

IT-байки: Искусственная ДНК - кандидат на замену кремнию?

Автор: Владимир Романченко

Дата: 11/01/2009

Одна из любимейших тем предсказания будущего у IT-аналитиков в последнее время – это накаркивание скорого конца *классических* кремниевых полупроводников и прогнозы того, что та или другая нанотехнология вовремя подхватит пошатнувшееся знамя передовой электроники и поведёт нас за собой в светлое будущее. Поверьте на слово человеку, который внимательно следит за чужими прогнозами и сам время от времени не прочь что-нибудь накаркать.

Ряду передовых компаний уже удалось получить первые образцы кремниевых полупроводников с нормами 32-нм техпроцесса. В профильной периодике всё чаще обсуждаются перспективы перехода на 22-нм нормы. Два, три, от силы четыре поколения техпроцессов, и "кремниевые" технологии упрутся в физические ограничения материалов на уровне молекул и атомов. Когда это произойдёт – к 2015 году, к 2020, а может ещё раньше? Толком этого ещё никто не знает. Зато для наших читателей у меня припасена парочка любопытных материалов на эту тему, и могу точно пообещать: в одной из ближайших "баек" мы с вами если не выясним точную дату смерти кремниевых полупроводников, то хотя бы оценим порядок этой даты, разберёмся с причинами и попробуем "прикинуть" основные этапы пути до Великого Кремниевого Конца.

Однако сегодня речь не об этом. Несмотря на то, что сегодня классические полупроводники хоронить ещё ой как рано, учёные в сотнях лабораторий по всему миру упорно продолжают поиски адекватной замены кремнию.

Основной претендент на звание "наследника кремния" на сегодняшний момент – это, безусловно, наноструктуры на основе углерода. Все эти фуллерены, углеродные нанотрубки, наноспираль, нанопровода и прочие наноуглероды – превосходный строительный материал с удивительными свойствами полупроводников будущего.

Однако в последнее время у нанотрубок на основе углерода появляются достаточно мощные конкуренты, и одним из наиболее грозных можно назвать нанотрубки на основе ДНК. Не факт, что именно эта технология станет в будущем лидером, вполне возможно, что внедрение полупроводников на основе углеродных и ДНК-нанотрубок будет идти рука об руку. И всё же у технологий на основе ДНК-нанотрубок шансы весьма высоки – особенно с учётом повышенного интереса, демонстрируемого многими учёными коллективами к изучению их свойств, и успехами, уже достигнутыми на этом поприще.

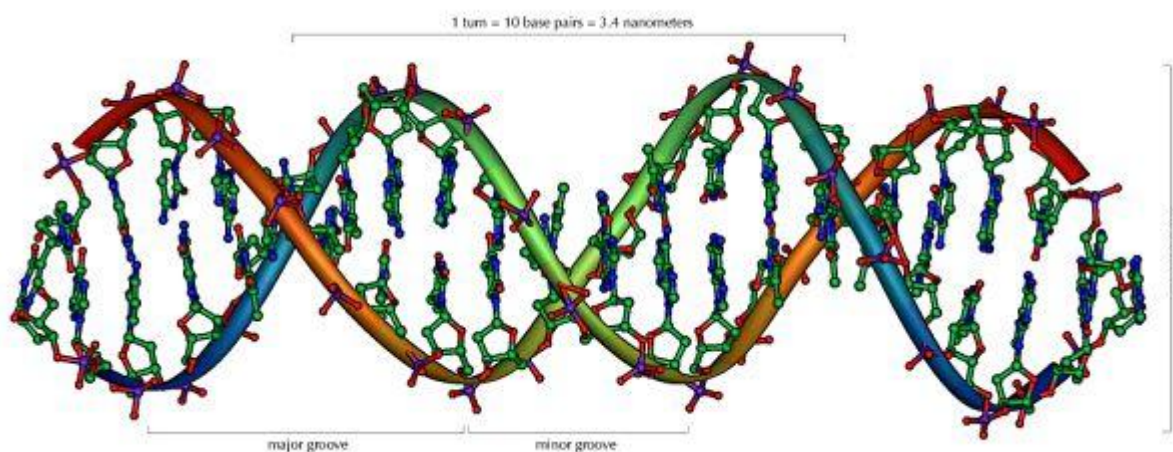
В частности, многие учёные уверены, что на основе структур из ДНК-нанотрубок, конструируемых непосредственно на молекулярном уровне, в ближайшем будущем можно будет производить в массовом порядке гибкие полупроводниковые структуры для фотометрии, фотоэлектрической энергетики, выпуска гибких сенсорных дисплеев, уникальных биомедицинских устройств и многого другого.

