

IT-байки: наномир вторгается в микросхемы

Автор: Владимир Романченко

Дата: 29/06/2008

Как только человечество добралось в познании Вселенной до границ наномира и попробовало "копнуть глубже", выяснилось в общем-то банальное обстоятельство: придумать какое-либо *нановещество*, добыть его, изучить его свойства и даже синтезировать оказывается гораздо проще, чем затем "слепить" из него что-то более сложное чем *кирпич из нановещества*. Не умаляя безусловно огромных заслуг первооткрывателей и исследователей нановеществ, хотелось бы всё же посетовать, что в настоящее время подавляющее количество разработок в этой области носит фундаментальный, сугубо научный характер, и лишь малое их количество доведено до внедрения в производство.

Более того, почти все разработки этой отрасли, так или иначе используемые промышленностью сегодня и гордо именуемые "нанотехнологии", по сути, за редким исключением, всего лишь эксплуатируют свойства этих нановеществ или наноструктур *as is*, благодаря чему и получают "нанопокртытия", "наночилтры", "наночирпичи". С разработками, где бы использовались конструкции или системы, сконструированные или собранные из наноматериалов, ситуация пока обстоит гораздо хуже, в большинстве случаев дело ограничивается лабораторными опытами.

Современный термин "нанотехнологии" вмещает в себя самые противоречивые явления, и наряду со сложнейшими "конструкторскими" разработками генетиков нередко имеет отношение к элементарным мельницам по размолу субстанций до состояния нанопыли. Да и в целом, как однозначно описать значение слова "нанотехнологии"? Есть микроэлектроника, микробиология и множество других "микро-" дисциплин, но всеобъемлюще-универсального предшественника под термином "микротехнологии" что-то не припомню. Вот почему, на мой взгляд, получилось так, что определение "нанотехнологии" в какой-то степени теперь "пообносилось" и даже стало объектом для шуток.

Полагаю, когда шумиха несколько поутихнет, будет справедливо, когда каждая научная и производственная отрасль получит для себя собственные устойчивые новые названия; пусть не каждое с приставкой "нано-", но лишь бы точнее отражали суть дела. Другого от них, собственно, и не требуется.

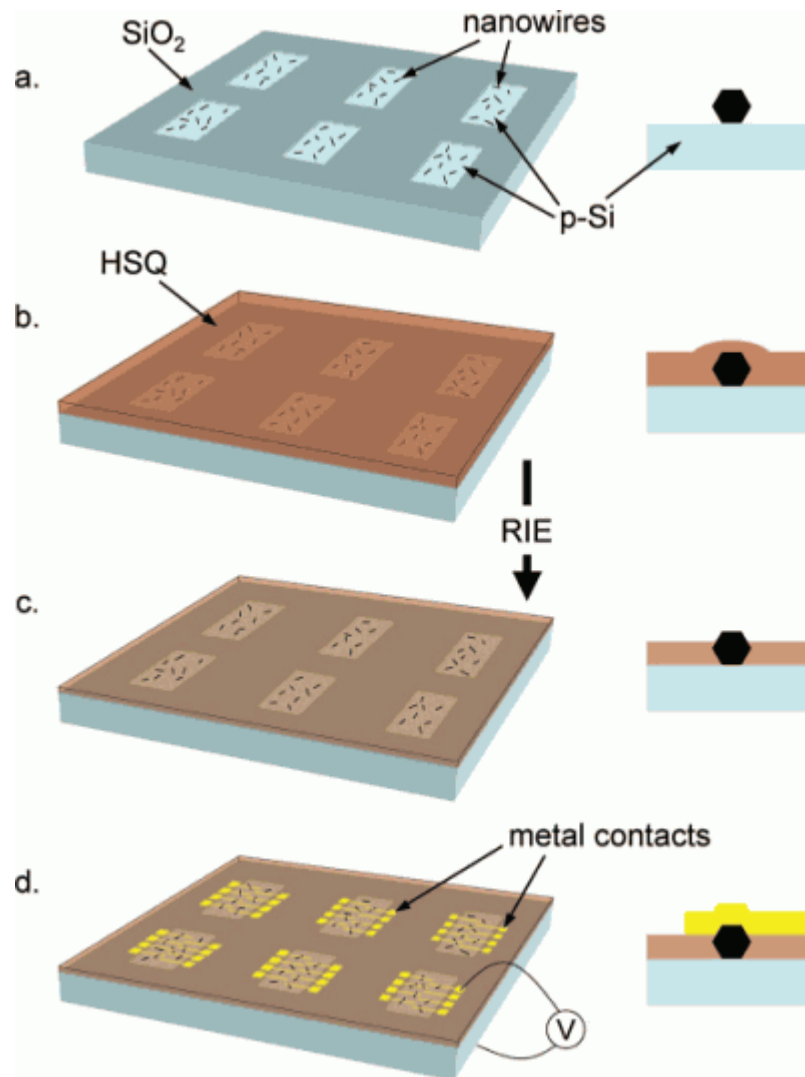
Поводом для сегодняшнего рассказа послужила публикация о самой что ни на есть настоящей нанотехнологии, к тому же, сделанной в самой что ни на есть профильной для нашего издания области, электронике. Недавно во влиятельном издании *Nano Letters* появилась совместная публикация учёных из Гарвардской школы инженерных и прикладных наук (SEAS, Harvard's School of Engineering and Applied Sciences) и германских университетов Йены (University of Jena), Готтингена (University of Gottingen) и Бремена (University of Bremen). Благодаря этому изобретению – как знать, возможно, рамки традиционной технологии производства полупроводников будут значительно расширены.

