

РЕАЛИЗАЦИЯ КВАНТОВО - ТОЧЕЧНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

Закирова Эльвира Рамилевна

студент, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, РФ, г. Казань

Шульгин Дмитрий Анатольевич

канд. физ.-мат. наук, доцент, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, РФ, г. Казань

QCA DEVICE IMPLEMENTATION

Elvira Zakirova

student, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI, Russian, Kazan

Dmitriy Shulgin

candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate Professor, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI, Russian, Kazan

Аннотация. В статье представлен обзор методов реализации реальных устройств на квантово – точечных клеточных автоматах. Рассматриваются точечно – металлический, полупроводниковый, магнитный и молекулярный методы, а также их преимущества и недостатки.

Abstract. The article presents an overview of the methods for implementing real devices on quantum dot cellular automata. The point - metal, semiconductor, magnetic and molecular methods, as well as their advantages and disadvantages are considered.

Ключевые слова: квантово – точечные клеточные автоматы; КТКА; молекулярные; магнитные; квантовые точки; ячейка; полупроводник; металл; химические связи.

Keywords: quantum-dot cellular automata; QCA; molecular; magnetic; quantum dots; cell; semiconductor; metal; chemical bonds.

Квантово – точечные клеточные автоматы – это не только теоретическая модель, но и существующие экспериментально продемонстрированные устройства. Что касается физического внедрения технологии КТКА, многие решения были предложены и реализованы в течение почти двух десятилетий. Среди них выделяются следующие примеры.

Реализация металл - точка (точечно - металлическое)

В этом методе реализации точки в КТКА представлены металлическими островками (например, Al), как показано на рис. 1 и эти металлические островки соединены друг с другом посредством туннельных контактов, позволяющих электронам свободно перемещаться [1, с. 5]. Эта базовая ячейка КТКА делится на два полуэлемента, между которыми есть конденсаторы, соединенные внутри, чтобы предотвратить перезарядку острова.

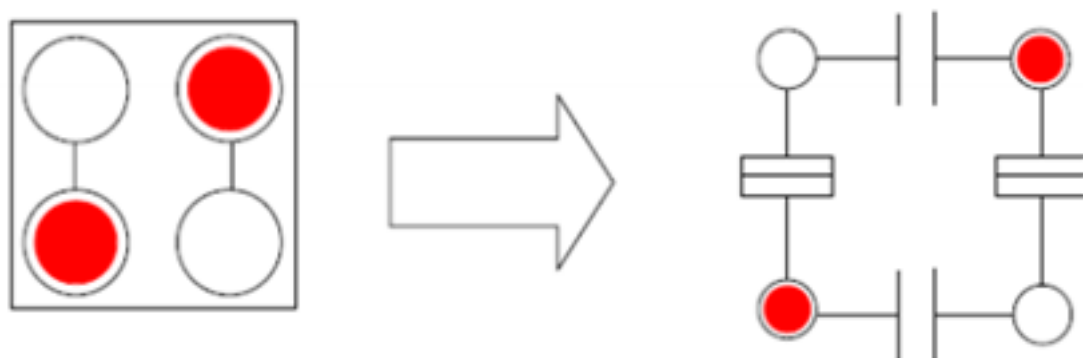


Рисунок 1. КТКА и его эквивалентная схема, реализованная с металлическими островками

Решение металл - точка было первой технологией с помощью которой реализовали КТКА. Однако из-за относительно больших размеров точек, реализуемых островками металла и связанной с ними тепловой энергией, такая система реализации могла работать только при чрезвычайно низкой температуре окружающей среды, т. е. криогенной температуре около десятков мК, для наблюдения квантовых эффектов и ее структурных свойств, не пригодных для масштабируемого проектирования схмотехники. При этом максимальная рабочая частота ограничена в диапазоне МГц.

Реализация полупроводник-точка

Другая идея была основана на полупроводниковой структуре [2, с. 547]. Некоторые возможные реализации были выполнены с использованием полупроводников, таких как кремний [3, с. 27] или гетероструктура GaAs/AlGaAs [3, с. 29].

Полупроводниковые (или твердотельные) реализации КТКА потенциально могут быть использованы для реализации устройств КТКА с такими же высокотехнологичными процессами производства полупроводников, которые используются для реализации КМОП-устройств. Поляризация ячеек кодируется как положение заряда, а квантово-точечные взаимодействия зависят от электростатической связи.

