

КЛАСТЕРНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ*

В.Быков

spm@ntmdt.ru, admin@niifp.ru

Идея кластерных комплексов в микроэлектронике берет начало от так называемой «Бочки Лабунова», предложенной В.А.Лабуновым в 1983 году для производства сверхбольших интегральных схем. Именно эта идеология заложена в конструкцию технологической линии «сухой» фотолитографии «ОСНОВА-2Л», представляющей собой связанный в единую систему вакуумный литографический комплекс из восьми модулей.



Виктор Александрович Быков – президент Нанотехнологического общества России на 2010–2011 годы, доктор технических наук.

Работал в НИИ физических проблем им. Ф.В.Лукина (ныне ГНЦ «НИИФП»). Автор более 160 научных трудов, в том числе 60 заявок на изобретения и патентов. Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники (2004). Председатель Российского общества сканирующей зондовой микроскопии, председатель Гильдии предприятий высоких технологий и инноваций МТПП.

Для разработок в области нанoeлектроники в НИИФП им.Ф.В.Лукина в начале 90-х годов прошлого века была создана кластерная система «Цирконий», включающая ряд модулей: загрузки, высоковакуумной туннельной микроскопии, магнетронного напыления, плазменных процессов. Они объединялись вокруг центрального высоковакуумного модуля-манипулятора, позволяющего транспортировать подложку в требуемый модуль в соответствии с заданным технологическим циклом. К сожалению, реализация идеи так и не была завершена.

Начиная с уровня 130 нм, развитие микроэлектроники потребовало создания кластерных комплексов с идеологией «Бочка Лабунова». В настоящее время именно такие комплексы и используются в стандартных технологических линиях, причем связанные вакуумные, сверхвысоковакуум-

ные, газонаполненные технологические линии для исследовательских работ применяются повсеместно.

Эти линии могут содержать сверхвысоковакуумные, высоко- или низковакуумные или даже газонаполненные с контролируемой или воздушной атмосферой модули, соединенные в единую систему посредством переходных, согласующихся по условиям среды модулей.

Еще первые разработки НТ-МДТ представляли собой системы линейно связанных модулей.

Представленный комплекс НТК-5 состоит из модулей сканирующей зондовой микроскопии, фокусирования ионных пучков (Ga-источник ионов) с электростатическим электронным микроскопом и модуля молекулярно-лучевой эпитаксии (GaAlN), а также модулей загрузки пластин, промежуточной камеры их переворота и загрузки зондов СЗМ.

Отличительная особенность нанотехнологических модулей НТ-МДТ – они предназначены не только для исследования технологических процессов,

* Научно-производственная группа предприятий «НТ-МДТ», ФГУП «НИИ физических проблем им. Ф.В.Лукина». www.ntmdt.ru, www.niifp.ru



но и для создания нанотехнологических функциональных элементов.

В ходе создания таких модулей была решена задача прецизионного репозиционирования; разработаны специальные двухкоординатные системы, оснащенные высокоточными датчиками линейного перемещения, позволяющие при переносе образца из одного модуля в другой с точностью до нескольких десятков нанометров оперативно находить заданный участок поверхности пластины. Кроме того, конструкция держателя пластины и позиционера обеспечивают возможность репозиционирования образца с точностью 2–3 мкм, что существенно меньше площади сканирования.

Идеология линейных систем типа НТК-5 имеет существенный недостаток – выход из строя одного модуля приводит к остановке всей системы. Кроме того, последовательная организация комплекса ограничивает его производительность, что становится критическим параметром при увеличении числа функциональных модулей.

Задача была решена в изделиях НАНОФАБ 100, 25, представляющих собой кластерные технологические комплексы, состоящие из необходимого числа объединенных единой транспортной системой модулей, ориентированных под тот или иной технологический процесс.

Отличительная особенность нанотехнологических комплексов от другого кластерного оборудования состоит в том, что используемые модули оснащаются аналитическими системами, обеспечивающими соблюдение конструктивно-технологических ограничений, требуемых для изделий нанoeлектроники, микро- и нанoeлектромеханики.

Следует отметить, что комплекс НАНОФАБ 100 обеспечивает работу системы с образцами диаметром до 4 дюймов, а НАНОФАБ 25 – с образцами диаметром до 1 дюйма.

В зависимости от типа изделий, на разработку которых

ориентируется комплекс, требования к точности реализации тех или иных элементов, квазипланарных или трехмерных функциональных структур могут составлять от десятков до долей нанометра с атомарным дискретом.

Модули комплексов НАНОФАБ 100, 25 можно разделить на два типа – для формирования пленочных структур (напыление, молекулярно-лучевая эпитаксия, лазерная абляция, химическое осаждение из газовой фазы, модули плазменных технологий, химической модификации и т. п.). Для них прецизионное позиционирование в плоскости не требуется, но необходим интегральный контроль процессов и качества пленочных структур.

