

# КОНСТРУЮВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА РАДІОАПАРАТУРИ

УДК 621.3.049.77.002.72:52.072.13:621.317.33

Дмитро Дячок, Любомир Смеркло  
Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут

## МОДЕЛІ ЗВАРНИХ МІКРОКОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ ДРОТУ І ПЛІВКОВОГО ПРОВІДНИКА

© Дячок Дмитро, Смеркло Любомир, 2004

Розглянуто моделі торцевого і накладного мікроконтактних з'єднань дроту і плівкового провідника в інтегральних мікросхемах та мікрозбірках. Проаналізовано формули для визначення величини електричного опору для торцевого і накладного мікроконтактних з'єднань та наведено результати його практичного вимірювання.

The models of face and lay-in microcontact connection of lead and film conductors in integrated circuits and microassemblies are considered. The equations for determination of electrical resistance for face and lay-in microcontact connections were analyzed and results of its measurements are presented.

### Вступ

При переході до ВІС та НВІС поряд із зростанням ступеня інтеграції радіоелектронних пристроїв зростає також кількість виводів і загальна кількість внутрішніх і зовнішніх мікроконтактних з'єднань. Окрім того, розміри провідникових елементів зменшуються, що призводить до зростання їхнього електричного опору. Відповідно зростає їхній вплив на надійну роботу пристрою. Проблеми провідникових елементів та мікроконтактів ІС та мікрозбірок вирішуються у сучасних дослідженнях [1]. До мікроконтактних з'єднань, які широко використовуються в мікроелектроніці, належать зварні дротяні з'єднання [2]. Способи визначення їхніх параметрів потребують подальшого удосконалення і одним із методів, що допомагає у цьому, є моделювання. Завданням дослідження було подання двох підходів до створення моделей торцевого і накладного дротяних мікроконтактних з'єднань, аналіз цих моделей і на підставі проведеного аналізу отримання оцінки найвагоміших складових опору з'єднань.

### Результати дослідження

Величина електричного опору є технічним параметром, що характеризує електричні властивості мікроконтактного з'єднання. У [3] опір контакту двох провідників визначається декількома складовими:

$$R_k = R_1 + R_2 + R_n, \quad (1)$$

де  $R_1$  і  $R_2$  – опір стягування на  $\alpha$ -плямах;  $R_n$  – опір окисних та інших плівок.

Мікрозварні дротяні з'єднання конструктивно виконуються вгоріць або внакладку. У [4] запропоновано модель торцевого контактного з'єднання дріт-тонка плівка, до опору якого входять дві складові і який визначається за формулою

$$R_k = R_\alpha + R_{cm}, \quad (2)$$

де  $R_\alpha$  – опір стягування на  $\alpha$ -плямах;  $R_{cm}$  – опір стягування ліній струму в плівці (рис. 1).

Опір стягування ліній струму в плівці запропоновано розраховувати за формулою

$$R_{cm} = \frac{1}{2\pi\gamma t} \ln \frac{(H_2 - h)r_1}{(H_1 - h)r_0}, \quad (3)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт електропровідності,  $t$  – товщина плівки;  $h$  – віддаль між двома нескінченними лініями, еквівалентними до двох циліндричних провідників,  $H_1$  – віддаль між центрами циліндричних провідників;  $H_2$  – віддаль між центрами еквіпотенціальних поверхонь;  $r_1$  – радіус деформованої частини дроту;  $r_0$  – радіус еквіпотенціальної поверхні.

