

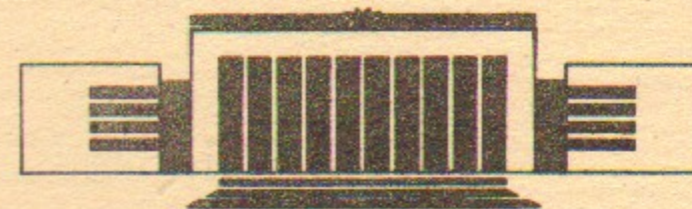


34
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
им. Г.И. Будкера СО РАН

В.В. Анциферов, Г.И. Смирнов, Г.Г. Телегин

О КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИХ
КОМПЬЮТЕРАХ

ИЯФ 93-68



НОВОСИБИРСК

О квантово-механических компьютерах

В.В. Анциферов, Г.И. Смирнов, Г.Г. Телегин

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера
630090, Новосибирск 90, Россия

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены возможности реализации квантово-механического компьютера с использованием логических элементов на основе атомных или молекулярных структур. Предложены схемы создания первичных логических элементов квантово-механического процессора, систем оптического ввода и электроннооптического вывода информации с помощью резонансных атомов (молекул), адсорбированных на поверхности полупроводников с определенными энергетической и зонной структурами. Указан также вариант системы вывода информации на базе гетероструктуры из резонансных адатомов на металлической поверхности.

On quantum mechanical computers

V.V. Antsiferov, G.I. Smirnov, G.G. Telegin

ABSTRACT

The possibilities of the realization of quantum mechanical computer by the utilization of logical elements on the basis of atomic and molecular structures are considered. The schemes of the creation of primary logical elements of the quantum mechanical processor, the systems of the optical input and the optoelectron output of information through the resonant atoms and molecules absorbed on the surfaces of semiconductors with concrete energetic and zone structures are suggested. The variant of the information output system on the basis heterostructure of the resonant atoms on the metallic surface is mentioned.

© Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера

Процессы записи, хранения, обработки и считывания информации на атомно-молекулярном уровне подчиняются законам квантовой механики. В связи с этим Фейнман, а также целый ряд его предшественников и последователей, пришли к идее квантово-механических компьютеров [1, 2]. Достижение рекордных показателей в компьютерах будущего должно быть обеспечено посредством создания квантово-механических систем с особо плотным монтажом решающих элементов. Деятельность по разработке фундаментальных основ компьютеров с рекордными показателями является своеобразной ростовой точкой, из которой развивается все дерево прогресса суперсовременных технологий.

Анализируя ограничения возможностей компьютеров, обусловленные законами физики, Фейнман в 1984 г. рассмотрел в общей форме проблему использования квантово-механических вычислительных систем и написал гамильтониан системы, которая может служить в качестве квантово-механического компьютера [1]. Далее схематически указываются возможные пути реализации квантово-механического компьютера с использованием логических элементов на основе атомных или молекулярных структур. Управление работой компьютера осуществляется электромагнитным излучением, а также внешними электрическим и магнитным полями [3-5].

Вычислительную сеть любой сложности можно конструировать путем применения комбинаций из трех первичных логических элементов: НЕ, И и ИЛИ [1].

Вариант использования изолированных (свободных) атомов или молекул для создания первичных логических элементов оказывается практи-

чески непригодным, вследствие многочисленных проблем, порождаемых спецификой их взаимодействия с излучением, включая релаксационные процессы [3].

Комплекса указанных недостатков удастся избежать, если первичные логические элементы квантово-механического процессора создаются с помощью атомов (молекул), адсорбированных на поверхности полупроводников с определенными энергетической и зонными структурами. Электронные переходы в этих элементах осуществляются с помощью резонансного излучения конкретно выбранных схем. Эффективным инструментом для создания такого рода квантово-механического процессора может служить эпитаксия на основе резонансной поверхностной фотоионизации [6-8]. На рис. 1 представлены схемы расположения уровней энергии E рабочих состояний адатомов $j = m, n, l$ относительно энергетических зон полупроводника для логических элементов НЕ, И и ИЛИ. Здесь через $E_g = E_c - E_v$ обозначена запрещенная зона; E_v — потолок валентной зоны; E_c — дно зоны проводимости; ω_1, ω_2 — частоты резонансного излучения.

