



**Конкурс работ молодых ученых «Просто о сложном»
Научно-популярная статья призера III степени Галиева Азата
Фаатовича (инженер, ИФМК УФИЦ РАН, г. Уфа)**

Как запереть электроны в двумерном пространстве и заставить работать?¹

Скажу как есть, занятие наукой это долго, дорого и не всегда интересно. И до сих пор мне трудно ответить на вопрос, зачем я этим занимаюсь. Когда-то, со второго курса учебы в университете, я начал заниматься электроникой полимеров. Моей задачей было превратить изолянт в проводник лучше золота (ох уж этот философский камень), и объяснить миру, как мне это удалось. Но, то ли мне это не удалось, то ли эта задача требовала более «взрослого» осмысления, данное занятие я отбросил на многие годы, занявшись фаблабом и чуть не сгинув в пучине бизнеса, как посоветовал один смешной дяденька.

И вот, пару месяцев назад, буквально случайно, я снова оказался и навеки застрял за атомно-силовым микроскопом, вакуумным постом, центрифугой и тряпкой – чистота главный элемент в мире эксперимента, тем более в области наноразмерных технологий.

Так я вернулся к нашим баранам и теперь мне есть что рассказать. Вот вы знаете, что общего может быть между первичным бульоном, мозгами и полимерами? Конечно же, это электричество.

Электричество (тогда это были молнии, а вы думали, откуда взялись, например электрические скаты) заставило аминокислоты буквально свернуться клубком – так появилось яйцо, и, также объединиться в длинные цепочки – РНК-структуры – это курица. Именно электричество, как в фильмах про Франкенштейна, вдохнуло жизнь во все эти яйца и курицы. Кстати, как оживить зомби, не знаю.



Ой, пожалуй, надо повторить эксперимент

¹ Научно-популярная статья основана на материалах публикаций:

1. Гадиев Р.М., Лачинов А.Н., Галиев А.Ф., Калимуллина Л.Р., Набиуллин И.Р. Влияние дипольного упорядочения на электрофизические свойства границы раздела двух органических диэлектриков // Письма в ЖЭТФ 2014. Т. 100. № 3-4. С. 276-280.
2. Байбулова Г.Ш., Галиев А.Ф., Жданов Э.Р., Корнилов В.М., Лачинов А.Н., Калимуллина Л.Р. Квантово-химические исследования надмолекулярной структуры полидифениленфталаида // Вестник Омского университета. 2014. № 2 (72). С. 46-49.

