

ПОСЛЕДНИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В РАЗВИТИИ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

И. С. Байков, Ю. И. Рогозин

Всероссийский научно-исследовательский институт
межотраслевой информации, Москва, Россия

Дан краткий обзор технологических достижений в электронной промышленности США в области техники монтажа и корпусирования, средств отображения информации (СОИ), памяти и оптической связи.

Со времени изобретения транзистора развитие технологий в электронной промышленности происходит под неизменным лозунгом "быстрее, меньше, дешевле". В данной статье мы осветим некоторые достижения в электронике, которые, по мнению журнала *Electronic Design*, являются наиболее интересными разработками 1993 г. [1].

ТЕХНИКА МОНТАЖА И КОРПУСИРОВАНИЯ

Совершенствование РЭА в значительной степени обусловлено повышением рабочих характеристик активных полупроводниковых приборов за счет уменьшения их топологических размеров. Однако при уменьшении топологических размеров и увеличении функциональной сложности ИС возрастает число контактных площадок и величина мощности, рассеиваемая схемой, что в свою очередь приводит к существенному увеличению размеров монтажной платы и уменьшению расстояний между выводами. В результате соединительные линии между выводами корпусов интегральных схем (ИС) становятся определяющим фактором, ограничивающим быстродействие и плотность упаковки на системном уровне.

Технология многокристалльных модулей (МКМ) позволяет резко увеличить плотность упаковки монолитных ИС в едином корпусе, повышая при этом во много раз быстродействие и надежность РЭА, уменьшая размеры и массу изделий. МКМ-технология, возникшая в соответствии с запросами военных заказчиков, дала мощный толчок и для гражданского производства (высокопроизводительные компьютеры). По оценкам *Business Communications Co.*, в 1998 г. мировое производство МКМ превысит 15 млн. шт. с объемом продаж 1,6 млрд. дол. США по сравнению с 1,2 млн. шт. и 635,3 млн. дол. в 1993 г. [2]. Это означает ежегодный рост рынка МКМ в ближайшие пять лет на 20,3 % по стоимости и 7,1 % — по количеству. Наиболее быстро будет расти использование МКМ в компьютерах с RISC-процессором, во встроенных контроллерах, в персональных компьютерах и рабочих станциях. Последний год ознаменовался прогрессом во всех аспектах разработки технологии МКМ.

В результате разработки метода создания подложки из синтетических алмазов [3] можно считать законченным поиск материалов, тепловые характеристики которых позволяют создать МКМ, оперирующие с новым поколением мощных чипов, требуемых для некоторых важных применений. В Национальных лабораториях Сандия (Ливермор) на алмазных подложках (теплопроводность алмаза в 5 раз выше, чем у меди) была разработана подсистема мощной электроники для бортового компьютера ЛА. Испытания нового МКМ подтвердили, что он будет функционировать в рамках заданного требования, не превышать 150 °С, когда начальная температура модуля составляла 110 °С. Модуль состоит из чередующихся слоев 40 ал-

мазных подложек, на которых размещены ИС и межсоединения, и пластиковых разделительных слоев с проводящими шпичками, которые обеспечивают вертикальные соединения. Куб такой конструкции будет выделять мощность 369 Вт.

Другое семейство подложек — синтерованная керамика — позволяет разрешить извечную проблему ремонта МКМ, созданных по тонкопленочной технологии [4]. Обычные SiO_2 -подложки настолько хрупки, что попытки ремонтировать МКМ (например, удаляя неисправный чип) обычно ведут к разрушению модуля. Разработанная фирмой Micro Substrates (Аризона) технология решает эту проблему путем создания подложек, которые позволяют монтировать чипы с обеих их сторон. Подложки из синтерованной окиси алюминия, нитрида алюминия или окиси бериллия являются достаточно жесткими, чтобы дать возможность прецизионного сверления в них малых отверстий диаметрами вплоть до 0,1 мм. Эти отверстия заполняются вольфрамом для создания проводящего соединения между двумя сторонами подложки. Сквозные проводники вжигаются, и вся пористая подложка покрывается медью. Одна сторона подложки используется в качестве основного носителя чипов, другая, на которую наносится тонкопленочная схема, служит резервом при замене дефектных чипов новыми, подсоединение которых к основной стороне платы производится через сквозные отверстия. Это — первая технология, которая позволяет успешно ремонтировать тонкопленочные МКМ.

