

ВОЗМОЖНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ ЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА ИЛИ-НЕ НА МОЛЕКУЛЯРНОМ УРОВНЕ

Введение. За последние десять лет в мире существенно возрос интерес к нанотехнологиям «нижнего уровня», реализуемым на уровне отдельных молекул и супрамолекулярных структур, в том числе к молекулярным машинам, как механическим, так и вычислительным [1]. В этой области получен ряд практических результатов [2—6], и можно ожидать появления работоспособных устройств в самом ближайшем будущем. В данной статье мы рассмотрим одну из возможностей создания молекулярной вычислительной машины.

Ранее в работах [7—9] мы предложили (только теоретически) возможный способ перемещения молекул со специальной структурой под действием светового излучения. Не касаясь здесь физических принципов управления движением, мы более подробно рассмотрим одну из возможностей применения таких молекул. В источнике [7] упоминалось, что данный принцип управления движением молекул можно применить в разных областях техники, в том числе для реализации различных элементов вычислительных устройств. В частности, с помощью единственной активной молекулы можно создать ячейку энергонезависимой памяти, в том числе с более чем двумя состояниями; логические элементы НЕ, ИЛИ-НЕ, И, ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ и ещё ряд более сложных функциональных ячеек, в том числе многопозиционные и многооперандные варианты ячеек И и ИЛИ-НЕ. Фактически речь идёт о создании «вычисляющей памяти».

Ввод исходной информации, её передача и считывание результата в таких вычислительных устройствах может осуществляться как на молекулярном уровне, так и с использованием наноразмерных электрических проводников. Вероятно, в реальных устройствах ввод и вывод информации или только вывод удобнее будет осуществлять с помощью микроструктурированных проводников, а сами вычисления, передачу и хранение промежуточных результатов производить на молекулярном уровне, за счёт изменения состояний или взаимного перемещения рабочих молекул. При этом активная молекулярная структура может быть связана с полупроводниковой подложкой, выполняющей вспомогательные функции.

Далее мы рассмотрим один вариант реализации на предложенной физической основе логического элемента ИЛИ-НЕ (в том числе многопозиционного, с числом входных операндов до нескольких десятков).

Основная часть. Рабочим органом молекулярной вычислительной или запоминающей ячейки является молекула, в простейшем случае линейная полимерная цепочка небольшой длины, структура которой позволяет ей перемещаться относительно внешней среды или субстрата при определённом внешнем воздействии, в данном случае при поглощении световых квантов определённой частоты. При этом внешнее воздействие, т. е. световое излучение, поставляющее энергию для перемещения молекул, не является точно направленным, поскольку световое поле невозможно локализовать в области с размерами менее нескольких десятых долей микрона, что много больше размера отдельной ячейки. Поглощение световых квантов может происходить одновременно в целом кластере близко расположенных вычислительных ячеек, и энергию для перемещения будут получать сразу многие молекулы, помимо целевой. Поэтому для того, чтобы осуществить выбор единственной молекулы и её перемещение, требуется не только подать световое излучение определённой частоты, но и оказать дополнительное локальное воздействие, позволяющее избирательно заблокировать либо разблокировать перемещение одной рабочей молекулы в нужной ячейке (либо в группе ячеек, выбранных по определённому признаку, например при выполнении параллельного процесса записи в массив запоминающих ячеек).

Есть несколько возможных способов селективного выбора отдельных рабочих молекул и индивидуального управления их перемещением, несмотря на то, что световое излучение будет воздействовать сразу на многие другие молекулы в достаточно большой области.

Например, рабочие молекулы могут иметь несколько стабильных состояний, в одном из которых будут перемещаться при поглощении световых квантов данной частоты, а в других нет. Избирательный перевод только нужных молекул в активное состояние может осуществляться либо кодовой последовательностью управляющих световых импульсов разной частоты, либо воздействием молекулярного окружения, изменяющего состояние целевой молекулы, либо сочетанием этих воздействий. По существу, в таком варианте ввод информации и сам процесс вычисления будут осуществляться в основном за счёт контактных взаимодействий между соседними молекулами, а внешнее световое излучение будет выполнять лишь функцию поставки энергии, необходимой для изменения состояний молекул, а также синхронизацию процессов.

