

Capitolul 7.3

TEHNOLOGIA STRATURILOR GROASE (TSG)

Ciprian Ionescu

**Conferențiar la Catedra Tehnologie Electronică și Fiabilitate,
Fac. Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației
Universitatea Politehnica din București**



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

- **Tehnologia straturilor groase (TSG)** prezintă unele caracteristici avantajoase în utilizare dintre care amintim:

- *performanța*

- - dimensiuni reduse, comportare bună la frecvențe mari datorită elementelor parazite de valori scăzute
- - puteri disipate mari
- - rigiditate dielectrică ridicată
- - posibilitatea de ajustare a componentelor în limite strânse

- *flexibilitatea*

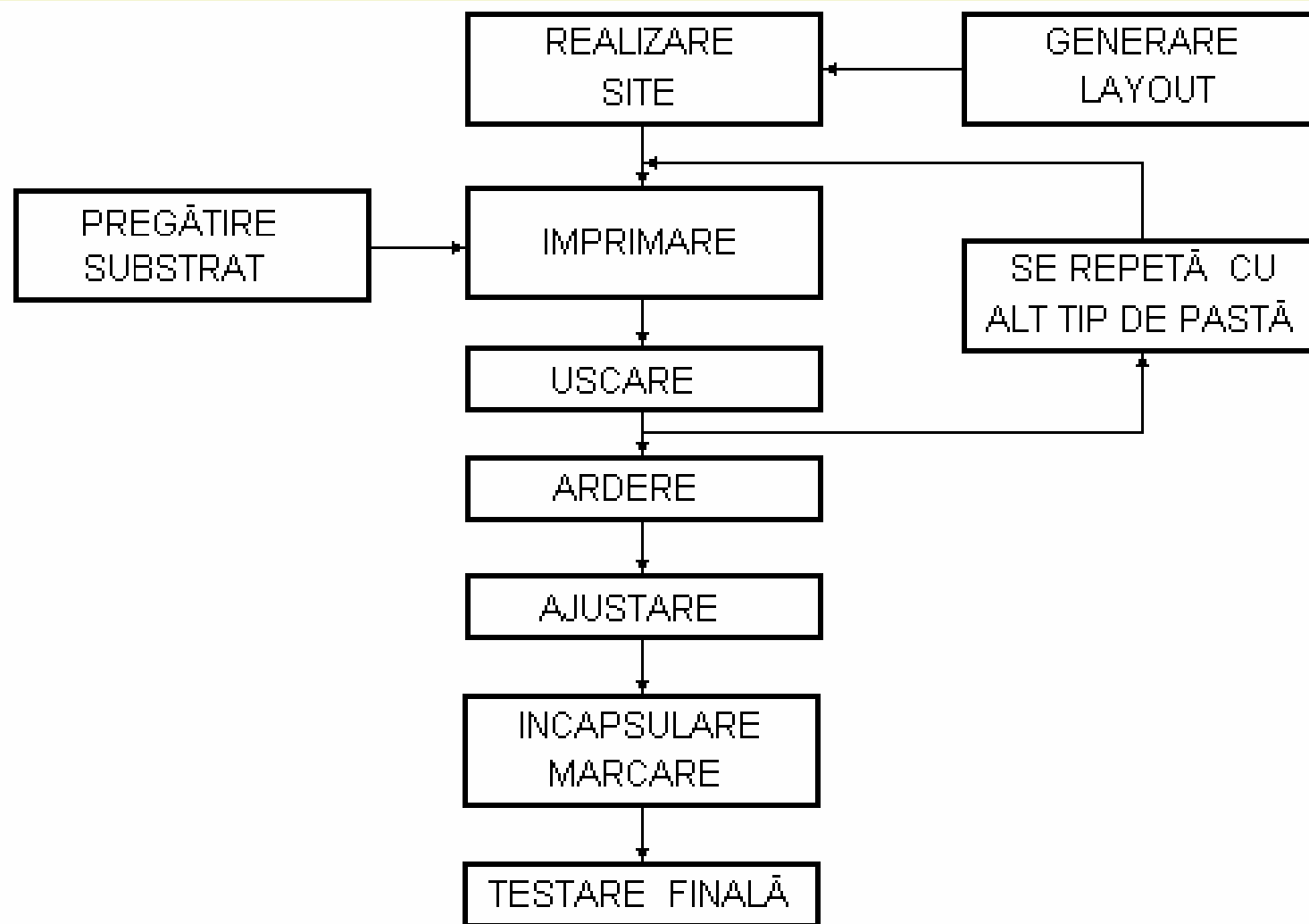
- - o schemă electrică poate fi transpusă direct într-un circuit integrat hibrid
- - modificarea circuitului se realizează ușor
- - trecerea de la prototip la producția de serie se face rapid

- *fiabilitatea*

- - fiabilitate crescută datorită reducerii numărului de conexiuni (prin lipire)
- - conductivitatea termică ridicată a substratului previne acumulările locale de căldură și crearea de puncte fierbinți pe suprafața rezistoarelor

- *avantajele economice*

- - investiții inițiale relativ scăzute
- - costurile de dezvoltare și producție sunt reduse
- - poate asigura rentabilitate chiar la producții mici



10 Etapele de realizare a unei structuri cu straturi groase

⑩ Procesul de realizare a unui circuit integrat hibrid cu straturi groase, este descris în figura anterioară. În cazul unui circuit complex este necesar a se repeta operația de imprimare pentru a depune paste dielectrice și a se adăuga operația de atașare a componentelor discrete de valori mari și a celor semiconductoare .

⑩ În continuare se vor descrie etapele mai importante ale procesului, cu un accent pus pe obținerea stratului gros prin imprimare.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013”

⑩ Realizarea sitelor și a măștilor (șabloanelor)

⑩ Sitele, respectiv măștile sunt produsul final rezultat prin procesarea fotografică a layout-ului circuitului. În varianta clasică, layout-ul era realizat la scară mărită(până la 10:1).

⑩ Rolul sitelor este de a permite depunerea selectivă a pastelor pe substratul dorit.

⑩ Pe lângă depunerea pastei în zone bine precizate ale substratului măștile controlează totodată și grosimea straturilor depuse. Prin site în cele ce urmează se va înțelege o țesătură de material (metal sau plastic) având o acoperire cu emulsie (gelatină), care descrie formele ce se vor depune, în timp ce prin termenul de mască ne vom referi la o construcție realizată din folie metalică.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

⑩ Construcția și parametrii sitelor serigrafice

- Sitele serigrafice sunt structuri țesute având fire subțiri care se realizează de obicei din Nylon, Poliester sau oțel inoxidabil. Sitele din material plastic sunt mai ieftine, mai elastice dar permit o poziționare mai puțin precisă ca cele de metal.
- Sitele metalice au o bună rezistență la frecare, sunt mai puțin elastice și permit o poziționare mai precisă pe substrat.
- Numărul de imprimări la sitele metalice este de cel puțin două ori mai mare ca la sitele din material plastic.
- Sitele din materiale plastice nu sunt recomandate pentru depunerea glazurilor de protecție ce conțin particule abrazive, dar dau rezultate bune la depunerea pastelor de lipit care necesită depuneri de straturi foarte groase.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

10 Comparație între sitele metalice și cele din materiale plastice

Caracteristica sitei	Oțel inox	Nylon	Observații
Rezistența la întindere	foarte bună	bună	Rezistența nylonului scade când este umed
Rezistență la acțiunea solvenților	foarte bună	bună	Cerință importantă
Stabilitate	foarte bună	bună	Oțelul inox este recomandabil pentru rezoluții ridicate
Sensibilitate la încălzire	scăzută	ridică	Oțelul inox este recomandabil pentru rezoluții ridicate
Absorbție de umiditate	nu	<4%	
Rezistența la uzură (prin frecare)	foarte bună	bună	
Uzura asupra racletei	ridică	scăzută	
Aderența emulsiei	bună	foarte bună	
Cost	Mediu → ridicat	mic	



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

⑩ În funcție de tipul de pastă sunt utilizate țesături cu $80 \div 400$ ochiuri pe inch (cifra "mesh") :

- ⑩ - pentru trasee conductoare: $325 \div 400$ mesh
- ⑩ - pentru paste rezistive: $165 \div 200$ mesh
- ⑩ - pentru paste dielectrice: 250 mesh
- ⑩ - pentru paste de lipit: 80 mesh



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

⑩ Țesătura trebuie tensionată și fixată pe un cadru de susținere cu cleme de prindere sau se poate lipi. Tensionarea corectă a sitei este foarte importantă pentru o imprimare de calitate. Tensiunea trebuie astfel aleasă ca în timpul procesului de imprimare sita să rămână în domeniul de elasticitate (1 ÷ 2 %).

⑩ Dacă tensiunea este prea mare racleta se uzează prematur iar dacă tensiunea este prea mică nu are loc ridicarea rapidă a sitei în urma racletei rezultând deformări ale imaginii imprimate. Tensiunea de întindere recomandată P_s pentru site de oțel inox este dată de ecuația:

$$P_s = \frac{a^2 \pi}{4} n f P_G$$

⑩ cu a - diametrul firului în mm

⑩ n - numărul de fire pe centimetru (mesh/2,54)

⑩ f - coeficient de siguranță = 0,5 ≈ alungirea relativă recomandată după tensionare (%)

⑩ P_G - tensiunea sitei la limita de curgere (500 N/mm²)

⑩ Ecuația anterioară permite trasarea de grafice din care se pot alege corespunzător tensionările necesare în funcție de sită (mesh și diametrul firului).



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

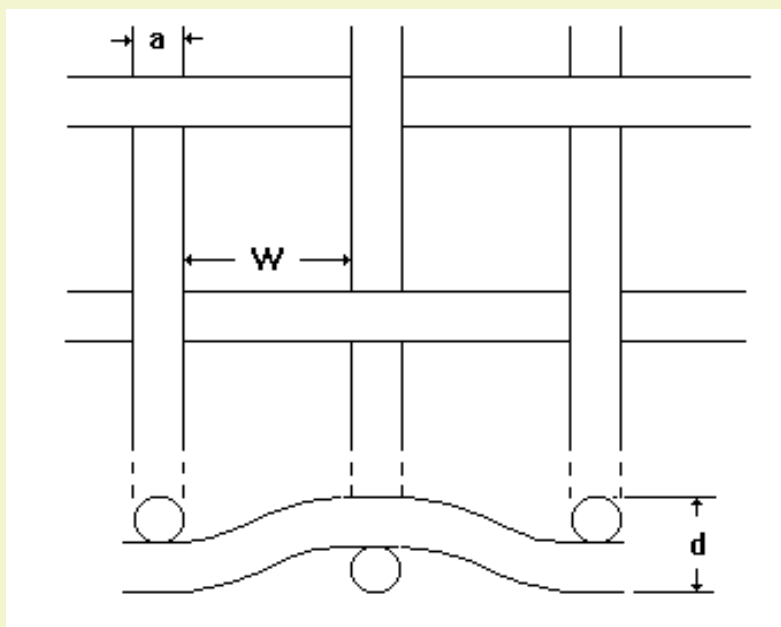
Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

⑩ Figura prezintă schematic țesătura unei site serigrafice. Lățimea deschiderii W (mm) este definită ca distanța dintre două fire :

$$W = \frac{25,4}{m} - a \quad (mm)$$

⑩ cu m - cifra mesh și a - diametrul firului în mm.



⑩ Deschiderea suprafeței O exprimată în procente se calculează cu relația

$$O = 100 \cdot \frac{W^2}{(W + a)^2} \quad (\%)$$

⑩ Se observă că cifra mesh, lățimea deschiderii ochiului și suprafața deschisă sunt parametri interdependenți. Grosimea țesăturii d este de circa $2 \div 2,5$ ori mai mare ca diametrul firului a . Cu cât cifra mesh este mai mare cu atât trebuie ca firul să fie mai subțire pentru a asigura o deschidere suficientă. Totodată cu creșterea cifrei mesh, păstrând suprafața deschisă la aceeași valoare, se reduce corespunzător și grosimea țesăturii având ca efect reducerea grosimii stratului depus.

⑩ Trebuie ținut cont că pasta depusă suferă un tratament termic de uscare și ardere având ca efect reducerea dimensiunilor stratului depus final numit aici "ars" față de stratul inițial "ud".

⑩ Se poate defini un factor de contracție, $S = \frac{T_w}{T_f}$ unde T_w și T_f reprezintă grosimile

⑩ straturilor ud respectiv ars.

⑩ Presupunând că factorul de contracție S este constant pentru un anumit tip de depunere, grosimea finală a stratului (ars) este determinată direct de grosimea stratului ud. Aprecierea grosimii stratului ud se face pe baza presupunerii că pasta ocupă un anumit volum determinat de suprafața liberă a sitei și apoi este transferată integral pe substrat.