Фирма Z Systems Inc. (Санта-Клара) предложила технологию [5], которая позволяет значительно снизить себестоимость МКМ. Фирма использовала оборудование для производства плоских дисплеев для создания тонкопленочных подложек на панели площадью 350x350 мм². Такая панель может содержать в 10 раз больше подложек, чем вафля диаметром 150 мм, а это означает больший выход и крайне низкую стоимость. Эта технология дает возможность иметь до 5 металлических слоев, плотность межсоединений 400 линий/см и быстродействие до 5 ГГц.

Одновременно с МКМ развивались и другие технологии монтажа и корпусирования. Новые технические решения получены в области применения припойных шариков для присоединения чипов к печатным платам [6]. Эта технология могла бы в конечном счете заменить технологию квадратно-плоского корпусирования (QFP) ИС с большим числом выводов.

Motorola Corp. развила технологию матричных кристаллоносителей с переформированными выводами (OMPAC — overmolded pad-array carrier), которая решает вопросы искривления выводов и компланарности.

OMPAC-корпуса могут быть размещены на панели с допуском на совмещение 12 мил по сравнению с 3 мил для QFP (1 мил = 10^{-3} дюйма).

В процессе пайки ИК-оплавлением припойные шарики имеют тенденцию самостоятельно располагаться в правильном положении, что исключает необходимость в высокоточном оборудовании, применяемом для установки компонентов. Корпус выполнен в виде тонкой печатной платы на основе пластика из ВТ-смолы, покрытой медью. Металлизация на верхней стороне содержит ключ расположения кристалла и контактные площадки для присоединения проволочных выводов, причем последние через сквозные отверстия на плате разводятся на периферию платы. На тыльной стороне платы сигнальные дорожки заканчиваются медными полосками, проложенными от отверстий до выводных площадок в матрице припойных шариков.

Gentron Corp. (Аризона) предложила технологию монтажа и корпусирования, которая позволяет рассеивать большую мощность, чем гибридные ИС с проволочным монтажом, и обеспечивает размещение в герметичном корпусе [7]. Внутри этого корпуса ИС располагают на керамической подложке, вплавленной в медную оболочку. Наличие массивного контакта между кристаллом ИС и ее корпусом приводит к снижению величин последовательного сопротивления и индуктивности.

Конструкция корпуса, известная как ASP (Advanced Semiconductor Package) также обеспечивает равномерное рассеяние тепла и позволяет монтировать прибор на боку, а не в положении лежа всей плоскостью.

Корпуса ASP предполагается использовать для больших ИС обработки сигналов, рассеивающих высокие уровни мощности.

СРЕДСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Разработки в области плоскпанельных дисплеев, занимающих центральное место среди средств интерфейса человек — машина, за последний год были весьма успешными практически для всех типов: активных и пассивных жидкокристаллических дисплеев (ЖКД), электролюминесцентных и плазменных, индикаторов с автотелевизионной эмиссией микроострия.

Постоянно растущий интерес к малым компьютерам, персональным цифровым помощникам (PDA), персональным коммутаторам и заметный рост мирового рынка дисплеев создали благоприятную почву для впечатляющих достижений в развитии технологии плоскпанельных дисплеев в последние годы. По прогнозам [8], мировое глобальное производство ЖКД к 2000 г. превысит 18,8 млрд. дол. США по сравнению с 2,8 млрд. в 1992 г.

Хотя до настоящего времени Япония занимает доминирующее положение в производстве и разработке ЖКД, американцы в 1993 г. также добились в этой области существенных достижений.

Одной из наиболее интересных разработок было использование монокристаллического кремния и технологического оборудования для производства ИС для выпуска плоских ЖКД на активных матрицах с исключительно высокими плотностями пикселей. Фирма Corip (Массачусет) продемонстрировала возможности технологии, получив разрешение 500 линий/дюйм в монохроматической портативной системе массой 1 фунт, работающей со скоростью, достаточной для воспроизведения видеоизображения. При использовании монокристаллического кремния выборка транзисторов, переключающих жидкие кристаллы, может производиться с гораздо более узкими сигнальными шинами [9].

