

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**КАФЕДРА ЭЛЕКТРОНИКИ ТВЁРДОГО ТЕЛА
В САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
(к 80-летию кафедры)**

Под редакцией д-ра физ.-мат. наук, проф. А. С. Шулакова



ББК 32.85
К30

Авторы: В. К. Адамчук, О. М. Артамонов, А. П. Барабан, А. С. Виноградов, Г. Г. Владимиров, О. Ф. Вывенко, И. Е. Габис, А. С. Комолов, С. А. Комолов, П. П. Коноров, А. А. Павлычев, Е. О. Филатова, А. М. Шикин, А. С. Шулаков, А. М. Яфясов

Рецензенты: д-р физ.-мат. наук, проф. Ю. В. Чижов (СПбГУ); д-р физ.-мат. наук, проф. С. Д. Ханин (РГПУ им. А. И. Герцена)

*Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета физического факультета
Санкт-Петербургского государственного университета*

Кафедра электроники твёрдого тела в Санкт-Петербургском университете (к 80-летию кафедры) / под ред. А. С. Шулакова. — СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2012. — 278 с.
ISBN 978-5-288-05304-7

Сборник посвящен истории создания и развития кафедры электроники твердого тела физического факультета Санкт-Петербургского (Ленинградского) государственного университета и приурочен к ее 80-летнему юбилею. Образованная в 1930-м году как кафедра рентгеноскопии и электричества под руководством академика Петра Ивановича Лукирского, в настоящее время она является одной из самых крупных кафедр СПбГУ. В ее составе преподают и проводят исследования 18 профессоров и докторов физ.-мат. наук.

В книге описываются этапы развития кафедры, приведшие к ее современной структуре и направлениям деятельности. Отличительной особенностью кафедры является использование широкого комплекса физических методов для изучения закономерностей и механизмов формирования электронной и атомной структуры в сложных твердотельных системах различной размерности, в том числе в наноматериалах.

В сборнике дан обзор научных основ применяемых в лабораториях кафедры методов исследования твердотельных материалов. Приводятся сведения о структуре многоуровневой подготовки специалистов высшей квалификации.

Книга предназначена для широкого круга читателей и может использоваться как учебно-научное пособие студентами и аспирантами физического факультета.

ББК 32.85

ISBN 978-5-288-05304-7

© Авторы, 2012
© Санкт-Петербургский
государственный
университет, 2012

была стадия накопления опыта многообразного подхода к исследованию веществ и электронных процессов с квантово-механических позиций.

В годы Великой Отечественной войны кафедра электричества практически прервала свое существование. Почти с самого начала войны кафедра осталась даже без своего заведующего, так как В. М. Дукельский в июле 1941 г. был откомандирован в один из институтов Наркома боеприпасов и уволился из ЛГУ. Подробности и годы его жизни неизвестны.

1945–1957 гг. ВОЗРОЖДЕНИЕ

Первыми сотрудниками, вернувшимися после войны на кафедру в 1945 г., были И. Л. Сокольская и М. А. Румш, зачисленные на должности доцентов. Несмотря на исключительно тяжелые условия первого послевоенного времени — практически полное отсутствие оборудования, нехватка площадей, малочисленность сотрудников, — уже в 1946 г. была возобновлена прерванная научная работа.

Возрождение кафедры электричества связано с приходом на факультет в 1947 г. нового заведующего кафедрой, выдающегося советского физика, академика Александра Алексеевича Лебедева (фото 5). По его инициативе кафедра была переименована в кафедру электрофизики, что более точно соответствовало направлению её научной деятельности.

Родился Александр Алексеевич 27 ноября 1893 г. в Паневежесе, в семье директора реального училища. В 1916 г. окончил Петроградский университет и так же, как П. И. Лукирский, был оставлен «для приготовления к профессорскому знанию».

В 1918 г. на базе отдела фототехники Физического института и завода оптического стекла был организован Государственный оптический институт (ГОИ), в котором с самого основания и до конца жизни работал А. А. Лебедев, многие годы возглавляя организованный им сектор прикладной физической оптики. Отделение ГОИ от НИФИ произошло позже, в 1930 г. В 1922–1926 гг. Александр Алексеевич работал в качестве внештатного преподавателя, затем старшего ассистента кафедры физики, руководил дипломными работами студентов [6, 7].

