

УДК 930, 548.0 (575.2) (04)

РАЗВИТИЕ КРИСТАЛЛОФИЗИКИ В КЫРГЫЗСТАНЕ

М.М. Кидибаев – докт. физ.-мат. наук, чл.-корр. НАН КР,

Г.С. Денисов – докт. физ.-мат. наук,

Т.С. Королева – докт. физ.-мат. наук,

К. Шаршеев – докт. физ.-мат. наук

The history of Crystal Physics evolution in Kyrgyzstan for the last fifty years is described. The researchers of a National Academy of sciences have brought up various monocrystals and investigated their physical properties. The role of Alybakov A.A. in establishing the crystal physics laboratory is disclosed.

Памяти чл.-корр НАН КР А.А. Алыбакова посвящается

В 1954 г. в составе АН Киргизской ССР был организован Отдел физики и математики. Исследования в области физики проводились в двух направлениях – радиофизики (эти работы выполнялись под руководством канд. физ.-мат. наук М.Т. Турусбекова) и физики твердого тела. Заведующим отделом был доктор физико-математических наук, профессор Ю.С. Терминасов, он же руководил работой лаборатории физики твердого тела. В 1954–1960 гг. в этой лаборатории проводились рентгенографические исследования по физике металлов, в частности, исследовались износостойкость и усталость сталей различных марок. В 1959–1960 гг. параллельно с исследованиями металлов в лаборатории начали изучать местные минералы, в частности, проводилось рентгенографическое исследование глинистых минералов и арагонитов некоторых месторождений республики.

В 1961 г. Отдел физики и математики был преобразован в Институт физики, математики и механики. Заведующим лабораторией физики твердого тела в составе этого Института был назначен канд. физ.-мат. наук Аскарбек Алыбаков. Он оставался бессменным руково-

дителем этой лаборатории в течение 32 лет, до своей кончины в 1993 г.

В начале 60-х годов в связи с интенсивным развитием лазерных технологий, радиационной дозиметрии и ЭВМ изменилось направление научных исследований, проводившихся в лаборатории физики твердого тела. Начались работы по выращиванию искусственных монокристаллов с заданными свойствами и исследованию их физико-механических свойств. Изменилось и название лаборатории – она стала называться лабораторией кристаллофизики. Основным объектом исследований стали ионные кристаллы, находившие применение в различных отраслях науки и техники. Всем сотрудникам лаборатории – от её руководителя канд. физ.-мат. наук А.А. Алыбакова до лаборантов – пришлось осваивать совершенно новое направление и новые методы исследования. А.А. Алыбакову помогли канд. физ.-мат. наук В.М. Буйко, младшие научные сотрудники Ы. Шамырканов и В.А. Губанова. Установились прочные научные связи с Институтом кристаллографии АН СССР, в частности, с лабораторией оптических монокристаллов, которой руководил профессор

Л.М. Беляев. В этой лаборатории во время научных командировок осваивались методы выращивания кристаллов и исследования их оптических свойств. Первые измерения спектров поглощения и люминесценции выращенных кристаллов были проведены в Москве. Исследования механических свойств кристаллов проводились во Фрунзе (Бишкеке) – эти методы были хорошо знакомы сотрудникам лаборатории.

Использовались два метода выращивания кристаллов – из водных растворов и из расплавов. Из раствора выращивались кристаллы KDP, ADP, квасцов, перхлората калия, некоторых сульфатов и фосфатов щелочных металлов.



Рис. 1. В лаборатории кристаллофизики ИФ НАН КР. Справа налево: В.М. Буйко, А.А. Алыбаков, М.М. Кидибаев, Б.С. Умурзаков.

Первая установка для выращивания кристаллов из расплава методом Киропулоса была подарена лаборатории москвичами в порядке дружеской помощи. Первыми синтезированными кристаллами были хлориды натрия и калия. Затем удалось получить достаточно крупные чистые и активированные монокристаллы KBr, LiCl, LiI, NaBr, NaI и другие щелочно-галогенидные кристаллы.

Уже на стадии освоения методик выращивания кристаллов наши сотрудники внесли свою лепту в развитие кристаллофизики. В 1963 г. сотрудниками лаборатории совместно с инженером Института кристаллографии АН СССР Г.Ф. Добржанским было внесено усовершенствование в один из известных методов выращивания кристаллов из расплавов, позво-

ляющее получать кристаллы с малой плотностью дислокаций.

В 1966 г. впервые были синтезированы фториды лития, натрия и калия. Это был большой шаг вперед, поскольку вырастить такие кристаллы было очень сложно. Трудности заключались в том, что фториды при высокой температуре очень агрессивны и для их синтеза нужно особое оборудование.

