

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

53(048)

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ
АКАДЕМИИ НАУК СССР**

(27—28 сентября 1972 г.)

27 и 28 сентября 1972 г. в конференц-зале Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. И. Д. Караченцев. Динамические условия в системах галактик и проблема скрытого вещества.
2. И. М. Копылов, Р. Н. Кумайгородская. Некоторые особенности строения атмосфер магнитных звезд.
3. М. И. Елисон. Проблемы функциональной микроэлектроники.
4. К. А. Валиев. Современная полупроводниковая микроэлектроника и перспективы ее развития.
5. С. В. Богданов, Д. В. Шелопут. Современное состояние акустооптики.

Ниже публикуется краткое содержание прочитанных докладов.

523.854.3(048)

И. Д. Караченцев. Динамические условия в системах галактик и проблема скрытого вещества. Системы галактик разного масштаба: пары, группы, скопления и сверхскопления — показывают различие в оценках масс, вычисляемых из теоремы вириала при условии стационарности систем и определяемых по внутреннему вращению галактик. Величина этого расхождения достигает одного-двух порядков и в среднем возрастает при переходе от пар и групп к скоплениям галактик. Для объяснения вириального парадокса существуют альтернативные возможности: либо стабилизация систем галактик невидимым веществом, либо нестационарность и распад систем галактик.

Для стабилизации систем галактик предлагались следующие виды скрытого вещества: 1) индивидуально неразличимые карликовые галактики, 2) однородный космологический фон, 3) пыль, 4) нейтральный и ионизованный газ, 5) невидимые массивные объекты. Анализ оптических данных о системах галактик, а также сведений о рентгеновских, L_{α} - и радиопотоках от скоплений и Мегалактики в целом не подтверждает существования скрытых масс в количествах, необходимых для стабильности систем.

Представлению о нестационарном состоянии систем галактик противоречат некоторые наблюдательные данные. Возраст распадающихся систем галактик порядка $3 \cdot 10^8$ — $3 \cdot 10^9$ лет, тогда как теория звездной эволюции дает оценку возраста звезд в эллиптических галактиках $(1-2) \cdot 10^{10}$ лет. Избыток вириальных масс отмечен у большинства (70—90%) изученных систем галактик, а согласно последним данным только $\approx 5\%$ галактик образует рассеянный фон между системами. Наблюдается существенное различие в дисперсиях скоростей у галактик и у членов скоплений. В качестве выхода из указанных противоречий рассмотрена феноменологическая модель образования нестационарной системы галактик путем последовательной фрагментации массивных объектов, отождествляемых с ядрами галактик.

Для выбора между гипотезами стабильности и распада систем галактик предложены следующие способы: 1) исследование формы и субструктуры скопления,

2) определение типа движений в системах по лучевым скоростям и взаимным расстояниям галактик, 3) корреляционный анализ лучевых скоростей и видимых величин галактик в группах и скоплениях с большим угловым диаметром, 4) исследование эффектов взаимодействия в изолированных парах галактик, 5) анализ кинематики «сверхтесных» двойных галактик.

Предложены оптимальные программы наблюдений на крупных телескопах для выяснения динамического состояния систем галактик.

ЛИТЕРАТУРА

И. Д. Караченцев, Сообщ. Бюраканской обс. 39, 76 (1968).— И. Д. Караченцев, В. Ю. Терещиж, *ibid.* 41, 99 (1970).— И. Д. Караченцев, *Астрофиз. исслед. (Изв. САО АН СССР)* 5, 3 (1972).— I. Karachentsev, W. Zonn, A. Shcherbanovskiy, *Astrophys. Lett.* 11, 151 (1972).

523.84.035.9(048)

И. М. Копылов, Р. Н. Кумайгородская. Некоторые особенности строения атмосфер магнитных звезд. Спектры звезд, обладающих сильными и, как правило, переменными полями, имеют ряд примечательных особенностей.