Модули «групповых» технологий и требующие взаимосоветствия модули, обеспечивающие быстрое репозиционирование с возможностью обращения к тому или иному элементу или участку поверхности.

Модули «локальных» технологий (сканирующей зондовой микроскопии и литографии, электронной микроскопии и литографии, с использованием фокусированных ионных пучков, для измерения свойств и

характеристик элементов, рентгеновской микроскопии, проекционного иницированного роста и т. п.).

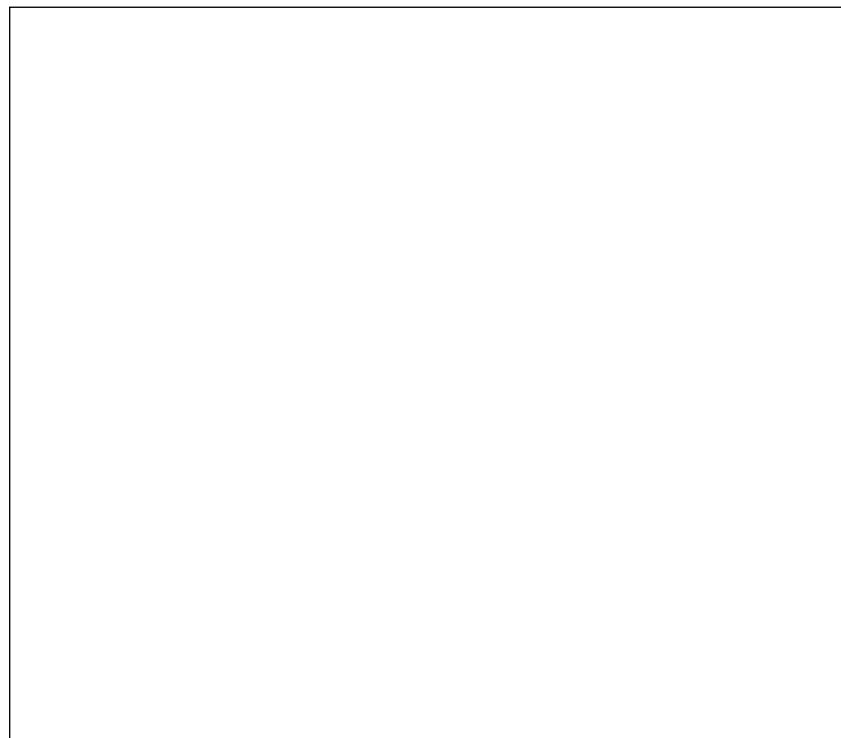
Транспортная система комплексов базируется на шестипозиционных сверхвысоковакуумных радиальных модулях с встроенными манипуляторами, обеспечивающими захват и перемещение образца из модуля в модуль.

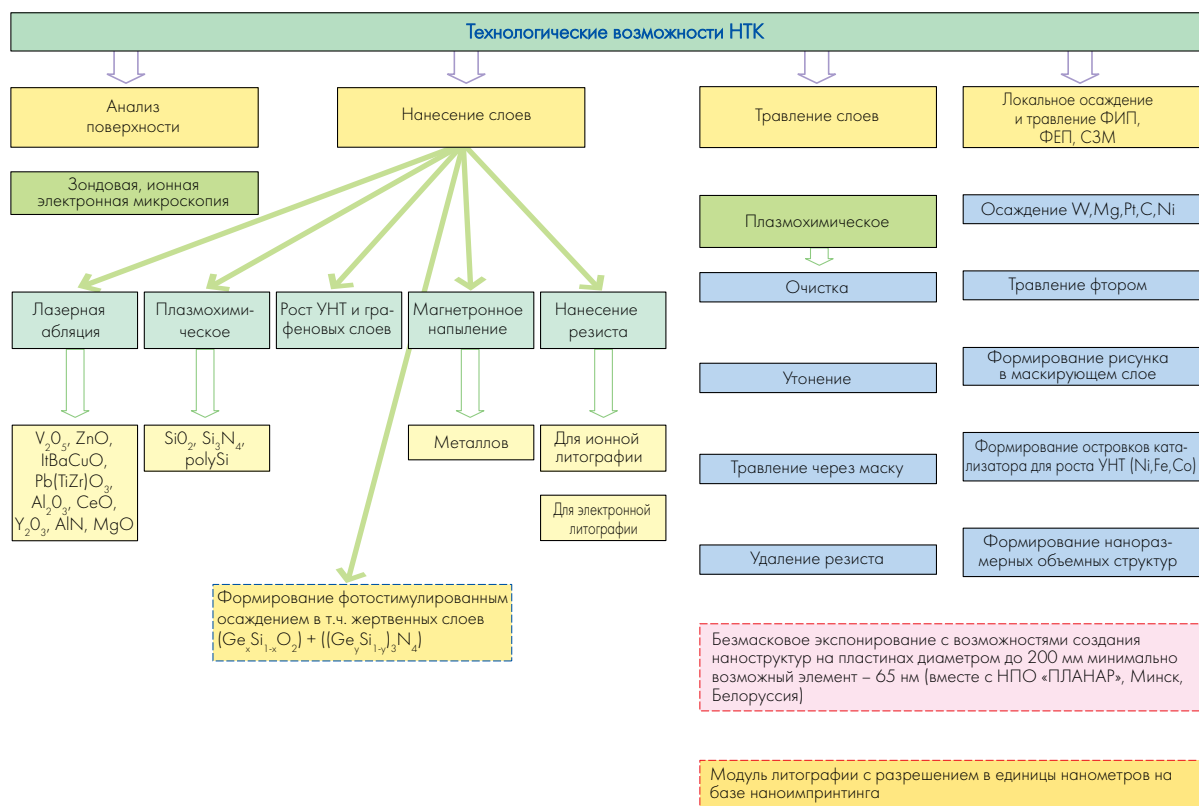
В модули встроены также системы для вращения и линейного перемещения, обеспечивающие точность репозиционирования образца, закрепленного на специализированном держателе-носителе с точностью до 10 мкм при выносе 1280 мм у НАНОФАБ 100 и 780 мм у НАНОФАБ 25.

