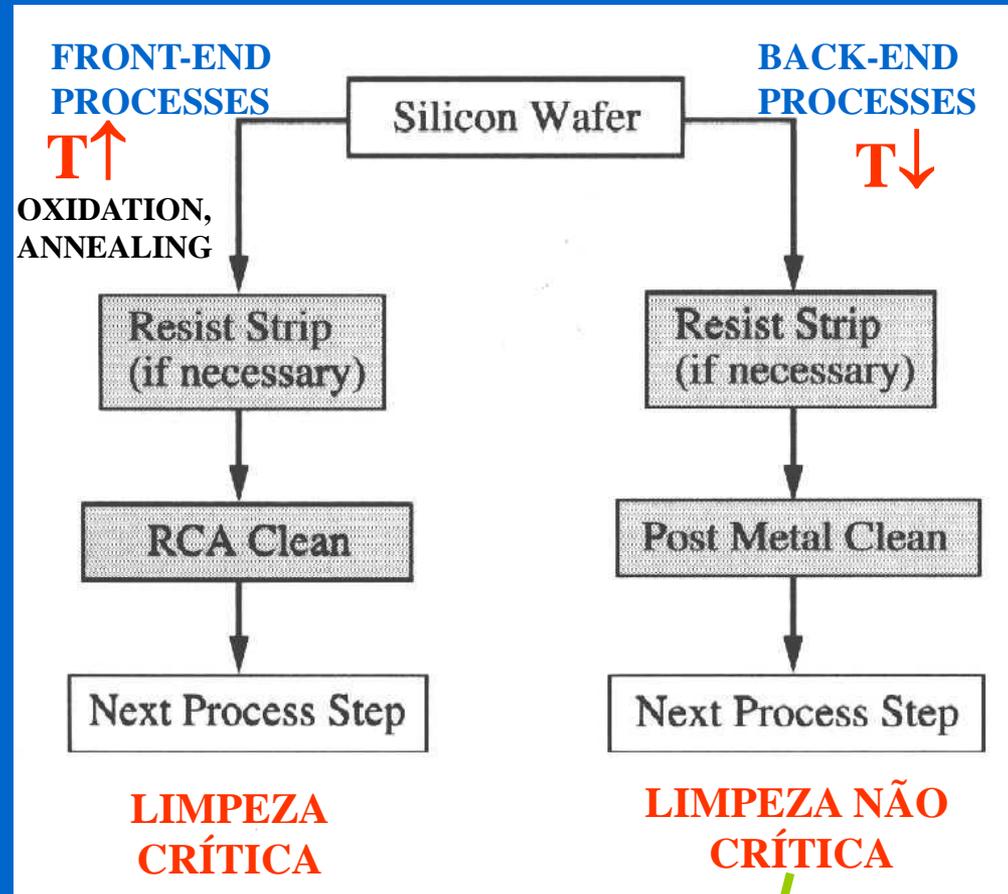
(polímero) :

• plasma de O_2

(vantagem: menos poluente)



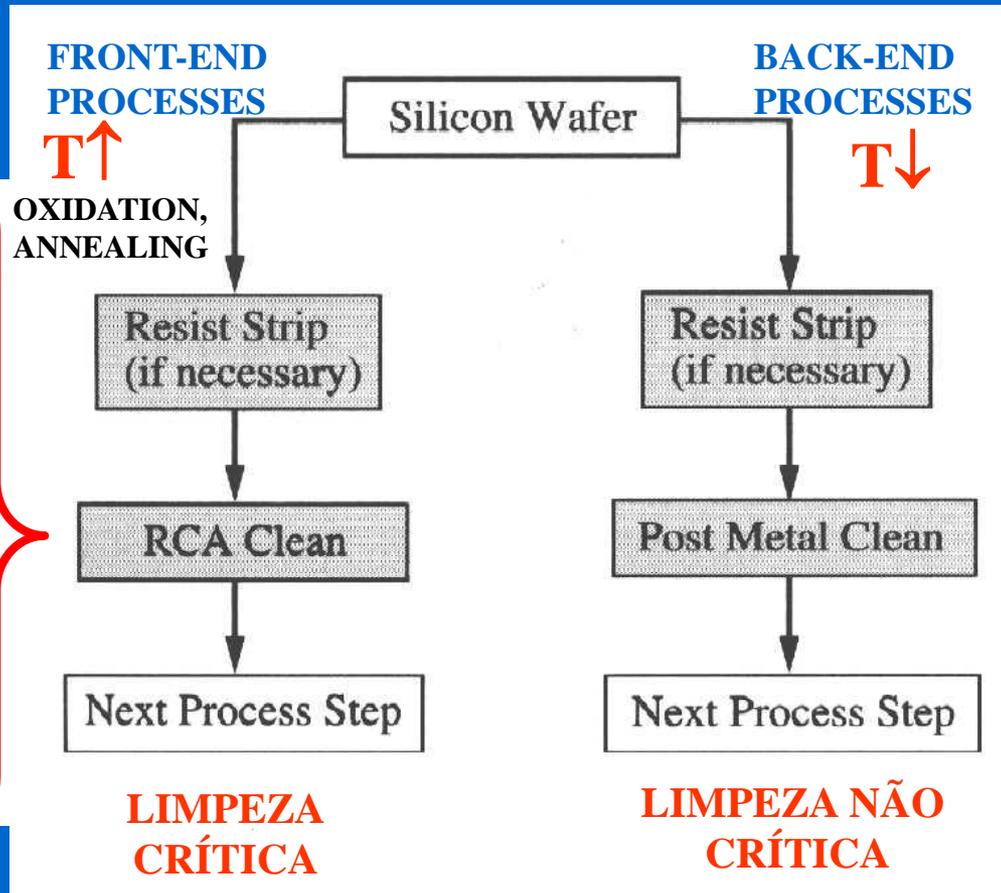
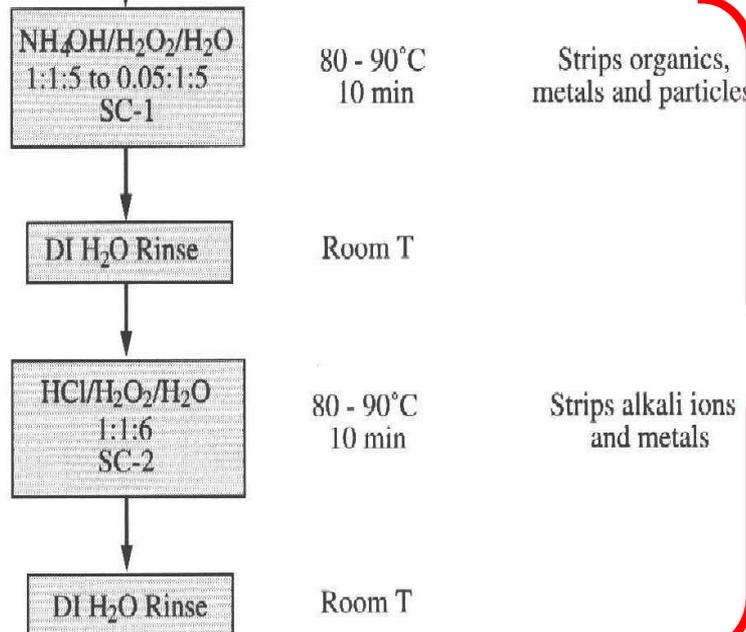
p/ decompor o resiste em



Limpeza orgânica

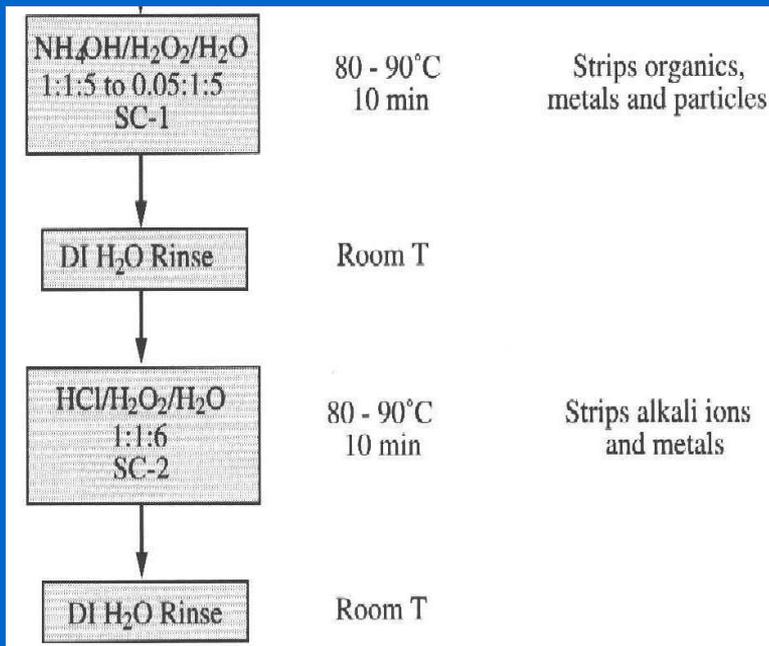
1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA DE LÂMINAS

Método RCA:



1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA DE LÂMINAS

Método RCA:

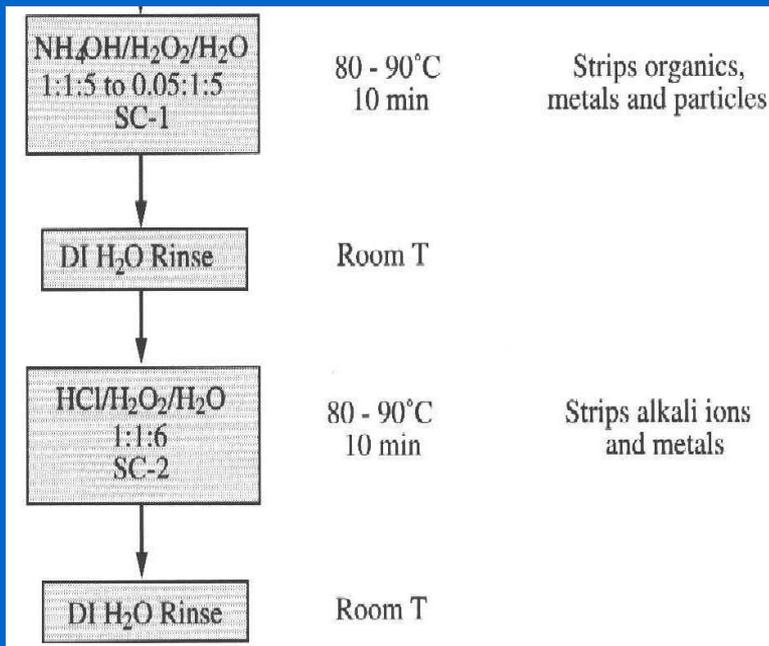


- **Solução de amoníaco SC-1 (pH ↑) :**
remove orgânicos (gordura) e metais de transição : Au, Ag, Cu, Ni, Zn, Cd, Co e Cr.

Forma complexo solúveis $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{+2}$

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA DE LÂMINAS

Método RCA:



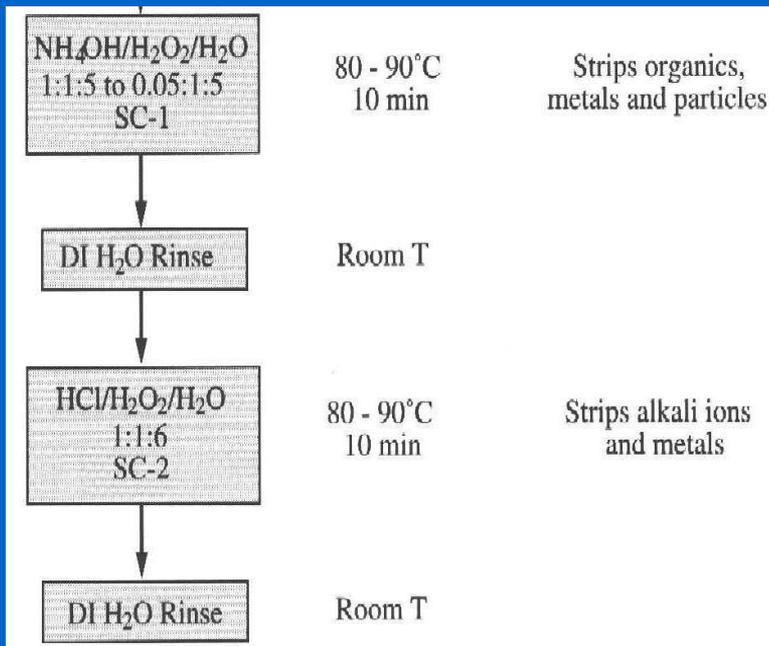
• **Solução de amoníaco SC-1 (pH ↑) :**
remove orgânicos (gordura) e metais de transição : Au, Ag, Cu, Ni, Zn, Cd, Co e Cr.

Forma complexos solúveis $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{+2}$

Dissolve o óxido nativo sobre o Si e cresce um novo óxido por oxidação da superfície

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA DE LÂMINAS

Método RCA:



• **Solução de amoníaco SC-1 (pH ↑)** :
remove orgânicos (gordura) e metais de transição : Au, Ag, Cu, Ni, Zn, Cd, Co e Cr.

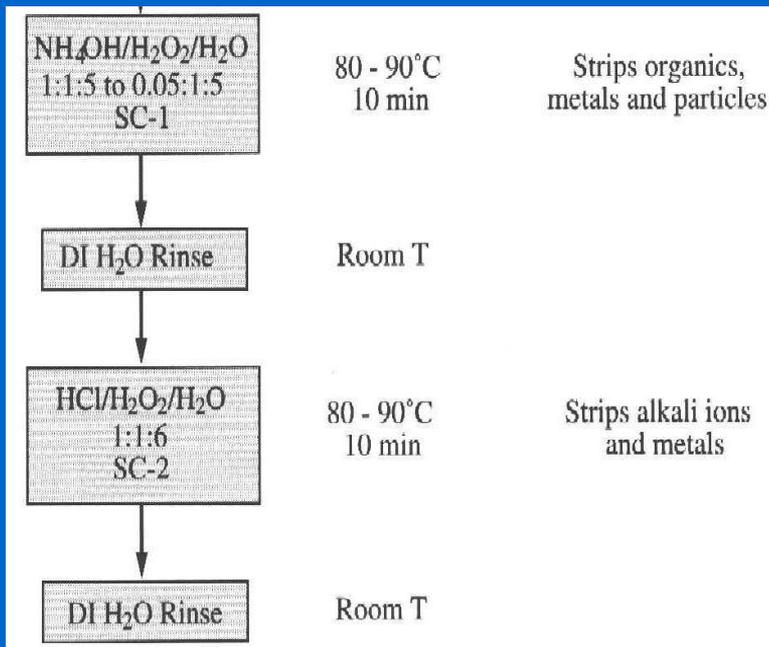
Forma complexos solúveis $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{+2}$

Dissolve o óxido nativo sobre o Si e cresce um novo óxido por oxidação da superfície

NH_4OH corroe Si \Rightarrow ↑ rugosidade de superfície

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA DE LÂMINAS

Método RCA:



• **Solução de amoníaco SC-1 (pH ↑) :**
remove orgânicos (gordura) e metais de transição : Au, Ag, Cu, Ni, Zn, Cd, Co e Cr.

