

НОВЕЙШИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ *

В. Клюге, Берлин

ВВЕДЕНИЕ

В настоящей статье дается обзор фотоэлементов в их настоящей стадии развития, причем особенно большое внимание уделено фотоэлементам, основанным на внешнем фотоэффекте. В первом разделе дано сравнительное сопоставление трех различных видов фотоэлементов, именно: фотоэлементов-сопротивлений, фотоэлементов с запирающим слоем и фотоэлемента с внешним фотоэффектом. Во втором разделе ввиду широкой области применения фотоэлементов последнего типа вкратце изложены наши современные представления о зависимости между спектральной чувствительностью и структурой поверхностного слоя. Несмотря на то, что устанавливать сейчас общие закономерности было бы преждевременно, все же могут быть высказаны некоторые соображения, могущие служить руководящим принципом.

Конструкции фотоэлементов определяются в первую очередь условиями соответствующей области применения. Надо заметить, что здесь уже давно почти все возможности исчерпаны. Остаются лишь некоторые новые или усовершенствованные конструкции. Речь идет, главным образом, об устройствах, в которых используются разделенные поверхности и способ электронного изображения.

В их числе должны быть названы: световой счетчик, иконоскоп Зворыкина и диссектор Фарнswortha.

1. СРАВНИТЕЛЬНОЕ СОПОСТАВЛЕНИЕ ТРЕХ ВИДОВ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ

Старейшим фотоэлектрическим устройством, позволяющим преобразовывать колебания световой энергии в колебание тока, является селеновый фотоэлемент-сопротивление. Фотоэлементы этого типа не представляют в настоящее время сколько-нибудь большого технического интереса. Объяснение запутанных соотношений, имеющих место при фотоэлектрической проводимости селена

* Z. techn. Phys., 16, 181, 1935. Пер. Д. В. Зернова.

в новейшее время практически не продвинулось вперед.¹ Другой тип фотоэлемента-сопротивления—талофидный фотоэлемент—вследствие его особых свойств нашел себе специальную, сравнительно узкую область применения. Основанный на внутреннем фотоэффекте фотоэлемент-сопротивление в противоположность фотоэлементам с щелочными металлами, о которых речь будет идти ниже, представляет собой независимое от направления тока светочувствительное сопротивление. Фотоэлементы с запирающим слоем² представляют собой фотоэлементы в полном смысле слова, так как они под действием света генерируют э. д. с. В настоящее время в технике встречаются два типа фотоэлементов с запирающим слоем: купроксные фотоэлементы—переднестеночный и заднестеночный (Ланге и Шоттки) и переднестеночный селеновый фотоэлемент (Фалькенталь, Ланге, Бергманн).

Физические процессы, лежащие в основе действия фотоэлементов с внешним фотоэффектом, отличны от таковых для фотоэлементов-сопротивлений и фотоэлементов с запирающим слоем. Этим объясняются отличия их поведения от поведения фотоэлементов-сопротивлений и фотоэлементов с запирающим слоем, имеющим в своих свойствах нечто общее. Каждый тип фотоэлемента нашел свои области применений, определяемые его свойствами. Эти области не могут быть, конечно, во всех случаях точно разграничены. Однако в большинстве практических случаев это разграничение возможно без особого труда. Во всяком случае для этого необходимо сравнить между собой все свойства фотоэлементов. Так например, часто для характеристики и оценки фотоэлемента указывают только одно его свойство, именно его чувствительность. Это, однако, несомненно, ведет к неправильным заключениям. При выборе фотоэлемента для какой-либо определенной цели необходимо иметь в виду все данные, сопоставленные в нижеприведенной таблице. Эти данные должны быть рассмотрены несколько подробнее.

В трех столбцах сведены свойства цезиевого фотоэлемента, талофидного фотоэлемента-сопротивления и селенового фотоэлемента с запирающим слоем. Сравнивается: 1) длинноволновая граница, 2) квантовый выход, 3) чувствительность по току, отнесенная к определенному источнику света, 4) чувствительность по напряжению, 5) линейность зависимости фототока от освещения, 6) инерционность. В первой строке приведена „относительная“ красная граница чувствительности для вышеупомянутых типов фотоэлементов. Точное указание граничной длины волны сделать невозможно. Она получается различной, смотря по имеющейся в распоряжении измерительной установке. Сравнивая приведенные в таблице данные с спектральными характеристиками (рис. 2), можно видеть, что из всех трех типов наиболее чувствителен к красному свету талофидный фотоэлемент. За ним следует цезиевый фотоэлемент и на третьем месте стоит селеновый фотоэлемент с запирающим слоем. Таким образом при поисках наиболее чувствительного к красному свету фотоэлемента следует выбрать талофидный фотоэлемент, если при этом в рамках данного случая нет необходимости считаться с другими свойствами.

