

Ossidazione termica

Tre fasi:

(1) trasferimento dalla fase gassosa all' SiO_2

(2) diffusione attraverso l' SiO_2 già formato

(3) reazione con il Si sottostante

Ossidazione termica

Trasferimento dalla fase gassosa all' SiO_2

$$F(1) = h(C^* - C_0)$$

$F(1)$ = flusso della corrente gassosa alla superficie

h = coefficiente di trasferimento di massa in fase gassosa

C^* = concentrazione delle specie ossidanti nell'ossido all'equilibrio

C_0 = concentrazione alla superficie

Ossidazione termica

Diffusione attraverso l' SiO_2 già formato

$$F(2) = D \frac{(C_0 - C_i)}{x_{\text{ox}}}$$

D = diffusività

x_{ox} = spessore dell'ossido

$(C_0 - C_i)/x_{\text{ox}}$ = gradiente di concentrazione in SiO_2

Ossidazione termica

Reazione con il Si all' interfaccia SiO_2/Si

$$F(3) = k_s C_i$$

A regime:

$$F(1)=F(2)=F(3)=F$$

$$h(C^* - C_o) = D \frac{(C_o - C_i)}{X_{ox}} = k_s C_i = F$$

$$D \frac{(C_o - C_i)}{X_{ox}} = F$$



$$F \left(X_{ox} + \frac{D}{k_s} \right) = DC_o$$

$$k_s C_i = F$$



$$C_i = \frac{F}{k_s}$$



$$F = \frac{DC_0}{x_{ox} + \frac{D}{k_s}}$$

$$F = h(C^* - C_0) \longrightarrow C^* - \frac{F}{h} = C_0$$

$$F = \frac{D(C^* - \cancel{\frac{F}{h}})}{x_{ox} + \cancel{\frac{D}{k_s}}}$$

$$F = \frac{D(C^* - F/h)}{x_{ox} + D/k_s}$$

$$F(x_{ox} + D/k_s) = DC^* - F(D/h)$$

$$F(x_{ox} + D/k_s + D/h) = DC^*$$

$$F(x_{ox}k_s/D + 1 + k_s/h) = k_s C^*$$

$$F = \frac{k_s C^*}{(1 + k_s/h + x_{ox}k_s/D)}$$

N_{ox} = n. molecole della specie ossidante
nell'ossido per unita' di volume

2.2×10^{22} molecole/cm³ di SiO₂

$N_{ox} = 2.2 \times 10^{22}$ cm⁻³ per O₂ secco

$N_{ox} = 4.4 \times 10^{22}$ cm⁻³ per H₂O

Velocita' di crescita dell'ossido:

$$R = \frac{dx_{ox}}{dt} = \frac{F}{N_{ox}} = \frac{k_s C^*}{N_{ox} (1 + k_s/h + x_{ox} k_s/D)}$$

$$R = \frac{dx_{ox}}{dt} = \frac{F}{N_{ox}} = \frac{k_s C^*}{N_{ox} (1 + k_s/h + x_{ox} k_s/D)}$$

$$(1 + k_s/h + x_{ox} k_s/D) dx_{ox} = \frac{k_s C^*}{N_{ox}} dt$$

$$\left(\frac{D}{k_s} + \frac{D}{h} + x_{ox} \right) dx_{ox} = \frac{DC^*}{N_{ox}} dt$$

$$\left(D \left(\frac{1}{k_s} + \frac{1}{h} \right) + x_{ox} \right) dx_{ox} = \frac{DC^*}{N_{ox}} dt$$

$$\left(D \left(\frac{1}{k_s} + \frac{1}{h} \right) + x_{ox} \right) dx_{ox} = \frac{DC^*}{N_{ox}} dt$$

$$x_{ox}^2 + 2D \left(\frac{1}{k_s} + \frac{1}{h} \right) x_{ox} = \frac{2DC^*}{N_{ox}} (t + \tau)$$

$$x_{ox} = \frac{A}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{(t + \tau)}{A^2/4B}} - 1 \right]$$
$$A = 2D \left[\frac{1}{k_s} + \frac{1}{h} \right]$$
$$B = \frac{2DC^*}{N_{ox}}$$

$$x_{OX}^2 + Ax_{OX} = B(t + \tau)$$

$$A = 2D \left[\frac{1}{k_s} + \frac{1}{h} \right]$$

$$B = \frac{2DC^*}{N_{ox}}$$

$$\tau = \frac{x_{OX}^2}{B} + \frac{x_{OX}}{B/A}$$

Shift iniziale dovuto allo spessore iniziale dell'Ossido.

