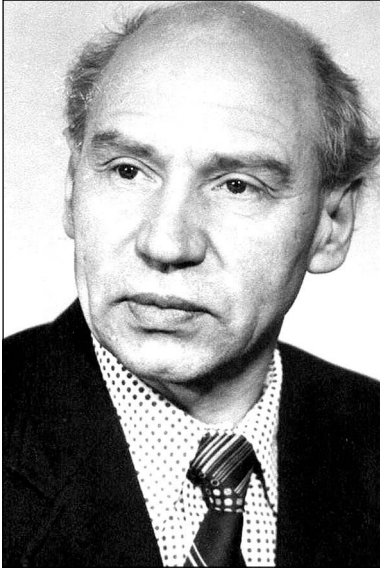


ВОСЛЕД УШЕДШИМ

Полвека в радиационной физике полупроводников

17 января исполнилось бы 80 лет Леониду Степановичу Смирнову, доктору физико-математических наук, профессору, лауреату Государственной премии СССР, Заслуженному деятелю науки и техники РСФСР. Он не дождал до своего юбилея два месяца.



Леонид Смирнов родился 17 января 1932 года в старинном уральском селе Хомутино Челябинской области. Семья была большая и дружная. Связь Л.С. Смирнова с родным селом не прерывалась всю его жизнь. Здесь было начало всему: увлечения охотой, рыбалкой, поэзией, живописью и, конечно, спортом.

В 1949 году Л.С. Смирнов поступает в Ленинградский государственный университет, после окончания которого в сентябре 1954 года он был принят в ФИАН, в лабораторию полупроводников, возглавляемую академиком Б.М. Вулом. В ФИАНЕ он попал в группу «Действие излучений на полупроводники» (руководитель — д.ф.-м.н. В.С. Вавилов), что и определило его научные интересы на протяжении последующих лет. Группа занималась разработкой сплавных германиевых транзисторов, вопросами превращения солнечной энергии и энергии радиоактивного распада в электроэнергию. В 1956 году Л.С. Смирнов был уже младшим научным сотрудником, в 1961 году защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Действие быстрых электронов на электрофизические свойства германия».

В конце 50-х годов появились идеи управления свойствами кристаллов путем облучения быстрыми частицами. Первые эксперименты по облучению полупроводников быстрыми частицами привели к интересным и непонятным тогда эффектам. В 1962 году Л.С. Смирнов принимает предложение А.В. Ржанова о переезде в Новосибирск. В новом институте (тогда он назывался Институтом физики твёрдого тела и полупроводниковой электроники), а с 1964 года — Институтом физики полупроводников) Леонид Степанович организовал и возглавил лабораторию радиационной физики, успешно проработавшую под его руководством в течение 40 лет.

На протяжении всей своей научной деятельности Л.С. Смирнов развивал представления о реакциях неравновесных точечных дефектов (вакансий и междоузельных атомов, вводимых облучением быстрыми частицами) между собой и другими несовершенствами структуры. Гипотеза о подвижности (миграции) элементарных точечных дефектов при комнатной температуре, а также при температурах, используемых при технологических обработках в полупроводниковой электронике, являлась основой постановки многих исследований в радиационной физике полупроводников. Началось положение публикацией «К теории аннигиляции радиационных дефектов» (А.В. Спицын, Л.С. Смирнов, ФТТ, 1962 г.).

Уже в 1966 году в лаборатории радиационной физики был закончен цикл исследований, начатый ещё в ФИАН по изучению процессов ионизации при облучении полупроводников быстрыми частицами. Были определены энергии образования неравновесных электронно-дырочных пар. Их значения для кремния оказались равными 3,9+/-0,4 эВ, для германия — 3,0+/-0,7 эВ. Показано, что температурные зависимости энергий ионизации незначительны. Эти данные легли в основу построения теории ионизационных потерь в

кристаллах и разработки детекторов частиц. Превышение в несколько раз величины энергии образования неравновесных электронно-дырочных пар по сравнению с шириной запрещённой зоны естественно было объяснено генерацией горячих носителей и их термализацией при взаимодействии с фононами. В 1969 году Л.С. Смирнов защитил докторскую диссертацию на тему «Радиационные эффекты в некоторых полупроводниках».

