



**Жанна Соколова
Михаил Степанов**

**Сквозное
проектирование и
изготовление 3D
наносистем, как
законченных изделий,
на цифровых
нанофабриках.
Применение нейронных
сетей для расчёта
топологий наносхем на
базе квантовых
клеточных автоматов**

Михаил Степанов

**Сквозное проектирование и
изготовление 3D наносистем,
как законченных изделий,
на цифровых нанофабриках.**

**Применение нейронных
сетей для расчёта топологий
наносхем на базе квантовых
клеточных автоматов**

«Автор»

2026

Степанов М. В.

Сквозное проектирование и изготовление 3D наносистем, как законченных изделий, на цифровых нанофабриках. Применение нейронных сетей для расчёта топологий наносхем на базе квантовых клеточных автоматов / М. В. Степанов — «Автор», 2026

Описывается современное состояние некоторых разработок в области нанотехнологий. Ключевой особенностью будущих 3D функциональных наносистем, вероятно, будет проектирование и изготовление в одном нанотехнологическом цикле законченного изделия. Это значит совмещение на одной подложке не только логических цифровых наносхем (на базе квантовых клеточных автоматов -- Quantum Cellular Automata -- QCA), но сенсоров разного рода, например, искусственных сетчаток, реализующих первичную обработку видеосигнала (инвариантность к уровню освещения), а также генераторов и аккумуляторов электроэнергии (выпрямителей электромагнитных волн на базе ректенн и суперконденсаторов на базе массивов вертикально ориентированных массивов УНТ), распределённых по поверхности инжекционных нанодвижителей. Сквозное проектирование и изготовление в едином нанотехнологическом цикле на одной подложке 3D функциональных наносистем возможно в многокластерных нанотехнологических установках (МКНТУ) -- цифровых нанофабриках.

Содержание

Содержание	5
Введение	10
Глав	14
Конец ознакомительного фрагмента.	15

Михаил Степанов, Жанна Соколова

Сквозное проектирование и изготовление 3D наносистем, как законченных изделий, на цифровых нанофабриках. Применение нейронных сетей для расчёта топологий наносхем на базе квантовых клеточных автоматов

Содержание

Михаил Валерьевич Степанов, Жанна Валерьевна Соколова

МОСКВА, 2026.

Степанов М.В., Соколова Ж.В., Сквозное проектирование и изготовление 3D наносхем и 3D наносистем, как законченных изделий, на цифровых нанофабриках. Применение нейронных сетей для расчёта и оптимизации 2D/3D топологий наносхем на базе квантовых клеточных автоматов. — Москва, 2026 — 300 с.

Описывается современное состояние некоторых разработок в области нанотехнологий. Ключевой особенностью будущих 3D функциональных наносистем, вероятно, будет проектирование и изготовление в одном нанотехнологическом цикле законченного изделия. Это значит совмещение на одной подложке не только логических цифровых наносхем (на базе квантовых клеточных автоматов — Quantum Cellular Automata — QCA), но сенсоров разного рода, например, искусственных сетчаток, реализующих первичную обработку видеосигнала (инвариантность к уровню освещения), а также генераторов и аккумуляторов электроэнергии (выпрямителей электромагнитных волн на базе ректенн и суперконденсаторов на базе массивов вертикально ориентированных массивов УНТ), распределённых по поверхности инъекционных нанодвижителей. Сквозное проектирование и изготовление в едином нанотехнологическом цикле на одной подложке 3D функциональных наносистем возможно в многокластерных нанотехнологических установках (МКНТУ) — цифровых нанофабриках.

