

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY



научная статья / research article
УДК: 001.62(091)+93/94
EDN: [FNRGJF](#)
DOI: 10.48612/RG/RGW.28.3.11


Научная специальность ВАК:
5.6.1. Отечественная история



Контент доступен под лицензией [Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License \(Cc By-Nc 4.0\)](#)
This work is licensed under [Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License \(Cc By-Nc 4.0\)](#)

Кафедра физической электроники СПбПУ: становление и развитие Ленинградской-Петербургской научной школы

Кефели Игорь Федорович 
Северо-Западный институт управления Российской академии народного хозяйства
и государственной службы при Президенте РФ
Санкт-Петербург, Россия
 geokefeli@mail.ru

Кorableв Вадим Васильевич 
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Санкт-Петербург, Россия
korablev@spbstu.ru

Аннотация

Введение. Научная школа – это исторически сложившаяся форма организации, где ключевыми аспектами выступают не только генерация научных идей, но и подготовка новых ученых для сохранения традиций, передачи знаний и обеспечения жизнеспособности науки как социально-исторической системы. Современная наука немыслима без организации и развития научных школ, представляющих собой организованные группы исследователей, которые создают и транслируют новые знания, обладают механизмом самовоспроизводства. Ярким примером научной школы в области естественных наук является кафедра физической электроники Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ).

Материалы и методы. Теоретико-методологической основой исследования послужила теория коммуникативных процессов в науке и концепции научной школы. Для анализа использованы публикации и материалы диссертаций сотрудников кафедры физической электроники СПбПУ. Для идентификации и анализа кафедры как научной школы применялись следующие методы: системный, сравнительный, историко-генетический, историко-типологический, метод исторической периодизации, а также социологический подход, рассматривающий научную школу как социальный институт.

Результаты. Анализ деятельности кафедры физической электроники СПбПУ подтвердил ее высокий статус как признанной научной школы, имеющей авторитет как в

России, так и за рубежом. Исследование показало, что на протяжении всей истории кафедры возглавляли авторитетные ученые (академик П.И. Лукирский, Л.Н. Добрецов, М.А. Еремеев, А.Р. Шульман), заложившие основы научной школы, ключевыми характеристиками которой являются: единство научных интересов, актуальность исследований, высокий уровень научных результатов, преемственность поколений и ведущая роль лидера в развитии новых направлений физической электроники.

Заключение. Организация и деятельность научной школы физической электроники СПбПУ обеспечивает подготовку первоклассных специалистов, демонстрирующих выдающиеся научные достижения, конкурентоспособных на международном уровне. Полученные результаты кафедры отчетливо отражают тенденции и закономерности развития данной научной школы. Сохранение и развитие ее богатого научного потенциала является необходимым условием для дальнейшего прогресса научных исследований в области физической электроники.

Ключевые слова: научные школы; естественные науки; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; Первый Петроградский политехнический институт имени М.И. Калинина; кафедра физической электроники

Для цитирования: Кефели И.Ф., Кораблев В.В. Кафедра физической электроники СПбПУ: становление и развитие Ленинградской-Петербургской научной школы // Россия в глобальном мире. 2025. Т. 28. Вып. 3. С. 182–198. DOI: 10.48612/rg/RGW.28.3.11.

© Кефели И.Ф., Кораблев В.В., 2025. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.

The Department of Physical Electronics, SPbPU: Formation and Development of the Leningrad-Petersburg Research School in Physical Electronics

Igor F. Kefeli ✉ 

North-West Institute of Management of the Russian Presidential Academy
of National Economy and Public Administration, Saint Petersburg, Russia
✉ geokefeli@mail.ru

Vadim V. Korablev 

Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia
korablev@spbstu.ru

Abstract

Introduction. A scientific school is a historically established form of organization where the key aspects are not only the generation of scientific ideas, but also the training of new scientists to preserve traditions, transfer knowledge and ensure the viability of science as a socio—historical system. Modern science is inconceivable without scientific schools, which are organized groups of researchers who create and transmit new knowledge and have a mechanism of self-reproduction. A striking example of such a school in the field of natural sciences is the Department of Physical Electronics at Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU).

Materials and Methods. The theoretical and methodological basis of the research was the work on the theory of communicative processes in science and the concept of a scientific school. The works of the staff of the Department of Physical Electronics of SPbPU are widely used. The following methods were used to identify and analyze the department as a scientific school: systematic, comparative, historical-genetic, historical-typological, historical periodization method, as well as a sociological approach that considers a scientific school as a social institution.

Results. An analysis of the activities of the SPbPU Department of Physical Electronics confirmed its high status as a recognized scientific school with authority both in Russia and abroad.

The study showed that throughout its history, the department has been headed by reputable scientists (academicians P.I. Lukirsky, L.N. Dobretsov, M.A. Ereemeev, A.R. Shulman), who laid the foundations of the school. The key characteristics of the school are: the unity of scientific interests, the relevance of research, the high level of scientific results, the continuity of generations and the leading role of the leader in the development of new areas of physical electronics.

Conclusion. The organization and activities of the Scientific School of Physical Electronics of St. Petersburg State University provide training for first-class specialists who demonstrate outstanding scientific achievements and are internationally competitive. The scientific results of the department clearly reflect the trends and patterns of development of this scientific school. The preservation and development of its rich scientific potential is a prerequisite for the further progress of scientific research in the field of physical electronics.

Keywords: Research Schools; Natural Sciences; Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University (SPbPU); First Petrograd Polytechnic Institute named after M.I. Kalinin; Department of Physical Electronics

For citation: Kefeli, I.F., Korablev, V.V. The Department of Physical Electronics, SPbPU: Formation and Development of the Leningrad-Petersburg's Research School in Physical Electronics. *Russia in the Global World*. 2025. Vol. 28. Iss. 3. P. 182–198. DOI: 10.48612/rg/RGW.28.3.11.

© Kefeli, I.F., Korablev, V.V., 2025. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.

Введение

Система подготовки высококвалифицированных кадров, способных к прикладным исследованиям, возникла в Советском Союзе в 1920-е гг. как ответ на необходимость использования в промышленности последних достижений науки и техники. Приоритет введения научной лаборатории в сферу высшего технического образования принадлежит академику Абраму Федоровичу Иоффе (1880–1960)¹. По его инициативе в Первом Петроградском политехническом институте имени М.И. Калинина был организован физико-механический факультет. Перед факультетом была поставлена задача подготовки инженеров-исследователей, обладающих глубокими знаниями по фундаментальным наукам: математике, физике и классической инженерной подготовке, а также получивших во время обучения достаточный опыт самостоятельной работы по решению конкретных научно-технических задач.

