

# 50 ЛЕТ НА ПЕРЕДОВЫХ РУБЕЖАХ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

"НИИ физических проблем – это Академия наук Министерства электронной промышленности".

*А.И.Шокин, министр электронной промышленности СССР*

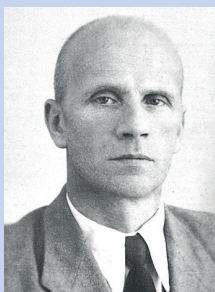
## ФОРМИРОВАНИЕ ИНСТИТУТА

Институт был учрежден как НИИ теоретических исследований микроэлектроники в составе организуемого Центра Микроэлектроники согласно Постановлению ЦК КПСС и СМ СССР №831-353 от 08.08.1962 г. и приказу Председателя Государственного комитета по электронной технике СССР (ГКЭТ СССР) №159 от 3.09.1962 г. в строящемся городе-спутнике Москвы в районе станции Крюково Октябрьской железной дороги. Постановлением ЦК КПСС и СМ СССР №154-50 от 5.02.1963 г. и приказом ГКЭТ №155 от 25.06.1963 г. институту присвоено наименование НИИ-314. Практически к формированию НИИ-314 ГКЭТ приступил в январе 1964 года, когда Председатель комитета А.И.Шокин на Коллегии сформулировал необходимость "организации института академического типа, основным направлением деятельности которого должны стать исследования поискового характера, направленные на привлечение новых физических и химических

эффектов для создания элементов и микросхем, и разработка на их основе сложных систем электроники новых поколений".

В 1964 году НИИ-314 был включен в состав Центра Микроэлектроники (приказ ГКЭТ от 16.04.1964 г.). С февраля 1963 года дирекцией Центра руководил заместитель Председателя ГКЭТ, известный ученый, конструктор радиоэлектронных систем, организатор промышленности, доктор технических наук, профессор, лауреат Ленинской и двух Сталинских премий Ф.В.Лукин.

В 1966 году приказом министра электронной промышленности СССР (№ 24 от 12.02.1966 г.) НИИ-314 было присвоено открытое наименование "НИИ физических проблем". Постановлением Совета Министров РСФСР №261-23 от 19.05.1983 г. НИИФП было присвоено имя первого директора Центра Микроэлектроники Ф.В.Лукина, при непосредственном участии которого создавался институт и закладывались основы отечественной микроэлектроники.



Федор Викторович Лукин родился 25 июня 1908 года. После окончания МЭИ с 1935 по 1953 год он работал инженером, главным конструктором, главным инженером НИИ-10 Наркомата судостроительной промышленности. В 1953 году Ф.В.Лукин был назначен главным инженером КБ-1 – ведущего НИИ СССР

в области противоздушной и противоракетной обороны. В этой должности проработал до 1960 года, затем был переведен директором НИИ-37 Минрадиопрома.

С начала развития Научного Центра в Зеленограде (с 1963 года) Ф.В.Лукин возглавил его как директор и одновременно как заместитель Председателя Государственного комитета по электронной технике СССР. Ф.В.Лукин руководил Научным Центром практически до конца 1970 года, но смерть, наступившая 18 июля 1971 года, оборвала жизнь

На начальном этапе деятельности института обязанности директора НИИ-314 исполнял Д.И.Юдицкий, а первым директором с июля 1964 года стал доктор физико-математических наук В.И.Стафеев. Он руководил институтом до середины 1969 года, 30 июля 1969 года директором института был назначен кандидат химических наук, а ныне доктор технических наук В.П.Лаврищев, который продолжает трудиться в институте на благо российской электроники.

В период 1963–1989 годов институт входил в состав Научного Центра, представлявшего собою комплекс научно-исследовательских институтов и опытных заводов и за короткое время ставшего основной базой развития микроэлектроники в СССР. В 1989 году, с началом строительства в Зеленограде нового межведомственного комплекса "Центр информатики и электроники", НИИФП стал основной научной организацией в НПО "Субмикрон" – головном объединении в Центре информатики и электроники.

Историю института определяли творчество сотрудников, лидеры научных направлений и целеустремленная работа всего коллектива. НИИФП изначально создавался как головной институт электронной промышленности для решения фундаментальных проблем развития отрасли микроэлектроники. В отличие от институтов Академии наук НИИ физических проблем работал как над решением фундаментальных проблем, так и прикладных задач развития физико-технологического базиса

изделий новых поколений. Результатом стало создание новых материалов, приборов и внедрение новых технологических процессов. Приоритетом разработок являлась их последующая применимость на практике в микроэлектронной промышленности. Особенно ценились работы, которые заканчивались внедрением в производство. Одной из задач института был (и остается сегодня) анализ общемировых научных достижений и тенденций в области физики твердого тела, элементной базы электроники и прогноз их развития.

Пройденный институтом путь можно представить поэтапно в виде условных периодов, эволюционно связанных между собой и отражающих общий процесс развития микроэлектроники (и прилегающих к ней областей науки и техники) и событий, происходящих в нашей стране.

### **ПЕРВЫЙ ПЕРИОД (1964–1970 гг.) – СТАНОВЛЕНИЕ ИНСТИТУТА**

В этот период были заложены основные направления деятельности института как многопрофильного Научного Центра, ведущего экспериментальные работы в области исследования возможностей различных сред и материалов как полупроводниковых, так и молекулярных (в том числе биологического происхождения) для создания электронной компонентной базы как основы полупроводниковых приборов и вычислительных систем. В институте были сформированы три подразделения, которые занимались разработкой элементной базы вычислительных машин,

крупного ученого, педагога, организатора науки и производства радиоэлектроники в нашей стране.

За сравнительно короткий срок руководства Научным Центром Ф.В.Лукину удалось создать очень мощный коллектив и вырастить плеяду молодых руководителей институтов и заводов, сыгравших большую роль в становлении и развитии комплекса науки и производства Зеленограда. Понимая важность научного поиска в решении сложных текущих и будущих проблем микроэлектроники,

он вложил много сил в становление и развитие НИИФП как базы научной школы.

Ф.В.Лукин – доктор технических наук, профессор. Награжден двумя орденами "Знак Почета" (1945 г., 1950 г.), орденом Ленина (1956 г.), орденами Трудового Красного Знамени (1958 г.) и Октябрьской Революции (1971 г.), многими медалями. Ф.В.Лукин – дважды Лауреат Сталинской премии (1946 г., 1953 г.), Лауреат Ленинской премии (1958 г.). Эти награды были присвоены ему за создание спецтехники.

а затем созданием идеологии и конструированием ЭВМ нового класса; бионическим моделированием; решением физических задач при апробации новых идей создания микроэлектронным приборов и устройств.

*В первый период (1964–1970 гг.) были заложены основные направления деятельности института как многопрофильного Научного Центра, ведущего экспериментальные работы в области исследования возможностей различных сред и материалов для создания электронной компонентной базы как основы полупроводниковых приборов и вычислительных систем*

Значительные усилия были направлены на поиски путей создания эффективных вычислительных сред на основе использования принципов живой природы – бионики. С этой целью создавалась специальная экспериментальная база. В качестве прототипов процессорной части изучался мозг простейших млекопитающих и некоторых видов рыб, а в качестве периферийных устройств – глаз лягушки. Крупным научным результатом этого периода явилась разработка теоретических и опытных представлений о нейронах и нейронных сетях. Подобные "бионические" представления опередили направления развития вычислительных систем, именуемых в настоящее время нейрокомпьютерами, почти на 20 лет. В 1968 году были начаты работы по переносу мономолекулярных слоев поверхностно-активных веществ (ПАВ) с поверхности воды на твердую подложку, ознаменовавшие начало освоения в НИИФП молекулярной технологии – Ленгмюр-Блонджетт. В этот же период были изучены возможности создания диодной электроники на полуизоляторах, запирающих устройств на сегнетоэлектрических кристаллах, хемотронных приборов, некоторых интегральных схем на основе германия. Созданная в 1967–1968 годах лаборатория под руководством С.А.Гаряинова разработала конструкции и основы технологии интегральных схем с полной диэлектрической изоляцией компонентов. Эти технические решения были запатентованы в ряде стран.

