



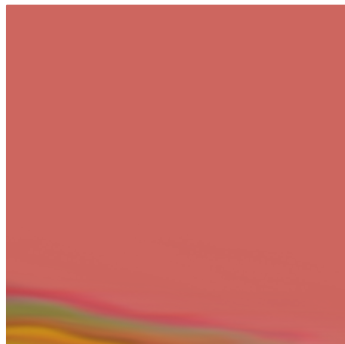
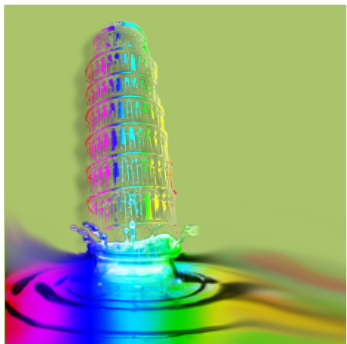
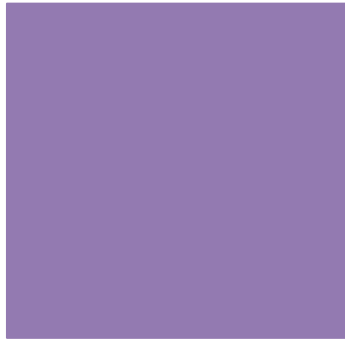
CENTRO E. PIAGGIO

Bioengineering and Robotics Research Center

# LIGA Process

---

G. Vozzi



# + LIGA process

La tecnica LIGA (acronimo tedesco per Lithographie, Galvanoformung, Abformung) si basa sulla litografia a raggi X.

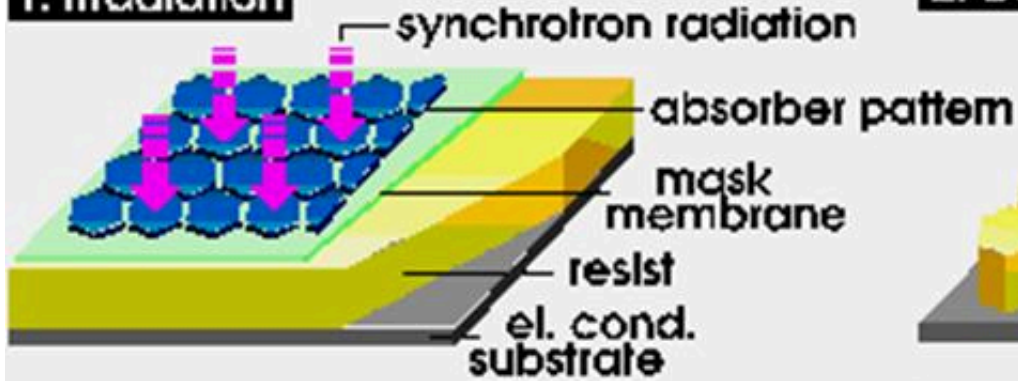
Esso combina la elettrodeposizione con la litografia a raggi X e fu realizzato per la prima volta da Romankiw all'IBM nel 1975. essi realizzarono strutture metalliche con alto aspect ratio. In pratica depositarono oro su strutture di fotoresist microfabbricate con la radiazione ai raggi X alte 20 micrometri. In realtà questo primo processo era il LIG. The abformung è la creazione dello stampo (moulding)

Lo sviluppo completo del processo LIGA lo si deve a Ehrfeld al Karlsruhe Nuclear Research Center nel 1982.

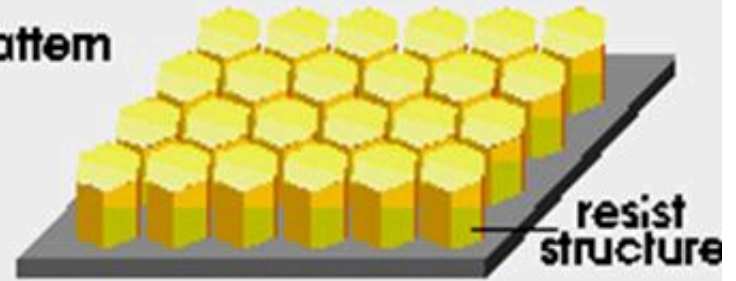
Questo metodo permette di realizzare microparti in metallo con un'elevata precisione.

