

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ І ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ МІКРОКОНТАКТНОГО З'ЄДНАННЯ В ІС

© Дячок Д.Т., **Смеркло Л.М.**, Невзоров В.В., 2006

Наведено математичний аналіз залежності електричного опору мікроконтактного з'єднання (МКЗ) від його геометричних розмірів і перехідного опору. Розроблено програми розрахунку. Встановлено, що у запропонованій моделі ширина і товщина плівкового провідника здебільшого не істотно, а зміна діаметра дроту – істотно впливають на опір МКЗ. Для малих розмірів МКЗ його опір визначається, переважно, перехідним контактним опором.

The mathematical equations for analysis of dependence of electric resistance of microcontact connection (MCC) on its dimension and intermediate resistance are considered. The computation software is designed. It is established that in proposed model the width and thickness of film conductor layer do not influence on MCC resistance and change of wire diameter impacts greatly on MCC resistance. For small MCC dimension its resistance is determined by intermediate contact resistance.

Вступ

Характерною ознакою сучасного стану інтегральних схем (ІС) є те, що ступінь їх інтеграції постійно зростає. При цьому збільшується кількість внутрішніх і зовнішніх мікроконтактних з'єднань (МКЗ) та провідникових елементів при одночасному зменшенні їхніх геометричних розмірів. Але при зменшенні розмірів провідникових елементів і МКЗ зростає їх електричний опір, що погіршує параметри ІС. У зв'язку з цим актуальним є дослідження опору МКЗ залежно від його геометричних розмірів та перехідного контактного опору і визначення числових показників цієї залежності.

Постановка задачі

У роботі [1] розглянуто моделі накладного мікроконтактного з'єднання дроту і плівкового провідника. Запропоновано математичні вирази визначення опору МКЗ для двох варіантів протікання струму. Зокрема для першого випадку (рис.1, а):

$$R_k = \frac{r_1^2 + r_2^2}{(r_1 + r_2)\alpha \cdot th(\alpha l)} + \frac{2r_1r_2}{(r_1 + r_2)\alpha \cdot sh(\alpha l)} + \frac{r_1r_2l}{r_1 + r_2}; \quad (1)$$

для другого випадку (рис.1, б):

$$R_k = \frac{2r_1r_2}{(r_1 + r_2)\alpha \cdot th(\alpha l)}, \quad (2)$$

де

$$\alpha = \sqrt{\mathcal{Y}(r_1 + r_2)}, \quad (3)$$

$$r_1 = \rho_l / Bh, \quad (4)$$

$$r_2 = \rho_2 / bt, \quad (5)$$

$$y = B / \rho_n. \quad (6)$$

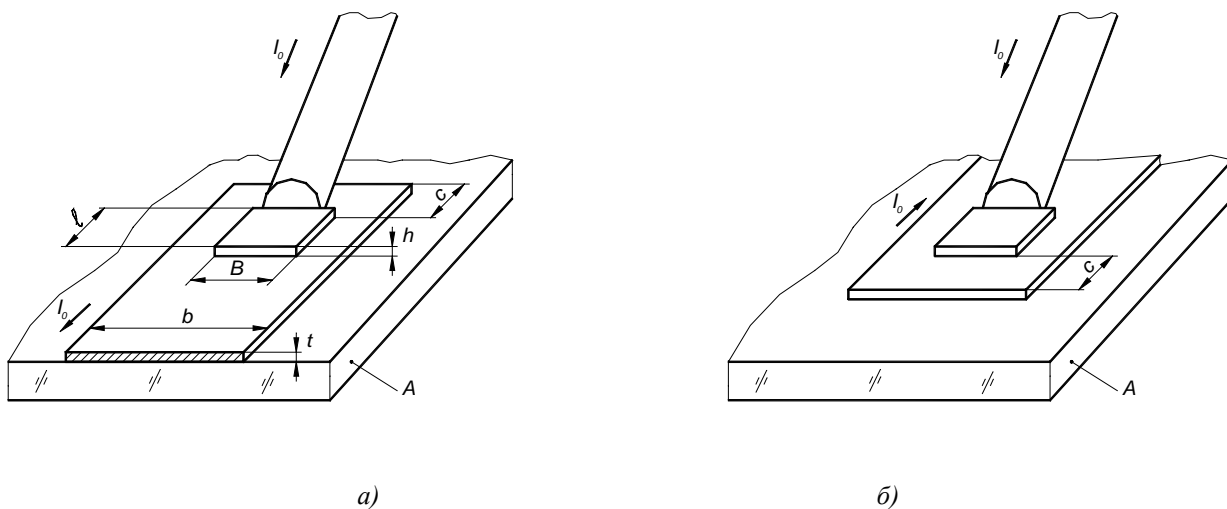


Рис. 1. Моделі накладного з'єднання дроту і плівкового провідника:
а – перший випадок, б – другий випадок