Сопоставление трех типов фотоэлементов

Свойства	Щелочной фото-элемент (пустотный)	Фото-элемент-сопротивление	Фото-элемент с запирающим слоем
Область чувствительности по спектру в до	1,2 μ	1,4 μ	0,8 μ
Квантовый выход (для падающего света) в %	2	100	20
Чувствительность по току * в $\mu\text{A/Lm}$	20—60	100—200	300—400
Чувствительность по напряжению * в V/mLm	5 (100 мегом)	10 (5 мегом)	0,01
Линейность (внутри широкой области)	Строгая	Не имеет места	Приблизительная
Инерционность	Нет (первичный эффект)	Имеется (первичный + вторичный эффект)	Нет (первичный эффект)

Во второй строке приведены процентные значения наблюдаемого квантового выхода. Эти величины относятся не к поглощенному, а к падающему свету, так как только этот случай представляет интерес для технических целей. Значение, приведенное для фотоэлементов с внешним фотоэффектом (2%), относится к селективному максимуму цезиевого фотоэлемента в красном конце спектра. Эта величина в настоящее время легко может быть достигнута в технических фотоэлементах. В литературе приводятся случаи еще более высоких значений. ³ Для поглощенного света квантовый выход можно принять равным 100%. Флейшер ⁴ нашел для прозрачной золотой фольги с адсорбированным калием значение 37,9%. Для фотоэлементов-сопротивлений указание квантового выхода не имеет смысла, так как первичный фотоэлектрический процесс вызывает вторичные явления. Вычисления, смотря по величине наложенного напряжения, дали значения более 100%. Для поглощенного света квантовый выход, равный 100%, был установлен в случае первичного фотоэлектрического тока алмаза. ⁵ Следует ожидать, что это распространяется на все первичные процессы при внутреннем фотоэффекте. Значение, приведенное для фотоэлемента с запирающим слоем, взято из работы Кипенгейера. ⁶ Оно относится к максимуму спектральной кривой.

В связи со значениями квантового выхода находится чувствительность по току, приведенная в третьей строке. В технике принято указывать чувствительность по току в микроамперах на люмен при освещении лампой накаливания. Против этого, если даже источник

* $T_w = 2600^\circ \text{K}$.

света выбран совершенно произвольно, возразить нельзя, поскольку спектральное распределение излучаемой источником света энергии вполне точно определяется посредством указания температуры. Неточное указание температуры влечет за собой сильные отклонения в величине чувствительности в особенности для фотоэлементов, чувствительных к красному свету. Подробные исследования этого вопроса были предприняты Коллером.⁷ В приведенной выше таблице даны значения чувствительности по току, могущие быть в настоящее время полученными с большой степенью надежности. Более высокие значения, которые хотя и получаются, но носят случайный характер и трудно воспроизводимы, здесь не приводятся. Чувствительность по току для фотоэлементов с внешним фотоэффектом увеличивается, если применить газовое наполнение. Достижимый, таким образом, коэффициент усиления зависит от распределения поля, от напряжения и от интенсивности освещения. Малые интенсивности освещения допускают более высокие напряжения, что ведет к более высоким коэффициентам усиления. Эти соотношения могут быть лучше всего установлены для каждого типа фотоэлемента путем снятия семейства характеристик. Наивысшее значение чувствительности газо-наполненного фотоэлемента достигается там, где свободный от пространственных зарядов таунсендовский разряд переходит в сопровождаемый образованием пространственных зарядов тлеющий разряд.⁸ Те же соображения могут быть высказаны по поводу приведенной в следующей строке чувствительности по напряжению. Величина чувствительности по напряжению определяет собой возможность усиления фототоков и, таким образом, существенна для большинства технических применений. Эта величина приведена в вольтах на миллилюмен, возникающих на фотоэлементе при включении последовательно с ним сопротивления. Выбор этой единицы основан на величине практически наблюдаемых значений. На первом месте здесь стоит фотоэлемент-сопротивление, на втором — фотоэлемент с внешним фотоэффектом. Если этот последний наполнить газом, то можно получить и более высокие значения. Чувствительность фотоэлемента по напряжению зависит от величины включенного последовательно с ним сопротивления. Оптимальная чувствительность по напряжению получается при определенном внешнем сопротивлении. Это последнее определяется из внутреннего сопротивления фотоэлемента при заданном освещении.⁹ Чувствительность селенового фотоэлемента с запирающим слоем в почти в 10^3 раз ниже чувствительности фотоэлемента с внешним фотоэффектом. Вследствие этого они практически применяются только при непосредственном включении последовательно с низкоомным гальванометром. Следующая строка таблицы дает сопоставление пропорциональности фототока интенсивности падающего света. На первом месте стоят фотоэлементы с внешним фотоэффектом, что и обуславливает широкую возможность их технического использования. Линейность сохраняется здесь в широких пределах.

Небольшие отклонения, найденные Айвсом и другими¹⁰ для фотоэлементов с определенными фотокатодами, не имеют значения

для технических целей. В случае необходимости они могут быть определены путем предварительной градуировки. Во всяком случае для получения строгой линейности должны быть выполнены определенные условия в конструкции фотоэлемента.¹¹ Применение газонаполненных фотоэлементов вносит в этом отношении известные ограничения.¹² Для селенового фотоэлемента с запирающим слоем также имеет место достаточная линейность. Только в широком интервале изменений освещения появляются отклонения. Менее всего выполняется требование линейности для таллофидного фотоэлемента, хотя он и был по сравнению с своим предшественником (селеновым фотоэлементом-сопротивлением) значительно улучшен.¹³

Из последней строки видно, что внешний фотоэффект* и фотоэффект запирающего слоя не обладают инерционностью, т. е. электрическое действие следует без замедления за световым действием. Для фотоэлемента-сопротивления это не имеет места, так как безинерционный сам по себе первичный эффект непосредственно связан с инерционным вторичным. Фотоэлемент-сопротивление вследствие этого не пригоден для быстродействующих установок.

Эффект, лежащий в основе действия фотоэлемента с запирающим слоем, сам по себе безинерционен. Однако здесь возникает заметная инерционность, обусловленная неизбежной относительно большой собственной емкостью. Порядок величины этой последней около 1 п. Ф. Таким образом практически безинерционным фотоэлектрическим устройством остается лишь фотоэлемент с внешним фотоэффектом.

