

**Литература**

1. Зайцев Г.Ф. Комбинированный стабилизатор напряжения с разомкнутой связью по входному напряжению / Г.Ф. Зайцев, В.Л. Булгач, Ю.В. Каргаполов // Вісник ДУІКТ. – 2009. – Т.7, №3. – С. 222-232.
2. Зайцев Г.Ф. Астатический компенсационный стабилизатор напряжения непрерывного действия / Г.Ф. Зайцев, В.Л. Булгач, Ю.В. Каргаполов // Вісник ДУІКТ. –2010. – Т.8, №4. –С.318-324.
3. Зайцев Г.Ф. Анализ математической модели компенсационного стабилизатора напряжения / Г.Ф. Зайцев, В.Л. Булгач, Ю.В. Каргаполов // Вісник ДУІКТ. – 2009. – Т.7, №1. – С. 56-54.

УДК 681.391

**Кременецкая Я.А. к.т.н., (Гос. универ.-т информационно-коммуникационных технологий)**

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ В МИКРО- / НАНОЭЛЕКТРОНИКЕ И ИХ  
ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Кременецька Я.А. Фізичні обмеження в мікро-/наноелектроніці та їхній вплив на розвиток інформаційних технологій.** Розглянуто досягнення, проблеми і напрями подальшого освоєння нанометрових технологій, приведені деякі результати пошуку принципово нових фізичних основ створення елементної бази для продуктивніших наступних поколінь інформаційних систем.

**Ключові слова:** БЕЗПРОВОДНИЙ ЗВ'ЯЗОК, НАНОТЕХНОЛОГІЇ, НОСІЇ ІНФОРМАЦІЇ

**Кременецкая Я.А. Физические ограничения в микро-/наноэлектронике и их влияние на развитие информационных технологий.** Рассмотрены достижения, проблемы и направления дальнейшего освоения нанометровых технологий, приведены некоторые результаты поиска принципиально новых физических основ создания элементной базы для более производительных следующих поколений информационных систем.

**Ключевые слова:** БЕСПРОВОДНАЯ СВЯЗЬ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НОСИТЕЛИ ИНФОРМАЦИИ

**Kremenetska Ia.A. Physical limitations are in micro-/ nanoelectronics and their influence on development of information technologies.** Achievements, problems and directions of the further mastering of nanometer technologies, are considered, some results over of search of fundamentally new physical bases of creation of element base are brought for more productive next generations of the informative systems.

**Keywords:** WIRELESS COMMUNICATION, NANOTECHNOLOGIES, INFORMATION CARRIERS

В настоящее время прогресс в дальнейшем развитии информационных и транспортных систем, в обеспечении надежности их функционирования заложен в нанотехнологиях и беспроводной связи [1...3]. Применение нанотехнологий позволяет использовать более безопасные миллиметровые и субмиллиметровые диапазоны для следующих поколений беспроводной связи. На применении нанотехнологий основаны поиски новых носителей информации, способов обработки и передачи данных [4...6].

Основными активными элементами современных интегральных схем являются транзисторы, способные изменять свое внутреннее сопротивление под действием приложенного напряжения, что позволяет управлять более мощной цепью при помощи существенно менее сильного сигнала. Благодаря этому свойству транзистор применяется для усиления, генерации, коммутации и преобразования электрических сигналов. Обычный транзистор (>130 нм) работает а на преодолении барьера за счёт тепловой энергии носителей заряда (то есть термоэмиссионного тока) и за счёт инжекции из истока. Уменьшение размеров транзисторов и увеличения быстродействия при-водит к проблемам с потребляемой мощностью (рис. 1).

В транзисторах, выполненных по традиционной КМОП-технологии, возрастает туннельный ток паразитной утечки через затвор и сток-исток при уменьшении размеров затвора, что вызывает увеличение рассеиваемой мощности при масштабировании. Одним из решений этой проблемы является использование металлических затворов с оксидами редкоземельных металлов, которые применяются с минимального размера 45 нм.

