

**О РАБОТАХ ПО ФИЗИКЕ ТВЕРДОГО СОСТОЯНИЯ
В ТОМСКОМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

В. А. СОКОЛОВ

Исследования по физике твердого тела в Томске являются традиционными. Начало этим исследованиям было положено трудами профессора Б. П. Вейнберга, работавшем в Томском технологическом (теперь политехническом) институте с 1909 по 1924 год. В 1917—24 гг., также в Томском технологическом институте, начал свои первые исследования, тогда преподаватель кафедры физики, а впоследствии академик, В. Д. Кузнецов, который, заинтересовавшись под влиянием Б. П. Вейнберга вопросами физики твердого состояния, создал затем в Томском университете собственную, широко известную в СССР и за рубежом, школу физики твердого тела.

Уже в первые годы существования Советской власти В. И. Лениным был взят курс на создание в стране разветвленной сети научно-исследовательских центров. В 1923 году при Томском технологическом институте был организован научно-исследовательский институт прикладной физики (директор — проф. И. А. Соколов). В работах института принимали участие Б. П. Вейнберг, В. Д. Кузнецов, А. Н. Добровидов и др., основное направление работ было связано с запросами физики твердого тела. В 1928 году Институт прикладной физики был преобразован в Сибирский научно-исследовательский физико-технический институт (СФТИ) и придан Томскому государственному университету. Бессленным директором СФТИ более 30 лет был В. Д. Кузнецов.

Работы акад. В. Д. Кузнецова и его томских учеников (проф. М. А. Большаниной и др.) посвящены изучению поверхностной энергии кристаллов, внутреннему трению, диффузии, пластичности и прочности металлов, изучению механизма кристаллизации, внешнему трению и износу металлов и обработке их резанием. Главное направление этих работ — механические свойства твердых тел. В тридцатых годах под руководством проф. П. С. Тартаковского параллельно ставятся в СФТИ при ТГУ также работы по изучению электрических свойств твердых тел (диэлектриков). Из этих работ особенно большую известность получили исследования внутреннего фотоэффекта в диэлектриках.

В 1938 году после отъезда П. С. Тартаковского из Томска исследования электрических свойств твердых диэлектриков были развернуты

в Томском политехническом институте учеником П. С. Тартаковского профессором А. А. Воробьевым. Основным направлением этих работ тогда было изучение электрической прочности диэлектриков. Одновременно в СФТИ под руководством проф. К. А. Водопьянова велись исследования электрических потерь в диэлектриках. Вскоре А. А. Воробьевым в Томском политехническом институте был организован широкий фронт исследований не только электрических, но и других физико-химических свойств твердых диэлектриков. Так возникла Сибирская школа по физике диэлектриков.

Фронт работ по изучению физики твердого состояния в Томском политехническом институте был еще более расширен в последние 5—6 лет в связи с организацией проблемной лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников (ЭДиП) (научный руководитель — проф. А. А. Воробьев).

Создание этой лаборатории с приданным ей оборудованием и штатом научно-вспомогательного состава позволило не только усилить ранее существовавшие в ТПИ направления в изучении свойств твердого тела (электрическая прочность, механические и тепловые свойства диэлектриков), но и открыть новые направления исследований, как то: электроника и энергетика ионных структур, действие излучений на твердые материалы, химия твердого состояния, люминесценция диэлектриков и полупроводников.

Остановимся теперь на некоторых конкретных результатах работ по физике твердого состояния, выполненных в Томском политехническом институте.

В результате экспериментальных исследований электрических свойств диэлектриков А. А. Воробьевым совместно с Е. К. Завадовской были развиты и уточнены ионизационные теории электрического пробоя и показано, что электрическая прочность кристаллов возрастает с увеличением энергии решетки. Предложена согласующаяся с опытом теория, устанавливающая закономерную зависимость электрической прочности кристаллов от энергии решетки и экспозиции напряжения. Дальнейшее развитие теории электрического пробоя на основе представлений об ударной ионизации электронами привели А. А. Воробьева и его учеников Г. А. Воробьева, В. А. Кострыгина и других к неопровержимому экспериментальному подтверждению высказанной ранее акад. А. Ф. Иоффе идеи об упрочнении диэлектриков в тонких слоях. Это снова и вполне реально поставило на повестку дня вопрос о возможности создания тонкослойной высокопрочной изоляции.

