

СТАНОВЛЕНИЕ МНОГОРУКОГО БОГА

ОБЗОР ФИНАНСИРОВАНИЯ РАБОТ ПО НАНОТЕХНОЛОГИИ



М.Макушин

В последнее время в печати появилось множество восторженных отзывов о перспективах нанотехнологии и ее влиянии на развитие НТП и современной цивилизации в целом. При этом часто утверждается, что если высокие технологии – религия сегодняшнего дня, то нанотехнология – многорукий бог, жонглирующий технологическими достижениями. По различным оценкам, через 10–15 лет ежегодный объем рынка изделий нанотехнологии может превысить 1 трлн. долл., а численность вовлеченной в его развитие рабочей силы превысит 2 млн. человек. Современный рынок нанотехнологий оценивается от 30 млн. до 100 млн. долл. в зависимости от того, учитывается ли только добавленная в продукт стоимость нанотехнологии или же общая розничная стоимость продукции, содержащей наноконпоненты. Отмечаются и аналогии в развитии и роли нанотехнологии и микроэлектроники, которые поставляют науке и технике своего рода "строительные блоки". Правда, конечный рынок изделий микроэлектроники – всегда электронные системы (в том или ином виде). Для нанотехнологии же электроника только одна из сфер применения.

ЧТО ТАКОЕ И ДЛЯ ЧЕГО?

Нанотехнология имеет дело с объектами размером от 0,1 до 100 нм, применяемыми практически везде – от медицины до промышленности и сельского хозяйства. Ее возможности изучаются в рамках как широких научно-исследовательских инициатив крупнейших электронных компаний, так и узконаправленных проектов, проводимых новыми фирмами, финансируемыми венчурным капиталом. Изделия этой молодой технологии уже нашли практическое применение. Например, в головках дисководов более 10 лет используется явление гигантского магнитного сопротивления (GMR), наблюдаемое в создаваемых с помощью нанотехнологии структурах. Разрабатываемые сегодня нанотехнологические процессы могут стать основной движущей силой развития полупроводниковых технологий. По оценкам специалистов фирмы Texas Instruments, если нанотехнология позволит сохранить темпы совершенствования характеристик ИС в соответствии с законом Мура, объем мирового рынка полупроводниковых приборов в 2010–2015 годы сможет достичь 300–350 млрд. долл.

А СКОЛЬКО ЖЕ ЭТО СТОИТ?

К 2001 году более 30 стран проводили или объявили о намерениях начать НИОКР в сфере нанотехнологии. В 2002-м государственные отчисления в США составляли ~30% общих средств, выделяемых на эти цели. Еще больше денег затратило японское правительство (табл. 1). Вот почему при утверждении бюджета на 2003 год Конгресс США ассигновал на нанотехнологические НИОКР на 139 млн. долл. больше, чем запрашивала администрация Буша.

Следует отметить, что США, Европа и Япония в той или иной мере проводят широкие, во многом схожие, общенаучные программы, элементы которых впоследствии могут лечь в основу более близких к практической реализации работ. Тайвань же изначально ориентировал свою программу на нужды отечественной промышленности. Поэтому имеет смысл остановиться на рассмотрении опыта США и Тайваня.

НАЦИОНАЛЬНАЯ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ – ВЕЛИКАЯ И УЖАСНАЯ

В США все финансируемые государством исследования ведутся в рамках начатой еще в 1997 году Национальной нанотехнологической инициативы (НИИ) – "зонтичной" программы, в рамках которой координируются исследования 10 правительственных ведомств. За пять лет объем финансирования НИИ увеличился более чем в пять раз. Тем не менее, по отношению к общему объему НИОКР (государственных и частнопромышленных) ассигнования на НИИ составляют всего ~0,3%. Основной потребитель выделяемых средств – Национальный научный фонд (в рамках администрации президента США) – ННФ (221 млн. долл. в соответствии с запросом администрации Буша), за ним следует министерство обороны (201 млн. долл.).

Большую часть средств НИИ осваивают государственные учреждения: 75% – университеты, 22% – национальные научно-исследовательские лаборатории. Оставшиеся 2% приходятся на подряды частнопромышленных фирм. Многие промышленные аналитики считают, что существует возможность более активного привлече-

Таблица 1. Географическая структура финансирования нанотехнологии

Страна, регион	Изменение объема финансирования по годам, млн. долл.					
	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Западная Европа	126	151	179	200	225	400
Япония	120	135	157	245	465	650
США ¹	116	190	255	270	422	604
Прочие ²	70	83	96	110	380	520
Итого	432	559	687	825	1492	2174

¹ За исключением не федеральных (правительства штатов и частные фирмы) средств. ² Тайвань, Канада, Австралия, КНР, Восточная Европа, Сингапур, бывшие республики СССР и др.



