

КВАНТОВО – ТОЧЕЧНЫЕ КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ И БЕСПРОВОДНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ЛОГИКА

Преподаватель: Гриценко Л.В.
Студент: Куспанов Ж. Б.
Специальность: 5В072300
Группа: ТФб-14-1р

Алматы 2017

Потребности в разработке логических устройств для нанокomпьютеров с очень высокой плотностью логических элементов и с максимально возможно низким потреблением энергии на одно переключение привели к предложениям использовать в логических элементах проводящие островки очень малого размера – квантовые точки. В таких приборах для реализации вычислений логических булевых функций используют массивы связанных взаимодействующих квантовых точек. Эти новые приборы называют квантово-точечными клеточными автоматами (QCA – Quantum Cellular Automata).

Основу прибора составляет ячейка, состоящая из четырех или пяти квантовых точек. Ячейка из пяти квантовых точек (четыре точки расположены в углах квадрата, а одна – в его центре) имеет вид в соответствии с рисунком 1.



Рис 1. Различные конфигурации ячеек квантово-точечных автоматов

В ячейку при помощи внешнего напряжения через дополнительный электрод вводятся два избыточных электрона, и ячейка приобретает электрический заряд. Квантовые точки в ячейке располагаются таким образом, что возможно туннелирование только через центральную точку. Из-за электростатического отталкивания между избыточными электронами вся система будет иметь минимальную энергию только в том случае, если электроны расположатся как можно дальше друг от друга, т. е. в углах квадрата, соединенных диагональю. Поскольку таких возможных положений всего два, то система имеет всего два устойчивых состояния (две поляризации), и, следовательно, одно из этих состояний можно считать логической единицей («1»), а второе – логическим нулем («0»). При переходе системы из одного устойчивого состояния в другое меняются поляризация системы и распределение электрических полей вокруг ячейки. С помощью дополнительных электродов, связанных с ячейкой емкостной связью, можно навязать ячейке необходимое состояние и перевести ее в состояние «1» или «0». Если рядом с первой ячейкой расположить вторую (в которой также находится два дополнительных электрона), то электростатическое поле первой ячейки заставит электроны располагаться так, чтобы обеспечить минимум электростатической энергии всей системы

Составляя комбинации из расположенных разным образом ячеек, можно реализовать разнообразные логические функции и выполнить необходимые логические преобразования и вычисления.

Пример комбинации ячеек, при которой состояние на выходе определяется большинством состояний на входе (логическая функция «Majority») имеет вид в соответствии с рисунком 2. Предложены разнообразные комбинации ячеек для реализации логических операций. На основе таких элементов возможно создание нанокomпьютера. Важно отметить, что взаимное расположение ячеек обеспечивает передачу логического сигнала без перемещения зарядов вдоль цепочки – в бестоковом режиме, только за счет передачи вдоль цепочки состояния поляризации.