Forma complexos solúveis $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{+2}$

Dissolve o óxido nativo sobre o Si e cresce um novo óxido por oxidação da superfície

NH_4OH corroe Si \Rightarrow ↑ rugosidade de superfície

$[\text{NH}_4\text{OH}] \downarrow$ na solução

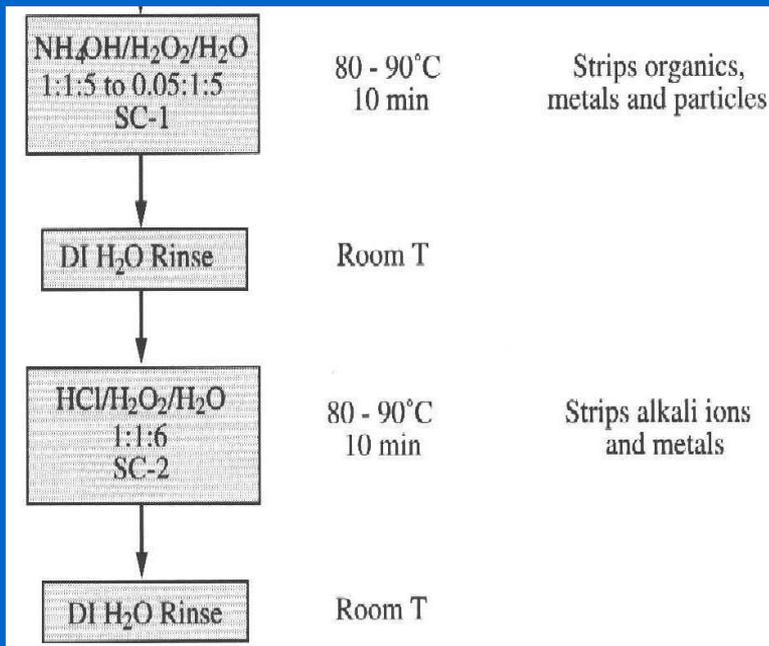
Os bequers, barquetas e pinças, usados nas limpezas das lâminas, são limpos com esta solução SC-1

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA DE LÂMINAS

• Solução de HCl - SC-2 (pH ↓) :

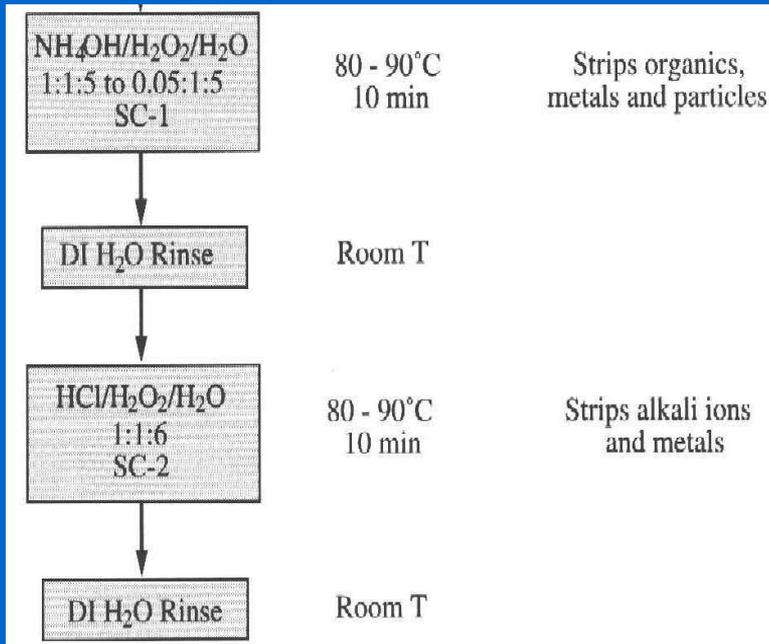
remove íons alcalinos e cátions: Al^{+3} , Fe^{+3} e Mg^{+2} .

Método RCA:



1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA DE LÂMINAS

Método RCA:

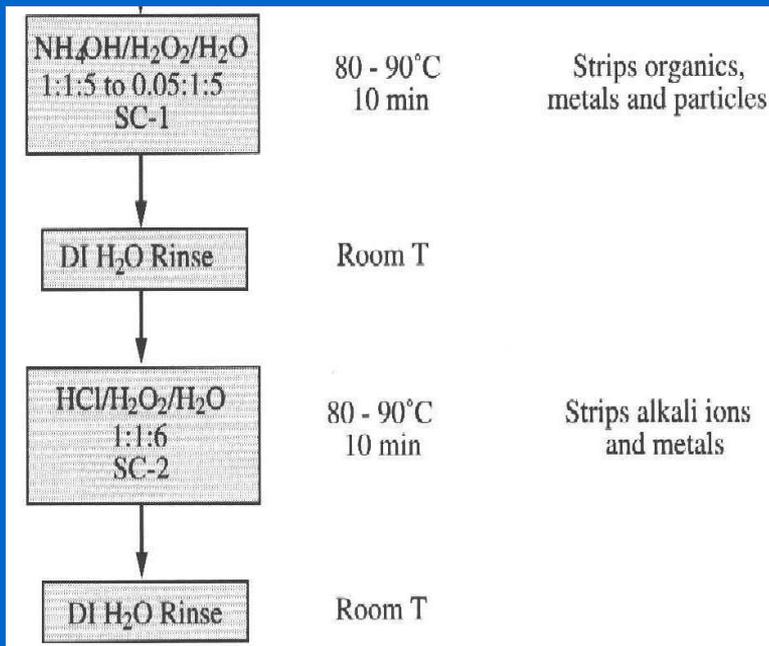


• **Solução de HCl - SC-2 (pH ↓) :**
remove íons alcalinos e cátions: Al⁺³ , Fe⁺³ e Mg⁺² .

Os cátions: Al⁺³ , Fe⁺³ e Mg⁺² formam hidróxidos insolúveis de NH₄OH na solução SC-1.

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA DE LÂMINAS

Método RCA:



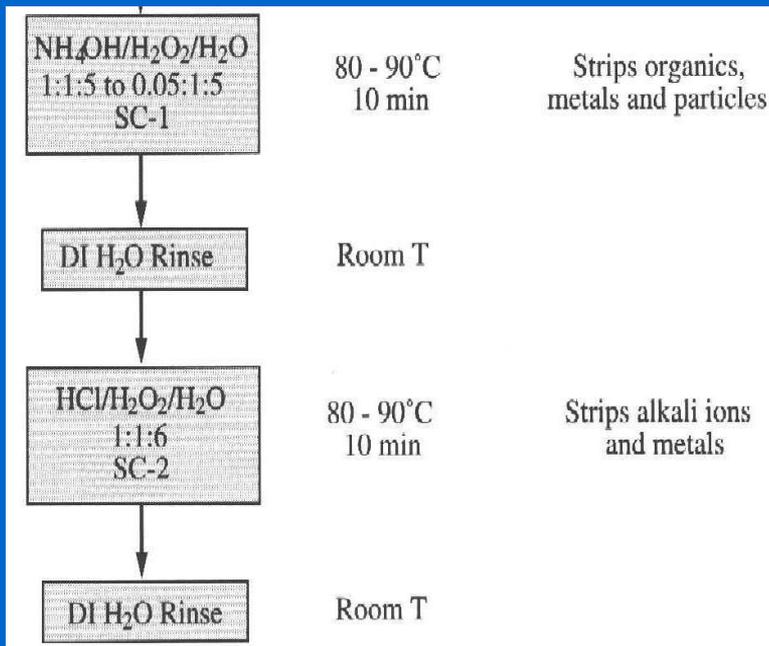
• **Solução de HCl - SC-2 (pH ↓) :**
remove íons alcalinos e cátions: Al^{+3} , Fe^{+3} e Mg^{+2} .

Os cátions: Al^{+3} , Fe^{+3} e Mg^{+2} formam hidróxidos insolúveis de NH_4OH na solução SC-1.

Estes metais precipitam sobre a superfície do Si
⇒ na solução SC-2 formam compostos solúveis

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA DE LÂMINAS

Método RCA:



• **Solução de HCl - SC-2 (pH ↓) :**
remove íons alcalinos e cátions: Al^{+3} , Fe^{+3} e Mg^{+2} .

Os cátions: Al^{+3} , Fe^{+3} e Mg^{+2} formam hidróxidos insolúveis de NH_4OH na solução SC-1.

Estes metais precipitam sobre a superfície do Si
⇒ na solução SC-2 formam compostos solúveis

Solução SC-2 termina de remover os resíduos de Au e de Cu

•
•
•

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: H_2O_2 na LIMPEZA DE LÂMINAS

P/ remover metais sobre Si →

Convertê-los em íons solúveis nas soluções de limpeza

•
•
•

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: H_2O_2 na LIMPEZA DE LÂMINAS

P/ remover metais sobre Si

Convertê-los em íons solúveis nas soluções de limpeza

Processo de oxidação dos metais

•
•
•

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: H_2O_2 na LIMPEZA DE LÂMINAS

P/ remover metais sobre Si

Convertê-los em íons solúveis nas soluções de limpeza

Processo de oxidação dos metais

Definição:

•oxidação → remove e^- dos átomos → Reação vai p/ direita;



•
•
•

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: H_2O_2 na LIMPEZA DE LÂMINAS

P/ remover metais sobre Si

Convertê-los em íons solúveis nas soluções de limpeza

Processo de oxidação dos metais

Definição:

- oxidação → remove e^- dos átomos → Reação vai p/ direita;
- redução → adiciona e^- aos átomos → Reação vai p/ esquerda;



•
•
•

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: H_2O_2 na LIMPEZA DE LÂMINAS

P/ remover metais sobre Si

Convertê-los em íons solúveis nas soluções de limpeza

Processo de oxidação dos metais

Definição:

- oxidação → remove e^- dos átomos → Reação vai p/ direita;
- redução → adiciona e^- aos átomos → Reação vai p/ esquerda;

Redutores
lado
esquerdo



1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: H_2O_2 na LIMPEZA DE LÂMINAS

P/ remover metais sobre Si

Convertê-los em íons solúveis nas soluções de limpeza

Processo de oxidação dos metais

Definição:

- oxidação → remove e^- dos átomos → Reação vai p/ direita;
- redução → adiciona e^- aos átomos → Reação vai p/ esquerda;



1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: H_2O_2 na LIMPEZA DE LÂMINAS

P/ remover metais sobre Si

Convertê-los em íons solúveis nas soluções de limpeza

Processo de oxidação dos metais

Definição:

- oxidação → remove e^- dos átomos → Reação vai p/ direita;
- redução → adiciona e^- aos átomos → Reação vai p/ esquerda;

Redutores
lado
esquerdo



Oxidantes
lado
direito

Se há elétrons disponíveis na solução, o oxidante mais forte irá consumi-los

Prevalece a equação com oxidantes mais fortes, ou seja, com menor potencial de oxidação.

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: H_2O_2 na LIMPEZA DE LÂMINAS

Solução aquosa contendo uma lâmina de Si e átomos de Fe:

Oxidant/ Reductant	Standard Oxidation Potential (volts)	Oxidation-Reduction Reaction
SiO_2/Si	0.84	$Si + 2H_2O \leftrightarrow SiO_2 + 4H^+ + 4e^-$
Fe^{3+}/Fe	0.17	$Fe \leftrightarrow Fe^{3+} + 3e^-$

Se há elétrons disponíveis na solução, o oxidante mais forte irá consumi-los

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: H₂O₂ na LIMPEZA DE LÂMINAS

Solução aquosa contendo uma lâmina de Si e átomos de Fe:

Oxidant/ Reductant	Standard Oxidation Potential (volts)	Oxidation-Reduction Reaction
SiO ₂ /Si	0.84	Si + 2H ₂ O ↔ SiO ₂ + 4H ⁺ + 4e ⁻
Fe ³⁺ /Fe	0.17	Fe ↔ Fe ³⁺ + 3e ⁻

Se há elétrons disponíveis na solução, o oxidante mais forte irá consumi-los
Prevalece a equação com oxidantes mais fortes, ou seja,
com menor potencial de oxidação.

∴ reação Fe³⁺/Fe prevalece

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: H₂O₂ na LIMPEZA DE LÂMINAS

Solução aquosa contendo uma lâmina de Si e átomos de Fe:

Oxidant/ Reductant	Standard Oxidation Potential (volts)	Oxidation-Reduction Reaction
SiO ₂ /Si	0.84	Si + 2H ₂ O ↔ SiO ₂ + 4H ⁺ + 4e ⁻
Fe ³⁺ /Fe	0.17	Fe ↔ Fe ³⁺ + 3e ⁻

Se há elétrons disponíveis na solução, o oxidante mais forte irá consumi-los

Prevalece a equação com oxidantes mais fortes, ou seja, com menor potencial de oxidação.

∴ reação Fe³⁺/Fe prevalece  Reação vai p/ direita

Deposita Fe sobre a lâmina de Si, que sofre oxidação 

A outra equação vai p/ esquerda 

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: H_2O_2 na LIMPEZA DE LÂMINAS

Adicionando H_2O_2 na Solução aquosa contendo uma lâmina de Si e átomos de Fe:

Oxidant/ Reductant	Standard Oxidation Potential (volts)	Oxidation-Reduction Reaction
SiO_2/Si	0.84	$Si + 2H_2O \leftrightarrow SiO_2 + 4H^+ + 4e^-$
Fe^{3+}/Fe	0.17	$Fe \leftrightarrow Fe^{3+} + 3e^-$
H_2O_2/H_2O	-1.77	$2H_2O \leftrightarrow H_2O_2 + 2H^+ + 2e^-$

Se há elétrons disponíveis na solução, o oxidante mais forte irá consumi-los

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: H_2O_2 na LIMPEZA DE LÂMINAS

Adicionando H_2O_2 na Solução aquosa contendo uma lâmina de Si e átomos de Fe:

Oxidant/ Reductant	Standard Oxidation Potential (volts)	Oxidation-Reduction Reaction
SiO_2/Si	0.84	$\text{Si} + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{SiO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
Fe^{3+}/Fe	0.17	$\text{Fe} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^-$
$\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$	-1.77	$2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

Se há elétrons disponíveis na solução, o oxidante mais forte irá consumi-los

Prevalece a equação com oxidantes mais fortes, ou seja, com menor potencial de oxidação.

\therefore reação $\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ prevalece

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: H_2O_2 na LIMPEZA DE LÂMINAS

Adicionando H_2O_2 na Solução aquosa contendo uma lâmina de Si e átomos de Fe:

Oxidant/ Reductant	Standard Oxidation Potential (volts)	Oxidation-Reduction Reaction
SiO_2/Si	0.84	$Si + 2H_2O \leftrightarrow SiO_2 + 4H^+ + 4e^-$
Fe^{3+}/Fe	0.17	$Fe \leftrightarrow Fe^{3+} + 3e^-$
H_2O_2/H_2O	-1.77	$2H_2O \leftrightarrow H_2O_2 + 2H^+ + 2e^-$

Se há elétrons disponíveis na solução, o oxidante mais forte irá consumi-los

Prevalece a equação com oxidantes mais fortes, ou seja, com menor potencial de oxidação.

\therefore reação H_2O_2/H_2O prevalece \implies Reação vai p/ direita

Cria-se íons solúveis de Fe na solução e o Si oxida \longleftarrow $\begin{matrix} \uparrow \\ \downarrow \end{matrix}$ As outras equações vão p/ esquerda

Base da limpeza RCA

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: H_2O_2 na LIMPEZA DE LÂMINAS

Adicionando H_2O_2 na Solução aquosa contendo uma lâmina de Si e átomos de Fe:

Oxidant/ Reductant	Standard Oxidation Potential (volts)	Oxidation-Reduction Reaction
SiO_2/Si	0.84	$Si + 2H_2O \leftrightarrow SiO_2 + 4H^+ + 4e^-$
Fe^{3+}/Fe	0.17	$Fe \leftrightarrow Fe^{3+} + 3e^-$
H_2O_2/H_2O	-1.77	$2H_2O \leftrightarrow H_2O_2 + 2H^+ + 2e^-$

Se há elétrons disponíveis na solução, o oxidante mais forte irá consumi-los

Prevalece a equação com oxidantes mais fortes, ou seja, com menor potencial de oxidação.

