

УДК 002.2:621.315.592:
539:94(470)

История развития книжного документопотока по физике полупроводников в России

Шабурова Н.Н.

канд. пед. наук, зав. научной библиотекой

Неизвестный И.Г.

чл.-корр. РАН, профессор, советник

директора

Институт физики полупроводников им.

А.В. Ржанова Сибирского отделения

Российской академии наук, Новосибирск,

Россия

E-mail: shaburova@isp.nsc.ru

Аннотация. Приведены исторические факты, касающиеся российского документопотока по физике полупроводников, представлены библиометрические показатели.

Ключевые слова. Документопоток, физика, полупроводники, история научного документопотока, комплектование

The Development History of the Book flow of the Physics of Semiconductors in Russia

Shaburova N. N.

Neizvestniy I. G.

Rzhanov Institute of Semiconductor Physics

SB RAS, Novosibirsk, Russia

E-mail: shaburova@isp.nsc.ru

Abstract. The historical facts related to the documentary flow in the field of semiconductor physics are formulated and the bibliometric indicators are presented.

Keywords. Documentary flow on semiconductor physics, history of scientific documentary flow development, acquisition, Rzhanov SB RAS Institute of Semiconductor Physics.

DOI: 10.31432/1994-2443-2018-13-4-99-106

Комплектование фондов научной библиотеки любого научно-исследовательского института нацелено, в первую очередь, на приобретение профильной литературы по его исследованиям и разработкам, что обязывает информационных работников постоянно отслеживать документопоток по определённой тематике. Для Института физики полупроводников Сибирского отделения (ИФП СО) РАН тематическим стержнем является физика полупроводников. ИФП имеет корни в лаборатории физики полупроводников Физического института им. П.Н. Лебедева АН СССР (ФИАН) [1, с. 6], которая была создана в 1933 г. Библиотека ИФП начала формироваться в 1958 г. на базе Института радиофизики и электроники СО АН СССР [2, с. 32] в условиях, когда научное направление являлось относительно молодым, а сама отрасль — высоко востребованной и актуальной для российской промышленности. Соответственно, с одной стороны, возникла высокая потребность в информации, а с другой, информационные источники представляли собой де-

фицит, при этом отечественных книжных изданий в этой научной области существовало особенно мало.

Как изменилась ситуация за 60 лет? Поскольку развитие документопотока непосредственно связано с развитием науки, цель данного обзора — кратко представить историю и того, и другого, рассматривая пионерные события.

Первое упоминание о материалах, плохо проводящих электрический ток, которые стали называть «плохие проводники», относится к первой половине XIX в. и принадлежит Майклу Фарадею. Неожиданные свойства таких материалов привлекли внимание исследователей того времени, и объём работ, посвящённых их изучению, постоянно увеличивался. Это обогатило физику новыми представлениями и новым пониманием электрических явлений, и к концу XIX — началу XX столетий физика полупроводников оформилась как новая область теоретической и прикладной физики, тогда и появился термин «полупроводники».

В России происходили следующие научные события. В 1895 г. русский физик-изобретатель Александр Степанович Попов (1859-1906) сумел обобщить научные идеи, найти их разумное техническое воплощение для создания первого радиоприёмника и поставил его на службу человечеству для беспроводной передачи звука на расстоянии. В те годы также были известны многие проекты телевизионных систем (хотя термин «телевидение» тогда ещё не вошёл в употребление). В России практические исследования в области электрической передачи изображений, называемой электрической телескопией, в 1897 г. начал проводить русский учёный Борис Львович Розинг (1869-1933), автор 29 патентов и авторских свидетельств, а также более 90 научных публикаций. С 1910 г. его соратником стал будущий изобретатель с мировым именем Владимир Козьмич Зворыкин (1888-1982), чьи идеи позже использовались при создании электронных микроскопов, фотоэлектронных умножителей, электронно-оптических преобразователей, приборов медицинской электроники. В 1922 г. советским радиотехником, впоследствии член-корреспондент АН СССР, Михаилом Александровичем Бонч-Бруевичем (1888—1940) была изготовлена лабораторная модель радиотехнического устройства для передачи изображения на расстоянии.

Из специализированных достижений мирового масштаба наиболее значительными можно назвать такие полупроводниковые приборы, как диод и триод. В 1904 г. английский учёный Джон Флемминг изобрёл вакуумный диод, в 1906 г. американский изобретатель Ли де Форест создал триод. В 1913 г. немецкий учёный Александр Мейснер применил триод для генерации электромагнитных колебаний. Первая публикация по исследованию СВЧ-прибора — магнетрона — появилась в 1921 г. в журнале «Physical Review» (автор A.W. Hull), затем в 1924 г. в немецком журнале (автор E. Habban). В этом же году были начаты работы и в СССР. В 1932 г. в лаборатории проф. Дмитрия Апполинариевича Рожанского (1882-1936) (Ленинградский электрофизический институт), занимающейся ионными приборами, впервые был исследован другой СВЧ-прибор — клистрон, и эксперимент (хоть и неудачный) послужил стимулом для развития теоретических исследований [1, с. 24-25].