Структура государственного финансирования в области нанотехнологии в США на 2003 год в соответствии с запросом администрации Буша

ния последних к нанотехнологическим НИОКР через различные федеральные программы, такие как Программы инновационных исследований малого бизнеса (SBIR).

В 2002 году в Сенат и Палату представителей Конгресса США были представлены предложения правительственных ведомств по увеличению финансирования НИОКР в области нанотехнологии и улучшению взаимодействия в рамках программ государственных научно-исследовательских организаций, университетов и частно-промышленных фирм. Основные усилия предлагалось сосредоточить на разработке изделий нанотехнологии и дальнейшего их использования в электронике, энергетике и медицине. Одна из особенностей бюджета НИИ на 2003 год – перераспределение ассигнований в пользу работ по освоению производства и практическому применению наноразмерных объектов за счет сокращения отчислений на разработку методов их изготовления. Ставится задача активного содействия переходу от этапа лабораторных исследований перспективных технологий, таких как углеродные трубки, к коммерческому освоению их производства. На все это администрация Буша запросила 710 млн. долл. Структура предполагаемых затрат приведена на рисунке.

Значительная часть проектов в рамках НИИ ориентирована на обслуживание электроники и смежных областей. Крупнейшие ассигнования (96,5 млн. долл.) по статье "Основные проблемы" (изучение возможностей преобразования полученных научных данных в практически реализуемые технику и технологии) направлены на разработки в области нанoeлектроники. Второе место (62,5 млн. долл.) занимают затраты на исследования наноматериалов (табл. 2). Такая же ситуация складывается и по фундаментальным исследованиям.

Статья "Центры и сети превосходства" (centers and networks of excellence) подразумевает создание на базе национальных научно-исследовательских лабораторий и университетов специальных организаций, ориентированных на решение конкретных проблем. Деятельность этих центров должна быть тесно увязана по тематике, а на базе их объединений – формироваться сети, позволяющие координировать их работу, обмениваться информацией и другими ресурсами. Один из последних центров был создан осенью 2002 года, когда министерство энергетики США выделило Лос-Аламосской и Сандийской национальным научно-исследовательским лабораториям 75,8 млн. долл. на проектирование и строительство в штате Нью-Мексико совместного Центра интегральных нанотехнологий (Center for Integrated Nanotechnologies – CINT).

Статья "Социальные проблемы и подготовка кадров" в первой части подразумевает изучение этических, правовых и социальных результатов применения нанотехнологий. В рамках проекта подготовки кадров при университетах создаются центры нанотехнологии, каждый из которых должен способствовать знакомству с основами новой дисциплины уже в начальной школе. Такая практика основа-

на на постулате, что один из важнейших вкладов университетов в промышленность – это подготовка студентов, способных работать по новейшим направлениям.

Конгресс одобрил предложение выделить в 2003 финансовом году на нанотехнологические НИОКР 849 млн. долл. По мнению представителей Администрации президента и Конгресса, в ближайшие годы объем финансирования превысит 1 млрд. долл. При этом отмечается, что все подобные усилия должны быть подчинены "ясной, привлекательной и всеобъемлющей стратегии". Подобные действия необходимы не только для ускорения НТП, но и для удержания технологического лидерства в условиях растущей международной конкуренции.

Возникает вопрос – а на что пойдет разница между запрошенными и отпущенными средствами, составляющая почти 140 млн. долл.? В основном на три статьи – фундаментальные исследования, "основные проблемы" с упором на военно-ориентированные НИОКР и практическое применение полученных результатов. В начале 2003 года на совещании Президентского совета по науке и технике был одобрен план предполагаемых нанотехнологических НИОКР, согласно которому научно-исследовательские работы должны быть сосредоточены в основном на создании приборов с размерами от 1 до 100 нм и изучении взаимодействия наноматериалов. Львиная доля государственного финансирования предназначена для фундаментальных исследований в области материалов и определения "основных проблем" в области нанотехнологии. Наибольшие интерес и ассигнования приходятся на работы, связанные с технологией углеродных нанотрубок – удлиненных 60-атомных молекул, известных как Bucky Balls. Считается, что они могут стать

Изготовление нескольких устройств на одном нанопроводе

В Гарвардском университете с 1998 года ведутся разработки электронных и оптоэлектронных устройств на основе наноструктур. Ученым удалось синтезировать множество новых наноконструкций, а также продемонстрировать возможность изготовления некоторых устройств на основе этих компонентов. Проведен большой объем работ по синтезу нанопроводов *p*- и *n*-типа; получению нанопроводов из соединений III-V, II-VI и кремния с соответствующим уровнем легирования и изготовлению на их основе светоизлучающих диодов, фотодетекторов, транзисторов и логических схем. Специалисты университета синтезировали в одном нанопроводе *n*-Si/*p*-Si- и *n*-InP/*p*-InP-сверхрешетки с различным уровнем легирования слоев.