В статье под названием "Scalable Fabrication of Nanowire Photonic and Electronic Circuits Using Spin-on Glass" идёт речь о разработке новой технологии для производства интегральных чипов с применением фотонных (оптических) и электронных элементов на базе нанопроводов.

К настоящему времени свойства нанопроводов (или, если хотите, наностержней), изучены неплохо. Полупроводники на базе нанопроводников обладают рядом уникальных свойств, например, способностью излучать свет при прохождении тока. Синтез проводников диаметром в одну тысячную человеческого волоса налажен в промышленных масштабах и осуществляется с использованием недорогих химических материалов и процессов.

Более того, к настоящему времени уже разработан ряд методик применения нанопроводников в качестве элементов микросхем. Однако на пути внедрения этих технологий, пишут в выше упомянутой статье учёные, встали два серьёзных препятствия. Первое из них – сложность геометрического расположения нанопроводников на значительных площадях чипов, то есть, проблемы контроля расположения и ориентации нанопроводников относительно друг друга. Сложности возникают как раз при создании надёжных электрических контактов на концах нанопроводников, из-за чего большинство ныне существующих разработок имеют существенные ограничения по практическому применению.

В качестве альтернативы существующим технологиям учёные решили применить технику использования материала под названием HSQ (hydrogen silsequioxane, Если не ошибаюсь, по-русски получается "силсесквиоксан водорода", хотя, на русском языке этот термин мне обнаружить так и не удалось), известного под названием "spin-on glass" (стекло, нанесённое центрифугированием), в качестве изоляционного слоя между подложкой и расположенным над нанопроводом металлическим контактом. Этот материал обладает приемлемыми диэлектрическими характеристиками и позволяет создавать надёжные изолирующие площадки необходимой площади. При этом для переноса "рисунка" схемы на подложку было решено применить также хорошо известный принцип фотолитографии.

