

## ТЕХНИКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ \*

*Жорж Дежарден*

Изготовление фотоэлементов сосредоточивается в настоящее время лишь в немногих лабораториях, обладающих необходимым оборудованием. Это производство имеет ряд весьма серьезных трудностей (изготовление стекла, вакуум-техника, работа с чистыми щелочными металлами, чистые газы и пр.), делающих изготовление продолжительным и сложным.

Благодаря этим трудностям кроме оборудования лаборатория должна обладать сотрудниками, достигшими высокой квалификации в этом производстве, лишь тогда можно быть уверенным в его успехе.

Тем не менее все расширяющаяся область применения фотоэлементов заставляет физиков и производственников совершенствовать методы их производства и искать более простые и более скорые способы их изготовления. Тем более, что теперь занялись конструированием фотоэлементов некоторых определенных типов для применения в таких важных вопросах, как объективная фотометрия, телевидение, звуковое кино и многое другое. Поэтому мы имеем все основания ждать, что эти методы быстро станут промышленными, подобно тому как это имело место недавно с конструцией многоэлектродных катодных ламп.

\* Доклад на публичном собрании Оптического института в Париже 13 июня 1930 г. Rev. d'Optique, перевел В. Л. Гинзбург.

## I. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОЛБЫ

Первые трудности, встречаемые в производстве фотоэлементов, состоят в изготовлении стеклянной колбы. Кварц разъедается щелочными металлами, а потому для этой цели не может употребляться. Обыкновенное стекло обладает высокой проводимостью и легко покрывается пленкой, проводящей влагу.

Обычно употребляются боросиликаты, как например пирекс. При работе с этим сортом стекла металлические вводы к электродам могут быть сделаны очень легко: берется вольфрам (тщательно очищенный) и в месте спаивания предварительно покрывается соединительным стеклом. Другие стекла твердых сортов (Шотт, Филипс, Фотос и др.) спаиваются одинаково хорошо с вольфрамом, молибденом и феррохромом. В некоторых случаях рекомендуется покрывать вольфрам слоем кобальта.

Существуют так называемые „промежуточные“ стекла (Шотт, Филипс и др.), дающие возможность сплавлять кварц с относительно легкоплавкими стеклами, как например с тюрингенским стеклом. Таким образом можно, употребляя колбу из легкоплавкого стекла, избежать в то же время трудностей спаивки электродов. Употребление тюрингенского стекла сильно упрощает конструкцию фотоэлементов, и в настоящее время оно с успехом применяется. Вводы в этом случае делаются из платинита, покрытого каплей стекла.

Подводящие проводники могут быть замонтированы в „ножку“, подобно тому как это делается в осветительных и катодных лампах.

Металлические части должны быть предварительно обезгажены продолжительным прокаливанием в вакууме, а внутренность колбы — очищена самым тщательным образом (раствором хромпика в серной кислоте, спиртом и пр.). Спаивать колбу лучше на насосе, чтобы она возможно меньше загрязнялась. Контакт с подслоем для катода делают при помощи платиновой проволоочки, прижатой изнутри к стеклу и выведенной двумя концами наружу.

В некоторых случаях катод наносится не на внутренние стенки колбы, а на металлическую пластинку (никель, серебро и пр.), помещаемую в нужном положении внутри колбы.

Для устранения недостаточной изолированности поверхностного слоя стекла (проводящая пленка на внутренней поверхности чрезвычайно тонка) часто устраивают два предохраняющих кольца (внутреннее и внешнее), образованных осаждением серебра и соединенных с землей. Это приспособление уничтожает темный ток, но в фотоэлементах широкого употребления оно не применяется.

Форма колб делается весьма различной в зависимости от назначения фотоэлемента: сферическая, цилиндрическая, трубкообразная с плоской стенкой, с боковой трубкой для вмазывания кварцевого окошка. Сферическая форма — это одна из наиболее старых и распространенных форм. В ней часто делают окошко круглым и небольшим, по сравнению со сферической частью колбы. Благодаря этому получается ряд повторных отражений от поверхности катода, не выходящих наружу и увеличивающих фототок. В действительности для наиболее употребительных катодов (например калий, обработанный водородом) этот эффект „черного тела“ не дает заметного увеличения чувствительности, ибо наиболее активное излучение сильно поглощается поверхностью катода, и многократно отраженный свет поэтому создает очень малое увеличение фототока. Однако в тех случаях, когда катод состоит из пленок щелочного металла, нанесенного на магний, влияние повторных отражений может стать значительным.

