

# Perchè il sol-gel

- ☞ Può essere depositato su **qualsunque substrato** con tecniche semplici e disponibili.
- ☞ È di facile ed **economica** realizzazione
- ☞ Caratteristiche fisico-chimiche **adattabili** alle necessità.
- ☞ È possibile drogare il materiale risultante con sostanze che conferiscano proprietà fisiche particolari quali nonlinearietà o guadagno.



Il campo delle applicazioni potenziali del sol-gel è molto esteso, dai rivestimenti protettivi ad applicazioni in sensoristica o ottica integrata.

## Soluzione di partenza

Tetraetoxi-silano (TEOS)

Acqua (per l'idrolisi)

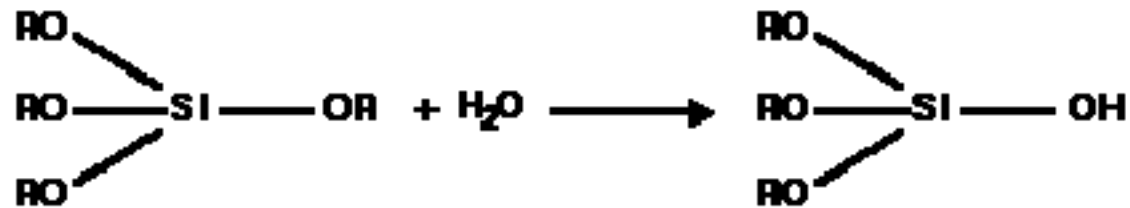
HCl (come catalizzatore)

Acetilacetone

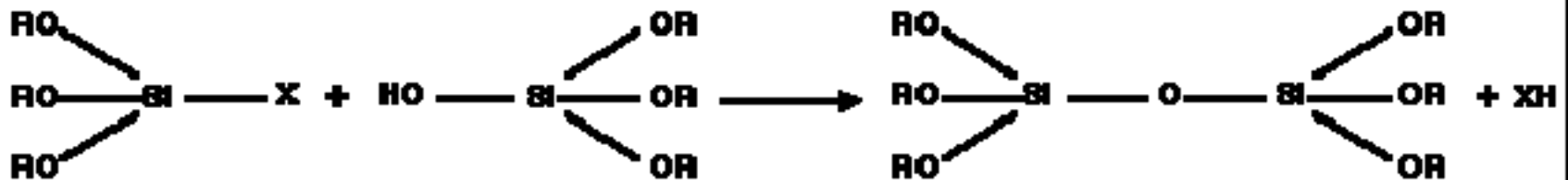
Butilato di titanio  $[\text{Ti}(\text{n-Obu})_4]$

Il titanio permette di **variare l'indice di rifrazione** fra 1.45 (silice pura) e 2.3 ( $\text{TiO}_2$ ).

# La reazione sol-gel

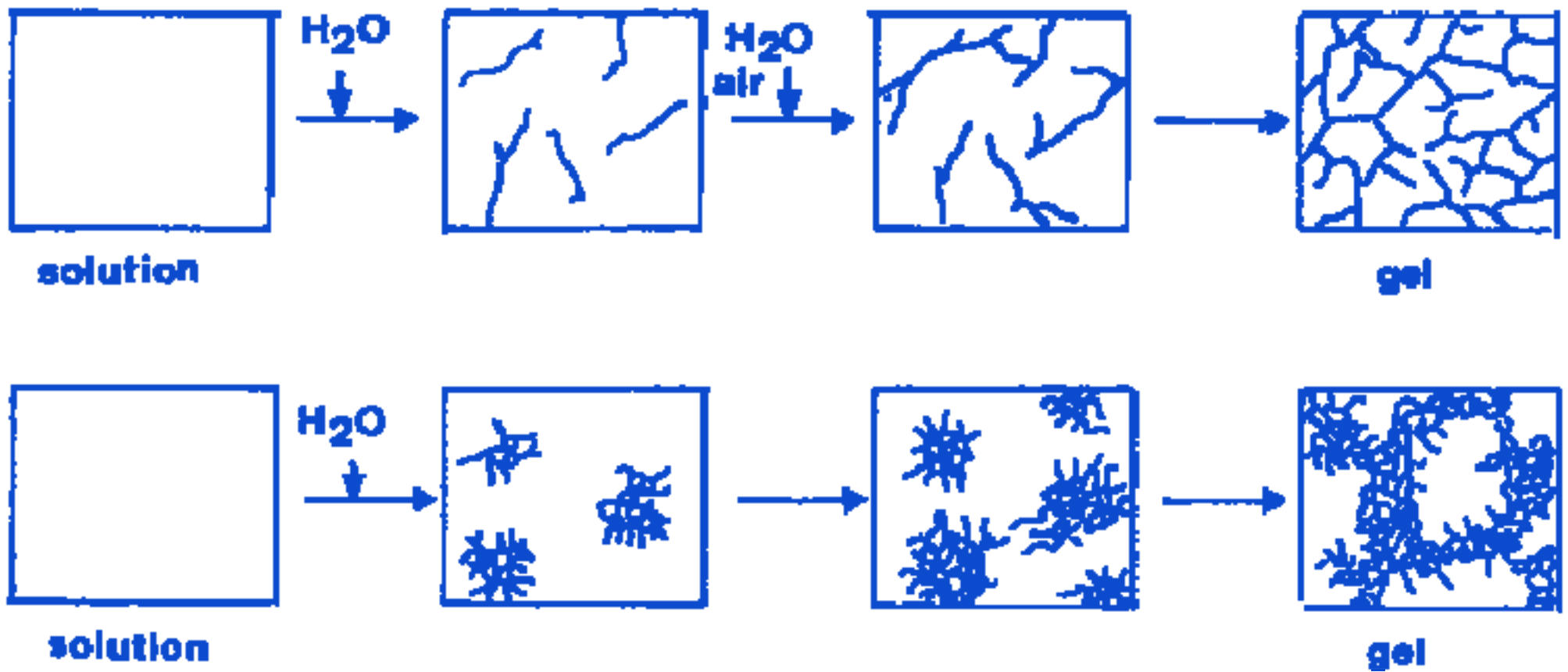


Il TEOS viene idrato in soluzione alcolica, in presenza di HCl come catalizzatore.

