

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЗИСТОРНЫХ КОМПОЗИТОВ «ЦЕРЕЗИН — НАНОУГЛЕРОД»

К. ф.-м. н. А. Ю. Ляшков, д. ф.-м. н. А. С. Тонкошкур, к. т. н. А. В. Вашерук,  
к. ф.-м. н. В. О. Макаров

Днепровский национальный университет имени Олеся Гончара  
Украина, г. Днепр  
alexndnu@ukr.net

*С целью снижения температуры срабатывания самовосстанавливающихся предохранителей, изготовляемых по технологии PolySwitch, произведена замена матричного полиэтилена на церезин. В диапазоне от 20 до 60°С сопротивление полученного композита увеличивается на два порядка, что создает предпосылки для создания самовосстанавливающегося предохранителя с параметрами, пригодными для использования в температурочувствительных устройствах, в частности солнечных батареях.*

*Ключевые слова:* самовосстанавливающийся предохранитель, композит, полимер, наноуглерод, polyswitch.

Перегрузки по току в электронной аппаратуре зачастую приводят к ее выходу из строя. Существует несколько способов защиты от этого. Наиболее распространенный из них – использование плавких предохранителей. Главным их недостатком является одноразовость. При выходе предохранителя из строя он требует замены. Это не всегда удобно, а во многих случаях требуется вмешательство квалифицированного персонала. Преимущества самовосстанавливающихся предохранителей (СВП) заключаются в том, что они рассчитаны на многократное срабатывание, а их разрушение происходит при токе, во много раз превышает ток срабатывания. В настоящее время СВП типа PolySwitch нашли широкое применение в различных областях, таких как защита персональных компьютеров, трансформаторов, электромоторов, аккумуляторных батарей, медицинского и измерительного оборудования, автомобильной электроники и др. [1].

Изготовление этих приборов не требует применения сложных энергоемких технологий и дорогостоящих материалов. Основными компонентами в их производстве являются полиэтилен и технический углерод (carbon black). Переключение СВП происходит при температуре примерно 125°С в результате плавления кристаллов полиэтилена [1, 2] Замена полиэтилена на материал с более низкой температурой плавления может привести к уменьшению потребляемой электрической мощности и температуры переключения, что особенно важно при таком их применении, как защита фотоэлектрических компонентов солнечных батарей [3].

Целью настоящей работы являлся синтез и изучение электрических свойств композитов «церезин — наноуглерод».

Исходными компонентами при синтезе композита были церезин марки «65» и технический углерод марки N550 с размером частиц 39—55 нм. Смесь нагревали до температуры ≈150°С и перемешивали. После этого композит механически измельчали и формовали под давлением 10 МПа, одновременно впрессовывая электроды из тонкой медной сетки. Объемная доля углерода оценивалась исходя из плотности образцов и составляла от 0,14 до 0,27.

На рис. 1 представлена зависимость плотности тока  $J$  от напряженности  $E$  электрического поля одного из экспериментальных образцов композита. На начальном участке с повышением напряженности величина  $J$  увеличивается практически линейно, а после  $E = 0,9$  В/мм дальнейшее увеличение  $E$  приводит к снижению плотности тока. Такая форма зависимости является типичной для СВП на базе полиэтилена [4].

Температурные зависимости сопротивления  $R$  приведены на рис. 2. Для всех образцов наблюдается увеличение сопротивления с ростом температуры  $T$ . Некоторое снижение сопротивления од-

ного из образцов при достижении температуры 60°C связано с постепенной потерей механической прочности и деформацией вследствие плавления материала. Как видно, увеличение сопротивления в измеряемом диапазоне превышает два порядка, что показывает перспективность применения данного композита для изготовления самовосстанавливающихся предохранителей.