Дело, как говорится, за малым: научиться производить подходящие структуры ДНК и формировать из этих ДНК-нанотрубок что-либо пригодное для коммерческого применения. Об этом сегодня и поговорим.

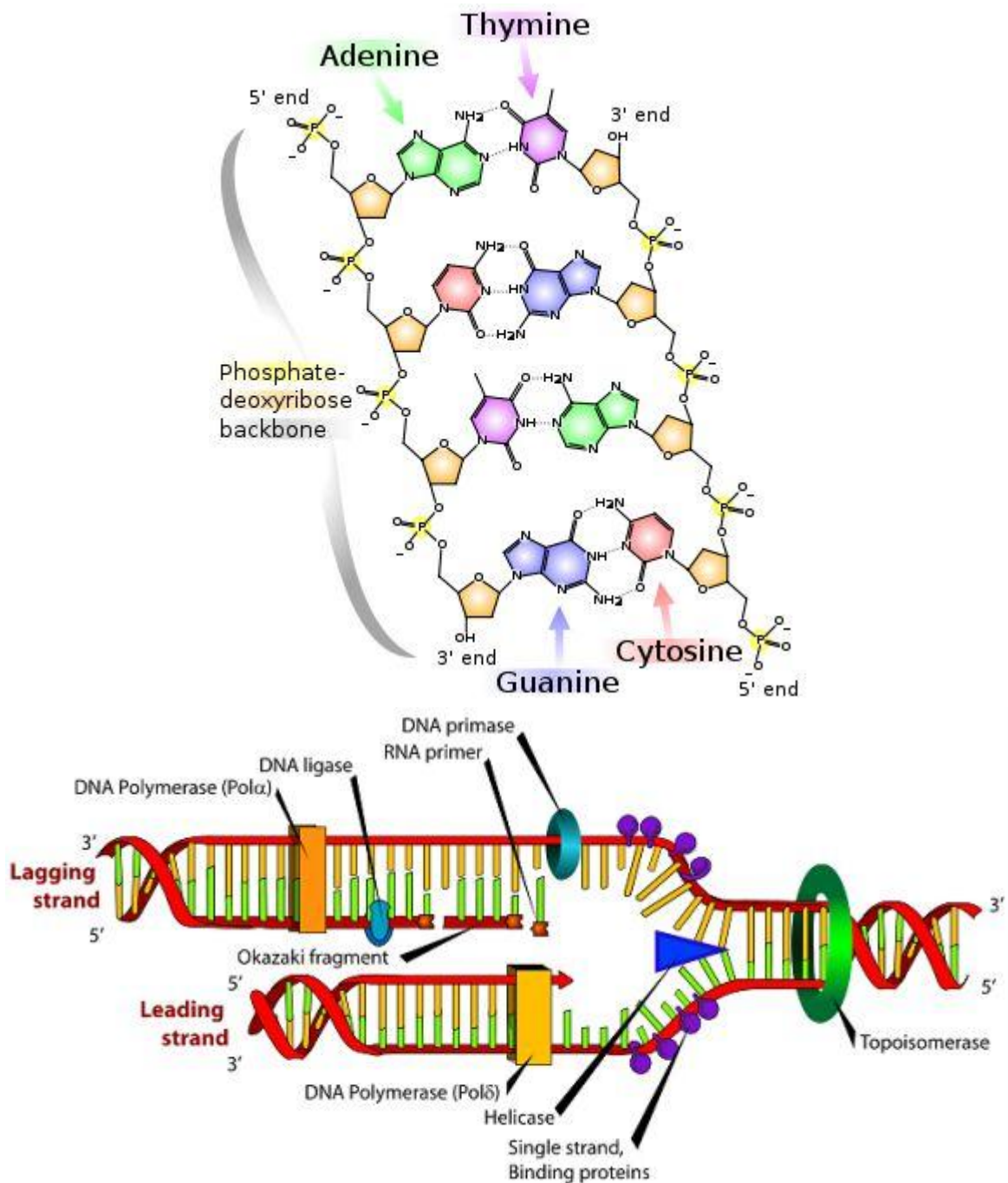
Для начала - небольшая разминка: тем, кто уже прогулял, ещё не посетал или успешно забыл уроки органической химии - небольшой ликбез на тему ДНК. Все остальные врезку могут успешно пропустить.