Особо выделялись работы сотрудника нижегородской радиолаборатории учёного-самоучки, талантливого экспериментатора Олега Владимировича Лосева (1903-1942), на десятилетия опередившего современный ему уровень развития физической науки. В те времена ещё никто не мог дать научного объяснения физическим явлениям, открытым Лосевым в полупроводниках, поскольку тог-

дашняя физика не располагала научными фактами и знаниями, необходимыми для разработки теории. Однако результаты его исследований приобрели широкую известность и обсуждались во всем мире. В 1922-1928 гг. он публиковал их не только в отечественных журналах «Вестник Электротехники», «ЖЭТФ», «Доклады АН СССР», «Телеграфия и телефония без проводов», «Радиолюбитель», но и в зарубежных, таких как «RadioRevue», «Philosophical Magazine», «Physikalische Zeitschrift», «Wireless World and Radio Review» и др. [6, 20], имел патенты.

В 1922 г. Олег Владимирович создал устройство на основе диода с отрицательным дифференциальным сопротивлением (ОДС), которое получило название «кристадин». Интересно отметить, что это название было предложено в одной из французских статей, посвящённых открытию Лосева. Название прижилось, и позднее им стал пользоваться и сам Лосев, издал брошюру с заглавием «Кристадин» (1924 г.) тиражом 17 000 экземпляров. Теория этого диода была создана лишь в 1968 г.

В 1927 г. в результате систематического исследования микроскопических электрических разрядов на границе металлического острия и кристалла, Лосев добился свечения кристалла, которое долгое время так и называлось «свечение Лосева». Спустя 20 лет, в 1947 г., французский учёный Ж. Дестрио вновь «открыл» свечение Лосева и назвал это явление «электролюминесценцией». Современные учёные считают именно Олега Владимировича Лосева основоположником полупроводниковой электроники в нашей стране.

За последующие 25 лет, к середине XX века, полупроводники заняли центральное место в учении о твёрдом теле. Изучение электрических, тепловых, оптических свойств изоляторов и металлов так же развивалось на основе опыта изучения полупроводников. Металлы и диэлектрики представлялись как их предельные случаи, и понимание свойств углублялось по мере того, как росло понимание центрального объекта исследования — полупроводников. Это привело к важнейшему событию середины XX столетия.

30 июня 1948 г. в Нью-Йорке состоялась официальная презентация нового прибора — транзистора (от англ. **Transver Resistor** — трансформатор сопротивлений). Через 8 лет, в 1956 г., его изобретателям (Джон Бардин, Уолтер Браттейн, Уильямс Шокли) была присуждена Нобелевская премия по физике.

Появлению транзистора предшествовал труд многих учёных, внёсших свой вклад в рождение полупроводниковой твёрдотельной электроники, предпосылками этому был ряд и отечественных научных достижений. В их числе работы классиков советской физики Бориса Иосифовича Давыдова

(1908-1963), основателя Физико-технического института (ФТИ) АН СССР (1918 г.); Абрама Фёдоровича Иоффе (1880-1960); Вадима Евгеньевича Лашкарёва (1903-1974), первооткрывателя эффектов, которые были положены в основу полупроводниковых технологий и микроэлектроники, и других.

Борис Иосифович Давыдов активно занимался тематикой в 1940-е гг. Важность его работ по теории контактных явлений полупроводников была отмечена в 2009 г. нобелевским лауреатом Ж. И. Алфёровым на научной сессии Общего собрания РАН [3, с. 225]. К сожалению, сведения о Б.И. Давыдове сложно найти в справочных изданиях. Этот удивительный факт — результат не только случайной ошибки в личном деле, где были перепутаны его инициалы. Время, в которое он жил и работал, наложило отпечаток на его научную карьеру. В 1952 г. он был уволен из Курчатовского института как «неблагонадёжный», но смог продолжить работу в Институте физики Земли [4], где сменил тематику исследований.

Абрам Фёдорович Иоффе создал методику определения основных характеристик полупроводниковых материалов. Им и его учениками проведена (1931-1940) их научная классификация. В 1933 г. его книга «Электронные полупроводники» была переведена на французский язык [17, с. 16]. В 1942 г. за исследования в области физики полупроводников Абрам Фёдорович был удостоен Государственной премии СССР [7, т. 11, с. 584]. Он был основателем и главным редактором многих научных журналов. В 1931 г. был основан один из старейших физических журналов России — «Журнал технической физики», который по своему содержанию с самого начала служил аналогом американского «*Journal of Applied Physics*», основанного в то же время. В 1959 г. Абрамом Фёдоровичем был создан другой журнал — «Физика твёрдого тела». С 1967 г. ФТИ им. А.Ф. Иоффе начал издавать журнал «Физика и техника полупроводников».