Фотоэлементы со стеклянной колбой не могут употребляться в ультрафиолетовой области, кроме части, близкой к видимой, для которой окошко обладает еще достаточным пропусканием. Но, с другой стороны, колбы из кварца очень дороги. Поэтому конструкции фотоэлементов со стеклянной колбой, но с вмазанным кварцевым окошком, заслуживают большого внимания.\* Это чрезвычайно удобный

\* См. например E. O. Hulbert. Astr. Journ. 41. 400, 1915.

способ получения простых и дешевых фотоэлементов (натриевых и кадмиевых), чувствительных к ультрафиолету.

Мы выше говорили, что некоторые твердые стекла, такие как пирекс, обладают значительным пропусканием, превосходящим пропускание кристаллов и оптических стекол, в близком ультрафиолете. При толщине в 2 мм предел пропускания для пирекса лежит около 3200 Å. Изменения этой границы с толщиной было изучено кварцевым спектрографом с ртутной лампой, в качестве источника.

При толщине стекла в 0,25 мм на спектрограмме легко получается резонансная линия — 2537 Å. Уменьшая толщину пластинки до нескольких сотых миллиметра, можно получить спектр ртутной лампы до 2200 Å.

Другие стекла этого типа (стекло Сибор, тюрингенское стекло), будучи промерены в тех же условиях, дали вполне аналогичные результаты.

Большое пропускание стекол в очень малых толщинах было использовано Дэвисом для работы с X-лучами и Слэком, для получения ланардовского излучения.\* С другой стороны, Сонкин\*\* показал, что возможно сделать ртутную лампу из пирекса с очень тонкими стенками, дающую такое же излучение, как лампа в кварцевом баллоне. Приведенные примеры показывают, что возможно изготовить фотоэлемент, чувствительный к ультрафиолету в стеклянной колбе (пирекс или тюрингенское стекло) но с очень тонким окном.

Можно проверить пропускание окна на спектрографе перед окончательным замонтированием фотоэлемента. Очень тонкие стеклянные стенки, необходимые для хорошего пропускания ультрафиолетового излучения, оказывают однако достаточно большое сопротивление атмосферному давлению и выдерживают без специальных предосторожностей боль-

---

\* Davis and Slack. Journ. Opt. Soc. Amer. 19, 65, 1929.

\*\* S. Sonkin. Journ. Opt. Soc. Amer. 19, 65, 1929.

пное нагревание. Для предохранения от ударов очень удобно располагать окошко, как это показано на рис. 1, но с равным успехом можно применять и другие конструкции.

## II. ПРИГОТОВЛЕНИЕ КАТОДНОГО СЛОЯ

Стенки, которые будут покрыты катодным слоем, предварительно покрываются пленкой металла, создающей электрический контакт с катодом и способствующей лучшему осаждению щелочного металла.

Для этой цели серебрят нужную часть внутренних стенок, прибегая к предосторожностям, чтобы не покрыть остальных частей колбы (делают горло специальной формы и покрывают части, которые должны остаться в результате чистыми, натуральным воском, растворимым потом в бензине).

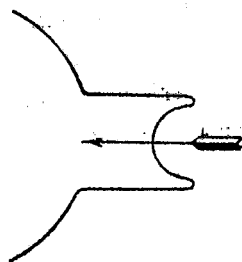


Рис. 1.

Серебрение должно быть таким, чтобы оно выдерживало, не портясь, сильное нагревание (при прокаливании фотоэлемента на насосе). В этом отношении способ Мартина\* дает очень хорошие результаты.

Вместо серебрения химическим путем можно применять способ возгонки серебра в вакууме. Для этого тонкая серебряная проволоочка обвивается вокруг вольфрамовой накаленной нити.\*\*

В других случаях покрывают серебром слой меди, полученный электролизом.\*\*\* Иногда пользуются (но это не имеет практического значения) в качестве подслоя для катода платиной. Наконец в особо чувствительных фотоэлементах подслоем для щелочного металла (цезия) служит фтористый кальций, полученный возгонкой в вакууме.\*\*\*\*

\* Martin. См. A. Danjon. L'Astronomie. 255. 1924.

\*\* Английский патент № 303476, 1928, и французский патент № 668997, 1927.

\*\*\* Английский патент № 809224, 1928.

\*\*\*\* Французский патент № 832234, 1929.

Наиболее легко осаждаемый на стекле металлом является без сомнения магний. В самом деле, достаточно указать на его применение в „электронных лампах“, где он играет роль „геттера“. Кусочек магния при нагревании легко испаряется в вакууме и дает блестящий осадок на холодных стенках колбы. Для распыления полоска магния вводится внутрь накаленной вольфрамовой спирали. Равным образом можно, прикрепив кусочек магния к никелевому аноду фотоэлемента, нагреть его в высоко-частотной печи. Окно и горло колбы должны быть заэкранированы от осаждения магния. Можно также приготовить маленькие электрические печи и нагревать ими отдельные части колбы, препятствуя этим осаждению на них магния.