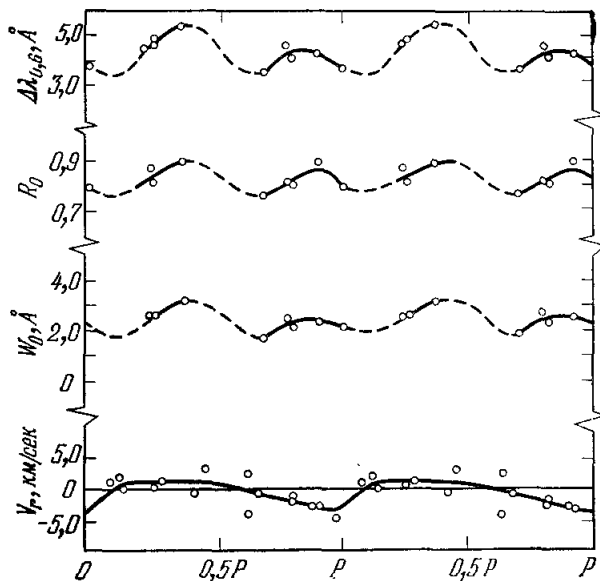


Рис. 1.

Сюда относятся аномальная интенсивность линий некоторых элементов, переменность интенсивностей и лучевых скоростей этих линий со временем (с периодом изменения напряженности магнитного поля). Эти так называемые магнитно-переменные или пекулярные звезды обнаруживают также периодические изменения блеска и цвета.

Проведенные до сих пор исследования спектров показали, что атмосферы магнитно-переменных звезд имеют специфическое строение и, по-видимому, аномальный химический состав, что связано с наличием мощных магнитных полей. Однако характер влияния магнитного поля на формирование таких атмосфер остается все еще невыясненным.

Спектрофотометрическое исследование магнитно-переменной звезды α^2 CVn по серии спектрограмм высокого разрешения (линейная дисперсия $1,3 \text{ \AA/мм}$) позволило полу-

чить новые сведения об особенностях строения атмосфер этой и других подобных ей звезд.

Дифференцированное изучение контуров водородных линий H_γ , H_δ , H_8 и H_9 показало, что различные параметры контуров изменяются синхронно с фазой изменения магнитного поля звезды, однако наибольшие изменения происходят с центральными частями контура — полушириной ($\Delta\lambda_{0,6}$), центральной интенсивностью (R_0) и полной интенсивностью ядра линий (W_0) (рис. 1). Внешние части линий (крылья) изменяются незначительно. Отсюда следует, что с изменением напряженности магнитного поля H_e наибольшие изменения происходят в самых поверхностных слоях атмосферы (оптическая глубина $\tau_\lambda \leq 0,1$), в то время как в более глубоких слоях атмосферы, переходящих в фотосферу ($\tau \sim 0,6$), физические условия остаются почти неизменными¹.

Для рассмотрения изменений параметров линий (W_λ , $\Delta\lambda$, R_0) при изменениях фазы для других химических элементов последние были предварительно разделены на три группы: легкие элементы (Si, Mg, . . .), элементы «железного пика» (Ti, Cr, Fe, . . .), редкие земли (Eu, Gd, Ce, Pr, Dy, . . .). Ставилась задача уточнить характер изменения параметров линий у каждого из этих элементов, что способствовало бы выяснению причин переменности и изучению влияния магнитного поля на распределение элементов по поверхности звезды. Обнаружено следующее²:

а) Изменения перечисленных выше параметров линий у каждого данного элемента синхронны.

б) Характер изменения со временем параметров линий, а также лучевой скорости v_r и напряженности магнитного поля H_e (данные о v_r и H_e были взяты из работ ³ и ⁴) не только различен для элементов, отнесенных к трем упомянутым группам, но и внутри каждой группы. В поведении линий у элементов с близкими атомными характеристиками имеются весьма существенные различия (рис. 2; изменения W_λ с фазой).

Совокупности перечисленных изменений можно найти объяснение в рамках гипотезы «наклонного ротатора», в соответствии с которой магнитная звезда вращается, как жесткое тело, вокруг оси, в общем не совпадающей с магнитной осью, а химические элементы распределены по поверхности звезды не равномерно, но концентрируются в «пятнах» различного размера.

Исходя из этой гипотезы, мы попытались использовать полученные нами данные о спектральной переменности ² для изучения расположения, размеров и структуры таких пятен, а также для определения физических условий и химического состава в таких пятнах и на поверхности звезды в целом.