Открытие Дж. Бардином и У. Браттейном транзисторного эффекта развернуло перед радиотехникой необыкновенное будущее, и значение дальнейшего технического развития, которое принесли с собой полупроводниковые приборы, сравнивалось с тем, которое произвело освобождение внутриатомной энергии [9, с. 150]. Ж. И. Алфёров утверждает, «что во второй половине XX столетия произошла полупроводниковая революция, которая полностью изменила технологию и привела к большим социально-экономическим последствиям» [3, с.225].

В ФТИ АН СССР им. А.Ф. Иоффе приступили к разработке первых советских транзисторов и силовых германиевых приборов. Полупроводники проникали во многие области науки и техники, вызывали

к жизни ряд новых производств. Полупроводниковые приборы начали применяться не только в радиотехнике, но и в автоматике, сигнализации, энергетике. Это обуславливало необходимость получения специальных знаний в инженерно-технических кругах в то время как литература по полупроводникам была крайне скудна. Требовались специалисты в новой стремительно развивающейся области науки и техники, литература. Для подготовки специалистов были необходимы преподаватели, учебные издания.

В 1954 г. в Московском энергетическом институте (МЭИ) было открыто новое направление и создана первая в Союзе группа, имеющая цель обучения студентов новой специальности — физика полупроводников и диэлектриков. Лекции этой группе читали ведущие сотрудники НИИ-35 (ныне «Пулсар») — одного из первых полупроводниковых предприятий, они руководили практикумами и курсовыми проектами на базе технологических разработок своих лабораторий [1, с. 5]. В качестве учебной литературы студентам предлагались, главным образом, переводные издания. В 1950 г. в одно из них — «Кристаллические детекторы» — ввиду того, что в подлиннике «*Crystal Rectifiers*» совсем не освещалась роль советской науки в развитии учения о кристаллических детекторах, было добавлено 2 главы А.В. Ржанова, впоследствии возглавившего ИФП в Новосибирском научном центре, и сделан обзор отечественных исследований по полупроводникам.

К сожалению, в 1950-е гг. о Лосеве никто не вспоминал, но в дополнении к указанному переводному изданию А.В. Ржанов напомнил о значении работ О.В. Лосева в полупроводниковой «эпопее», затем в статье «Современные взгляды на природу выпрямления кристаллических детекторов» (М.: Сов. Радио, 1950).

Материалы отечественных библиографических сборников 1955-1961 гг. [14, 15, 16, 17, 18, 19] научной литературы по диэлектрикам, полупроводникам, полупроводниковым материалам и полупроводниковым электронным приборам (детекторы и транзисторы), выпущенной за 1920-1958 гг. (составлялись библиографические издания научными и образовательными организациями, такими, как Ленинградский институт полупроводников АН СССР, ФИАН, Ленинградский электротехнический институт Министерства высшего и среднего специального образования РСФСР, др.), отчётливо показывают, что основной тематический документопоток тех лет состоял из зарубежных журнальных статей. Так, авторский указатель справочника [17] занял 37 стр., из которых фамилии советских учёных — на восьми страницах, что составляет немногим более 20 % исследователей и разработчиков. В справоч-

нике [5] из серии книг по физике и техническим применениям полупроводников, охватывающем библиографию с 1822 по 1960 гг., в подразделе «История вопроса» содержатся только зарубежные источники. Не случайно, что с 1945 г. издательство иностранной литературы выпускало «Научно-реферативные сборники по некоторым вопросам современной физики по материалам иностранной периодической литературы», выпуски которых в 1950-1951 гг. были посвящены теме «Диэлектрики и полупроводники». Интересно отметить, что А.И. Чёрный дал им следующую характеристику: «Ограничение тематики каждого реферативного сборника каким-то одним узким вопросом позволяло осветить в нём этот вопрос шире и глубже, приблизить такие сборники к изданиям обзорного типа. А недостатком было то, что они не отражали содержание всей литературы по той или иной отрасли науки» [22, с. 71]. В русле этих тенденций соавтор, тогда студент Игорь Неизвестный, попав из МЭИ на практику, затем на дипломное проектирование в ФИАН, получил задание прочесть несколько статей на английском языке, разобраться в них и сконструировать собственную установку и схему [2, с.4], используя переводную оригинальную информацию.

