DOI: 10.22184/1992-4178.2018.176.5.12.18

Все ключевые технологии мы реализуем у себя на предприятии

Рассказывает директор ОАО «КБТЭМ-ОМО» С. М. Аваков

Производство современных микроэлектронных изделий требует от предприятия высокого уровня технологий, а создание оборудования для этой сферы – практически уникальных компетенций. Белорусское предприятие ОАО «КБТЭМ-ОМО» – одна из тех компаний, которая обладает такими компетенциями в области высокоапертурной оптики, прецизионной механики, систем управления и обработки информации в режиме реального времени, что подтверждается многолетним опытом поставок оборудования в том числе для ключевого этапа кристального производства – фотолитографии – на микроэлектронные предприятия как России, так и других стран.

Об истории предприятия, возможностях выпускаемого им оборудования, планах на будущее, а также о возможных путях развития микроэлектронных производств в России мы поговорили с директором ОАО «КБТЭМ-ОМО» Сергеем Мирзоевичем Аваковым.

Сергей Мирзоевич, ваше предприятие обладает достаточно длительной историей. Когда оно было создано?

Изначально «КБТЭМ-ОМО» являлось подразделением образованного в 1962 году в структуре Министерства электронной промышленности СССР Конструкторского бюро точного электронного машиностроения (КБТЭМ), которое в 1971 году стало головным предприятием вновь созданного научно-производственного объединения «Планар».

В задачи «КБТЭМ-ОМО» входила разработка оптико-механического и контрольно-измерительного оборудования для производства интегральных схем. За время его существования на предприятия России и других стран, ранее входивших в число республик СССР, им было поставлено более 4 тыс. единиц различных видов оборудования. Некоторые из наших установок работают до сих пор, хотя им уже по 30–40 лет.

Как удалось достичь такой долговечности оборудования?

Одной из наших базовых технологий являются линейные шаговые двигатели на магнито-воздушной подушке, в которых позиционирование обрабатываемых изделий производится без физического контакта движущихся элементов конструкции. При этом подвижная часть двигателя (индуктор) перемещается над поверхностью неподвижной части (статора) на магнито-воздушной подушке толщиной 10–20 мкм. Эта уникальная технология позволяет спроектировать установку таким образом, чтобы в системе позиционирования не было трущихся частей, а, следовательно, не происходило бы

физического износа деталей, что, в свою очередь, позволяет нашему оборудованию работать на протяжении десятилетий.

Как предприятие пережило 1990-е годы?

Конечно, это было непростое время. Но в начале 1990-х мы изменили структуру КБТЭМ, разделили его на несколько юридических лиц, каждое из которых имело определенную специализацию. Статус юридического лица получило «КБТЭМ-ОМО» и другие подразделения, которые, в свою очередь, специализировались на сборочном оборудовании; общеинжиниринговых услугах; медицинской технике, в частности искусственных клапанах сердца. Казалось, что таким образом выжить легче.

Следует отметить, что тогда маркетинг для нас был новым словом. Если в советский период потребность в наших установках была даже выше наших производственных возможностей, то с приходом рыночных отношений перед нами встала задача сделать так, чтобы именно нашей продукции требовалось как можно больше. Поэтому первое, чему мы тогда начали учиться, это маркетингу – в каждой отдельной области.

В начале 1990-х нам очень помогло сотрудничество с Китаем. До 1997 года мы поставили в эту страну более 300 единиц различного оборудования. Это был один из факторов, который позволил предприятию выжить и, главное, сохранить все свои основные компетенции.

Затем снова начали появляться заказы из России. В частности, мы участвовали в самой первой совместной программе Белоруссии и России под названием «Победа». Она начала выполняться еще до формирования Союзного государства. В ее рамках был разработан целый спектр базовых моделей оборудования, которые потом начали поставляться на предприятия Союзного государства, а также на экспорт в дальнее зарубежье. Это тоже придало хороший импульс для дальнейшего развития нашего предприятия.