⑩ Pentru sita din figura anterioară grosimea stratului "ud" se estimează cu relația:

$$T_w = d \cdot O \quad (mm)$$

⑩ cu d - grosimea țesături și O - deschiderea suprafeței



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

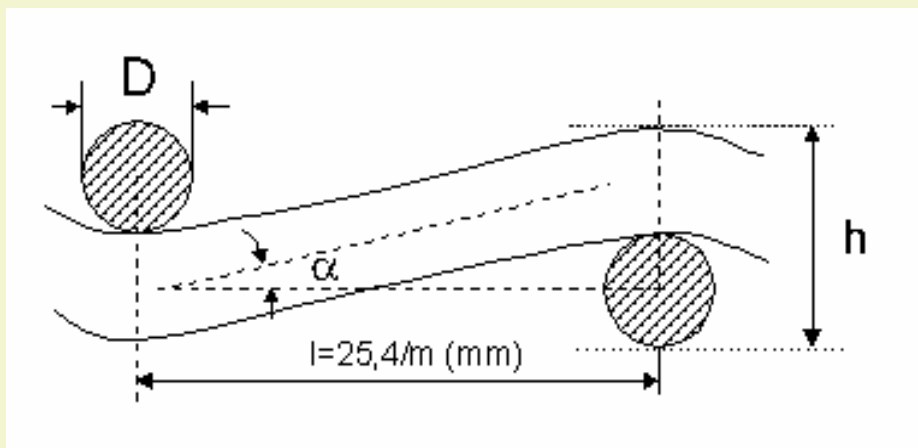
ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

⑩ O relație mai precisă dedusă pe baza figurii de mai jos este :

$$T_w = D \left(2 - \frac{m D \pi}{2 \cdot 25,4 \cdot \alpha} \right) \quad \text{⑩ (mm)}$$



- ⑩ cu: - D diametrul firului în mm
- ⑩ - m cifra "mesh"
- ⑩ - $\alpha = \arctg (m \times D / 25,4)$

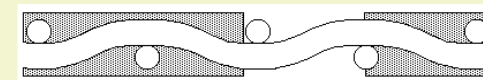
⑩ În caz că sita prezintă o grosime suplimentară a gelatinei b, peste grosimea țesăturii, grosimea stratului "ud" depus se calculează cu relația : $T = T_w + b$.

10 GENERAREA IMAGINII PE SITĂ

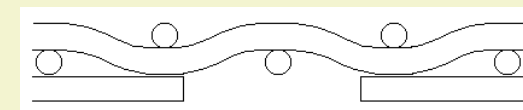
10 Majoritatea șabloanelor atașate sitelor serigrafice utilizate în obținerea straturilor groase sunt obținute cu ajutorul unor emulsii lichide sau de tip film care sunt procesate printr-un proces fotolitografic. Există trei tipuri de șabloane, tipuri care diferențiază și tehnicile de realizare a lor. Astfel există șabloane

- 10 (a) directe
- 10 (b) indirecte
- 10 (c) direct/indirecte

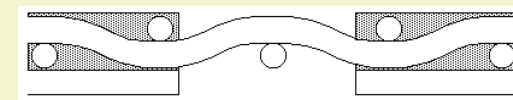
10 Diferențele între cele trei tipuri sunt date de modul de aplicare pe sită. La procedeul indirect formele sunt definite în emulsie înainte de atașarea pe sită în timp ce la procedeul direct definirea formelor are loc după ce sita a fost acoperită.



10 Procedeu direct



10 Procedeu indirect



10 Procedeu direct-indirect

⑩ La șablonul direct are loc umplerea ochiurilor sitei cu un gel pe bază de polimeri fotosensibili. După uscare are loc expunerea emulsiei, de obicei în domeniul ultraviolet, iar imaginea circuitului dorit se află pe filme fotografice obținute, fie cu ajutorul unui fotoploter, fie prin reducere după planul (artwork) original realizat la scară mărită. Emulsia din regiunile expuse la lumină suferă un proces de polimerizare și se fixează în ochiurile sitei în timp ce regiunile neexpuse pot fi îndepărtate prin spălare.

⑩ La metoda indirectă este utilizată o folie subțire (film) din material plastic la care este atașat un strat fotosensibil. După realizarea imaginii dorite prin expunere și spălare, se presează sita peste stratul fotosensibil, urmând în final dezlipirea stratului de material plastic, strat ce a avut rol de suport.

⑩ La procedeul direct/indirect se așează o folie cu material fotosensibil sub sită, similar ca la procedeul indirect, apoi are loc o aplicare a unei emulsii viscoase fotosensibile pe partea superioară a sitei, ca la procesul direct. Emulsia acționează ca un adeziv, permițând o bună înglobare a sitei. După uscare are loc dezlipirea foliei suport, urmând expunerea prin partea inferioară a sitei, urmată de spălarea materialul fotosensibil neexpus.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

⑩ Principalele caracteristici ale sitelor realizate prin procedeul direct (prin comparație cu celelalte două tipuri de site) sunt:

⑩ - rezoluție limitată (pot să apară efecte de tip "dinte de fierăstrău" deoarece există numai suprafețe întregi ale unui ochi, fie acoperite, fie libere)

⑩ - durata de utilizare este cea mai ridicată

⑩ - cost mediu, economice la serii mari

⑩ Printre caracteristicile sitelor realizate prin procedeul indirect amintim:

⑩ - oferă cea mai bună rezoluție

⑩ - cost redus, recomandate la prototipuri și serii mici

⑩ - durata de utilizare cea mai mică

⑩ Performanțele sitelor realizate prin procedeul direct/indirect se situează între cele obținute prin procedeul direct și cele prin procedeul indirect. Sunt cele mai utilizate deoarece permit controlul ușor al grosimii straturilor depuse prin parametrul b - grosimea stratului fotosensibil al filmului.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

⑩ Măști pentru imprimare (Stencil)

⑩ Alături de site, la depunerea straturilor groase sunt utilizate și măști metalice de depunere. Măștile sunt folii metalice cu grosimi între 20 , 200 mm, având practicate deschideri ce permit depunerea selectivă a pastelor.

⑩ O enumerare a principalelor tipuri de măști este prezentată în continuare:

- ⑩ măști - directe - măști gravate
- ⑩ - măști electroformate
- ⑩ - indirecte - cu șablonul lipit
- ⑩ - cu șablonul depus

⑩ Termenul "indirect" se aplică măștilor de metal realizate dintr-o țesătură metalică pe care se aplică șablonul. Termenul "direct" se referă la măști la care structura de ochiuri și șablonul sunt realizate într-o singură operație.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



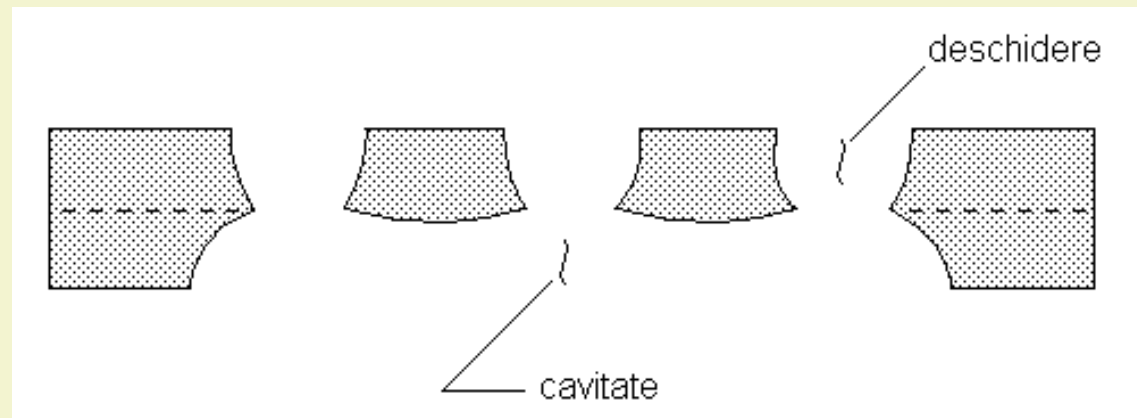
INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

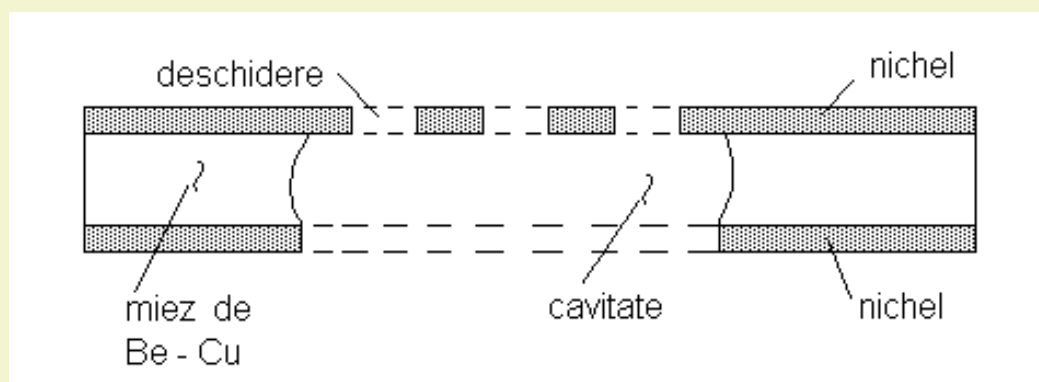
Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

⑩ Măștile gravate sunt realizate prin gravarea (corodarea) de orificii într-o foiță de metal. Se poate ca pe o parte a foiței să se graveze o cavitate iar pe cealaltă o structură de ochiuri, deși există măști fără aceste ochiuri. Structura unei măști gravate este prezentată în figura de mai jos:



⑩ Se observă contururile tip "vârf de cuțit" specifice corodării laterale. Materialul preferat în realizarea acestui tip de mască este molibdenul, datorită durității mari și a structurii granulare fine care permite obținerea de contururi netede.

⑩ În figura următoare este prezentată structura unei măști electroformate utilizând o structură tipică de tip Ni- Be-Cu- Ni. Alte materiale posibil de utilizat sunt cuprul, bronzul, alama. Realizarea măștii este similară cu masca gravată, cu deosebirea că fotorezistul este utilizat pentru a masca zonele care nu trebuie acoperite electrochimic cu Ni. La rândul său nichelul acționează ca un fotorezist pentru corodarea materialului din zona centrală.



⑩ Măștile indirecte cu șablonul lipit sunt realizate prin lipirea pe o textură de oțel inoxidabil a unui șablon metalic obținut printr-un proces similar cu cel de la realizarea măștilor directe.

⑩ Măștile indirecte cu șablonul depus utilizează o țesătură metalică de oțel inoxidabil pe care se depune un strat de metal, de obicei Ni depus pe cale electrochimică. Principalul avantaj al acestui tip de mască este aderența excelentă a șablonului la sită și posibilitatea de realizare a configurațiilor de tip insule izolate.

- ⑩ Caracteristicile principale ale utilizării măștilor metalice sunt
- ⑩ - precizie și rezoluție deosebită (trasee de 20 μm)
- ⑩ - durată de utilizare foarte mare
- ⑩ - realizare relativ dificilă, cost ridicat, recomandate pentru producția de serie mare
- ⑩ - necesită precauții în utilizare, sunt fragile



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

Procedeul de imprimare prin serigrafie

- ⑩ Caracteristic tehnologiei straturilor groase este obținerea straturilor prin procedeul de imprimare numit serigrafie.
- ⑩ Serigrafia este procesul de imprimare prin care o pastă (rezistivă, conductoare, dielectrică) este presată cu ajutorul unei raclete și obligată să treacă prin ochiurile neacoperite ale unei site (sau prin deschiderile unui șablon) pentru a obține pe un substrat imaginea dorită, imagine ce apare ca un complement al imaginii de pe sită.
- ⑩ Există două tehnici majore de imprimare prin serigrafie:
 - Imprimarea fără contact (***Off-Contact Printing***)
 - Imprimarea cu contact (***Contact printing***)



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



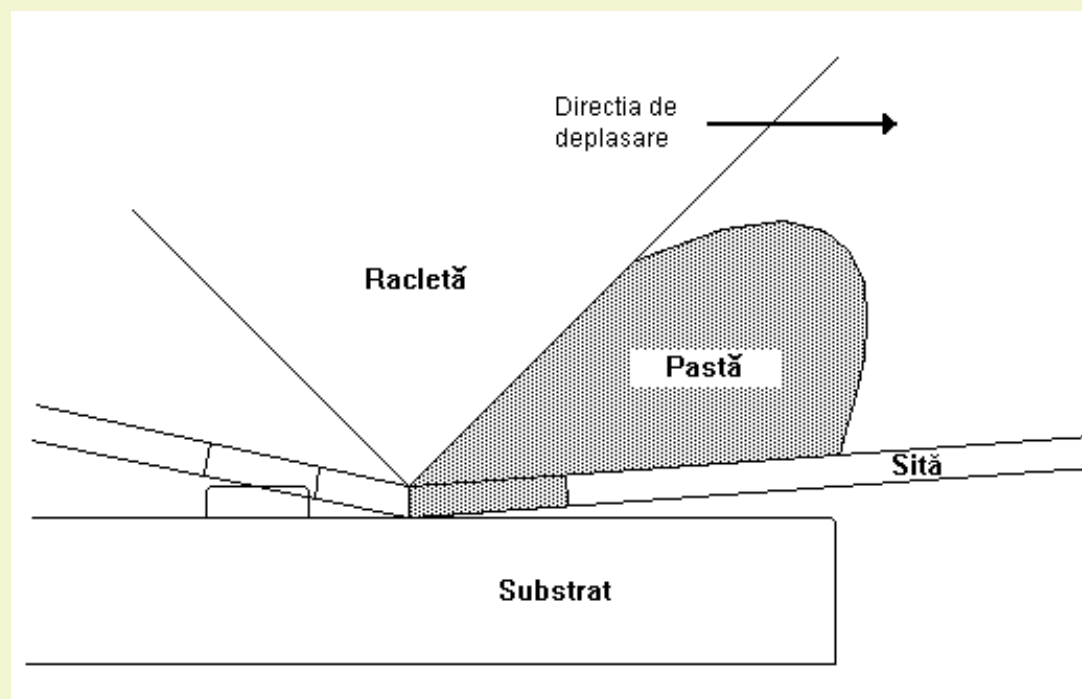
INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013”

- ⑩ Imprimarea fără contact este numită așa deoarece în procesul imprimării există un spațiu între sită și substrat