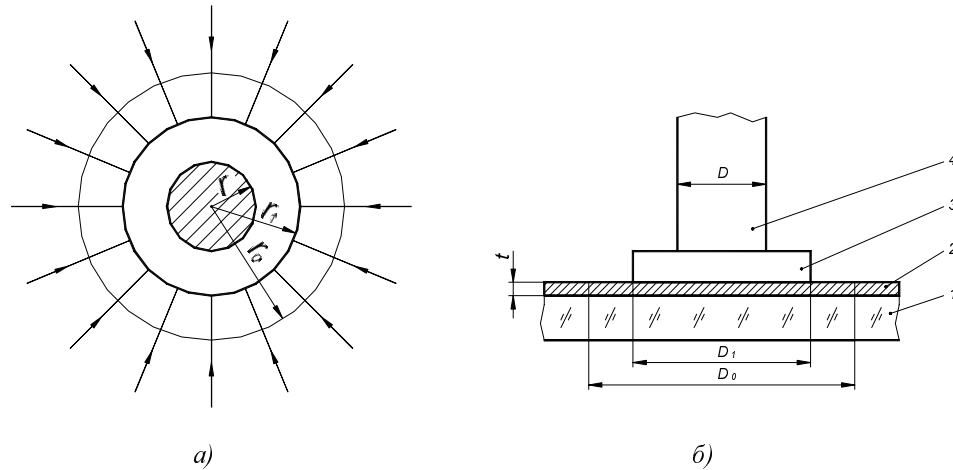


Рис. 1. Модель торцевого з'єднання дроту і плівкового провідника: а – стягування ліній струму в плівці; б – вигляд з'єднання збоку; 1 – підкладка; 2 – провідникова плівка; 3 – деформована частина дроту; 4 – дріт

Формула (1) виведена на основі уявлення електричного поля в плівці як поля двох паралельних нескінченно довгих циліндричних провідників. Прийняте припущення з певним ступенем наближення відображає розподіл електричного поля в плівці і є науково дискусійним, оскільки реально провідники-дроти знаходяться на поверхні, а не всередині плівки. Однак для тонких плівок за умови, що  $r_0 - r_1$  значно більше за  $t$ , таке уявлення електричного поля є допустимим. Повний опір контактного з'єднання вимірювався методом вольтметра-амперметра [5]. Вимірювання опорів контактів, отриманих термокомпресійним способом, показало, що виготовлені за одних і тих самих умов контакти мають розкид опорів. Абсолютне значення найбільш ймовірного опору контакту невелике і для алюмінієвих плівок та дроту з алюмінію і золота діаметром від 25 до 100 мкм мало значення від  $2 \cdot 10^{-3}$  до  $1,9 \cdot 10^{-2}$  Ом [5]. Розрахований за (3) опір стягування ліній струму в плівці становив 87 % від повного опору контакту [4], що показує його значний вплив на цей важливий параметр. Необхідно мати на увазі, що виміряна напруга на контакті залежить від місця під'єднання вимірювального зонда і за неправильного під'єднання її величина може не відповідати дійсній напрузі. Запропонована модель розроблена для торцевого з'єднання за умови рівномірного розходження ліній струму в плівці від місця контакту, тобто для тонкої плівки з необмеженими поздовжньо-поперечними розмірами. Здебільшого розміри контактної площинки є обмежені. Мінімальний її розмір визначається діаметром дроту, який приварюється і точністю системи суміщення зварної установки [6]. Зауважимо, що опір ділянки плівки під контактом, обмеженої діаметром  $D_1$ , входить до опору  $R_{\alpha}$ . Як окремі складові вони розглядаються в наступній моделі.

В [7] розглянуто модель накладного з'єднання на підкладці  $A$  (рис. 2), в якому ширина деформованої частини дроту дорівнює  $B$ , деформована частина і плівковий провідник перекриваються по довжині  $l$  і розділені в області перекриття деяким умовним перехідним шаром. Прийнято, що умовний перехідний шар утворюють дискретні осередки схоплювання [6] і що вказані осередки рівномірно розподілені по довжині  $l$ . Позначивши через  $r_1 = \rho_1 / Bh$  і  $r_2 = \rho_2 / bt$  погонні опори деформованої частини дроту і плівкового провідника (експериментально було

встановлено, що ділянка плівкового провідника з розміром  $c$  на опір контактного з'єднання істотного впливу не виявляє), а через  $y=b/\rho_n$  – погонну провідність перехідного шару, переходимо до плоскої моделі і розглядаємо еквівалентні схеми з розподіленими параметрами (рис. 3).

