

ПАМЯТИ Л. С. СМЕРНОВА (1932–2011 гг.)

17 января 2012 г. исполнилось бы 80 лет доктору физико–математических наук, профессору, лауреату Государственной премии СССР, заслуженному деятелю науки и техники РСФСР Леониду Степановичу Смирнову. Он не дожид до своего юбилея 2 месяца.

Леонид Степанович родился 17 января 1932 г. в старинном уральском селе Хомутино Челябинской области. В 1949 г. Л. С. Смирнов поступает в Ленинградский государственный университет, после окончания которого в сентябре 1954 г. он был принят на работу в ФИАН в лабораторию полупроводников. В 1956 г. Леонид Степанович был уже младшим научным сотрудником, а в 1961 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Действие быстрых электронов на электрофизические свойства германия».

В конце 50–х годов XX в. появились идеи управления свойствами кристаллов путем облучения быстрыми частицами. В 1962 г. Л. С. Смирнов принимает предложение А. В. Ржанова о переезде в Новосибирск, где планировалась организация нового института в Академгородке. В новом институте (тогда он назывался «Институт физики твердого тела и полупроводниковой электроники», а с 1964 г. — «Институт физики полупроводников») Леонид Степанович организовал и возглавил лабораторию радиационной физики, успешно проработавшую под его руководством в течение 30 лет.

На протяжении всей своей научной деятельности Л. С. Смирнов развивал представления о реакциях неравновесных точечных дефектов (вакансий и межузельных атомов, вводимых облучением быстрыми частицами) между собой и с другими несовершенствами структуры. Гипотеза о высокой 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.

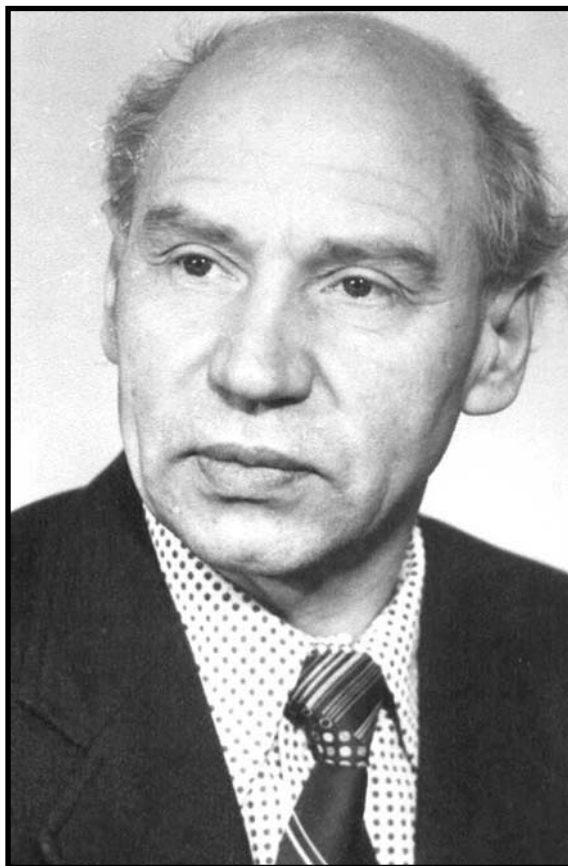
Уже в 1966 г. в лаборатории радиационной физики был закончен цикл исследований процессов ионизации при облучении полупроводников быстрыми частицами, начатый еще в ФИАН. Были определены энергии образования неравновесных электронно–дырочных пар. Также было показано, что температурные зависимости энергий ионизации незначительны. Эти данные легли в основу построения теории ионизационных потерь в кристаллах и разработки детекторов частиц. В 1969 г. 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 межузельного атома). Очевидно, что эта величина являлась ключевой в расчетах любых радиационных воздействий на материалы. Экспериментальные результаты многочисленных работ того времени давали существенный разброс значений 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 вакансия–кислород), позволила решить эту одну из самых дискуссионных проблем по значению пороговой энергии. Оказалось, что пороговые энергии имеют заметную температурную зависимость и слабо зависят от кристаллографической ориентации.

В начале 60–х годов XX в. во всем мире активно начинались работы по реализации красивой идеи, предложенной за 10 лет до этого, и заключающейся в использовании ускорительной техники для введения тех или иных элементов в полупроводники. Очевидная привлекательность такого метода заключалась в осуществлении легирования полупроводников на не-



обходимую глубину любыми элементами из таблицы Д. И. 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 серьезные проблемы, связанные прежде всего с большим количеством дефектов, приходящихся на каждый внедренный элемент. Эти проблемы вызывали обоснованный скептицизм в возможности реализации многих предсказываемых достоинств ионной имплантации, особенно у представителей предприятий полупроводниковой электроники. Исходя из практических результатов ионной имплантации, они считали, 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 наличие оценивалось как серьезный недостаток метода. Очевидно, что такой подход значительно сужал возможности применения ионной имплантации, в первую очередь в создании легированных слоев с толщиной нанометрового масштаба.

Проведенные в лаборатории Л. С. Смирнова исследования привели к обнаружению эффектов захвата 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 внедренных примесей по глубине легируемого слоя. Были обнаружены и объяснены эффекты аморфизации и рекристаллизации, эффекты больших доз и импульсной ориентированной кристаллизации. Разработаны основы создания уникальных структур, синтезируемых из ионных пучков, таких как, например, «кремний-на-изоляторе».

В 1988 г. Л. С. Смирнову в составе авторов была присуждена Государственная премия СССР за исследование и разработку импульсного (лазерного) отжига разупорядоченных ионной имплантацией слоев, приведших к открытию эффекта импульсной ориентированной кристаллизации. В настоящее время технология ионной имплантации является главной и фактически единственной в процессах легирования полупроводников при производстве изделий электронной техники в мире. Импульсный (лазерный) отжиг стал также базовой технологией в ведущих мировых фирмах — производителях различных схем и приборов, в частности большеформатных матриц полевых транзисторов, используемых

для управления жидкокристаллическими дисплеями при массовом производстве мониторов.

Результатом работы Леонида Степановича и его учеников является направление, родившееся на стыке физики твердого тела, физики и химии полупроводников и атомной физики. Это направление основано на фундаментальных явлениях и базе данных по взаимодействию быстрых частиц с твердым телом. На основе обнаруженных явлений были разработаны методы радиационной модификации и создания метастабильных систем. Практическими приложениями являются ионная имплантация, в том числе при создании сверхмелких $p-n$ -переходов; 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 г. 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 научной молодежью, форумом подготовки диссертаций. Активными участниками этих семинаров были специалисты Академии наук и вузов из Москвы, Ленинграда, Гатчины, Киева, Обнинска, Тбилиси, Ташкента, Риги, Вильнюса, Красноярска, Томска и, что особенно важно, специалисты отраслевых министерств.

Почти 40 лет Леонид Степанович был членом специализированного совета по защитах 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 — автор почти 200 научных статей и 4 монографий. Его книги переведены на разные языки мира и являются настольными в ведущих мировых лабораториях по данной тематике. 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 живым, активным и увлеченным человеком.

Память о Леониде Степановиче Смирнове навсегда сохранится в сердцах знавших его людей.

Коллеги, друзья, ученики