

Кремниевая и арсенид-галлий-алюминиевая технология: конструкторские решения в области изготовления оптических трёхмерных матричных приёмо-передающих модулей 3D М ФЭФ М

Часть 7

Валерий Сведе-Швец (soooes@mail.ru), Владислав Сведе-Швец, Максим Зиновьев (Москва)

В седьмой части статьи описаны конструкторские решения в области изготовления трёхмерных матричных приёмо-передающих оптических фотон-электрон-фотонных модулей (3D М ФЭФ М) с использованием планарных объёмных матричных линзовых растров и призматических делителей, полученных с применением ионообменной технологии. Также приведены формируемые оптические схемы, используемые в 3D М ФЭФ М, и описаны особенности изготовления модулей на основе применения вертикально излучающих лазеров (3D М ЭФ СБИС VCSEL) и коммутационных кремниевых кристаллов с элементами аналого-цифрового преобразования оптического излучения (3D М ФЭ СБИС А/Ц), собранных по методу перевёрнутого монтажа (flip-chip).

Конструкция планарных матричных линзовых растров и призматических делителей

Преимущества использования оптического диапазона частот в системах передачи и обработки информации, стремление к миниатюризации стимулируют развитие интегральной оптики, в задачу которой входит создание оптических узлов и устройств в интегральном исполнении. Важным элементом интегрально-оптических устройств являются микролинзы.

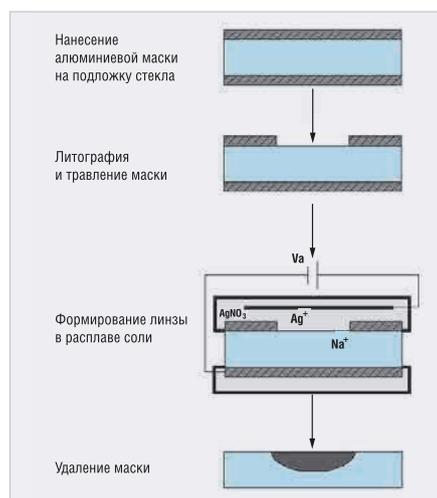


Рис. 47. Технологический процесс изготовления матрицы интегральных линз с электростимулированной миграцией ионов в стекле

Они находят применение для коллимации и фокусировки (волоконная оптика, сенсорные устройства, оптическое сопряжение, оптические компьютеры), для передачи света (дисплеи, проекционные системы) и для формирования изображения (фотокопиры, трёхмерные фотографии, микролинзовая литография, астрономические приборы).

Метод электростимулированного ионного обмена

Среди известных методов формирования интегральных микролинз устоявшейся является ионообменная техника. Трёхмерное распределение показателя преломления (ПП) в таких микролинзах является дополнительной степенью свободы для вариации их оптических свойств. При их изготовлении методом электростимулированного ионного обмена профиль ПП иногда получается ступенчатым (с высоким градиентом) и характеризуется сферической симметрией. Рассмотрим пример возможного изготовления микролинз по данной технологии на фотопластинке и стекле К8. При этом использовался расплав смеси нитратов серебра $AgNO_3$ и натрия $NaNO_3$. Величина прикладываемого напряжения составляла 40 и 70 В. ПП подложки обычно известен. Для

стекла К8 его значение на длине волны $\lambda=0,6328$ мкм равно 1,515, для фотопластинки – 1,510. Для микролинзы, изготовленной в фотопластинке и имеющей диаметр $D=80$ мкм, путём решения задачи минимизации был рассчитан дифракционный фокус f_{dif} . Было получено значение $f_{dif}=300$ мкм, экспериментальное значение фокусного расстояния $f=360$ мкм, то есть относительная ошибка составляла около 20%. Этот факт свидетельствует в пользу сделанного выше предположения о приближённом равенстве параксиального и дифракционного фокусов f_p и f_{dif} . Таким образом, в рамках используемых технологических параметров для получения оценочных оптических характеристик (фокусное расстояние, диаметр фокального пятна) можно приближённо считать распределение показателя преломления сферически симметричным и носящим ступенчатый характер. В основе технологии изготовления матриц микролинз лежит подход, основанный на использовании электростимулированной миграции ионов Ag и т.п. в стеклянную подложку из расплавов солей под действием внешнего электрического поля. Миграция ионов из расплава соли в стеклянную подложку приводит к увеличению показателя преломления в приповерхностной области стекла. Внедрение ионов происходит через отверстия в маскирующем слое, наносимом на поверхность стеклянной подложки. На рисунке 47 показаны основные этапы технологического процесса изготовления матрицы интегральных линз.