Постепенно мы стали работать по всему миру и сейчас поставляем оборудование в такие страны, как Китай, Южная Корея, Израиль, в некоторые европейские страны и, ограниченно, в страны американского континента. Бывают и «экзотические» поставки. Так, один генератор изображений у нас приобрел университет Мехико. Эта установка там работает уже больше 10 лет. Случались даже курьезные ситуации. Например, мы поставили фирме Thomson генератор изображений, который эта компания использовала для изготовления масок всех производимых кинескопов, а эти кинескопы закупали белорусские и российские предприятия для комплектования телевизоров.

Сказалось ли на работе вашего предприятия с европейскими и американскими компаниями изменение политической обстановки, произошедшее в последние годы?

Наше оборудование построено таким образом, что все ключевые технологии мы реализуем у себя на предприятии, поэтому мы не сильно зависим от стран Запада. Более того, есть такие технологии, которыми обладают лишь единицы компаний во всем мире, и мы – одна из них. Примером этого могут служить интерферометрические датчики линейных перемещений с чувствительностью до 0,6–0,15 нм. Такие датчики, кроме нас, выпускает только одна американская компания, и она поставляет их далеко не во все страны.

Конечно, ряд позиций мы закупаем, например некоторые модели лазеров. Но мы сотрудничаем практически со всеми российскими и белорусскими предприятиями, выпускающими лазерную технику, и стараемся в первую очередь покупать лазеры российского и белорусского производства. Лишь в тех случаях, когда это невозможно, мы приобретаем лазеры у компаний из дальнего зарубежья.

Мы участвовали в самой первой совместной программе Белоруссии и России под названием «Победа», в рамках которой был разработан целый спектр базовых моделей оборудования

Так что, могу сказать, что изменение политической ситуации, о котором вы говорите, серьезного влияния на нас не оказало.

То, что вы рассказали, относится к закупкам у западных компаний. А что касается обратного процесса: насколько охотно покупают ваши решения в этих странах?

С такими поставками сопряжены определенные сложности, но они больше связаны с тем, что Соединенные Штаты пытаются установить свою монополию на инновационную продукцию с высокой добавленной стоимостью, с большой долей интеллектуальной составляющей, такую как передовые процессоры, САПР, операционные системы, а также высокотехнологичное оборудование. И они ведут себя в этом отношении достаточно агрессивно.

Тем не менее, мы поставляем некоторые единицы оборудования, а также отдельные его подсистемы и элементы в западные страны, но эти поставки не являются для нас определяющими.

Основной наш рынок – Россия. Мы стараемся участвовать в обсуждении перспектив развития российской электроники, очень внимательно следим за потребностями российского рынка и стремимся к тому, чтобы наше оборудование им отвечало.

Я думаю, российский рынок будет оставаться для нас основным и в будущем. Немного растет доля поставок в Китай и другие азиатские страны. А на Европу и Америку приходятся лишь единицы процентов от нашего общего объема поставок.

Если говорить о решениях для кристального производства, какие проектные нормы сейчас обеспечивает ваше оборудование?

Чтобы построить линию для кристального производства, по самым скромным подсчетам нужно 50–70 установок, не считая изготовления фотошаблонов. Конечно же мы не производим всё это оборудование, но мы предлагаем некоторые ключевые позиции, которые определяют технологический уровень производства, такие как, например, установки для фотолитографии.

Если говорить об оборудовании для формирования рисунков на фотошаблонах, у нас есть различные установки, в том числе обеспечивающие уровень 90–65 нм.

Основной наш рынок – Россия. Мы очень внимательно следим за потребностями российского рынка и стремимся к тому, чтобы наше оборудование им отвечало

Что касается проекционной печати, то есть переноса изображений с фотошаблона на полупроводниковую пластину, наше оборудование на данный момент позволяет реализовывать проектные нормы 350 нм, а в близкой перспективе – 180 нм. В сравнении с изготовлением фотошаблонов, эта технология более ресурсоемкая: чтобы организовать производство степперов, требуется очень много вспомогательного оборудования, которое никто не поставляет, поскольку оно является ноу-хау тех фирм, которые выпускают степперы, и его приходится разрабатывать самим. Кроме того, для этого требуется большое количество технологической оснастки, дорогих материалов и т. п. Сейчас установка для фотолитографической печати – самая дорогая единица оборудования в кристальном производстве. Поэтому создание такого оборудования для технологий с меньшими величинами проектных норм у нас происходит не так быстро. Но у нас есть план развития в этом направлении до 2028 года, которому мы следуем, и в 2027 году мы ожидаем выход на уровень, близкий к 35–28 нм.