\therefore reação H_2O_2/H_2O prevalece \implies Reação vai p/ direita

Cria-se íons solúveis de Fe na solução e o Si oxida



As outras equações vão p/ esquerda

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: H₂O₂ na LIMPEZA DE LÂMINAS

Eq.s de
Oxi-redução

dominante

Table 4-3 Oxidation-reduction reactions for a number of species of interest in silicon wafer cleaning

Oxidant/ Reductant	Standard Oxidation Potential (volts)	Oxidation-Reduction Reaction
Mn ²⁺ /Mn	1.05	Mn ↔ Mn ²⁺ + 2e ⁻
SiO ₂ /Si	0.84	Si + 2H ₂ O ↔ SiO ₂ + 4H ⁺ + 4e ⁻
Cr ³⁺ /Cr	0.71	Cr ↔ Cr ³⁺ + 3e ⁻
Ni ²⁺ /Ni	0.25	Ni ↔ Ni ²⁺ + 2e ⁻
Fe ³⁺ /Fe	0.17	Fe ↔ Fe ³⁺ + 3e ⁻
H ₂ SO ₄ /H ₂ SO ₃	-0.20	H ₂ O + H ₂ SO ₃ ↔ H ₂ SO ₄ + 2H ⁺ + 2e ⁻
Cu ²⁺ /Cu	-0.34	Cu ↔ Cu ²⁺ + 2e ⁻
O ₂ /H ₂ O	-1.23	2H ₂ O ↔ O ₂ + 4H ⁺ + 2e ⁻
Au ³⁺ /Au	-1.42	Au ↔ Au ³⁺ + 3e ⁻
H ₂ O ₂ /H ₂ O	-1.77	2H ₂ O ↔ H ₂ O ₂ + 2H ⁺ + 2e ⁻
O ₃ /O ₂	-2.07	O ₂ + H ₂ O ↔ O ₃ + 2H ⁺ + 2e ⁻

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: H₂O₂ na LIMPEZA DE LÂMINAS

Eq.s de Oxi-redução

dominante

Table 4-3 Oxidation-reduction reactions for a number of species of interest in silicon wafer cleaning

Oxidant/Reductant	Standard Oxidation Potential (volts)	Oxidation-Reduction Reaction
Mn ²⁺ /Mn	1.05	Mn ↔ Mn ²⁺ + 2e ⁻
SiO ₂ /Si	0.84	Si + 2H ₂ O ↔ SiO ₂ + 4H ⁺ + 4e ⁻
Cr ³⁺ /Cr	0.71	Cr ↔ Cr ³⁺ + 3e ⁻
Ni ²⁺ /Ni	0.25	Ni ↔ Ni ²⁺ + 2e ⁻
Fe ³⁺ /Fe	0.17	Fe ↔ Fe ³⁺ + 3e ⁻
H ₂ SO ₄ /H ₂ SO ₃	-0.20	H ₂ O + H ₂ SO ₃ ↔ H ₂ SO ₄ + 2H ⁺ + 2e ⁻
Cu ²⁺ /Cu	-0.34	Cu ↔ Cu ²⁺ + 2e ⁻
O ₂ /H ₂ O	-1.23	2H ₂ O ↔ O ₂ + 4H ⁺ + 2e ⁻
Au ³⁺ /Au	-1.42	Au ↔ Au ³⁺ + 3e ⁻
H ₂ O ₂ /H ₂ O	-1.77	2H ₂ O ↔ H ₂ O ₂ + 2H ⁺ + 2e ⁻
O ₃ /O ₂	-2.07	O ₂ + H ₂ O ↔ O ₃ + 2H ⁺ + 2e ⁻

As soluções Piranha (H₂SO₄) e as SC-1 (amoniaco) e SC-2 (HCl) do método RCA dependem do potencial de oxidação da H₂O₂ p/ remoção de orgânicos e de metais

•
•
•
1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES:

H₂O D.I. na LIMPEZA DE LÂMINAS

ÁGUA FILTRADA E DEIONIZADA  **H₂O D.I.**

RESISTIVIDADE $\rho \Rightarrow$ NÃO É INFINITA



EM EQUILÍBRIO E
T AMBIENTE

•
•
•

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES:

H₂O D.I. na LIMPEZA DE LÂMINAS

ÁGUA FILTRADA E DEIONIZADA  **H₂O D.I.**

RESISTIVIDADE $\rho \Rightarrow$ NÃO É INFINITA



EM EQUILÍBRIO E
T AMBIENTE

$$[H^+] \approx [OH^-] \approx 6 \times 10^{-8} \text{ cm}^{-3}$$

difusividade de H⁺ → D ≈ 9.3 × 10⁻⁵ cm² .s⁻¹

difusividade de OH⁻ → D ≈ 5.3 × 10⁻⁵ cm² .s⁻¹

• • • • • • • • • •

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES:

H₂O D.I. na LIMPEZA DE LÂMINAS

ÁGUA FILTRADA E DEIONIZADA  **H₂O D.I.**

RESISTIVIDADE $\rho \Rightarrow$ NÃO É INFINITA



EM EQUILÍBRIO E
T AMBIENTE

$$[H^+] \approx [OH^-] \approx 6 \times 10^{-8} \text{ cm}^{-3}$$

difusividade de H⁺ → D ≈ 9.3 × 10⁻⁵ cm² .s⁻¹

difusividade de OH⁻ → D ≈ 5.3 × 10⁻⁵ cm² .s⁻¹

$$\mu = \frac{zqD}{kT} \Rightarrow \text{Nerst - Einstein}$$

MOBILIDADE DO
ÍON NA SOLUÇÃO

•
•
•

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: H₂O D.I. na LIMPEZA DE LÂMINAS

ÁGUA FILTRADA E DEIONIZADA  **H₂O D.I.**

RESISTIVIDADE $\rho \Rightarrow$ NÃO É INFINITA



EM EQUILÍBRIO E
T AMBIENTE

$$\mu_H = \frac{qD}{kT} = \frac{9.3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}}{25.9 \times 10^{-3} \text{ V}} = 3.59 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES:
H₂O D.I. na LIMPEZA DE LÂMINAS

ÁGUA FILTRADA E DEIONIZADA  H₂O D.I.

RESISTIVIDADE $\rho \Rightarrow$ NÃO É INFINITA



EM EQUILÍBRIO E
T AMBIENTE

$$\mu_H = \frac{qD}{kT} = \frac{9.3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}}{25.9 \times 10^{-3} \text{ V}} = 3.59 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$\mu_{OH} = \frac{qD}{kT} = \frac{5.3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}}{25.9 \times 10^{-3} \text{ V}} = 2.04 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES:
H₂O D.I. na LIMPEZA DE LÂMINAS

ÁGUA FILTRADA E DEIONIZADA  H₂O D.I.

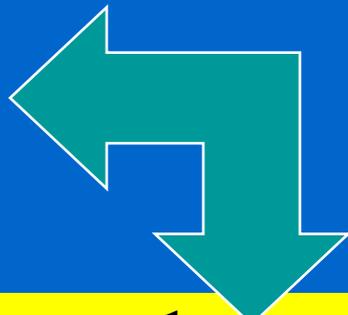
RESISTIVIDADE $\rho \Rightarrow$ NÃO É INFINITA



EM EQUILÍBRIO E
T AMBIENTE

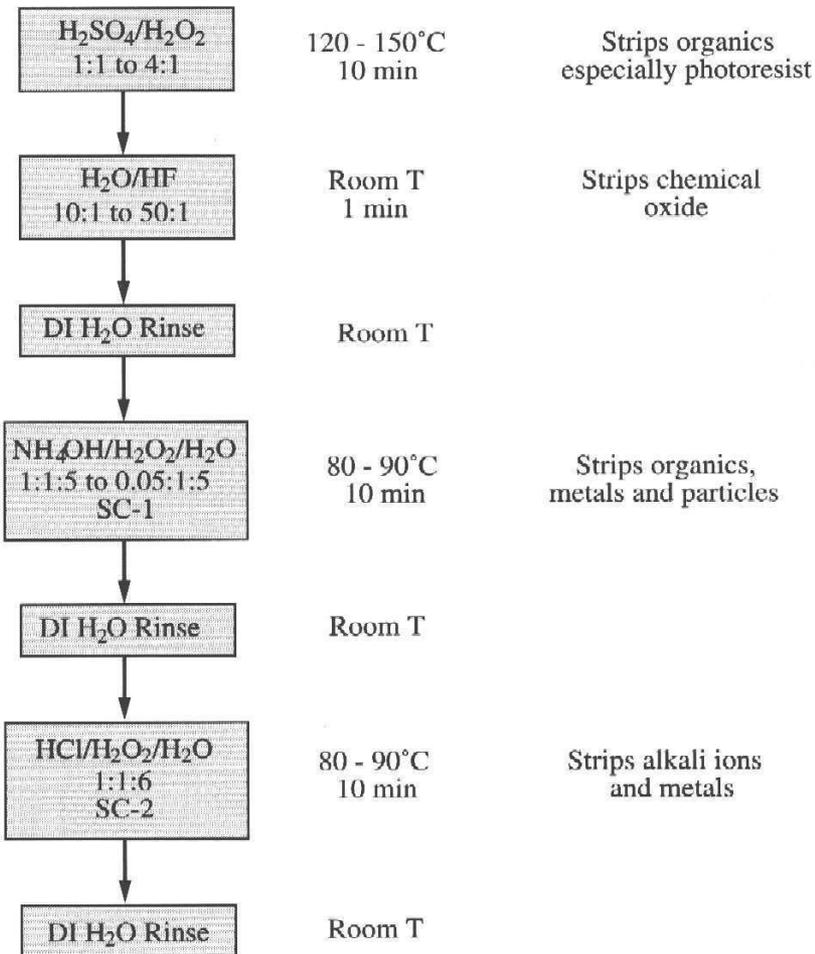
$$\mu_H = \frac{qD}{kT} = \frac{9.3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}}{25.9 \times 10^{-3} \text{ V}} = 3.59 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$\mu_{OH} = \frac{qD}{kT} = \frac{5.3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}}{25.9 \times 10^{-3} \text{ V}} = 2.04 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$


$$\rho = \frac{1}{q[\mu_H + \mu_{OH}]} \cong 18 \text{ M}\Omega$$

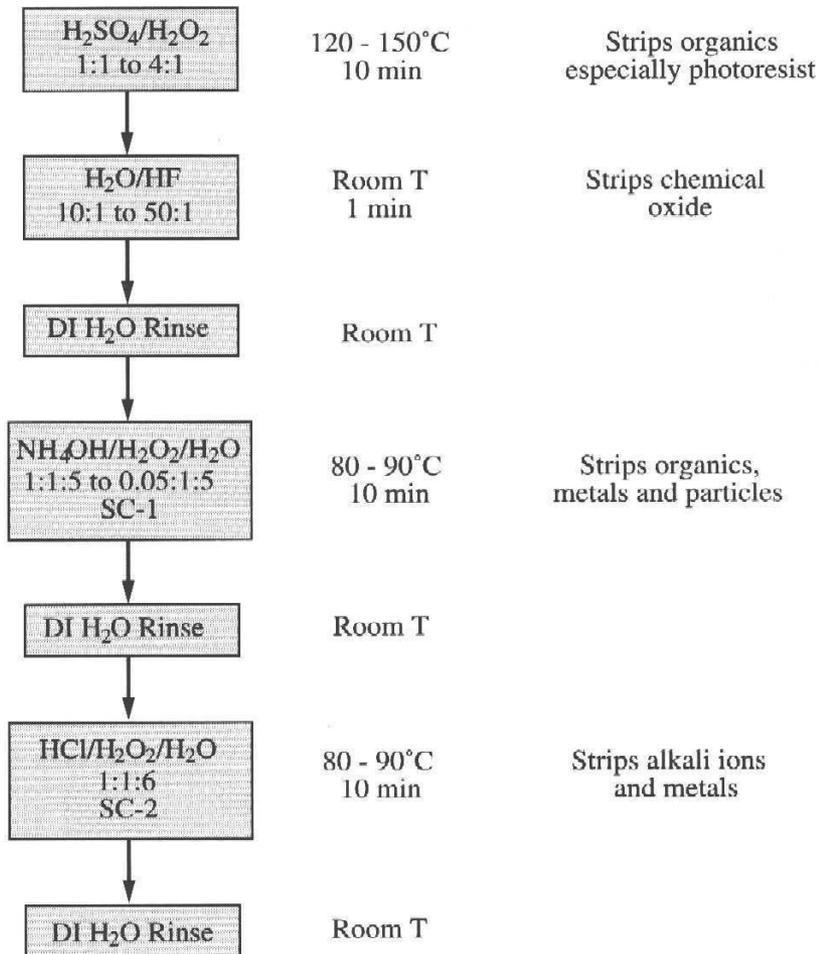
1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA COMPLETA

**Importante:
limpeza
efetiva da
lâmina de Si**



1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA COMPLETA

**Importante:
limpeza
efetiva da
lâmina de Si**

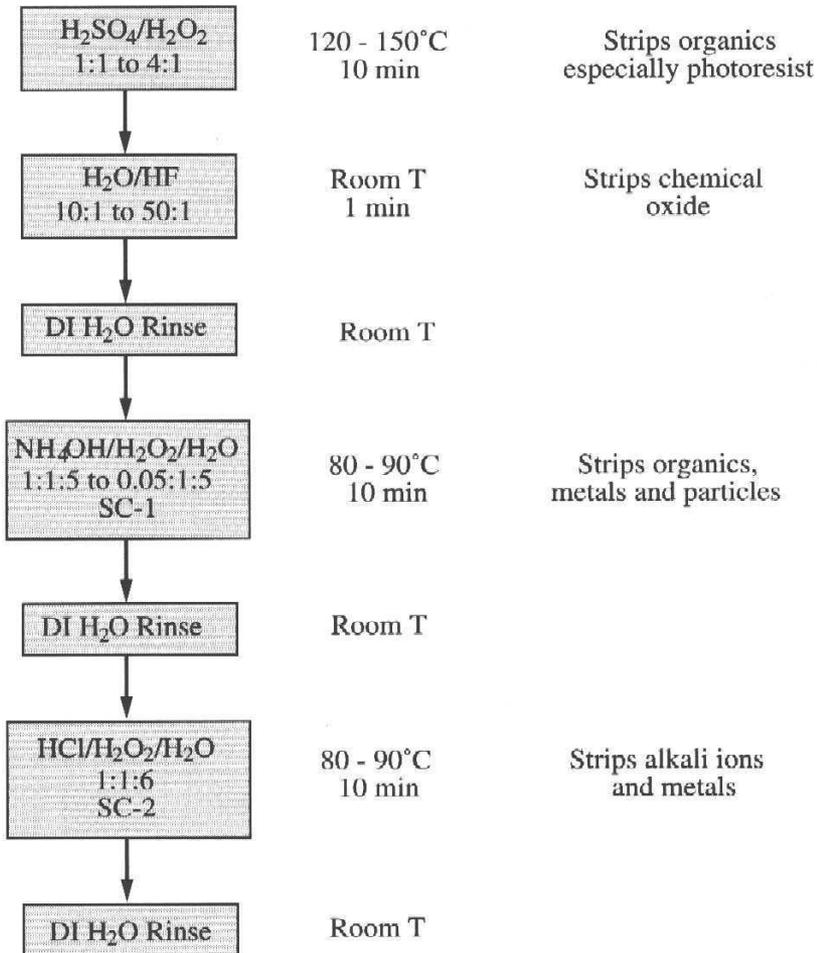


Graus de pureza dos produtos químicos:

- PA
- GE
- CMOS

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA COMPLETA

**Importante:
limpeza
efetiva da
lâmina de Si**



Graus de pureza dos produtos químicos:

•PA

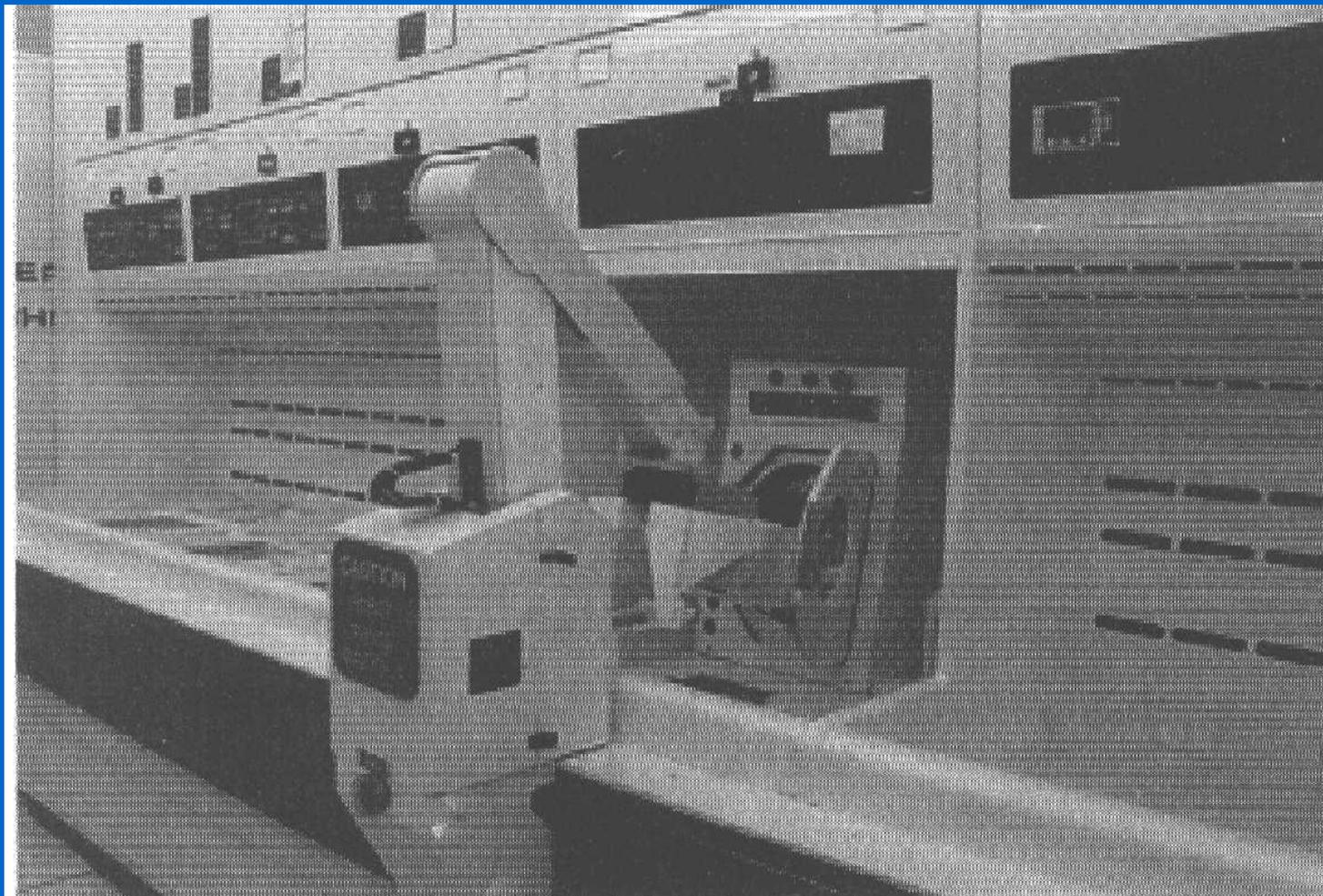
•GE

•CMOS



**Usado na
fabricação de
dispositivos**

1.2. LIMPEZA - Nível 2 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: LIMPEZA DE LÂMINAS



1.3. LIMPEZA - Nível 3 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: *GETTERING*

Remoção de resíduos:

- Fe, Cu, Au, etc;
- Na⁺, K⁺, etc;
- oxigênio no substrato de Si (método CZ).

Periodic table showing elements and their atomic weights. Key features include:

- Alkali Ions:** Group I^A (H, Li, Na, K, Rb, Cs, Fr).
- Deep Level Impurities in Silicon:** Groups III^A (B, Al, Ga, In, Tl), IV^A (C, Si, Ge, Sn, Pb), V^A (N, P, As, Sb, Bi), VI^A (O, S, Se, Te, Po), and VII^A (F, Cl, Br, I, At).
- Shallow Acceptors:** Groups I^B (Cu, Ag, Au) and II^B (Zn, Cd, Hg).
- Noble Gases:** Group 0 (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn).
- Other groups:** II^A (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra), III^B (Sc, Y, La, Ac), IV^B (Ti, Zr, Hf, Rf), V^B (V, Nb, Ta, Db), VI^B (Cr, Mo, W, Sg), VII^B (Mn, Tc, Re, Bh), VIII (Fe, Co, Ni, Rh, Pd, Ag, Au, Hg, Pt, Ir, Os, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr), and Unlabeled (Unq, Unp, Unh, Uns).

1.3. LIMPEZA - Nível 3 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: *GETTERING*

Remoção de resíduos:

- Fe, Cu, Au, etc;
- Na⁺, K⁺, etc;
- oxigênio no substrato de Si (método CZ).

Period	I ^A	Alkali Ions										III ^A	IV ^A	V ^A	VI ^A	VII ^A	Noble Gases	
1	1 H 1.008																2 He 4.003	
2	3 Li 6.941	4 Be 9.012	Deep Level Impurities in Silicon										5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
3	11 Na 22.99	12 Mg 24.31	III ^B	IV ^B	V ^B	VI ^B	VII ^B	VIII			I ^B	II ^B	13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.06	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
4	19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 51.99	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
5	37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc 98	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
6	55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La 138.9	72 Hf 178.5	73 Ta 180.8	74 W 183.9	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po 209	85 At 210	86 Rn 222
7	87 Fr 223	88 Ra 226	89 Ac 227.0	104 Unq 261	105 Unp 262	106 Unh 263	107 Uns 262											

Shallow Acceptors
 Elemental Semiconductors
 Shallow Donors

Resíduos

Capturados por defeitos mecânicos ou por armadilhas químicas

1.3. LIMPEZA - Nível 3 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: *GETTERING*

Remoção de resíduos:

- Fe, Cu, Au, etc;
- Na⁺, K⁺, etc;
- oxigênio no substrato de Si (método CZ).

Period	I ^A	II ^A	Alkali Ions										III ^A	IV ^A	V ^A	VI ^A	VII ^A	Noble Gases
1	1 H 1.008																	2 He 4.003
2	3 Li 6.941	4 Be 9.012	Deep Level Impurities in Silicon										5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
3	11 Na 22.99	12 Mg 24.31	III ^B	IV ^B	V ^B	VI ^B	VII ^B	VIII			I ^B	II ^B	13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.06	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
4	19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 51.99	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
5	37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc 98	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
6	55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La 138.9	72 Hf 178.5	73 Ta 180.8	74 W 183.9	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po 209	85 At 210	86 Rn 222
7	87 Fr 223	88 Ra 226	89 Ac 227.0	104 Unq 261	105 Unp 262	106 Unh 263	107 Uns 262											

Resíduos ⇒ difusividade ↑ ⇒ podem criar níveis de impurezas no Si

Capturados por defeitos mecânicos ou por armadilhas químicas
CENTROS DE RECOMBINAÇÃO

1.3. LIMPEZA - Nível 3 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: *GETTERING* dos metais

- PSG (fosforosilicato):

barra Na^+ e K^+



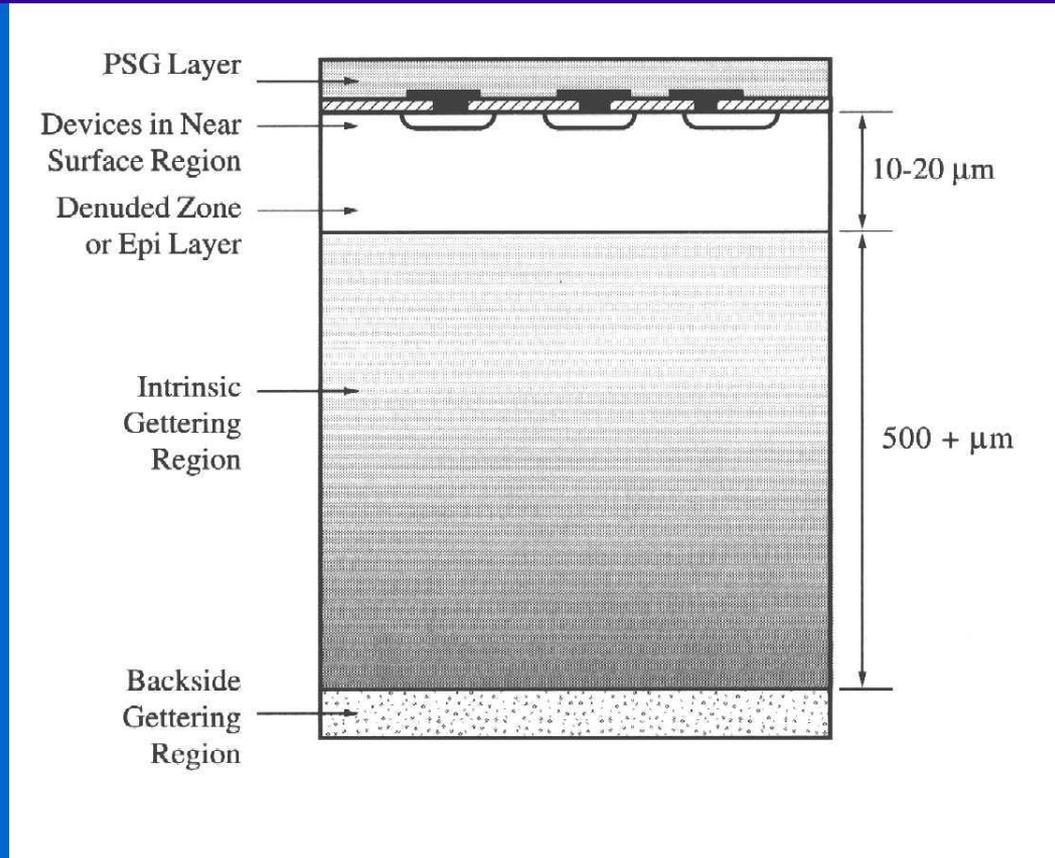
Problemas:

- pode dopar superfície do Si

- pode absorver água
- corrosão do Al



Substituir por SiN_x



1.3. LIMPEZA - Nível 3 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: *GETTERING* dos metais

•PSG (fosforosilicato):

barra Na^+ e K^+



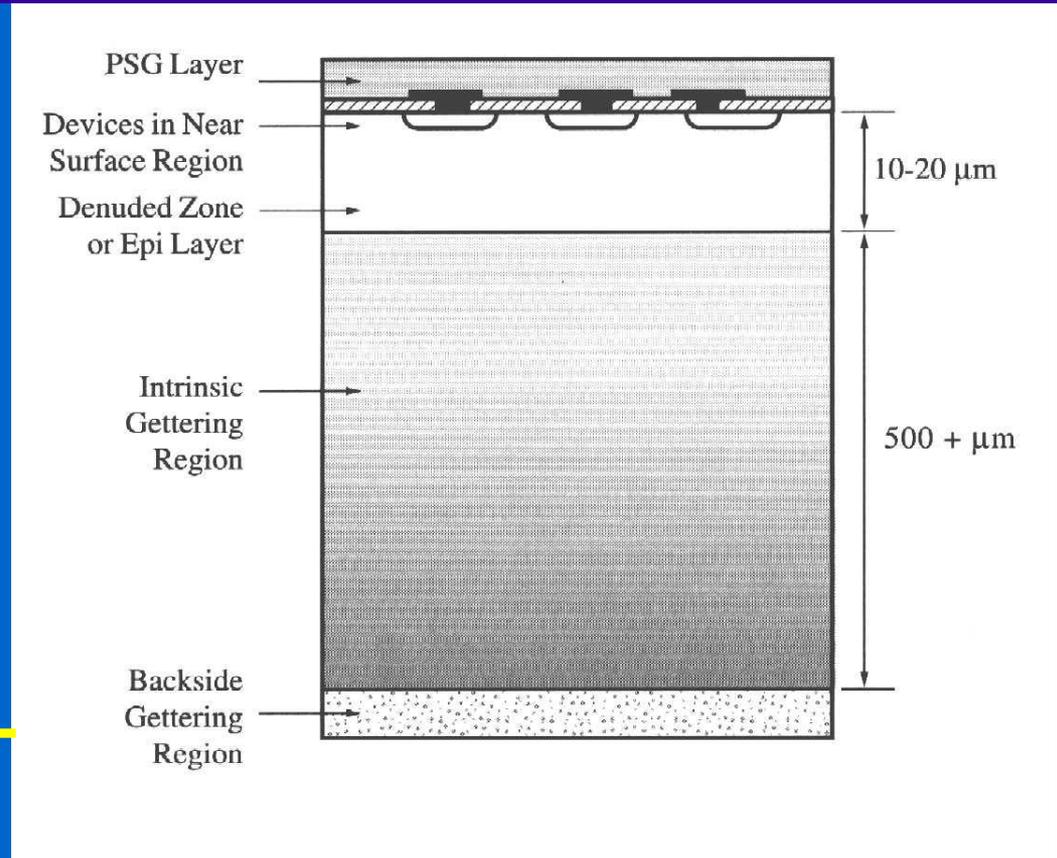
Problemas:

•pode dopar superfície do Si

•pode absorver água
- corrosão do Al



Substituir por SiN_x



Lembrete:

Na^+ e K^+



Q_m



- LIMPEZA DOS TUBOS COM Cl
- OXIDAÇÃO COM Cl
- LIMPEZA DE LÂMINAS

1.3. LIMPEZA - Nível 3 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: *GETTERING* dos metais

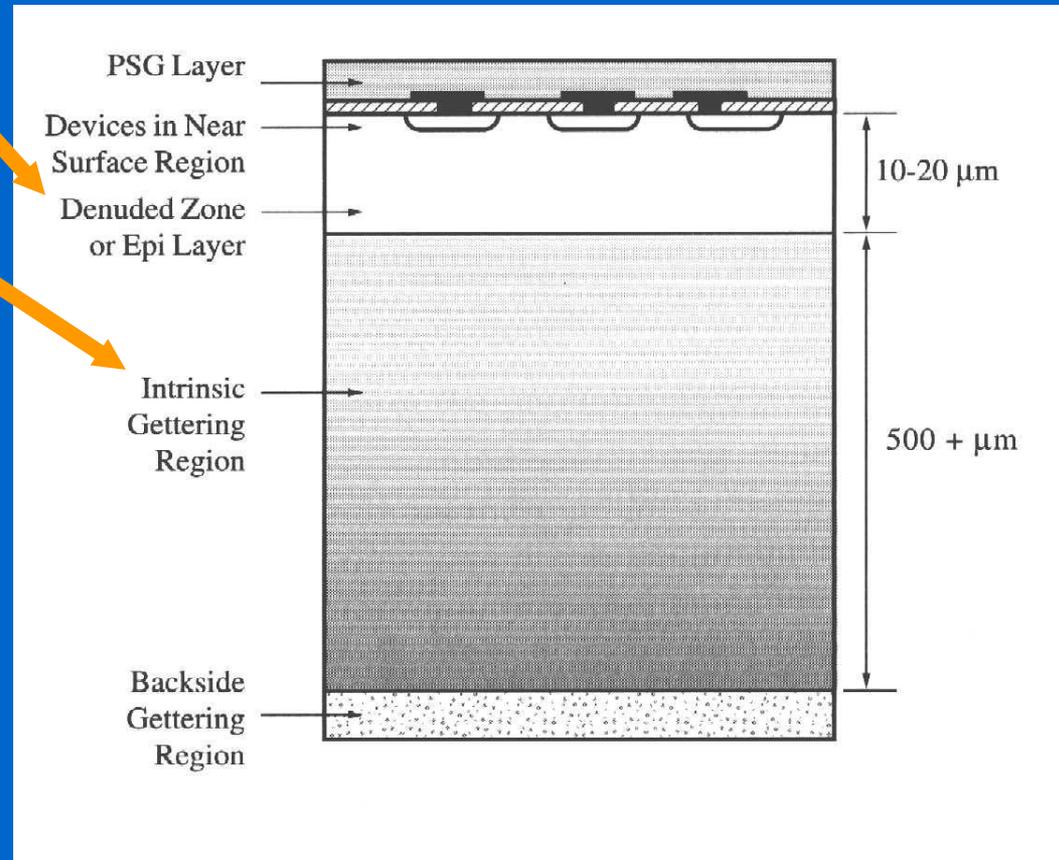
Região sem defeitos:

