

Как создается современное оборудование для производства ЭКБ в России

Визит в ЗАО «НТО»

Ю. Ковалевский



Компания «Научное и технологическое оборудование» (ЗАО «НТО») специализируется на незаметном для конечного потребителя, но при этом крайне сложном, этапе цепочки производства электроники – специальном технологическом оборудовании для создания электронной компонентной базы (ЭКБ). В продуктовой линейке компании – установки молекулярно-лучевой эпитаксии, плазмохимического травления и осаждения диэлектриков, физического осаждения, быстрой термической обработки. Но это лишь базовые модели, которые зачастую дорабатываются специально для решения задач каждого конкретного заказчика.

В этом году ЗАО «НТО» отмечает свой 20-летний юбилей. Торговая марка SemiTEq, под которой компания предлагает свои решения на рынке, хорошо знакома специалистам, работающим в области кристалльного производства, особенно ориентированным на работу с материалами A^3B^5 .

Посетив предприятие, мы увидели, как разрабатывается и изготавливается это сложное оборудование. Но прежде чем мы отправились в конструкторский отдел и на производственную площадку, генеральный директор ЗАО «НТО» Алексей Николаевич Алексеев рассказал нам о том, как появилась компания, и поделился своим мнением о перспективах развития электронного машиностроения в России.

Алексей Николаевич, когда приезжаешь в отечественную компанию, занимающуюся производством технологического оборудования, практически всегда хочется назвать его уникальным. Расскажите о том, как вы пришли в этот бизнес и на какие технологические направления было изначально ориентировано ЗАО «НТО»?

Действительно, производство специального технологического оборудования для микроэлектроники – это в значительной степени уникальная отрасль, сочетающая в себе и материаловедение, и конструирование сложных объектов, и специфический подход к автоматизации процессов, которые реализует оборудование. Развитой отраслью электронного машиностроения в мире обладает меньше стран, чем космическими технологиями.

Существуют, пожалуй, два основных пути, по которым специалисты и компании приходят к тому, чтобы заняться созданием технологического оборудования. Первый – это путь от классического станкостроения. В мире есть много примеров того, как станкостроительные предприятия расширяли свои компетенции на микроэлектронику и становились успешными в этой области. Второй путь, который прошла команда ЗАО «НТО», это путь от технологий. Всегда считал и продолжаю считать это одним из ключевых преимуществ и факторов успеха нашей компании на рынке. Мы одними из первых в России запустили Прикладную лабораторию для отработки базовых техпроцессов на разрабатываемом оборудовании.

В начале 1990-х группа ведущих технологов Физико-технического института имени А. Ф. Иоффе (ФТИ), включая меня, покинула институт и занялась коммерциализацией технологии производства мощных полупроводниковых лазеров на основе GaAs. Важным этапом технологического процесса являлось выращивание полупроводниковых гетероструктур методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ), что позволило получить большой опыт в эксплуатации и модернизации технологического оборудования советского производства. К концу 1990-х мы начали осваивать новые технологии, в том числе связанные с нитридами галлия и алюминия. Это потребовало инновационных подходов к проектированию технологического оборудования: модернизация старых советских систем уже не давала необходимого эффекта. Новые материалы диктовали совершенно иные технические решения. Переход от модернизации к самостоятельному проектированию стал основным драйвером создания в 2001 году новой компании – «Научное и технологическое оборудование» и бренда SemiTEq.

Первым проектом молодого предприятия была разработка установки МЛЭ для GaN. Оборудование для молекулярно-лучевой эпитаксии и по сей день остается нашей ключевой компетенцией. В то же время за прошедшие годы компания значительно расширила продуктовую

линейку, которая уже к началу 2010-х годов обеспечивала выполнение ключевых операций технологических маршрутов создания микро- и оптоэлектроники преимущественно на основе материалов A^3B^5 .

Вы осуществляете поставки своего оборудования за рубежом?

Да. Хотя основным рынком для нас является Россия, наше оборудование работает и в Беларуси, и в Индии, и в Канаде. Мы рассчитываем развивать направление экспорта оборудования в среднесрочной перспективе. Целевыми для развития продаж оборудования SemiTEq являются китайский и индийский рынки.

