

ГРАФЕН

Руткевич Л.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
филиал Минский радиотехнический колледж,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Кусенок Е.Н. – преподаватель высшей категории дисциплин
общепрофессионального и специального циклов, представитель цикловой комиссии
«Микро- и нанoeлектронных технологий и систем»

Аннотация. В данной работе рассматриваются уникальные свойства и структура графена.

Ключевые слова: графен, электронные свойства, механические свойства, оптические свойства, химические свойства, графеновые нанотрубки.

Графен – один из наиболее перспективных материалов нанотехнологии XXI в. Такие свойства графена, как проводимость, механическая прочность и химическая стойкость определяют перспективы его применения в различных устройствах: в качестве проводящих нанoelementов высокочастотных транзисторов, в солнечных батареях, сенсорах, суперконденсаторах, в различных композитных материалах [1].

Активные исследования графена начались в 2004 году благодаря первым экспериментальным подтверждениям его выдающихся электронных свойств. Это стало основной причиной популяризации графена и возникновения повышенного интереса к нему. Графен имеет чрезвычайно высокую плотность электрического тока (в миллион раз больше, чем у меди) и рекордную подвижность носителей зарядов (в 1000 раз больше, чем у кремния) [2]. Уникальность электронных свойств объясняется расположением атомов углерода в графене, которое устроено таким образом, что позволяет его электронам свободно перемещаться с чрезвычайно высокой скоростью без значительной вероятности рассеяния, экономя энергию, обычно теряемую в других проводниках. Атомы углерода имеют в общей сложности шесть электронов: два во внутренней оболочке и четыре во внешней оболочке. Электроны внешней оболочки в отдельном атоме углерода доступны для химической связи. В графене же каждый атом связан с тремя другими атомами углерода в двухмерной плоскости, при этом один электрон остается свободно доступным в третьем измерении для электронной проводимости (рисунок 1).

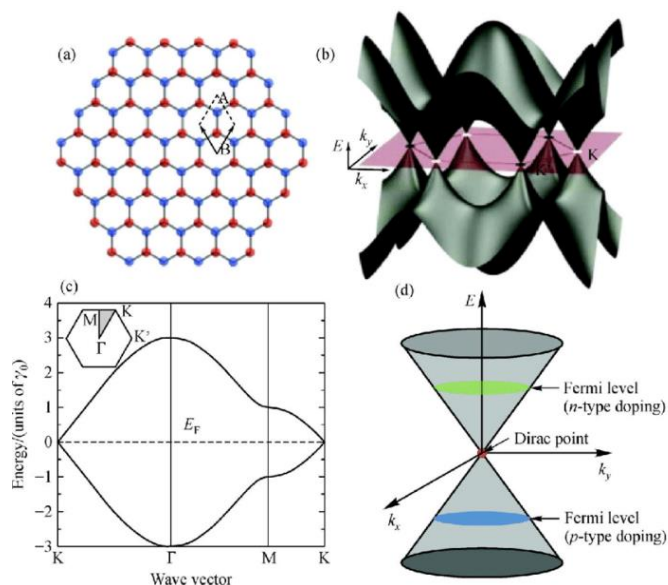


Рисунок 1 – Электронная структура однослойного графена

В результате графен определяют как полупроводник с нулевой запрещенной зоной. Иногда его называют еще полуметаллом. Подвижность носителей зарядов при определённых условиях может равняться более $1000000 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Это означает, что быстродействие электронных устройств, таких как транзистор, можно увеличить в 1000 раз [5].

Разнообразие и высокий уровень механических свойств графена вызваны стабильностью sp^2 -связей, которые образуют гексагональную решетку и противостоят различным деформациям в плоскости. Благодаря sp^2 -гибридизации однослойный графен и плотности углеродных связей длиной $0,142 \text{ нм}$, графен является самым прочным материалом из когда-либо обнаруженных, с пределом прочности на растяжение 130 ГПа . Причина прочности графена заключается в особенностях его межатомных связей, поскольку углерод является самым легким из элементов, имеющих четыре валентных электрона. Четвертый свободный электрон позволяет усиливать три основные связи в кристаллической решетке, в результате расстояние между соседними атомами становится ничтожно мало [3].