Существенно возросший объем работ института по вычислительной технике и полученные многообещающие результаты, их "пионерский" характер привел к тому, что на базе отдела "перспективных ЭВМ" в 1969 году было образовано самостоятельное предприятие в составе Научного Центра – Специализированный вычислительный центр (СВЦ). Коллектив этого предприятия под руководством директора, доктора технических наук Д.И.Юдицкого и идеолога нового направления в развитии средств вычислительной техники (ЭВМ в "остаточных классах"), доктора технических наук, профессора, член-корреспондента АН Казахской ССР И.Я.Акушского, в 1970-е годы стал творческим ядром, обеспечившим позднее создание в Научном Центре первых мини-ЭВМ, а затем отечественных микропроцессоров, диалого-вычислительных комплексов и управляющих микроЭВМ.

С самого начала работы института характерным стилем взаимоотношений в его коллективе, состоящем из специалистов различного профиля – физиков, биологов, схемотехников, технологов, был свободный поиск, острые дискуссии и терпимость к нетрадиционным проектам. Все это заложило хорошую научную базу и предопределило работы института по созданию научного задела. В этот период наибольший вклад в деятельность института внесли В.И.Стафеев, Д.И.Юдицкий, К.К.Свидзинский, С.В.Айрапетянц, А.А.Петров, Э.И.Клямко, Э.Б.Клюзнер, Р.А.Дуринян, В.А.Кухтин, А.Н.Мезенцев, Т.А.Аджимолаев, В.П.Сандоевский, В.И.Мурыгин, В.А.Петрусевич, В.В.Треер, М.К.Берестенко, Г.М.Лапир, Е.Н.Хренов, С.М.Безручко.

## **ВТОРОЙ ПЕРИОД (1970–1975 гг.) – РАСШИРЕНИЕ ТЕМАТИКИ**

Этот период связан с расширением в институте приборной тематики, созданием технологической базы микроэлектроники и школы исследователей. Проводились, в частности, интенсивные исследования по созданию новых классов приборов: оптронов, хемотронов, магнитодиодов, S-диодов, разнообразных

приборов, объединенных в рамках понятия "функциональная электроника". За короткий срок были получены практически значимые результаты, которые были переданы на другие предприятия. В этот период в работы НИИФП наибольший вклад был внесен В.П.Лаврищевым, Б.С.Борисовым, И.В.Варламовым, В.И.Мурыгиным, Л.Г.Гасановым, В.А.Петрусевичем, В.В.Поспеловым, Д.П.Колесниковым. Тогда же, независимо от появившихся за рубежом первых работ, начались исследования в новом направлении – молекулярной электронике – под руководством В.С.Банникова, И.В.Мягкова, П.С.Сотникова, Г.П.Бенинга, С.В.Айрапетянца.

### ТРЕТИЙ ПЕРИОД (1975–1987 гг.) – РАЗВИТИЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В 1975 году в НИИФП началось интенсивное развитие микроэлектронных технологий вплоть до предельных возможностей (субмикронная область) на базе сформированных технологических отделов, которые начали оснащаться вакуумным оборудованием отечественного производства. Институт приступил к созданию принципиально новых типов приборов микро- и функциональной электроники, которые были необходимы для оборонной промышленности и народного хозяйства страны. По уровню подготовленности почти все новые разработки были пригодны для передачи в производство на предприятия Минэлектронпрома и других отраслей промышленности. В этот период осваивались технологии магнитоэлектроники, криоэлектроники, оптоэлектроники, молекулярной электроники, приборов с зарядовой связью, ИК-фотоприемников и другие.

Наибольший вклад в развитие технологии на этом этапе внесли П.Е.Кандыба, А.М.Милов, В.М.Красовский, Ю.С.Боков, Д.П.Колесников, Е.Н.Хренов, В.И.Золотарёв, И.Г.Шкурюпат, А.П.Алехин, М.М.Артамонов, Г.К.Чиркин, В.И.Махов, В.К.Никифоров, В.С.Корсаков, Н.Ф.Трутнев, А.П.Нагин, А.И.Мальцев, В.П.Грабчак, В.В.Минаев, В.И.Беклемышев, В.А.Колясников. В раз-

витии оптической, электронной и рентгеновской литографии большая заслуга принадлежит В.П.Лаврищеву, С.Н.Мазуренко, В.С.Корсакову, Г.А.Штейману, Г.Г.Сбежневу, З.И.Хориной.

*Второй период (1970–1975 гг.) связан с расширением в институте приборной тематики, созданием технологической базы микроэлектроники и школы исследователей. Проводились, в частности, интенсивные исследования по созданию новых классов приборов: оптронов, хемотронов, магнитодиодов, S-диодов, разнообразных приборов, объединенных в рамках понятия "функциональная электроника"*

В этот период институт внес заметный вклад во многие новые для отечественной микроэлектроники направления. Была осуществлена разработка приборов с зарядовой связью (ПЗС), репрограммируемых энергонезависимых ЗУ, криоэлектронных ИС на основе эффекта Джозефсона, ЗУ на основе цилиндрических магнитных доменов (ЦМД), приборов на основе соединений  $A_2B_6$  и  $A_3B_5$ . Признанными лидерами этих направлений были: В.В.Поспелов, Е.А.Фетисов, Е.Б.Володин, Ю.И.Тишин, А.И.Мальцев, Р.З.Хафизов, А.П.Нагин, В.И.Махов, Г.И.Лапир, А.А.Зубков, А.Л.Гудков, А.В.Тябликов, А.Н.Самусь, В.В.Масалов, Г.К.Чиркин, А.В.Емельянов, Э.А.Полторацкий, У.А.Бекирев, В.Н.Крутиков, В.М.Гонтарь, В.А.Зимогляд, А.П.Алехин, И.В.Комарец, С.В.Белотелов, В.Т.Хренов.

*Третий период (1975–1987 гг.) деятельности НИИФП связан с развитием микроэлектронных технологий вплоть до предельных возможностей (субмикронная область). Осваивались технологии магнитоэлектроники, криоэлектроники, оптоэлектроники, молекулярной электроники, приборов с зарядовой связью, ИК-фотоприемников и другие*

Институтом совместно с ЦНИИС был создан первый в нашей стране участок волоконно-оптической линии связи, проложенный от здания дирекции Научного Центра к РК КПСС г. Зеленограда, далее до здания "школы швейников", обеспечивший местную телефонную связь предприятий НЦ

между Южной и Северной промышленными зонами города.

В 1975 году институтом была разработана концепция, а в 1976 году была утверждена Всесоюзная государственная программа "Молекулярная электроника", целью которой являлся поиск путей миниатюризации функциональных элементов и разработка методов конструирования сред с конструктивно-технологическими ограничениями в единицы нанометров. В ходе исследований предполагалось найти такие молекулы, которые будут в определенных условиях самопроизвольно собираться в функциональные среды. В качестве базовых технологий предполагалось использовать технологии тонкого химического синтеза (создание единичных элементов) и технологию формирования молекулярно-упорядоченных структур на основе пленок Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ-пленок). Рассматривались также варианты формирования молекулярно-упорядоченных структур на основе ориентированных пленок лиотропных жидких кристаллов.