Первая мировая война (1914) поставила Россию перед насущнейшей потребностью получения отечественного оптического стекла, ранее поставлявшегося из Германии фирмой «Карл Цейсс». Оставленный в университете после его окончания, в том же 1916 г. А. А. Лебедев по предложению профессора Д. С. Рождественского занялся исследованием влияния термической обработки на свойства стёкол — первоначально в Физическом институте университета, а впоследствии — в лаборатории цеха варки оптического стекла, созданного на Петроградском фарфоровом заводе и в ГОИ. В 1925 г. А. А. Лебедев был включён в группу

исследователей, работавших под руководством Н. Н. Качалова ещё с 1914 г. В группе работали А. И. Тудоровский, И. В. Обреимов, А. И. Стожаров, В. А. Фок и другие учёные. В 1926 г. было получено первое отечественное оптическое стекло, а в 1927 г. СССР смог отказаться от его импорта [7].

Эти работы указали на необходимость пересмотра вопроса о природе стеклообразного состояния вещества. В 1930–1931 гг. А. А. Лебедев девять месяцев находился в Англии на стажировке в Фарадеевской лаборатории под руководством лауреата Нобелевской премии профессора В. Г. Брэгга (The Davy Faraday Research Laboratory, Royal Institution of Great Britain, London) (фото 6). Основным методом изучения атомного строения вещества в лаборатории В. Брэгга была дифракция рентгеновских лучей. Однако незадолго до этого были опубликованы работы Д. П. Томсона и А. Рида, показавшие существование дифракции электронов. А. А. Лебедевым была предложена оригинальная схема, подразумевавшая фокусировку на фотопластинке магнитным полем пучков электронов, дифрагированных в кристалле. Как впоследствии рассказывал сам А. А. Лебедев, когда однажды зашёдшему в лабораторию Дж. Чадвику сообщили об этой идее, тот, немного подумав, заявил: «Ничего из этого не выйдет».

Через полгода в «Nature» была опубликована статья А. А. Лебедева с описанием опыта с фокусировкой электронных пучков магнитной линзой с экспозицией в несколько секунд [8].

В 1921 г., ещё до возникновения рентгеноструктурного анализа стеклообразных веществ или жидкостей, на основе изучения зависимости оптических свойств стёкол от температуры А. А. Лебедев высказал предположение о наличии в стекле микрокристаллических образований — кристаллитов. Эта гипотеза развивалась и детализировалась с усовершенствованием методов анализа и дискутируется до настоящего времени.

Летом 1934 г. под руководством А. А. Лебедева группа сотрудников Оптического института совершила экспедицию на гору Эльбрус, где были проведены работы по определению прозрачности облаков для разных частей спектра, по измерению интенсивности солнечной радиации в крайней инфракрасной части спектра (400 мкм), по исследованию изменения интенсивности зеленой линии неба во время ночи и в сумерки, и по определению яркости неба во время сумерек [9].

Дело в том, что данные по поглощению ИК излучения в парах воды указывали на возможность существования спектральной области малого поглощения, так называемого «окна прозрачности». Это окно позволило бы, например, видеть самолеты противника, скрытые облаками. Для натурного изучения поглощения ИК излучения А. А. Лебедевым была организована экспедиция в высокогорные области Кавказа, где в качестве поглощающей среды можно было использовать естественные облака. Было доказано, что в отличие от искусственных лабораторных облаков в естественных облаках ИК окон прозрачности не существует.

Круг научных интересов А. А. Лебедева был необычайно широк. Вот основные направления исследований, реализованные в ГОИ.

