

05;06

Экспериментальное исследование температурно-концентрационной особенности удельного сопротивления в неупорядоченных макросистемах диэлектрик—полупроводник

© В.А. Соцков

Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик
E-mail: sozkov_va@rambler.ru

Поступило в Редакцию 9 июня 2005 г.

Рассмотрены результаты экспериментального исследования зависимости объемного удельного сопротивления и мнимой части диэлектрической проницаемости макросистемы диэлектрик—полупроводник от концентрации проводящей фазы и температуры. Выявлены особенности проводимости системы и предложена качественная модель полученных закономерностей.

В настоящее время наиболее интенсивным экспериментальным и теоретическим исследованиям подвергаются перколяционные системы диэлектрик—проводник [1–4]. Однако макросистемы диэлектрик—полупроводник представляют не меньший интерес как в теоретическом, так и в практическом плане [1,2], в частности при создании термосопротивлений. В настоящей работе экспериментально исследована зависимость объемного удельного сопротивления ρ в макросистемах диэлектрик—полупроводник от объемной концентрации полупроводника x и температуры T . В качестве полупроводников использовались: $A^8B^6-(Fe_2O_3)$ с основным размером частиц $25\ \mu m$ ориентировочно сферической формы и $A^1B^6-(CuO)$ приблизительно с теми же геометрическими размерами. При изготовлении расплава образцы Fe_2O_3 размагничивались в переменном электромагнитном поле по стандартной методике. Мешалка и другое оборудование, которое соприкасалось с композитами, были выполнены из немагнитных материалов. В качестве диэлектрика был выбран парафин, выбор диэлектрика был продиктован в основном хорошими диэлектрическими

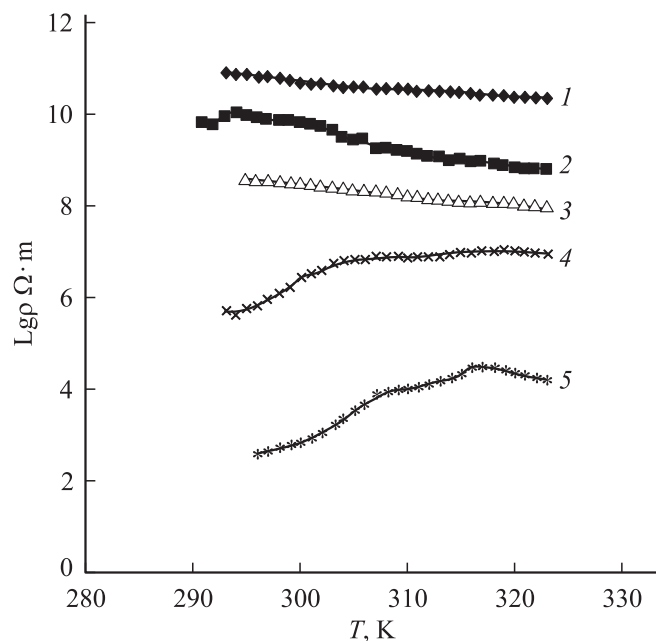


Рис. 1. Зависимость логарифма объемного удельного сопротивления полупроводников от температуры для: 1 — парафиновой матрицы; 2, 3 — Fe₂O₃ для объемных концентраций соответственно 1.87 и 40.8%; 4, 5 — CuO для объемных концентраций 33 и 56%.

свойствами, технологичностью материала и возможностью создания модельной системы [3,4]. Методика изготовления образцов достаточно подробно описана в [3,4]. Образец представлял собой конденсатор, внутри которого находился застывший расплав парафин—полупроводник с необходимой концентрацией полупроводника. Исследование проводилось на плоском и цилиндрическом конденсаторах. Electroдами служила очищенная электролитическая медь. Измерения сопротивления производились на тераомметре Е6-13А по стандартным методикам при постоянном напряжении, отсутствии освещения. Мнимая часть диэлектрической проницаемости определялась по общепринятым методикам [2,4]. Результаты измерений представлены на рис. 1 и 2.

