ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Голев Игорь Михайлович
д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
г. Воронеж, Воронежская область
Русских Елена Алексеевна
канд. техн. наук, преподаватель
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
г. Воронеж, Воронежская область
Русских Дмитрий Викторович
канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВПО «Воронежский институт Государственной
противопожарной службы МЧС России»
г. Воронеж, Воронежская область

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ В КОМПАКТИРОВАННЫХ НАНОДИСПЕРСНЫХ ГРАФИТОВЫХ МАТЕРИАЛАХ

Аннотация*: в статье приводятся результаты исследования температурной зависимости электропроводности и коэффициента Зеебека S нанодисперсных материалов. В данной работе было показано, что для скомпактированных материалов характерен прыжковый механизм проводимости.*

Ключевые слова*: электропроводность, нанодисперсные материалы, углеродные нанотрубки, нановолокна, скомпактированные УНТ и УНВ, ультрадисперсный углерод, механизм проводимости.*

Углерод имеет большое число аллотропических модификаций, которые по своим электрофизическим свойствам существенно отличаются друг от друга.

Большой интерес для исследований представляют углеродные наночастицы с размером структурных элементов 20–100 нм. Они имеют значительное число атомов углерода расположенных на поверхности и на краях, что делает их более реакционноспособными. Подобные объекты мало изучены. С учетом малой себестоимости их синтеза они могут использоваться в качестве наполнителей композиционных материалов с заранее заданными свойствами [1, 2].

В работе представлены результаты экспериментальных исследований электрической проводимости и термоэлектрических свойств нанодисперсных графитовых материалов, в том числе и полученных компактированием.

Объекты исследования и их характеристика приведены в таблице 1 [3–5].

Таблица 1

Размеры структурных элементов образцов

Исследуемые образцы	Размер структурного элемента
Поликристаллический графит	зерна 20 ÷ 30 мкм
Деструктированный графит	слои толщиной 30–100 нм длиной до 10 мкм
Аморфный наноуглерод	частицы 30–80 нм в аморфном состоянии
Фрактальная нанотрубная структура	связки диаметром 50–60 нм из 100-150 УНТ диаметром 2,5–4 нм длиной 0,2–2 мкм
Скомпактированные УНТ	диаметр 2–7 нм длина 2–5 мкм
Скомпактированные УНВ	диаметр 20–40 нм длина ~ 1 мкм
Ультрадисперсный углерод	частицы 80–120 нм в аморфном состоянии

На рис. 1 представлены зависимости электрической проводимости (от температуры для различных углеродных структур).