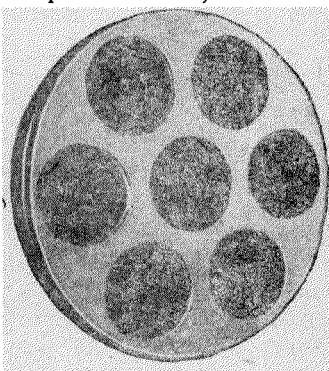


Рис. 1. Селеновый фотоэлемент с запирающим слоем (По Ланге)

Обобщая данные, приведенные в таблице, можно сказать, что для большинства практических целей целесообразно выбирать фотоэлементы этого типа. За это говорят: его безинерционность, пропорциональность между фототоком и освещением и высокая чувствительность по напряжению. Кроме того, в число этих свойств входит возможность изменения в широких пределах спектральной чувствительности путем соответствующего выбора фотокатода. Эти достоинства перекрывают единственный недостаток фотоэлемента с внешним фотоэффектом — его малую чувствительность по току. Следующее место по количеству практических применений занимает селеновый фотоэлемент с запирающим слоем; здесь можно указать на измерители освещенности для фотографических целей и техническую фотометрию. На рис. 1 изображена особая конструкция селенового фотоэлемента с запирающим слоем. Фотоэлемент-сопротивление в на-

* Об инерционности газонаполненных фотоэлементов сравни Лео и Мюллер.¹⁴

стоящее время почти не находит практического применения. Основанием этому являются его инерционность и малая стабильность. Его используют в виде таллофидного фотоэлемента тогда, когда требуется иметь большую чувствительность к красному и инфракрасному свету, и если его недостатки не слишком мешают делу. В заключение обзора приведенных в таблице численных значений нужно еще раз отметить, что они служат исключительно для ориентировки относительно порядка величин. Несовпадение значений для большого числа фотоэлементов неизбежно. На рис. 2 представлены кривые спектральной чувствительности. Они представляют собой характерные кривые, ход которых может быть получен вполне надежно. Кривые простираются в ультрафиолетовую часть настолько, насколько это сейчас может считаться установленным. Ближайший

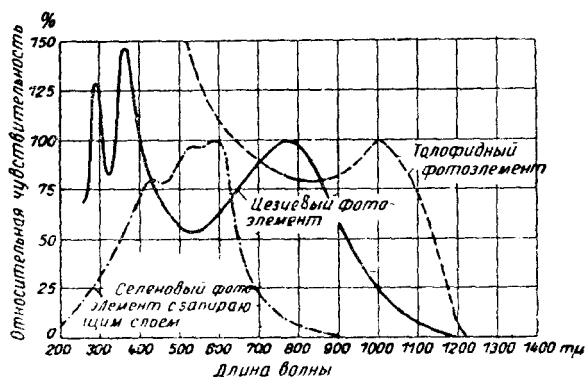


Рис. 2. Спектральные характеристики трех видов фотоэлементов

к красной границе максимум принят за 100%*. Ход кривой для таллофидного фотоэлемента в видимой области сопряжен с неточностью; строго говоря, эти фотоэлементы не следует подвергать действию видимого света, так как в этом случае имеют место фотохимические процессы в полупроводнике.

2. Фотоэлементы с внешним фотоэффектом

Тот факт, что фотоэлементы с внешним фотоэффектом из названных здесь трех видов имеют наибольшую область применения, а также что в последнее время их удалось значительно усовершенствовать, заставляет рассмотреть их здесь несколько подробнее. Целый ряд более ранних исследований показал, что чистые щелочные металлы обычно дают так называемый нормальный фотоэффект¹⁵, т. е. число электронов, освобождаемых на единицу падающей све-

* Кривая для фотоэлемента с запирающим слоем была предоставлена автору Фалькенцелем, для таллофидного фотоэлемента — Флексигом, за что им выражается благодарность.

товой энергии, непрерывно возрастает с переходом к более коротким волнам. Согласно более новым исследованиям, однако, этот принцип для доступной к настоящему времени спектральной области в случае цезия оказывается нарушенным.¹⁶ Цезий даже в самом чистом виде дает в ультрафиолетовой части несколько максимумов спектральной чувствительности. Чистота металла была в высокой мере гарантирована тем, что расположенный в видимой области так называемый длинноволновый селективный максимум отсутствовал или был очень слабо выражен. Этот критерий чистоты был установлен для калия¹⁷ и применен к цезию.