С другой стороны, традиционные технологии ЖКД с активной матрицей (АМЖКД), основанные на применении аморфного кремния, как правило, не позволяют получить разрешение более 150 линий/дюйм. Сутью технологии Smart-Slide фирмы Corip является ее способность сдвигать транзисторы по тонкой пленке с кремния на стеклянную подложку, которая несет на себе экран. Хотя эта технология уже запатентована, фирма Corip отмечает ряд трудностей, которые необходимо преодолеть, чтобы довести технологию до разрешения 1000 линий/дюйм.

В то время, как фирма Corip сконцентрировала свои усилия на увеличении плотности монтажа по технологии АМЖКД, фирма Motif Inc. (Tualatin) объявила о разработке технологии, которая приближает характеристики ЖКД на пассивной матрице к АМЖКД. В содружестве с In Focus Systems Inc. (Tualatin) и Motorola Semiconductor Corp. (Аризона) она нашла способ активной адресации дисплеев на основе пассивной матрицы. Используя зависимость механизма переключения жидких кристаллов от эффективной амплитуды напряжения, схема адресации Motif обеспечила поступление непрерывного напряжения на каждый пиксел, передавая на пиксел необходимую дополнительную электрическую энергию, когда нужно его переключить. Все строки выбираются сразу при подаче специальных двухуровневых сигналов низкой амплитуды. Для реализации этой схемы адресации были разработаны комплексные алгоритмы на основе методов цифровой обработки сигналов. ЖКД с пассивной матрицей по своим характеристикам могут быть сопоставимы с АМЖКД, а в некоторых случаях и превосходить их. К ним относятся:

быстродействие — 30 мс; контраст — 30:1; градации серости — 64 и палитра из 262144 цветов — при стоимости почти вдвое ниже, чем у АМЖКД на базе тонкопленочных транзисторов, согласно утверждению фирмы Motif.

Фирма Sharp Electronics (Вашингтон) разработала новую схему адресации для улучшения работы электролюминесцентного дисплея [10]. Адресация с расщеплением экрана позволяет удвоить кадровую частоту с 60 до 120 Гц и одновременно снизить потребляемую мощность на 30 %. Это достигнуто в результате расщепления строчных электродов на две самостоятельные группы: одна из них покрывает верхнюю часть экрана, другая — нижнюю. Обе группы электродов управляются с частотой 60 Гц. В терминах числа обновлений пикселей в секунду это эквивалентно управлению всем экраном с частотой 120 Гц. В результате удвоения числа обновлений состояния люминофора в каждом пикселе яркость экрана остается близкой к максимальной. Как следствие более высокой яркости появляется возможность создания восьми уровней шкалы серости путем модуляции сигналов регенерации.

Фирма Texas Instr. (Даллас) внесла весомый вклад в разработку технологии дисплеев с высокой контрастностью и разрешающей способностью, необходимых для проекционного телевидения высокой четкости. Для формирования изображения использованы алюминиевые микрозеркала, изготовленные на кремнии с целью создания 24-битных цветных изображений с разрешением 768x576 пикселей [11]. В чипе вначале создается запинающее устройство с произвольной выборкой, которое хранит заряд на поверхности прибора. Затем поверх ячеек DRAM наносится слой полимерного фоторезиста толщиной 2 мкм, а в нем вытравливается сетка с ячейками 17 мкм². Для создания зеркал поверх сетки распыляется алюминий. При последующем травлении создаются отдельные зеркала, зажимы и скрученные петли. Последней операцией является плазменное травление, с помощью которого удаляется весь полимер, находящийся под сеткой. Свет от дуговой лампы освещает решетку из зеркал, и цветовой диск создает цвета, причем зеркала наклоняются трижды в течение каждого воспроизводимого кадра. Поскольку кадр занимает только 16,5 мс, глаз интегрирует красно-зелено-синие изображения в одно.

Фирма Dimension Techn. (Рочестер) добилась успеха в разработке 3D-дисплеев в результате объединения ЖКД-технологии с новой осветительной пластиной [12]. В разработанной схеме на чередующихся столбцах ЖКД-экрана формируются изображения, предназначенные отдельно для левого и правого глаз. Расположенная сзади ЖКД осветительная пластина, которая освещает дисплей, использует микролинзы для создания очень тонких, очень ярких вертикальных линий света. Левого глаза достигает свет, проходящий через нечетные столбцы, а правого глаза — через четные. Главный недостаток этой системы заключается в том, что она обеспечивает разрешение вдвое меньше по сравнению с возможным для ЖКД. Эта проблема была решена путем удвоения частоты кадров с использованием специальных тонкопленочных транзисторов для переключения.

