ГРАФЕН - БЛАГАЯ ВЕСТЬ ДЛЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ 21 ВЕКА

Губин С. П.

Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова, Российская академия наук, http://igic.ras. ru
117901 Москва, Российская Федерация

Поступила в редакцию 25.11.2015

Приводится текст выступления, закрывающего Первую Российскую конференцию по графену "Графен – молекула и 2D-кристалл", прошедшую в сентябре 2015 года в Академгородке г. Новосибирска (Россия). Приведена оценка места графена в решении современных проблем научно-технического прогресса. Приведены также критерии, которые лишают так называемый "закон Мура" оснований для применения. Высказывается предположение о графене, как единственном, на настоящий момент, материале для посткремниевой электроники. Показана реальность создания биочипов на основе графена.

Ключевые слова: **технологический уклад, графен, полностью углеродная наноэлектроника, биочипы**

УДК 547.022.1/.4

Содержание

1. **Шестой технологический уклад (131)**
2. **Благая весть для науки и техники 21 века (132)**
3. **"Закон" Мура и посткремниевая электроника (132)**
4. **Искусственный интеллект (133)**
5. **Заключение (134)**

Литература (134)

1. ШЕСТОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УКЛАД

Одна из самых распространенных парадигм развития мировой экономики – циклическое ее развитие и связанные с его циклами так называемые технологические уклады – совокупность прорывных технологий, формирующих новые секторы экономики. В области исследований динамики научно-технического прогресса сформировалось представление о шести технологических укладах, имеющих место в его развитии. Первый уклад датируют 18-ым веком с его первой промышленной революцией в текстильном производстве, второй уклад – эпоха паровых машин 19-го века, преобразовавших судоходство, угледобычу, породив железные дороги; третий технологический уклад с его второй промышленной революцией на исходе века 19 – эпохой стали; четвертый уклад – с его двигателями внутреннего сгорания, проводным телефоном, автомобиле- и самолетостроением, нефтехимией до 70-х годов века 20-го; пятый уклад 70-х годов 20-го – первых лет 21-го века с его научно-технической революцией – эпохой компьютеров и телекоммуникаций, биотехнологий, новых видов энергии и материалов, космосом и связью. Наконец, шестой технологический уклад принято датировать началом 10-х годов нашего века и связывать с нанотехнологиями и конвергенцией нано-, био-, инфо- и когнитивных технологий [1]. И ключевым фактором здесь является, по моему мнению, графен и графеноподобные материалы. Шестой технологический уклад – это век углерода.

Рис. 1. *Заключительное выступление на конференции.*

2. БЛАГАЯ ВЕСТЬ

Век углерода безусловно наступит. Вопрос состоит только в том: насколько это возможно сейчас? И есть ли надежда?

Не мы первые и не мы последние задаем такой вопрос. Он навевает следующую аналогию. Из библейской мифологии хорошо известно, что после всемирного потопа Ной, старый Ной, которому было 600 с чем-то лет, собравший в своем ковчеге каждой твари по паре, задавался таким же вопросом [2]. Я привожу здесь (**рис. 2**) иллюстрацию французского художника Гюстава Дорэ, который, прожив всего 51 год, нарисовал более 30 тысяч гравюр и рисунков на библейские темы, изобразив все библейские легенды. От моего прадеда у меня сохранилась старая библия огромной толщины, где через каждые две страницы идут иллюстрации Дорэ. И еще не умея читать, я перелистывал со своей бабушкой эту библию и в голове откладывались эти библейские художественные образы. Так вот Ной, чтобы знать, что же делать дальше: вода сошла, ковчег стоит на мели возле горы Арарат, – а есть ли жизнь, есть ли условия для жизни, можно ли жить дальше, есть ли надежда – он выпускает голубя. Голубь вылетел, какое-то время летал и наконец вернулся, держа в клюве зеленую веточку оливы. Это и была Благая Весть о жизни вне ковчега. И вот (**рис. 3**) мне кажется, что графен – это как раз такая Благая Весть.

