

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. А. Овчинников, Э. В. Хлыстунова, Ю. С. Мардашев, А. А. Хорошилов, Электрофизические свойства ряда композитов на основе дисперсного молибдена в матрице САМ-Э, *Докл. АН СССР*, 1983, том 271, номер 5, 1123–1125

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.84

12 февраля 2025 г., 14:21:07



Член-корреспондент АН СССР А.А. ОВЧИННИКОВ,
Э.В. ХЛЫСТУНОВА, Ю.С. МАРДАШЕВ, А.А. ХОРОШИЛОВ

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЯДА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСНОГО МОЛИБДЕНА В МАТРИЦЕ САМ-Э

Композиционные материалы (композиты) готовились на основе полимера САМ-Э (сополимер стирола с α -метилстиролом) и порошка молибдена, средний радиус частиц которого по данным седиментационного анализа $1,0 \cdot 10^{-6}$ м.

Порошки молибдена и САМ-Э, высушенные при 60°C в течение 4 ч, тщательно перемешивали в фарфоровой ступке до получения однородного порошка серого цвета. Приготовленную смесь помещали в обогреваемую пресс-форму, где методом горячего прессования изготавливали образцы в виде цилиндрических таблеток нужной высоты, диаметром 10 мм. Прессование вели при температуре 150°C , давлении 650 кгс/см^2 , время выдержки под давлением 10 мин, скорость нагрева и охлаждения 6°C/мин [1]. Удельное сопротивление образцов материалов Мо/САМ-Э измеряли тераомметром Е6-13 с использованием индий-галлиевых электродов.

Применяемый для получения композитов метод позволяет получать образцы с равномерным распределением частиц молибдена по высоте. Например, образец, содержащий 65 мас.% (16,7 об.%) молибдена, высотой 17,12 мм, плотностью $2,61 \text{ г/см}^3$ имел удельное сопротивление $\rho_V = 15 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Части, образовавшиеся при его распиливании, имели следующие характеристики:

	нижняя	верхняя
$h, \text{ м}$	7,45	7,85
$d, \text{ г/см}^3$	2,59	2,62
$\rho_V, \text{ Ом} \cdot \text{см}$	4,5	9,0

Сопоставление параметров частей между собой и их суммарных значений с характеристиками исходного образца позволяет сделать выводы об однородности образца и отсутствии оседания частиц под действием силы тяжести.

На рис. 1 представлена зависимость удельной электропроводности композитов от содержания молибдена в материале. Точки соответствуют экспериментальным данным, кривая — усредненным расчетным значениям. Резкое изменение электропроводности наблюдается при относительно небольшом изменении концентрации молибдена, приблизительно 15–20 об.%.

В этой области отобрано 3 группы образцов по 2 штуки с различными значениями удельного сопротивления: порядка $1-10, 10^3-10^4, 10^6-10^7 \text{ Ом}$, для изучения зависимости их сопротивления от температуры. Чтобы получить воспроизводимые результаты, образцы подвергали трех-, четырехкратному нагреву—охлаждению. Измерения проводили в интервале температур $15-50^\circ\text{C}$, лежащем ниже температуры стеклования САМ-Э. На рис. 2 показано, что у 1-й группы сопротивление с ростом температуры возрастало, у 2-й практически не изменялось и у 3-й с увеличением температуры до $40-45^\circ\text{C}$ падало, при последующем увеличении температуры до 50°C возрастало.

Если для линейного участка кривой I (рис. 2) по формуле $E_a = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_1 - T_2} 2k \ln \frac{R_1}{R_2}$

рассчитать условную энергию активации, то значение $E_a = 0,15 \text{ эВ}$ по величине сравнимо со значениями с E_a , обычными для органических полупроводников. Темпера-

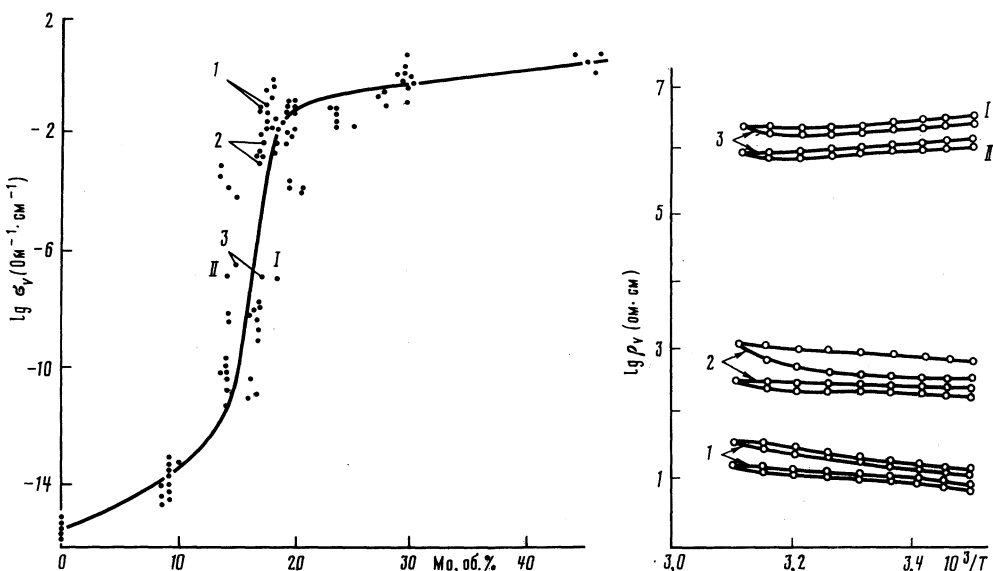


Рис. 1. Зависимость удельной электропроводности от объемного содержания молибдена в композите