# LIGA process

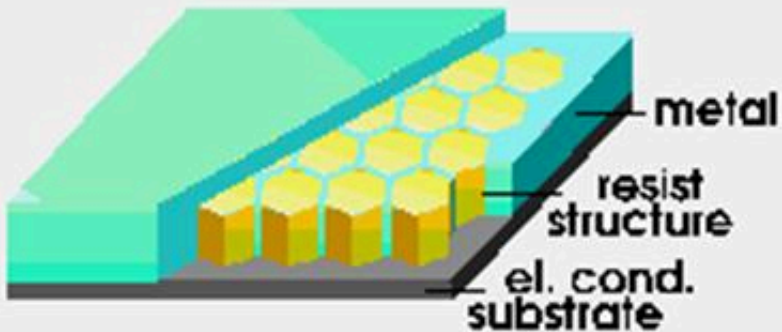
## 1. Irradiation



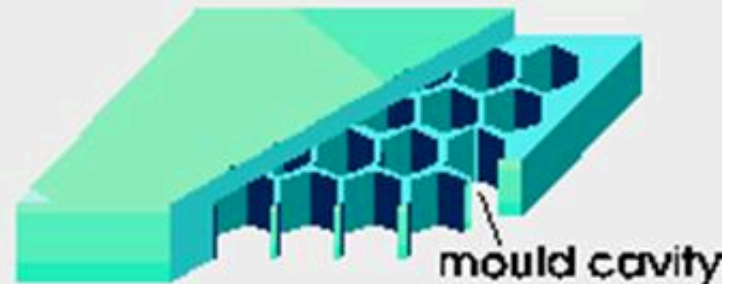
## 2. Development



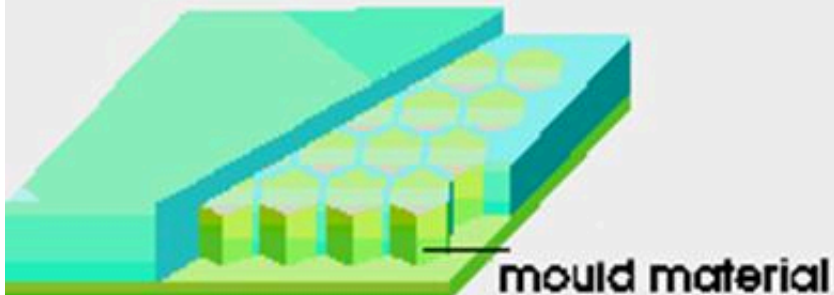
## 3. Electroforming



## 4. Mould insert



## 5. Mould filling



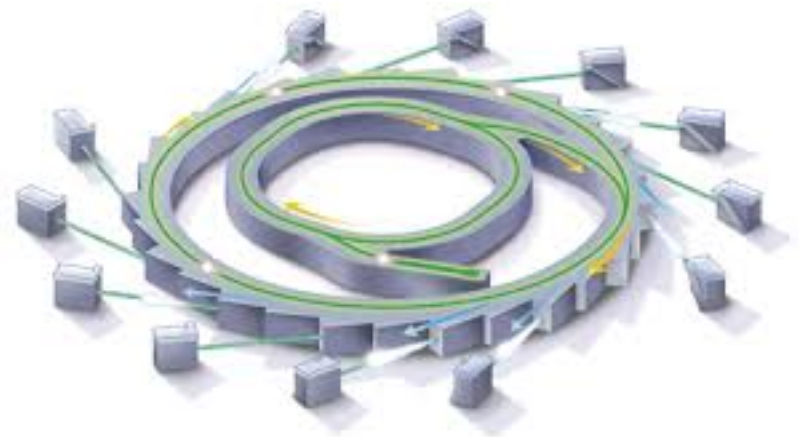
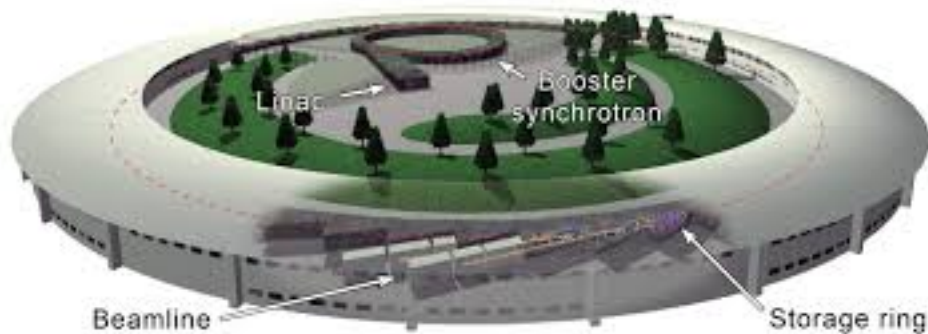
## 6. Mould separation



# La radiazione di sincontrone

La Litografia basata sulla radiazione di sincontrone combina l'impatto degli elettroni e le sorgenti al plasma per produrre raggi X.

La radiazione di sincrotrone o luce di sincrotrone è una radiazione elettromagnetica generata da particelle cariche, solitamente elettroni o positroni, che viaggiano a velocità prossime alla velocità della luce e vengono costrette da un campo magnetico a muoversi lungo una traiettoria curva. Tanto più elevata è la velocità della particella, tanto minore è la lunghezza d'onda della radiazione emessa e generalmente il picco dell'emissione avviene alle lunghezze dei raggi X. Il costo di un sincontrone ora è sui 30 milioni di dollari, ma in diversi paesi ne stanno sviluppando più piccoli ed a relativo basso costo.



# La radiazione di sincontrone

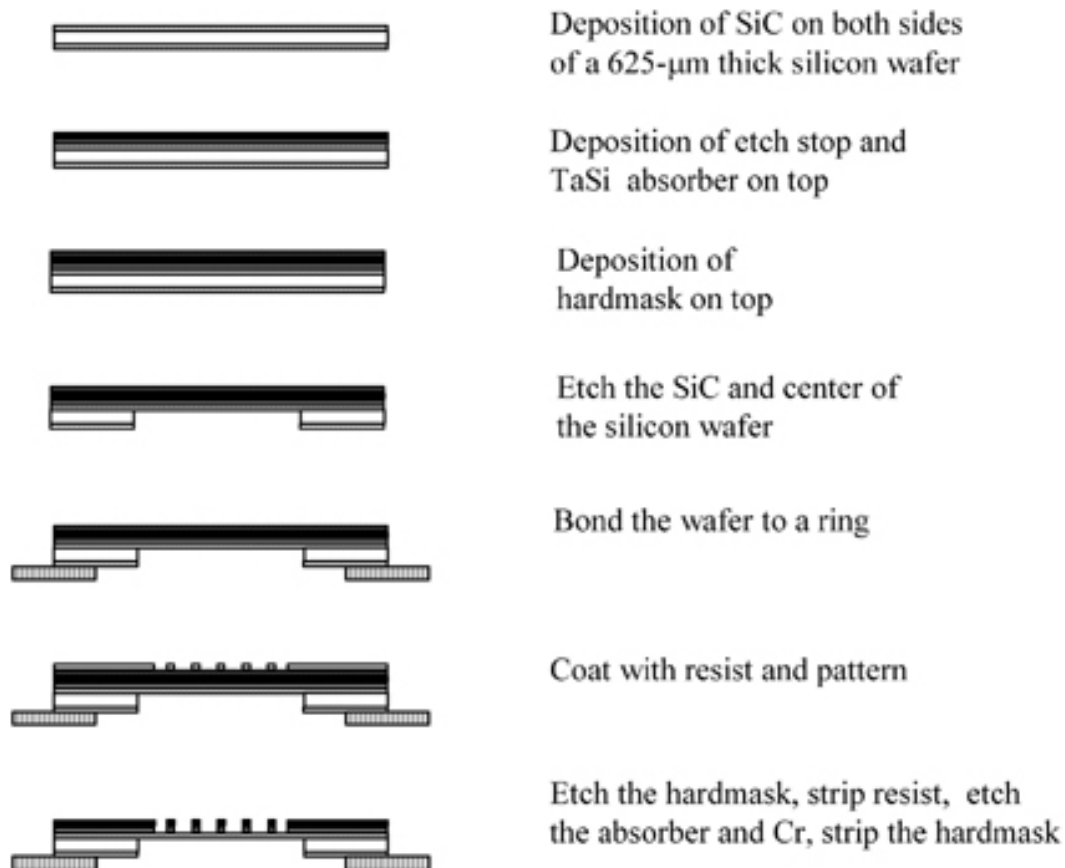
Tale sistema permette di avere un flusso energetico più alto di raggi X collimate quindi permette di ridurre i tempi di esposizione e fare produzione in larga scala.

Pro	Contro
È insensibile allo spessore del resist, al tempo di esposizione ed al tempo di sviluppo	I resist utilizzati non sono molto sensibili
Assenza di backscattering ed insensibilità al tipo di substrato usato, alla riflettività, alla topografia, alla polvere ed ai contaminanti	Le maschere sono difficili da realizzare e sono costose
Risoluzione inferiore a 0.2 micrometri	Richiede un forte investimento economico
Produzione in larga scala	Costi di mantenimento del sistema
	Può avere effetti negativi sull'ossido di silicio

# LIGA

## Produzione delle maschere

La produzione di maschere per la LIGA è uno degli aspetti più critici del processo, perché devono essere trasparenti alle radiazioni, quindi deve essere fatta di un sottile strato con numero atomico basso. Deve essere riutilizzabile, facilmente allineabile col master e rigida.