Действительно, найдено ^{2, 5}, что Si II и Mg II концентрируются в общем к положительному магнитному полюсу (концентрация слабая и различная у Si II и Mg II); Ca II располагается преимущественно в виде двух широких колец вдоль магнитных широт $\pm 20^\circ$ и -20° ; Ti II, Cr I, Cr II, Fe II (Fe I) сконцентрированы вблизи магнитного экватора в четырех протяженных пятнах (см. также ³), но центры этих пятен для упомянутых элементов не совпадают; редкоземельные элементы концентрируются к отрицательному магнитному полюсу, но заметно различаются как по степени концентрации (например, Eu II, Sm II и Ce II), так и по расположению зоны наибольшей концентрации относительно магнитного полюса (например, Eu II, Gd II, Pr II).

Выяснилось, что трудно найти два химических элемента, распределения которых по поверхности звезды полностью совпадали бы. Если учесть вытекающий из изучения водородных линий вывод, что «пятнистость» — это скорее всего явление, наиболее сильно выраженное в самых внешних слоях атмосферы и исчезающее с переходом к более глубоким слоям ¹, то становится совершенно очевидным, что формальное использование традиционных методов изучения структуры, физических условий и химического состава звездных атмосфер (кривые роста, построение моделей и пр.) применительно к магнитным звездам становится «опасным».

В самом деле, в основе метода кривой роста, например, лежит предположение, в общем очевидное для обычных звезд, что излучение в непрерывном спектре и поглощение в линиях формируются на всей поверхности звезды в целом. В случае магнитных звезд это предположение, как мы видели выше, теряет силу, а понятие «эквивалентная ширина» линии приобретает совершенно иной смысл. Другими словами, поглощение в линии, образующейся в пятне, необходимо соотносить с непрерывным

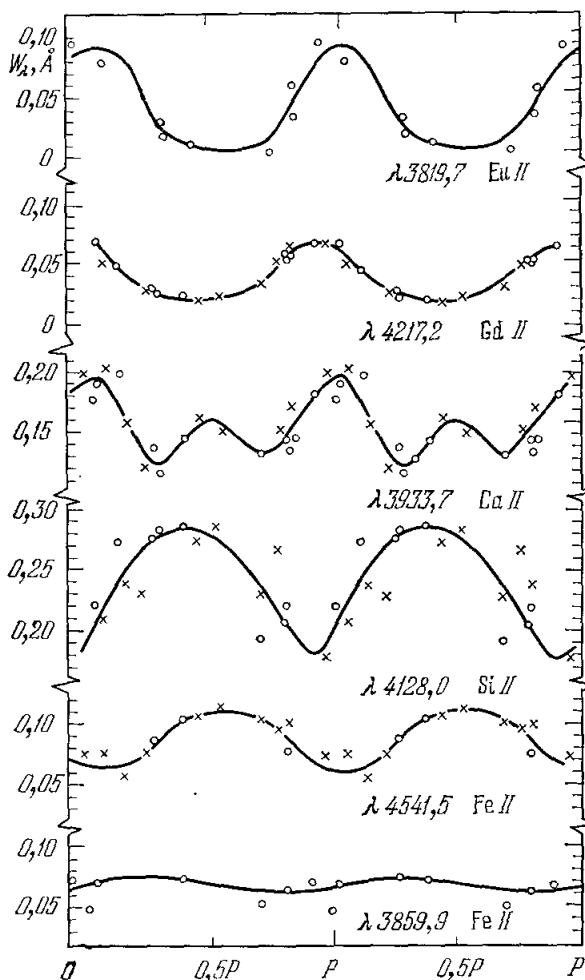


Рис. 2.

излучением, возникающим только в пределах площади пятна, а не по всему видимому полушарию звезды в целом. Для получения «истинной» эквивалентной ширины линий W_λ в пятне наблюдаемые эквивалентные ширины W'_λ необходимо умножить на некоторый множитель $r = S_*/S(P)$, где S_* и $S(P)$ — эффективные площади видимого полушария звезды и пятна соответственно. В общем виде

$$W'_\lambda = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \Phi(\theta, \psi) G \sin \theta \cos \theta \, d\psi \, d\theta}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} D \sin \theta \cos \theta \, d\psi \, d\theta};$$

здесь $\Phi(\theta, \psi)$ — некоторый общий закон распределения интенсивностей линий какого-либо элемента по поверхности звезды при данной фазе. Интеграл в числителе — $S(P)$, в знаменателе — S_* ; S_* легко находится при заданном законе потемнения непрерывного излучения к краю диска.