Epi layer

Gettering intrínseco

Propriedade do lâminas Si CZ:

• contém oxigênio;



1.3. LIMPEZA - Nível 3 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: *GETTERING* dos metais

Região sem defeitos:

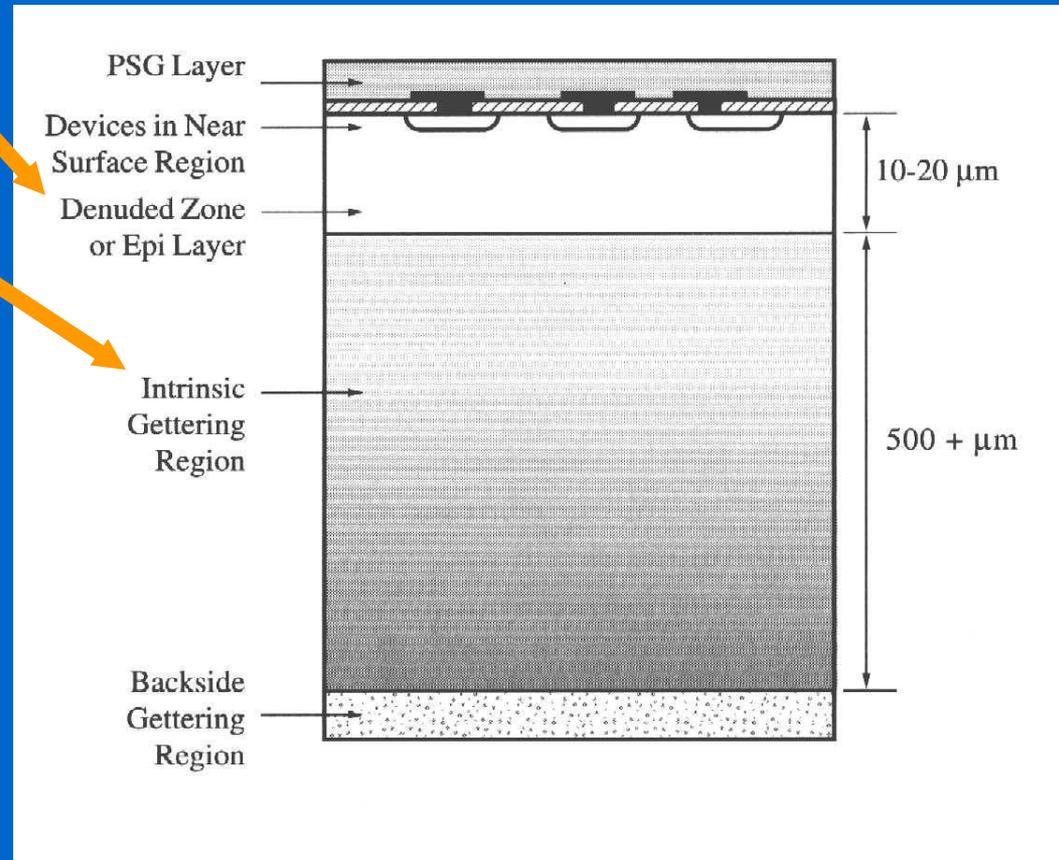
Epi layer

Gettering intrínseco

Propriedade do lâminas Si CZ:

- contém oxigênio;

- O pode formar precipitados e criar *traps* para os átomos dos metais dentro do substrato de Si;
- metais c/ difusividade ↑



1.3. LIMPEZA - Nível 3 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: *GETTERING* dos metais

Gettering intrínseco

Propriedade do lâminas Si CZ:

- contém oxigênio;
- O pode formar precipitados e criar *traps* para os átomos dos metais dentro do substrato de Si;
- metais c/ difusividade ↑



Difundem no Si como interstícios

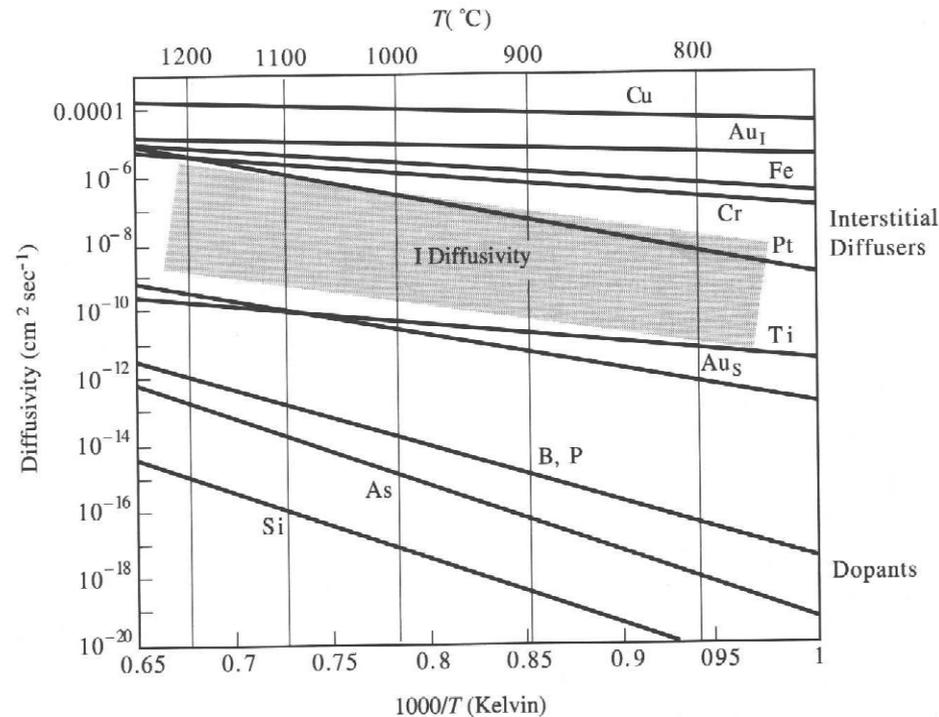
Au, Cu e Fe podem atravessar o substrato durante a fabricação do dispositivo



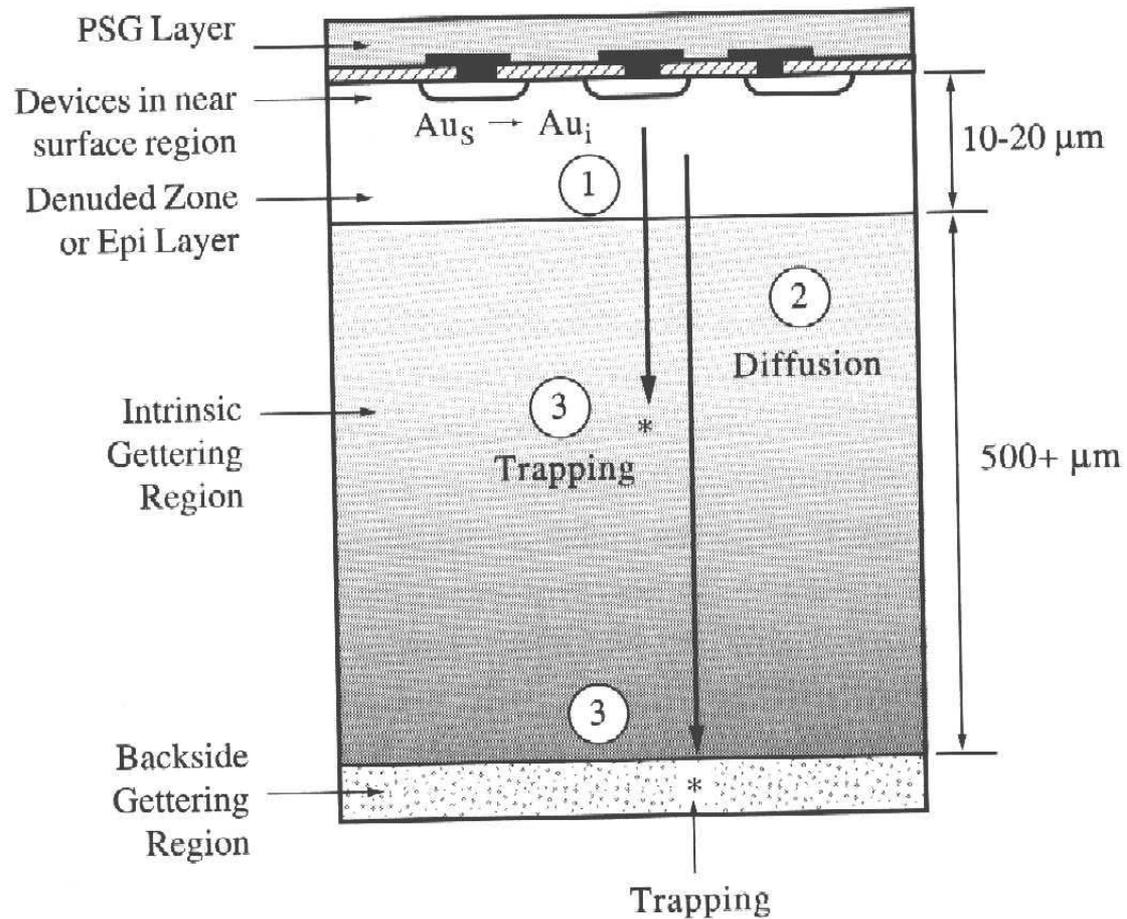
Bom pois não fica na região ativa



Ruim pois a contaminação pode causar problemas secundários



1.3. LIMPEZA - Nível 3 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: *GETTERING* dos metais



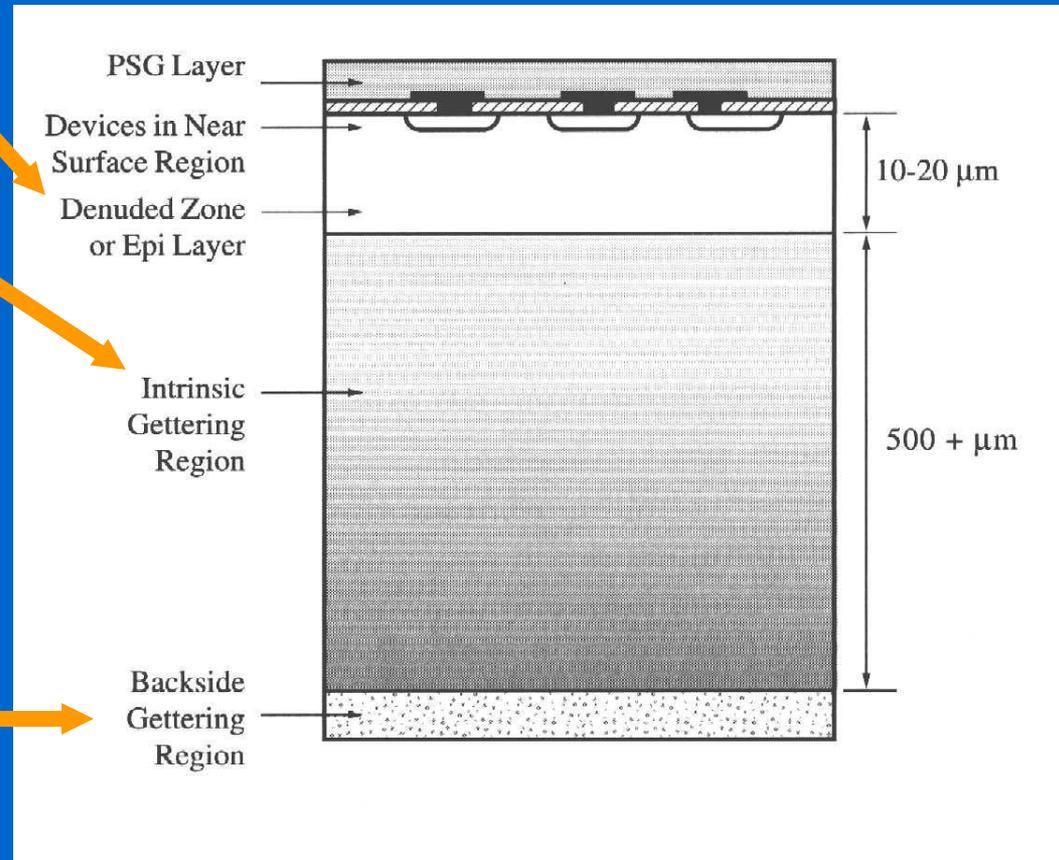
1.3. LIMPEZA - Nível 3 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: *GETTERING* dos metais

Região sem defeitos:

Epi layer

Gettering intrínseco

Gettering extrínseco



Camada depositada (normalmente Si-poli) sobre as costas das lâminas

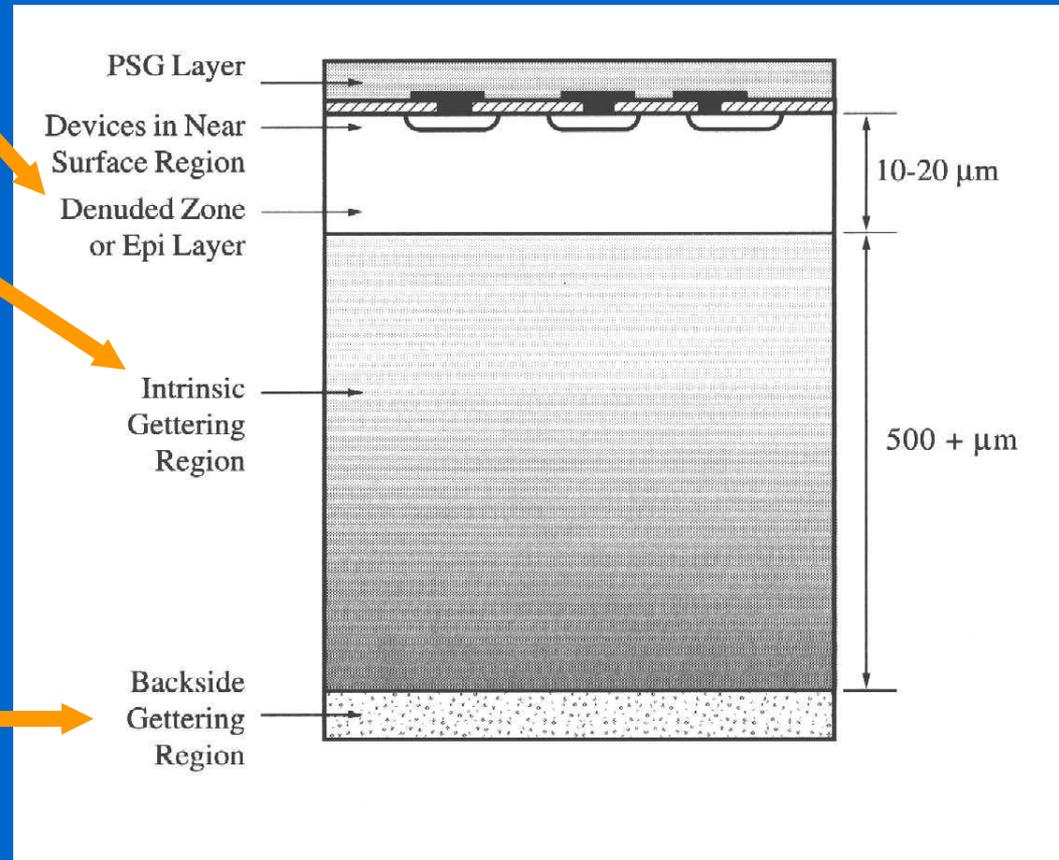
1.3. LIMPEZA - Nível 3 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: *GETTERING* dos metais