Знаменник другого складника формули (1) потрібно читати так, як наведено в цій статті. Із формул (1)–(6) видно, що опір МКЗ залежить від його геометричних розмірів: товщини деформованої частини дроту h , товщини плівкового провідника t , ширини плівкового провідника b , ширини деформованої частини дроту B і провідності умовного перехідного шару y . Нижче подано результати дослідження різних варіантів цієї залежності з використанням машинних програмних засобів.

Проведення дослідження

Термокомпресійні з'єднання *Au*-дроту і плівкового провідника із срібної пасти 3713 виконували на установці ЭМ-439М за типовим режимом зварювання ($t = 0,5$ с, $t^{\circ}_{\text{підк}} = 320^{\circ}\text{C}$). Поверхня плівкового провідника перед виконанням контактування підлягала обробленню полірувальними кругами із застосуванням алмазної пасти АСМ2/1. Опори термокомпресійних контактних з'єднань вимірювали за допомогою способу, описаного в [2]. За результатами проведених вимірювань була розрахована величина питомого перехідного контактного опору. Для досліджуваних з'єднань вона становила $3,97 \cdot 10^{-6}$ Ом·см². Це значення використане в подальших розрахунках.

Для встановлення залежності опору МКЗ від геометричних розмірів на основі формул (1) і (2) були розроблені програми розрахунку мовою Паскаль та паралельно в оболонці MathCad. Паралельне програмування застосовано для усунення випадкових помилок при великому масиві обчислень.

Вихідними даними для програмного розрахунку були

- 1) діапазон зміни діаметра дроту 2–200 мкм;
- 2) діапазон зміни товщини плівкового провідника 0,1–8 мкм;
- 3) діапазон зміни ширини плівкового провідника 80–1000 мкм;
- 4) величина питомого перехідного опору $3,97 \cdot 10^{-6}$ Ом·см².

Результати дослідження

Результати проведених досліджень показано у вигляді графіків на рис. 2–7.

На рис. 2 зображено залежність опору двох варіантів МКЗ залежно від ширини плівкового провідника. Виявлено слабку залежність опору МКЗ від ширини плівкового провідника для товщин 1 і 8 мкм., а також для товщини 0.1 мкм при великих ширинах. Це підтверджує доцільність використання формули (5) в проведених розрахунках.

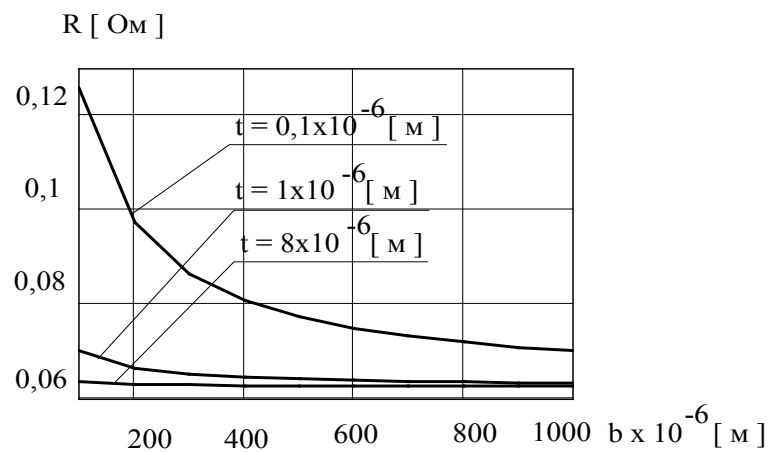


Рис. 2. Залежність опору МКЗ від ширини плівкового провідника

На рис.3 подано залежність опору МКЗ від товщини плівкового провідника. Для більшості товщин опір також слабо залежить від товщини плівки. Тільки при дуже малих товщинах спостерігається зростання цієї залежності.