Для реализации этой идеи А.Ф. Иоффе предложил концепцию, основой которой является непосредственное включение в учебный процесс самостоятельной научно-исследовательской работы студентов по решению актуальных проблем науки и техники в действующих подразделениях под руководством ведущих специалистов. В сочетании с фундаментальной общетеоретической и инженерной подготовкой это должно было способствовать более глубокому усвоению теоретических знаний, обеспечивать приобретение навыков и умений творческой работы, позволять выявить и развить склонность выпускников к различным видам профессиональной деятельности и облегчить их последующую адаптацию при работе непосредственно на

¹ Смелов В.А. Политехнический институт. Тридцатые годы. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 356 с. С. 37.

производстве. Концепция, предложенная А.Ф. Иоффе, впоследствии подтвердила свою эффективность и получила широкое распространение.

В годы предвоенных пятилеток, в ходе индустриализации страны, была высокой потребность в высококвалифицированных инженерах-физиках [1]. По инициативе А.Ф. Иоффе [2] на факультете были созданы новые кафедры: радиофизики, физики диэлектриков, технической электроники. На них работали академики АН СССР: А.Ф. Иоффе, Н.Д. Папалески (1880–1947)², А.А. Чернышев (1882–1940) [3], члены-корреспонденты АН СССР Я.И. Френкель (1894–1952) [4], Д.А. Рожанский (1882–1936) [5]³, А.Ф. Вальтер (1898–1941)⁴, профессора П.С. Тартаковский (1895–1940)⁵, Н.Н. Циклинский (1884–1938)⁶. Все они заложили основы известных в Советском Союзе и за рубежом научных школ.

Обзор литературы

Современная наука неразрывно связана с развитием научных школ. Это положение становится особенно актуальным в XXI в., когда мировая наука достигла значительных успехов. Научная школа способна выступать отправной точкой для новых открытий и дать четкую перспективу дальнейшего развития науки. В качестве примера можно назвать отечественные научные школы в естественных науках: физической электроники во Фрязино⁷, Московском государственном университете⁸ и др. Следует отметить фундаментальное издание «Петербургская-Ленинградская школа электроники», посвященное развитию этой дисциплины в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого⁹. Издание состоит из трех разделов: «Академическая школа петербургской электроники», «Вклад ученых высшей школы Ленинграда-Петербурга в развитие электроники» и «Промышленные предприятия электроники Санкт-Петербурга».

Авторы данной публикации ставят перед собой задачу исследовать деятельность кафедры физической электроники Политехнического университета, рассматривая ее как научную «Петербургскую-Ленинградскую школу»¹⁰, а также проанализировать основные этапы ее становления и практические результаты деятельности.

² Храмов Ю.А. Физики: Биографический справочник / Под ред. А. И. Ахиезера. Изд. 2-е, испр. и дополн. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. С. 206.

³ Рожанский И.Д., Рожанская М.М., Филонович С.Р. Дмитрий Аполлинариевич Рожанский / Отв.ред. В.П. Визгин. М.: Наука, Научно-биографическая литература, 2003. 160 с.

⁴ Храмов Ю.А. Физики: Биографический справочник / Под ред. А. И. Ахиезера. Изд. 2-е, испр. и дополн. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. С. 54.

⁵ Рыцарь новой физики. К 100-летию со дня рождения П.С. Тартаковского // Вестник Российской Академии Наук. 1995. Т. 65. № 5. С. 443–451.

⁶ Циклинский Николай Николаевич // Большая советская энциклопедия. 3-е издание. М.: Советская энциклопедия, 1969. Том 28. [сайт]. URL: <http://bse.uaio.ru/BSE/2803.htm#p3143> (дата обращения: 05.08.2025).

⁷ Фрязинская школа электроники. К 80-летию электронной промышленности в наукограде Фрязино / Под ред. А. А. Борисова, сост. и подгот. к изданию А. Г. Михальченков. Москва: Янус-К, 2012. 624 с.

⁸ Кафедре физической электроники 85 лет. Юбилейный сборник. М.: Физический факультет МГУ, 2016. 88 с. [эл. доступ]. URL: <http://physelec.phys.msu.ru/files/books/physelec85.pdf> (дата обращения: 05.08.2025).

⁹ Петербургская-Ленинградская школа электроники / Глав. ред. Ж.И. Алфёров. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. 658 с.

¹⁰ Научная группа «Физическая электроника» // Высшая инженерно-физическая школа

Материалы и методы

Теоретико-методологической базой послужили работы, анализирующие понятие коммуникативных процессов в науке и, в частности, понятие научной школы. Широко использованы работы сотрудников кафедры физической электроники, позволяющие определить научные направления школы.

Для определения конкретной научной школы использованы следующие методы: системный, сравнительный, историко-генетический, историко-типологический, метод исторической периодизации, а также социологический подход, рассматривающий научную школу как социальный институт. Эмпирические методы стали основными для изучения научной школы. Анализ научных исследований, диссертаций; научно-методических работ, проведенные сотрудниками кафедры, позволили определить основные научные направления кафедры физической электроники университета.

Кафедру технической электроники в сентябре 1937 г. возглавил выдающийся физик, ближайший сподвижник академика А.Ф. Иоффе – профессор Петр Саввич Тартаковский¹¹. Это была первая в Советском Союзе научно-образовательная структура, призванная готовить инженеров-физиков для фундаментальных и прикладных исследований, направленных на разработку и создание новых электронных приборов и устройств в интересах бурно развивающейся электронной промышленности страны.

П.С. Тартаковский установил контакты с ведущими специалистами заводов, занимавшимися решением проблем создания и обеспечения радиотехнической промышленности страны современной элементной базой. Это позволило ему выделить ряд направлений научных исследований, на которые ориентировались сотрудники, аспиранты и студенты кафедры: эмиссия электронов твердыми телами (термо- и вторичная эмиссия, фотоэффект), газовый разряд, электронная проводимость полупроводников и диэлектриков, структурный анализ. Начались исследования, однако в октябре 1940 г. П.С. Тарковский скоропостижно скончался.

Второе рождение кафедры произошло в 1946 г., когда ее возглавил академик Петр Иванович Лукирский (1894–1954) [6]. Официально это произошло 1 сентября 1947 г. Он постарался наладить тесную связь с производством, в частности с заводом «Светлана». На кафедру были привлечены сотрудники завода, в цехах предприятия организована практика для студентов. Была возрождена работа по сочетанию фундаментального теоретического образования с самостоятельной научно-исследовательской работой студентов.

П.И. Лукирскому¹² удалось создать на кафедре сплоченный коллектив энергичных преподавателей и ученых: А.Р. Шульман¹³, Л.А. Сена¹⁴, В.Н. Лепешинская¹⁵, М.А. Ереев, В.М. Кельман¹⁶ продолжили заложенные им научные традиции. Был создан

СПбПУ: [сайт]. URL: <https://hsep.spbstu.ru/physel> (дата обращения: 05.08.2025).

¹¹ Политехник. 31.05.1995. № 14 (3139). С. 3.

¹² Храмов Ю.А. Физики: Биографический справочник / Под ред. А. И. Ахиезера. Изд. 2-е, испр. и дополн. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. С. 171.