Região sem defeitos:

Epi layer

Gettering intrínseco

Gettering extrínseco



Camada depositada (normalmente Si-poli) sobre as costas das lâminas

→ Densidade de defeitos (*traps*) ↑ → Captura metais

1.3. LIMPEZA - Nível 3 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: *GETTERING* do oxigênio

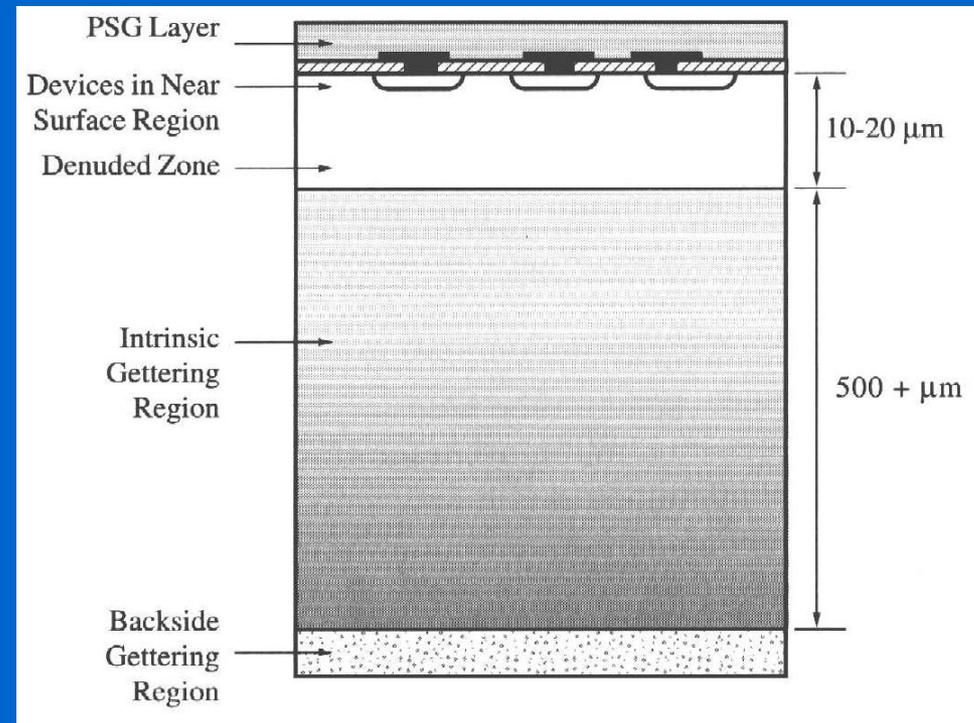
Propriedade do lâminas Si CZ:

- contém oxigênio;

- O pode formar precipitados e criar *traps* (*deslocações*) na rede cristalina do substrato de Si;



Gettering intrínseco do O



1.3. LIMPEZA - Nível 3 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: *GETTERING* do oxigênio

Propriedade do lâminas Si CZ:

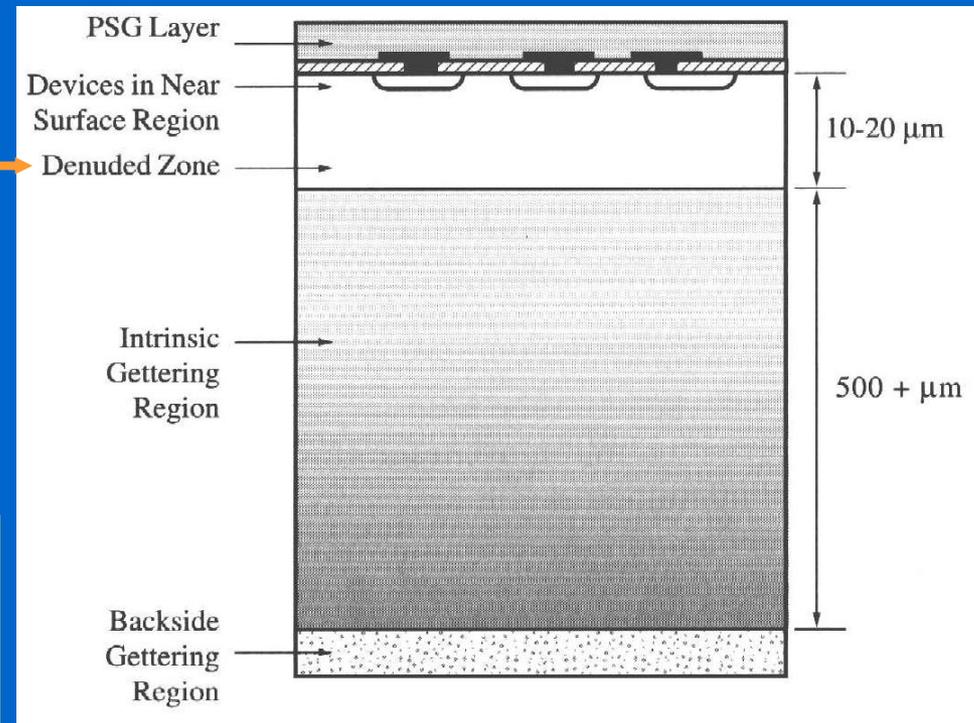
- contém oxigênio;

- O pode formar precipitados e criar *traps* (*deslocações*) na rede cristalina do substrato de Si;



Gettering intrínseco do O

Libertar o O da rede, deixar sem O uma camada de 20 μm de profundidade próxima da superfície do substrato



1.3. LIMPEZA - Nível 3 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: *GETTERING* do oxigênio

Propriedade do lâminas Si CZ:

- contém oxigênio;

- O pode formar precipitados e criar *traps* (*deslocações*) na rede cristalina do substrato de Si;

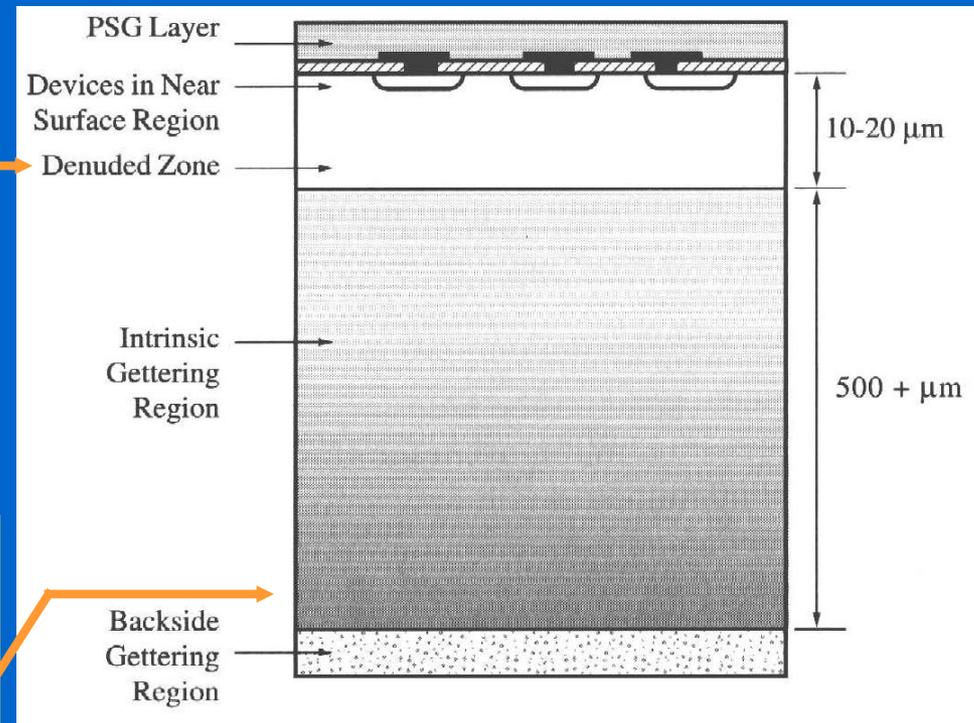


Gettering intrínseco do O

Libertar o O da rede, deixar sem O uma camada de 20 μm de profundidade próxima da superfície do substrato



Formar os precipitados de SiO₂



1.3. LIMPEZA - Nível 3 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: *GETTERING* do oxigênio

Propriedade do lâminas Si CZ:

- contém oxigênio;

- O pode formar precipitados e criar *traps* (*deslocações*) na rede cristalina do substrato de Si;



Gettering intrínseco do O

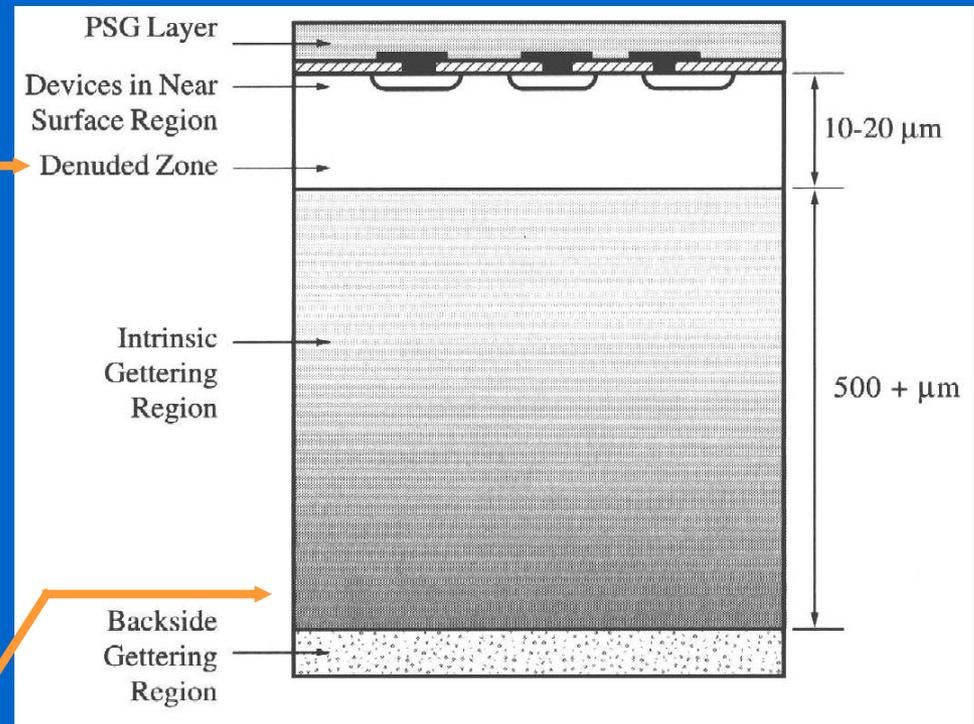
Libertar o O da rede, deixar sem O uma camada de 20 μm de profundidade próxima da superfície do substrato



Formar os precipitados de SiO₂



Ciclo térmico: difusão, nucleação e precipitação



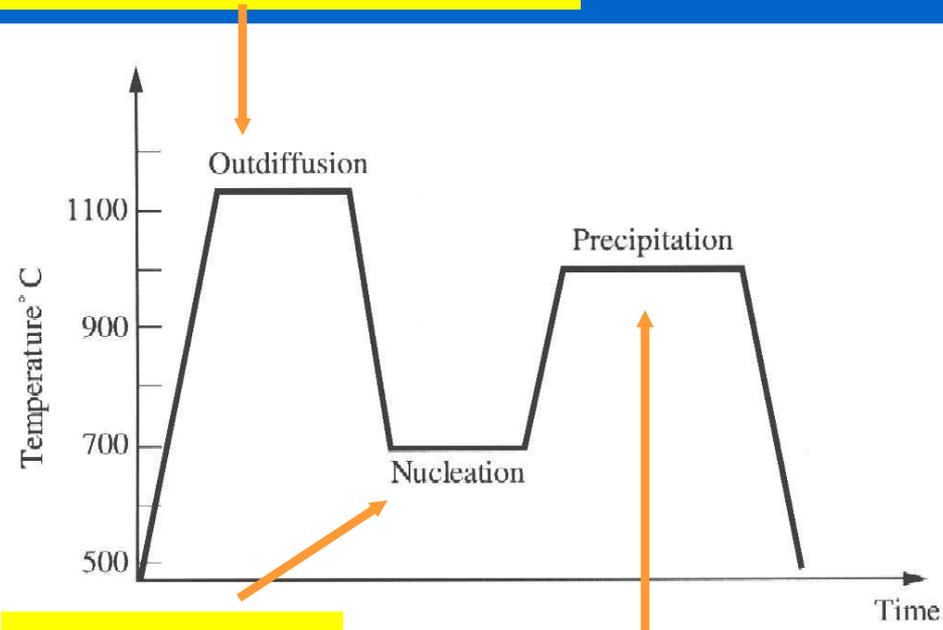
1.3. LIMPEZA - Nível 3 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: *GETTERING* do oxigênio

Libertar o O da rede, deixa sem O uma camada de 25 μ m próxima da superfície do substrato

Gettering intrínseco do O



Ciclo térmico:
difusão, nucleação e precipitação



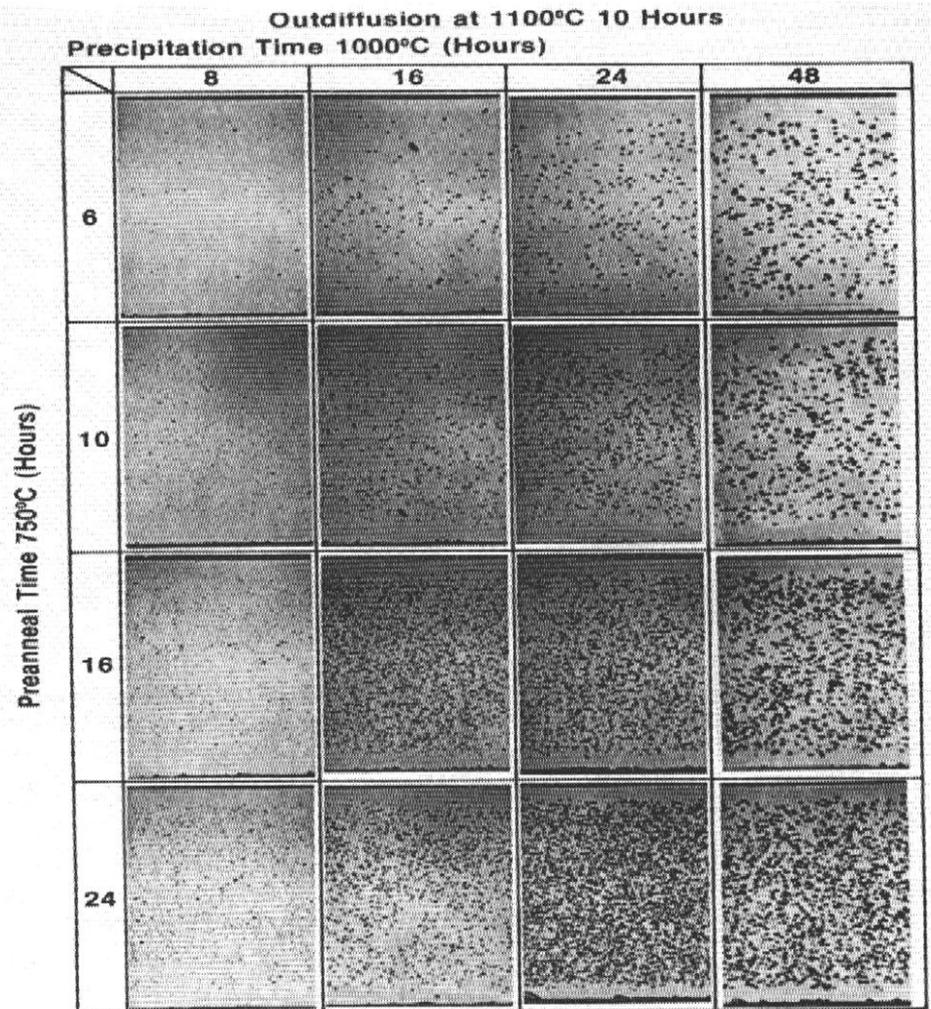
Aglutina os Os

Forma os precipitados de SiO₂

1.3. LIMPEZA - Nível 3 - REDUÇÃO DE CONTAMINANTES: *GETTERING* do oxigênio

Análise S.E.M.

