

НТЦ микроэлектроники РАН: 35 лет — время расцвета



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-технологический центр микроэлектроники и субмикронных гетероструктур Российской академии наук (краткое название — НТЦ микроэлектроники РАН) был организован Постановлением Президиума Академии наук СССР от 19 марта 1991 года № 75 по инициативе академика Ж. И. Алфёрова и с возложением на него научного руководства.

Доктор физико-математических наук, исполняющий обязанности директора НТЦ микроэлектроники РАН Андрей Фёдорович Цацульников

В 2026 году НТЦ микроэлектроники РАН отмечает свой 35-летний юбилей. Первоначально название включало слова «при Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе», что подчеркивало тесную связь с ФТИ им. А. Ф. Иоффе во всех отношениях: территориальном, кадровом, тематическом, которое сохраняется до сегодняшнего дня. Целью создания НТЦ микроэлектроники РАН было построение моста между фундаментальными исследованиями, ведущимися в ФТИ им. А. Ф. Иоффе в области микро- и оптоэлектронных приборов на основе гетероструктур, и прикладными разработками, способствующими продвижению новых научных результатов в промышленность. Несмотря на крупные политические и экономические изменения, последовавшие с момента создания, направление деятельности НТЦ микроэлектроники РАН как разработчика элементной базы электроники на основе наногетероструктур сохранилось.

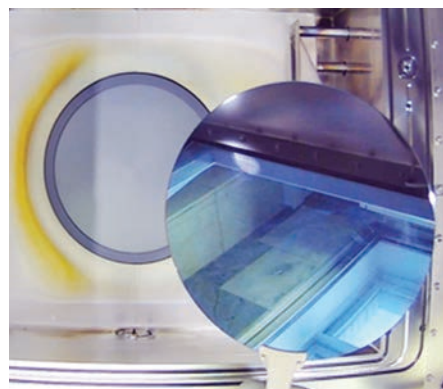
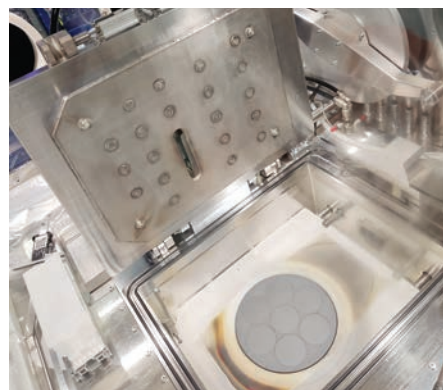
Глядя на полное наименование НТЦ микроэлектроники РАН, можно заметить, что термин «субмикронные гетероструктуры» явился предтечей широко распространившегося позже названия «наногетероструктуры». Объяснить термин «гетероструктура» можно на примере слоеного пирога, в котором на поверхность подложки последовательно наносят слои различных материалов, например полупроводников или диэлектриков, которые отличаются по своим свойствам. Получившиеся структуры в зависимости от последовательности и видов материалов, составляющих структуру, являются, в свою очередь, материалом для последующего изготовления различных типов приборов, таких как лазеры, светодиоды, транзисторы, фотоприемники и т.п. В наногетероструктурах, соответственно, толщины материалов могут составлять единицы нанометров, что качественно изменяет физические эффекты, наблюдаемые в таких структурах.

Основными направлениями исследований НТЦ микроэлектроники РАН, обеспечивающими «движение» от фундаментальных исследований к прикладным, стали:

- разработка отечественного оригинального специализированного оборудования для изготовления полупроводниковых гетероструктур;
- разработка технологии эпитаксиального роста полупроводниковых гетероструктур методами газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений (ГФЭ МОС) и молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ);
- разработка элементной базы оптоэлектроники: высокоэффективных светодиодов и фотоприемников, включая разработку их конструкций с учетом оптимальных и предельных режимов работы, принимая во внимание внешние факторы и ресурс;
- создание, на основе разработанной элементной базы, опытных образцов новых приборов, в первую очередь интеллектуальных источников света для общего и специального освещения, медицины, агротехники.

К числу наиболее значимых научно-технических достижений за 35 лет можно отнести нижеследующие.