В результате разработки (под руководством Г. А. Воробьева) и применения в ТПИ специальных генераторов, позволяющих получать высоковольтные импульсы различной длительности вплоть до 10^{-10} сек., удалось в последнее время проследить весьма тонкие подробности развития разряда в пространстве и времени, установить интересные аналогии в механизмах протекания разряда в газах и твердых телах (подобные аналогии следовали из ионизационной теории пробоя). Так, например, зависимость времени разряда от толщины для ряда ионных кристаллов аналогична подобной зависимости для газов. Установлено, что в твердых диэлектриках, так же как и в газах, при некотором малом критическом, межэлектродном расстоянии происходит смена одного механизма пробоя другим (в газах — это переход от стримерного разряда к таунсендовскому, в кристаллических диэлектриках — от лавинностримерного к многолавиностримерному).

Электрическая прочность является не единственным практически важным свойством материала. Как уже было отмечено, электрическая

прочность является функцией от энергии решетки и растет с возрастанием последней. Следует отметить, что, как показано в работах, выполненных под руководством А. А. Воробьева и Е. К. Завадовской, не только электрическая, но и механическая, термическая и химическая прочность также растут с увеличением энергии кристаллической решетки.

За последние годы в связи с запросами атомной энергетики все большее и большее значение приобретает радиационная прочность или, как теперь принято говорить, радиационная устойчивость материалов.

И здесь снова небезынтересно отметить, что в результате серии работ, выполненных в нашей проблемной лаборатории под руководством проф. Е. К. Завадовской, показано, что радиационная устойчивость кристаллов, как и их электрическая прочность, также закономерно связана с химическим составом кристаллов и существующими в них энергетическими связями, количественно определяемыми величиной энергии решетки.

Зависимость характера взаимодействия излучения с веществом от химического состава последнего наглядно выступает уже на примере его поглотательной способности, которая особенно большое значение имеет для материалов, применяемых в качестве радиационных защит.

Так, например, установлено, что вплоть до значений энергий излучения в 30 Мэв коэффициенты ослабления корпускулярного и электромагнитного излучения в щелочно-галлоидных кристаллах в зависимости от химического состава растут с увеличением атомного номера элементов, входящих в состав соединений.

От химического состава вещества зависит и глубина проникновения в него корпускулярных излучений. Экспериментальные исследования Б. А. Кононова и В. Н. Руденко для электронов энергии 5 ÷ 10 Мэв показали, что глубина проникновения электронов в щелочно-галлоидные кристаллы (в г/см²) уменьшается при переходе к галлоиду большего атомного номера и постоянном щелочном металле.

При взаимодействии излучения с диэлектриками в них запасается энергия, затрачиваемая на образование дефектов. А. В. Кузьминой показано, что запасенная в кристаллах энергия в результате воздействия γ -лучей во много раз превосходит величину запасенной энергии в кристаллах с меньшей энергией решетки. Установленный характер зависимости запасенной энергии от химического состава кристаллов хорошо интерпретируется с точки зрения различной устойчивости радиационных дефектов в кристаллах с неодинаковой энергией решетки и подтверждается результатами исследования плотности и устойчивости F -центров в кристаллах тех же составов. Так, С. К. Сало получила, что плотность F -центров при комнатной температуре и их устойчивость выше в щелочно-галлоидных кристаллах с большей энергией решетки. Вследствие большой устойчивости дефектов, наведенных излучением в кристаллах с высоким значением энергии решетки, измеренная в них запасенная энергия имеет большую величину.