В то время актуальной также была проблема определения пороговой энергии смещения атомов из узлов при облучении материалов быстрыми частицами — энергии образования пары Френкеля: вакансии и междоузельного атома. Очевидно, что эта величина являлась ключевой в расчётах любых радиационных воздействий на материалы. Экспериментальные результаты многочисленных работ того времени давали значительный разброс величин пороговой энергии, которые в свою очередь не совпадали с экспериментальными данными по определению энергии активации образования равновесных точечных дефектов.

Постановка достаточно изящных экспериментов по слежению за введением доминирующего комплекса, включающего вакансию (А-центр в кремнии — комплекс вакансии — кислород), позволила решить одну из самых дискуссионных проблем по величине пороговой энергии. Величины пороговой энергии при комнатной температуре для кремния оказались равными 20,4 эВ при ориентации пучка электронов вдоль направления {111}. Оказалось, что пороговые энергии имеют заметную температурную зависимость и слабо зависят от кристаллографической ориентации. Так, в кремнии пороговая энергия уменьшается в два раза при повышении температуры от комнатной до 700 градусов Цельсия.

В начале 60-х годов в мире активно начинались работы по реализации красивой идеи, предложенной в 50-х годах и заключающейся в использовании ускорительной техники для введения нужных элементов в полупроводники. Очевидная привлекательность такого метода заключалась в осуществлении легирования полупроводников на необходимую глубину любыми элементами из таблицы Менделеева с прецизионным контролем уровня вводимой концентрации элементов. Лаборатория радиационной физики включилась в исследования по ионной имплантации, начав с конструирования и изготовления простых имплантеров. Однако реализация идеи встретила серьёзные проблемы, связанные, прежде всего, с большим количеством дефектов, приходящихся на каждый внедрённый элемент. Эти проблемы вызвали обоснованный скептицизм в возможности реализации многих предсказываемых достоинств ионной имплантации, особенно у представителей предприятий полупроводниковой электроники. Исходя из практических результатов ионной имплантации, они говорили, что ионная имплантация может служить только как метод создания чистых источников легирующих элементов для последующей диффузионной разгонки в монокристаллический полупроводник из дефектного слоя, нарушенного ионным облучением. Что касается самого дефектного слоя, то его изучение оценивалось как бесперспективное направление. Очевидно, что такая перспектива значительно сужала возможности ионной имплантации, прежде всего в создании легированных слоев с толщиной нанометрового масштаба.

Исследования, проведенные в лаборатории Л.С. Смирнова, привели к обнаружению эффектов захвата (вбивания) примесных атомов, адсорбированных на поверхности, описанию особенностей диффузии примесей из слоев, насыщенных радиационными дефектами; доказательству, что вторичные эффекты (реакции в дефектно-примесной подсистеме) доминируют в формировании профилей распределения внедрённых примесей по глубине легируемого слоя. Были обнаружены и объяснены эффекты аморфизации и рекристаллизации, эффекты больших доз и импульсной ориентированной кристаллизации. Разработаны осно-

вы создания уникальных структур, синтезируемых из ионных пучков, такие как, например, «кремний-на-изоляторе».

Признание успехов в работе по этой проблеме особенно ярко проявилось на двух Советско-американских семинарах по ионной имплантации (1977 г. и 1979 г.), в которых значительное представительство отводилось сотрудникам лаборатории радиационной физики Института физики полупроводников. Впоследствии в 1988 году Л.С. Смирнову в составе авторов была присуждена Государственная премия СССР за исследование и разработку импульсного (лазерного) отжига разупорядоченных ионной имплантации слоев, приведших к открытию эффекта импульсной ориентированной кристаллизации. В настоящее время технология ионной имплантации является фактически единственной в процессах легирования полупроводников при производстве изделий электронной техники. Импульсный (лазерный) отжиг стал также базовой технологией в создании различных схем и приборов, в частности, большеформатных матриц полевых транзисторов, используемых для управления жидкокристаллическими дисплеями при массовом производстве мониторов (телевизоров).

Результатом работы Леонида Степановича и его учеников является направление, родившееся на стыке физики твёрдого тела, физики и химии полупроводников и атомной физики. Это направление основано на фундаментальных явлениях и базе данных по взаимодействию быстрых частиц с твёрдым телом. На основе обнаруженных явлений были разработаны методы радиационной модификации и создания метастабильных систем. Практическими приложениями являются ионная имплантация, ядерное (трансмутационное) легирование материалов, импульсная обработка (перекристаллизация) материалов, ионный синтез, введение активных центров, создание разупорядоченных систем, радиационно-ускоренная диффузия, повышение стабильности материалов и приборов.