Другим (возможно, более простым для реализации вариантом) является взаимодействие рабочей молекулы с твёрдым телом или жесткой супрамолекулярной структурой, выполняющей роль подложки, который может не только направлять движение рабочих молекул и фиксировать их положение, но и содержать проводники для ввода и вывода внешних электрических сигналов и вспомогательные структуры для изменения и считывания состояния рабочих молекул. Далее мы подробнее рассмотрим этот вариант.

Возможность реализации запоминающей ячейки. Наиболее простым вариантом является размещение линейной рабочей молекулы в узком канале подслоя, например, вытравленном в кристалле полупроводника, либо внутри нанотрубки подходящего диаметра, позволяющей молекуле ограниченно перемещаться в одном направлении (рисунок 1). Молекула получает энергию для перемещения за счёт поглощения светового кванта или серии квантов разной частоты. На концах рабочей молекулы должны находиться полярные группы атомов, поляризация которых должна быть достаточной, чтобы влиять на состояние других структур, расположенных на концах канала или нанотрубки, и таким образом передавать сигнал о текущем положении рабочей молекулы. Кроме того, эти полярные группы могут использоваться для временной фиксации положения рабочей молекулы между циклами перемещения, чтобы избежать её случайного теплового дрейфа. Такая структура уже может выполнять функцию запоминающей ячейки: в зависимости от внешних воздействий рабочая молекула может занимать различные положения и длительно сохранять их, а затем сигнал о положении молекулы, т. е. текущем состоянии ячейки, может быть передан внешнему устройству. При этом возможно многократное считывание состояния без его изменения, а также создание запоминающей ячейки с числом устойчивых состояний более двух.

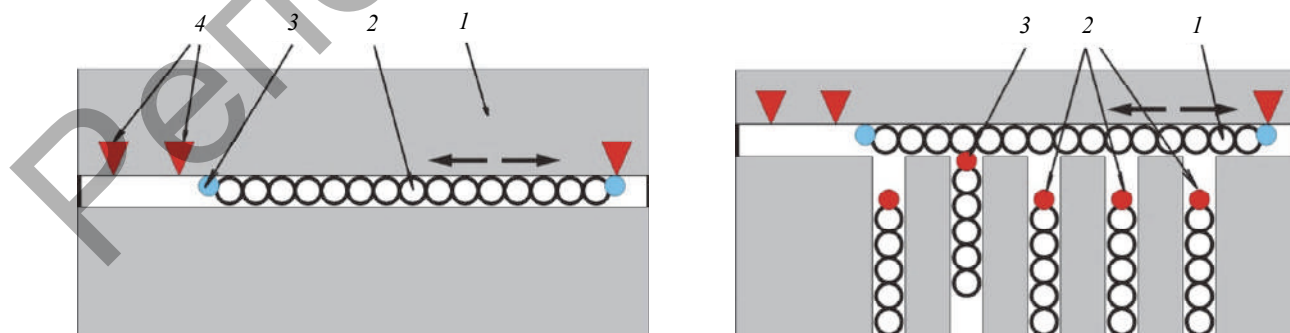
В случае полупроводникового подслоя полярная группа атомов на конце молекулы может непосредственно влиять на локальный электрический потенциал затвора миниатюрного полевого транзистора, который будет открываться при приближении молекулы к одному из концов канала в подложке, и таким образом реагировать на положение молекулы, осуществляя считывание состояния ячейки в виде электрического сигнала. Возможны и другие варианты, когда считывание состояния ячейки осуществляется другими молекулами, которые продолжают вычислительный процесс либо передают сигнал.