В некоторых случаях для получения необходимой спектральной чувствительности фотоэлемента слегка оксидируют металлическую пленку, служащую подслоем для катода (серебро, медь, магний). Для этого внутрь колбы впускается кислород под давлением порядка 1 — 10 мм и в течение нескольких часов пропускается разряд от индукционной катушки. Еще более просто получается оксидирование нагреванием колбы, наполненной кислородом под малым давлением, до температуры около 350° Ц.

Фотоэлемент прокаливается на насосе (до 400° Ц около часа или двух) перед распылением металла для подслоя, которое в свою очередь непосредственно предшествует введению щелочного металла.

Последняя операция чрезвычайно проста, когда для катодного слоя употребляется калий или натрий. Металл берется в обычном его виде и тщательно очищается от керосина, в котором он обычно сохраняется, удаляется поверхностная корка и многократно промывается в петролейном эфире. После очистки нужное количество натрия кладется в ампулку из пирекса и дестиллируется в вакууме. После дестилляции ампулка запаивается. Остаток первой дестилляции сохраняется.

Фотоэлемент устанавливается на насос и к нему через узкую трубку присоединяется баллон, в который кладется предварительно открытая пирексовая ампулка с натрием.

Нагреваемый электрический печкой натрий возгоняется и переходит в более холодную колбу фотоэлемента. При принятии некоторых предосторожностей пары натрия оседают в виде тонкой пленки на металлический подслои. С подслоем из магния и слоем из натрия все получается очень хорошо и быстро. Если на фотоэлемент (освещаемый) наложено надлежащее напряжение, гальванометр, включенный последовательно с фотоэлементом, показывает ток, как только испаряемый металл попадает внутрь колбы. За операцией можно также следить по получению максимума чувствительности. Когда процесс идет хорошо, то на поверхности катода не должно образовываться блестящих капель металла. Впрочем можно удалить избыток металла осторожным нагреванием фотоэлемента.

Если нужно иметь большое количество продукции, то конечно можно установить сразу несколько штук фотоэлементов на одной вакуумной установке.

Натрий может быть получен очень чистым, прямым разложением (при температуре около  $275^{\circ}\text{C}$ .) ацида  $\text{N}_3\text{Na}$ . Для получения натриевого осадка можно также применять чрезвычайно остроумный способ, указанный Варбургом в 1884 г., который основан на электролитической проводимости обычного стекла.

На рис. 2 схематически изображена установка для осаждения натрия, которая легко может быть повторена. \* Электрическая лампочка, пустотная, типа экономической, в состав стекла колбы которой входит сода, укрепляется так, что нижняя часть колбы погружена в расплавленный нитрат натрия ( $\text{NaN}_3$ , при температуре около  $312^{\circ}\text{C}$ .). Когда нить лампочки накалена, происходит электролиз, и ионы натрия из расплава проникают сквозь стенки внутрь колбы. Внутри они нейтрализуются электронами, излучаемыми накаленной нитью, и образуют металлический Na, который оседает на стенках в верхней холодной части колбы.

\* R. C. Vurt. Journ. Opt. Soc. Amer. 11, 87, 1925; Phil. Mag. 49, 1163, 1925. См. также „Физика, химия, матем., техника в трудовой школе“ 4, 79, 1930. (Прим. перев.).

Стекло при этом не подвергается никакому разложению. С надлежащей схемой, несколько отличной от той, которая показана на рис. 2, можно получить с лампой в 60 ватт при 110 вольтах осадок магния в 300 мг в час. Этот способ применяется и в промышленном производстве фотоэлементов. Фотоэлементы „Тенгсрам“ изготовляются именно этим способом. Эти элементы-вакуумные, небольшой чувствительности и пригодны только в некоторых случаях.\*

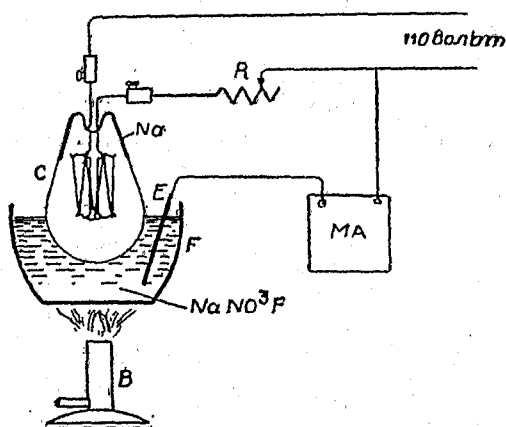


Рис. 2.

