

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО КОНТАКТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ TLM МЕТОДОМ С РАДИАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ КОНТАКТОВ

С. В. Новицкий

*Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины
03028 просп. Науки, 41, Киев, Украина, e-mail: serg_nov@ukr.net*

Как известно, неотъемлемой частью любого полупроводникового прибора является омический контакт – неинжектирующий и невыпрямляющий контакт металл-полупроводник. Одно из основных требований выдвигаемое к качественным омическим контактам является низкое удельное контактное сопротивление ρ_c в широких температурных и временных интервалах, что особенно важно при создании мощных полупроводниковых приборов, стабильность работы которых в реальных условиях эксплуатации в значительной мере определяется надежностью омических контактов [1]. В связи с уменьшением физических размеров и увеличением мощности полупроводниковых приборов, увеличивается плотность тока протекающего через омический контакт, что ведет к его разогреву и деградации.

При создании контактов, вместе с материаловедческой проблемой серьезно стоит проблема определения контактного сопротивления. Среди многих модификаций известных методик измерения удельного контактного сопротивления, наиболее часто используют зондовый метод измерения полного сопротивления R_t между планарно-расположенными контактами [2–4]. Определение вклада контактного сопротивления (ρ_c) в полное сопротивление (R_t) является далеко не тривиальной задачей и требует специальной конфигурации контактных площадок и учета других факторов, среди которых процессы растекания тока под контактом по объему полупроводника. Учет процесса растекания тока между контактами достаточно сложный, потому на практике принимают некоторые приближения [5]. При уменьшении сопротивления контактов, возрастает значимость вопроса точности измерений контактного сопротивления.

Один из самых распространенных методов измерения контактного сопротивления, учитывающий токи растекания, – метод длины переноса (transmission line method – TLM). Использование модификации TLM с радиальной геометрией контактных площадок, исключает эффекты, связанные с протеканием тока на краях контактных площадок [5]. Существуют несколько разновидностей метода TLM с радиальной геометрией контактных площадок: набор контактов с постоянным внутренним радиусом r_1 и меняющимся внешним радиусом r_2 ; система с концентрически вложенных колец; набор контактов с постоянным соотношением r_2/r_1 [6]. В случае использования контактов с постоянным внутренним радиусом вклад контактного сопротивления ρ_c в измеренное сопротивление R_t , больше чем в случае использования концентрически вложенных колец, что обусловлено малым радиусом контактов (r_1). Недостатком этой разновидности является необходимость в достаточно высокой однородности контактного сопротивления по площади образца. Оптимально использовать схему с постоянным соотношением r_2/r_1 , при которой вклад контактного сопротивления в измеренное сопротивление R_t достаточный, и не требуется высокой однородности ρ_c по площади образца [5].

По модели TLM сопротивление, измеренное между контактами, определяется [6]:

$$R_t = \frac{R_s}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{R_s}{2\pi} \frac{1}{\alpha r_1} \frac{I_0(\alpha r_1)}{I_1(\alpha r_1)}, \quad (1)$$

где $I_0(\alpha r_1)$ и $I_1(\alpha r_1)$ – модифицирование функции Бесселя нулевого и первого порядков соответственно, $\alpha = (R_s/\rho_c)^{1/2} = 1/L_T$, L_T – длина линии переноса – расстояние на котором ток уменьшается в e раз [4], R_s – удельное сопротивление полупроводника.

При достаточно малых значениях r_1 , контактное сопротивление ρ_c , вносит основной вклад в R_t , что соответствует выполнению условия:

$$\alpha r_1 \ll 1 \quad (r_1/L_T \ll 1) \quad (2)$$

тогда выражение (1) принимает вид:

$$R_t = \frac{R_s}{2\pi} \ln(r_2/r_1) + \frac{\rho_c}{2\pi}, \quad (3)$$

Зависимость удельного контактного сопротивления (ρ_c'), рассчитанного по (3) от величины удельного контактного сопротивления (ρ_c), рассчитанного по (1) (рис. 1), показывает, как влияет величина R_s на погрешность расчетов по формуле (3) при радиусе контакта 25 и 75 мкм. Анализируя эту зависимость, можно увидеть, что для контакта с радиусом $r_1 = 25$ мкм и удельным сопротивлением полупроводника $R_s \approx 10 \text{ Ом} \cdot \square$ начиная с $\rho_c' = 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \square$ погрешность не превышает ~7% и с увеличением контактного сопротивления стремится к нулю. Для того же контакта с $R_s \approx 100 \text{ Ом} \cdot \square$ и контакта с радиусом $r_1 = 75$ мкм ($R_s = 10 \text{ Ом} \cdot \square$) ρ_c' на порядок превышает ρ_c .

