

## Определение удельного объемного сопротивления в полупроводящих полимерных композиционных материалах

*Гостюшов Сергей Сергеевич*

*Аспирант*

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Институт физики и химии,  
Саранск, Россия

*E-mail: sergeygguyegres@gmail.com*

При регистрации вольт-амперных характеристик (ВАХ) полимерных композитов, наполненных техническим углеродом (ТУ), было установлено, что в области малых приложенных напряжений ( $U < 5-7$  В) наблюдается нелинейный участок ВАХ. Далее ВАХ приобретает линейный вид. Это имеет принципиальное значение при определении удельного объемного сопротивления материала. Удельное объемное сопротивление определяется выражением:

$$\rho = \frac{RS}{l}$$

Но на начальном участке сопротивление зависит от приложенного напряжения  $R(U) \neq \text{const}$ . Таким образом, значение  $\rho$ , рассчитанное по закону Ома, будет различным в разных точках нелинейного участка ВАХ.

Основными параметрами нелинейного элемента являются статическое сопротивление  $R_{\text{ст}} = U/I$  и дифференциальное сопротивление  $R_{\text{диф}} = du/di$ .

Графически статическое сопротивление определяется тангенсом угла наклона (правильнее угловым коэффициентом) секущей, проходящей через начало координат и через рабочую точку (А),  $R_{\text{ст}} = \text{tg } \alpha$  (рис. 1), а дифференциальное сопротивление – тангенсом угла наклона касательной к вольт-амперной характеристике в точке А:  $R_{\text{диф}} = \text{tg } \beta$ .

Статическое и дифференциальное сопротивления на нелинейном участке вольт-амперной характеристики не равны друг другу и зависят от положения рабочей точки на ВАХ.

В полимерных композитах с ТУ проводимость обусловлена перколяционной сетью проводящих частиц. При этом, между отдельными агрегатами углерода остаются тонкие слои полимерной матрицы. Перенос заряда в таких областях осуществляется за счёт туннелирования и перескока электронов через потенциальные барьеры, образуемые тонким слоем полимерной матрицы толщиной 5-10 нм. Следует отметить, что локальная напряженность электрического поля  $E$  между отдельными частицами ТУ может на порядки превышать  $E$  приложенное к образцу. При увеличении напряженности электрического поля происходит уменьшение высоты потенциального барьера (эффект Пула-Френкеля) на величину в соответствии с выражением [1]:

$$\Delta U = \sqrt{\frac{e^3 E}{\pi \epsilon \epsilon_0}}$$

где  $e$  – элементарный электрический заряд,  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость,  $\epsilon_0$  – диэлектрическая постоянная.

Это приводит к увеличению вероятности переноса заряда. При достаточной  $E$  все доступные проводящие цепочки активно участвуют в переносе, а барьеры становятся «прозрачными» из-за понижения эффективной высоты за счёт поля, т. е. происходит насыщение проводимости, что в свою очередь обуславливает линейный характер ВАХ.

Если удельное объемное сопротивление рассчитывать по начальному нелинейному участку ВАХ, могут возникнуть следующие проблемы: сильно завышенное значение сопротивления, поскольку ток ограничен потенциальными барьерами; возникает плохая воспроизводимость измерений. Поэтому корректное определение удельного объемного сопротивления возможно только в области напряжений, где ток пропорционален напряжению.

### Источники и литература

- 1) А.М. Пашаев, Б.Г. Тагиев, О.Б. Тагиев / Эффект Пула-Френкеля в халькогенидных полупроводниках с различными кристаллическими структурами // Физика твердого тела. – 2013. – Т. 55. – В. 5. – С. 861-865. (<https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/1020>)

### Иллюстрации

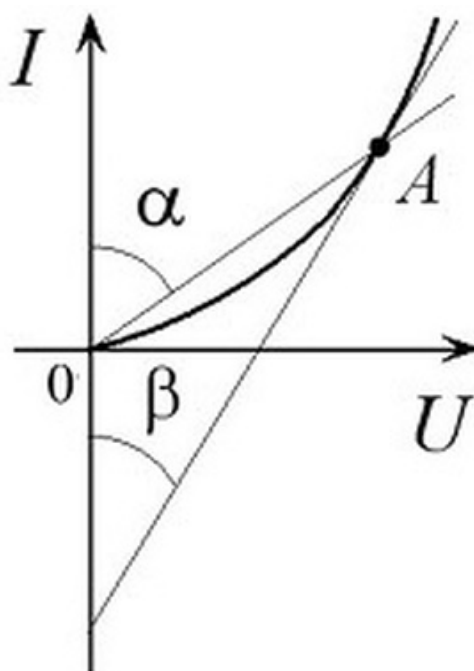


Рис. : Определение статического и дифференциального сопротивления нелинейного элемента по ВАХ.