

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativa în Industria Electronică

Packaging electronic

3.2a Tehnologii standard de fabricare a circuitelor imprimate



Dr. Ing. Marius RANGU
Universitatea "Politehnica" Timișoara
Facultatea de Electronică și Telecomunicații
2009



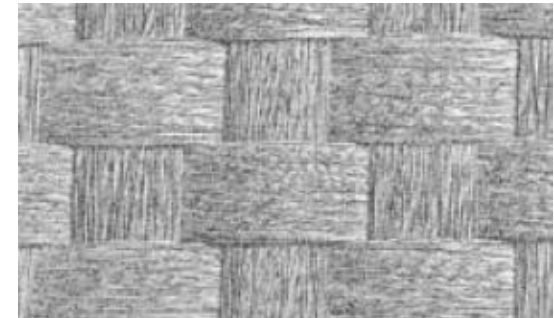
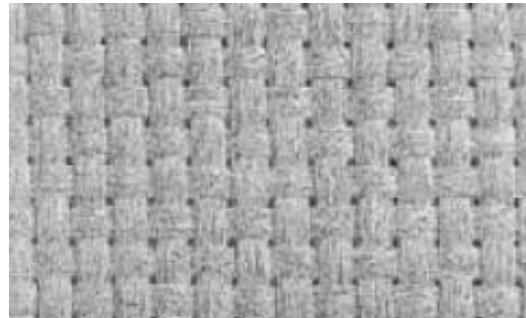
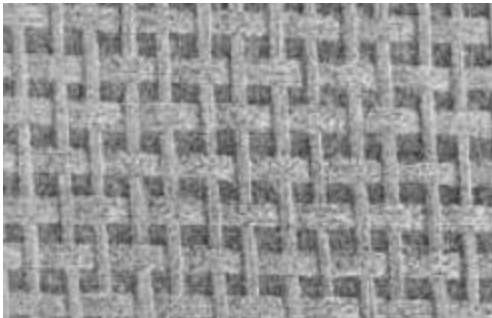
1. Suporturi pentru circuite imprimate

MATERIALE ORGANICE

Țesături din fibre de:

- hârtie (FR2, FR3)
- sticlă (FR4)
- aramide

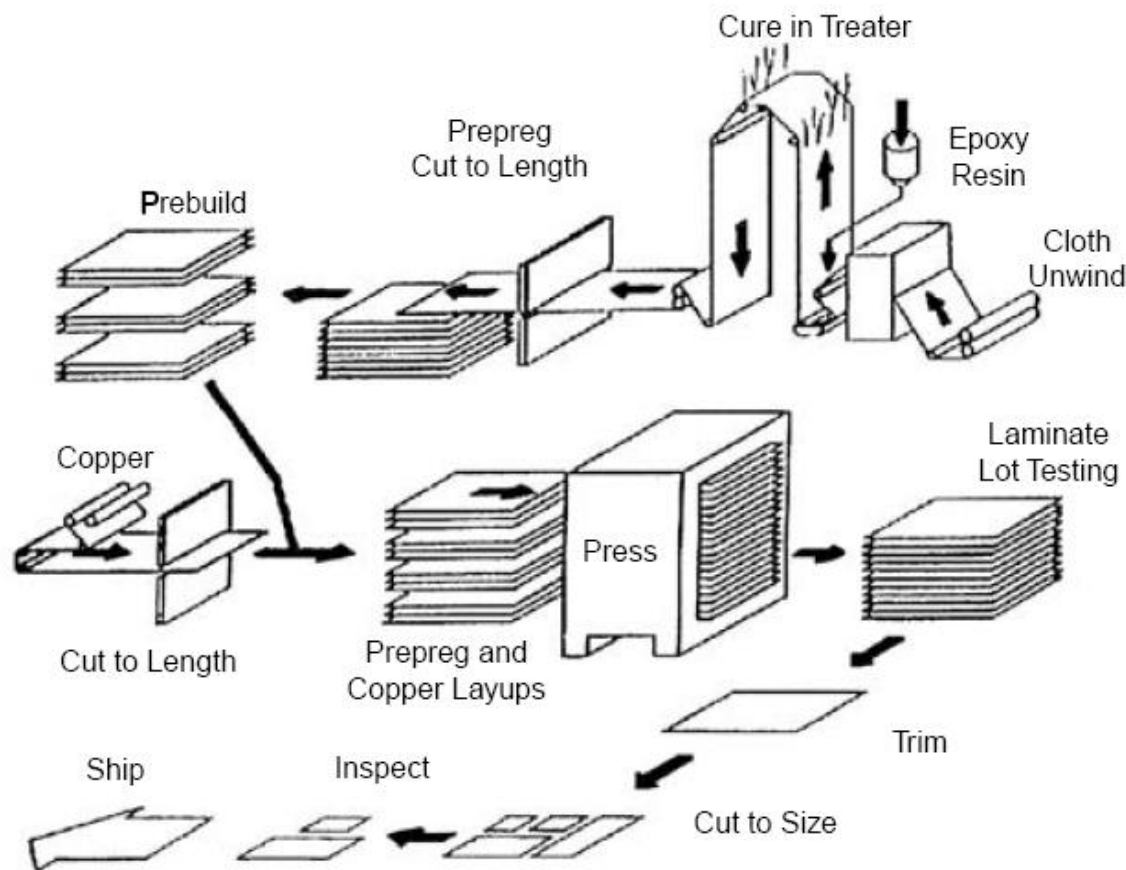
} impregnate cu o rășină și
stabilizate termic



- Rășini epoxilice
- Polimide ($T_g=260^{\circ}\text{C}$)
- Poliester (flex)

} + aditivi (acceleratori, ignifugi, optici)

PROCESUL TIPIC DE FABRICARE A SUPORTURILOR IZOLATOARE ORGANICE

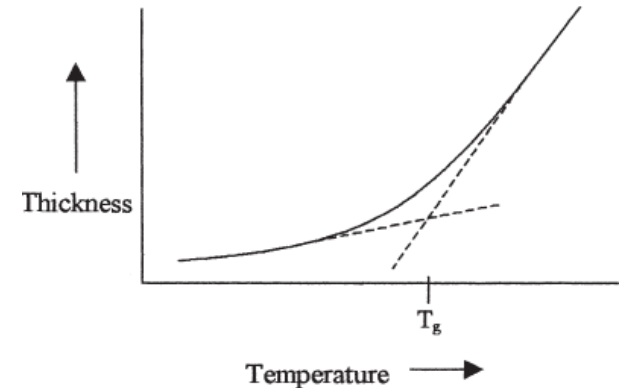


- În stadiul *prepreg* suportul izolator este parțial stabilizat
- Cuprul sub formă de folii de grosime 18 μ m, 35 μ m sau 70 μ m este laminat pe foliile *prepreg*

PROPRIETĂȚI TERMICE

- T_g = temperatura de vitrifiere (*glass transition*)
- CTE = coeficient de dilatare (*thermal expansion*)

Material	T_g (°C)	CTE (ppm/°C from -40 to 125°C)
FR-4 epoxy	140	12-16
Filled FR-4 epoxy	155	12-14
High- T_g FR-4 epoxy	180	10-14
BT/epoxy blend	185	10-14
Low- D_k epoxy blend	210	10-14
Cyanate ester	250	11-13
Polyimide	250	12-15
APPE	170/210*	14-18



PROPRIETĂȚI ELECTRICE

- Constanta dielectrică = ϵ / ϵ_0
- Factorul de disipare = $P_d / V \cdot l$

Material	Dielectric constant		Dissipation factor	
	1 MHz	1 GHz	1 MHz	1 GHz
FR-4 epoxy	4.4	3.9	0.027	0.015
Filled FR-4 epoxy	4.5	3.96	0.023	—
High- T_g FR-4 epoxy	4.4	3.9	0.023	0.012
BT/epoxy blend	4.1	3.8	0.013	0.010
Epoxy/PPO	3.9	3.8	0.010	0.011
Low- D_k epoxy blend	3.9	3.8	0.009	0.010
Cyanate ester	3.8	3.5	0.008	0.006
Polyimide	4.3	3.7	0.013	0.007
APPE	3.7	3.4	0.005	0.007

2. Găurirea și metalizarea găurilor



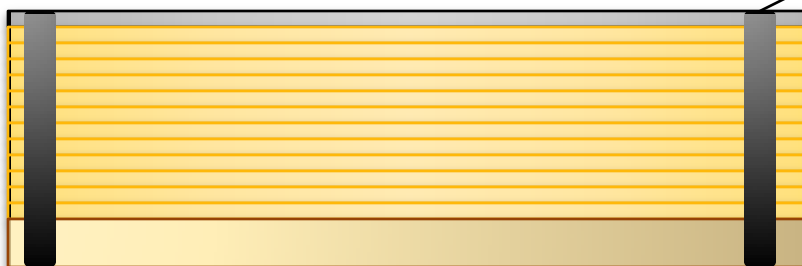
Echipamente de găurire cu comandă numerică (CNC)

- Unul sau mai multe capete de găurire (în tandem)
- Frezări de găuri alungite și contur



→ **Burghiu**

→ **Inel spațiere**



→ **Pini aliniere**

→ **Material intrare**

→ **Stivă plăci**

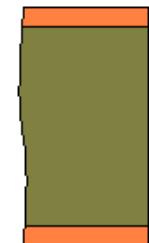
→ **Material ieșire**

METALIZAREA GĂURILOR PRIN ELECTROLIZĂ

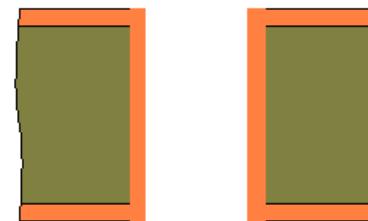
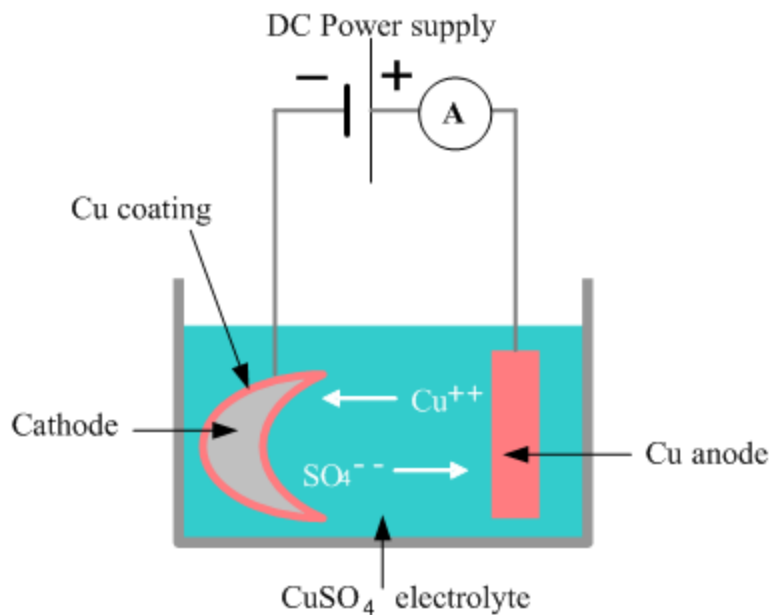


1. Curățare

2. **Activare:** asigurarea conductivității electrice pe pereții interiori ai găurilor (adezivi conductori sau cerneală pe bază de grafit)



3. Electroliza



- **Anodul = Cupru**
- **Electrolitul = sulfat de cupru + acid sulfuric**
- **Catodul = placa de circuit imprimat**

Rata de metalizare (legea lui Faraday):

$$W = (ItA)/(nF)$$

W = cantitatea de metal depusă (g)

I = curentul de electroliză (A)

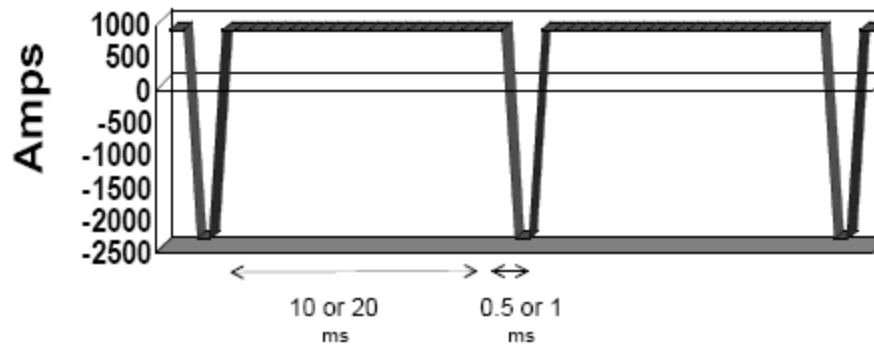
t = timpul (s)