УСТРОЙСТВА ПАМЯТИ

По мнению специалистов исследовательских центров, магнитным ЗУ предстоит еще долгая жизнь. Из лабораторий IBM (г. Алмаден) сообщается о прогрессе в использовании в ЗУ явления, известного как "гигантское" магнитосопротивление [13]. Термин "гигантское" используется потому, что при напряженности поля 12 Э можно получить 6 %-ное изменение сопротивления в магниторезистивной головке записи/считывания с NiFe слоем толщиной 20 Å. Это процентное изменение в три раза выше, чем у стандартных пермалловых головок. Такое изменение сопротивления позволяет получить пятикратное улучшение амплитуды сигнала, который поступает в цепи канала считывания. В свою очередь это может обеспечить пяти-

кратное увеличение плотности хранения информации. По сведениям разработчиков, к концу десятилетия может быть достигнута плотность хранения информации до 10 Гбит/дюйм² на магнитных дисках при использовании вышеуказанных головок. В основе этой технологии лежит операция разделения NiFe-подложки на маленькую область, что осуществляется вставкой слоя серебра толщиной 40 Å между NiFe-слоями и отжигом вафли при 300 °С.

Заслуживают внимания результаты Sony Corp. (Парк-Ридж) по поиску новых материалов для ЗУ [14]. Им удалось получить объем памяти 21 Мбайт на 3,5"-флоппи-диске в результате внедрения нового металлического сплава (для 8 мм-видеолент и лент цифровой звукозаписи) и разработки новых систем слежения, позиционного управления и неравномерного кодирования по дорожкам и секторам диска.

Продолжались работы по поиску путей снижения себестоимости и повышению износоустойчивости флоппи-дисков.

Фирмы Corning (шт. Нью-Йорк) и Seagate Techn. (Калифорния) разработали новую стеклокерамику MemCog для замены алюминия как материала подложки [15]. Это позволяет головке считывания/записи находиться на расстоянии всего 50 нм от поверхности диска, повышая плотность записи. Однако главное преимущество MemCog заключается в ее прочности: она может выдерживать удары на 100 г больше, чем алюминий. Такая прочность стеклокерамики позволит отказаться от используемого ныне в дисках на основе алюминия слоя никеля, применяемого для увеличения его прочности. Кроме того, MemCog как стеклокерамика является стойкой к магнитным дефектам, возникающим на примесях в алюминии.

Продолжалось совершенствование технологий для высокоскоростной передачи информации с диска.

Фирма Comlinear Corp. (Колорадо) разработала технологию акустического переноса заряда (АСТ), которая обеспечит скорость передачи данных в канале считывания с жесткого диска до 100 Мбайт/с [16]. Изготовленные по технологии АСТ образцы на GaAs показали скорости 60 Мбайт/с при использовании стандартного метода пикового детектирования и тонкопленочных головок. Плотность записи на этом диске может быть на 50 % выше, чем у наиболее совершенных современных накопителей, причем скорость появления ошибок порядка 10⁻⁹. Эти образцы были изготовлены на одном МКМ со 100 выводами по технологии QFP.

Однако все вышеперечисленные достижения в области магнитных ЗУ может затмить (по крайней мере, в новейших применениях) объемная голографическая память. Эта "экзотическая" технология сейчас, по-видимому, находится на грани коммерциализации. Среди ее отличительных признаков можно назвать плотность размещения информации в 10 раз выше, чем при обычной магнитной или оптической записи; скорость выборки и передачи данных в 10—1000 раз выше, чем в обычных системах [17]. В этой технологии информация записывается в виде темных или светлых точек внутри фоторефрактивных кристаллов. Эти картины создают двумерные голограммы, называемые страницами. Страницы набираются стопкой одна поверх другой внутри кристалла. Используют кристаллы ниобата-стронция-бария, которые совмещают высокую чувствительность с высоким быстродействием.