Одноформатные матричные объёмные микролинзовые растры

Одноформатные матричные объёмные микролинзовые растры предназначены для ввода оптического излучения в 3D М ФЭ СБИС А/Ц и вывода оптического излучения из

3D M ЭФ СБИС VCSEL. Образец матричного объёмного линзового растра приведён на рисунке 48.

Технологический процесс изготовления линзовых растров состоит из следующих операций: производство полированных штабиков, прессование заготовок растров и обработка заготовок растров механическим способом.

Сваренное и отлитое в блок оптическое стекло после отжига и контроля разделяется на кубики размером 160×160×400 мм, которые загружаются в печь нагрева, где стекло разогревается до температуры плавления. Затем включается механизм вытяжки, разогретое стекло через специальную фильеру попадает на рамки вытяжной машины, и получается полированный штабик круглого сечения. Изменением скорости роликов достигается необходимый диаметр штабика. После обрубки определённой длины штабики укладываются в специальную печь, где происходит отжиг стекла.

Для прессования заготовок растров используется комплекс оборудования, включающий печь для разогрева штабика, пресс и печь отжига. После проверки качества поверхности штабика на отсутствие дефектов (царапины, включения) штабик укладывается в специальное устройство и подаётся к окну печи разогрева. По мере разогрева конца штабик продвигается внутрь печи. По достижении на конце штабика вязкости стекла, при которой возможно формование, он переносится к прессу, разогретый конец укладывается на нижний пуансон.

С помощью прессующего цилиндра разогретый конец штабика подаётся к матрице, и происходит прессование заготовки растра. Излишки стекла выдавливаются по краям матрицы. Специальными ножницами штабик отрезается от отпрессованной заготовки и снова укладывается на специальное устройство для разогрева. После того как отпрессованная заготовка вынута из матрицы, она переносится в печь отжига.

После отжига заготовки подвергаются обработке, при которой достигается требуемая толщина. Поскольку линзы растра и его диаметр окончательно формируются, требуемая толщина достигается снятием припуска с одной стороны заготовки. Обработка производится на шлифовально-полировальном станке.

Заготовки наклеиваются на планшайбы с помощью специального лака, который позволяет удерживать наклеенную заготовку даже при нагреве в процессе полирования. Снятие припуска осуществляется за несколько переходов сначала круглым наждаком, затем средним и микропорошком, который готовит поверхность для полирования.

Оптическая схема построения хода лучей и габаритно-энергетический расчёт оптической системы для 3D M ФЭФ М

В ходе работы были проведены исследование оптической схемы (ОС) с построением хода лучей и габаритно-энергетический расчёт одного канала 3D M ФЭФ М.

Расчёт ОС соответствует следующим требованиям:

- активными элементами системы являются матричный кристалл световых лазеров (VCSEL) и матричный кристалл фотоприёмных устройств;
- матричные кристаллы VCSEL и фотоприёмники излучения (ФП) должны иметь высокую механическую прочность;
- пассивные элементы ОС должны обеспечить максимальную передачу мощности потока излучения VCSEL на расстоянии, необходимые для передачи информации между 3D ЭФ VCSEL.

Излучающая структура представляет собой кристалл на базе арсенида галлия (GaAs) с габаритными размерами 12×12×0,16 мм. Каждый VCSEL располагается с периодом 0,75 мм и имеет следующие параметры:

- длина волны излучения $\lambda=0,85$ мкм;
- вид индикатрисы излучения – распределение Гаусса;
- полный угол излучения $2\sigma_{VCSEL}=80^\circ$;
- мощность излучения $P_{вх}=300$ мкВт;
- диаметр излучателя $d_{VCSEL}=0,05$ мм;
- показатель преломления при 0,85 мкм – 3,211.

Матричный кристалл ФП изготовлен по технологии КМОП на кремнии толщиной 0,48 мм. Размер кристалла – 14×14 мм. На его лицевой стороне с шагом 0,75 мм расположены ФП. Для обеспечения эффективного срабатывания ФП с обратной стороны кристалла с шагом 0,75 мм вытравлены углубления, приближающиеся по форме к усечённым конусам с диаметром большего основания 0,65 мм и диаметром



Рис. 48. Образец матричного объёмного линзового растра

меньшего 0,065 мм. Каждый ФП имеет следующие параметры:

- диаметр площадки ФП $d_{ФП}=0,065$ мм;
- пороговая мощность $P_{пор}=10$ мкВт;
- глубина усечённого конуса – 0,47 мм.

