
ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

С. В. Поройский, Т. А. Носаева, Н. В. Коняева

Волгоградский государственный медицинский университет
кафедра медицины катастроф, кафедра физики

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФЕНА И НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ЕГО ОСНОВЕ В МЕДИЦИНЕ

УДК 61:001

Рассмотрены вопросы о применении графена и наноматериалов на его основе в медицине. Показано, что данные материалы могут применяться как в медицинской технике, так и непосредственно в биомедицине. На основе анализа источников обзора информации определены направления исследования графена в медицине.

Ключевые слова: графен, медицинское оборудование, биоприменение графена, оксид графена, графеновая бумага.

S. V. Poroyskiy, T. A. Nosaeva, N. V. Konyayeva

USE OF GRAPHENE AND GRAPHENE-BASED NANOMATERIALS IN MEDICINE

The issues of application of graphene and graphene-based nanomaterial in medicine were reviewed in the article. It was demonstrated that these materials can be used both in medical technology and biomedical fields. Based on the analysis of the literature review major graphene applications in medicine were identified.

Keywords: graphene, medical equipment, bioapplication of graphene, graphene oxide, graphene paper.

Получение графена, двумерного кристалла, состоящего из одиночного слоя атомов углерода, собранных в гексагональную решётку, привлекло внимание ученых и инженеров в различных областях науки и техники. Этот материал обладает удивительными кристаллическими и электронными свойствами. Удивительные свойства графена возникают благодаря уникальной природе его носителей заряда – они ведут себя подобно релятивистским частицам [11]. Графен обладает уникальной структурой и исключительными физическим и химическими свойствами, из которых следует множество возможностей для его применения [6, 13]. Среди различных применений графена – биомедицинские, которые вызывают постоянно растущий интерес.

Медицинское оборудование – это широкий спектр приборов, аппаратов и инструментов, используемых в различных целях. Несмотря на частные методы работы, применение техники имеет общую цель – восстановление и поддержание здоровья человека. Приоритетными направлениями модернизации медицинского оборудования являются развитие технологической составляющей оказания медицинских услуг,

внедрение актуального программного обеспечения, приведение используемых технических инструментов в соответствие с новыми стандартами.

Графен также рассматривается как важная составляющая в некоторых композитных материалах, которые применяются для модернизации современного медицинского оборудования. Уже разработаны на основе графена прототипы различных электронных и оптоэлектронных устройств: газовые сенсоры с экстремальной чувствительностью, графеновый одноэлектронный транзистор, жидкокристаллические дисплеи и солнечные батареи (в качестве прозрачного проводящего электрода), спиновый транзистор, графеновые полевые транзисторы, графеновые выпрямители и умножители частоты и высокочувствительные фотодетекторы.

Биомедицинское применение графена относительно новая область со значительным потенциалом. Была проведена большая работа по изучению возможностей использования графена, включая поставки лекарств/генов, биологическое обнаружение и визуализацию, антибактериальные материалы, как биосовместимого каркаса для клеточной культуры. Интенсивное исследование

биоприменения графена и материалов на его основе обусловлено увлекательными свойствами данного материала, такими как: исключительная электронная проводимость (подвижность носителей заряда $200000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$), теплопроводность [$\sim 5000 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$], механическая прочность (модуль Юнга $\sim 1100 \text{ ГПа}$) [4, 5].

Одним из методов использования графена является диагностика раковых заболеваний. Уникальные электрические и оптические свойства графена предоставляют возможность создания новых оптических, электрохимических биосенсоров для обнаружения биомаркеров (индикаторов раковых заболеваний на ранних стадиях). При использовании графена в работе [3] авторы резко повысили чувствительность оптического биосенсора. Сенсоры данного типа также были разработаны на основе оксида графена. Использование графена позволяет значительно повысить эффективность электрохимических иммуносенсоров. Создаваемые на базе графена электрохимические устройства способны как детектировать биомаркеры, так и изучать процессы образования активных форм кислорода в живых клетках. В настоящее время растет интерес к сенсорам на основе графеновых полевых транзисторов.

Для детектирования раковых клеток также применяются графен и наноматериалы на его основе. Еще одной областью применения графена является система адресной доставки диагностических и лекарственных средств. Для получения изображения живых клеток авторы работы [10] описывают успешное использование графена, оксида графена с магнитными наночастицами, выступающими в качестве носителей противораковых препаратов, нуклеотидов/пептидов, флуоресцентных агентов.