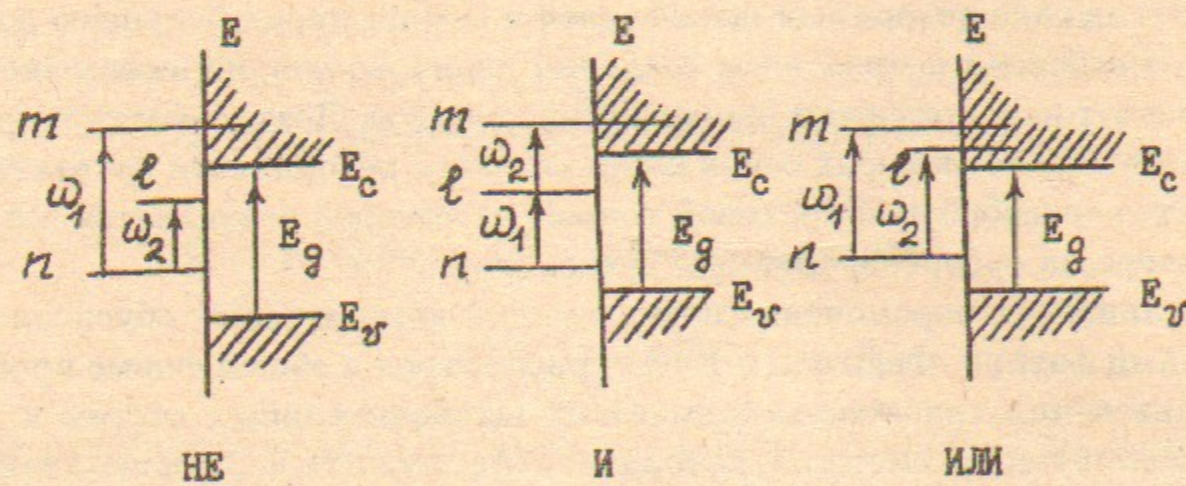


Рис. 1. Энергетические уровни первичных логических элементов НЕ, И и ИЛИ.

Основное состояние адатома n попадает в запрещенную зону. При реализации логического элемента НЕ возбуждение адатома излучением частоты ω_1 в состояние m сопровождается туннельным переходом электрона с возбужденного атома в зону проводимости полупроводника, тогда как при возбуждении адатома излучением частоты ω_2 на уровень l , располагающийся на фоне запрещенной зоны, такого разделения зарядов не происходит. Элемент И реализуется посредством двухквантового перехода (ω_1, ω_2 — частоты) через промежуточный уровень l на уровень m

и последующего туннелирования электрона с верхнего уровня m в зону проводимости. В случае элемента ИЛИ поглощение адатомом излучения на частоте ω_1 или ω_2 сопровождается возбуждением состояний m либо l , соответственно, и туннельным переходом электрона в полупроводник.

Монослой адатомов на поверхности полупроводника с характерным размером порядка длины волны λ управляющего излучения и твердотельный микролазер образуют логический блок, содержащий около $10^6 \div 10^7$ логических элементов при $\lambda \sim 1$ мкм и представляющий собой по существу квантово-механический микропроцессор (рис. 2). Большое количество связей между отдельными логическими элементами данного блока определяет коллективный характер вычислительного процесса в нем. В отличие от обычного процессора общая схема вычислений задается не пошаговыми инструкциями, а разветвленной структурой связей между различными элементами по типу нейроподобных вычислительных схем [9]. Следует отметить, что современные достижения квантовой электроники обеспечивают возможность селективного лазерного воздействия на отдельные атомы [10].

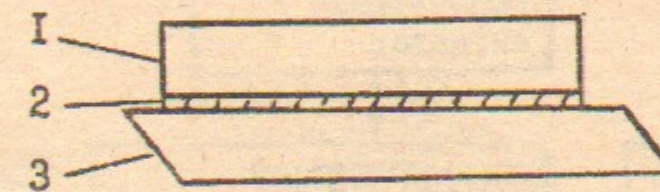


Рис. 2. Схема логического блока: 1 — полупроводник; 2 — монослой атомов; 3 — микролазер.

Нанотехнологии создания и использования гетероструктур из монослоя адатомов на поверхности полупроводников могут не только обеспечить возможность разделения зарядов, резко повышающую информационную эффективность квантово-механического компьютера, но и играть весьма важную роль в миниатюризации элементной базы традиционной оптоэлектроники. При использовании гетероструктур на основе органических полупроводников появляется возможность приблизиться к созданию "искусственного мозга". Кооперативные явления в резонансной поверхностной фотоионизации можно использовать для гетерогенного резонансного фотокатализа, позволяющего создавать вычислительную среду и устройства ввода и вывода информации по типу цепной реакции, управляемой лазерным излучением.