В ФЭ вычислительной системе между 3D ФЭ ГИМС используется оптическое волокно (ОВ), имеющее следующие параметры:

- материал сердцевинны – дейтерированный полиметилметакрилат;
- материал оболочки – полифторакрилат;
- диаметр сердцевинны (жилы) – 0,4 мм;
- диаметр оболочки – 0,42 мм;
- показатель преломления сердцевинны – 1,485;
- показатель преломления оболочки – 1,42;
- структура – ступенчатый профиль;
- числовая апертура – 0,44;
- апертурный угол – 52° ;
- длина волны пропускания $\lambda_{max}=(670-680, 850)$ нм;
- затухание на λ_{max} – 100–150, 200–250 дБ/км;
- допустимый радиус изгиба – 10 мм;
- интервал рабочих температур – $-40...+70^\circ\text{C}$.

Прочие параметры системы:

- шаг между оптическими каналами – 0,75 мм;
- материал оптических элементов – стекло ТФ4, $n_{ТФ4}=1,72019$ (при 0,852 мкм);
- показатель преломления GaAs $n_{As}=3,211$ (при 0,85 мкм);
- промежутки клеевого соединения оптических деталей – 0,05 мм;
- воздушные промежутки при соединении деталей – 0,05 мм или 0,12 мм;
- минимально возможный радиус сферической поверхности оптических деталей – 0,34 мм.

Габаритно-абберационный расчёт проводился с помощью пакета прикладных программ «Призма», который является исходным для энергетического расчёта.

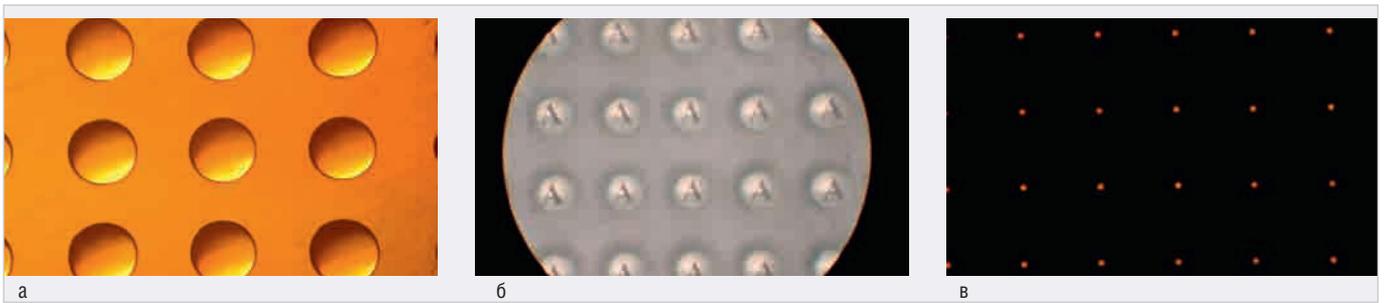


Рис. 51. Матрица линз: а) фрагмент матрицы линз; б) мультиплицирование изображения с помощью матрицы линз; в) фокальные пятна матрицы линз