Динамическая (основная) рассеиваемая мощность определяется двумя источниками – сквозными токами, которые протекают через логический элемент в момент переключения, и токами заряда/разряда паразитных емкостей логических элементов. Величина динамической рассеиваемой мощности оценивается по формуле:  $P_f = \frac{1}{2} f_n C_L V_{dd}^2$ , где  $f_n$  – частота управляющего сигнала,  $C_L$ ,  $V_{dd}$  – емкость и напряжение питания инвертора.

При одновременном изменении  $f_n$  на 27% и  $V_{dd}$  на 22,5% общий прирост тепловыделения составит 77%.

Среднюю мощность, рассеиваемую на элементе оценивают следующей формулой [4]:

$$P_{avg} = \sum_{n=1}^x (E_{in} f_{in}) + \sum_{n=1}^y \frac{1}{2} f_{on} C_L V_{dd}^2 + P_{static},$$

где  $x$  – число входных выводов элемента;  $E_{in}$  – связанная с каждым  $n$ -м входным выводом энергия;  $f_{in}$  – частота изменения состояния  $n$ -го входного вывода;  $y$  – число выходных выводов элемента;  $f_{on}$  – частота изменения состояния  $n$ -го выходного вывода;  $P_{static}$  – статическая потеря мощности элемента.

Также при проектировании микропроцессоров, рассеяние мощности на линиях связи составляет уже более 50% от динамической составляющей общего энергопотребления [6].

Для решения проблем утечки тока и повышения эксплуатационных характеристик полупроводниковых устройств разрабатываются технологии эпитаксиальных рельефных(трехмерных) структур истока/стока, электродов с работой выхода, близкой к середине ширины запрещенной энергетической зоны и т.д.

Однако в структурах с размерами меньше 100 нм туннельный ток утечки уже рассматриваются не как паразитный и основной физический процесс работы нанопроводов. С уменьшением размеров активных областей в электронных приборах до атомарных масштабов начинают значительно проявляться квантовые явления: неопределенность положения электрона ( $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ ), длительности существования данного состояния ( $\Delta t$ ) в соответствии с принципом неопределенности В. Гейзенберга:  $\Delta p x \Delta x$  и  $\Delta E \Delta t$ . Начинает становиться заметной атомная и электронная дискретность в явлениях переноса, взаимодействия частиц. Приближение размеров к длине волны Луи де Бройля для электронов  $\lambda = \frac{2\pi}{h} p$ , ( $h$  – постоянная Планка (дираковская);  $p$  – импульс электрона) приводит к деформации и дискретизации электронных спектров, изменению электрических, магнитных и оптических свойств вещества. В структурах с размером менее длины свободного пробега (100 - 10 нм для полупроводников) перенос носителей заряда происходит без их рассеяния. Такой перенос называют баллистическим транспортом. Для проводящего канала с  $N$  разрешенными состояниями баллистическая проводимость

$$G = N(2e^2/h),$$

где  $e$  – заряд электрона, то есть – не зависит от материала и определяется лишь фундаментальными константами.

Электропроводность при уменьшении кристалла вещества до размеров 10...20 нм начинают зависеть нелинейно от размера частицы и менее ([2] (рис.2).

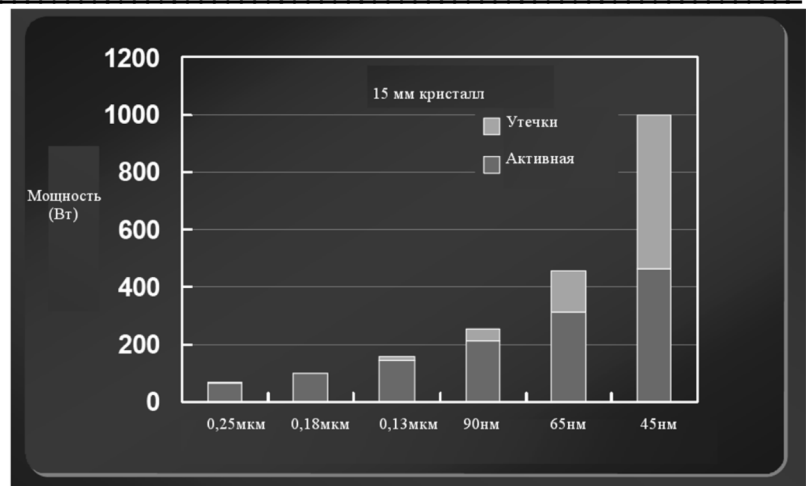


Рис. 1. Зависимость потребляемой мощности от размера

Доля атомов, находящихся в поверхностном слое (толщиной около 1 нм), естественно, растет с уменьшением размера частиц вещества. Поверхностные атомы обладают свойствами, отличающимися от “внутренних” атомов, поскольку они связаны с соседями иначе, чем внутри вещества.

