

## Condensatoare MMIC

### Introducere

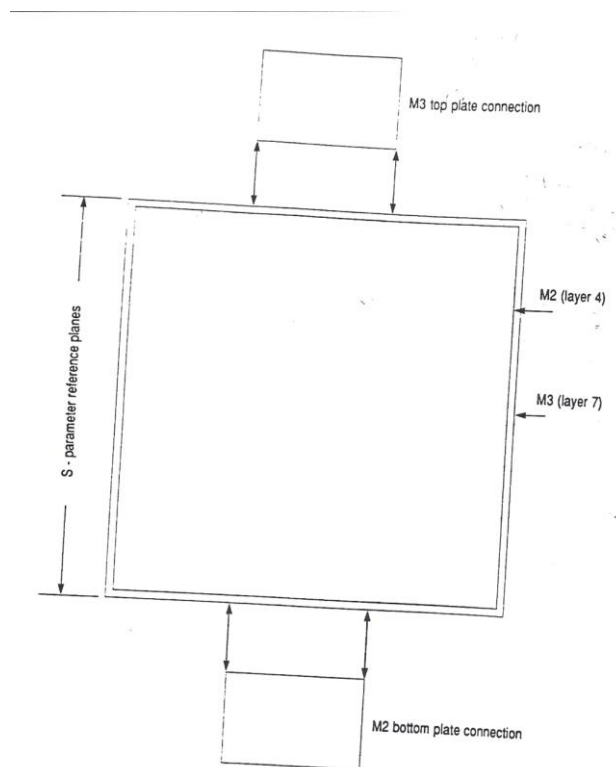
Plessey Foundry suportă două tipuri de condensatoare: sandwich și interdigitale.

Condensatoarele sandwich folosesc nitrura de siliciu ca material izolator, putînd avea capacități între 1.3 – 59 pF. O altă variantă folosește ca material dielectric o combinație de nitrură de siliciu și poliamid avînd capacități între 0.06 -2,5 pF.

Condensatoarele interdigitale (pieptene) sunt formate din dinți de pieptene intercalați, depuși pe metalizarea M2. Ei se folosesc pentru capacități foarte mici ( $<0.5$  pF) sau la frecvențe foarte mari.

### Condensatoare sandwich

Un exemplu de condensator cu poliimid este prezentat în fig.1.



*Fig.1. Condensator sandwich cu poliimid*

Acest condensator este format utilizînd metalizarea M2 pentru armătura inferioară și metalizarea M3 pentru cea superioară. Materialul dielectric este compus din poliimid și nitrură de siliciu. Aria armăturii inferioare Me definește capacitatea condensatorului. Cînd se construiește un condensator de decuplare, nu este permis să avem o trecere prin GaAs sub metalizarea M2. Un exemplu de construcție a unui asemenea condensator de decuplare este prezentată în fig.2.

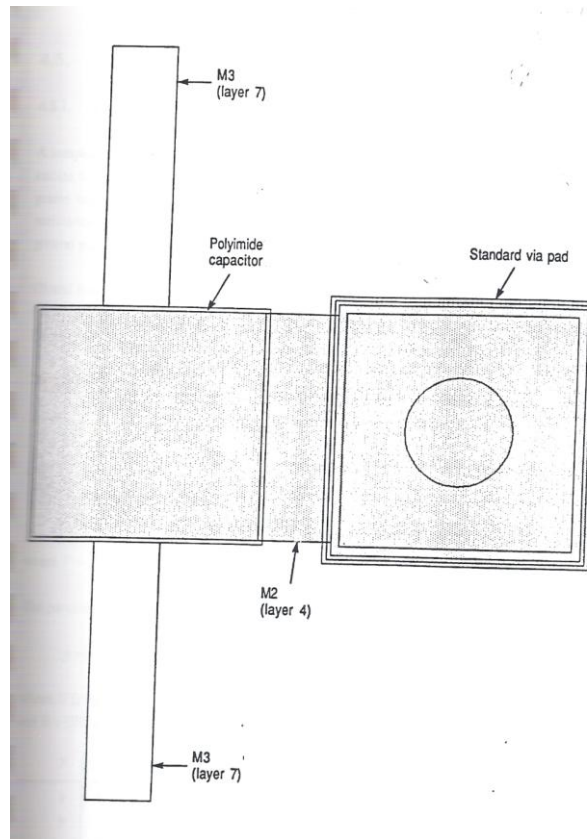


Fig.2 Condensator de decuplare realizat din condensator sandwich cu poliimid.