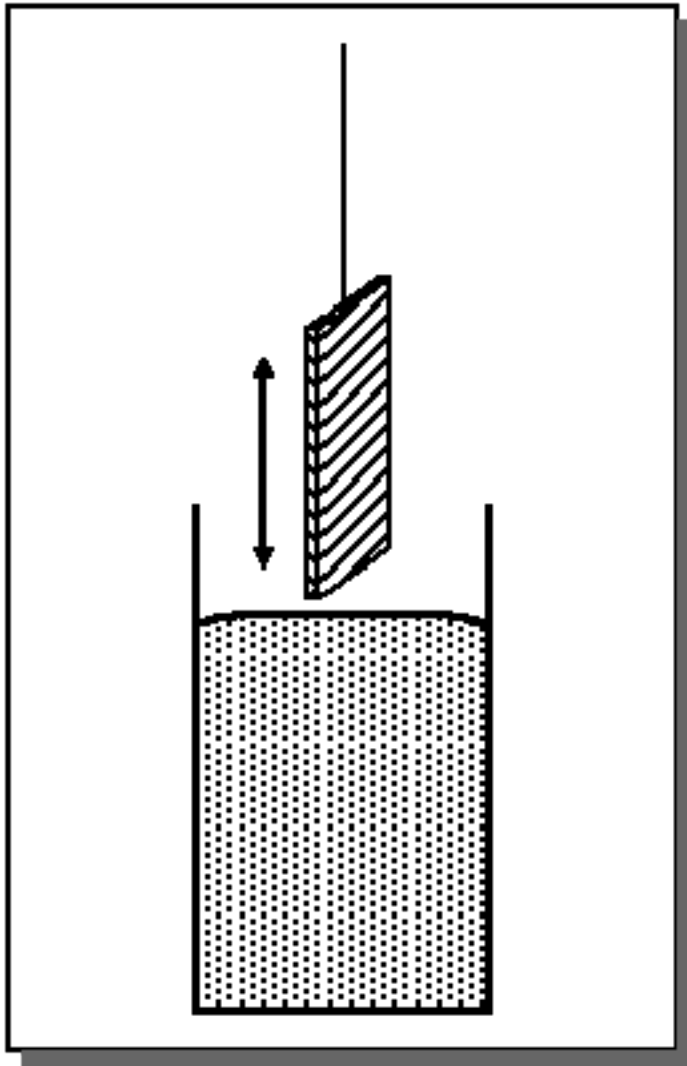


Il gruppo OH reagisce con un gruppo alcossido o OH e forma un nuovo legame.