Тот же способ может быть применен и для калия, но колба должна состоять из специального сорта стекла. Введение таким способом лития представляет ряд трудностей.\*\* Для цезия и рубидия обычно применяют другой способ. Металл приготавливается в стеклянной ампулке, соединенной с колбой, или прямо в самом фотоэлементе. Этот, также весьма удобный способ описан Боером, Клаузингом и Цешером.\*\*\*

Смесь растворов ацида бария и хлористого цезия, взятых в определенных отношениях, быстро выпаривается в вакууме. Стеклянный сосуд с этой смесью припаивается к отверстию в колбе фотоэлемента и медленно нагревается до температуры 350° Ц максимум. Ацид бария распадается при 120° Ц, и при более высокой температуре свободный барий разрушает хлорид, становясь сам на место выделяемого цезия.

Указанный способ весьма удобен для введения цезия

\* Zworykin, Phys. Rev. 27, 813, 1926.

\*\* См. например: Miss Seiler.— Astr. Jour. 52, 129, 1920.

\*\*\* Boer, Clausing and Zecher. Zeitschr. anorg. allg. Chemie 160, 1928, 1927.



в колбу фотоэлемента. Этот способ дает превосходные результаты и позволяет, в частности, легко готовить цезиевые фотоэлементы, следуя технике, указанной Зворыкинским и Вильсоном.\* Можно таким же образом готовить цезий внутри самой колбы, обрабатывая соль цезия соответствующим замещающим металлом.\*\* Смесь помещается в капсулю из железа или никеля, которая нагревается печкой высокой частоты. Эти способы применяются с успехом также для фотоэлементов, у которых катод состоит из пластинки оксидированного серебра.

Надо наконец заметить, что и другие металлы (Cd, Zn, Mg), могут быть применяемы для устройства катодов фотоэлементов чувствительных и ультрафиолетовой части спектра.

В случае натрия слой (толстый или очень тонкий) щелочного металла подвергается обработке для увеличения общей чувствительности, как было указано Эльстером и Гейтелем еще в 1911 г. Эта обработка способствует также смещению фотоэлектрического порога в сторону красных и влияет на положение максимума, соответствующего селективному фотоэффекту.

В колбу вводится водород, тщательно просушенный и очищенный под давлением около одного миллиметра ртутного столба. Затем через газ пропускается разряд (светящийся) от маленькой индукционной катушки или от батареи аккумуляторов в несколько сот вольт. Прекрасные результаты получались с батарей в 400 в. Напряжение накладывается на электроды фотоэлемента, как полагается (положительный полюс на анод).

Для предосторожности, чтобы ток не превышал нескольких миллиампер, в схему включается добавочное сопротивление. Разряд распространяется внутри по всему объему колбы. Спустя некоторый промежуток времени, колеблющийся от нескольких секунд до минуты, поверхность катода изменяется; соответственно с этим увеличивается фотоэлек-

\* Zwoykin and Wilson. Journ. Opt. Soc. Amer. 19, 81, 1929.

\*\* См. например (употребление циркония) Voer, Brovs, Eshmens Zeits. anorg. allg. Chemie 191, 113. 1930.

трическая чувствительность. Это изменение контролируется чрезвычайно точно по изменению цвета поверхности. Поверхность принимает цвет в зависимости от природы осадка и условий разряда (синий — стальной, сине-фиолетовый, светлосиний, зеленовато-синий, также сероватый, когда капельки очень мелкие или пленка металла очень тонка). За увеличением чувствительности следят по гальванометру и прекращают операцию, когда достигнут максимума чувствительности.

Причиной изменения фотоэлектрического эффекта является по большей части изменение строения поверхностной пленки, обработанной газом, и оптического поглощения в результате изменения цвета. В большой части применений предпочитают увеличивать чувствительность во вред стабильности фотоэлемента.

Фототок распространяется внутри колбы фотоэлемента, используя хорошо известное явление ионизации ударами. В колбу вводится инертный газ, главным образом аргон, под давлением порядка десяти миллиметров ртутного столба (несколько колеблется в зависимости от силы света, для которой предназначен фотоэлемент).

Аргон должен быть хорошо очищен и сух, присутствие следов азота в нем не допускается.

В некоторых случаях для уничтожения понижения чувствительности в красной части предпочитают вводить водород в фотоэлемент. Очень удобно ставить внутри фотоэлемента осморегулятор из палладия. \*

### III. СПЕКТРАЛЬНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ РАЗНЫХ ТИПОВ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ

Ток, создаваемый фотоэлементом, зависит очевидно и от интенсивности и от спектрального состава, подающего свет. В случае монохроматического освещения называют эмиссией отношение (выражаемое например в амперах на ватт) первичного тока (ток насыщения пустотного фотоэлемента) к потоку, падающему на катод.

