

ПАРАЗИТНИ ВЛИЯНИЯ И ЕЛЕМЕНТИ В БИПОЛЯРНИТЕ ИНТЕГРАЛНИ СХЕМИ

Едни от най-важните конструктивно – технологични проблеми при интегралните схеми са свързани с паразитните елементи. Тяхното присъствие се определя от конструкцията на схемите, главно от вида на изолацията и разположението на изводите от едната страна на подложката. Съвременната полупроводникова техника разполага с нови технологични схеми, които до голяма степен елиминират проблема за изолацията. Това не се отнася само за прехода колектор – подложка. Разликата в тока на утечка достига 6÷7 порядъка в полза на изолацията със SiO_2 .

Вторият проблем не може да бъде решен, тъй като е характерен за интегралните структури.

Основните паразитни елементи са:

а) капацитетът на прехода СП;

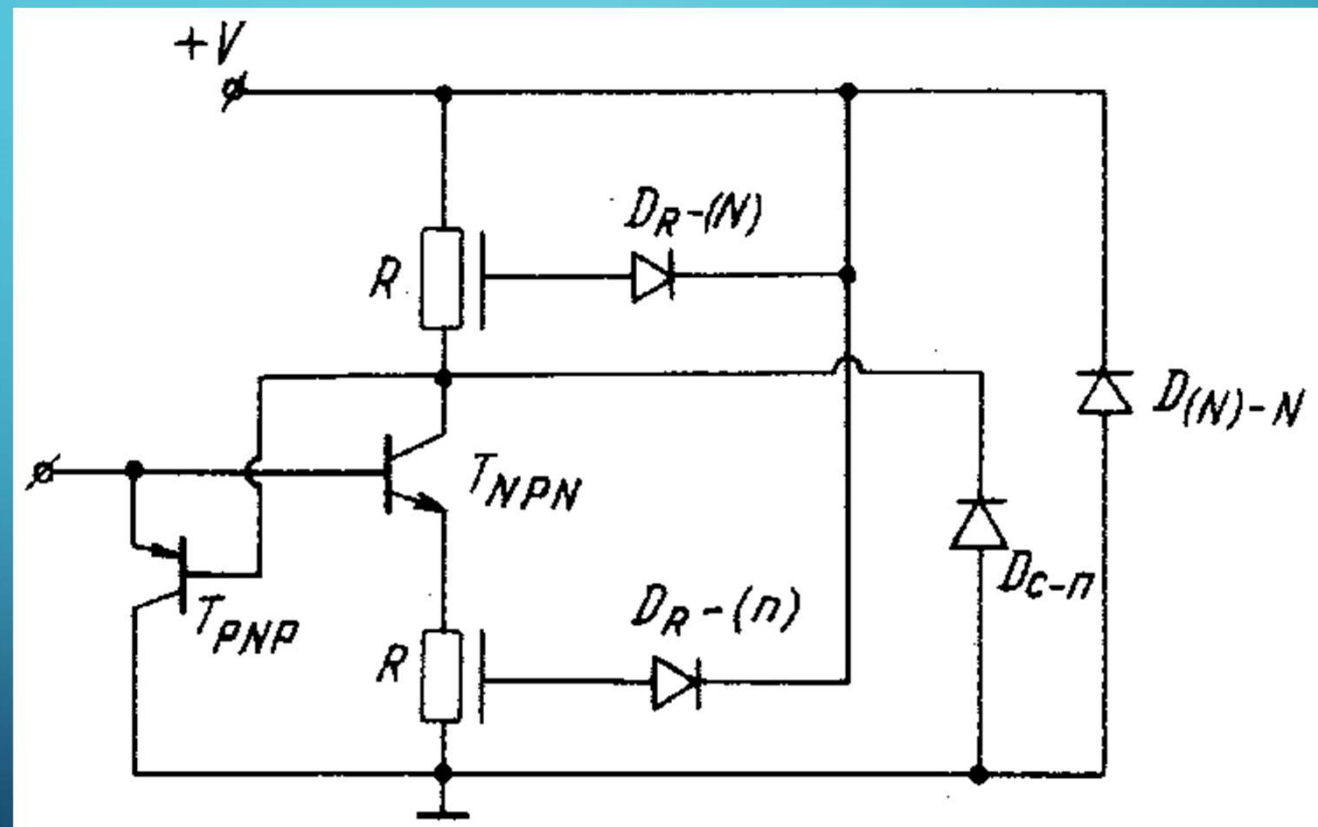
б) паразитният PNP транзистор към NPN транзистора;