Управление записью для единственной ячейки можно осуществлять с помощью одного только внешнего светового излучения; но в случае большого массива расположенных рядом ячеек понадобится дополнительное воздействие для выбора отдельной ячейки, поскольку световое излучение не обладает достаточной пространственной локальностью. Выбор ячеек для активации, в том числе групповой, можно осуществлять несколькими способами, включающими различные комбинации оптических, электрических и молекулярных механизмов передачи сигналов. Наиболее рационально при этом вести запись сразу для целого кластера ячеек, в пределах которого можно локализовать световое поле.

Описанная здесь конструкция может использоваться для записи и хранения информации, в том числе более двух состояний на ячейку. Но кроме того при незначительных модификациях такая молекулярная машина может использоваться и для произвольных преобразований поступающих сигналов и хранимых данных, реализуя достаточно сложные логические функции за один рабочий цикл. По существу, это позволяет реализовать «вычисляющую память» с произвольной функциональностью.

Возможный вариант реализации логического элемента ИЛИ-НЕ. Возьмём описанную выше конструкцию — линейный канал в твёрдом подслое, вдоль которого перемещается достаточно длинная рабочая молекула. Добавим к основному каналу второй канал меньшей длины в поперечном направлении. Если разместить в поперечном канале вторую рабочую молекулу, то в зависимости от её положения она будет либо отдаляться от основного канала и от первой молекулы, либо приближаться к ней, блокируя возможность её перемещения. Если на конце второй рабочей молекулы находится полярная атомная группировка, то при определённом расстоянии от первой молекулы её перемещение вдоль основного канала станет невозможным из-за возрастания сил межмолекулярного взаимодействия (рисунок 2).

При единственном поперечном канале мы получим элемент НЕ, а при большем их числе — элемент ИЛИ-НЕ с произвольным числом входов до нескольких десятков (поскольку для блокировки перемещения длинной молекулы достаточно, чтобы переместилась только одна из молекул в любом из поперечных каналов).



1 — кристаллический подслой; 2 — рабочая молекула в канале подслоя; 3 — полярная группа атомов на конце молекулы; 4 — устройства для считывания состояния ячейки

Рисунок 1 — Запоминающая ячейка с тремя состояниями

1 — рабочая молекула; 2 — сигнальные (блокирующие) молекулы; 3 — сигнальная молекула в блокирующем положении

Рисунок 2 — Ячейка ИЛИ-НЕ с пятью входами

На основе этой же конструкции в единственной вычислительной ячейке можно реализовать и более сложные устройства: элемент $<n$, счётчик (пороговый датчик), АЦП с небольшой разрядностью, либо элемент нечёткой логики. Для этого необходимо, чтобы расстояние от основной рабочей молекулы до блокирующих молекул было таким, чтобы для блокировки основной молекулы требовалось перемещение более чем одной молекулы в боковых каналах. При этом вклад боковых молекул в удерживающую силу может иметь разный «вес» (в пределах 2—3 двоичных разрядов) в зависимости от полярности атомных группировок на их концах, поляризации участков основной молекулы и расстояния между молекулами.

Заключение. Нам представляется, что управляемое перемещение отдельных молекул под действием светового излучения является вполне осуществимой технической задачей. Если удастся синтезировать молекулы с подходящими свойствами, то на их основе можно создать множество разнообразных устройств, как механических, так и вычислительных. При этом появляется возможность осуществить развёртывание технологий «снизу вверх», когда относительно простые молекулярные машины используются для последовательного синтеза всё более сложных структур и систем, как это происходит в живых организмах. При этом управление такими системами может осуществляться не только с помощью внешних воздействий, но и в значительной мере в результате внутренних вычислительных процессов, возможность осуществления которых мы здесь показали. Число различных логических элементов и их комбинаций, которые можно реализовать на описанном принципе, достаточно велико, что позволит создавать эффективные наноразмерные вычислительные и запоминающие устройства, а также более сложные технические системы на их основе.

