

Первая российская установка для выращивания полупроводников в космосе прошла все испытания и отправлена на МКС

Летный образец разработан и изготовлен в Институте физики полупроводников в рамках научной программы «Роскосмоса» по заказу РКК «Энергия»

Российские ученые из Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН (ИФП СО РАН) по заказу Ракетно-космической корпорации «Энергия» разработали установку для синтеза полупроводниковых материалов в космосе. Проект «Экран-М» призван использовать преимущества космического вакуума для создания высокочистых полупроводников методом молекулярно-лучевой эпитаксии. На данный момент это единственная в мире подобная исследовательская программа. Установка прошла все предполетные испытания и 11 сентября 2025 г. отправлена на МКС.

Полупроводниковые материалы, к которым предъявляются повышенные требования, выращиваются методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Атомарно-тонкие слои «укладываются» друг на друга в сверхвысоком вакууме так, чтобы кристалл полупроводника обладал нужными свойствами — например, улавливал или излучал свет в определенном диапазоне или выдерживал высокое электрическое напряжение, при котором у менее «выносливых» материалов происходит пробой. Земные установки МЛЭ — крупногабаритные, дорогостоящие, сложные в производстве. Отметим, что ИФП СО РАН — одна из немногих организаций в России, владеющая компетенциями для изготовления подобного оборудования. Чистота вакуума в установках такова, что на миллиард атомов синтезируемого материала не встретится даже один посторонний атом. А для осаждения каждого отдельного химического элемента нужна собственная вакуумная камера, чтобы не загрязнять ее другими соединениями.

При этом в космосе гораздо легче достичь требуемых параметров вакуума и можно использовать одну камеру для осаждения всех элементов. Так возникла идея проекта «Экран-М» — провести синтез полупроводниковых соединений на орбите. Специалисты ИФП СО РАН сделали «космическую» установку молекулярно-лучевой эпитаксии с нуля, с учетом ограничений — небольшого веса и габаритов, радиационной стойкости комплектующих, необычного поведения вещества в условиях воздействия факторов космического пространства.

*«Глобальная цель “Экран-М” — исследовать, насколько эффективен процесс роста эпитаксиальных слоёв в космосе, как будут реализованы преимущества, которые предоставляет космический вакуум. В рамках проекта стартует начальная стадия развития технологии молекулярно-лучевой эпитаксии в космосе: отработка оборудования, анализ свойств полученного материала», — поясняет главный конструктор проекта, заведующий лабораторией ИФП СО РАН доктор физико-математических наук **Александр Иванович Никифоров**.*

В РКК «Энергия» отмечают значимость проекта по созданию полупроводниковых материалов в космосе методом молекулярно-лучевой эпитаксии, как важный шаг в направлении технологического суверенитета.

«Новые данные о пилотируемой космонавтике говорят о том, что создание в космосе чистых полупроводниковых пленок методом молекулярно-лучевой эпитаксии — перспективное и в будущем коммерчески востребованное направление. Как инженеры мы видим, что это исключительный проект и для технологии, и для науки, и для развития в дальнейшем производства на орбите.

На первом этапе проекта будет отработан подход к созданию технологии синтеза пленок на орбите. А уже на основе полученных результатов можно прогнозировать, что потребуется для производства. Если говорить о долгосрочном

*продолжении эксперимента, речь пойдет о планируемой Российской орбитальной станции (РОС). Мы считаем, что претендовать на продолжение эксперимента на РОС можно и нужно», — объясняет заместитель руководителя научно-технического центра Ракетно-космической корпорации «Энергия» им. С.П. Королева (РКК «Энергия») **Дмитрий Михайлович Сурин**.*

Эпитаксия уходит в космос

Институт физики полупроводников известен в России и за рубежом благодаря собственным работам в области молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ), именно здесь изготовлены первые отечественные установки для синтеза полупроводниковых соединений методом МЛЭ, квантовых структур, изучены свойства полученных материалов. Большой опыт специалистов ИФП СО РАН позволил сделать совершенно новое оборудование для роста полупроводников в космосе.

«Все элементы установки были разработаны заново: и нагреватель подложки, и молекулярные источники, и механизм передачи подложек — в обычных наземных установках они сделаны иначе.

Например, одно из технологических решений касается конструкции молекулярного источника, из которого испаряется материал, нужный для роста полупроводниковой пластины. В источнике находится тигель, в котором плавится (превращается в жидкость), а затем испаряется исходный материал, в нашем случае — галлий или мышьяк. В невесомости жидкость собирается в шарики и разлетается по свободному пространству, покидая тигель и зону нагрева, делая невозможным рост кристалла на подложке. Поэтому над молекулярным источником нам пришлось сделать защитную мембрану с очень маленькими отверстиями, порядка 100 микрон. За счёт поверхностного натяжения капли через отверстия не проходят, но испарение материала осуществляется. Так мышьяк и галлий попадают на подложку, и синтезируется тонкая кристаллическая пленка арсенида галлия», — отмечает Александр Никифоров.