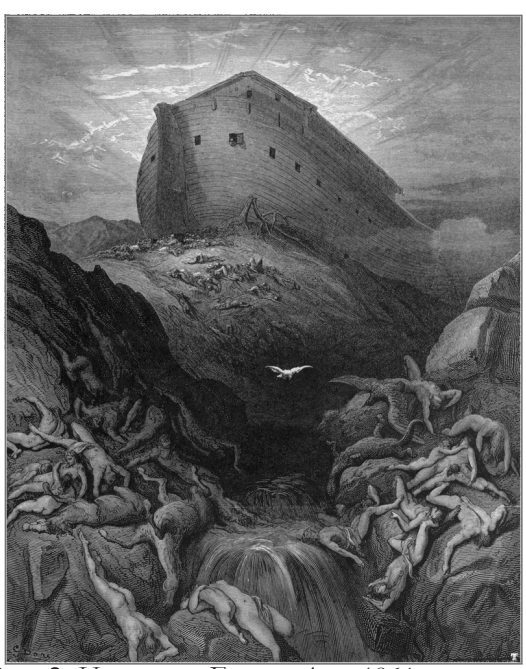

Рис. 2. *Ноев ковчег, Гюстав Дорэ, 1864.*

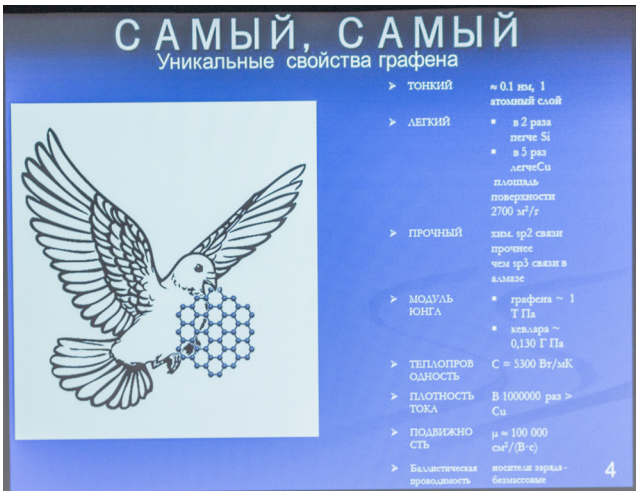

Рис. 3. *Благая Весть для науки и техники 21 века.*

3. «ЗАКОН» МУРА И ПОСТКРЕМНИЕВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Через меня много всякой литературы, сведений, данных проходит, и я разделил все это на две неравные части. Первую часть назвал коротко «Тупики» – которые удалось или удастся разрешить с помощью графена. Вторую – «Неожиданности», т.е. то, что нельзя было предположить, вопросы, которые вообще нельзя было поставить некоторое время тому назад. И как только был открыт графен, как только свойства его были найдены, эти неожиданности сразу посыпались как из рога изобилия.

Если говорить о тупиках, то конечно здесь самый главный тупик, это информационный, тупик, связанный с нереализацией отдельных элементов. Уже которое десятилетие нас будоражит некое утверждение, которое у нас неправильно называют законом Мура [3]. Никакой это не закон, это просто эмпирическое правило, человек положил три точки на одну прямую и продолжил, проэкстраполировал ее во времени (**рис. 4**). Тут, собственно, никакого особого закона нет. Этот так называемый закон Мура не соблюдается и не будет соблюдаться, когда мы подойдем к размерам, меньшим 20 нм.