Михаил Валерьевич Степанов, Жанна Валерьевна Соколова.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Глава 1. ФИЗИЧЕСКИЕ КВАНТОВЫЕ ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИИ

Глава 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ И 2D/3D ТОПОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ УПРАВЛЯЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ НАНОСХЕМ НА ОСНОВЕ КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ

Глава 3. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ

Глава 4. СТРУКТУРА НАНОКОМПИЛЯТОРА (САПР НЭ) ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И СКВОЗНОЙ РАЗРАБОТКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОСИСТЕМ, УПРАВЛЯЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ НАНОСХЕМ И СИСТЕМ НА ИХ ОСНОВЕ СОПРЯЖЁННОГО С МКНТУ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ЛИТЕРАТУРА

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Глава 1. ФИЗИЧЕСКИЕ КВАНТОВЫЕ ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИИ

1.1. Актуальные направления исследований. Предметная область нанотехнологии.

1.1.1. Актуальные направления исследований

1.1.2. Физические основы наноэлементов с квантовыми размерными эффектами (КРЭ).

Фундаментальные отличия наноэлементов от микроэлементов. Необходимость учёта и использования КРЭ.

1.1.2.1. Преимущества одноэлектронных бестранзисторных мажоритарных вентиляей..

1.1.2.2. Аппаратная реализация булевой схемотехники СБИС на основе одноэлектронных бестранзисторных мажоритарных вентиляей..

1.1.3. Классификация наноэлектронных приборов.

1.2. Цель нанотехнологии и задачи исследований.

1.2.1. Концепция «Система-на-Кристалле» и нанотехнология. Замкнутая нанотехнологическая линия (дизайн-центр и фабрика) для проектирования и производства БРЭА..

1.2.2. Актуальность и научная новизна нанотехнологии. Как избежать внешнего недружественного технологического контроля над разработками малых серий СБИС

1.3. Многокластерная нанотехнологическая установка для исследования и изготовления наносхем и функциональных наносистем.

1.3.1. ГПС и ГАП: принципы построения открытой архитектуры МКНТУ как «цифровой фабрики».

1.3.2. Программное обеспечение АСУТП МКНТУ.

1.3.3. Инновационная продукция МКНТУ.

1.3.4. Выводы по МКНТУ.

1.4. Математические модели нанолокальных операций формирования и тестирования наноструктур. Нанолокальное зондовое химическое осаждение и травление в газовой фазе (NLZCVD, NLZPE)

1.4.1. Физические основы зондовой нанотехнологии. Осаждение и травление наноструктур в газовой фазе. Массоперенос с помощью газовой среды.

1.4.2. Нанолокальное зондовое химическое осаждение и травление в газовой или жидкой фазе (NLZCVD, NLZCLD)

1.4.2.1. Нанолокальная фиксация и нанолокальное перемещение..

1.4.2.2. Нанолокальное осаждение.

1.4.2.3. Нанолокальное травление.

1.4.2.4. Нанолокальные операции в вакууме, газе и жидкости.

1.4.3. Эксперименты по нанолокальному зондовому формированию нанотопологических объектов

1.4.3.1. Результаты нанолокального формирования полевого нанотранзистора, проводившегося зондовым методом в 1995 году в НИИ МЭ и НТ «Дельта»..

1.4.3.2. Формирование 2D/3D топологии наноструктур на отечественном СТМ СММ-2000Т, ЗАО «Завод ПРОТОН-МИЭТ».

Глава 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ И 2D/3D ТОПОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ УПРАВЛЯЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ НАНОСХЕМ НА ОСНОВЕ КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ

2.1. Физические основы 2D/3D топологий управляющих наносхем на бестранзисторных вычислительных устройствах

2.1.1. Свойства предлагаемых бестранзисторных вычислительных устройств. Квантовый клеточный автомат. Бинарные состояния поляризации ККА

2.1.2. Четыре фазы переключения ККА.

2.1.3. Физические основы генератора 2D/3D топологий управляющих информационных наносхем на основе библиотечных вентилях и вентилях групп на базе ККА.

2.1.4. Термодинамическое рассмотрение работоспособности ККА. Работа БВТУ на базе ККА при криогенной и комнатной температуре..

2.1.5. Модель Гамильтониана для ККА.

2.1.6. Вычисление функции отклика ККА—ККА..

2.1.7. Отклик ККА—ККА при температуре $T > 0K$.

2.1.8. Физические основы и математический формализм описания переключения ККА.

