

1. Данилов В.В., Данилов О.Б., Сидоров А.И. Управление генерацией CO₂-лазера с помощью фазового холестерико-нематического перехода // Письма в ЖТФ. – 1991. – Т. 17, № 21 – 5–12. 2. Яковенко С.С., Вистинь Л.К. Применение метода инфракрасной спектроскопии для определения ориентации молекул в слоях жидкого кристалла // Кристаллография. – 1996. – Т.2, № 3. – С.571–573. 3. Шифрин К.С. Рассеяние света в мутной среде. – М., 1953. – 326 с. 4. Пат. 44398 А Україна, МПК 7 G02F1/13 Спосіб виготовлення рідкокристалічного модулятора / З.М. Микитюк, О.Є. Сушинський, М.С. Нуцковський, В.Г. Іваницький – № 2000031577; Заявл. 21.03.2000. 5. Mikityuk Z., Fechan A., Semenova J. Sushynsky O. The features of amplitude modulation on the base of cholesteric-nematic phase transition // Optical Review, Poland. – 1996, Vol. 1. – P.14–24. 6. Микитюк З.М., Сушинський О.Є., Черпак В., Іваницький В.Г. Селективне розсіювання на конфокальних доменах індукованих холестериків // Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2001. – с.86–92. 7. Mikityuk Z.M., Fechan A., Nevmerzhytska O. Sushynsky O. The Anomalous behavior of inversed CNPT critical Field // Abstract of European conference on liquid crystals. – Zakopane, Poland. – 1997. – С. 336. 8. Пат. 29677 А Україна, МПК 6 G02F 1/13 Спосіб виготовлення модуляторів ІЧ-випромінювання / З.М. Микитюк, М.С. Нуцковський, Л.М. Вернікова, О.Є. Сушинський – № 96103771; Заявл. 01.10.1996; Опубл. 15.11.2000. Бюл. № 6 с. 11.

УДК 621.3.049.776.43:621.791.4

Д.Т. Дячок, В.А. Павлиш*, Л.М. Смеркло

*Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних засобів інформаційно-комп’ютерних технологій,
Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут

СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ КОНТАКТНОГО З’ЄДНАННЯ МІКРОДРОТУ І ПЛІВКОВОГО ПРОВІДНИКА

© Дячок Д.Т., Павлиш В.А., Смеркло Л.М., 2003

Розглянуто питання вимірювання електричного опору мікроконтактного з’єднання дроту і плівкового провідника в інтегральних мікросхемах і мікроскладаннях. Запропоновано спосіб, який підвищує точність вимірювання.

The problems of measurement of electrical resistance of mikrocontact connection of wire and film conductor in integrated microcircuits and microassemblies are considered. The new method which improves measuring precision is proposed.

Вступ. Контактні з’єднання мікродроту і плівкового провідника продовжують надалі широко використовуватися в мікроелектроніці. Важливим параметром, за яким оцінюється якість мікроконтактного з’єднання, є його низький електричний опір. Для його вимірювання найчастіше використовують метод амперметра–вольтметра та різні мостові схеми [1]. Відомі сьогодні способи вимірювання опору або складні [2], або не завжди задовольняють вимогу достатньої точності [3, 4, 5, 6]. Основними проблемами, які доводиться при цьому вирішувати, є усунення або зменшення впливу на результат вимірювання контактних опорів вимірювальних зондів, величина яких одного порядку з опором мікроконтактного з’єднання, а також опорів дільниць дроту і плівкового провідника, які при вимірюванні входять в ділянку поміж вимірювальними зондами.

У способі [2] для визначення опору контактної з'єднання дріт–тонкоплівковий провідник необхідно виготовити спеціальний взірець з нанесеним на діелектричну підкладку плівковим провідником, до якого у трьох місцях приварюється мікродріт так, що від кожного мікроконтакту виходить по два виводи. Усунення впливу опору дротяних виводів на результат вимірювання досягається включенням їх в плечі та діагоналі гальванометра і живлення моста. Здійснюючи по чергове вимірювання опорів трьох ділянок плівкового провідника з двома (із трьох) контактними з'єднаннями, перехідний опір контакту мікродріт–плівка визначається за формулою:

$$r_{kn} = (R_{1-2} + R_{2-3} + R_{1-3})/2,$$

де R_{1-2} , R_{2-3} , R_{1-3} – виміряні опори кожної із трьох ділянок плівкового провідника з двома мікроконтактами.

