

ПРИБЛИЖЕНИЕ «АРМАГЕДДОНА» ПЕРЕДОВЫХ НАНОТЕХНОЛОГИЙ Сапогин В.Г., Сапогин К.В.

Передовые нано-технологии Китая при изготовлении транзисторов с размерами меньше 5 нм столкнулись с проблемой: транзисторы стали взрываться. В заметке анализируются физические причины приближающегося «Армагеддона». Они заключаются в том, что мало кто знает, как распределён переменный ток в поперечном сечении проводника.

Проведённое ниже исследование показывает, что прямолинейный ток цилиндрического проводника с диаметром меньше 20 нм, на гигагерцах, выдавливается из проводника наружу за счёт известного скин-эффекта. Выдавливание тока на поверхность настолько сильное, что внутри тока образуется цилиндрическая полость, в которой нет зарядов.

Электроны, вышедшие на поверхность проводника, не выбрасываются наружу действием силы Кулона, а образуют зарядовый кластер внешней оболочки с очень тонкой стенкой. Кластер одноимённых зарядов удерживается в стенке давлением собственного электрического поля так же, как давление магнитного поля удерживает горячую плазму при термоядерном синтезе. Равновесие давления токов и давления поля заканчивается взрывом на скачке удельного сопротивления проводника на p-n переходе.

Приближающийся «Армагеддон» нано-технологий поможет решить проблему создания новых технических устройств, работающих на кольцевых токах Ампера-Фуко, имеющих радиусы 0,1 нм и меньше. На них можно реализовать суб-нано компьютеры и технические устройства с самым низким потреблением электрической энергии.

На сайте: <https://3dnews.ru/988458> опубликована работа Г.Детинича «Китайские учёные разработали 3-нм транзистор». В ней подняты проблемы, с которыми столкнулись передовые технологии страны при создании транзисторов с размерами меньше 5 нм.

В статье, среди других проблем, упоминается одна очень важная – **транзисторы маленьких размеров стали взрываться**. И эти взрывы учёные объясняют ухудшением теплообмена между транзистором и подложкой, названного Больцмановской тиранией (*Boltzmann Tyranny*). На наш взгляд, это объясняет суть проблемы только частично.

Нам видится, что физические причины возникающего «Армагеддона» более серьёзные и глубокие. Мало кто знает, как распределён переменный ток в поперечном сечении проводника, и как он в нём протекает. Закон Ома освещает явление только с одной стороны.

Любой ток, текущий в металле, представляет собой поток заряженных частиц одного знака, приходящих из источника. С одной стороны, между ними действует сила Кулона. С другой стороны, токи одного направления притягиваются друг к другу силой Ампера. Движущиеся заряды также будут взаимодействовать с полями кристаллической решётки и с собственным полем. Взаимодействие должно существенно зависеть от амплитуды, частоты протекающего тока, диаметра провода и его удельного сопротивления.

Поставленная задача описывается системой уравнений Максвелла, дополненной дифференциальным законом Ома. Решение системы уравнений в плоском случае хорошо известно. Оно встречается

в книгах И.Е.Тамма «Основы теории электричества» [1] и Матвеева А.Н. «Электричество и магнетизм» [2].

Правда, теоретики нашли только одно решение для плоско-неоднородного переменного электрического поля. Полученное ими решение не входит в полный набор чётных функций, существующий у системы. Но, тем не менее, даже эта находка позволила им обосновать существование нового физического явления «скин-эффект», т.е., выталкивание переменного тока на поверхность проводника.

Углублённое исследование показало, что система уравнений в плоском случае имеет полный набор решений, состоящий из 4-х четных функций. Решения базируются на интеграле полного давления, состоящего из давления токов и давления электрического поля, взаимодействующих между собой. Три из них описывают скин-эффект (выталкивание тока на поверхность), а четвёртое – эффект сжатия токового слоя, который также может происходить на высоких частотах.

То есть, возможны четыре варианта распределения переменного плоского тока по поперечному сечению, а не один, как считалось ранее. При равенстве давлений токов и поля ток может быть отброшен от границ стенок внутрь проводника с формированием токового шнура. Оригинальные решения получены в монографии [3].