С помощью комплексного процесса выращивания из паровой, жидкой и твердой фаз были синтезированы сверхрешетки GaAs- и GaP-нанопроводов. Причем формирование нанопроводов сверхрешетки с различными концентрациями примеси осуществлялось сменой реагентов в процессе роста. Контроль диаметра и длины нанопровода в процессе синтеза обеспечивал металлический катализатор – нанокластеры золота.

Испытания показали высокое качество сверхрешеток: в нанопроводах диаметром менее 20 нм получены бездефектные переходные слои. Разработчики намерены на базе таких сверхрешеток создать одномерные волноводы со встроенными лазерными резонаторами. Продemonстрирована возможность формирования в одном InP-нанопроводе *pn*-перехода, т. е. фактически светодиода.

Преимущество прямого синтеза нанопроводов, в сравнении с методом легирования, – отсутствие операции литографии. В результате становится возможным последовательное выращивание сложных оптоэлектронных структур.

<http://www.e-insite.net/semiconductor/>

Таблица 2. Государственное финансирование нанопроектов в США по статьям "Фундаментальные исследования" и "Основные проблемы"

Категория	Изменение выделяемых средств по годам, млн. долл.			Проекты, ориентированные на электронику
	2001	2001	2003 ¹	
Фундаментальные исследования	152,5	213,5	227,5	
биосистемы	33,5	48,5	50,5	—
новые феномены, структуры, инструментарий	66,0	90,0	94,0	Одноэлектронные транзисторы, нанолазеры на нанопроводах
наноразмерные приборы и системы	37,0	48,0	53,0	Полупроводниковые нанопровода
теория, моделирование и симуляция	16	27	30,0	—
Основные проблемы	150,6	234,5	266,7	
наноструктурные материалы для конструирования	35,5	52,5	62,5	Нанопровода для терабитных схем памяти и автоэмиссионные дисплеи
нанозлектроника, оптоэлектроника, магнетизм	47,5	92,5	96,5	Применение в транзисторах, логических схемах, запоминающих устройствах/накопителях, оборудовании литографии и т.п.
новейшие средства здравоохранения и лечения	20,0	19,8	22,3	—
экологические средства	6,0	11,0	11,0	—
летательные микроаппараты и робототехника	5,0	7,0	8,0	Кремниевые нанокристаллы для флэш-памяти; лазеры и детекторы на квантоворазмерном эффекте
CBRE ²	10,0	15,5	19,5	Защита/обнаружение
контрольно-измерительная аппаратура и средства метрологии	11,0	13,6	23,0	КИА и стандарты для производства наноразмерных изделий, включая полупроводниковые приборы
производственные процессы	0	12,0	12,0	Методы синтеза и технологии изготовления наноструктурных строительных блоков

¹ В соответствии с запросом администрации Буша на сумму 710 млн. долл.; ² Датчики на нанотрубках и нанопроводах для обнаружения радиации, химических, биологических и взрывчатых веществ.

ключевым компонентом нанотехнологии в электронике. Сегодня уже несколько фирм объявили о планах начать производство сенсоров на нанотрубках, не уступающих по стоимости и рабочим параметрам современным стандартным датчикам. Перспективны и так называемые "светопроводы" (light pipes), пригодные для самых разнообразных применений — от формирования вертикальных межсоединений в микросхемах и электронно-лучевой сварки простых соединений до получения устойчивых к механическим воздействиям покрытий. Кроме этого, нанотрубки можно использовать для получения взрывчатых веществ и детонаторов. Перечень основных проблем включает и подготовку производства наноразмерных объектов, средства измерения и метрологии, разработку материалов, в том числе пригодных для формирования углеродных нанотрубок и нанозлектронных приборов, изучение фотоники и магнитных явлений на наноуровне.

К другим категориям относятся вопросы энергосбережения и хранения энергии, а также создание летательных микроаппаратов и робототехники. Два последних привлекают пристальное внима-

Хайнаньский университет вводит специальность "наноматериалы"

Хайнаньский университет, расположенный в Южном Китае, первым из высших учебных заведений КНР с 2003 года приступает к подготовке специалистов в области наноматериалов. В Технологический институт (входящий в университет) будет отобрано 40 студентов, которые после четырех лет обучения получат степень бакалавра. Сейчас в институте проводятся несколько национальных экспериментальных программ по нанотехнологии и основан научно-исследовательский центр наноматериалов.