¹³ Политехник. 23.06.1966. № 21 (1999). С. 3.

¹⁴ Политехник. 24.01.1997. № 1 (3179). С. 3.

¹⁵ Политехник. 04.06.1997. № 13 (3191). С. 1.

¹⁶ Храмов Ю.А. Физики: Биографический справочник / Под ред. А. И. Ахиезера. Изд. 2-е, испр. и дополн. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. С. 129.

прочный фундамент для продолжения начатых еще до войны исследований по важнейшим направлениям электроники. В их основу были положены идеи П.И. Лукирского, высказанные им в работе «О фотоэффекте» [7] и получившие впоследствии всеобщее признание:

1. Эмиссионная электроника позволяет не только улучшать характеристики различных электронных приборов и устройств, но и получать информацию о физико-химических свойствах эмиттера, включая его электронную и кристаллическую структуру.

2. Поверхность твердого тела, ответственная за все эмиссионные процессы, является особой «субстанцией» и должна отличаться по своим свойствам от массивного материала.

Эти идеи определили главное направление дальнейшего развития кафедры в области эмиссионной электроники вплоть до наших дней, что привело к конкретным результатам. В 1952 г. А.Р. Шульман предложил и применил на практике принципиально новый метод одиночных импульсов для исследования вторичной эмиссии диэлектриков, который впоследствии стал общепринятым [8]. В 1954 г. В.Н. Лепешинская опубликовала первые работы по вторичной эмиссии магниевых и бериллиевых сплавов, ставших в дальнейшем основными материалами, используемыми при создании отечественных вторично-электронных умножителей [9].

Заслуги П.И. Лукирского перед мировой наукой огромны. Можно привести только один пример: разработанный им метод сферического конденсатора подтвердил фотоэлектрическое уравнение Эйнштейна и дал точное для времени этих опытов значение постоянной Планка. Этот результат долгие годы входил во все таблицы физических величин во всем мире.

Академик П.И. Лукирский семь лет заведовал кафедрой, он внес большой вклад в формирование новой отрасли науки – физической электроники. Именно он в настоящее время признан родоначальником этого направления в науке. Его безвременная кончина оборвала исключительную плодотворную деятельность по становлению физической электроники в Политехническом институте.

С 1954 г. по 1960 г. кафедру возглавлял ученик П.И. Лукирского, Леонтий Николаевич Добрецов (1904–1968)¹⁷. Ему удалось укрепить связи с промышленностью и существенно улучшить материально-техническую базу кафедры. На ней была создана отраслевая лаборатория Министерства электронной промышленности.

Л.Н. Добрецов продолжил начатые П.И. Лукирским исследования по всем актуальным вопросам электроники, и, в первую очередь, полупроводников. Это направление привело к созданию в 1957 г. самостоятельной кафедры физики полупроводников и наноэлектроники [10].

Большое внимание Л.Н. Добрецов уделял изданию учебников для студентов [11]. Благодаря своему энциклопедическому характеру эти издания сохранили актуальность и в наши дни. Большое внимание на кафедре уделялось совершенствованию экспериментальной техники эмиссионной электроники, что позволило получить новые результаты мирового уровня [12].

¹⁷ Из российской глубинки – в науку: научная династия Келлей-Добрецовых / Редактор-составитель Н.А. Притвиц. 2-е изд., испр. и доп. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. 242 с.

С 1960 г. кафедрой руководил Михаил Александрович Еремеев (1902–1977)¹⁸. Он был приглашен в Политехнический институт в 1945 г. из Физико-технического института РАН П.И. Лукирским. На кафедре М.А. Еремеев активно занимался изучением взаимодействия ускоренных ионов с веществом, став основоположником этого направления [13]. Одним из важных результатов его исследований было установление того факта, что рассеяние ионов в твердом теле должно рассматриваться как результат парных взаимодействий между ионом и отдельными атомами [14].

М.А. Еремеев, начиная с середины 1950-х гг., совместно со своими учениками Н.Н. Петровым, И.А. Аброяном детально исследовал закономерности выхода в вакуум электронов (ионно-электронной эмиссии) из металлов, полупроводников и диэлектриков, облучаемых ускоренными ионами [15]. М.А. Еремеев в 1963 г. передал руководство кафедрой Аркадию Романовичу Шульману (1906–1970)¹⁹, руководившему кафедрой до своей кончины летом 1970 г.

В начале 1950-х гг. на кафедре вопросами эмиссии термо- и вторичных электронов активно занимались А.Р. Шульман, В.Н. Лепешинская, Н.Г. Баньковский. Со второй половины 1950-х гг. ряд сотрудников кафедры активно стали заниматься вопросами взаимодействия электронов широкого диапазона энергии с веществом: выделением из общего энергетического спектра вторичных электронов тех групп электронов, которые лежат в определенном интервале энергий, установлением роли потенциального барьера на границе *«твердое тело – вакуум»* в эмиссии электронов. Эти проблемы стали в центре внимания С.А. Фридрихова [16], В.Л. Борисова, Н.П. Бажановой, И.Р. Каничевой, М.Л. Капицы, Ю.А. Морозова, Д.А. Ганичева.

Были детально изучены механизмы взаимодействия медленных электронов с металлами, полупроводниками и диэлектриками (С.А. Фридрихов, Д.А. Ганичев [17], Н.П. Бажанова [18]), установлены особенности формирования энергетических спектров вторичных электронов в широком интервале энергий (С.А. Фридрихов, Н.П. Бажанова, Д.А. Ганичев, Ю.А. Морозов [19], М.Л. Капица), в исследованиях В.Л. Борисова [20] и В.Н. Лепешинской изучен широкий класс эффективных эмиттеров вторичных электронов.

Важным событием для кафедры стало создание на ней лаборатории электронной оптики (В.М. Кельман [21], К.Г. Уткин [22]). Это позволило решить вопросы, связанные с совершенствованием энергоанализа эмитированных электронов. Дальнейшее развитие существующих и разрабатываемых новых методов исследования вторично-эмиссионных параметров (ВЭП) твердых тел всегда было в центре внимания коллектива кафедры в течение многих десятилетий, что выдвинуло ее в ряд лидеров мирового уровня по данной проблеме.

На кафедре был разработан метод одиночных импульсов для исследования ВЭП диэлектриков, компенсационные методы регистрации ВЭП твердых тел, усовершенствованы методы регистрации спектров вторичных элементов.

¹⁸ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет – историко-культурный архитектурный памятник. Справочная книга / Составитель Н.П. Гербылева. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002. С. 24.

¹⁹ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет – историко-культурный архитектурный памятник. Справочная книга / Составитель Н.П. Гербылева. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002. С. 31.

К концу 1950-х – началу 60-х гг. с целью более детального изучения вопросов, связанных с установлением длины пробега электронов данной энергии в веществе, с их рассеиванием и поглощением, на кафедре были поставлены работы по вторичной электронной эмиссии «на прострел» (исследования И.Р. Каничева [23]). Они потребовали освоения методик приготовления тонких «свободных» пленок из исследуемых материалов, изготовления специальных экспериментальных приборов, конструктивно отличающихся от применяемых при исследовании ВЭП веществ в опытах «на отражение».

