

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЦЕНТРЫ – ОСНОВА РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИЙ

Глобализация диктует необходимость повышения доли высокотехнологичных продуктов в структуре национального производства. Причем конкурентоспособность национальной экономики в мировом масштабе напрямую зависит от успехов в создании интеллектуальной продукции – научных и конструкторских разработок, их последующей коммерциализации. Опыт развитых стран свидетельствует, что наиболее перспективное решение этой задачи состоит в формировании сети центров, каждый из которых нацелен преимущественно на создание научной продукции в одном из наиболее перспективных и стратегически значимых направлений научно-технического развития.

Понимая важность такого рода деятельности, группа компаний НТ-МДТ на протяжении ряда лет разрабатывала концепцию создания и комплексного оснащения научно-технологических центров «под ключ». В этой связи принципиально важными представляются три момента.

- Ориентированность на *проведение научных исследований* на современном методическом уровне. С этой целью центр должен оснащаться широким спектром научного оборудования от ведущих мировых производителей.
- *Связь между наукой и бизнесом*: обеспечение максимально короткого пути от научных изысканий к мелкосерийному производству коммерчески привлекательных инновационных продуктов. Один из подходов к соблюдению этого условия – модульная компоновка большинства

поставляемых приборных комплексов. Это позволяет, с одной стороны, поддерживать высокий уровень научной специализации в соответствующем направлении исследований, а, с другой, – сохранять гибкость при решении специфических задач, возникающих при коммерциализации научных разработок.

- *Подготовка специалистов* в сфере нанотехнологий. В отличие от академических учебных заведений, делающих акцент на преподавании теоретических знаний, наноцентр может и должен предлагать широкий спектр услуг по обучению студентов и молодых специалистов практическим навыкам работы с нанотехнологическим оборудованием. Оснащение центра специализированным оборудованием для преподавания практических навыков, поставка специальных учебных и методических материалов, подготовка преподавателей – все это факторы конкурентоспособности образовательного центра на национальном и мировом уровнях.

По мнению большинства авторитетных экспертов, наиболее революционизирующее значение в ближайшие 15–20 лет будут иметь междисциплинарные технологии в нанометровом диапазоне линейных размеров объектов и точности контролируемых воздействий. По этой причине «сердцем» научного центра любой направленности должен стать высоко- и/или сверхвысоковакуумный научно-технологический комплекс, ориентированный на исследование и модификацию объектов в нанометровом масштабе, на создание упорядоченных гомо- и гетероструктур с атомарной точностью, а также устройств и приспособлений с их использованием.



Рис. 1 Модульная технологическая платформа НАНОФАБ 100



Рис.2 Сверхвысоковакуумная модульная платформа НАНОФАБ 25. Радиальный транспортный модуль

Для создания подобных комплексов в НТ-МДТ разработаны две платформы – НАНОФАБ 100 (рис.1) и НАНОФАБ 25 (рис.2).

Сверхвысоковакуумный нанотехнологический комплекс на платформе НАНОФАБ представляет совокупность кластеров, каждый из которых включает несколько технологических модулей, объединенных общей транспортно-распределительной системой. Кластеры могут быть ориентированы

на технологии групповой обработки (молекулярно-пучковая эпитаксия, газофазное осаждение, лазерная абляция и т.д.), а также на нанолокальную обработку и исследования изделий. Это могут быть модули сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) с модулями фокусированных ионных пучков, растровой электронной микроскопии (РЭМ), масс-спектрального анализа и некоторые другие. Методы СЗМ используются для оценки качества исходных пластин (входной контроль), для исследования пластин, прошедших ту или иную обработку (межоперационный контроль), а также для тестирования свойств готовых нанoeлектронных элементов и схем (функциональный контроль).

В настоящее время на мировом рынке прямые аналоги нанотехнологических комплексов НАНОФАБ 100 и НАНОФАБ 25 не существуют. Большинство поставщиков технологического оборудования предлагают ориентированные на тот или иной технологический процесс узкоспециализированные продукты. В редких случаях предлагаются двух- и трехмодульные установки. Недостаток всех установок такого типа – отсутствие единой координатной системы. Как следствие – невозможность реализовать в нанометровом диапазоне исследовательские и технологические алгоритмы на уровне точнос-



Рис.3 Многофункциональный сверхвысоковакуумный нанотехнологический комплекс НАНОФАБ 100 в научно-образовательном центре «Нанотехнологии» Таганрогского технологического института (ЮФУ)

ти изменений параметров материала. Единая координатная система платформ НАНОФАБ 100 и НАНОФАБ 25 позволяет решить такую задачу и представляет их уникальное конкурентное преимущество относительно других систем. Кроме того, кластерная организация комплексов на платформе НАНОФАБ позволяет легко изменять их архитектуру для решения конкретных прикладных задач без существенного изменения конструкции системы в целом.