в) капацитетът на прехода в хоризонталните PNP транзистори;

г) капацитетът на изолацията на “островчетата” на съпротивленията;

д) съпротивленията на R_{BB} и R_{CC} .

На фигурата е показана схемата на свързване на интегрален NPN транзистор с две съпротивления с някои от “паразитните” елементи.



Паразитният PNP транзистор е запушен при активен режим на NPN транзистора. Неговото отпушване е възможно само в наситено състояние на главния транзистор. Паразитният PNP транзистор оказва съществено влияние само когато се създават електрически условия за отпушване на прехода В – С на NPN транзистора. Възможна е допълнителна технологична обработка за намаляване на β_{PNP} чрез дифузия на злато, при което се намалява времето на живот на неосновните носители.

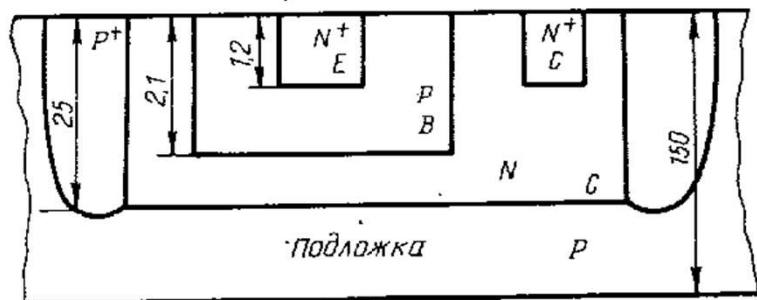
Капацитетът между "островчето" и подложката може да бъде доста голям поради голямата площ. Този диод е обратно поляризиран със сумата $\pm V$ на приложеното напрежение, като стойността, на капацитета може да достигне $50 \div 100 \text{ pF/mm}^2$.

Съществено значение за работата на ИС имат паразитните капацитети, свързани с металните шини. При дебелина на слоя от SiO_2 $0,5 \text{ }\mu\text{m}$ се получава до 80 pF/mm^2 . Нормално контактната площадка е с площ до $10\,000 \text{ }\mu\text{m}^2$, при което между извод и подложка се получава капацитет $0,5 \text{ pF}$.

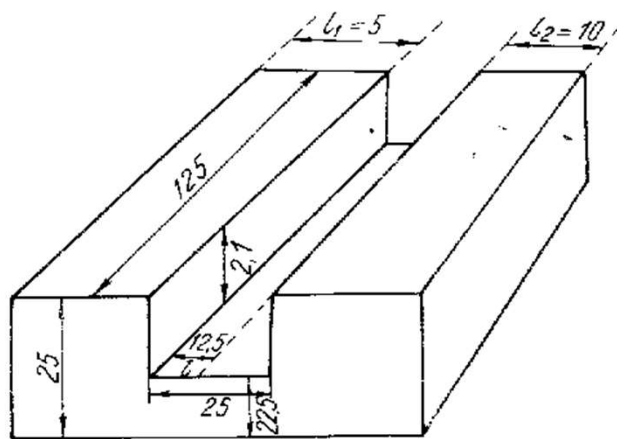
Изясняването на останалите паразитни елементи ще стане на базата на структури от ОУ $\mu\text{A} 740$.

На фигурите, представени на следващия слайд, са показани хоризонталната геометрия на NPN транзистор с два контакта на базата, неговата вертикална геометрия, конфигурацията на базовата област за определяне на R_{BV} и избраният метод за изчисляване на R_{CC} .