Основные модели электрофизических процессов (полуклассических и квантомеханических), происходящих в наносистеме:

1. Диффузионно-дрейфовая (мкм);
2. Квазигидродинамическая (10-100 нм);
3. Метод Монте-Карло (1 нм – 1 мкм);
4. Квантово-кинетические коррекции

классических и полуклассических моделей (1-100 нм);

5. Квантово-кинетические модели (1 нм - 1 мкм);
6. Шредингеровская (< 100 нм).

В моделировании наносистем необходимо использовать, в общем случае, модели всех уровней иерархии, включая классические и полуклассические модели, а так же модели, основанные на кванто-механических подходах.

За последние десятилетие в нанoeлектронике и так произошли смены нескольких поколений технологий обработки, передачи и хранения информации. Дальнейшее развитие связано с наличием фундаментальных физических ограничений (например, таких как инерционность электронных процессов), появление новых физических эффектов, поиском новых носителей информации и т.д.

Поэтому очень важен выбор направлений дальнейшего развития нанотехнологий. К тому же новые технологические приемы взаимосвязаны с применением новых методов обработки информации. Например, большинство современных электронных средств неэкономно “тратят” сотни – тысячи электронов на одну операцию. Действительно, с принципиальной позиции для оперирования в двоичной системе исчисления необходимы элементы, которые способны реализовывать два устойчивых (стабильных во времени и не разрушаемых термическими флуктуациями) состояния, соответствующие “0” и “1”, и допускать быстрое переключение между ними. Такие функции может выполнять электрон в двухуровневой системе (например, в двухатомной молекуле). Для этого он должен перейти с одного атома на другой, что реализовано в “одноэлектронных” устройствах. Другая возможность заключается в переориентации спина электрона, у которого может быть только два устойчивых состояния в пространстве. На этом принципе основывается совершенно новое направление в науке и нанотехнологиях – спинтроника (рис. 3).

Еще есть идеи, что диссипация энергии, тепловые эффекты, по аналогии с туннельными, могут мешающих паразитных факторов перейти в новые способы формирования сигналов.