Графен способен поглощать довольно большое процентное количество падающего белого света. Это определяется зонной структурой графена и взаимодействием между электромагнитным излучением и фермионами Дирака в листе графена. У графена отсутствует запрещенная зона, а энергия электронов линейно зависит от волнового вектора k , поэтому графен может поглощать свет с любой энергией кванта. Поскольку электроны в графене распространяются с большими скоростями, то их взаимодействие со светом описывается универсальной постоянной тонкой структуры $\alpha = e^2/\hbar c \approx 1/137$. Коэффициент поглощения одного слоя графена равен $\pi\alpha \approx 2,3 \%$. Так, несколько лет назад было доказано, что количество поглощенного белого света основано на константе тонкой структуры, а не определяется спецификой материала. Добавление еще одного слоя графена увеличивает количество поглощаемого белого света примерно на значение $2,3 \%$.

Графен – это чистый углерод. В нем каждая частица доступна для реакции смешения с разных сторон. Частицы на краях листа графена обладают уникальной химической реакционной способностью. В нем наиболее высокая доля краевых атомов. Несмотря на то, что все атомы графена подвергаются воздействию окружающей среды, он является инертным материалом и не вступает в реакцию с другими атомами. Однако графен может «поглощать» различные атомы и молекулы, что может привести к изменению электронных свойств. Графен также может быть функционализирован различными химическими группами, что приводит к получению разнообразных материалов, таких как оксид графена (при взаимодействии с кислородом и гелием) (рисунок 2) или фторированный графен (при взаимодействии с фтором получается фторографен), а модифицирование водородом графена называют графаном [4].

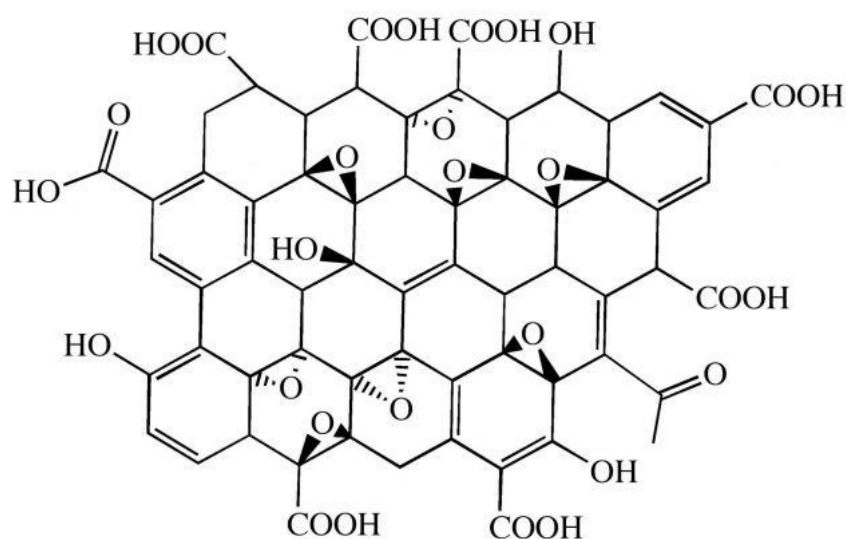


Рисунок 2 – Идеализированная структура оксида графена

Также из графена создаются графеновые нанотрубки, которые можно описать как лист графена толщиной в один атом, свернутый в трубу длиной более 5 мкм, что позволяет улучшить множество характеристик материалов. Графеновые нанотрубки с их исключительными свойствами в сочетании с наномасштабной геометрией делают их почти идеальными материалами для многих областей применения.

Графен обладает уникальным набором свойств: прочный, жесткий, тонкий, гибкий, а также самый электропроводный и теплопроводный материал. Он является непроницаемой мембраной, не пропускающей даже атомы гелия. На сегодняшний день графен представляет собой значимую тему для изучения в различных областях науки.

Список литературы

1. <https://www.rusgraphene.ru/svoystva-grafena>
2. <https://ru.wikipedia.org>
3. http://www.tisnum.ru/research-departments/tg_pdf/Papers/UH83_251.pdf
4. <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrotehnika/raschjoty/grafen/>
5. https://www.uspkhim.ru/php/paper_rus.phtml?journal_id=rc&paper_id=4367