$$x_{\text{ox}} = \frac{A}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{(t + \tau)}{A^2/4B}} - 1 \right]$$

τ e' lo shift temporale legato al fatto che a $t=0$ e' gia' presente l'ossido nativo $x_{\text{ox}}(0)$

tempi brevi: crescita limitata dalla reazione superficiale

$$x_{\text{ox}} = B/A(t + \tau)$$

tempi lunghi: crescita limitata dalla diffusione attraverso l' SiO_2

$$x_{\text{ox}} = \sqrt{B(t + \tau)} \cong \sqrt{Bt}$$

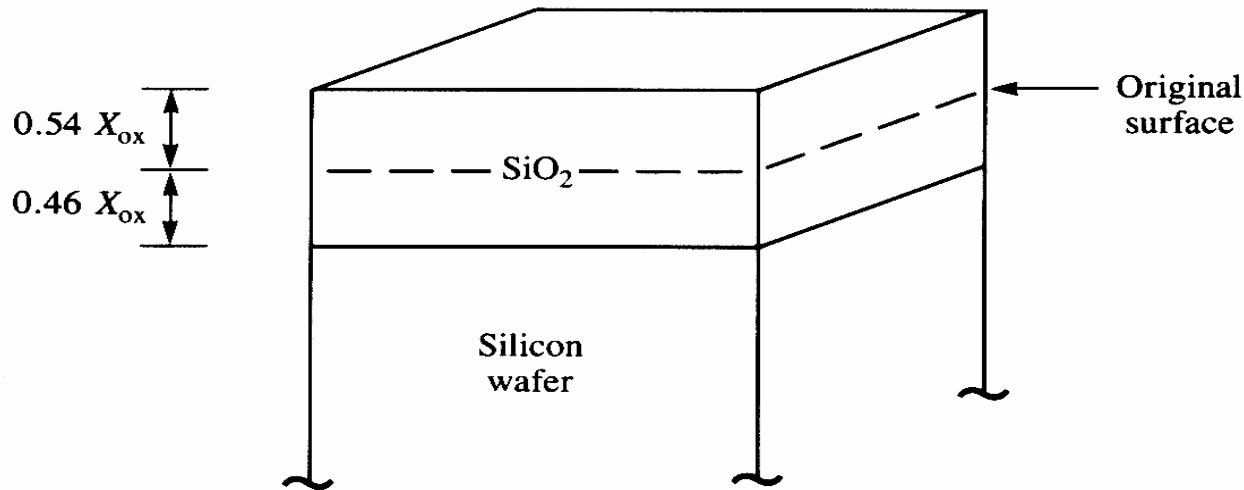
$$A = 2D \left[\frac{1}{k_s} + \frac{1}{h} \right] \quad \begin{array}{l} \text{coefficiente di crescita} \\ \text{parabolico} \end{array}$$

$\frac{B}{A}$ coefficiente di crescita lineare:
dipende dall'orientazione cristallografica
del cristallo: in (111) piu' rapida che in (100)

La velocita' di crescita dipende da:

- temperatura
- ambiente ossidante
- drogaggio del substrato

Durante l'ossidazione, parte del silicio in superficie viene "consumato":