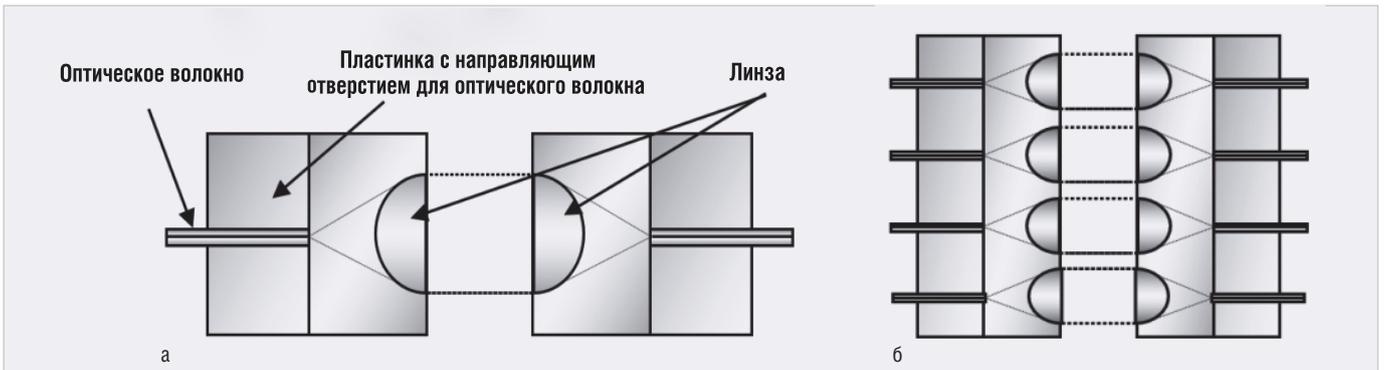


Рис. 52. Волоконно-оптический разъём с матрицей линз: а) одиночный канал; б) группа каналов

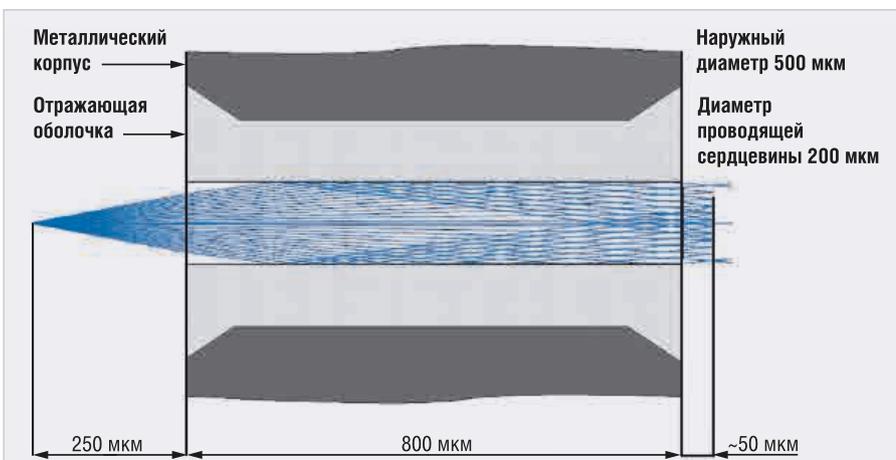


Рис. 53. Расчёт хода лучей в канале сетки с оптическими отрезками для фокусного согласования оптического излучения для разъёма

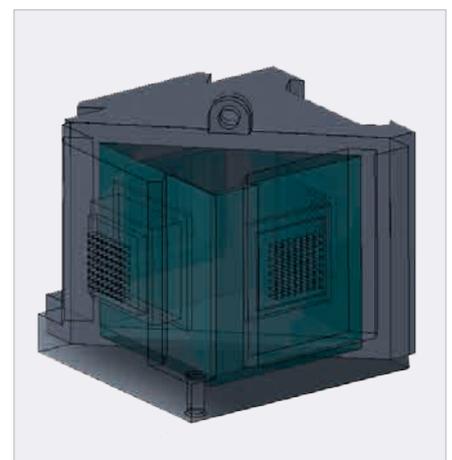


Рис. 54. Оптический призмный мультиплексор

шены» в рабочем диапазоне длин волн, то можно рассчитывать на адресную передачу уплотнённой информации.

Проведённые оценочные расчёты и построения показывают, что теоретически разработка оптической системы связи между оптическими модулями для передачи уплотнённой информации возможна. При этом следует отметить, что практически воспроизвести подобную схему сегодня очень трудно. Нужно учитывать, что телесные углы распространения света малы (0,05...0,07 рад) и мощность излучения должна быть достаточно высокой. Направляется полупроводниковый поверхностный лазер с матричной структурой. Такие приборы ещё не освоены отечествен-

ной наукой и техникой. Оптическая схема, приведённая выше, хотя и выполняет поставленные перед ней задачи, всё же не идеальна в части больших фоновых засветок от соседних близко стоящих источников. Целый ряд конструктивных и технологических ограничений оставляет массу проблем со сборкой и юстировкой подобных схем.

Таким образом, осуществление разделения сигнала по узкому диапазону частот и изготовление оптоэлектронных преобразователей с повышенной плотностью информации, передаваемой посредством света, можно рассматривать как перспективное направление. На рисунке 54 представлена модель оптического призмного мультиплексора.

