

УДК 608.2

**СОВРЕМЕННЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФЕНА В  
МАШИНОСТРОЕНИИ И ЭЛЕКТРОНИКЕ**

Каличкин К.К. – ученик 10 Б класса МБОУ «СОШ №45»,

слушатель НОЦ доинженерной подготовки ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Научные руководители: В.Н. Немов, ассистент кафедры электропривода и автоматизации ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»;

Л.Д. Урванцева, учитель физики МБОУ «СОШ №45»

г. Кемерово

В современной России практика государственного реформирования социально-экономических институтов нашего общества затронула важнейшую отрасль производства научного технического знания и производственных процессов машиностроения, как отраслей определяющих будущее технико-технологических практик жизнедеятельности общества. Не случайно научное творчество определяет перспективы технологических способов производства современного общества [1, С.175-178; 2, С.245-248; 3, С. 176]. Чем короче путь от изобретения, патента к внедрению опытных образцов, тем более эффективнее совершенствуются технологии машиностроения, приборостроения,.

Передовые технологии исследования физических свойств углерода и его соединений за последние 20 лет окрыли человечеству его новые формы - квазинульмерные 0D-структуры названные фуллеренами, квазиодномерные 1D-структуры в виде нанотрубок и двумерной 2D-аллотропной модификации названные графеном. Именно он и его производные соединения буквально сводят с ума ученых своими много обещающими перспективными свойствами. Простейшую до гениальности методику его получения в 2004 году описали физики Константин Новоселов Андрей Гейм [6], позднее методики стали значительно богаче [9, 10].

Предметом исследования стали физические свойства графена, исследованные с момента его открытия по настоящее время, позволяющее определить перспективные направления применения графена и его производных в энергетике, электронике, медицине, машиностроении.

Свойства графена можно описывать с помощью квантово-полевых уравнений, поэтому методы теоретического исследования локализованы на таких свойствах всех двумерных систем как проводимость, слабая локализация, эффект Холла, анализ кристаллической решетки, закона дисперсии и воздействия магнитного поля.

Сегодня ученые зафиксировали следующие графена: 1. ультратонкость, его толщина может варьироваться в пределах 1 н/м; 2. прочность и гибкость, но при этом демонстрирует прочность на разрыв 42 н/м (в 100 раз прочнее

аналогичной толщины стали) и имеет двумерную гексагональную кристаллическую решётку; 3. **электропроводимость**, материал (выше проводимости меди, в 10 раз выше теплопроводность) максимальная достигнутая подвижность электронов составляет  $2 \cdot 10^5 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ , при этом энергетический спектр электронов в графене имеет вид  $E = \pm \gamma_0 \sqrt{1 + 4 \cos^2 \pi k_y \alpha \cos \pi k_x \sqrt{3} \alpha}$ , носители заряда проявляют себя как

безмассовые фермионы Дирака с эффективной скоростью света (циклотронная масса отлична от 0) согласно линейному закону дисперсии, так же орбитали  $p_z$  атомов углерода гибридизируются, формируя зоны  $\pi$  и  $\pi^*$ ,

в шести точках пересечения которых создает бес щелевой спектр с линейной дисперсией (в полупроводниках закон дисперсии квадратичен) [11]; 4. **Бесцветность, прозрачность**, здесь поглощённый свет в широком интервале не зависит от длины волны, поэтому оптическая проницаемость графена есть  $T_{\text{опт}} = (1 + \pi \alpha/2) - 2 \approx 1 - \pi \alpha \approx 0,977$ , где  $\alpha = e^2/(hc)$  как постоянная тонкой структуры в квантовой электродинамике [12, 13]; 5. **плотность** — 0,77 мг/м<sup>2</sup>; 6. **инертность** к окружающей среде; 7. перспектива управления типом носителей заряда и их концентрацией.

