

# Il processo fotolitografico

---



Francesco Biagini

Ph.D student

[francesco.biagini@phd.unipi.it](mailto:francesco.biagini@phd.unipi.it)

Dipartimento di ingegneria  
dell'informazione – Università di Pisa

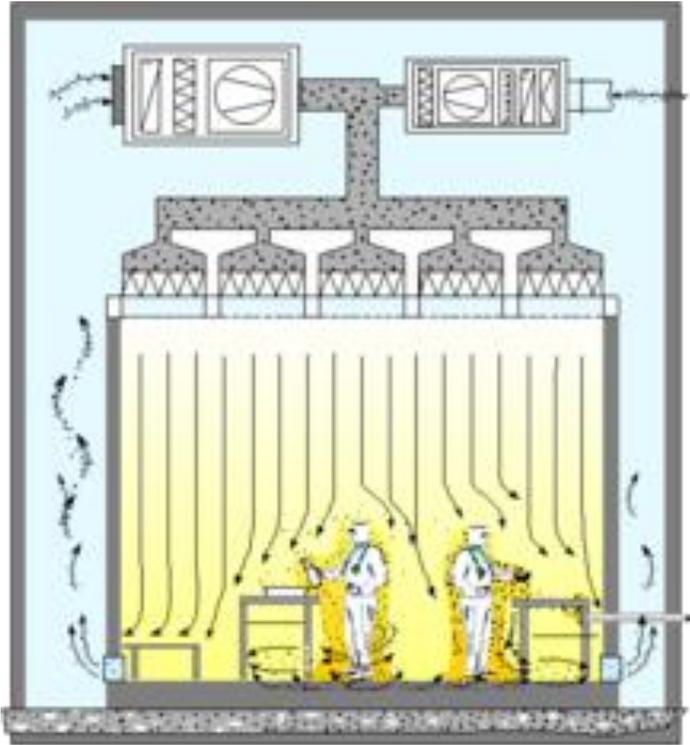
Centro di ricerca Enrico Piaggio

# Il processo fotolitografico

## **Composto nelle seguenti fasi:**

- Stesura del resist
- Precottura
- Esposizione del resist attraverso la maschera
- Sviluppo
- Cottura
- Attacco della zona del resist non protetto
- Rimozione del resist

# Il processo fotolitografico – Camere pulite



**Classificate con dei numeri :**

**1, 10, 100, 1000**

**Più la camera è efficiente, più filtrazioni ci sono (e.g. la camera di tipo 1 ha tre filtrazioni più un passaggio in un criostato)**

# Il processo fotolitografico – Pulizia

## Tre passaggi:

1. Acetone



**Rimozione dei grassi**

2. Soluzione  
piranica



**Rimozione strato di ossido**

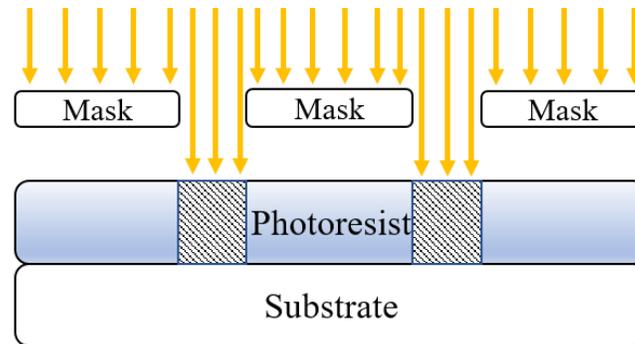
3. Etanolo



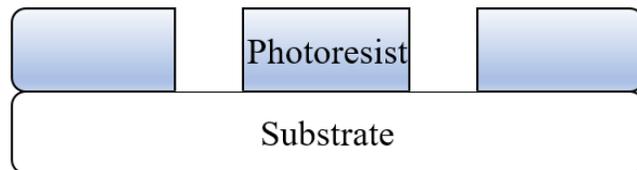
**Rimozione impurità**

# Il processo fotolitografico – Fotoresist

## Fotoresist: resina fotosensibile

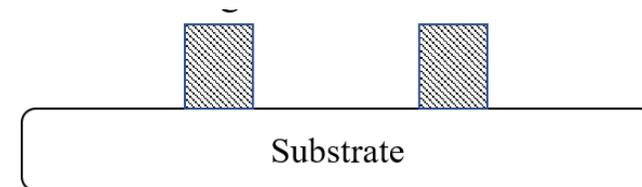


### Positivo



*e.g. Novalac*

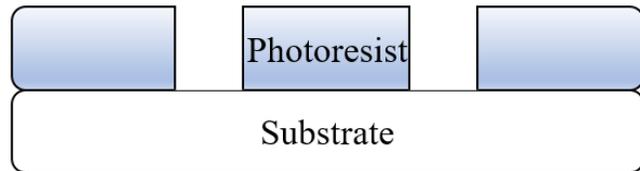
### Negativo



*e.g. Irgacure*

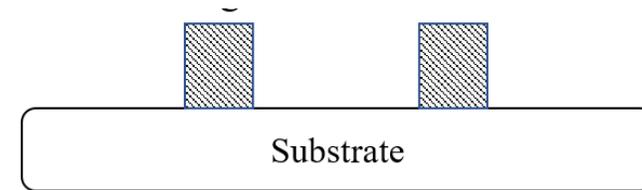
# Il processo fotolitografico – Fotoresist

