



ОДНОЙ ДОРОГОЙ С ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКОЙ. К ЮБИЛЕЮ АЛЕКСАНДРА НИКОЛАЕВИЧА САУРОВА ONE WAY WITH DOMESTIC MICROELECTRONICS. ON THE ANNIVERSARY OF ALEXANDER NIKOLAEVICH SAUROV

DOI: 10.22184/1993-8578.2019.12.7-8.400.405

Получено: 4.12.2019 г.



В начале января исполняется 60 лет Александру Николаевичу Саурову – директору Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нанотехнологий микроэлектроники Российской академии наук (ИНМЭ РАН), действительному члену Российской академии наук. Выдающемуся ученому и разностороннему человеку. Его многолетняя плодотворная научно-исследовательская и организаторская деятельность высоко

оценивается научным сообществом и государством. Сауров Александр Николаевич награжден Орденом "Знак Почета", Орденом Александра Невского, медалями ордена "За заслуги перед Отечеством" I и II степеней, А.Н.Саурову трижды присуждалась премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники. Каким был путь к этим вершинам? Какие качества приводят современного ученого к признанию? Что создано за эти годы? О служении и верности науке, о научной интуиции, о лидерстве и воле размышляем в преддверии юбилея замечательного ученого.

Early this January 60 years of age celebrates Alexander Nikolayevich Saurov, Director of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Institute of Nanotechnology of Microelectronics of the Russian Academy of Sciences (INME RAS), Full Member of the Russian Academy of Sciences, a prominent scientist and a man of many talents. His longstanding and fruitful scientific research work and managerial activity are highly appreciated by the scientific community and the state. Alexander Nikolayevich Saurov was awarded with Order of the Badge of Honour, Order of Alexander Nevsky, Medals of the Order of Merit for the Fatherland of the I and II class. Three times A.N. Saurov was the laureate of the RF Government Prize for achievements in science and technology. What was his road to such heights? What are the qualities that lead a contemporary scientist to general recognition? What has been done for these years? On the eve of the remarkable scientist's jubilee we all give a great deal of thought to his dedicated life, adherence to science, scientific insight, leadership and will.

Александр Николаевич родился в Ульяновске, в 1960 году, там же окончил среднюю школу. Путь в науку начался с поступления на физико-технический факультет Московского института электронной техники. Выбор специальности не был случаен – желание быть на передовой технического прогресса, увлеченность физикой и химией, а также любовь к технике подсказали, где проявить себя.

Будучи студентом третьего курса, Александр вошел в коллектив кафедры физики и технологии интегральных схем, где под руководством выдающегося ученого д.ф.-м.н, проф. Вернера Виталия Дмитриевича и к.т.н. Парменова Юрия Алексеевича принял участие в научно-исследовательских работах института. Уже на следующий год Сауров возглавил группу студентов старших курсов, проходящих практику в 182-й лаборатории НИИ молекулярной электроники – головного предприятия по разработке и производству твердотельных микросхем Министерства электронной промышленности. Интерес к технологии, способность к многофакторному планированию и оригинальность предлагаемых технических решений обеспечили поддержку студенческого коллектива со стороны руководителя лаборатории – к.т.н. Дягилева Владимира Николаевича, стоявшего у истоков создания и развития отечественной микроэлектроники. Спустя еще один год, в дополнение к исследовательским работам по тематике лаборатории, группа получила возможность формировать программу собственных экспериментальных исследований на площадке ведущего предприятия отрасли.

Окончив МИЭТ с красным дипломом, А.Н.Сауров поступил в аспирантуру и в 1988 году защитил кандидатскую диссертацию "Разработка и исследование самосовмещенных биполярных транзисторных структур для СБИС". Невероятно сложные и во всех смыслах тяжелые 90-е годы не оставили Александра Николаевича, и через 11 лет, в 1999 году, он защищает докторскую диссертацию "Методы самоформирования в микроэлектронике". Но научная деятельность являлась только частью непрерывного процесса развития молодого ученого-технолога.