Modelul de circuit al acestui condensator este prezentat în fig.3. El este valabil pînă la 20 GHz.

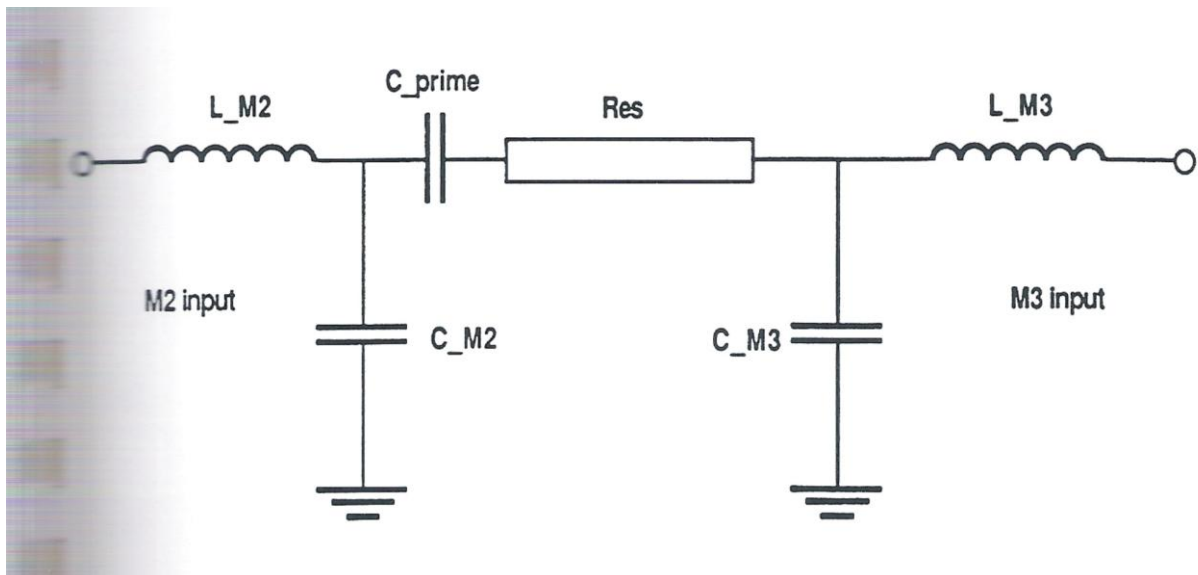


Fig.3. Modelul de circuit al unui condensator sandwich cu poliimid

$C_{prime}$  este valoarea capacității primare a condensatorului.  $L_{M2}$  și  $C_{M2}$  sunt inductanța și capacitatea parazită asociată cu armătura M2.  $L_{M3}$  și  $C_{M3}$  sunt inductanța și capacitatea parazită asociate armăturii M3. RES modelează pierderile rezistive și dielectrice în

condensator. Datorită efectului de margine, condensatorul este asimetric și deci trebuie avut grijă la producerea layout-ului la alinierea corectă a condensatorului în circuit.

Valorile elementelor din model pot fi calculate cu formule furnizate de producator, în funcție de dimensiunile layout-ului. În cazul acestui condensator dimensiunea considerată este lungimea armăturii de pe metalizarea M2, exprimată în  $\mu\text{m}$ .

Formulele pentru C\_prime, RES, C\_M2 și C\_M3 sunt polinoame de forma :

$$y = ax^n + b \quad (1.1)$$

Unde x este dimensiunea layout, iar valorile coeficienților sunt în tabelul 1.

Tabelul 1

y	C_Prime(pF)	RES( $\Omega$ )	C_M2(pF)	C_M3(pF)
a	$2.81417 \times 10^{-5}$	310156	$1.982851 \times 10^{-5}$	$3.262996 \times 10^{-7}$
n	1.943606	-2.424696	1.521669	1.884238
b	0.010967	0.724728	$4.343976 \times 10^{-3}$	$2.981967 \times 10^{-3}$

Formulele pentru L\_M2 și L\_M3 sunt polinoame de gradul 5 :

$$y = ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + ex + f \quad (1.2)$$

Unde x este din nou dimensiunea layout, în microni, iar coeficientii sunt dați în tabelul 2.