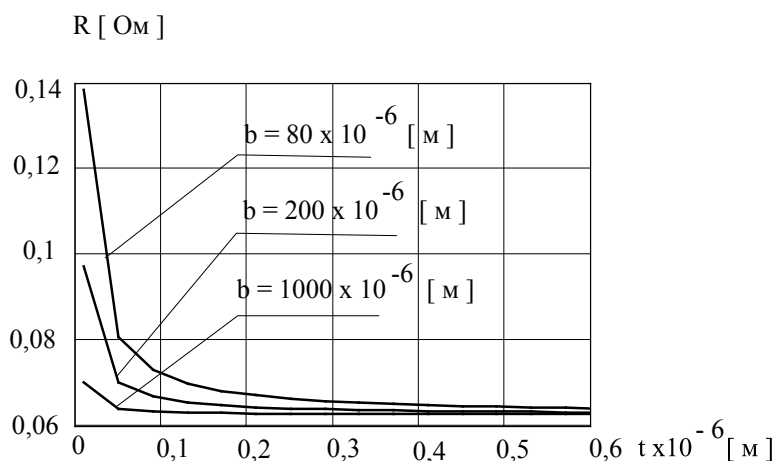


Рис. 3. Залежність опору МКЗ від товщини плівкового провідника

На рис. 4 і 5 показано залежність опору МКЗ від розмірів – ширини B і довжини l – деформованої частини дроту. У проведених розрахунках прийнято $B = l = 2d$. Із зменшенням діаметра дроту d , а отже, і його деформованої частини, опір МКЗ зростає. Це пояснюється зменшенням площі контакту та його геометричних розмірів. Зростання має гіперболічний характер. Діаметр використовуваного під час монтажу дроту перебуває, переважно, в межах 10–200 мкм [3, 4]. При малих діаметрах електричний опір дуже зростає (рис. 4).

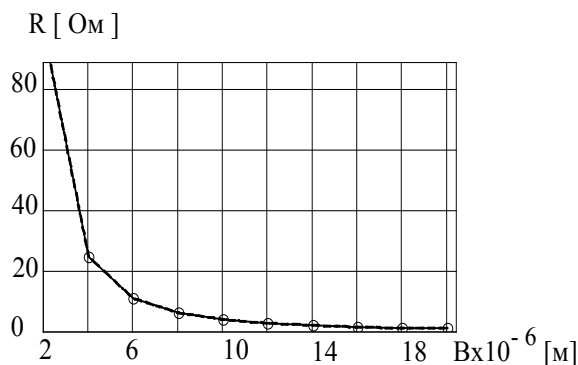


Рис. 4. Залежність опору МКЗ від діаметра дроту при малих його значеннях

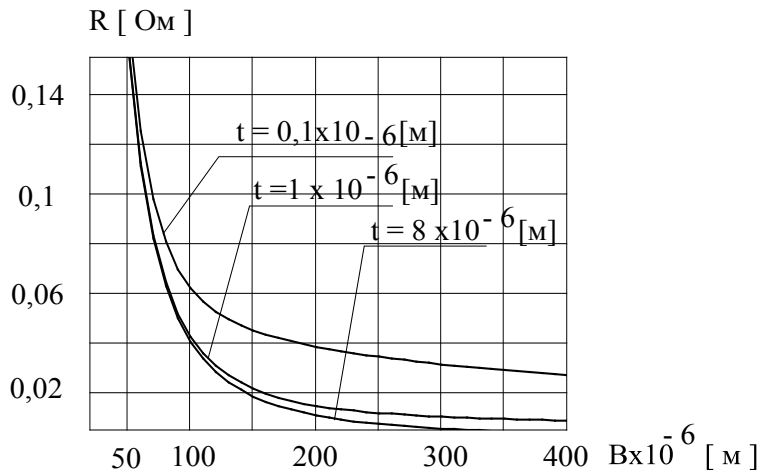


Рис. 5. Залежність опору МКЗ від діаметра дроту при великих його значеннях

На рис. 6 показано процентне співвідношення між цим опором МКЗ для двох варіантів протікання струму. Як видно із графіків, розбіжність в розрахунку за формулами (1) і (2) незначна, в межах 0–3 % (причому здебільшого < 1%). Тому на практиці варто використовувати формулу (2) для визначення опору МКЗ, як зручнішу для розрахунків.