A = masa atomică a metalului (63,546 pentru Cu)

n = numărul electronilor implicați în reducția ionică (2 pentru Cu^{++})

F = constanta Faraday (96485 C/mol)

ELECTROLIZA ÎN IMPULSURI (RPP)



- Sursa de curent de electroliză generează impulsuri scurte de polaritate negativă
- Electrolitului este completat cu aditivi care reacționează la curentul negativ și uniformizează densitatea de curent

DC



RPP



3. Transferul imaginilor

1. Curățarea semifabricatului

- mecanică (periere)
- chimică (acizi decapare)

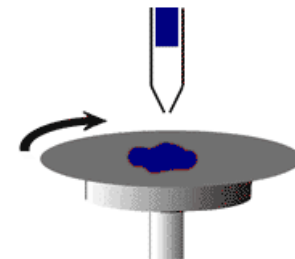


2. Depunerea fotorezistului

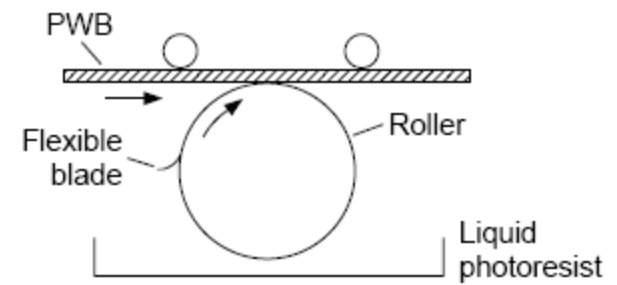
➤ Laminare (solid)



➤ Centrifugă (lichid)



➤ Vălțuire (lichid)

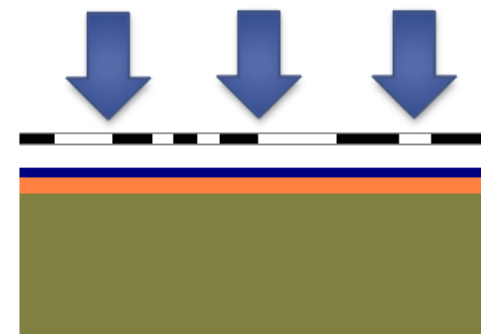


3. Expunerea la lumină ultravioletă

- expunere selectivă printr-un film
- lungimea de undă: 365 nm
- în urma expunerii se schimbă solubilitatea în revelator a fotorezistului

Fotorezist:

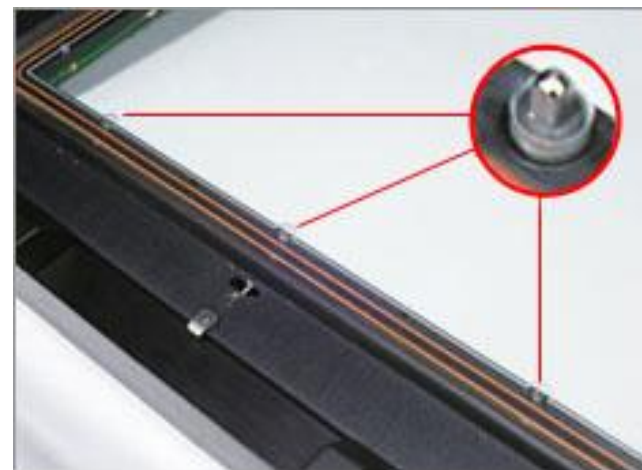
- **Pozitiv** (normal insolubil, devine solubil în urma expunerii UV)
- **Negativ** (normal solubil, devine insolubil în urma expunerii UV)



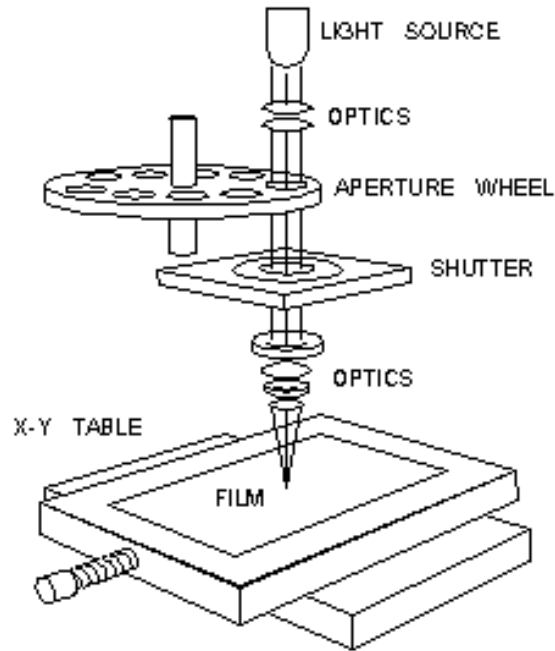
Aliniere optică:



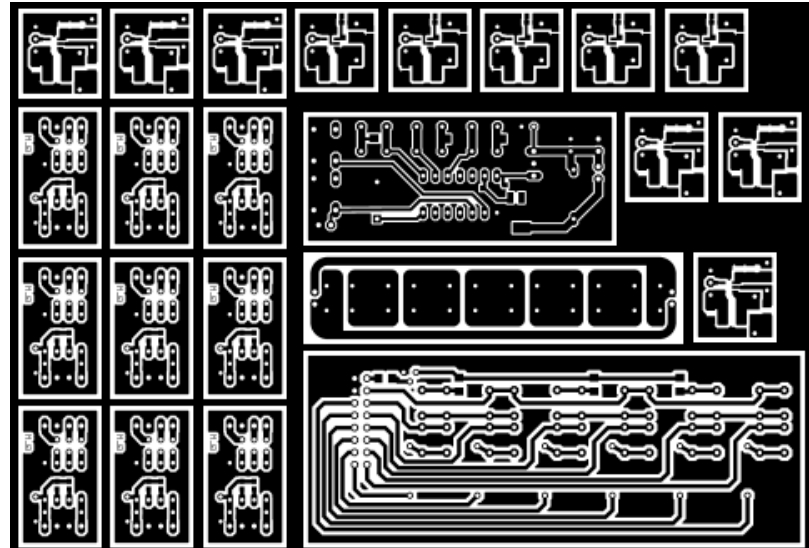
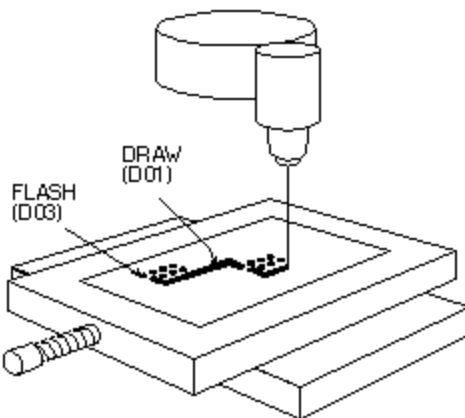
Aliniere mecanică



Filmele de expunere se obțin utilizând un fotoplotter



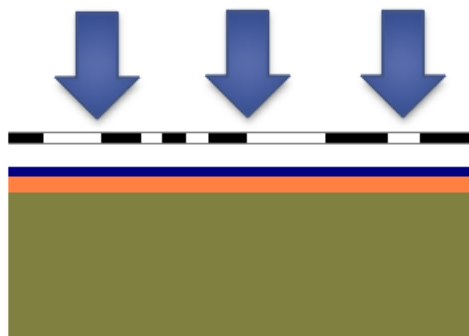
- Filme fotografice (fotosensibile)
- Fotoplotter: expunere selectivă
- Imaginea se obține prin dezvoltare



4. Developarea

- se va dizolva doar fotorezistul solubil

➤ Baie statică



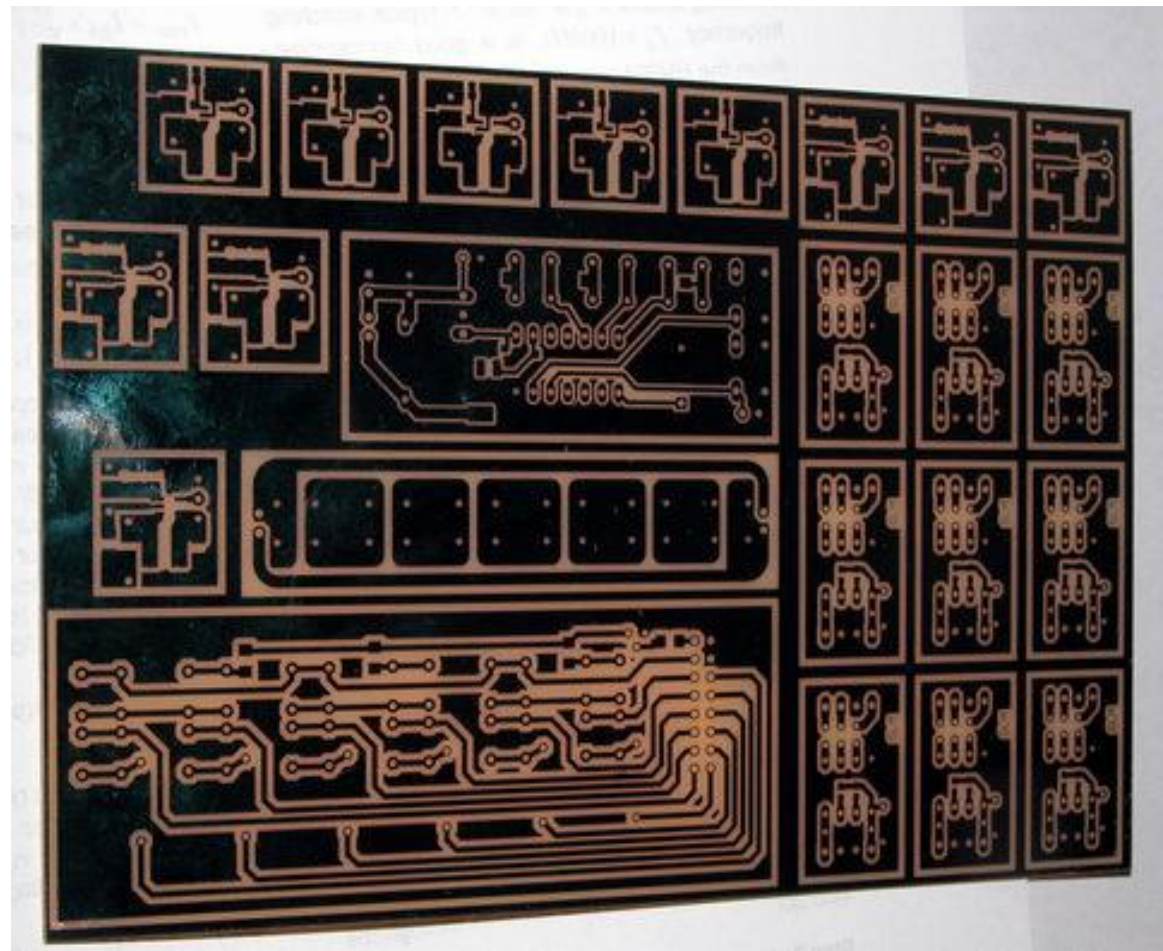
POZITIV
NEGATIV



➤ Cuvă cu pulverizator

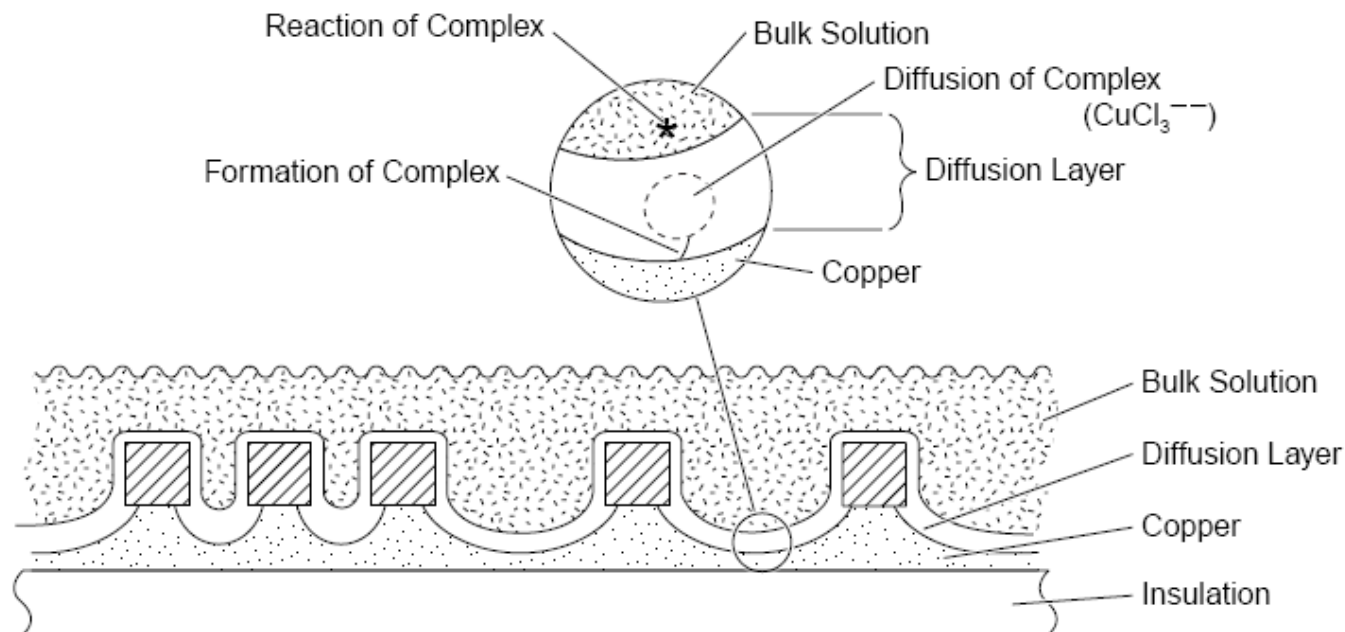


Imaginea structurii de conductoare de pe un nivel al plăcii se transferă, pozitiv sau negativ, pe semifabricatul circuitului imprimat