Целью проводимых исследований было получение материалов с заданными свойствами, в том числе радиационно-стойких и радиационно-чувствительных. В этой связи исследовалось влияние различных преднамеренно вводимых примесей и радиационного воздействия (в основном рентгеновского облучения) на оптико-механические свойства синтезированных в лаборатории кристаллов. Изучались спектры оптического поглощения примесных и радиационных центров в ближней ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной области, спектры фото- и термостимулированной люминесценции и электронного парамагнитного резонанса, экзоелектронной эмиссии.

В результате изучения закономерностей образования и разрушения радиационных центров в кристаллах и влияния примесей на эти процессы было обнаружено и исследовано около 30 новых примесно-радиационных центров в ионных кристаллах, установлена их природа и локальная симметрия.

Совместно с сотрудниками радиологического отделения КиргНИИ онкологии и радиологии было проведено всестороннее исследование дозиметрических возможностей синтезированных в лаборатории кристаллов, подтвердившее их высокую эффективность и пригодность для клинического применения. В 1977–1978 гг. были получены первые авторские свидетельства на изобретения на нагревательное устройство для дозиметра и на новое вещество для термолюминесцентного дозиметра.

Было синтезировано и исследовано большое количество кристаллов, причем в большинстве случаев кристаллы такого состава были получены и изучены впервые в мировой практике. В частности, из расплавов выращены кристаллы фторидов, хлоридов и бромидов щелочных металлов, беспримесные и содержащие различные преднамеренно введенные примеси.



Рис. 2. Синтезированные кристаллы.

Из растворов выращены беспримесные и содержащие примеси кристаллы дигидрофосфата калия, сульфатов и бихроматов щелочных металлов. Исследования физических свойств этих кристаллов различными методами на тот период являлись пионерскими. На научные результаты, полученные в лаборатории, делают ссылки ученые других стран.

В начале 80-х годов при выращивании примесных кристаллов из расплавов были разработаны способы выращивания с наложением внешнего электрического поля, позволяющие не только повышать уровень легирования кристалла, но и вводить примеси в повышенном или пониженном зарядовом состоянии.

Особый интерес представляют монокристаллы фтористого лития и фтористого натрия с разными лигандами. Особое внимание уделяется кристаллам, активированным ураном. Эти кристаллы дают интенсивное зелено-желтое свечение при любом способе возбуждения. Кристаллы, легированные двумя примесями, одна из которых уран, идеально подходят для обнаружения как ультрафиолетового, так и ионизирующего излучения, включая пучки частиц. Для них характерен высокий световыход люминесценции и сцинтилляций.

Закономерным итогом комплексных исследований фундаментально-прикладных свойств ионных кристаллов явилась разработка новой активной среды для лазера, перестраиваемого по частоте в инфракрасной области спектра, отличающегося от существующих лазеров подобного типа высоким к.п.д., более широкой областью перестройки, низким порогом генерации и стабильностью работы при комнатной температуре; нового материала

для пассивных лазерных затворов, обеспечивающих эффективную модуляцию добротности лазеров на активированных хромом кристаллах сложных окислов; а также новые материалы для термолюминесцентной дозиметрии ионизирующих излучений в клинической практике; новые термоэлектронные эмиттеры и сцинтилляционные детекторы ядерных частиц, которые были запатентованы.

Полученные результаты нашли применение в КиргНИИ онкологии и радиологии, на заводе “Арсенал” в г. Киеве, в Институте онкологии им. Н.Н. Петрова (г. Санкт-Петербург), Научно-производственном объединении МосНПО “Радон”, в Новосибирском государственном университете, Институте теплофизики СО АН СССР, Уральском политехническом институте.

За цикл работ “Разработка и внедрение новых сцинтилляционных детекторов и термолюминесцентных дозиметров на основе активированных кристаллов фторидов щелочных металлов”, коллектив авторов (А.А. Алыбаков, М.М. Кидибаев, В.А. Губанова, Г.С. Денисов, Т.С. Королева) был удостоен Государственной премии Кыргызской Республики в области науки и техники за 2000 г.

Наиболее важными фундаментальными результатами, полученными нами, являются:

- Установлены важные кристаллохимические закономерности изоморфной активации кристаллов (Li,Na)F с основным активатором ураном, открывающие новую главу для правила малых подгрупп (Годовикова) таблицы Д.И. Менделеева. Установлено, что наиболее эффективными являются соактиваторы из подгрупп с наименьшими индексами d-переходных элементов, в частности, из подгрупп Ib1, Pb1, Pб1, IVb1, VПб1.