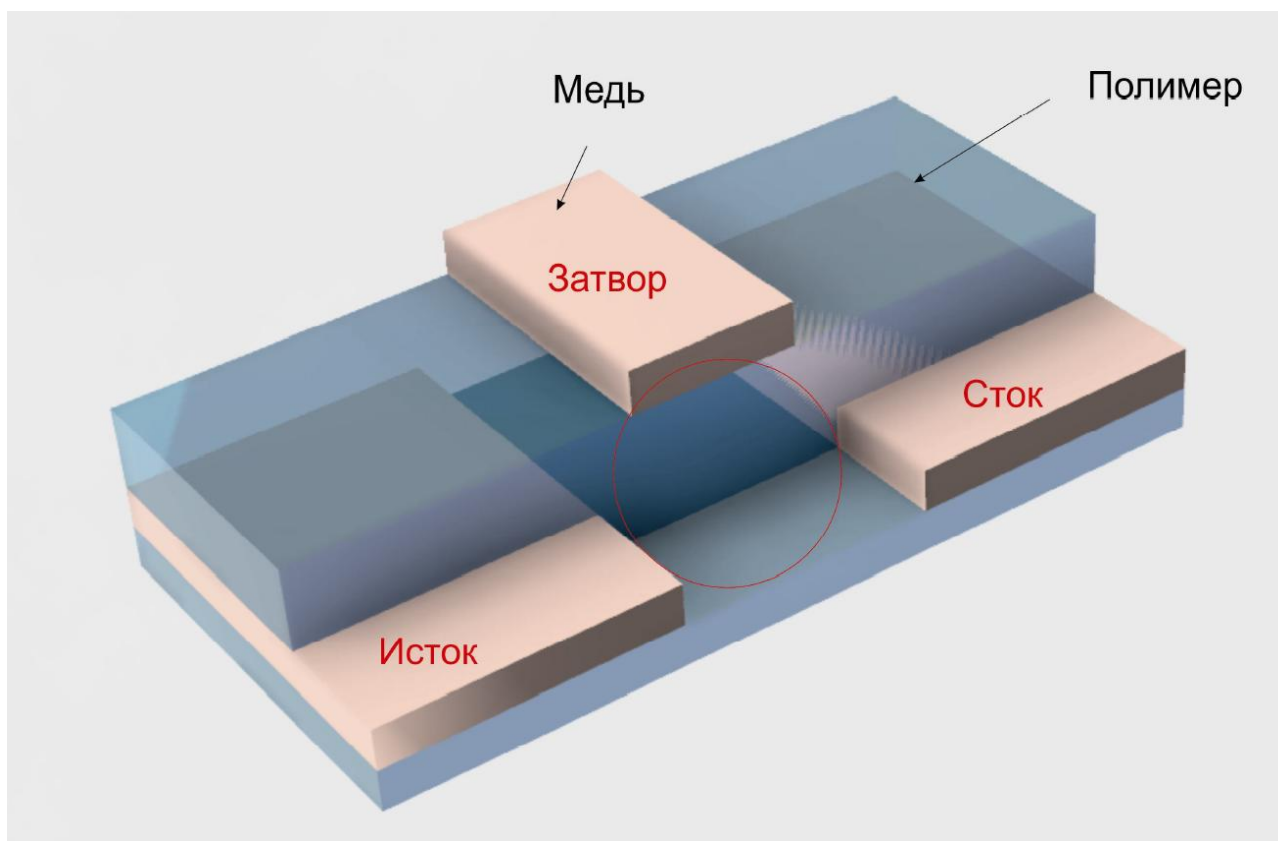
Конечно же, все чуть-чуть сложнее, чем я описал, да простят меня биологи и зомби.

Так вот, чтобы все это зашевелилось и превратилось в котиков, нужно три вещи: провода, сенсоры и мозг. Эволюция шла миллионы лет, но у нас нет столько времени, поэтому, нам придется сразу найти подходящий материал, для создания электронных структур.

Изначальный подход во всей электронике был кремниевый, и на сегодняшний день процессорами с 10-нм элементами никого не удивить. Но, кремний как был камнем так им и остался, из него не всегда удобно делать, например, провода.

Иными свойствами обладают органические материалы. Из них буквально можно вить веревки, проводящие электрический ток. Но как вы знаете, *divide et impera*, то есть, разделяй и властвуй. Поэтому где-то электрический ток нужно пропустить, а где-то запереть.

Это есть основа всех электронных устройств, более того, это есть основа жизни. Здесь я расскажу, как запирая электроны между двумя полимерными пленками, сделать транзисторы и сенсоры.



Структура органического транзистора

Самый простой транзистор представляет собой источник электронов – «исток». Приемник электронов – «сток». Ограничитель движения электронов – «Затвор». Чтобы сделать такой транзистор дома, вам понадобится: кусок кремниевой пластины, вакуумная установка для напыления металлических электродов, в данном случае, медных, секретный раствор полимера, центрифуга – чтобы нанести тонким слоем полимерную пленку и, конечно же, тряпочка, куда без чистоты.

На кремниевую пластину наносится полимерный раствор, после высыхания которого остается тонкая пленка. Далее наносятся электроды: исток и сток. Сверху формируется второй слой полимерной пленки. В последнюю очередь наносится затвор.

Если вы все сделали правильно, и не оставили тряпку внутри вакуумной установки, то между полимерными пленками сформируется двумерный загон для электронов. То есть, от истока к стоку, по границе между пленками, они смогут перемещаться, а поперек пленок, то есть к затвору или от затвора уже нет.