Рис. 2. Зависимость удельного сопротивления композитов от температуры. I образец — 16 об.% Мо/САМ-Э, $h = 3,07$ мм, $d = 2,52$ г/см³; II — 15 об.% Мо/САМ-Э, $h = 9,73$ мм, $d = 2,37$ г/см³

турный коэффициент $TKC_I = \frac{\Delta R}{R \cdot \Delta T} = -8,27 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Аналогичная температурная зависимость получена и для образца II. Здесь $E_a = 0,12$ эВ, $TKC_{II} = -1,39 \cdot 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Для образцов всех трех групп снимали вольт-амперные характеристики, которые были линейными для образцов 1-й и 2-й групп. Для образцов 3-й группы наблюдался незначительное отклонение от закона Ома. ВАХ приведены на рис. 3.

Измерение сопротивления композиционных образцов выполнено и на переменном токе с частотой от $5 - 5 \cdot 10^5$ Гц. Полное сопротивление композитов (импеданс) измеряли на TESLA IMPEDANCE METER Вм 507; полученные результаты для одного из образцов 3-й группы представлены на рис. 4. Здесь же приведены расчетные зависимости импеданса от частоты по параллельной и последовательной схемам и изменение Z с ростом частоты для ячейки, в которой вместо таблетки композита находился воздух.

Из полученных данных можно сделать следующие выводы.

Критическая доля объема молибдена в материале (0,15–0,20) хорошо соответствует значениям, полученным в рамках теории протекания для гетерогенных систем [2]. Область протекания, как видно из рис. 1, характеризуется значительным разбросом экспериментальных значений электропроводности, обусловленных статической природой появления протекания, в каждом конкретном случае. С этим связана и плохая воспроизводимость результатов в данной области. Однако усредненная картина (кривая на рис. 1) позволяет точно определить критическую объемную концентрацию молибдена (0,17), соответствующую значению теории протекания для задачи плотноупакованных несжимаемых шаров.

Различное изменение сопротивления образцов с температурой (относительно небольшое по величине; рис. 2) можно объяснить изменением морфологии дисперсной системы, состоящей из множества разнообразных микронеоднородностей. Ха-

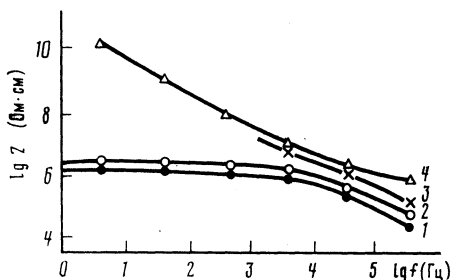
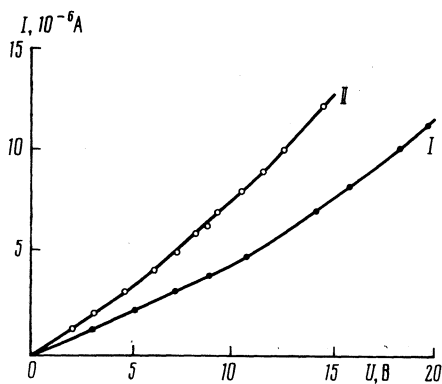

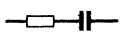


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики образцов I и II

Рис. 4. Зависимость импеданса от частоты для образца II. 1 – экспериментальная кривая; 2 – расчетная кривая (схема  $R = 2 \cdot 10^6$ Ом, $C = 2,2 \cdot 10^{-12}$ Ф); 3 – экспериментальная кривая для ячейки с воздухом; 4 – расчетная кривая (схема )

рактический характер проводимости зависит от конфигурации частиц и их контактов. В отличие от обычных кристаллических полупроводников, где величина запрещенной зоны строго фиксирована, в дисперсной электропроводящей системе, согласно [3], может меняться энергия активации проводимости.

Частотная зависимость импеданса (рис. 4) показывает, что сопротивление образца является чисто активным и не зависит от частоты до $5 \cdot 10^3$ Гц. Загиб кривой 1 при частотах $5 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^5$ Гц обусловлен, по-видимому, влиянием геометрической емкости измерительной ячейки. Возможно, что более тщательный расчет позволит получить информацию о дисперсности системы, величине зазора между частицами молибдена.

Московский государственный педагогический институт им. В.И. Ленина

Поступило
15 XI 1982

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуль, В.Е., Царский Л.Н. и др. Электропроводящие полимерные материалы. М.: Химия, 1968. 248 с.
2. Domb C., Stoll E., Schneider T. – Contemp. Phys., 1980, vol. 21, № 6, p. 577–592.
3. Чопра К.Л. Thin film phenomena. N.Y.: McGraw Hill Book Co, 1969, 844 p.