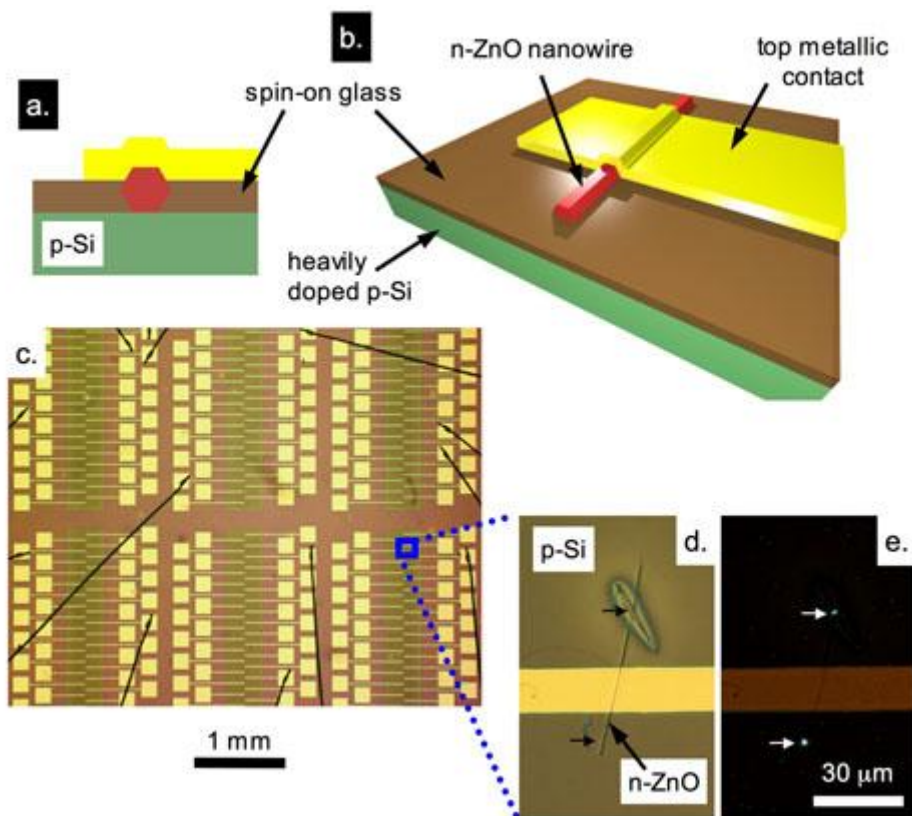


Структуру получаемых полупроводниковых диодов разработчики называют "геометрией сэндвича": нанопроводник (n-типа из оксида цинка) размещается между "общей" токопроводящей подложкой (высоколегированный кремний p-типа) и расположенным сверху металлическим контактом, отделённым от подложки тонким изолирующим слоем стеклянной подложки, предотвращающим возможность возникновения контакта между металлическим проводником и основной токопроводящей подложкой. В качестве подложки исследователи использовали традиционный поликристаллический кремний, а основной сложностью оказалось создание изолирующего слоя, в который "втривлен" нанопровод, но при этом полностью исключён контакт между расположенным сверху металлическим проводником и кремниевой подложкой.

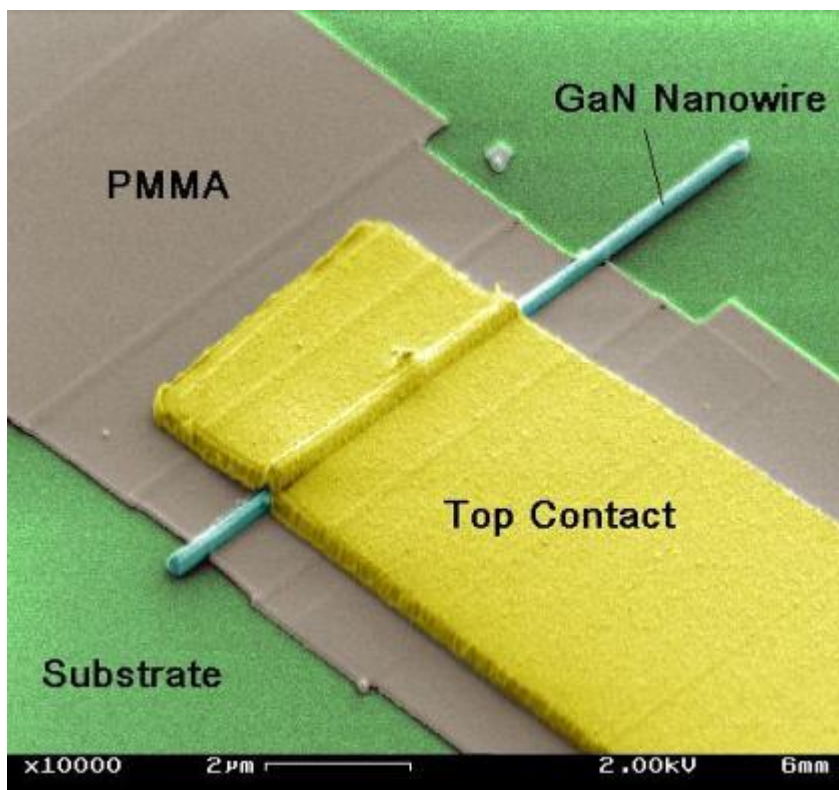
Предыдущие эксперименты этой группы учёных заключались в стратегии использования электронно-лучевой литографии (electron-beam lithography). Не углубляясь в технику создания паттерна резиста вокруг нанопровода и другие детали методики лишь отмечу, что технология применения высоко разрешающей электронно-лучевой литографии оказалась мало пригодной для масштабирования на значительные площади кристаллов современных полупроводников.