Материалы A^3B^5 сейчас считаются очень перспективными, в частности, для СВЧ- и силовой электроники. Ваше оборудование готово к тем задачам, которые сопряжены с этими перспективами?

С точки зрения текущего уровня производства ЭКБ в России наше оборудование отвечает поставленным задачам как по качеству выполнения техпроцессов, так и по производительности. При этом не секрет, что сейчас государство стало активно поддерживать отрасль микроэлектроники, и у многих предприятий появились весьма амбициозные планы по развитию своих производств. Если эти планы будут реализовываться, то потребуются создание оборудования, более производительного, чем то, которое мы выпускаем в настоящее время. Так, сейчас отечественные установки МЛЭ позволяют обрабатывать пластины диаметром до 100 мм, что хорошо подходит для мелких серий, но для массового производства гетероструктур нужны машины, способные работать как минимум с 150-мм пластинами, а также групповой загрузкой пластин меньшего диаметра. Мы работаем над этим. У нас подготовлен целый ряд проектов по развитию как эпитаксиального оборудования, так и других типов установок для кристалльного производства, которые, я надеюсь, мы в скором времени реализуем.

Один из значимых в настоящее время сегментов рынка – светодиодная техника. Каковы, на ваш взгляд, перспективы производства светодиодных чипов в России?

Производство светодиодных чипов является примером массового выпуска ЭКБ. Мы рассчитываем, что такие



Алексей Алексеев

проекты в России рано или поздно появятся. Причиной этому может, в частности, послужить очевидная необходимость локализации в нашей стране производства УФ-светодиодов, которые востребованы для изготовления различных систем дезинфекции. Вследствие пандемии это стало вопросом национальной безопасности.

Ряд наших моделей оборудования уже сегодня может применяться в технологическом маршруте производства светодиодных чипов. При этом рынок светодиодов – хорошее поле для постановки и реализации сквозного проекта: когда инициатива исходит от якорного заказчика – производителя конечной продукции с использованием светодиодов – и распространяется вниз по цепочке до самых нижних переделов, включая оборудование. Такой проект может стать стимулом для нашей компании осваивать более производительные модели оборудования.

Раз вы упомянули о поддержке со стороны государства, считаете ли вы Постановление Правительства РФ от 16 декабря 2020 года № 2136 эффективным инструментом для развития отечественного электронного машиностроения?

Это постановление – настоящий прорыв, причем в области поддержки не только электронного машиностроения, но и в целом средств производства радиоэлектронной отрасли. Так, очень важно, что под него подпадает развитие специальных материалов, так как многие из них относятся к малотоннажному производству, где возврат инвестиций в разработку затруднен из-за ограниченного объема спроса. Упомянутое вами постановление обеспечивает значительно более мягкие условия для разработчика, чем Постановление Правительства РФ № 109.



Конструктор работает с 3D-моделью ростовой камеры установки молекулярно-лучевой эпитаксии

Как вы считаете, когда будет заметен эффект от принимаемых государством мер поддержки и на какой результат можно рассчитывать в целом?

Как я сказал, активная поддержка Правительством РФ электронного машиностроения – это большой прорыв для отрасли. До начала санкционного кризиса 2014 года производители оборудования могли только мечтать о тех инструментах, которые уже разработаны Департаментом радиоэлектронной промышленности Минпромторга России. Сейчас идет активная разработка дорожной карты развития электронного машиностроения до 2030 года, вырабатываются подходы к приоритизации поддержки проектов по разработке ключевых видов специального технологического и контрольно-измерительного оборудования. Заметный эффект рынок должен получить уже к 2025 году, когда завершится целый ряд НИОКР по разработке импортозамещающего оборудования. Реализация первого этапа дорожной карты позволит обеспечить технологическую безопасность РФ по критически важным видам продукции, поставки которой ограничены или находятся под экспортным контролем.

Наша экскурсия по предприятию началась с конструкторского отдела.

Алексей Николаевич, с чего начинается разработка оборудования в САПР? Это какие-то эскизы, условные цилиндры и параллелепипеды, из которых собирается структура будущей установки?