Из всестороннего изучения всех имеющихся спектральных данных мы вывели для закона $\Phi(\theta, \psi)$ три выражения: $\sin^3 \{a\varphi_m + [(1+a)\pi/2]\}$ — для редких земель (φ_m — магнитная широта, a — параметр, различный для разных элементов); $\cos^2 \alpha$ — для элементов железного пика, где α — угловое расстояние от центра пятна, и $\cos^2(\alpha/2)$ — для Si II. Для ряда фаз были вычислены площади $S(P)$ для элементов, которые имеют достаточное число линий, используемых при построении кривых роста. Процедура нахождения законов $\Phi(\theta, \psi)$ и математические подробности вычисления $S(P)$ приведены в работе⁵. Для всего набора химических элементов было построено свыше 20 независимых кривых роста, из которых были получены обычным путем «наблюдаемые» значения микротурбулентных скоростей v'_t . Изучение вопроса показало, что для получения истинного значения скорости в данном пятне (v_t) необходимо использовать соотношение $v_t = v'_t r$. Значения r для разных элементов при разных фазах лежат в пределах от 1,5 до 5. Это означает, что полученные «обычным» путем из кривой роста значения v'_t должны быть увеличены в 1,5—5 раз. Вычисляя магнитные координаты центра каждого пятна на поверхности звезды, мы находим, что турбулентные скорости меняются по поверхности звезды от 1,5—2,0 км/сек вблизи магнитного экватора до 11—13 км/сек на широтах $\varphi_m = \pm 45^\circ$.

Уже пример определения v_t для α^2 CVn показывает, что в случае изучения атмосфер магнитных звезд по их спектрам необходима существенная модификация имеющихся методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Н. Кумайгородская, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО АН СССР) 2, 26 (1970).
2. Р. Н. Кумайгородская, И. М. Копылов, *ibid.* 4, 50 (1972).
3. D. M. Purrer, *Astrophys. J. Suppl.* 18, 347 (1969).
4. O. Struve, P. Swings, *Astrophys. J.* 98, 361 (1943).
5. И. М. Копылов, Р. Н. Кумайгородская, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО АН СССР) 5, 37 (1972).

621.382.8(048)

М. И. Елисов. Проблемы функциональной микроэлектроники. Микроэлектроника — новое научно-техническое направление в радиоэлектронике, решающее задачу создания сложной радиоэлектронной аппаратуры с заданными эксплуатационными параметрами, необходимой степенью надежности и приемлемыми габаритными, энергетическими и стоимостными характеристиками методами элементной (технологической) и функциональной (физической) интеграции сопровождаемой микроминиатюризацией компонентов аппаратуры.

Микроэлектроника вызвала коренное изменение подхода к проектированию и расчету схем, создала прочный слав физики, химии, технологии, схемотехники и кибернетики и в конечном счете вызвала радикальную перестройку электронной промышленности.

Элементарная интеграция сохранила старый принцип радиоэлектроники, основанный на том, что выполнение любой функции предполагает разработку электрической схемы, действующей по законам теории цепей.

С этим связано резкое усложнение аппаратуры по мере усложнения выполняемой функции. Оказывается, что даже при высокой и оптимальной степени интеграции

$\geq 10^8$ компонентов на кристалл) надежность аппаратуры, которая потребуется в ближайшие годы, будет недопустимо низкой.

Необходима общая постановка проблемы оптимальной физической реализации средств переработки больших массивов информации. Одной из возможных идей в решении этой проблемы является идея функциональной микроэлектроники (ФМЭ).

Сущность ФМЭ состоит в попытке найти новую систему базовых элементов радиоэлектроники, которые, в отличие от традиционных элементов (например, транзисторов), обладали бы более богатыми функциональными возможностями.

Кратко обсуждается несколько направлений ФМЭ: оптоэлектронные устройства, главным образом применительно к проблемам бионики, поскольку нейроподобные элементы представляются перспективными для создания вычислительных машин последующих поколений; новые полупроводниковые устройства, такие, как диоды Ганна, *S*-диоды, приборы с переносом заряда; акустоэлектронные устройства, основанные на взаимодействии носителей тока со звуковыми волнами; магнитные устройства, основанные на использовании цилиндрических магнитных доменов.