- ⑩ Prin deplasarea racletei, al cărei contact cu sita se face după o linie (cant), are loc presarea pastei în ochiurile sitei.
- ⑩ În urma racletei se observă că a avut loc desprinderea pastei de sită și depunerea ei pe substrat, ca urmare a forțelor de aderență dar și a gravitației. În mod ideal toată pasta acumulată în ochiurile sitei trebuie să se desprindă de sită.
- ⑩ În realitate pasta udă materialul sitei și transferul nu poate fi complet. În plus natura țesută a sitei poate cauza imobilizarea pastei. Dacă distanța sită - substrat se mărește, unghiul dintre sită și substrat în momentul contactului crește schimbând condițiile de depunere. Variații în grosimea substratului sau curbura substratului au efecte similare. Pentru a minimiza acest efect aria sitei trebuie să fie mare față de aria de imprimare.
- ⑩ Datorită desprinderii (snapback) instantanee a sitei de substrat, în urma racletei, pasta nu are timp să își revină la viscozitatea inițială mare și pericolul "agățării" sitei de substrat este minimizat.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



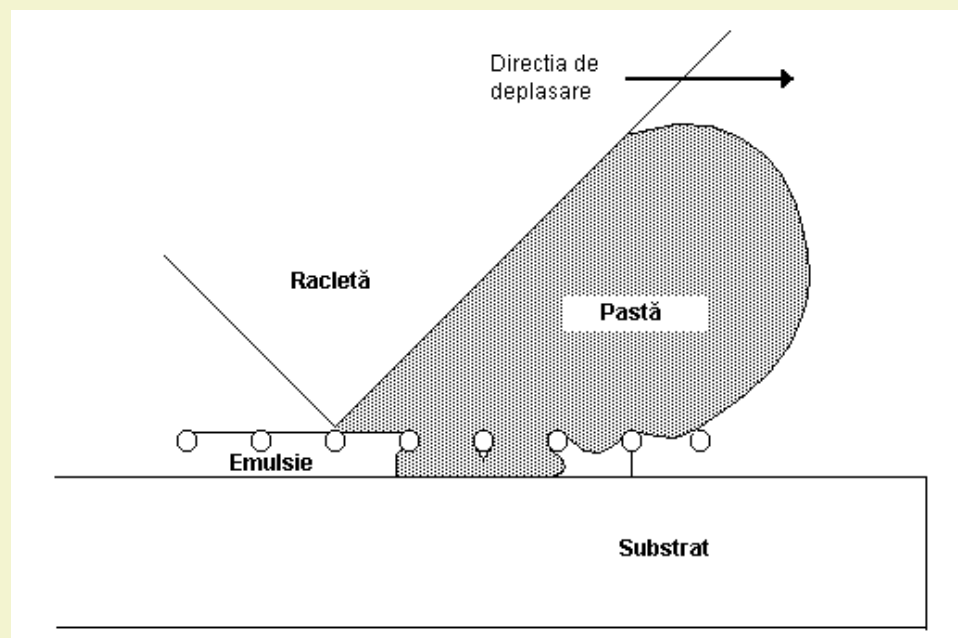
INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

- ⑩ Metoda de imprimare cu contact este caracterizată de existența unui contact între sită și substrat pe toată durata cursei de imprimare.



⑩ În acest procedeu toate cavitățile sau ariile care se doresc a fi imprimate sunt umplute cu pastă și apoi sita (sau substratul) se îndepărtează.

⑩ Există două metode de îndepărtare între sită și substrat utilizate în mod curent. Prima metodă are ca rezultat o mișcare de dezlipire și este realizată prin ridicarea unei laturi a cadrului sitei. Această îndepărtare simulează efectul frontului de undă de la imprimarea fără contact. A doua metodă este îndepărtarea verticală, care se realizează prin depărtarea sitei de substrat, menținând paralelismul între suprafețele lor.

⑩ Viteza de îndepărtare trebuie foarte bine controlată pentru a obține rezultate bune. Variații în grosimea și curbura substratului pot influența de asemenea calitatea acestui tip de imprimare.

⑩ Această metodă de imprimare are două mari avantaje:

⑩ - elimină necesitatea de a utiliza site de dimensiuni mari. De asemenea distorsionarea formelor datorită alungirii sitei este inexistentă.

⑩ - procesul poate fi controlat mai ușor, parametrii care intervin ne mai fiind interdependenți.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

⑩ Din cele prezentate anterior se pot enumera parametrii care influențează calitatea imprimării prin serigrafie:

- ⑩ - proprietățile pastelor utilizate
- ⑩ - planeitatea și uniformitatea grosimii substratului
- ⑩ - tipul sitei sau șablonului, volumul ochiurilor, desimea firelor (cifra "mesh")
- ⑩ - tensiunea de întindere a sitei
- ⑩ - distanța sită-substrat
- ⑩ - parametrii racletei: duritate, unghiul de atac, presiunea de apăsare, viteza de deplasare



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

⑩ În prezent imprimarea este realizată pe mașini de imprimat automate sau semiautomate. În funcție de calitatea și reglajul corect al mașinii depinde calitatea depunerii. Principalele cerințe care trebuie îndeplinite de o mașină de imprimare se referă la:

- ⑩ - stabilitatea cadrului de prindere a sitei
- ⑩ - ajustarea fină a cadrului în direcțiile x-y-z
- ⑩ - asigurarea paralelismului între racletă, sită și substrat
- ⑩ - posibilități de schimbare rapidă a sitei
- ⑩ poziționarea precisă și reproductibilă a substratului
- ⑩ - posibilitatea ajustării distanței sită-substrat
- ⑩ - posibilități de reglaj pentru înălțimea și presiunea de apăsare a racletei
- ⑩ - viteză de deplasare a racletei constantă, reglabilă în domeniul ($3 \div 30$ cm/s), atât pentru cursa directă cât și pentru cea inversă



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

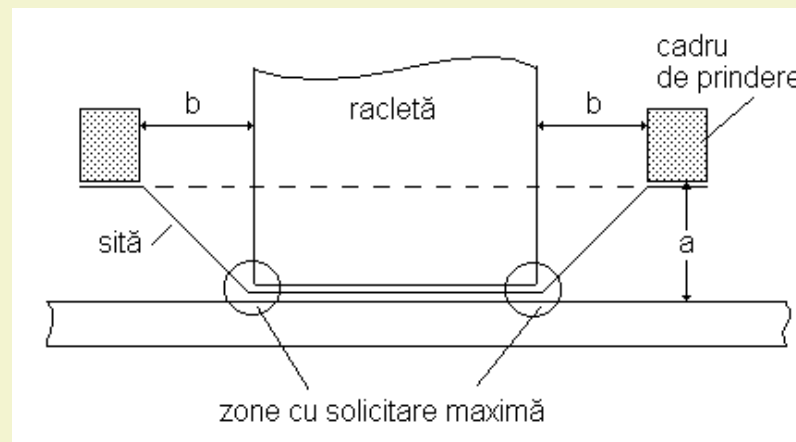
Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

⑩ Distanța sită - substrat (la imprimarea fără contact)

⑩ Acest parametru a fost descris atunci când au fost prezentate metodele de imprimare.

⑩ În mod uzual se prevede o distanță de $0,4 \div 0,7$ mm. Atunci când sunt utilizate paste mai vâscoase distanța poate ajunge la 1,5 mm. La alegerea parametrului se are în vedere ca această distanță:

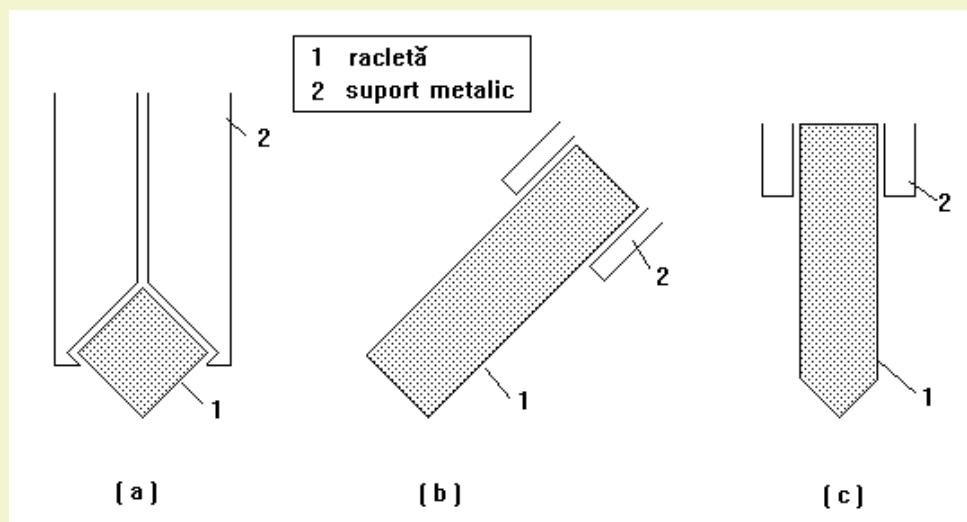
- ⑩ - să fie cât mai mică pentru a nu întinde sita și a realiza forme precise
- ⑩ - să fie suficient de mare ca sita să se ridice și să permită depunerea pastei fără a se lipi de substrat



⑩ Din figură se observă că o distanță sită-substrat -a- prea mare sau o distanță racletă - cadru de prindere -b- prea mică pot duce la suprasolicitarea sitei.

⑩ Parametrii racletei

⑩ Racleta trebuie realizată dintr-un material rezistent la frecare și rezistent la solvenții utilizați la prepararea pastelor. Materiale utilizate de obicei sunt Poliuretan, Neopren, Viton. Formele cele mai utilizate pentru raclete sunt prezentate în figura de mai jos

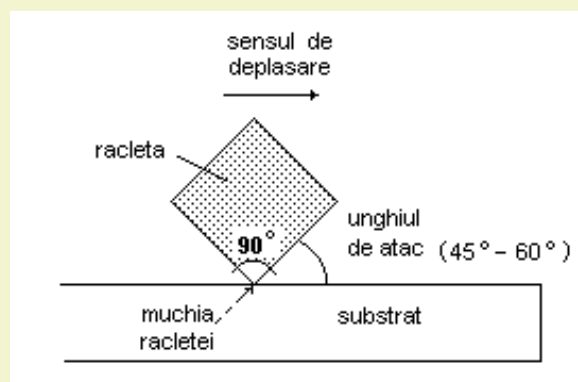


⑩ Racleta pătrată (a) prezintă următoarele avantaje: consum mic de material pentru realizarea ei și se pot utiliza toate cele patru muchii. Dezavantajul acestei forme de racletă este că are o elasticitate foarte redusă.

⑩ Racleta de formă dreptunghiulară (b) are avantajul celei mai bune elasticități și dezavantajul consumului mare de material și al dificultății de a modifica forța de apăsare a racletei fără a modifica geometria în zona contactului cu sita.

⑩ Racleta (c) în formă de "acoperiș" este mai elastică decât cea pătrată dar are dezavantajul unei singure muchii utilizabile.

⑩ Unghiul de contact al racletei, care de obicei este între 45 și 60 grade, determină împreună cu viteza racletei presiunea dinamică exercitată asupra pastei. La un unghi ales corect ochiurile sitei sunt complet umplute. Dacă unghiul este prea mare transferul pastei în ochiurile sitei durează prea mult și ochiurile nu sunt umplute complet cu pastă rezultând o grosime mică a stratului depus. Dacă unghiul este prea mic presiunea dinamică exercitată asupra pastei este prea mare și are loc murdărirea cu pastă la marginile structurilor.

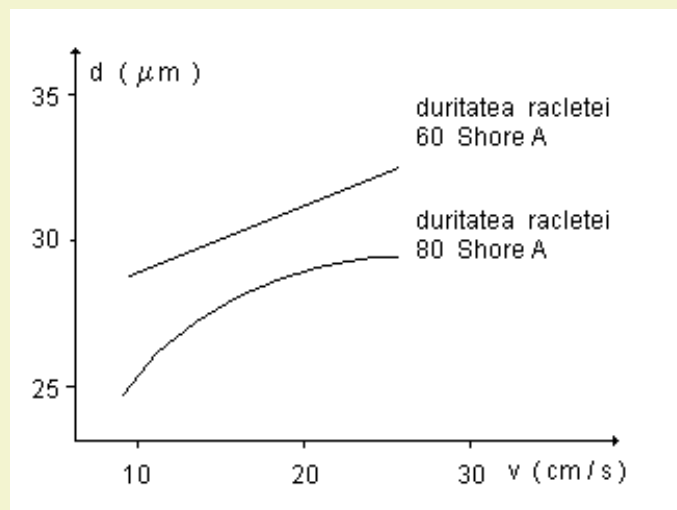


⑩ Duritatea racletei trebuie să fie între 50 ÷ 60 Shore A. Cu o racletă având duritatea mică se pot reduce influențele substratelor curbate și ale defectelor de sită. Muchia racletei este însă deformată puternic rezultând unghiuri de contact nedefinite și o slabă reproductibilitate a straturilor. Cu o racletă dură se pot obține grosimi reproductibile, rezultând însă, în cazul substraturilor curbate acoperiri incomplete cu pastă.

⑩ Un alt parametru important al procesului de imprimare este forța de apăsare a racletei. Presiunea exercitată de racletă asupra sitei este determinantă pentru durata de utilizare a sitei. Forța de apăsare trebuie aleasă suficient de mare pentru a învinge tensiunea sitei și a putea deplasa pasta.

⑩ O suprapresiune nu are de obicei un efect vizibil asupra rezultatului imprimării însă duce la o uzură puternică a racletei, o deformare a muchiilor, un unghi de contact nedefinit și o reducere a duratei de utilizare a sitei.

⑩ La o presiune prea scăzută, sita nu intră în contact corespunzător cu substratul, rezultând o imagine incompletă.



⑩ Viteza racletei determină, alături de unghiul de contact presiunea dinamică exercitată asupra pastei. Creșterea vitezei de deplasare a racletei are ca efect o creștere a grosimii stratului depus până la o valoare maximă. La viteze mai mari are loc o scădere a grosimii stratului, scădere explicată de umplerea incompletă a ochiurilor sitei și de timpul de transfer prea scurt.

⑩ Paste utilizate la depunerea straturilor groase

⑩ Pastele pentru straturi groase constau dintr-un amestec de granule fine ($0,1 \div 10$ m) de natură anorganică aflate în suspensie într-un material organic purtător.