2.1.9. Описание вычисления состояний поляризации ККА на базе математического аппарата нейронных сетей.

2.1.10. Описание самоорганизации наносхем на основе ККА на базе математического аппарата нейронных сетей.

2.1.11. Математическая модель для оценки плотности интеграции 2D топологии наносхем БВТУ и ОЗУ на основе ККА-вентилей

2.1.11.1. Фундаментальные физические и квантовомеханические пределы для наносхем БВТУ и ОЗУ на основе ККА-вентилей на основе теории одноэлектронного туннелирования К.К.Лихарева..

2.1.11.2. Оценка параметров наносхем БВТУ на основе ККА-вентилей..

2.1.11.3. Оценка параметров наносхем ОЗУ на основе ККА-вентилей

2.1.12. Оценка производительности ККА, сравнение с аналогичными устройствами, изготовленными по современной КМОП-технологии

Глава 3. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ

2.2. Физические основы функциональных наносистем..

2.2.1. Термоэлектрические генераторы (ТЭГ).

2.2.1.1. Типы энергетических наноэлементов для ТЭГ.

2.2.1.2. Топливные.

2.2.1.3. Термоэмиссионные..

2.2.1.4. Физические основы генерации энергии в 2D ГК. Монолитные 2D/3D матрицы 2D ГК..

2.2.1.5. Решение уравнения Шрёдингера для граничных условий, задаваемых топологией 2D ГК..

2.2.1.6. Расчёт генерируемой электрической мощности...

2.2.1.7. Качественные характеристики, определяющие энергетические показатели 2D ГК..

2.2.1.8. Расчётные параметры 2D ГК.

2.2.1.9. Выводы по 2D ГК

2.2.2. 2D/3D матрицы широкополосных фотоприёмников и солнечных батарей..

2.2.2.1. Принцип работы..

2.2.2.2. Топологии матриц фотоприёмников..

2.2.2.3. Влияние кривизны контактов на туннелирование электронов

2.2.3. Наноантенные солнечные коллекторы Национальной лаборатории Айдахо Министерства энергетики США..

2.2.4. 2D матрицы широкополосных излучателей.

2.2.5. Расчёт параметров 2D ГК (градиентного концентратора) с целью генерации ВЦШ для изготовления массивов 2D ГК на МКНТУ

2.2.5.1. Оптимизация топологии 2D/3D матриц 2D ГК выпрямительных диодных элементов НАК. Математический формализм для вычислительных экспериментов..

2.2.5.1.1. Зонные диаграммы систем МДМ на базе 2D/3D матриц 2D ГК.

2.2.5.1.2. Блок-схема вычислительных экспериментов.

2.2.5.1.3. Нестационарное уравнение Шрёдингера. Состав оператора Гамильтона для топологии 2D ГК.

2.2.5.1.4. Начальные условия: 2D Гауссов волновой пакет для 2D ГК.

2.2.5.1.5. Граничные условия: топология 2D ГК

2.2.5.1.6. Методы решения систем уравнений.

2.2.5.1.6.1. Итерационный алгоритм поиска численных решений для разностных схем мнимой и вещественной частей.

2.2.5.1.6.2. Алгоритм определения положения движущегося волнового пакета на основе значения энергии/импульса

2.2.5.1.7. Обработка и обобщение результатов вычислений, приведение полученных результатов к удельным характеристикам, относительно площадей областей А, В, С, годным для объективного сравнения..

2.2.6. 2D/3D матрицы инжекционных магнетогидродинамических и магнетогидродинамических наногенераторов электроэнергии.

2.2.7. Силовая система на основе инжекционных нанодвижителей – распределённые матрицы функциональных наноэлементов...

2.2.7.1. Анализ возможных типов наноструктур инжекционных нанодвижителей (ИНД)..

2.2.7.2. ИНД на статических электрических полях – тип 2А..

2.2.7.3. ИНД на статических электрических полях и статических магнитных полях – тип 2В

2.2.7.3.1. Конструкции ИНД типа 2В.