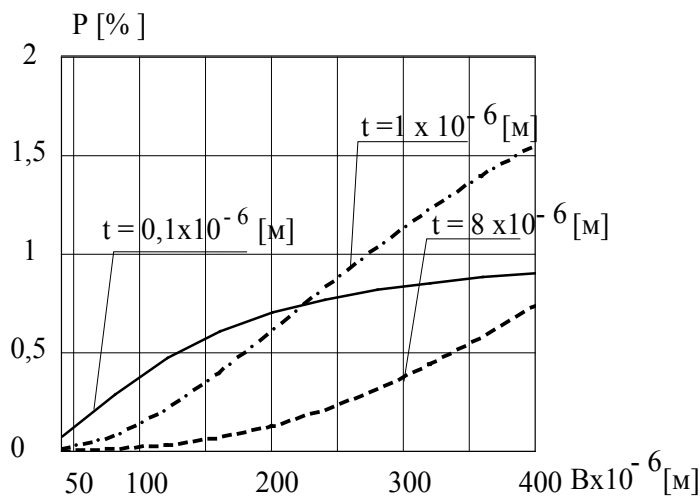


Рис. 6. Процентне співвідношення між опором двох варіантів протікання струму в МКЗ

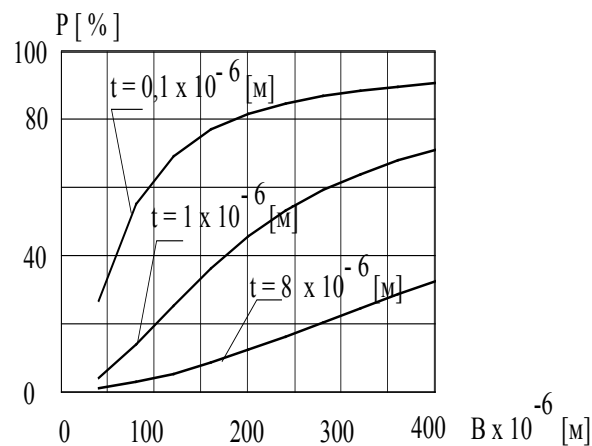


Рис. 7. Процентне співвідношення між опором МКЗ і перехідним контактним опором

На рис.7 показано процентне співвідношення між опором МКЗ та перехідним контактним опором. Перехідний контактний опір розраховували за формулою

$$R_{кп} = \frac{\rho_{п}}{Bl} = \frac{1}{yl}. \quad (7)$$

Із графіків видно, що для розмірів деформованої частини дроту, менших 80 мкм (відповідно, діаметрів дроту, менших 40 мкм) при товщинах плівкового провідника 1 і 8 мкм, і менших 40 мкм при товщині плівкового провідника 0,1 мкм, опір, в основному, визначається перехідним контактним опором. Вплив геометричних розмірів деформованої частини в діапазоні від 40 до 400 мкм зростає. Але сам опір МКЗ при цьому значно зменшується, бо збільшується площа контакту. Тому, зауважений вплив не має істотного значення.

Висновки

1. Проаналізовано залежність опору МКЗ від його геометричних розмірів. Виявлено, що ця залежність від ширини і товщини плівкового провідника не є значимою, а ось зміна діаметра дроту істотно впливає на його опір.

2. Визначено, що розбіжності між опорами МКЗ для двох основних випадків протікання струму є незначними – в межах 0–3 %. Це дозволяє, в загальному, для оцінювання опору МКЗ використовувати простішу формулу (2).

3. Встановлено, що із збільшенням розмірів їхній вплив на опір МКЗ зростає, а вплив перехідного контактного опору зменшується. Для менших же розмірів МКЗ його опір майже повністю визначається перехідним контактним опором.

1. Дячок Д.Т., Смеркло Л.М. Моделі зварних мвкроконтактних з'єднань дроту та плівкового провідника // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". Сер "Радіотехніка та телекомунікації". №508. – Львів. – 2004. – С. 281–285.

2. А.с. 1250982 (СССР). Способ определения сопротивления контактного соединения проволоки и тонкой пленки / Д.Т.Дячок. – Оубл. в БИ, 1986, №30.

3. Бер А.Ю., Минскер Ф.Е. Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. – М.: Высшая школа. –1986. – 113 с.

4. ГОСТ7222-75 Проволока из золота, серебра и их сплавов. Технические условия. – С. 1–2.