Все друзья и соратники, сотрудники и исследователи, знакомые с Александром Николаевичем и работавшие с ним начиная со студенческих лет, неизменно вспоминают стройотряды, в которых ярко проявились его лидерские качества. Уже на втором курсе института Сауров стал комиссаром, а впоследствии – командиром трех линейных, вузовского и районного стройотрядов. Проявить себя в стройотрядах ему помогли целеустремленность,



ЛССО "Магистральный". 1983 год.

Linear Student Construction Team "Magistralny". 1983.

способность формировать команду, ставить и решать задачи, добиваясь конкретных результатов на каждом направлении. Вузовский стройотряд, возглавляемый Сауровым, дважды побеждал в социальном соревновании московских вузов.

Управленческий талант, развивающийся на первых руководящих должностях, проявился в способности Александра Николаевича формировать цель и план ее достижения, "заражать" своими идеями людей. Именно это впоследствии и стало фундаментом для формирования эффективных научных коллективов, спаянных идеями и устремленностью Александра Николаевича и открывающих новые направления развития техники и технологий.

В середине 80-х годов по инициативе института и при поддержке двух министров – электронной промышленности А.И.Шокина и высшего и среднего специального образования Е.П.Елютина обсуждался вопрос о создании пилотного проекта вузовского научного центра, в котором объединились бы усилия ученых и преподавателей института с целью проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и на базе которого проходили бы практику студенты, аспиранты, велась бы переподготовка преподавательских кадров. Первоначально на базе учебно-производственной лаборатории МИЭТ была создана отраслевая научно-исследовательская лаборатория (ОНИЛ, руководитель – Н.М.Луканов) по разработке технологий производства интегральных микросхем, оснащенная оборудованием, необходимым для выполнения отдельных технологических процессов, но не способным обеспечить замкнутый цикл их создания. А.Н.Сауровым, при поддержке ректора МИЭТ В.Д.Вернера, была предложена идея создания на основе опыта ОНИЛ интегрированного научно-исследовательского центра, объединяющего вузовских инженеров и ученых различных



специальностей и обеспечивающего полный технологический цикл разработки и создания электронных компонентов. Выбор пути развития, основанного на системной интеграции и впоследствии многократно оправдавшегося на практике, – заслуга А.Н.Саурова, яркое проявление его научной интуиции и таланта технолога и ученого.

В 1988 году Александр Николаевич, в возрасте 28 лет, решением В.Д.Вернера был назначен руководителем только что созданного Технологического отдела НИЧ МИЭТ, в течение короткого времени преобразованного в Научно-производственный комплекс "Технологический центр". Нацеленность на будущее, смелость в решениях, умение вдохновлять, убеждать, мотивировать людей и личная самоотверженность помогали А.Н.Саурову добиваться результатов в ситуациях, когда другие не видели шансов на успех. В короткое время под руководством А.Н.Саурова была укомплектована технологическая линия и создана инженерная инфраструктура кристалльного производства, разработаны стандарты управления оборудованием, процессами, технологической средой и качеством продукции. В течение последующих двух лет было поставлено более двухсот различных технологических процессов и осуществлена интеграция технологического маршрута изготовления КМОП микросхем базовых серий 1515 и 1806ХМ1. На тот момент ни один отечественный вуз не брался за решение такой масштабной и амбициозной задачи, какую удалось успешно реализовать в НПК "Технологический центр".

В это же время сформировался костяк учреждения – ученых, исследователей и организаторов производства, на долгие годы связавших свою творческую и профессиональную жизнь с Технологическим центром: Басаев Александр Сергеевич, к.ф.-м.н., ныне первый заместитель директора, главный инженер Дягилев Владимир Владимирович, к.т.н. Жирков Михаил Васильевич, Кузнецов Евгений Васильевич и главные конструкторы направлений: к.т.н. А.Н.Денисов (Интегральные микросхемы), к.т.н. В.В.Амеличев (Микросистемная техника), В.С.Суханов (Микроэлектронная аппаратура), а так же Шелепин Николай Алексеевич, д.т.н., профессор, сейчас – заместитель генерального директора по науке ОАО "НИИМЭ".

Для дальнейшего развития необходимо было определить перспективные научно-технологические направления, позволяющие создавать продукцию, востребованную экономикой страны.