В те годы кафедра также являлась научным центром по исследованию эмиссионных свойств материалов. Были созданы лаборатория высокого вакуума, оборудованная 14 откачными установками, системами ВЧ-отжига²⁰, установками по напылению тонких пленок; стеклодувная мастерская; монтажная и механическая мастерская. Все это позволило изготавливать сложные экспериментальные приборы для любого направления исследований ВЭП веществ; многие из них оснащались энергоанализаторами, электронными пушками, масс-спектрометрами, высоковакуумными манометрами и средствами откачки. Все это оборудование конструировалось и монтировалось на кафедре.

Созданная на кафедре опорная лаборатория Министерства радиотехнической промышленности (впоследствии ставшая отраслевой лабораторией Министерства электронной промышленности) стала своеобразным связующим звеном кафедры с промышленными предприятиями. Более 30 лет лабораторию курировал заместитель директора НИИ «Исток» (г. Фрязино), выпускник Ленинградского политехнического института, академик Н.Д. Девятков (1907-2001). Сотрудники кафедры проводили научно-исследовательские работы в области катодной электроники для НИИ «Исток», НПО «Светлана», «Электрон» и других организаций. В выполнении этих работ участвовали все студенты старших курсов.

Стремительно совершенствовалась техника эксперимента: улучшались конструкции энергоанализаторов электронов, электронных пушек, методики компенсации локальных магнитных полей при работе с медленными электронами. Ю.А. Морозовым был создан уникальный, полностью автоматизированный комплекс по исследованию вторично-эмиссионных характеристик различных веществ [19]. Это было сделано еще до появления персональных компьютеров.

Организованный академиком П.И. Лукирским кафедральный семинар по актуальным вопросам эмиссионной электроники привлекал внимание ученых не только университета, но и других учебных и научно-исследовательских организаций города.

По инициативе Н.Д. Девяткова на кафедре была создана лаборатория физики газовых лазеров, которую возглавил С.А. Фридрихов. Тематика лаборатории была направлена на исследование физики активных сред газоразрядных лазеров (Т.М. Перчанок, Д.К. Терехин [24], А.Э. Фотиади [25], С.А. Фридрихов), взаимодействия лазерного излучения с веществом, в том числе и биологической природы (М.М. Бутусов [26], В.И. Малюгин, А.В. Соколов, А.Э. Фотиади [27], а также вопросов, связанных с развитием когерентной оптики (М.М. Бутусов, С.Н. Гуляев, Н.В. Ермаков, В.И. Малюгин).

²⁰ Высокочастотного отжига.

В то же время на кафедре начались работы по детальному исследованию вторично-эмиссионных свойств монокристаллов полупроводников (И.А. Аброян [28], А.И. Титов [29], В.В. Кораблев [30], Ю.А. Морозов) и тугоплавких металлов [31].

В период с 1965 по 1970 г. отчетливо проявился научно-методический опыт в изучении механизмов эмиссии вторичных электронов в энергетических спектрах эмитированных электронов. Основные результаты изучения анизотропии вторично-эмиссионных свойств монокристаллов (Ю.А. Морозов, В.В. Кораблев), требовавшие хорошо контролируемых поверхностей объектов исследования, были получены с применением передовых для того времени методов электронной спектроскопии – электронной Оже-спектроскопии (ЭОС)²¹ и спектроскопии потерь энергии электронов (СПЭЭ).

А.Р. Шульман и С.А. Фридрихов совместно начали работы над монографией, обобщающей накопленный опыт использования вторично-эмиссионных методов для диагностики поверхности различных металлов. Кончина А.Р. Шульмана в июне 1970 г. оборвала его работу над рукописью. С.А. Фридрихов завершил работу в 1975 г., и в 1977 г. книга была опубликована Главной редакцией физико-математической литературы издательства «Наука» [32]. Монография стала первой в СССР работой о современных методах исследования поверхности твердого тела с помощью электронных пучков. Она и сейчас пользуется большой популярностью среди тех, кто использует методы электронной спектроскопии и диагностику поверхности твердого тела.

В эти годы продолжали расширяться связи кафедры с промышленностью: НИИ «Прометей», Институт медико-биологических проблем в Москве, Институт ядерных исследований в Обнинске, НИИ «Электронстандарт».

На кафедре был внедрен растровый электронно-лучевой метод исследования распределения работы выхода по поверхности (В.В. Ионов [33], В.В. Кораблев [31]), позволивший расширить возможности исследования одной из важнейших макрохарактеристик поверхности.

Большой вклад в совершенствование электронной спектроскопии поверхности твердых тел (ЭСПТТ) внесла лаборатория электронной оптики и ее руководитель Ю.К. Голиков [34]. Лаборатория разрабатывала новые типы энергоанализирующих систем электронов, позволившие повысить энергетическое разрешение и чувствительность методов ЭСПТТ (С.Н. Давыдов [35], Н.К. Краснова).

В конце 1980-х – начале 90-х гг. вклад в развитие актуальных методов электронной спектроскопии поверхности внесли работы Н.П. Бажановой [18] с коллегами (В.В. Кораблевым, Е.Б. Осарковым). Речь идет о методах спектроскопии полного тока вторичных электронов, суть которых состоит в анализе тонкой структуры на кривых зависимости тока вторичных электронов от энергии первичных электронов.

В настоящее время кафедра активно занимается исследованиями в области полевой эмиссии с различных углеродных наноструктур. Ее принципиальное отличие от эмиссии с металлов заключается в существенно меньших электрических полях, определяющих пороги эмиссии. Необходима разработка новых теоретических

²¹ Оже-спектроскопия – по имени французского физика Пьера Виктора Оже, первооткрывателя эффекта распределения по энергии электронов на оболочках атомов.

представлений, лежащих в основе полевой эмиссии сложных наноразмерных углеродных систем. Это важно не только для понимания физических процессов, протекающих на поверхности углеродных эмиттеров, но и при разработке технологий создания нового поколения катодных материалов.

Кафедра совместно с Физико-техническим институтом им. А.Ф. Иоффе занимается изучением новых катодов на основе так называемого нанопористого углерода (НПУ), полученного термохимической обработкой различных карбидов. При этом в результате обработки из карбидной матрицы вытравливается карбидообразующий элемент, и остается углеродный остов, представляющий собой высокопористую систему с объемом до 70–75 % общего объема. Выявлены основные закономерности, связывающие эмиссионную способность получаемых на основе нано-пористых углеродных катодов с исходным материалом и параметрами термохимической обработки. Установлено влияние внешних воздействий на работоспособность полевых эмиттеров.

