

Олег Владимирович Лосев — пионер полупроводниковой электроники

(К столетию со дня рождения)

10 мая 2003 года исполняется 100 лет со дня рождения Олега Владимировича Лосева — выдающегося русского ученого и изобретателя в области радио- и оптоэлектроники.

Работая сначала в Нижегородской радиолaborатории, а потом в Ленинграде в Центральной радиолaborатории и на кафедре физики Первого медицинского института в двадцатых и тридцатых годах прошлого столетия, он сделал ряд важнейших открытий и изобретений, которые позволяют по праву считать его пионером полупроводниковой электроники. Вместе с тем необходимо отметить, что значение выдающихся научных достижений О.В. Лосева явно недооценивается как у нас в стране, так и за границей. В связи со столетним юбилеем О.В. Лосева целесообразно более подробно рассмотреть и оценить его наиболее выдающиеся научные достижения с точки зрения современности, чтобы воздать должное этому удивительному ученому, значительно опередившему свое время.

О.В. Лосев родился в Твери в семье служащего вагоностроительного завода, отставного штабс-капитана царской армии, дворянина. После окончания Тверского реального училища в 1920 г. он поступил на работу в Нижегородскую радиолaborаторию (НРЛ), где его научным руководителем стал В.К. Лебединский. После закрытия НРЛ в 1928 г. О.В. Лосев вместе с другими ведущими сотрудниками переехал в Ленинград для работы в Центральной радиолaborатории (ЦРЛ). С 1929 по 1933 г. по приглашению А.Ф. Иоффе Лосев проводил исследования в Ленинградском физико-техническом институте. С 1937 по 1942 г. О.В. Лосев работал на кафедре физики Первого ленинградского медицинского института.

22 января 1942 года Олег Владимирович Лосев умер от голода в блокадном Ленинграде. Место его захоронения неизвестно.

До последнего времени у нас в стране были широко известны только работы О.В. Лосева, связанные с созданием кристадина. Первая его работа, посвященная кристадину, была опубликована в 1922 г. В ней он показал, что кристаллический детектор при подаче на него дополнительного постоянного напряжения может выполнять функции усилителя или генератора электромагнитных колебаний. На современном языке это означает, что в этом случае кристаллический детектор превращается в двухполосник с падающей вольт-амперной характеристикой.

Нужно отметить, что „генерирующий“ детектор был впервые продемонстрирован еще в 1910 г. англичанином В. Икклзом (W.H. Eccles). Однако тогда это интересное



физическое явление не привлекло внимания специалистов в области радио. По-видимому, это связано с тем, что автор объяснил механизм „отрицательного“ сопротивления на основе тепловых эффектов на границе металл-полупроводник, принимая во внимание, что сопротивление полупроводника падает с увеличением температуры. В то время уже было известно, что такой механизм лежит в основе „звучащей“ вольтовой дуги, которая применяется для генерации низкочастотных радиоволн в практической радиотехнике. По этой причине применение такого устройства на более высоких частотах практически исключалось.

Заслуга О.В. Лосева заключается и в том, что он на примере цинкитного (ZnO) детектора, проведя целую серию весьма тонких экспериментов, показал, что в этом случае тепловые эффекты не играют роли и усиление происходит за счет электронных процессов на границе металлического острия и полупроводникового кристалла. В частности, он обнаружил, что цинкитный кристадин может генерировать и усиливать электромагнитные колебания вплоть до 10 MHz. В то время

этот диапазон еще не использовался даже для практических целей. Заслуга Лосева состоит в том, что он применил это явление на практике. Им была создана серия радиоприемников-кристадинов, которые использовались рядом государственных радиостанций. Особенно большой популярностью кристадины пользовались у радиолюбителей, которым удавалось устанавливать даже межконтинентальные радиоконтакты с помощью простых детекторных приемников и передатчиков на основе кристадина с батарейками в несколько вольт. Именно простота и практическая ценность кристадина вызвала широкую волну интереса к нему во всем мире. Как о сенсационном изобретении в середине двадцатых годов о нем писали газеты и солидные научные журналы Европы и Америки. Многие предвидели, что грядущая революция в области радио будет связана с кристадином Лосева.