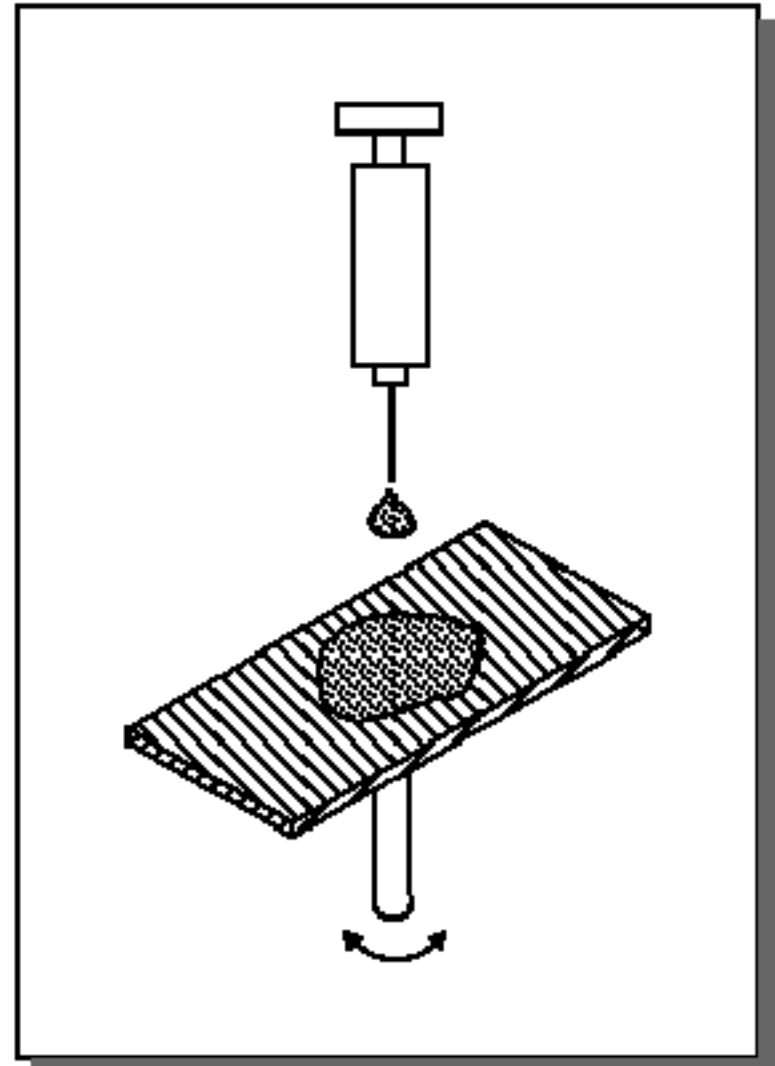
# Gelificazione



# Deposizione di un film sol-gel

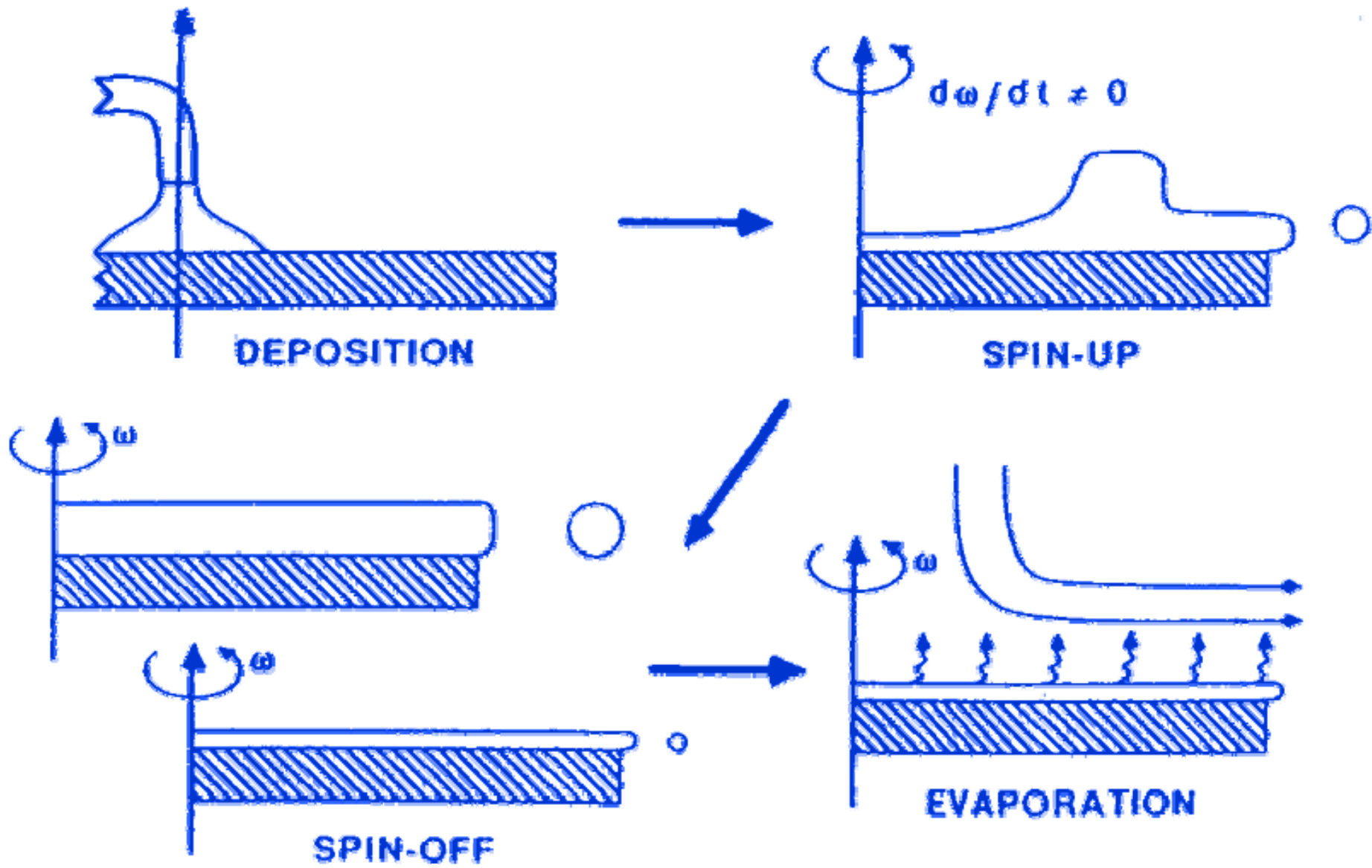


**Dipping**

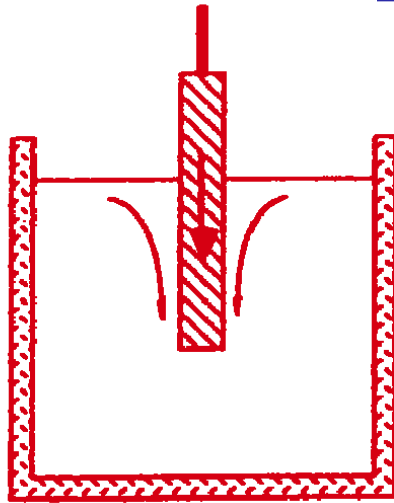


**Spinning**

# Spinning

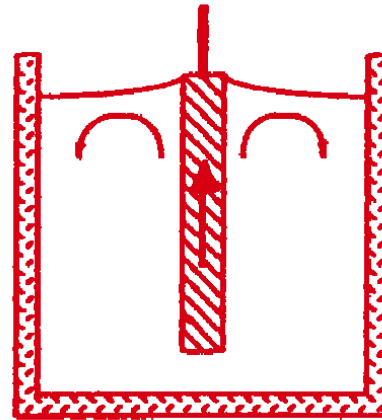


# Dipping



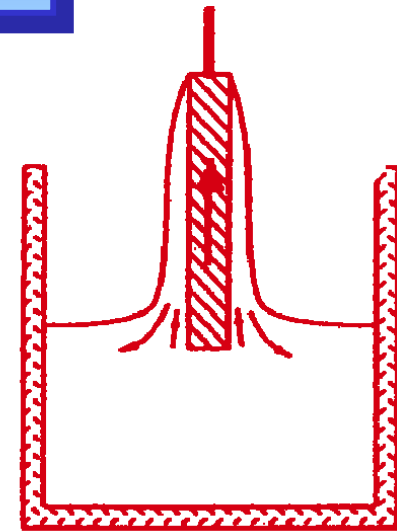
**IMMERSION**

(a)



**START-UP**

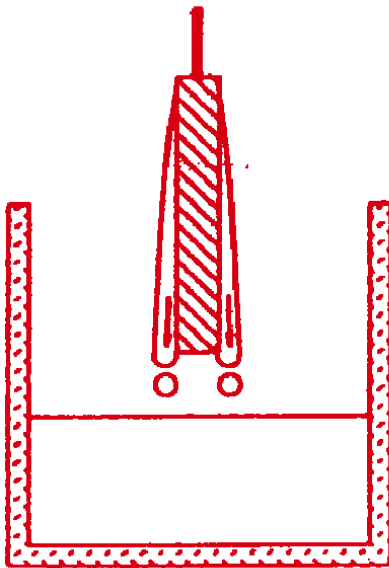
(b)



**DEPOSITION & DRAINAGE**

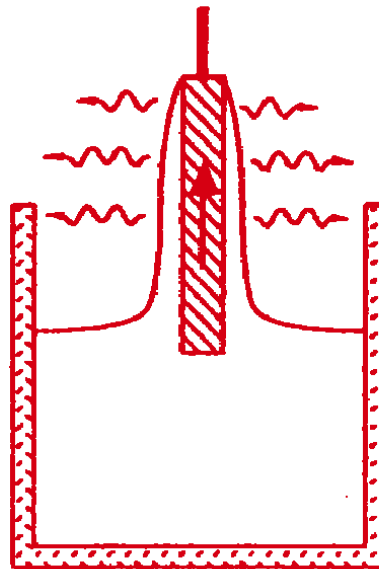
(c)

$$d = Av^{2/3}$$



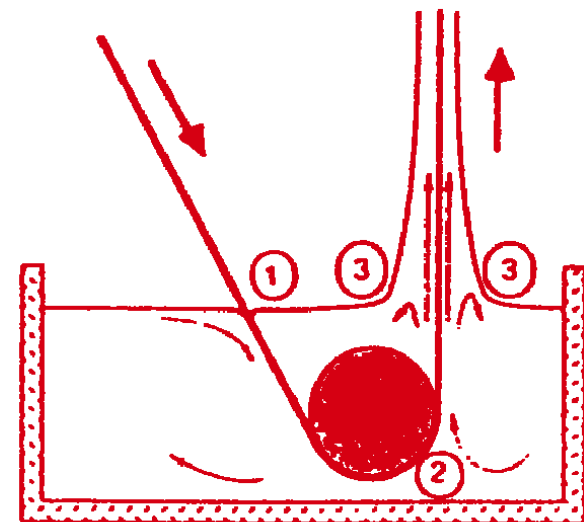
**DRAINAGE**

(d)



**EVAPORATION**

(e)



**CONTINUOUS**

(f)

# Realizzazione di una guida sol-gel

Con il 30 % di  $\text{TiO}_2 \Rightarrow n \approx 1.65$

Spessore

Spinning :  $\approx 0.09 \mu\text{m}$

Dipping :  $\approx 0.15 \mu\text{m}$

Spessore non sufficiente per una guida multimodale

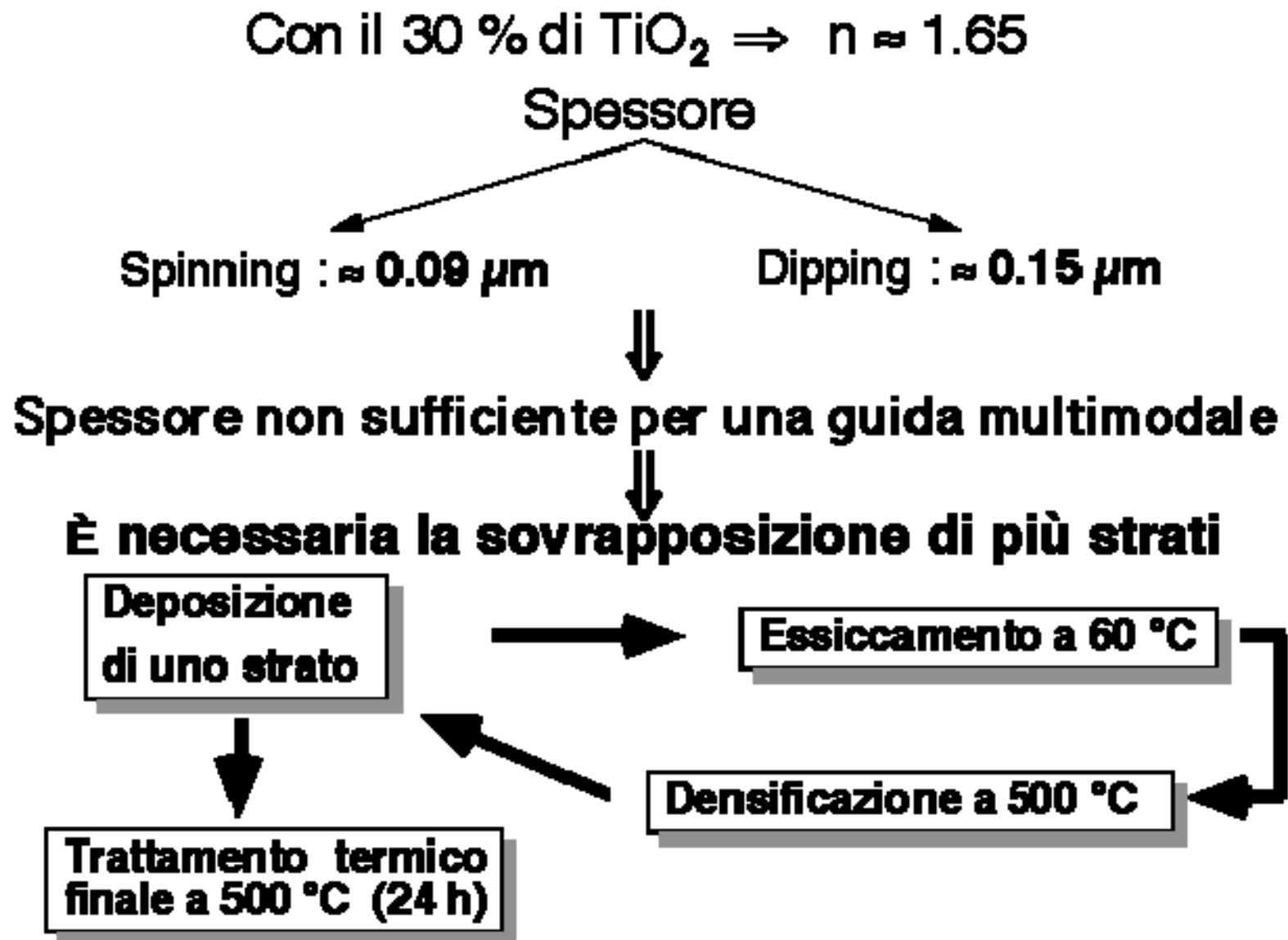
È necessaria la sovrapposizione di più strati