Связи между отдельными логическими блоками (квантово-механическими микропроцессорами) обеспечивают их параллельную вычисли-

тельную работу, что превращает квантово-механический компьютер в аналог коммутационной машины [11] и резко повышает его быстродействие. Квантово-механический процессор по своей общей архитектуре относится к классу мелкозернистых коммутационных машин, поскольку он содержит множество связанных между собой и обменивающихся информацией микропроцессоров "малой мощности".

Важным применением коллективных и параллельных вычислительных схем является реализация ассоциативной памяти, позволяющей сверхбыстро осуществлять разного рода процедуры распознавания образов. Эти сети способны к самопрограммированию и самовосстановлению.

На рис. 3 представлена блок-схема квантово-механического компьютера, содержащая системы оптического ввода информации, системы создания внешних управляющих сигналов в виде электромагнитного, электрического и магнитного полей, а также процессор, включающий оперативную и архивную память (ОЗУ и АЗУ).

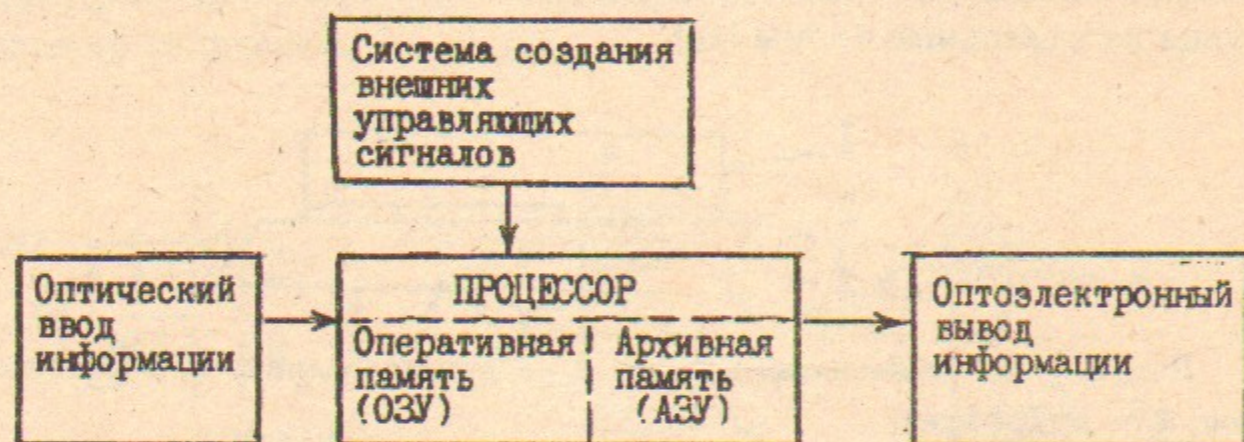


Рис. 3. Блок-схема квантово-механического компьютера.

Система ввода информации, схематически изображенная на рис. 4 работает как логический элемент И (рис.1), где частота ω_1 упродобляется

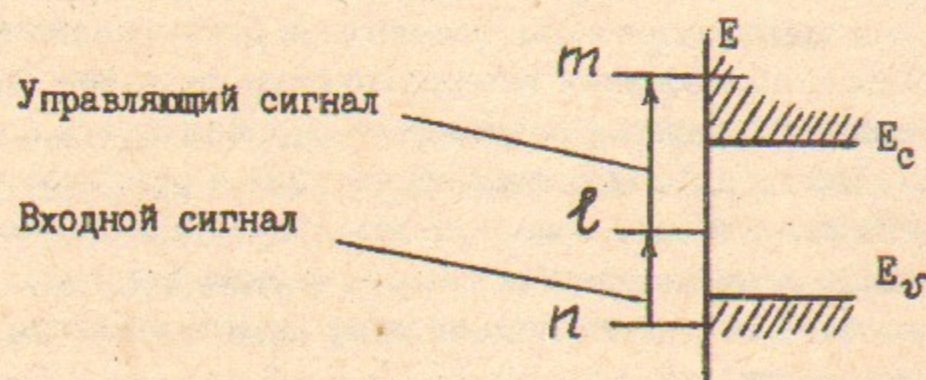


Рис. 4. Система ввода информации.

