

## Capitolo 2

# OSSIDAZIONE TERMICA

### 2.1 Generalità

#### 2.1.1 Utilizzazioni dell'ossido di silicio

Si tratta di uno dei materiali chiave per le tecnologie microelettroniche; viene utilizzato moltissimo sia per le sue ottime caratteristiche isolanti, sia per la sua relativa facilità di crescita. Alcune tipiche utilizzazioni sono:

1. gli ossidi di gate di transistori MOS
2. l'isolamento tra dispositivi
3. l'isolamento tra livelli di metallizzazione
4. le maschere per il drogaggio
5. la passivazione dei dispositivi.

#### 2.1.2 Metodi alternativi di deposizione

Oltre alla ossidazione termica  $\text{SiO}_2$  può essere depositato per:

1. anodizzazione in plasma
2. ossidazione anodica

### 3. deposizione da fase vapore.

I primi due metodi generalmente non forniscono ossidi di qualità e vengono poco utilizzati; il terzo metodo fornisce un ossido che pur non avendo caratteristiche elettriche eccellenti è largamente impiegato nelle passivazioni ed in tutte le applicazioni in cui è necessario non raggiungere le alte temperature implicate nel processo di ossidazione termica.

### 2.1.3 Struttura della silice

Il biossido di silicio, o silice, può presentarsi in forma cristallina o amorfa.

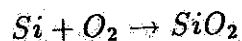
Le forme cristalline della silice sono tre: il quarzo, la cristobalite e la tridimite. La densità della silice cristallina è  $2.65 \text{ g/cm}^3$ . L'ossido amorfo è una struttura metastabile a lentissima trasformazione in cristallo tramite centri di nucleazione (es. impurezze); gli ossidi utilizzati in microelettronica sono esclusivamente amorfi. La densità dell'ossido di silicio amorfo è leggermente inferiore a quella dell'ossido cristallino:  $2.20 \text{ g/cm}^3$ .

L' $\text{SiO}_2$  è una struttura "aperta" come si può osservare dalla densità relativamente bassa; il volume occupato è solo del 43% (figura 1); per questa sua caratteristica la silice è piuttosto permeabile alle impurezze. Questa permeabilità è generalmente attribuita alla presenza nella struttura di ossigeni non leganti.

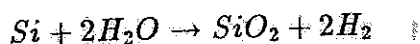
## 2.2 Processo di ossidazione

### 2.2.1 Reazioni

1) Reazione con ossigeno (ossidazione dry)



2) reazione con vapor d'acqua (ossidazione steam)