Начиная с 1972 года по инициативе и под руководством Л.С. Смирнова проводились ежегодные Всесоюзные семинары по радиационной физике полупроводников. Семинар стал смотром достижений за год, проверкой новых идей, обменом планами, знакомством с молодежью, форумом подготовки диссертаций. Активными участниками были специалисты Академии наук и вузов из Москвы, Ленинграда, Гатчины, Киева, Обнинска, Тбилиси, Ташкента, Риги, Вильнюса, Красноярска, Томска и, что важно — специалисты отраслевых министерств. Непринужденная, дружеская обстановка, бурные и плодотворные дискуссии, результативные контакты сделали семинар координационным центром по проблеме радиационной физики полупроводников в стране.

Почти 40 лет Леонид Степанович был членом специализированного Совета по защите кандидатских и докторских диссертаций Института физики полупроводников, много лет он руководил работой институтского семинара. Под его руководством защищено 36 кандидатских диссертаций, 9 его учеников стали докторами наук. Леонид Степанович является автором около 200 научных статей и четырёх монографий. Его книги переведены на разные языки мира. Особой его гордостью было издание монографии «Легирование полупроводников методом ядерных реакций» на китайском языке.

Леонид Степанович был человеком принципиальным. Он мог поступиться чем-то второстепенным, но для него всегда существовал нравственный барьер, за который он никогда не переходил. Леонид Степанович был очень активным человеком, любил природу, был заядлым охотником, автолюбителем, грибником. Увлекался игрой в теннис и шахматы. Организовывал и сам участвовал в разных спортивных мероприятиях. Память о нем навсегда сохранится в сердцах знавших его людей.

Академик А.Л. Асеев,
чл.-корр. РАН А.В. Двуреченский,
чл.-корр. РАН И.Г. Неизвестный,
д.ф.-м.н. Г.А. Качурин, д.ф.-м.н. В.П. Попов

Президиум
Сибирского отделения
Российской академии наук,
коллеги и друзья глубоко скорбят
по поводу кончины
Заслуженного ветерана СО РАН,
талантливого экономиста,
внесшего неоценимый вклад
в обеспечение
научных исследований
Сибирского отделения РАН



Светланы Анатольевны ЖУРАВЛЁВОЙ

Светлана Анатольевна более 30 лет проработала в Сибирском отделении РАН, из которых 18 лет на посту заместителя начальника Планово-финансового управления СО РАН. Все эти годы Светлана Анатольевна вкладывала свою душу, сердце и знания в развитие Отделения. Она осуществляла взаимодействие Президиума СО РАН и учреждений, входящих в Сибирское отделение. Её умение спокойно, доброжелательно и убедительно вести диалог позволяло найти решение проблем, связанных с финансированием деятельности учреждений СО РАН. Она всегда находила нужные слова и могла просто и доступно ответить на любой вопрос. В условиях экономической и социальной напряженности, сложившейся в стране в конце XX столетия, Светлана Анатольевна в составе коллектива единомышленников осуществляла стабильную многофункциональную работу Планово-финансового управления СО РАН и, как следствие, всего Сибирского отделения в целом. Её трудовая деятельность и социальная активность неоднократно поощрялись почётными грамотами и благодарностями Российской академии наук и СО РАН.

Мы всегда будем помнить её как высочайшего профессионала, в котором скромность и требовательность к себе сочетались с внимательным отношением и отзывчивостью к людям.

Выражаем искренние соболезнования коллегам, родным и близким.

Председатель Отделения
академик А.Л. Асеев
Первый заместитель
председателя Отделения
академик Р.З. Сагдеев
Главный учёный секретарь Отделения
академик Н.З. Ляхов

Коллектив Планово-финансового управления СО РАН глубоко скорбит в связи с безвременной кончиной заместителя начальника управления

ЖУРАВЛЁВОЙ Светланы Анатольевны

и выражает искренние соболезнования её родным и близким. Мы навсегда сохраним память о ней в своих сердцах.

Глубокую скорбь разделяют сотрудники аппарата Президиума, институтов и научных центров Сибирского отделения РАН.