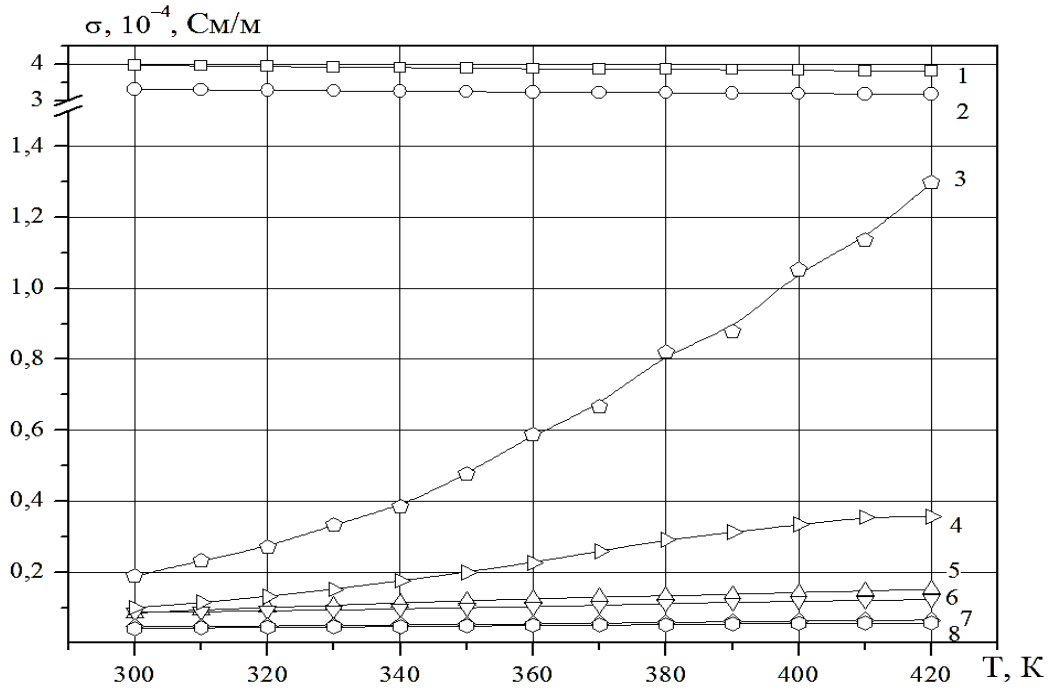

Рис. 1. Температурная зависимость электрической проводимости σ:
1 и 2 – моно- и поликристаллический графит; 3 – деструктированный графит; 4 – аморфный наноуглерод; 5 –фрактальная нанотрубная структура; 6, 7 – скомпактированные УНТ и УНВ соответственно; 8 – ультрадисперсный углерод

Проводимость для деструктурированного графита (кривая 3) с ростом температуры на 120 К увеличивается более чем в 6 раз, в отличие от образцов 1 и 2, у которых эта зависимость слабо выражена, что и характерно для полуметаллов [5]. Для аморфного нано- и ультрадисперсного углерода зависимости (T) представлены кривыми 4 и 8 соответственно. Видно, что с уменьшением размеров частиц в среднем в два раза значение (возрастает примерно 5 раз). Для связок УНТ имеющих фрактальную структуру температурная зависимость (представлена кривой 5). Значение электрического сопротивления этих структур сравнимо с скомпактированных УНТ и УНВ и ультродисперсного углерода.

Углеродные частицы, используемые при получении этих образцов, имеют разные размеры и электрофизические свойства. Это обусловлено тем, что они были получены по различным технологиям, и подтверждается фактом отличия

величины коэффициента термоэдс. Тем не менее, механизм электропроводности у исследуемых образцов одинаков. Анализ поведения электрической проводимости в зависимости от температуры был проведен в рамках модели Н. Мотта для сильно неупорядоченных сред. Было обнаружено, что в структурах, полученных компактированием микрочастиц углерода в аморфном состоянии, углеродных нановолокон, наночастиц углерода в аморфном в состоянии области температур от 300 до 350 К доминирует механизма электрической проводимости по локализованным состояниям вблизи уровня Ферми с переменной длиной прыжка. При температурах 350 (420 К наблюдается проводимость по ближайшим локализованным состояниям.

На рис. 2 представлены результаты измерений зависимости коэффициента Зеебека S от температуры.