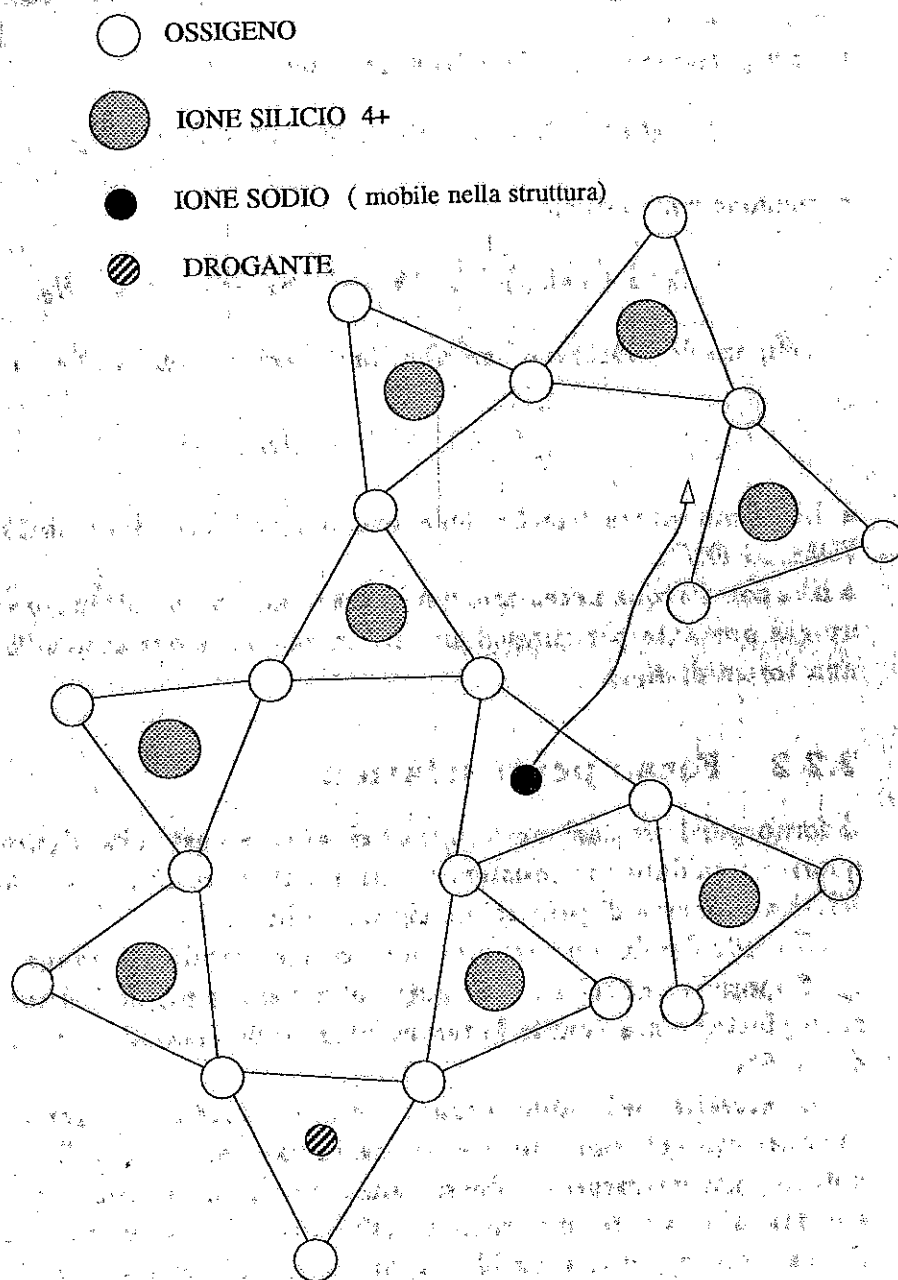
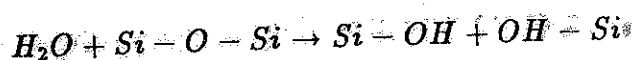


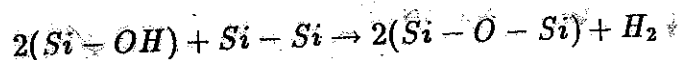
Figura 2.1: Struttura schematica della silice.

Con qualche maggiore dettaglio, la reazione 2 può essere scomposta in tre sottoreazioni:

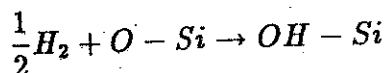
▷ scomposizione sulla silice (con un ossigeno legante):



▷ reazione con il silicio



▷ recupero dell'idrogeno con ulteriore reazione con la silice



- Le temperature tipiche delle reazioni suddette sono dell'ordine di  $700 - 1200^\circ C$ .

- Il vapor d'acqua necessario per la reazione 2 viene ottenuto saturando un gas portante per gorgogliamento in acqua deionizzata a  $95^\circ C$  o con una torcia di  $H_2$ .

### 2.2.2 Forno per ossidazione

Il forno per l'ossidazione termica del silicio è costituito da un tubo di quarzo riscaldato con resistenze a temperature comprese tra 400 e  $1300^\circ C$ . Uno schema di principio è riportato in figura 2.

Il controllo di temperatura deve essere stabile nel range  $\pm 2^\circ C$  su 1 - 2 giorni e  $\pm 5^\circ C$  su un mese; nella zona centrale del tubo (detta zona piatta) è mantenuta la temperatura impostata con una tolleranza di  $\pm 0.5^\circ C$ .