Впервые изучены эмиссионные характеристики тонких углеродных пленок, выращенных на полупроводниковых подложках (работы ведутся совместно с ЦНИИМ²²). Установлена роль покрытия и подложки в формировании эмиссионной способности полевого катода. Показано, что при толщине углеродного слоя в несколько нанометров уже нельзя пользоваться традиционными моделями электронного строения твердого тела; необходимо использовать формализм квантовых точек для описания полученной электронной подсистемы, которая в конечном итоге и ответственна за физические характеристики изучаемого объекта. Полученные результаты по полевой эмиссии таких систем по своим характеристикам в несколько раз превышают известные мировые аналоги. Объем полученных экспериментальных результатов позволяет приступить к разработке новых теоретических представлений о закономерностях полевой эмиссии наноразмерных структур.

Особо выделяется цикл работ, посвященных электронной эмиссии из полупроводников, которая не поддается описанию с позиций известных теорий эмиссии электронов (А.В. Архипов, С.Н. Давыдов, П.Г. Габдуллин, В.В. Кораблев). Сотрудниками кафедры была установлена зависимость электронной эмиссии полупроводников от структуры и распределения электроактивных дефектов в области в области пространственного заряда, и оценены изменения плотности эмиссионного тока от параметров системы (В.Б. Бондаренко, В.В. Кораблев). Определено влияние естественного размерного эффекта на состояние поверхности. Показано, что вследствие установления равновесного распределения заряженной примеси эмиссионный ток становится экспоненциально большим (П.Г. Габдуллин, В.В. Кораблев). Даны рекомендации по практическому использованию установленных закономерностей.

В настоящее время кафедра продолжает исследования подсистемы полупроводниковых структур в рамках одномерной модели изгиба зон (В.Б. Бондаренко, С.Н. Давыдов, А.В. Филимонов) [36; 37], что является подтверждением традиции научной школы. Важным направлением сегодняшних исследований стали фундаментальные разработки хаотического потенциала на поверхности полупроводников в различных условиях, которые показали

²² АО «Центральный научно-исследовательский институт материалов (ЦНИИМ)»: [сайт]. URL: <https://www.cniim.spb.ru/> (дата обращения: 01.08.2025).

необходимость проведения исследований гетероконтактов на основе нитридов (В.Б. Бондаренко, А.В. Филимонов) [38; 39]. Эти исследования позволили понять многие наблюдаемые закономерности поведения поверхностного потенциала, в частности, показать, в каких условиях хаотический потенциал перестает быть мелкомасштабным и необходимо учитывать частичную локализацию поверхностных состояний. Это новое направление в работе кафедры, с одной стороны, закрепляет приоритет научных разработок в этой области, с другой – подчеркивает преемственность научных исследований и в очередной раз закрепляет за кафедрой статус передовой научной школы в физической электронике.

Сотрудники кафедры физической электроники подготовили и опубликовали ряд учебных пособий по актуальным вопросам вторично-эмиссионной спектроскопии [40], физической электроники [41] и физики поверхности [42].

Результаты исследования

На основании проведенного анализа авторами выделены следующие этапы формирования научной школы в области физической электроники в Ленинградском политехническом институте (Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого):

1 этап – 1920–1940-е гг.: профессор П.С. Тартаковский, ближайший сподвижник академика А.Ф. Иоффе, создал первую в СССР научно-образовательную структуру для инженеров-физиков по разработке и созданию новых электронных приборов.

2 этап – 1946–1954 гг. связан с именем П.И. Лукирского, считающимся родоначальником отечественной физической электроники.

3 этап – 1954 – начало 1960-х гг. определяется научными разработками учениками П.И. Лукирского: М.А. Еремеевым, А.Р. Шульманом, Л.Н. Добрецовым.

4 этап – 1960 – начало 1990-х гг.: кафедра развивает научно-методический опыт, основанный на прочной связи с промышленностью, создаются новые лаборатории по изучению механизмов эмиссии вторичных электронов в энергетических спектрах эмитированных электронов.

5 этап – 1990-е – 2020-е гг.: кафедра разрабатывает новые направления: исследования в области полевой эмиссии с различных углеродных наноструктур, эмиссионные характеристики тонких углеродных пленок, а также были даны практические рекомендации по их использованию.

На современном этапе продолжаются исследования подсистем полупроводниковых структур, фундаментальные разработки хаотического потенциала на поверхности полупроводников.

На протяжении всей истории кафедру возглавляли авторитетные ученые (академик П.И. Лукирский, Л.Н. Добрецов, М.А. Еремеев, А.Р. Шульман), что обеспечило стабильное развитие научной школы.

Заключение

За время своего существования кафедра физической электроники Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ) подготовила свыше 50 докторов и более 100 кандидатов наук в области физической электроники и смежных дисциплин. Кафедра вносит значительный вклад в подготовку

высококвалифицированных кадров для научной и промышленной сфер как в России, так и за рубежом.

Продолжая фундаментальные исследования в области физики полупроводников, кафедра утвердила свой статус научной школы в данном направлении. Под руководством выдающихся ученых – академиков П.И. Лукирского, В.Е. Голанта, члена-корреспондента АН СССР Я.И. Френкеля, профессоров Л.Н. Добрецова, М.А. Еремеева, А.Р. Шульмана – были сформированы продуктивные научные коллективы. Дальнейшее развитие материально-технической базы школы связано с созданием специализированных лабораторий под руководством академиков Н.Д. Девяткова, В.М. Кельмана, профессоров К.Г. Уткина, С.А. Фридрихова. Важную роль в научной коммуникации играли регулярные научно-методические семинары с участием профессоров В.В. Кораблева, И.А. Аброяна, Н.Н. Петрова, а также студентов кафедры.

Авторы настоящего исследования разделяют позицию академика РАН А.В. Гапонова-Грехова, подчеркивающего значение научных школ и коллективов: «Наука бывшего СССР... была сильна в силу того, что... во многом сохранила ту структуру и традиции, в которых зародилась великая европейская наука начала XX в. Речь идет о той структуре науки, которая базируется на существовании и развитии научных коллективов и школ» [43. С. 74]. Опыт кафедры физической электроники СПбПУ Петра Великого может служить ярким подтверждением этой мысли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щекатунов О.В., Малыхин К.Г. Промышленные кадры России в 20–30-е годы XX века в отечественной историографии // Научный диалог. 2020. № 7. С. 431–449. <https://doi.org/10.24224/2227-1295-2020-7-431-449>. EDN: EREPZT.
2. Иоффе А.Ф. Отчет о работе физико-технического института // Успехи физических наук. 1936. Т. XVI. Вып. 7. С. 847–871. <https://doi.org/10.3367/UfNr.0016.193607c.0847>.
3. Рогинский В.Ю., Чернышёва М.А. Александр Алексеевич Чернышёв, 1882–1940. М.: Наука, 1998. 120 с.
4. Кесаманлы Ф.П. Ученые политехники, прославившие нашу страну. Член-корреспондент АН СССР Яков Ильич Френкель (К 120-летию со дня рождения) // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2014. № 1 (190). С. 246–254. EDN: SAGUTL.
5. Рожанский И.Д., Рожанская М.М., Филонович С.Р. Дмитрий Аполлинариевич Рожанский / Отв. ред. В.П. Визгин. М.: Наука, 2003. 160 с.
6. Мурин А. Академик Пётр Иванович Лукирский // Успехи физических наук. 1955. Март. Т. LV. Вып. 3. С. 289–298. <https://doi.org/10.3367/UfNr.0055.195503a.0289>.
7. Лукирский П.И. О фотоэффекте. Ленинград, Москва: Государственное технико-теоретическое издательство, 1933. 94 с.
8. Шульман А.Р. Исследование особенностей вторичной электронной эмиссии диэлектриков и металлов: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1956. 22 с.
9. Лепешинская В.Н. Вторичная электронная эмиссия эффективных эмиттеров из окиси магния и окиси бериллия на основе сплавов: дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина 1961. 367 с.
10. Ильин В.И., Фирсов Д.А. Полупроводниковая наноэлектроника в Политехническом университете // Петербургская–Ленинградская школа электроники / Глав. ред. Ж.И. Алфёров. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. С. 406–416.
11. Добрецов Л.Н. Атомная физика: учебное пособие для вузов. М.: Физматгиз, 1960. 348 с.