К сожалению, в то время открытие Лосева не получило достойного развития. Несмотря на героические усилия, Лосеву не удалось устранить основной практический недостаток кристадина — нестабильность его работы из-за механического контакта металлического острия с кристаллом. Кроме того, кристадин в середине двадцатых годов не мог конкурировать с вакуумными радиолампами, поскольку на это время приходился самый интенсивный период их совершенствования; вследствие чего были решены практически все проблемы их применения в практической радиотехнике того времени. Кстати, в значительной степени этому способствовали и работы НРЛ, где проводил свои исследования О. В. Лосев.

Усилия известных физиков, в том числе и Нобелевского лауреата Р. Э. Милликена, а также исследования самого Лосева не позволили тогда разгадать механизм падающей вольт-амперной кривой кристадина. Теперь очевидно, что без привлечения квантовой механики это было невозможно. Однако к середине двадцатых годов еще не были созданы ее физические основы, а зонная теория полупроводников была разработана только в начале тридцатых годов.

К сожалению, до сих пор механизм действия цинкитного кристадина Лосева в полной мере не выяснен. Дело в том, что в настоящее время известно около десятка физических процессов, приводящих к явлению отрицательного сопротивления. Многие специалисты связывают кристадинный эффект Лосева с туннельным механизмом Искаи, но пока эксперименты, подтверждающие это, отсутствуют. Сейчас было бы интересно повторить эксперименты Лосева с цинкитом с привлечением современных методов исследования. Тем более что теперь проявляется большой интерес к этому кристаллу со стороны оптоэлектроников.

Следует опровергнуть мнение, бытующее среди историков науки, что интерес к кристадину Лосева к концу двадцатых годов полностью исчез. Попытки его использования предпринимались и позже, но главное состоит в том, что феномен кристадина Лосева показал, что

можно создать полупроводниковые приборы, полностью заменяющие традиционные радиолампы. Именно в конце двадцатых годов появились идеи создания твердотельного аналога трехэлектродной вакуумной радиолампы.

Совсем недавно стало известно, что эти идеи не были чужды и О. В. Лосеву. В 1929–1931 гг., уже работая на экспериментальной базе Ленинградского физтеха, по предложению А. Ф. Иоффе он продолжил свои работы по исследованию новых физических эффектов в полупроводниках, открытых им еще в НРЛ. Среди этих работ были исследования полупроводникового устройства, полностью повторяющего конструкцию точечного транзистора. Как известно, принцип действия этого прибора заключается в управлении током, текущим между двумя электродами, с помощью дополнительного электрода. Лосев действительно наблюдал этот эффект, но, к сожалению, общий коэффициент этого управления не позволял получить усиление сигнала. Однако для этой цели он использовал только кристалл карборунда (SiC) и не использовал, например, кристалл цинкита (ZnO), который имел значительно лучшие характеристики в кристадинном усилителе.

До последнего времени считалось, что после вынужденного ухода из ФТИ Лосев уже не возвращался к идее полупроводниковых усилителей. Однако совсем недавно стало известно о существовании довольно любопытного документа, написанного самим О. В. Лосевым. Он датирован 12 июля 1939 г. и в настоящее время хранится в Политехническом музее. В этом документе, озаглавленном „Жизнеописание Олега Владимировича Лосева“, кроме интересных фактов его жизни содержится и перечень научных результатов. Особый интерес вызывают следующие строки: „Установлено, что с полупроводниками может быть построена трехэлектродная система, аналогичная триоду, как и триод, дающая характеристики, показывающие отрицательное сопротивление. Эти работы в настоящее время подготавливаются мною к печати“.

К сожалению, пока не установлена судьба этих работ, которые могли бы полностью изменить представление об истории изобретения транзистора — одного из самых революционных изобретений двадцатого века.