Semiconductor Weekly, Monday, April 28, 2003

ние МО США, которое начало нанотехнологические изыскания еще в 80-е годы в рамках электронных программ, и смежных ведомств. Большое внимание МО уделяет и созданию все более легких пуленепробиваемых покрытий и все более мощных взрывчатых веществ.

ТАЙВАНЬЦЫ БОЛЕЕ ПРАГМАТИЧНЫ...

Как уже говорилось, Тайвань при проведении нанотехнологических НИОКР уделяет основное внимание исследованиям, ориентированным на нужды промышленности. Все финансируемые государством работы по этой тематике проводятся под общим управлением и при участии Научно-исследовательского института промышленной технологии (ITRI). Ведущие научно-исследовательские учреждения по данной тематике — Национальный тайваньский университет и Национальный университет Ченг Кунг. Правительство Тайваня, считая, что мир переживает четвертую промышленную революцию (нанотехнологическую), осенью 2002 года объявило о намерении до 2008 года выделить на НИОКР в этой области около 23 млрд. тайваньских долларов (~667 млн. долл. США). В начале 2002 года правительство утвердило основные направления работ в рамках национального нанотехнологического проекта и уже выделило для помощи отечественной промышленности 480 млн. тайваньских долл. Ожидается, что в ближайшие шесть лет на исследования и работы по применению нанотехнологий будет вовлечено более 800 фирм.

Работы по практическому выполнению этих планов уже начались. В конце сентября 2002 года Управление научно-промышленных парков Тайваня приступило к созданию третьего научно-промышленного парка (первый — Синчжу, на севере острова, создан в начале 90-х годов, а во второй половине 90-х на юге появился второй — Тайнань). После окончания строительства, намеченного на конец 2003 года, парк будет занимать около 400 га. Руководство провинции Тайчжун, на территории которой расположена основная часть парка, призвало тайваньскую Академию наук всячески способствовать созданию Национального научно-исследовательского нанотехнологического центра и выразило уверенность, что "кластерный эффект" нанотехнологических предприятий сделает парк одним из лучших в своем роде. Управление научно-промышленных парков намерено разместить в этом парке заводы прецизионного машиностроения, биотехнологии, средств связи и оптоэлектроники разных фирм, которые будут сюда привлекаться. Предполагается, что в развитие парка будет инвестировано 900 млрд. тайваньских долл., а на обосновавшихся здесь компаниях будет занято 50 тыс. человек. Интерес к парку в плане расширения своих производственных мощностей уже проявили тайваньские кремниевые заводы, планирующие обрабатывать здесь 300-мм пластины, а также изготовители ЖК-дисплеев на тонкопленочных транзисторах.

Работы в области нанотехнологии для электроники направлены в основном на освоение методов формирования "кремниевых островов", позволяющих увеличить емкость схем памяти и существенно снизить их габариты. Разработки ориентированы на совершенствование ДОЗУ, СОЗУ, флэш-памяти и создание новых типов энергонезависимых микросхем памяти — MRAM, NRAM и т.п., которые, как предполагается, смогут в будущем существенно потеснить



Фирмы, проводящие крупнейшие нанотехнологические проекты для электроники:

Agilent Technologies, Corning, Hewlett-Packard, Hitachi, IBM, Lucent Technologies, Marconi, Matsushita Electric Industrial, Motorola, NEC, Nippon Telephone and Telegraph, Koninklijke, Philips Electronics, Samsung Electronics, Siemens, Sony, Texas Instruments, Thomson CSF, Toshiba, Xerox.

и даже вытеснить современные типы памяти. Активно изучаются технологии нанолазеров и других нанокомпонентов на нанопроводах, предназначенных для оптических, оптоэлектронных и электронных компонентов, используемых в оптических телекоммуникационных системах. Работы в области нанотрубок, как правило, ориентированы на создание тонких, легких и дешевых дисплеев с меньшей, чем у ЭЛТ и ЖКД, потребляемой мощностью, но существенно лучшей разрешающей способностью.

