

Киев, 1984. – С. 109–111. 3. Дьяконов В., Круглов В. *MATLAB: Анализ, идентификация и моделирование систем.* – СПб, 2001. 4. Дьяконов В. *Специальный справочник.* – СПб., 2002. 5. Герман-Галкин С. *Компьютерное моделирование полупроводниковых систем MATLAB 6.0.* – СПб., 2001.

УДК 537.213

Р.А. Пеленський, О.Є. Гамола

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра “Теоретичної та загальної електротехніки”

ВИМІРЮВАННЯ КОНТАКТНИХ ОПОРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ

© Пеленський Р.А., Гамола О.Є., 2003

Запропоновано метод контролю омичного опору елементів інтегральних схем під час технологічного процесу їх виготовлення. Розроблено методи лінеаризації характеристик схем для їх роботи з цифровими вихідними приладами. Виготовлено експериментальні взірці автоматичного і напівавтоматичного приладів для вимірювання контактних опорів елементів інтегральних схем.

A method of checking contact resistance values of the integral schemes elements in the course of the technological process of their manufacture has been suggested. A framework for the linearization of the schemes characteristics for their work with the digital exit devices has been worked out. Experimental samples of automated and semiautomated devices for ganging contact resistance of the integral schemes elements have been elaborated.

1. Постановка проблеми

В технологіях виробництва інтегральних схем дуже важливою є проблема створення омичних контактів в елементах, розведеннях та струмовиводах. Поява неякісних ділянок на контактах приводить до підвищення опору металізованих ділянок поверхні кристала, їх нерівномірного нагрівання в робочому режимі і як наслідок до пошкодження схем. Зменшується відсоток придатних виробів і збільшується собівартість мікросхем.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Згідно з останніми дослідженнями і публікаціями [1, 2] найпоширенішим способом вирішення цієї проблеми є створення сильнолегованого шару напівпровідника безпосередньо на контакті з металом. Під час технологічного процесу виготовлення інтегральної схеми повинен проводитись контроль за якістю цього шару, що переважно здійснюється візуальними методами вибіркового контролю. Ці методи дуже трудомісткі і не вирішують проблеми.

3. Мета роботи

Основними завданнями цієї роботи є розроблення методів і технічних засобів, які дозволяють здійснювати контроль за станом створення омичних контактів елементів інтегральних схем під час всього технологічного процесу їх виготовлення. Поставлена і розв'язана задача створення спеціальних тестових структур, які проходять технологічні операції разом з основними структурами, і на різних етапах виготовлення за їх допомогою контролюється якість виробів. Крім того, поставлена задача розробки методів та технічних засобів для реалізації цього контролю вимірюванням омичного опору контакту метал – напівпровідник.

4. Вимірювання контактних опорів

Основна ідея запропонованих методів полягає у виділенні контакту між нанесеною металевою плівкою і кристалом у «чистому» вигляді [3, 4]. Це досягається завдяки створенню спеціальних тестових структур (рис. 1, а), в яких між середнім струмовиводом, що містить виводи b та c, і кристалом знаходиться вимірюваний омичний контакт R_K (рис. 1, б).

Опір R_K залежить від низки факторів. Так, в поверхневому шарі проходить обрив міжатомних зв'язків, порушується періодичність кристалічної ґратки. У вузькому приповерхневому шарі і на поверхні проявляється вплив на контактний опір макроскопічних та мікроскопічних дефектів структури (вакансій, дислокацій, адсорбованих атомів). Перед металізацією поверхні необхідно усунути з неї окисну плівку. Неякісне усунення цієї плівки через відхилення від гладкості поверхні призводить до збільшення контактного опору. Залишки окисної плівки – це суттєвий внесок у розмір контактного опору. На поверхні кристала утворюється низка поверхневих енергетичних станів, які захоплюють вільні носії заряду, зв'язуючи їх на поверхні та утворюючи в приповерхневому шарі розподілений об'ємний заряд, який обмежує розмір струму, відповідно збільшує омичний опір контакту. Перелічені причини зумовлюють неоднорідний розподіл густини струму, що проходить через поверхню струмовиводу. В результаті цього на окремих ділянках омичного контакту спостерігається різке тепловиділення, що й призводить до незворотних процесів руйнування контакту.