## Positivo



- *Strutture fino 40-50  $\mu\text{m}$*
- *Rimuovibile con acetone*
- *L'ossigeno non influenza la reazione mentre alte temperature rendono difficile lo sviluppo*

## Negativo



- *Strutture fino 500  $\mu\text{m}$*
- *Rimuovibile per carbonizzazione (1375°C)*
- *L'ossigeno interagisce con i radicali del fotoresist impedendo la reazione di crosslinking*
- *Lo sviluppo tende a far rigonfiare il resist favorendo il sottoattacco*
- *Sono necessari bassi livelli di radiazione*

# Il processo fotolitografico – Fotoresist

## Stesura del fotoresist



$$sp = \frac{KS^2}{\sqrt{V}}$$

- *K è un coefficiente legato alla viscosità del fotoresist e alla macchina*
- *S è la percentuale di componente solida del fotoresist*
- *V è la velocità di rotazione*

# Il processo fotolitografico – Fotoresist

## Stesura del fotoresist



**Si utilizzano due velocità:**

Velocità di prima stesitura  
(5 s)

Velocità di rifinitura  
(15-25 s)

# Il processo fotolitografico – Soft Baking

## **Fase di precottura**

Eliminazione del solvente prima della radiazione  
(No focalizzazione)

Tempistiche ben precise

- Per poco tempo non rimuovo il solvente
- Per troppo tempo danneggio la struttura (soprattutto il fotoresist positivo che una temperatura di attivazione sugli 80°C)

