Гибкие электропроводящие пленки на основе биосовместимого композитного наноматериала

Ичкитидзе Л.П. [1,2] , *Куксин А.В.* [1] , *Мурашко Д.Т.* [1] , *Герасименко А.Ю.* [1,2] , *Телышев Д.В* [1,2] , *Селищев С.В.* [1] , *Hosseini S.S.* [3]

leo852@inbox.ru

[1] Институт биомедицинских систем Национального исследовательского университета электронных технологий МИЭТ, Зеленоград, Москва, Россия

[2] Научно-технологический парк биомедицины Первого Московского государственного медицинского университета имени И.М. Сеченова, Москва, Россия

[3] Department of Biomedical Engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Известно, что композиционный наноматериал в составе биологического материала и углеродных нанотрубок порядка 1 мас.% приобретает удельную электропроводность на несколько порядков большую относительно исходного материала.

Изучена удельная электропроводность s пленок и объемных образцов на основе биосовместимого материала карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) в качестве матрицы и наполнителя в виде многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) типа Таунит-МД. Были приготовлены водные суспензии в составе: 2 мас.% КМЦ и 0,8 мас. % МУНТ. Путем распыления водной суспензии слои наносились на подложки из полиэтилентерефталана, офисной бумаги и пластины кремния, покрытых SiO_2. Массивные образцы были получены после вакуумного испарения жидкости из суспензии при комнатной температуре (t = 22 °C). При измерении электропроводности (t = 22 °C, объем жидкости 10 мл) образцов в жидком состоянии были получены следующие данные: вода дистиллированная – 2 мкСм; суспензия 2 мас.% КМЦ/98 мас.% Вода – 200 мкСм; суспензия 2 мас.% КМЦ/0,8 мас. МУНТ/97,2 мас.% Вода – 900 мкСм. В этих образцах наблюдается ионная проводимость. Значения s для массивных и пленочных сухих образцов при t = 22 °C с учетом их размеров были следующими: массивный образец КМЦ – $\leq 10^{-6}$ См/м; массивный образец 2 мас.% КМЦ/0,8 мас.% МУНТ – 2,8 кСм/м; пленки 2 мас.% КМЦ/0,8 мас.% МУНТ в диапазоне толщин 0,2–3 мкм – 13-8 кСм/м. Механические исследования массивных образцов показали, что у образцов с МУНТ модуль упругости значительно выше, чем у образцов КМЦ. В частности, твердость по Виккерсу H и модуль упругости E имели следующие значения, соответственно: 2 мас.% КМЦ – H = 0,13 ГПа, E = 1,76 ГПа; 2 мас.% СМС/0,8 мас.% МУНТ – H = 0,25 ГПа, E = 5,87 ГПА. Для пленок толщиной ≤1 мкм изгиб в диапазоне углов ± 30° не приводил к существенным изменениям значения s при количестве циклов изгиба 10^5, а для пленок толщиной >5 мкм наблюдалось уменьшение проводимости на ~10–15%. В процессе изгиба пленки не разрывались и не отслаивались от подложек.

При определенных условиях электронная проводимость, механические параметры и другие свойства композиционного наноматериала (КМЦ/МУНТ) легко модулируются, в частности, путем изменения концентрации состава, воздействия лазерного излучения или процесса нанотехнологического приготовления. Пленки этого композиционного наноматериала являются перспективным функциональным безметалловым материалом для создания различных типов датчиков (деформации, изгиба), эластомеров или гибких элементов микроэлектроники.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (Проект FSMR-2024-0003).