Другие важнейшие научные заслуги О. В. Лосева связаны с исследованиями в области электролюминесценции и электролюминесцентных источников света — светодиодов (Light Emitting Diodes). Исследования Лосева в области электролюминесценции хорошо известны еще с двадцатых годов, и на эти работы продолжают ссылаться до сих пор. В двадцатые годы на Западе явление электролюминесценции одно время даже называли „светом Лосева“ (Losev light, Lossev Licht). По этой причине за рубежом Лосев по праву считается пионером в области электролюминесценции. Однако мало кому известно, что О. В. Лосев является и изобретателем светодиода. Он первым увидел огромные перспективы таких источников света, особо подчеркнув их высокую

яркость и быстрдействие. Он также является обладателем первого патента на изобретение прибора с электролюминесцентным источником света (световое реле).

В конце семидесятых годов прошлого века, когда на Западе стали широко применяться электролюминесцентные источники света, Н. F. Ives случайно обнаружил небольшую заметку Н. J. Round „A note on carborundum“ в журнале „Electrical World“ (v. 49, p. 308, 1907), где автор (сотрудник лаборатории Маркони) сообщал, что видел свечение в контакте карборундового (SiC) детектора при подаче на него внешнего электрического поля. Никакой существенной информации об этом свечении и тем более о физике этого явления в этом сообщении не содержалось. В то время на нее никто не обратил внимания, и она не оказала никакого влияния на последующие исследования в области электролюминесценции. Тем не менее некоторые специалисты, в том числе и отечественные, именно этого автора считали первооткрывателем явления электролюминесценции. Лосев же не только независимо открыл это явление, но и провел детальное его исследование на примере кристалла карборунда (SiC). Так, он открыл, что в данном случае имеют место два физически различных явления, которые наблюдаются при разной полярности напряжения на контакте. Лосев открыл не только инжекционную электролюминесценцию (свечение II в его терминах), которая в настоящее время лежит в основе светодиодов и полупроводниковых лазеров, но и явление предпробойной электролюминесценции (свечение I), которое также широко применяется при создании новых электролюминесцентных дисплеев. Впоследствии свечение I было также обнаружено французским ученым G. Destriaux, и теперь в зарубежной литературе оно носит название эффекта Дестриу, хотя сам Дестриу приоритет в открытии этого явления отдавал О. В. Лосеву. Кроме того, О. В. Лосеву удалось очень далеко продвинуться в понимании физики этих явлений в условиях, когда еще не была создана зонная теория полупроводников. Так что современные защитники приоритета Роунда вряд ли имеют право оспаривать выдающийся вклад нашего соотечественника в эту область физики и особенно в изобретение светодиода. Ведь изобретателями радио считаются по праву Попов и Маркони, хотя всем известно, что радиоволны первым наблюдал Герц. И таких примеров в истории науки много.

Оценивая исследовательскую деятельность О. В. Лосева, следует отметить, что он был прежде всего замечательным физиком-экспериментатором. Работая в исключительно трудных условиях начала двадцатых годов, он тем не менее достиг выдающихся научных результатов. Вот что писал о Лосеве известный американский ученый в области электролюминесценции E. E. Loebner в статье „Subhistory of the Light Emitting Diode“, значительная часть которой посвящена анализу вклада О. В. Лосева в изучение электролюминесценции и светодиодов: „Своими пионерскими исследованиями в области светодиодов

и фотодетекторов он внес вклад в будущий прогресс оптической связи. Его исследования были так точны и его публикации так ясны, что без труда можно представить сейчас, что происходило тогда в его лаборатории. Его интуитивный выбор и искусство эксперимента просто изумляют“ (см. Список литературы о О. В. Лосеве).

К этому следует добавить, что Лосев работал в то время, когда физика полупроводников фактически отсутствовала, поскольку квантовая теория твердых тел еще не была создана (она возникла лишь десять лет спустя). Теперь стало ясно, что без квантовой теории строения полупроводников прогресс в полупроводниковой электронике невозможен. Кроме того, в то время практически отсутствовала техническая основа для экспериментальных исследований в области физики полупроводников. Тем большего изумления заслуживают интуиция Лосева, его искусство и талант экспериментатора, позволившие достичь выдающихся результатов.