Головной организацией на протяжении всего периода проведения работ по Программе (с 1975 по 1988 год) являлся институт (отдел под руководством В.С.Банникова, руководители направлений П.С.Сотников, С.М.Безручко, В.Я.Бартенев, С.В.Айрапетянц, В.А.Быков, В.Д.Самойсенко, Г.П.Бенинг, В.И.Троицкий).

*В этот период в институте были разработаны приборы с зарядовой связью (ПЗС), репрограммируемые энергонезависимые ЗУ, криоэлектронные ИС на основе эффекта Джозефсона, ЗУ на цилиндрических магнитных доменах (ЦМД), приборы на основе соединений  $A_2B_6$  и  $A_3B_5$*

В выполнении работ принимали участие более 30 организаций РСФСР, Украины, Белоруссии, Латвийской, Литовской, Эстонской республик, включая большое число университетов, институтов Академии наук, прикладных институтов.

Несмотря на общий закрытый характер программы, было выполнено большое количество ныне хорошо известных работ и создана Российская школа по ЛБ-пленкам.

По настоящее время ведется ежемесячный всероссийский научно-технический семинар "**Ленгмюровские пленки и ансамбли амфифильных молекул**" (Институт кристаллографии РАН), бюро семинара: С.А.Пикин, Л.А.Фейгин, Л.Г.Янусова (ИК РАН), В.А.Быков, И.В.Мягков (НИИФП), С.Ю.Зайцев (ИБОХ РАН), В.В.Арсланов (ИФХ РАН), В.В.Савранский (ИОФ РАН), А.Г.Витухновский (ФИ РАН). При ИНЭОС РАН организован научно-технический центр молекулярных технологий. Был проведен ряд Всероссийских школ, и сегодня большое количество работ представляются на конференциях по ЛБ-пленкам.

Были разработаны и внедрены в производство новые технологии ориентации нематических жидких кристаллов, которые обеспечили возможность наладить производство высококачественных жидкокристаллических индикаторов и часов "Электроника" на минском объединении "Интеграл". Разработаны новые материалы – фибриллярные лиотропные жидкие кристаллы и технологии производства поляризаторов с их использованием (В.А.Быков, Ю.А.Бобров, Л.Я.Игнатов, Т.Иванова, Т.Берзина). Были найдены материалы и созданы структуры с проводящими пленками Ленгмюра-Блоджетт (В.И.Троицкий), на основе которых возможно создание нанoeлектронных активных структур. Были созданы материалы и технологии формирования электронных резистов на основе пленок Ленгмюра-Блоджетт (Н.К.Матвеева), пироэлектрические структуры (И.В.Мягков), велся поиск материалов и структур для создания активных молекулярных сред и были обнаружены мемристивные эффекты в них (В.Р.Новак).

В начале 1980-х годов директором института был назначен кандидат технических наук А.А.Васенков. В этот период институт благодаря накопленным знаниям созданной "научно-технической школы", широкому взаимодействию с институтами АН СССР и ведущими вузами страны значительно активизировал свое влияние на техническую политику Минэлектронпрома, предлагая к освоению на предприятиях отрасли принципиально новые

разработки, которые позволили решать сложные задачи, стоящие перед радиоэлектронной промышленностью страны. В некоторых случаях, учитывая важность работ и фактор времени, институт передавал новые разработки заинтересованным предприятиям вместе с коллективом разработчиков. Так, в НИИТТ передан коллектив во главе с А.И.Мальцевым, создавшим технологию и конструкцию энергонезависимых ЗУ, в НИИМВ – коллектив разработчиков и технологов вместе с оборудованием для изготовления ЗУ на ЦМД во главе с Г.К.Чиркиным, в НПО "Орион" – коллектив технологов и разработчиков ИК-фотоприемников в составе А.М.Филачёва, Е.А.Фетисова, Р.З.Хафизова, Б.И.Фукса.

Результаты многолетних исследований, конструкторские решения и документация по ряду приборных и технологических разработок систематически передавались в различные организации и предприятия: в НПО "Кристалл", НПО "Электрон", НПО "Восток", НПО "Электроника", ЛОМО, НИИ "Пульсар", НИИ "Сапфир" – по ПЗС и ИК-фотоприемниками (МДП и ПЗС); в НПО "Плутон" и "Тантал" – по технологии холодных автокатодов; в НПО "Интеграл" и заводы "Элма", "Ангстрем" и "Микрон" – по технологии производства жидкокристаллических индикаторов; в НПО "Восток", НПО "Электрон", ПО "Сапфир", завод "Старт", НИИ Прикладная физика, НПО "Элас" – по технологии микроприборов на соединениях  $A_2V_6$  и  $A_3V_5$ ; в ФИАН, ИРЭ, ИЗМИРАН, ИКИ, ИАЭ им. И.В.Курчатова, НПО "Вектор", НПО "Азимут" поставлялись сверхпроводниковые структуры, СКВИДы и датчики с переходами Джозефсона, работающие при температуре жидкого гелия, необходимые для создания систем раннего предупреждения о воздушных и космических объектах, а также для систем контроля за магнитным состоянием земной коры в сейсмических активных зонах, разработки нового поколения гироскопов и медицинской аппаратуры. На многие предприятия Минэлектронпрома были переданы разнообразные приборы контроля качества пластин, воды и жидких реакторов, ПАВ, а на заводах "Микрон", "Ангстрем", "Интеграл", "Светлана", "Вента",

"Пульсар" и др. смонтированы и введены в строй системы контроля качества технологических сред и используемых реагентов.

В этот период группами теоретиков, исследователей и разработчиков был накоплен значительный научный потенциал по решению задач в следующих областях:

- физическое моделирование полупроводниковых и субмикронных технологических процессов – работы Р.А.Суриса, В.И.Рыжия, В.М.Петрова, В.А.Гергеля, Б.И.Фукса, О.В.Селляхова, Н.А.Баннова, В.П.Кустова, Ю.С.Леонова;

*Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные в институте, показали, что наиболее эффективным и многоцелевым средством для освоения субмикронных размеров в быстро развивающейся микроэлектронике и будущей наноэлектронике является синхротронное излучение с энергией до нескольких гигаэлектровольт, перекрывающее диапазон длин волн от 1 мм до 0,1 нм*

- интегральная оптоэлектроника – работы Э.А.Полторацкого, А.В.Емельянова, К.К.Свидзинского, Г.С.Рычкова, У.А.Бекирева, А.А.Петрова;
- исследование нелинейных явлений в различных средах – работы В.М.Елеонского, Н.Н.Ахмедиева, А.Ф.Попкова, А.К.Звездина, Н.Н.Кировой, Н.Е.Кулагина, А.И.Попова;
- молекулярная электроника – работы С.В.Айрапетянца, В.С.Банникова, С.М.Безручко, В.А.Быкова, П.С.Сотникова, И.В.Мягкова;
- полимерная электроника – работы В.С.Корсакова, Б.С.Борисова, А.Г.Борисова, А.В.Новожилова, В.И.Новикова, Л.А.Плавич;
- СБИС на основе кремния, в том числе энергонезависимые ЗУ, – работы В.В.Ракитина, А.П.Нагина, Ю.И.Тишина, Б.И.Седунова, В.В.Минаева, А.Г.Сафонова, А.И.Мальцева, Р.З.Хафизова, В.М.Тюлькина;
- низкотемпературная сверхпроводниковая электроника – работы В.И.Махова, Г.И.Лапира, А.А.Зубкова, В.К.Семенова, А.В.Тябликова, П.А.Бахтина,

В.В.Масалова, А.Л.Гудкова, А.Н.Самуся, В.Н.Лаптева, Г.Я.Павлова, В.Ю.Киреева, Е.Я.Гольдберга, В.К.Никифорова;

- аппаратурные проработки приборов и устройств для научных исследований и народно-хозяйственного применения – работы В.А.Автономова, Б.И.Седунова, С.М.Безручко, А.А.Петрова, В.М.Гонтаря.