# LIGA

## Produzione delle maschere

	Litografia Cstabilità lassica	LIGA
Trasparenza	$\geq 50\%$	$>80\%$
Spessore del materiale assorbente	$\pm 1\mu\text{m}$	$10\mu\text{m}$ o di più
Area di lavoro	$50 \times 50\text{ mm}^2$	$100 \times 100\text{ mm}^2$
Resistenza alla radiazione	1	100
Rugosità superficiale	$< 0.1\mu\text{m}$	$< 0.5\mu\text{m}$
Stabilità dimensionale	$< 0.05\mu\text{m}$	$< 0.1-0.3\mu\text{m}$
Stress residuo nella membrana	$10^8\text{ Pa}$	$10^8\text{ Pa}$

In genere come materiale assorbente si usa l'oro

# LIGA

## Produzione delle maschere

Durante il processo di esposizione le maschere sono sottoposte ad una esposizione di di  $1 \text{ MJ/cm}^2$ . Questa elevata energia può distorcere le membrane ed indurre degli stress termici al loro interno per questo i materiali usati sono principalmente Si, SiNx, SiC, Diamante, BN, Be, Ti.

Le maschere in titanio e berillio sono utilizzate specificamente per i raggi X: per avere una buona esposizione del resist in PMMA di 500 micrometri vengono ricoperti da uno strato di berillio o titanio di 2 micrometri.

Il berillio ha modulo elastico maggiore di quello del titanio e poiché il prodotto del modulo elastico per lo spessore di materiale metallico è inversamente proporzionale alla distorsione della maschera, il berillio induce minori distorsioni.

Le maschere in berillio possono essere usate per 10.000 esposizioni con un costo che varia tra i 20.000 ed i 30.000 dollari a maschera.

IL nitrato di silicio presenta numerose impurità di ossigeno che sottoposte ai raggi x scaldano localmente la maschera e quindi alterano il processo di polimerizzazione del resist.

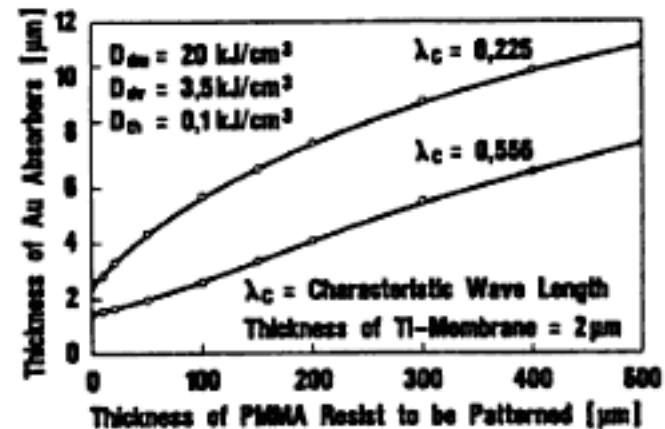
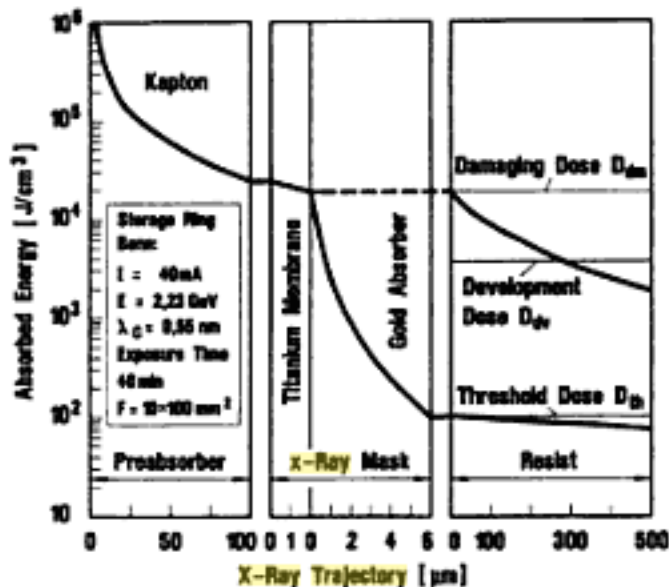