По своей сути, **Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК)** представляет собой нуклеиновую кислоту, содержащую генетическую информацию о развитии и функционировании всех известных типов живых организмов и некоторых типов вирусов. Ключевая роль молекул ДНК сводится к постоянному хранению ключевой информации о живом организме, именно поэтому их часто сравнивают с комплектом строительных планов, или набором команд и инструкций для сборки остальных компонентов живой клетки, белков и молекул рибонуклеиновой кислоты (РНК).

Сегменты ДНК, содержащие генетическую информацию, называют генами. Впрочем, остальные элементы ДНК важны не меньше генов, ибо именно они ответственны за процесс использования генетической информации.



Химически, ДНК – это две длинные полимерные цепочки – полинуклеотиды, скомпонованные из простых повторяющихся "строительных модулей" - нуклеотидов. В основе нуклеотидов – дезоксирибозы и фосфатные группы, скреплённые сложными эфирами. Большинство ДНК состоит из двух спиралей, закрученных относительно друг друга в противоположных направлениях, при этом азотистые основания, которыми спирали ориентированы друг к другу, бывают четырёх базовых типов - аденин, гуанин, тимин и цитозин. Последовательность этих четырёх азотистых оснований по всей длине основания молекулы и является информацией, закодированной в ДНК. Информация считывается с помощью генетического кода, определяющего последовательность аминокислот в белках. Код считывается копированием всей длины ДНК в соответствующую нуклеиновую кислоту - РНК, а сам процесс считывания генетического кода также иногда называют транскрипцией.



Внутри клеток ДНК организуется в хромосомы, которые дублируются перед делением клеток, а процесс называется репликацией ДНК. В хромосомах ДНК содержатся и организуются с помощью хроматиновых белков класса гистонов. Эти структуры, помогающие контролировать процесс транскрибирования ДНК, ответственны за взаимодействие между ДНК и другими белками.

Раскапывать интересные подробности о строении и принципе "размножения" ДНК можно бесконечно долго, однако в рамках этой статьи нас прежде всего интересуют два факта – способность ДНК хранить огромные фрагменты "программного кода" и гибкая способность к созданию различных форм. Именно эти особенности ДНК нынче пытаются воспроизвести учёные в своих экспериментах.

В статье, опубликованной в первом январском выпуске журнала Science за 2009 год, учёные Хао Ян (Hao Yan) и Ян Лю (Yan Liu) из Института биодизайна (Biodesign Institute) при кафедре химии и биохимии (при Department of Chemistry and Biochemistry) Государственного университета Аризоны (Arizona State University) рассказали об открытом ими способе получения трёхмерных ДНК-подобных структур из нанотрубок, наноколец и наноспиралей. Исследователи нашли способ сборки сложных наноструктур на базе молекулы ДНК – универсального строительного материала с практически безграничным конструктивным потенциалом. Именно эти ДНК-нанотрубки и другие синтетические наноструктуры в ближайшем будущем могут стать основой нового поколения ультракомпактной электроники, а также наноструктурной фармацевтики и биомедицинской техники.

В своём исследовании учёные обратились за подсказкой к богатейшему кладезю знаний – природе. В частности, исследователи обратили внимание на тот факт, что даже простейшие океанические одноклеточные водоросли диатомеи содержат белковые самосборные структуры, включающие в себя как органические, так и неорганические материалы. В предыдущих работах по ДНК-подобным наноструктурам учёные уже продемонстрировали возможность формирования самосборных наноструктурных платформ, или "плиток", из ДНК-подобных элементов. Далее из разнообразных "плиток" можно конструировать массивы "мозаик" с различными свойствами.

В своей статье учёные описывают эксперименты по разрешению фундаментальной задачи нанотехнологии и современного материаловедения - конструированию молекулярных трёхмерных форм. Для этого исследователи использовали наночастицы золота, размещённые вблизи одноцепочечной ДНК, которая "принуждала" гибкие молекулярные массивы скручиваться в замкнутые петли, пружинистые спирали или кольца диаметром от 30 до 180 нанометров.