12. Добрецов Л.Н., Гомоюнова М.В. Эмиссионная электроника. Москва: Наука, 1966. 564 с.
13. Еремеев М.А. Исследование соударения ионов с поверхностью: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1953. 15 с.
14. Еремеев М.А. Испускание электронов и отражение ионов от поверхности металла // Доклады Академии наук СССР. 1951. Т. 79. С. 775.
15. Аброян И.А., Еремеев М.А., Петров Н.Н. Возбуждение электронов в твердых телах сравнительно медленными атомными частицами // Успехи физических наук. 1967. Т. 92. Вып. 1. С. 105–157. <https://doi.org/10.3367/UFNr.0092.196705e.0105>.
16. Фридрихов С.А. Исследование закономерностей эмиссии вторичных электронов в сильных электрических и магнитных полях: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1970. 25 с.
17. Ганичев Д.А. Исследование взаимодействия электронов малых энергий с металлами и полупроводниками: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1963. 18 с.
18. Бажанова Н.П. Упругое отражение электронов и вторичная электронная эмиссия системы вольфрам – окись бария при малых энергиях первичных электронов (1–150 эВ): автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1969. 18 с.
19. Морозов Ю.А. Отражение электронов средних энергий от твердых тел: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1973. 10 с.
20. Борисов В.Л. Вторичная электронная эмиссия окиси магния: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1964. 15 с.
21. Кельман В.М. Электронная оптика. 2-е изд., доп. М.: Наука, 1968. 176 с.
22. Уткин К.Г. Исследование электроннооптических систем с большой плотностью тока эмиссии методом моделирования на резиновой мембране: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский физико-технический институт, 1960. 13 с.
23. Каничева И.Р. Прохождение и обратное отражение электронов в тонких свободных пленках веществ: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1965. 12 с.
24. Терехин Д.К. Влияние магнитного поля на работу гелий-неонового лазера: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1970. 11 с.
25. Фотиади А.Э. Влияние магнитного поля на работу аргонового лазера: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1972. 15 с.
26. Бутусов М.М. Исследования структуры и динамики поверхностей методами голографии и когерентной оптики: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1975. 26 с.
27. Фотиади А.Э. Кинетика активных сред газоразрядных лазеров постоянного тока на переходах атомов и ионов: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. СПб.: Санкт-Петербургский государственный технический университет, 1993. 32 с.
28. Аброян И.А. Вторичная эмиссия и изменение электрических свойств некоторых полупроводников под влиянием ионной бомбардировки: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1963. 12 с.
29. Титов А.И. Взаимодействие заряженных частиц средних энергий с монокристаллическим германием: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1970. 12 с.
30. Кораблев В.В. Анизотропия вторично-эмиссионных свойств монокристаллов: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1971. 9 с.
31. Кораблев В.В. Влияние кристаллической структуры вещества на процессы рассеяния и эмиссии вторичных электронов: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1983. 32 с.

32. Шульман А.Р., Фридрихов С.А. Вторично-эмиссионные методы исследования твердого тела. М.: Наука. 1977. 550 с.
33. Ионов В.В. Исследование эмиссионных свойств поверхностей неоднородных эмиттеров растровым электронно-лучевым методом: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1976. 12 с.
34. Голиков Ю.К. Инструментальная корпускулярная оптика как основа экспериментальной физической электроники // Петербургская–Ленинградская школа электроники / Глав. ред. Ж.И. Алфёров. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. С. 416–421.
35. Давыдов С.Н. Электростатические системы монохроматизации и энергоанализа электронных потоков: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ленинград: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1990. 16 с.
36. Бондаренко В.Б., Давыдов С.Н., Филимонов А.В. Естественные неоднородности потенциала на поверхности полупроводника при равновесном распределении примеси // Физика и техника полупроводников. 2010. Т. 44. № 1. С. 44–47. EDN: [RCQANV](#).
37. Бондаренко В.Б., Филимонов А.В. Хаотический потенциал на поверхности компенсированного полупроводника в условиях самоорганизации электрически активных дефектов // Физика и техника полупроводников. 2015. Т. 49. № 9. С. 1223–1226. EDN: [UJMCHJ](#).
38. Бондаренко В.Б., Филимонов А.В., Kumar R. Хаотический потенциал заряженных дислокаций в гетероконтактах III-нитридов // Письма в Журнал технической физики. 2021. Т. 47. № 1. С. 12–14. <https://doi.org/10.21883/PJTF.2021.01.50450.18532>. EDN: [TXOREI](#).
39. Филимонов А.В., Бондаренко В.Б. Хаотический потенциал заряженных дислокаций в гетероконтактах III-нитридов при локализации двумерного электронного газа // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2024. Т. 17. № 1. С. 21–28. <https://doi.org/10.18721/JPM.17102>. EDN: [OKFJGU](#).
40. Бажанова Н.П., Кораблев В.В., Кудинов Ю.А. Актуальные вопросы вторично-эмиссионной спектроскопии: учебное пособие. Л.: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1985. 88 с. <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/si20-543>.
41. Кораблев В.В. Электронная Оже-спектроскопия: учебное пособие. Л.: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1973. 62 с.
42. Дорожкин А.А., Петров Н.Н. Ионная Оже-спектроскопия: учебное пособие. Л.: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1983. 72 с. <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/si20-991>.
43. Гапонов-Грехов А.В. Теорема существования. Размышления о науке и обществе. Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2001. 155 с.