Одним из направлений, выбранных руководителем Технологического центра и относящимся к области особых научных интересов Александра Николаевича, стала технология самоформирования и трехмерной интеграции, позволяющая радикально преодолеть порог литографического разрешения и создавать электронные компоненты, на годы опережающие по своей сложности мировой уровень. В качестве примера хотелось бы привести революционную для того времени идею молодого руководителя реализовать планарную ячейку памяти, состоящую из запоминающего конденсатора и управляющего транзистора, в вертикальном 3D-исполнении. Опередив время на десятилетие, А.Н.Сауров предложил технологию ячейки ДОЗУ, конструктивно реализуемую не в плоскости кристалла, а в узком цилиндрическом вертикальном канале, сформированном методами фотолитографии и глубокого анизотропного травления кремния в объеме кристалла. При этом конденсатор необходимой площади формировался на боковых стенках в нижней части канальной структуры, а один из его электродов был совмещен с заглубленным истоком МОП-транзистора, реализованного в 3D-исполнении в верхней части вертикального канала.

Еще одним направлением, основанным А.Н.Сауровым, стала разработка конструктивно-технологического базиса для создания миниатюрных датчиков физических величин, основанного на применении технологических процессов микроэлектроники и методов самоформирования. А.Н.Сауровым впервые в стране были сформулированы базовые принципы и преимущества технологии микроэлектроники в качестве перспективной платформы для создания микросистем:

- широкий технологический базис в части интеграции электронных компонентов на одном кристалле, возможность создания компактных многофункциональных систем в интегральном исполнении;
 - высочайшая прецизионность обработки;
 - возможность селективной микрообработки различных материалов с управляемой анизотропией процесса, обеспеченная успехами в области полупроводникового материаловедения и машиностроения;
 - управляемость и воспроизводимость процессов;
 - широкое применение групповых методов обработки;
 - развитая методологическая база для испытаний.
- Следствием использования технологии интегральной микроэлектроники для создания

микросистем впоследствии стали миниатюризация, функциональная сложность, надежность, низкие энергопотребление и себестоимость конечных изделий.

В 90-е годы государственное финансирование научных исследований катастрофически сократилось. В этих условиях Сауров лично работал с заказчиками, стараясь предсказать их будущие потребности и формировать спрос на продукцию. Под его руководством коллектив научился в сжатые сроки выполнять опытно-конструкторские и опытно-технологические работы и оказывать инжиниринговые услуги в новых условиях формирования рыночной экономики.

Заслуги коллектива были оценены по достоинству. В 1994 году произошло важное событие: Технологический центр – единственная в системе высшей школы РФ научно-производственная структура, реализующая в полном объеме проектирование и изготовление интегральных микросхем, получил статус государственного научного центра РФ, что обеспечило его финансовую устойчивость и возможность развития. Важную роль в принятии этого решения сыграл вице-премьер Правительства РФ, министр науки и технологий РФ Борис Георгиевич Салтыков. Проанализировав состояние отечественной науки, Б.Г.Салтыков выработал стратегию сохранения научного потенциала страны в тяжелых условиях переходной экономики. На основе изучения мирового опыта была разработана система отечественных научных центров, специализирующихся на критических областях науки и техники. Эта идея позволила создать систему Государственных научных центров Российской Федерации – ведущих отраслевых научных центров. В 1994 году указом Президента РФ Б.Н.Ельцина были созданы первые государственные научные центры, в числе которых был НПК "Технологический центр".

В то время под руководством А.Н.Саурова в Технологическом центре шла наработка собственного научного и технологического потенциала, формировался кадровый состав, отрабатывались конструкции и технология производства электронных компонентов и формировалось новое перспективное направление: проектирование и создание микросхем специализированного применения (в английской аббревиатуре ASIC: application-specific integrated circuit, "интегральная схема для конкретного применения"). В отличие от интегральных схем общего назначения, специализированные интегральные схемы выполняют функции, необходимые для конкретных устройств,



Начало строительства НПК "Технологический центр" МИЭТ. 1986 год

The beginning of the construction of SPC "Technological Center" MIET. 1986

вследствие чего происходит повышение их быстродействия и снижение массогабаритных параметров. Разработка конструкции базовых матричных кристаллов и проектирование полужаказных микросхем на их основе позволили в разы ускорить, удешевить разработку и выпускать востребованные и экономически рентабельные микросхемы даже в мелкосерийных, единичных объемах. Все это позволило учесть потребности производителей малотиражных электронных устройств и обеспечить широкую клиентскую базу для обеспечения функционирования центра.