Помимо разработки нанотехнологий, пригодных для применения в электронике и смежных отраслях, на Тайване активно ведутся работы по продвижению нанотехнологий в традиционные отрасли промышленности (текстильную, металлообрабатывающую, лакокрасочную и т.п.), в которых принимают участие Национальный тайваньский университет и Национальный университет Ченг Кунг. В апреле 2003 года ITRI приступил к формированию оперативных групп, в задачи которых входит разработка применений нанотехнологии. Формирование оперативных групп совпало по времени с публикацией правительством Тайваня оценок перспектив применения нанотехнологий в данных отраслях промышленности: к 2005 году стоимость произведенной продукции может достичь 70 млрд. тайваньских долл. (2,0 млрд. долл. США), а к 2008-му – 300 млрд. тайваньских долл. (8,6 млрд. долл. США). Из 70 млрд. тайваньских долл. на нанотехнологическую продукцию текстильных фирм придется 15 млрд., а металлопродукцию – 5 млрд. тайваньских долл. Остальной объем продаж придется на долю таких традиционных товаров, как керамика, краски, пластик и т.п.

Цель оперативных групп – создание кластерной среды для фирм-участниц, поддержка совместных работ и обмена информацией. Считается, что это поможет достичь максимальных результатов проводимых проектов нанотехнологических НИОКР. Как отмечает руководство ITRI, успешное продвижение нанотехнологий невозможно без поддержки правительственных и частных организаций. ITRI работает со многими из них, например, с Китайской текстильной федерацией образован альянс по проведению НИОКР в сфере нанотехнологий и максимизации их результатов.

Участники оперативных групп делятся на две категории: обычные и VIP. Первые платят за участие в работе группы с апреля по декабрь 2003 года 30 тыс., вторые – 120 тыс. тайваньских долл. За эти деньги VIP-фирмы могут, в частности, заказывать у соответствующих правительственных или частных организаций разработку необходимых им нанотехнологических решений. Из уже зарегистрированных участников оперативных групп статус VIP получили 12 компаний, а о желании участвовать в работе таких групп заявили несколько сот тайваньских фирм.

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ НА НАНОМАРШЕ

В США, Японии, Западной Европе объемы государственного финансирования нанотехнологических НИОКР пока, как минимум на 20%, превосходят аналогичные затраты частнопромышленных фирм. На начальных фазах развития микроэлектроники происходило то же самое. Как только появятся серьезные коммерческие перспективы массового производства, ситуация изменится.

Наибольшие суммы на нанотехнологические НИОКР ассигнует частнопромышленный сектор США. В 2002 году здесь было затрачено около 500 млн. долл., в 2003-м, по разным оценкам, будет освоено от 500 млн. до 700 млн. долл. За США следуют Япония (около 400 млн. долл.), ЕС (по разным данным, от 200 до 350 млн. долл.) и Тайвань (от 70 млн. до 110 млн. долл.). По данным консалтинговой фирмы In Realis, разработкой нанотехнологий сейчас в мире занято более 500 фирм. Основное внимание уделяется исследованию наноматериалов – 62% фирм. Усилия 87 фирм (или 17%), включая крупнейшие корпорации, сосредоточены на вопросах применения нанотехнологии в электронике. Крупнейшие из них – IBM и Hewlett-Packard. Первая вступила в наногонку в 1990 году, "отпечатав" атомами ксенона на никелевой поверхности аббревиатуру своего названия. Специалисты корпорации в рамках проекта Millipede показали, как созданный ими атомно-силовой (atomic-force) микроскоп может быть использован для хранения и считывания данных путем выжигания и обнаружения пустот в среде-носителе данных. Ими также был создан "порошок эльфов" с крупными толщиной в три атома, что значительно увеличило возможность записи/считывания магнитных сред дисководов. Сейчас исследователи IBM основное внимание уделяют транзисторам на углеродных нанотрубках, источникам излучения на длине волны менее 100 нм для литографического оборудования и молекулярной электронике.

Усилия специалистов Hewlett-Packard сосредоточены на "сэндвичевых" структурах, образуемых слоями органического материала толщиной в несколько молекул, расположенными между слоями перекрещивающихся проводов.

Ни IBM, ни Hewlett-Packard не собираются прекращать финансирование нанотехнологических исследований. Но вместе с тем они активно пытаются получить на свои исследования государственные средства или участвовать в финансируемых правительством проектах. Пример этому – проект Hewlett-Packard по молекулярной электронике, финансировавшийся как Hewlett-Packard (13,2 млн. долл.), так и Управлением перспективного планирования МО (DARPA – 12,5 млн. долл.). Кроме того, благодаря этому проекту Hewlett-Packard начала сотрудничать с университетом штата Калифорния в Лос-Анджелесе и другими исследовательскими организациями, специализирующимися в области компьютерной архитектуры, органической химии, твердотельной физики и электронной техники.