Выпущена конструкторская документация и изготовлены опытные образцы оптического призмного мультиплексора с корпусом-разъёмом Пикатинни под разъём с линзовыми растрами и под разъём с многоканальным оптическим волокном.

Технология сборки 3D ФЭ СБИС VCSEL и 3D ФЭ СБИС МА/Ц на многослойной полосковой плате для 3D М ФЭФ М

Принцип сборки бескорпусных кристаллов 3D ЭФ СБИС VCSEL и 3D ФЭ СБИС МА/Ц методом перевёрнутого монтажа (flip-chip) основан на технологических возможностях формирования индиевых столбиков.

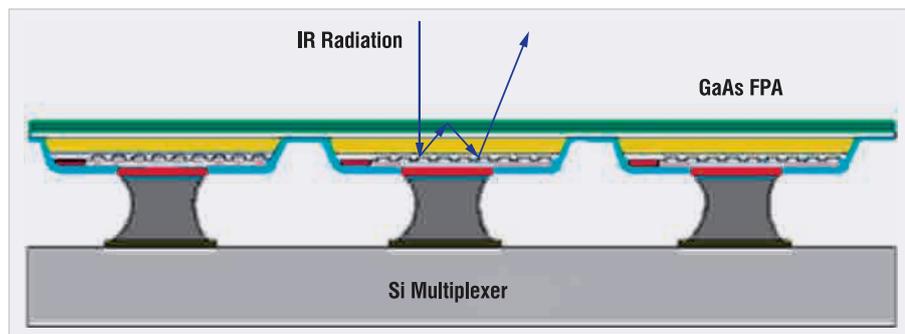


Рис. 55. Схема сборки посредством индиевых столбиков

Особенностями сборки кристаллов методом перевёрнутого монтажа являются:

- качество соединения собираемых частей 3D М ФЭФ М зависит от степени чистоты поверхности соединяемых материалов, а также параметров сборки, таких как температура соединяемых частей, механическая сила, прикладываемая к ним, время, в течение которого прикладывается усилие;
- параметры и режимы сборки в значительной степени определяются геометрическими размерами индиевых столбиков: наилучшей является ситуация, когда отношение высоты столбика к его поперечному размеру приближается или превышает единицу;
- рекомендуемые в зарубежных источниках параметры сборки следующие: механическое давление на границе соединяемых поверхностей – 0,5 кг/мм², температура соединяемых частей – около 90°С при времени воздействия давления порядка 1 минуты.

Технология сборки кристаллов методом перевёрнутого монтажа проводилась в следующей последовательности.

Используемые индиевые столбики имели высоту 9 мкм, площадь поперечного сечения у основания 12×12 мкм с переходом на конус у вершины.

Поскольку наличие окисла (толщина окисной плёнки составляет свыше 100 Å) на поверхности индиевых столбиков препятствует созданию надёжного контакта между ними, то для предотвращения влияния окисла после формирования индиевых столбиков содержащие их компоненты до сборки хранятся в среде, не содержащей кислорода, – в вакууме или в инертном газе. Непосредственно перед сборкой эти компоненты должны подвергаться травлению ионами аргона для удаления окисной плёнки индия.

Сборка 3D ЭФ СБИС VCSEL и 3D ФЭ СБИС МА/Ц производилась на установке М9-А производства фирмы R&D Automation (США).

Был выбран следующий режим сборки:

- механическая нагрузка – 130–150 Н/см²;
- температура стыкуемых частей – 130°С;
- время приложения нагрузки – 5 минут.

Установка М-9А использует оптику, управляемую от ПЭВМ, которая допускает быстрое повторяемое совмещение и посадку перевёрнутого кристалла на подложку. Процесс сопровождается использованием оптического зонда с одиночной камерой и призматического блока, которые обеспечивают проецирование наложенных изображений кристалла и подложки на видеомонитор.

Как только изображения совмещены правильным образом, оптический зонд отводится, а кристалл и подложка, совмещённые и параллельные друг другу, приводятся в контакт, начиная соединение. Предварительно запрограммированные эпюры давления и температуры исполняются так, чтобы обеспечить соответствующее качество сборки для соединяемых типов контактных площадок. Установка может быть настроена под разный тип площадок и запрограммирована на любую комбинацию давления, нагрева подложки и кристалла для создания надёжного контакта.