# Il processo fotolitografico – Soft Baking

## Fase di precottura

- **Hotplate (Conduzione)**
- **Infrarosso**
- **Microonde**

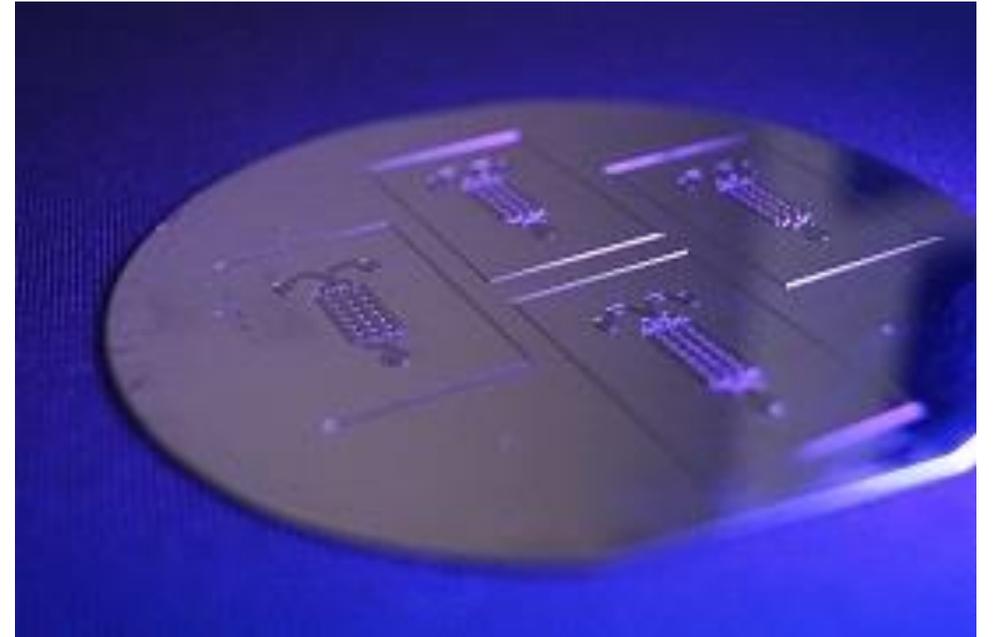


Creazione di bolle per il sistema di hotplate e microonde

# Il processo fotolitografico – Esposizione

## Tipologie di maschere

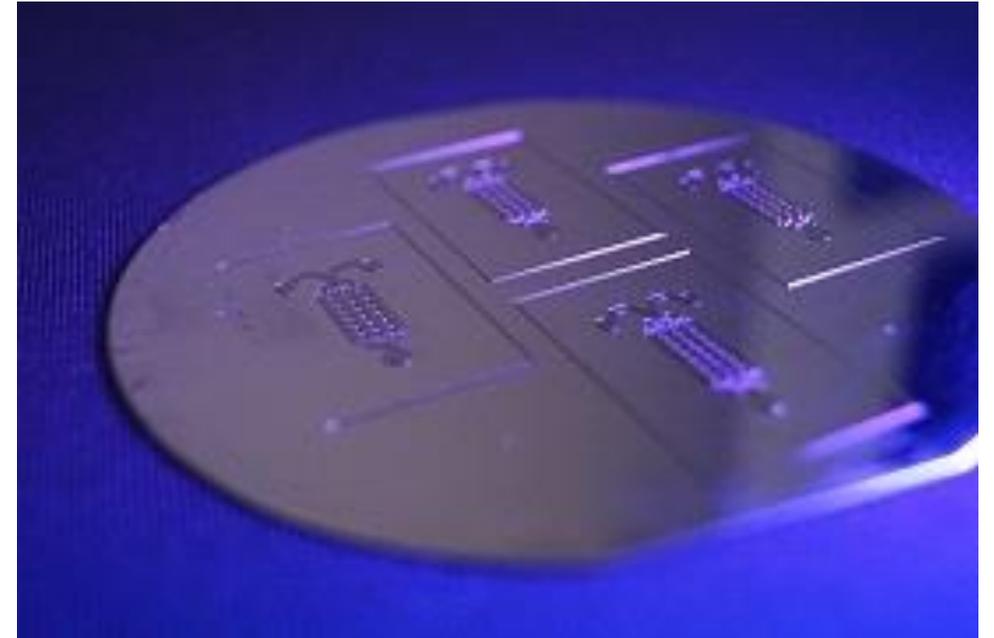
- **A contatto**
- **Esposizione in prossimità**
- **Esposizione per proiezione**



# Il processo fotolitografico – Esposizione

## Problemi della proiezione

- **Errore di proiezione**
  - Bisogna considerare i rapporti tra le distanze
- **Effetto di penombra**
  - Sfumature dei bordi
  - Migliorabile andando ad orientare la maschera
- **Effetto di parallasse**
  - La presenza di un materiale cambia la distribuzione dei raggi (Diffrazione)



# Il processo fotolitografico – Esposizione

$$Q = It$$



- $I$  : intensità della dose
- $t$  : tempo di esposizione

$$\gamma = \frac{1}{\log\left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)}$$



- $Q_2$  : quantità di dose per cui si ha l'esposizione completa
- $Q_1$  : quantità minima di energia per far partire il processo

# Il processo fotolitografico – Esposizione

## Risoluzioni

- Lampade UV : **25  $\mu\text{m}$**
- Fasci di elettroni : **1  $\mu\text{m}$**
- Fasci ionici : **0,1  $\mu\text{m}$**
- Fasci atomici : **fino al nanometro**

# Il processo fotolitografico – Esposizione

## Risoluzioni

$$d_{min} = 15 \sqrt{\frac{\lambda}{200}}$$



**Metodo in contatto**

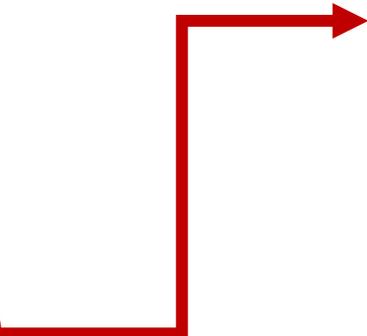
$$d_{min} = \frac{0,8\lambda}{NA}$$



**Metodo in  
prossimità o  
esposizione**

# Il processo fotolitografico – Esposizione

## Risoluzioni

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


### Apertura numerica

- Numero adimensionale che definisce il massimo angolo utile al sistema
- Per una foto precisa NA deve essere piccolo e quindi un fascio più concentrato
- Essendo la maschera il punto di focalizzazione, riesco a calcolarmi NA

# Il processo fotolitografico – Sviluppo

## **Rimozione del resist solubile dopo l'esposizione**

- Passo critico per i resist negativi in quanto gli sviluppi tendono a far rigonfiare ed a distaccare il resist esposto
- Temperatura ed agitazione sono parametri che influenzano lo sviluppo del resist

# Il processo fotolitografico – Cottura

**Procedimento che migliora le qualità di resistenza del film polimerico agli attacchi chimici e fisici**

- T intorno ai 120-150 °C
- Viene eliminato totalmente il solvente residuo
- Possibili cricche dovute a stati di tensione interni
- Possibili cali di spessore dovuti alla deidratazione