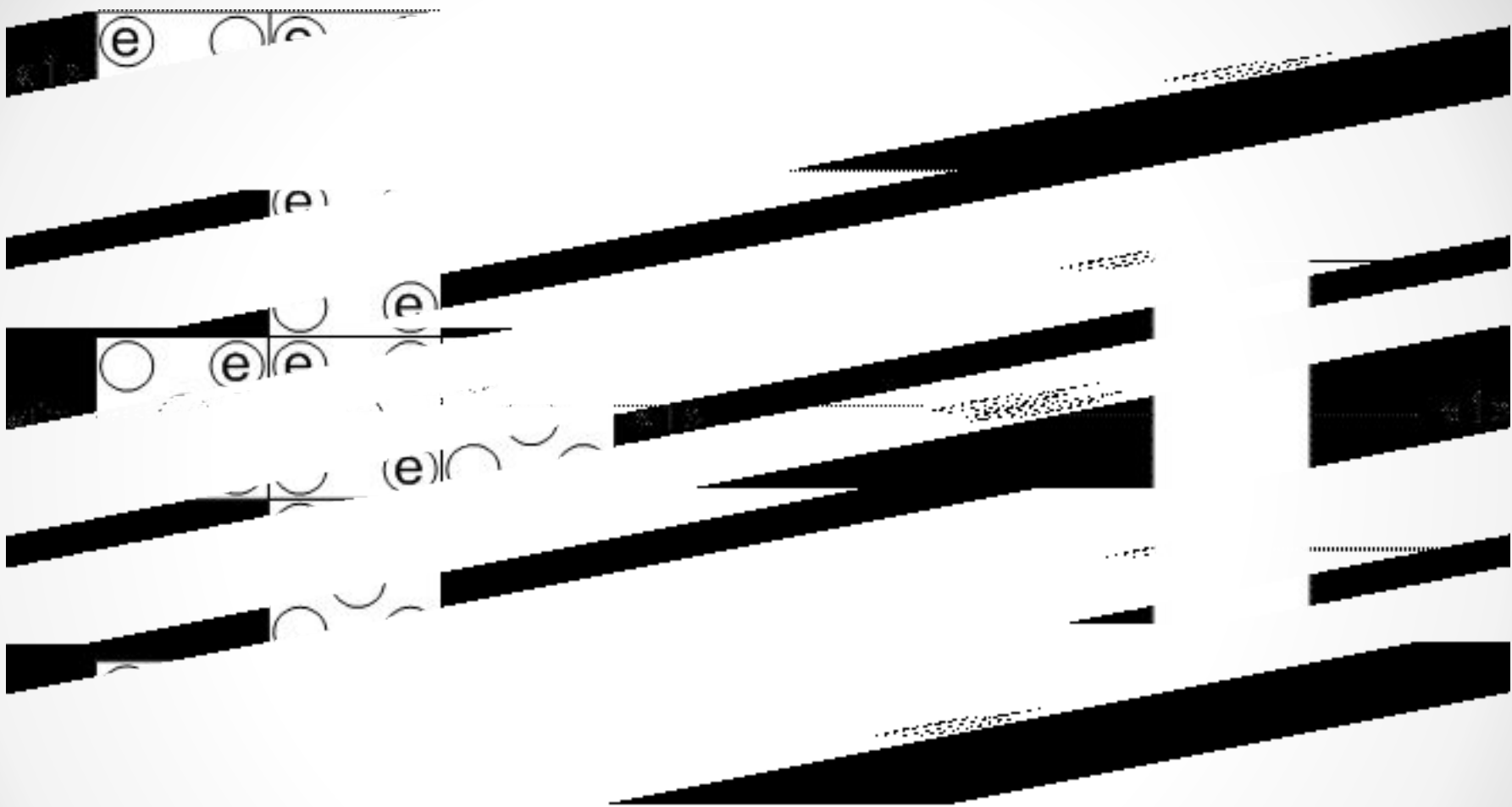


Рисунок 2 – Комбинации ячеек квантово-точечного автомата, при которых состояние на выходе определяется большинством состояний на входе

Преимущества логических устройств на основе квантово-точечных клеточных автоматов состоят в том, что по сравнению с аналогичными устройствами на основе полевых транзисторов требуется значительно меньший объем активной области. Например, полный сумматор на основе клеточных автоматов с размером точки 20 нм можно расположить на площади около 1 мкм², в то время как такую же площадь занимает всего лишь один полевой транзистор. Для построения такого же сумматора на основе полевых транзисторов требуется примерно 40 транзисторов. Если еще учесть области коммутации транзисторов между собой, а они, как известно, занимают объем, сравнимый или даже превосходящий объем, занятый активными приборами, то преимущества использования клеточных автоматов становятся очевидными

Принципиальная возможность функционирования логических элементов на основе клеточных автоматов была продемонстрирована на примере ячейки, изготовленной при помощи стандартной электронно-лучевой литографии из алюминиевых островков на поверхности окисленной кремниевой пластины. Площадь прибора составляла величину примерно $50 \times 50 \text{ нм}^2$.

Вычислительный процесс в приборах на основе клеточных автоматов осуществляется при переходе всей совокупности ячеек в состояние с минимальной энергией – в основное состояние. Поскольку сложные вычислительные устройства должны содержать большое число ячеек, то состояние с минимальной энергией можно получить разными способами. Это может приводить к ошибкам в вычислениях. Кроме того, такие системы чувствительны к внешним воздействиям и поэтому требуют строгого контроля внешних условий. При повышении температуры вычислительный процесс может быть разрушен. Для ячеек, у которых размер одной квантовой точки ~ 20 нм, изменение энергии при перезарядке точки составляет величину ~ 1 мэВ (примерно $1/20 k \times T$ при комнатной температуре). Так же как и для одноэлектронного транзистора, рабочую температуру нужно повышать за счет уменьшения размеров ячейки (и соответственно каждой квантовой точки).

Существует еще одна проблема, которая должна быть решена для успешной работы устройств на основе клеточных автоматов. Она состоит в том, что поскольку электростатическое поле ячейки влияет на соседние ячейки как в направлении выхода устройства, так и в направлении входа, то из-за случайных воздействий возможно распространение сигнала не только от входа к выходу, но и наоборот. Для устранения этого недостатка предложены устройства на основе квантовых точек, у которых направление передачи сигнала определяется внешним электрическим полем. Практическое изготовление устройств на основе клеточных автоматов находится в самой начальной стадии и требует разрешения целого ряда проблем, в основном технологических.