Применение графена в фототермической терапии является новым перспективным направлением. Этот вид лечения использует генерацию тепла в результате поглощения света фоточувствительными агентами в больных клетках. Чтобы избежать повреждения здоровых клеток, поглощение должно быть в ближнем ИК-диапазоне (700–1100 нм). Графен проявляет заметный фототермический эффект благодаря сильному оптическому поглощению в этой области спектра [12]. Также графен может использоваться в неврологии. Используя электрохимические и оптические свойства графена, можно разработать высокоэффективные и одновременно миниатюрные биосенсоры для мониторинга неврологического статуса у пациентов после инсульта или травмы мозга. Кроме этого на основе графена можно будет создавать каркасы для заживления поврежденной нервной ткани.

В последнее время большое внимание возникает вокруг биодатчиков на основе графена [8, 9]. В работе [9] рассказывается об образованном на оксиде графена сенсоре, который выборочно обнаруживает ДНК в растворах. Также было обнаружено, что графен может доставить олигонуклеотиды в живые клетки для обнаружения биомолекул [1, 2]. Графен или композиционные материалы на его основе были использованы

для модификации электродов в электрохимическом распознавании различных биомолекул, в том числе глюкозы, ДНК и белков, с высокой чувствительностью [7]. Кроме того, графен может также использоваться в объединении с другими наноматериалами для построения различных биосенсоров.

К другому виду использования графена в медицине можно отнести графеновую бумагу, которая обладает выраженным антибактериальным действием. Исследование антибактериального эффекта графеновых нанолитов показало, что оксид графена может применяться в качестве материала для покрытия поверхности для имплантата.

Как и во многих других областях, исследование биомедицинских применений графена расширяется, но в основном находится на начальной стадии. Успехи в этой области до сих пор являются захватывающими и обнадеживающими, но существует ряд задач с которыми сталкиваются исследователи и которые должны быть преодолены. Одной из таких задач является тщательное и глубокое понимание взаимодействия графена – ткань, особенно механизма клеточного поглощения. Такое знание способствует развитию эффективной доставки лекарств, биодатчиков и других применений. Токсичность графена и оксида графена является еще одной из основных проблем. Предварительные результаты показывают, что физико-химические свойства тесно связаны с цитотоксичностью. Также графен и оксид графена способны ускорить рост, дифференцировку и пролиферацию стволовых клеток, и, следовательно, весьма перспективны в тканевой инженерии, регенеративной медицине, и других биомедицинских областях. Систематическое изучение очень желательно для решения проблем безопасности перед практическим применением графена в биомедицине.

ЛИТЕРАТУРА

1. Balapanuru J., et al. // *Angew. Chem. Int.* – 2010. – Vol. 49. – P. 6549–6553.
2. Chen XP., et al. // *Electroanalysis.* – 2010. – Vol. 22. – P. 2347–2352.
3. Feng L., et al. // *Advanced Materials.* – 2013. – Vol. 25. – P. 168.
4. Guo S. J., Dong S. J. // *Chem. Soc. Rev.* – 2011. – Vol. 40 (5). – P. 2644–2672.
5. Jiang H. J. // *Small.* – 2011. – Vol. 7 (17). – P. 2413–2427.
6. Konchenkov V. I., Zav'yalov D. V., Kryuchkov S. V., et al. // *Physics of Wave Phenomena.* – 2013. – Vol. 21, № 1. – P. 56–61.
7. Liu Y., et al. // *Langmuir.* – 2010. – Vol. 26. – P. 6158–6160.
8. Lu CH., et al. // *Chem. Eur. J.* – 2010. – Vol. 16. – P. 4889–4894.
9. Lu CH., et al. // *Chem. Commun.* – 2010. – Vol. 46. – P. 3116–3168.
10. Mannoor M. S., et al. // *Nature Commun.* – 2012. – Vol. 3. – P. 763.
11. Novoselov K. S., et al. // *Science.* – 2004. – Vol. 306. – P. 666.
12. Yang K., et al. // *Nano Lett.* – 2010. – Vol. 10. – P. 3318.
13. Zav'yalov D. V., Kryuchkov S. V., Tyulkina T. A. // *Semiconductors.* – 2010. – Vol. 44, № 7. – P. 879–883.