

Вестник Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

№ 4 • 2014 • ИЮЛЬ–АВГУСТ

Издательство Московского университета

Выходит один раз в два месяца

СОДЕРЖАНИЕ

Обзор

Физика конденсированного состояния вещества

- Бакурский С.В., Гудков А.Л., Клёнов Н.В., Кузнецов А.В., Куприянов М.Ю., Соловьёв И.И. Прогресс в области создания новых базовых элементов для энергоэффективной сверхпроводниковой электроники 3

Теоретическая и математическая физика

- Борняков В.Г., Кононенко А.Г. Термальные монополи в $SU(2)$ калибровочной теории на решетке 14

Радиофизика, электроника, акустика

- Гончаренко Б.И., Гордиенко В.А. Некоторые аспекты регистрации импульсных низкочастотных сигналов в воздухе при использовании комбинированной приемной системы 21
- Шахпаронов В.М. Уравнения колебаний с учетом нелинейности до седьмой степени при расположении притягивающих масс на линии равновесия весов 27
- Арсеньян Т.И., Сухарева Н.А., Сухоруков А.П., Чугунов А.А. Индекс мерцаний гауссовских пучков в среде с сильной турбулентностью 35
- Гордиенко В.А., Некрасов В.Н., Краснописцев Н.В. Особенности воздействия подводных течений на низкочастотные гидроакустические стационарные вертикально распределенные приемные системы 44

Оптика и спектроскопия. Лазерная физика

- Аракчеев В.Г., Бекин А.Н., Владимирова Ю.В., Минаев Н.В., Морозов В.Б., Рыбалтовский А.О. Синтез и характеристика серебряных наночастиц в нанопористом стекле ... 55

Физика конденсированного состояния вещества

<i>Энхтор Л., Силонов В.М., Сафронов П.П.</i> Ближний порядок и энергии упорядочения в поликристаллических сплавах золото–медь, богатых золотом.	61
<i>Жуковский В.Ч., Кревчик В.Д., Семёнов М.Б., Зайцев Р.В., Филатов Д.О., Кревчик П.В., Бухараев А.А.</i> Влияние локальных фононных мод широкозонной матрицы на туннельные ВАХ квазиульмерных структур	65
<i>Авдюхина В.М., Акимова О.В., Левин И.С., Ревкевич Г.П.</i> Изменение структурно-фазового состояния фольг сплава Pd–In–Ru после гидрирования и длительной релаксации	72

Астрономия, астрофизика и космология

<i>Буднев Н.М., Иванова А.Л., Калмыков Н.Н., Кузьмичёв Л.А., Сулаков В.П., Фомин Ю.А.</i> Моделирование сцинтилляционного эксперимента Тунка-133	80
--	----

ОБЗОР ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

Прогресс в области создания новых базовых элементов для энергоэффективной сверхпроводниковой электроники

С. В. Бакурский¹, А. Л. Гудков³, Н. В. Клёнов^{1,а}, А. В. Кузнецов¹,
М. Ю. Куприянов², И. И. Соловьёв²

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,

¹ *физический факультет, кафедра атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники;*

² *Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына.
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.*

³ *Научно-исследовательский институт физических проблем имени Ф. В. Лукина.
Россия, 124460, Москва, г. Зеленоград, пр-д 4806, д. 6.*

E-mail: ^а nvklenov@gmail.com

Статья поступила 24.02.2014, подписана в печать 31.03.2014.

Настоящий обзор посвящен обсуждению перспектив решения проблемы низкой степени интеграции традиционных базовых элементов современной сверхпроводниковой цифровой электроники. Выделены три основных направления на пути к компактным многоэлементным джозефсоновским электронным системам: 1) уменьшение до субмикронных размеров самого джозефсоновского контакта; 2) уменьшение типовых логических ячеек; 3) создание компактной и быстрой джозефсоновской памяти. Соответственно в работе излагаются физические основы функционирования джозефсоновских элементов, с тем чтобы показать фундаментальные ограничения, препятствующие созданию стандартных туннельных субмикронных контактов и компактных логических ячеек/элементов памяти. В обзоре наглядно продемонстрирована суть прорывных технологических решений, позволяющих создавать сверхмалые гетероструктуры с требуемыми параметрами, уменьшать и оптимизировать логические ячейки, а также создавать системы памяти на основе джозефсоновских контактов с магнитными слоями.

Ключевые слова: сверхпроводимость, быстрая одноквантовая логика, магнетизм, эффект Джозефсона, джозефсоновский контакт, внутреннее шунтирование, джозефсоновская память.

УДК: 538.945, 537.611.44. PACS: 74.45.+с, 74.50.+г, 85.25.Ср, 85.25.Нv, 74.78.-w, 75.47.-m, 85.75.-d.

Введение

Для современной эпохи «информационного взрыва» практически во всех областях науки и техники характерен экспоненциальный рост объема данных, требующих оперативной обработки. На фоне растущей стоимости материальных ресурсов стремительное увеличение потребления энергии системами обработки и передачи информации превращается в серьезную проблему для отечественной и мировой экономики [1]. Вычислительные и телекоммуникационные комплексы на сегодняшний день потребляют около 5% мировой электроэнергии, причем эта доля возрастет до 10% в ближайшие 5 лет. Приведем для иллюстрации следующие цифры: на 2011 г. энергопотребление 500 лучших суперЭВМ составляло 0.25 ГВт, что в пересчете на один суперкомпьютер (совершающий порядка 10^{15} операций в секунду) в среднем дает 0.5 МВт. При этом расчетное энергопотребление только одного суперкомпьютера следующего поколения, т.е. системы эксафлопсного класса (совершающей порядка 10^{18} операций в секунду), составит 0.5 ГВт. Для сравнения: мощность реактора ВВР-3 атомной электростанции Фукусима-1 составляла всего 0.46 ГВт.

На путях использования традиционной элементной

базы не видно возможностей принципиального решения этой проблемы. Характерный уровень энергопотребления в схемах на базе стандартной кремниевой технологии в расчете на одну логическую операцию составляет порядка 5 фДж. Экономически обоснованный уровень энергопотребления для эксафлопсных ЭВМ должен быть по крайней мере на два-три порядка меньше показателей, доступных для современных полупроводниковых технологий, и составлять не более 20 аДж [2, 3].

С учетом стремительного приближения характерных размеров базовых элементов полупроводниковой электроники к атомарным масштабам, что по фундаментальным причинам исключает возможность дальнейшего использования отработанных подходов к решению задачи повышения их производительности, становится оправданным возрождение интереса к альтернативным принципам создания электроники.

Среди возможных альтернатив можно выделить цифровую сверхпроводниковую джозефсоновскую технологию, обладающую целым рядом преимуществ по таким ключевым параметрам, как быстродействие (характерная частота базового элемента сверхпроводниковой электроники — джозефсоновского контакта — достигает сотен ГГц) и сверхмалое энергопотребление