ЛИТЕРАТУРА

Р. I. Rogov, L. A. Avdeeva, M. I. Elinson, J. Vac. Sci. and Technology 6, 753 (1969). — И. Б. Гутчин, А. С. Кузичев, Бионика и надежность. Элементы теории формальных нейронов, М., «Наука», 1967. — J. F. St. Ledger, E. A. Ash, Electron. Lett. 4, 99 (1968). — А. Ф. Волков, Ш. М. Каган, УФН 96, 633 (1968). — Г. А. Смоленский, М. А. Боярченко, Ф. В. Лисовский, В. К. Раев, Микроэлектроника 1, 26 (1972). — А. В. Ржанов, *ibid.*, стр. 46.

621.382.8(048)

К. А. Валнев. Современная полупроводниковая микроэлектроника и перспективы ее развития. Наиболее характерным продуктом микроэлектроники являются полупроводниковые интегральные схемы,

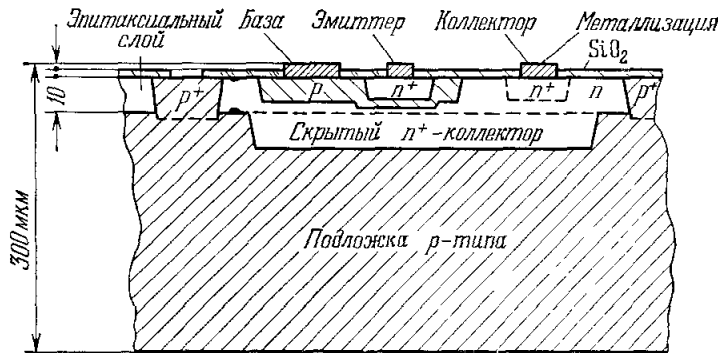


Рис. 1. Структура биполярного интегрального транзистора со «скрытым слоем» и изоляцией *p — n*-переходом.

представляющие собой группу электронных приборов (транзисторов, диодов, сопротивлений, конденсаторов), выполненных в едином технологическом процессе в монокристалле полупроводника и соединенных между собой тонкопленочными металлическими проводниками в электронное устройство — «схему». Типичные размеры площади «кристалла» интегральной схемы — 1—10 мм²; количество электронных приборов, созданных на таком кристалле и соединенных в схему, — от десятков до нескольких тысяч. Площадь, занимаемая одним элементом на кристалле, — 10⁻²—10⁻³ мм². Электрическая изоляция элементов друг от друга осуществляется обратнo-смещенными *p — n*-переходами или тонкими слоями диэлектрика.

На рис. 1 и 2 показаны структуры наиболее характерных элементов интегральных полупроводниковых приборов — биполярного интегрального транзистора и полевого транзистора металл — диэлектрик — полупроводник (МДП).

Как видно из рис. 1, структура биполярного интегрального транзистора состоит из шести слоев полупроводника, каждый толщиной порядка микрона и с заданным уровнем легирования донорной или акцепторной примесью. Размеры структуры в плане — от 2—3 мкм до десятков микрон. Геометрические размеры структуры в плане

и разрезе должны выдерживаться с точностью порядка 5—10%; аналогичная точность требуется при легировании.

Технологические методы изготовления интегральных схем используют новейшие достижения физики твердого тела и физики полупроводников: методы диффузионного и ионно-лучевого легирования, рост монокристаллических слоев кристаллов, физику $p-n$ -перехода, контактов металл — полупроводник и полупроводник — диэлектрик, методы испарения материалов и осаждения пленок металлов и диэлектриков, термодиффузионной и ультразвуковой сварки металлов, формирование изображений в полимерных фоточувствительных материалах под действием света и электронных пучков и др. Функциональные свойства интегральных схем определяются явлениями

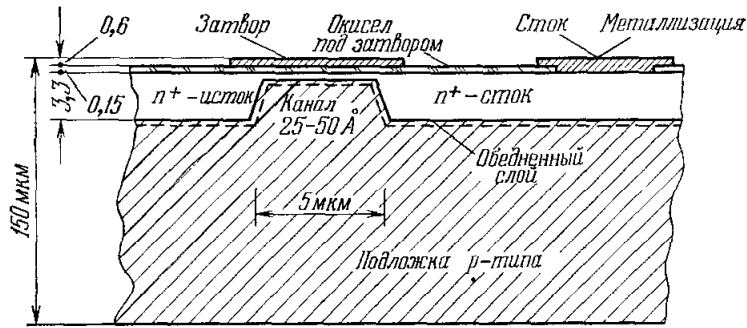


Рис. 2. Структура МДП-транзистора с n -каналом.