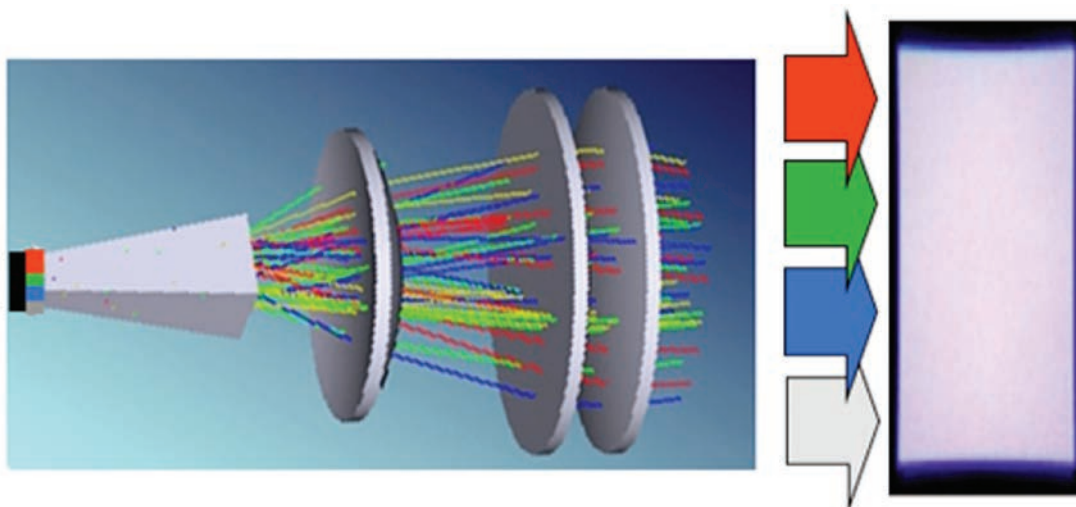
НТЦ микроэлектроники РАН был пионером в области создания гетероструктур на основе соединений нитрида галлия, прорыв в технологии которых наступил в конце 1980-х годов и которые в настоящее время являются основой светодиодных источников белого света, компактных мощных блоков питания электронных устройств, зарядных устройств, приборов СВЧ-техники (радаров, станций мобильной связи и т.п.). В тяжелые для российской науки времена, впервые в России, с 1996 года НТЦ микроэлектроники РАН был дан старт разработке технологии эпитаксиального роста гетероструктур, начиная с разработки специализированной лабораторной установки ГФЭ МОС. Достигнутые технологические наработки, а также последующий полученный опыт в разработках на оборудовании ведущих зарубежных компаний, полученный в коллаборации с лабораториями ФТИ им. А. Ф. Иоффе, позволил сотрудникам НТЦ микроэлектроники РАН совместно с российскими компаниями, производителями технологического оборудования (АО «НИИТМ» и АО «НТО»), освоить производство линейки эпитаксиального оборудования ГФЭ МОС. Такая линейка включает как исследовательское оборудование для опытного и мелкосерийного производства с максимальным размером гетероструктур 100 мм, так и оборудование для промышленного производства с максимальным размером гетероструктур 150 и 200 мм, что соответствует современному мировым стандартам для оборудования описываемого типа. На рисунке ниже приведены фотографии реактора установки ГФЭ МОС и эпитаксиальной структуры на основе нитрида галлия на подложке кремния диаметром 200 мм.



Необходимо отметить, что разработанные установки основаны на одинаковых конструкторских решениях, что позволяет легко переносить технологию, разработанную относительно дешево с использованием исследовательских установок, на промышленные установки, сокращая таким образом затраты и время на разработку промышленной технологии. В настоящее время в НТЦ микроэлектроники РАН совместно с рядом промышленных компаний с использованием отечественного оборудования ведется ряд опытно-конструкторских работ по разработке промышленной технологии эпитаксиального роста гетероструктур для СВЧ, силовой электроники и оптоэлектронных применений.