Применяемый оптический зонд позволяет одновременно видеть и верхний, и нижний кристаллы. Оба кристалла, а также пьедестал (инструмент для крепления кристалла) удерживаются на месте в процессе обработки за счёт использования внешнего вакуумного устройства. Узел оптического зонда позволяет перемещаться по осям *x*, *y* и *z* и обеспечивает точную фокусировку и сканирование всего кристалла и подложки в ходе совмещения.

Перемещающийся подложечный узел установки используется для точного расположения подложки под кристаллом и обеспечивает высоконадёжное параллельное размещение собираемых частей относительно друг друга для соединения. На рисунке 55 представлен пример схемы сборки посредством индиевых столбиков.

Индиевые столбики формировались методом «взрывной» фотолитографии в комбинации с магнетронным напылением адгезионных молибден-никелевых подслоёв и термическим напылением толстых слоёв In.

Для реализации «взрывной» фотолитографии была разработана технология двухслойной фоторезистивной маски толщиной 7–9 мкм на основе фоторе-

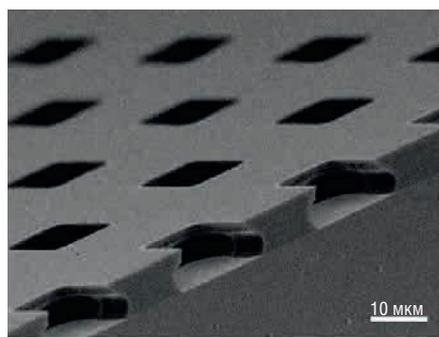


Рис. 56. Двухслойная фоторезистивная маска с отрицательным профилем

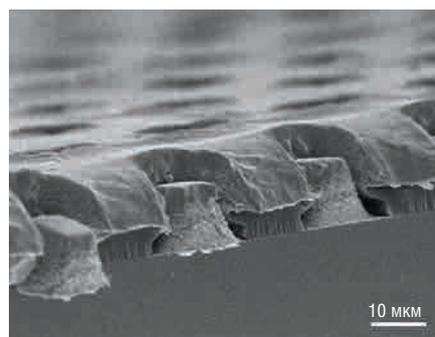


Рис. 57. Пластина с фоторезистивной маской и напылённой металлизацией

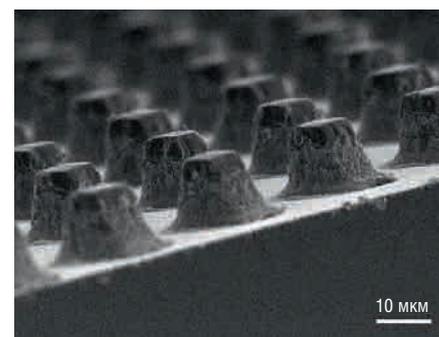


Рис. 58. Пластина с индиевыми столбиками высотой 12 мкм

зистов ФП 3515 и ФП 3550. Метод обработки этих фоторезистов позволил с высокой воспроизводимостью получать фоторезистивные маски с локальными окнами размером 12 мкм и шагом 30 мкм, имеющие отрицательный профиль, как показано на рисунке 56.

Следующей операцией было напыление на пластины с маской фоторезиста адгезионного молибден-никелевого подслоя толщиной 1000 Å и слоя In толщиной 6...12 мкм, как показано на рисунке 57.

После удаления фоторезиста на пластинах формировались индиевые столбики, показанные на рисунке 58.

Формируемые индиевые столбики необходимы для осуществления электрического соединения матричных оптоэлектронных СБИС VCSEL и MA/Ц на соединяемых частях, а соединение указанных частей производится методом перевёрнутого монтажа кристаллов.

В следующей части будут рассмотрены конструкторские и технологические

решения, применяемые при создании информационно-вычислительных, коммутационных и радиолокационных устройств и систем на базе трёхмерных матричных фотон-электрон-фотонных модулей (3D М ФЭФ М), изготовленных на основе мезонинной платы с применением металлокермических корпусов PGA с многоканальными электрическими контактами и металлическими корпусами-разъёмами для многоканальных оптических линий связи. 

НОВОСТИ МИРА

ОБЪЁМ РЫНКА РОБОЭДВАЙЗЕРОВ С ИИ СОСТАВИТ \$987 МЛРД К 2020 ГОДУ

Объём рынка робоэдвайзеров – роботизированных советников по управлению финансами и имуществом, в работе которых используются только технологии искусственного интеллекта, – вырастет к 2022 году до \$987 млрд. Таковы результаты нового исследования Juniper Research.