При изготовлении технически применимых фотокатодов употребляют не чистый щелочной металл в виде толстого слоя, как это делалось раньше, а образуют в фотоэлементе так называемые сложные фотокатоды. От старых способов сенсibilизации слоя, например обработкой щелочного металла тлеющим разрядом в водороде¹⁸, в настоящее время отказались. Давление паров подобных поверхностных слоев слишком велико и ведет, по крайней мере в течение большого промежутка времени, к недостаточной стабильности фотоэлемента. Современные фотокатоды в большинстве случаев имеют одинаковое строение: металлическая подкладка — промежуточный слой — щелочной металл. На металлическую подкладку (в большинстве случаев из серебра) наносится промежуточный слой окиси, на котором адсорбируется тонкий слой щелочного металла. Давление паров для таких поверхностных слоев значительно ниже, что является предпосылкой хорошей стабильности и большой продолжительности жизни фотоэлемента. Из применяемого иногда сокращенного обозначения $T-M_2O-M$ можно усмотреть только схему. При этом ничего не может быть высказано о том, в каких количествах металл подкладки или щелочной металл вкраплены в промежуточный слой. Наиболее предпочитаемой комбинацией является катод $Ag-Cs_2O-Cs$. Красная граница* для этого слоя при применяемом методе изготовления простирается до 14000 Å. При изучении подобных фотокатодов оказалось, что характерное положение селективного максимума и красной границы определяется металлической подкладкой и выбранным промежуточным слоем. На рис. 3 дано сопоставление кривых спектральной чувствительности катодов $Ag-Cs_2O-Cs$, $Cu-Cs_2O-Cs$ и $Ni-Cs_2O-Cs$. Не касаясь коротковолнового максимума в ультрафиолете, мы будем обсуждать только так называемый длинноволновый селективный максимум в видимой области спектра. Именно этот максимум для технических целей должен быть четко выражен и располагаться в длинноволновой части. Наибольший „селективный“ максимум и наиболее сдвинутую в инфракрасную часть красную границу имеет катод $Ag-Cs_2O-Cs$. Для комбинации $Cu-Cs_2O-Cs$ красная граница и максимум сдвинуты в сторону более коротких волн. Кроме того,

* Под „относительной“ красной границей всюду понимается обусловленная измерительной установкой предельная длина волны (определяемая последней фактически снятой точкой кривой).

селективный максимум здесь значительно ниже. Комбинация $\text{Ni}-\text{Cs}_2\text{O}-\text{Cs}$ не дает никакого селективного максимума, и красная граница еще более сдвинута в коротковолновую часть. Эти

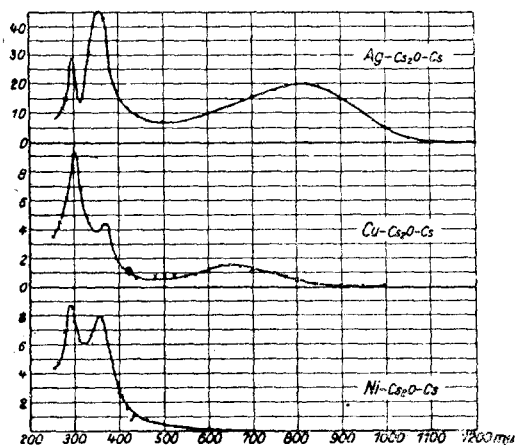


Рис. 3. Влияние металлической подкладки на спектральное распределение чувствительности

кривые показывают с полной очевидностью большое влияние металлической подкладки на абсолютную отдачу, селективный эффект и красную границу. Значения чувствительности к красному свету, получаемые для цезиевых (на серебре) фотокатодов, представлены на рис. 4. Из этого сопоставления следует, что спектральное расположение и высота максимума в красной части меняются от одного фотоэлемента к другому. Это расхождение делается тем меньше, чем однороднее производится изготовление фотоэлементов. Неровный катодный слой, в особенности толстый промежуточный слой, как правило, ведет к крутому максимуму. Это и понятно, так как число селективно поглощающих свет центров делается на такой поверхности особенно большим. Свойства катодов с толстым промежуточным слоем были подробно исследованы Тевесом и де-Буром.³ С их помощью может быть получена большая отдача. Конечно, нужно учитывать сопутствующее этому явление усталости. Это последнее выступает тем резче, чем короче длина волны падающего света.

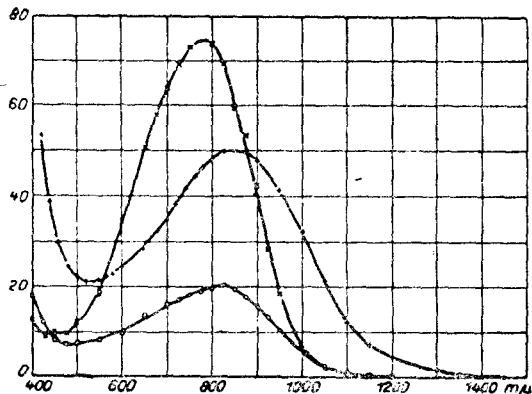


Рис. 4. Ход кривых спектральной чувствительности в инфракрасной области для различным образом изготовленных цезиевых фотоэлементов

Сложные фотокатоды характерны тем, что наряду с длинноволновым максимумом они обладают еще одним спектральным максимумом в ультрафиолетовой части¹⁰ (сравни рис. 3).

В настоящее время пытаются ход спектральной чувствительности связать со структурой катода. В особенности много внимания уде-

ляется объяснению селективного спектрального фотоэффекта. Обстоятельства в последнее время еще более усложнились, так как, как уже было упомянуто выше, сложные катоды дают многократную селективность. К сожалению, мы еще не располагаем параллельными измерениями оптической абсорбции в таких слоях, которые могли бы облегчить нам объяснение этих результатов.

Прежде всего приведем объяснения селективного фотоэффекта, предложенное Гудденом и Полем.²⁰ Оно опирается на опыты Флейшмана.²¹ Гудден и Поль говорят: дело заключается лишь в том, что при снятии спектральной кривой, электрическим путем измеряют оптический абсорбционный спектр поглощающих атомов или молекул. Флейшман измерял поглощение света тонкими слоями щелочных металлов, нанесенными на кварц, в поляризованном свете и установил селективное поглощение света для $E_{\parallel}$, максимум которого падает на область спектральных фотоэлектрических кривых чувствительности щелочных фотоэлементов. На рис. 5 дана подобная кривая для калия. Это объяснение годится для длинноволнового максимума сложных катодов. Если посредством особых мер²² устранить поверхностный слой щелочного металла, то длинноволновый максимум исчезает. Коротковолновые максимумы ослабевают, но остаются на своих прежних местах.