Indiferent de tip, pastele au în compoziție următorii constituenți:

- ⑩ - solvenți
- ⑩ - lianți organici
- ⑩ - adaosuri pentru asigurarea caracteristicilor reologice
- ⑩ - pulberi de sticlă
- ⑩ la care se adaugă elemente specifice
 - ⑩ - pulberi metalice la paste conductoare
 - ⑩ - oxizi metalici la paste rezistive
 - ⑩ - grăunțe de sticlă și pulberi ceramice la paste dielectrice

⑩ Una din caracteristicile pastei, foarte importantă pentru procesul de imprimare se referă la proprietățile reologice ale acesteia. Proprietățile de curgere sunt determinate într-o primă etapă de viscozitatea η .



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

⑩ În procesul de imprimare se pot distinge următoarele faze :

- ⑩ - întinderea pastei pe sită
- ⑩ - presarea (forfecarea) pastei prin acțiunea racletei
- ⑩ - curgerea pastei prin ochiurile sitei
- ⑩ - desprinderea sitei și crearea structurii imprimate pe substrat

⑩ Pentru o imprimare corectă pasta trebuie să prezinte următoarea comportare reologică :

- ⑩ - sub acțiunea efortului produs de racletă viscozitatea trebuie să scadă pentru ca pasta să pătrundă în ochiurile sitei
- ⑩ - la îndepărtarea efortului viscozitatea trebuie să crească treptat ajungând la valoarea de repaus pentru ca structurile să rămână stabile. Fluidele cu acest comportament sunt cele pseudoplastice și cele thixotropice.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



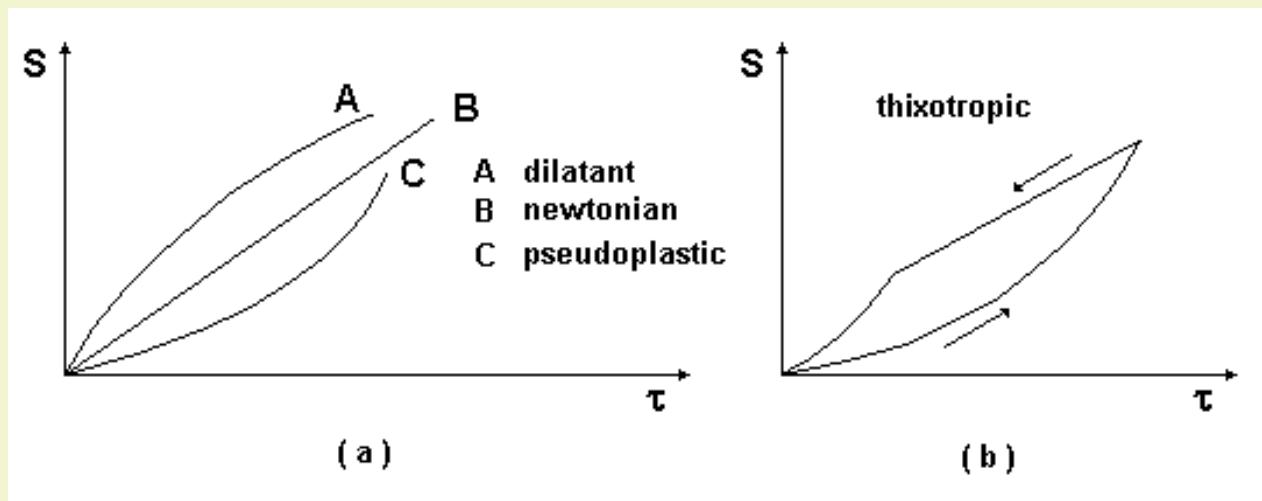
INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

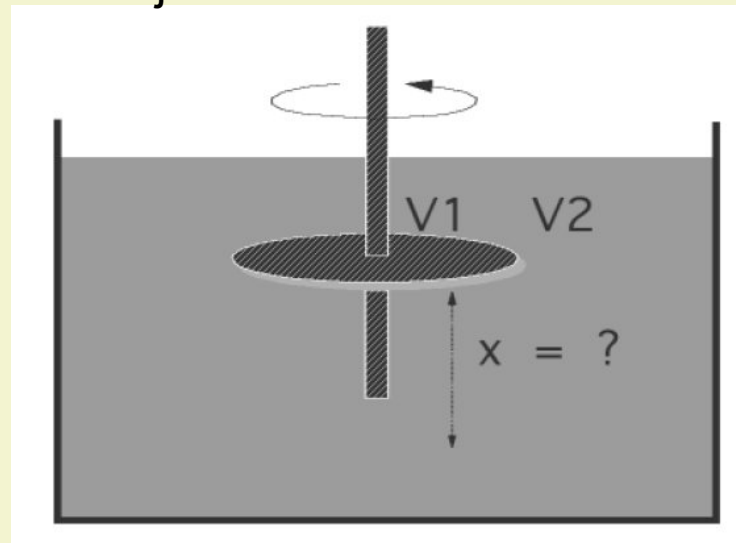
Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013”

⑩ În figura (a) sunt prezentate caracteristicile S - rata de forfecare în funcție de -efortul de forfecare. Pentru un fluid newtonian $\eta = \tau/S$. În figura (b) este reprezentat comportamentul unui lichid thixotropic.



⑩ Pastele cu comportament thixotropic sunt favorabile depunerii straturilor groase datorită micșorării viscozității la trecerea racletei și creșterii lente a viscozității după îndepărtarea forței.

⑩ Un echipament pentru măsurarea viscozității este aparatul Brookfield, prezentat schematic mai jos.

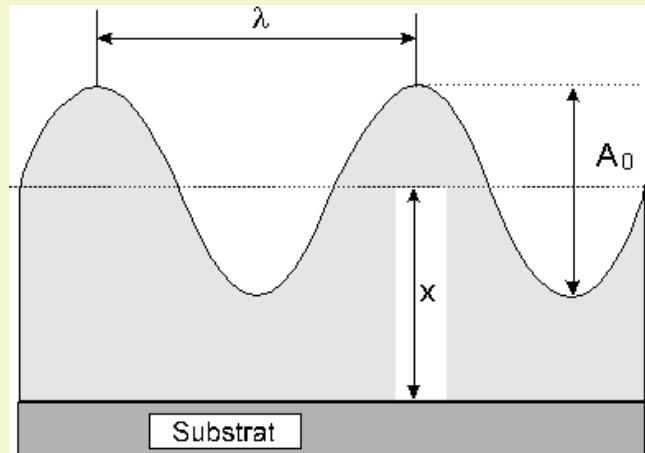


⑩ Acesta constă dintr-un disc, (sau altă piesă rotitoare), plasat într-un recipient în care se află fluidul de măsurat.

⑩ Cei doi parametri necesari pentru a stabili viscozitatea sunt efortul de forfecare τ , și rata de forfecare S . Aceasta nu pot fi stabilită în mod optim deoarece viteza v este diferită în funcție de raza discului iar „grosimea” probei nu poate fi precis determinată. Pentru lichidele newtoniene, pentru care viscozitatea este independentă de rata de forfecare, viscozimetrul Brookfield oferă rezultate bune.

⑩ Pentru paste TSG, care sunt fluide non-newtoniene valoarea măsurată este relativă, fiind utilizată pentru comparații între paste. Valoarea viscozității depinde de piesa rotativă, de viteză și de timpul măsurării.

⑩ Utilizarea pastelor thixotropice permite realizarea de structuri omogene, fără influențe din partea sitei (urme ale ochiurilor sitei). În figură este prezentat aspectul pastei în momentul inițial al desprinderii de sită.



⑩ Timpul după care se realizează o nivelare a pastei este exprimat de relația:

$$t = K \frac{\eta}{S} \frac{\lambda^4}{x^3} \log\left(\frac{A_0}{A_t}\right)$$

⑩ unde K - este o constantă

⑩ A_0, A_t - adâncimile denivelării la momentele $t=0$ respectiv t

⑩ λ - distanța dintre două marcaje succesive ("lungimea de undă")

⑩ x - grosimea medie a depunerii

- ⑩ Pentru o suprafață netedă A trebuie să fie sub $1\mu\text{m}$.
- ⑩ Se observă că timpul de nivelare depinde puternic de λ și o reducere a sa se obține prin utilizarea sitelor cu cifră mesh mai mare.
- ⑩ În timpul procesului de uscare în cuptor viscozitatea poate să scadă ca urmare a temperaturii mai ridicate, continuând procesul de nivelare. Pe măsură ce solventul se evaporă viscozitatea depunerii crește și nivelarea se oprește.
- ⑩ Pentru aprecierea proprietăților reologice ale pastelor se utilizează viscozimetre, dar datorită comportamentului nelinier al pastelor, trebuie folosite metode statice și dinamice, rezultatele putând fi comparate numai dacă se măsoară cu aparate având geometrii și principii de măsură similare.

⑩ TIPURI DE PASTE

⑩(1) Paste conductoare

⑩ Pastele conductoare sunt utilizate la realizarea interconexiunilor, a padurilor de conectare a terminalelor și de atașare a dispozitivelor discrete (wire bonding), a rezistoarelor de valori scăzute, a armăturilor condensatoarelor.

⑩ Principalele paste sunt pastele pe bază de paladiu-argint, paladiu-aur, aur-platină. Se mai utilizează paste pe bază de platină, cupru, nichel. Un tip de pastă conductoare specială este cea de tip polimeric în care compuși de argint și carbon sunt dispersați într-un polimer termoplastic cu adaos de solvent.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

⑩ (2) Paste rezistive

⑩ Alegerea unei anumite paste rezistive trebuie făcută în corelație cu pasta conductoare. Pastele utilizate la realizarea straturilor rezistive se împart în organometalice și cermeturi.

⑩ Pastele organometalice se bazează pe compoziții în care atomul metalic este atașat unui atom de oxigen (sau sulf) legat de un atom de carbon. Când are loc descompunerea termică se depune pe substrat un strat rezistiv.

⑩ Compozițiile pe bază de metale nobile realizează straturi metalice în timp ce alte metale realizează straturi de oxizi metalici. Temperaturile relativ scăzute la care are loc descompunerea termică ($250 \div 500$ °C) permit utilizarea ca substrat a sticlei.

⑩ Compozițiile de tip cermet constau din particule conductoare (metalice) înglobate într-o fază sticloasă, izolatoare. Principalele sisteme de paste tip cermet sunt cele pe bază de:

- ⑩ - oxid de paladiu/argint (PdO/Ag)
- ⑩ - oxid de ruteniu (RuO₂)
- ⑩ - platină/ oxid de iridiu (Pt/ IrO₂)



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

Proprietățile sistemelor de paste rezistive

Sistem de paste	Stabilitate $\Delta R/R$ (%)	Indice de zgomot (dB)		Coef. de temperatură (ppm/°C)		Factor de cost
		100 Ω	10 k Ω	100 Ω	10 k Ω	
PdO/Ag	1	-15	+5	+250	-250	1
RuO ₂	0,3	-30	-5	+100	-50	3
IrO ₂ /Pt	0,1	-30	-10	$\leq \pm 25$	$\leq \pm 50$	8

⑩ Datorită prezenței metalelor nobile în compoziția pastelor rezistive ele au un preț relativ ridicat. Există încercări de a se utiliza și alte elemente. Un astfel de sistem nou este cel bazat pe BaPbO₃, sistem cu performanțe apropiate de sistemul pe bază de RuO₂.

⑩ Cele mai noi tipuri de paste rezistive sunt cele la care arderea se realizează în atmosferă de azot. Compozițiile principale sunt pe bază de oxid de staniu (SnO₂) și oxid de indiu (In₂O₃).



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

⑩ În categoria pastelor rezistive se încadrează și pastele care conduc la realizarea de termistoare.

⑩ Au fost realizate paste tip termistor NTC ce permit obținerea de rezistențe specifice de la $100 \Omega/\square$ la $1 M\Omega/\square$ și o constantă B a termistorului de la 100 K la peste 2500 K.

⑩ (3) Paste dielectrice

⑩ Domeniile de utilizare a pastelor dielectrice pot fi împărțite în:

- ⑩ - paste pentru glazuri de protecție
- ⑩ - paste izolatoare pentru suprapuneri de trasee conductoare (crossover)
- ⑩ - paste pentru condensatoare

⑩ Glazurile de protecție trebuie să aibă permitivitate dielectrică redusă. Ele acționează ca strat de pasivare protejând straturile rezistive împotriva distrugerii prin contact cu corpuri străine și limitează acțiunea agenților de mediu ca: umiditate, atmosferă reducătoare ș.a. Pentru a permite ajustarea cu laser grosimea glazurii de protecție nu trebuie să depășească $15 \mu\text{m}$.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

⑩ (4) Paste de lipit

- ⑩ Utilizarea pastelor de lipit se impune în realizarea circuitelor integrate hibride atunci când se utilizează atașarea componentelor discrete.
- ⑩ Lipirea propriu-zisă are loc după atașarea componentelor, printr-un procedeu de tip reflow.
- ⑩ Deoarece ca paste conductoare se utilizează pe scară largă pastele cu conținut de argint, pentru a împiedica difuzia atomilor de Ag în aliajul de lipit este necesară modificarea compoziției aliajului Sn-Pb prin adăugarea de Ag ($\sim 2\%$).
- ⑩ Pentru atașarea componentelor la traseele pe bază de aur sunt utilizate aliaje de lipit speciale cu conținut de indiu.