Платформы НАНОФАБ достаточно активно применяются для решения задач современной электроники. В перспективе можно ожидать их использование при создании новых материалов, в метрологии, при исследовании природных объектов. Пилотные работы в этих направлениях уже ведутся, но основной поток (мейнстрим) приложений связан с нанoeлектроникой – разработкой и промышленным изготовлением нанoeлектронных элементов, а также их интеграцией с существующими технологиями для миниатюризации электронных устройств. В этом процессе можно выделить три этапа:

- разработку нанoeлектронных элементов;
- создание нанoeлектронных схем;
- тестирование и определение функциональных характеристик отдельных элементов и сложных конструкций на их основе.

Фактически молекулярный уровень характерных размеров накладывает исключительно жесткие требования по чистоте. В частности, большая часть операций должна производиться в условиях сверхвысокого вакуума. Это естественным образом привело к необходимости создания конвейерных технологических комплексов, в которых все шаги по формированию, модификации, встраиванию нанoeлектронных элементов в более сложные схемы, а также тестированию их свойств осуществляются в рамках единого процесса.

Комплексы на платформе НАНОФАБ 100 (рис.3) позволяют работать с пластинами 100 мм, т.е. теоретически такой

комплекс можно использовать для изготовления небольших партий нанoeлектронных компонентов. Однако экономически оправдано производить нанoeлектронику только большими и очень большими партиями. По этой причине то, что можно сделать на НАНОФАБ – исключительно пробные пилотные образцы.

НАНОФАБ 25 – практически исследовательская платформа – дает возможность работать с пластинами еще меньшего диаметра – 25 мм. Однако задача при ее использовании – та же самая: разработка новых технологий, которые можно масштабировать в условиях крупного серийного производства. Преимущества малых образцов в том, что систему можно сделать быстрее и более компактной, а значит, более дешевой по сравнению с аналогами. Первая такая установка была запущена в 2009 году в С.-Петербургском государственном политехническом университете на факультете технологии и исследования материалов (ФТИМ) (рис.4).

В результате запуска на базе наноцентра нанотехнологического комплекса НАНОФАБ в течение 3–4 лет можно ожидать выход на пилотное производство МЭМС/НЭМС и нанoeлектронных устройств с атомарным уровнем точности.

Кроме элементов нанoeлектроники и наномеханики, а также устройств на их основе в числе коммерциализуемых инновационных продуктов следует отметить другие нанотехнологии, причем разработка, лицензирование и продажа технологий изготовления МЭМС/НЭМС может стать существенной статьей дохода этого наноцентра.

Следует отметить, что комплексы на платформе НАНОФАБ существуют на рынке как коммерческий продукт уже более трех лет. За это время установлено 12 таких комплексов. В качестве примера можно привести НОЦ «Нанотехнологии» Таганрогского технологического института (ТТИ) ЮФУ, ядро которого – НАНОФАБ 100 (рис.3). Многофункциональность этого комплекса помогла провести исследование многоступенчатого технологического процесса формирования массивов

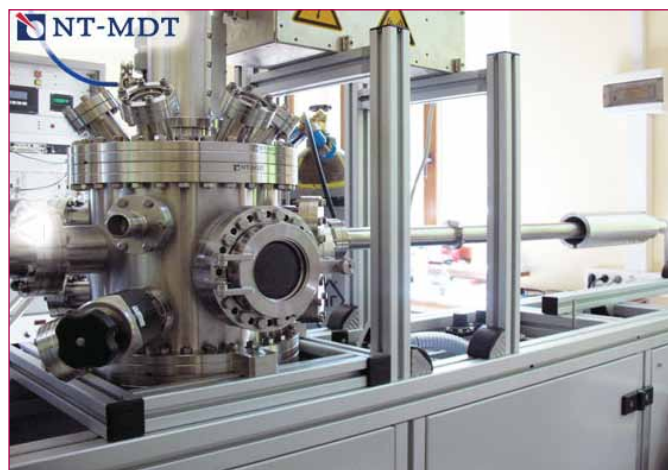


Рис.4 Нанотехнологический комплекс на базе платформы НАНОФАБ в С.-Петербургском государственном политехническом университете на факультете технологии и исследования материалов (ФТИМ). Модуль плазмохимического осаждения из газовой фазы

вертикально ориентированных углеродных нанотрубок (УНТ) – чувствительных элементов, используемых при изготовлении газовых наносенсоров. Использование подобных датчиков в случае их массового производства открывает широчайшие возможности в биологии, медицине, оборонной промышленности, при решении проблем безопасности, в экологии.