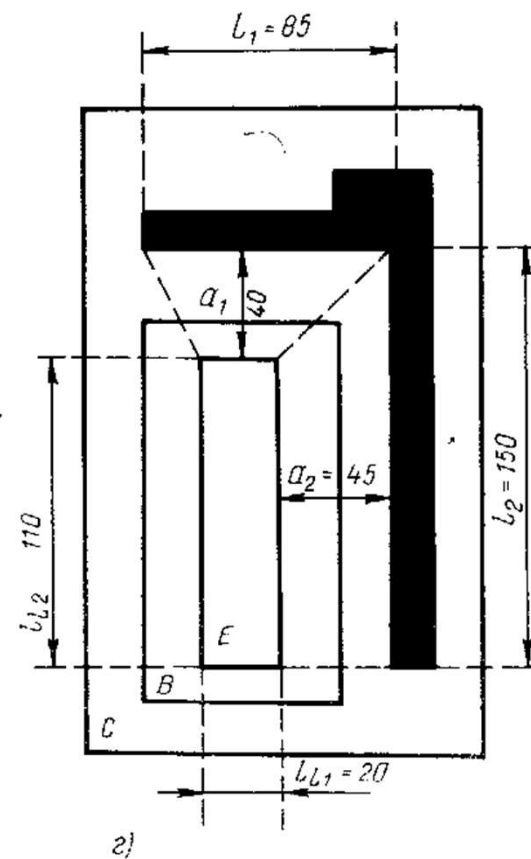
Заедно с паразитните елементи ще бъдат изчислени и някои други важни параметри на транзисторите.



б)



в)



г)

Необходимите конструктивни параметри, които са общи за всички транзистори от схемата, са:

а) подложка – P - Si, $\rho_N=10 \Omega \cdot \text{cm}$, $N_A=10^{14} \text{ cm}^{-3}$,
дебелина $x_n=150 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$;

б) епитаксиален слой – N – Si, $\rho_C=0,5 \Omega \cdot \text{cm}$, $N_D=10^{16} \text{ cm}^{-3}$,
 $x_{\text{СП}}=25 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$;

в) базова дифузия (емитерна за PNP транзистори)
 $\rho_B=(0,04 \div 0,2) \Omega \cdot \text{cm}$, $N_{\text{OB}}=10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $x_{\text{BC}}=2,1 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$;

г) емитерна дифузия – $\rho_{\text{E}} 10 \Omega$, $N_{\text{OE}}=10^{20} \text{ cm}^{-3}$, $x_{\text{EB}}=1,2 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$;

Редът на изчисленията е следният:

- Изчисление на общия капацитет на емитерния преход:

$$C_{OE}|_{V_D} = \frac{\varepsilon}{W_{Oj}} = 0,75 \cdot 10^5 \text{ pF/cm}^2$$

$$C_E = A_E C_{OE} \left(\frac{V_D}{V_D - V_{BE}} \right)^{1/3},$$

например $C_{E/0,7V} = 2,89 \text{ pF}$ при $A_E = 22 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2$

- Изчисление на общия капацитет на колекторния преход:

$$C_C = A_C C_{OC/10V} \left(\frac{10}{V_{CB[V]}} \right)^{1/2} = 0,51 \left(\frac{10}{V_{CB}} \right)^{1/2}$$

за $A_C = 0,685 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$,

например $C_C|_{10V} = 0,51 \text{ pF}$.

- Изчисление на изолационния капацитет:

$$C_{и} = C_{идъно} + C_{истра́на}.$$

Изчислява се рязък преход нормализирано върху капацитета за $V_{сп} = 10$ V. За $A_{идъно} = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$, $A_{истра́на} = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$ и

$$\text{Следва, че } C_{идъно} = A_{идъно} 3,47 \cdot 10^3 \left(\frac{10}{V_{сп}} \right)^{1/2} \text{ pF} \quad \text{и}$$