В работах, выполненных под руководством доцента И. Я. Мелик-Гайказян, довольно подробно исследован механизм влияния дефектов на радиационную чувствительность ионных кристаллов в отношении их электрических и оптических свойств. Дефектность кристаллов менялась путем введения двухвалентных примесей. На примере большого числа систем показано, что зависимость плотности F -центров от концентрации примеси в рентгенизованных кристаллах изображается кривыми с максимумом. Объяснить физическую причину этих странных, на первый взгляд, зависимостей на основе ионных и электронно-дырочных представлений, удалось в результате комплексных исследований concentra-

ционных зависимостей электропроводности, спектров активаторного поглощения, микротвердости, параметра кристаллической решетки. Полученные данные представляют практический интерес с точки зрения возможностей применения щелочно-галогидных кристаллов (с добавками) в радиационных дозиметрах и кристаллических счетчиках.

Кристаллические дефекты влияют не только на радиационную стойкость, но и на многие другие свойства твердых тел.

В работах, выполненных в лаборатории ЭДиП и руководимых профессором П. А. Савинцевым, исследовано влияние дефектности структуры на контактное плавление и тепловые свойства кристаллов. Контактное плавление представляет собой одно из интересных явлений, возникающих при контакте твердых тел и заключающееся в том, что при соприкосновении разнородных кристаллов температура плавления их (в зоне контакта) становится значительно ниже температуры плавления наиболее легкоплавкой компоненты этой системы. Изучение этого явления в СССР впервые было начато в сороковых годах в Томском политехническом институте Д. Д. Саратовским и затем продолжено на более широкой экспериментальной основе П. А. Савинцевым.

Работами последних лет, выполненными в ТПИ, установлена значительная роль кристаллических дефектов в развитии процессов контактного плавления. Так, микроскопические исследования зоны контактного плавления показали взаимное проникновение атомов компонент по дефектам структуры кристаллов, в том числе по границам зерен, блокам и особенно по дислокациям, что более отчетливо удалось проследить на примере облученных объектов, в которых дефектность была увеличена за счет радиации. Следует отметить, что контактное плавление нашло уже применение в науке и технике. Так, например, оно широко применяется в фармацевтической промышленности для получения тугоплавких лекарственных систем и смесей, а также начинает использоваться в технике для получения сплавных контактов: металл — металл и металл — полупроводник.

В последние годы к дефектам в кристаллах все в большей и большей степени начинает привлекаться внимание не только физиков, но и химиков. Так, например, становится ясным, что в химии твердого тела кристаллические дефекты также играют значительную роль. При этом достаточно упомянуть, например, о явлениях катализа на полупроводниках, примесные дефекты в которых создают не только чисто физические, полупроводниковые свойства, но и обуславливают активное протекание процессов химического катализа. Но это далеко не единственный пример. Оказывается, что кристаллические дефекты заметно влияют и на другие химические процессы, в том числе на процессы термического разложения, что наглядно показано в работах, выполненных в ТПИ под руководством профессора В. В. Болдырева.

В этих работах обстоятельно изучено влияние на скорость термического разложения ионных кристаллов весьма разнообразных дефектов, как-то: макротрещин, фигур роста, вциналей, дислокаций, чужеродных примесей, ионных и электронных дефектов, а также изменений габитуса кристаллов. При этом установлено, что перечисленные кристаллические дефекты неодинаково влияют на термическое разложение твердого тела, в зависимости от того, к какому типу реакции принадлежит рассматриваемый процесс разложения, а именно — происходит ли оно за счет электронного перехода от аниона к катиону, или же распад имеет место в результате разрыва связей внутри катионной и анионной составляющей решетки. Оказывается, что в первом случае все вышеперечисленные дефекты заметно влияют на скорость термического разложения.

Во втором же случае это влияние носит более сложный характер и при определенных условиях протекания реакции может вообще не иметь места.

В работах В. В. Болдырева изучены и раскрыты и другие интересные и важные детали влияния дефектов на термическое разложение, а также на радиационно-химическую устойчивость твердых тел. Исследования Болдырева отмечены всесоюзной премией имени Д. И. Менделеева.

Другое направление работ по физике и физико-химии твердого тела в Томском политехническом институте связано с изучением люминесценции кристаллов под действием электрического поля (электролюминесценция) и под влиянием химически активных газов и пламен (кандолюминесценция). Руководитель работ — проф. В. А. Соколов.

