

## ДВУМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ - ГРАФЕН

*Харитонов Олег Юрьевич*

*Студент ДонНТУ, г. Донецк*

*Email: [fill3952160@i.ua](mailto:fill3952160@i.ua)*

Аллотропная форма; Квазиимпульс; Фотон; Релятивистские частицы;

Графен – одна из аллотропных форм углерода, состоящая всего из одного слоя атомов, выстроенных сеткой на подобии «пчелиных сот» - соединений гексагональной формы (шести-угольников).

Авторами первых работ связанными с открытием графена принадлежат профессорам Манчестерского университета (Великобритания) – Андре Гейму и Константину Новосёлову, выпускникам Московского физико-технического университета и лауреаты Нобелевской премии по физике 2010 года за открытие графена. Первое упоминание о графене датируется 2004 годом.

Международная команда учёных под руководством Андре Гейма, в которую входили исследователи из Манчестерского университета (Великобритания) и Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов (Россия, г. Черноголовка), получила графен простым отшелушиванием слоёв графита. Для этого на кристалл графита наклеивали обычный скотч, а потом снимали: на ленте оставались тончайшие плёнки, среди которых были и однослойные. Позже с помощью этой техники были получены и другие двумерные материалы, в том числе высокотемпературный сверхпроводник  $\text{Bi-Sr-Ca-Cu-O}$ .

Сейчас такой способ называется «микромеханическим расслоением», он позволяет получать наиболее качественные образцы графена размером до 100 микрон.

Этот двумерный материал, будучи полупроводником, обладает проводимостью, как у одного из лучших металлических проводников — меди. Его электроны имеют весьма высокую подвижность, что связано с особенностями его кристаллического строения. Исходя из проведенных исследований, экспериментаторы пришли к выводу, что новый класс графеновой наноэлектроники с базовой толщиной транзисторов не более 10 нм сможет заменить устаревающий кремний, что позволит усовершенствовать современные и облегчить создание будущих быстродействующих компьютеров.

Так же, графен имеет впечатляющие механические характеристики. Сильные ковалентные связи между атомами углерода в графене делают его самым прочным материалом, когда-либо полученным человеком. Продольные упругие константы графена значительно превосходят аналогичные значения предыдущего рекордсмена — алмаза. Прочность графена такова, что его метровый лист теоретически способен удержать четырехкилограммовую кошку. При этом сама пленка — легкая, один грамм графена может покрыть футбольное поле!

Графен обладает уникальной особенностью — линейной зависимостью энергии носителей заряда (электронов и дырок) — от квазиимпульса. В природе существуют частицы, чья энергия также зависит линейно от импульса — это фотоны. Фотоны имеют нулевую массу покоя, а их скорость равна скорости света. Таким образом, уже разработанный математический аппарат для описания релятивистских частиц мог быть применен для описания поведения электронов и дырок в графене, что немедленно привело к следующему замечательному открытию М.И. Кацнельсона — парадоксу Клейна в графене. Этот парадокс возникает при рассмотрении задачи о

проникновении релятивистской частицы через высокий потенциальный барьер. Для случая графена было показано, что любой потенциальный барьер в графене является прозрачным при нормальном падении на него электронов или дырок. Важное следствие — сложность локализации носителей заряда в графене.

Применение графена не заканчивается электротехникой. Таким образом, графену нашли применение и в других областях человеческой деятельности:

- Применение графена в онкологических обследованиях.

Как выяснили сотрудники Университета Иллинойса, графен достаточно неплохо продемонстрировал себя в области обнаружения раковых клеток, что делает его важной составляющей будущих инструментов для диагностики этого смертельного заболевания.

Учёные взяли клетки мозга лабораторной мыши, а затем поместили их на лист графена. Оказалось, что графен ведёт себя иначе, если на нём оказывается раковая клетка. Он словно выделяет её из всех остальных, что позволяет учёным сразу же заметить её на фоне остальных клеток. Связан этот феномен с тем, что графен обладает удивительной электрической проводимостью. При контакте с гиперактивной раковой клеткой, электрическое поле, окружающее её, отталкивает электроны в долевым облаке графена. Это меняет энергию колебаний атомов углерода, а разницу эту можно заметить и выявить ту самую раковую клетку.

