

ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

Основоположник полупроводниковой электроники в России

К 110-летию со дня рождения О.В. Лосева



В 2001 году сотрудники американской компании «Intel» обратились к русским физикам В. Жирнову (Университет Северной Каролины, США) и Н. Суэтину (Институт ядерной физики МГУ) с просьбой составить неформальный список российских учёных, внесших значительный вклад в развитие физики и техники полупроводников. Последние включили в этот список и О.В. Лосева, сообщив о нем, что «Лосев продемонстрировал полупроводниковый трёхконтактный усилитель». Реакция сотрудников Intel была мгновенной — они задали авторам справки вопрос: «Если Лосев создал первый трехтерминальный полупроводниковый прибор в 20-х годах, то получается, что он создатель первого в мире транзистора, за который Джон Бардин, Уолтер Браттейн и Уильям Шокли получили Нобелевскую премию в 1956 году?» Авторы справки порылись в литературе, и ответили Intel, что они ошиблись, и прибор, созданный Лосевым, — «кристадин», который усиливал и генерировал электрические колебания, был двухконтактным. В своем ответе они написали, что «кристадин» обладал N-образной вольт-амперной характеристикой, как и туннельный диод. И вновь сотрудники Intel удивились: «Если Лосев создал первый туннельный диод в 20-х годах, то как быть с Лео Есаки, который получил Нобелевскую премию (1973 год) за открытие туннельного диода в 1958 году?»

Таков масштаб сделанных Лосевым открытий и, к сожалению, столь же велико наше незнание этих открытий. Однако прежде чем переходить к рассказу о них, следует вспомнить, что же было известно о полупроводниках во времена Лосева.

Первое упоминание о необычных свойствах полупроводников, по-видимому, принадлежит М. Фарадею. В то время все материалы по своим электрическим свойствам делились на три группы: а) материалы, хорошо проводящие электрический ток (металлы); б) материалы, не проводящие электрический ток (диэлектрики или изоляторы); в) материалы, плохо проводящие электрический ток (их называли «плохими проводниками», и лишь позднее стали называть «полупроводниками»).

В 1833 году, исследуя температурную зависимость удельной электропроводности «плохого проводника» — сульфида серебра, Фарадей обнаружил, что в отличие от «хороших проводников», т.е. металлов, сульфида серебра при нагревании проводимость не уменьшалась, а, наоборот, увеличивалась. Впоследствии эта особенность температурной зависимости удельной проводимости была обнаружена и у других полупроводников.

После работы Фарадея в ближайшие 40 лет успехи в изучении полупроводников были незначительными. Два важных открытия были сделаны лишь в 1873 и 1874 годах. В 1873 году Уолби Смит открыл увеличение проводимости селена при его освещении, т.е. обнаружил внутренний фотоэффект, а в 1874 году Ф. Браун, исследуя такие вещества, как сернистый свинец (PbS) и пирит (FeS), обнаружил выпрямление переменного тока при контакте этих материалов с металлом.

В конце XIX-начале XX столетий появилось довольно много работ, посвящённых изучению свойств полупроводников. В большинстве случаев это были сульфиды и оксиды металлов, а также кремний. Именно в этот период и появился термин «полупроводники».

Важнейшим событием, подтолкнувшим исследование полупроводников, было открытие Александром Степановичем Поповым радиосвязи. Первый в мире радиоприёмник был продемонстрирован Поповым в 1895 году, а уже в 1901 году дальность ра-

диосвязи достигла 150 км. Чуть позже Попова, в 1897 году итальянец Маркони получил патент на радиоприёмник. Началась эпоха радио.

При приёме радиопередачи необходимо детектировать высокочастотный переменный сигнал. В качестве такого детектора Попов использовал когерер — стеклянную трубку с металлическим порошком, встряхиваемую молоточком, как в электрическом звонке. Когерер был весьма несовершенным прибором, и возникла задача заменить его на более надёжный. Таким прибором стал полупроводниковый детектор, предложенный Пиккардом в 1906 году. Эти детекторы начали повсеместно применяться в первых приёмниках, так и называемых «детекторными».