А когда вы планируете создать установку для 90 нм?

Я думаю, примерно в 2023–2025 годах. Дело в том, что при переходе к этой проектной норме требуется уже не степпер, а сканер. Это достаточно сложная технология, которая строится по несколько другим принципам и требует своего технического задела.

Мы в этом направлении работаем уже несколько лет, но сразу эту задачу решить невозможно, поэтому мы делаем это поэтапно. В частности, мы выполнили ряд проектов по разработке подсистем для сканера уровня 45 нм с использованием финансирования из Китая. Среди подсистем, которые мы уже освоили – поляризационный осветитель, сканирующая диафрагма, разработку которой мы закончили в прошлом году, и некоторые другие. По ряду параметров мы смогли достичь лучших мировых показателей, например для сканирующей диафрагмы мы получили скорость сканирования 2,8 м / с и ускорение 10g.

Нужно отметить, что сканер, рассчитанный на проектную норму 90 нм, может открыть возможность получения элементов рисунка на пластине с меньшими размерами. Собственно, одна из самых обсуждаемых на сегодняшний день передовых технологий – 7 нм – не означает наличия сканера и фотошаблонов с таким разрешением. Существует две группы методов, обеспечивающих получение топологических структур с меньшими проектными нормами. Первая из них – это группа так называемых методов увеличения разрешения, основанных на использовании специальных фотошаблонов, обеспечивающих фазовый сдвиг экспонирующего излучения, который способствует увеличению контраста изображения. Вторая группа методов основана на так называемой технологии многократного маскирования, которая реализуется путем поэтапного экспонирования с использованием двух и более фотошаблонов, что позволяет получать структуры, меньшие, чем физическое разрешение оптической системы, за счет экстремально высокой точности совмещения этих изображений.

Иными словами, проектная норма – это не только возможности оборудования, но и технологические приемы.

Раз мы затронули тему передовых проектных норм, в российской электронной отрасли существуют различные мнения о том, стоит ли «догонять» мировых лидеров в этом отношении. Есть и мнение, что эта «гонка» искусственная и вызвана исключительно маркетинговыми соображениями...

Я считаю, что в этом есть доля правды, и довольно большая. В конце 1970-х я работал немного в другой области: мы создавали достаточно сложный комплекс для обработки информации, связанной с картографией, в котором применялось 16 параллельных процессов реального времени. На все эти 16 процессов выделялось всего 56 кбайт памяти, и этого вполне хватало. Разве современные бытовые компьютеры, обладающие на несколько порядков более высокой производительностью и бóльшими объемами памяти, решают задачи, сложность которых возросла на столько же? Да, у пользователей теперь гораздо больше выбор приложений, шире спектр задач, которые они могут решить на своем персональном компьютере. Но при этом всё больше ресурсов расходуется на различные системные и вспомогательные процессы, и с практической точки зрения работа на современном ПК у большинства пользователей не стала принципиально более быстрой, чем, скажем, на компьютере 10-летней давности.

Конечно, это не значит, что ненужно двигаться вперед. Но «нанометры» не должны быть самоцелью. Нужно исходить из прикладных потребностей. По большому счету, размер элементов схемы ключевую роль играет в области СВЧ и в микросхемах процессоров и памяти, а во многих других приложениях это не такой принципиальный фактор, и подавляющее большинство интегральных схем производится без использования так называемых «передовых» норм.

В качестве примера могу привести одну шотландскую компанию, производящую фотошаблоны. Минимальный размер элемента топологии, с которым они работают, составляет 700 нм, но при этом все пять имеющихся у них генераторов изображений загружены в три смены.

С «передовыми» технологиями связана масса различных проблем. Мы с вами коснулись только одной из них – фотолитографической. Но есть проблемы, связанные с оборудованием еще примерно 50-ти различных видов, с чистыми материалами и многие другие, в силу чего создание и эксплуатация таких технологических линий стоит очень дорого и требует огромных усилий. Поэтому мне кажется, что вопрос здесь не только и не столько в отсутствии «самых продвинутых» технологий, обеспечивающих нормы, допустим, 28, 14 нм и менее, а в том, что будет производиться с их применением.