SiO_2 : 2.2×10^{22} atomi/ cm^3

Si: 5×10^{22} atomi/ cm^3 

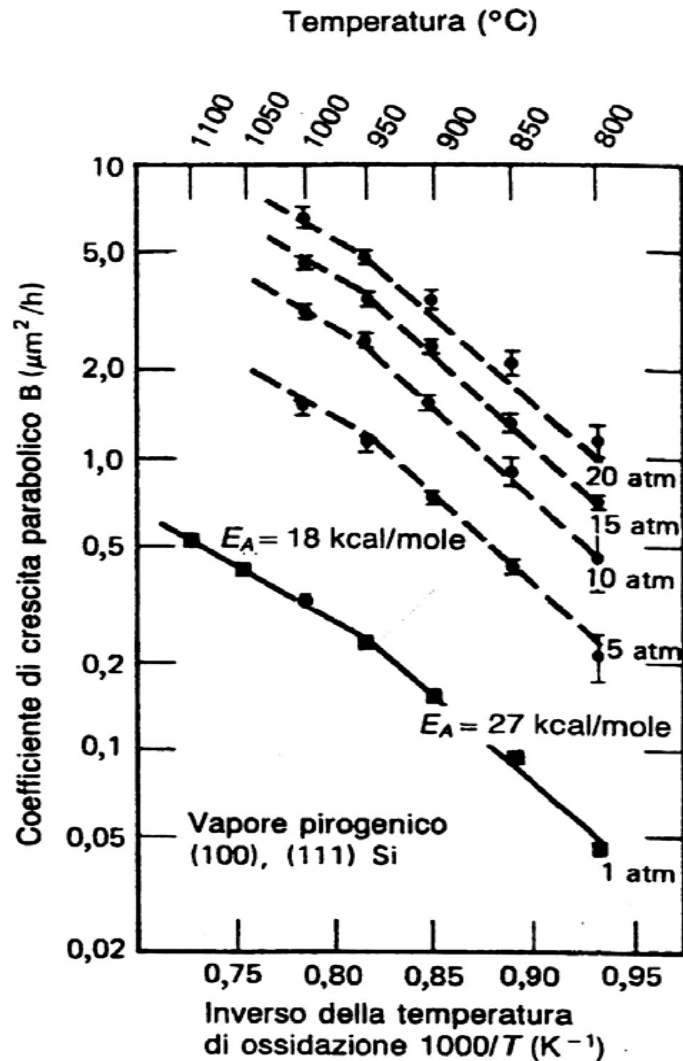
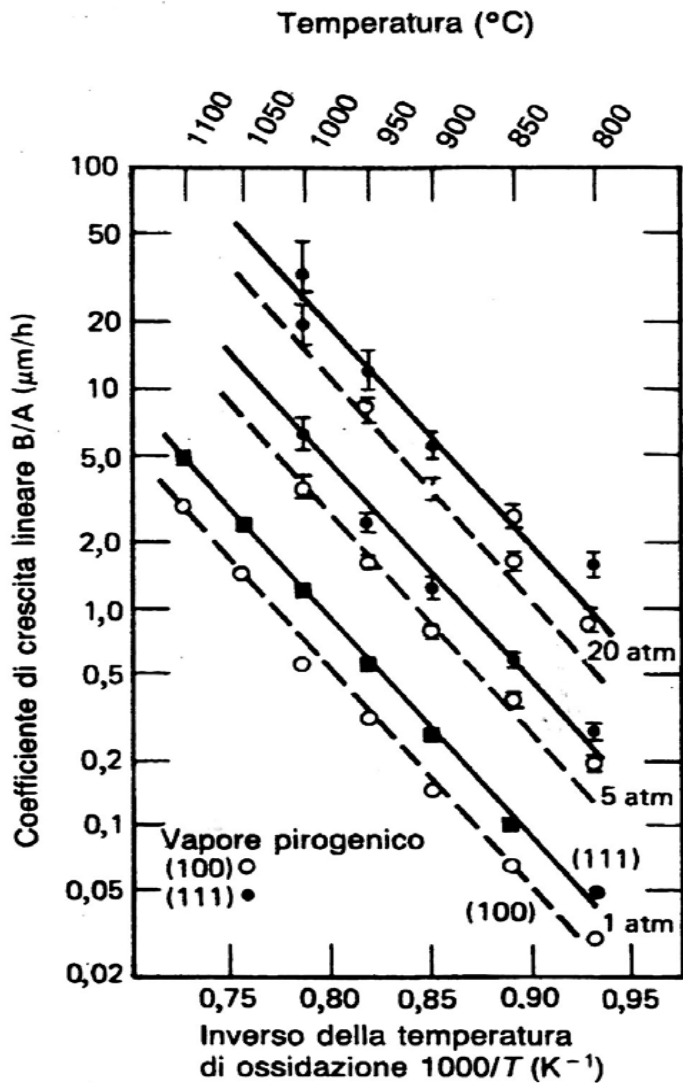
Lo spessore di silicio consumato e'
0.44 volte lo spessore del SiO_2 che si forma

$$D = D_0 \exp(-E_A/kT)$$

Table 3.1 Values for Coefficient D_0 and Activation Energy E_A for Wet and Dry Oxygen.*