Самый миниатюрный в мире твердотельный излучатель

На фирме IBM разработаны твердотельный излучатель с минимальными достигнутыми до сих пор размерами и первый в мире одномолекулярный излучатель. Оба излучателя выполнены на основе технологии углеродных светоизлучающих нанотрубок (СИН). В отличие от обычных светодиодов, СИН – трехвыводные устройства, подобные полевому транзистору. При этом нанотрубка, на выводы которой подается смещение, служит его каналом, а третий вывод – затвором. Решетки СИН не только преобразуют электричество в свет, но и обрабатывают информацию (для хранения элементов изображения в дисплеях, изготовленных по нанотехнологии). Кроме того, поскольку длина волны излучения таких устройств равна 1,5 мкм, они перспективны для применения в оптических линиях связи.

На основе математической модели и экспериментальных результатов показано, что излучатели на основе углеродных трубок можно объединять с кремниевыми электронными компонентами, что позволит создать новые электронные и оптоэлектронные приборы.

www.siliconstrategies.com/story/OEG20030501S0035

Программу исследований в области нанотехнологии активно проводит и фирма Samsung Electronics, объявившая о намерении в конце 2003 года начать изготовление дисплеев на полевом эффекте с тонким слоем нанотрубок, предназначенных для возбуждения излучения элементов изображения (пикселей) дисплея. Такие дисплеи будут тоньше и легче, чем ЭЛТ и ЖКД и, кроме того, потреблять меньше энергии при лучшем разрешении. О подобных

4-Мбит "нанокристалльная" память

Фирма Motorola успешно продемонстрировала микросхему энергонезависимой памяти на кремниевых нанокристаллах емкостью 4 Мбит, относящуюся к новому классу изделий, именуемых памятью на тонких плёнках. Память изготовлена на 200-мм пластинах по стандартной 90-нм технологии. Специалисты Motorola заявляют, что технология нанокристаллов позволит создавать более миниатюрные, надежные и эффективные по энергопотреблению схемы, чем современная флэш-память, которую она и призвана заменить в будущем. Разработка новой ИС проводилась в рамках работ фирмы по созданию флэш-памяти под кодовым наименованием Sonos. Цель проекта – добиться хранения заряда в слое нитрида кремния или в нанокристаллах, заключенных между двумя слоями оксида кремния.

По мере освоения промышленностью 90-нм и менее топологических норм производство флэш-памяти может оказаться неэффективным. При таких нормах площадь кристалла, занимаемая 12-В транзисторами, необходимыми для записи/стирания данных, становится слишком большой, а уменьшение напряжения программирования приводит к ухудшению надёжности, увеличению риска повреждения памяти и потери данных. При создании флэш-памяти на пластине необходимо формировать слой оксида, плавающий затвор, слой оксида, управляющий затвор. По новой технологии на кристалле изготавливается структура, состоящая из двух более тонких, чем в первом случае, слоев оксида кремния (общая их толщина не превышает толщину одного слоя в конструкции с плавающим затвором), между которыми расположены плавающие нанокристаллы размером около 5 нм. При таких размерах квантово-механические силы надежно удерживают электроны в отдельных нанокристаллах. На этом "сэндвиче" формируется управляющий затвор. В продемонстрированном 3У на нанокристаллах напряжении программирования составляет +6 В. Специалисты компании намерены в дальнейшем снизить напряжение программирования новой схемы памяти, что приведет к дальнейшему уменьшению как размеров кристалла, так и потребляемой мощности.

Микросхемы памяти на кремниевых нанокристаллах отличаются и более высокая, чем у флэш-памяти, надежность. Дефектный слой поликремния в структуре флэш-памяти приводит к рассеиванию заряда, что и создает основные проблемы надежности и выхода годных при масштабировании. Память на нанокристаллах при слишком малых их размерах или плотности не способна хранить достаточный заряд. Если же нанокристаллы слишком велики или располагаются плотнее, чем это необходимо, электроны перемещаются с одного из них на другой или утекают через дефекты слоя оксида кремния. Однако при соблюдении необходимых временных и температурных режимов, а также химического процесса осаждения, удается получить число нанокристаллов, требуемое для хранения одного разряда данных (500–700). Причём дефектность нескольких нанокристаллов не будет влиять на способность хранения и считывания.

Первые энергонезависимые 3У на основе нанокристаллов могут появиться на рынке в ближайшие годы.

www.eet.com/at/news/OEG20030331S0023
www.cahnerselectronics.net/

разработках объявила и фирма Motorola. Кроме того, на фирме ведутся работы по формированию методами нанотехнологии "кремниевых островков" с целью увеличения емкости и дальнейшей миниатюризации микросхем памяти.