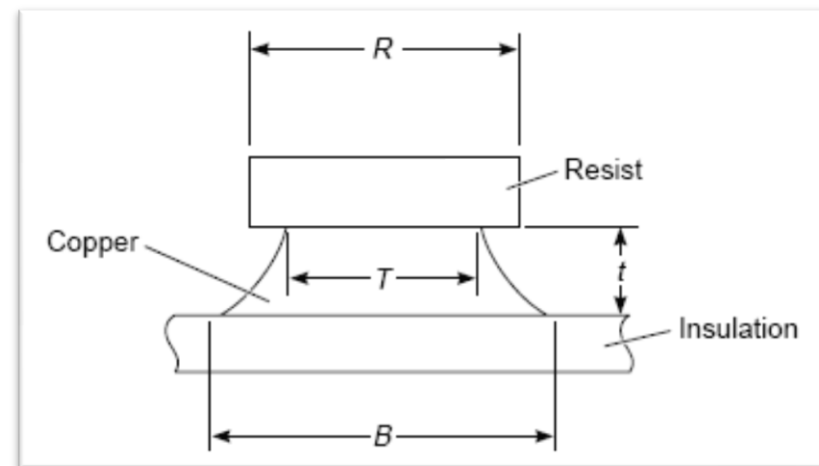
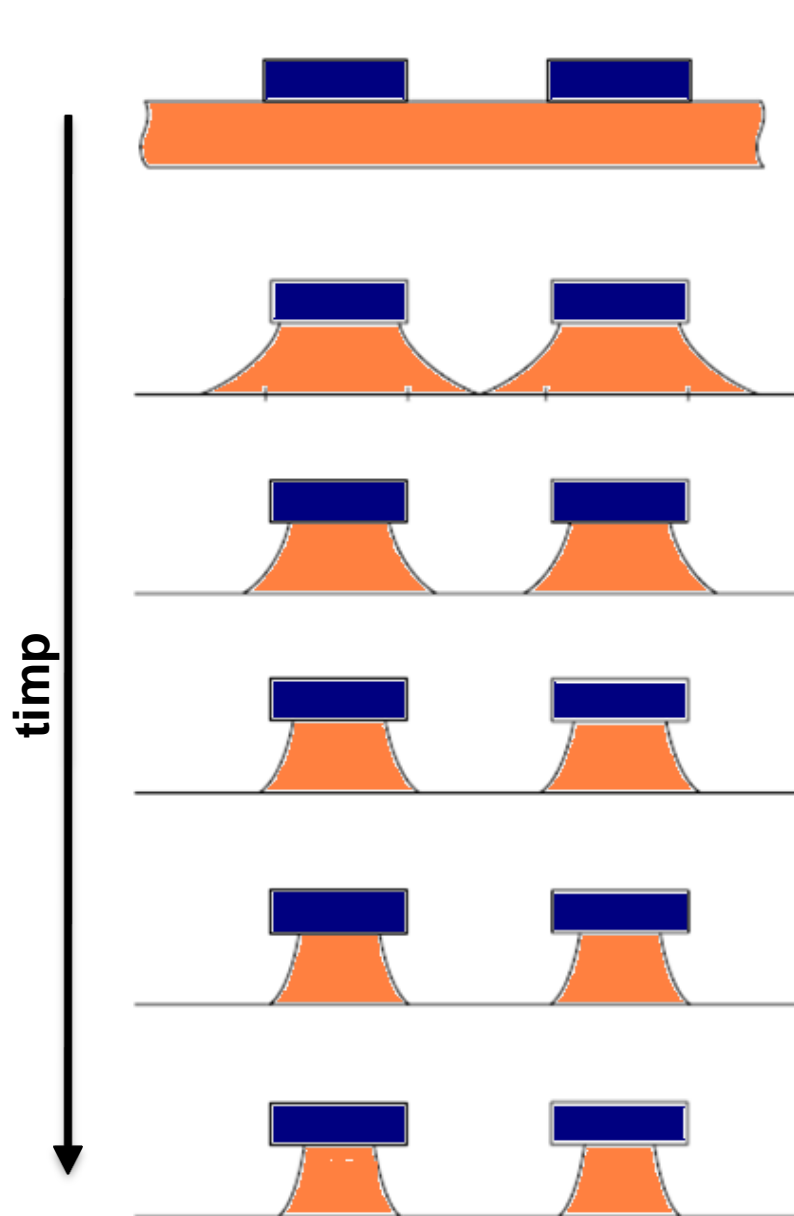
4. Corodarea

Corodarea = dizolvarea cuprului neprotejat de fotorezist



- În urma reacției de corodare rezultă compuși ionici care diminuează concentrația agentului de corodare
- La suprafața de separație cupru-agent corodare se formează un strat de difuzie săracit de elementele active
- Grosimea stratului de difuzie depinde de vâscozitatea agentului de corodare și forma geometrică a stratului de cupru
- Pentru a continua corodarea stratul de difuzie trebuie reîmprăspătat prin asigurarea circulației agentului de corodare

Agentul de corodare acționează permanent asupra metalului expus, rezultând forme trapezoidale ale traseelor conductoare



Factorul de corodare:

$$F = \frac{2t}{(B - T)}$$

Subcorodarea:

$$U = \frac{(R - T)}{2}$$

Echipamente de corodare

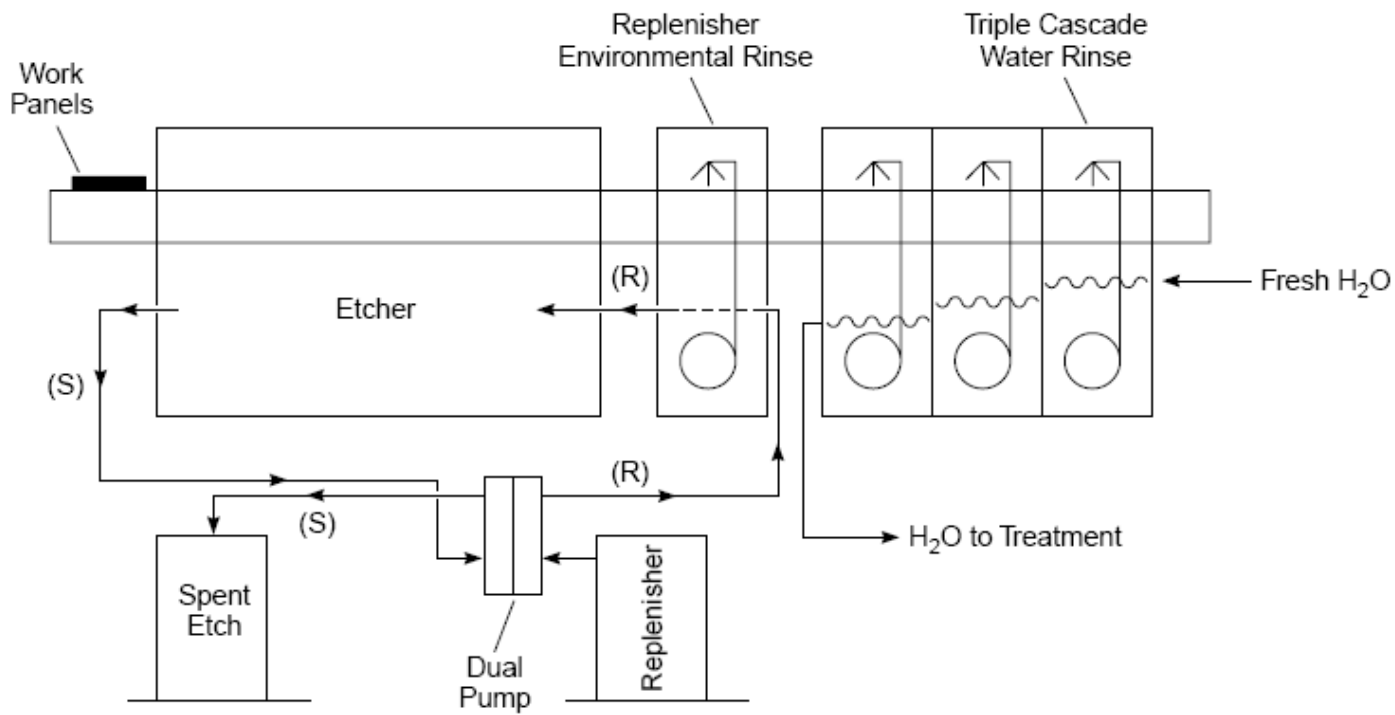
➤ Statice



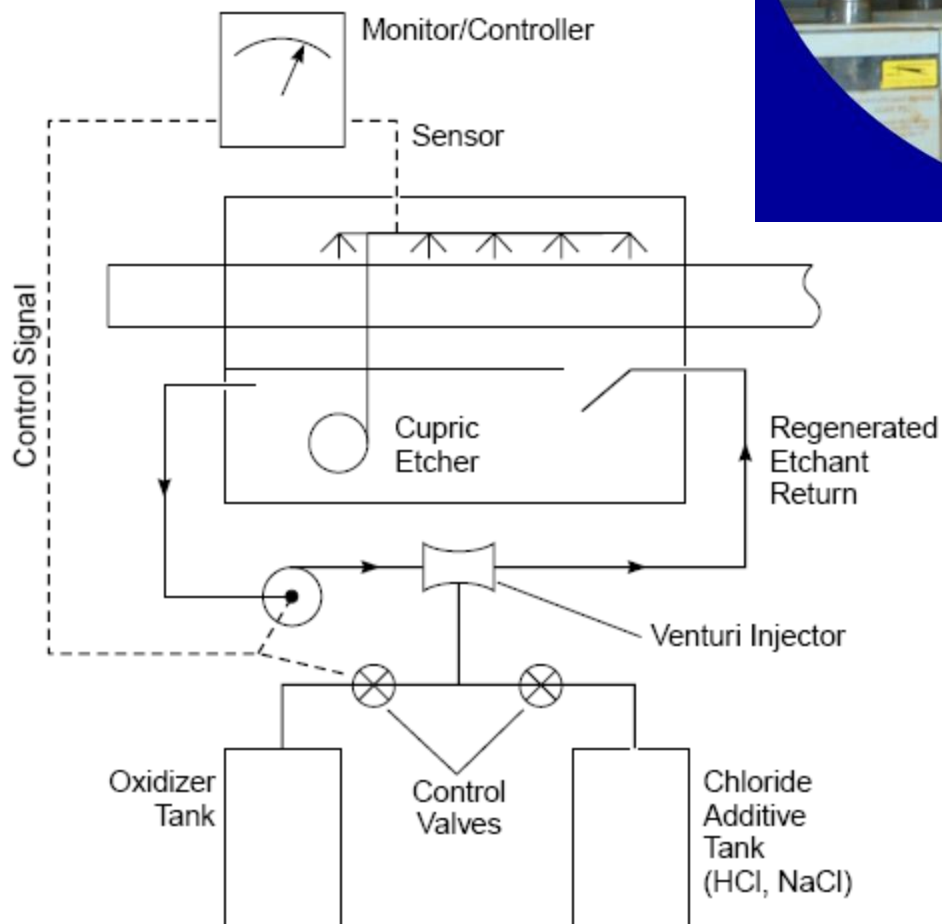
➤ Cu aerator



➤ Cu conveior și regenerare



➤ Cu pulverizator și regenerare



- Agentul de corodare este pulverizat deasupra plăcilor
- Prin analiza PH-ului se determină concentrația agentului de corodare și se regenerează fără întreruperea procesului

Agenti de corodare

➤ Amoniac bazic (alcalin)