- Установлен характер эволюции зарядового состояния ионов урана в кристаллах фторидов лития и натрия. Предложены механизмы электронно-дырочных процессов, приводящие к этим аномальным эффектам.

- Установлены суперпозиционные эффекты в УФ-диапазоне, обусловленные наложением экситонного и активаторного свечения.

- Установлен механизм сцинтилляционного акта в кристаллах (Li,Na)F-U,Cu, связан-

ный с доминирующей ролью электронно-дырочного канала передачи энергии примесному центру и определяемый величиной эффекта размножения электронных возбуждений.

➤ Идентифицированы центры тетрагональной и моноклинной симметрии, ответственные за ЭПР в облученных кристаллах (Li,Na)F-U,Me. Предложены полученные с помощью метода ЭПР и оптической спектроскопии модели процессов агрегации, коагуляции F-центров с образованием коллоидальных частиц лития и натрия.

За это время в лаборатории подготовлено для республики 19 кандидатов наук. Фактически, в Кыргызстане была создана научная школа по кристаллофизике, представители которой продолжают исследования кристаллов в НАН КР и вузах республики.

В частности, усилиями профессоров М.М. Кидибаева и К. Шаршеева с 2000 г. в Иссык-Кульском государственном университете им. К.Тыныстанова (ИГУ) создана лаборатория физики твердого тела, которая успешно действует на протяжении ряда лет. Первым руководителем лаборатории был докт. физ.-мат. наук, профессор М.М. Кидибаев. В лаборатории сохранена преемственность, продолжены лучшие традиции и высокий уровень научных исследований в области кристаллофизики, заложенные в Национальной академии наук. Здесь освоены методы синтеза кристаллов из водных растворов и расплавов, исследуются примесные, ростовые и радиационные дефекты в кристаллических материалах различными оптическими методами и ЭПР.

Начало нового XXI века было знаменательным для дальнейшего развития кристал-

лофизического направления в НАН КР. Установлены международные связи с ведущими научными центрами дальнего зарубежья. Среди них: Университет Нью-Мексико, США; Лионский университет и фирма Fibercryst, Франция; Фраунгоферский Институт, Германия. Можно отметить сотрудничество в ряде проектов международных научных фондов. В частности, были получены гранты Международного научно-технического центра (грант МНТЦ #KR-994), НАТО, Академии наук Франции – CNRS, а также Российского фонда фундаментальных исследований.

В 2003 г. был начат цикл совершенно новых работ по синтезу и исследованию низкоразмерных волоконных и нанокристаллических структур, а также тонкослойных гетероструктур на базе соединений LiF и NaF. Эти работы выполнялись с использованием экспериментальных установок Уральского государственного технического университета – УПИ, Института электрофизики УрО РАН и Центра детекторных технологий (Россия, г. Екатеринбург), Института высокотемпературной электрохимии УрО РАН (Россия, г. Екатеринбург), Лионского университета (Франция, г. Лион), станции SUPERLUMI лаборатории HASYLAB, DESY (Германия, г. Гамбург), фирмы Fibercryst (Франция, г. Лион), Томского политехнического университета.

Впервые для решения задач синтеза волоконных фторидов щелочных металлов (Li,Na)F были использованы методы лазерного разогрева – Laser Heated Pedestal Growth (LHPG) и микровытягивания – Micro Pulling Down (μ -PD). Новые технологии выращивания кристаллов позволили получить детекторные

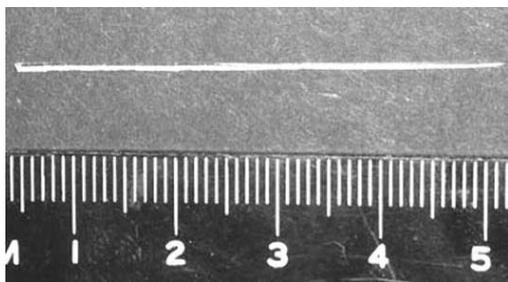


Рис. 3. Волокно NaF-U,Cu, полученное методом микровытягивания

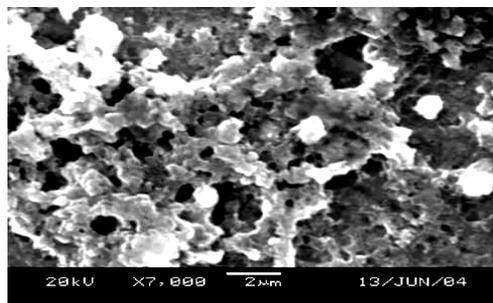


Рис. 4. Нанокристаллы NaF

материалы на основе фторида лития и фторида натрия в виде монокристаллических волокон диаметром: LHPG – 1 мм и μ -PD – 0,3 мм; длина волокон около 10 мм.