2.2.7.3.2. Анализ различных топологий ИНД на статических электромагнитных полях.

2.2.7.4. ИНД на динамических электромагнитных полях – тип 3С

2.2.7.4.1. ИНД на динамических электромагнитных полях с 90^0 фазовым сдвигом

2.2.7.4.2. ИНД на основе динамических электромагнитных полей с 0^0 фазовым сдвигом.

2.2.7.5. Оценка предельных возможностей ИНД на базе статистической механики и электротехники.

2.2.7.6. Качественные характеристики, определяющие граничные условия применимости нанодвижителей

2.2.7.7. Расчетные параметры нанодвижителей

2.2.8. Суперконденсаторы на базе массивов вертикально ориентированных УНТ (наногазона, нанотравы)..

2.2.8.1. Ёмкость, энергия, мощность конденсаторов.

2.2.8.2. Математическая модель суперконденсатора на базе массивов вертикально ориентированных углеродных нанотрубок

Глава 4. СТРУКТУРА НАНОКОМПИЛЯТОРА (САПР НЭ) ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И СКВОЗНОЙ РАЗРАБОТКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОСИСТЕМ, УПРАВЛЯЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ НАНОСХЕМ И СИСТЕМ НА ИХ ОСНОВЕ СОПРЯЖЁННОГО С МКНТУ

3.1. Блок-схема замкнутой нанотехнологической линии.

3.2. Технические требования к нанокompильтору.

3.2.1. Целевые нанотехнологические платформы, поддерживаемые типы наноструктур, поддерживаемые нанотехнологии.

3.2.2. Типы формируемых управляющих информационных наносхем и функциональных наносхем

3.2.3. Входные данные – формы: графическая, текстовая, параметрическая

3.2.4. Внутренняя обработка

3.2.5. Выходные данные – формы: 2D виртуальные цифровые шаблоны, нанотехнологические маршрутные карты, библиотеки верифицированных наноэлементов и синтезательных фрагментов наносхем

3.2.6. Поддерживаемые стандарты SEMI и нанокомпиляторы-прототипы: Q-BART, QCADesigner

3.2.7. Методы расчётов, внешние пакеты программ, параллельное программирование.

3.2.8. Методы визуализации на основе виртуальной реальности.

3.2.9. Требования к языкам и стилям кроссплатформенного программирования для создания и отладки переносимых исходных текстов нанокомпилятора

3.2.10. Требования к ОС, ЛВС, оборудованию рабочих мест.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ЛИТЕРАТУРА