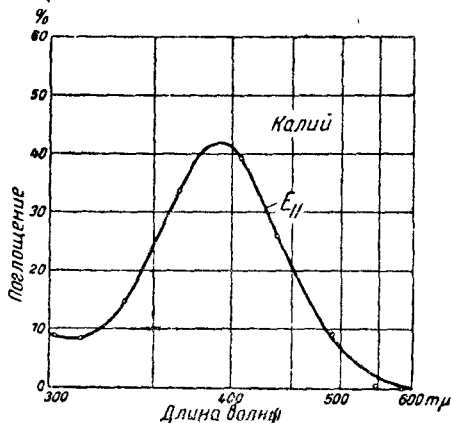


Рис. 5. Поглощение света тонким слоем калия в области селективного поверхностного фотоэффекта (По Флейшману)

Кемпбелл и Фаулер²³ в своей теории предполагают, что вероятность выхода особенно велика для электронов с определенными скоростями. Чтобы это имело место, на поверхности должно господствовать определенное распределение потенциала. Требуемое распределение осуществляется, например, при электроотрицательном веществе, взятом в качестве промежуточного слоя. Эта теория не могла до сих пор найти сколько-нибудь удовлетворительного экспериментального подтверждения. Она в состоянии лишь с качественной стороны объяснить существование многократной селективности.

Де-Бур и Тевес²⁴ несколько видоизменили теорию Кемпбелла и Фаулера. Они полагают, что адсорбированные на поверхности атомы щелочного металла ионизируются светом. При пополнении электронов из подкладки ее селективная электронная проводимость вызывает максимум кривой чувствительности. Зурман²⁵ высказывает в противоположность этому предположение, что селективный фотоэффект обусловлен селективным поглощением света, адсорбирован-

ными на поверхности атомами. Вследствие этого металлической подкладкой эмитируются электроны, получающие энергию путем столкновений второго рода с оптически возбужденными атомами. Эта теория тесно примыкает к старой гипотезе Вольфа.²⁶

Сравнительно простой и наглядной является теория Айвса и Бриггса.²⁷ Она пытается объяснить весь характерный ход спектральной кривой отдачи. Авторы могут, например, очень хорошо объяснить ход кривой отдачи для тонких невидимых слоев щелочных металлов на металлическом зеркале. При этом они исходят из упрощенного предположения, что 1) все фотоэлектроны выходят только из металлической пленки и 2) действующая интенсивность света в металлической пленке равна интенсивности, господствующей на

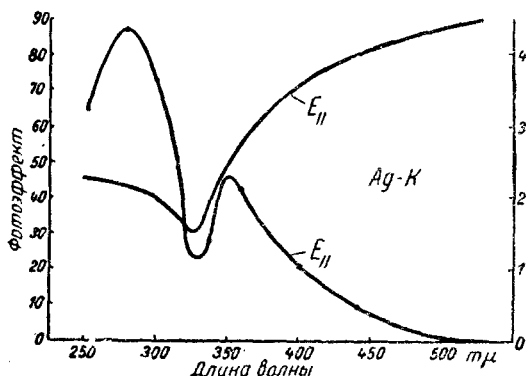


Рис. 6. Фотоэффект и напряженность электрического поля на зеркальной поверхности (по Финсу)

зеркала. Рис. 6 дает диаграмму интенсивности электрического вектора на поверхности зеркала и параллельно с ним фотоэффект в зависимости от длины волны. Проверка этой теории невозможна на других поверхностях, кроме зеркальных.

3. Конструкции фотоэлементов с внешним фотоэффектом

Фотоэлементам этого типа придают самую разнообразную форму²⁸, определяемую в первую очередь их назначением. Из множества конструкций могут быть выделены две основные группы. К первой группе принадлежат фотоэлементы, которые должны работать в качестве фотометра в полном смысле этого слова. Здесь требуются действие фотоэлемента как черного тела, строгая пропорциональность между фототоком и освещенностью и хорошая изоляция между анодом и катодом. Таким образом возникает более или менее шарообразная форма фотоэлемента, вся внутренняя поверхность которого, за исключением окна, через которое поступает свет, является катодом. Особенно хорошо пропорциональность осуществляется, если катод расположен в центре, так как тогда устра-

граничной поверхности в вакууме — металлическое зеркало.

Для проверки этой теории были проделаны эксперименты над серебряным зеркалом с нанесенной на него пленкой щелочного металла. Эти опыты дают объяснение эффекта в том смысле, что для него существенным является интенсивность электрического вектора непосредственно у серебряного

няется действие пространственных зарядов. Хорошая изоляция достигается увеличением стеклянного промежутка между анодом и катодом (гофрированная ножка). Подобные фотоэлементы изображены на рис. 7 и 12. Сопротивление изоляции для них равно 10^{13} — 10^{14} Ω . Вторая группа охватывает все остальные фотоэлементы, у которых соблюдение вышеупомянутых трех требований не безусловно необходимо. Здесь большая часть поверхности стенок может оставаться свободной. Это влечет, как правило, недостаточно строгую линейность, по крайней мере в большом интервале изменений интенсив-