\* Astr. Journ. 52, 129, 1920.

В первом приближении, пренебрегая влиянием разных углов падения, мы рассматриваем эмиссию как величину, характеризующую катод, не зависящую от его геометрической формы и от способа, которым излучение попадает внутрь элемента. Кривые, представляющие изменение чувствительности с длиной волны (кривые спектральной чувствительности при равных энергиях падающего излучения), суть „колоколообразные“ кривые, имеющие максимум, смещающийся к длинным волнам с увеличением атомного веса катода. Для чистых металлов длины волн, соответствующие максимуму, по измерениям мисс Зейлер, \* суть:

Li	Na	K	Rb	Cs
4 050 А	4 190 А	4 400 А	4 730 А	5 390 А

Изучение монохроматической чувствительности было сделано М. Дж. Товертом со щелочными фотоэлементами с подслоем из магния, приготовленными исследовательской лабораторией общества ламп „Фотос“.

В качестве источников света применялись лампа-эталон с угольной нитью (2 000° К) и 100-ваттная газополная лампа с температурой около 2 600° К. Пучок света от одного из этих источников концентрировался на щель монохроматора Хильгера. В другой серии измерений этот монохроматор был заменен монохроматором Лейсса с кварцевой оптикой для работы в ультрафиолете. Фототок усиливался двухламповым усилителем, что позволяло употреблять для прямых отсчетов микроамперметр. Чувствительность фотоэлементов одного и того же типа может варьироваться в довольно широких пределах. Все-таки фотоэлементы с тонким слоем на магниевом подслое значительно более однородны, чем фотоэлементы с толстым слоем, обработанным водородом. \*\*

Большое число элементов, промеренных точно в одинаковых условиях, дают возможность создать точное представление о специфических особенностях каждого изучаемого типа. Большая часть изученных фотоэлементов были газо-

\* G. Rougier. *Revue d'Optique* 133, 1923.

\*\* Равным образом они и более стабильны.

полными, но все они были измерены под напряжением в 80 в, достаточно далеким от разрядного потенциала. В этих условиях стабильность явлений кажется безукоризненной и уверенность в проделанных измерениях весьма велика. Впрочем ординаты полученных кривых (представляющих „спектральную чувствительность“, в условиях, которые мы только-что перечислили) являются величинами того же порядка, что и значения эмиссии, как мы ее ранее определили. Абсолютные значения ординат были получены из сравнения значений с одним фотоэлементом с катодом Cs—Mg, который имеет большую чувствительность в широком пределе длин волн.

Строим первую часть кривой относительно эмиссии (с определенным источником света, например с угольной лампой накаливания), вводя поправку на призматическую дисперсию, т. е. мы учитываем эффективную ширину цели. Обозначая через  $S_\lambda$  „спектральную чувствительность“, мы задаем тем самым ток в амперах на ватт, для некоторой длины волны, отнесенной к интервалу длин волн в единицу. Полный ток фотоэлемента пропорционален площади ограниченной кривой, т. е. интегралу

$$I = \int S_\lambda E_\lambda d\lambda,$$

где через  $E_\lambda$  обозначаем спектральную плотность энергии (отнесенную к черному телу).

Падающий на фотоэлемент поток пропорционален интегралу

$$F = \int K_\lambda E_\lambda d\lambda$$

(где  $K_\lambda$  — эффективность освещения в люменах на ватт).

Введем еще:

$$I_\lambda = \frac{S_\lambda E_\lambda}{I}; \quad F_\lambda = \frac{K_\lambda E_\lambda}{F},$$

что характеризует, если можно так сказать, относительный фотоэффект и относительную освещенность. В эти две величины входят лишь отношения  $S_\lambda$ ,  $K_\lambda$  и  $E_\lambda$ . Их следовательно, можно легко получить из кривой фототока (исправленной

на дисперсию), из кривой чувствительности глаза и кривой излучения черного тела при температуре источника света.

Отношение  $I/F$  получается прямо из опыта. Перед окном фотоэлемента помещают диафрагму, для ограничения пучка и устранения постороннего света, и линзу, сфокусированную точно на поверхность катода. Весь фототок, измеренный в этих условиях, создается только данным источником, стоящим на некотором определенном расстоянии от фотоэлемента.