Наблюдаемы такие квантовые эффекты в графене как хиральность и парадокс Клейна, «релятивистский» эффект Холла, баллистический пролёт носителей при комнатной температуре, эффект квантования холловского сопротивления, Эффект Казимира (диэлектрическая проницаемость) и многие другие [14]. Он стал первым материалом, объяснение свойств которого согласно нерелятивистской квантовой механики (уравнение Шрёдингера) физики твёрдого тела, исследователи применяют уравнение Дирака квантовой электродинамики. В графене электроны подвластны законам квантовой электродинамики, с массой покоя равной 0 и подобны релятивистским частицам. Эйнштейновское выражение  $E = mc^2$  справедливо для графена, поскольку скорость Ферми электронов в графене в 300 раз меньше скорости света. Исследователи графена применяют уравнение Вейля — уравнение движения для безмассовой двухкомпонентной частицы со спином  $\frac{1}{2}$ , что позволяет полагать аналогию электронов в графене с нейтрино.

По сути, физики могут исследовать в системе явления твердого тела явления, которые до этого анализировались в физике высоких энергий. Графен анализируется как основа получения новых графитообразных материалов, фуллерена, нанотрубки, графита. С 2010 года активно исследуется графан — гидрогенизированный графен, имеющий высокие диэлектрические свойства.

Перспективные исследования физических свойств графена за последние 15 лет определило основные направления его применения в энергетике, электронике, медицине, машиностроении.

Фуллерены и нанотрубки стали перспективными в применении в солнечной энергетике, поскольку на их основе создаются опытные образцы материала электродов в солнечных батареях [7]. Гибридные структуры на основе графена и графана, позволили создать модели тонких, гибких, но долговечных дисплеев, солнечных батарей, волноводов [17].

Учеными предлагается новая топологическая модель графен-графановой структуры, которая, в перспективе, сможет использоваться в качестве компонента существующих радиоэлектронных устройств [15]. Разрабатываются такие уникальные материалы машиностроения как нанокомпозит  $Al_2O_3$ , полученного методом спарк-плазменного спекания под влиянием добавок 0,5-2 % массы графена [14]. Гибридный композиционный материал Al-A<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-графен ученые характеризуют как перспективный материал для ультратонких проводов и конструкционный материал для авиакосмической и судостроительной промышленности [8].

Работы исследователей графена во многом раскрывают фундаментальные аспекты молекулярной физики. Графен выступил основой объяснения своих свойств на основаниях физики твёрдого тела с применением нерелятивистской квантовой механики (уравнение Шрёдингера) и квантовой электродинамики (уравнение Дирака). Последняя с анализом графена становится прикладной наукой. Это открытие определило графен одной из самых актуальных тем современной физики. Удивительным стало даже не то, что графен является двумерным кристаллом, ведь такие молекулы ранее не были известны и даже считалось, что они не могут существовать в свободном состоянии (Ландау и Пайерлс). Электроны в графене подчиняются законам квантовой электродинамики, имеют нулевую массу покоя и подобны релятивистским частицам. Для них справедливо выражение  $E = mc^2$  (роль скорости света в графене играет скорость Ферми электронов, которая в 300 раз меньше скорости света). Применимо и уравнение Вейля — уравнение движения для безмассовой описываемой двухкомпонентным спинором частицы со спином  $1/2$ . Даже заговорили об аналогии электронов в графене с нейтрино, понимая, что нейтрино не имеют заряда, а электроны в графене являются строго двумерной системой. Впервые физики получили возможность изучать в твердотельной системе явления, которые рассматриваются в физике высоких энергий.

Вышеуказанные исследованные физические свойства графена во многом определяют современное состояние проблемы создания новых материалов и технологий производства прочных композитных материалов для машиностроения и высоко-проводимых диэлектриков для радиоэлектроники, биосовместимых сплавов металл-графена в области имплантологии, позволяют юным исследователям познакомиться с перспективными современными направлениями молекулярной физики, имеющей мировое значение. Прогнозирование новых путей научного поиска позволяет молодым физикам определиться с областью их будущего профессионального интереса, выбрать те направления актуальнейших задач физико-математических наук,

решение которых изменит наше ближайшее будущее и сделает мечты о полетах в глубокий космос ближе к реальному достижению.

Однако, не смотря на перспективность внедрения новых разработок в отечественном машиностроении можно выделить только единицы производителей способных решиться на внедрение инноваций и технических инженерных решений, не принадлежащих самому производителю, то становится вполне ясно что инженерные разработки наших отечественных ученых так и останутся только конструкторскими идеями.

Необходима государственная поддержка развития отечественной инженерной мысли. Решение этого вопроса требует не только анализа проблем внедрения инженерных разработок, но и механизма налоговой, финансовой и информационной поддержки внедрения отечественных инноваций.