Дело в том, что те специалисты, которые работали в области физики и химии наночастиц – а это направление довольно интенсивно развивалось вот уже лет 20-25-30, оно и сейчас развивается – мы совершенно отчетливо понимаем и знаем, что при размерах частиц 20 нм существенно, принципиально меняются многие физико-химические параметры и закономерности. Ну, например, у наночастицы

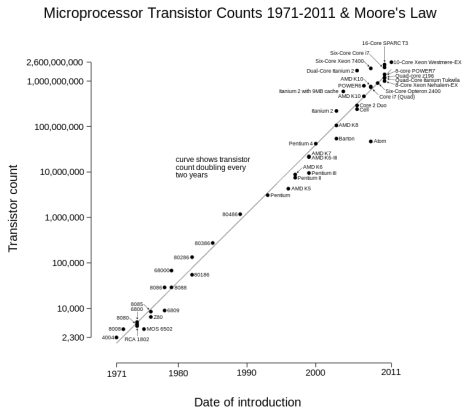

Рис. 4. *Зависимость числа транзисторов на процессоре от времени. По вертикальной оси - логарифмическая шкала, то есть прямая линия соответствует экспоненциальному закону — количество транзисторов удваивается примерно каждые 2 года.*

золота в 10 нм появляется запрещенная зона. Вы меня простите, это металл, у которого имеется вполне определенная запрещенная зона. И наоборот, наночастицы кремния, ширина запрещенной зоны которого возрастает в 3.5 раза при уменьшении размеров частиц до 5-6 нм.

Температура плавления такого рода частиц, металлических, например, которые используются в металлических проводниках, контактах, в неисчислимых количествах присутствующих в больших электронных схемах, чипах, и т.д., и т.д., – эта температура плавления резко падает, когда вы начинаете их уменьшать до наноразмеров, размеров 20 нм и меньше.

На нашей конференции Сергей Викторович Ткачев из АкКоЛаба (ВНИИАлмаз, Москва) рассказывал про те полосочки, которые мы делаем из наночастиц серебра. Так вот серебро в этих полосочках плавится при 100-120°*C*, тогда как температура плавления серебра гораздо выше. Золото, у которого температура плавления 1300°*C*, плавится в виде наночастиц ниже 400° [4], и т.д.

А так как на сегодняшних интегральных схемах большое число элементов имеет очень плотное расположение, то в них возникают высокие температуры и, соответственно, выделяется большое количество тепла. Соответственно идет оплывание контактов, они перестают иметь ту морфологию, которая им задана, которая рисуется на большинстве схем и т.д. Резко очерченных граней уже не существует. А что это означает? Это означает то, что они начинают сливаться, они начинают уплощаться до монослоя, и вы теряете там на контактах очень много – заряд и все остальное. И решить эту проблему непосредственно, перейти при существующей планарной технологии на размеры, меньшие 20 нм, мое глубокое убеждение, не удастся.

Надо искать новые пути. А новые пути можно искать только на других материалах. Раз сформулирован вопрос, то на него должен быть ответ. Вопрос сформулирован так: что будет после кремниевой электроники? Ясно, что это будет не нитрид галлия, не арсенид галлия, ясно, что это будут не алмазные пленки, хотя у каждого из этих материалов есть свои интересные преимущества, есть интересные свойства, и т.д., и т.д. Но ведь это не решение вопроса. И только графен и его разновидности, разного рода производные графена позволят нам, по-видимому, решить этот вопрос.

4. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Это также проблема, связанная с шестым технологическим укладом. Я далек от мысли рассуждать здесь об информационно-, нейро- и всякой другой части этой проблемы. Меня опять же интересует материальная сторона этого дела. Самое первое и самое реальное, что делается и может быть сделано – создать симбиоз человека и компьютера, человеческий мозг-компьютер, такой интерфейс. Но как это сделать? Для этого в живой организм должен быть вживлен некий чип.

Первая проблема здесь – поблема совместимости, она сейчас стоит чрезвычайно остро. Те кремниевые чипы, которые делаются сегодня, многочисленные, для разных задач, для разных целей, они, во-первых, болезненны при введении их в человеческий организм, а во-вторых, они очень быстро отторгаются. Почему? Организм, его клеточные системы имеют свойство отторгать любой чужеродный

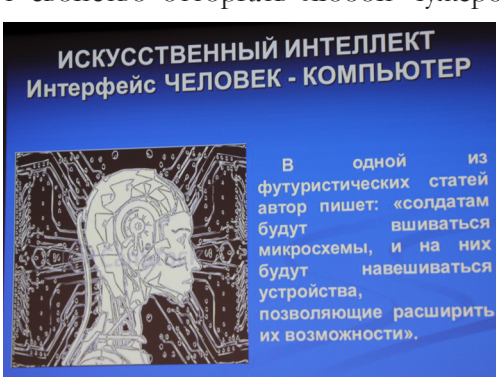

Рис. 5. *Интерфейс "человек-компьютер"*

Рис. 6. *Чешуйка графена в окружении лигандов.*

предмет, который пытается втиснуться, войти в их структуру.