Рассмотренные в отчёте полностью автоматизированные роботизированные платформы, управляемые ИИ, составят примерно 25% от общего числа роботизированных помощников по управлению имуществом. На сегмент «гибридных» робоэдвайзеров к 2022 году придется 66% рынка.

Доверие потребителей будет играть фундаментальную роль в формировании рынка в течение указанного периода. Аналитики полагают, что в ближайшее время количество сделок по слиянию и поглощению в этой отрасли существенно вырастет на зрелых рынках, в том числе в США. В то же время сильная конкуренция и высокая стоимость робоэдвайзеров – главные барьеры для развития рынка.

Новости Интернета вещей

RFID-РАЗРАБОТКИ «МИКРОНА» ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

19 января 2018 года «Микрон» представил свои разработки в области RFID на технологическом семинаре «RFID: Россия в мире или мир в России?», организованном фондом инфраструктурных и образовательных программ «РОСНАНО».

Интерес к радиочастотной идентификации неуклонно растёт в связи с потребностью в оптимизации различных процессов. Технологии RFID позволяют автоматизировать огромный спектр задач современного бизнеса, включая складской учет, логистику, маркетинг, производственные процессы, защиту от контрафакта и даже контроль доступа.

«Микрон» разрабатывает и производит ВЧ-, УВЧ-, дуально-частотные RFID-метки и комплексные решения для различных отраслей экономики. В метках используются микросхемы собственной разработки, что гарантирует отсутствие любых недекларированных возможностей и обеспечивает безопасность хранения и обработки информации.

RFID (англ. Radio Frequency Identification, радиочастотная идентификация) – технология автоматической идентификации объектов, при использовании которой посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в метках.

www.mikron.ru

RFID-МАРКИРОВКА ВЫХОДИТ В РОССИИ НА НОВЫЕ РЫНКИ

Состояние рынка RFID-технологий и перспективы расширения их применения в мире и в России обсудили участники организованного Фондом инфраструктурных и образовательных программ технологического семинара «RFID: Россия в мире или мир в России?». В мероприятии приняли участие технический директор голландской компании Smartrac Technology Франк Крибель, старший менеджер по развитию бизнеса бельгийской компании IMEC Holst Center Влатко Милошевски, директор по ИТ российского представительства компании Adidas Эмиль Каримов, территориальный директор по эксплуатации и безопасности компании Decathlon в России Николай Касьяненко.

Мировой рынок RFID-меток растёт на десятки процентов в год. По данным IDTech, в 2015 году было продано более 5,5 млрд меток, в 2016 году их число достигло 9,4 млрд. Примерно половину из этих меток потребляет ритейл, другими крупными рынками использования RFID являются логистика и здравоохранение.

Широту спектра использования RFID-технологий в России подтвердил генеральный директор ООО «Технологии идентификации» Игорь Попков. Его компанией разработан RFID-датчик температуры, влажности и акселерометр для Росрезерва. Этот прибор зарегистрирован как средство измерения. Есть заказы датчиков температуры и влажности для учреждений культуры (например, для Эрмитажа). Разработан гибкий температурный логгер для пищевой продукции. Пользуется спросом блок доступа проведённых в лабораториях исследований: УЗИ, рентген и т.д. Начальник RFID-лаборатории ПАО «Микрон» (портфельная компания УК «РОСНАНО» в 2009–2016 годах) Алексей Маркин рассказал, что в 2018 году поставлена задача – сделать авиабагажную бирку и научиться персонализировать метки в рулонах.

Ожидает роста заказов и объёмов производства генеральный директор ООО «РСТ-Инвент» (портфельная компания УК «РОСНАНО») Александр Гребенник. Так, с 2018 года производители алкогольной продукции обязаны будут вести поштучный учёт товара, что невозможно при существующей технологии штрих-кодирования. На «РСТ-Инвент» был проведён успешный эксперимент по одновременной регистрации индивидуально каждой из 720 бутылок на одном поддоне, прошедшем через RFID-портал на воротах.

Наиболее масштабные RFID-проекты реализуют ритейлеры одежды. Представители российских подразделений Adidas и Decathlon рассказали, что вся поставляемая в их магазины продукция маркируется RFID-метками.

Потенциал расширения рынка RFID лежит в распространении технологии на другой, в том числе не крупный бизнес, но для этого требуется переход к единым стандартам.

www.rusnano.com