Возможно ли в этих условиях движение в сторону «передовых» норм в принципе?

Конечно, возможно. Но здесь есть два пути: нужно либо искать продукцию, которая будет востребована, чтобы окупать внедрение этих технологий, либо просто выделять деньги и делать то, что необходимо для достижения технологической безопасности. Вероятнее всего, на практике будет некоторое сочетание этих подходов: будут и элементы рынка, и дотирование предприятий для их развития.

Еще одно обсуждаемое решение для развития российской микроэлектроники – создание минифабрик. Какое у вас отношение к этому?

Я думаю, что это неплохая идея. В США, Европе, Юго-Восточной Азии развитие фабрик пошло по пути укрупнения. Стали появляться огромные фабрики, вокруг которых формировалась целая сеть малых предприятий-разработчиков, поставщиков и др. И поэтому минифабрики отошли на второй план, хотя в последнее время начали появляться технологические решения, позволяющие при минимальных затратах получить полный цикл кремниевого производства, что позиционируется в основном как подход для научных исследований.

По ряду параметров подсистем для создания сканера мы смогли достичь лучших мировых показателей

Но в России ситуация несколько другая, потому что на этом рынке много заказчиков, которым нужны небольшие партии интегральных схем. Поэтому, я думаю, что для российской промышленности это довольно актуально, хотя не стоит рассматривать этот подход как замену больших производств с традиционными технологиями.

Насколько в построении минифабрик может быть востребована технология прямого формирования рисунка без использования фотошаблонов?

Эта технология хорошо подходит для изготовления небольших партий изделий, поскольку при ее применении можно сэкономить на изготовлении фотошаблонов и быстрее довести проект до реальных образцов. Она позволяет исключить из техпроцесса примерно 17 операций. Но здесь нужно быть осторожным: это решение требует достаточно хорошей технологической и метрологической базы, качественных материалов. Есть предприятия, которые, внедряя эту технологию, даже не имеют воспроизводимого процесса нанесения фоторезиста или оборудования для измерения размеров субмикронных элементов, что в результате приводит к существенному увеличению времени отработки технологического процесса в целом.

У этой технологии есть и другие преимущества. Например, можно создавать кристаллы, размеры

которых ограничены только размерами пластины, и таким образом решать более сложные и специфические задачи. И, конечно, она очень полезна для отработки проектов, поскольку позволяет выполнить необходимые для этого несколько итераций быстрее и дешевле. Ведь крайне редко проект микросхемы получается с первого раза.

Какие решения для прямого формирования изображений предлагает ваша компания?

На сегодняшний день мы выпускаем три модели генераторов изображений, две из которых позволяют формировать топологию как на фотошаблонах, так и на полупроводниковых пластинах. При прямом формировании изображения непосредственно на пластине мы обеспечиваем размер минимального элемента 350 нм.

Если размер элемента на фотошаблоне составляет 350 нм, то при его переносе на пластину с учетом 4-кратного уменьшения мы получаем элемент размером порядка 90 нм. При прямом формировании уменьшения не происходит, поэтому элементы, получаемые при применении этой технологии, обладают бóльшими размерами.

Наши установки автоматического контроля топологических структур способны, в частности, определять все 46 типов дефектов в соответствии с международной классификацией SEMI

В чем отличие оборудования для изготовления СВЧ-устройств, например на нитриде или арсениде галлия?

В отношении оборудования отличий немного. Есть некоторые нюансы. Например, если речь идет об арсениде галлия, то это более хрупкий материал, чем кремний, поэтому для него требуются другие системы загрузки.

Одним из направлений вашей компании является контрольно-измерительное оборудование. Какие возможности у этих установок?

Один из типов оборудования, которое мы производим, – установки автоматического контроля топологических структур методом сравнения с проектными данными. Они способны, в частности, определять все 46 типов дефектов в соответствии с международной классификацией SEMI. Помимо этого, с помощью данного оборудования можно с абсолютной точностью определить, есть ли на фотошаблоне, изготовленном на сторонней фабрике, закладки, поскольку оно выявляет все отличия топологии от проекта.