Из основных отечественных книжных изданий того времени (1950-1960 гг.) можно перечислить монографии Ф.Ф. Волькенштейна (1947) и А.Ф. Иоффе (1950-1957), сборники статей Академии наук СССР «Полупроводники в науке и технике» в 2-х томах (1957-1958), «Поверхностные свойства полупроводников» (1962) и некоторые др.

История написания Фёдором Фёдоровичем Волькенштейном (1908-1985) одной из первых в нашей стране книг по физике полупроводников (их электропроводности) является удивительной и одной из самых трогательных. Кроме самого факта, что монография была пионерской, она создавалась в тяжелейших условиях. Книга была в основной своей части написана в Ленинграде во время блокады, когда город был скован вражеским кольцом и рассчитывать мог только на внутренние резервы. Фёдор Фёдорович работал над ней, когда Ленинград подвергался непрерывным бомбардировкам. Из-за отсутствия топлива полопались водопроводные трубы, и прекратилась подача воды в жилые дома. Пожары, провоцируемые обстрелами из дальноточных орудий, нечем было тушить. В дополнение ко всему зимой 1941-1942 гг. стояли непрекращающиеся 35-градусные морозы. Не было электричества, не работала канализация, замолчало радио, нормы отпуска продуктов снизились до минимума. Люди умирали от голода. Такая скорбная судьба постигла и О.В. Лосева. Ф.Ф. Волькенштейн закончил писать свою книгу «Электропроводность

полупроводников» [10] уже после войны и посвятил её памяти учёных, погибших в блокадном Ленинграде в трагическую зиму 1941-1942 гг.

В издательстве АН СССР было издано несколько книг А.Ф. Иоффе: «Полупроводники в современной физике» (1955), «Физика полупроводников» (1957) и в научно-популярной серии — «Полупроводники» (1955) и «Полупроводники и их применение» (1956). В 1957 г. издание «Полупроводниковые термоэлементы» вышло в свет в Варшаве и Берлине, а годом позже — «Физика полупроводников» в Берлине и Нью-Йорке [5, с. 21].

Двухтомник «Полупроводники в науке и технике» (1957-1958) имел целью восполнить существующий пробел в литературе для инженерно-технических работников, связанный с ситуацией тех лет. Сначала в 1955-1956 гг. Институт полупроводников АН СССР выпустил небольшим тиражом серию монографий по полупроводникам, которая быстро разошлась и показала высокую потребность в данной тематике. Затем был составлен двухтомник сборников статей с описаниями основных полупроводниковых приборов, принципа их действия и технологии изготовления.

Вузы стали печатать учебники. Одним из первых было выпущено учебное пособие для вузов «Физика полупроводников» профессором Клавдией Васильевной Шалимовой (1913-2000) (с 1939 по 1950 гг. она преподавала в г. Новосибирске). В 1954 г. она возглавила новую кафедру Московского инженерно-физического института «Полупроводники», которая в 1956 г. была переведена вместе с оборудованием, преподавателями и студентами в МЭИ и переименована в «Полупроводниковые приборы». Изначально в 1960-е гг. учебник создавался в качестве книги, и в 1971 г. вышло её первое издание. Оно не было первым среди книг по физике полупроводников, но выделялось достаточно простым и в то же время строгим изложением материала, охватывающим все разделы, необходимые для студентов, обучающихся по специальностям, связанным с технологией получения полупроводниковых материалов, полупроводниковыми приборами и полупроводниковой электроникой. Уже второе её издание в 1976 г. получило гриф Министерства высшего и среднего образования СССР и стало использоваться как учебник. Впоследствии книга переиздавалась несколько раз, и до сих пор остаётся одной из самых востребованных в этой области. Свидетельством её успешности можно считать перевод на испанский, польский и чешский языки [23, с.3].

Следует отметить, что в 1950-1960-е гг. кафедры полупроводников и диэлектриков стали появляться во многих вузах физико- и электротехнического направления. Так, и в Новосибирском электротехни-

ческом институте (НЭТИ) в 1960 г. была создана кафедра полупроводников и микроэлектроники.

Учёные, заложившие в 1958 г. основы сибирской науки, с первых дней создания Сибирского отделения АН СССР также включились в процессы развития как самой отечественной физики полупроводников, так и российского тематического документопотока. С 1960-х гг. было выпущено большое количество монографий и учебных пособий, часть из них — за рубежом, в т. ч. издательством Elsevier. Не меньший вклад внесли и вузы Сибири. Так, в 1966 г. вышла монография «Основы физики полупроводников и полупроводниковых приборов» (А.Ф. Городецкий, А.Ф. Кравченко, Е.М. Самойлов) — фундаментальный труд по классификации полупроводниковых приборов на основе физического принципа их действия, не рассмотренных нигде ранее. Книга была рассчитана в т. ч. и на студентов вузов [11]. Один из соавторов — профессор Александр Филиппович Кравченко — был сотрудником ИФП СО РАН.