Наночастицы золота в этом случае выполняли роль своеобразного "скручивателя" ДНК, производя силу под названием "пространственное (стерическое) препятствие", а величина этой силы напрямую зависела от размера наночастицы золота. Именно благодаря силе "пространственного препятствия" учёным из Университета Аризоны впервые удалось наладить процесс скручивания "нанотрубок" ДНК в закрытые кольца с высоким процентом выхода завершённых колец.

При проведении экспериментов выяснилось, что использование наночастиц золота диаметром 5 нм, воздействие силы стерического препятствия на ДНК оказывается более мягким, и в результате ДНК скручиваются и объединяются в комплементарные, расположенные рядом сегменты, формирующие зачастую помимо замкнутых колец спирали различного диаметра. Воздействие наночастиц золота диаметром 10 нм, в свою очередь, создаёт большую силу пространственного препятствия, что приводит к более плотному закручиванию и производству преимущественно закрытых колец. По мнению учёных, наночастицы золота принимают участие не только в процессе "самосборки" скрученных структур, но также являются активным веществом, "побуждающим" и "направляющим" процесс формирования наноструктур.

Для отображения получаемых в результате экспериментов 3-мерных архитектур на основе ДНК-нанотрубок учёные применяют технику электронной криотомографии. Для этого образцы мгновенно замораживаются в стеклообразном агенте, что позволяет сохранить естественную структуру образца. Изображения, получаемые затем под различными углами, позволяют реконструировать трёхмерную наноструктуру, а отчётливая

виртуализация получается благодаря достаточно высокой концентрации электронов в наночастицах золота.

На видео, представленном ниже, отчётливо видны 3-мерные структуры спирали из ДНК-нанотрубок, образующиеся благодаря 5-нм золотой наночастице.

[Golden 3-D DNA Nanotubes from Biodesign Institute on Vimeo.](#)

На следующем видео представлен результат экспериментов с 10-нм наночастицами золота, при этом нанотрубки ДНК формируют ветвящуюся разделяющуюся структуру - спиральная трубка разделяется на два "столбика" колец.

[Branching Out from Biodesign Institute on Vimeo.](#)

Наконец - пожалуй, наиболее интересное видео, где трубки, сформированные с использованием и 5-нм (зелёный цвет) и 10-нм (жёлтый цвет) наночастиц золота располагаются на противоположных поверхностях ДНК.

[Both sides now from Biodesign Institute on Vimeo.](#)

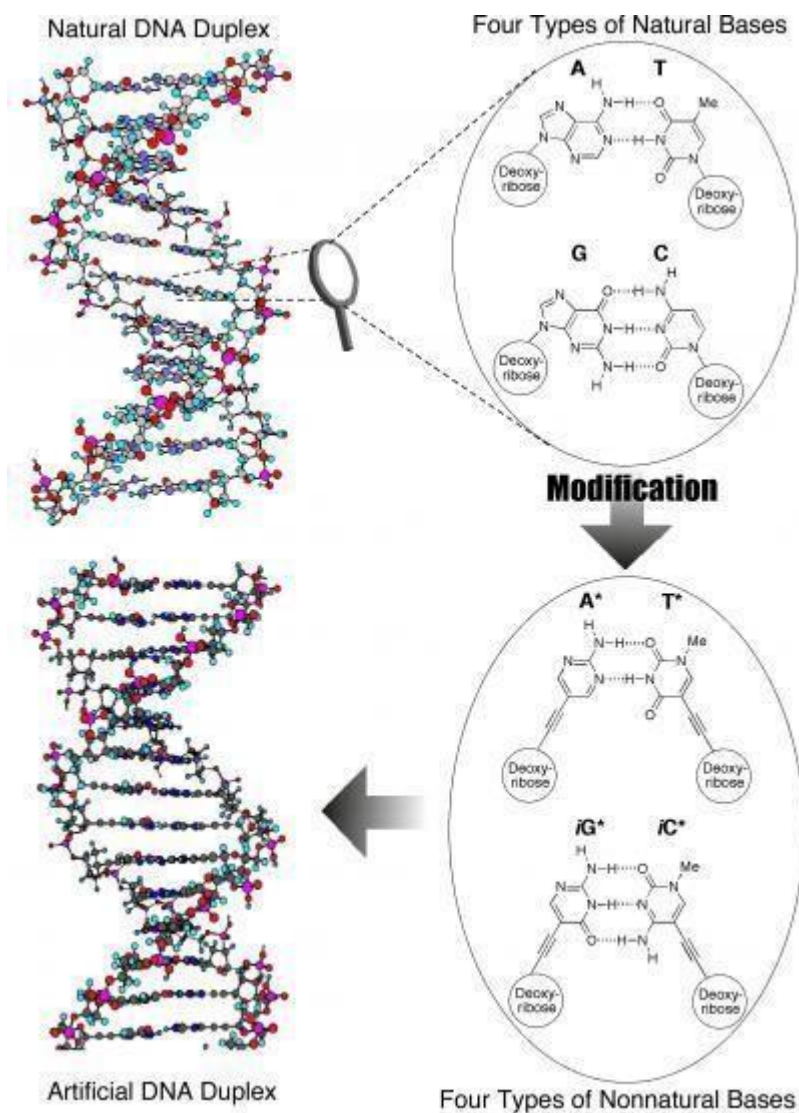
Основным результатом, полученным в ходе экспериментов, учёные считают возможность массового параллельного производства миллионов и миллиардов "копий" 3-мерных наноструктур с заданными свойствами. По их мнению, трубчатые наноструктуры, удерживаемые наночастицами, могут найти применение в самых разнообразных наноэлектронных устройствах. Как один из наиболее наглядных примеров применения таких структур исследователи приводят пример возможного конструирования многоканальных электронных устройств для межклеточных коммуникаций.