Uscarea și arderea pastelor

- ⑩ Indiferent de tipul pasteii, exceptând pastele pe bază de compuși organometalici, după procesul de imprimare, timp de 5 ÷ 15 minute pastele trebuie să sufere un proces de uscare la temperatura camerei, timp în care se realizează o nivelare a suprafeței stratului imprimat.
- ⑩ După aceea este necesar un proces suplimentar de uscare timp de 5 ÷ 15 min. la o temperatură între 80 și 150 °C. În timpul acestui ultim proces sunt îndepărtate lent componentele volatile din structura pastelor. Dacă pastele ar fi supuse direct tratamentului termic de ardere s-ar produce o evaporare rapidă a solvenților, lucru ce ar putea cauza fisuri sau apariția de bule în structura stratului depus.
- ⑩ Dintre variatele metode de uscare, uscarea cu ajutorul radiațiilor infraroșii are avantajul unei încălziri în profunzime care evită formarea unei cruste la suprafața stratului, permițând astfel evaporarea totală a solvenților.
- ⑩ După procesul de uscare rezultă structuri mecanic stabile dar care nu au încă proprietățile electrice dorite. Aceste proprietăți se obțin în urma procesului de ardere la temperaturi înalte.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

- ⑩ Procesul de ardere este una din etapele cele mai importante în realizarea straturilor groase. În timpul acestui proces au loc transformări structurale ale straturilor depuse având ca rezultat obținerea proprietăților electrice dorite, în funcție de tipul de pastă utilizat.
- ⑩ Echipamentul utilizat la tratamentul termic este compus de obicei dintr-un cuptor cu bandă, cuptor ce are mai multe zone de încălzire. Substratele sunt plasate pe banda transportoare și trec prin diversele zone ale cuptorului care au temperatura controlată cu mare precizie.
- ⑩ De mare importanță pentru arderea corectă a stratului este realizarea unui anumit profil de temperatură, profil specific fiecărei paste. Obținerea unui profil de temperatură dorit se realizează prin controlul vitezei benzii transportoare și a temperaturii diverselor zone. Cuptorul trebuie să permită de asemenea realizarea unei atmosfere controlate (aer sau azot).



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013

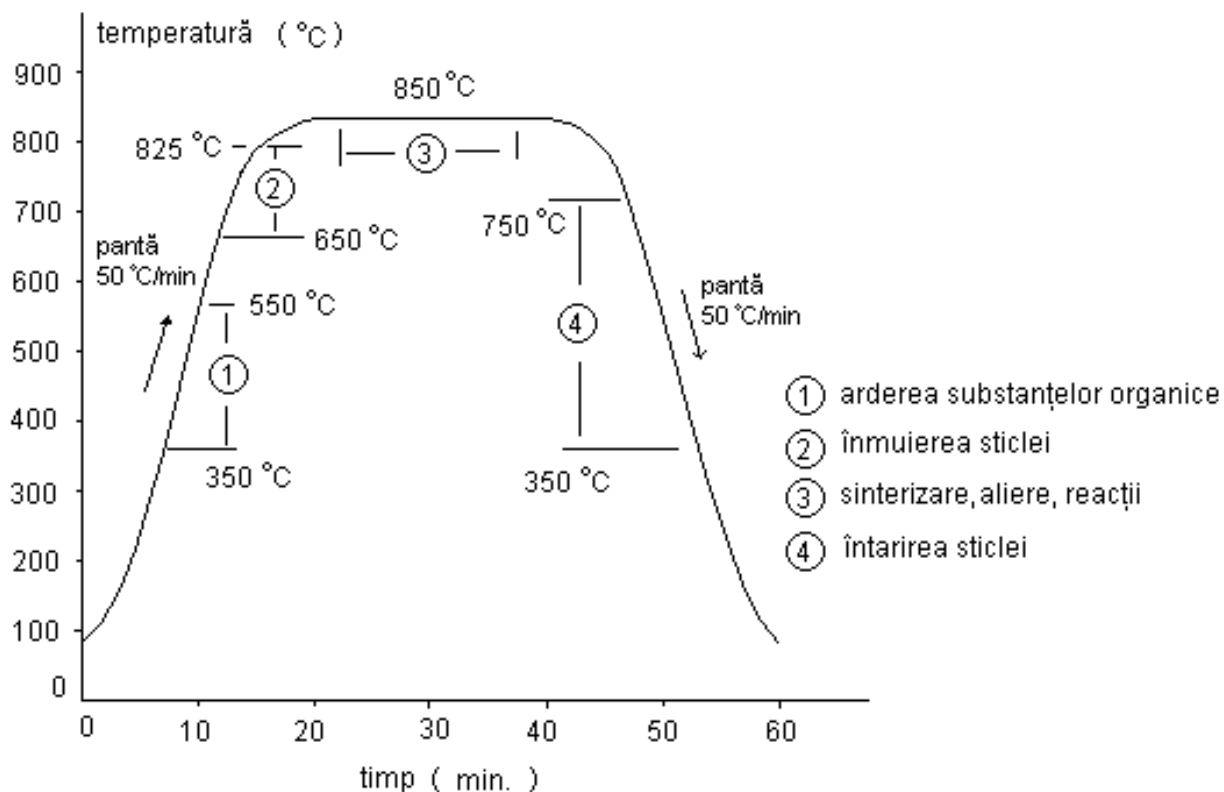


INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013



Ⓜ În prima fază, de încălzire, are loc arderea substanțelor organice (lianți, activatori). Materialul evaporat trebuie îndepărtat din incinta cuptorului pentru a nu da reacții nedorite la temperaturi mari. Cu creșterea temperaturii are loc înmuierea grăunților sticloși din compoziția pastei și pătrunderea în porii substratului. La temperaturi peste 800 °C are loc sinterizarea constituenților pastei. Constanța temperaturii (± 3 °C) și timpul de menținere al probei pe palier (în general 850 °C) sunt foarte importante, abaterile, chiar mici, având ca rezultat variația performanțelor straturilor obținute.

⑩ La temperaturi mari pot avea loc, în funcție de tipul pastei, pe lângă alieri ai compușilor și reacții chimice de oxidare-reducere.

⑩ În final are loc trecerea substratului în zona de răcire unde compușii sticloși se solidifică, asigurând o bună aderență de substrat. Și aici, ca și la încălzire, trebuie respectată o anumită viteză de variație a temperaturii, în caz contrar, recristalizarea bruscă a sticlei care a înglobat particulele metalice poate duce la apariția de fisuri în stratul depus.

⑩ Principalii parametri care influențează procesul de ardere sunt enumerați în continuare:

- ⑩ - viteza benzii transportoare; gradul de încărcare cu probe
- ⑩ - temperatura platoului, timpul de staționare la această temperatură
- ⑩ - tipul, cantitatea și puritatea gazului utilizat

⑩ Relativ recent au fost utilizate și procedee de ardere cu radiații infraroșii, dar cu toate avantajele pe care la prezintă: durată mai mică a procesului, posibilitatea schimbării rapide a profilului, consum energetic mai redus, nu au dat rezultate mulțumitoare în arderea pastelor TSG.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

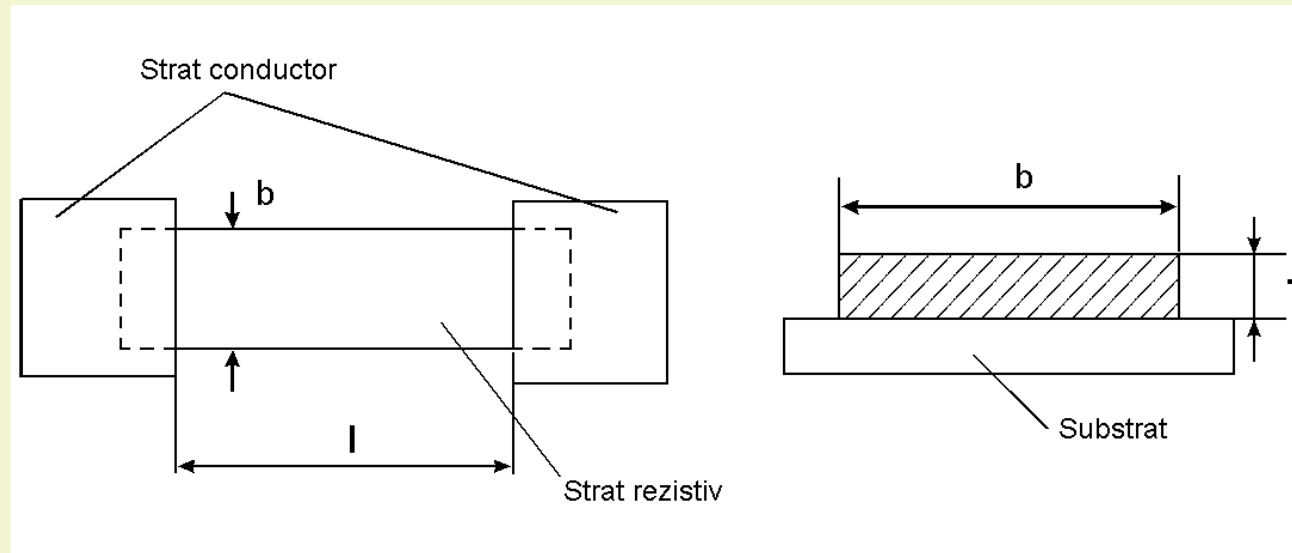
ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

⑩ Componente pentru circuite hibride (TSG)

⑩ Rezistoare



⑩ Rezistența acestui rezistor este dată de relația:

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{\rho}{t} \cdot \frac{l}{b} = R_s \cdot N$$

⑩ unde ρ este rezistivitatea volumică a materialului, l - lungimea rezistorului, $A = b \times t$ - aria secțiunii transversale, t - grosimea stratului rezistiv, b - lățimea rezistorului

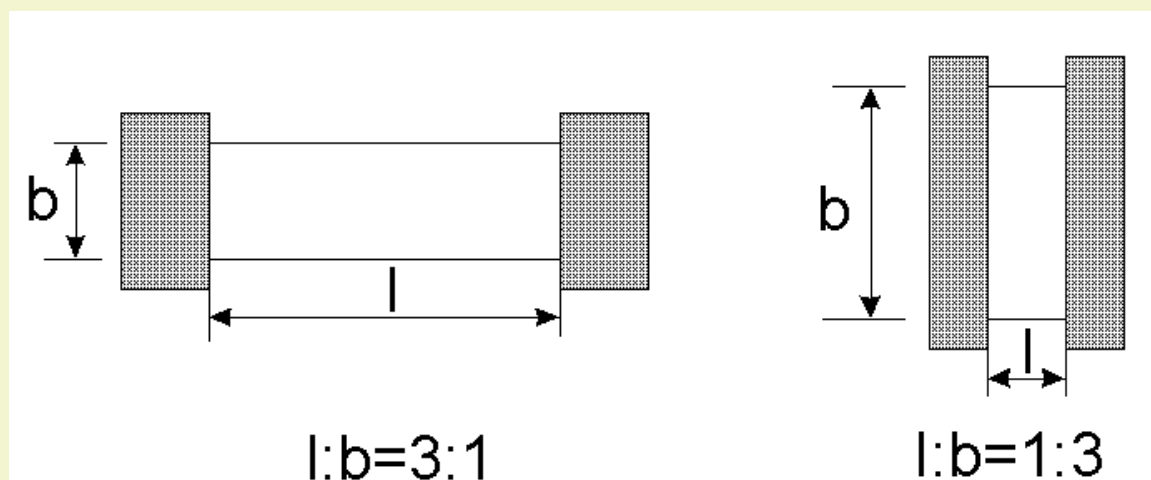
⑩ Indiferent de natura peliculei, se presupune că grosimea acesteia este mult mai mică comparativ cu celelalte dimensiuni geometrice ale rezistorului ($t \ll l$, $t \ll b$).

⑩ Se presupune, de asemenea, această grosime t a peliculei ca fiind constantă.

⑩ Mărimea ρ/t notată cu R_s (sau $R_{\square}$) este numită rezistență (uneori rezistivitate) superficială și se exprimă în $\Omega/\square$.

⑩ Mărimea $N=l/b$ poartă denumirea de raport de aspect al rezistorului pelicular dreptunghiular și este egal cu numărul N de pătrate de latură b din care este format rezistorul.

⑩ Nu se recomandă un raport de aspect mai mare ca 10:1 sau mai mic ca 1:3. Raportul de aspect cu valoare subunitară se mai numește și raport invers de aspect.