Тем не менее, из-за низкой производительности и чрезвычайно низкой рабочей температуры, по сравнению со стандартной технологией на основе КМОП, от технологий металл-точка, и полупроводниковой довольно быстро отказались.

Магнитная реализация

Другое физическое решение, подходящее для построения устройства КТКА, основано на логике наномангнетиков [3, с. 17], которая является так называемым магнитным КТКА. Точки реализуются магнитными доменами. В отличие от традиционной реализации КТКА, где логические состояния кодируются с точки зрения различных конфигураций мобильных зарядов, содержащихся в ячейках, двоичная информация в магнитном КТКА представлена вектором намагничивания (вверх или вниз) этих наномангнетиков. Вместо эффектов электронного туннелирования термин «квант» относится к квантовомеханическому характеру магнитных обменных взаимодействий. Таким образом, информация распространяется между магнитными устройствами КТКА из-за взаимодействия магнитного поля (ферромагнитного или антиферромагнитного), и устройства, реализованные таким образом, могут работать при комнатной температуре. Реализация магнитного КТКА наиболее изучена и проработана по сравнению с другими.

Молекулярная реализация

В качестве альтернативы этим упомянутым подходам предлагаемый, но еще не реализованный метод состоит в создании устройств КТКА из отдельных молекул, известных как молекулярный КТКА (МКТКА) [4, с. 2]. Преимущества решения МКТКА, которые делают его превосходящим другие, - это высокосимметричная структура ячейки, сверхвысокие скорости переключения, чрезвычайно высокая плотность устройства, работа при комнатной температуре и даже возможность создания массовых устройств посредством самосборки молекул. Однако ряд технических проблем, включая выбор молекул, разработку правильных механизмов взаимодействия и технологию синхронизации, еще предстоит решить, прежде чем этот подход может быть экспериментально продемонстрирован.

Установлено, что молекулярная КТКА является наиболее перспективной среди всех предлагаемых новых технологий, из-за того, что имеет молекулярные размеры устройства, и позволяет проводить расчеты при комнатной температуре. При этом скорость переключения может достигать ожидаемых высоких рабочих частот (до ТГц), а также высокой плотности устройства [4, с. 10]. В частности, подход МКТКА является аналогом металл-точечной реализации КТКА и оба они используют конфигурацию мобильных зарядов для определения логических состояний и двоичная информация передается через электростатическое взаимодействие.

Внутри МКТКА квантовые точки обслуживаются окислительно-восстановительными центрами молекул в качестве загрузочных контейнеров. Это связано с тем, что центр окислительно-восстановительного потенциала может добавить электрон (восстанавливаться) или потерять электрон (окисляться) без разрушения химических связей [4, с. 6]. Поэтому окислительно-восстановительный центр может характеризоваться низколежащими несвязывающими (p или d) орбиталями. Вообще говоря, молекула находится в нейтральной форме, тогда как производительность вычислений МКТКА [может быть повышена, если такая молекула находится в окисленной или восстановленной форме. В окисленной молекуле отсутствует электрон и его чистый заряд положителен; в приведенной форме молекула притягивает электрон, что приводит к отрицательному сетевому заряду. Вследствие этого молекула и соответствующий ей противоион образуют нейтральную систему.

Другим возможным способом окисления молекулы является циклическая вольтамперометрия, поэтому процессы окислительно-восстановительных центров электрически переносятся вне.

Список литературы:

1. Toth G., Lent C.S. Quasiadiabatic switching for metal-island quantum-dot cellular automata //Journal of Applied Physics. - 1999. - Т. 85. - №. 5. - С. 2977-2984.
2. Lent C.S., Tougaw P.D. A device architecture for computing with quantum dots //Proceedings of the IEEE. - 1997. - Т. 85. - №. 4. - С. 541-557.
3. Wang R. Analysis and Modulation of Molecular Quantum-dot Cellular Automata (QCA) Devices. -

2019.

4. Piccinini G. Effectiveness of Molecules for Quantum Cellular Automata as Computing Devices. – 2019.

5. Афанасьев А.В. Нанотехнология: физика, процессы, диагностика, приборы: монография / А.В. Афанасьев, В.П. Афанасьев, Г.Ф. Глинский, С.И. Голудина; под ред. Лучинина В.В., Таирова Ю.М. — Москва: Физматлит, 2006. — 552 с.

6. Дзидзигури Э.Л. Процессы получения наночастиц и наноматериалов. Нанотехнологии: учебное пособие / Э.Л. Дзидзигури, Е.Н. Сидорова. — Москва: МИСИС, 2012. — 71 с.