*Четвертый период (1987–2000 гг.) в жизни института оказался одним из самых трудных и был связан с общим экономическим спадом в стране. В то же время ученые института прилагали большие усилия в деле поиска радикальных путей развития отечественной электроники, в том числе в новых направлениях – наноэлектронике, микромеханике, полимерной электронике*

Глубокие теоретические и экспериментальные исследования, проведенные в институте, показали, что наиболее эффективным и многоцелевым средством для освоения субмикронных размеров в быстро развивающейся микроэлектронике и будущей наноэлектронике является синхротронное излучение, получаемое на синхротроне – накопителе с энергией до нескольких гигаэлектровольт, перекрывающем диапазоном длин волн от 1 мм до 0,1 нм и имеющем энергию фотонов от 0,001 до  $10^4$  эВ. Такие характеристики многоканального накопителя позволяют использовать его как многоцелевой источник излучения для получения минимальных литографических размеров; проведения "сухих" радиационно-стимулированных низкотемпературных процессов и формирования ЛИГА-структур; для диагностики поверхности и объема материалов и структур путем применения различных видов спектроскопии, рентгеновской микроскопии, рассеяния и дифракции рентгеновского излучения и открывают широкие возможности научно-практического применения в области материаловедения, медицины, фармакологии, диагностики, физики, химии, биологии, металлургии и в других областях современной науки и промышленности.

В связи с этим в постановлении ЦК КПСС и СМ СССР №560-183 от 30.06.1980 г. "По дальнейшему развитию микроэлектроники

в стране" было предусмотрено проектирование и строительство инженерно-производственного корпуса (ИПК) с синхротроном-накопителем как важнейшей научно-производственной базы НИИФП, НПО "Научный Центр" и Минэлектронпрома. Строительство ИПК началось в 1984 году, отдельные здания и лабораторные помещения были построены в 1987 году. К концу 1987 года в ИЯФ им. И.Г.Будкера СОАН СССР был разработан и изготовлен синхротрон-накопитель, состоящий из линейного ускорителя, бустера-ускорителя и накопительного кольца синхротрона на энергию 2,5 ГэВ с 37 каналами вывода, а ряд других институтов и предприятий разрабатывали рабочие станции. Монтаж всего комплекса и научно-производственной гермозоны для исследований, разработок и опытного производства предполагалось завершить в 1989-м, а запуск накопителя – в 1990 году. Основной вклад в решение вопросов, связанных с созданием ИПК, был внесен А.А.Васенковым, С.Н.Мазуренко, Н.Ф.Трутневым, И.А.Михайловым, Н.В.Спинко, А.М.Нефёдовым, Н.В.Варламовой, а в организации Центра аналитических исследований и автоматизации – Б.С.Борисовым и Н.В.Кузнецовым.

#### **ЧЕТВЕРТЫЙ ПЕРИОД (1987–2000 гг.) – ПЕРЕСТРОЙКА**

Этот период предвещал переход института на качественно новый этап развития, связанный с продолжением фундаментальных и поисковых исследований и выполнением практических разработок, необходимых и востребованных в новых условиях развития перестроечных и рыночных отношений, проводимых в стране. Институт с 1987 года возглавил доктор технических наук Н.С.Самсонов. Однако этот период в жизни института оказался одним из самых трудных и был связан с общим экономическим спадом в стране. В то же время ученые института прилагали большие усилия в деле поиска радикальных путей развития отечественной электроники, в том числе в новых направлениях – наноэлектронике, микромеханике, полимерной электронике.

Выполняемые в этот период работы института можно объединить в следующие направления.

### Фундаментальные исследования

- изучение волновых и корпускулярных явлений в твердом теле – общая теория солитонов, самолокализованные структуры, спиновые волны, квазиодномерные полупроводники, структурные изменения в полупроводниковых системах, инициированных магнитным полем, – работы В.М.Елеонского, Н.Н.Ахмедиева, А.Ф.Попкова, Н.Н.Кировой, И.Е.Кулагина, В.М.Масловского;
- исследование характера управления процессами самоорганизации в диссипативных системах – работы Б.С.Борисова, В.Г.Калюжной, В.С.Корсакова, М.Е.Панюкова, Л.А.Плавич;
- изучение потенциальных возможностей молекулярной электроники и формирование взглядов на развитие молекулярно-инженерной технологии – работы С.В.Айрапетянца, В.С.Банникова, В.А.Быкова, П.С.Сотникова;
- исследование возможностей применения в микроэлектронике нейросетевой технологии – работы А.А.Петрова, Л.М.Атаманчук.

### Нанoeлектроника и квантовая микроэлектроника

Новые научные и технические области электроники, основанные на использовании структур со сверхмалыми размерами, с туннельно-резонансными эффектами и высококогерентными явлениями, потребовали проведения ряда нетрадиционных исследований в направлениях:

- выявления природы упорядоченных структур с нанометровыми размерами на поверхности и в приповерхностной области твердых тел;
- разработки методов модификации поверхности на атомарном уровне с применением сканирующего туннельного зонда;
- развития нанoeлектронной элементной базы интегральных устройств на основе полупроводниковых и сверхпроводниковых гетероструктур.

В перечисленных направлениях существенный вклад внесли работы А.В.Емельянова, Э.А.Полторацкого, Н.С.Самсонова, С.М.Портнова, Г.С.Рычкова, Э.А.Ильичёва, В.Н.Рябокоть, М.О.Башкина, А.Л.Гудкова, А.Н.Самуся, А.И.Козлова.

Выполнен большой объем работ по базовым технологическим разработкам, включающим:

- создание научных основ и практических средств кремниевой субмикронной технологии, включая техмаршруты СБИС на основе кластерного оборудования, способы глубокой очистки и стабилизации поверхности, плазмохимические процессы для микромеханики – работы Ю.С.Бокова, Н.С.Самсонова, В.И.Беклемышева, А.Н.Шокина, А.П.Алёхина, В.И.Золотарёва, В.В.Миная, В.В.Ракитина, Ю.И.Тишина, Л.А.Вьюкова, В.А.Энковича;
- разработки прецизионной литографии на основе сухих газофазных методов УФ-литографии, рентгенорезистов и рентгеношаблонов, субмикронных мер линейных размеров – работы А.В.Никитина, С.Н.Мазуренко, Н.Ф.Трутнева, В.И.Мишачёва, В.С.Корсакова, А.П.Алёхина, В.А.Кроткова, А.В.Новожилова, А.И.Козлитина, Г.Н.Березина;

*За период 1987–2000 годов выполнен большой объем работ по базовым технологическим разработкам, включающим кремниевую субмикронную технологию, прецизионную литографию на основе сухих газофазных методов УФ-литографии, рентгенорезисты и рентгеношаблоны, а также создание приборов и структур, основанных на явлениях низко- и высокотемпературной сверхпроводимости*

- исследования и создание полимерных материалов, обладающих уникальными свойствами и перспективными для создания полевых транзисторов, коммутирующих устройств и клавиатур (для калькуляторов, СВЧ-печей, пультов и электронных игр), высоковольтных конденсаторов, химических источников тока, светодиодов – работы В.С.Корсакова, С.И.Максимова, Л.А.Плавич, Н.Ф.Трутнева, В.И.Новикова,



С.В.Тимофеева. Работы проводились совместно с ИХФ РАН (Черноголовка), институтами Башкирского отделения РАН и Узбекской АН;

- разработки технологии и оборудования для создания приборов и структур, основанных на явлениях низко- и высокотемпературной сверхпроводимости – работы В.И.Махова, Д.Г.Емельяненко, В.В.Масалова, А.Л.Гудкова, П.А.Бахтина, А.Н.Самуся;
- иглы для зондовых микроскопов (кантилеверы), являющиеся изделиями микромеханики, с элементами нанотехнологии (производятся в НИИФП), пользуются спросом в мире, продаются в странах, где используются зондовые микроскопы.