Создание элементной базы микроэлектроники является комплексной и многопрофильной задачей, включающей, помимо собственно гетероструктуры, разработку конструкции приборов и технологии их изготовления (пост-ростовые технологии). В области пост-ростовых технологий НТЦ микроэлектроники РАН совместно с АО «НТО» разработал и изготовил уникальный для России сверхвысоковакуумный ионный нанолитограф, обеспечивающий высокое разрешение и низкую шероховатость травленной поверхности < 0,5 нм. Установка позволяет формировать литографические рисунки с субмикронным разрешением (менее 100 нм), прототипировать устройства фотоники, однофотоники, СВЧ-электроники, полупроводниковых излучателей, формировать маски для селективной эпитаксии и плазмо-химического травления.

Важное место в работах НТЦ микроэлектроники РАН занимает создание конкретных приборов на основе разработанной элементной базы.





На протяжении всей истории НТЦ микроэлектроники РАН проводились широкие исследования по математическому моделированию и экспериментальному изучению процессов генерации и распространения света, растекания тока и тепла в светодиодах с целью повышения их мощности и эффективности. Как известно, последние два-три десятилетия ознаменовались «светодиодной революцией», переходом светодиодов из микроэлектроники в светотехнику, вызвавшим беспрецедентный рост масштабов исследований, производства и конкуренции. В НТЦ микроэлектроники РАН были предложены конструкции и исследованы светодиоды, реализующие высокую эффективность излучения, однородное растекание тока при минимальных джоулевых потерях и эффективный теплоотвод. В совокупности это позволило создать высокоэффективные (с внешним квантовым выходом более 70%) и мощные (с мощностью единицы-десятки ватт выходного излучения) светодиоды видимого диапазона спектра, не уступающие лучшим мировым достижениям, а в дальнейшем создать и новые перспективные источники освещения на их основе.

С 2000-х годов в НТЦ микроэлектроники РАН началась разработка светодиодных светильников с динамически управляемыми спектрально-цветовыми и яркостными характеристиками, так называемый интеллектуальный свет. Уникальная, среди всех других источников света, способность варьировать во времени спектр (или цвет) освещения открывает совершенно новые возможности общего и специального искусственного освещения. С одной стороны, с учетом того, что свет оказывает сильное влияние на психофизиологическое состояние человека, становится возможным индивидуальный подбор освещения в зависимости от личных предпочтений, рода деятельности, времени суток, необходимости мобилизации внимания или, напротив, обеспечения релаксации и отдыха. В частности, можно имитировать суточный цикл естественного освещения, что актуально в помещениях без окон или автономных объектах. С другой стороны, возможно синтезировать свет, обеспечивающий лучшее зрительное восприятие, — музейное освещение или особо контрастное восприятие объектов при специальном освещении — микроскопия и освещение операционных, где хирургу во время операции необходимо четко различать границы малых объектов или здоровых и патологических тканей.

В НТЦ микроэлектроники РАН был разработан ряд светодиодных источников интеллектуального света различного назначения, выпущены опытные и мелкосерийные образцы совместно с промышленными партнерами. Интеллектуальные источники света включают электронные и оптические блоки, при этом электронная часть обеспечивает спектрально-цветовой и яркостной режим работы светильника, который выбирается из библиотеки или создается самим потребителем, а оптическая часть обеспечивает смешение цветов и формирование диаграммы направленности излучения в зависимости от варианта применения светильника.

Ниже приведены примеры разработанных интеллектуальных источников света. Например, система освещения производственных помещений включает набор синхронно дистанционно управляемых источников света, позволяющих выбрать из имеющейся библиотеки временной режим варьирования яркости и цветовой температуры, в частности имитировать естественный дневной свет с его более теплыми тонами утром и вечером и холодными тонами в середине дня.

Также представлены светодиодный музейный осветитель с индивидуальной настройкой подсветки, позволяющей наилучшим образом выявить цветовую палитру картины, и светодиодный хирургический осветитель для контрастной визуализации биологических тканей при проведении операций.

Подводя краткие итоги 35-летней работы НТЦ микроэлектроники РАН, можно отметить, с одной стороны, передовой мировой уровень исследований в области технологий изготовления гетероструктур и приборов микро- и оптоэлектроники на их основе — мейнстрим современной электроники, а с другой стороны, тесное сотрудничество по внедрению научных результатов с ведущими предприятиями радиоэлектронной промышленности России.

В настоящее время большинство перечисленных исследований активно развиваются, сохраняют актуальность и имеют хорошие перспективы практического применения.