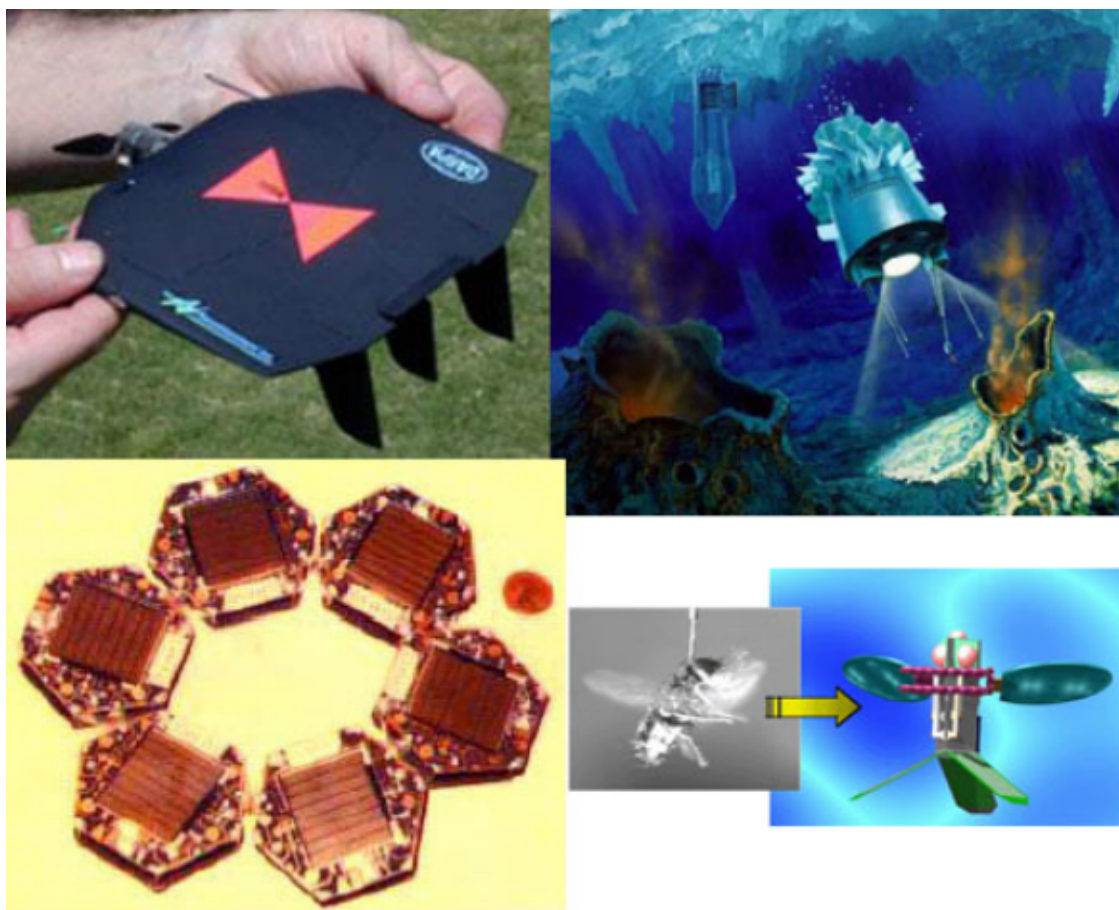
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Введение

В настоящее время в отечественной и зарубежной литературе уделяется всё большее внимание методам построения аппаратно-программных комплексов (АПК) для разработки и изготовления технических средств на базе достижений нанотехнологии. Вместе с тем, остаются недостаточно освещёнными вопросы создания АПК для обеспечения работы «цифровых фабрик» — гибких производственных систем (ГПС), содержащих в единой системе дизайн-центр и нанофабрику. Такой АПК должен содержать распределённые программные средства, работающие в локальной вычислительной сети (ЛВС) соединяющей модуль суперкомпьютера с нанокompилятором (САПР наносистем и наносистем) с модулем АСУТП, на котором формируются (хранятся в базе данных и редактируются) нанотехнологические маршрутные карты (НТМК). Далее, такая ЛВС соединяет модуль АСУТП с управляющими компьютерами транспортных, технологических, аналитических модулей открытой системы ГПС цифровой фабрики. В качестве цифровой фабрики выступает многокластерная нанотехнологическая установка (МКНТУ). За счёт сопряжения на одной технологической площадке АПК для автоматизированной разработки наносхем и СБИС на их основе и ГПС МКНТУ можно резко и существенно снизить издержки производства, добиться рентабельности мелких серий, получить возможность на одном месте разрабатывать, проектировать и изготавливать на базе групповых и нанолакальных технологий плазмохимического осаждения и травления функциональные наносистемы целиком.

Такие наносистемы, как малогабаритные беспилотные летательные аппараты (МБЛА), сверхмалые космические аппараты (СМКА), малогабаритные необитаемые подводные лодки (МНПЛ), микророботы и нанороботы, в том числе, обладающие распределённым коллективным управлением, будут иметь в своём составе, и получать сразу в процессе изготовления:

1. подсистемы сенсоров на основе 2D/3D матриц 2D градиентных концентраторов и наноантенн;
2. подсистемы генераторов и аккумуляторов энергии на основе 2D/3D матриц 2D градиентных концентраторов и наноантенн и суперконденсаторов на базе вертикально ориентированных массивов углеродных нанотрубок;
3. подсистемы аналого-цифровых наносхем для логической, арифметической обработки информации, хранения в оперативной и долговременной памяти и операций ввода-вывода на основе квантовых клеточных автоматов;
4. подсистемы интегральных распределённых исполнительных устройств – нанодвижителей (распределённых электрореактивных двигателей типа молекулярного рельсотрона), нанососов, наноизлучателей излучателей электромагнитных волн (ЭМВ) на базе 2D/3D матриц 2D градиентных концентраторов и наноантенн и т.п.