# LIGA

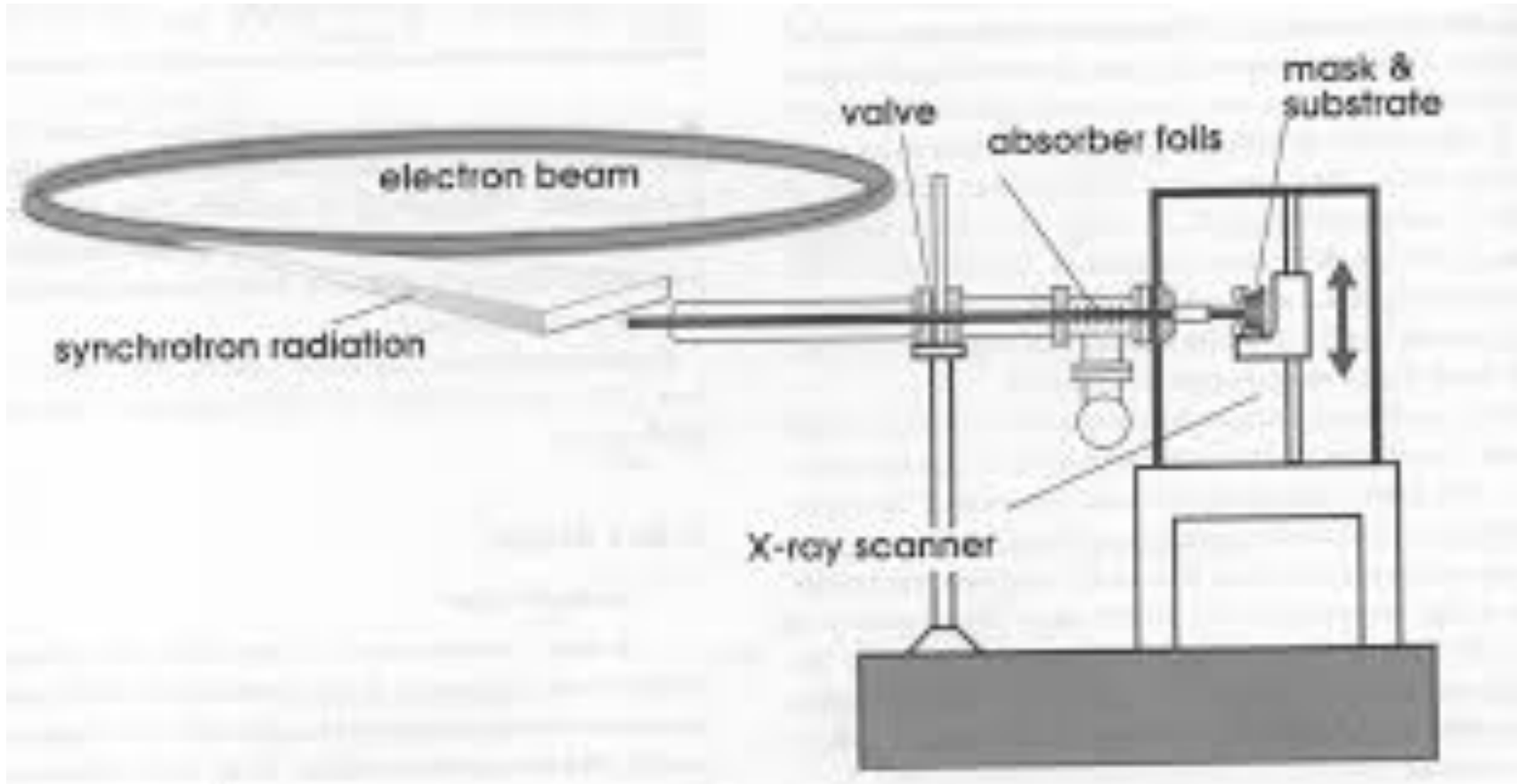
## Materiali assorbenti

I materiali assorbenti devono avere alta attenuazione, essere stabili sotto la radiazione per diverso tempo, facili da patternare, con bassa densità di difetti. I tipici materiali assorbenti sono l'oro, il tungsteno, il tantalio e loro leghe.

In genere la maschera per i raggi X è composta da un primo strato di preassorbente in genere Kapton, deposto su una membrana di titanio o berillio, al di sotto è deposto uno strato di oro e poi questa è a diretto contatto con il resist.



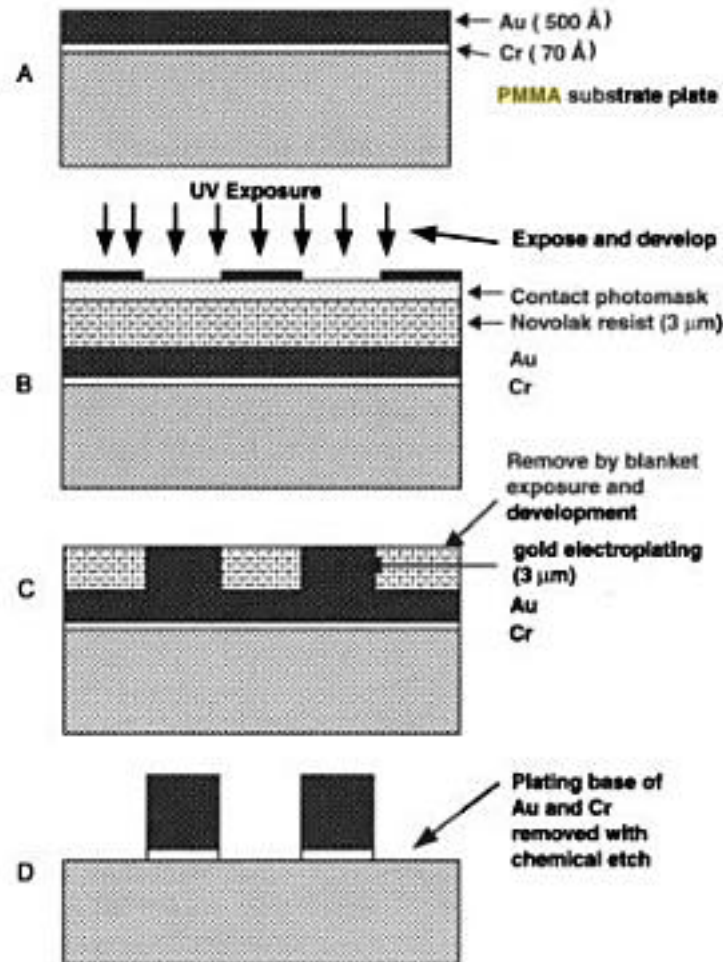
# LIGA





# LIGA

## Altra metodologia per la creazione delle maschere



### Passi tecnologici

- 1) Deposizione di cromo su PMMA
- 2) Deposizione di oro su Cromo
- 3) Deposizione di Novolak
- 4) Maschera UV a contatto
- 5) Esposizione agli UV
- 6) Rimozione novolak
- 7) Rimozione oro con soluzione di KI (5%) ed I(1.25%) in acqua
- 8) Rimozione del cromo per etching

# LIGA

## Caratteristiche del resist

IL resist deve essere altamente sensibile ai raggi X, essere resistente al dry and wet etching, stabile fino a 140°C, deve aderire bene al substrato di lavoro, ed essere compatibile col processo di elettrodeposizione, cioè avere una temperatura di transizione vetrosa maggiore di quella dell'elettrolita, avere bassi stress meccanici interni.

Il materiale che meglio risponde a questi requisiti è il PMMA ed i suoi copolimeri.

Sono stati usati anche composti come l'acido lattico poliglicolico (PLGA), il polimetacrilamide (PMI), il polioossimetilene (PMO) ed il polialchensulfone (PAS).

TABLE 6.7 Properties of Resists for Deep X-Ray Lithography

	PMMA	POM	PAS	PMI	PLG
Sensitivity	-	+	++	0	0
Resolution	++	0	--	+	++
Sidewall smoothness	++	--	--	+	++
Stress corrosion	-	++	+	--	++
Adhesion on substrate	+	+	+	-	+

Note: PMMA = poly(methylmethacrylate), POM = polyoxymethylene, PAS = polyalkensulfone, PMI = polymethacrylimide, PLG = poly(lactide-co-glycolide). ++ = excellent; + = good; 0 = reasonable; - = bad; -- = very bad.