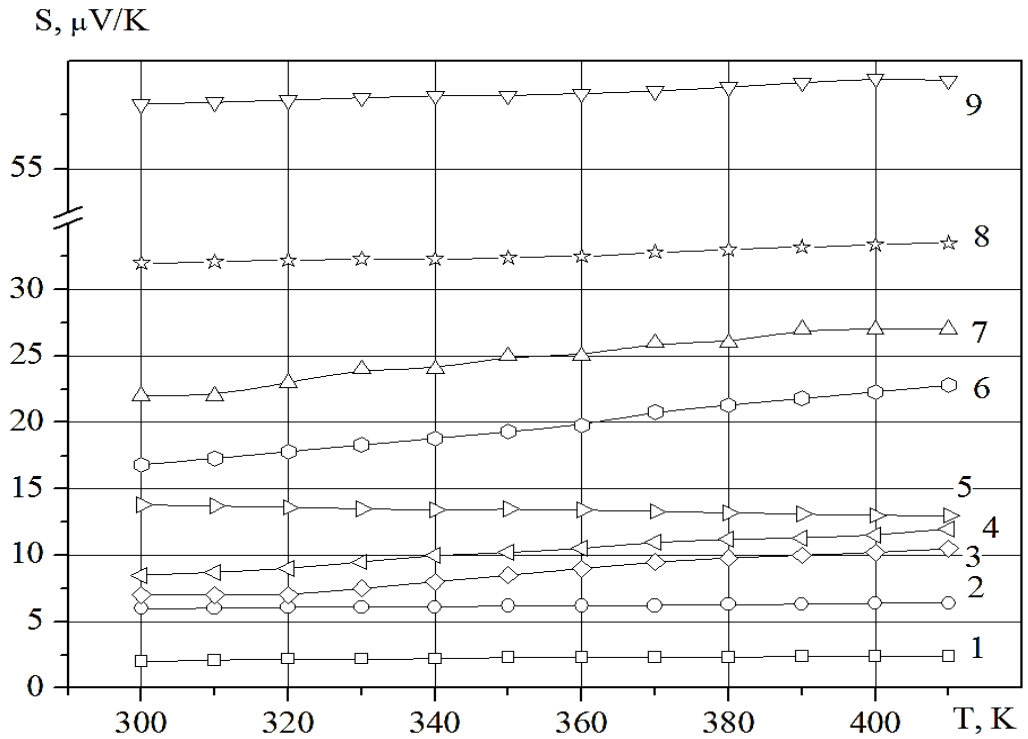

Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента Зеебека (S): 1 – моно- и 2 – поликристаллический графит; 3 – ультрадисперсный графит; 4 – скомпактированные нановолокна; 5 – деструктированный графит; 6 – аморфный нано-углерод; 7 – нанотрубный депозит; 8 – скомпактированные углеродные нанотрубки; 9 – связки нанотрубок с фрактальной структурой

Кривые 1 и 2 – температурные зависимости коэффициента S для моно- и поликристаллического (средний размер зерен (20 мкм) графита соответственно. Видно, что для поликристаллического графита S примерно в два раза больше, чем у монокристаллического. Наиболее высокие значения коэффициента Зеебека характерны для нанотрубок, для скомпактированных структур он порядка 33 мкВ/К, для связок нанотрубок с фрактальной структурой – 55–60 мкВ/К [4, 5]. Для нанодисперсного углерода величина S возрастает с уменьшением размера структурных элементов, так уменьшение частиц с 80–120 нм до 30 нм, значение термо-ЭДС увеличивается от 7 до 16 мкВ/К [6].

Исследования температурной зависимости термо-ЭДС свидетельствуют о прыжковом механизме электропроводности в скомпактированных частиц наноуглерода в аморфном состоянии, нановолокон и аморфного ультрадисперсного наноуглерода. Размеры области контакта между частицами существенно меньше размеров гранул, то очевидно, что электрические свойства компактированных структур, будут в основном определяться электрофизическими свойствам контактов. Уменьшение размера элементов микро и наноструктурных способствует увеличению значения коэффициента Зеебека.

Таким образом, анализ температурных зависимостей электрической проводимости (и термо-ЭДС показал, что в скомпактированных частицах наноуглерода в аморфном состоянии, нановолокнах и аморфном ультрадисперсном наноуглероде преобладает прыжковый механизм электропроводности.

Список литературы

1. Технологии на основе нанотрубок: промышленное применение и рынок продукции / Н.А. Трофимов //Наука за рубежом. – № 11. – 2012. – 23 с.

2. Мищенко С.В. М717 Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение / С.В. Мищенко, А.Г. Ткачев А.Г. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.

3. Zolotukhin I.V. The Structure and Thermo EMF of a Nanotubular Carbon Deposit Formed in Electric Discharge Plasma / I.V. Zolotukhin [and other] // Technical Physics Letters. – 2003. – V. 29. – №12. – P. 1006–1008.

4. Структура, морфология и проводимость нанографитов, полученных при распылении графита в электрической дуге / И.В. Золотухин [и др.]// Нанотехника. ЗАО «Концерн «Наноиндустрия». – Москва. – 2009. – №4(20). – С. 21–24.

5. Проводимость и термоэлектрические свойства компактированных нанографитовых материалов / А.В Усков, И.М. Голев, И.В. Золотухин // Вестник ВГТУ. – 2011. – Том 7. – №11.1. – С. 62–65.

6. Zolotukhin I.V. Thermoelectric Properties of Nanotubular and Fractal Carbon Deposits / I.V. Zolotukhin [and other] // Tech. Phys. Let. – 2002. – Vol. 28. – №8. – P. 678–679.