- разведывательный МБЛА «чёрная вдова», запускаемый с руки;
- МНПЛ (НАСА США) – позиционируется НАСА для поиска жизни на спутнике Юпитера – Европе, где есть океан с водой и условия для жизни. Очевидно, что на планете Земля будет использоваться скорее, чем на спутнике Юпитера;
- модельная система для наноробототехники. Самособирающиеся роботы (диаметр: 7,5 см) отмечают место, где под землёй находится неразорвавшаяся мина. Такие роботы дешёвы, питаются от солнечных батарей и не имеют процессора, что облегчает их применение и миниатюризацию;
- МБЛА (НАСА США, Калифорнийский Университет в Беркли), использующий принципы полёта насекомых и имеющий размеры насекомых.

Рис.0.1. Микророботы-дроны [370—373].

В перспективных цифровых фабриках, основанных на ГПС, основная стоимость создаётся не на тиражировании образцов, как в индустриальную эпоху, тиражирование теперь рентабельно выполняется автоматически сериями любых объёмов, в том числе крайне мелких, и гибко перестраивается. Именно в процессе разработки нового образца теперь создаётся новая стоимость. Стоимость гибко настраиваемого автоматического тиражирования образцов стремиться к минимальным близким к нулю значениям. Сделать на цифровой фабрике можно любой образец. Важно его разработать. В этом суть постиндустриальной экономики. Подавляющая часть стоимости создаётся на этапе разработки новых образцов.

Поэтому ключевое значение имеет дизайн-центр, сопряжённый с нанофабрикой. Основой такого дизайн-центра является суперкомпьютер, обеспечивающий массивный параллелизм вычислений, необходимый для моделирования наноэлементов и наносистем. На этом суперкомпьютере должно быть установлено программное обеспечение, выполняющие функции САПР наноструктур и наносистем. Функции дизайн-центра состоят в обеспечении воз-

возможности провести математическое моделирование параметров наноструктур и функциональных наносистем и выдать информацию для управления формированием этих наноструктур и наносистем на цифровой фабрике.

Поэтому имеется озабоченность, что остаются недостаточно освещёнными вопросы создания математических моделей гибридных структур бестранзисторных СБИС и 2D/3D матриц функциональных наноэлементов и наносистем с распределёнными параметрами для аналоговой, цифровой, арифметической, логической, специальной обработки данных, хранения и ввода-вывода информации. Практически не рассмотрены в современной литературе методы и алгоритмы организации массивно параллельной обработки информации для численного решения дифференциальных уравнений в частных производных в интересах АПК для разработки наноструктур и наносистем. Например, массивно параллельного решения системы уравнений на базе нестационарного уравнения Шрёдингера для оптимизации наноструктур 2D градиентных концентраторов. Недостаточно публикаций, посвящённых разработке АПК, выполняющих анализ исходных текстов (кодов) на языках описания SystemC, C, для синтеза структур бестранзисторных СБИС.

В монографии описывается современное состояние некоторых разработок в области нанотехнологии. Ключевой особенностью будущих функциональных наносистем, вероятно, будет проектирование и изготовление в одном нанотехнологическом цикле законченного изделия. Это значит совмещение на одной подложке не только логических цифровых наносхем (на базе квантовых клеточных автоматов — QCA), но и сенсоров разного рода, например, искусственных сетчаток, реализующих первичную обработку видеосигнала (инвариантность к уровню освещения), а также генераторов и аккумуляторов электроэнергии (суперконденсаторов на базе массивов вертикально ориентированных углеродных нанотрубок), распределённых по поверхности исполнительных устройств, например, инжекционных нанодвижителей. Такое сквозное проектирование и изготовление в едином нанотехнологическом цикле на одной подложке 3D функциональных наноструктур, являющихся законченными изделиями (малогабаритными беспилотными летательными аппаратами и т.п.), возможно в многокластерных нанотехнологических установках (МКНТУ) — цифровых нанофабриках, включающих 3D-нанопринтер на базе сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) и суперкомпьютера с нанокомпилятором (САПР наносистем).