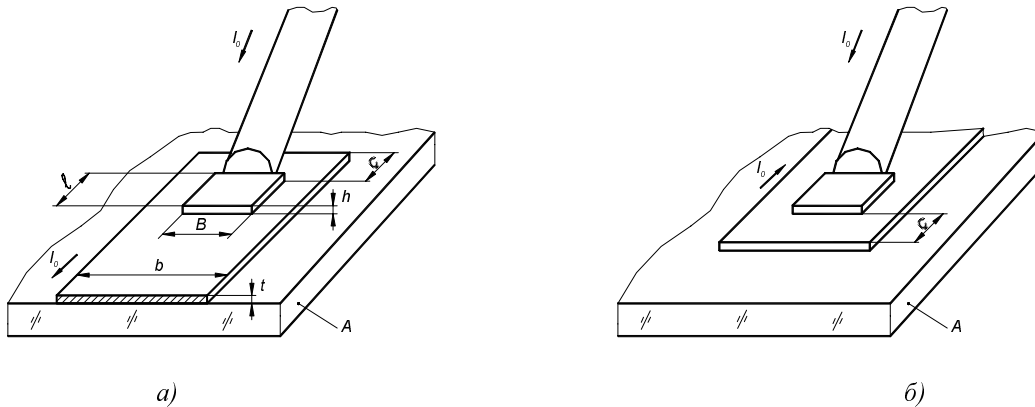


Рис. 2. Моделі накладного з'єднання дроту і плівкового провідника:  
а – перший випадок; б – другий випадок

Виділивши в кожній з еквівалентних схем елемент структури  $dx$  і застосувавши до струмів і напруг у цьому елементі закони Кірхгофа, отримаємо системи диференціальних рівнянь:

– для першого випадку (рис. 3, а)

$$\begin{cases} \frac{d^2 U}{dx^2} = y(r_1 + r_2)U; \\ \frac{d^2 I_1}{dx^2} = y(r_1 + r_2)I_1 + yr_2 I_0; \end{cases} \quad (4)-(5)$$

– для другого випадку (рис. 3, б).

$$\begin{cases} \frac{d^2 U}{dx^2} = y(r_1 + r_2)U; \\ \frac{d^2 I_1}{dx^2} = y(r_1 + r_2)I_1. \end{cases} \quad (6)-(7)$$

Розв'язавши системи рівнянь (4)–(7) з врахуванням початкових умов

$$I_{1(x=0)}=I_0 \quad i \quad I_{1(x=l)}=0, \quad (8)$$

знайдемо величини спадів напруг на початку області перекриття  $U_{ax}$  і вздовж контакту  $U_l$ . Для першого випадку спад напруги на контактному з'єднанні дорівнюватиме сумі спадів напруг  $U_{ax}$  та  $U_l$ , для другого – напрузі  $U_{ax}$ . Розділивши величину спаду напруги на контактному з'єднанні на протікаючий через нього струм, знайдемо його опір:

– для першого випадку

$$R_K = \frac{r_1^2 + r_2^2}{(r_1 + r_2)\alpha \cdot th\alpha l} + \frac{2r_1 r_2}{(r_1 + r_2)\alpha \cdot th\alpha l} + \frac{r_1 r_2 l}{r_1 + r_2}; \quad (9)$$