В 1970-1980-е гг. активно изучались новые возможности полупроводниковых приборов, в микроэлектронике продолжал наблюдаться стремительный прогресс. В Японии с 1976 г. была введена государственная программа создания к 1990-му г. ЭВМ с быстродействием в десятки миллиардов операций в секунду. В 1985 г. в Институте физики полупроводников Литовской АН ССР была подготовлена и издана монография по работе транзисторов с максимальным быстродействием [21]. Также в тот период появилось большое количество публикаций по кремниевым полупроводниковым структурам, на которых строились сверхбыстрые интегральные схемы. Поскольку электронные процессы в полупроводниковых структурах в значительной мере определяются дефектами в объёме и на поверхности полупроводников, в изданиях они занимали центральное место, им посвящались многие всесоюзные и международные конференции. Но ни в отечественной, ни в зарубежной литературе не было достаточно целенаправленных обзоров вопросов дефектности кремниевых структур. В 1990 г. была выпущена книга «Дефекты в кремнии и на его поверхности», восполнившая этот недостаток [8].

В 1980 г. научным сотрудником Новосибирского ИФП СО АН СССР Валерием Алексеевичем Гуртовым и библиографом Ольгой Фёдоровной Лебедевой был составлен библиографический указатель тематической литературы за 1964-1978 гг. Позже, после перехода в Петрозаводский государственный университет, им был написан учебник для вузов «Твердотельная электроника», являющийся и сейчас основным учебным пособием по тематике.

В те годы ИФП СО РАН начал активно заниматься разработкой темы «Электронно-молекулярная эпи-

таксия», и в 1980-1987 гг. научными сотрудниками ИФП был выпущен ряд библиографических указателей литературы за 1973-1985 гг. «Эпитаксия из молекулярных пучков полупроводников».

В последующие годы ИФП продолжил, и продолжает сейчас, подготавливать монографии, которые издаются в Новосибирске или других городах, книги и главы в книгах, издающихся за рубежом, учебные издания, библиографические указатели.

Одно из современных направлений электроники — наноэлектроника — также имеет свою историю. Впервые термин «нанотехнология» употребил японский физик из Токийского университета Норио Танигути в 1974 г. Он назвал этим термином процессы создания полупроводниковых структур с точностью порядка нанометра. В 1980-х гг. этот термин использовал известный американский учёный Эрик Ким Дрекслер. Центральное место в его исследованиях играли математические расчёты, с помощью которых можно было проанализировать работу устройства размерами в несколько нанометров.

С начала 1990-х гг. исследованием свойств наноструктур пониженной размерности: квантовых проволок и квантовых точек занимался академик Жорес Иванович Алфёров, и за разработку полупроводниковых гетероструктур и создание быстрых опто- и микроэлектронных компонентов в 2000 г. он получил Нобелевскую премию по физике.

В наноэлектронике Россия сохранила преимущества, которые были у Советского Союза. Это касается таких областей, как СВЧ-техника, инфракрасная техника, излучательные приборы на основе полупроводников, солнечных батарей. Наша страна является родиной одного из наиболее значимых электронных приборов — полупроводникового лазера.

Следует отметить, что первый профильный учебник по наноэлектронике был написан и издан в Новосибирском государственном техническом университете [13] (бывшем НЭТИ) в соавторстве преподавателей и сотрудника ИФП СО РАН — профессора Игоря Георгиевича Неизвестного.

Наукометрические показатели говорят о высокой доле отечественного книжного документопотока по физике полупроводников. В результате поиска по теме «semicond*» в базе данных (БД) научного цитирования Web of Science обнаружено 416 984 записи. Уточнение по типу документа выявило, что книг и книжных глав из них 3 781. Дальнейшее уточнение по профилю организации показало, что издания Российской академии наук по своему количеству занимают 6-е место в мировом потоке. Анализ российской составляющей выяснил, что и в ней 6-е место делят между собой Омский научный центр СО РАН и ИФП им. А.В. Ржанова СО

РАН. В этом прослеживается определённая логика, так как в г. Омске расположен бывший филиал института — Институт сенсорной микроэлектроники, который в 2012 г. переведён в состав Омского научного центра.