Такова была обстановка, в которой начал свою деятельность О.В. Лосев. В это время ещё не существовало ни квантовой механики, созданной Эдвином Шредингером в 1926 году, ни зонной теории твёрдого тела. Лишь в 1928 году появилась созданная Зоммерфельдом зонная теория металлов, а зонная теория полупроводников была предложена Алланом Вильсоном в 1931 году.

Попытаемся проследить жизненный путь Лосева и в какой-то степени описать сделанные им открытия.

Олег Владимирович Лосев родился 10 мая 1903 года в Твери в семье отставного штабс-капитана царской армии, обедневшего дворянина. В 1912 году он поступил в Тверское реальное училище.

Шла Первая мировая война. В 1914 году российское военное командование принимает решение в спешном порядке построить три мощных радиостанции: две передающие — в Царском Селе и на Ходынском поле в Москве — и одну приёмную, в Твери. Последняя должна была принимать передачи союзников из Лондона и Парижа и следить за передачами немецких радиостанций. На ней работала команда военных инженеров под началом штабс-капитана Владимира Михайловича Лещинского. Его заместителем и, видимо, научным руководителем радиостанции был Михаил Александрович Бонч-Бруевич, впоследствии член-корреспондент АН СССР (1931 г.).

На радиостанцию часто приезжал, вероятно, в качестве научного консультанта энтузиаст радиотехники, ученик А.С. Попова профессор Владимир Константинович Лебединский. У него была замечательная черта — подмечать талантливых людей и увлекать их своими идеями. Именно он увлек радиотехником Лещинского, Бонч-Бруевича и сыграл огромную роль в судьбе Лосева. Все они были весьма одаренными людьми и пытались усовершенствовать и своими силами изготовить новую, необходимую для работы радиостанции аппаратуру. Так исподволь в недрах Тверской радиостанции организовалась маленькая «внештатная» лаборатория. Одной из её задач была разработка и изготовление отечественных радиоламп.

Офицеры тверской радиостанции были людьми не только преданными науке, своему делу, но и весьма прогрессивно настроенными людьми. И когда в 1917 году произошла Октябрьская революция, они без колебаний перешли на сторону Советской власти.

Но вернемся немного назад. Шёл 1917 год. Начальник Тверской радиостанции В.М. Лещинский выступает в реальном училище с публичной лекцией о беспроволочной телеграфии. На этой лекции присутствует 14-летний Лосев, ученик 5-го класса реального училища. Беспроволочный телеграф потряс его воображение, побуждая как можно больше узнать и о самом явлении, и об устройствах, приборах, необходимых для радиотелеграфии. После лекции юный Лосев задаёт Лещинскому множество вопросов, расспрашивает о том, как устроена радиостанция, как она принимает сигналы. Лещинскому понравился любознательный паренёк, и он приглашает его познакомиться с радиостанцией поближе. С этого момента Лосев всё своё свободное время отдаёт посещению радиостанции, знакомству с её аппаратурой, с деятельностью «внештатной» радиолоборатории. Он становится на радиостанции своим человеком и уже хорошо знаком с М.А. Бонч-Бруевичем и В.К. Лебединским.

В 1918 году указом Ленина Тверская радиостанция со всем оборудованием и в полном составе переводится из Твери в Нижний Новгород. Здесь под руководством тех же Лещинского, Бонч-Бруевича с участием профессора Лебединского создается Нижегородская радиолоборатория.

Лосев остаётся в Твери и продолжает учёбу в реальном училище, которое заканчивает в 1920 году. Не раздумывая, он в том же году приезжает в Москву для поступления в Московский институт связи.