Изложены физические основы схемотехнических и 2D/3D топологических решений управляющих информационных наносхем и функциональных наносистем на основе квантово-размерных эффектов. Показаны свойства предлагаемых бестранзисторных вычислительных устройств (БТВУ) на основе квантовых клеточных автоматов (ККА): бинарные состояния поляризации ККА, четыре фазы переключения ККА. Приведены физические и алгоритмические основы генератора 2D/3D топологий управляющих наносхем на основе библиотечных вентилях и вентилях групп на базе ККА.

Изложены физические основы функциональных наносистем: термоэлектрических генераторов (ТЭГ) на базе плоских градиентных концентраторов (2D ГК), физические основы генерации энергии в 2D ГК.

Описаны монолитные 2D/3D матрицы 2D ГК. Приведён расчёт генерируемой электрической мощности, качественные характеристики, определяющие энергетические показатели **2DГК**, расчетные параметры **2DГК**. Описаны 2D/3D матрицы широкополосных фотоприёмников, солнечных батарей и 2D матрицы широкополосных излучателей. Приведены топологии матриц фотоприёмников и влияние кривизны контактов на туннелирование электронов. Показан расчёт параметров 2D ГК с целью генерации виртуальных цифровых шаблонов (ВЦШ) для изготовления массивов 2D ГК на МКНТУ. Приведен алгоритм оптимизации топологии 2D/3D матриц 2D ГК выпрямительных диодных элементов наноантенных солнечных коллек-

торов (НАК). Сформулирован математический формализм для вычислительных экспериментов на базе зонных диаграмм систем МДМ для 2D ГК.

Описаны физические основы и оценены технические характеристики силовой системы на основе инжекционных нанодвижителей – распределённые матрицы функциональных наноэлементов электрореактивных движителей, использующих в качестве рабочего тела дипольные молекулы окружающей газообразной и жидкой среды. Инжекционные нанодвижители позволят создать ЛА, БЛА, МБЛА, надводные корабли и ПЛ, НПЛ, МНПЛ, НРТК со сверхнадёжными распределёнными по поверхности движителями, которые обеспечат сверхманёвренность. КПД инжекционных нанодвижителей потенциально намного выше других типов движителей за счёт отсутствия потерь мощности в редукторах и других вращающихся частях, которые им не нужны. Электрическая энергия напрямую преобразуется в кинетическую энергию механического движения.

Описаны физические основы и оценены технические характеристики 2D/3D матриц магнитогидродинамических и магнитогидродинамических наногенераторов электроэнергии. Такие наногенераторы позволят напрямую преобразовывать кинетическую энергию механического движения потоков газообразной и жидкой среды в электрическую энергию с высоким КПД за счёт отсутствия потерь в редукторах, которые им не нужны.

Комбинация в единой интегральной структуре сенсорных, энергогенерирующих, энергозапасяющих, вычислительных логических и исполнительных элементов позволит в едином технологическом цикле проектировать и изготавливать законченные изделия на базе МЭМС и НЭМС, например: медицинские носимые приборы, сверхмалые БЛА, НПЛ, СМКА, НРТК и т.п.

Оригинальная монография развивает научное направление наноэлементов, наносхем, функциональных наносистем, нанотехнологий и даёт представление об облике производства и промышленной продукции 6-го технологического уклада, который по прогнозам аналитикой будет основан на принципах и сочетании нано-, био-, инфо-, когнитивных технологий. Разработанные принципиально новые методы могут быть реализованы на основе элементов непрерывной и квазипрерывной электроники в системах решающих задачи распознавания, диагностики и управления.

Глав

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.