### Список литературы:

1. Грицкевич Т.И. Реформы в преобразовательных процессах общества (социально-философский анализ) / Т. И. Грицкевич; Федеральное агентство по образованию Российской Федерации, Кемеровский гос. ун-т, Каф. философии, Новосибирский гос. ун-т, Философский факультет. Кемерово, 2007.
2. Грицкевич Т.И. Реформационный процесс: структура и динамика / Т.И. Грицкевич; Кемеровский государственный университет. – Кемерово, 2014. 308с.
3. Грицкевич. От реформ к инновационно-ориентированной экономике: тенденции перехода индустриального общества в постиндустриальное //Этносоциум и межнациональная культура. 2009. № 4 (20). С. 174-186.
4. Грицкевич Т.И. Технологии управления реформированием региональной властью в формировании инновационного бизнеса в Кузбассе // В сборнике: Информационные технологии в экономике, образовании и бизнесе. Издательство: Общество с ограниченной ответственностью "Центр профессионального менеджмента "Академия Бизнеса" (Саратов). 2013. С. 36-39.
5. Грицкевич Т.И. Реформационный процесс как субъект-объектное взаимодействие. автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора философских наук / Институт философии и права. Новосибирск, 2010.
6. Antonov V.E., Bashkin I.O., Bazhenov A.V., Bulychev B.M., Fedotov V.K., Fursova T.N., Kolesnikov A.I., Kulakov V.I., Lukashev, R.V., Matveev D.V., Sakharov M.K., Shulga Y.M. Multilayer graphane synthesized under high hydrogen pressure // Carbon. 2016. V.100. P. 465–473.

7. Елецкий А.В., Зицерман В.Ю., Кобзев Г.А. Графен в солнечной энергетике //Российские нанотехнологии. Т.10. №3-4. 2015. С.16-25.
8. Елшина Л.А., Мурадымов Р.В., Квашничев А.Г., Вичужанин Д.И., Молчанова Н.Г., Панкратов А.А. Синтез новых металломатричных композитных материалов Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ГРАФЕН // Расплавы. 2017. № 3. С. 185-200.
9. Jones J.D., Mahajan K.K., Williams W.H., Ecton P.A., Mo Y., Perez J.M. Formation of graphane and partially hydrogenated graphene by electron irradiation of adsorbates on graphene // Carbon. 2010. V. 48. P. 2335–2340.
10. Zou W., Yu Z., Zhang C.X., Zhong J.X., Sun L.Z. Transport properties of hybrid graphene/graphane nanoribbons // Applied Physics Letters. 2012. V.100. P.103109.
11. Castro Neto A. H., Guinea F., Peres N. M. R., Novoselov K. S., Geim A.K. The electronic properties of graphene // Rev. Mod. Phys. 2009. Vol. 81. P. 109—162. DOI:10.1103/RevModPhys.81.109. ArXiv: 0709.1163.
12. Kuzmenko A.B., van Heumen E., Carbone F. et al. Universal dynamical conductance in graphite // PhRL, 2008. Nair R.R., Blake P., Grigorenko A.N. et al. Fine Structure Constant Defines Visual Transparency of Graphene // Science, 2008.
13. Nair R.R., Blake P., Grigorenko A.N. et al. Fine Structure Constant Defines Visual Transparency of Graphene // Science, 2008.
14. Warner J.H., Schaffel F., Rummel M. et al. Graphene: fundamentals and emergent. Elsevier Inc. 2013.
15. Глухова О.Е., Шунаев В.В., Слепченков М.М., Накрап И.А., Панова Н.А. Новая гибридная структура графен-графан как перспективный компонент для приборов радиоэлектроники //Нанотехнологии: разработка, применение - XXI век. 2017. Т. 9. № 3. С. 48-52.
16. Жолнин А.Г., Кляцкина Е.А., Григорьев Е.Г., Сальвадор М.Д., Мисоченко А.А., Доброхотов П.Л., Исаенкова М.Г., Синайский М.А., Столяров В.В. Спarks-плазменное спекание нанокомпозита Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ГРАФЕН //Физика и химия обработки материалов. 2017. № 4. С. 47-54.
17. <https://hi-news.ru/tag/gibkie-displei> Электронный ресурс дата обращения 26.02.2018.