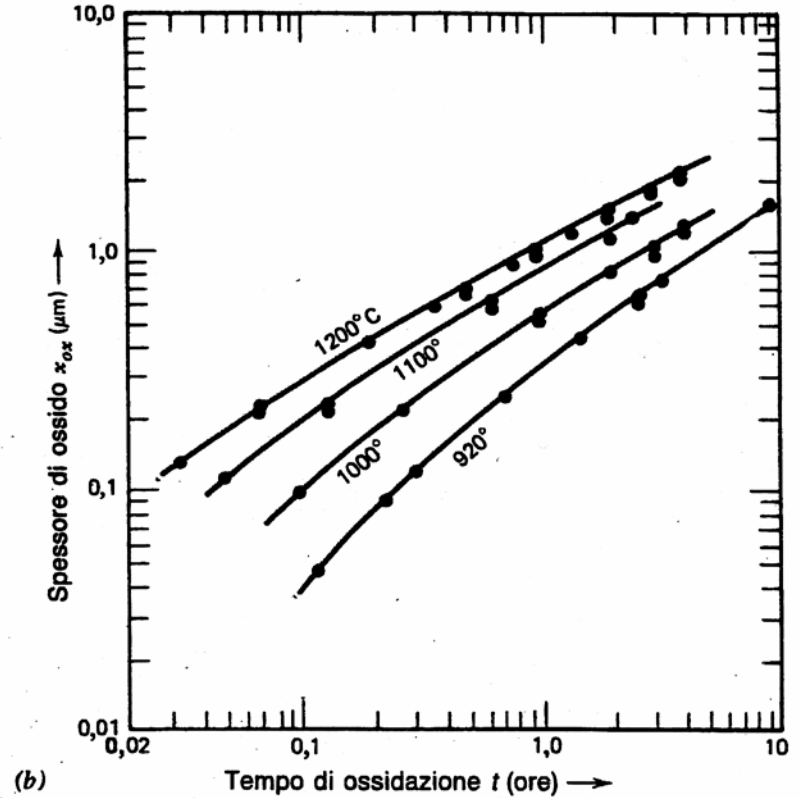
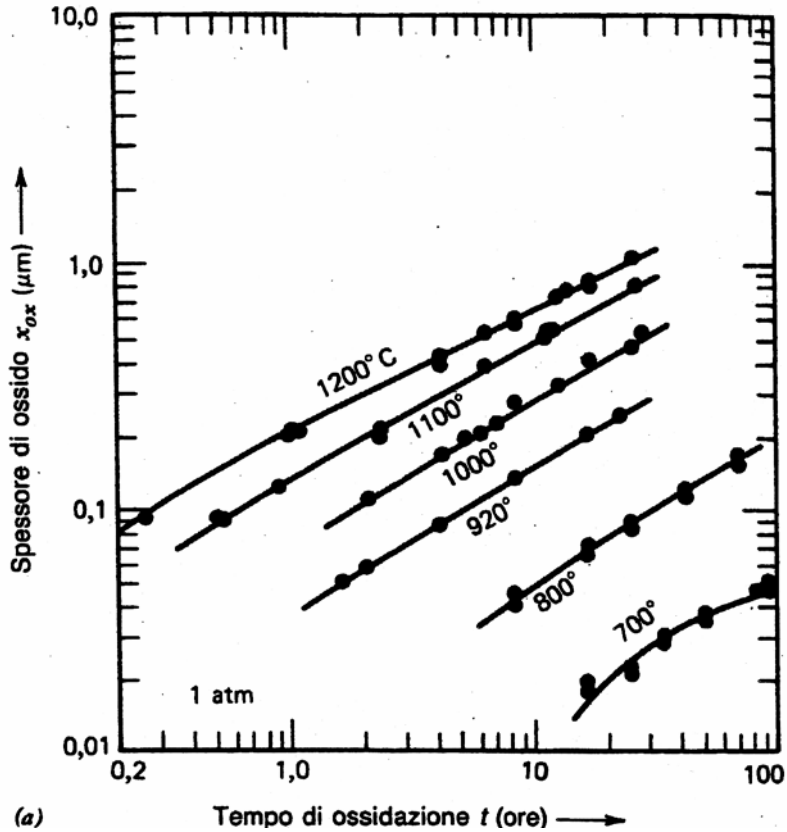
	Wet O ₂ ($X_i = 0$ nm)		Dry O ₂ ($X_i = 25$ nm)	
	D_0	E_A	D_0	E_A
<100> Silicon				
Linear (B/A)	$9.70 \times 10^7 \mu\text{m/hr}$	2.05 eV	$3.71 \times 10^6 \mu\text{m/hr}$	2.00 eV
Parabolic (B)	$386 \mu\text{m}^2/\text{hr}$	0.78 eV	$772 \mu\text{m}^2/\text{hr}$	1.23 eV
<111> Silicon				
Linear (B/A)	$1.63 \times 10^8 \mu\text{m/hr}$	2.05 eV	$6.23 \times 10^6 \mu\text{m/hr}$	2.00 eV
Parabolic (B)	$386 \mu\text{m}^2/\text{hr}$	0.78 eV	$772 \mu\text{m}^2/\text{hr}$	1.23 eV

*Data from ref. [7].



Dry

Wet



Spessore dell'ossido : Si (111)