### Молекулярная наноэлектроника

В 1988 году для дальнейшего развития работ по направлению "Молекулярная электроника" в институте был создан отдел, в котором были сосредоточены работы по молекулярно-упорядоченным средам. Начальником отдела был назначен В.А.Быков. Несмотря на уже имеющиеся достижения, стало очевидным, что для развития работ необходимы новые технологии и приборы – сканирующие туннельные и атомно-силовые микроскопы, опыта построения которых в институте не было.

*В 1988 году в институте был создан отдел, в котором были сосредоточены работы по молекулярно-упорядоченным средам. Для проведения работ необходимы были новые технологии и приборы – сканирующие туннельные и атомно-силовые микроскопы. Первые туннельные микроскопы с функциями литографии в отделе появились уже в 1990 году*

В содружестве со специалистами из Пущинского научного центра – братьями Михаилом и Павлом Лазаревым при поддержке академиков А.М.Прохорова и К.А.Валиева была инициирована работа и выигран грант ГКНТ "Молекулярная одноэлектроника". Для выполнения этой работы было организовано малое предприятие – МДТ и усилиями вновь сформированного

коллектива, в состав которого вошли специалисты МГУ И.В.Яминский из группы В.И.Панова, Д.Котельников и В.Хавламов из Троицкого научного центра, А.О.Голубок из ИАП АН СССР (Ленинград). Научное руководство осуществлялось В.А.Быковым и П.И.Лазаревым. В результате уже в 1990 году в отделе появились первые туннельные микроскопы с функциями литографии и начались интенсивные работы как по исследованию ЛБ-пленок, так и по совершенствованию приборов.

С 1994 года в компании и институте начали разработку чувствительных элементов сканирующих зондовых микроскопов – кантилеверов, являющихся изделиями микромеханики с элементами нанотехнологии (производятся в НИИФП и еще в ряде смежных малых компаний), пользующихся спросом в мире, продающихся в странах, где используются зондовые микроскопы. На старте разработки технологии приняли участие специалисты НИИФП (В.И.Мишачёв, Н.К.Матвеева, В.Е.Дмитриев).

В результате малое предприятие преобразовалось в группу предприятий "НТ-МДТ", которая в настоящее время входит в группу лидирующих компаний на рынке сканирующей зондовой микроскопии и спектроскопии. Оборудование компании продается в более чем 60 странах мира.

Развитие работ по самоорганизации в растворах позволило создать новую технологию – технологию молекулярного капсулирования гидрофобных молекул, на основе которой создана самая эффективная форма доставки бета-каротина, токоферола в организм млекопитающих – медицинский препарат ВЕТОРОН, до сих пор продающийся аптеках России и стран СНГ. Уже к середине 1990-х годов около 50 хлебозаводов выпускали витаминизированный хлеб, а аптеки продавали "Ветерон". В состав авторского коллектива патента на препарат входят П.С.Сотников, В.А.Быков.

### Математическое и физическое моделирование:

- разработка аналитических моделей и методов САПР субмикронных и нанометровых элементов ИС и приборов

в целом – работы В.А.Гергеля, В.И.Рыжия, В.В.Ракитина, Е.И.Филиппова;

- моделирование электронных, ионных и термодиффузионных технологий – работы В.Л.Кустова, В.М.Петрова;
- моделирование процессов оптической и рентгеновской литографии – работы А.В.Никитина, В.М.Матвеева, В.М.Мануйлова.

Разработанные при этом комплексы программ передавались в ведущие предприятия отрасли НИИТТ, НИИМЭ, НИИМП, НПО "Микропроцессор", где использовались при проектировании ИС и технологических процессов. Часть программ передавались в НИИТМ для проведения работ по проектированию конструкции и изготовлению реакторов технологического оборудования.

### Прецизионный эксперимент

Решение задач по определению достоверности новых результатов исследований, параметров разработанных приборов и технологических процессов является постоянным видом работ института по направлениям:

- метрологического обеспечения контрольно-измерительных средств и аналитического оборудования, анализа путей создания высокочувствительных и самокалибруемых измерительных средств на основе квантовых эффектов и микропроцессоров – работы В.Н.Сретенского, А.В.Никитина, А.Л.Гудкова, В.В.Масалова, П.А.Бахтина, А.Н.Самуся, А.Д.Антонюка, А.Г.Дьяченко;
- разработки методов измерения субмикронных линейных размеров методами оптической и растровой электронной и дифференциально-фазовой микроскопии, элементного анализа полупроводниковых материалов, структур и технологических сред методами масс-спектрологии, оже-спектрологии – работы А.В.Никитина, Б.С.Борисова, К.К.Свидзинского, Р.М.Аммосова, А.И.Козлитина, В.В.Железнова, С.Б.Рожкова, М.К.Залялютдинова, А.Ю.Трифоновна, Е.П.Кириленко;
- исследования и разработки методов и средств экспресс-анализа чистоты технологических сред на наличие

микрочастиц, биологических, органических и ионных примесей, лазерной дефектоскопии поверхности полупроводниковых пластин – работы С.М.Безручко, С.А.Саунина, С.В.Кузьмина, О.В.Степанищева, Ю.М.Абраменко, Г.П.Бенинга, А.В.Иконникова, С.Ф.Кацура, С.М.Кузьмина. В ходе этих работ было изготовлено анализаторы микрочастиц в жидких и газообразных средах ЛАМ-1, ЛАМ-2, ЛАМ-4, анализаторы качества поверхности полупроводниковых пластин ЛАП-1, ЛАП-3, анализаторы органических примесей в водной среде (ПАВ), Т-1, АР-1. Данные приборы нашли широкое применение на предприятиях электронной и химической промышленности, в медицинском Институте скорой помощи им. Н.В.Склифосовского и Академии химической защиты;

- разработки газоаналитических приборов и датчиков на основе микроэлектронной технологии – работы В.А.Берёзкина, Е.И.Борзова, Ю.Г.Качуровского, А.Н.Шокина, И.Г.Шкурюпат, В.И.Мишачёва;
- разработки чувствительных элементов для датчиков различного функционального назначения на основе мембранной технологии – работы В.И.Мишачёва, Н.Ф.Трутнева, В.С.Корсакова, Л.А.Семихиной, Г.В.Акуловой, Л.П.Николаевой;

*Пятый период (2000–2014 гг.) – современный этап развития. В этот период началось техническое перевооружение НИИФП, было принято решение о создании на основе института Центра высоких технологий с мощным источником синхротронного излучения, актуальность использования которого как центра аналитических исследований в нанoeлектронике остается и сегодня*

- разработки и изготовления совместно с Харьковским ИРЭ высококогерентной аппаратуры для дистанционного контроля на миллиметровых волнах биологических и технических объектов – работы В.С.Банникова, О.Л.Колесника;

- разработки средств технического видения и создания автоматизированного оптического измерителя линейных размеров с субмикронным разрешением, устройств идентификации рисунка капиллярных линий с живых объектов, считывателя штриховых кодов для идентификации товаров, грузов, изделий спецтехники – работы Ю.И. Тишина, В.А.Автомова, А.Г.Сафонова, У.А.Бекирева, С.А.Кокина, А.В.Липендина.

