

# 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  $\rho_c$  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 ( $\rho_c$ ) 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  $\rho_c$  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  $\rho_c$  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  $\rho_c$ , 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 ( $\rho_c'$ ), рассчитанного по (3) от величины удельного контактного сопротивления ( $\rho_c$ ), 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  $R_s \approx 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$  начиная с  $\rho_c' = 10^{-4} \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$  погрешность не превышает  $\sim 7\%$  и с увеличением контактного сопротивления стремится к нулю. Для того же контакта с  $R_s \approx 100 \text{ Ом}\cdot\text{см}$  и контакта с радиусом  $r_1 = 75$  мкм ( $R_s = 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ )  $\rho_c'$  на порядок превышает  $\rho_c$ .

Мы измеряли удельное контактное сопротивление структуры Au/TiB<sub>2</sub>/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.

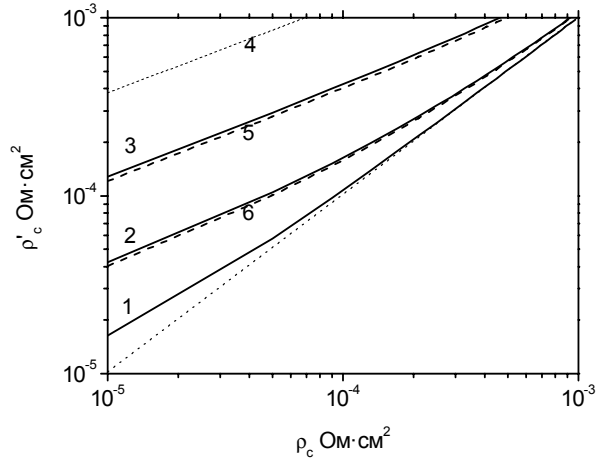


Рис. 1. Зависимость удельного контактного сопротивления ( $\rho_c'$ ), рассчитанного по (3) от величины удельного контактного сопротивления ( $\rho_c$ ), рассчитанного по (1). Сплошная линия 1, 2, 3 для контакта с радиусом  $r_1 = 25$  мкм и удельным сопротивлением полупроводника 10, 100 и 1000 Ом·см;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

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

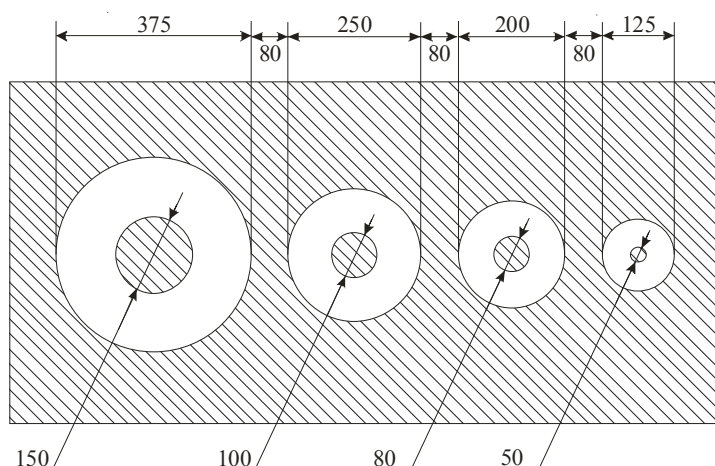


Рис. 2 Схематическое изображение контактной площадки с радиальной геометрией контактов, где  $r_1$  равно 150, 100, 80 и 50 мкм, а  $r_2$  равно 375, 250, 200 и 125 мкм соответственно

#### 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.

## ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ НЕСТАЦИОНАРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА – ПОЛУПРОВОДНИКА $\text{TlGaSe}_2$

А. П. Одринский<sup>1</sup>, V. Grivickas<sup>2</sup>, V. Vikbajevs<sup>2</sup>, K. Gulbinas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт Технической Акустики НАН Беларуси,  
Витебск, Беларусь, odra@mail333.com

<sup>2</sup>Institute of Applied Research, Vilnius University, Lithuania

Представлены результаты фотоэлектрической релаксационной спектроскопии (PICTS) собственных дефектов  $\text{TlGaSe}_2$ . Выращенные методом Бриджмена—Стокбаргера нелегированные монокристаллы из разных технологических партий обладали проводимостью  $p$ - типа, при удельном сопротивлении  $\rho \sim 10^6$  Ом см. Методика и условия эксперимента практически не отличались от описанных нами ранее [1].