Большая часть (61 компания) частнопромышленных фирм, занятых нанотехнологическими исследованиями, ориентированными на электронику, – вновь созданные компании, финансируемые венчурным капиталом. Так, Thomson Venture Economics вложила в 13 таких фирм более 88 млн. долл. (в среднем 6,75 млн. долл. на фирму). Наиболее хорошо известны работы корпорации Nantero, использующей разработки Гарвардского университета для создания энергонезависимых ОЗУ (NRAM), элементами памяти которых служат углеродные нанотрубки. Считается, что они будут способны заменить ДОЗУ, СОЗУ, флэш-памяти и дисководы. На эти работы с октября 2001 года Nantero получила от трех венчурных фондов более 6 млн. долл. в качестве первого взноса. Работы по созданию молекулярной памяти ведет корпорация Zettacore, использующая так называемые мультипорфириновые (multi-porphyrin) наноструктуры, представляющие собой молекулы, способные изменять свое состояние в зависимости от наличия или отсутствия у них нескольких электронов, и тем самым выполнять функции ячейки памяти.

Другие вновь образованные фирмы работают в иных направлениях. Так, корпорация Applied Nanotech производит углеродные нанотрубки, нанокристаллы и другие специализированные наноконпоненты для различных применений, включая дисплеи. Фирма NTera (Ирландия) изготавливает наноструктурированные пленки и наночастицы, которые смогут найти применение в дисплеях с плоским экраном, медицинских датчиках, устройствах дозированной подачи лекарств в организм больного и в элементах питания. Некоторые фирмы, в том числе NanoOpto, разрабатывают оптические, электронные и оптоэлектронные устройства, изготавливаемые так называемым методом нанопечати (nanoimprinting), позволяющим получать элементы микросхем намного меньших размеров, чем стандартные методы литографии. При этом процесс формирования рисунка протекает быстрее и при меньших затратах. В принципе, разработка методов изготовления наноконпонентов без этапа литографии – одно из важнейших направлений работ.

ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Разработки сегодняшнего дня лишь прелюдия к будущему прорыву нанотехнологий в электронику, который ожидается лет через десять, когда будут разработаны методы прецизионного позиционирования большого числа углеродных нанотрубок на подложке. Вот тогда новые устройства молекулярной электроники и молекулярной компьютерной техники, используя электрические и физические свойства отдельных атомов или малых групп атомов или молекул, смогут хранить и обрабатывать информацию подобно современным полупроводниковым приборам. И, возможно, тогда такие понятия, как транзисторы и микросхемы, просто исчезнут.

Однако все это потребует новых достижений. Например, современные методы позиционирования углеродных нанотрубок не позволяют размещать их на подложке с большой точностью. Точное позиционирование для обеспечения интеграции на кристалле большого числа углеродных нанотрубок потребует новых подходов.

Сможет ли нанотехнология стать для России билетом в будущее? Нельзя ли попытаться, с помощью собственных заделов в этой области, "перепрыгнуть" или сократить наше отставание в микроэлектронике? Возможно ли это в принципе, и если да, то сколько это будет стоить? Но это уже другая тема... ○



Благодаря росту микроминиатюризации РЭА на печатных платах размерами примерно 75x75x1,6 мм методом поверхностного монтажа можно создать печатный узел (ПУ) с BGA-компонентами, имеющими размеры 1,1x0,9x0,8 мм, шаг выводов 0,5 мм и диаметр шарика припоя 0,16–0,18 мм. Но независимо от степени надежности технологического процесса сборки такого узла, непредвиденный отказ вызывает необходимость его ремонта, который сопряжен с очевидными трудностями. Успешно преодолеть их можно только при условии, если в уже существующих системах ремонта применить новые методы и оснастку.

Такие оснастка и методику, специально приспособленные для ремонта ПУ с микроминиатюрными компонентами, недавно разработала фирма Training&Tooling Ass. (США). В качестве оборудования, предназначенного для ремонта ПУ, был выбран тип широко используемой полуавтоматической системы с точностью укладки, необходимой для исправления монтажа миниатюрных компонентов. Но кроме точности укладки, от системы ремонта требуются такие свойства, как способность совмещения, регулировка скорости воздушного потока нагревателя, управление движением захвата/укладчика независимо от движения нагревателя.

Оснастка, используемая для ремонта ПУ с миниатюрными компонентами, включает нагревательную форсунку, которая направляет нагретый воздушный поток непосредственно на факальную точку. Размеры сменных насадок нагревателя не превышают 7,5 мм. В экспериментах использовались квадратная насадка со стороной квадрата 3,2 мм и трубчатая – диаметром 0,81 мм.