La crescita dell'ossido termico viene effettuata nella zona piatta. Il caricamento del forno deve avvenire in ambiente controllato privo di polvere, generalmente in flusso laminare. Il problema centrale della crescita di ossidi termici risiede nella eliminazione di inquinanti alcalini (es. sodio); questo problema, dal punto di vista strumentale viene affrontato usando quarzo decontaminato ed impedendo l'ingresso del sodio dall'esterno; sono stati progettati forni con tubi concentrici ed una atmosfera clorurata nella camera tra i tubi. Con questo accorgimento

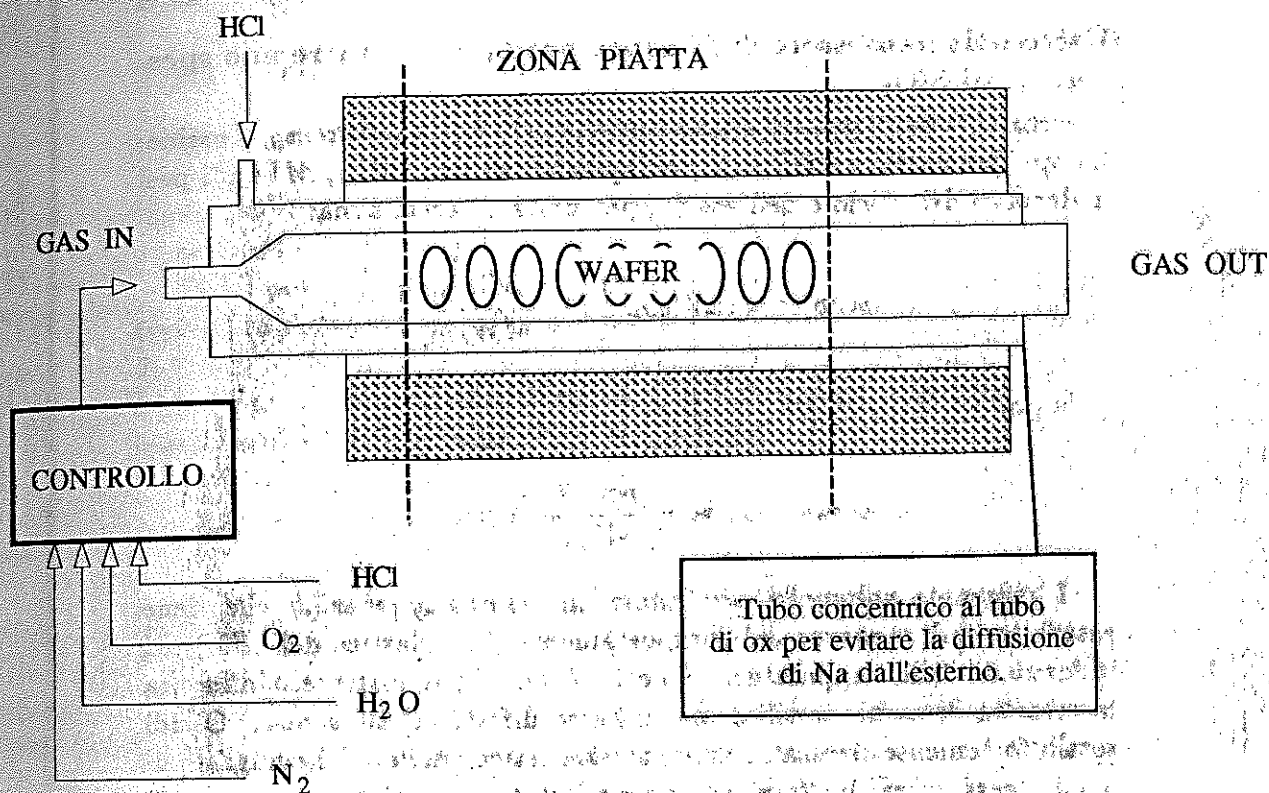


Figura 2.2: Schema del forno per ossidazione.

si può abbattere il sodio proveniente dall'esterno. L'abbattimento efficiente del sodio viene comunque effettuato variando le reazioni di ossidazione con l'aggiunta di vapori di  $HCl$  al gas ossidante immesso nel reattore. L'aggiunta di  $HCl$  comporta seri problemi di sicurezza per la natura fortemente corrosiva dell'acido cloridrico. Per ciò che concerne i gas immessi nel reattore, questi devono essere filtrati per eliminare particolati ed è necessario l'uso di trappole fredde per trattenere il vapore d'acqua nel caso di ossidazione dry. Eventuali tracce di idrocarburi possono talvolta essere eliminate con l'uso di pre-bruciatori. Velocità tipiche del gas di alimentazione in forni di diametro  $\sim 10\text{ cm}$  e per ossidazioni a pressione atmosferica sono di  $\sim 1\text{ cm/sec}$ .