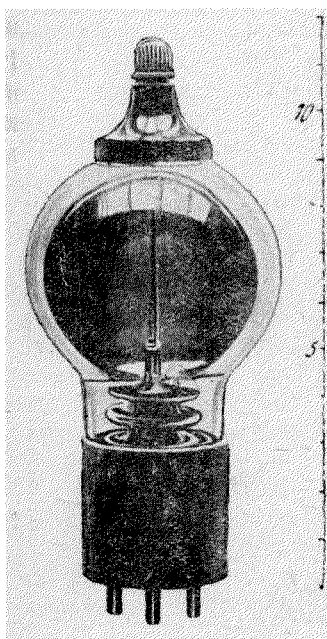


Рис. 7. Шарообразный технический фотоэлемент с повышенной изоляцией

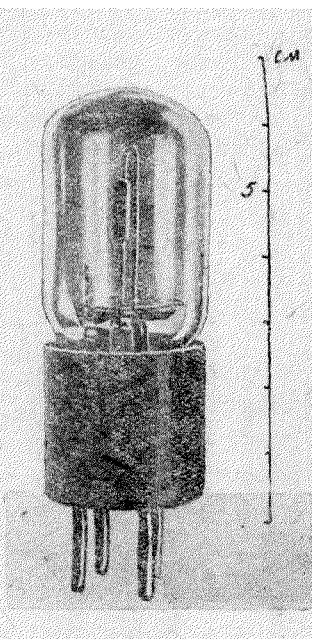


Рис. 8. Цилиндрический фотоэлемент

ности падающего света. Здесь необходимо считаться с мешающим действием зарядов на стенках. Подобные фотоэлементы не могут найти применения в качестве фотометров. Они больше подходят для чисто технических целей, где в первую очередь требуется высокая чувствительность по напряжению. Изоляция между анодом и катодом не должна быть особенно высока, в особенности если такие фотоэлементы предназначаются для света переменной интенсивности. Так, на рис. 8 изображен цилиндрический фотоэлемент, применяемый в световых реле, и на рис. 9 так называемый фронтальный фотоэлемент, применяемый тогда, когда освещение идет непосредственно сверху. Эти последние позволяют расположить большое число фотоэлементов тесно друг возле друга на одной плоскости. В некоторых случаях желательно использование фотоэлемен-

тов с большой поверхностью. Тогда выбирают соответственно увеличенную конструкцию, представленную на рис. 8. В заключение можно указать еще одну конструкцию фотоэлемента, представленную на рис. 10. Этот фотоэлемент не имеет специального окна для входа света, но фотокатод сделан прозрачным и покрывает всю внутреннюю поверхность колбы фотоэлемента. Эти фотоэлементы весьма пригодны для фотометрии неба, для объемной фотометрии и специальных световых реле. Прозрачные катоды для фотоэлементов применялись уже Флейшером.²⁹

Как уже было упомянуто выше, в настоящее время для фотокатодов преимущественно употребляют цезий. Однако для специальных целей может оказаться необходимым применение какого-либо другого щелочного металла и именно тогда, когда нужно получить селек-

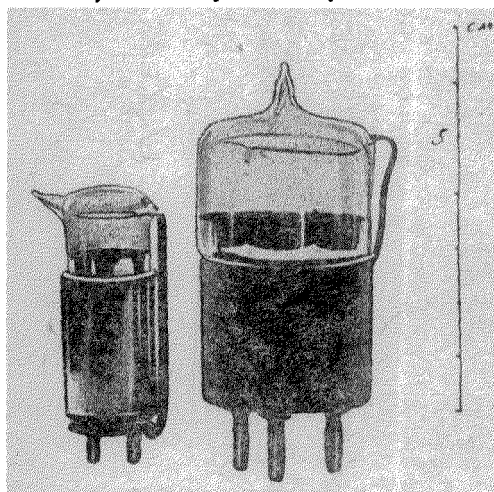


Рис. 9. Фронтный фотоэлемент

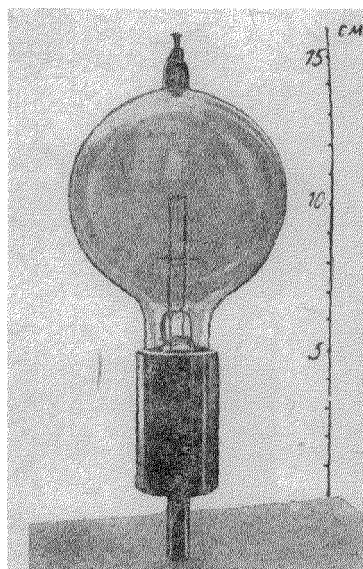


Рис. 10. Шарообразный фотоэлемент с прозрачным катодом

тивный максимум в какой-нибудь другой части спектра, кроме инфракрасной. Это, например, требуется при измерении окраски и измерении силы света. Для этого необходимо иметь кривую чувствительности фотоэлемента, по возможности более полно совпадающую с кривой чувствительности человеческого глаза. Согласно предложению Зурмана³⁰ для этого можно применить описанный им калиевый фотоэлемент вместе с шоттовским светофильтром GG11 (1 мм) и GG12 (20 мм), что дает кривую чувствительности, почти совпадающую с кривой чувствительности человеческого глаза. Результаты, которые получаются в настоящее время с помощью калиевого фотоэлемента с катодом типа $\text{Ag} - \text{K}_2\text{O} - \text{K}$, видны из рис. 11. Полное совпадение пока еще не достигнуто. Употребление этой комбинации необходимо только тогда, когда нельзя обойти усиление