В цилиндрической симметрии тоже есть, как минимум, три решения, описывающих различные варианты поперечного распределения тока. Есть вариант шнура, сжатого около оси системы, который теоретики не увидели. В 2001 году американские исследователи Кух и Ибрагим, после обнаружения этого явления в экспериментах, назвали его *Current Crowding Effect* [4].

Дальнейшее исследование полного набора решений для аксиального тока в цилиндрической симметрии показало, что самые большие «чудеса» происходят при протекании токов в диаметрах меньших, чем 20 нм. **Там происходит одно удивительное явление, о котором современная физико-техническая элита пока не знает.**

Прямолинейный ток цилиндрического проводника с диаметром порядка 20 нм и меньше, на частоте в гигагерц выдавливается из проводника наружу за счёт известного скин-эффекта. Но в этом случае, выбрасывание тока на поверхность настолько сильное, что внутри тока образуется цилиндрическая полость, в которой нет зарядов.

Электроны, вышедшие на поверхность проводника, не выбрасываются наружу под действием силы Кулона, а образуют зарядовый кластер внешней оболочки с очень тонкой стенкой. Кластер удерживается давлением собственного электрического поля [5] так же, как и горячая плазма удерживается магнитным полем в термоядерном синтезе.

Трубчатый кластер зарядов, как «удавка», не даёт электронам уйти с поверхности проводника. Но как только возникает скачок удельного

сопротивления на p-n переходе или на n-p переходе, равновесное состояние давления тока и давления поля заканчивается взрывом.

Проводник может взрываться и при отсутствии p-n перехода. Это явление недавно было проверено экспериментально профессором М.Марахтановым <https://m.nkj.ru/archive/articles/4072/>. Ток пропусклся через металлические плёнки толщиной несколько сотен атомарных слоёв. Температура охлаждаемого металла фиксировалась. Она была на уровне 180⁰С. При значениях плотности тока выше, чем $1,43 \cdot 10^9$ А/м² в вольфраме и $8,04 \cdot 10^9$ А/м² в алюминии, проводники взрывались за микросекунды.

Открытие фундаментального физического закона объясняет, почему будут взрываться проводники, подводящие ток в транзистор. Огромные силы, связанные с градиентом давления электрического поля, разрывают его кристаллическую решётку. Проводники с диаметром в нанометры всегда будут взрываться. Уменьшение плотности тока в них только растянет время «Армагеддона». Уменьшение тока закончится тем, что амплитуды тока не будет хватать для изменения электрического состояния p-n перехода.

Взрывная неустойчивость тонкого провода остановит на прежних позициях технологию, в которую вложены миллиарды долларов!!! От взрывной неустойчивости проводника избавиться нельзя! Но её можно обойти. Обсудим новую гипотезу.

Согласно гипотезе тупик, возникший в нано-области проводника, может породить новое направление исследований в суб-нано-области того же проводника.

Появляется реальная возможность начать продвижение технологий в суб-нано-область проводника. В проводнике переменным магнитным полем можно возбуждать **кольцевые токи Ампера-Фуко** (физические следствия решений уравнений Максвелла-Ома для азимутальной компоненты тока в проводящей плёнке подтверждают эксперименты). Их радиусы могут быть на порядок меньше 1 нм.

Нужно чётко понимать физику процесса. Только тогда можно уверенно двигаться вперёд. Нам до сих пор никто не объяснил, что все магниты, созданные человечеством, – это сверхпроводящее состояние кольцевых токов Ампера-Фуко при комнатной температуре.

Токи таких радиусов не выделяют никакой тепловой энергии. Электроны, двигаясь по кольцу, перестают сталкиваться с положительными ионами проводника, находящимися в тепловом движении. Они вращаются как электроны атома в пустом пространстве. Время жизни кольцевых токов больше 100 лет (а может быть и вечность!).

Расчёты показывают, что у кольцевых токов Ампера-Фуко удельное сопротивление от 10^{-15} до 10^{-20} Ом·м (медь 16 нОм·м).

Кольцевые токи открывают новую область инженерно-физических исследований человечества – область высокотемпературной сверхпроводимости (ВС) проводника.

ВС может быть только у кольцевых токов. Для прямолинейных токов ВС тоже будет, но только при сверхнизких температурах и на малых длинах. А у кольцевых токов сверхпроводимость будет сохраняться даже при температуре плавления металла!