У [3] контактний електроопір між дротом і плівкою вимірюється за допомогою подвійного моста, одне з плеч якого – вимірюваний електроопір. Одним виходом подвійний міст з'єднаний з губками відривного пристрою, а другим – з вимірювальним зондом, який контактує у свою чергу з провідниковою плівкою. Недоліком способу є те, що у результат вимірювання входить опір ділянки дроту, а також контактні опори вимірювального зонду і губок відривного пристрою. Однак автор використовує його для реєстрації відносної зміни контактної електроопору в процесі зварювання, а в такому частинному випадку їхній вплив є несуттєвим.

Автори [4, 5] запропонували спосіб амперметра–вольтметра, в якому з метою зменшення впливу контактних опорів на результат вимірювання напруга на контакті вимірювалася мілівольтметром електростатичного типу або мілівольтметром, що має великий опір. Однак і в цьому способі до результату вимірювання входить опір провідникової плівки, який автори назвали опором стягування ліній струму в плівці. Він розраховується за формулою:

$$R_{cm} = \frac{I}{2\pi\gamma d} \ln \frac{(H_2 - h)r_1}{(H_1 - h)r_0}$$

де γ – коефіцієнт електропровідності, d – товщина плівки, h – віддаль між двома нескінченними лініями, еквівалентними двом циліндричним провідникам, H_1 – віддаль між центрами циліндричних провідників, H_2 – віддаль між центрами еквіпотенціальних поверхонь, r_1 – радіус дроту, r_0 – радіус еквіпотенціальної поверхні. Уявлення про електричне поле в плівці між двома круглими контактами як про поле двох паралельних нескінченно довгих циліндричних провідників є науково дискусійним, бо драти-провідники знаходяться на поверхні, а не всередині плівки, де протікає струм. Теоретично розрахована значна величина R_{cm} – до 87 % від повного опору контакту показує, що опір провідникової плівки може суттєво впливати на результат вимірювання.

У способі [6] опір мікроконтактної з'єднання визначається за результатами трьох вимірювань опору ділянок дроту, плівкового провідника і ділянки “половина ділянки дроту – мікроконтактне з'єднання – половина ділянки плівкового провідника” за формулою:

$$R = R_3 - (R_1 + R_2)/2,$$

де R_1 – виміряний опір заданої ділянки дроту l_1 ;

R_2 – виміряний опір заданої ділянки плівкового провідника l_2 ;

R_3 – виміряний опір ділянки кола “половина ділянки дроту – контактне з'єднання – половина ділянки плівкового провідника”.

Спосіб є простим і зручним, однак не завжди, особливо при дуже малих опорях контактних з'єднань, гарантує необхідну точність, оскільки контактні опори обох зажимів-губок з дротом відрізняються між собою, як і контактні опори обох щупів з плівкою. Отже, відомі сьогодні способи вимірювання контактного електроопору потребують подальшого удосконалення.

Методика проведення дослідження та його результати. Задачею дослідження було підвищення точності вимірювання опору дрітчастих мікроконтактів інтегральних схем і мікроскладань. У запропонованому способі порівняно із способом [4], додано ще одну, паралельну пару вимірювальних зондів та ще одне вимірювання опору мікроконтактного з'єднання і цим досягнуто підвищення точності процесу вимірювання за рахунок компенсації нерівності опорів, які виникають при контакті зажимів з дротом і щупів з плівкою. Отже, від однієї клеми (виводу) вимірювача опору виводяться два вимірювальні зонди (щуп для плівки і зажим для дроту) та від другої клеми (виводу) виводиться ще одна така ж пара вимірювальних зондів. Схема вимірювання подана на рис. 1:

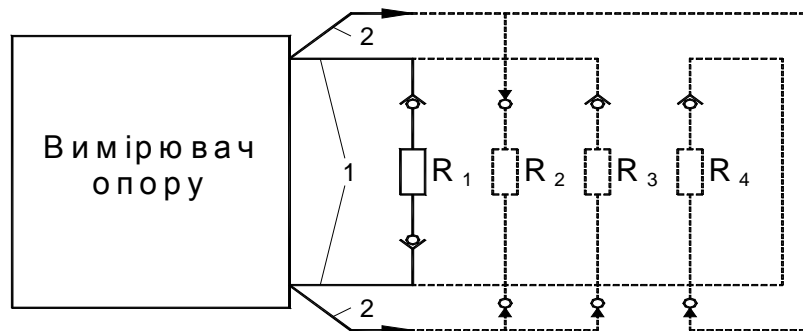


Рис. 1. Схема вимірювань опорів елементів контактного з'єднання: дроту R_1 , плівкового провідника R_2 та сукупності “дріт-контактне з'єднання-плівковий провідник” R_3, R_4 (1,2 – вимірювальні зонди)