Мы выпускаем оборудование, которое позволяет контролировать топологические структуры на полупроводниковых пластинах, неплоскостность, дефектность полупроводниковых пластин, заготовок фотошаблонов. Мы выпускаем установки для контроля совмещаемости комплектов фотошаблонов, для измерения критических размеров и др.

Программное обеспечение для сравнения топологии с проектными данными тоже разработано вашей компанией?

На 100%. Вообще, в этой установке используется 18 универсальных процессоров и 17 специализированных процессоров, реализованных на ПЛИС. Это целая вычислительная система, работающая в реальном времени.

Для того чтобы создавать такое оборудование, наверняка необходим большой штат. Сколько сейчас сотрудников в вашей организации? Как вы работаете с молодыми специалистами?

На данный момент штат «КБТЭМ-ОМО» составляет около 550 человек. Каждый год к нам приходит примерно 30–40 молодых специалистов разных специальностей.

Мы очень серьезно относимся к тому, чтобы опыт передавался молодому поколению. Я как директор предприятия стараюсь отслеживать судьбу каждого молодого специалиста, который приходит к нам. И каждый из них у нас работает с опытным сотрудником, который ему помогает, дает советы и следит за тем, чтобы уровень квалификации этого человека рос и чтобы он оптимальным образом интегрировался в нашу команду.

Конечно, получается не у всех, в некоторых случаях люди от нас уходят. Но сейчас мы достигли такого уровня, что практически все, кому интересно у нас работать и кому удается достичь нужного результата, остаются на нашем предприятии.

В заключение расскажите, пожалуйста, о планах предприятия на ближайшее будущее.

Во-первых, в настоящее время мы создаем новый технологический центр, что преследует несколько целей, первая из которых – демонстрация возможностей нашего оборудования в помещениях с контролируемой средой достаточно высокого класса, обеспечивающего возможность работы специалистов заказчика на установках нашей разработки с изделиями субстананометрового технологического уровня.

КБТЭМ-ОМО

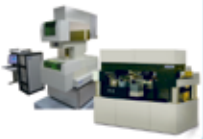
semi

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Проектирование → Генерация изображений → Контроль шаблонов → Ремонт шаблонов → Фотолитография → Контроль пластин

БЕЗМАСОЧНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Многоканальные лазерные генераторы изображений
- Проектная норма 0.35, 0.6 μм
- Опция прямого рисования
- Ø200, 150, 100 мм
- Высокая точность совмещения



КОНТАКТНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Ручная и автоматизированная загрузка
- Двусторонняя литография
- Высокая точность совмещения
- Низкий уровень генерации дефектов
- Высокая энергоэффективность

ГЕНЕРАТОРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ

- Диапазон UV, DUV
- Проектная норма 90, 130 нм
- 16/32-лучевая архитектура
- Фазосдвигающие шаблоны
- Быстрая переналадка пластин — шаблон

СТЕППЕРЫ

- Проектная норма 0.35, 0.8 μм
- Автоматический масштаб
- Двустороннее совмещение
- Ø100, 150, 200 мм
- Твердотельный источник света

КОНТРОЛЬ ФОТОШАБЛОНОВ

- Проектная норма 90,130, 250 нм
- Твердотельный лазер
- Контроль методом Die-to-DB, Die-to-Die
- Высокая производительность

КОНТРОЛЬ ТОПОЛОГИИ

- Контроль привносимых дефектов пластин без топологии
- Автоматический микро и макро контроль дефектов пластин с топологией
- Высокая производительность

РЕМОНТ ФОТОШАБЛОНОВ

- Фемтосекундный / пикосекундный лазер
- 0.2 / 0.5 μм min элемент
- Размер шаблона 7"x7"
- Устранение прозрачных и непрозрачных дефектов

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЕ

- Контроль микроразмеров
- Контроль неплоскостности
- Контроль координат
- Визуальный контроль
- Контроль толщин
- Контроль рассовмещения