Deposizione  
di uno strato

Essiccamento a  $60^\circ\text{C}$

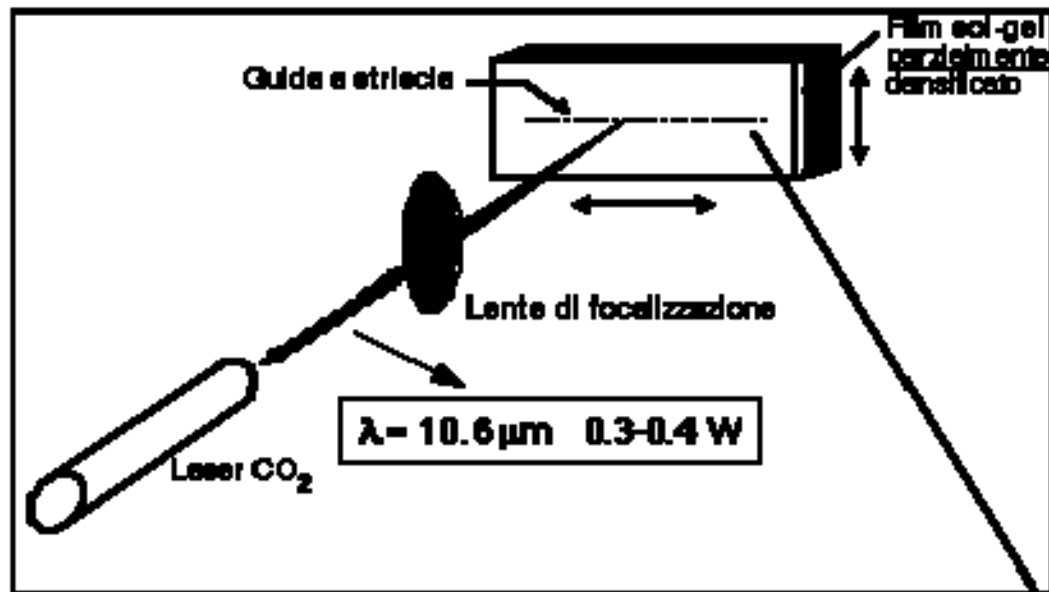
Densificazione a  $500^\circ\text{C}$

Trattamento termico  
finale a  $500^\circ\text{C}$  (24 h)

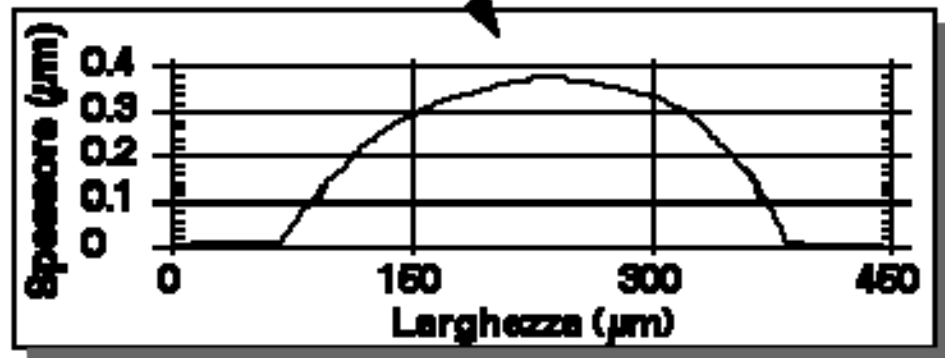




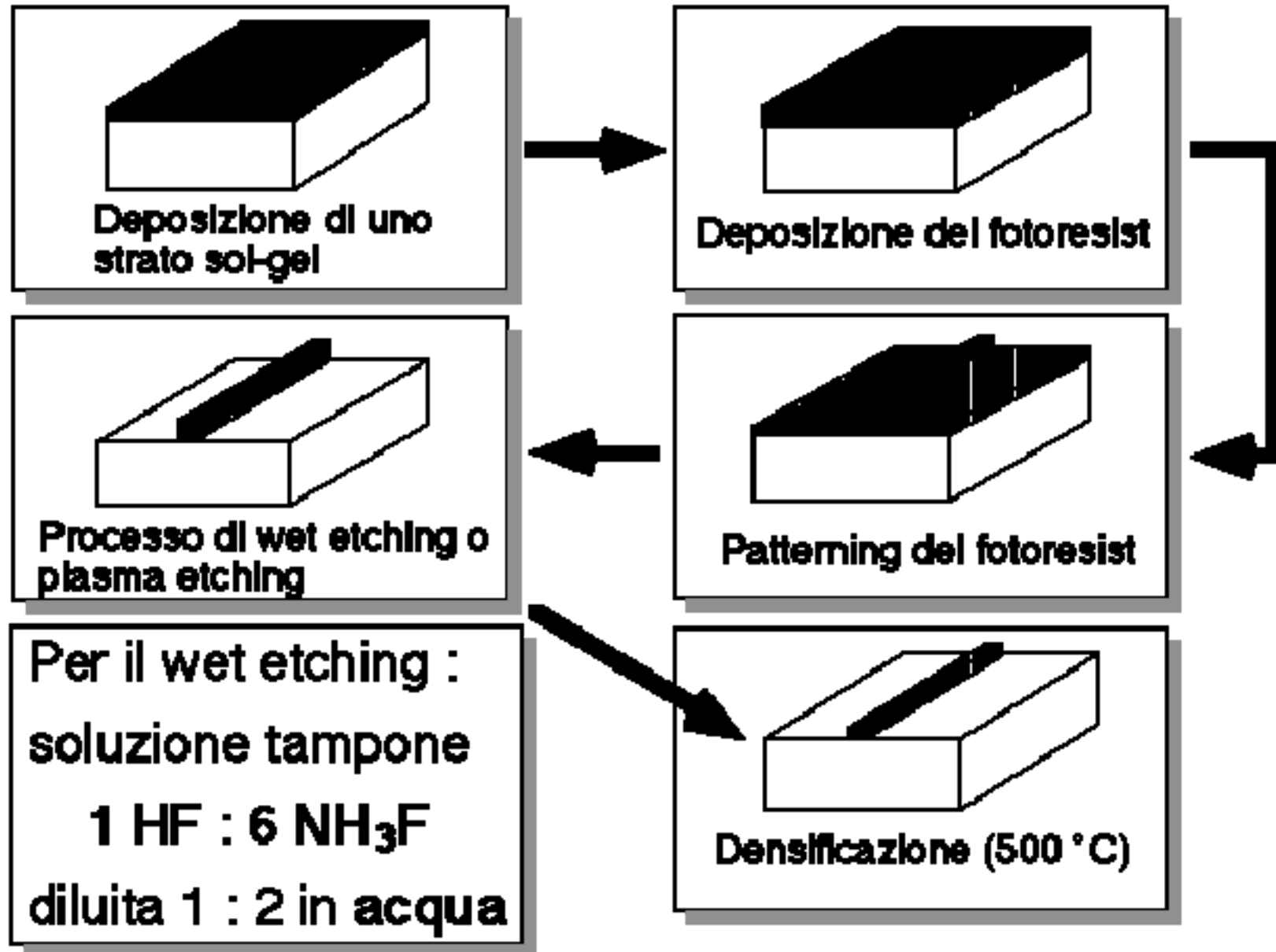
# Guide a canale mediante scrittura diretta laser