⑩ *Rezistor dreptunghiular*

⑩ Din motive tehnologice, la realizarea unei structuri ce cuprinde mai multe rezistoare în cazul TSS rezistența specifică este aceeași pentru toate rezistoarele și este cuprinsă în intervalul $50 \div 500 \Omega/\square$. În cazul TSG se pot utiliza succesiv mai multe tipuri de paste rezistive cu rezistențe specifice R_s cuprinse între $10 \Omega/\square$ și $100 \text{ k } \Omega/\square$.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



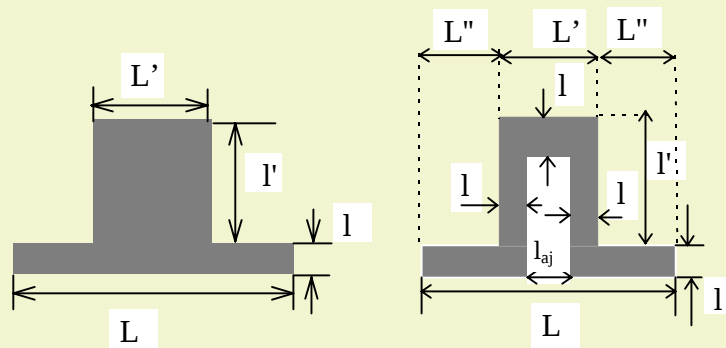
FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

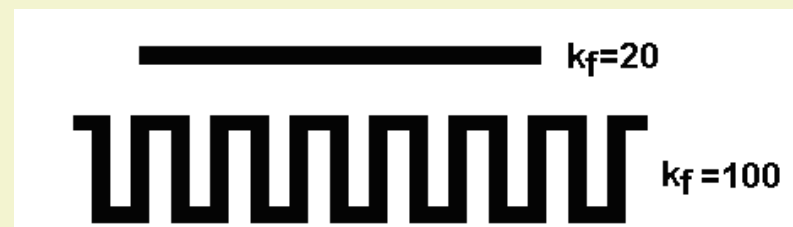
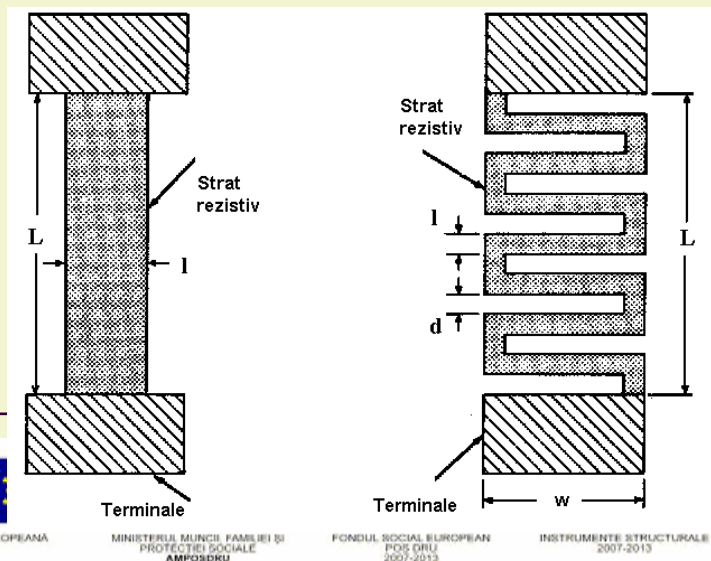
Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013



⑩ Rezistorul pălărie a) înainte de ajustare; (b) după ajustare (forma idealizată)

⑩ Rezistor dreptunghiular și rezistor cu meandre



k_f =raportul de aspect



UNIUNEA EUROPEANĂ

MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOS DRU

FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013

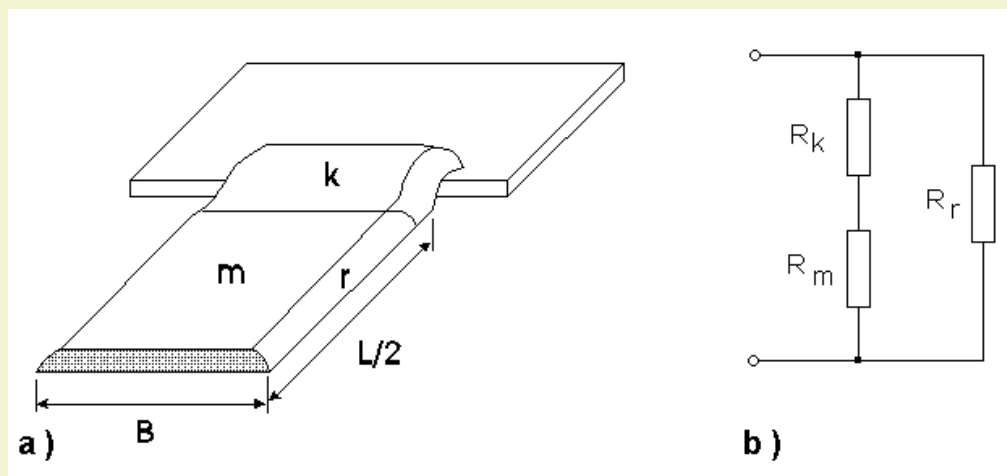
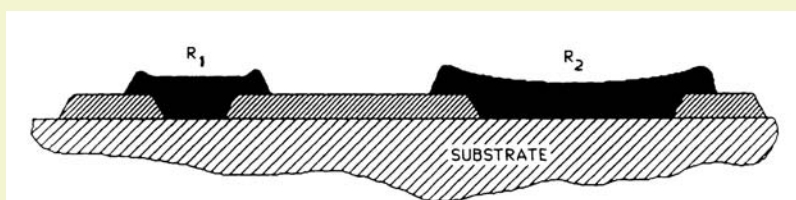
INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

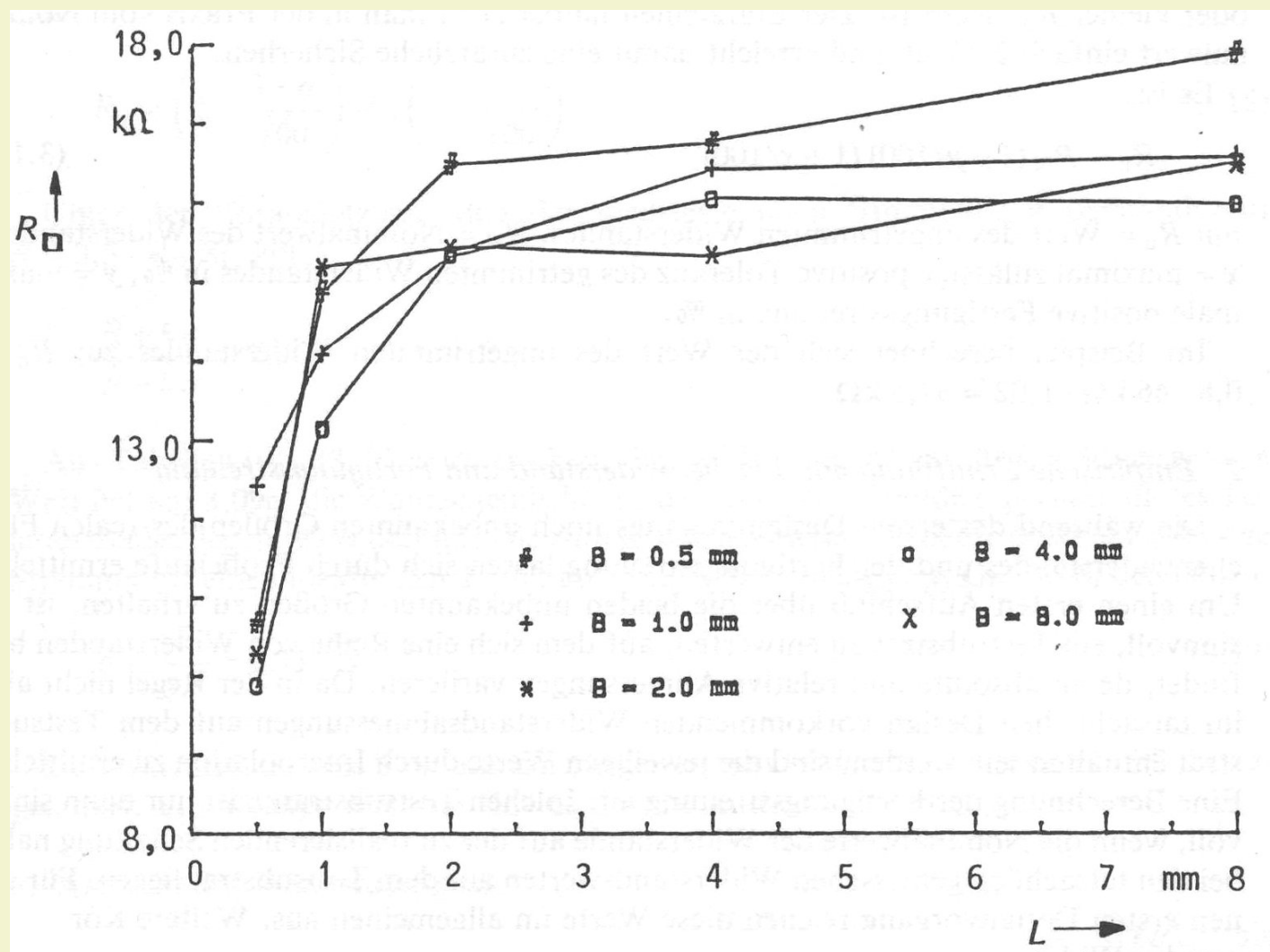
Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

Ⓢ Rezistor real



Ⓢ La rezistoarele cu raport de aspect mult subunitar predomină zonele k și r iar m este mai puțin important. La rezistoarele lungi k este mai puțin important.

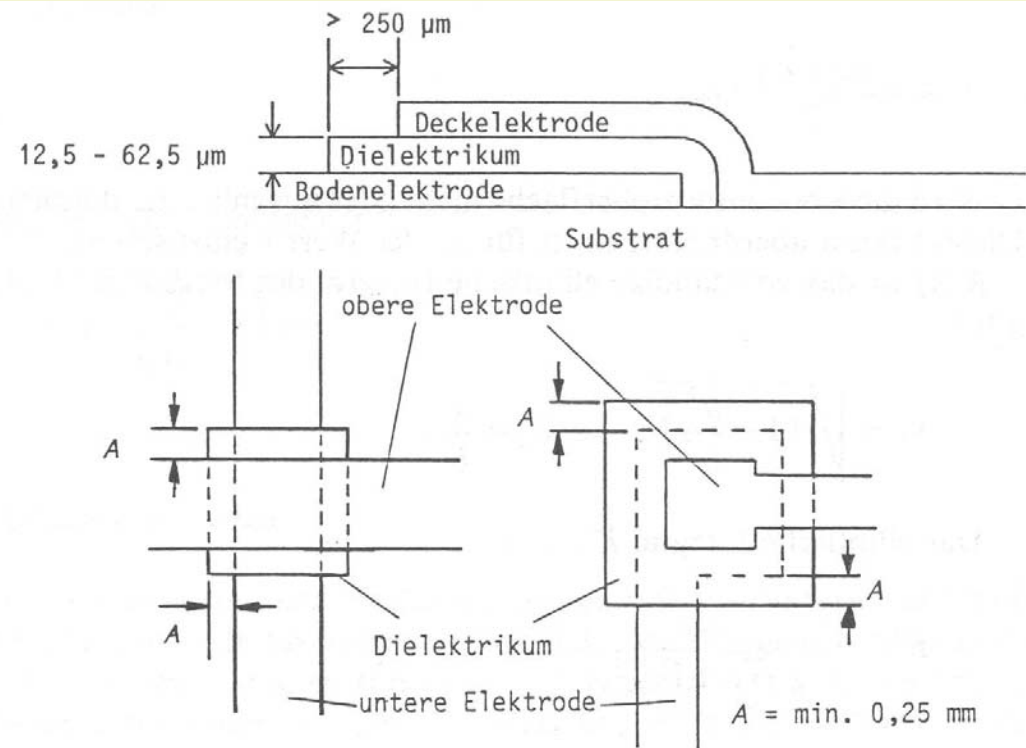
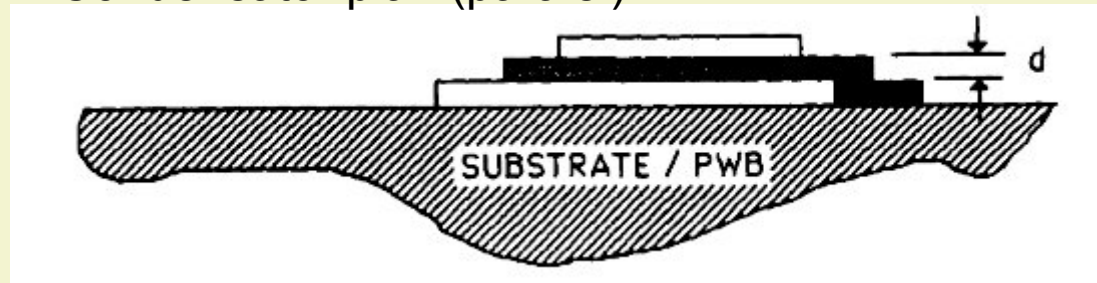
Ⓢ În concluzie, rezistența superficială depinde atât de valorile absolute L și B cât și de raportul L/B . Pentru caracterizarea precisă a unei pelicule cu o anumită rezistență superficială este necesar să se realizeze diverse structuri de test și să se ridice diagrame de corecție ale rezistenței superficiale.