Tabelul 2

y	L_M2(nH)	L_M3(nH)
a	$1.199327 \times 10^{-13}$	$7.223189 \times 10^{-14}$
b	$-1.425209 \times 10^{-10}$	$-1.086451 \times 10^{-10}$
c	$5.925084 \times 10^{-8}$	$5.791041 \times 10^{-8}$
d	$-9.977216 \times 10^{-6}$	$-1.352713 \times 10^{-5}$
e	$7.61417 \times 10^{-4}$	$1.548175 \times 10^{-3}$
f	-0.018913	-0.043643

Relatia de sinteză pentru C\_prime este :

$$x = \left( \frac{C\_PRIME - 0.010967}{2.81417 \times 10^{-5}} \right)^{\frac{1}{1.943606}} \quad (1.3)$$

*De notat că modelul este valabil doar pentru geometrii pătrate de condensator.*

În fig.4 este prezentată dependența lui C\_PRIME de dimensiunile layout.

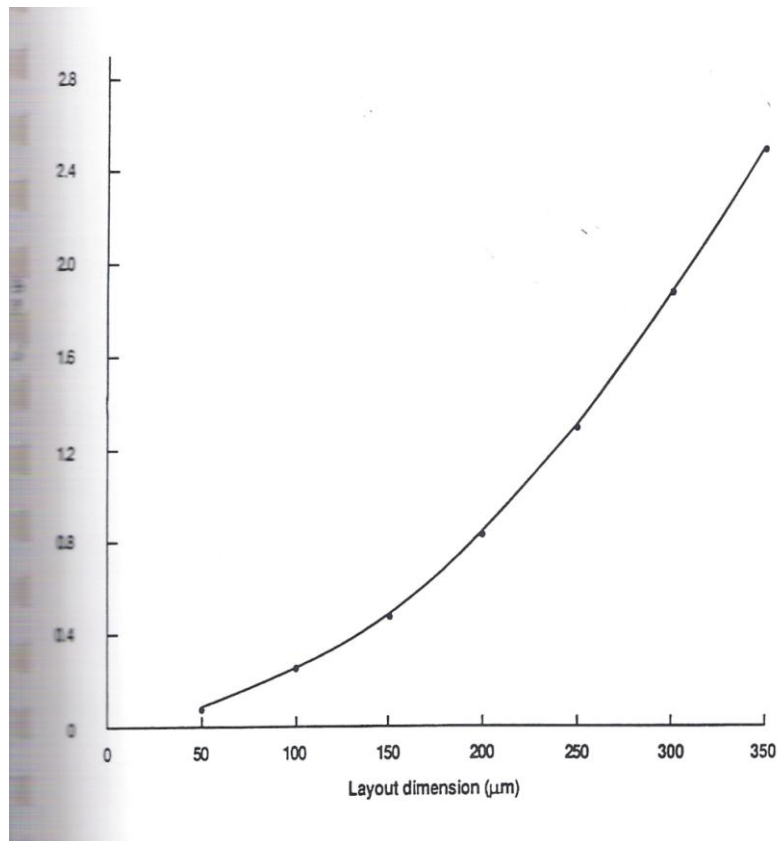


Fig.4. Condensator poliimid, dimensiunea layout vs. C\_PRIME

Exemplu de proiectare

Care este dimensiunea armăturii M2 pentru un condensator poliimid de 0.85 pF.