В 2002 году исследователи и разработчики интегральных схем НПК "Технологический центр" стали лауреатами премии Правительства РФ за цикл работ по созданию элементной базы для разработки радиоэлектронной аппаратуры нового поколения.

Наличие полного производственного цикла и стратегическая ориентация на создание готовых продуктов позволили диверсифицировать направления научных исследований центра и, даже в условиях индустриального спада привлекать заказчиков из смежных отраслей промышленности. Идея объединения различных компонентов информационно-управляющих систем на платформе интегральной электроники и разработка технологий являлась одним из приоритетных, прорывных направлений центра. В результате проведенных исследований и опытно-конструкторских работ молодым научным коллективом Технологического центра была разработана концепция применения технологий микроэлектроники



Выдающийся ученый и педагог, доктор физико-математических наук, профессор Вернер Виталий Дмитриевич
 Prominent scientist and teacher, doctor of physical and mathematical sciences, professor Verner Vitaliy Dmitrievich

для создания микромеханических и микромагнитоэлектронных компонентов с одновременным осуществлением комплексных приборных разработок:

- разработаны конструкции десятков типов интегральных преобразователей физических величин и микроэлектронных датчиков различного назначения;
- апробированы специальные процессы и базовые технологии изготовления кремниевых интегральных микроэлектронных датчиков;
- внедрены в серийное производство интегральные преобразователи основных физических величин: давления, силы, ускорения и магнитного поля.

Выполненные научные исследования привели к созданию новых классов интегральных микроэлектронных приборов и развитию технологий, открывающих перспективные направления в технике. В 2007 году группе ученых и разработчиков НПК "Технологический центр" во главе с А.Н.Сауровым была присуждена премия Правительства РФ в области науки и техники за разработку и внедрение в серийное производство кремниевых интегральных микроэлектронных датчиков. А Технологический центр стал единственным в стране, разрабатывающим и выпускающим на промышленном уровне микроэлектромеханические однокристалльные сенсоры физических величин по технологии объемной микромеханики. В сотрудничестве с АО "Автоэлектроника" (г. Калуга) было выпущено

более миллиона датчиков давления, которые нашли применение в производстве автомобилей ВАЗ и КАМАЗ. Разрабатываемые и выпускаемые балочные тензопреобразователи были востребованы в акселерометрах (Летно-исследовательский институт имени М.М.Громова, г. Жуковский), в электронных весах (Арзамасский приборостроительный завод). Для небольшой организации, выросшей из вузовского подразделения, такой объем прикладных разработок, завершившихся промышленным выпуском, был поистине уникальным.

В настоящее время ГНЦ НПК РФ "Технологический центр" представляет собой эффективную, динамично развивающуюся организацию, которая прочно заняла в России нишу исследований и разработок в области микроэлектроники и микросистемной техники с упором на мелкосерийные специализированные микросхемы и микросистемы. Большим преимуществом и ценностью для заказчиков работ является наличие у Технологического центра собственного производства и сертифицированной системы менеджмента качества, что позволяет в кратчайшие сроки разрабатывать и выпускать новые микросхемы и микросистемы высокой степени надежности, в том числе - для космического применения. Достаточно сказать, что более 90% российских космических миссий за последнее десятилетие были осуществлены с использованием микросхем производства НПК "Технологический центр". Эти микросхемы используются в разгонных блоках "Бриз-М", космических кораблях "Союз" и "Прогресс" различных модификаций, спутниках системы "Глонасс" и многих других космических аппаратах.