Эталон длины. Ещё во конце 1920-х годов по предложению Д. С. Рождественского А. А. Лебедевым совместно с М. Ф. Романовой была начата работа международного значения по измерению национального эталона длины — метра — в длинах световой волны. А. А. Лебедевым был предложен новый интерференционный метод сравнения, который превосходил по своему совершенству и удобству опыт Майкельсона, методы Сирса и Барреля. Число промежуточных эталонов такого метода сокращалось, что уменьшало составляющую общей его погрешности, а это, в свою очередь, дало малое число переходов от меньшего эталона к большему. Завершена эта работа была М. Ф. Романовой в оптической лаборатории ВНИИ метрологии Д. И. Менделеева, где и хранится этот национальный эталон.

Электронный микроскоп. Разработанный А. А. Лебедевым в 1930 г. метод, основанный на дифракции электронов, давал новые средства изучения вещества. В 1934 г. была начата работа по созданию электронно-оптических элементов электронного микроскопа, первый лабораторный образец которого собрали в ГОИ (фото 7). Прототип первого отечественного электронного микроскопа был создан в 1943 г. Эта модель легла в основу первой партии приборов, обеспечивающих увеличение до 25 000 раз при разрешении 100 Å, которую выпустили уже в 1946 г. С 1949 г. производство промышленного электронного микроскопа ЭМ-3 было окончательно налажено. За эту разработку А. А. Лебедеву и его сотрудникам была присуждена Сталинская премия.

Дальномер. До зарождения оптической локации в 1933 г. С. И. Вавиловым, в то время руководившим ГОИ, и А. А. Лебедевым была начата разработка прибора, позволявшего измерять расстояние по времени прохождения его светом. Александр Алексеевич предложил новый тип модулятора — интерференционный, который был более надёжен и мобилен, чем традиционный интерферометр Майкельсона, и выдерживал перевозку по вечно плохим российским дорогам. Первые испытания дали точность $\pm 2\text{--}3$ м измерения на дистанции 4 км. Это явилось началом оптической локации — радиолокаторы появились много позже.

Первое испытание прототипа светодальномера прошло в 1936 г. Новый толчок развитию этого направления дало появление оптических квантовых генераторов. Лазерные дальномеры были созданы в короткий срок, и уже в 1965 г. на Лейпцигской ярмарке демонстрировался первый в мире дальномер с источником излучения на основе арсенида галлия, созданный А. А. Лебедевым и его сотрудниками.

Поляризационный интерферометр. В 1940-е годы был разработан новый тип интерферометра — поляризационный, который сразу нашёл применение в минералогии, а также в исследованиях малых изменений показателя преломления стекол. А. А. Лебедевым была рассчитана поляризационная призма, позволяющая использовать оба поляризованных луча, что даёт значительное уменьшение потерь света.

Просветление оптики. Производственниками давно было замечено, что оптические детали, изготовленные несколькими годами ранее, при контрольном измерении давали лучшие показания, чем новые того же типа. Верное истолкование этого феномена дал А. А. Лебедев. Особенность незначительной гигроскопичности стекла сказывается на показателе преломления его поверхностного слоя. Отражённые двумя границами (воздух — поверхностный слой — стекло) световые потоки интерферируют, и отражённый свет ослабляется, а проходящий — усиливается, прозрачность системы возрастает.

С целью подтверждения этой гипотезы Александр Алексеевич предложил воспроизводить на отполированном стекле поверхностные слои. Гипотеза была блестяще подтверждена, в результате чего была найдена возможность ощутимого (до пяти раз!) снижения потерь в оптических системах, обусловленных отражением. На основе этих исследований в начале 1930-х годов были получены первые оптические детали из просветлённого материала, а оптическое приборостроение страны первым в мире начало применять методику просветления оптики.

Тепловидение. Александр Алексеевич положил начало направлению исследований, посвящённых тепловидению. Под его руководством были созданы оптико-электронные приборы, позволяющие наблюдать на экране электронно-лучевой трубки или при помощи индикаторного устройства изменения и неоднородность температуры произвольной поверхности. Тепловизор благодаря своей чувствительности даёт возможность фиксировать перепады в десятые и даже сотые доли градуса в пределах обычных комнатных температур. Эти приборы нашли широкое применение в медицине (диагностика), в различных производственных процессах, в научно-исследовательской практике.