В сентябре 1920 года проходил I Российский радиотехнический съезд. Лосев, конечно же, не мог пропустить это событие. На съезде присутствовали хорошо известные Лосеву работники бывшей Тверской радиостанции — профессор Лебединский и Бонч-Бруевич, которые сообщили присутствующим о Нижегородской радиолоборатории и стоящими перед ней задачами. Это событие резко изменило всю жизнь Лосева. Он решает отказаться от учёбы в институте в связи с твердым намерением работать в Нижегородской радиолоборатории, уезжает домой в Тверь, а через полгода с разрешения родителей приезжает в Нижний Новгород.

Нижегородская радиолоборатория для того времени являлась совершенно уникальным учреждением — это был аналог советского отраслевого НИИ. В её обязанности входило усовершенствование существующих и разработка новых радиоустройств, их изготовление, и, наконец, использование в действующих радиостанциях. Лаборатория должна была объединить вокруг себя все научно-технические силы России, работающие в области радиотелеграфии.

Работы Нижегородской радиолоборатории (НРЛ) впоследствии стали гордостью советской радиотехники. Достаточно сказать, что они позволили перейти от радиотелеграфии к радиотелефонии — это был громадный шаг вперёд. А разработанные Бонч-Бруевичем сверхмощные (100 кВт) радиолампы с охлаждаемым водой анодом послужили основой для создания самой мощной в мире радиостанции имени Коминтерна, которая была запущена в Москве 7 ноября 1922 года.

Лосева приняли в лабораторию радиоприёмников на должность рассыльного, а через три месяца, по истечению испытательного срока, профессор Лебединский зачисляет Лосева на должность младшего лаборанта с окладом 900 рублей. Отметим, что зарплата управляющего НРЛ была 1000 рублей, а стеклодува — от 500 до 700 рублей. В.К. Лебединский становится его научным руководителем.

Нижегородская радиолоборатория стала домом Лосева в прямом и в переносном смысле: он жил в помещении радиолоборатории в маленькой комнатке при входе на чердак и всё своё время без остатка посвящал любимой работе.

Первое научное задание, которое он получил от своего научного руководителя — исследование возможности дальнейшего радиоприёма без радиоламп, т.е. создания другого, не лампового усилителя радиосигналов. В частности, речь шла о так называемых магнитных усилителях. Чтобы понять сущность этого задания, нам придётся вернуться назад и коротко рассмотреть развитие радиотехники со времён Попова.

В радиоприёмниках Попова в качестве детектора использовался когерер. Но в 1904 году англичанин Дж.Э. Флеминг изобрёл вакуумный диод и применил его в качестве детектора в радиотелеграфии, а в 1906 г. американец Ли де Форест создал трёхэлектродную вакуумную лампу — триод. Триод можно было использовать в качестве усилителя слабых электрических сигналов. Наконец, в 1913 году, накануне Первой мировой войны, немец А. Мейснер открыл способность триода генерировать электромагнитные колебания. Благодаря этому был построен первый ламповый радиопередатчик. Хотя такие передатчики были тогда очень маломощными, тем не менее, будущее было за радиолампами. Начался век радиоламп!

В России первые радиолампы изготовил Н.Д. Папалексис в 1914 году. Однако эти радиолампы были не вакуумными, а газонаполненными (с ртутью). В радиоаппаратуре русской армии электронных ламп практически не было. На уже упомянутой Тверской радиостанции для приёма слабых сигналов использовались ламповые усилители с радиолампами французского изготовления. Срок службы этих ламп был не более 10 часов (!), а стоимость — до 200 рублей золотом. Легко представить себе во сколько обходилась круглосуточная работа Тверской радиостанции!

Поэтому М.А. Бонч-Бруевич предпринял попытку изготовить радиолампы своими руками из подручных материалов. И эта попытка увенчалась успехом! Созданные здесь ра-

диолампы работали месяцами, а стоили всего 32 рубля. Маленькая радиолоборатория начала понемногу снабжать своими радиолампами Петроград и радиостанции фронта.