В 2006 году произошло событие, которое во многом определило судьбу Александра Николаевича как ученого и руководителя. Решением Президиума РАН был создан Институт нанотехнологий микроэлектроники Российской академии наук (ИНМЭ РАН). Его появление явилось реакцией российского научного сообщества на тенденции и вызовы современной микроэлектроники, связанные с освоением новых материалов и технологий гетерогенной интеграции в микроэлектронике и микросистемной технике. Академиком-организатором нового института был назначен выдающийся российский ученый академик Гуляев Юрий Васильевич, его первым заместителем - Сауров Александр Николаевич. Конечно, исследования в этих направлениях велись и в НПК "Технологический центр", и в возглавляемом Юрием Васильевичем Институте радиотехники

и электроники имени Котельникова РАН, но создание ИНМЭ РАН позволило значительно интенсифицировать работы в новых направлениях, прежде всего – по перспективным технологиям кремний-углеродной наноэлектроники. В 2009 году директором ИНМЭ РАН был назначен А.Н.Сауров.

Бурный интерес к перспективам использования углеродных наноструктурированных материалов в электронике проявился еще на рубеже веков. А к моменту начала активной исследовательской деятельности ИНМЭ РАН пришло понимание о конечности просуществовавшей несколько десятилетий парадигмы развития микроэлектроники в рамках закона Мура. В складывавшихся условиях Сауровым была предложена концепция развития технологий самосовмещения и самоформирования, эволюционировавшая под действием собственных технологических достижений в области синтеза наноструктурированных материалов на основе углерода в подход, основанный на активном внедрении углеродных наноструктур, обладающих качественно новыми свойствами, в маршруты микроэлектронного производства. Таким образом, были сформированы основные принципы становления и развития новейшего направления технологий микроэлектроники – кремний-углеродных нанотехнологий.

Другим ключевым шагом в развитии ИНМЭ РАН стало определение Александром Николаевичем важности вопроса технологий создания сложнофункциональных систем с максимальной степенью интеграции. Уже 10-20 лет назад микроэлектроника представляла собой сложнейшую систему технологий и маршрутов производства, которые казались несовместимыми друг с другом в силу огромного количества факторов. За решение задачи их совместимости и было решено взяться силами научных коллективов, возглавляемых А.Н.Сауровым. В настоящее время данное направление признано самым перспективным на мировом уровне, по этому пути начинают идти все мировые технологические лидеры, а само направление приобрело четкое название и определение: технологии гетерогенной интеграции – расширение стандартных технологических маршрутов производства микроэлектроники путем добавления специфических операций, обеспечивающих возможность объединения ранее не совместимых технологий в единую производственную цепочку.

Под руководством Александра Николаевича в ИНМЭ РАН был создан и развивается уникальный комплекс аналитического и технологического оборудования, позволяющий решать сложнейшие научные задачи в области микроэлектронного



Научно-исследовательская лаборатория ИНМЭ РАН
Scientific Research Laboratory of INME RAS

материаловедения и разрабатывать технологии гетерогенной интеграции и кремний-углеродные нанотехнологии на базе собственных исследовательских линеек, обеспечивающих возможность работы с подложками диаметром до 300 мм.

В 2008 году А.Н.Сауров был избран членом-корреспондентом Российской академии наук по Отделению нанотехнологий и информационных технологий (ОНИТ РАН), 28 октября 2016 года – действительным членом РАН. Основные результаты научной работы А.Н.Саурова только за последние 10 лет представлены 38 патентами и 92 научными трудами, в том числе – в двумя монографиями: *Doping of Carbon Nanotubes* ("Легирование углеродных нанотрубок"), опубликованной издательством Springer в 2017 году, и "Физика полупроводниковых преобразователей", изданной Российской академией наук в 2018 году.

При чествовании юбиляра обычно принято отмечать его заслуги, достижения как бы с оглядкой на пройденный им жизненный путь, на прошлое. В ситуации с юбилеем Александра Николаевича не меньший интерес вызывает будущее, основанное на тех исследованиях и разработках новых технологий и приборов, которые ведутся им лично и коллективами возглавляемых им двух ведущих российских центров микроэлектроники и нанотехнологий.

С наступающим юбилеем, уважаемый Александр Николаевич! Новых творческих достижений и научных прорывов!

С уважением,
редколлегия журнала "НАНОИНДУСТРИЯ"