Когда-то, лет 15 назад, было именно так. Но сейчас мы переросли этот этап: у нас накопилось большое количество наработок, моделей узлов и блоков, которые могут выступать в качестве составных частей или прототипов новых разработок. Тем не менее, и сегодня встречаются случаи, когда тот или иной узел приходится создавать с нуля.

Облик будущего оборудования формируется путем обсуждений, проводится целый ряд научно-технических советов. Основой разработки служат технические требования, сформулированные заказчиком, если речь идет о заказной разработке.

Когда общая структура проекта понятна, начинается 3D-моделирование, выполняются расчеты для определения параметров будущего изделия, а затем проект разбивается на узлы и блоки, каждый из которых детализируется, на основании чего выпускается полный комплект КД для изготовления установки.

Помогают ли при проектировании средства автоматизации инженерных расчетов – САЕ?

Конечно. Помимо геометрии, мы моделируем и тепловые, и прочностные характеристики. Наше оборудование состоит из достаточно сложных конструктивных элементов, обеспечивающих высокий вакуум внутри при атмосферном

давлении снаружи, и от этого вакуума зависит качество микроэлектронных изделий, которые будут изготавливаться с помощью данной установки. Поэтому здесь не обойтись без расчетов, позволяющих с достаточной точностью определять такие параметры, как, например, необходимая толщина металла компонентов вакуумных систем.

В результате данного моделирования удается с первого раза получить образец, который отвечает заданным требованиям?

Иногда да. Но обычно всё же требуется определенная доработка после первого этапа тестирования, в особенности если это абсолютно новая разработка. Но это нормально, ведь речь идет об оборудовании слишком сложном, чтобы всё получалось сразу.

Изготовление механических изделий вы заказываете на российских предприятиях?

Преимущественно, да. У нас есть опыт работы и с зарубежными контрагентами, но в последнее время мы ориентируемся на отечественный рынок. В этой части он за последнее десятилетие, по нашему мнению, вырос, появился более широкий выбор небольших производств, где можно размещать такие заказы.

Кроме того, мы рассчитываем, что в условиях реализуемых в настоящее время мер поддержки радиоэлектронной отрасли некоторые российские заводы, специализирующиеся на изготовлении таких сложных изделий, как камеры из нержавеющей стали сверхвысоковакуумного исполнения, и обладающие компетенциями в соответствующих технологиях, например аргонно-дуговой сварке, также будут развиваться более активно, становясь

цифровыми фабриками, услугами которых будем пользоваться и мы, и наши коллеги, заинтересованные в изготовлении подобных изделий.

Кстати о цифровых фабриках: здесь, в конструкторском отделе, можно видеть бумажные чертежи, выполненные по ЕСКД. Для изготовления изделий используются они, или вы передаете контрагентам цифровые модели?

Бывает и так и так. Во многих случаях работа выполняется все еще по бумажным чертежам, но в этом отношении процесс цифровизации движется вперед, и всё чаще мы передаем на производства данные в электронном виде.

Какую обработку изготовленных у сторонних производителей компонентов оборудования необходимо выполнить до начала сборки?

Когда речь идет о вакуумном оборудовании, очень большую роль играет качество поверхностей деталей. Такие детали из нержавеющей стали и других материалов подвергаются электрохимическому полированию погружным методом, в результате которого формируется микроструктура, позволяющая использовать их внутри вакуумной системы. Для этого у нас применяется достаточно интересная технология, основанная не на кислотно-щелочных растворах, а на солевых. Это позволяет избежать ряда проблем, в том числе связанных с утилизацией химических реактивов.

Имеющееся у нас оборудование позволяет выполнять обработку деталей достаточно больших габаритов – примерно до 500 × 500 мм.



Оборудование электрохимического полирования погружным методом



Деталь после электрохимического полирования

Каким способом осуществляется соединение деталей вакуумного оборудования?

Неразъемные соединения выполняются аргоно-дуговой сваркой. Это достаточно сложная технология, требующая высокой квалификации сварщика. Важно обеспечить правильное формирование облака инертного газа – аргона – вокруг места сварки, чтобы не происходило окисления материала, а также проваривание шва на полную глубину для гарантии герметичности соединения.