- Графеновый пластырь с вкраплениями золота предназначенный для мониторинга уровня сахара в крови.

Прототип пластыря разработан доцентом Сеульского государственного университета Тэ-Хён Кимом и его командой исследователей. Он оснащен сенсорами, которые собирают информацию о температуре тела человека, а также химическим/рН-составом пота. После этого он отправляет собранную информацию на специальное приложение для смартфона. Если система

определяет, что, согласно химическому составу вашего пота, вам необходимо принятие медицинских средств, приложение дает пластырю команду ввести в организм необходимое лекарство (нынешний вариант пластыря вводит метформин для диабета 2-го типа). Ввод лекарства происходит благодаря множеству имеющихся в пластыре микроскопических игл.

В будущем такой пластырь сможет не раз спасти чью-то жизнь. Однако нынешняя версия далека до конечного медицинского продукта. В текущей версии прототип активирует иглы только тогда, когда окружающая его температура повышается до 40 градусов. Кроме того, пластырь, к сожалению, не обладает возможностью содержать в себе достаточное для взрослого человека количество метформина. Исследователи говорят, что постараются найти способ решить эти проблемы без необходимости в увеличении площади пластыря.

- Воздушные системы охлаждения электронных компонентов на базе белого графена.

Исследователи из Университета Райса провели несколько симуляционных экспериментов по отводу тепла через трехмерные структуры, состоящие из борнитрида, известного также как белый графен. В своей привычной двумерной форме он обладает гексагональной структурой обычного графена. Ученые решили проверить, можно ли использовать естественные свойства его теплопроводности, если материал приобретает трехмерную форму.

Симуляционные модели показали, что 3D-структуры из белого графена — двумерные листы материала, соединенные между собой борнитридными нанотрубками — обладают возможностью быстро распределять тепло в разных направлениях. Компьютерные модели также показали, что путем увеличения длины и плотности соединяющих нанотрубок определенным

образом, можно добиться отвода тепла в определенном направлении. Чем короче трубки, тем медленнее отводится тепло, чем длиннее — тем быстрее.

Несмотря на то, что исследование основывается пока на симуляционных моделях, ученые утверждают, что белый графен может стать неотъемлемой частью «3D-терморегулирующей системы» будущего для малой электроники.

- Графеновые «бумажные» микросхемы.

Исследователи из лаборатории Джонатана Клауссена Университета штата Айова, предпочитающие называть себя наноинженерами, ищут способы использования графена и его впечатляющих возможностей в создаваемых ими сенсорах и других технологиях. Речь идет о технологии, позволяющей печатать графеновые микросхемы на бумаге при помощи струйного принтера. Разработанный учеными метод характеризуется низкой себестоимостью, что очень важно для технологий, которые предполагается использовать для реальных девайсов.

В рамках недавнего проекта струйные принтеры использовались для печати многослойных графеновых плат и электродов. Проект позволил инженерам сделать вывод о возможности применения графена в гибкой, носимой и недорогой электронике. Можно ли сделать из графена сенсор глюкозы? Ведь для этого размер должен быть достаточно велик.

Проблема состоит в существующих технологиях. Печатный графен может повышать проводимость и производительность девайса. Но это всегда означает применение высокотемпературного и химического воздействия. И то и другое может вести к деградации гибкости и повреждению поверхности, на которую наносится печать, — пластиковой пленки или даже бумаги.

Так у ученых Супрема Даса (Suprem Das) и Джонатана Клауссена (Jonathan Claussen) появилась идея использования лазера для обработки графена. И эта идея сработала. Ученые обнаружили, что лазерная обработка

напечатанных с использованием принтера многослойных графеновых электрических микросхем и электродов с применением процесса лазерной генерации в импульсном режиме повышает проводимость электричества, не повреждая бумагу, полимеры и другие используемые для печати хрупкие поверхности.

По мнению Клауссена, это открывает путь к коммерциализации и увеличению масштабов производства графена.