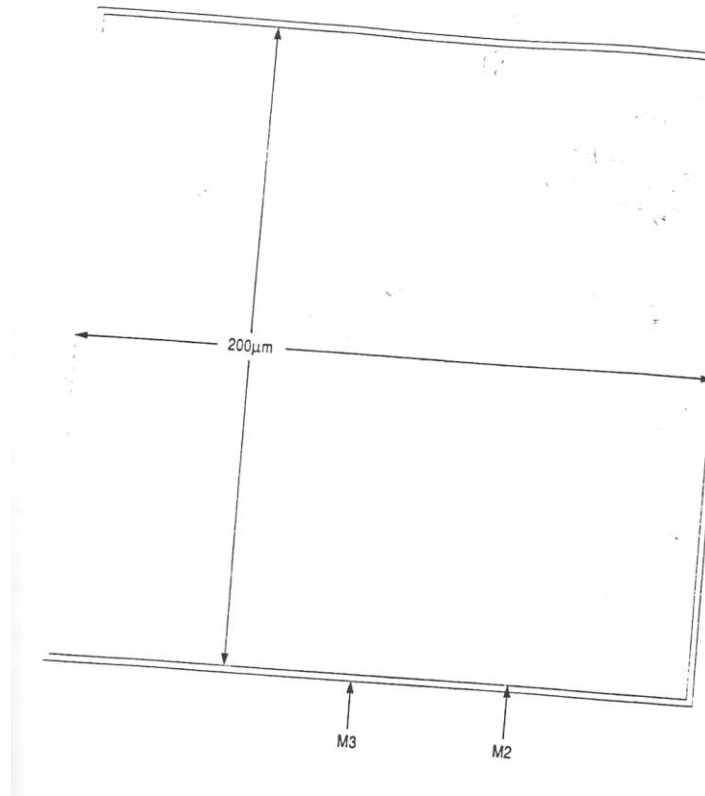
Soluție

$$x = \left( \frac{0.85 - 0.010967}{2.81417 \times 10^{-5}} \right)^{\frac{1}{1.943606}} = 200 \mu m$$

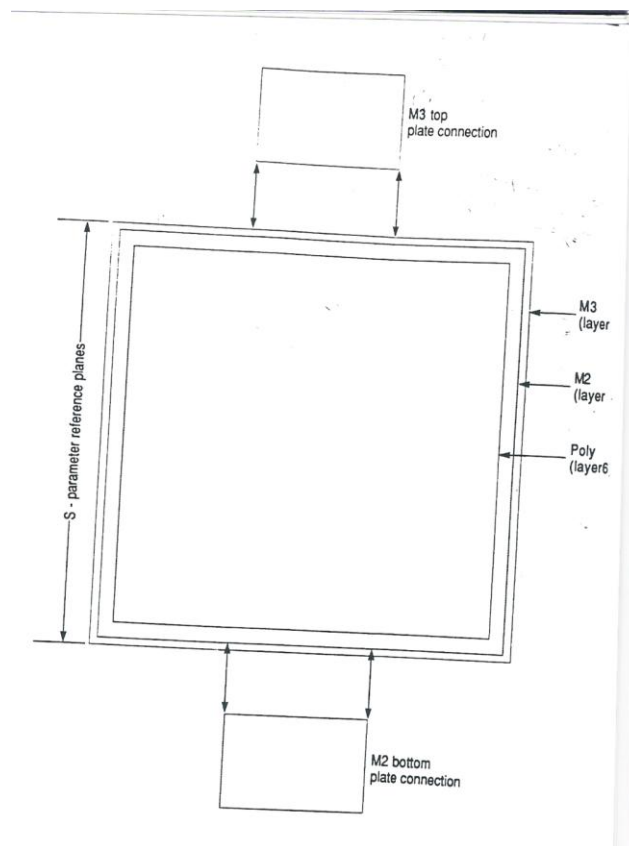
Layout-ul condensatorului este prezentat în fig.5.

### Condensator MMIC cu nitrura de siliciu

Un exemplu de condensator cu nitrura de siliciu este prezentat în fig.6. Acest condensator este format tot dintr-o armătură pe metalizarea M2 și un ape metalizarea M3. Deosebirea este că materialul dielectric este nitrura de siliciu. În plus, se folosește o trecere de poliimid în jurul căreia se structurează condensatorul. Aria trecerii de poliimid definește capacitatea prima.