На нашем предприятии сотрудник, который выполняет основной объем работ по аргоно-дуговой сварке, – ученик своего предшественника, опытного сварщика, который сейчас уже ушел на пенсию. Это хороший пример преемственности поколений, которая просто необходима, когда речь идет об изготовлении сложного высокотехнологичного оборудования. К сожалению, в нашей стране на многих предприятиях произошел разрыв поколений, многие компетенции были утеряны, и сейчас приходится их восстанавливать, что требует много времени и усилий.

Требуется ли обработка изделий после сварки?

Да, компоненты вакуумных систем перед сборкой еще раз проходят электрохимическое полирование, но уже не погружным, а ручным способом. Это финальная стадия подготовки поверхностей изделий, работающих в условиях сверхвысокого вакуума.

Ручной способ может показаться медленным, но на самом деле это не так: даже крупную камеру при достаточном навыке можно обработать за считанные часы. Но при этом обработка выполняется локально, что позволяет лучше контролировать процесс.

После полирования детали и узлы промываются деионизованной водой и высушиваются сухим азотом, а затем в соответствующей упаковке передаются на участок сборки, где в чистых условиях из них собираются более крупные узлы или уже само оборудование.

Мы можем увидеть, как выглядит оборудование в процессе сборки?

Конечно. У нас в производстве на разных стадиях находится несколько единиц оборудования. В частности, уже близка к завершению сборка установки молекулярно-лучевой эпитаксии.

Данная установка предназначена для выращивания гетероструктур на основе материалов A^3B^5 . Это сверхвысоковакуумное оборудование: для получения качественных полупроводниковых структур необходим вакуум 10^{-11} торр. Когда эта установка будет собрана полностью, для возможности достижения такого давления после каждого вскрытия фланцевого соединения на атмосферу будет необходимо выполнять термостатирование – прогревать ее в течение нескольких дней при температуре не менее $200\text{ }^\circ\text{C}$.

Установка содержит три камеры: шлюзовую, камеру предварительной подготовки и ростовую камеру. Вакуум в шлюзовой камере самый низкий. Она предназначена для загрузки и выгрузки образцов. После загрузки образцы поступают в камеру предварительной подготовки, а далее – в ростовую камеру. Ростовая камера – основная, в ней вакуум самый высокий. Он формируется с помощью узла вакуумной откачки на базе турбомолекулярного и ионного насосов. В данной камере расположен ростовой манипулятор, удерживающий



Подготовка к аргоно-дуговой сварке части азотной криопанели установки молекулярно-лучевой эпитаксии



Аргоно-дуговая сварка пластинчатого сальфона – соединителя камер

подложку и позволяющий изменять расстояние от источников, а также эффузионные ячейки, с которых происходит испарение материала, осаждаемого на подложку. Все вакуумные камеры отсекаются друг от друга специальными затворами – шиберами.

Кроме того, в ростовой камере расположена криопанель для адсорбции паразитных газов, которые в небольших количествах, но всё же присутствуют во внутреннем объеме ростовой камеры. Адсорбция выполняется за счет низкой температуры криопанели, обеспечиваемой постоянной циркуляцией жидкого азота. По сути, это последняя ступень откачки.

Патрубки с фланцами в нижней части ростовой камеры предназначены для источников материалов?

Да, это места установки молекулярных источников материалов. В данной установке для этой цели имеется 10 фланцев с заслонками плюс один центральный фланец без заслонки для газовой компоненты. Это практически минимальное количество, которое нужно большинству наших потребителей для решения их задач как производственно-го, так и исследовательского характера.



Установка молекулярно-лучевой эпитаксии в процессе сборки. Справа расположена шлюзовая камера, за ней – камера предварительной подготовки, далее слева – ростовая камера

Источники материалов являются по сути расходными компонентами оборудования. Со временем тигли необходимо менять для увеличения ресурса источника, реже необходимо менять и сами источники. Данная процедура является штатной на установках МЛЭ всех мировых производителей.



Монтаж установки плазмохимического травления STE ICP200E



Установки быстрого термического отжига STE RTA100 в процессе сборки

Где изготавливаются источники для ваших установок эпитаксии?