Аналогичный поиск по запросу «semicond*» в поле «название, краткое описание, ключевые слова» в БД Scopus привёл к несколько другим результатам, они оказались почти в 2 раза выше. Источников всего — 883 776, книг и книжных глав — 6 504. Уточнение по странам вывело Российскую Федерацию на 9 место в мире по количеству книжных изданий, а по организациям — ИФП СО РАН на 4-е среди российских учреждений. Их список (скриншот страницы БД) представлен на рис. 1. Рис. 1 показывает, что из конкретных науч-

но-образовательных учреждений до ИФП на 2-м месте обозначен ФТИ им. А.Ф. Иоффе (на первом — РАН, на третьем — СО РАН). Это подчёркивает роль ИФП СО РАН в развитии книжного документо- потока.

В заключение отметим, что сегодня фонды библиотеки ИФП СО РАН полноценно укомплектованы тематической литературой. В них содержится около 25 тысяч книг, из которых 61 % — по естественным наукам и 31 % — по техническим. Центральное место среди них занимают подразделение «Физики полупроводников» и раздел «Радиоэлектроника» соответственно. Из электронных ресурсов институт имеет доступ к книгам издательств Springer Nature, Wiley и отечественной электронно-библиотечной системы «Лань».

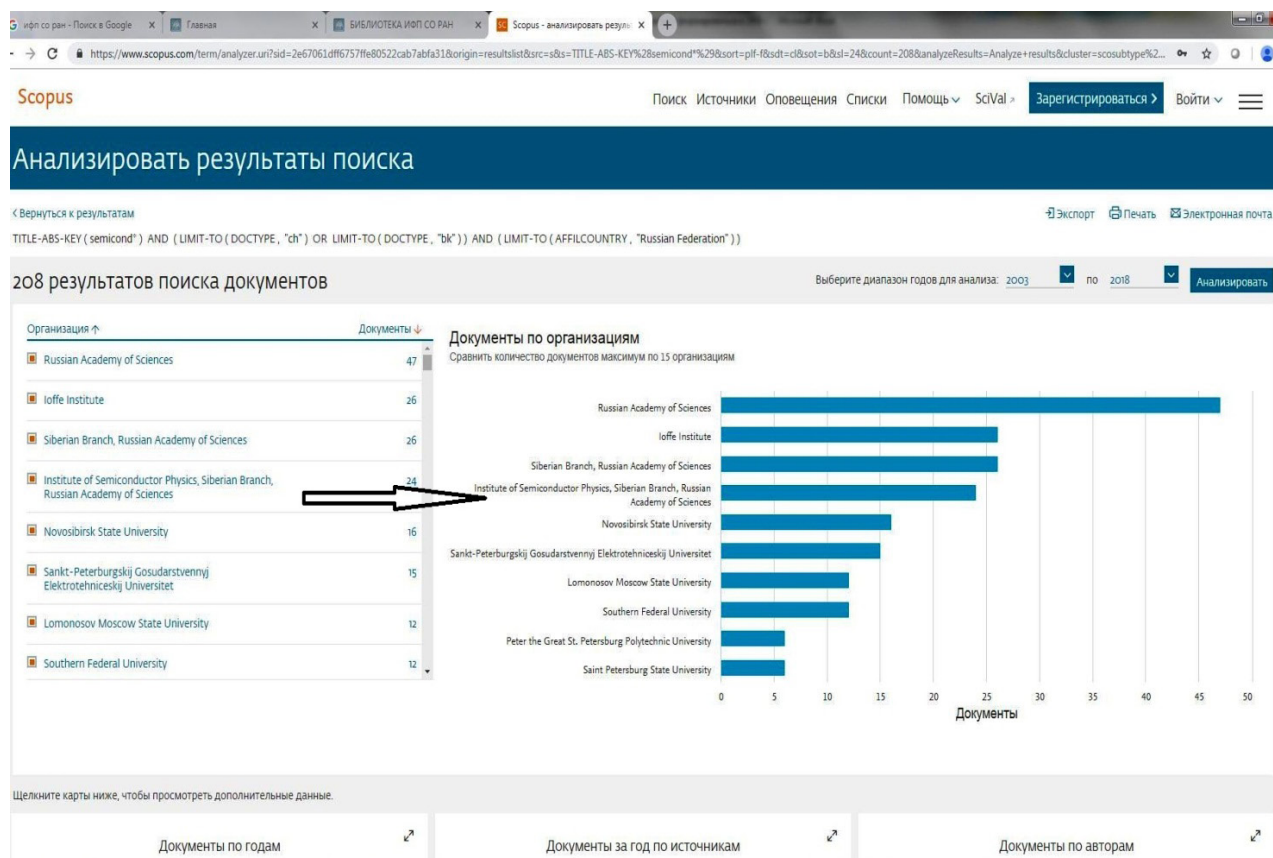


Рис. 1. Результат поиска по БД Scopus, показывающий публикационную активность российских научных организаций в области физики полупроводников

ЛИТЕРАТУРА

1. 40 лет Институту физики полупроводников Сибирского отделения Российской академии наук / отв. ред. И.Г. Неизвестный. Новосибирск, 2004. 376 с.
2. 50 лет Институту физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук / отв. ред. И.Г. Неизвестный. Новосибирск. — 2014. — 310 с.