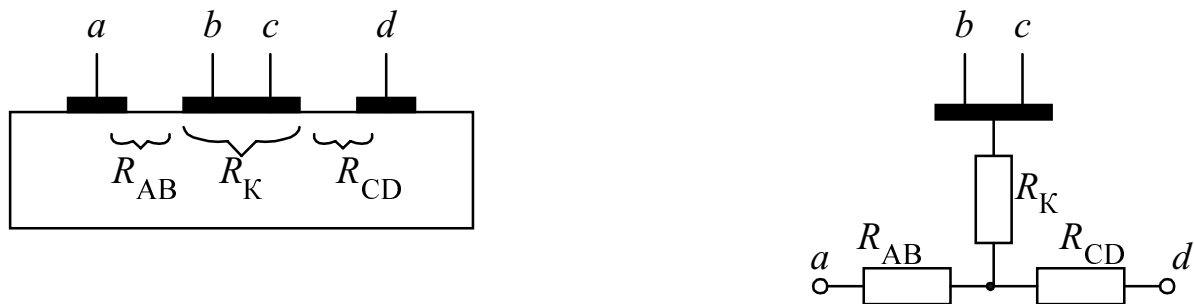


Рис. 1. Тестова структура

Контроль за формуванням омичного контакту треба проводити протягом усього циклу проходження технологічного процесу виготовлення інтегральної схеми. Тестові структури (рис. 1, а) проходять всі операції разом з основною продукцією упродовж всього технологічного циклу виготовлення інтегральної схеми. Тестова структура, крім основної металізованої області з струмовиводами b та c містить дві металізовані області з виводами a та d , для підімкнення структури в схему моста.

Омичний контакт R_K і опори R_{AB} та R_{CD} ділянок кристала (рис.1, б) можна встановити на основі лабораторних вимірювань за допомогою схеми одинарного моста (рис. 2). Перше плече моста – це опір приповерхневого шару між металевою плівкою зі здвоєними струмовиводами b та c і кристалом, тобто контактний опір R_K . Друге плече складається з резистора R_2 та частини R_{AB} кристала, третє плече – це резистор R_3 , а четверте – резистор R_4 .

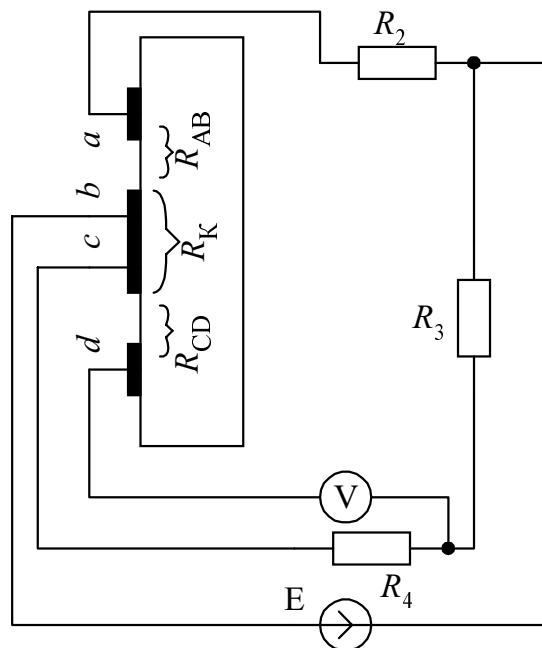


Рис. 2. Схема одинарного моста для вимірювання омичних контактів елементів інтегральних схем

На основі лабораторного експерименту додаванням до плеч R_2 та R_3 опорів відомої величини можна встановити за допомогою потрійних вимірів опору R_K , R_{AB} та R_{CD} .