В результате исследований по электролюминесценции, выполненных В. Л. Работкиным, показано сильное влияние свойств диэлектрика, применяемого в электролюминесцирующей ячейке, на характер электролюминесценции кристаллов в переменном и постоянном поле, установлена роль переходных металлов, применяемых в электролюминофоре в качестве активаторов и соактиваторов, что позволило синтезировать ряд новых электролюминофоров.

Исследования по кандолюминесценции (В. А. Соколов и А. Н. Горбань) привели не только к совершенно четкому решению ранее запутанной проблемы, но и положили основание для развития новой ветви учения о люминесценции твердого тела — теории радикало-рекомбинационной люминесценции кристаллофосфоров, тесно увязав ее с важной областью современной физико-хими-электронной теорией катализа на полупроводниках (работы проф. Ф. Ф. Волькенштейна).

Таковы кратко научные итоги работы проблемной лаборатории ЭДиП по физике твердого состояния.

За время существования проблемной лаборатории, т. е. с 1957 года, ее сотрудниками и аспирантами подготовлено и защищено 5 докторских и 25 кандидатских диссертаций. Печатная продукция лаборатории к настоящему времени составляет 16 изданных книг и монографий и около 400 статей, опубликованных, главным образом, в центральной научной периодической печати.

Следует отметить, что проблемная лаборатория ЭДиП довольно активно участвует в организации и проведении также и учебного процесса. Формы этого участия различны, однако главная из них — это широкое привлечение студентов к научно-исследовательской работе и выполнению курсовых и дипломных проектов. Так, в лаборатории ежегодно работает 100—150 студентов, половина из которых выполняет дипломные работы.

В лаборатории выполнено 18 хоздоговорных тем (по тематике лаборатории), получено более 30 удостоверений о регистрации авторских свидетельств. Сотрудниками лаборатории сделано более 200 докладов на научных конференциях. Причем лаборатория — не только участник таких конференций, но в ряде случаев их застрельщик и организатор. Так в 1962 году по инициативе проблемной лаборатории в Томском политехническом институте была проведена научная конференция по теме: «Действие излучений на свойства твердых материалов». Конференция мыслилась сперва как местная, задуманная для обмена собственным опытом в связи с поставленной в лаборатории задачей изучения радиационной устойчивости изоляторов и полупроводников. Однако в связи с большим интересом, проявленным к этой конференции со стороны

других вузов, она стихийно вылилась в конференцию межвузовскую, с участием представителей вузов и научно-исследовательских учреждений Томска, Иркутска, Новосибирска, Москвы, Тбилиси. Конференция прошла живо, интересно, на хорошем научном уровне. По материалам этой конференции Западно-Сибирский Совет по координации и планированию научно-исследовательских работ МВССО РСФСР издал межвузовский тематический сборник научных трудов.

В феврале 1963 года по инициативе и при активном участии работников проблемной лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников при Томском политехническом институте была организована и проведена Всесоюзная межвузовская конференция по физике пробоя диэлектриков и полупроводников, которая превратилась, по существу, в праздник для проблемной лаборатории, для института, для Томска в целом, куда съехались многочисленные представители различных вузов и научно-исследовательских институтов страны. В президиуме конференции можно было видеть известных ученых, работающих в этой области, являющихся прямыми учениками основоположника учения о диэлектриках и полупроводниках в Советском Союзе академика А. Ф. Иоффе, профессоров Б. М. Гохберга, В. И. Грановского, И. С. Стекольниковой, В. Т. Реннэ, О. М. Тодеса и др.

Общее число участников конференции около 500 человек. Сделано и обсуждено докладов — 164 (из них 40 докладов было сделано работниками нашей проблемной лаборатории).

Все это говорит о том, что работы ученых Томского политехнического института по физике твердого состояния вызывают немалый интерес, завоевывают все более пристальное внимание и поддержку со стороны широкой научной общественности нашей страны. За работами томских ученых по физике твердого состояния с интересом следят и за рубежом. Отмечая все это, мы прежде всего должны с благодарностью помнить об основателе Томской школы физики твердого тела — Владимире Дмитриевиче Кузнецове.