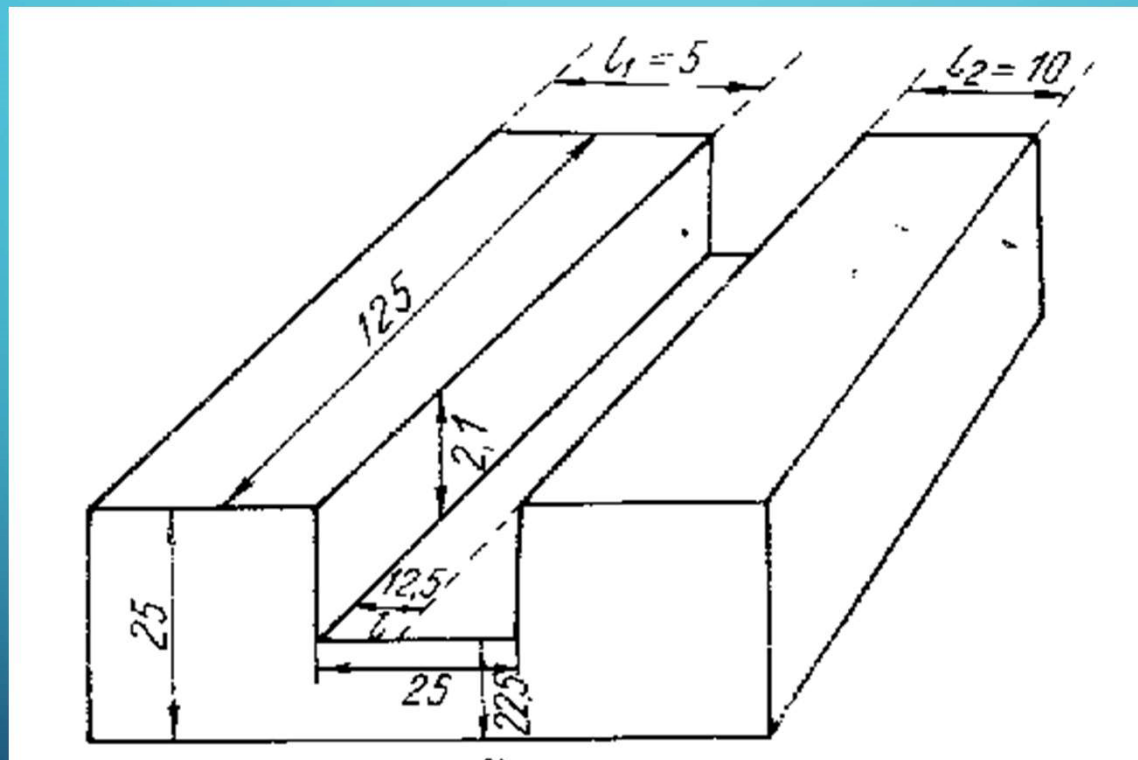
$$C_{истра́на} = A_{истра́на} 1,01 \cdot 10^4 \left(\frac{10}{V_{сп}} \right)^{1/2} \text{ pF};$$

$$\text{или } C_{идъно} = 1,49 \left(\frac{10}{V_{сп}} \right)^{1/2} \quad \text{и} \quad C_{истра́на} = 2,1 \left(\frac{10}{V_{сп}} \right)^{1/2} .$$

$$\text{Тогава } C_{и} = 3,59 \left(\frac{10}{V_{сп}} \right)^{1/2} \text{ pF} \quad \text{и за } V_{сп} = 10V$$

$$C_{и}|_{10V} = 3,59 \text{ pF}.$$

- Изчисление на базовото съпротивление R_{BB} .