GETTERING do oxigênio

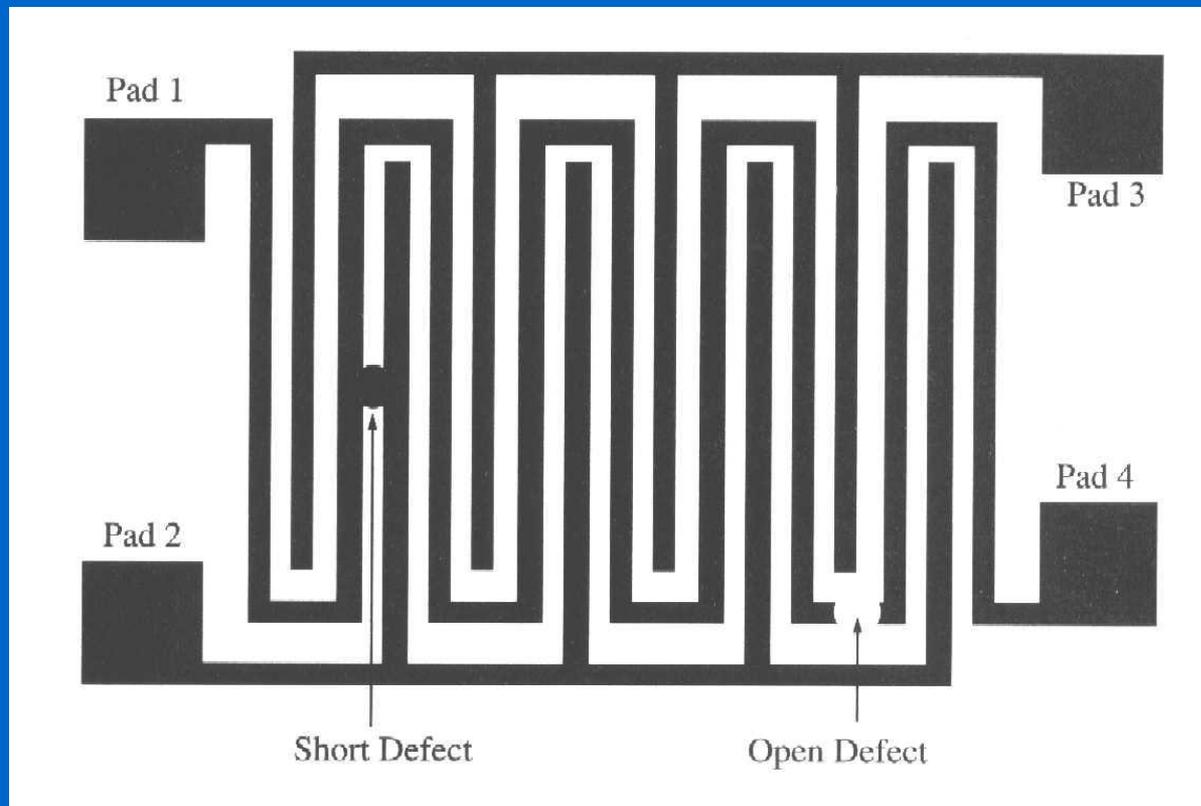


2. LIMPEZA - ANÁLISE DE DEFEITOS OU CONTAMINAÇÕES

ESTRUTURAS DE
TESTE

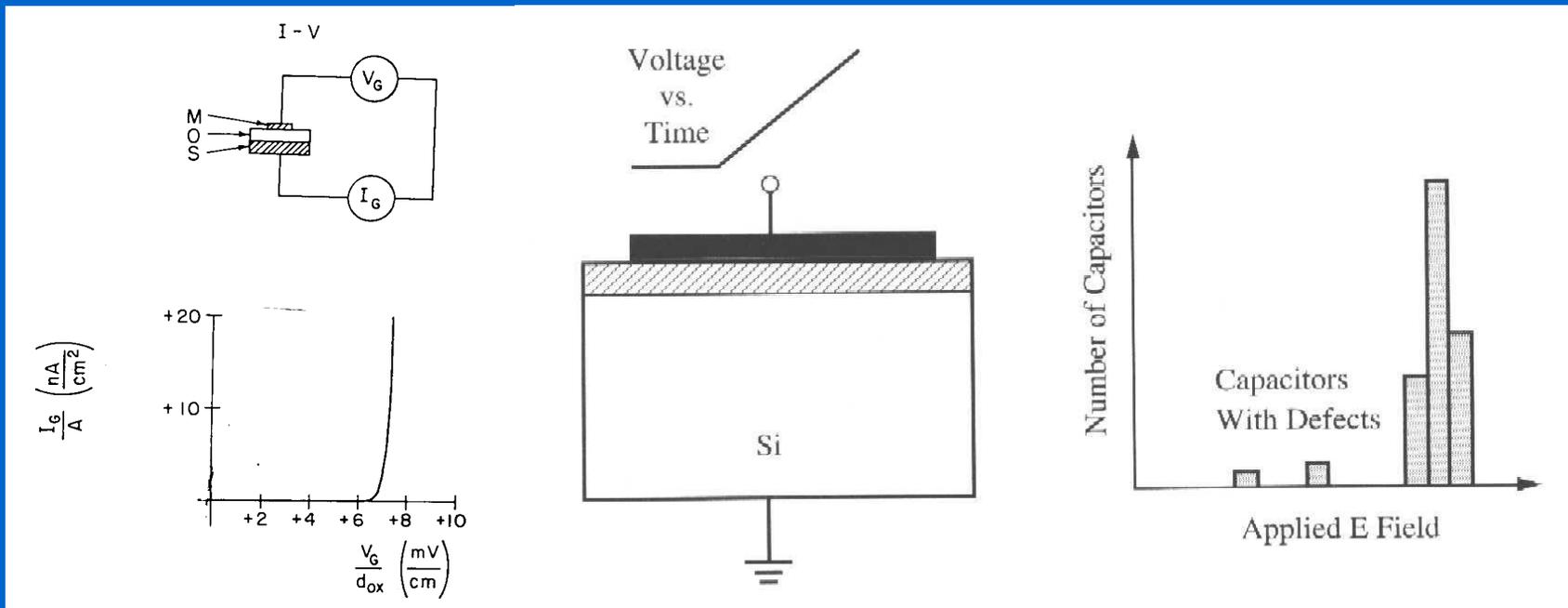


LINHAS
METÁLICAS



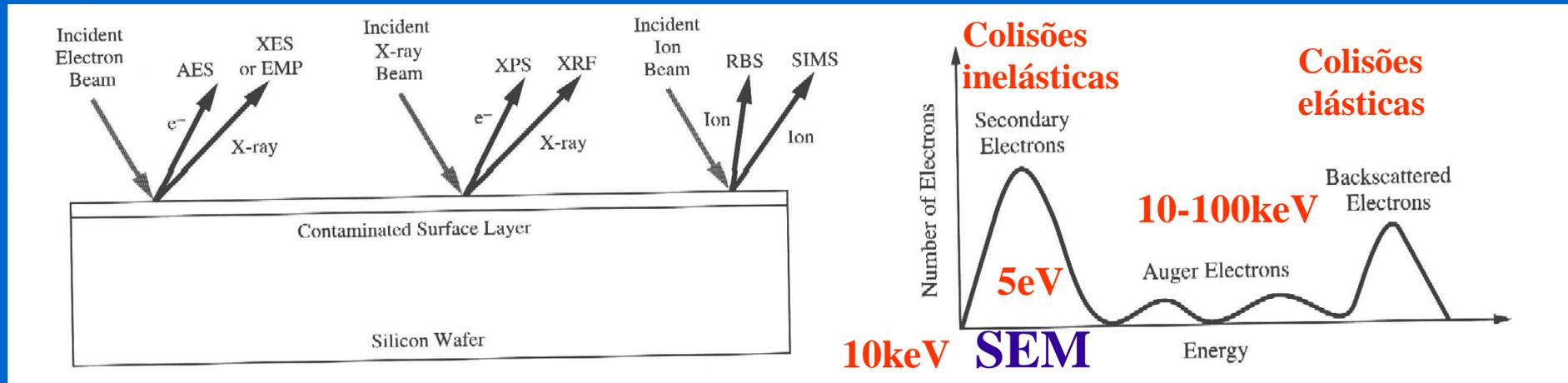
2. LIMPEZA - ANÁLISE DE DEFEITOS OU CONTAMINAÇÕES

RUPTURA DIELÉTRICA DOS ÓXIDOS DE PORTA



2. LIMPEZA - ANÁLISE DE DEFEITOS OU CONTAMINAÇÕES

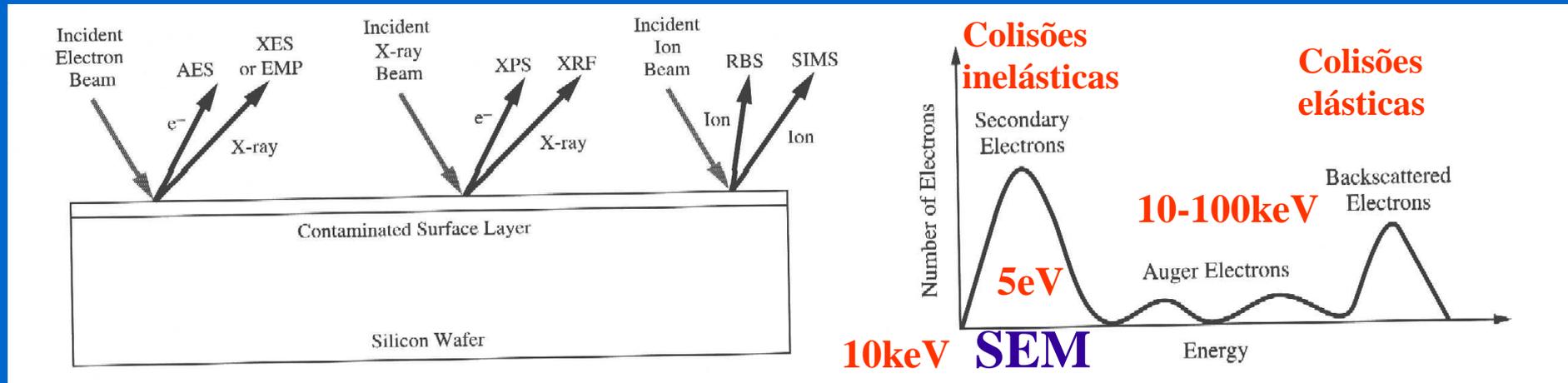
ANÁLISES DE SUPERFÍCIE OU DE PEQUENA PROFUNDIDADE composição



•AES (*Auger Electron Spectroscopy*)

2. LIMPEZA - ANÁLISE DE DEFEITOS OU CONTAMINAÇÕES

ANÁLISES DE SUPERFÍCIE OU DE PEQUENA PROFUNDIDADE composição

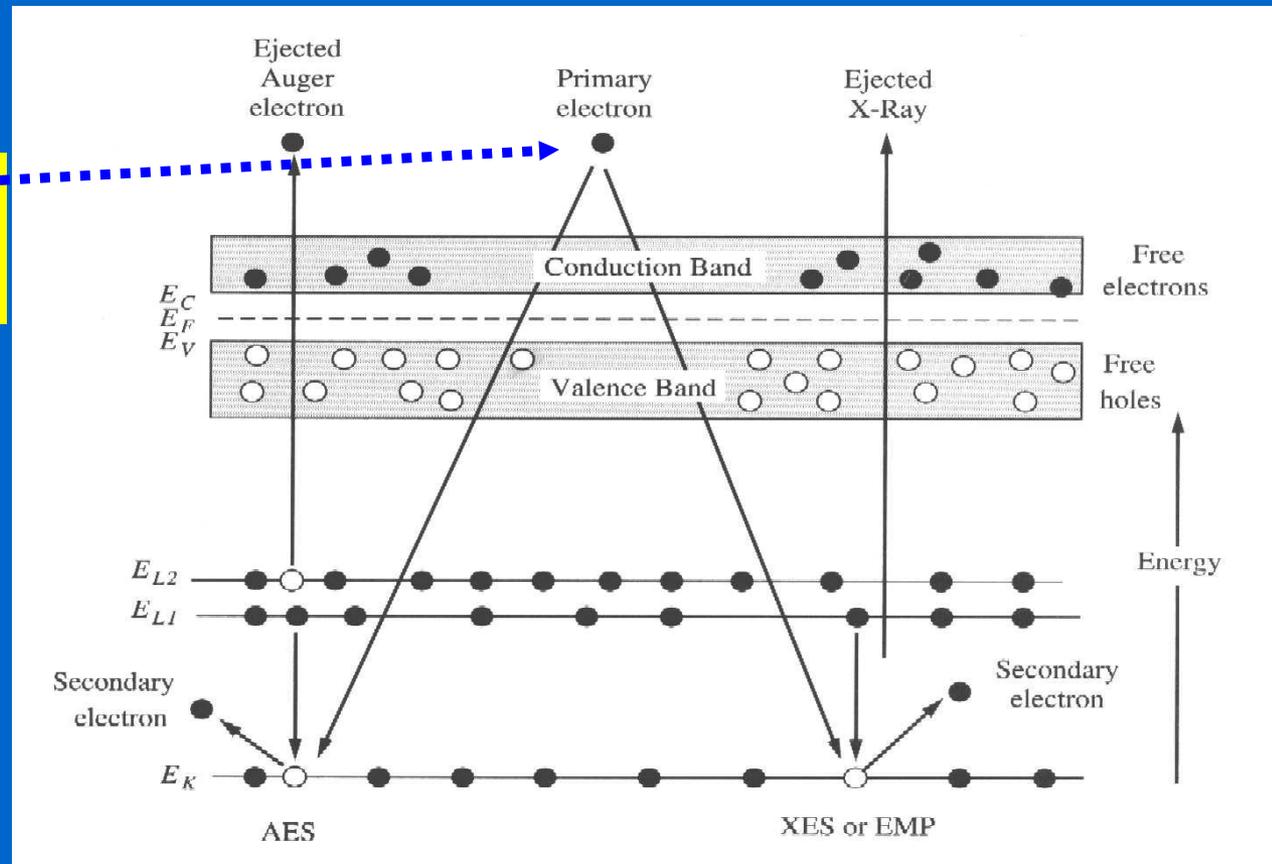


- AES (*Auger Electron Spectroscopy*)
- XES (*X-ray Electron Spectroscopy*) ou EMP (*Electron Microprobe*)