Коническая конструкция трубчатой насадки позволяет быстро менять наконечники игольчатого шприца различных размеров. Через трубчатую насадку с игольчатым наконечником подается вакуум для захвата компонента и воздух под давлением для освобождения компонента в процессе укладки. Управление последовательностью этапов процесса, а также активизацией вакуума или воздушного давления внутри трубчатой насадки осуществляется с помощью программы.

В нагревателе внутреннее давление воздуха в насадке и скорость выхода воздуха из наконечника регулируются вращением вентиля. Такая возможность управлять очень низкими скоростями воздушного потока чрезвычайно важна для предотвращения сдвига маленьких легких компонентов после совмещения и при нагреве.

Для ремонта ПУ с миниатюрными поверхностно монтируемыми компонентами требуется несколько этапов: формирование теплового процесса ремонта, удаление дефектных или неправильно установленных компонентов, подготовка посадочного места на печатной плате, ориентация, укладка и присоединение нового компонента.

Формирование теплового процесса. Многие полуавтоматические системы ремонта используют программное обеспечение для автоматического формирования теплового процесса. Такой способ предполагает размещение под компонентом, таким как BGA, термопары. Соприкосновение термопары с шариками припоя обеспечивает развитие температурного профиля расплавления припоя, необходимого для удаления или отсоединения матрицы шариков припоя. Однако миниатюрные компоненты слишком малы для размещения под ними термопары размером 1,25 мм, а сверление платы под BGA для эпоксидного крепления термопары может разрушить плату.

Фирма разработала модель другого способа формирования теплового процесса с использованием преимуществ малой массы компонентов. При моделировании учитывались следующие

соображения. Плата и посадочное место при установке теплового процесса должны быть защищены от термоудара и расслоения из-за перегрева. Чтобы избежать раскалывания или расслоения кристалла ИС, температура посадочного места поддерживается с помощью ПО не выше 225°C. В процессе ремонта фаза расплавления следует за предварительным нагревом. При этом плата разогревается до 150°C. В то же время температура микрокомпонента поднимается до 205°C и удерживается 5 с. Максимальная скорость изменения температуры для микрокомпонентов не должна превышать 2°C/с. Пик температуры паяных соединений – 205–215 °C, что обеспечивает хорошую смачиваемость припоя на контактной площадке. Такой профиль должен существовать при температуре расплавления достаточно долго, чтобы гарантировать сохранение припоя в жидком состоянии в течение 45–90 с.

Удаление микрокомпонентов. Удаление дефектного компонента осуществляется при его нагреве в соответствии с температурным профилем и при минимизации давления захвата. Минимизация давления обеспечивает удаление компонента с минимальным разрушением припоя на контактных площадках, упреждая тем самым удаление остатков припоя.

Система ремонта вначале, до нагрева, размещает трубчатый захват (пинцет) над компонентом и записывает положение захвата. После достижения температуры расплавления микронаконечник перемещается к записанной позиции захвата над компонентом, затем прикладывается вакуум для подъема компонента из его посадочного места. Последовательность этапов и подача тепла регулируются с помощью ПО.

Подготовка посадочного места для микрокомпонента. Посадочное место слишком мало для использования обычного способа удаления припоя с помощью шнура (за счет капиллярных сил) или метода вакуумного отсоса. Применение шнура может разрушить контактные площадки посадочного места или извлечь их из платы. Ограничена и эффективность вакуумного отсоса, поскольку наконечники обычно крупнее посадочного места, которое надо очистить.

Для решения этих проблем фирма разработала способ удаления остатков припоя с помощью специального медного очистителя. Он представляет собой тонкий купон, изготовленный точно по размерам посадочного места (площадью 1,42 мм²). Медный купон захватывается, погружается в лоток с флюсом, выравнивается относительно посадочного места, помещается в него, оплавляется и удаляется. Правильный нагрев купона предотвращает возможность вытягивания контактных площадок посадочного места из-за неадекватной температуры. Высокая точность захвата и удаления купона системой ремонта позволяют избежать трения между медным купоном и посадочным местом. Расплавленный припой прилипает к купону и удаляется с контактных площадок, на которых остается только тонкий его слой. Ни посадочное место, ни его контактные площадки при этом не разрушаются.

Укладка микрокомпонентов. На BGA наносится флюс в лотке глубиной 0,076 мм, конструкция которого ограждает шарики припоя от искривления. При укладке микрокомпонентов для их ориентации относительно посадочных мест в любом случае в системе ремонта используется увеличение в 40 раз. Точную укладку компонента на посадочное место осуществляет трубчатый пинцет. Далее проводится расплавление припоя. Для проверки качества смачивания и совмещения контактных площадок с шариками припоя компонента используется рентгеновский контроль.