

## LITOGRAFIA

CIASCUN PASSO PER LA REALIZZAZIONE DI UN CIRCUITO INTEGRATO COMPORTA LA CREAZIONE DI UN MODELLO DA TRASFERIRE SUL WAFER DI SILICIO. IL MODELLO VIENE TRASFERITO SULLO STRATO SUPERFICIALE DELLA FETTA, PER FARLO SI USA UNA MASCHERA CHE CONTIENE UN'INFO BINARIA NEL SENSO CHE INDIVIDUA PER CIASCUN PUNTO DEL WAFER, SE IL SUCCESSIVO PASSO TECNOLOGICO DEVE AGIRE SU QUEL PUNTO O MENO. IL PROCESSO LITOGRAFICO PUO' ESSERE ARTICOLATO NEI SEGUENTI PASSI:

### 1. STESURA RESIST

IL RESIST OSATO DEVE ESSERE ADATTO AL TIPO DI RADIAZIONE UTILIZZATA PER IMPRESSIONARLO. IL FOTORESIST DEVE AVERE LE SEGUENTI CARATTERISTICHE

- DEVE ESSERE IN GRADO DI RIPRODURRE L'INFORMAZIONE CONTENUTA NELLA MASCHERA
- DEVE ESSERE IN GRADO DI PROTEGGERE LE ZONE CHE NON DEVONO ESSERE ATTACATE
- POICHE' IL TRASFERIMENTO DI INFORMAZIONE AVVIENE MEDIANTE ILLUMINAZIONE IL FOTORESIST DOVRA' ESSERE FOTOSENSIBILE.

I RESIST VENGONO CLASSIFICATI IN

\* POSITIVI => RIPRODUCONO INALTERATA L'INFO CONTENUTA NELLA MASCHERA, QUESTE EMULSIONI AUMENTANO LA LORO SOLUBILITA' ALLE SOLUZIONI DI SVILUPPO NELLE ZONE ILLUMINATE

\* NEGATIVI => RIPRODUCONO UN'INFO NEGATA RISPETTO A QUELLA CONTENUTA DELLA MASCHERA, QUESTE EMULSIONI RIDUCONO LA LORO SOLUBILITA' ALLE SOLUZIONI DI SVILUPPO NELLE ZONE ILLUMINATE.

I RESIST SONO COMPOSTI DA

- MATRICE POLIMERICA
- SOLVENTE
- ATTIVATORE <sup>non</sup>

I FOTORESIST SONO SENSIBILI A RADIAZIONI CON UNA  $\lambda > 500 \text{ nm}$ . LA STESURA AVVIENE IN GENERE TRAMITE SISTEMI DI SPINNING, SI OTTENGONO SPESSORI

$$t = \frac{ks^2}{4V}$$

$V$  = D velocità di rotazione in giri al minuto

$S$  = D frazione di solido nel resist

$k$  = D costante di proporzionalità funzione della viscosità.

ESISTONO METODI ALTERNATIVI DI DEPOSIZIONE QUALI

- DEPOSIZIONE SPRAY
- DEPOSIZIONE A RULLO

### 2. PRECOTTURA o SOFT BAKE

SERVE AD ELIMINARE LA MAGGIOR PARTE DEL SOLVENTE DAL RESIST STESO SUL WAFER. LA PRECOTTURA INCIDE SU

ADESIONE DEL FILM E SU RISOLUZIONE. PER I RESIST POSITIVI  
IN FATTI UNA PRECOTTURA

- TROPPO BREVE  $\Rightarrow$  ECCESSO DI SOLVENTE CHE DANNEGGIA L'ESPOSIZIONE E FAVORISCE LO SVILUPPO ANCHE DI PARTI NON ESPOSTE
  - TROPPO LUNGA  $\Rightarrow$  DEGRADA LA FOTONSENSIBILITÀ
- LE TECNICHE DI SOFT BAKING SONO
- FORNI A CONVEZIONE CON CIRCOLAZIONE FORZATA DI GAS FILTRATO PER ELIMINARE IL PARTICOLATO
  - AD INFRAROSSO
  - FORNI A MICROONDE COMMERCIALI.
  - A CONDUZIONE