От конструкции источников зависит качество технологических результатов. Мы самостоятельно разрабатываем большинство источников для собственных эпитаксиальных установок. Молекулярные источники производства ЗАО «НТО», используемые при выращивании гетероструктур на основе нитридов III-й группы, имеют запатентованную конструкцию и обеспечивают высокий ресурс работы. Они собираются на этом же сборочном производстве, но в помещении с более высоким классом чистоты.

Вообще, изготовление запасных деталей и узлов достаточно интересное для нас направление бизнеса. Некоторые расходные элементы установок МЛЭ производства ЗАО «НТО» могут быть использованы и на установках сторонних производителей. С учетом довольно большого количества внедренных в разные годы в России установок МЛЭ зарубежного производства, мы имеем регулярный спрос на данные элементы, прежде всего молекулярные источники.

До сих пор мы говорили о механических узлах оборудования. А электронные системы управления вы закупаете или разрабатываете сами?

В системе управления используются как покупные модули, так и блоки собственной разработки, некоторые из которых весьма специфичны.

Например, блок распределения электричества – это сравнительно несложное устройство, но на рынке оно не представлено в той конфигурации, которая нужна нам. Такие изделия мы изготавливаем на нашем предприятии: у нас есть небольшое производство электронной аппаратуры.

Некоторые более сложные блоки разрабатываются нашим партнером по техническому заданию. Это полноценная контрактная разработка. Примером может служить специализированный контроллер управления заслонками молекулярных источников. Его задача – по программе открывать и закрывать механические заслонки, отсекающие поток материала от источника, что и позволяет формировать необходимую эпитаксиальную структуру с очень тонкими слоями, вплоть до десятков, а иногда и единиц ангстрем.



Сборка источников материалов для установок молекулярно-лучевой эпитаксии



Молекулярный источник алюминия запатентованной конструкции производства ЗАО «НТО»

Если же мы говорим о таких устройствах, как блоки питания или прецизионные регуляторы температуры, здесь нам вполне подходят серийные изделия, широко представленные на рынке, и нам нет смысла изобретать собственные решения.

Свой разговор мы продолжили с заместителем генерального директора по науке Станиславом Игоревичем Петровым в Прикладной лаборатории ЗАО «НТО», оснащенной рядом установок SemiTEq.

Станислав Игоревич, для решения каких задач на предприятии создана Прикладная лаборатория, укомплектованная оборудованием собственного производства?

В настоящее время подавляющее большинство производителей ЭКБ заинтересованы не только в том, чтобы приобрести то или иное оборудование, но и в том, чтобы



Станислав Петров

получить вместе с ним базовый технологический процесс. У заказчиков, как правило, уже есть сформированная производственная линия и технологические маршруты со своими нюансами, характерными для конкретного предприятия. Им нужно, чтобы новые установки, которые призваны заменить старые или дополнить парк оборудования, сразу заработали, гармонично вписавшись в их технологический маршрут.

Как мы считаем, одним из преимуществ нашей компании является наличие Прикладной лаборатории в составе технологического подразделения, позволяющей разрабатывать базовые технологические процессы, которые в дальнейшем поставляются заказчикам вместе с оборудованием. Здесь создаются процессы как под конкретных заказчиков, так и перспективные, которые, по нашему мнению, будут интересны потенциальным клиентам в будущем.

Наличие Прикладной лаборатории позволяет нам также демонстрировать оборудование потенциальным заказчикам в работе, показывать его преимущества тем, кто только выбирает поставщика. Представители заказчика вместе с нашими технологами могут выполнить свой техпроцесс в лаборатории и таким образом убедиться в том, что это то, что им нужно.

Расскажите, пожалуйста, о ключевых видах оборудования, представленного в Прикладной лаборатории, и его применении.

Одной из самых загруженных является установка плазмохимической обработки, которая может быть нами сконфигурирована как для травления, так и для осаждения диэлектриков. На этом оборудовании нами разработаны практически все плазмохимические процессы, которые могут потребоваться в кристалльном производстве приборов на основе материалов A^3B^5 и многих других. В частности, недавно мы разработали интересный процесс так называемого атомно-слоевого травления, при котором травление происходит не просто на определенную глубину, а по слоям компонентов структуры, что обеспечивает высокую точность, необходимую для некоторых видов изделий ЭКБ. Кроме того, данный процесс позволяет получить очень равномерное травление по пластине, поскольку его скорость не зависит от концентрации плазмы.

