

СВЕРХПЛОТНАЯ ЗАПИСЬ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПАМЯТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭВМ

Золотопуп А.И., Ходаковский Н.И.

Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, г. Киев, Украина

Использование молекулярных и квантовых элементов для записи информации открывает новые физические возможности повышения эффективности вычислительных систем. Это объясняется существенным уменьшением потерь энергии на выполнение одной логической операции, массовым параллелизмом, высокой плотностью записи информации (вплоть до 1 бита на несколько атомов).

Существует огромное число молекулярных систем, имеющих несколько устойчивых состояний (электрических, магнитных, оптических, химических), в которых можно осуществлять переходы между этими состояниями под действием внешних факторов (электрическое и магнитное поля, электромагнитное излучение, химические реакции). Из таких молекул или групп молекул могут быть сконструированы различные элементарные вычислительные устройства. Размеры этих элементов составляют 10-50 нм и, следовательно, позволяют создавать устройства с плотностью записи до 10^{12} бит/см². При этом, быстродействие молекулярных элементов определяется временами электронных переходов и может достигать величин порядка 10^9 - 10^{12} оп/сек. Энергопотребление внутримолекулярных процессов очень мало и составляет 10^{-8} - 10^{-10} Вт.

Перечисленные теоретически возможные преимущества молекулярных систем известны давно, однако не было методов создания упорядоченных молекулярных ансамблей. Одним из первых методов решения этой задачи была технология пленок Ленгмюра-Блоджетт.

Первые двоичные молекулярные элементы были основаны на изменении состояния молекулярного ансамбля при воздействии на него электрического сигнала. Одним из таких элементов, является молекулярная цепочка, представляющая собой чередование потенциальных ям и барьеров. В такой цепочке возможен эффект резонансного туннелирования. При совпадении энергии входящего в цепочку свободного электрона с одним из уровней в потенциальной яме вероятность прохождения электрона через цепочку равна 1. При подаче потенциала на одну из молекул, соответствующих квантовой яме уровни смещаются, условия резонанса нарушаются и цепочка становится непроводящей. На основе эффекта резонансного туннелирования можно реализовать различные логические элементы. Для создания таких элементов используются молекулы порфиринов, соединенные углеводородными мостиками.

Для управления состоянием отдельной молекулы применяют зонд туннельного микроскопа, который можно использовать для исследований при разработке и создании молекулярного компьютера.

Архитектура параллельных вычислительных систем, традиционно используемая в разрабатываемой вычислительной технике, реализуется на основе твердотельной микроэлектронной элементной базы, но совершенно очевидно, что такая архитектура вполне подходит для молекулярных систем. Идея параллельных вычислений открывает путь к решению двух принципиальных проблем создания молекулярных вычислительных устройств. С одной стороны решается проблема адресации, т.к. отпадает необходимость контакта к каждому логическому молекулярному элементу. С другой стороны, многие типы параллельных вычислительных систем устойчивы к выходу из строя определенного числа логических элементов. Это происходит в результате технологических дефектов молекулярных слоев, которые не приводят к выходу из строя всей вычислительной системы, а лишь ослабляют интенсивность выходного сигнала.

В качестве вычислительных систем параллельного действия представляется перспективным использование таких природных биологических объектов, как бактериородопсин, родопсин, фитохром, ряд ферментов и белков, а также природные нейроструктуры. При использовании молекулярных структур необходимо решить такую очень важную проблему, как стыковка биологических молекулярных объектов с макроскопическими опто- и микроэлектронными устройствами ввода-вывода информации. В качестве основного микроэлектронного объекта стыковки элементов памяти с устройствами управления можно рассматривать полевой МДП-транзистор, затвор которого связан с молекулярным фрагментом памяти. Очевидно, что при площади затвора транзистора 1 мкм^2 будет восприниматься суммарный отклик от большого числа молекул (10^3 - 10^4). Проблему по снятию сигнала с такого количества молекул можно решать различными методами. Одним из таких методов является стыковка обычных МДП полевых транзисторов с фрагментами пурпурных мембран, которые представляют собой белковые молекулы бактериородопсина, упакованные в двухслойную липидную мембрану. Основным свойством молекулы бактериородопсина является перенос протона с одной стороны мембраны на другую при поглощении кванта света с длиной волны 570 нм. Акт переноса протона может быть зарегистрирован с помощью полевого транзистора, в котором на месте затвора расположена пурпурная мембрана. Поскольку линейные размеры пурпурных мембран сравнимы с размерами транзисторов (до 1,0 мкм), то такая стыковка оказывается вполне реальной. Слои бактериородопсина, состоящие из пурпурных мембран могут быть нанесены на подложку методом Ленгмюра-Блоджетт. Таким образом, можно выполнять стыковку микроэлектронных систем с молекулярными, а также производить преобразование оптических сигналов в электрические.