### 3. ESPOSIZIONE

A SECONDA DELLA LUNGHEZZA D'ONDA DELLA RADIAZIONE IMPIEGATA E DELLA DIMENSIONE TIPICA  $w$  DELLE GEOMETRIE RICAVATE SULLA MASCHERA SI POSSONO DISTINGUERE 3 TIPI DI ESPOSIZIONE:

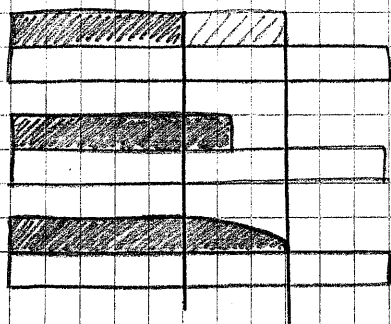
- ESPOSIZIONE A CONTATTO: IL GAP D'ARIA TRA MASCHERA E SUBSTRATO È MINORE DI  $\lambda$ . IN QUESTO CASO SI HA UNA INEVITABILE USURA DELLA MASCHERA. RARAMENTE SI RIESCE A RAGGIUNGERE QUESTA CONDIZIONE.
- ESPOSIZIONE IN PROSSIMITÀ: LO STRATO D'ARIA È  $< w^2/\lambda$ . QUESTO IMPLICA CHE TALE TIPO DI ESPOSIZIONE È LIMITATA ALLE ZONE DI CAMPO VICINO.
- ESPOSIZIONE PER PROIEZIONE: LO STRATO D'ARIA È  $> w^2/\lambda$ , SONO INTERESSATE LE ZONE DI CAMPO LONTANO, IN QUESTE CONDIZIONI È CRITICO IL PROBLEMA DELLA MESSA A FUOCO ECCEPTE NEL CASO DI ESPOSIZIONE A CONTATTO, SI HANNO PROBLEMI DI DIFFRAZIONE. A CAUSA DELLA DIFFRAZIONE SI HA UNA BONA IN CUI SI OSSERVA UN PASSAGGIO GRADUALE TRA INTENSITÀ NORMALIZZATA MINIMA E MASSIMA. L'AMPIEZZA È FUNZIONE DELLA DISTANZA TRA MASCHERA E SUBSTRATO.

$$\gamma = 1 / \log \left( \frac{a_2}{a_1} \right) \quad \text{FUNZIONE DI CONTRASTO}$$

$$Q = I \cdot t \Rightarrow \text{DOSE}$$

$Q_1$  DOSE A CUI IL RESIST INIZIA AD IMPRESSIONARSI;

$Q_2$  DOSE PER CUI L'ESPOSIZIONE È COMPLETA



/// ESPOSIZIONE PARZIALE

CASO IDEALE

CASO REALE



ESPOSIZIONE IN PROSSIMITA'

$$d_{m,m} = 15 \cdot \sqrt{\frac{\Delta R}{200}}$$

$g$  = DISTANZA MASCHERA  
SUBSTRATO

ESPOSIZIONE IN PROIEZIONE

$$d_{m,m} = \frac{0,8 \lambda}{NA}$$



#### 4. SVILUPPO

CONSISTE NELLA RIMOZIONE DEL RESIST SOLUBILE DOPO L'ESPOSIZIONE

RESIST POSITIVI  $\rightarrow$  ZONA ESPOSTA

RESIST NEGATIVI  $\rightarrow$  ZONA NON ESPOSTA  $\Rightarrow$  E' UN PASSAGGIO CRITICO IN QUANTO GLI SVILUPPI TENDONO A GONFIARE E FARI STACCARE IL RESIST.