– для другого випадку

$$R_K = \frac{2r_1 r_2}{(r_1 + r_2)\alpha \cdot th\alpha l}, \quad (10)$$

де

$$\alpha = \sqrt{y(r_1 + r_2)}. \quad (11)$$

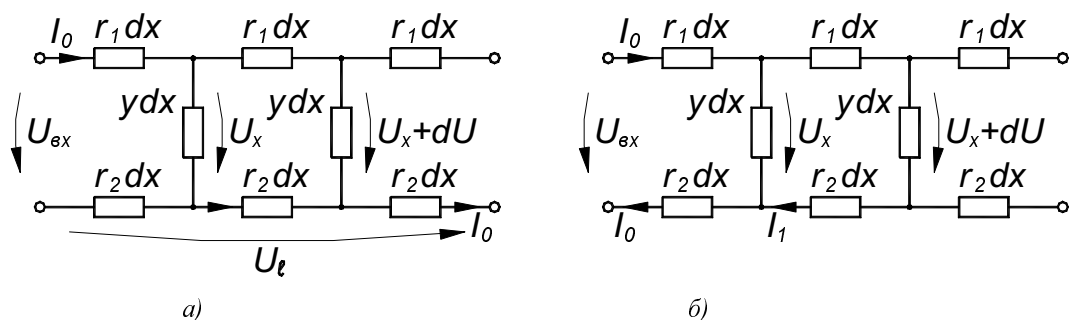


Рис. 3. Еквівалентні схеми накладного з'єднання дроту і плівкового провідника:  
а – перший випадок; б – другий випадок

Вираз, отриманий в [8] для опору ідеалізованої моделі плівкового контактного опору, аналогічний до (9). Для технічного аналізу опору мікроконтактного з'єднання більш зручним є простіший вираз (10). З виразів (9), (10) видно, що  $R_k$  залежить від геометричних розмірів контактної з'єднання і від опору, який вноситься перехідним шаром:

$$R_{kn} = \frac{\rho_n}{Bl} = \frac{1}{yl}. \quad (12)$$

Опір, що вноситься умовним перехідним шаром, згідно з [3] називається контактним і в нього входить опір стягування на  $\alpha$ -плямах. Для визначення параметра  $y$  із виразів (11) і (12) була розроблена спеціальна програма мовою СЯК [9]. Опір  $R_k$  вимірюється відомими способами [10, 11]. За допомогою способу, описаного в [11], вимірювалися опори термокомпресійних контактних з'єднань  $Au$ -дроту і плівкового провідника із срібної пасти 3713. Поверхня плівкового провідника перед виконанням контактування підлягала обробці полірувальними кругами із застосуванням алмазної пасти АСМ2/1. Товщина плівки після полірування становила 8 мкм, діаметр дроту, який приварювався, – 40 мкм. Виміряні опори групи контактних з'єднань знаходились в межах  $R_k = 0,054...0,072$  Ом. На основі проведених вимірювань за формулами (10)...(12) були розраховані контактні опори. Їх величина становила  $R_{kn} = 0,062 \pm 0,009$  Ом. Отримані результати показують, що у цьому разі опір контактної з'єднання переважно визначається контактним опором. Контактний опір залежить від фактичної площі контакту і виражається через його параметр – величину питомого перехідного контактної опору [10]. Для контактних з'єднань  $Au$ -дроту і плівкового провідника зі срібної пасти величина питомого опору становила  $\rho_n = 3,97 \cdot 10^{-6}$  Ом·см<sup>2</sup>.

Аналіз розглянутих моделей показує, що електричний опір є важливим інформативним параметром, який характеризує мікроконтактне з'єднання і за яким можна оцінювати його якість. До опору мікроконтактної з'єднання входить декілька складових і найважливішими з них є опір стягування ліній струму в плівці для моделі торцевого з'єднання і перехідний контактний опір для моделі накладного з'єднання.

### Висновки

1. Розглянуто моделі торцевого і накладного мікроконтактних з'єднань дроту і плівкового провідника в інтегральних мікросхемах та мікробірках, в яких електричний опір є інформативним параметром, що дає змогу проводити аналіз мікроконтактної з'єднання. Показано два підходи до створення моделі мікроконтактної з'єднання. За одного з них в опір мікроконтакту включається опір значної частини плівкового провідника поза його межами, який названо опором стягування ліній струму в плівці. Його величина становить до 87 % від повного опору мікроконтакту.