# LIGA

## Deposizione del resist

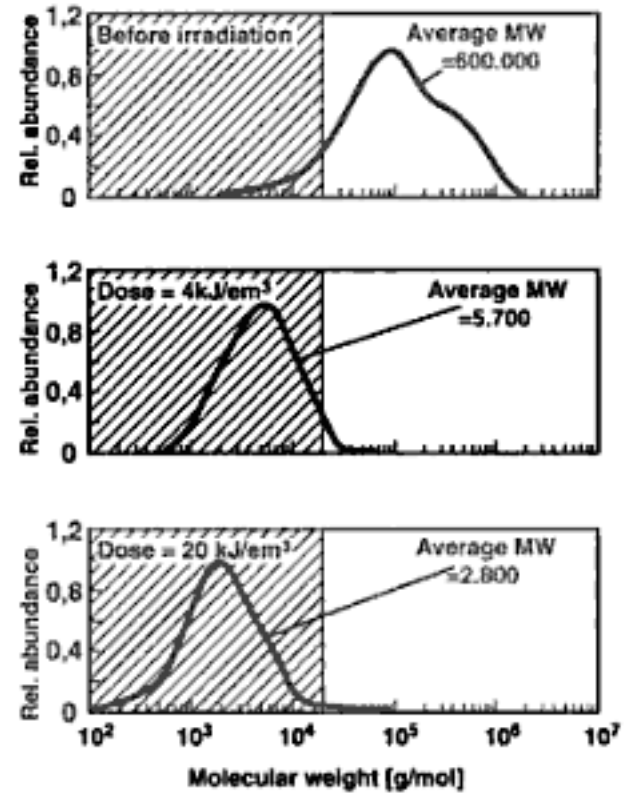
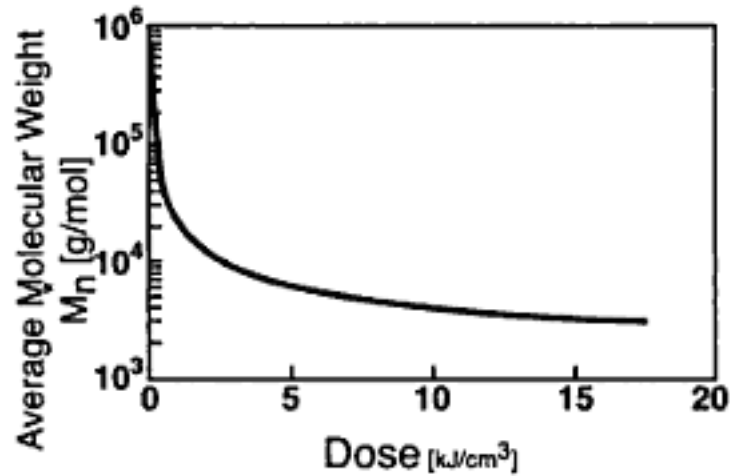
- Multiplo spin coating (20 micrometri massimo a strato e poi annealing termico)
- Uso di fogli commerciali di PMMA (> 3mm)
- Casting seguito da processo di messa sotto vuoto per eliminare ossigeno intrappolato

Per favorire l'adesione del resist allo strato metallico primario Au/Cr:

- 1) Trattamento con metacrilopropiltrimetossilano (MEMO) (1%) o con Idrossiethylmetacrilato (HEMA) miscelati già nel PMMA o posti sopra
- 2) A pressione con trattamento termico

# LIGA

## Esposizione



# LIGA

## Sviluppo

Il developer è composto da 1,4 oxazina 20 vol%, 2-aminoetanolo 5 vol%, 2-(2-butossietossi)etanolo 60 vol% and il restante acqua deionizzata.

Tale developer induce una lenta rimozione del resist esposto ed induce bassi stress in esso.

Poiché le strutture sono molto profonde e sottili per essere certi di rimuovere tutto il resist si utilizzano dei sistemi fluidici che permettono il flusso continuo del developer.

La fase di sviluppo deve avvenire a temperatura controllata di 35°C.



# LIGA

## Confronto tra tecniche

TABLE 6.9 Comparison of Micromolds

Parameters	LIGA	DUV	DRIE	Laser	CNC	EDM
Aspect ratio	100	22	10–25	<10	14 (drilling)	Up to 100
Wall roughness	<20 nm	~1 $\mu\text{m}$	~2 $\mu\text{m}$	1 $\mu\text{m}$ –100 nm	Several microns	0.3–1 $\mu\text{m}$
Accuracy	<1 $\mu\text{m}$	2–3 $\mu\text{m}$	<1 $\mu\text{m}$	A few microns	See Figure 7.2 (x,y only)	Some microns
Mask needed?	Yes	Yes	Yes	No	No	No
Maximum height	A few 100 $\mu\text{m}$ up to 1 cm	A few 100 $\mu\text{m}$	A few 100 $\mu\text{m}$	A few 100 $\mu\text{m}$	Unlimited	Microns to millimeters

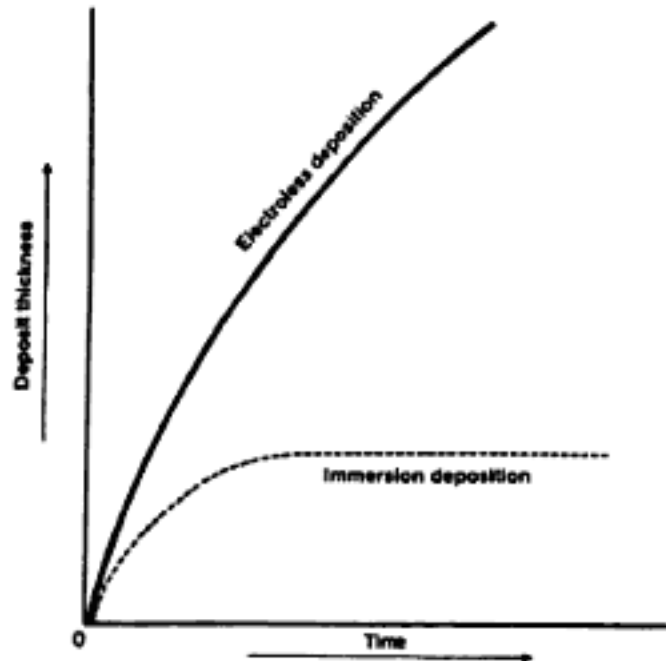
\*Except for mask needs, all entries strongly depend on the exact intended geometry.

Source: L. Weber, W. Ehrfeld, H. Freimuth, M. Lacher, H. Lehr, and P. Pech, in *SPIE, Micromachining and Microfabrication Process Technology II*, Austin, Texas, 1996, pp. 156–67.<sup>24</sup> Reprinted with permission.

# LIGA

## Metallizzazione

- Metallizzazione senza elettrodo
- Elettrodeposizione

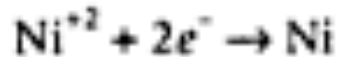


# LIGA

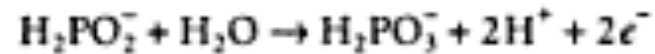
## Metallizzazione senza elettrodo

- Questo processo attraverso un processo continuo di ossidazione riduzione dove gli elettroni sono forniti da ipofosfite. La reazione fino a che l'ipofosfite non si consuma. La deposizione non è controllata ma avviene anche sulle pareti del contenitore. Allora si aggiungono dei composti a base di piombo per far si che la reazione sia stabile e ad avvenga di preferenza sul substrato.