Під час роботи цієї схеми в режимі методу відхилення з використанням електронного вольтметра як вихідного приладу необхідно добитися лінійної залежності вихідної напруги від контактного опору. Найкраща вихідна характеристика у несиметричній мостовій схемі, при зміні вимірюваного контактного опору в десять разів у розглянутому в роботі прикладі відхилення від лінійності становило 3,8%. Дещо кращі характеристики отримують при використанні семиплечого моста [5], схематично поданого на рис. 3. Типова вихідна характеристика мостової схеми після нормування має вигляд, зображений на рис. 4. Максимальне відхилення Δ кривої від лінійного закону знаходиться посередині діапазону.

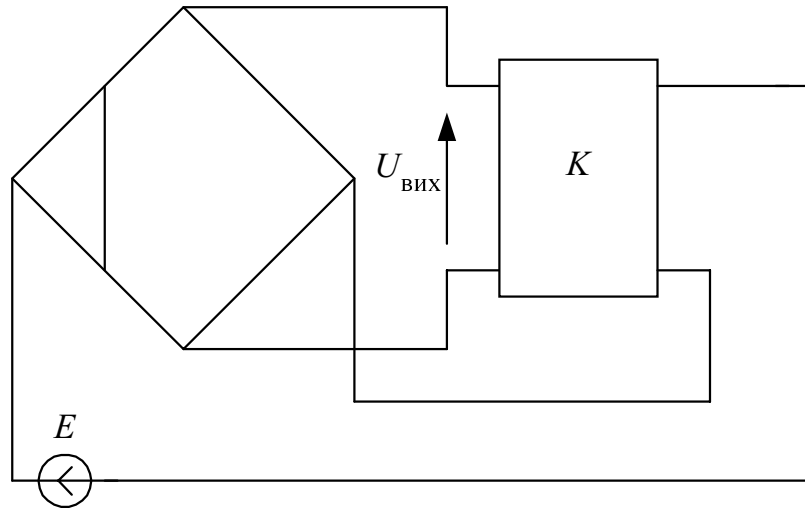


Рис. 3. Структурна схема семиплечого моста

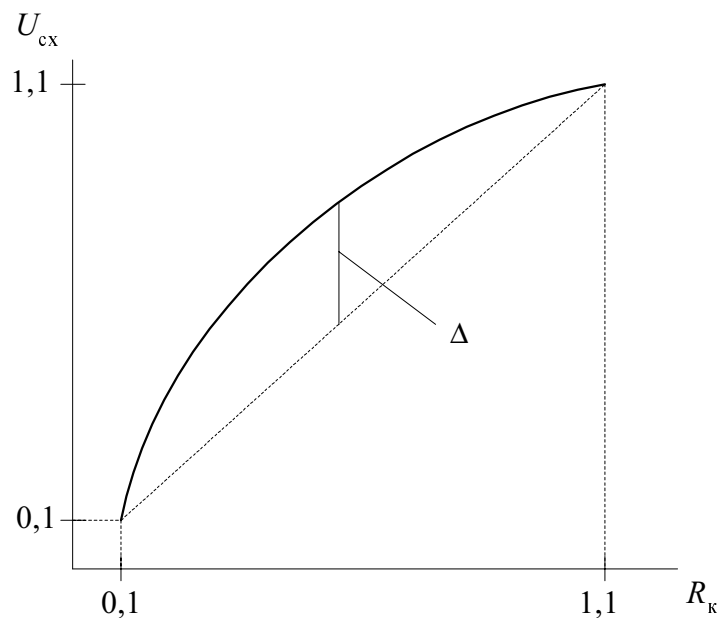


Рис. 4. Залежність вихідної напруги моста від контактного опору

Під час розробки пристроїв для контролю якості контактів у заводських умовах вихідна характеристика приладу повинна бути лінеаризована. Степінь лінеаризації визначається необхідною точністю вимірювань. Лінеаризація вихідних характеристик приладів практично завжди потрібна при вимірюванні неелектричних величин, бо тут практично завжди вимірювана величина і вихідний сигнал вимірюваної схеми зв'язані нелінійною залежністю. При використанні цифрових приладів вихідних необхідно забезпечити лінійний зв'язок між вимірюваною величиною і показом цифрового приладу. При комп'ютерному зборі інформації для усунення впливу нелінійності можна використати лінеаризацію характеристики вимірюваної системи або спеціальну підпрограму, яка б враховувала нелінійність характеристик.