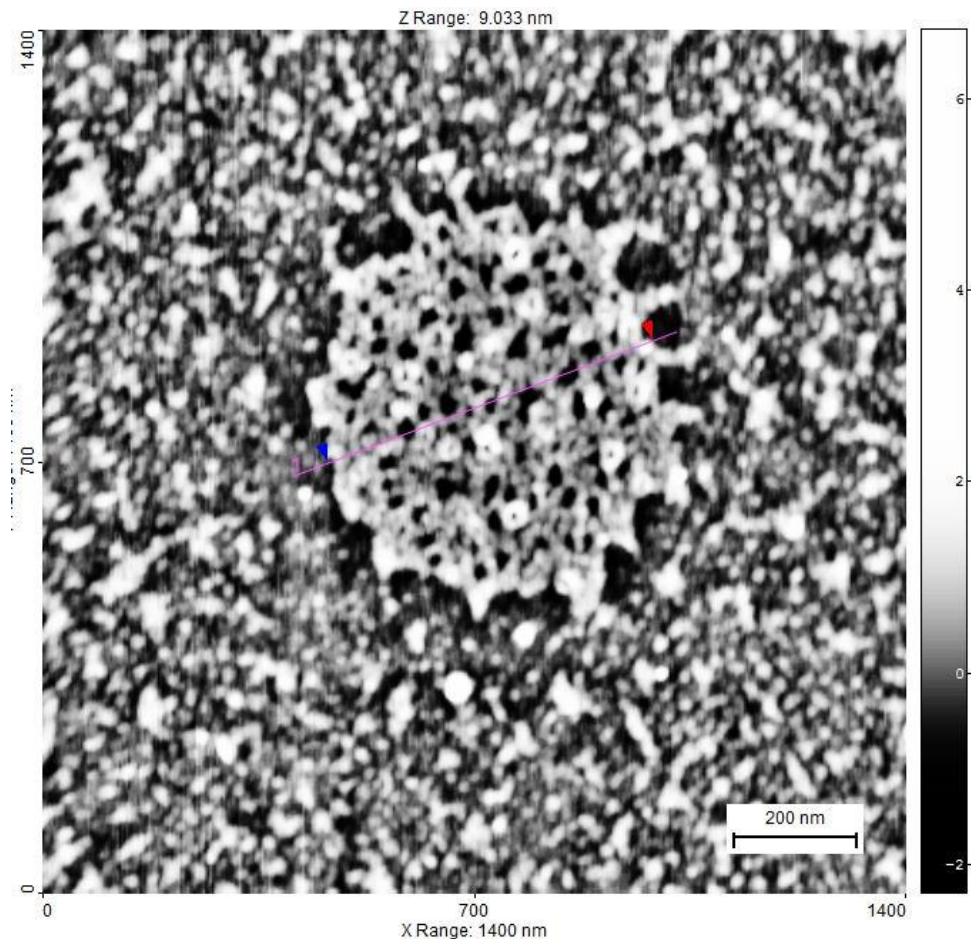


Граница между полимерными пленками

Область двумерного электронного газа

Электроны будут заперты в двумерном пространстве. При этом, они будут там свободны и смогут делать все, что захотят, пока с затвора им не погрозят пальцем, или, в нашем случае, электрическим полем.

Если мы сами подадим на затвор электрическое поле, то получим транзистор. Чем выше поле, тем больше электрический ток. Если же, воспользуемся полем молекул, например, молекул белка, то получим сенсор этих самых молекул.



*Бычий сывороточный альбумин на поверхности полимерной пленки.
Диаметр порядка 500 нм.*

Описанный здесь сенсор реагирует на сверхмалые концентрации различных белков, молекул воды, кислорода, и много того, чего запретили говорить. А значит, на их основе можно изготовить как простейший сенсор влажности, чтобы повесить у себя в умном доме, так и датчики вредных веществ, медицинские датчики и прочее.

А если соединить тысячи таких сенсоров, можно уже претендовать на создание искусственной кожи, например. А, я разве не сказал, что такой сенсор может реагировать не только на электрическое поле, но и на давление, температуру, свет? Ну, теперь сказал.