рассеяния носителей, рекомбинационно-генерационными процессами в объеме полупроводника и на поверхностях полупроводник — диэлектрик, радиационными эффектами. При исследовании приборных структур интегральных схем используются многие физические методы исследования свойств твердого тела — рентгеновские, электронно-микроскопические, оптико-спектральные, электрофизические, фотоэлектрические и др. Таким образом, разработка технологических методов микроэлектроники является примером промышленного внедрения новейших физических методов изменения свойств вещества и новейших методов физического эксперимента.

Главными направлениями развития микроэлектроники являются увеличение числа элементов в составе интегральных схем и увеличение числа выполняемых функций, а также рост быстродействия микросхем. Рассмотрим, что ограничивает быстродействие и максимальную степень сложности (степень интеграции) интегральных схем.

Анализ показывает, что $P\tau$ (где P — мощность, рассеиваемая переключательным (логическим) элементом, τ — время переключения), т. е. работа, затрачиваемая внешним источником на одно переключение, остается постоянной для данного уровня развития технологии. В настоящее время $P\tau = 100$ ндж.

Принцип неопределенности: $\Delta E \sim h/\tau$; при $\tau = 10^{-9}$ сек $\Delta E \approx 10^{-12}$ ндж. Таким образом, достигнутый результат хуже квантовомеханического предела на 14 порядков.

Более близок к достигнутому результату статистический предел рассеиваемой мощности. Логический элемент представляет собой бистабильное устройство. Перед выполнением операции неизвестно, в каком из двух состояний находится элемент. Таким образом, элемент имеет энтропию $k \ln 2$, где k — постоянная Больцмана. Выполнение логической операции приводит элемент в одно из состояний, и энтропия становится равной нулю. При этом должна быть совершена работа $A = kT \ln 2 = \approx 10^{-9}$ ндж при $T = 300^\circ$ К, что лучше достигнутого результата на 11 порядков.

При уровне сигналов V в мощность, рассеиваемая логическим элементом, равна $P = V^2/R$, где R — активная составляющая импеданса. Время задержки переключения логического элемента определяется его RC -постоянной ($\tau = RC$). Объединив два соотношения, получим $P\tau = V^2C$. Таким образом, является экспериментальным фактом, что при данном уровне технологии и стандартизованном ($V = \text{const}$) напряжении питания равенство $P\tau = \text{const}$ свидетельствует о постоянстве C . Емкость логического элемента C определяется площадью $p-n$ -переходов, образующих физическую структуру логического элемента. Эволюция в технологии интегральных схем характеризуется постепенным уменьшением этой площади (или зазора между линиями, образующими рисунок ее структуры). В технологии наиболее быстродействующих схем стандартный зазор равен 2,5—5 мкм и практически находится на пределе физического разрешения, ограничиваемого дифракцией видимого света. Стандартные зазоры $l \ll \ll 1$ мкм возможно будет получать только с помощью электронного пучка.

Стандартное напряжение V , питающее логический элемент, составляет 5 в. Это значение выбрано таким, чтобы обеспечить пороговые нелинейные свойства передаточной функции логического элемента в широком интервале температур от -60°C до 125°C и стабильность работы при изменении напряжения питания в пределах $\pm 10\%$. При снижении напряжения питания пороговый характер передаточной характеристики ослабляется. При напряжении $V \leq kT/q$ нелинейные свойства характеристики исчезают.

Для элементов с высокой степенью интеграции возможно уменьшение напряжения питания до ~ 1 в. Тогда стандартное значение работы внешнего источника на одно переключение логического элемента составит 10 пдж, а с учетом дальнейшего уменьшения размеров структуры может быть достигнут уровень 1 пдж.