3. Алфёров Ж.И. Нанотехнологии микроэлектроники и энергетики / Ж.И. Алфёров. // Вестник РАН. — 2009. — Т. 79. — № 3. — С. 224—229.

4. Бакунин, О.Г. Загадки диффузии и лабиринты судьбы / О. Г. Бакунин. УФН. — 2003. — Том 173. — № 3. — С. 317—321.

5. Библиография по термоэлектричеству / АН СССР; Ин-т полупроводников; отв. ред. В.П. Жузе. / М.; Л.: Изд-во АН СССР. — 1963. — 352 с.

6. Богданов С.В. Основоположник полупроводниковой электроники в России / С.В. Богданов, И.Г. Неизвестный // Наука в Сибири. — 2013. — № 39. — С. 8—9.

7. Большая Российская энциклопедия. В 30 тт. М. — 2005 — т.11.

8. Вавилов В.С. Дефекты в кремнии и на его поверхности / В.С. Вавилов, В.Ф. Киселёв, Б.Н. Мукашев. — М.: Наука. — 1990. — 216 с.

9. Владимир Максимович Туркевич (к семидесятилетию со дня рождения) / А.П. Александров [и др.] // УФН. — 1975. — Т.115. — № 1. — С.149—152.

10. Волькенштейн Ф.Ф. Электропроводность полупроводников / Ф.Ф. Волькенштейн. М.; Л.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит. — 1947. — 352 с.

11. Городецкий А.Ф. Основы физики полупроводников и полупроводниковых приборов / А.Ф. Городецкий, А.Ф. Кравченко, Е.М. Самойлов; АН СССР, Сиб. отд-ние. — Новосибирск: Наука. — 1966. — 350 с.

12. Гуртов В.А. Физические принципы МОП-структур на кремнии и электрофизические процессы в них: библиогр. указ. отечеств. и иностр. лит. за 1964-1978 гг. / В.А. Гуртов, О.Ф. Лебедева; ИФП СО РАН. Новосибирск. — 1980. — 234 с.

13. Драгунов В.П. Основы наноэлектроники : учеб. пособие / В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. Новосибирск: Изд-во НГТУ. — 2000. — 332 с.

14. Методы определения редких металлов и полупроводниковых материалов (книжная, журнальная и патентная литература за 1955—1960 гг.): библиогр. указ. / Гос. ком. Сов. мин. СССР по координации науч.-исслед. работ. М. — 1961. — 260 с.

15. Научная литература по диэлектрикам и полупроводникам. Библиография 1953—1955 / сост. А.Н. Груздева. Л., 1956. 256 с.

16. Научная литература по диэлектрикам и полупроводникам. Библиография 1956-1958 / сост. А.Н. Груздева. Л., 1960. 410 с.

17. Научная литература по полупроводникам. Библиография 1920-1952 / сост. В.П. Жузе; АН СССР; Институт полупроводников. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1955. 632 с.

18. Научная литература по полупроводниковым электронным приборам (детекторы и транзисторы). Библиография 1945-1955 гг. / сост. к.ф.-м.н. В.П. Жузе. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1959. 328 с.

19. Научные работы по диэлектрикам [библиография 1930—1949] / сост. д.т.н. Б.М. Тареева. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 672 с.

20. Остроумова Е.В., Лосев О.В. — пионер полупроводниковой электроники [Электронный ресурс]

// Исторические заметки. URL: <http://wmw-magazine.ru/uploads/volumes/02/36-41a.pdf>.

21. Пожела Ю. Физика сверхбыстродействующих транзисторов / Ю. Пожела, В. Юцене. Вильнюс: Мокслас, 1985. 112 с.

22. Чёрный А.И. Всероссийский институт научной и технической информации: 50 лет служения науке / РАН; ВИНТИ. — М.: ВИНТИ, 2005. URL: https://www.iis.nsk.su/files/viniti_50_year_2005.pdf.

23. Шалимова К.В. Физика полупроводников: учеб. СПб.: Изд-во «Лань», 2010. 392 с.

REFERENCE

1. 40 let Institutu fiziki poluprovodnikov Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk / otv. red. I.G. Neizvestnyj. Novosibirsk, 2004. 376 s.

2. 50 let Institutu fiziki poluprovodnikov im. A.V. Rzhanova Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk / otv. red. I.G. Neizvestnyj. Novosibirsk. — 2014. — 310 s.