- corodare rapidă, durată de viață lungă
- posibilitate de regenerare în funcționare
- subcorodare



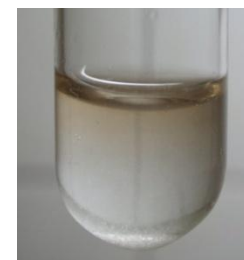
➤ Clorură de cupru

- permite obținerea de trasee fine
- durată de viață redusă (obligatorie regenerarea în funcționare)
- poluant



➤ Persulfati (amoniu, sodiu, potasiu)

- compatibili cu orice fel de mascare (fotorezist, Staniu, Nickel)
- lent, capacitate de corodare redusă
- ușor de neutralizat (Persulfat Sodiu)

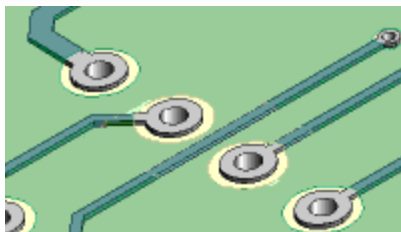


➤ Clorură ferică

- corodează cupru, oțel, aluminiu
- durată de viață lungă
- poluant

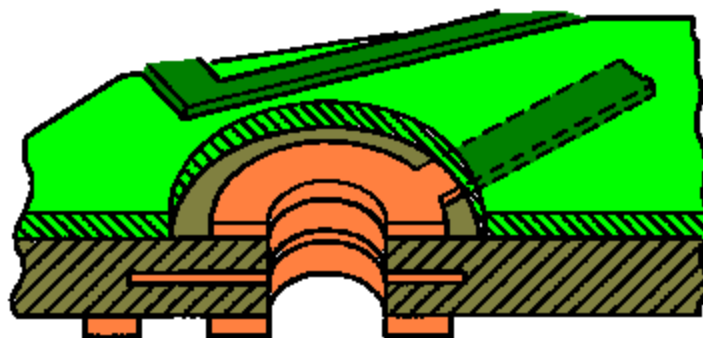


5. Măștile de lipire



“a coating material used to mask or to protect selected areas of a printed wiring board from the action of an etchant, solder, or plating”

[IPC-T-50]



FUNCȚII:

- Reduce posibilitatea de scurt-circuitare la lipire
- Definește zonele de depunere a aliajului de lipire
- Protejează conductoarele externe împotriva factorilor de mediu (umiditate, aciditate, etc.)
- Acoperă conductoarele cu un material cu constantă dielectrică cunoscută
- Izolează traseele de părțile metalice ale componentelor

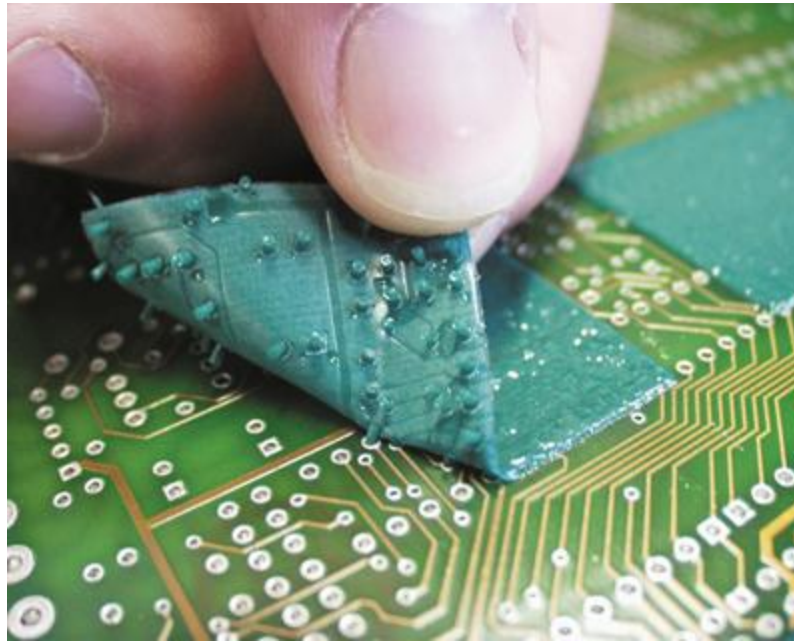
TIPURI DE MĂȘTI DE LIPIRE:

➤ PERMANENTE

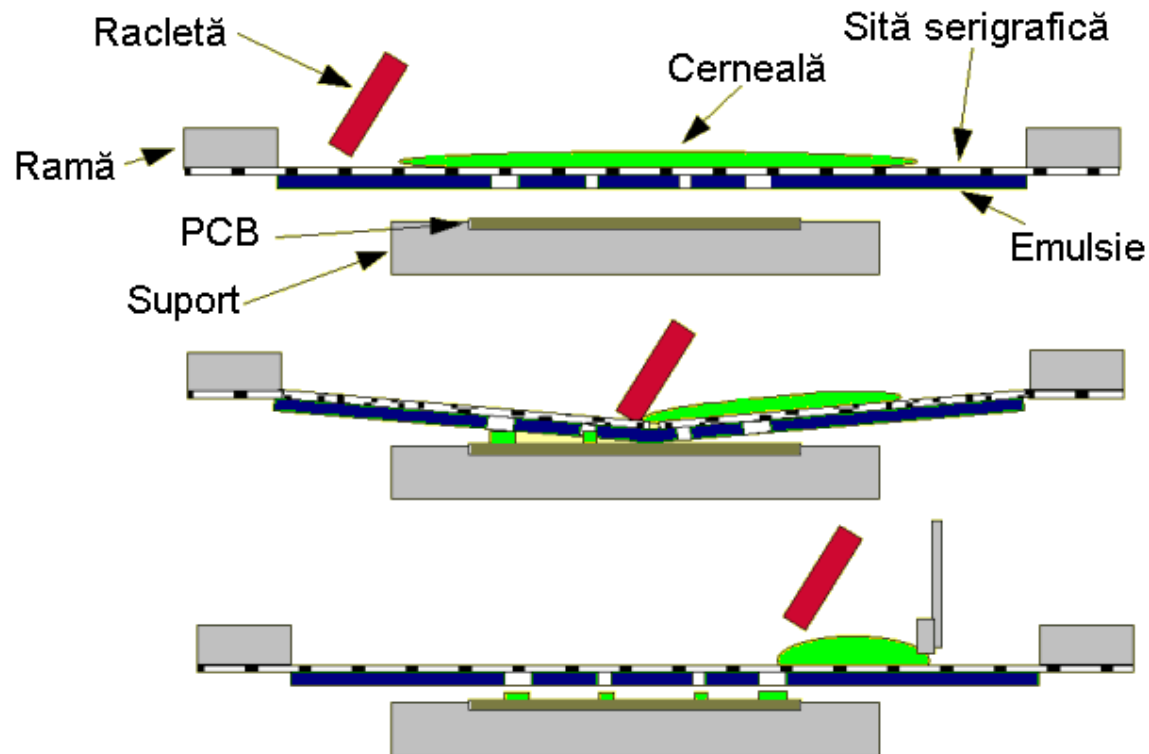
- fotodefinite (se procesează la fel ca fotorezistul)
- serigrafice
- lichide
- solide

➤ TEMPORARE

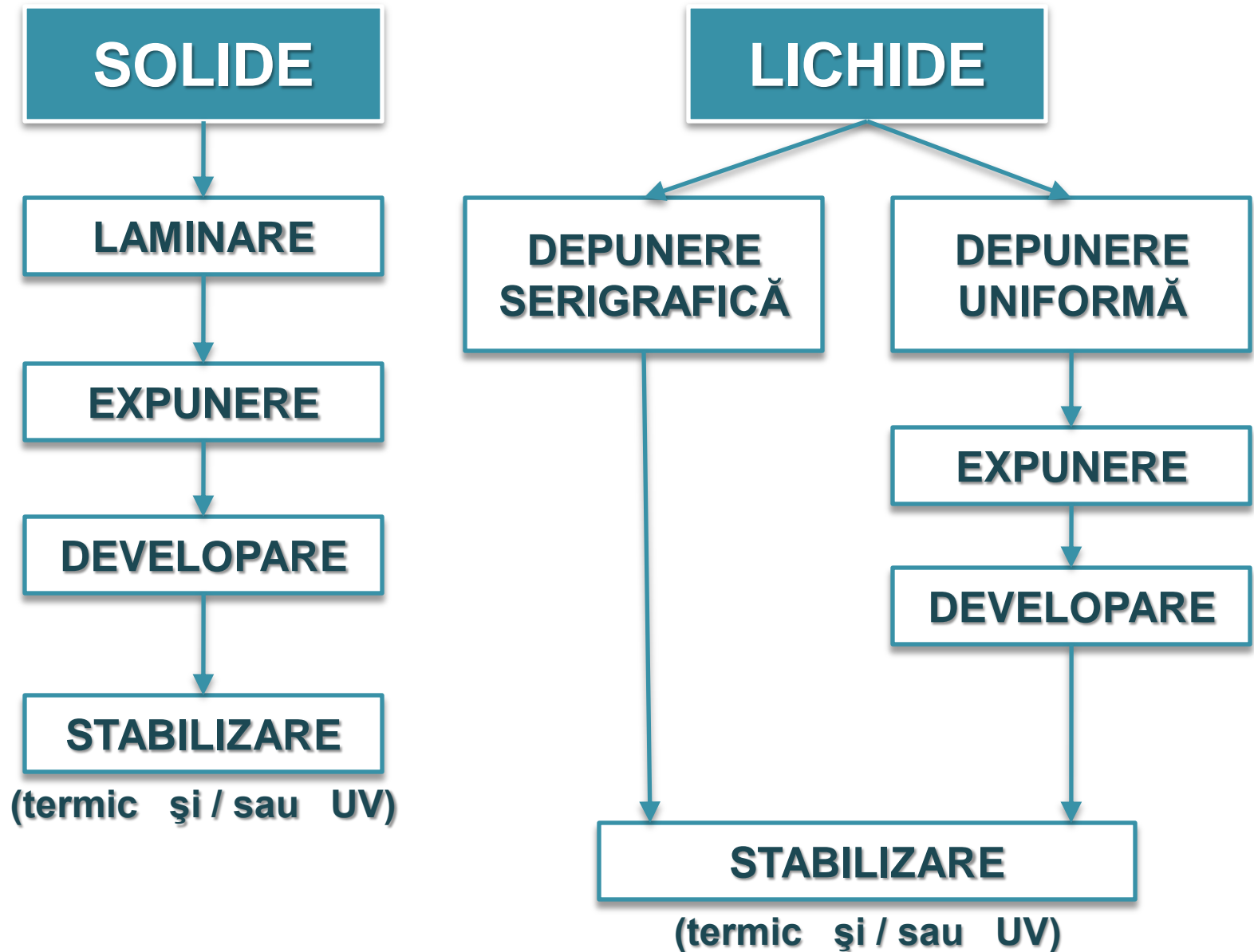
- solubile în soluțiile de curățare
- cu desprindere (*peelable*)



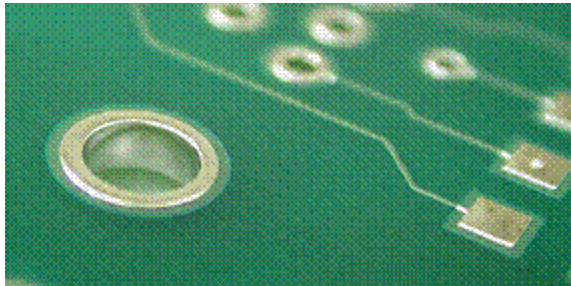
DEPUNEREA SERIGRAFICĂ



PROCESAREA MĂȘTILOR DE LIPIRE:

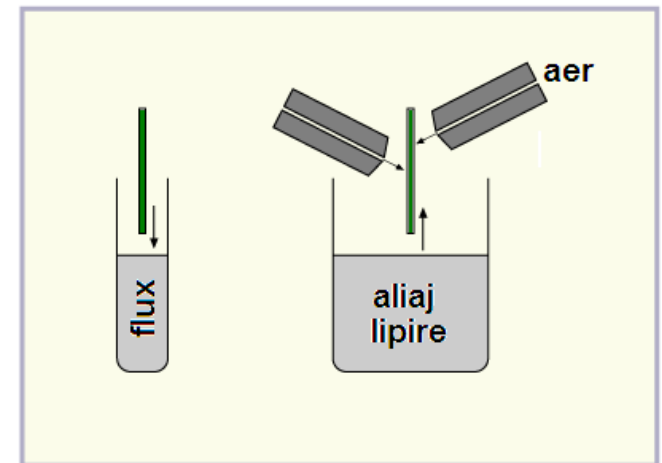
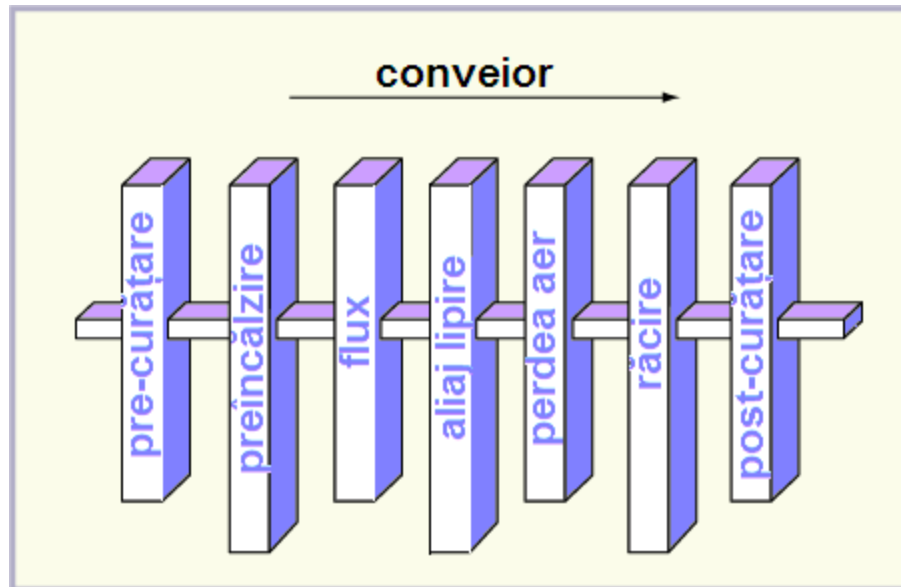


6. Metalizările de contact



Acoperă padurile circuitului imprimat, pentru a facilita procesul de lipire

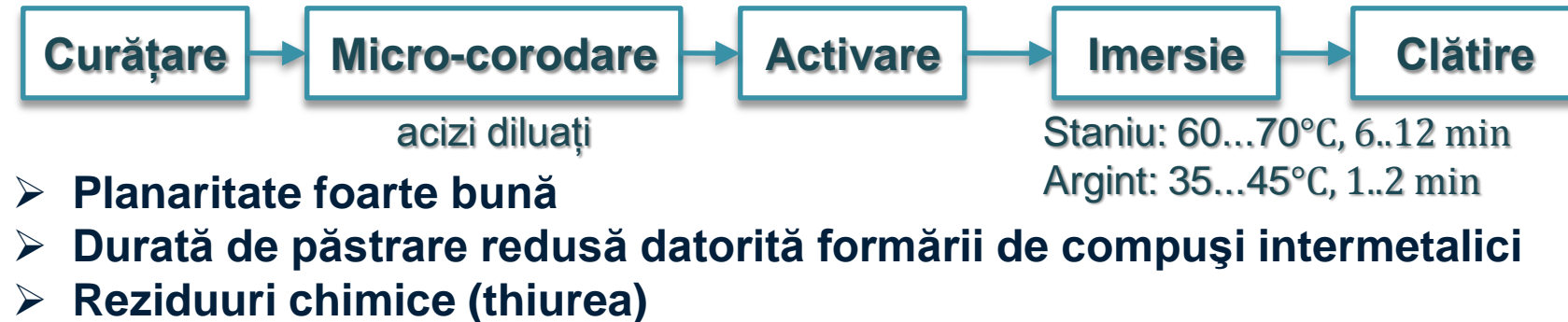
Tehnologia HASL (Hot Air Solder Leveling)



- Tehnologie matură, ieftină;
- Probleme de planaritate (incompatibilă cu montarea pe suprafață)

Staniu lichid / Argint lichid (Immerse Tin / Immerse Silver)

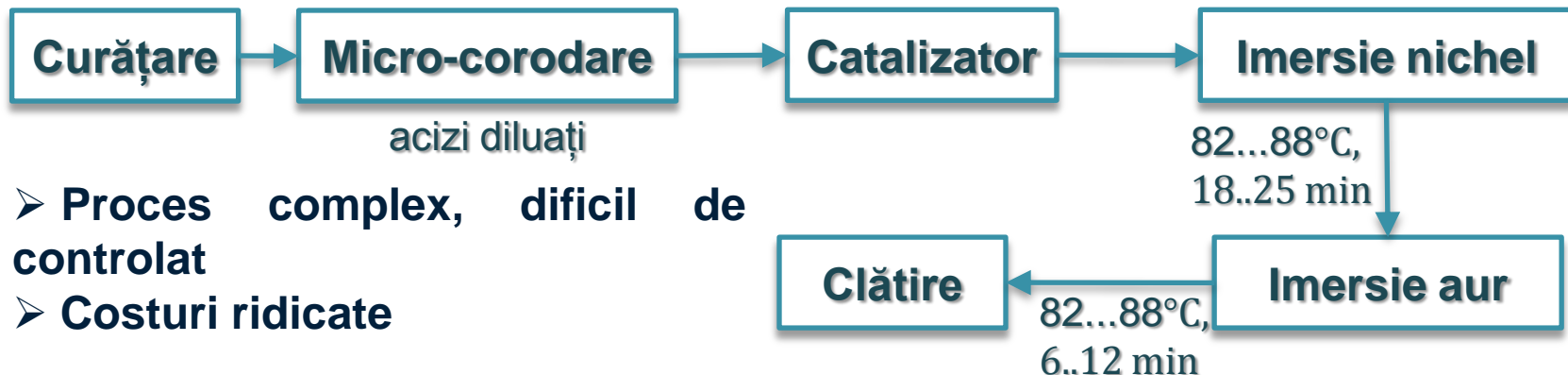
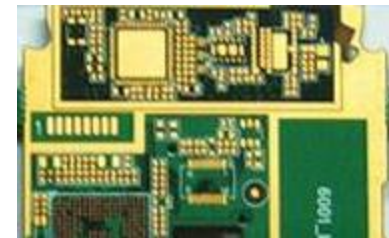
Depunere chimică a unui strat de $0.1\mu\text{m} \dots 1\mu\text{m}$ de staniu sau argint, prin imersie într-o baie



Metalizarea nichel - aur

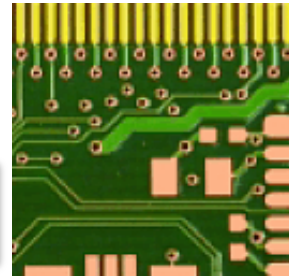
Metalizarea de contact = nichel

Aurul = strat de protecție împotriva oxidării



Tehnologia OSP (Organic Solderability Preservative)

Utilizează compuși organici depuși direct pe padurile de cupru, care împiedică oxidarea acestora

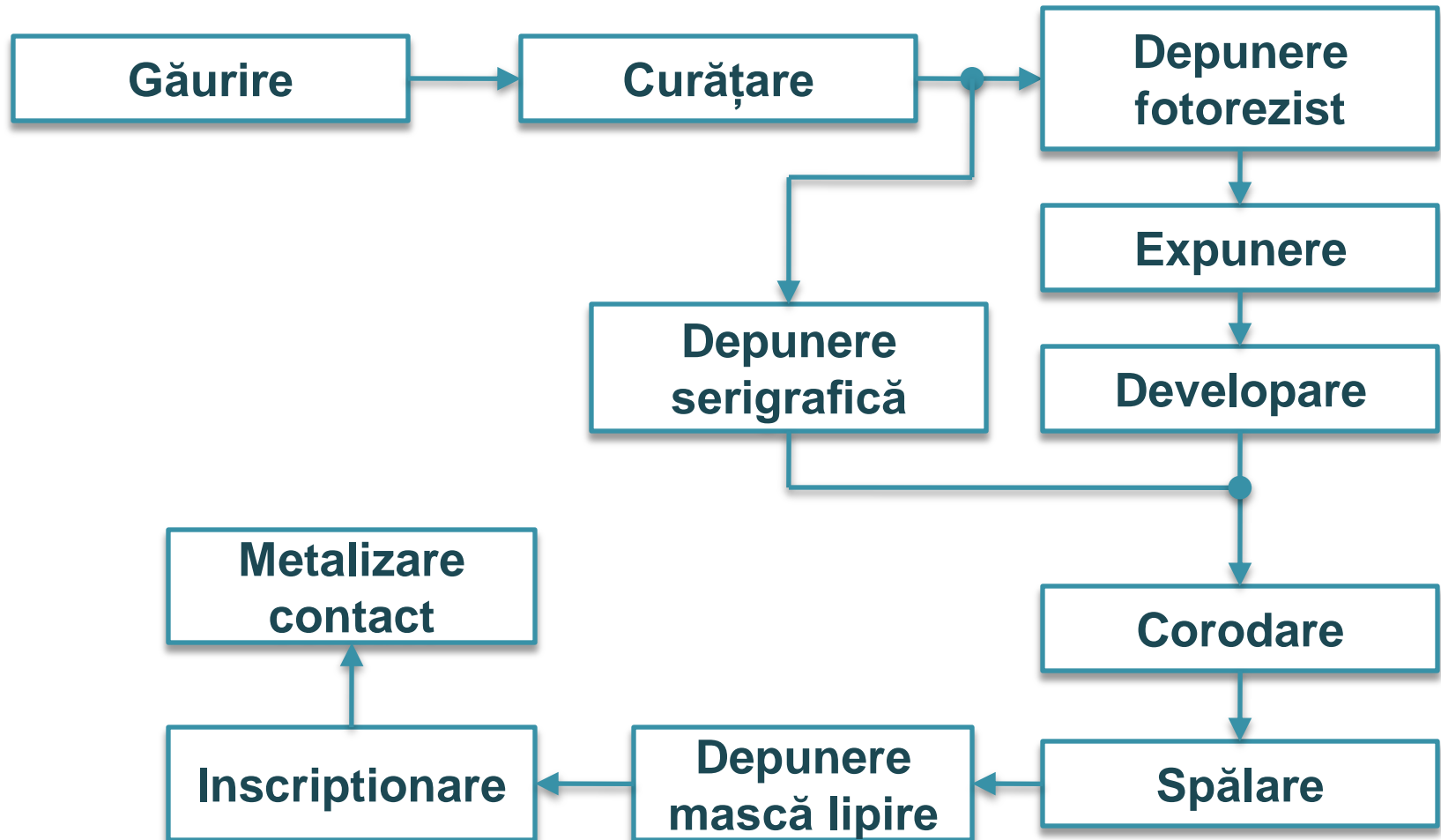


- Inspecție optică dificilă (OSP = transparent)
- Testare electrică dificilă (OSP = conductor)

Tip	Coplanaritate	Compatibilitate lipire	Sudura Au	Sudura Al
HASL	NU	DA	NU	NU
Sn	DA	DA	NU	NU
Ag	DA	DA	DA	DA
Ni + Au	DA	DA	DA	DA
OSP	DA	DA	NU	NU

7. Fluxul tehnologic la fabricarea substractivă a circuitelor imprimate

Circuite simplu și dublu stratificate



Circuite multi stratificate (*stackup*)

Fabricare
circuite dublu
stratificate
(core)

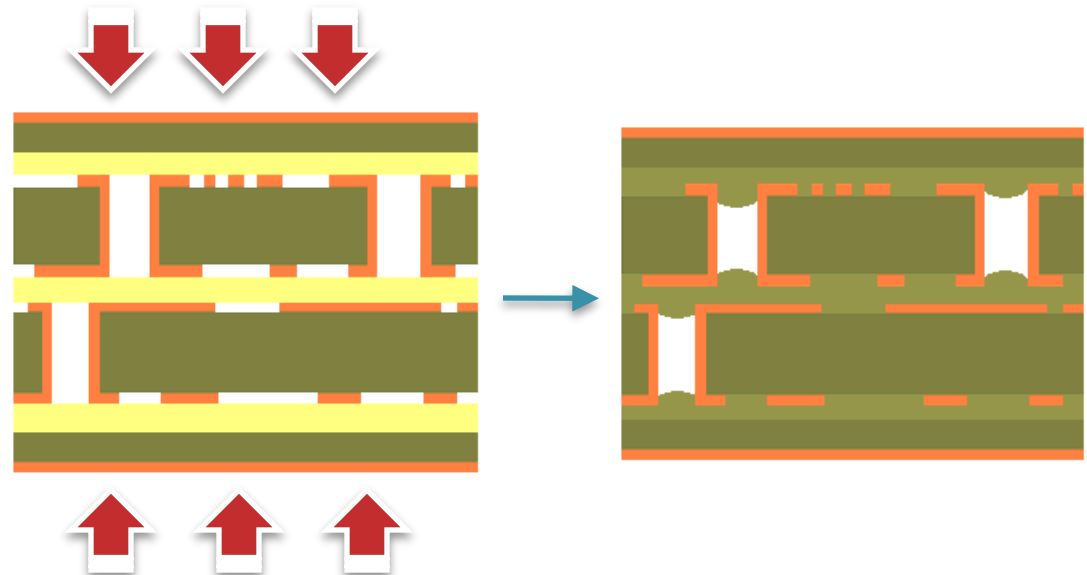
Core 1:




Core 2:



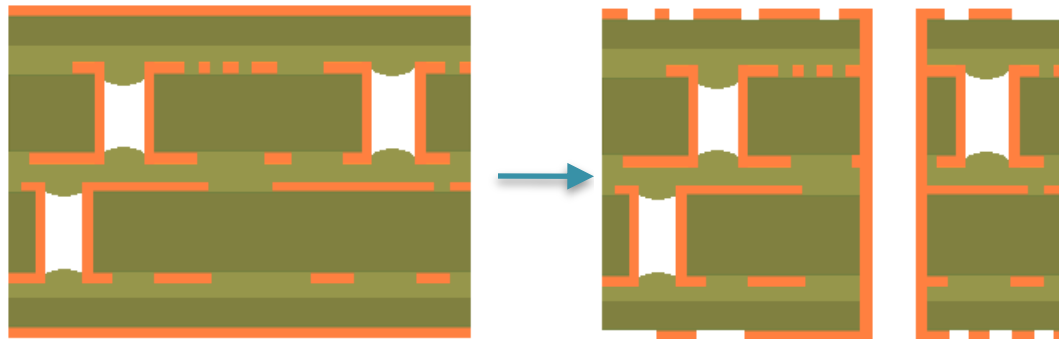
Laminare cu
folii *prepreg*
intermediare și
semifabricate
simplu-strat
exterioare



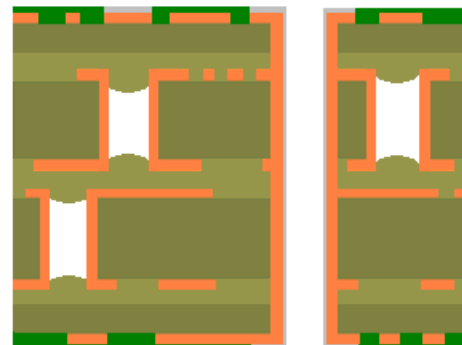


**Structurare
circuit imprimat
dublu-strat**

**Depunere
măști,
inscripționare,
metalizare
contact**



Structurare = obținere structură de conductoare
utilizând tehnologia substractivă (depunere fotorezist
→ expunere → developare → corodare → dizolvare
fotorezist → spălare)



ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativa în Industria Electronică

Packaging electronic

3.2b Tehnologii avansate de fabricare a circuitelor imprimate



Dr. Ing. Marius RANGU
Universitatea "Politehnica" Timișoara
Facultatea de Electronică și Telecomunicații
2009



1. Tehnologii HDI

(High Density Interconnect)

Gauri de trecere mai mici → **găurirea mecanică**
Trasee mai înguste și mai apropiate → **corodarea**
Număr mai mare de niveluri → **laminarea**

Soluția: tehnologiile *build-up* și *microvia*

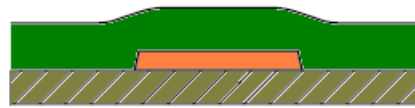
Caracteristică	Cat. A [μm]	Cat. B [μm]	Cat. C [μm]	Cat. D [μm]
Diametru via	125...200	100...200	75...250	35...350
Diametru min. pad via	350	300	250	150
Lățime min. trasee externe	125	100	87	50
Spațiere min. trasee externe	125	100	87	50
Lățime min. trasee interne	125	75	75	75
Spațiere min. trasee interne	125	100	75	70
Grosime min. dielectric	75	62	50	25

Tehnologia FOTOVIA

- Tehnologie dezvoltată în 1980 de IBM
- Utilizează un dielectric fotosensibil pentru definirea găurilor de trecere (inițial: masca de lipire)
- Construiește succesiv niveluri dielectrice și conductoare pe un suport PCB simplu sau multi stratificat

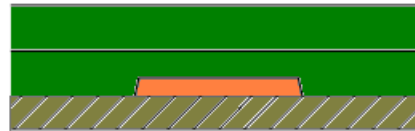


**Depunere
izolator**



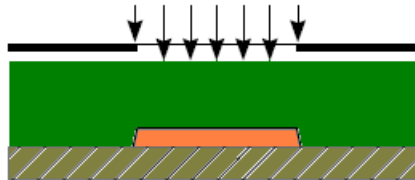
Prima depunere se realizează pe un circuit imprimat structurat

Nivelare



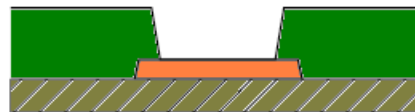
Nivelarea se realizează mecanic și este uneori urmată de depunerea unui al doilea strat dielectric

Expunere UV

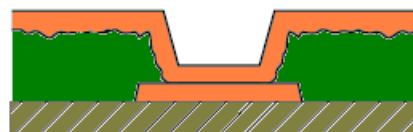


Epunerea și dezvoltarea se realizează utilizând tehnologia de definire a măștilor de lipire

Developare

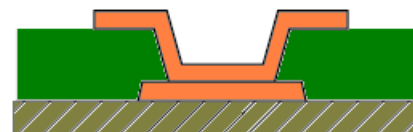


Metalizare



Metalizare chimică urmată de metalizare electrolitică; uneori se crește porozitatea dielectricului anterior metalizării

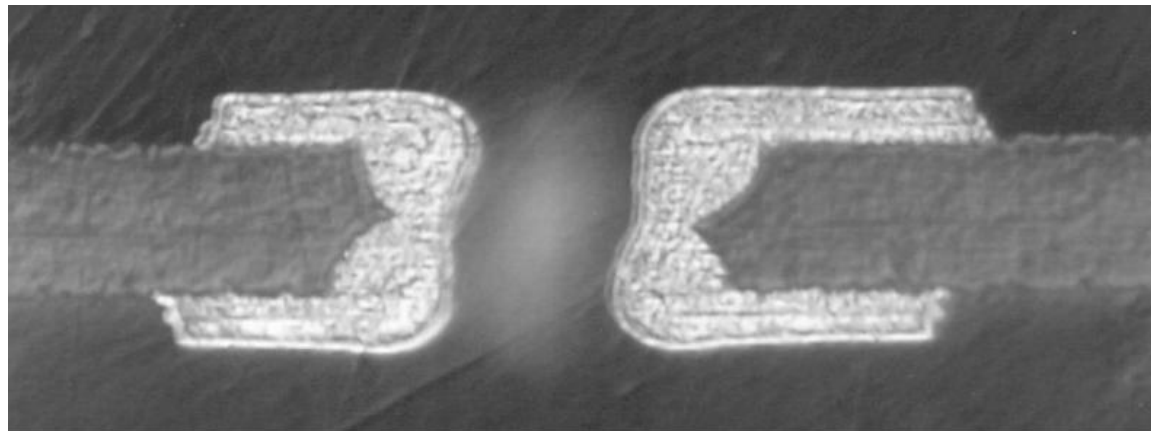
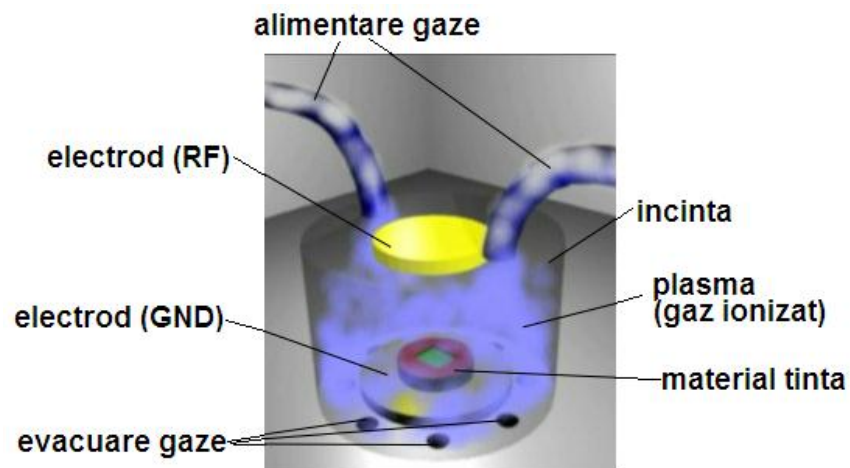
Structurare



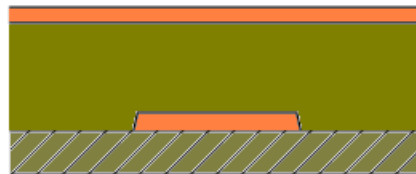
Structurare utilizând tehnologia substractivă fotolitografică

Tehnologia PLASMAVIA

- Tehnologie dezvoltată de Dyconex (DYCO)
- Utilizează un proces de corodare cu plasmă pentru realizarea de găuri în materialul dielectric
- Corodarea are loc datorită reacției dielectricului cu un gaz ionizat (oxigen, azot, cloroflor: $O_2-N_2-CF_4$), prin generarea de acizi de corodare volatili
- Ionizarea se realizează utilizând doi electrozi conectați la o sursă de energie de radiofrecvență (13.56 MHz)

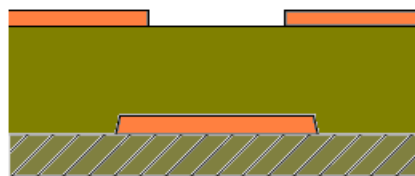


**Laminare
substrat**

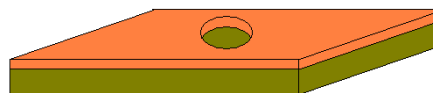


RCC (*resin coated copper*)
sau semifabricat FR4 + folie
prepreg, laminate pe un
substrat structurat

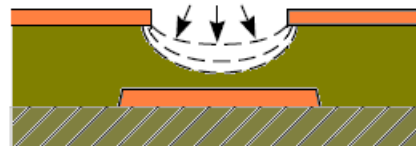
**Structurare Cu
(definire găuri)**



Locațiile găurilor de trecere
sunt definite de straturile
externe de Cu.



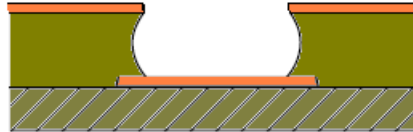
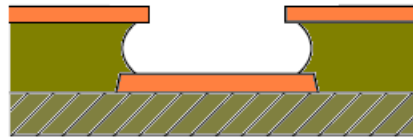
**Corodare
dielectric în
plasmă**



În urma corodării în plasmă
se obține o cavitate ce
depășește suprafața definită
de masca de Cu

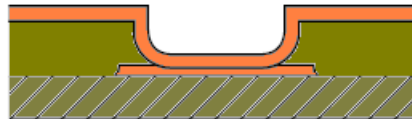


Corodare Cu



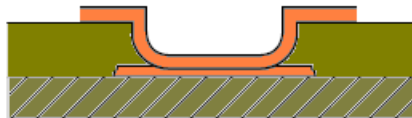
După corodarea dielectricului este necesară îndepărtarea marginilor măştii de Cu rămase deasupra cavităţilor, printr-un proces de corodare