Оценки показывают, что с поверхности корпуса интегральной схемы, имеющего площадь порядка 1 см^2 , возможно рассеяние в воздухе 0,25 вт мощности. Это означает,

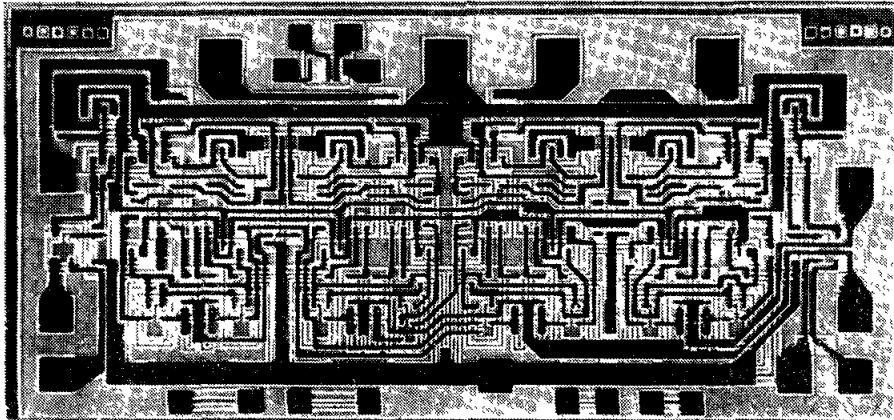


Рис. 3. Топология двоично-десятичного счетчика.

что при потреблении одной логической ячейкой энергии 1 мвт в корпус можно поместить кристалл, в котором сформировано 250 логических ячеек. Однако для быстродействующих интегральных схем характерное значение потребляемой одной ячейкой энергии составляет 25 мвт. В этом случае в корпусе можно разместить кристалл с 10 логическими ячейками.

Максимальные степени интеграции достигнуты для интегральных схем на МДП-транзисторах как благодаря малой рассеиваемой мощности (при малом быстродействии), малости площади, занимаемой МДП-интегральными транзисторами на кристалле, так и относительной простоте технологического процесса. Наиболее сложные МДП-интегральные схемы выполняют функции целого компьютера, например четыре арифметических действия с восьмизрядными словами. Наиболее сложные быстродействующие биполярные схемы содержат 1000 и более электронных приборов.

На рис. 3 в качестве примера приведена топология (фотография кристалла) относительно несложной интегральной схемы — двоично-десятичного счетчика. Кристалл имеет размеры $1,4 \times 3,0 \text{ мм}^2$ и содержит 130 компонентов.

Субнаносекундные логические схемы (время переключения менее 10^{-9} сек) могут быть получены на обычных биполярных транзисторах. Минимальное время переключения транзистора определяется временем пролета инжектируемых из эмиттера носителей через базу: $\tau_{\text{прод}} = L_b/v_{\text{max}}$. Максимальная дрейфовая скорость v_{max} равна $\sim 10^6 \text{ см/сек}$. С другой стороны, минимальная толщина базы определяется приложенным к базовому переходу напряжением V и напряженностью поля, при которой наступает электрический пробой: $V = L_b E_{\text{проб}}$, $E_{\text{проб}} = 4 \cdot 10^6 \text{ в/см}$. В результате

$$\tau_{\text{прод}} = L_b/v_{\text{max}} = V/E_{\text{проб}}v_{\text{max}} \approx 10^{-12} \text{ сек.}$$

Однако для получения таких значений времени переключения придется работать при субмикронных размерах, что вряд ли является близкой перспективой.

При работе логических элементов, построенных на эффекте Ганна, время переключения логических элементов определяется временем пролета зарядового домена в межэлектродном пространстве, поскольку RC -постоянная прибора оказывается

малой ($\sim 10^{-11}$ сек), а время пролета равно $\sim 10^{-10}$ сек. Энергетические затраты на одно переключение при этом менее 1 пдж. Размеры прибора в этих оценках приняты большими 10 мм, что вполне доступно современному уровню полупроводниковой технологии. Таким образом, приборы, работающие на основе эффекта Ганна, оказываются весьма перспективными для построения логических элементов с временем переключения 0,1—1 нсек, обеспечивая потребление энергии порядка 1 пдж на одно переключение.

При построении вычислительных устройств на логических элементах с временем переключения менее 1 нсек линии передач сигналов должны быть волноводного типа — микрополосковыми или коаксиальными. Наиболее быстрые схемы, которые можно соединять линиями обычного проводного типа, могут иметь времена задержек распространения сигнала и фронты переключения порядка 2—3 нсек.