Модули оснащены ионными и титан-сублимационными насосами, что позволяет проводить отжиг до температур 200°C и обеспечивать откачку до 10^{-10} торр.

В зависимости от требований технологии системы могут быть как одно-, так и многокластерными.

Разработан также модуль переворота пластин, что обеспечивает возможность работы как только на одной, так и на обеих их сторонах, а также работы





в модулях, где технологически требуется поворот лицевой части образца.

Система НАНОФАБ 25 позволяет обеспечить возможность получения атомарного и субатомарного разрешения в модах динамической атомно-силовой микроскопии.

Модули локальных технологий сконструированы так, что позволяют оснащать их блоками растровой электронной микроскопии с автоэмиссионными катодами и системами электростатической фокусировки и сканирования, обеспечивая разрешение вплоть до 10 нм. Они также могут быть оснащены оптическими микроскопами с разрешением до 3 мкм, что значительно облегчает начальное позиционирование образцов.

Относительно небольшие габариты и радиальная компоновка позволяют размещать нанотехнологические комплексы на платформе НАНОФАБ 25 практически в любой лаборатории.

Наличие сверхвысоковакуумного радиального транспортного модуля обеспечивает проведение с атомарным разрешением исследований многосто-

ронных наноструктур, включая лучевые (электронная и ионная спектроскопия) и зондовые (АСМ и СТМ) методы.

Нанотехнологические комплексы НАНОФАБ-100 в технологическом плане уже весьма развиты и могут быть оснащены различными модулями для исследования и создания наноструктур с использованием техники сканирующей зондовой микроскопии, фокусированных ионных пучков для травления, роста структур с возможностью имплантации в них заданных типов ионов.

Разработаны также модули для формирования покрытий лазерным напылением металлов и диэлектриков с использованием импульсных эксимерных лазеров 193 нм (ArF) и 248 нм (KrF), соответственно.

Созданы системы магнетронного напыления для создания металлических, непроводящих или полупроводниковых слоев; получения многослойных структур с заданными толщинами, получения оксидов и нитридов. Система может содержать три или четыре магнетрона для мишеней диа-

метром 76 мм, питание которых осуществляется с помощью постоянного тока 1,5 кВт, постоянного импульсного тока (20 кГц) 1,5 кВт или ВЧ переменного тока (13,56 МГц) 600 Вт. Для асистирования напылению или очистки используется кольцевая ионная пушка типа DAS.

Скорости напыления металлов до 15 А/с, однородность по площади – 5%. Датчик массы на основе кварцевого резонатора обеспечивает *In situ* – метрию. Возможна также дополнительная оптическая рефлектометрия. Также в системе возможен контроль давления в реакторе при поддержании заданного соотношения газовых компонентов.

Разработаны модули газофазного осаждения, дублирования, плазменного травления резиста и очистки с контролем происходящих процессов.

Дальнейшее развитие оборудования предполагает создание систем безмасковой литографии высокого разрешения, что позволит использовать комплексы не только для разработок, но и для малосерийного производства в нанoeлектронике. ■