Metalizare



Metalizare chimică urmată de metalizare electrolitică

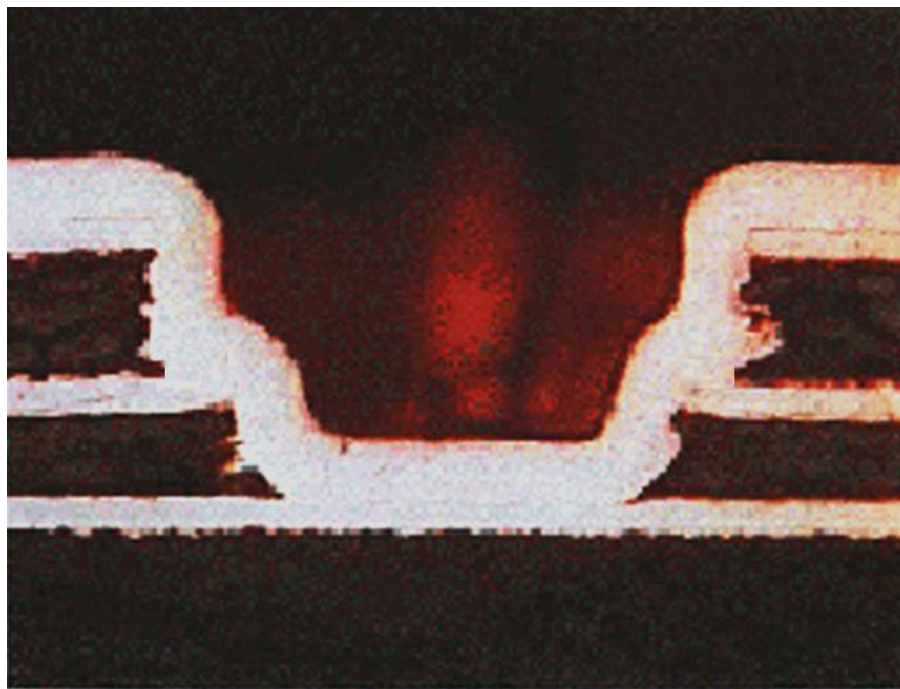
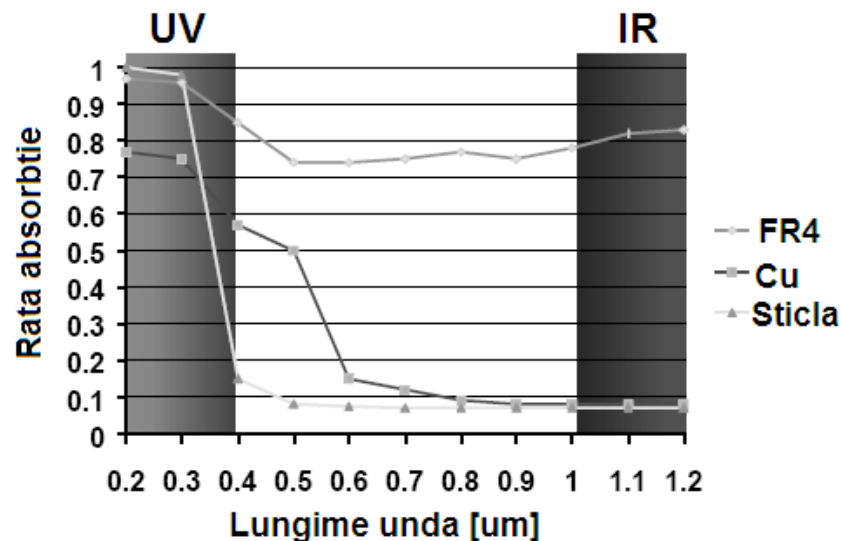
**Structurare
trasee**



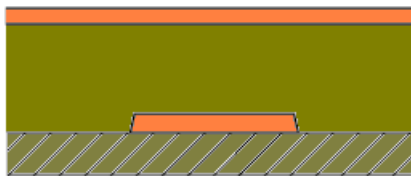
Structurare tehnologia fotolitografică utilizând substractivă

Tehnologia LASERVIA

- Tehnologie utilizată pentru prima dată de Hewlet Packard în 1984
- Utilizează un laser pentru a realiza decupări în dielectric
- În funcție de tipul de laser utilizat, se poate decupa și în Cupru

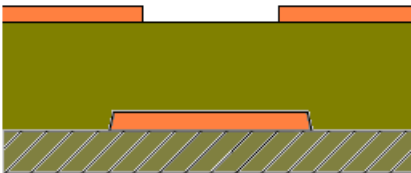


Laminare RCC



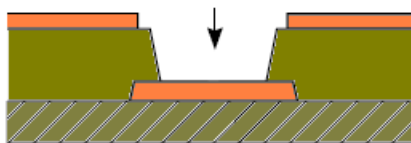
Resin Coated Copper

**Structurare Cu
(definire găuri)**

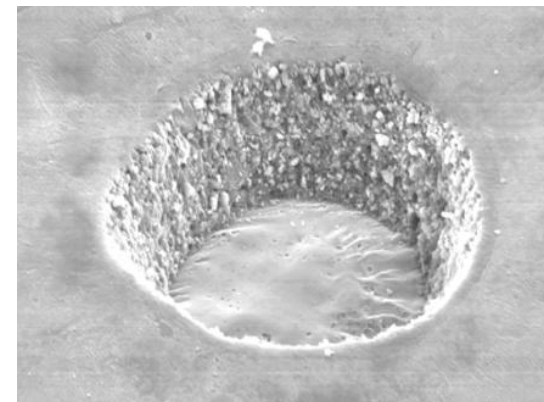


Structurarea este necesară doar dacă se utilizează laser IR (CO₂)

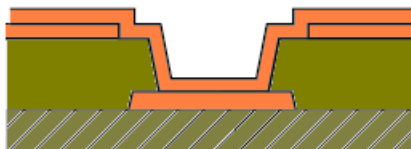
**Formare laser +
curățare**



Datorită prelucrării termice rămân reziduri de rășină care trebuie curățate (chimic, plasma)

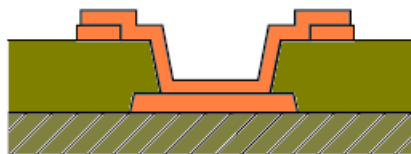


Metalizare



Metalizare chimică urmată de metalizare electrolitică

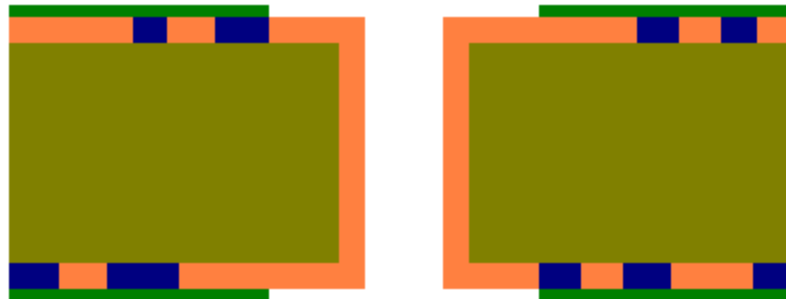
**Structurare
trasee**



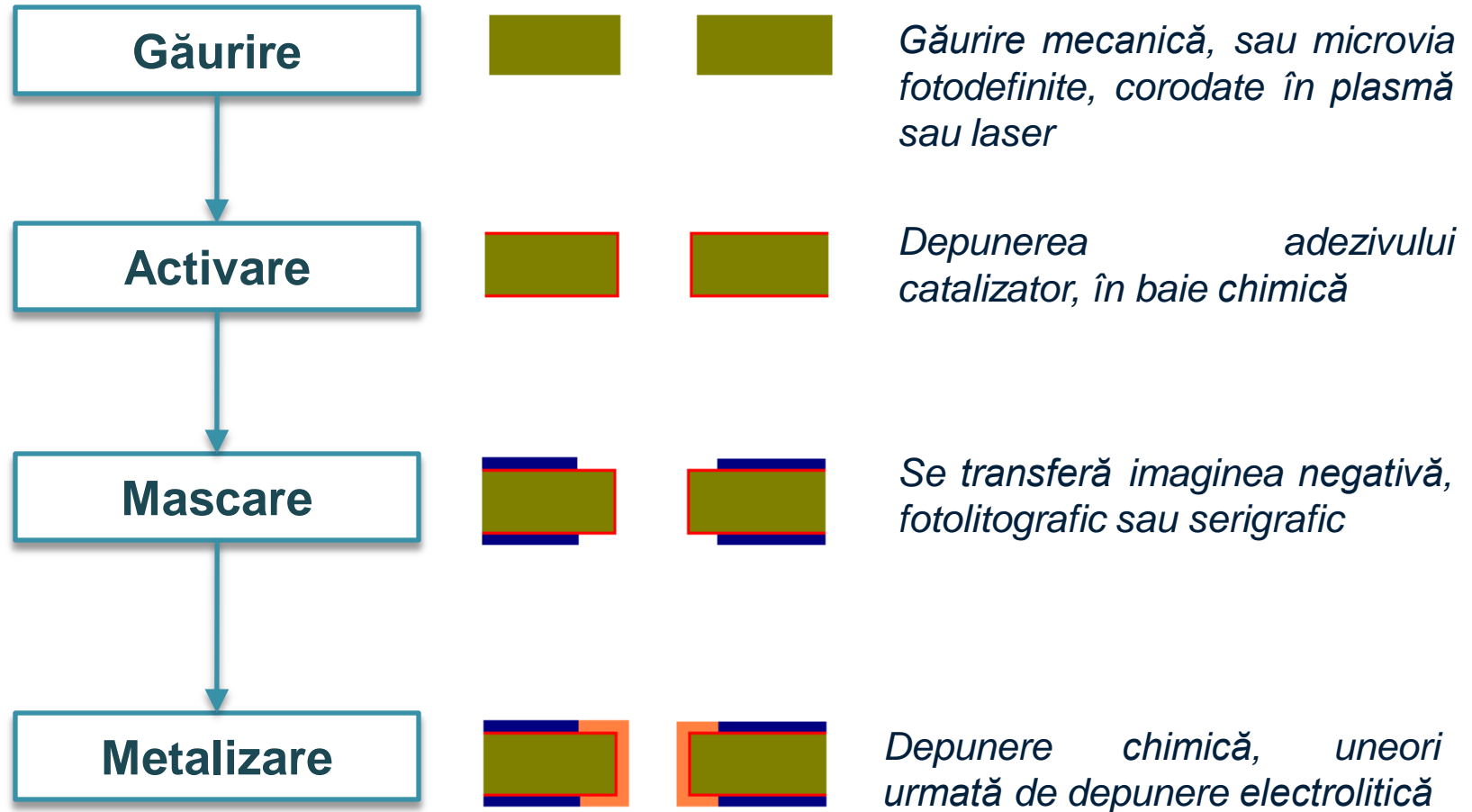
Structurare tehnologia utilizând
fotolitografică substractivă

2. Tehnologii aditive de formare a conductoarelor

- Propuse de *Photocircuits Corporation* în 1964, introduse în mediul industrial de IBM în 1980
- Utilizează adezivi catalizatori:
 - aderă pe dielectric
 - acționează ca și catalizatori pentru reacția de reducerea a cuprului în baia de metalizare
- Cuprul se depune printr-o mască, direct structurat, în straturi groase ($> 10 \mu\text{m}$)
- Masca de depunere (dielectric) rămâne permanent în structura plăcii



Procesul aditiv



Procesul semi-aditiv

Găurire

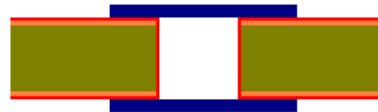


Semifabricat placat cu Cu de grosime mai mică decât în procesul substractiv ($2...5\ \mu\text{m}$)