Дальнейшие перспективы микроэлектронных устройств для вычислительной техники связаны с развитием оптоэлектронных устройств и методов.

ЛИТЕРАТУРА

К. А. Валиев, В. Я. Контарев, Микроэлектроника 1, 10 (1972). — К. А. Валиев, Л. Н. Кравченко, А. А. Орликовский, П. В. Панащенко, Ю. И. Пашинцев, Электрон. пром., № 2, 52 (1972). — Микромощная электроника. Перев. с англ., М., «Сов. радио», 1967.

[534.32.9+535.42](048

С. В. Богданов, Д. В. Шелопут. Современное состояние акустооптики. В начале доклада кратко излагается история вопроса. Отмечается, что несмотря на то, что дифракция света на ультразвуке была теоретически и экспериментально изучена еще в 30-х годах нашего века, однако лишь с появлением мощных источников когерентного света (лазеров) это явление нашло свое практическое применение и интерес к нему возродился вновь.

Далее рассматривается теория этого вопроса и отмечается, что обычно имеют место две различные ситуации: дифракция Рамана — Ната и дифракция Брэгга¹. Приводятся соотношения для интенсивности дифрагированного света для обоих видов дифракции. Отмечается, что в любом из этих случаев: 1) изменение частоты звука приводит к изменению направления, по которому распространяется дифрагированный свет, 2) частота дифрагированного света отличается от частоты падающего света на частоту звука (или кратную ей), 3) интенсивность дифрагированного света зависит от интенсивности звука и 4) эффективность дифракции зависит от некоторой комбинации параметров материала $M_2 = n_0^2 \rho v^3$ (n_0 — показатель преломления, ρ — плотность, v — скорость звука).

Эти особенности дифракции света на ультразвуке позволяют создавать ряд акустооптических устройств для управления лазерным излучением: 1) модуляторы, 2) дефлекторы, 3) устройства для сдвига частоты, 4) оптические фильтры с перестраиваемой прозрачностью, 5) оптические затворы, 6) сканеры, 7) фазовые модуляторы (два последних устройства используют рефракцию света). В докладе приводится краткое описание работы этих устройств. Современное состояние этих работ отражено в докладе таблицей, где приведены параметры модуляторов, дефлекторов и сканеров. Отмечается, что в настоящее время акустооптические устройства по всем основным параметрам не только не уступают электрооптическим, но по ряду показателей — управляемому напряжению, простоте конструкции, большой свободе выбора материала — превосходят их.

В докладе отмечается, что имеется значительный прогресс в подборе материалов для акустооптических устройств видимого диапазона. Так, например, авторами предложено стекло², у которого коэффициент качества $M_2 = 1200$, что является рекордом большой величины. Мощность электрического управляющего сигнала для акустооптического модулятора на этом материале при 100%-ной эффективности составляет всего примерно 250 мвт. В то же время для инфракрасного диапазона пока лучшим остается германий, предложенный авторами для этих целей еще в 1968 г.³ Подборка свойств ряда перспективных в акустооптическом отношении материалов (в том числе и ряда жидкостей) представлена в докладе таблицами.

В докладе указывается, что дифракция света наблюдается не только на объемных акустических волнах, но и на поверхностных волнах⁴. Особенно интересна так называемая объемная дифракция на поверхностной волне, когда свет распространяется вдоль подложки поперек звукового пучка⁵, имеющая ряд особенностей, связанных с характером поверхностной волны.

В заключение доклада излагаются перспективы развития акустооптики.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Борн, Э. Вольф, Основы оптики, М., «Наука», 1970.
2. Д. В. Шелопут, В. Ф. Глушков, Т. А. Шелопут, Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ (2-я Всесоюзная конференция, Новосибирск, 5—9 июля 1972). Тезисы, Новосибирск, АН СССР — СО АН, 1972.
3. С. В. Богданов, И. И. Зубринов, Д. В. Шелопут, Труды V Всесоюзной конференции по квантовой акустике, Ашхабад, 1968; Изв. АН СССР, сер. физ. **39**, 1013 (1971).
4. С. В. Богданов, А. В. Ковалев, И. Б. Яковкин, ЖТФ **41**, 1514 (1974).
5. С. В. Богданов, И. Б. Яковкин, Акуст. ж. **18**, 130 (1972).

523.164.4(048)