Для получения голограмм используют картины электронного заряда, создаваемые интерференцией лазерного излучения. В наиболее типичной системе свет от лазерного источника (например, 100 мВт АИГ-лазера зеленого цвета) проходит через расщепитель луча, который делит его на информационный и опорный лучи. Опорный луч, естественно, будет использован для создания интерференционной картины. Он проходит через вращатель поляризации и отклоняющую систему страниц. Информационный луч подается на поверхность прибора, называемого

страничным композером, выполняющего функции пространственного модулятора света (ПМС). С помощью ПМС происходит наложение цифровых данных на луч. Изображения появляются в виде темных или светлых пятен в зависимости от значений цифровых данных. Выходящий из композера информационный луч преобразуется с использованием оптики Фурье-преобразования, а затем фокусируется на кристаллической структуре, которая будет удерживать голограмму, сюда же подается опорный луч. Интерференция двух лучей создает картину электрического заряда в виде уникальной дифракционной картины в фоторефрактивном материале. А это, в свою очередь, изменяет оптические свойства кристалла с картиной электрических зарядов.

Разработки памяти по такой технологии фирмы Microelectronics & Computer Techn. (Техас) позволяют достичь среднего времени выборки одной страницы порядка 1 мкс. Созданные прототипы памяти имели страницы размером 6 Кбит, до 50 страниц в стеке (наборе) и до 2000 стеков в одном модуле. Использование кристаллов объемом $3 \times 3 \times 0,5 \text{ см}^3$ дает емкость памяти 200 Мбайт. Времена записи находятся в диапазоне 100 мкс, а средняя поддерживаемая скорость передачи данных оценивается как 800 Мбайт/с.

ОПТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ

Прошло 24 года с момента получения первых оптических волокон с низкими потерями, подходящими для телекоммуникационных применений. К настоящему времени волоконные системы нашли широкое коммерческое применение для связи через океаны, в сельской местности и городах. Высокое быстродействие оптического волокна, малая масса, компактность, высокая энергетическая эффективность и невосприимчивость к электромагнитным помехам делают его весьма привлекательным для применения в системах связи, в том числе в военных. К тому же сейчас волоконные сети имеют более низкую стоимость по сравнению с другими. Научные лаборатории уже демонстрируют высокоскоростные приборы и системы, способные обеспечить передачу информации со скоростями более 20 Гбит/с на большие расстояния, в том числе и для трансокеанских систем [18]. Промышленность США освоила производство оптического волокна, которое обеспечивает скорость передачи информации 3,4 Гбит/с.

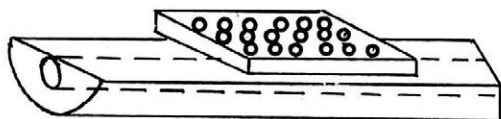
В настоящее время в США активно ведутся работы по замене электронных подсистем, сетей связи и логических устройств оптическими.

ARPA финансирует ряд проектов по внедрению волоконно-оптических устройств в таких областях, как системы управления полетом ЛА, системы наведения, оптические датчики, лазерные детонаторы и гироскопы [19]. Некоторые из этих проектов внедрены в промышленное производство.

Ряд исследовательских лабораторий США (в их числе Bell Labs) вместе с British Telecom (Англия) работают над использованием ИК-излучения для сотовых сетей и служб персональной связи [20].

Разработан новый волоконно-оптический кабель с рассеянием, сечение которого напоминает заглавную букву D (урезанный эллипс) (рисунок). Световодная сердцевина располагается всего на несколько микрон ниже плоской поверхности кабеля. Ввиду низкого коэффициента преломления материала, находящегося в контакте с плоской поверхностью кабеля, по сравнению с материалом сердцевины,

Общий вид волоконно-оптического кабеля



потерь излучения через плоскую поверхность нет. На последней предусмотрены определенные точки отвода световой энергии с использованием материала с высоким коэффициентом преломления и кремниевой микролинзовой решетки, которая содержит лазерные диоды мощностью до 100 мВт и фокусирует свет в широкие или узкие полосы (по требованию). Каждый из таких отводов может питать передатчик, который сообщается с портативным или стационарным терминалом. Планируется довести скорость передачи информации с каждого отвода до 10—100 Мбит/с.