Так, он с самого начала видел единую физическую природу кристаллина и явления инжекционной люминесценции. В этом он значительно опередил свое время. Дело в том, что после Лосева исследования полупроводниковых детекторов электролюминесценции проводились раздельно и независимо различными группами ученых. Некоторые исследовали только явления, связанные с детектированием в полупроводниковых структурах, что привело к изобретению транзисторов в 1947 г. и туннельных диодов.

Независимо проводились исследования, связанные с электролюминесцентными источниками света. Анализ результатов этих исследований показывает, что на протяжении почти двадцати лет после появления работ Лосева не было сделано ничего нового с точки зрения понимания физики этого явления. Большинство работ этого периода посвящено приборам на основе предпробойной электролюминесценции с целью создания различного рода оптических дисплеев. И только в 1951 г. (т.е. почти на тридцать лет позже Лосева) K. Lehovec с сотрудниками показал, что детектирование и электролюминесценция имеют единую природу, связанную с поведением носителей тока в $p-n$ -переходах, а электролюминесценция связана с рекомбинацией электронов и дырок в этих переходах. Следует отметить, что в своей работе K. Lehovec приводит в первую очередь ссылки на все работы Лосева, посвященные электролюминесценции.

Именно такая точка зрения позволила О. В. Лосеву значительно продвинуться в понимании физики полупроводниковых контактов. Сочетая оптические и электрофизические методы исследования этих контактов, он на примере карборундового контакта смог уже в конце двадцатых годов предложить слоистую модель его строения с детальным изучением каждого из этих слоев. Удивительно, что эта модель мало чем отличалась от современной.

Высоко оценивая достижения Лосева, следует отметить также следующий факт. Лосев стоял у истоков зондовой микроскопии полупроводниковых струк-

тур, которая в последние годы революционным образом изменила не только методы исследования, но и технологию современных полупроводниковых структур. В 1930–1931 гг. Лосев на высочайшем экспериментальном уровне выполнил серию опытов с косыми шлифами, растягивающими исследуемую область, и системой электродов, включаемых в компенсационную измерительную схему, для измерения потенциалов в разных точках поперечного сечения слоистой структуры. Перемещая тонкое металлическое острие поперек шлифа, он показал с точностью до одного микрона, что приповерхностная часть кристалла имеет сложное строение. Он выявил активный слой толщиной около десяти микрон, в котором наблюдается явление инжекционной электролюминесценции. Исходя из этих исследований, Лосев сделал предположение, что причиной униполярной проводимости является различие условий движения электронов по обе стороны активного слоя (на современном языке — разные типы проводимости). Далее, экспериментируя с тремя и более зондами-электродами, расположенными в данных областях, он действительно подтвердил это.

С современной точки зрения эти исследования безусловно являются высшим достижением Лосева как ученого-физика. А изобретение им светоизлучающих диодов (СИД) (по терминологии Лосева „электронных генераторов света“) трудно переоценить. СИД (Light Emitted Diode) безусловно являются основой современной оптоэлектроники. Без сомнения, можно утверждать, что изобретение светодиодов по значимости влияния на научно-технический прогресс можно сравнивать только с изобретением транзистора или лазера.

Следует также отметить, что Лосевым сделаны и другие важные открытия, о которых мало известно даже специалистам. Он внес существенный вклад и в технологию полупроводниковых материалов. О. В. Лосев изобрел и экспериментально реализовал способ дуговой переплавки полупроводниковых материалов на примере цинкита. Это позволило существенно улучшить характеристики цинкитного кристаллина. В тридцатых годах Лосевым был проведен цикл работ по исследованию фотоэлектрического эффекта в полупроводниковых структурах. Это были пионерские работы, в которых было показано, что в таких фотоприемниках можно получить предельно высокий квантовый выход. Это и определило современный прогресс в разработке полупроводниковых фотодетекторов. Эти исследования О. В. Лосев проводил в блокадном Ленинграде до самой смерти.