Величину падающего потока, в люменах, получаем простым расчетом. Спектральная чувствительность  $S_\lambda$  найдется из выражения:

$$S_\lambda = K_\lambda \frac{I_\lambda}{F_\lambda} \frac{I_\lambda}{F}$$

Для  $\lambda = 5500 \text{ \AA}$  можно считать:  $K_\lambda = 621$  люменов на ватт и значение  $S_\lambda$  (в амперах на ватт) получается соответственно для данной длины волны. Из расчета кривой излучения (черного тела) мы можем составить кривые спектральной чувствительности в равных энергиях для всех излучаемых элементов (относительные значения ординат могут быть приведены к одной, если все фотоэлементы были испытаны в одинаковых условиях). Предыдущий расчет делается относительно ординат кривой элемента с катодом Cs—Mg, а отсюда все остальные кривые получаются простым вычитанием.

Для тонких слоев на магниевом подслое чувствительность непрерывно растет в сторону коротких волн на всем протяжении видимого спектра (рис. 3). Максимум эмиссии для тяжелых металлов, обработанных и необработанных водородом (Поль, Прингсгейм и мисс Сейлер), в этих условиях не обнаруживается. Измерения в начале ультрафиолета дают подобие максимума в соседстве с длиной волны  $3600 \text{ \AA}$ , который вполне объясняется природой щелочных металлов. Фотоэлементы K—Mg обладают однако значительной чувствительностью в области более коротких волн, чем видимый спектр. Они с большим успехом могут заменить обычно употребляющиеся фотоэлементы (толстый

слой гидрированного К) в большинстве случаев практического применения. Очень интересен фотоэлемент Cs—Mg; его кривая имеет медленное сильно растянутое спадание в широкой области от 4000 до 5500 Å, еще около 6000 чувствительность сохраняет настолько значительную величину, что фотоэлемент и в этой области может применяться для измерений. Но найденный Зворыкиным и Вильсоном\* для него максимум чувствительности в соседстве с 4850 Å обнаружен не был.

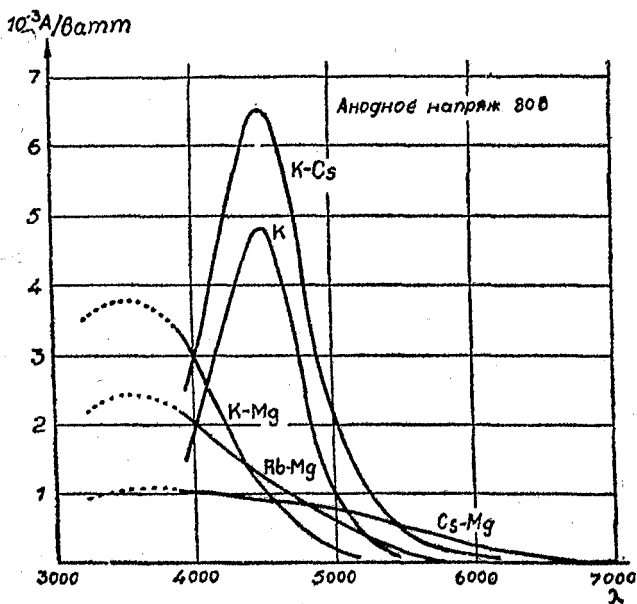


Рис. 3.

Предыдущие результаты должны быть сравнены с измерениями Айвса,\*\* сделанными им с тонкими пленками щелочных металлов (Na, K, Rb, Cs), осажденными на металлическую поверхность (Au, Ag, Cu и т. д.), тщательно очищенную и полированную, в частности на платину. Фотоэлектрическая чувствительность этих пленок не имеет никакого максимума в видимой области. Но, с другой сто-

\* Zworykin and Wilson. Journ. Opt. Soc. Amer. 19, 81, 1929.

\*\* Ives. Ast. Journ. 60, 209, 1924.

роны, А й в с считает возможным существование максимума в близком ультрафиолете. Изучение изменения спектральной чувствительности с толщиной пленки и в частности смещение фотоэлектрического порога не было проделано для случая магниевого подслоя. Возможно, что в фотоэлементах, приготовленных именно таким образом (с подслоем из Mg), слой щелочного металла соответствует более тонкой пленке, чем изучал А й в с.

Сферические фотоэлементы с тонким слоем, осажденным на магний, как уже было сказано, являют собой подобие „черного тела“, благодаря влиянию повторных отражений на металлическом слое, и поэтому отличны от фотоэлементов с катодом, представляющим толстый осадок, обработанный водородом. Вот например результаты, полученные с фотоэлементом Cs—Mg (А) и гидриднокалиевым фотоэлементом (В) в качестве источника света; в обоих случаях была взята 100- ваттная газополная лампа.