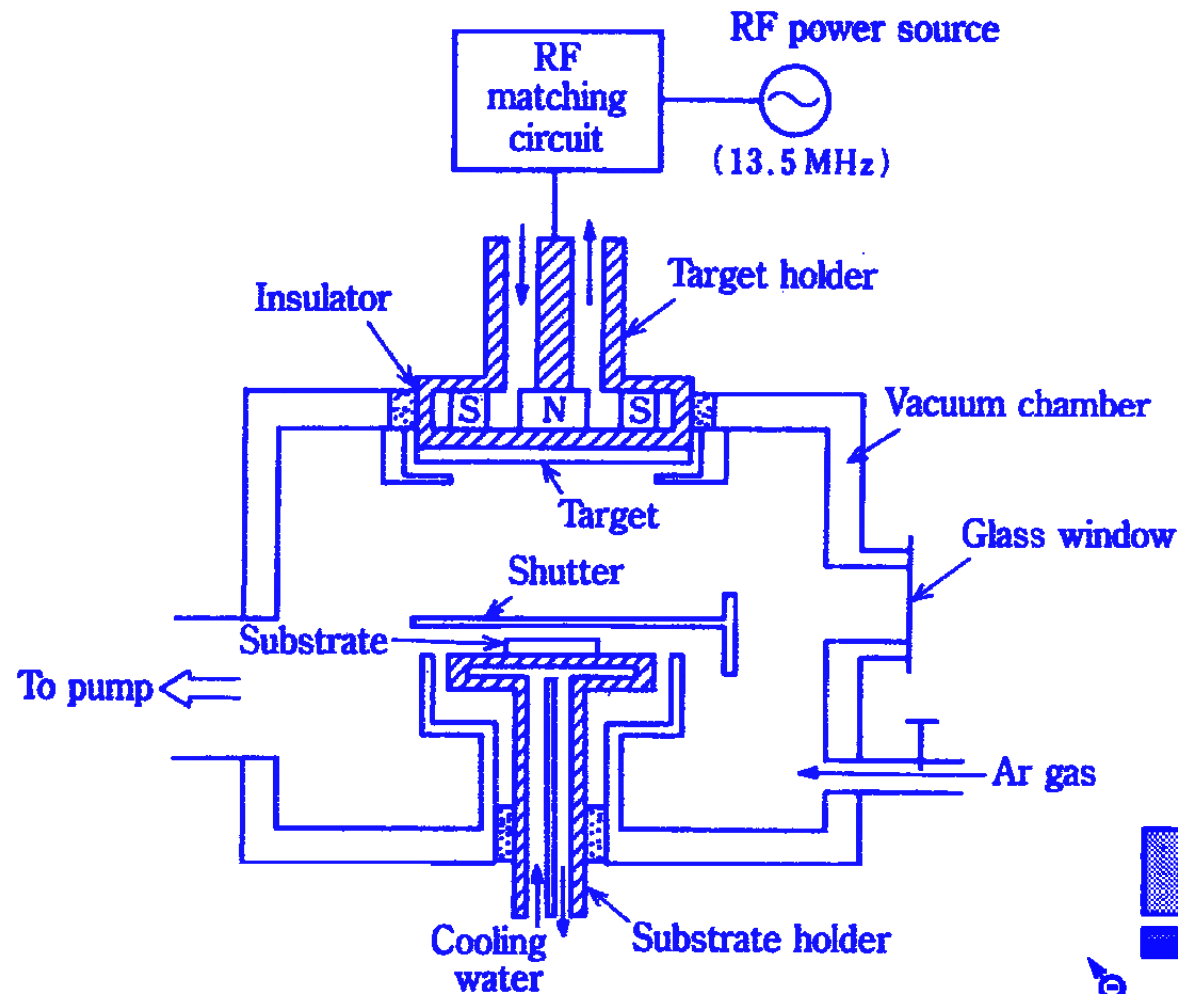
La tecnica **non**  
richiede **processi**  
**fotolitografici**



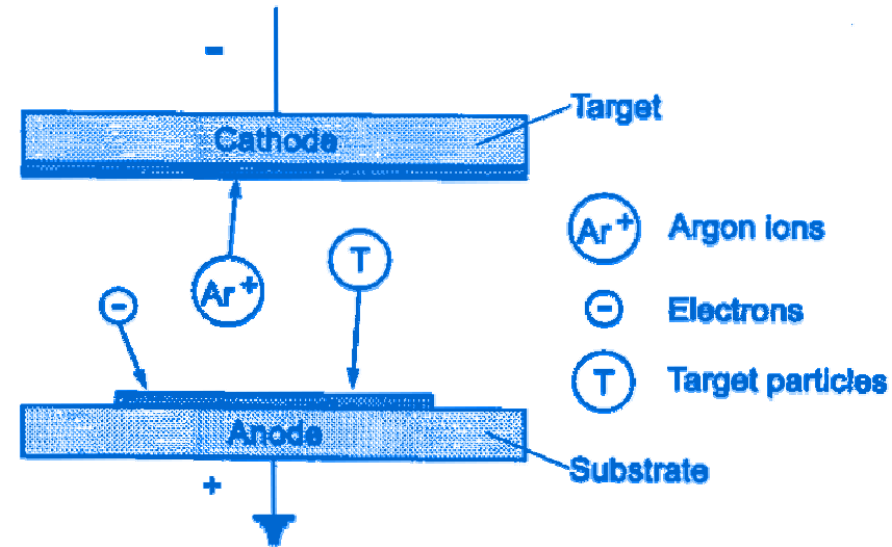
# Guide a canale mediante tecniche fotolitografiche