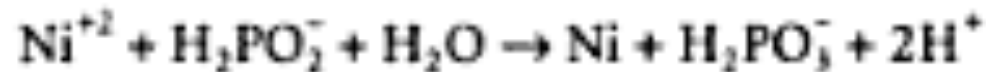
Reduction:



Oxidation:



Overall reaction:



# LIGA

## Elettrodeposizione

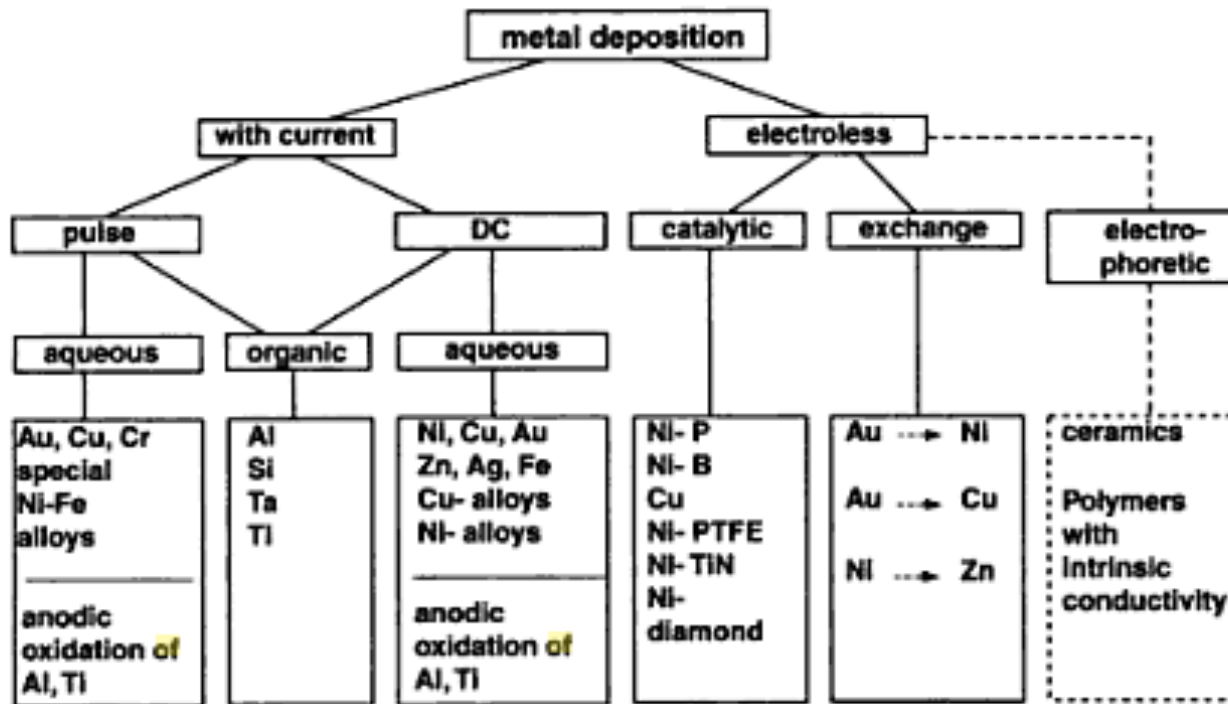
Inizialmente per avere elettrodeposizione viene eseguito un leggero passaggio di sputtering metallico sul substrato microlavorato agli UV tra i 50 ed 100 Å. Poi il sistema è immesso in una cella elettrochimica con bagno di  $\text{NiCl}_2$  in soluzione di  $\text{KCl}$  e si utilizza un anodo di grafite che non è attaccato da  $\text{Cl}_2$ . In tal modo si ha la deposizione di Ni una volta applicata una tensione elevata tra i due elettrodi. Bisogna stare attenti che variazioni del pH possono alterare la deposizione e che la presenza di polveri o contaminanti non permetta una deposizione adeguata ed uniforme.

I materiali metallici di deposizione in genere usati sono

- 1) Nichel
- 2) Rame
- 3) Oro

# LIGA

## Deposizione metallica



La finitura del mold metallico è ottenuta per processo di ossigeno al plasma o bagno in solvente

# **LIGA**

## **Molding**

- **Reaction injection molding**
- **Transfer molding**
- **Casting**

# LIGA

## Reaction injection molding

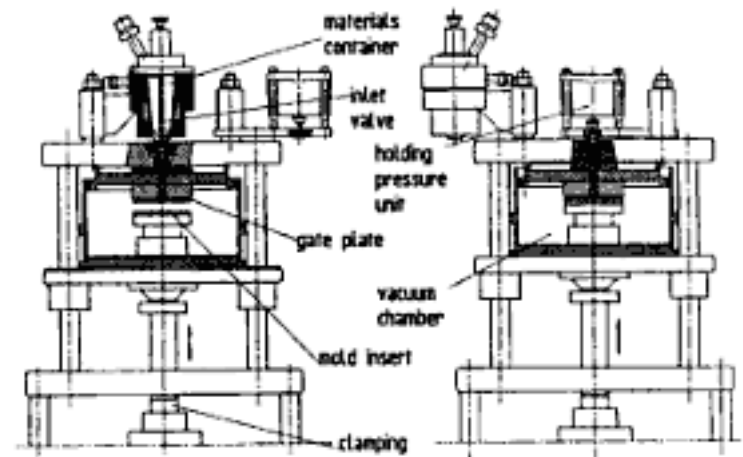
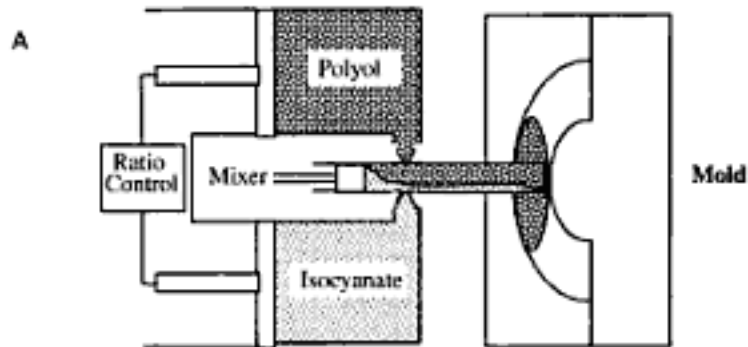


Figure 6.35 Schematic presentation of a vacuum molding setup. With minor changes, this setup can be used for reaction injection molding, thermoplastic injection molding, and compression molding. (After P. Hagemann, *J. Polymer Process. Soc.*, 4, 188-95, 1988.<sup>59</sup>)