3. Alfyorov Zh.I. Nanotekhnologii mikroelektroniki i ehnergetiki / Zh.I. Alfyorov. // Vestnik RAN. — 2009. — Т.79. — № 3. — С.224-229.

4. Bakunin O.G. Zagadki diffuzii i labirinty sud'by / O.G. Bakunin. UFN. — 2003. — Tom 173. — № 3. — С. 317—321.

5. Bibliografiya po termoelektrichestvu / AN SSSR; In-t poluprovodnikov; otv. red. V.P. Zhuze. / М.; Л.: Izd-vo AN SSSR. — 1963. — 352 s.

6. Bogdanov S.V. Osnovopolozhnik poluprovodnikovoj ehlektroniki v Rossii / S.V. Bogdanov, I.G. Neizvestnyj // Nauka v Sibiri. — 2013. — № 39. — С. 8-9.

7. Bol'shaya Rossijskaya ehnciklopediya. V 30 tt. М. — 2005 — т. 11.

8. Vavilov V.S. Defekty v kremnii i na ego poverhnosti / V.S. Vavilov, V.F. Kiselyov, B.N. Mukashev. — М.: Nauka. — 1990. — 216 s.

9. Vladimir Maksimovich Turkevich (k semidesyatiletiju so dnya rozhdeniya) / A.P. Aleksandrov [i dr.] // UFN. — 1975. — Т.115. — № 1. — С.149—152.

10. Vol'kenshtejn F.F. Ehlektroprovodnost' poluprovodnikov / F.F. Vol'kenshtejn. М.; Л.: Gos. izd-vo tekhn.-teoret. lit. — 1947. — 352 s.

11. Gorodeckij A.F. Osnovy fiziki poluprovodnikov i poluprovodnikovyh priborov / A.F. Gorodeckij, A.F. Kravchenko, E.M. Samojlov; AN SSSR, Sib. otd-nie. — Novosibirsk: Nauka. — 1966. — 350 s.

12. Gurtov V.A. Fizicheskie principy MOP-struktur na kremnii i ehlektrofizicheskie processy v nih: bibliogr. ukaz. otechestv. i inostr. lit. za 1964-1978 gg. / V.A. Gurtov, O.F. Lebedeva; IFP SO RAN. Novosibirsk. — 1980. — 234 s.

13. Dragunov V.P. Osnovy nanoelektroniki: ucheb. posobie / V.P. Dragunov, I.G. Neizvestnyj, V.A. Gridchin. Novosibirsk: Izd-vo NGTU. — 2000. — 332 s.

14. Metody opredeleniya redkih metallov i poluprovodnikovyh materialov (knizhnaya, zhurnal'naya i patentnaya literatura za 1955-1960 gg.): bibliogr. ukaz. / Gos. kom. Sov. min. SSSR po koordinacii nauch.-issled. rabot. M. -1961. — 260 s.
15. Nauchnaya literatura po dielektrikam i poluprovodnikam. Bibliografiya 1953-1955 / sost. A.N. Gruzdeva. L., 1956. 256 s.
16. Nauchnaya literatura po dielektrikam i poluprovodnikam. Bibliografiya 1956-1958 / sost. A.N. Gruzdeva. L., 1960. 410 s.
17. Nauchnaya literatura po poluprovodnikam. Bibliografiya 1920-1952 / sost. V.P. ZHuze; AN SSSR; Institut poluprovodnikov. M.; L.: Izd-vo AN SSSR, 1955. 632 s.
18. Nauchnaya literatura po poluprovodnikovym ehlektronnym priboram (detektory i tranzistory). Bibliografiya 1945-1955 gg. / sost. k.f.-m.n. V.P. ZHuze. M.; L.: Izd-vo AN SSSR, 1959. 328 s.
19. Nauchnye raboty po dielektrikam [bibliografiya 1930-1949] / sost. d.t.n. B.M. Tareeva. M.: Izd-vo AN SSSR, 1952. 672 s.
20. Ostroumova E.V., Losev O.V. — pioner poluprovodnikovoj ehlektroniki [Ehlektronnyj resurs] // Istoricheskie zametki. URL: <http://wmw-magazine.ru/uploads/volumes/02/36-41a.pdf>.
21. Pozhela Yu. Fizika sverhbystrodeystvuyushchih tranzistorov / Yu. Pozhela, V. Yucene. Vil'nyus: Mokslas, 1985. 112 s.
22. Chyornyj A.I. Vserossijskij institut nauchnoj i tekhnicheskoy informacii: 50 let sluzheniya nauke / RAN; VINITI. — M.: VINITI, 2005. URL: https://www.iis.nsk.su/files/viniti_50_year_2005.pdf.
23. Shalimova K.V. Fizika poluprovodnikov: ucheb. SPb.: Izd-vo «Lan'», 2010. 392 s.