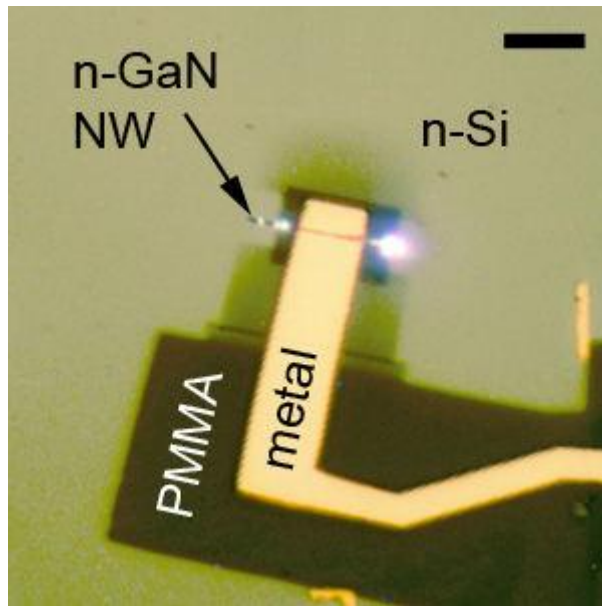
В результате, по словам исследователей, применение ZnO нанопроводов позволяет создавать полупроводниковые многослойные конструкции любой сложности. Самое интересное, что подача напряжения в определённых условиях приводит к появлению

излучения устройства в спектре ультрафиолетового диапазона с пиковой длиной волны примерно 380 нм (на снимке ниже, уголок е.).