# LIGA

## Transfer injection molding

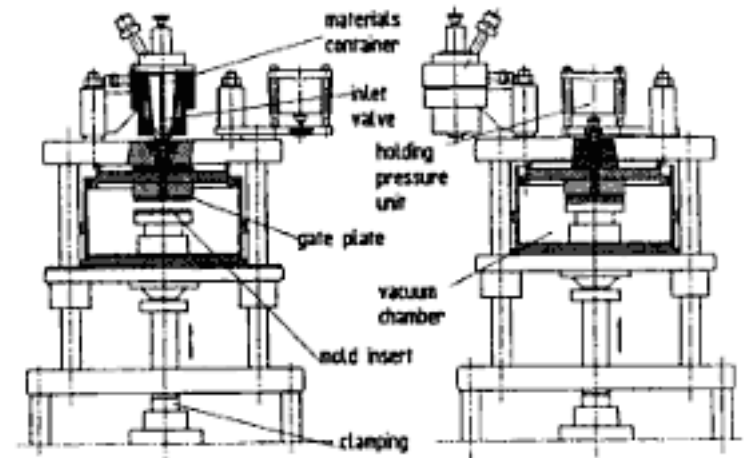
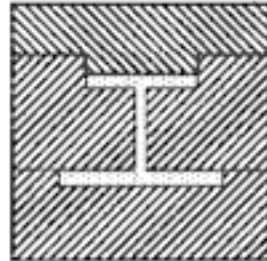
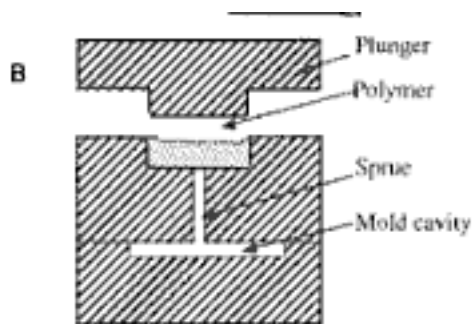
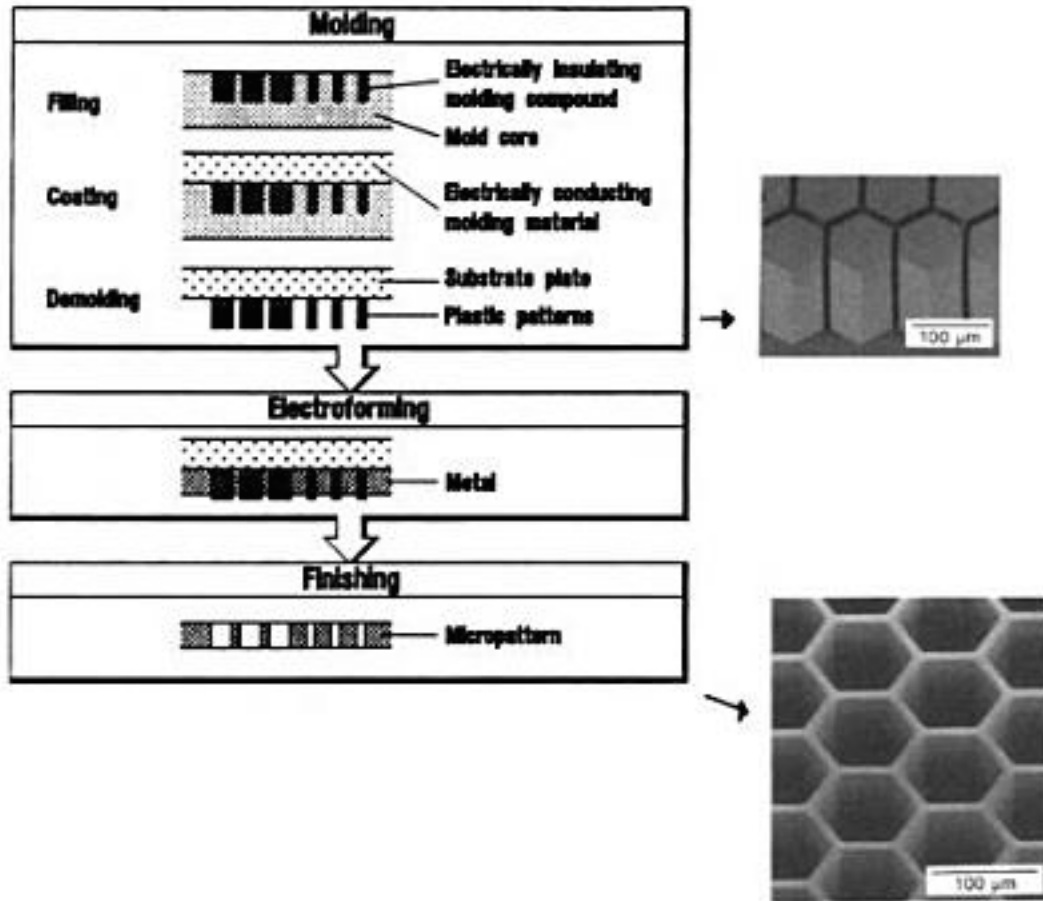


Figure 6.35 Schematic presentation of a vacuum molding setup. With minor changes, this setup can be used for reaction injection molding, thermoplastic injection molding, and compression molding. (After P. Hagemann, *J. Polymer Process. Soc.*, 4, 188–95, 1988.<sup>53</sup>)



# LIGA

## Injection Molding



# LIGA

## Injection Molding

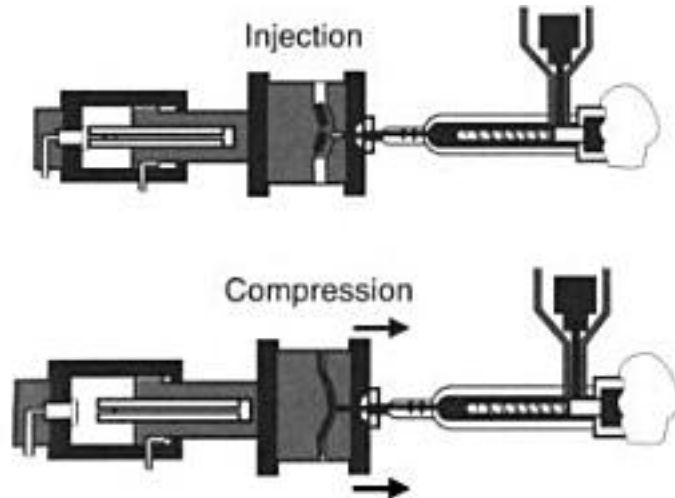
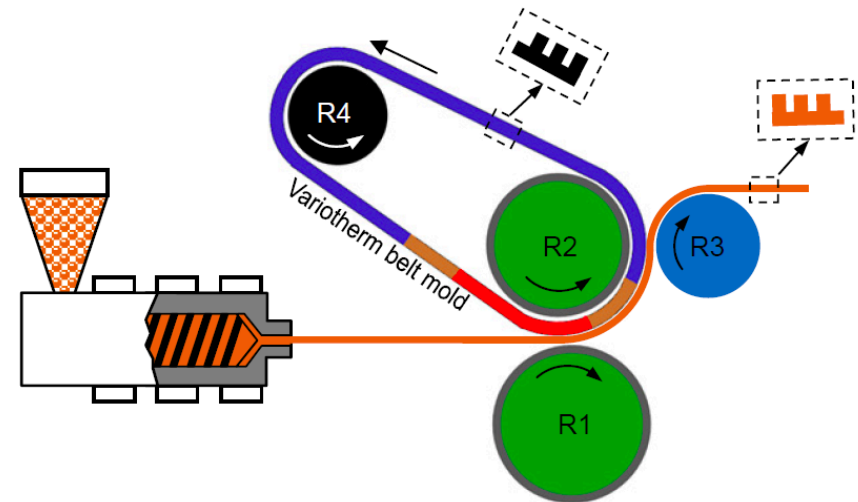
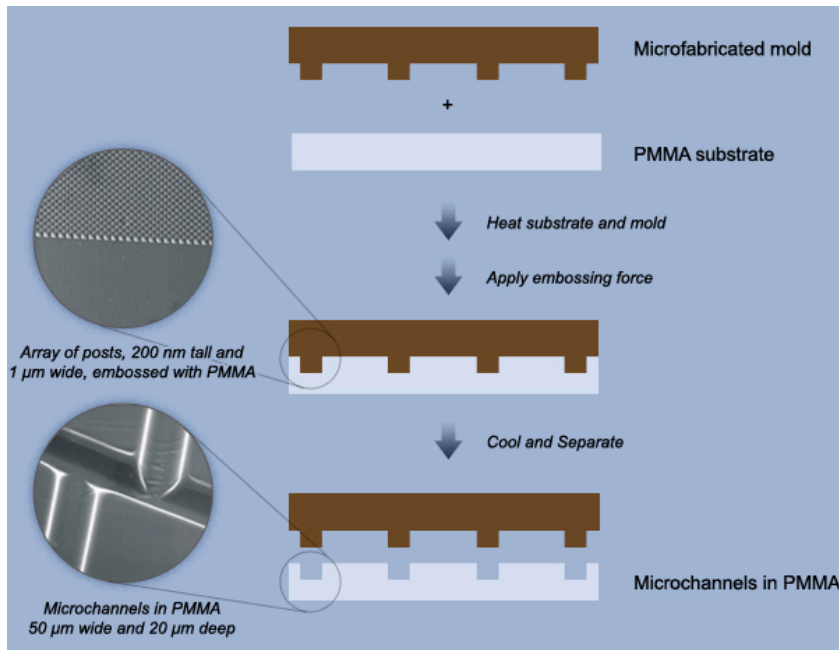