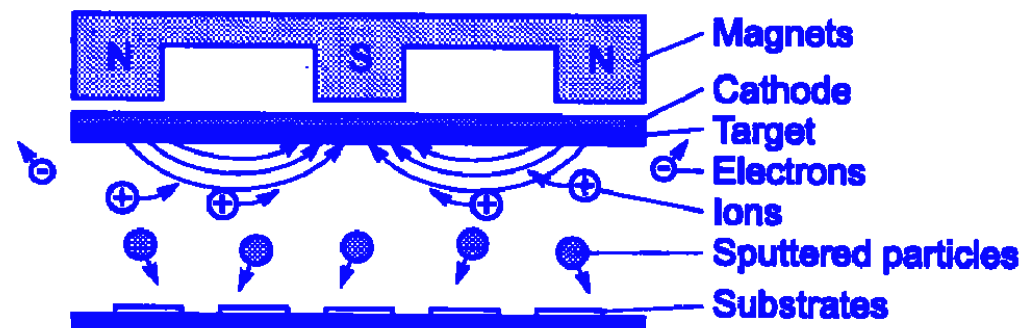
# Sputtering



## A diodo



## Magnetron



# Condizioni di sputtering : **pressione**

$P < 1 \text{ mTorr}$  : regime **balistico**

Libero cammino medio lungo  $\Rightarrow$  **poche collisioni**  $\Rightarrow$  **Alta energia ioni**

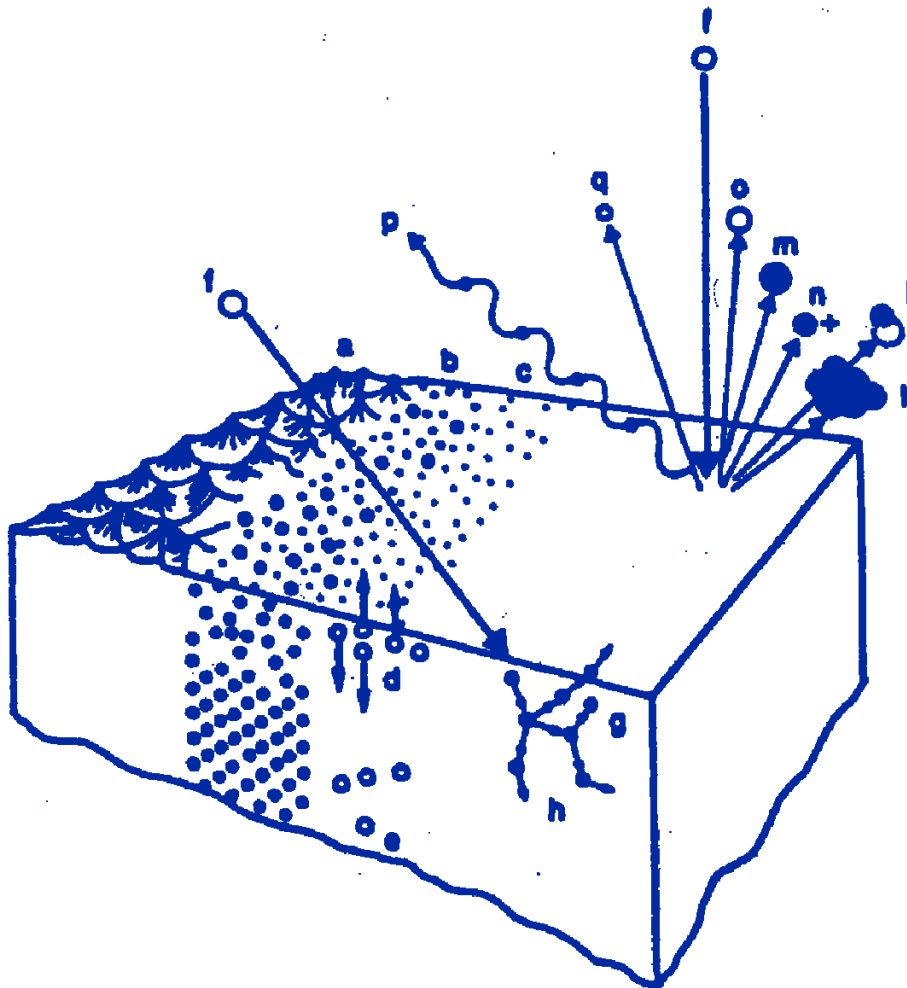
Film risultano a **grana fine** e aderenti.

$P > 1 \text{ mTorr}$  : regime **diffusivo**

Libero cammino medio corto  $\Rightarrow$  **molte collisioni**  $\Rightarrow$  **Bassa energia ioni**

Film risultano a **grana grossa** e meno aderenti.

# Sputtering:interazioni superficiali



- a) Perturbazione della topografia superficiale
- b) Distribuzione dell'ordine cristallino in monocristalli e creazione di difetti
- c) Reazioni chimiche superficiali
- d) Adsorbimento e desorbimento
- e) Implantazione dei proiettili
- f) Proiettili
- g) Meccanismi di trasferimento dell'energia dal proiettile al materiale materiale emesso
- h) Trasformazione in energia termica del target dell'energia ceduta dal proiettile
- i) Prodotti pesanti dello sputtering, molecole
- l) Prodotti pesanti dello sputtering, molecole cluster
- m) Prodotti pesanti dello sputtering, atomi del target
- n) Prodotti pesanti dello sputtering, ioni del target
- o) Prodotti pesanti dello sputtering, proiettili riflessi
- p) Fotoni
- q) Elettroni

## Condizioni di sputtering: **energia**

➤ **Bassa** ( $E < 20\text{-}50\text{ eV}$ )

➤ **Moderata** ( $50 < E < 1000\text{ eV}$ ): Knock on

Si ha una reazione a catena per la emissione degli ioni dal target.