Установка состоит из шлюзовой камеры, которая может быть встроена в стену чистого помещения либо полностью находится в чистой зоне, рабочей камеры, в которой формируется два вида плазмы с помощью двух электродов, а также стойки управления.

Также здесь присутствуют две установки термического отжига. У материалов A^3B^5 есть такая особенность: чтобы получить омический контакт после напыления многокомпонентной металлической пленки,

пластину необходимо подвергнуть быстрому температурному отжигу. Для этой цели и предназначено данное оборудование, позволяющее проводить термические процессы обработки пластин диаметром 100–150 мм в контролируемой среде инертного газа при температуре до 1000 °С.

Еще одно интересное решение, представленное в лаборатории, – кластерная система, состоящая из нескольких технологических модулей. Первый модуль – установка электронно-лучевого напыления дверного типа с фронтальной загрузкой. Второй модуль – это установка плазмохимического осаждения. В данном случае установки объединены в составе кластерной системы с общим шлюзом и роботом-раздатчиком. Эта система была разработана для последовательного нанесения слоев молибдена и диоксида кремния с целью получения так называемого брэгговского зеркала. В рамках такого технологического процесса пластина многократно переносится из одной камеры в другую. При этом процесс электронно-лучевого напыления происходит при расположении пластины лицом



Установка прецизионного плазмохимического травления STE ICP200



Установка быстрого термического отжига STE RTA100

вниз, а плазмохимического осаждения – лицом вверх, поэтому при переносе из одного модуля в другой она переворачивается.



Кластерная система, включающая шлюз, робот-раздатчик и установки электронно-лучевого напыления и плазмохимического осаждения

Такие системы могут строиться в различной конфигурации. В частности, одна подобная система может включать шлюз и до пяти технологических модулей.

Материалы A^3B^5 применяются для создания как силовых, так и СВЧ-компонентов. Для этих задач требуется разное оборудование?

Нет, отличия здесь главным образом в режимах базовых техпроцессов, а также диаметрах обрабатываемых пластин. Линейка оборудования SemiTEq может быть сконфигурирована для широкого спектра технологических маршрутов как силовой, так и СВЧ ЭКБ на основе материалов A^3B^5 .

В завершение знакомства с вашим производством что бы вы назвали наиболее значимым достижением вашей компании за последние годы?

Пожалуй, это серьезный рост продаж плазмохимического оборудования. Прежде всего, по результатам длительной эксплуатации заказчиками моделей предыдущего поколения мы существенно доработали конструкцию базовой платформы STE ICP200. Специалисты Прикладной лаборатории, в свою очередь, накопили большую базу реализованных технологических процессов, востребованных на рынке. Всё это в комплексе позволило вывести наше плазмохимическое оборудование на высокий конкурентный уровень с отечественными и зарубежными установками данного класса, что отразилось на росте заказов.

Можете поделиться планами развития компании на будущее?

Планов у нас достаточно много. Особо я выделил бы наши проекты по совершенствованию эпитаксиального оборудования. Это действительно выход на новый уровень как по автоматизации техпроцессов, так и в отношении реализации выращивания более сложных структур.

Безусловно, мы планируем дальнейшее развитие и других продуктовых линеек и диверсификацию продукции. У нас есть множество идей и проектов, реализация которых во многом будет зависеть от требований рынка и доступа к инвестициям.

Спасибо за интересный рассказ.

20 ЛЕТ
СОЗДАЕМ
ИННОВАЦИИ



STE ICP200

- ICP-RIE
- RIE
- ICP PECVD
- PECVD

Универсальная технологическая платформа для проведения процессов плазмохимического травления и осаждения на подложках до Ø200 мм



 **SemiTEq**

Закрытое акционерное общество
«Научное и технологическое оборудование»

ЗАО «НТО»
пр. Энгельса, 27, Санкт-Петербург, 194156, Россия
Тел.: +7 812 601 06 05, факс: +7 812 313 54 29
sales@semiteq.ru www.semiteq.ru