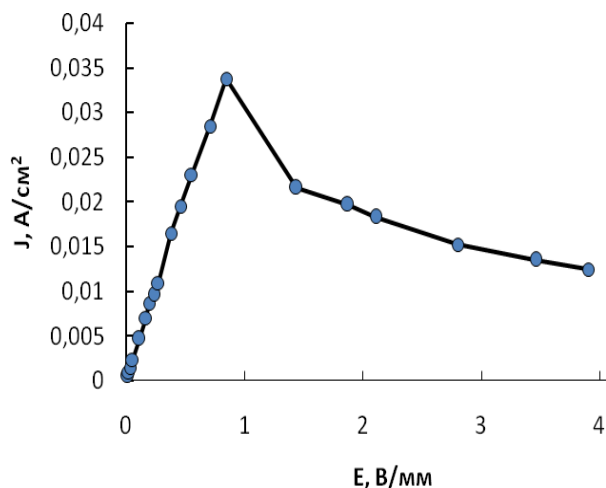


Рис. 1. Зависимость плотности тока от напряженности электрического поля композита «церезин — наноклерод»

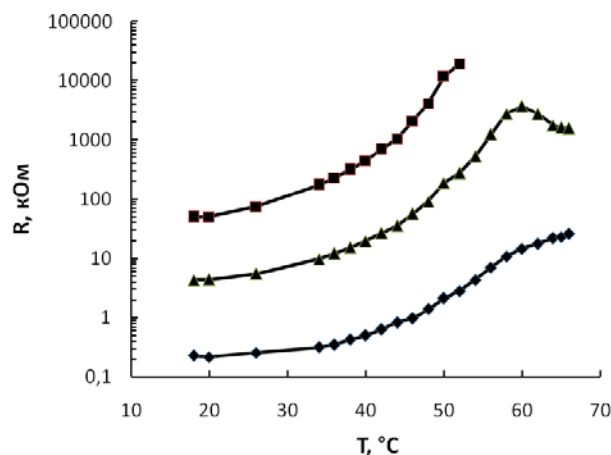


Рис. 2. Температурные зависимости сопротивления образцов композита «церезин — наноклерод»

Таким образом, можно заключить следующее.

1. Композиты церезин-наноклерод пригодны для изготовления самовосстанавливающихся предохранителей.
2. Форма основных электрических характеристик данных композитов такая же, как и у промышленно выпускаемых СВП, что говорит об общности механизмов их формирования.
3. Переключение композитов СВП на основе композита «церезин — наноклерод» происходит при значительно более низких температурах, чем у промышленных СВП.
4. Для повышения механической прочности композита в диапазоне температур переключения необходимо внесение армирующих добавок.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Ткачев В. Самовосстанавливающиеся предохранители Miltifuse производства фирмы Bourns // Компоненты и технологии.— 2000.— №7.— Режим доступа: [https://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2000\\_07\\_48.pdf](https://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2000_07_48.pdf).
2. Гавриков В. Самовосстанавливающиеся РТС-предохранители для защиты от токовых перегрузок // Новости электроники.— 2014.— № 12.— С. 11—15.
3. Тонкошкур О. С., Накашидзе Л. В. Проблеми надійності фотоелектричних компонентів сонячних батарей // Відновлювана енергетика.— 2018.— №3.— С. 21—31.
4. Degtyar'ov A.V., Tonkoshkur A.S., Lyashkov A.Yu. Electrical properties of posistor composite materials based on polyethylene-graphite // Multidiscipline Modeling in Materials and Structures.— 2006.— Vol. 2, №4.— P. 435—442.

A. Yu. Lyashkov, A. S. Tonkoshkur, A. V. Vasheruk, V. O. Makarov

#### Electrical properties of posistor composites based on ceresin-nanocarbon

*In order to reduce the response temperature of reversible fuses manufactured using the PolySwitch technology, the matrix polyethylene was replaced with ceresin. The obtained experimental composite increased its resistance by two orders of magnitude in the range from 20 to 60°C. This creates the prerequisites for the creation of a resettable fuse with parameters suitable for use in temperature-sensitive devices, in particular solar batteries.*

*Keywords: self-resetting fuse, composite, polymer, nanocarbon, polyswitch.*