С этой точки зрения графен – это материал, который мы можем модифицировать до обретения им свойств, присущих живым тканям. И это не фантазия. То, что перечислено на **рис. 6**, на тех или иных примерах уже осуществлено. Вы можете взять чешуйку графена и покрыть ее теми лигандами, которые для биологических систем, для клетки не посторонние, они близки им и по составу, и по функциям. При этом, конечно, какие-то электрофизические и другие свойства графеновой пластины изменятся. Но это можно контролировать, мы знаем, что мы делаем, мы можем взять вот эту аминокислоту и получить вот такие значения, мы можем взять другую аминокислоту или другой белковый фрагмент и получить вот такие-то характеристики. Это управляемый процесс.

Ничего подобного с кремниевой пластиной вы делать не можете в принципе. Вы не можете к нему привязывать химически все эти группировки и, стало быть, это – тупик. А с графеном проблема эта может быть решена.

Но это не значит, что сегодня у нас есть окончательное решение. Это лишь направление, которое на мой взгляд реально. А трудностей будет много, и многие вещи здесь нужно еще делать.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как Благая Весть дарует спасение, надежду на жизнь, силу переносить все ее тяготы, так графен дарует человечеству в начале 21-го века спасительное решение ключевых проблем электроники – одной из базовых элементов современной экономики. И наше служение графену дарует нам сознание пребывания на пике современного естествознания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Львов ДС, Глазьев СЮ. Теоретические и прикладные аспекты управления НТП. *Экономика и математические методы.* 1986, 5:793-804.
2. Библия. *Бытие 6:13-8:19.* Москва, Российское библейское общество, 2011.
3. Moore GE. No Exponential is Forever: But “Forever” Can Be Delayed! *International Solid-State Circuits Conference* (ISSCC), 2003.
4. Ткачев СВ, Буслаева ЕЮ, Губин СП. Графен, полученный восстановлением оксида графена сверхкритическим изопропанолом. *Тезисы Первой российской конференции "Графен - молекула и 2D-кристалл",* Новосибирск, ИНХ СО РАН, 2015, с. 170.

Губин Сергей Павлович
д.х.н., проф., действительный член РАЕН
ИОНХ им. Н.С.Курнакова РАН
31, Ленинский просп., 117901 Москва, Россия
gubin@igic.ras.ru

GRAPHENE – GOOD NEWS FOR THE SCIENCE AND TECHNOLOGY OF THE 21ST CENTURY

Sergey P. Gubin

Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry, Russian Academy of Sciences, http://www.igic.ras.ru
31, Leninsky prosp., 117991 Moscow, Russian Federation
gubin@igic.ras.ru

Abstract. **The text of the speech, closes the first Russian conference on graphene "Graphene - a molecule and 2D-crystal", held in September 2015 in Akademgorodok, Novosibirsk (Russia) is presented. The assessment of the place of graphene in addressing contemporary issues of scientific and technical progress is presented. It presents the criteria that deny the so-called "Moore's Law" grounds for the application. The assumption of graphene as a single at the moment, postkremnievoy material for electronics is suggested. It is shown that the reality of the creation of biochips based on graphene.**

Keywords: **technological structure, graphene, completely carbon nanoelectronics, biochips**

PACS: 51.05.ue

Bibliography – 4 references *Received 25.11.2015*

RENSIT, 2015, 7(2):131-134 **DOI: 10.17725/rensit.2015.07.131**