Дмитрий Сурин добавляет, что работа над проектом велась «в режиме единой команды, без чинов и регалий. В коллективе увлеченных профессионалов, возникает атмосфера команды единомышленников: мы вместе с коллегами из ИФП СО РАН преодолевали возникающие сложности, находили возможности двигаться по графику. Подготовка к работе на орбите не предполагает каких-то открытий. Наоборот, мы должны максимально предусмотреть все режимы, все ответы, нештатные ситуации, которые получаем в процессе».

Ростовая часть установки изготовлена в экспериментальном цехе Института физики полупроводников. Электронный блок управления разработан и сделан ООО НПФ «Электрон» (Красноярск) по техническому заданию ИФП СО РАН.

*«На орбите космонавтам нужно будет установить оборудование, загрузить кассету с шестью подложками и повторить эту операцию по окончании первого ростового цикла (планируется, что он продлится примерно две недели). Всего запланировано два ростовых цикла», — объясняет заместитель главного конструктора проекта, научный сотрудник ИФП СО РАН кандидат физико-математических наук **Константин Бернгардович Фрицлер**.*

Что тестируем?

В космосе будет тестироваться пока наиболее простой процесс — гомоэпитаксия, то есть рост кристаллической пленки на подложке того же состава. В данном случае синтезируется арсенид галлия на подложке из арсенида галлия. Это один из самых популярных полупроводников, он используется в силовой электронике, для изготовления лазеров, фотодиодов, солнечных батарей.

«Эпитаксиальный рост арсенида галлия хорошо изучен, поэтому он был выбран как модельный объект. Сравнение полученных в космосе полупроводниковых материалов с наземными будет проводиться в ИФП СО РАН. У нас большой опыт выращивания и исследования разных эпитаксиальных материалов, включая арсенид галлия. Мы владеем методиками синтеза, анализа, собственным оборудованием. Кроме того, есть и огромное количество зарубежных публикаций, поэтому оценка выращенных в космосе структур будет максимально представительной», — объясняет Александр Никифоров.

В перспективе новая информация, полученная учеными, может использоваться для развертывания полупроводникового производства на орбите. В частности, для получения фоточувствительных материалов для солнечных батарей. Их изготовление подразумевает не только высокое качество (а значит, и сверхчистые условия получения) синтезируемого сырья, но и сопряжено с работой с токсичными соединениями. В космосе утилизация последних происходит автоматически, они покидают камеру, не причиняя вреда, в отличие от земных условий.

«Человечество стремится в космос и вопрос организации внеземного производства материалов и изделий, необходимых для деятельности на орбите или при полётах к другим планетам, неизбежно встанет. Наш эксперимент — один из первых шагов в этом направлении. Полученный уникальный опыт конструирования космического технологического оборудования и его эксплуатации в условиях орбитального полета будет использован для дальнейших разработок. Обсуждение следующих экспериментов по росту пленок полупроводниковых материалов в космосе уже ведется со специалистами РКК «Энергия», — подчеркивает Константин Фрицлер.

Экран-М — он такой один

Проект «Экран-М» входит в Долгосрочную программу целевых работ на МКС, утвержденную ГК «Роскосмос», раздел «Эксперименты и исследования научно-поискового и фундаментального характера». Аналогичных проектов в мире сейчас нет, похожие исследования проводились в США в 1990-х — начале 2000-х годов, и во главе стоял профессор Алекс Игнатъев из Хьюстонского университета, но деятельность была свернута после катастрофы шаттла «Колумбия» в 2003 году.

Работы в области «космической» эпитаксии стартовали в Институте физики полупроводников в 1996 году под руководством доктора физико-математических наук профессора Олега Петровича Пчелякова. Много позже было подписано техническое задание на целевые работы по космическому эксперименту, на разработку научной аппаратуры — уже в рамках проекта «Экран-М». Главным конструктором стал Александр Никифоров, а научным руководителем проекта — Олег Пчеляков.

«Изготовление установки регламентировано ГОСТом и включает обязательные этапы: разработку эскизного проекта, затем разработку рабоче-конструкторской документации (РКД), изготовление опытного образца для лабораторно-отрабочных испытаний, прохождение испытаний, корректировку РКД, изготовление опытного образца для конструкторско-доводочных испытаний (КД), сами испытания (с возможной корректировкой КД) и уже только потом изготовление лётного образца.

Вся космическая техника разрабатывается именно так, и за ней стоит многолетний труд множества людей», — резюмирует Александр Никифоров.

Пресс-служба ИФП СО РАН
Фото Надежды Дмитриевой