Лицкалнен, латыш, сбежавший в Аргентину в 1917 году, оставил после себя реально существующий сад, украшенный многотонными каменными колоннами. Как он их перемещал? До сих пор архитекторы ломают голову. А Лицкалнен 100 лет тому назад играл с прилипающими друг к другу стальными пластинами, которые намагничивал током прямого проводника из аккумулятора. Считаю, что явление высокотемпературной сверхпроводимости было впервые обнаружено в этих опытах и использовано им на практике.

Удалось проверить простые опыты Лицкалнена. Две отдельные стальные пластины площадью $10 \times 15 \text{ см}^2$ и толщиной 1 см, после пропускания импульса тока в 500 А по проводнику внутри пластин, притягивались друг к другу с оценочным давлением 1 Мпа. Сила притяжения 15000 Н. Два года их не могли отделить руками друг от друга. Снимок эксперимента на рис. 1.



Рис. 1. Намагниченные пластины Лицкалнена в опытах А.Атаманченко, Д.Дзюбы (Таганрог, 2018-2020)

Информация об этих опытах в широких научных кругах пока не обсуждалась. Хотя в роликах, представленных в интернете, мальчишки висят на этих намагниченных стальных пластинах полным весом. И выдают опыты Лицкалнена за свои собственные. Такие вот гениальные

дети! Блогер с Украины Андрей раскалял пластины до температуры белого каления. И всё равно отделить их друг от друга не смог. И точки Кюри НЕТ!!! А радиационная стойкость, наверное, такая, что никому и не снилась?

Нужно понять, как эти токи можно возбуждать в суб-наноразмерах, не применяя р-п переход. Это позволяет сделать закон электромагнитной индукции. Можно строить новые технологические классы запоминающих или переключающих ячеек самых произвольных конфигураций на любых проводниках (на плёнке стали либо других проводящих плёнках, проявляющих магнитные свойства). Они заменят р-п переходы, отработавшие столетие.

Берём проводник диаметром в десять нанометров и помещаем возле него плёнку из стали, либо проводник помещаем в плёнку. Прошёл импульс тока. Вихревое электрическое поле закрутило в плёнке токи Ампера-Фуко. Токи не потребляют электрическую энергию. Плёнка ждёт веками, когда вы эту информацию с неё считаете. Информация типа: создаёт плёнка магнитное поле или не создаёт? Как в старых запоминающих кубках на кольцевых ферритах. Информацию считали либо прямым током, либо обратным. Плёнка снова ждёт записываемого сигнала. Бинарная ячейка. Сигнал есть/сигнала нет.

Приближающийся «Армагеддон» нано-технологий поможет решить проблему создания устройств, работающих на кольцевых токах Ампера-Фуко, имеющих радиусы 0,1 нм и меньше. На них можно реализовать суб-нано компьютеры и технические устройства с самым низким потреблением электрической энергии.

Выражаем слова признательности коллегам, проводившим экспериментальные исследования эффекта притяжения кольцевых токов Ампера-Фуко в стальных пластинах Анатолию Атаманченко и Дмитрию Дзюбе.

Литература

- 1.Тамм И.Е. Основы теории электричества. – М.: Изд-во «Наука», 1989, – 504 с. – ISBN 5-02-014244-1.
- 2.Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. – М.: Высшая школа, 1983 г., – 463 с. ББК 22.23.
- 3.Сапогин В.Г., Прокопенко Н.Н., Панич А.Е. Интегральные индуктивности с высокой симметрией. ИЦ «ИСОиП (филиал) ДГТУ», г. Шахты, 2016 г. ISBN 978-5-906786-31-9, – 234 с. [http:// www.libdb.sssu.ru](http://www.libdb.sssu.ru)
- 4.Kuhn W.B., Ibrahim N.M. Analysis of Current Crowding Effects in Multiturn Spiral Inductors // IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, 2001. – V. 49, № 1 – Pp. 31–38. DOI: 10.1109/22.899959).
- 5.Сапогин В.Г. Механизмы удержания вещества самосогласованным полем. Монография. Таганрог. Изд-во ТРТУ, 2000 г. ISBN 5-8327-0068-6, – 254 с. <http://inep.sfedu.ru/chairs/physics/physics-staff/physics-sapogin/>

*Профессор Российской Академии Естествознания
Кандидат физико-математических наук
Сапогин Владимир Георгиевич,
sapogin@mail.ru*

Сапогин Константин Владимирович