### Аналитическая работа

Этот вид деятельности проводился в институте постоянно путем формирования базы данных о состоянии и тенденциях развития микроэлектроники и прилегающих к ней областей науки и техники, разработки методов прогноза, проведения оценок технического уровня микроэлектронных приборов, технологий и контрольно-измерительных средств – работы А.А.Васенкова, Б.С.Борисова, Р.А.Суриса, Б.С.Данилина, В.Н.Сретенского, Г.Н.Соколовой, С.Т.Карецкой, В.А.Юдинцева, Т.И.Стариковой, Л.Н.Журавлёвой, Г.А.Алексеева.

*В 2003 году в институте создан Центр коллективного пользования (ЦКП), обеспечивающий доступ широкому кругу потребителей к комплексу современного уникального аналитического и измерительного оборудования, что позволило поддержать работы отраслевых предприятий, академических учреждений и вузов по приоритетным направлениям развития науки и техники*

НИИ физических проблем на протяжении многих лет выполнял работы по ряду крупных ведомственных общегосударственных научно-технических программ: "Память", ЭВМ "Эльбрус" и "Ряд", "Гамбит", "Видение", "Субмикронная технология", "Космическая разведка", "Молекулярная электроника". Благодаря активной позиции института постановлением Правительства РФ №1398 от 19.12.1994 г. "НИИФП им. Ф.В.Лукина" присвоен статус государственного Научного Центра Российской Федерации.

### ПЯТЫЙ ПЕРИОД (2000–2014 гг.) – СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ

*В первые годы XXI столетия институт сосредоточил свои усилия на решении задач в приоритетном направлении: информационно-телекоммуникационные технологии и электроника для обеспечения развития критических технологий, элементная база нанoeлектроники и микромеханики, создающих основу для выхода электронной продукции на новый уровень.*

### Развитие и техническое перевооружение института

В этот период началось техническое перевооружение НИИФП и продолжился монтаж синхротрона "Зеленоград". Именно в это время было принято решение о создании на основе института Центра высоких технологий с мощным источником синхротронного излучения, актуальность использования которого как центра аналитических исследований в нанoeлектронике остается и сегодня. К сожалению, изменения, происшедшие в России в 1990-е годы, не позволили в короткие сроки развить задуманное. С 2002 года институт возглавил доктор технических наук А.П.Алехин. Благодаря начавшемуся в 2002 году государственному финансированию успешно завершён первый этап монтажа источника ИС – линейного ускорителя, получены заданные параметры. Затем был осуществлён монтаж и пуск малого накопительного кольца-бустера с энергией 450 МэВ, на котором будут реализованы два канала синхротронного излучения. На этом этапе огромный вклад в работу внесли С.Н.Мазуренко, Н.С.Самсонов, Н.В.Спинко, А.П.Алехин.

В обеспечение выполнения работ в институте в 2003 году создан Центр коллективного пользования (ЦКП), обеспечивающий доступ широкому кругу потребителей к комплексу современного уникального аналитического и измерительного оборудования, что позволило поддержать работы отраслевых предприятий, академических учреждений и вузов, проводимые в рамках приоритетных направлений развития науки и техники, экологии, биомедицины, геохимии, электроники. В состав ЦКП, который возглавил А.И.Козлитин, вошли подразделения физико-аналитических методов, зондовых методов, комплексного функционального контроля

электронных изделий, физических методов исследования с использованием СИ. В течение нескольких лет ЦКП был дооснащен новым аналитическим оборудованием, включая просвечивающий электронный микроскоп и ряд атомно-силовых и туннельных микроскопов.

В обеспечение проведения исследований в ЦКП были получены аттестаты аккредитации испытательной лаборатории (центра) нанопродукции и аккредитации на право проведения калибровочных работ, а также разработан целый ряд методик измерений размеров и состава нанозадач и многослойных гетероструктур. За последние годы сотрудниками ЦКП были проведены важные исследования структуры и состава элементной базы нанoeлектроники, включая джозефсоновские переходы, мемристоры, алмазные и графеновые структуры, элементы нанолитографии и т.п. Значительный вклад в развитие методик и проведение исследований внесли А.И.Козлитин, А.Ю.Трифонов, В.В.Сарайкин, Е.П.Кириленко, Б.К.Медведев.

Правительство РФ Постановлением №498 от 02.08.2007 г. (в редакции от 21.06.2010 г. №471) утвердило ФЦП "Развитие инфраструктуры наноиндустрии РФ на 2008–2010 годы", в которой возложило на ГНЦ ФГУП "НИИФП им. Ф.В.Лукина" функцию головной организации по нанoeлектронике в части прикладных и ориентированных НИОКР.

В рамках ФЦП "Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2011 годы" и на основании распоряжения Правительства РФ №146-Р от 08.02.2007 г. в ФГУП "НИИФП им. Ф.В.Лукина" создан Центр высоких технологий (ЦВТ) на базе инженерно-производственного комплекса с синхротроном "Зеленоград". В состав ЦВТ вошли: отдел нанотехнологий с вновь созданной гермозоной и технологическим комплексом НАНОФАБ-100, Центр коллективного пользования (ЦКП) и физико-технический отдел с накопительным комплексом – синхротрон "Зеленоград".

В 2006 году руководство института возглавил кандидат технических наук А.М.Пилевин. С 2007 года продолжилось

техническое оснащение синхротрона "Зеленоград". Были завершены работы по модернизации инженерных систем обеспечения работы синхротрона и перевода АСУ комплекса на современные средства вычислительной техники, завершена модернизация электронно-оптического канала №2 (ЭОК-2) (канал транспортировки пучка ускоренных электронов из малого в большой накопитель).

*Движение электроники в область наноразмеров привело к фундаментальным ограничениям и заставило разработчиков сосредоточить исследования на более перспективной элементной базе, включая полупроводниковую и сверхпроводниковую нанoeлектронику, туннельно-резистивную и алмазную (графеновую) нанoeлектронику, спинтронику, одноэлектронику и оптоэлектронику*

В 2008 году осуществлен запуск инжекционной части синхротрона в составе: ЛУ, ЭОК-1, МН, ЭОК-2, продолжение работ по модернизации оборудования комплекса накопителей. В 2010 году был завершен монтаж электрофизического оборудования комплекса большого накопителя и начались работы по подготовке синхротрона к физическому пуску. Наибольший вклад по организации и участию в работах по монтажу синхротрона внесли А.М.Пилевин, Н.В.Спинко, В.М.Матвеев, Н.Н.Грачёв.

С 2009 года институтом руководил доктор технических наук В.А.Баскин. В 2011–2012 годах вокруг кольца большого накопителя была создана чистая технологическая зона и были организованы работы по изготовлению, монтажу и запуску нового технологического оборудования кластерного типа НАНОФАБ-100. Наибольший вклад в создание комплекса НАНОФАБ-100 внесли В.А.Баскин, В.А.Быков, Р.В.Харламов, А.А.Спиридонов, А.Э.Хачикян, А.В.Деев.

### Научно-технологические исследования

В 2012 году институт возглавил кандидат физ.-мат. наук А.Л.Гудков. Наряду с продолжающимся техническим перевооружением института, в рамках которого НАНОФАБ-100 был дооснащен новыми технологическими модулями и заложен к реализации проект создания многолучевого

электронного литографа, получили продолжение работы по исследованию и развитию элементной базы нанoeлектроники и МЭМС.