Список цитируемых источников

1. Попов, В. Ю. ДНК наномеханические роботы и вычислительные устройства / В. Ю. Попов // Всерос. конкурс. отбор обзор. аналит. ст. по приоритет. направлению «Информационно-телекоммуникационные системы», 2008. — 210 с.
2. Altieri, A. Unidirectional rotation in a mechanically interlocked molecular rotor / A. Altieri [etc.] // J. Am. Chem. Soc. — 2003. — V. 125. — P. 8644.
3. Victor García-López, Pinn-Tsong Chiang, Fang Chen, Gedeng Ruan, Angel A. Martí, Anatoly B. Kolomeisky, Gufeng Wang, and James M. Tour. Unimolecular Submersible Nanomachines. Synthesis, Actuation, and Monitoring. Nano Letters 2015, DOI: 10.1021
4. Tierney, H. L. Experimental Demonstration of a Single-Molecule Electric Motor / H. L. Tierney, C. J. Murphy, A. D. Jewell, A. E. Baber, E. V. Iski, H. Y. Khodaverdian, A. F. McGuire, N. Klebanov and E. C. H. Sykes // Nature Nanotechnology. — 2011. — 6. — P. 625—629.
5. École doctorale des sciences chimiques Par Quan GAN. Pour obtenir le grade de docteur. Spécialité: chimie organique. — Foldaxanes : Pseudorotaxanes Hélicoïdaux Auto-Assemblés Structures et Mouvements Moléculaires. — Directeur de recherche : Dr. Ivan HUC.
6. Feringa, B. L. Molecular Switches / B. L. Feringa. — WILEY-VCH GmbH, Weinheim, Germany, 2001. — 441 p.
7. Полох, А. Л. Наномышца и наноманипулятор на оптически активных молекулах / А. Л. Полох // Содружество наук. Барановичи-2015 : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей, 21—22 мая 2015 г., Барановичи : в 3 ч. — Барановичи : РИО БарГУ, 2015. — Ч. 2. — С. 174—176.
8. Полох, А. Л. Молекулярный привод линейного перемещения на оптически активных молекулах с внутримолекулярным переносом заряда / А. Л. Полох, Г. В. Качкар // Содружество наук. Барановичи-2016 : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей, 19—20 мая 2016 г., Барановичи : в 3 кн. — Барановичи : РИО БарГУ, 2016. — Кн. 2. — С. 43—45.
9. Полох, А. Л. Управляемое световым излучением движение оптически активных молекул с внутримолекулярным переносом заряда / А. Л. Полох. — Минск, 2016. — Конкур. работа на XXII Респ. конкурсе науч. работ студентов высш. учеб. заведений Респ. Беларусь, 2016. Секция 31 [3-я категория, работа не деп.].

УДК 378:316.628

Т. А. Романчук, кандидат физико-математических наук, доцент

Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск

МОТИВАЦИЯ СТУДЕНТА К ОБУЧЕНИЮ: ИЗУЧАТЬ И ИСПОЛЬЗОВАТЬ

Введение. Требования, предъявляемые в последнее время к системе высшего образования, вынуждают преподавателей искать способы для усовершенствования и повышения эффективности образовательного процесса. Одной из таких возможностей является изучение и правильное использование мотивации студентов к обучению. Ведь именно сильная внутренняя положительная мотивация помогает студенту (а в будущем и специалисту-профессионалу) преодолевать трудности, с которыми ему приходится сталкиваться на протяжении всего времени обучения в университете.

Основная часть. Вопрос мотивации совсем не такой простой и очевидный, как может сразу показаться, ведь причин, по которым студент активно включается (или, наоборот, не включается) в учебный процесс, может быть множество; более того, у одного и того же студента они могут отличаться в разные периоды учебы. Специалисты различают внутреннюю и внешнюю мотивацию, а также положительную и отрицательную ее составляющие. При наличии внутренней положительной мотивации мы видим активного студента, стремяще-