Основной особенностью перечисленных выше молекулярных носителей, используемой разработчиками запоминающих структур, является наличие двух состояний молекулярной структуры. Указанная способность позволяет определять текущее состояние молекулы с помощью лазера, настроенного на

соответствующую частоту. В настоящей работе рассматривается система памяти, в которой молекулярный носитель запоминает данные в трехмерной матрице в виде прозрачной капсулы, заполненной полиакридным гелем. Один из вариантов такой капсулы может иметь размеры 20 x 20 x 40 мм. Для функционирования памяти капсулу помещают в запоминающую структуру, состоящую из нескольких лазеров и детекторной матрицы, реализованной на базе прибора, использующего принцип зарядовой инжекции, и позволяющей производить запись и чтение данных.

Перед записью данных с помощью желтого страничного лазера на 590 нм производится активизация возбужденной плоскости в материале внутри капсулы. Получение энергоактивной плоскости в виде страницы данных, требует наличия пространственного светового модулятора. Таким модулятором может быть жидкокристаллическая матрица, создающая маску на пути лазерного луча. Таким образом, при активизации записываемой плоскости происходит перевод молекул в О - состояние, соответствующее значению бита "0".

Для записи информации зажигается красный лазер, перед которым также устанавливается пространственный световой модулятор, отображающий двоичные данные. При этом последний создает на пути луча необходимую маску, способствующую облучению только определенных точек страницы. Молекулы в таких местах будут соответствовать двоичной единице в отличие от оставшейся части страницы, представляющей двоичные нули.

Для чтения информации необходимо включить считывающий лазер, при этом, из-за различия в спектрах поглощения, можно идентифицировать двоичные нули и единицы. Молекулы, представляющие двоичный ноль, поглощают красный свет, а представляющие двоичную единицу пропускают луч мимо себя. В результате получается рисунок из светлых и темных участков на фоторегистрирующей матрице. Последняя позволяет хранить страницу цифровой информации.

Для стирания данных достаточно короткого импульса синего лазера, чтобы вернуть молекулы из состояния двоичной единицы в двоичный ноль. Страница данных может быть прочитана без разрушения до 5000 раз, после чего освежается с помощью новой записи.

С помощью предложенной запоминающей структуры можно получить доступ к данным со скоростью до 90 МВ/с при условии объединения по восемь запоминающих битовых ячеек в байт с параллельным доступом и соответствующей схемотехнической реализации системы памяти. Емкость данных в рассмотренной кювете может достигать до 1,4 GB, поскольку дальнейшее увеличение емкости данных связано с конструктивными особенностями линзовой системы, а также с качеством непосредственно самого молекулярного носителя.

При обработке молекулярного носителя лазерным лучом во время записи-стирания с энергией выше 8- 10 мДж/см² не достигается существенного увеличения уровня сигнала считывания информации. Сигнал с фоторегистрирующей матрицы обрабатывается и регистрируется на ЭВМ.

Проведенные исследования позволяют говорить о хранении и обработке информации на молекулярном уровне. Идентификация двоичных нулей и единиц производится за счет разности спектров поглощений лазерного излучения различными состояниями исследуемой молекулярной структуры. При этом молекулы, поглощающие свет, отвечают двоичному нулю, а молекулы, пропускающие лазерный луч мимо себя, отвечают двоичной единице.

Исследуемые молекулярные запоминающие структуры, кроме сверхвысокой плотности записи информации, почти не имеют потерь энергии на выполнение одной логической операции, а также позволяют достигать массового параллелизма. Гибридные системы хранения и обработки информации, которые совмещают свойства твердотельных ЭВМ и молекулярных вычислительных систем, могут быть эффективно использованы в различных отраслях науки и техники.

Значительные перспективы, которые открывает технология записи и считывания информации на светочувствительном материале, позволяют обеспечить максимальную скорость доступа к данным. Это достигается за счет того, что обрабатываемый массив данных кодируется в один большой блок данных, который, в свою очередь, записывается всего за одно обращение. Если учесть, что такая запоминающая система для обработки информации не содержит движущихся частей и доступ к страницам осуществляется параллельно, то запоминающее устройство в целом может позволить хранить информацию объемом в десятки гигабайт.