*Fig.5. 0.85pF condensator poliimid*



*Fig.6 Condensator cu nitrid de siliciu*

În cazul construirii unui condensator de decuplare, la fel nu este permis de a face o trecere prin GaAs sub metalizarea M2. Din acest motiv condensatorul se construiește ca în fig.7

Fig.7

Modelul electric al condensatorului cu nitrid de siliciu este același ca în fig.3. Există însă două diferențe principale. Mai întâi, circuitul este simetric :  $C_{M2} = C_{M3}$  și  $L_{M2} = L_{M3}$ . În al doilea rând, deoarece contribuția dominantă la pierderi vine de la pierderile rezistive din armături (și nu de la pierderile în dielectric), iar aceste pierderi rezistive sunt foarte mici, se consideră în model  $RES = 0$ .

$C_{PRIME}$  și  $C_{M2}$  ( $=C_{M3}$ ) se exprimă analitic printr-o relație de forma (1.1) unde  $x$  este lungimea laturii trecerii de poliimid, în micrometri. Coeficienții sunt dați în tabelul 3.

Tabelul 3

Y	$C_{PRIME}$ (pF)	$C_{M2}=C_{M3}$
a	$5.789419 \times 10^{-4}$	$3.068702 \times 10^{-6}$
n	1.968719	1.719218
b	0.010062	$9.886438 \times 10^{-3}$

$L_{M2}=L_{M3}$  este dată de un polinom de gradul cinci a cărui coeficienți sunt în tabelul 4.

Tabelul 4

y	$L_{M2}=L_{M3}$ (nH)
a	$1.008265 \times 10^{-13}$
B	$-1.028124 \times 10^{-10}$
c	$4.04525 \times 10^{-8}$
d	$-7.805765 \times 10^{-6}$
e	$8.906675 \times 10^{-4}$
f	-0.028514

Sinteza se face cu relația :

$$x = \left( \frac{C_{PRIME} - 0.010062}{5.789419 \times 10^{-4}} \right)^{\frac{1}{1.968719}} \quad (1.4)$$

De remarcat că modelul este valabil doar pentru geometrii pătrate.

În fig.8 este prezentată dependența lui  $C_{PRIME}$  de dimensiunea layout.