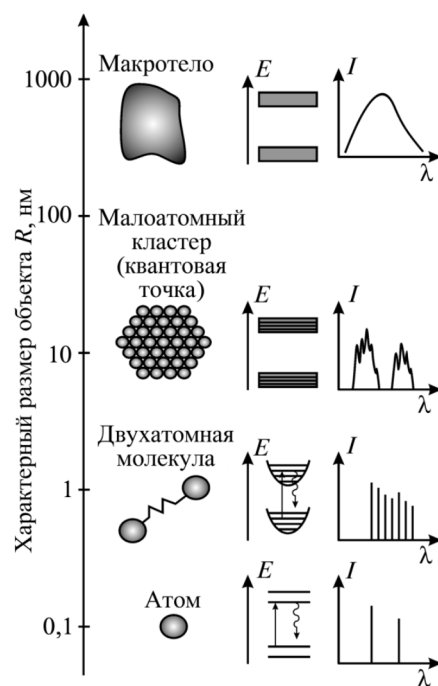


Рис. 2. Зависимость электропроводности от размеров вещества

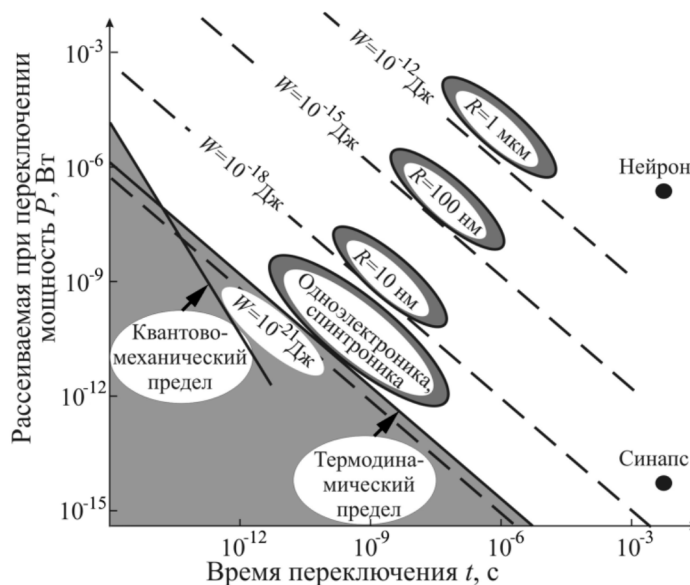


Рис.3. Зависимость рассеиваемой мощности от времени переключения

Например, тепловой (фононный) компьютер, в котором информацию переносят не электроны (как в обычном компьютере), а фононы [3]. Тепло в транзисторе передается квантами колебаний кристаллической решетки (фононами). Исследователи утверждают, что потенциальный тепловой компьютер будет требовать сравнительно мало энергии и сможет питаться, например, остаточным теплом, производимым другими устройствами. В оптическом компьютере (такие уже созданы) функцию тока выполняет свет, также под воздействием единичного фотона (и его характеристик, например, частоты и поляризации) возможно изменение состояния электронного устройства.

Миниатюризация размеров транзисторов привела и решение проблем диссипации энергии привели к идеям создания *четвертичных* цифровых сигналов, так как энергетическое состояние элементарных частиц описывается четырьмя квантовыми числами.

Также есть направления связанные с использованием сверхпроводников, в которых течение электрического тока происходит без заметной диссипации энергии. Но такие материалы и их технологии получения пока являются дорогими.

Поэтому в дальнейшем, по общему мнению специалистов, существующие в промышленности технологии не смогут обеспечить некоторого прогресса, поскольку в значительной мере они уже исчерпали свои возможности эволюционного совершенствования. Дальнейшее освоение наноэлектроники потребует создания принципиально новых физических основ и технологий производства элементной базы. Но пока фундаментальные исследования только нащупывают возможные пути продвижения массовых нанотехнологий в информационные системы.

### **Литература**

1. Красников Г. Я. Наноэлектроника: состояние, проблемы и перспективы развития / Г. Я. Красников, Н. А. Зайцев // Нано-и микросистемная техника. – 2009. – № 1. – С. 2-5.
2. Актуальные проблемы нано- и микроэлектроники: тезисы докладов Всероссийской научной школы. – Тамбов : изд-во Першина Р.В., 2011. 114 с.
3. Прогресс: лента новостей науки, 2012 [Электронный ресурс]: российский сайт новостей науки. // – Режим доступа : <http://lenta.ru/science/>.
4. Мурашко И.А. Методы оценки рассеиваемой мощности в цифровых КМОП схемах/ И.А. Мурашко // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (БГУИ), январь-март. – 2007. – № 1 (17). – С. 100-108.
5. Zhirnov V. V., Cavin R. K. Emerging research nanoelectronic devices: the choice of information carrier // ECS Transactions. – 2007. – V.11. – P. 17-28.
6. Magen N., Kolodny A., Weiser U., Shamir N. Interconnect-power dissipation in a Microprocessor // SLIP '04, February 14-15, 2004, Paris., France

УДК 621.391; 681.324.06

**Григорович В.В.**, к.т.н. (*Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій*)

### **ДО ПИТАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ПРИ СИНТЕЗІ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ**

**Григорович В.В.** До питання удосконалення методів параметричного програмування при синтезі систем зв'язку. Досліджуються методи рішення задачі параметричного лінійного програмування і побудови ефективного алгоритму рішення цієї задачі. Алгоритм дозволяє визначити інтервали стійкості оптимального функціонування даної системи зв'язку, а також оцінити надійність функціонування складної мережі зв'язку, основні характеристики елементів якої задані.

**Ключові слова:** ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ, ІНТЕРВАЛ СТІЙКОСТІ, НАДІЙНІСТЬ