Існують різні можливості лінеаризації характеристик мостових схем. Одна з них полягає в тому, щоб струм живлення моста змінювати за таким нелінійним законом, який забезпечить лінійну залежність вихідної напруги від контактного опору. Струм, що проходить через контактний опір, буде дещо меншим всередині вимірюваного діапазону, але це зменшення струму є занадто малим, щоб змінити опір контакту. Досягається потрібна зміна струму живлення моста за допомогою системи підсхем зворотного зв'язку. Використання для гальванічної розв'язки підсхем оптоелектронних пар робить зовсім нескладною реалізацію потрібного закону, що виражає залежність цього струму від опору омичного контакту чи лінійної напруги на затискачах електронного вольтметра.

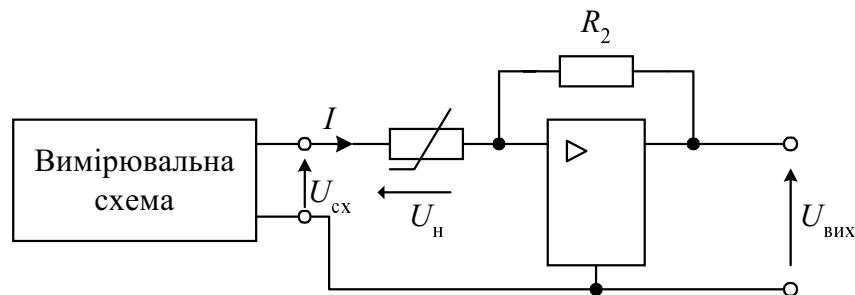


Рис. 6. Схема пристрою з лінеаризованою характеристикою

Інша досліджена нами можливість лінеаризації ґрунтується на використанні операційних підсилювачів з нелінійним елементом в колі подільника напруги або в колі зворотного зв'язку. Суть лінеаризації проілюстрована на прикладі розрахунку схеми, що використовує операційний підсилювач і нелінійний елемент (рис. 6).