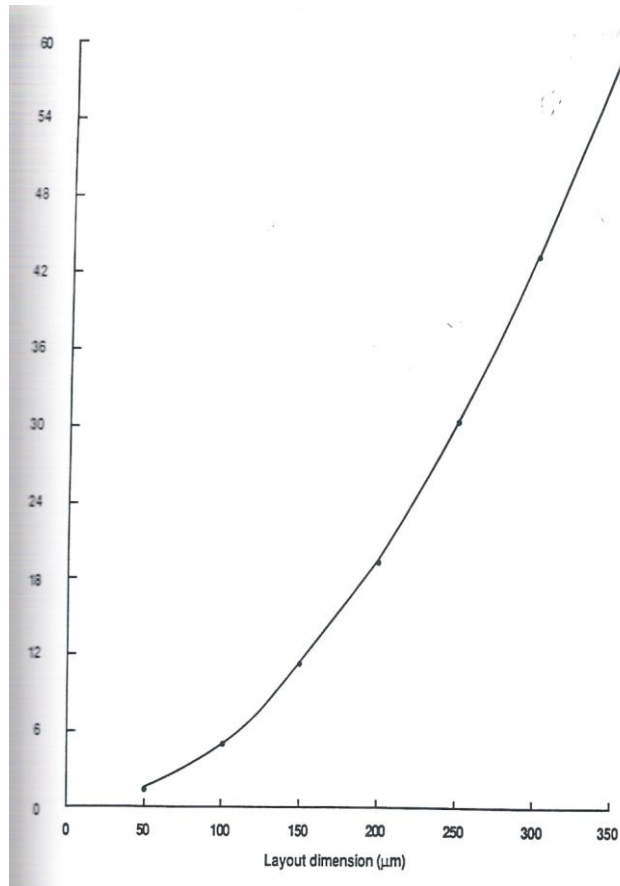


Fig.8. Condensator cu nitrura de siliciu : dimensiune layout vs.  $C\_PRIME$

Exemplu de proiectare

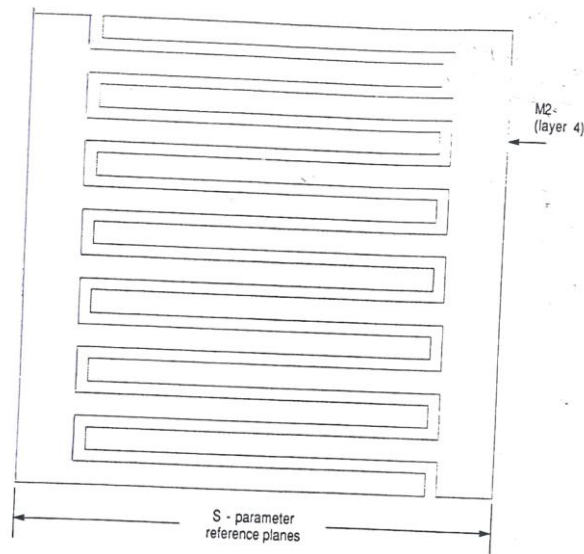
Care este dimensiunea unui condensator cu nitrid de siliciu avînd capacitatea de 59 pF.

Soluție

$$x = \left( \frac{59 - 0.010062}{5.789419 \times 10^{-4}} \right)^{\frac{1}{1.968719}} = 350 \mu m$$

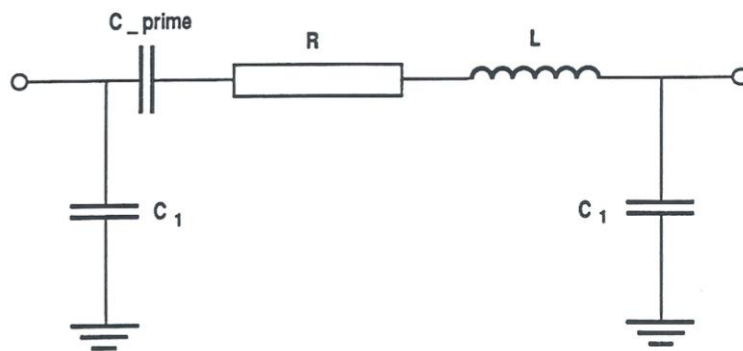
### Condensatorul in dinti de pieptene

Aceste condensatoare sunt construite utilizind metalizarea M2. Un exemplu de condensator pieptene este prezentat în fig.9. Spațiul dintre dinți este de 5 microni. Lățimea dinților este de 10 microni, iar a electrozilor de 25 microni. Aceste dimensiuni sunt pentru un condensator pieptene standard. Sunt posibile și alte configurații.



*Fig.9 Condensator pieptene*

Un model de circuit pentru acest condensator, valabil pînă la 20 GHz, este prezentat în fig.10.



*Fig.10. Model electric pentru condensatorul pieptene*

$C\_PRIME$  este capacitatea primară generată de cuplajul dintre dinți.  $R$  și  $L$  sunt rezistență și bobină parazită care modelează pierderile, iar  $C1$  reprezintă capacitatea legată de modelarea câmpului electric de margine spre masă. Modelul de circuit este simetric.

Valorile elementelor modelului sunt exprimate prin relații în funcție de dimensiunea de layout, care pentru condensatorul pieptene este numărul de dinți,  $N$ .  $N$  poate fi orice întreg între 6 și 20.

Capacitatea primară  $C\_PRIME$  și  $N$  sunt legate prin ecuațiile :



$$N = 1.999482 + \sqrt{(744.0775C\_PRIME - 0.15125)} \quad (1.5)$$

$$C\_PRIME = \left( ((N-1)(F-55) + F) 8.96 \times 10^{-5} \right) + 6.59 \times 10^{-4} \quad (1.6)$$

Unde  $F = 10N + 5(N-1)$  și  $C\_PRIME$  este în pF.

Termenii paraziți R, L și C1 sunt dați de expresii polinomiale de forma:

$$y = aN^5 + bN^4 + cN^3 + dN^2 + eN + f \quad (1.7)$$

Unde N este numărul de dinți. Coeficienții polinomului sunt dați în tabelul 5.