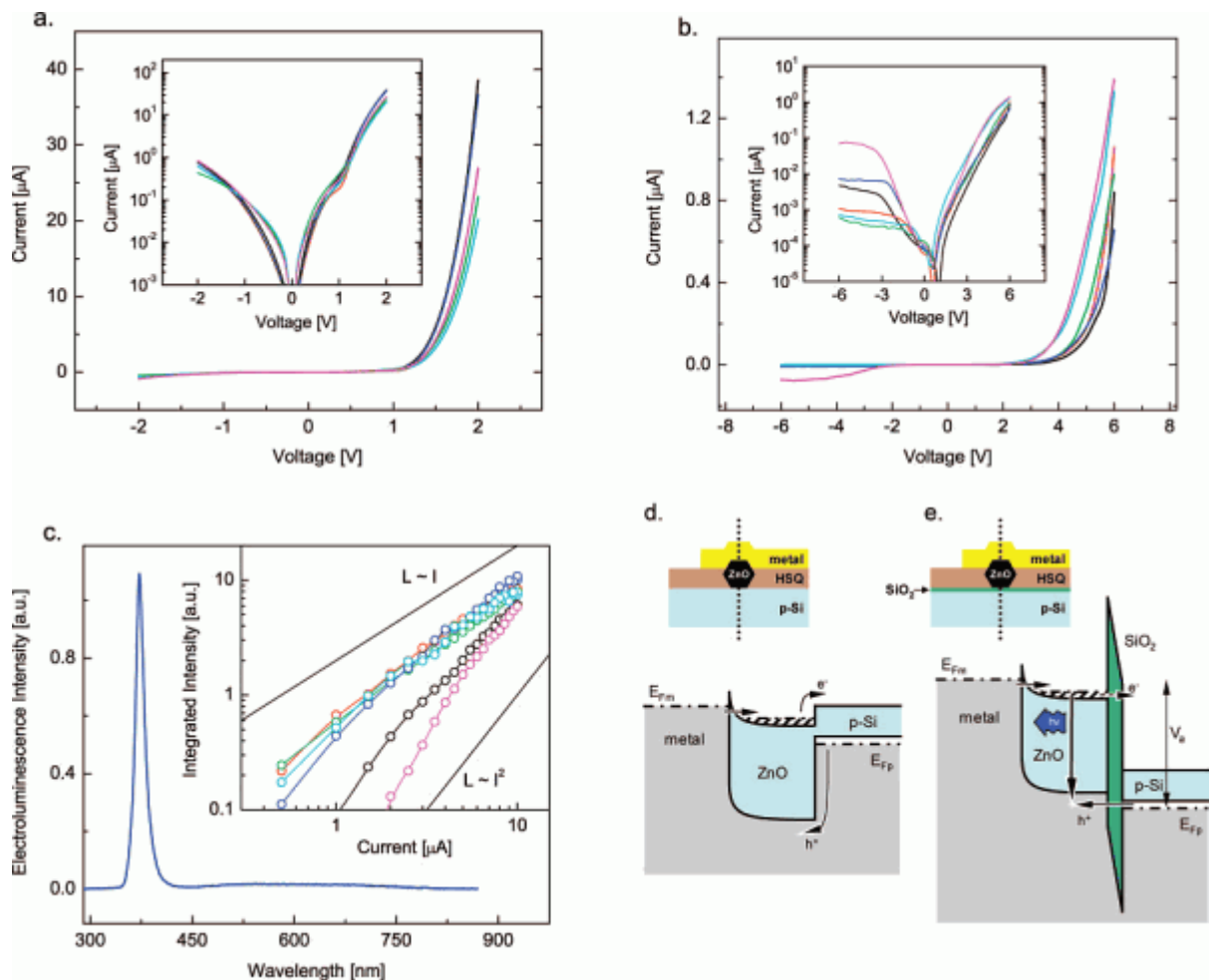


Также стоит отметить, что цвет свечения светодиода определяется используемыми материалами. Например, использование нанопроводников на основе нитрида галлия (GaN) позволяет добиться другого спектра светодиодного свечения.





Итого, учёным удалось найти простой способ независимого формирования верхнего и нижнего контактов для единичного полупроводника на базе нанопровода, превосходно масштабируемого на значительные площади чипа. Более того, учёные утверждают, что методика позволяет не только совершенно произвольно ориентировать нанопроводники на подложке, но также с лёгкостью обеспечивать контроль расположения и относительной ориентации большого количества нанопроводников, а перенос и расположение нанопроводников может осуществляться посредством контакта подложки с "нанопроводниковой" суспензией.



"Благодаря тому, что наша технология производства независима от геометрии размещения нанопроводников на подложке, можно предположить отсутствие сложностей при попытках дальнейшего комбинирования нашего процесса с одной из уже известных методик распределения нанопроводников на подложках значительной площади", говорит Федерико Капасо (Federico Capasso), один из участников проекта. *"Есть все основания полагать, что сочетание процессов вскоре позволит наладить выпуск нанопроводной фотоники стандартными производственными средствами".*

Для наглядной демонстрации потенциальной масштабируемости технологии, команда учёных представила сотни ультрафиолетовых [нано]светодиодов, произведённых с использованием ZnO нанопроводников, размещённых на единой полупроводниковой подложке. Более того, благодаря тому факту, что при производстве подобных нанопроводников используются материалы, и без того широко распространённые в современном полупроводниковой промышленности, нет причин сомневаться в быстрой адаптации этой технологии для нужд современного производства, при этом в перспективе нет никаких технических препятствий для реализации [нано]-светодиодов со свечением в любой части спектра – от ультрафиолета до инфракрасного.

Как видите, нанотехнологии нанотехнологиям рознь. Некоторые из них однажды оказываются востребованы на практике даже несмотря на всю их сложность.

Возможно, кому-то сегодняшняя публикация показалась заумной, слишком специализированной и потому неинтересной. Что ж, спору нет, истории про самонадевающиеся штаны, невидимость, левитацию и прочую поп-технику читать приятнее, и при этом нет никаких препятствий помечтать о грядущем прикладном применении таких чудес.

И всё же, каждый такой малозаметный, казалось бы, малозначащий шаг в развитии современных технологий, пусть отныне с приставкой "нано", незримо, но весьма существенно приближает наше неведомое будущее.

Сложно говорить о будущем электроники, особенно о столь молодой её отрасли как фотоника, раскидываясь направо и налево громкими определениями "достижений нанотехнологий". Вполне возможно, что когда первые микросхемы (тут у меня не поднимается рука написать "наносхемы", извините) с применением описанного выше принципа достигнут стадии коммерческого выпуска, никто и не вспомнит о частном случае формирования отдельных элементов чипа, ведь таких технологических патентов сотни на каждом техпроцессе. И всё же лично мне было приятно раскапывать детали этого единичного технического прорыва, благодаря которому в будущем элементы фотоники будут создаваться также просто, как и обычные электронные схемы.

О том, что такое фотоника мы попробуем рассказать в популярном ключе как-нибудь в другой раз. Но, надеюсь, даже у самых отпетых двоешников не возникает сомнений в том, что оптоволоконные линии обмена данными между, например, кластерами, гораздо перспективнее любых других. И всё это легко масштабируется на микро... простите, наноэлектронику.

Источники:

- [SEAS - Harvard's School of Engineering and Applied Sciences](#)
- [Nano Letters](#)