фототока, например при передаче измеряемых значений на расстояние. В других случаях можно применить испытанную установку Дрезлера,²¹ использующую селеновый фотоэлемент с запирающим слоем. На рис. 12 приводится еще один тип фотоэлемента, относящийся к упомянутой выше первой группе. Здесь речь идет о фотоэлементе из тугоплавкого стекла с напаянным кварцевым окном, позволяющим производить измерения от коротковолнового ультрафиолета (1800 Å) до инфракрасных лучей с длиной волны 13000 Å. Этот фотоэлемент охватывает наиболее широкую спектральную область из всех известных до сих пор фотоэлементов. Он, вероятно, сможет найти применение в ультрафиолетовой дозиметрии. До сих пор здесь применялся почти исключительно кадмиевый фотоэлемент. Цезиевый фотоэлемент по сравнению с кадмиевым фотоэлементом обладает значительно большей абсолютной чувствительностью.

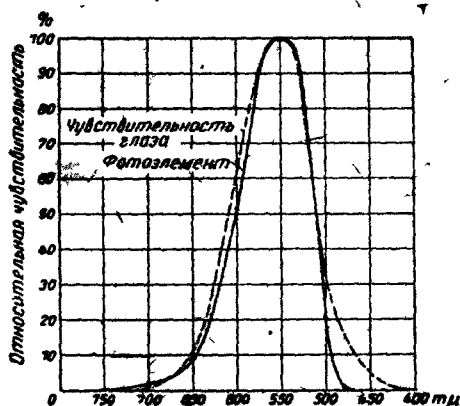


Рис. 11. Совпадение кривой чувствительности кадмиевого фотоэлемента (Ag—K₂O—K), снабженного шоттовскими фильтрами GG 11 и GG 12, и кривой чувствительности человеческого глаза

4. Новейшие фотоэлектрические приборы

Здесь должны быть также отмечены появившиеся в недавнее время устройства, использующие внешний фотоэлектрический эффект. К их числу принадлежат: световой счетчик, иконоскоп Зворыкина, диссектор Фарнsworthа и фотоэлектрический преобразователь изображений.

Световой счетчик представляет собой особый вид газополного фотоэлемента. С помощью газополного фотоэлемента обычной конструкции и усилительной лампы, включенной по схеме электрометра, может быть достигнута чувствительность около $1,7 \cdot 10^{-15}$ кал. сек⁻¹ см⁻². Эльстер и Гейтель²² с помощью газополного фотоэлемента при особой схеме получали чувствительность до $7,2 \cdot 10^{-17}$ кал. сек⁻¹ см⁻². Они использовали принцип, сходный со световым счетчиком.

Напряжению на фотоэлементе они давали значения, весьма близкие к потенциалу зажигания. Тогда при слабом освещении электрометр заряжается не непрерывно, а толчками. Каждый толчок пропорционален определенному числу вылетающих из фотокатода электронов и вместе с тем определенному числу падающих на него световых квантов. Практически световой счетчик представляет собой счетчик Гейгера-Мюллера, стенка которого выполнена в виде фотокатода для видимого света. При этом регистрируется каждый

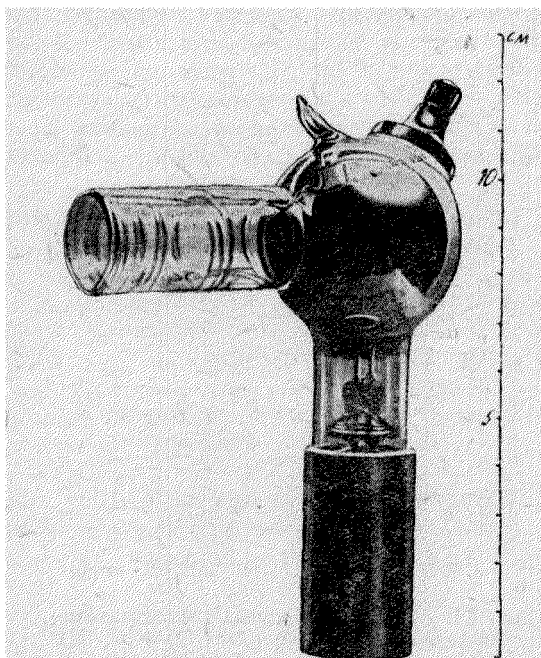


Рис. 12. Фотоэлемент из тугоплавкого стекла с напыленным кварцевым окном (для фотометрии в области от 1800 до $1300 \text{ \AA}$)

фотоэлектрон, выходящий из стенки трубки. В настоящее время достигнута чувствительность около $2 \cdot 10^{-19} \text{ кал. сек.}^{-1} \text{ см}^{-2}$. Чувствительность человеческого глаза, пределом которой в сине-зеленой части спектра является примерно $2 \cdot 10^{-16} \text{ кал. сек.}^{-1} \text{ см}^{-2}$, таким образом, превышает в 10^4 раз. Световой счетчик является наиболее чувствительным фотометром, каким мы в настоящее время располагаем.

‘Специально для целей телевидения Зворыкиным был разработан так называемый иконоскоп³⁴. Значительное его преимущество заключается в том, что он не требует механического разложения изображения. Изображение проектируется на особым образом изготовленный плоский электрод, обладающий фотоэлектрической чувствительностью. Этот электрод представляет собой конденсатор,

одна обкладка которого состоит из сплошного слоя серебра, прокладка (диэлектрик) — из тонкой слюдяной пластинки и вторая обкладка из разделенного на мелкие элементы фотокатода. При освещении этой поверхности отдельные элементы фотокатода заряжаются пропорционально интенсивности падающего на них света. По поверхности фотокатода скользит электронный луч, разряжающий отдельные элементы, зарядившиеся до положительного потенциала, соответствующего интенсивности падающего на них света. С серебряной обкладкой конденсатора связан усилитель, усиливающий импульсы разрядного тока отдельных элементов и передающий их дальнейшей аппаратуре. Чувствительность этого устройства на 6 порядков больше, чем у применявшихся до сих пор.