Tabelul 5

y	C1(pf)	L(nH)	R( $\Omega$ )
a	0	0	$-2.22583 \times 10^{-3}$
b	0	0	0.163427
c	0	$-3.026908 \times 10^{-4}$	-4.72975
d	$4.132143 \times 10^{-5}$	0.014089	67.48168
e	$2.831357 \times 10^{-3}$	-0.208423	-475.724
f	-0.011336	1.063872	1337.138

Lungimea unui dinte este dată de expresia

$$F.L. = F - 55(\mu m) \quad (1.8)$$

Iar lungimea laturii condensatorului (F în fig.11) este calculată cu relația :

$$F = 10N + 5(N-1)(\mu m) \quad (1.9)$$

De remarcat că modelul este valabil doar pentru geometrii pătrate de condensator.

Exemplu de proiectare

Care este dimensiunea unui condensator interdigital de 0.086 pF.

Soluție

Numărul de dinți este dat de relația :

$$N = 1.999482 + \sqrt{(744.0775 \times 0.086 - 0.15125)} = 10$$

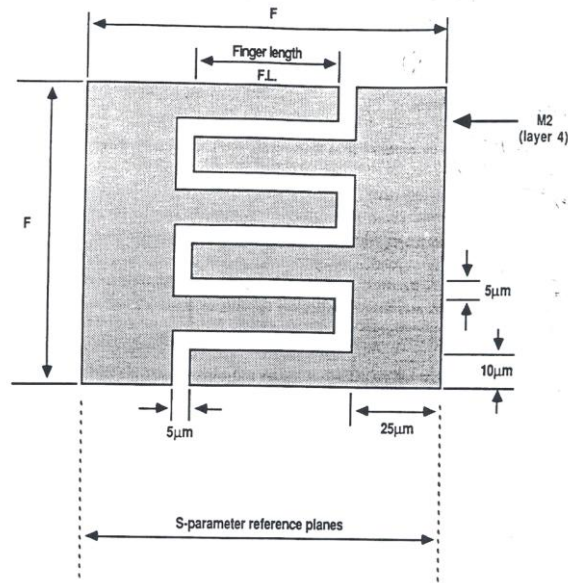


Fig.11. Condensator pieptene

Lungimea laturii condensatorului se calculează cu relația :

$$F = 10 \times 10 - 5(10 - 1) = 145 \mu m$$

Iar lungimea fiecărui dinte este calculată cu relația :

$$F.L. = 145 - 50 - 5 = 90 \mu m \quad (1.10)$$

În concluzie,  $N = 10$ , lungimea dintelui =  $90 \mu m$ , lățimea dintelui =  $10 \mu m$ , spațiul dintre dinți =  $5 \mu m$ , iar dimensiunea totală a condensatorului =  $145 \mu m \times 145 \mu m$ .

Layout-ul acestui condensator este prezentat în fig.12.

În fig.13 și 14 se prezintă dependența capacității primare de numărul de dinți și a capacității primare în funcție de lungimea laturii condensatorului.