REFERENCES

1. Shekatunov O.V., Malykhin K.G. Industrial Labour Force of Russia in 20–30s of XX Century in Russian Historiography. *Scientific Dialogue*. 2020. No. 7. P. 431–449. (In Russian). <https://doi.org/10.24224/2227-1295-2020-7-431-449>. EDN: [EREPZT](#).
2. Ioffe A.F. Otchet o rabote fiziko-tehnicheskogo instituta [Report on the Work of the Physics and Technology Institute]. *Uspehi fizicheskikh nauk* [Advances in Physical Sciences]. 1936. Vol. XVI. Iss. 7. P. 847–871. (In Russian). <https://doi.org/10.3367/UFNr.0016.193607c.0847>.
3. Roginsky V.Yu., Chernysheva M.A. Alexander Alekseevich Chernyshev, 1882–1940. М.: Nauka, 1998. 120 p. (In Russian).
4. Kesamanly F.P. Scientists-Polytechnics, Glorified Our Country. Corresponding Member of the AS USSR Yakov Frenkel (the 120th Anniversary of His Birth). *St. Petersburg Polytechnic University Journal of Engineering Sciences and Technology*. 2014. No. 1 (190). P. 246–254. (In Russian). EDN: [SAGUTL](#).
5. Rozhansky I.D., Rozhanskaya M.M., Filonovich S.R. Dmitry Apollinariyevich Rozhansky. Ed. by V.P. Vizgin. М.: Nauka, 2003. 160 p. (In Russian).
6. Murin A. Akademik Pjotr Ivanovich Lukirskij [Academician Peter Ivanovich Lukirsky]. *Uspehi fizicheskikh nauk* [Advances in Physical Sciences]. 1955. Vol. LV. Iss. 3. P. 289–298. (In Russian). <https://doi.org/10.3367/UFNr.0055.195503a.0289>.

7. Lukirsky P.I. O fotoeffekte [About the Photo Effect]. Leningrad, Moscow: Gosudarstvennoe tekhniko-teoreticheskoe izdatelstvo [State Technical and Theoretical Publishing House], 1933. 94 p. (In Russian).
8. Shulman A.R. Issledovanie osobennostej vtorichnoj jelektronnoj jemissii dijelektrikov i metallov [Investigation of the Features of Secondary Electron Emission of Dielectrics and Metals]. Author's abstract. dis. ... Doctor of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1956. 22 p. (In Russian).
9. Lepeshinskaya V.N. Vtorichnaja jelektronnaja jemissija jeffektivnyh jemitterov iz okisi magnija i okisi berillija na osnove splavov [Secondary Electron Emission of Efficient Magnesium Oxide and Beryllium Oxide Alloy Emitters]. Author's abstract. dis. ... Doctor of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1961. 367 p. (In Russian).
10. Ilyin V.I., Firsov D.A. Poluprovodnikovaja nanoelektronika v Politehnicheskom universitete [Semiconductor Nanoelectronics at the Polytechnic University]. *Peterburgskaja–Leningradszkaja shkola elektroniki [Petersburg-Leningrad School of Electronics]*. Ed. by Zh.I. Alferov. SPb.: Izd-vo SPbGETU «LETI», 2013. P. 406–416. (In Russian).
11. Dobretsov L.N. Atomnaja fizika [Atomic Physics]. Uchebnoe posobie dlja vtuzov. Moscow: Fizmatgiz, 1960. 348 p. (In Russian).
12. Dobretsov L.N., Gomoyunova M.V. Emissionnaja elektronika [Emission Electronics]. Moscow: Nauka, 1966. 564 p. (In Russian).
13. Ereemeev M.A. Issledovanie soudarenija ionov s poverhnostju [Study of Ion Impacts on Surfaces]. Author's abstract. dis. ... Doctor of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1953. 15 p. (In Russian).
14. Ereemeev M.A. Ispuskanie elektronov i otrazhenie ionov ot poverhnosti metalla [Emission of Electrons and Reflection of Ions from the Metal Surface]. *Doklady Akademii nauk SSSR [Reports of the USSR Academy of Sciences]*. 1951. Vol. 79. P. 775. (In Russian).
15. Abroyan I.A., Ereemeev M.A., Petrov N.N. Vozbuzhdenie elektronov v tverdyh telah sravnitelno medlennymi atomnymi chasticami [Excitation of Electrons in Solids by Relatively Slow Atomic Particles]. *Uspehi fizicheskikh nauk [Advances in Physical Sciences]*. 1967. Vol. 92. Iss. 1. P. 105–157. (In Russian). <https://doi.org/10.3367/UFNr.0092.196705e.0105>.
16. Fridrikhov S.A. Issledovanie zakonomernostej jemissii vtorichnyh jelektronov v silnyh jelektricheskikh i magnitnyh poljah [Investigation of the Patterns of Emission of Secondary Electrons in Strong Electric and Magnetic Fields]. Author's abstract. dis. ... Doctor of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1970. 25 p. (In Russian).
17. Ganichev D.A. Issledovanie vzaimodejstviya elektronov malyh energij s metallami i poluprovodnikami [Investigation of the Interaction of Low-Energy Electrons with Metals and Semiconductors]. Author's abstract. dis. ... Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1963. 18 p. (In Russian).
18. Bazhanova N.P. Uprugoe otrazhenie elektronov i vtorichnaja jelektronnaja emissija sistemy volfram – okis barija pri malyh energijah pervichnyh elektronov (1÷150 jeV) [Elastic Electron Reflection and Secondary Electron Emission of the Tungsten-Barium Oxide System at Low Primary Electron Energies (1÷150 eV)]. Author's abstract. dis. ... Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1969. 18 p. (In Russian).
19. Morozov Yu.A. Otrazhenie elektronov srednih energij ot tverdyh tel [Reflection of Medium-Energy Electrons from Solids]. Author's abstract. dis. ... Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1973. 10 p. (In Russian).
20. Borisov V.L. Vtorichnaja jelektronnaja emissija okisi magnija [Secondary Electron Emission of Magnesium Oxide]. Author's abstract. dis. ... Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1964. 15 p. (In Russian).
21. Kelman V.M. Jelektronnaja optika [Electronic Optics]. 2nd edition supplemented. Moscow: Nauka, 1968. 176 p. (In Russian).
22. Utkin K.G. Issledovanie jelektronnoopticheskikh sistem s bolshoj plotnostju toka emissii metodom modelirovaniya na rezinovoj membrane [Investigation of Electron-Optical Systems with High Emission Current Density by Modeling on a Rubber Membrane]. Author's abstract. dis. ... Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Institute of Physics and Technology, 1960. 13 p. (In Russian).