частоте входного сигнала, а ω_2 — частоте управляющего сигнала. Поэтому функции этих элементов могут быть совмещены.

На рис. 5, а изображена оптоэлектронная система вывода информации, построенная аналогично прибору с зарядовой связью (ПЗС), управляемому лазерным излучением и описанному в [8]. Выходящее из процессора электромагнитное излучение, поглощаясь адатомом на поверхности полупроводника, преобразуется при туннельном переходе электрона с возбужденного атома в электрический сигнал, связываемый с внешней электронной системой обычным образом. Сигналы из процессора могут быть получены в виде излучения лазерных диодов, расположенных в плоскости как матричные планарные структуры. В этом случае не требуется сканирования лучей по поверхности ПЗС.

Другой вариант системы вывода информации, изображенный на рис. 5, б, представлен гетероструктурой из резонансных адатомов на металлической поверхности. При возбуждении атома в состояние m , расположенное выше уровня Ферми, электрон переходит с адатома на поверхность металла.

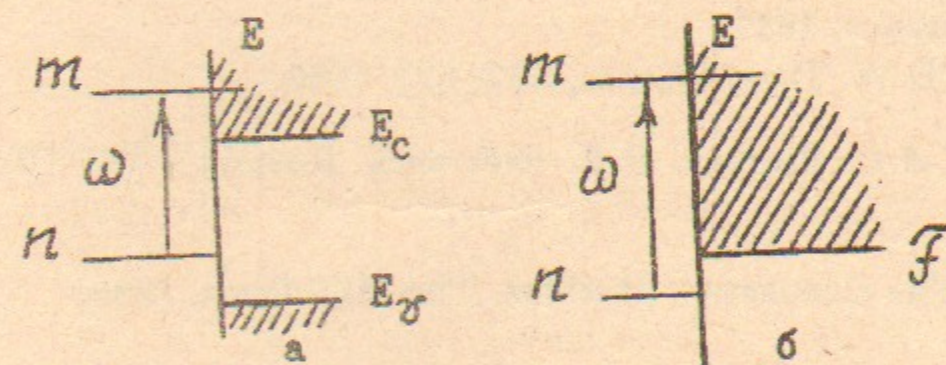


Рис. 5. Системы вывода информации.

При реализации быстродействующей памяти и в процессах передачи информации можно использовать эффекты фотонного эха и оптической нутации, оптические солитоны и симултоны [4, 5]. Применение внешних магнитных и электрических полей существенно обогащает возможности управления вычислительными процессами.

Нейроподобные квантово-механические вычислительные сети позволяют получить семейства полностью совместимых компьютеров различной мощности на единой элементной базе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р.Ф. Фейнман. УФН, 149, 671, 1986.
2. А. Peres. Phys. Rev. A, 32, 3266, 1985.
3. С.Г. Раутман, Г.И. Смирнов, А.М. Шалагин. Нелинейные резонансы в спектрах атомов и молекул. — Новосибирск, Наука, 1979.
4. Г.И. Смирнов, В.К. Мезенцев. ЖЭТФ, 93, 1235, 1987.
5. Г.И. Смирнов, В.К. Мезенцев. ЖЭТФ, 94, 347, 1988.
6. Г.Ф. Малышев, Г.Г. Телегин. ЖТФ, 56, 1195, 1986.
7. Г.И. Смирнов, Г.Г. Телегин. Резонансная поверхностная фотоионизация атомов. — Препринт ИТФ СО АН СССР N°229, 1990.
8. С.В. Калинин, Г.И. Смирнов, Г.Г. Телегин. Способ переноса заряда. Патент РФ N°1785582A3. Бюл. изобр. N°48, 1992.
9. Computing with Neutral Networks. Ed. by J. Denker, American Institute of Physics, 1986.
J.J. Hopfield, D.W. Tank. Science, 233, 625, 1986.
10. С.Н. Багаев, А.С. Дычков, В.П. Чеботасов. Письма в ЖЭТФ, 33, 85, 1981.
11. W.D. Nillis. The Connection Machine. The MIT Press, 1985.

Подписано в печать 31.08.1993 г.

Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 0,8 печ.л., 0,7 уч.-изд.л.

Тираж 150 экз. Бесплатно. Заказ N° 68

Обработано на IBM PC и отпечатано на
ротапринте ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН,
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.