Таким образом, когда Лосев появился в Нижегородской радиолоборатории, в радиотехнике «правили бал» электронные лампы. Однако, как уже упоминалось, сами лампы были дороги, недолговечны, а их характеристики имели существенный разброс. Ко всему прочему, ламповые радиоприёмники требовали питания: сильноточных источников для нитей накала и громоздких анодных батарей. Поэтому профессор Лебединский предложил молодому Лосеву исследовать возможность создания усилителей без электронных ламп.

Лосев занялся этим вопросом, и вскоре пришёл к выводу, что магнитные усилители не перспективны для радиотехники. В июне 1921 г. вышла в свет его первая научная публикация — «О магнитных усилителях». Придя к мысли, что магнитные усилители не годятся для замены радиоламп, Лосев задумался о других вариантах. Несомненно, к этому моменту он уже хорошо знал кристаллические детекторы и соорудил уже не один детекторный приёмник. Возможно, он начал собирать их ещё в Твери, когда Лещинский пробудил у него интерес к радиотехнике, а может быть позже, уже в Нижнем Новгороде, когда трудами НРЛ в январе 1920 года в эфире зазвучал человеческий голос. Во всяком случае, он уже хорошо освоился с работой кристаллических детекторов, умел находить «рабочую» точку, знал их нестабильность и вполне постиг все тонкости работы с ними.

В 1921 году Лосев сделал сенсационное открытие: при исследовании колебательного контура, содержащего контакт цинкит (ZnO) — угольная нить, возникают незатухающие колебания. В результате дальнейших исследований он получил не только генерацию, но и усиление внешнего сигнала.

Эти результаты Лосев доложил на «лабораторном семинаре», а затем опубликовал в журнале «Телеграф и телефония без проводов» (1922, № 14, стр. 374—386) — статья называлась «Детектор-генератор; детектор-усилитель», а также за рубежом в американском (1924 г.) и немецком (1925 г.) журналах.

Работы Лосева получили весьма высокую оценку современников. Так, в редакционном предисловии к статье Лосева «Осциллирующие кристаллы» в американском журнале «Wireless World and Radio Review» (1924 г.) говорилось: «Автор этой статьи из России за сравнительно короткий промежуток времени приобрёл мировую известность в связи с его открытием осциллирующих свойств некоторых кристаллов». Примерно в то же время американский журнал «Radio News» писал: «Нет надобности доказывать, что это — революционное радио-изобретение».

Созданное Лосевым устройство получило название «кристадин». Интересно отметить, что само название «кристадин» было предложено в одной из французских статей, посвящённых открытию Лосева. Название прижилось, и позднее им стал пользоваться и сам Лосев. Он публикует 14 статей посвящённых кристадину» и выпускает брошюру «Кристадин» в серии «Библиотека радиолюбителя» (1924 г.) общим тиражом 17 тыс. экземпляров.

Итак, «кристадин» Лосева — не транзистор, а диод с отрицательным дифференциальным сопротивлением (ОДС). Теория этого диода была создана лишь в 1968 г., т.е. через 46 лет после исследования Лосева.

Напомним, однако, что ОДС наблюдалось Лосевым и в прямом направлении, хотя оно и не было им детально изучено или описано. Поскольку полупроводники, которые он исследовал, содержали большое количество примесей и могли быть выродженными, то не исключено, что Лосев создал и туннельный диод Есаки. К сожалению, он прошёл мимо!

Главное — было неясно, по какой причине у диода возникает отрицательное дифференциальное сопротивление. В качестве одной из вероятных причин Лосев рассматривал возможность появления микроскопических электрических разрядов на границе металлического острого и кристалла. При этом должно было наблюдаться сопутствующее разряду характерное свечение. И Лосев начал его искать.

И вот сразу же разочарование: прекрасно генерирующий диод цинкит — уголь совершенно не светился! Свечения не было видно даже под микроскопом, куда Лосев помчал исследуемые диоды. Ещё