Современный этап развития мировой микроэлектронной и нанoeлектронной индустрии поставил перед институтом целый ряд новых научных, технологических и технических проблем. Движение электроники в область наноразмеров привело к фундаментальным ограничениям и заставило разработчиков расширить поиск альтернативных решений и сосредоточить исследования на более перспективной элементной базе нанoeлектроники. Прежде всего ограничения коснулись хорошо известного закона Мура. Выяснилось, что в области размеров порядка 10 нм уже нельзя не учитывать квантовые размерные эффекты. Кроме того, для всей информационной электроники применение традиционной полупроводниковой электроники с наноразмерными транзисторами становится неоправданным с энергетической точки зрения.

*В рамках ФЦП "Развитие электронной компонентной базы на 2007–2015 годы" в институте получены результаты – разработаны новый тип высококачественных джозефсоновских переходов, технология формирования алмазоподобных и графеновых пленок, новый элемент нанoeлектроники – мемристор на основе туннельных структур, а также проведен комплекс работ по развитию МЭМС-технологий*

Энергетические затраты на выполнение простой логической операции на пять-шесть порядков превышают теоретический квантовый предел Ландауэра. Поэтому затраты на отвод тепла от современных полупроводниковых суперкомпьютеров превратились в главную проблему в дальнейшем развитии вычислительной техники. Тем не менее специализированные интегральные схемы и схемы памяти нуждаются в современной полупроводниковой нанoeлектронике.

Решение указанных проблем осуществляется ФГУП "НИИФП им. Ф.В.Лукина" через постановку и решение конкретных задач по каждой из проблем. Используя научно-технический потенциал института

и многолетние наработки перспективной элементной базы, определены основные направления деятельности на современном этапе развития:

- разработка перспективной элементной базы нанoeлектроники с проектными нормами 32–8 нм, включая полупроводниковую нанoeлектронику (Fin-Fet-транзисторы, 3D-транзисторы, Si-Ge-транзисторы и т.п.), сверхпроводниковую нанoeлектронику, туннельно-резистивную нанoeлектронику (мемристоры, MIM-диоды и т.п.), алмазную (графеновую) нанoeлектронику, спинтронику, одноэлектронику и оптоэлектронику;
- разработка перспективной элементной базы МЭМС- и МОЭМС-устройств, включая акселерометры, гироскопы и другие оптоэлектромеханические преобразователи;
- разработка, освоение и включение в технологические циклы производства ИС новых перспективных технологических процессов формирования и обработки наноструктур, гетероструктур и современных масочных электронных материалов;
- разработка специализированных интегральных схем и устройств на основе элементной базы нанoeлектроники и МЭМС.

За последнее десятилетие в институте проведен ряд важных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в рамках ФЦП "Развитие электронной компонентной базы на 2007–2015 годы" и получены важные научно-практические результаты:

1. В области сверхпроводниковой электроники разработан новый тип высококачественных джозефсоновских переходов (переходы SDS-типа; superconductor-doped semiconductor-superconductor). На основе этих переходов были созданы совместно с ВНИИМС и ЗАО "Компэлст" СПИС (сверхпроводниковые интегральные схемы) преобразователей частота – напряжение для программируемого эталона Вольта на 0,1 и 1 В, а также разработаны стеки джозефсоновских переходов, позволяющие увеличить выходное напряжение в N раз. На основе разработанной технологии

формирования джозефсоновских переходов SIS-типа были созданы СПИС для эталонов напряжения постоянного тока на 1 В.

На основе джозефсоновских переходов SDS-типа и шунтированных переходов SIS-типа были созданы высокочувствительные многопетлевые ПТ-СКВИДы, обладающие повышенной помехозащищенностью. Разработанные ПТ-СКВИДы предназначены для использования в многоканальных магнитометрических и градиентометрических системах различного применения, включая медицинские диагностические системы (магнитокардиограф и магнитоэнцефалограф) и обнаружительные системы.

Разработанная элементная база сверхпроводниковой наноэлектроники востребована для создания современных квантовых вычислительных систем. Безусловно, современная эпоха характеризуется поиском энергоэффективной элементной базы для создания суперкомпьютера и квантового компьютера. Именно поэтому в рамках американской программы IARPA запущена программа C3 (Cryogenic Computing Complexity) по созданию сверхпроводникового суперкомпьютера на основе джозефсоновской элементной базы. Джозефсоновские схемы позволяют приблизить энергозатраты на выполнение логических операций к квантовому пределу. Разработанные джозефсоновские переходы SDS-типа наилучшим образом подходят для решения проблемы по созданию квантового суперкомпьютера. Наибольший вклад по развитию сверхпроводниковой элементной базы внесли А.Л.Гудков, А.И.Козлов, А.А.Гогин, А.Н.Самусь.

2. Проведен комплекс исследований по изучению свойств алмазных и графеновых структур. Разработана технология формирования алмазоподобных и графеновых пленок. Изучены эмиссионные свойства алмазных структур. Созданы методики измерения параметров решеток графеновых образований с помощью атомно-силового и туннельного микроскопов. В дополнение к фуллеренам и нанотрубкам обнаружены новые модификации графеновых структур, такие как коробчатая структура и тороидальная структура. На основе пленок

из тороидальных графеновых структур созданы высокостабильные ИК-излучатели. Наибольший вклад в развитие этого направления внесли Г.Н.Петрухин, Э.А.Ильичёв, Р.В.Лапшин, Г.С.Рычков, Б.К.Медведев, В.К.Дмитриев.

*НИИФП им. Ф.В.Лукина имеет две базовые кафедры ("Микроэлектроника" в МФТИ и "Молекулярная технология" в МИЭТ), аспирантуру по базовым направлениям электроники. Ученые института сотрудничают с другими кафедрами МФТИ, МИЭТ, МГУ и ведут совместные проекты с участием аспирантов и студентов*

3. Разработан новый элемент наноэлектроники – мемристор на основе туннельных структур с двойным переменным барьером, конфигурация которого зависит от амплитуды и знака импульса приложенного напряжения. Действительно, современная эпоха электроники характеризуется не только появлением 3D-транзистора, но и появлением нового элемента наноэлектроники – мемристора (резистора с двумя устойчивыми резистивными состояниями). Специалисты фирмы HP планируют на основе этих элементов не только заменить современные флэшки на новые с объемом памяти на порядок больше, но и начать моделирование электронного аналога человеческого мозга. Наибольший вклад в развитие технологии формирования мемристоров внесли В.А.Быков, А.Л.Гудков, М.А.Кик, В.В.Денискин, А.А.Гогин, А.И.Козлитин, В.В.Сарайкин, А.И.Козлов, А.Н.Самусь.

4. Проведен комплекс работ по развитию МЭМС-технологий и созданию кантилеверов нового типа, а также матричных кантилеверов для атомно-силовых микроскопов. Идеология развития данных технологий направлена на сочетание МЭМС с другими направлениями электроники и физическими устройствами с целью получения технической продукции принципиально нового качества. Выполнены разработки различных чувствительных элементов, в том числе с применением МЭМС-технологий. Налажено мелкосерийное производство гибких клавиатур.

Разработаны новые высокоэффективные светодиодные элементы. Следует отметить участие в этих разработках В.В.Денискина, Ю.А.Матвеевко, Н.А.Дюжева, А.Г.Сафонова, У.А.Бекерева.

*Многолетний опыт работы НИИ физических проблем показал, что ориентация на широкий спектр исследований позволяет правильно принимать решения при выборе направлений работ и целенаправленно вкладывать средства в создание электронных приборов новых поколений и высоких технологий в электронной отрасли промышленности*

### Подготовка научно-технических кадров

Решение научно-технических задач в рамках направлений института предполагает обеспечение высококвалифицированными научными и техническими кадрами. Подготовка высококвалифицированных специалистов наноэлектроники – как теоретиков, так и практиков – необходима для обеспечения функциональной структуры института, подразделений моделирования и теоретического исследования характеристик наноэлементов, измерения их электрофизических характеристик, разработки и управления технологическими процессами, метрологической аттестации элементов и процессов, эксплуатации синхротронного комплекса и специализированных станций, а также проектирования специализированных ИС практического применения.