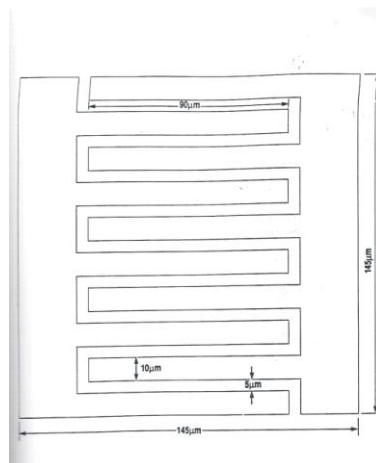


Fig.12. Condensatorul pieptene de  $0.086 pF$

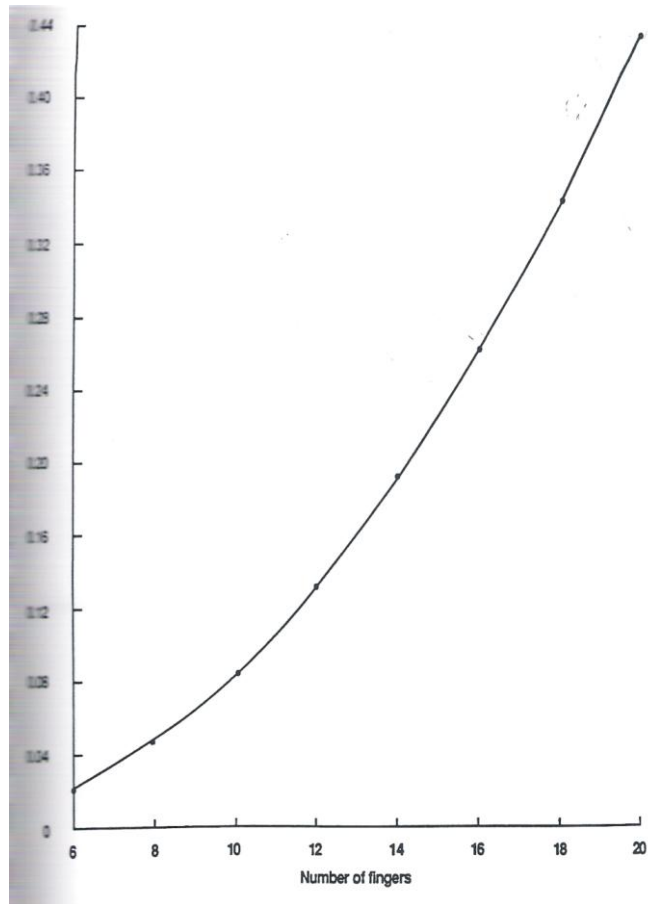


Fig.13. Condensator pieptene :  $N$  vs.  $C\_PRIME$

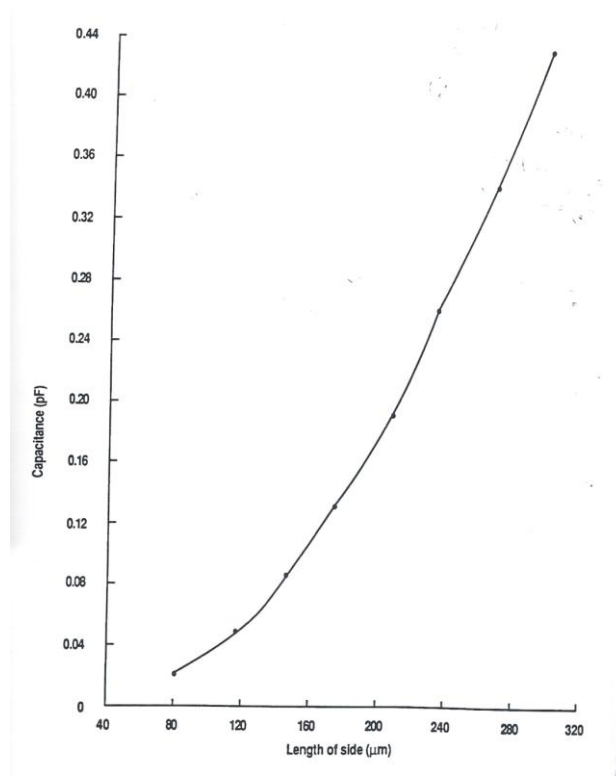


Fig.14. Condensator pieptene:  $F$  vs.  $C\_PRIME$

## Date asupra toleranței

Toleranța procesului pentru condensatorul cu poliimid este de  $\pm 12\%$ , iar a celui cu nitrura de siliciu de  $\pm 13\%$ . Aceasta înseamnă că valoarea lui C\_PRIME poate varia cu  $\pm 12\%$  în cazul condensatorului cu poliimid și cu  $\pm 13\%$  în cazul condensatorului cu nitrura de siliciu. Aceste valori reprezintă împrăștierea posibilă indiferent de mostra de proces. În cadrul aceluiași wafer, variația în jurul valorii medii este doar de 5%.

Toate condensatoarele sandwich variaza în același sens pe un wafer. Aceasta înseamnă că pentru același wafer, fie toate condensatoarele sandwich sunt mai mari, fie toate sunt mai mici.

Cînd se face o analiză de toleranță este important de notat că valoarea toleranței se aplica doar lui C\_PRIME. Cînd folosim un model, mai întîi fixăm x (dimensiunea layout) la valoarea layout-ului din mască. Aceasta pentru că modelul utilizează C\_PRIME pentru a calcula dimensiunea de layout (iar aceasta este folosita mai apoi pentru a calcula elementele parazite).

Condensatoarele pieptene au tolerante neglijabile.