2. LIMPEZA - ANÁLISE DE DEFEITOS OU CONTAMINAÇÕES

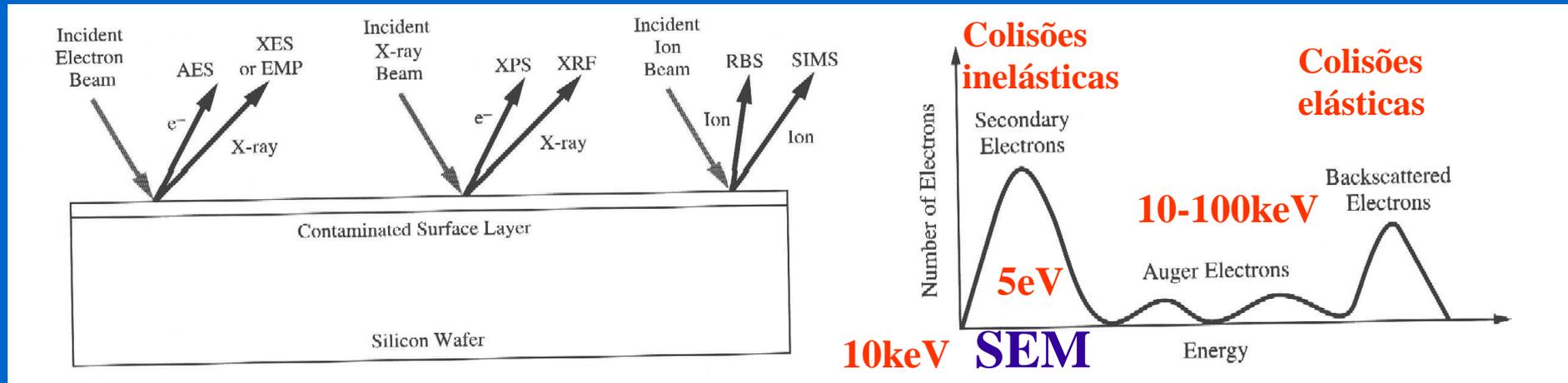
- AES (*Auger Electron Spectroscopy*)
- XES (*X-ray Electron Spectroscopy*) ou EMP (*Electron Microprobe*)

Energia de
dezenas de keV



2. LIMPEZA - ANÁLISE DE DEFEITOS OU CONTAMINAÇÕES

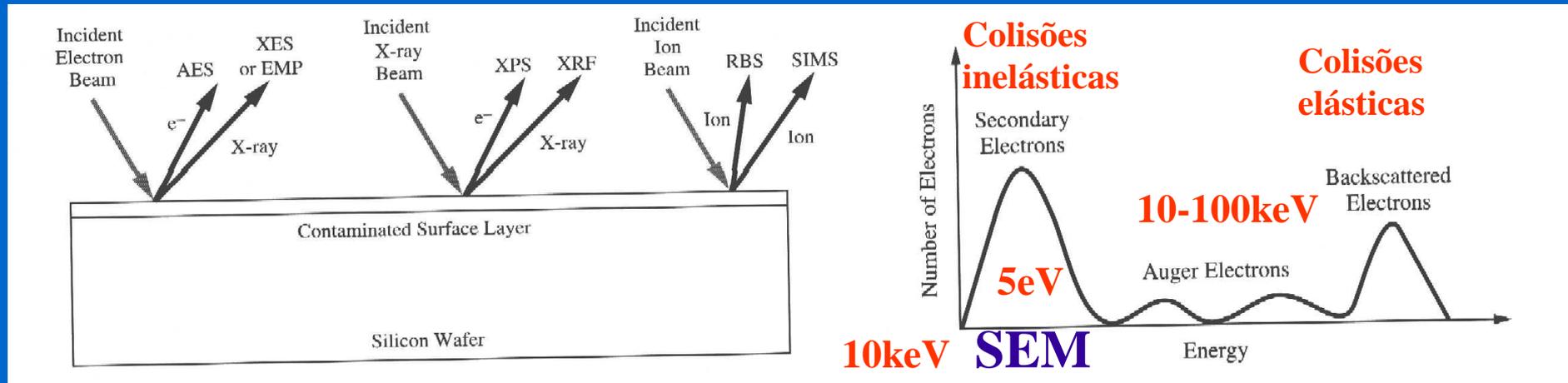
ANÁLISES DE SUPERFÍCIE OU DE PEQUENA PROFUNDIDADE composição



- AES (*Auger Electron Spectroscopy*)
- XES (*X-ray Electron Spectroscopy*) ou EMP (*Electron Microprobe*)
- XPS (*X-ray Photoelectron Spectroscopy*)

2. LIMPEZA - ANÁLISE DE DEFEITOS OU CONTAMINAÇÕES

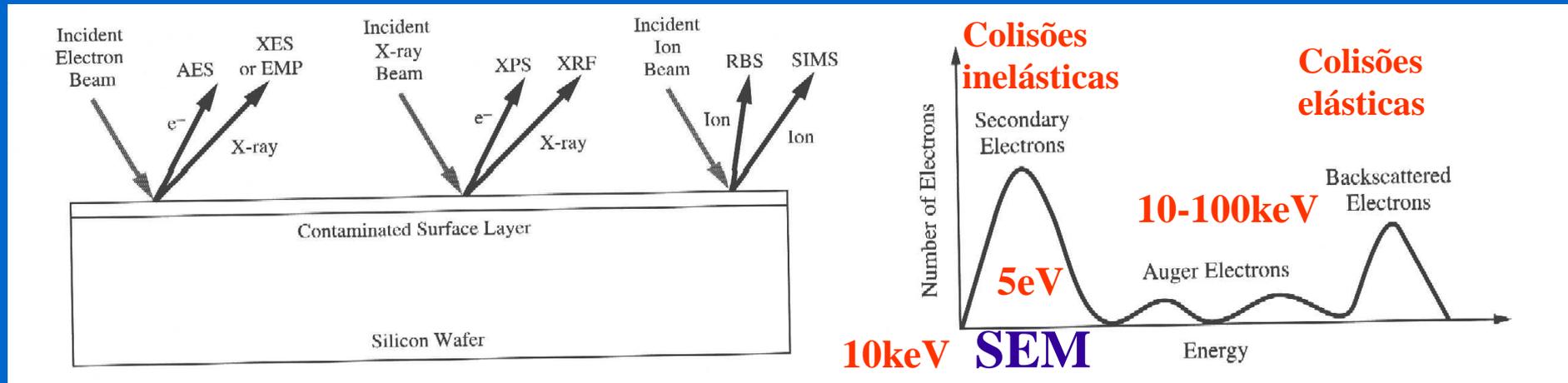
ANÁLISES DE SUPERFÍCIE OU DE PEQUENA PROFUNDIDADE composição



- **AES (Auger Electron Spectroscopy)**
- **XES (X-ray Electron Spectroscopy) ou EMP (Electron Microprobe)**
- **XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy)**
- **XRF (X-ray Fluorescence)**

2. LIMPEZA - ANÁLISE DE DEFEITOS OU CONTAMINAÇÕES

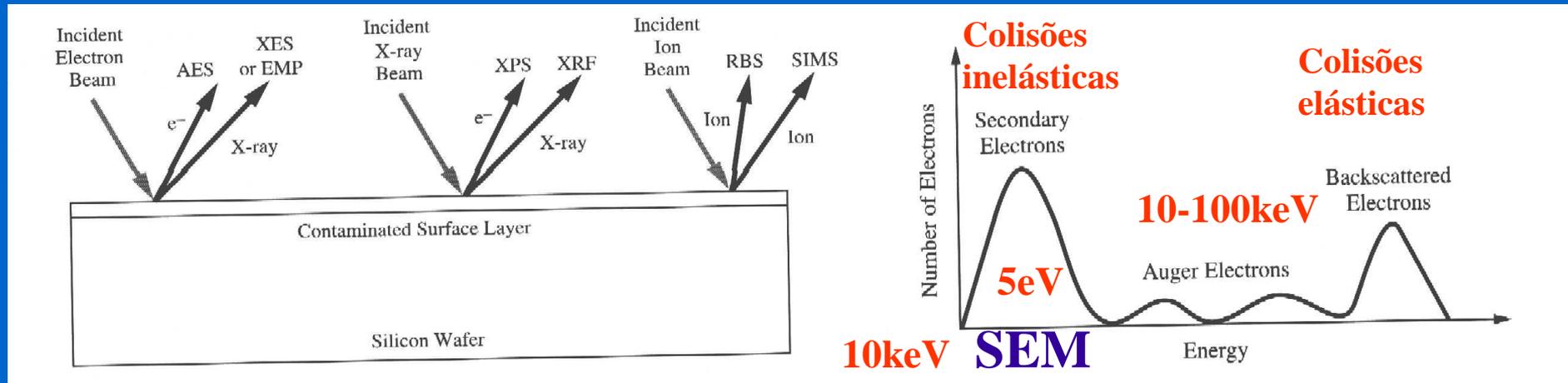
ANÁLISES DE SUPERFÍCIE OU DE PEQUENA PROFUNDIDADE composição



- **AES (Auger Electron Spectroscopy)**
- **XES (X-ray Electron Spectroscopy) ou EMP (Electron Microprobe)**
- **XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy)**
- **XRF (X-ray Fluorescence)**
- **RBS (Rutherford Backscattering Spectroscopy)**

2. LIMPEZA - ANÁLISE DE DEFEITOS OU CONTAMINAÇÕES

ANÁLISES DE SUPERFÍCIE OU DE PEQUENA PROFUNDIDADE composição



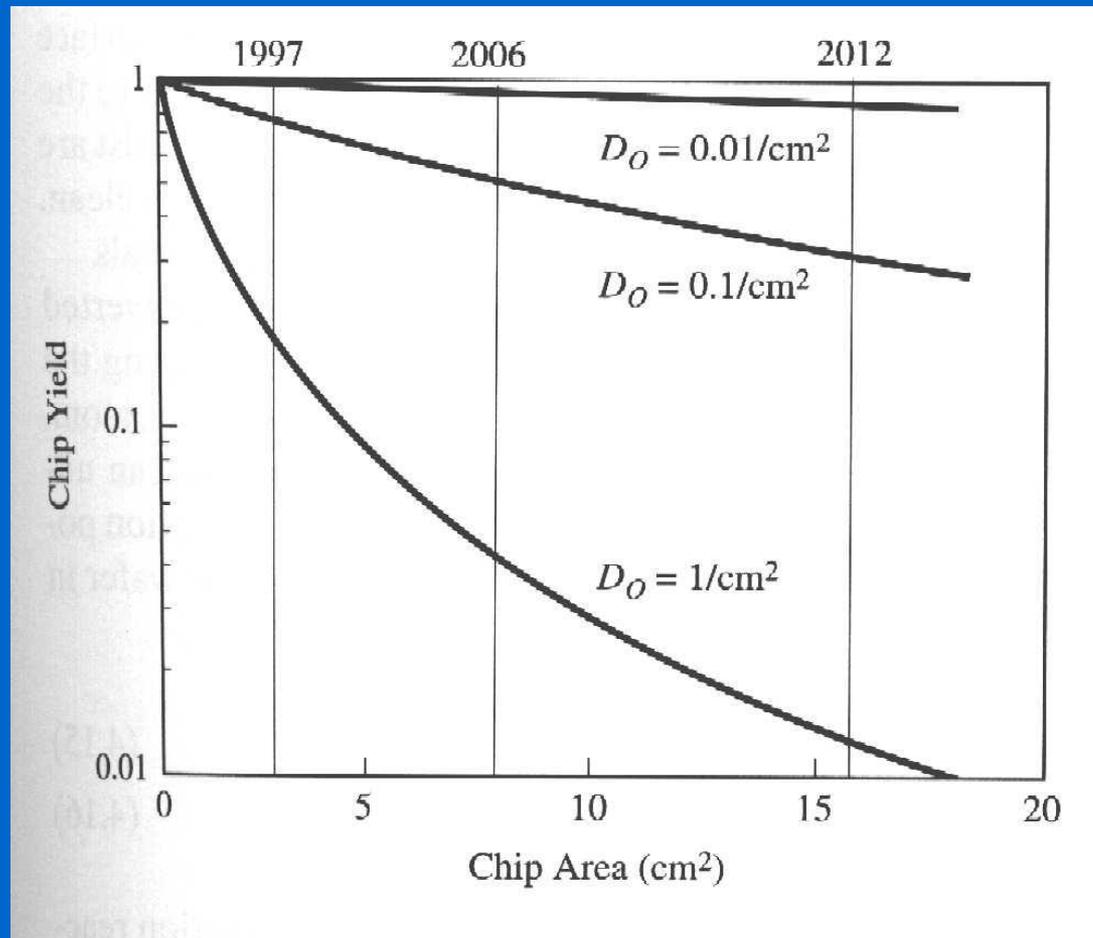
- AES (*Auger Electron Spectroscopy*)
- XES (*X-ray Electron Spectroscopy*) ou EMP (*Electron Microprobe*)
- XPS (*X-ray Photoelectron Spectroscopy*)
- XRF (*X-ray Fluorescence*)
- RBS (*Rutherford Backscattering Spectroscopy*)
- SIMS (*Secondary Ion Mass Spectroscopy*)

3. YIELD - PRODUTIVIDADE

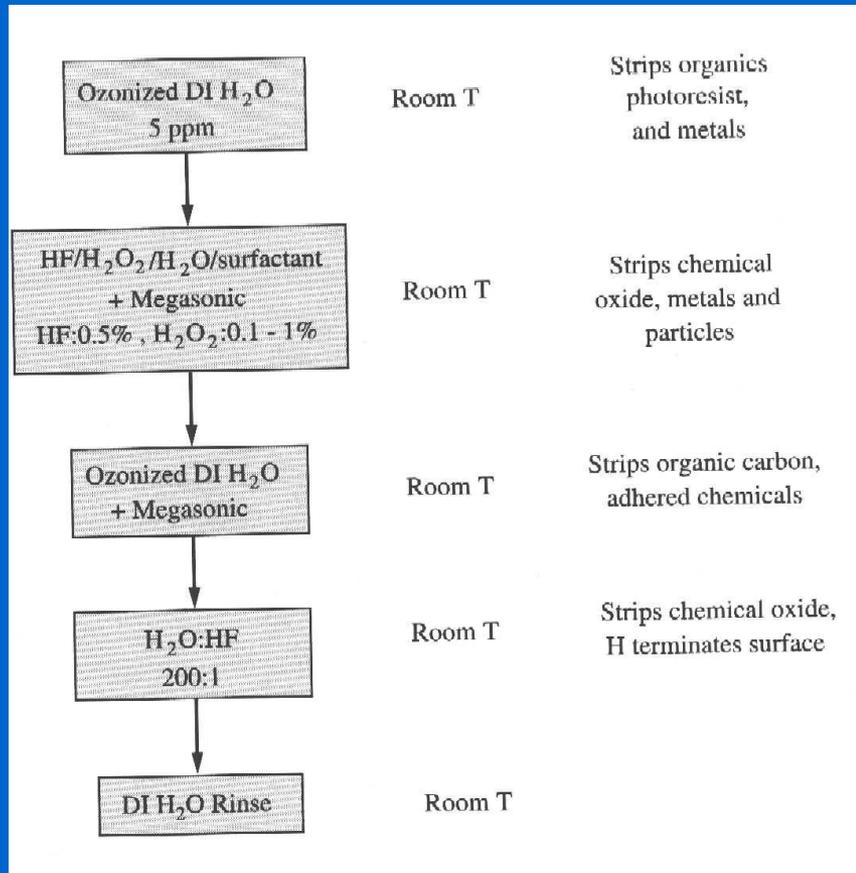
Table 4-2 Semiconductor industry projected progress and the implications of this progress for chip yield and manufacturing yield ramp-up [4.1].

Year of First DRAM Shipment	1997	1999	2003	2006	2009	2012
Minimum Feature Size	250 nm	180 nm	130 nm	100 nm	70 nm	50 nm
Wafer Diameter (mm)	200	300	300	300	450	450
DRAM Bits/Chip	256M	1G	4G	16G	64G	256G
Initial Yield Level (%)	25	50	80	85	88	90
Time to Mature Yield Level (years)	4	3	1	0.8	0.6	0.5

3. YIELD - PRODUTIVIDADE



4. TENDÊNCIAS FUTURAS



- **DIMINUIR N° DE ETAPAS DE LIMPEZA**

- **REDUZIR O TEMPO DAS ETAPAS DE LIMPEZA**