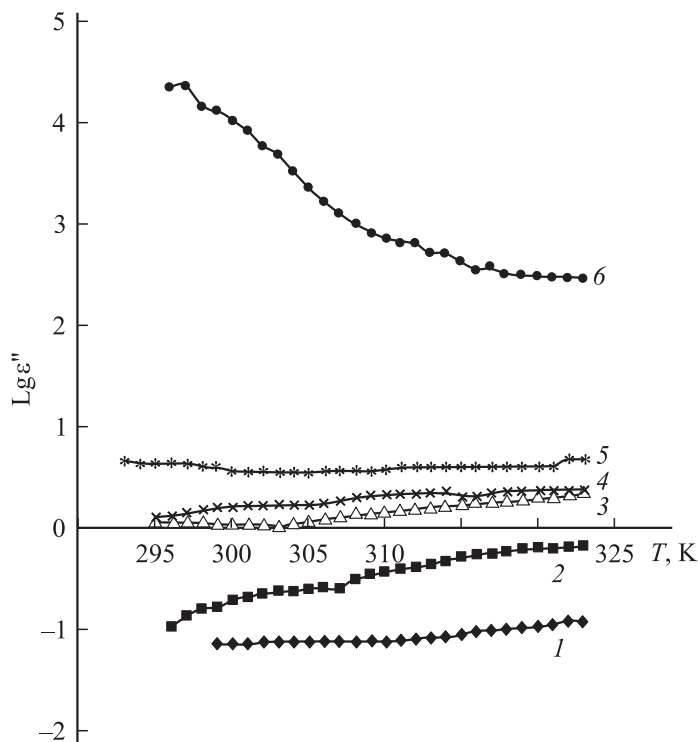


Рис. 2. Зависимость логарифма мнимой части диэлектрических потерь от температуры для: 1 — парафиновой матрицы; 2–4 — Fe_2O_3 для объемных концентраций соответственно 8,5, 20,5 и 40,8%; 5, 6 — CuO для объемных концентраций 17 и 56%.

Если для композита парафин– Fe_2O_3 с ростом температуры удельное сопротивление уменьшается (рис. 1, кривые 1, 2), то для композита парафин– CuO поведение совершенно противоположное и при тех же изменениях удельное сопротивление растет (рис. 1, кривые 4, 5). Можно предположить, что при увеличении концентрации наполнителя Fe_2O_3 и CuO свойства всего композита будут приближаться к свойствам наполнителя. Для максимальных исследованных значений для Fe_2O_3 ТКС отрицательный и для CuO положительный. Для подтверждения

полученных результатов была отснята зависимость $\text{Lge}'' = f(x, T)$ (рис. 2). Если для композита парафин– Fe_2O_3 с ростом температуры потери растут (рис. 2, кривые 2, 4), то для композита парафин– CuO потери в измерительном конденсаторе либо не изменяются, либо падают (рис. 2, кривые 5, 6). Потери в диэлектриках обусловлены потерями на электропроводность и релаксационными потерями [2]. В рассматриваемых случаях релаксационные потери незначительны и оказывают влияние лишь при малых концентрациях проводящей фазы [4]. Следует отметить, что сама парафиновая матрица имеет отрицательный ТКС (рис. 1, кривая 1) [4]. Поведение композита парафин– CuO подобно поведению композита парафин–графит [4]. Приблизительно до концентрации 0.09 CuO в композите ТКС, как и у парафина, отрицателен, однако свыше этой концентрации знак ТКС меняется. Полученные результаты говорят о возможности построения термосопротивлений как с положительным ТКС, так и с отрицательным ТКС и вне зависимости от ТКС матрицы. Однако в ряде случаев функция $\lg \rho = f(T)$ не монотонна. Наиболее характерный пример — это кривая 5 (рис. 1) для CuO . В интервалах температур [296–300 К] $\alpha = 0.1217$, [301–307 К] $\alpha = 0.3334$, [308–317 К] $\alpha = 0.1478$, [318–323 К] $\alpha = -0.1125$. Как видно из приведенных данных, ТКС при определенных концентрациях не только изменяет свою величину при изменении температуры, но и меняет свой знак. Почему же поведение их столь различно в различных интервалах температур. Парафин — это молекулярный кристалл [2] и имеет определенную температуру плавления. Концентрация как в объеме в целом, так и в различных частях образца неизменна и остается такой, какой была еще в расплаве. Таким образом, можно предположить какое-то специфическое строение проводящих (фрактальных) цепей, которое было создано еще в расплаве. Свойство этого строения лишь проявляется при температурах меньших температуры плавления из-за различных величин температурного коэффициента расширения парафина и наполнителя [4]. Можно предположить, что в композите парафин– Fe_2O_3 образуются широко разветвленные „мохнатые“ структуры, в которых еще в расплаве образуется мало „синих“ (контактов с малыми сопротивлениями между разными фракталами) концов и много „красных“ (контактов с большими сопротивлениями между различными фракталами) [5]. При нагревании происходит процесс преобразования „красных“ концов в „синие“, т.е. замыкание проводящих связей. Можно предположить, что ввиду стохастичности

процесса существуют как замыкание, так и размыкание контактов при изменении температуры, однако для различных диапазонов температур соотношение скоростей этих процессов может быть различным. Для структур в композите парафин–CuO образуются „гладкие“ структуры, где ответвления цепей от основного проводящего канала малы и нагревание парафина приводит к обратному результату—разрыву части проводящих цепей. Для участка температур [318–323] К $\alpha = -0.1125$ (рис. 1, кривая 5) процесс обратный, т.е. скорость замыкания контактов больше скорости размыкания и начинается процесс образования разветвленных структур. Конечно, интересен вопрос, какие свойства того или иного материала могут приводить к подобным результатам при фрактальном построении цепей. Можно предположить, что это могут быть весьма разнородные причины: силы межмолекулярного взаимодействия и т.д. [4,5].

Список литературы

- [1] Харитонов Е.В. Диэлектрические материалы с неоднородной структурой. М.: Радио и связь, 1983. 128 с.
- [2] Пасынков В.В. Материалы электронной техники. М.: Высш. школа, 1980. С. 155–160.
- [3] Соцков В.А. // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. В. 11. С. 38–41.
- [4] Соцков В.А. // ФТП. 2005. Т. 39. В. 2. С. 269–275.
- [5] Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. 260 с.