Сам технологічний процес містить вимірювання опору R_1 ділянки дроту заданої довжини l_1 (рис. 2) шляхом під'єднання до дроту пари губкових зажимів. Пізніше вимірюється опір R_2 ділянки плівкового провідника також заданої довжини l_2 (рис. 2) шляхом встановлення на плівку пари зондів (щупів). Потім визначаються довжини ділянок дроту і плівкового провідника від країв контактної з'єднання, які мають дорівнювати половині від початково заданих ($l_1/2, l_2/2$, рис. 2) та встановлюють у ці місця першу пару вимірювальних зондів (губковий зажим і щуп) і вимірюють опір R_3 кола: “половина ділянки дроту – контактне з'єднання – половина ділянки плівкового провідника”. Після того опір цього ж кола вимірюють, але вже використовуючи другу пару вимірювальних зондів, і отримують значення R_4 . Додаткове, четверте вимірювання потрібно проводити для компенсації різниці опорів вимірювальних зондів та їхніх контактних опорів (математичний опис компенсації наводиться в [7]). У результаті опір мікроконтактного з'єднання визначають за формулою:

$$R = (R_3 + R_4 - R_1 - R_2) / 2,$$

де R_1 – виміряний опір заданої ділянки дроту l_1 ;

R_2 – виміряний опір заданої ділянки плівкового провідника l_2 ;

R_3 і R_4 – вимірний опір ділянки кола “половина ділянки дроту – контактне з’єднання – половина ділянки плівкового провідника” при використанні, відповідно, першої пари вимірювальних зондів (1-й щуп і 1-й губковий зажим) та другої пари вимірювальних зондів (2-й щуп і 2-й губковий зажим). Отже, на відміну від чотиризажимної схеми під’єднання до мосту, в запропонованому способі опори вимірювальних зондів компенсуються в результаті проведення чотирьох окремих вимірювань.

Якщо дозволяє конструкція мікроелектронного виробу, то можна використовувати спрощений спосіб вимірювання опору без губкових зажимів для контактування з дротом. У цьому випадку дріт при вимірюванні злегка притискають до підкладки наконечником зонду, який має притуплену поверхню (гострий зонд його деформує). Використання другої пари вимірювальних зондів при цьому не є обов’язковим, але проведення четвертого вимірювання (R_4) – обов’язкове. Під час цього вимірювання, порівняно до третього вимірювання (R_3), зонди міняють місцями. Однак не завжди такий спрощений спосіб можна використати.

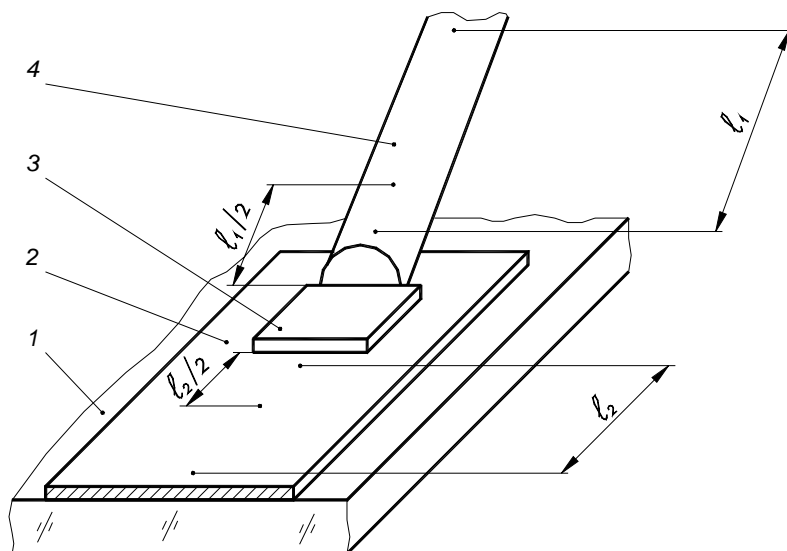


Рис. 2. Накладне з’єднання дроту і плівкового провідника (ідеалізований вигляд):
1 – діелектрична підкладка, 2 – плівковий провідник, 3 – контактне з’єднання, 4 – дріт