Activare

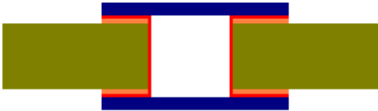


**Mascare
temporară**



Definește zonele de corodare

Corodare



Se poate obține o rezoluție mult mai fină decât prin procesul substractiv

**Dizolvare
mască**



**Mascare
permanentă**



Definește zonele de metalizare

Metalizare

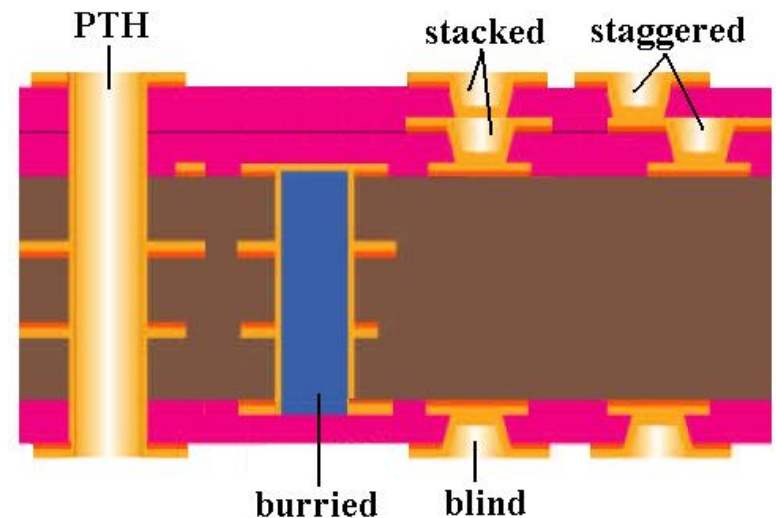


Se ajunge la grosimea finală a stratului conductor

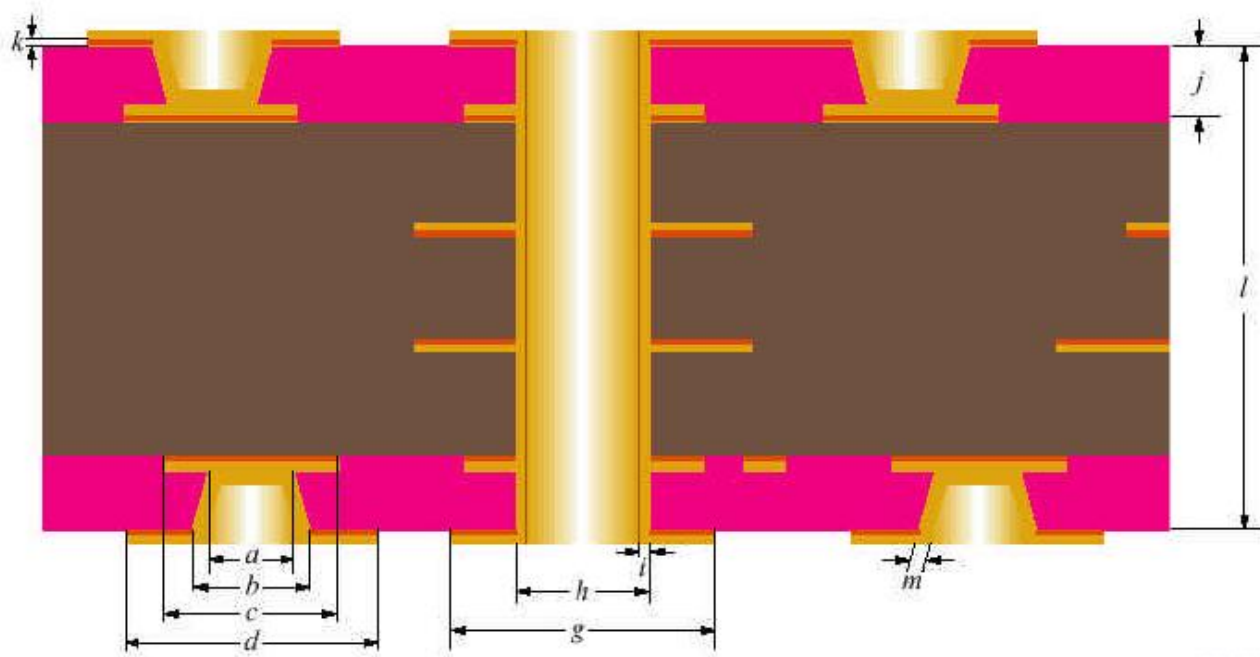
3. Tipuri de circuite imprimate HDI (IPC-2315)

Terminologie

- **t [S] b**: notație pentru o structură multistratificată cu substrat de tip **S** cu **t** niveluri conductoare deasupra (top) și **b** niveluri dedesubt (bottom)
- **Nivel crescut (*buildup*)**: nivel obținut prin tehnologii microvia, aditive sau semi-aditive
- **Via îngropate (*buried*)**: via ce conectează niveluri interne ale PCB, fără a fi vizibile de la suprafață
- **Via de suprafață (*blind*)**: via ce conectează un nivel de suprafață cu un nivel intern al PCB (vizibilă pe o singură suprafață)
- **PTH (*Plated Through Hole*)**: gaură metalizată ce parcurge întreaga placă
- **Via suprapuse (*stacked*)**: găuri de trecere ce parcurg niveluri dielectrice adiacente și au aceeași poziționare orizontală, astfel încât realizează contact electric
- **Via decalate (*staggered*)**: găuri de trecere ce parcurg niveluri dielectrice adiacente și au poziționări orizontale alăturate, astfel încât realizează contact electric



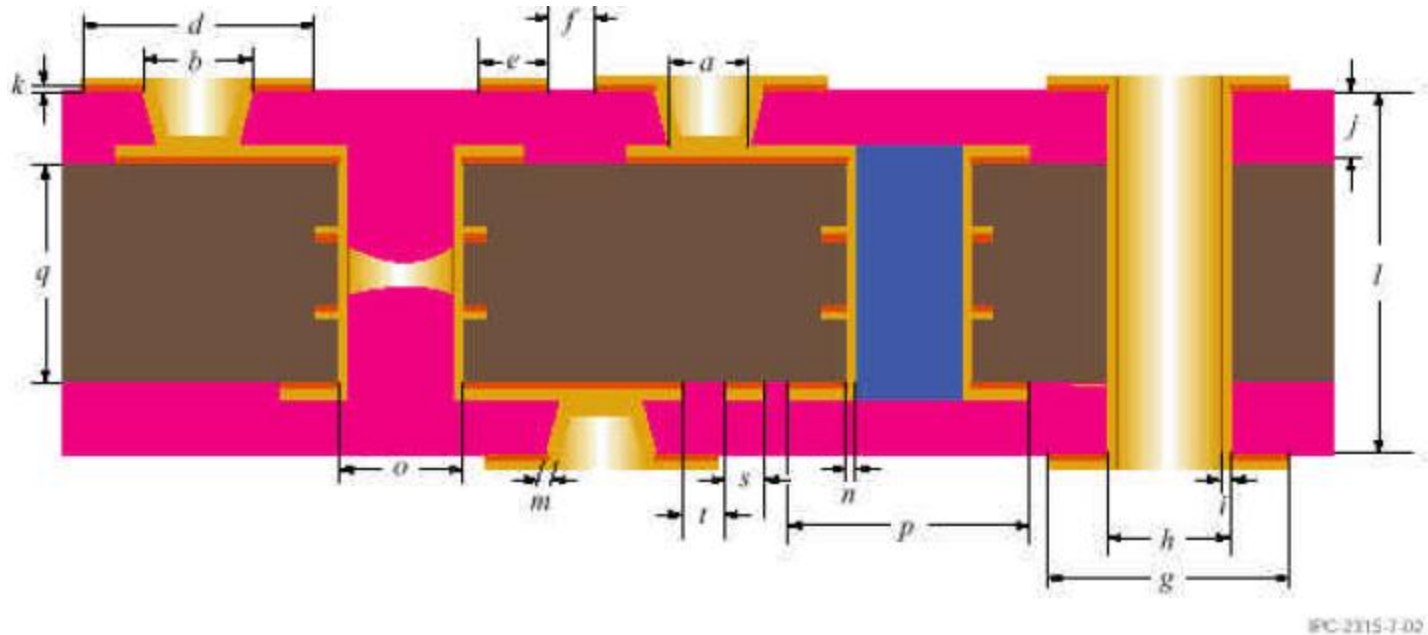
HDI Type I: 1[C]0 și 1[C]1



IPC-2315-7-01

- Substrat PCB laminat, fără via (core); poate fi simplu, dublu sau multistratificat
- Un singur nivel crescut (*buildup*) pe cel puțin o suprafață a substratului
- Microvia și găurile PTH sunt metalizate simultan
- Utilizat în special pentru a facilita distribuția semnalelor de la capsulele cu densitate mare (BGA)

HDI Type II: 1[C]0 și 1[C]1



- Substrat PCB laminat (core), cu via îngropate (*buried vias*)
- Găurile de trecere îngropate pot fi umplute cu adezivi conductori sau cu dielectric, pot fi parțiale sau complete (între toate nivelurile substratului)
- Un singur nivel crescut (*buildup*) pe fiecare suprafață (*blind vias*)
- Poate conține găuri PTH, metalizate simultan cu microvia de suprafață

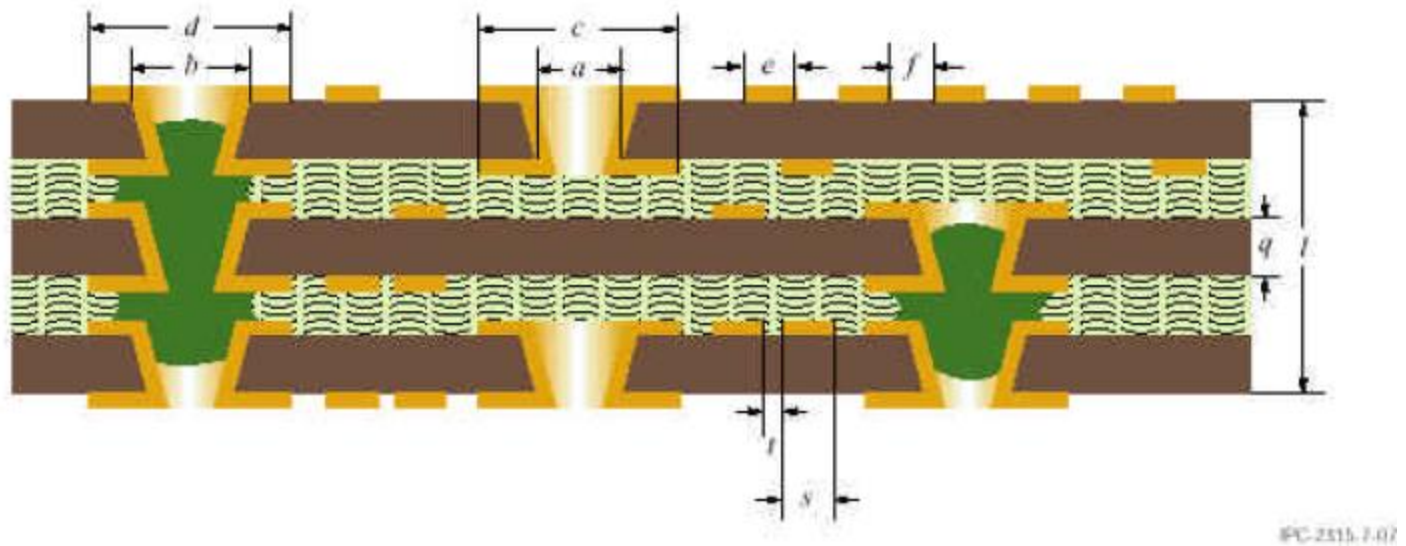


- Substrat PCB laminat (core), cu via îngropate (*burried vias*)
- Găurile de trecere îngropate pot fi umplute cu adezivi conductori sau cu dielectric, pot fi parțiale sau complete (între toate nivelurile substratului)
- Cel puțin două niveluri crescute pe o suprafață a substratului (top); opțional poate conține niveluri crescute și pe cealaltă
- Poate conține microvia suprapuse (*stacked*) sau decalate (*staggered*)
- Poate conține găuri PTH



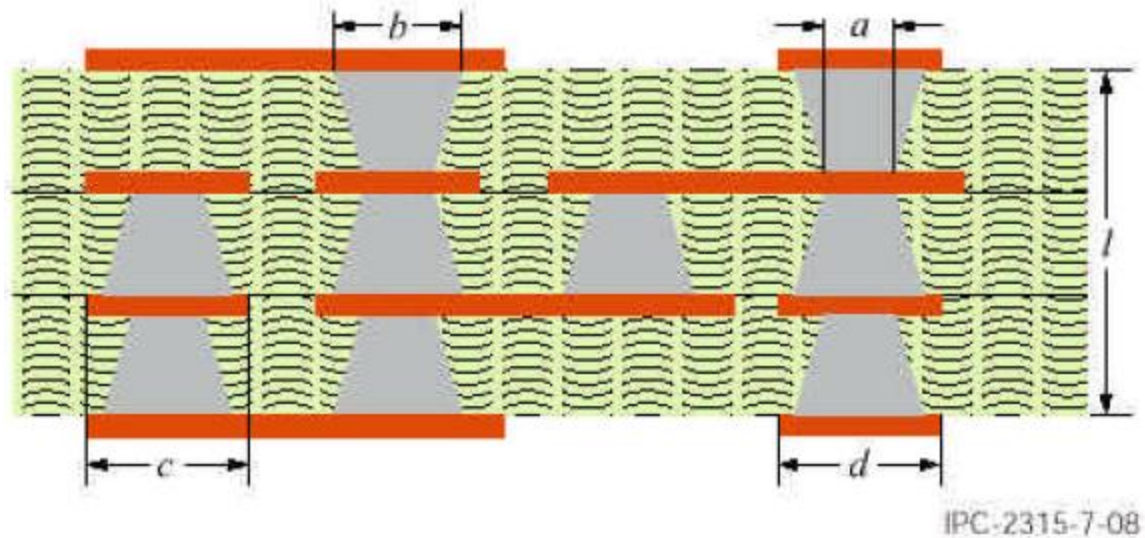
- Substrat pasiv găurit, fără rol electric (poate fi utilizat pentru considerente mecanice, termice sau electromagnetice, însă nu realizează conexiuni electrice)
- Substratul poate fi monolit (ceramic), compozit (FR4) sau laminat (dielectric pe Al)
- Găurile substratului pot fi metalizate (PTH)
- Cel puțin un nivel crescut pe cel puțin una dintre suprafețele substratului

HDI Type V



- Mai multe substraturi PCB dublu-stratificate obținute în tehnologie substractivă, laminate
- Substraturile pot fi rigide sau flexibile
- Conexiunile între nivelurile pare și cele impare se fac utilizând paste conductoare (metalice sau adezivi organici) stabilizate în procesul de laminare
- Nu conține găuri PTH

HDI Type VI



- Nu conține substrat
- Structura mecanică și conductoarele sunt formate simultan
- Pot fi realizate prin procese strict aditive sau prin laminare pe perechi de niveluri
- Conexiunile pot fi formate prin alte metode decât metalizare (adezivi conductori, paste conductoare, etc.)