Фотоэлектрический эффект при освещении карборундового детектора он обнаружил еще в 1924 г., работая в НРЛ. Применяя свой метод шлифов и зондовой микроскопии, он убедительно показал, что эффект в карборунде имеет действительно фотоэлектродвижущую природу и что фотоэДС возникает в части активного слоя толщиной 1–3 микрона. В ходе этих исследований в порошкообразных образцах им был открыт весьма интересный фотодиэлектрический эффект, заключающийся

в том, что при освещении SiC-контакта меняется его емкость. И. В. Курчатов еще в тридцатые годы очень высоко оценил этот цикл работ Лосева.

К заслугам Лосева следует отнести и его пионерские исследования фотоэлектрических свойств кремния. Задавшись целью выбрать материал для изготовления фотоэлементов и фотоспротивлений, Лосев исследовал более 90 веществ. Ему удалось, в частности, установить заметную фоточувствительность кремния. В конце тридцатых годов, по-видимому, чисто интуитивно О. В. Лосев понял, что этому материалу принадлежит большое будущее.

В начале 1941 г. Лосев приступил к разработке новой темы „Метод электролитных фотоспротивлений, фоточувствительность некоторых сплавов кремния“. Как всегда, и на этот раз интуиция его не подвела. О. В. Лосев чувствовал, что за кристаллом кремния большое будущее.

Нападение гитлеровской Германии отодвинуло на второй план научные исследования, но, желая окончить начатую работу, Лосев отказался от эвакуации. По-видимому, ему удалось закончить эту работу и отослать ее в редакцию ЖТФ в Ленинграде. Но к этому времени редакция уже была эвакуирована. К сожалению, после войны не удалось найти следы этой статьи и теперь можно лишь догадываться о ее содержании.

Среди других открытий, которые также не были оценены современниками Лосева, следует отметить эффект трансгенерации, который он наблюдал в многоконтурных радиотехнических схемах, содержащих нелинейные элементы. Эти работы внесли весомый вклад в развитие нелинейной радиотехники, но они, к сожалению, пока не получили должной оценки и дальнейшего развития.

Приведенный выше анализ научных достижений и открытий О. В. Лосева показывает, что в его лице наша наука имела чрезвычайно талантливого ученого в области полупроводниковой науки и техники. Можно сказать совершенно определенно, что каждое научно-техническое начинание Лосева в физике полупроводников, сделанное им в двадцатых и тридцатых годах прошлого века, впоследствии развилось в самостоятельное перспективное направление. По этой причине признание Лосева пионером современной радио- и оптоэлектроники вполне оправдано.

К сожалению, после войны начатые Лосевым исследования не были продолжены и постепенно о них забыли. Это связано с тем, что Лосев был ученый-одиночка и не оставил учеников, которые могли бы продолжить его исследования. Этому также способствовала трудная послевоенная обстановка. Очевидно, что наша страна благодаря работам О. В. Лосева имела реальный шанс выйти в лидеры в области полупроводниковой электроники еще в предвоенные годы. То обстоятельство, что исследования Лосева в свое время не получили дальнейшего развития, безусловно отразилось на нашем отставании в области радио- и оптоэлектроники.

В связи с юбилеем ученого сотрудники музея НРЛ готовят сборник, посвященный жизни и научной деятельности О.В. Лосева. В частности, в него войдет работа Б. А. Остроумова „О.В. Лосев — изобретатель кристаллина“, которая была написана еще в начале пятидесятих годов прошлого столетия, но не была опубликована.

М. А. Новиков

Список литературы о О. В. Лосеве

- [1] О.В. Лосев. У истоков полупроводниковой техники. Сб. тр. О.В. Лосева / Под ред. Г.А. Остроумова. Наука, Л. (1972).
- [2] А.Г. Остроумов, А.А. Рогачев. О.В. Лосев — пионер полупроводниковой электроники. Сб. научн. тр. Физика: проблемы, история, люди / Под ред. В.М. Тучкевича. Наука, Л. (1986).
- [3] E.E. Loebner. IEEE Trans. Electron Devices **ED-23**, 7, 675 (1976).