10 Variația rezistenței specifice în funcție de raportul de aspect

10 Condensatoare

10 Condensator plan (paralel)



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU

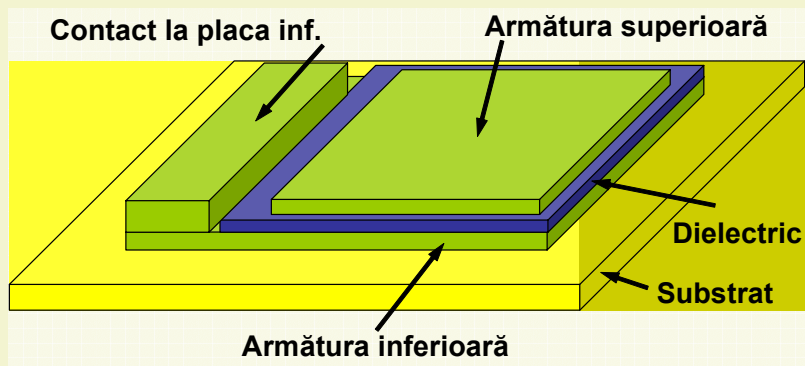


FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013

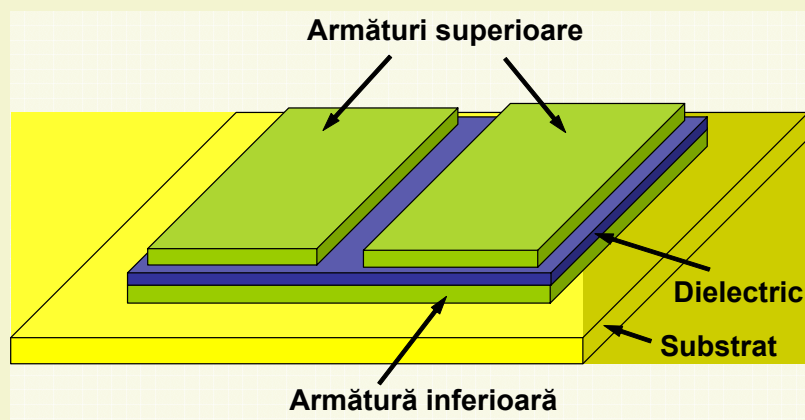


INSTRUMENTE STRUK
2007-2013

CONFIGURAȚII DE CONDENSATOARE

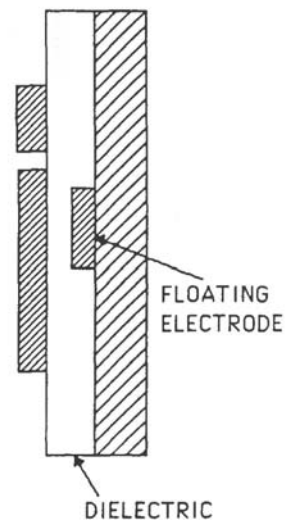
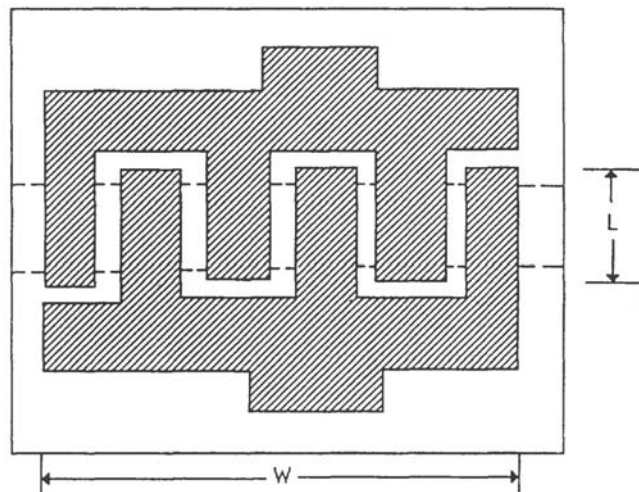
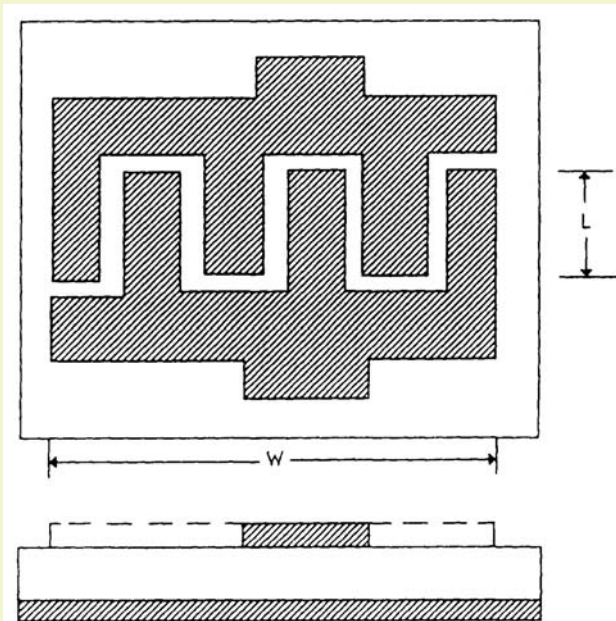


CONDENSATOR PLAN



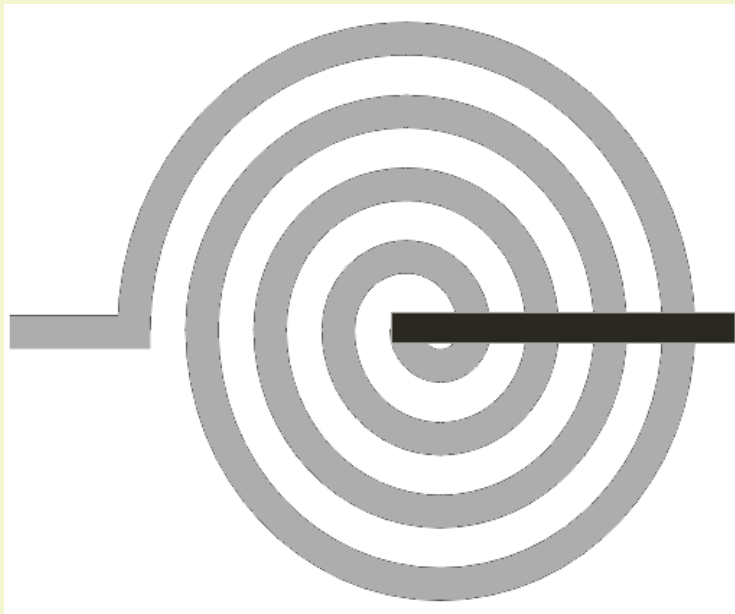
**CONDENSATOR
CU ARMĂTURĂ
FLOTANTĂ**

⑩ Condensator interdigital

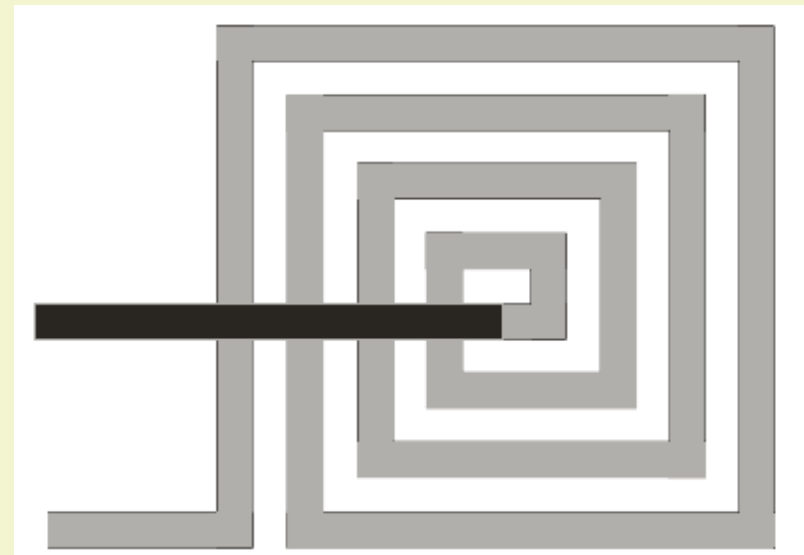


⑩ Condensator interdigital cu electrod flotant

⑩ INDUCTOARE



INDUCTOR SPIRAL CIRCULAR



INDUCTOR SPIRAL DREPTUNGHIULAR

⑩ Ajustarea structurilor rezistive peliculare

⑩ Unul din avantajele majore ale tehnologiilor peliculare, atât tehnologia straturilor subțiri cât și tehnologia straturilor groase este posibilitatea de ajustare a componentelor pasive și în special a rezistoarelor.

⑩ Ajustarea poate fi realizată punctual sau se poate realiza o ajustare funcțională prin care se dorește obținerea unei anumite funcții de circuit acționând asupra unui număr redus de componente.

⑩ Stabilitatea rezistoarelor ajustate este mai mică ca a celor neajustate. În plus ajustarea are un efect negativ și asupra coeficientului de temperatură și a factorului de zgomot, deci trebuie realizată numai dacă nu există altă alternativă.

⑩ Ajustarea rezistoarelor se poate realiza pe baza următoarelor principii :

- ⑩ - modificarea dimensiunilor plane
- ⑩ - modificarea rezistivității materialului
- ⑩ - modificarea grosimii stratului



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

⑩ Cele mai utilizate metode de ajustare a rezistoarelor au ca rezultat mărirea valorii rezistenței fie prin înlăturarea materialului rezistiv (laser, sablare) fie prin tăierea unor trasee conductoare care provoacă introducerea în circuit a altor rezistențe suplimentare.

⑩ Procedeele de ajustare cu micșorarea rezistenței (Down Trimming) sunt aplicate numai în situații speciale.

⑩ Operația de ajustare este necesară în vederea aducerii valorii rezistenței la valoarea dorită. În urma procesului de fabricație, care este privit ca un proces ce depinde de multe variabile aleatoare, valoarea dorită a rezistenței se obține cu o anumită eroare, eroare care trebuie luată în calcul la proiectare.

⑩ Dacă nu avem date despre precizia procesului de fabricație trebuie să considerăm în calcul o valoare de $\pm 20\%$. Valoarea rezistenței neajustate R_{na} obținute în cazul cel mai defavorabil trebuie să fie mai mică sau egală cu valoarea rezistenței dorite R_N , la limita superioară a toleranței cerute. Rezultă astfel:

$$R_{na} = R_N(1 - y / 100)(1 + x / 100)$$

⑩ cu R_{na} - valoarea rezistenței neajustate, R_N - valoarea nominală a rezistenței, x - toleranța pozitivă a valorii nominale, y - abaterea maximă (pozitivă) a procesului tehnologic.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

- ⑩ Pentru un rezistor cu valoarea nominală $10 \text{ k}\Omega \pm 2\%$ și $y=20\%$ rezultă valoarea rezistenței neajustate obținute $R_{na}=8,16 \text{ k}\Omega$.
- ⑩ Valoarea obținută poate să nu fie convenabilă deoarece presupune efort mare de ajustare. De aceea este necesară cunoașterea abaterilor procesului tehnologic prin efectuarea de teste și prelucrări statistice pentru a determina o valoare y cât mai mică, dar care să asigure cu o probabilitate mare situarea valorii rezistenței neajustate în interiorul intervalului de ajustare - parametru specific care trebuie cunoscut de proiectant (acceptabil $0,5R_N \div R_N$).
- ⑩ Principalele metode de ajustare sunt: ajustarea cu laser, ajustarea prin sablare, aplicabile atât rezistoarelor în TSS cât și în TSG, în timp ce ajustarea prin anodizare este specifică rezistoarelor în TSS. Alte procedee cu aplicabilitate mai restrânsă sunt: ajustarea prin electroeroziune, ajustare prin aplicarea de impulsuri de tensiune, gravarea cu un ac de wolfram sau diamant.
- ⑩ În prezent marea majoritate a instalațiilor de ajustare sunt comandate de calculator care realizează, pe baza măsurării valorii rezistenței, o predicție a valorii cu care trebuie deplasat substratul sau dispozitivul de ajustare pentru a realiza ajustarea la valoarea dorită a rezistenței.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013"

⑩ Ajustarea cu laser

⑩ Datorită avantajelor pe care la prezintă, este cel mai utilizat procedeu de ajustare a structurilor peliculare. Principalele avantaje ale ajustării cu laser sunt:

- ⑩ - precizie mare de ajustare (0,01 %)
- ⑩ - posibilități de automatizare a procesului de ajustare
- ⑩ - viteză de ajustare mare
- ⑩ - este un proces "curat"
- ⑩ - rezistoarele ajustate au o bună stabilitate pe termen lung
- ⑩ - permite refacerea glazurii de protecție în zona tăieturii (datorită încălzirii glazura se topește)

⑩ Principiul ajustării constă din îndepărtarea materialului rezistiv de pe substrat, prin vaporizare, cu ajutorul unui fascicol laser bine focalizat. În prezent se utilizează laseri YAG - Nd în regim de impulsuri, cu Q-switch, având lungimea de undă $1,06 \mu\text{m}$. Diametrul fascicolului laser variază între $12 \div 75 \mu\text{m}$, în funcție de tipul stratului. Printre parametrii procesului de ajustare amintim: puterea laserului, frecvența de repetiție, viteza de tăiere.

⑩ Pentru a păstra încălzirea elementului ajustat la un nivel cât mai redus și a avea o tăietură cât mai netedă, puterea de vârf a laserului trebuie să fie cât mai mare și puterea medie cât mai mică posibil. Procesul de ajustare este influențat indirect de proprietățile de absorbție a radiației de către substrat.

⑩ Viteza maximă de ajustare v_{max} se calculează cu relația:

$$V_{max} = W \cdot s \cdot f_r$$

cu W - lățimea tăieturii, s - factor de suprapunere geometrică a spoturilor laser între două pulsuri succesive, f_r - rata de repetiție

⑩ Pentru o ajustare de precizie este necesar ca suprapunerea s să fie sub 50 % rezultând pentru o lățime a tăieturii $W=50 \mu m$ și pentru o frecvență de repetiție de 3 kHz o viteză maximă de ajustare de 75 mm/s.

⑩ Ajustarea valorii rezistenței se poate obține prin realizarea unei tăieturi sau prin îndepărtarea materialului, în mod punctual, din diverse puncte ale suprafeței stratului.

⑩ Este posibil să se obțină o scădere a rezistenței prin încălzirea locală cu ajutorul laserului, încălzire ce are ca efect o modificare în structura stratului, zonele încălzite devenind mai puternic conductoare.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

⑩ Ajustarea prin sablare

⑩ La ajustarea straturilor groase procedeul ajustării prin sablare a fost larg utilizat. Procedeul constă din aplicarea unui jet de aer ce conține particule abrazive pe suprafața stratului rezistiv. În urma acțiunii abrazive a jetului o parte a stratului rezistiv este îndepărtat având loc modificarea rezistenței electrice. O variantă a procedeului este metoda *spray* în care jetul abraziv reduce în mod uniform grosimea stratului, având ca efect modificarea rezistenței specifice și, implicit, a rezistenței.