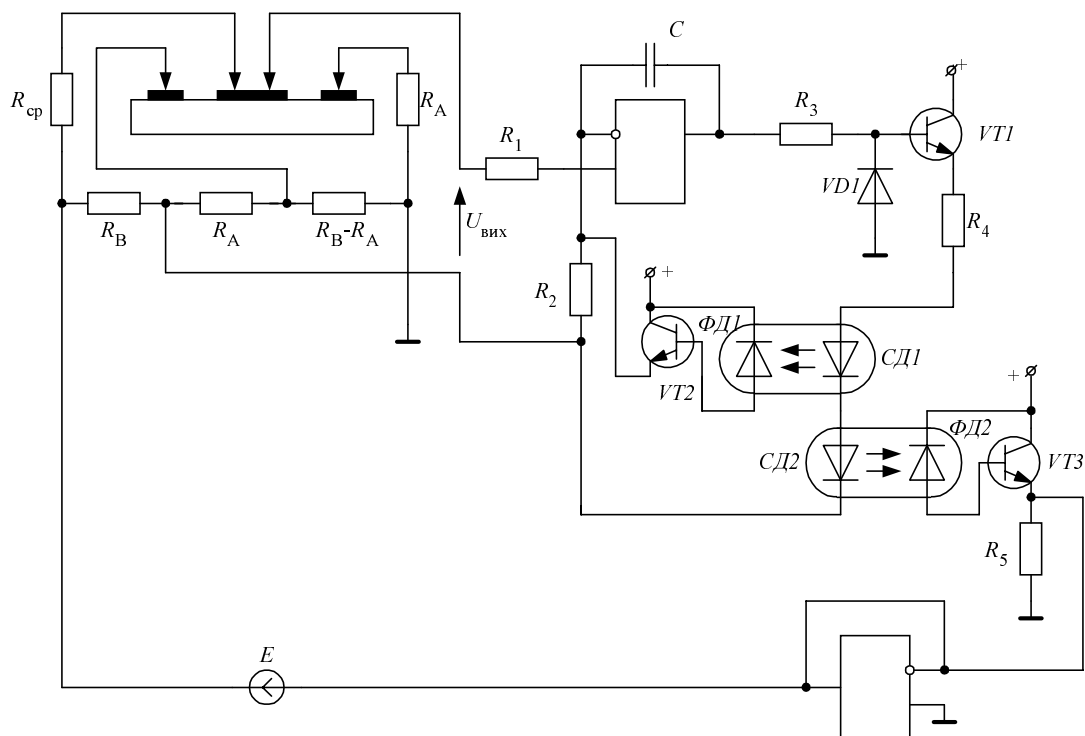


Рис. 7. Електрична схема приладу для вимірювання контакту опорів інтегральних схем

При спрощеному варіанті розрахунку, коли нехтуємо вхідним струмом підсилювача, із забезпеченням триточкового збігання вихідного сигналу з лінійним законом неважко розрахувати залежність $u_n=f(I)$ для вимірюваного діапазону зміни контактного опору. Задаючи поліноміальний зв'язок між u_n та I , знаходимо коефіцієнти полінома або за методом вибраних точок або, точніше, – за методом найменших квадратів. Тоді в проміжних точках найбільше відхилення від лінійного закону не перевищило 0,12%, тобто похибка від нелінійності знижена більш ніж у тридцять разів.

Розроблено, виготовлено та впроваджено на заводах електронної промисловості дві серії приладів для вимірювання опору омичних контактів електронних схем: автоматичний та напівавтоматичний прилади.

Схему автоматичного вимірювача омичних опорів елементів інтегральних схем зображено на рис. 7. В ній використано схему семиплевого моста, охопленого зворотними зв'язками з використанням підсилювачів та оптоелектронних пар для гальванічного розв'язування підсхем. Здійснюється регулювання струму живлення моста. З цією метою до напруги живлення моста з кола зворотних зв'язків додається складова з інверсією випуклості кривої порівняно з кривою вихідної напруги моста, що живиться від джерела Е. На рис. 8 подано зовнішній вигляд напівавтоматичного приладу для вимірювання контактних опорів елементів інтегральних схем.



Рис. 8. Зовнішній вигляд приладу

Висновок

Виробництво мікросхем треба забезпечити системами контролю якості процесів металізації. Контроль якості омичних контактів інтегральних схем необхідно проводити впродовж всього технологічного циклу створення мікросхем. Для цього розроблено методи виділення омичних контактів у «чистому» вигляді і прилади для їх контролю. Випущено

експериментальні взірці приладів, які знайшли застосування на підприємствах електронної промисловості, що покращило показники виходу придатних інтегральних схем та знизило їх собівартість.

1. Родерик Э.Х. Контакты металл-полупроводник – М.: Радио и связь, 1982.
2. Дружинін А.О. Твєдотїльна електронїка. – Львів: Вид-во НУ “Львівська політехніка”, 2001.
3. Пеленський Р.А., Гамола О.Є. Зарядовий стан тонких плївок та методи його контролю // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”, 1993. – № 275. – С. 44–50.
4. Бичківський Р.В., Пеленський Р.А. Контроль якості контактів інтегральних схем // “Вимірювальна техніка і метрологія”. – № 52. – 1996.
5. Кочан В.А., Пеленський Р.А. и др. А.с. 1164613 СССР. Устройство для измерений омических контактов интегральных схем // Бюл. изобр. – 1985. – № 24.