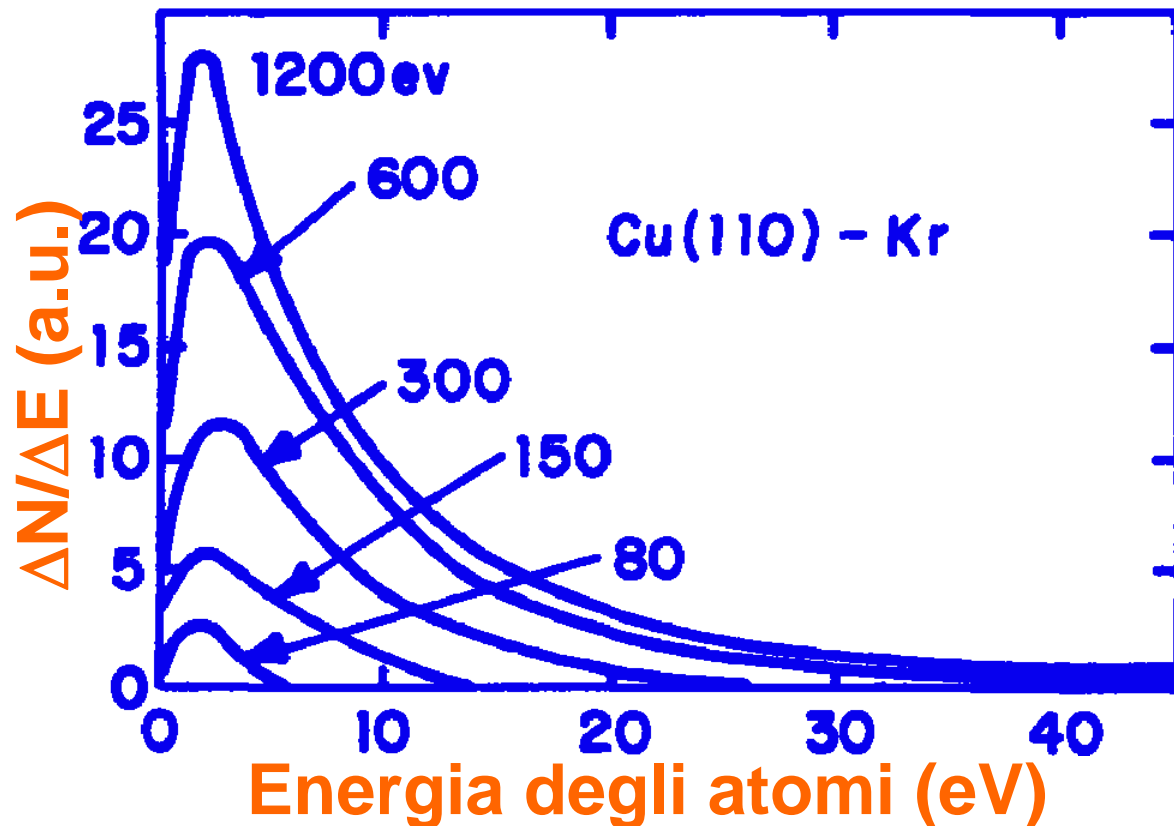
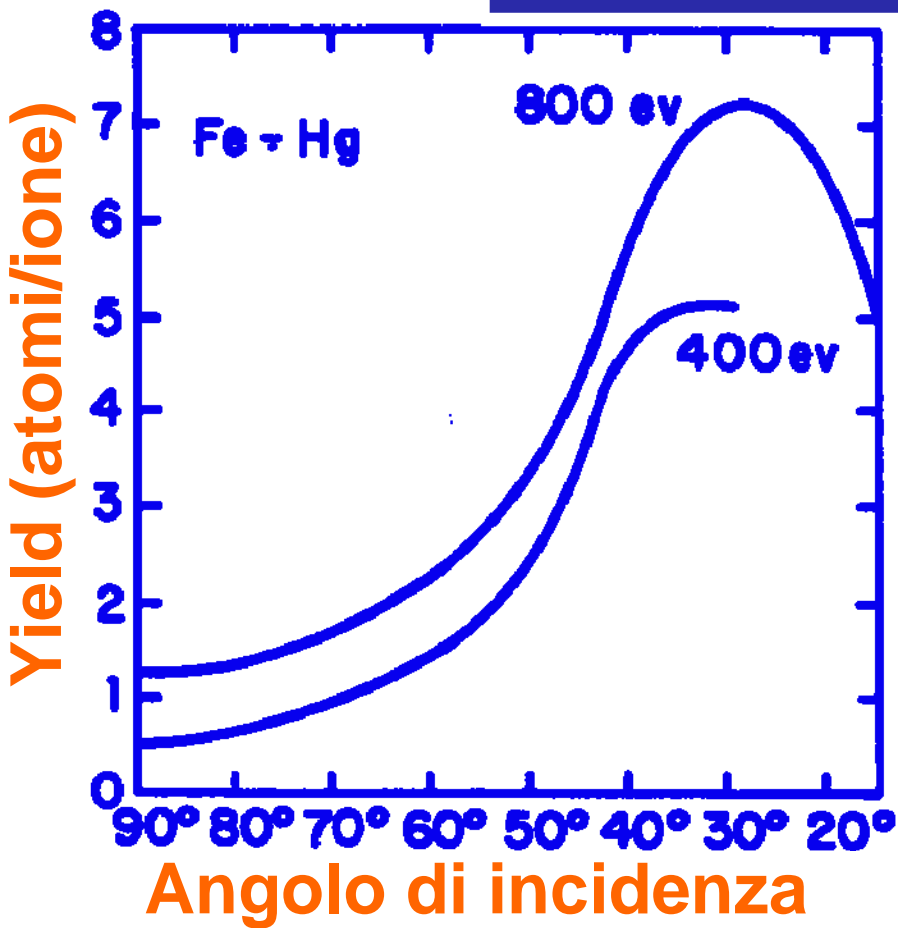
➤ **Alta** ( $1\text{ KeV} < E < 50\text{ KeV}$ )

Ogni ione libera più particelle dal target

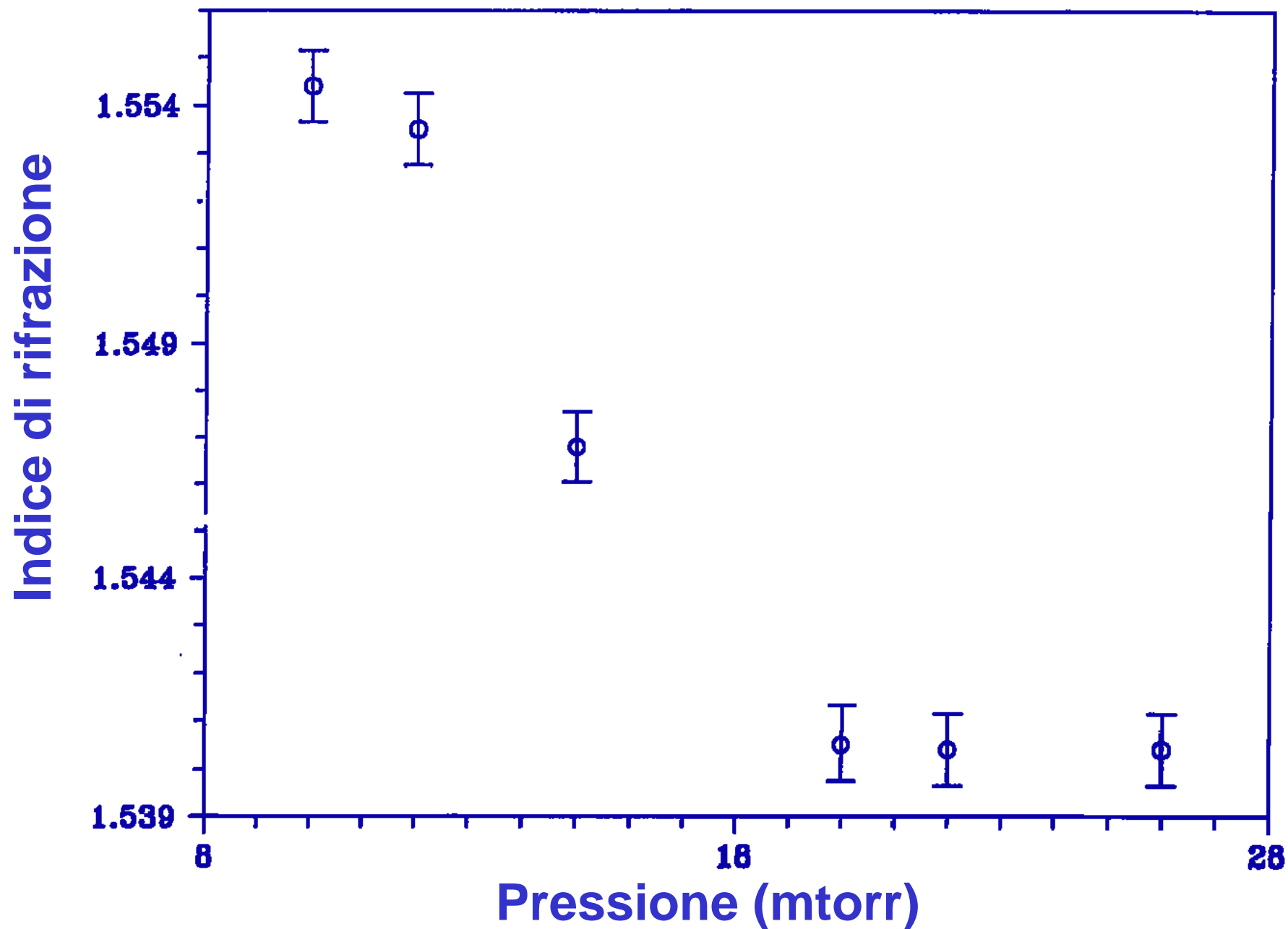
➤ **Molto alta** ( $E > 50\text{ KeV}$ )

Gli ioni si **impiantano** nel target  $\Rightarrow$  rate di deposizione basso.