Фактически работа в этом направлении ведется, начиная с чтения лекций сотрудниками института в общеобразовательных школах в рамках городских мероприятий, организации экскурсий школьников на предприятие, и продолжается уже в вузах. ФГУП "НИИФП им. Ф.В.Лукина" имеет две базовые кафедры – кафедру "Микроэлектроника" в МФТИ и кафедру "Молекулярная технология" в МИЭТ. Большой вклад в кафедральную работу в последние годы внесли В.А.Быков, А.П.Алехин, Ю.И.Тишин, В.В.Ракитин, К.К.Свидзинский. Кроме того, в ФГУП "НИИФП им. Ф.В.Лукина" имеется аспирантура по базовым направлениям электроники, где в настоящее время обучаются

аспиранты. Особо следует отметить вклад в организацию аспирантуры и учебного процесса, который внесли В.И.Дунаева и Н.Ф.Гаркуша. Ученые института также сотрудничают с другими кафедрами МФТИ, МИЭТ, МГУ и ведут совместные проекты с участием аспирантов и студентов.

### ИТОГИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФГУП "НИИФП им. Ф.В.ЛУКИНА"

Значительная часть разработок института (приборных, технологических, аппаратурных) готова к прямому освоению на производстве. Институт на протяжении последних 6–8 лет помогал создавать своим сотрудникам небольшие самостоятельные коллективы (малые предприятия), которые одновременно организовывали производство новых, созданных на базе института конкурентоспособных изделий и продолжали разработки по дальнейшему развитию и совершенствованию этих изделий. Так появились ЗАО "НТ-МДТ", ЗАО "Аква МДТ", ЗАО "Компэлст", ООО "Триботехнология", ГМП "Элек", ЗАО "МЭСТ".

Многие годы институт поддерживает плодотворные творческие связи с ведущими институтами Академии наук и вузами: ИОФ, ФИ, ЛФТИ, ИК, ФТИ, ИПФСО, ИФТ, ИАЭ, ИФХ, ИПТМ, ИФПСО, ИРЭ, а также МИЭТ, МГУ, МФТИ, МИФИ, МИТХТ, многими институтами и предприятиями СНГ.

В институте совместно с ведущими учеными страны проводятся научно-технические семинары, "Лукинские чтения", расширенные заседания специалистов по актуальным вопросам микроэлектроники, микромеханики, наноэлектроники. Из стен института вышли такие замечательные ученые и руководители предприятий и ведомств, как В.Н.Крутиков, С.Н.Мазуренко, А.М.Филачев и многие другие, а В.И.Рыжий и Р.А.Сулис избраны действительными членами РАН. Многие сотрудники избраны в общественные специализированные академии: Международную академию информатизации (Н.С.Самсонов, В.Н.Сретенский, В.В.Васенков), Российскую академию инженерных наук (А.В.Емельянов, Н.С.Самсонов, Э.А.Полторацкий), Метрологическую академию РФ (В.Н.Сретенский, А.В.Никитин, А.И.Козлитин). В институте в настоящее

время работают 8 докторов наук и 18 кандидатов наук. Ряд сотрудников имеют звания профессора, доцента, заслуженного деятеля науки и техники, являются лауреатами государственных и других различных престижных премий. В институте было подготовлено и защищено 38 докторских и более 230 кандидатских диссертаций.

ФГУП "НИИФП им. Ф.В.Лукина" имеет все необходимые лицензии для осуществления своей деятельности и выполнения работ по созданию современных электронных компонентов. На регулярной основе в институте работает Научно-технический совет, техническим секретарем которого на протяжении многих лет является В.А.Садовой. Научно-технический совет института в своей работе, кроме традиционных обязанностей, значительное внимание уделяет анализу результатов проводимых исследований, методологии разработок и их практической значимости, периодической аттестации научных сотрудников.

Ученые института опубликовали более 20 монографий, ежегодно печатают большое количество научных статей в ведущих отечественных и зарубежных журналах и отраслевых сборниках, участвуют в международных и общероссийских конференциях. Их труды часто цитируются в отечественных и зарубежных научно-технических изданиях. Многие ученые получают приглашения читать лекции за границей, работают в редколлегиях научных журналов. В последние годы возросла творческая активность в подаче заявок на изобретения и получение патентов. Все это поддерживает творческую атмосферу в коллективе института.

На протяжении 50 лет директорами НИИ физических проблем были доктор физико-математических наук, профессор лауреат Государственных премий В.И.Стафеев (1964–1969 гг.); доктор технических наук, профессор В.П.Лаврищев (1969–1981 гг.); кандидат технических наук, доцент, лауреат Государственных премий А.А.Васенков (1981–1987 гг.); доктор технических наук, профессор Н.С.Самсонов (1987–2002 гг.); доктор технических наук, профессор А.П.Алехин (2002–2006 гг.); кандидат технических наук А.М.Пилевин (2006–2009 гг.); доктор технических наук В.А.Баскин (2009–2011 гг.).

В начале 2012 года директором института стал кандидат физико-математических наук А.Л.Гудков. Продолжительное время заместителем директора по научной работе – главным инженером был кандидат физико-математических наук, доцент Б.С.Борисов (с 1969 по 1989 г.), с 1989 по 2002 год – кандидат физико-математических наук, профессор С.Н.Мазуренко, а с 2009 года заместителем директора по научной работе стал В.А.Быков.

Значительный вклад в работу института внесен не только научными сотрудниками, многие из которых указаны в статье, но и хозяйственными руководителями, лаборантами, рабочими и служащими.

В различные периоды деятельности института многое было сделано активными членами коллектива (как ушедшими на заслуженный отдых, так и работающими сегодня): Г.В.Артамоновой, С.Н.Антонюк, В.С.Беляковым, Н.А.Богатырёвым, Н.В.Варламовой, Н.М.Воробьёвым, Н.Г.Грековой, Е.Н.Дерябиной, Т.Р.Ершовой, Н.П.Ершовым, В.П.Епифановой, Л.Н.Журавлёвой, О.Н.Карасёвым, И.Г.Ковкуто, О.Л.Колесником, А.Н.Косолаповым, С.И.Кочергиным, Б.Н.Князевым, П.И.Красновым, П.С.Логвиненко, В.А.Лавровым, И.И.Майоровым, Т.Н.Макаровой, Н.В.Медуновым, С.Г.Мигалиным, П.В.Мосаковским, Л.К.Мушкетовой, А.М.Нефёдовым, Ю.А.Ногтиковой, Е.Ф.Панюковым, В.Ф.Парфёновым, Т.С.Перегудовой, В.В.Пироговой, Д.М.Рыбас, В.А.Садовым, Е.Ф.Семянниковым, Е.М.Сидоровым, А.П.Скрипником, З.И.Смирновой, А.А.Соколовым, Б.Н.Табаченковым, А.В.Тепляковой, В.И.Трифоновым, Н.П.Филипповым, И.Ф.Хаснутдиновым, И.И.Шаболдо, А.И.Швецом.

*Многолетний опыт работы НИИ физических проблем показал, что ориентация на широкий спектр исследований в институте позволяет правильно принимать решения при выборе направлений работ и целенаправленно вкладывать средства в создание электронных приборов новых поколений и высоких технологий в электронной отрасли промышленности.*

*Статья подготовлена коллективом авторов – сотрудниками института. В статье также использованы материалы предыдущих юбилейных выпусков, поскольку историческая значимость этих материалов не утратила своей актуальности.* ●