Условия освещения

Фототок; отнесенный к единице поверхности отверстия (в произвольных единицах)

	А	В
Диафрагма 17 мм диаметром и линза в диафрагме, сфокусированная на поверхность катода . . . . .	10	16
С диафрагмой без линзы . . . . .	22	20
Без линзы и диафрагмы . . . . .	35	20

Продолжение чувствительности в область красных лучей является в настоящее время наиболее актуальной технической проблемой, разрешить которую делалось уже очень много попыток.

Фотоэлементы с тонким слоем калия на магневом подслое замечательны своей большой стабильностью и простотой изготовления. Поэтому, стало быть, представляет большой интерес, подвергнув их светочувствительный слой некоторым изменениям, увеличить этим их чувствительность в области длинных волн. Опыт показал, что эти две операции приводят к хорошим результатам.

1°. Слой калия обрабатывается светящимся разрядом в водороде, точно так же, как это делается для толстых

слоев металла. Таким образом увеличивается и общая чувствительность фотоэлемента (но много менее, чем в случае толстого слоя калия), а особенно он очувствляется в области около 6000 Å. В том отношении фотоэлемент получается аналогичным и часто даже превосходящим фотоэлементы Rb—Mg.

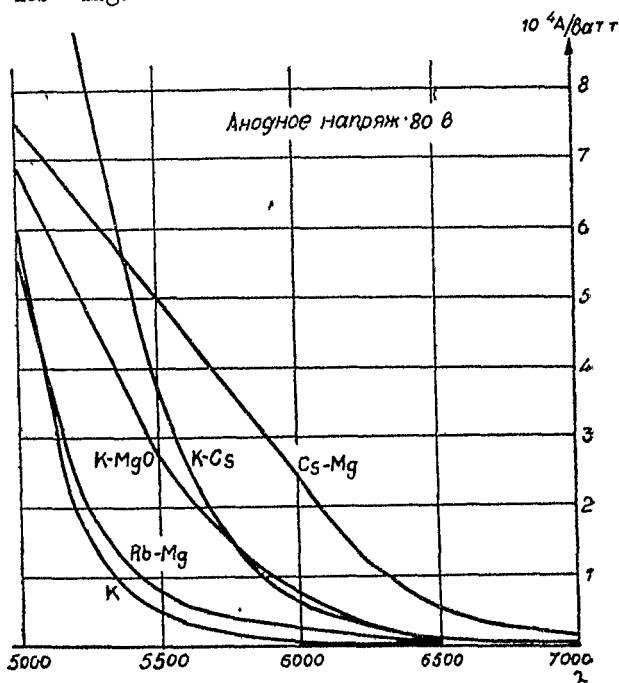


Рис. 4.

2°. Магниевый подслоя подвергается предварительно легкому поверхностному оксидированию. Кроме того после введения щелочного металла катод частично прогревается (до необходимой температуры), что способствует удалению излишка металла. В этих условиях получается фотоэлемент, чувствительный к оранжевым и красным (рис. 4). Такие фотоэлементы значительно превосходят рубидиевые и почти не уступают цезиевым в видимой области. Употребление оксидированного металлического подслоя (Ag, Cu, Ni, W, Ba и Mg) упоминается в различных патентах, но только с целью повышения общей чувствительности и стабильности, независимо от спектральной чувствитель-



ности. Однако Кэмпбелл\* показал, что в случае тонких слоев металлов природа металлического подслоя (Ag, Pt, Cu) имеет большое влияние на чувствительность (глобальную и спектральную) фотоэлемента. Большое окисление поверхности способствует увеличению чувствительности в области длинных волн. Большая чувствительность в области красных получается, по Кэмпбеллу, употреблением в качестве подслоя оксидированной меди.\*\* Катод, приготовленный таким образом, имеет два максимума чувствительности около 4200 Å и 6000 Å. Очень большую общую чувствительность, продвигающую кривую в область длинных волн вплоть до начала инфракрасных до 1 м, получают применением в качестве катода тонкого слоя цезия, осажденного на подслое из оксидированного серебра.\*\*\*

Поверхность всех специальных катодов состоит вероятно из одного непрерывного, мономолекулярного слоя, слоя (K или Cs, O) аналогично фотоэлементам, изученным Лэнгмюром и Кингдоном (Cs, O, W) с точки зрения появления термионной эмиссии.\*\*\*\*

Фотоэлектрический эффект есть главным образом действие поверхности и несколько не определяется природой металла, составляющего массу катода.

Присутствие обработанной газом пленки и мономолекулярного слоя может дать значительное изменение эмиссии и перераспределение спектральной чувствительности.

Мы можем таким же образом представить себе процесс очувствления водородом — главная роль разряда состоит вероятно в создании водородных ионов.