# Yield e energia degli atomi



## Condizioni di sputtering: **pressione**





# Sputtering: materiali

Non tutti i materiali hanno lo stesso rate di sputtering.

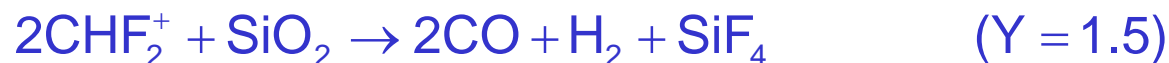
Alcuni esempi (riferiti al rame=1):

| Materiale                      | Rate |
|--------------------------------|------|
| Cu                             | 1.00 |
| Al                             | 0.77 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.16 |
| Cr                             | 0.65 |
| Fe                             | 0.52 |
| Ni                             | 0.70 |
| SiO <sub>2</sub>               | 0.49 |
| Ti                             | 0.41 |

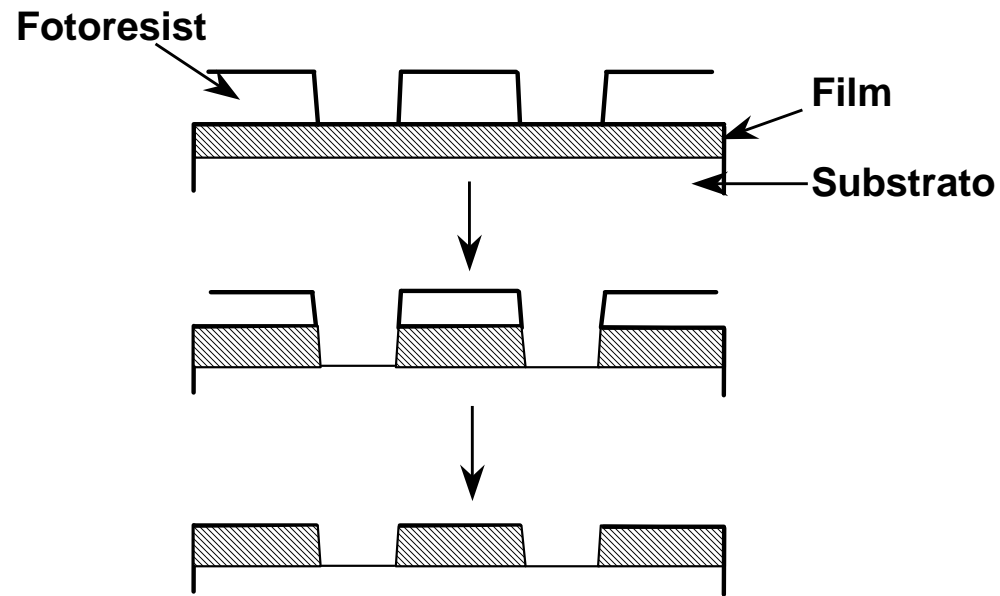
# Lo sputtering all'incontrario: il **Reactive Ion Etching**

- Apparato del tutto simile a quello di un sistema di sputtering a diodo, ma il substrato è al posto del target.
- Vengono normalmente immessi gas **reattivi** con il substrato da processare.
- + Gas **inerti** (es.: Ar)  $\Rightarrow$  processo **+fisico** e **anisotropo**
- + Gas **reattivi** (es.: CHF<sub>3</sub>)  $\Rightarrow$  processo **+chimico** e **isotropo**
- È importante la **selettività** di etching fra maschera e substrato.

Per un vetro sodico-calcico si usano solitamente **Ar** e **CHF<sub>3</sub>** o **CF<sub>4</sub>**:



# Tecnica di etching



## Parametri principali

- **Velocità** di etching
- **Selettività** del processo
- **Anisotropia** del processo
- Eventuali **danni** ai materiali

# Etching chimico

- **Velocità** proporzionale alla concentrazione della soluzione
- Buona **selettività**
- Processo **isotropo** (non si ottengono buoni risultati per spessori > 1 micron)

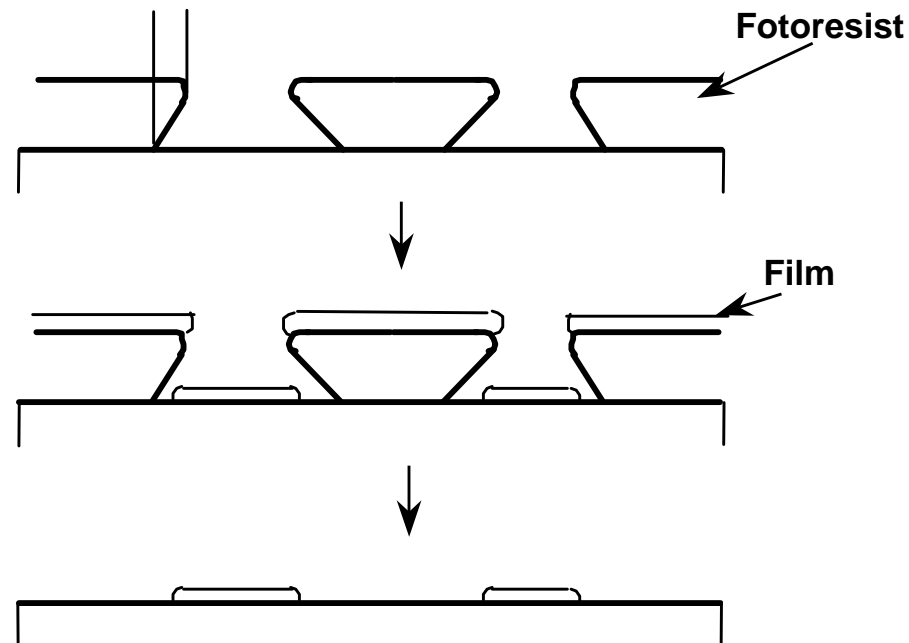
## Soluzioni usate più comunemente

$\text{NH}_4 : \text{HF}$  in  $\text{H}_2\text{O}$  (10:1)  $\longrightarrow$  **Vetro, silice,  $\text{LiNbO}_3$**

$\text{HF} : \text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}$  (1:1:50)  $\longrightarrow$  **Alluminio, Titanio**

$\text{H}_3\text{PO}_4 : \text{HNO}_3 : \text{CH}_3\text{COOH} : \text{H}_2\text{O}$  (16:1:2:1)  $\longrightarrow$  **Cromo**

# Tecnica lift-off



- Tecnica che non richiede apparati di etching appositi
- Patterning **sub-micrometrico** possibile
- **Non** utilizzabile per film depositi ad **alta temperatura** o di **spessore maggiore** del fotoresist