TABLE 6.16 Typical Conditions for Injection Molding

Mold temperature	85°C
Polycarbonate temperature	330°C
Clamping force	60 tons
Injection time	1 s
Cooling time	2 s

# LIGA

## ciclico e continuo Hot embossing



# LIGA

## Demolding

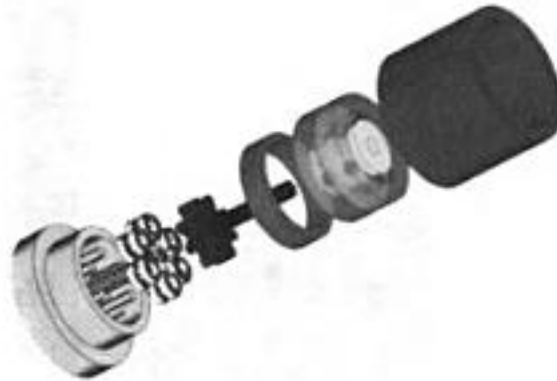
Per la fase di demolding o si miscelano degli agenti rimuoventi direttamente col polimero da iniettare o li si spruzzano con tecnica spray sullo stampo.

In genere si usano dei sistemi di clamping che afferrano il pezzo da rimuovere in modo da distribuire in modo uniforme la forza di estrazione.

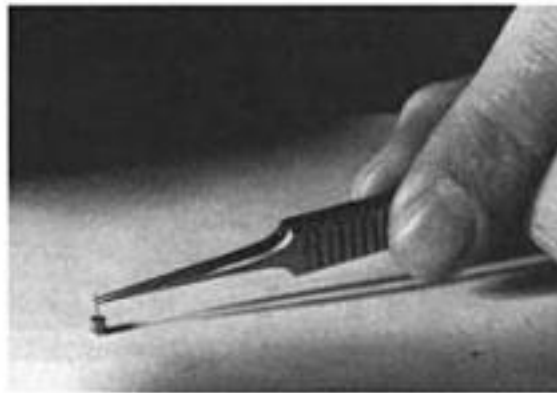
# LIGA

## Esempi

Motore elettromagnetico



A

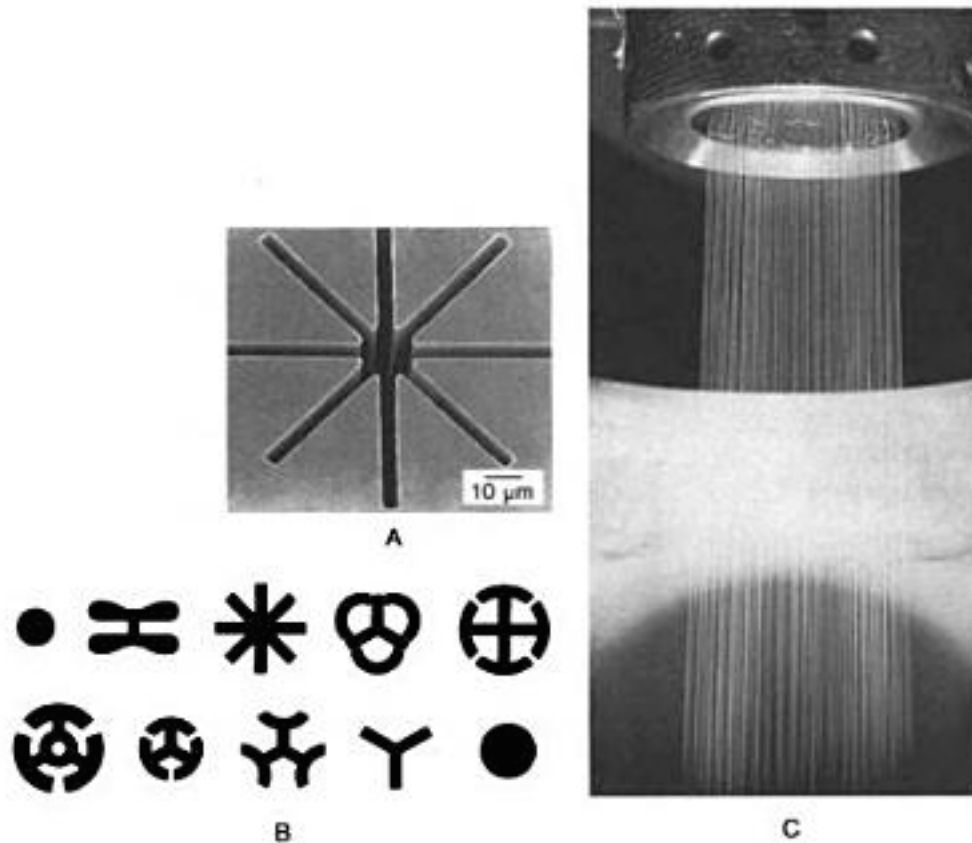


B

# LIGA

## Esempi

### Spinneret



**Figure 6.52** LIGA spinneret nozzles. (A) Spinneret plate; (B) profiled spinneret nozzles; (C) spinning synthetic fiber. (Courtesy of IMM, Germany.)