2. Проаналізовано формули для визначення величини електричного опору мікроконтактної з'єднання у випадках торцевого і накладного з'єднань та наведено результати їх практичних вимірювань. На основі проведених досліджень визначено питомий перехідний контактний опір для термокомпресійних з'єднань  $Au$ -дроту і плівкового провідника зі срібної пасти. Величина питомого опору становить  $\rho_n = 3,97 \cdot 10^{-6}$  Ом·см<sup>2</sup>.

3. Розглянуті моделі пропонується використовувати при розробці та виготовленні (вимірювання опору) мікроелектронних пристроїв.

1. Данчишин І.В. Розробка методів та засобів забезпечення технологічності МОН-структур мікроелектронних пристроїв в умовах автоматизованого виробництва. – Дис. на здоб. наук. ст. к. т. н. – Чернівці. – 2000. – С. 32–33. 2. David A.Horsley and oth. Batch Transfer of Microstructures Using Flip-Chip Solder // *IEEE Journal of microelectromechanical systems*, vol.8, No.1, march 1999. – P.27–33. 3. Хольм Р. Электрические контакты / Пер с англ. – М., 1961. 4. Бурова Н.Н. О сопротивлении микроконтактов между тонкими пленками и проводниками // *Изв. вузов, Приборостроение*. – 1972. – №2. – С.117–122. 5. Евтеев Ф.Е., Бурова Н.Н. Свойства микроконтактов, получаемых термокомпрессионным методом // *Изв. вузов. Приборостроение*. – 1967. – №11. – С.117–123. 6. Мазур А.И. и др. Процессы сварки и пайки в производстве полупроводниковых приборов. – М., 1981. 7. Дячок Д.Т. О сопротивлении контактного соединения микропровода и тонкопленочного проводника // *Вопросы радиоэлектроники. Сер.ОВР*. – 1988. – Вып.12. – С.112–115. 8. Кресин О.М., Харинский А.Л. Математический анализ тонкопленочного контакта // *Вопросы радиоэлектроники. Сер. ДиКА*. – 1964. – Вып. 5. – С.15. 9. Цб.30007-01 35 01. Специальный язык контроля (СЯК). Описание языка. – 1983. 10. Ющук С.И., Попенко А.М. Измерение электросопротивления тонкопленочных контактов // *Заводская лаборатория*. – 1973. – №4. – С.450. 11. А.с. 1250982 (СССР). Способ определения сопротивления контактного соединения проволоки и тонкой пленки / Д.Т. Дячок. Оpubл. в БИ. – 1986. – №30.

УДК 621.3.049.77:539:319

Михайло Матвійків

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра електронних засобів інформаційно-комп’ютерних технологій

## **ВПЛИВ ВНУТРІШНІХ МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ НА ВЛАСТИВОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЛІНІЙ ЗАТРИМКИ НА ПОВЕРХНЕВИХ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЯХ**

© Матвійків Михайло, 2004

Досліджено вплив внутрішніх механічних напружень на час затримки сигналу, форму імпульсного відгуку та амплітудно-частотної характеристики ультразвукових ліній затримки на поверхневих акустичних хвилях. Показано, що внутрішні механічні напруження змінюють швидкість розповсюдження акустичної хвилі і за рахунок цього змінюють час затримки сигналу, форму імпульсного відгуку і амплітудно-частотної характеристики. Запропоновано враховувати ці деформаційні ефекти при конструюванні ультразвукових ліній затримки на поверхневих акустичних хвилях.

The article investigates the influence of internal mechanical tensions on the signal delay period, the form of impulse response and amplitude-frequency characteristic of hypersonic surface acoustic waves delay lines. It is shown that internal mechanical tensions change the velocity of acoustic wave and due to this change the delay period of signal, the form of impulse response and amplitude-frequency characteristic. It is suggested to pay attention to such deformation effects when constructing hypersonic surface acoustic waves delay lines.

### **Постановка задачі**

Як відомо, лінії затримки широко застосовуються в різних видах електронної техніки, в тому числі в обчислювальній техніці, апаратурі зв’язку, радіолокаційних та навігаційних системах тощо.