Следует упомянуть, что технология выращивания упорядоченных массивов УНТ, разработанная под руководством проф. Б.Коноплёва и проф. О.Агеева (ТТИ ЮФУ) с использованием НАНОФАБ 100, была отмечена серебряной медалью IX Московского международного салона инноваций и инвестиций.

Несмотря на достигнутые результаты, команда разработчиков НТ-МДТ продолжает совершенствовать комплексы НАНОФАБ. В этой связи особый интерес представляют исследовательские нанотехнологические комплексы, снабженные такими уникальными установками, как синхротроны или импульсные лазеры на свободных электронах. Разработка специальных аналитических модулей и совмещение модулей электрофизических измерений с рентгеновской спектроскопией, особенно с высокоразрешающей рентгеновской микроскопией, позволят наряду с высоким пространственным (порядка 10 нм) получать высокое временное разрешение. Это открывает перспективы изучения в наноструктурах, по крайней мере, квазиобратимых динамических процессов с разрешением на синхротронах (до 0,1 нс) и на лазерах на свободных электронах (на несколько порядков выше).

Потребность в оснащении разрабатываемого оборудования технологиями МЭМС и НЭМС требует плотной кооперации с Национальной лабораторией нанотехнологии «Курчатовский институт» и с российским головным предприятием по нанoeлектронике НИИФП им. Ф.В. Лукина. Именно поэтому эти организации и являются стратегическими партнерами группы НТ-МДТ. Как пример эффективного сотрудничества можно привести также работы с ИЯФ СО РАН по запуску центра высоких технологий с использованием аналитических и технологических возможностей модифицированного синхротрона серии «Сибирь-2».

Все это позволяет рассматривать нанотехнологические комплексы НАНОФАБ 100 и НАНОФАБ 25 как высокоперспек-

тивные системообразующие платформы в структуре междисциплинарных наноцентров.

Важно подчеркнуть, что при формировании нанотехнологических центров обеспечение инновационных производств современным оборудованием неразрывно связано со второй существенной проблемой – нехваткой профессиональных кадров в области нанотехнологий, что является одним из камней преткновения при создании подобных лабораторий. Эксперты национального научного фонда США оценивают мировую потребность в специалистах в области нанотехнологий (НТ) в 2010–2015 годах в 2,1 млн. человек. Если подходить к процессу обучения комплексно, то становится ясно, что начинать подготовку специалистов в области нанотехнологий необходимо именно в учебных центрах, укомплектованных современным, экономичным и достаточно простым, ориентированным на учебный процесс, оборудованием.

Именно этими принципами руководствовались разработчики НТ-МДТ при создании учебно-научного класса НАНОЭДЬЮКАТОР (рис.5), предназначенного для преподавания базовых навыков работы с СЗМ. Концепция класса предполагает не только поставку специализированных приборов, но и подготовку всей необходимой инфраструктуры, что позволяет начать процесс обучения практически сразу после подписания акта сдачи-приемки работ по монтажу и наладке оборудования.

В комплект поставки входят набор учебных и методических материалов, описание практических лабораторных работ, необходимые для их проведения расходные материалы и тестовые образцы. Особенностью СЗМ НАНОЭДЬЮКАТОР, также входящих в комплект поставки, является их исключительная простота и надежность. Приборы объединены в локальную сеть и находятся под контролем рабочей станции преподавателя, что обеспечивает массовость и значительную скорость обучения на начальном этапе. При этом преподаватель может просто наблюдать за ходом эксперимента у каждого студента, а может произвольно скорректировать работу или настройки выбранного прибора.

К настоящему времени классами НАНОЭДЬЮКАТОР оборудованы около 50 образовательных исследовательских институтов за рубежом, и почти 130 научно-образовательных центров на территории России и СНГ.

Таким образом, междисциплинарные научно-производственные и научно-образовательные центры, укомплектованные современным исследовательским и технологическим оборудованием, а также располагающие инфраструктурой, необходимой для подготовки специалистов, могут составить основу инновационного развития национальной экономики, обеспечив высокий уровень конкурентоспособности на мировых рынках производимой высокотехнологичной продукции.



Рис.5 Класс НАНОЭДЬЮКАТОРОВ