#### 5 COTTURA $\rightarrow$ POST BAKING

SI TRATTA DI UN PROCEDIMENTO CHE MIGLIORA LA RESISTENZA DEL RESIST AGGI ATTACCH CHIMICI E FISICI. VENGONO INDOTTI CAMBIAMENTI SIA CHIMICI CHE FISICI E SI HA LA RIMOZIONE TOTALE DEL SOLVENTE RESIDUO.

QUELLO DESCRITTO FINO AD ORA E' UN PROCESSO DI FOTOLITOGRAFIA, SONO STATE SVILUPPATE SUCCESSIVAMENTE ALTRE TECNICHE QUALI:

#### - LITOGRAFIA A FASCI ELETTRONICI

SI RAGGIUNGE UNA RISOLUZIONE DI 0,4  $\mu$ m. VIENE USATO UN CANNONE PER LA GENERAZIONE DEL FASCIO. SI HANNO NOTEVOLI VANTAGGI.

- MINORE EFFETTO DOVUTO ALLA DIFFRAZIONE ( $\lambda$  E' MINORE)

- SI PUO' LAVORARE DIRETTAMENTE SUL WAFER CONTROLLANDO IL FASCIO DI SCRITTURA

- SI HA LA POSSIBILITA' DI POSIZIONARE ACCURATAMENTE SCRITTORE SUCCESSIVE ATTENUANDO PROBLEMI CONNESSI CON L'ALLINEAMENTO DI FASE TECNOLOGICHE SUCCESSIVE

SI HANNO PERO' ANCHE SVANTAGGI

- PEGGIORAMENTO RISOLUZIONE TEORICA DOVUTO ALLO SCATTERING NEL WAFER

- SI POSSONO AVERE RIGONFIAMENTI NEL RESIST

- TECNOLOGIA LENTA E COSTOSA

LA PROCEDURA DI SCANSIONE DEL WAFER SEGUE LA TECNICA DELLA SCANSIONE A PETTINE O VERO IL PENNELLO ELETTRONICO E' MOSSO IN UNA SOLA DELLE DIREZIONI PLANARI E IL WAFER E' MOSSO NELL'ALTRA. IL FASCIO E' ACCESSO SE SI VUOLE IMPRESSIONARE IL RESIST ALTRIMENTI NO. I RESIST USATI IN QUESTO CASO SONO POLIMERI IN GRADO DI SUBIRE MODIFICHE

CHIMICHE-FISICHE IN SEGUITO ALL'INTERAZIONE CON GLI ELETTRONI. I CAMBIAMENTI SONO

- CROSS-LINKING TRA CATENE LATERALI
- ROTTURE DELLE CATENE POLIMERICHE

RESIST POSITIVI  $\Rightarrow$  SI HANNO SCISSIONI DELLA CATENA POLIMERICA, MOSTRANDO UNA DIMINUIZIONE DEL PESO MOLECOLARE CON UN AUMENTO DELLA SOLUBILITÀ NELLO SVILUPPO

RESIST NEGATIVI  $\Rightarrow$  CROSS-LINKING DELLE CATENE CON AUMENTO DI PM E RIDUZIONE DELLA SOLUBILITÀ DI SVILUPPO

### - LITOGRAFIA A RAGGI X

SI USANO RADIAZIONI NEL CAMPO X POICHÉ HANNO UNA  $\lambda$  COMPRESA TRA I 0,1 E 10 Å PER CUI CONSENTONO DI RIDURRE LA RISOLUZIONE FINO A 0,25  $\mu\text{m}$ . LA SORGENTE È COSTITUITA DA UN TARGET METALLICO CHE VIENE COLPITO DA UN CANNONE ELETTRONICO. LE SORGENTI X SONO ISOTROPE E DANNO FASCI NON COLLIMATI, INOLTRE I RAGGI X NON POSSONO ESSERE FOCALIZZATI. SI HANNO PROBLEMI DI PENOMBRA E L'ERRORE DI PARALLASSE ASSOCIATI ALLA GEOMETRIA ED ALLE CARATTERISTICHE DELLA SORGENTE DI RAGGI X

$$S = \left( \frac{\lambda}{D} \right) \cdot \omega \quad \text{ZONA DI PENOMBRA}$$