23. Kanicheva I.R. Prohozhdenie i obratnoe otrazhenie elektronov v tonkih svobodnyh plenках veshhestv [Transmission and Back Reflection of Electrons in Thin Free Films of Substances]. Author's abstract. dis. ... Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1965. 12 p. (In Russian).
24. Terekhin D.K. Vlijanie magnitnogo polja na rabotu gelij-neonovogo lazera [The Influence of a Magnetic Field on the Operation of a Helium-Neon Laser]. Author's abstract. dis. ... Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1970. 11 p. (In Russian).
25. Fotiadi A.E. Vlijanie magnitnogo polja na rabotu argonovogo lazera [The Influence of a Magnetic Field on the Operation of an Argon Laser]. Author's abstract. dis. ... Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1972. 15 p. (In Russian).
26. Butusov M.M. Issledovaniya struktury i dinamiki poverhnostej metodami golografii i kogerentnoj optiki [Investigations of the Structure and Dynamics of Surfaces by Methods of Holography and Coherent Optics]. Author's abstract. dis. ... Doctor of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1975. 26 p. (In Russian).
27. Fotiadi A.E. Kinetika aktivnyh sred gazorazрядnyh lazerov postojannogo toka na perehodah atomov i ionov [Kinetics of Active Media of Direct Current Gas-Discharge Lasers on Transitions of Atoms and Ions]. Author's abstract. dis. ... Doctor of Physical and Mathematical Sciences. SPb: Saint Petersburg State Technical University, 1993. 32 p. (In Russian).
28. Abroyan I.A. Vtorichnaya emissiya i izmenenie elektricheskikh svoystv nekotorykh poluprovodnikov pod vliyaniem ionnoj bombardirovki [Secondary Emission and Changes in the Electrical Properties of Some Semiconductors Under the Influence of Ion Bombardment]. Author's abstract. dis. ... Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1963. 12 p. (In Russian).
29. Titov A.I. Vzaimodejstvie zarjazzhennykh chastic srednih jenergij s monokristallicheskim germaniem [Interaction of Charged Particles of Medium Energies with Monocrystalline Germanium]. Author's abstract. dis. ... Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1970. 12 p. (In Russian).
30. Korablev V.V. Anizotropiya vtorichno-emissionnykh svoystv monokristallov [Anisotropy of Secondary Emission Properties of Single Crystals]. Author's abstract. dis. ... Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1971. 9 p. (In Russian).
31. Korablev V.V. Vlijanie kristallicheskoj struktury veshhestva na processy rassejaniya i jemissii vtorichnykh jelektronov [The Influence of the Crystal Structure of Matter on the Processes of Scattering and Emission of Secondary Electrons]. Author's abstract. dis. ... Doctor of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1983. 32 p. (In Russian).
32. Shulman A.R., Fridrikhov S.A. Vtorichno-emissionnye metody issledovaniya tverdogo tela [Secondary Emission Methods of Solid State Research]. Moscow: Nauka. 1977. 551 p. (In Russian).
33. Ionov V.V. Issledovanie emissionnykh svoystv poverhnostej neodnorodnykh emitterov rastrovym elektronno-luchevym metodom [Investigation of Emission Properties of Surfaces of Inhomogeneous Emitters by Scanning Electron Beam Method]. Author's abstract. dis. ... Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1976. 12 p. (In Russian).
34. Golikov Yu.K. Instrumentalnaja korpuskuljarnaja optika kak osnova eksperimentalnoj fizicheskoy elektroniki [Instrumental Corpuscular Optics as the Basis of Experimental Physical Electronics]. *Peterburgskaja–Leningradskaja shkola elektroniki [Petersburg-Leningrad School of Electronics]*. Ed. by Zh.I. Alferov. SPb.: Izd-vo SPbGETU «LETI», 2013. P. 416–421. (In Russian).
35. Davydov S.N. Elektrostaticheskie sistemy monohromatizacii i energoanaliza elektronnykh potokov [Electrostatic Systems of Monochromatization and Energy analysis of electronic flows]. Author's abstract. dis. ... Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1990, 16 p. (In Russian).
36. Bondarenko V.B., Davydov S.N., Filimonov A.V. Inherent Potential Inhomogeneity on the Semiconductor Surface for Equilibrium Impurity Distribution // *Semiconductors*. 2010. Vol. 44. No. 1. P. 41–44. <https://doi.org/10.1134/S1063782610010069>. EDN: MXDPYH.

37. Bondarenko V.B., Filimonov A.V. On a Chaotic Potential at the Surface of a Compensated Semiconductor under Conditions of the Self-Assembly of Electrically Active Defects. *Semiconductors*. 2015. Vol. 49. No. 9. P. 1187–1190. <https://doi.org/10.1134/S1063782615090080>. EDN: UZXFER.
38. Bondarenko V.B., Filimonov A.V., Kumar R. A Chaotic Potential of Charged Dislocations in Group III-Nitride Heterojunctions. *Technical Physics Letters*. 2021. Vol. 47. No. 1. P. 8–10. <https://doi.org/10.1134/S1063785021010053>. EDN: LMXYLТ.
39. Filimonov A.V., Bondarenko V.B. A Chaotic Potential of Charged Dislocations in Group III-nitride Heterojunctions During Localization of a Two-Dimensional Electron Gas. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Physics and Mathematics*. 2024. Vol. 17. No. 1. P. 21–28. <https://doi.org/10.18721/JPM.17102>. EDN: OKFJGU.
40. Bazhanova N.P., Korablev V.V., Kudinov Yu.A. Aktualnye voprosy vtorichno-emissionnoj spektroskopii [Actual Issues of Secondary Emission Spectroscopy]. Uchebnoe posobie. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1985. 88 p. (In Russian). <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/si20-543>.
41. Korablev V.V. Elektronnaja Ozhe-spektroskopija [Electronic Auger Spectroscopy]. Uchebnoe posobie. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1973. 62 p. (In Russian).
42. Dorozhkin A.A., Petrov N.N. Ionnaja Ozhe-spektroskopija [Ion Auger Spectroscopy]. Uchebnoe posobie. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute Named after M.I. Kalinin, 1983, 72 p. (In Russian). <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/si20-991>.
43. Gaponov-Grekhov A.V. Teorema sushhestvovaniya. Razmyshleniya o nauke i obshchestve [The Existence Theorem. Reflections on Science and Society]. Nizhnij Novgorod: IPF RAS, 2001. 155 p. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

Кефели Игорь Федорович – доктор философских наук, профессор, директор проекта научно-исследовательской лаборатории стратегического планирования и евразийской интеграции; Северо-Западный институт управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации.

E-mail: geokefeli@mail.ru

ORCID: 0000-0002-6889-8924

Кorableв Вадим Васильевич – доктор физико-математических наук, профессор, советник при ректорате; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.

E-mail: korablev@spbstu.ru

ORCID: 0000-0002-4363-9352

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Kefeli Igor F. – Doctor of Philosophy, Professor, Director of the Center for Geopolitical Expertise; North-West Institute of Management of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration.

E-mail: geokefeli@mail.ru

ORCID: 0000-0002-6889-8924

Korablev Vadim V. – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Advisor to the Rector's Office; Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University.

E-mail: korablev@spbstu.ru

ORCID: 0000-0002-4363-9352

The authors confirm that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 11.07.2025.

Одобрена после рецензирования 14.08.2025.

Принята 19.08.2025.

Received 11.07.2025.

Approved after reviewing 14.08.2025.

Accepted 19.08.2025.