Чтобы сегодняшний рассказ о практической возможности формирования 3-мерных структур на основе ДНК не показался вам слишком уж оторванным от реальности и близких перспектив коммерческого использования, приведу ещё один интересный пример удачных экспериментов в области ДНК. Дело в том, что в прошлом году японские учёные-химики объявили о небывалом прорыве – им впервые в мире удалось синтезировать молекулу ДНК почти полностью из искусственных компонентов.

В своём исследовании под названием "Artificial DNA Made Exclusively of Nonnatural C-Nucleosides with Four Types of Nonnatural Bases" в журнале American Chemical Society группа учёных под руководством Масахико Иноуэ (Masahiko Inouye) поделилась результатами конструирования ДНК из оснований всех четырёх типов - аденина, гуанина, тимина и цитозина, искусственного происхождения.

Именно разнообразие сочетаний четырёх базовых типов, "кодирующих" разнообразие белков, формирует генетические различия живых форм. До сих пор все эксперименты учёных шли не далее изготовления молекул ДНК с применением одного или нескольких искусственных компонентов. Японские учёные, благодаря использованию высокотехнологичного оборудования для синтеза ДНК смогли объединить вместе все четыре искусственных базовых элемента на основании дезоксирибозы молекулы ДНК. В

результате получилась неожиданно стабильная двухспиральная структура, похожая на натуральную ДНК. Как и натуральная ДНК, полученная искусственная структура имела правовинтовую структуру и некоторые трёхрядные подструктуры.



Статья, кстати, находится в полностью бесплатном доступе по адресу 8762 DOI: [10.1021/ja801058h](https://doi.org/10.1021/ja801058h), очень интересный материал для владеющих английским, однако нам в рамках этой публикации более всего интересна мораль той статьи: современные химики, пока в лабораториях – на перспективу на конвейерах, в состоянии создавать стабильные структуры ДНК с заранее заданными свойствами, что открывает безграничные возможности для конструирования биотехнических наноматериалов и практических приложений.

Одни научились создавать ДНК, другие – скручивать их хоть в бараний рог. Придут третьи и научатся делать из этого материала всё что угодно – материалы для генной терапии, наноконьютеры, вплоть до блуждающих биороботов.

И всё же вернёмся к вопросу из начала статьи. Кто станет победителем в схватке за звание "Полупроводник будущего", кто придёт на замену кремнию? Станут ими углеродные

нанотрубки или спирали из ДНК? А может быть электроника будущего будет вся сплошь фотонная, или того круче – органическая? Или уж прилетят наконец-то злые роботы из другой галактики и откроют нам тайны термояда, левитации, антигравитации, чтения мыслей на расстоянии и забытый бабушкин рецепт изготовления малинового варенья?

Поживём – увидим. А пока что лишь одно можно сказать с большой долей вероятности: кто сможет первым превратить лабораторные эксперименты учёных в массовый конвейерный продукт – того и тапки.

Ссылки по теме:

- [Arizona State University \(ASU\)](#)
- [Wikipedia](#)
- [Science Daily](#)