$\omega$  = ampiezza dell'asse sorgente

$$\Delta = \left( \frac{\lambda}{D} \right) \cdot r \quad \text{ERRORE DI PARALLASSE}$$

$r$  = distanza dell'asse della sorgente

UN PROBLEMA FONDAMENTALE È RAPPRESENTATO DALLA PRODUZIONE DELLE MASCHERE CHE PRESENTANO PROBLEMI PER LA SCELTA DEL MATERIALE DI SUPPORTO E DEL MATERIALE ASSORBENTE. È UN PROCESSO GLOBALE DI ESPOSIZIONE DEL WAFER E PERTANTO PIÙ VELOCE. SI HANNO ALTRE RISOLUZIONI

### - LITOGRAFIA A FASCI IONICI

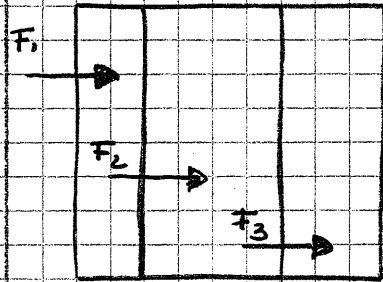
RISOLUZIONE TEORICA FINO A 0,2  $\mu\text{m}$ .

# OSSIDAZIONE TERMICA 01-10-2015

↳ AVVIENE IN FORNI PER L'OSSIDAZIONE

## MODELLO DI DEAL & GROVE (OSSIDAZIONE TERMICA)

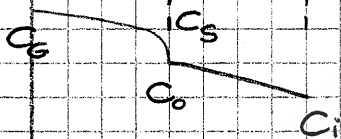
QUESTO MODELLO DESCRIVE MATEMATICAMENTE LA CRESCITA DI UNO STRATO DI OSSIDO SULLA SUPERFICIE DI UN MATERIALE DELLO SPECIFICO SUL SILICIO. IL MODELLO ASSUME CHE LA REAZIONE DI OSSIDAZIONE AVVIENE ALL'INTERFACCIA TRA OSSIDO E SUBSTRATO PIUTTOSTO CHE TRA AMBIENTE E OSSIDO.



$F_1$  = SPECIE OSSIDANTE DALLA FASE GASSOSA  $\Rightarrow$  INTERFACCIA GAS/OSSIDO

$F_2$  = SPECIE OSSIDANTE DALLA FASE OSSIDO  $\Rightarrow$  INTERFACCIA OSSIDO/SILICIO.

$F_3$  = "CONSUMO" SPECIE OSSIDANTE: REAZIONE ALL'INTERFACCIA OSSIDO/SILICIO.



$$F_1 = R(C^* - C_0) \rightarrow \text{Per ricavare le si considerano}$$

$$\text{LEGGE DI FICK} \rightarrow F_1 = -D_g \nabla C = -D_g \frac{\partial C}{\partial x}$$

$$F_1 dx = -D_g dC$$

$$F_1 s = +D_g [C_g - C_s]$$

$$F_1 = \frac{D_g}{s} [C_g - C_g]$$

CONSIDERANDO LA LEGGE DI HENRY E DEI GAS PERFETTI SI RICAVA

$$C^* = H P_g = H K T C_g$$

$$C_0 = H P_s = H K T C_s$$

QUINDI SI HA

$$F_1 = \frac{D_g}{s H K T} (C^* - C_0)$$

NB. LE PRESSIONI LE RICAVO DA

$$P V = n R T$$

$$= N_A K T$$

$$N_A / V = C = P / K T$$

$$F_3 = \frac{D}{x_0} [C_0 - C_i] \quad \text{CON } x_0 = \text{SPESSORE STRATO OSSIDO}$$