Впервые проведен синтез нанокристаллов фторидов лития и натрия методом лазерной абляции и плазменного распыления. Предложена модель для оценки размеров нанокристаллов синтезируемых данными методами.

Проводилось изучение структуры кристаллической решетки и морфологических особенностей поверхности полученных низкоразмерных образцов с использованием методов рентгеновской дифракции и электронной микроскопии; разработка моделей формирования структуры волоконных кристаллов.

Были исследованы радиационно-стимулированные свойства низкоразмерных гомогенных и гетерогенных структур. При этом потребовалось проведение комплексных сравнительных фундаментально-прикладных исследований структурных особенностей, радиационно-оптических свойств и диссипативных характеристик (генерация и распад возбуждений, дефектообразование) этих материалов под действием различных видов ионизирующего излучения (фото-, ВУФ-синхротронное, рентгеновское, электронное и ионное облучение). Исследованы спектрально-кинетические характеристики образцов с использованием методов время-разрешенной ВУФ-спектроскопии. Изучено влияние терморadiационных воздействий на процессы эволюции и трансформации дефектов и возбуждений в кристаллах фторидов лития и натрия, а также разработаны принципы направленной радиационной модификации люминесцентно-оптических, термолюминесцентных, сцинтилляционных и экзоэмиссионных свойств кристаллов LiF и NaF различной размерности. При анализе свойств низкоразмерных образцов известные сведения о свойствах объемных кристаллов LiF и NaF рассматривались как базовые.

Предложены и запатентованы новые оптоэлектронные, сцинтилляционные и напоминающие оптические среды и устройства – сцинтилляционные экраны сверхвысокого пространственного разрешения; детекторы ионизирующих излучений, включая волоконно-

оптические и планарные детекторы нового поколения; планарные и волоконные гетероструктуры многоцелевого назначения; светофильтры ближнего ИК-диапазона, а также способ получения сцинтиллирующего состава для регистрации нейтрино. Синтезированные материалы и разработанные устройства могут быть использованы для обнаружения источников нейтронов, радиоактивных веществ и делящихся материалов в системах радиационного мониторинга местностей и морских акваторий, в системах индивидуальной дозиметрии, контроля космического и техногенного нейтронного фона, для создания комплексов технического контроля за первичным ядерным топливом и за изделиями из делящихся материалов, в системах таможенного радиационного контроля.

Расширяя и углубляя научные исследования, развивая новые, неизвестные ранее области кристаллофизики (синтез и исследование волоконно-оптических, наноразмерных и пленочных материалов) сотрудники ИФ НАН КР хранят чувство благодарности и светлую память об основателе этого научного направления в Кыргызстане члене-корреспонденте, Заслуженном деятеле науки Кыргызской Республики, профессоре Алыбакове Аскарбеке Алыбаковиче. В знак искреннего уважения к этому выдающемуся ученому и замечательному человеку его ученики основали Летнюю школу по радиационной физике (SCORPh). Начиная с 1998 года Летняя школа традиционно проводится на Иссык-Куле. В ее работе принимают участие студенты и аспиранты не только из Кыргызстана, но и из Казахстана и России. С лекциями выступают ведущие ученые из стран СНГ, Германии, Франции и Чехии. SCORPh предоставляет студентам и молодым ученым уникальную возможность для обсуждения новейших результатов исследований и современных технологий, способствует привлечению молодых ученых в науку и дает им отличную возможность встретиться с известными учеными, участвовать в совместных дискуссиях, узнать “из первых рук” о перспективах развития науки.

Результатом работы Летней школы стал ряд совместных кыргызско-российских и кыргызско-казахских научно-технических проек-

тов для МНТЦ, а также научные стажировки ученых и аспирантов из стран СНГ в Германии и Франции. Большой интерес к SCORPh и поддержку их проведению оказывает МНТЦ, Фраунhoferский институт (Германия) и лично его директор профессор Михаэль Кренинг.

В 2008 г. традиционная конференция и Летняя школа SCORPh-2008 была посвящена

памяти выдающегося кыргызского физика профессора А.А. Алыбакова.

Ученые, работающие в области кристаллофизики, считают, что только наличие двух основных составляющих – приверженность лучшим традициям научной школы и развитие новых перспективных направлений, позволит поддерживать высокий уровень научных исследований и соответствовать общемировым тенденциям развития науки.