В Национальных лабораториях Сандия разработаны низковольтные модуляторы с применением крошечных зеркал из полупроводниковых соединений [21]. Эти зеркала можно использовать для преобразования информации, переносимой с помощью электрической энергии, в оптическую информацию. Возможность работы с низковольтными сигналами возникает благодаря возрастанию световой энергии за счет двусторонних отражений света в резонаторе Фабри-Перро, образованном между зеркалами.

Отражательные модуляторы изготавливаются путем объединения сверхрешеток с напряженным слоем и ненапряженными буферными слоями и зеркальных композиций. Прибор фирмы Сандия изготовлен на основе квантово-размерных гетероструктур InGaAs/InAlGaAs с тонкими слоями. Зеркала создаются толстыми слоями того же материала. Прибор имеет вид шайбы с диаметром в несколько миллиметров и толщиной 100 мкм. В электрическом отношении прибор представляет собой *p-i-n* диод, где крайние области (*p*, *n*) являются электродами, к которым прикладывается напряжение с амплитудной модуляцией. Работа осуществляется на длине волны 1,3 мкм, что позволяет его эффективно использовать в волоконных сетях и делает его излучение более безопасным для глаз по сравнению с существующими более коротковолновыми приборами. Наиболее перспективными областями применения оптических модуляторов являются оптические соединения в системах связи и компьютерах.

Фирма TRW (Калифорния) на основе GaAs-технологии разработала ИС для линейного усилителя, способную работать на частотах до 1 ГГц с высокой эффективностью [22]. Фирма изготавливает гетеропереходные биполярные транзисторы с помощью метода молекулярно-лучевой эпитаксии (МВЕ). МВЕ обеспечивает создание пригодных профилей легирования, которые позволяют получать высокий процент выхода надежных усилителей с КПД до 50%. Эти усилители значительно более эффективны, чем существующие монолитные или гибридные GaAs-усилители, работающие в тех же областях. Усилители первой партии потребляют мощность 0,8 Вт и работают от источника питания 6 В. В дальнейшем предполагается расширить диапазон потребляемой мощности до 0,1—2 Вт.

В последние годы стали стремительно развиваться новые технологии, основанные на использовании высокотемпературных сверхпроводящих материалов (ВТСП). Получены поразительные результаты в таких областях, как межсоединения в гибридных ЭВМ нового поколения и цифровых устройствах, сверхскоростные приемники, пассивные и активные элементы СВЧ-техники.

Рекорд быстродействия перешел от полупроводниковых приборов к гибридным приборам, использующим ВТСП-пленки. С применением ВТСП-пленок в микроэлектронике и МКМ-технологии существенно уменьшаются потери, увеличиваются скорости обработки сигналов (достигаются тактовые частоты до десятков гигагерц), повышается плотность упаковки [23, 24].

ЛИТЕРАТУРА

1. Electronic Design. 1993. Dec. 16. P. 53.
2. Electronic Packaging & Production. 1994. V. 34. № 4. P. 34.
3. Electronic Design. 1993. Apr. 15. P. 36.

4. Ibid. Apr. 15. P. 35.
5. Ibid. Mar. 18. P. 24.
6. Ibid. Feb. 4. P. 31.
7. Ibid. July 22. P. 35.
8. Wall Street Journal// 1993. Oct. 4.
9. Electronic Design// 1993. Apr. 15. P. 59.
10. Ibid. July 22. P. 38.
11. Ibid. June 10. P. 23.
12. Ibid. July 8. P. 36.
13. Ibid. Sept. 16. P. 46.
14. Ibid. July 22. P. 27.
15. Ibid. May 13. P. 32.
16. Ibid. Apr. 1. P. 25.
17. Ibid. Sept. 16. P. 93.
18. CLEO'93, Anaheim, CTh G1.
19. Design News// 1992. № 48. P. 68.
20. Electronic Design// 1993. Sept. 16. P. 34.
21. Ibid. Jan. 7. P. 39.
22. Ibid. May 3. P. 28.
23. Байков И. С., Головашкин А. И. Прикладная физика// 1994. № 1. С. 4.
24. Байков И. С., Головашкин А. И.// Там же. № 2. С. 3.

NOVEL TECHNOLOGY ADVANCES IN ELECTRONICS

I. S. Baikov, Yu. I. Rogozin

The All-Russia Research Institute
of Interbranch Information, Moscow, Russia

A brief survey of technology advances of the US electronic industry in packaging, displays, storage & optical communication is given.