Під час проведення вимірювань використовуються пристрої і прилади, які забезпечують пряме вимірювання малих опорів; найчастіше вони побудовані за мостовою схемою, наприклад, міст постійного струму МО–62, універсальний цифровий вимірювач Е7-8 тощо. Для забезпечення і вимірювання необхідних віддалей використано оптичну і зондову системи автоматизованої установки “Гібрид–009” [8]. У ручному режимі оптична система установки при візуальному контролі забезпечує точність встановлення зондів ± 25 мкм. Ширина проградуированого діапазону окуляра мікроскопа при цьому 4,5 мм. На такій довжині провідникових елементів (дроту, плівки) це дає похибку вимірювання в межах 1,1 %. В автоматизованому режимі установка “Гібрид–009” забезпечує похибку переміщення зондів ± 15 мкм [8]. При вимірюванні опору дроту чи плівкового провідника довжиною 10 мм це дає похибку вимірювання в межах 0,3 %. Для більш точних вимірювань

довжин провідникових елементів їх потрібно збільшувати або, якщо це неможливо, застосовувати точніший вимірювальний пристрій, наприклад, мікроскоп УИМ-23.

При спрощеному способі вимірювання опору (без спеціальних губкових зажимів) можна використовувати зондову систему установки "Гибрид-009". Зондова система установки забезпечує стабільність притискного зусилля вимірювальних зондів в діапазоні 15...60 г \pm 10 % [8]. Кількаразове повторне вимірювання опору складових одного і того ж мікроконтактного з'єднання при вибраному зусиллі показало достатню стабільність отриманих результатів. Застосовувалися наконечники зондів власної конструкції із срібним покриттям.

У проведених вказаним способом замірах опору накладного термокомпресійного контактного з'єднання *Au*-дроту діаметром 40 мкм і алюмінієвого плівкового провідника товщиною 3 мкм досягнуто підвищення точності вимірювання 8...9 % порівняно із способом [6]. Для термокомпресійного з'єднання *Au*-дроту діаметром 40 мкм і полірованого плівкового провідника із пасти 3713 [9] товщиною 8 мкм підвищення точності становило 8...11 %. Для випадків більш низькоомних пар з'єднань *Au-Al* точність вимірювання зростає, оскільки в запропонованому методі компенсується зростаючий вплив контактних опорів вимірювальних зондів на його результат.

Висновок. Запропоновано ефективний спосіб вимірювання електричного опору мікроконтактного з'єднання дроту і плівкового провідника. Спосіб підвищує точність вимірювання і може практично застосовуватися при виконанні контактних з'єднань на збірних операціях в технологічному процесі виготовлення інтегральних мікросхем і мікроскладань.

1. Котур В.И. и др. *Электрические измерения и электроизмерительные приборы.* – М., – 1986. – С.147,184. 2. Ющук С.И., Попенко А.М. *Измерение электросопротивления тонкопленочных контактов // Заводская лаборатория.* – 1973. – № 4. – С.450. 3. Колешко В.М. *Ультразвуковая микросварка.* – Мн., 1977. – С.302–304. 4. Евтеев Ф.Е., Бурова Н.Н. *Свойства микроконтактов, получаемых термокомпрессионным методом // Изв. вузов: Приборостроение.* – 1967. – № 11. – С.117–123. 5. Бурова Н.Н. *О сопротивлении микроконтактов между тонкими пленками и проводниками // Изв.вузов, Приборостроение.* – 1972. – № 2. – С.117–122. 6. А.с. 1250982 (СССР). *Способ определения сопротивления контактного соединения проволоки и тонкой пленки / Д.Т. Дячок.* – Оpubл. в БИ, 1986, № 30. 7. А.с. 1492309 (СССР). *Способ определения сопротивления контактного соединения проволоки и тонкопленочного проводника / Д.Т. Дячок, В.А. Павлиш, Я.М. Сенишин, Л.М. Смеркло.* – Оpubл. в БИ, 1989, № 25. 8. *Установка автоматизированная двухзондовая "Гибрид-009" ЦБМ1.140.032ИЭ.* 9. *Паста проводниковая травящаяся 3713 АУЭО.027.019ТУ.*