Результаты данного исследования были опубликованы в журнале *Nanoscale*. Среди направлений, в которых смогут с годами найти применение результаты данного исследования — сенсоры для биологических задач, системы накопления энергии, электропроводящие компоненты и даже электроника на основе бумаги.

Чтобы все это стало возможным, инженеры разработали контролируемую компьютером лазерную технологию и селективно облучаемый оксид графена, используемый при струйной печати. Такая обработка устраняет потребность в связующем материале («чернилах») и позволяет преобразовать оксид графена в графен, физически связывая друг с другом миллионы крошечных графеновых «чешуек». Этот процесс улучшает проводимость электричества более чем в тысячу раз.

Дас поясняет, что лазер позволяет обработать материал сильно насыщенными энергией фотонами, не разрушая при этом ни графен, ни поверхность, на которой осуществляется печать, поскольку воздействие лазером применяется локально.

Будучи локализованным, лазерный процесс также меняет форму и структуру печатного графена с плоской поверхности до трехмерной наноструктуры. Инженеры говорят, что 3D-структуры подобны крошечным приподнимающимся над поверхностью лепесткам. Эта неровность

поверхности повышает электромеханическую реактивность графена, делая возможным его использование в химических и механических сенсорах.

В перспективе это позволит создавать не только сами сенсоры, но также и дешевые электромеханические электроды на основе графена, которые могут найти себе огромное множество применений, включая сенсоры, биосенсоры, топливные ячейки и медицинские устройства.

#### - Графеновые аккумуляторы

Графеновый аккумулятор, который позволяет автомобилю без подзарядки преодолевать 1000 км очень обнадеживает всех ценителей экологического транспорта. Тем более, что такие же исследования с графеном проводились исследователями в Институте науки и технологий, Кванджу, Южная Корея и им также удалось создать батареи автомобиля с той же мощности, но, время зарядки сокращается до 16 секунд.

Область применения графена, практически, безгранична. Он может применяться и в таких областях как авиастроение, энергообеспечение (солнечные батареи), как изоляторы или композиционные материалы для спутников.

#### Список используемой литературы:

1. <http://science.misis.ru/ru/views/843/13656/>
2. <http://www.nkj.ru/archive/articles/18837/>
3. <https://hi-news.ru/tag/grafen>
4. <https://hi-news.ru/research-development/grafenovye-mikroshemy-budushhego-mogut-stat-bumazhnyimi.html>
5. <https://hi-news.ru/technology/belyj-grafen-budushhee-sistem-oxlzhdeniya.html>

6. <https://hi-news.ru/technology/grafenovyj-plastyr-dlya-diabetikov-kontroliruet-uroven-saxara-v-krovi.html>
7. Е. В. Горбар, С. Г. Шарапов Основы физики графену. Навчальний посібник. – Київ, 2013.
8. [http://rodovid.me/eco\\_friendly\\_product\\_design/5\\_napravleniy\\_primenenia\\_grafena.html](http://rodovid.me/eco_friendly_product_design/5_napravleniy_primenenia_grafena.html)



Квазиимпульс — векторная величина, характеризующая состояние квазичастицы (например, подвижного электрона в периодическом поле кристаллической решётки). Квазиимпульс частицы связан с её квазиволновым вектором соотношением

Фотóн (от др.-греч. φῶς, род. пад. φωτός, «свет») — элементарная частица, квант электромагнитного излучения (в узком смысле — света). Это безмассовая частица, способная существовать в вакууме только двигаясь со скоростью света. Электрический заряд фотона также равен нулю. Фотон может находиться только в двух спиновых состояниях с проекцией спина на направление движения (спиральностью)  $\pm 1$ . В физике фотоны обозначаются буквой  $\gamma$ .

Релятивíстская части́ца — частица, движущаяся с релятивистской скоростью, то есть скоростью, сравнимой со скоростью света. Движение таких частиц, рассматриваемых как классические (неквантовые) материальные точки, описывается специальной теорией относительности. Безмассовые частицы (фотоны, гравитоны, глюоны и т. д.) всегда являются релятивистскими, поскольку могут существовать, лишь двигаясь со скоростью света.