Большая чувствительность гидридных калиевых фотоэлементов в синих лучах представляет интерес в значительном числе применений.

Возможно, сохранив большую общую чувствительность, одновременно повысить ее в области красных; достигается это покрытием калиевого осадка очень тонким слоем цезия.

\* Campbell. Phil. 6, 688, 1928.

\*\* Campbell and Ritchie. — Photoelectric cells. 37 и 47, 1929.

\*\*\* Фотоэлемент „Osram“ С. М.; см. Campbell and Ritchie, ст. 36.

\*\*\*\* Proc. Roy. Soc. A 107, 61, 1925.

Такой смешанный катод обрабатывается обычным образом: разрядом в водороде. Приготовленные таким образом фотоэлементы имеют значительную чувствительность и могут быть применяемы в значительно более широкой области, чем калиевые фотоэлементы (измерение абсорбции и т. д.).

Кривые чувствительности, приведенные к равной энергии ряда фотоэлементов, не дают возможности судить о

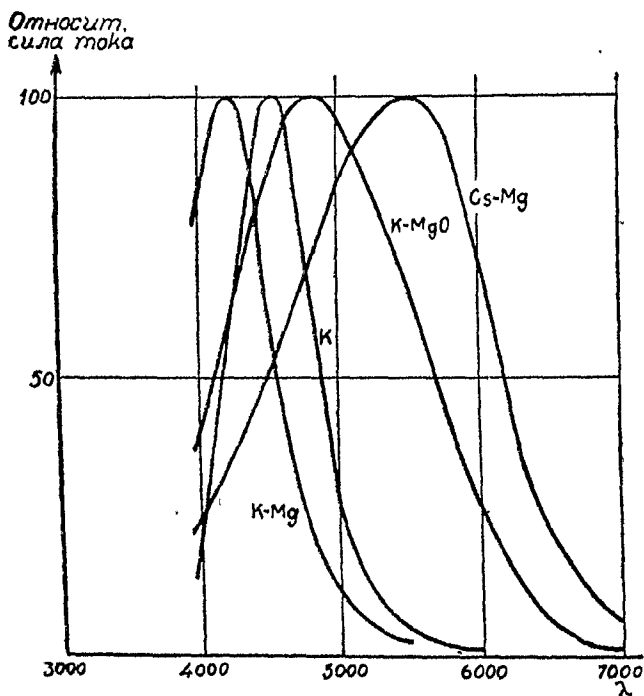


Рис. 5.

соотношении между ними из-за сложного излучения, падающего на них. Однако в случае солнечного излучения (черное тело при температуре  $6000^{\circ}\text{K}$ ) изменение интенсивности по всей видимой области достаточно мало, поэтому можно идентифицировать ординаты кривой чувствительности с относительными величинами тока для каждой длины волны. Для газополной лампы так делать нельзя. На рис. 5 приведены данные относительных значений фототока для фотоэлементов разных типов, при освещении 100-ваттной газополной лампой (температура нити  $2600^{\circ}\text{K}$ ).

В фотоэлементах с очень тонким окном, пропускающим ультрафиолетовую область, надо очевидно применять и катод, чувствительный к ультрафиолету (Na, Cd, Zn). Один из наиболее удобных способов состоит в повторном осаждении натрия на магниевый подслои. Спектральная чувствительность приготовленных таким образом фотоэлементов была изучена монохроматором Лейсса, с кварцевой ртутной лампой.

Полученные при этом относительные значения фототока, соответствующие различным линиям, собраны в приводимой таблице.

$\lambda$	Фототок (в произвольных единицах)
5 790, 5 770	0,5
5 461	7,0
4 916	20,0
4 358, 4 347, 4 339	400,0
4 047	400,0
3 663, 3 655, 3 650	600,0
3 340	50,0
3 132, 3 126	400,0
3 026, 3 023, 3 021	70,0
2 967, 2 925	50,0
2 805, 2 804, 2 803	20,0
2 654, 2 652	8
2 537	22
2 483, 2 482	1
2 400, 2 399	0,5

Приведенные значения несомненно несколько неточны из-за непрерывного спектра, сопровождающего линейчатый спектр ртутной лампы. Распределение энергии в спектре ртутной лампы было недавно изучено Е. О. Гульбуртом\* — абсолютные значения энергии (эрги на атом в секунду) для ряда линий, при определенном режиме лампы.

Задавшись этими интенсивностями и относительными значениями, фототока можно попробовать представить общую форму кривой чувствительности этого фотоэлемента.

Полученная, в общих чертах, кривая имеет вид колокола и дает достаточно резкий максимум в области между 3 400 и 3 800 Å.

\* Hulburt. Phys Rev. 32, 593, 1928.