

ПРИМЕНЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАФЕНА И НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ЕГО ОСНОВЕ В МЕДИЦИНЕ

Трудов Никита Андреевич

студент Волгоградского государственного медицинского университета, РФ, г. Волгоград

Носаева Татьяна Александровна

научный руководитель, старший преподаватель кафедры физики Волгоградского государственного медицинского университета, РФ, г. Волгоград

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. Среди различных применений графена — биомедицинские, которые привлекают постоянно растущий интерес.

Медицинское оборудование — это широкий спектр приборов, аппаратов и инструментов, которые используются 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 работы по изучению возможностей использования графена, начиная от поставки лекарств/генов, биологического обнаружения и визуализации, антибактериальных материалов, 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 $200000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ c}^{-1}$), теплопроводность ($\sim 5000 \text{ Вт / (м* К)}$), механическая прочность (модуль Юнга $\sim 1100 \text{ ГПа}$) [5; 6].

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 [4] 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]. Так же 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. Так же на основе графена можно будет создавать каркас для заживления поврежденных нервной ткани [1].

В последнее время большой интерес 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 [2; 3]. 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 наноллистов показало как оксид графена может применяться в качестве материала для покрытия поверхности для имплантата.

Как и во многих других областях, исследования 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 графен — ткань, особенно механизм 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.

Список литературы:

1. Графену нашли применение в медицине — [Электронный ресурс] — Режим доступа. — <http://www.remedium.ru/news/detail.php?ID=61737> (дата обращения 05.05.2014).
2. Balapanuru J. et al. Graphene oxide-organic dye ionic complex with DNA-Sensing and

- optical-limiting properties / Balapanuru J. et al. // *Angew. Chem. Int. Ed.* — 2010. — 49. — 6549—6553 p.
3. Chen X.P. et al. Electrochemiluminescence biosensor for glucose based on graphene / nafion / GOD film modified glassy carbon electrode / Chen XP. Et al. // *Electroanalysis.* — 2010. — 22. — 2347—2352 p.
 4. Feng L. et al. Solid-State Reversible Quadratic Nonlinear Optical Molecular Switch with an Exceptionally Large Contrast / Feng L. et al. // *Advanced Materials.* — 2013. — 25. — 168 p.
 5. Guo S.J., Dong S.J. Graphene nanosheet: synthesis, molecular engineering, thin film, hybrids, and energy and analytical applications / Guo S.J, Dong S.J. // *Chem Soc Rev.* — 2011. — 40(5). — 2644—2672 p.
 6. Jiang H.J. Chemical preparation of graphene-based nanomaterials and their applications in chemical and biological sensors / Jiang H.J. // *Small.* — 2011. — 7(17). — 2413—2427 p.
 7. Liu Y. et al. Biocompatible graphene oxide-based glucose biosensors / Liu Y. et al. // *Langmuir.* — 2010. — 26. — 6158—6160 p.
 8. Lu C.H. et al. Increasing the sensitivity and single-base mismatch selectivity of the molecular beacon using graphene oxide as the "nanoquencher" / Lu C.H. et al. // *Chem. Eur. J.* — 2010. — 16. 4889—4894 p.
 9. Lu C.H. Et al. Using graphene to protect DNA from cleavage during cellular delivery / Lu C.H. et al. // *Chem. Commun.* — 2010. — 46. — 3116—3168 p.
 10. Mannoor M.S. et al. Electrical detection of pathogenic bacteria via immobilized antimicrobial peptides / Mannoor M.S. et al. // *Nature Commun.* — 2012. — 3. — 763 p.
 11. Novoselov K. S. et al. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films / Novoselov K.S. et al. // *Science.* — 2004. — 306. — 666 p.
 12. Yang K. et al. Graphene in mice: ultrahigh in vivo tumor uptake and efficient photothermal therapy / Yang K. et al. // *Nano Lett.* — 2010. — 10. — 3318 p.