⑩ Procedeul are următoarele caracteristici:

⑩ - este economic

⑩ - contaminează cu praf circuitul din care face parte componenta ajustată

⑩ - precizia și stabilitatea rezistoarelor sunt mai mici ca la ajustarea cu laser (lățimea tăieturii mult mai mare ca în cazul laserului)

⑩ - viteză de ajustare mai mică

⑩ - în urma ajustării se distruge glazura de protecție



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013

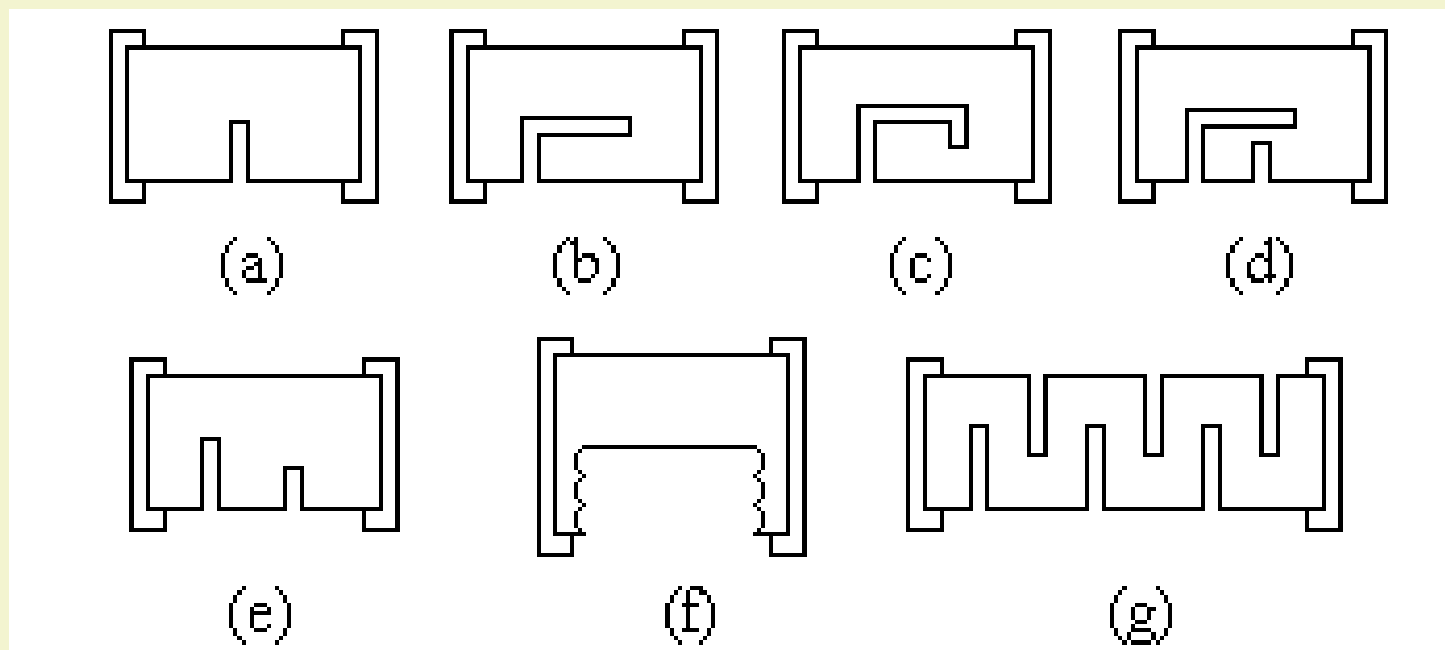


INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

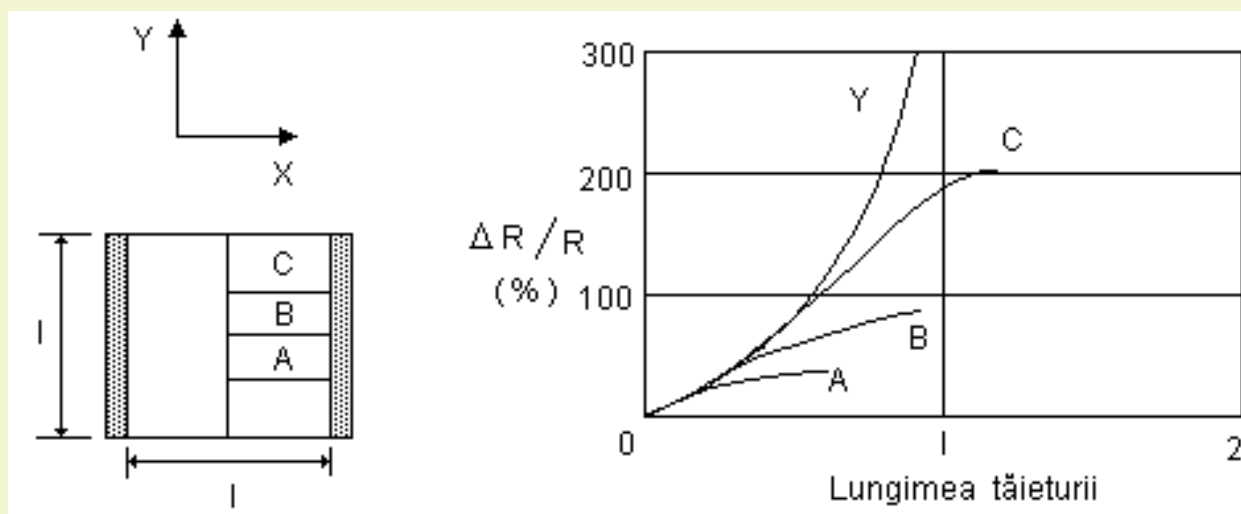
Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013



⑩ Configurații de ajustare (a) tăietura "P", (b) tăietura "L", (c) tăietura "Γ", (d) tăietura "L" cu "Shadow", (e) tăietura "P" cu "Shadow", (f) "Scan-cut", (g) tăietura în serpentină

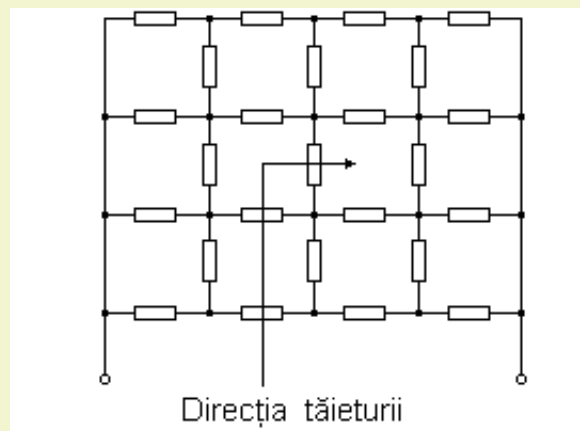
- ⑩ O problemă care apare la ajustare este alegere optimă a locului în care se face tăietura. Aici sunt două cerințe contradictorii: obținerea unei sensibilități ridicate și a unei precizii ridicate. Din acest motiv se utilizează tăieturile multiple.
- ⑩ Variația relativă a rezistenței în funcție de lungimea tăieturii pentru o tăietură P continuată cu una tip L este prezentată în figura de mai jos



⑩ Punctul din care începe tăietura în direcția x se află la circa 50% din valoarea inițială a rezistenței, deoarece la o lungime mai mare în direcția y precizia se poate controla mai greu. Tăietura în direcția x oferă o variație mai lentă și permite astfel o ajustare mai rapidă. Tăietura L oferă și o stabilitate pe termen lung superioară tăieturii P. Ca dezavantaj, nu se poate aplica pentru rezistoare cu raport de aspect mic.



⑩ Sistemele moderne sunt prevăzute cu posibilitatea de a prevedea variația rezistenței, urmând o anumită tăietură. Calculul se poate realiza analitic, dar este relativ dificil de implementat pe un sistem de măsură în timp real. Se preferă împărțirea domeniului rezistiv într-o matrice de rezistențe (12×12) pentru un rezistor cu factor de aspect unitar. Efectul ajustării este întreruperea anumitor rezistențe, calculul realizându-se mai ușor decât prin metoda amintită anterior:



⑩ Ajustarea are efect asupra stabilității rezistoarelor. Ca regulă s-a constatat că ajustarea reduce stabilitatea pe termen lung și mărește factorul de zgomot al rezistoarelor. Comparația se face între două rezistoare cu aceeași valoare, unul ajustat celălalt neajustat.

⑩ Ca regulă privind modificarea zgomotului, tăieturile cele mai zgomotoase sunt cele care provoacă cea mai mare concentrare a liniilor de curent (serpentină, P)

⑩ Variația relativă a tensiunii medii de zgomot U_z în funcție de variația relativă a rezistenței pentru un rezistor dreptunghiular ajustat cu tăietură P este:

$$\frac{\Delta U_z}{U_z} = (1,5 \div 2) \frac{\Delta R}{R}$$

⑩ Câteva din cauzele micșorării stabilității sunt prezentate în continuare:

⑩ (a) -prezența tăieturii

⑩ S-a constatat că, în special la rezistoarele de valori mari ajustate cu laser tăietura trebuie să pătrundă în substrat pe o adâncime de cel puțin 5 μm pentru a asigura o separare totală a zonelor. O apreciere a calității tăieturii se poate realiza măsurând rezistența de izolație a două trasee secționate. O îmbunătățire a proprietăților tăieturii se realizează prin tehnica *Kerf Retracing* care constă în trecerea unui al doilea fascicol pe urma primei tăieturi, fascicolul având putere mai mică și viteză mai mare.

⑩ (b) -efecte la marginea tăieturii

⑩ La ajustarea cu laser au loc modificări ale proprietăților stratului rezistiv de o parte și de alta a tăieturii, deoarece distribuția energiei în fascicolul laser este, în general, de tip Gauss. Modificările aduse materialului în zona de ajustare conduc la micșorarea stabilității și la creșterea factorului de zgomot.

⑩ (c) -efecte datorate înlăturării glazurii de protecție

⑩ Glazura de protecție realizează un strat protector la acțiunea umidității împiedicând reacțiile de oxidare în stratul rezistiv. Experiențele au arătat că rezistoarele glazurate, în special cele pe bază de oxid de ruteniu au o stabilitate pe termen lung mărită. Ajustarea prin sablare înlătură în zona tăieturii și glazura de protecție, deci conduce la o oarecare înrăutățire a stabilității. În cazul ajustării cu laser glazura de protecție este topită și acoperă parțial stratul rezistiv în adâncime.

⑩ (d) -microcrăpături în stratul rezistiv

⑩ Aceste crăpături (*microcracks*) apar ca urmare a temperaturilor înalte, și se produc de regulă spre sfârșitul tăieturii. Efectul lor este de asemenea reducerea stabilității. Prin tăietura Γ efectul crăpăturilor se poate reduce.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

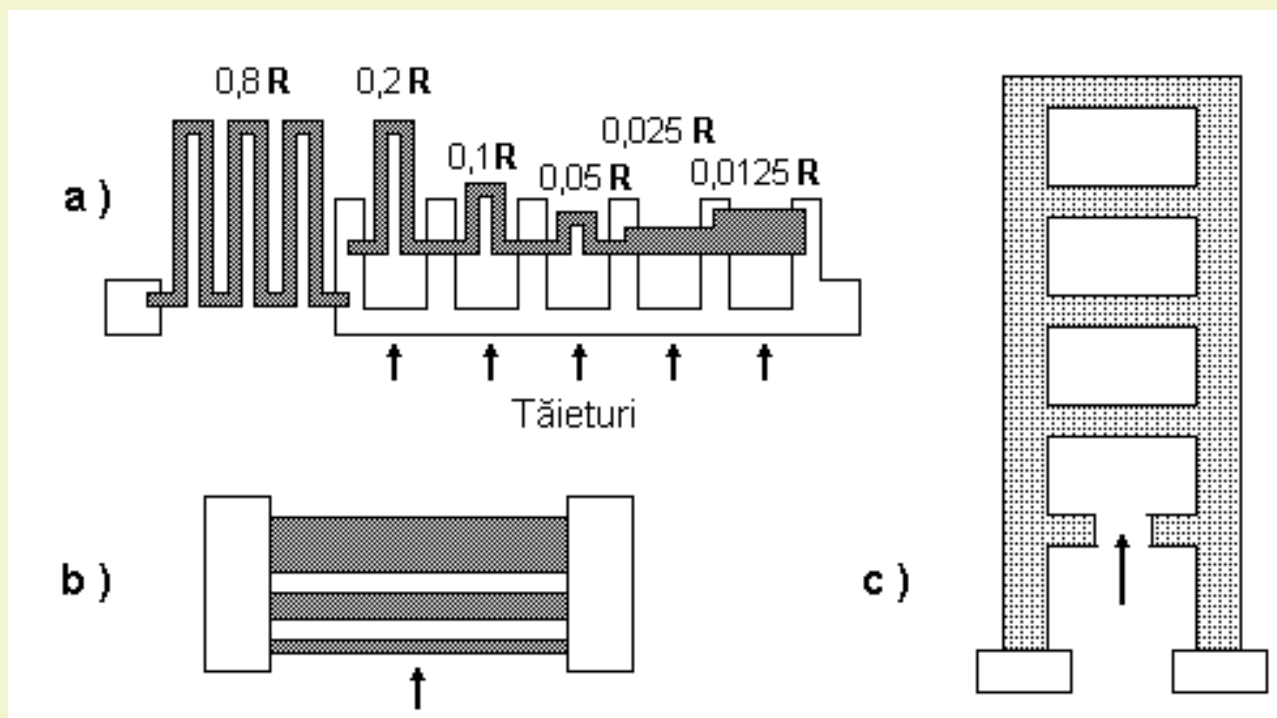
ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

⑩ Există posibilitatea unei ajustări "discrete" a rezistoarelor întrerupând trasee conductoare sau rezistive. Metoda este specifică rezistoarelor în straturi subțiri, dar se aplică și la cele cu straturi groase pentru rezistoare de înaltă tensiune sau de valori foarte mari, și la rezistoarele de valori foarte mici obținute din material conductor.

⑩ Câteva astfel de configurații sunt prezentate în figura de mai jos:



⑩ Ajustarea realizată în acest caz nu modifică semnificativ performanțele rezistoarelor deoarece nu se acționează asupra caracteristicilor elementului rezistiv.



UNIUNEA EUROPEANĂ



MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



FONDUL SOCIAL EUROPEAN
POSDRU
2007-2013



INSTRUMENTE STRUCTURALE
2007-2013

ELAN

Promovarea Culturii Antreprenoriale: Adaptabilitate, Dinamism, Inițiativă în Industria Electronică
Investește în oameni !

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin
Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013