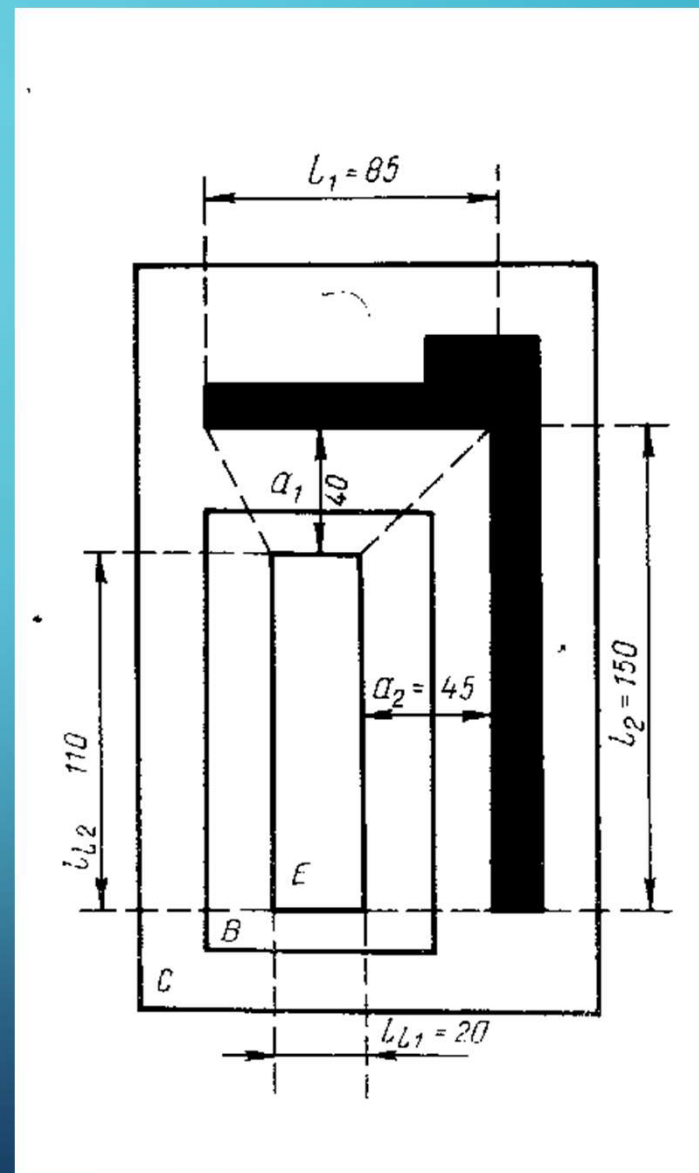
За конфигурацията от фигурата следва

$$R_{BB} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{3} \cdot \frac{\rho_{\text{Вдъно}}}{tW_B} + \frac{\rho_{\text{Встрана}}}{I_1 X_{BC}} \right].$$

В случая структурата е симетрична с два извода – $I_1=I_2$. Коефициентът $1/3$ пред съставката под емитера определя ефективната част на това базово съпротивление. Така определеното R_{BB} важи за малка инжекция. При големи стойности на тока в резултат на стеснението на емитера и концентриране на тока по периферията R_{BB} се определя главно от страничната съставка. За $\rho_{\text{Вдъно}}=0,2 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ и $\rho_{\text{Встрана}}=0,04 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ следва $R_{BB}=38 \text{ } \Omega$ и

$$R_{BB} \Big|_{\text{голямток}} = 4,3 \Omega.$$

- Изчисление на колекторното съпротивление R_{CC} . При различна конфигурация на областите трябва да се използват различни формули при правоъгълна геометрия в зависимост от броя на изводите на колектора R_{CC} се намира чрез съпротивленията на няколко трапеца, включени паралелно.



От представената фигура определяме

$$R_{cc} = R_1 \parallel R_2 = \rho_c \frac{2a_1}{(x_{сп} - x_{вс})(I_1 + I_{E1})} \parallel \rho_c \frac{2a_2}{(x_{сп} - x_{вс})(I_2 + I_{E2})};$$