«Основная черта большинства оборонных работ лаборатории А. А. Лебедева — оригинальность и остроумие принципов. Далее, для них характерны сочетание разнородных элементов (например, оптики и электричества) и исключительное искусство в преодолении трудностей. Очень немногие советские и иностранные физики могут быть сопоставлены с А. А. Лебедевым по искусству трудного и точного эксперимента» (из рекомендации академика С. И. Вавилова к избранию А. А. Лебедева действительным членом АН СССР. 15 мая 1943 г.).

К сожалению, большинство работ, выполнявшихся Александром Алексеевичем в ГОИ, были строго засекречены, поэтому неизвестны их детали (например, об исследовании быстротекущих процессов, создании установок и приборов, позволяющих фиксировать их фотоспособом через интервалы в сотысячные и миллионные доли секунды), практически отсутствуют открытые публикации.

Указы о наградах также часто имели закрытый характер. А награды у академика А. А. Лебедева были серьёзные: Герой Социалистического Труда (1957), 5 ор-

1945–1957 гг. ВОЗРОЖДЕНИЕ

денов Ленина (1945, 1953, 1953, 1957, 1959), 3 ордена Трудового Красного Знамени (1943, 1951, 1957), Ленинская премия (1959), 2 Сталинских премии (1947, 1949).

В 1943 г. Александр Алексеевич был избран действительным членом АН СССР, в 1944–1952 гг. исполнял обязанности научного руководителя НИИ Министерства электропромышленности, в дальнейшем Оборонной промышленности (НИИ-801, НИИ ПФ), в 1950–1956 гг. он депутат Верховного Совета СССР, в 1953–1956 гг. — заместитель председателя Совета Союза Верховного Совета СССР.

7 марта 1957 г. постановлением СМ СССР на кафедре электрофизики ЛГУ была образована проблемная лаборатория полупроводников, на оборудование которой было ассигновано 2 млн рублей. Научным руководителем этой лаборатории был назначен академик А. А. Лебедев, по инициативе которого она и была

создана. Возникновение этой лаборатории преобразило кафедру, и именно это событие может считаться **началом современной истории кафедры**.

Научным кредо А. А. Лебедева была многомерность, многоплановость проводимых исследований. Поэтому полученные финансовые и кадровые ресурсы были использованы для привлечения и разработки наиболее современных экспериментальных методов и методик исследования не только полупроводников, но и других материалов твердотельной электроники — диэлектриков и металлов, их контактов (межфазовых границ) и поверхностей. Способность ученого прогнозировать основные пути развития науки, технологии эксперимента и технологии промышленности, базирующаяся на высочайшем интеллекте и кругозоре, позволила безошибочно выбрать десятилетия назад взаимодополняющие друг друга эффективные экспериментальные пути решения проблем электроники твердого тела, актуальные и в настоящее время.

Предлагаемая им тема научных исследований всегда диктовалась прежде всего ее научной значимостью и актуальностью [9]. Выполнимость же задачи и конкретные пути ее решения отступали на второй план. Это не означало, конечно, что они совсем не обсуждались. Напротив, после того как сотрудник или аспирант уяснял суть задачи, переходили к обсуждению методов ее решения. Здесь талант Александра Алексеевича раскрывался с наибольшей полнотой.

Прекрасно чувствуя эксперимент, прекрасно осведомлённый обо всех имеющихся новейших методах и методиках, Лебедев, казалось, без труда не только выбирал лучшее решение, но предсказывал возможные трудности в ходе эксперимента и пути их преодоления. Такие качества, несомненно, были следствием огромной работы по умственному коллекционированию и анализу методик и неустанному внедрению их в практику научных исследований. При подобном методе ведения научной работы задача почти никогда не могла быть решена с помощью стандартных приборов, выпускаемых промышленностью и выдающих «стандартные» результаты.

Иное дело установка, сконструированная и изготовленная руками самих сотрудников с помощью механической мастерской, или стандартный прибор, модернизированный и усовершенствованный под решение поставленной проблемы. Именно на развитии методик, на умении находить экспериментальное решение возникающих задач предельной сложности воспитывались молодые сотрудники и аспиранты.