- Единое таможенное пространство
- 55-летний опыт разработки и производства прецизионного оптико-механического оборудования
- Высокий уровень применяемых технологий и современного оборудования
- Полный цикл разработки и производства
- Высококвалифицированный персонал
- Высокое качество изделий подтверждено национальными и международными стандартами
- Возможность комплексной поставки оборудования. В том числе, адаптированного для Российского рынка программного обеспечения для поддержки процессов изготовления фотошаблонов и 3D-моделирования для фотолитографии компании GenISys (Германия)

Республика Беларусь
220033, г. Минск
Партизанский пр-т, 2

Тел: (+375-17) 226-09-82
(+375-17) 223-71-28
Факс: (+375-17) 226-12-05

E-mail: office@kbtem-omo.by
kbtem.omo@gmail.com
www.kb-omo.by

Кроме того, благодаря этому центру мы сможем более эффективно работать над развитием наших разработок, а также производить некоторую продукцию для собственных нужд, например, тестовые структуры, определенные уникальные оптические элементы и т. п.

Сейчас проводится монтаж первой очереди чистых помещений, затем мы начнем установку оборудования. Думаю, что технологический центр будет готов уже в августе.

Мы создаем новый технологический центр, благодаря которому, помимо прочего, мы сможем более эффективно работать над развитием наших разработок

Во-вторых, конечно же, мы продолжаем разработку оборудования по основным направлениям нашей компетенции, будем и далее двигаться по пути увеличения разрешения установок, уменьшения проектных норм. Для того чтобы обеспечить соответствующее улучшение точностных параметров при изготовлении оптических, механических и других деталей и подсистем нашего оборудования, сейчас ведется масштабная реконструкция производства. Мы обновили бóльшую часть парка оборудования в оптическом производстве, приобрели целый ряд новых станков для выполнения прецизионных операций механической обработки, существенно обновили парк контрольно-измерительного оборудования. Эта работа проводится как за собственные средства предприятия, так и с использованием государственных средств, выделяемых на конкурсной основе. Мы завершаем модернизацию предприятия, в результате которой сможем вывести наши технологические возможности на новый уровень и предоставить российским предприятиям конкурентное оборудование, отвечающее их новым перспективным задачам.

С С. М. Аваковым беседовал Ю. С. Ковалевский

НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»

Цена 1960 руб.

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ. КРАТКИЙ КУРС «БЕЛОЙ МАГИИ»

А. И. Белоус, В. А. Солодуха, С. В. Шведов

под общей редакцией А. И. Белоуса

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2017. – 872 с.
ISBN 978-5-94836-500-8

Впервые в отечественной научно-технической литературе в объеме одной книги детально и последовательно рассмотрен комплекс теоретических и практических аспектов проектирования и организации производства различного рода радиоэлектронных устройств, приборов и систем, общим и основным отличительным признаком которых является высокая скорость обработки и передачи данных.

В монографии рассмотрены основные теоретические и практические аспекты проектирования быстродействующих электронных устройств «по полной цепочке» — от верхнего системного уровня иерархии до уровня базовых элементов и плат.

Книга ориентирована на широкий круг читателей: студентов, аспирантов, преподавателей технических университетов, инженеров, специализирующихся в области разработки и организации производств различного рода радиоэлектронных устройств, приборов и систем.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 🖷 +7 495 956-3346; **knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru**

ChipEXPO-2018

КОМПОНЕНТЫ | ОБОРУДОВАНИЕ | ТЕХНОЛОГИИ

совместно с

ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПТА ВЫСТАВКА

16-я
МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ЭЛЕКТРОНИКИ

РОССИЯ | МОСКВА
ЭКСПОЦЕНТР

ТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭКСПОЗИЦИИ

- Экспозиция предприятий радиоэлектронной промышленности России «Участники Федеральных целевых программ Минпромторга России»
- Экспозиция «Участники Конкурса «Золотой Чип»
- Экспозиция «Испытания и контроль качества ЭКБ»
- Экспозиция «Новинки производителей электронных компонентов»
- Экспозиция «Другая электроника»
- Экспозиция предприятий Зеленограда (Корпорация развития Зеленограда)
- Экспозиция предприятий АО «Росэлектроника»

www.chipexpo.ru

17.10–19.10

МИНПРОМТОРГ РОССИИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ДУМА

МОСКОВСКАЯ

Ростех

РОСАТОМ