Мы измеряли удельное контактное сопротивление структуры Au/TiB₂/Au/Ge/InP, сформированной магнетронным распылением последовательных слоев контактной металлизации на предварительно очищенную поверхность полупроводника InP, TLM методом с радиальной геометрией контактных площадок (рис 2). Омический контакт формировался в процессе быстрой термической обработки при $T = 450^\circ\text{C}$, длительностью 30с.

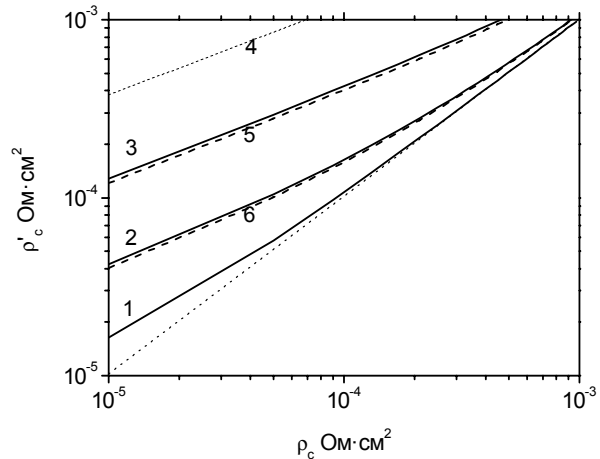


Рис. 1. Зависимость удельного контактного сопротивления (ρ_c'), рассчитанного по (3) от величины удельного контактного сопротивления (ρ_c), рассчитанного по (1). Сплошная линия 1, 2, 3 для контакта с радиусом $r_1 = 25$ мкм и удельным сопротивлением полупроводника 10, 100 и 1000 Ом·□; Пунктирная линия 4, 5, 6 для контакта с радиусом $r_1 = 75$ мкм и удельным сопротивлением полупроводника 10, 100 и 1000 Ом·□ соответственно

В нашем случае $r_1 = 25$ мкм, а удельное сопротивление полупроводника составило $R_s = 5 \text{ Ом} \cdot \square$. Расчеты с использованием приближения (2) дали значение удельного контактного сопротивления $\rho_c' = 5,2 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$, погрешность $\sim 9\%$, что не превышает погрешности фотолитографии.

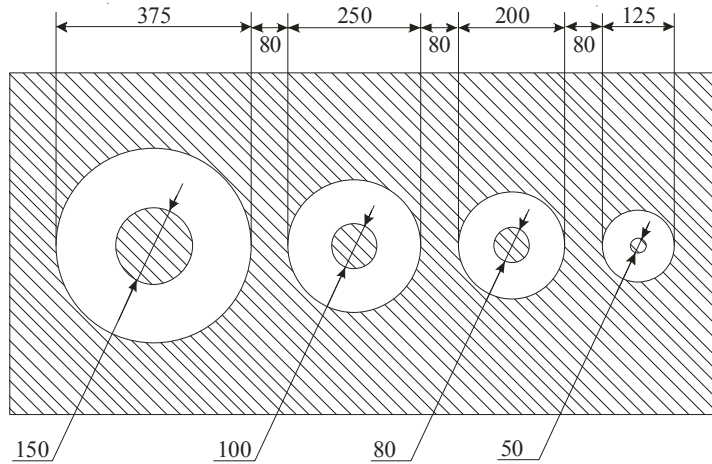


Рис. 2 Схематическое изображение контактной площадки с радиальной геометрией контактов, где r_1 равно 150, 100, 80 и 50 мкм, а r_2 равно 375, 250, 200 и 125 мкм соответственно

ЛИТЕРАТУРА

1. Бланк Т.В. Механизмы протекания тока в омических контактах металл—полупроводник. Обзор / Т.В. Бланк, Ю.А. Гольдберг // ФТП. 2007. Т. 41, №11. С. 1281-1308.
2. Berger H.H. Contact resistance and contact resistivity / H.H. Berger // J. Electrochem. Soc. 1972. V.119, No 4. P. 507-514.
3. Reeves G.K. Specific contact resistance using a circular transmission line model / G.K. Reeves // Sol.-State Electron. 1980. V.23. P. 487-490.
4. Lijadi M. Floating contact transmission line modelling: An improved method for ohmic contact resistance measurement / M. Lijadi, F. Pardo, N. Bardou, J. Pelouard // Sol.-State Electron. 2005. V.49. P. 1655-1661.
5. Андреев А.Н К вопросу об учете растекания тока в полупроводнике при определении переходного сопротивления омических контактов / А.Н. Андреев, М.Г. Растегаева, В.П. Растегаев, С.А. Решанов // ФТП. 1998. Т. 32, №7. С. 832-838.
6. Кудрик Я.Я. Удельное сопротивление омических контактов в структурах металл-полупроводник. / Я.Я. Кудрик // Петербургский журнал электроники. 2010. №1. С. 25-40.