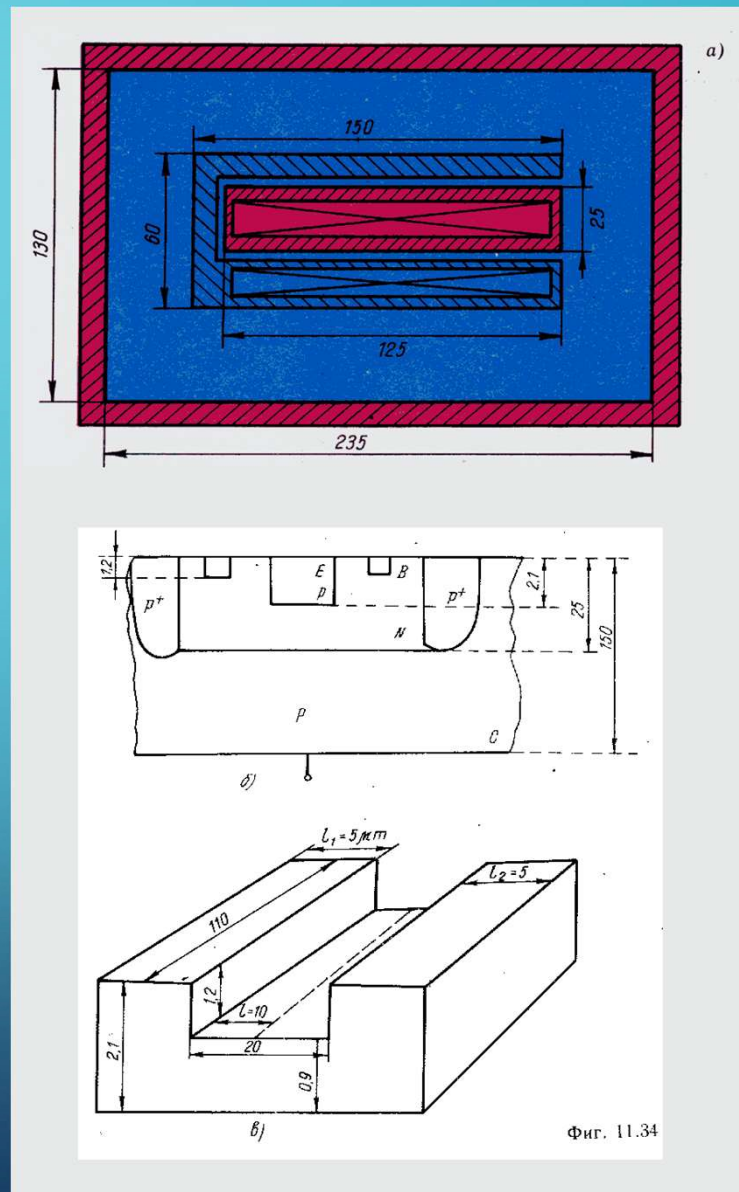
за $\rho_c = 0,5 \Omega \cdot \text{cm}$ и $x_{сп} - x_{вс} = 22,9 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$ следва $R^{cc} = 52 \Omega$.

При кръгла геометрия се получава

$$R_{cc} = \frac{\rho_c}{2\pi(x_{сп} - x_{вс})} \ln \frac{l_{cc}}{l_b},$$

където l_{cc} е обиколката на колектора, а l_b – на базата.

Да направим сравнение с един вертикален PNP транзистор с използване на подложката, получен по същата технологична схема. На фигурата са показани хоризонталната и вертикалната геометрия и начинът на изчисление на R_{BB} .



- За C_E се използват същите формули. Съответно $C_E/V_{BE}=0,7V=0,87\text{pF}$.

При изчислението на C_c се прилагат зависимостите за $C_{\text{идъно}}$ и

Систра, съответно $C_c = 2,88 \left(\frac{10}{V_{CB}} \right)^{1/2} \text{pF}$.

- За изчисляване на R_{BB} се използват същите зависимости, като в този случай концентрацията в базата е постоянна (епитаксиален слой на колектора на NPN транзистора). Съгласно предходната фигура в за два контакта на базата $R_{BB}=9 \Omega$, а при стеснение на емитера $R_{BB}|_{\text{голямтк}} = 5,3\Omega$.

- Изчисление на R_{cc} . За вертикалния PNP транзистор с участие на подложката

$$R_{cc} = \frac{\rho_p X_p}{A_c} \text{ или } R_{cc}=408 \text{ } \Omega \text{ за } \rho_p=10 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}, X_p=125 \cdot 10^{-4} \text{ cm и } A_c=3,05 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2.$$

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА:

1. Филипов, Ф.И., „Конструкция и технология на полупроводникови прибори“, С.Техника, 1988
2. Йорданов, Р.С., Филипов Ф.И., „Ръководство за лабораторни упражнения по Микроелектроника“, Издателство на ТУ-София, 2013