Фарнсворт³⁵ предложил другое устройство, родственное этому, поскольку и здесь механические части заменены движущимся электронным лучом. Он проектирует передаваемое изображение на прозрачный фотокатод. Различные части фотокатода эмитируют при этом различное количество электронов, смотря по интенсивности падающего на данный участок катода света. Далее это „электронное изображение“ посредством электронной оптики отбрасывается на воспринимающую поверхность, имеющую по середине маленькое квадратное окно и позади этого окна связанный с усилителем собирающий электрод. Если теперь с помощью переменного магнитного или электрического поля заставить электронное изображение колебаться из стороны в сторону, то в соответствии с попадающим на окошко элементом изображения в усилителе возникают колебания тока, воспроизводящие распределение интенсивности света на фотокатод. С развитием электронной оптики стало также возможным изучение фотоэлектронной эмиссии с поверхностей. Это было сделано Полем для поверхности платины.³⁶ При равномерном освещении поверхности местное распределение фотоэлектрической эмиссии можно наблюдать на флуоресцирующем экране. Подобным же образом при употреблении фотокатодов с однородной чувствительностью, в особенности щелочных катодов, можно световые изображения преобразовать в электроннооптические.³⁷ Названные здесь фотоэлектрические устройства позволяют расширить применение фотографии, распространив ее на красное и инфракрасное излучение.³⁸

ЛИТЕРАТУРА

1. B. Gudden, *Lichtelektr. Erscheinungen*, стр. 195, J. Springer, Berlin 1926.
2. R. Falkenthal (Берлин) предложил ввести [для этих фотоэлементов название „сложный фотоэлемент“.
3. M. C. Teves u. J. H. de Boer, *Z. Physik*, **83**, 521, 1933.
4. R. Fleischer, *Physik. Z.*, **32**, 217, 1931.
5. B. Gudden u. R. Pohl, *Z. Physik*, **17**, 331, 1923.
6. K. O. Kiepenheuer, *Die Sterne*, N. 4—5, стр. 81, 1934.
7. R. Koller, *Rev. Sci. Inst.* Dec. 1932, 760.
8. W. Kluge, *Z. techn. Phys.*, **12**, 591, 1934.
9. W. Kluge u. H. Briebracher, *Z. techn. Phys.*, **12**, 533, 1933.

10. G. Kortüm, *Physik. Z.* 32, 417, 1931.
 11. R. Suhrmann, *Z. wiss. Phot.*, 29, 156, 1930.
 12. B. Gudden, *Lichtel. ktr. Ersch.*, стр. 127.
 13. R. Sewig, *Techn. Wiss. Abhandl. aus dem Osram-Konzern*, 1931.
 14. C. Müller, *Physik. Z.* 36, 113, 1935.
 15. G. Wiedemann u. W. Hallwachs, *Verh. d. Deutsch. Phys. Ges.* 107, 1914; R. Fleischer u. H. Dember, *Z. techn. Phys.* 7, 133, 1926.
 16. W. Kluge, *Z. Physik*, 93, 636, 1935.
 17. H. Simon и R. Suhrmann, *Lichtel. Zellen*, стр. 23 и 32 Berlin J. Springer, 1932;
 18. J. Elster u. H. Geitel, *Ann. d. Phys.*, 48, 625, 1892.
 19. W. Kluge, *Physik. Z.* 34, 833, 1933.
 20. B. Gudden, *Lichtel. Erscheinungen*, Spinger 1928, стр. 109—110. R. W. Pohl, *Naturwiss.* 14, 217, 1926.
 21. R. Fleischmann, *Nachr. v. d. Ges. d. Wiss. z. Göttingen, Fachgruppe II*, 1931, стр. 252.
 22. W. Kluge, *Z. Physik (в печати)*.
 23. R. H. Campell, *Photoelectric Cells and their Applications*, Discussion of the Physical and Optical Societies of London, стр. 10, 1930; R. H. Fowler, *Proc. Roy. Soc.* 128, 123, 1930.
 24. J. H. de Boer u. M. C. Teves, *Z. Physik*, 73, 192, 1932; 83, 521, 1933.
 25. R. Suhrmann, *Erg. d. exakt. Naturw.* XIII, 191, 1934.
 26. A. Th. Wolf, *Z. Physik*, 52, 158, 1929.
 27. H. E. Ives. u. H. B. Briggs, *Phys. Rev.* 38, 1477, 1931.
 28. R. Fleischer u. H. Teichmann, *Die Lichtelektrische Zelle und ihre Herstellung*, Dresden 1932; H. Geffcken u. R. Richter, *Die lichtempfindliche Zelle als technisches Steuerorgan*, Berlin, Tempelhof, 1933.
 29. R. Fleischer, *Z. techn. Phys.*, 2, 92 1932.
 30. H. Simon u. R. Suhrmann, стр. 251.
 31. A. Dresler, *Das Licht*, 3-й род изд. № 2, 41—43, 1933.
 32. J. Elster u. H. Geitel, *Physik. Z.* 17, 268, 1916.
 33. B. Rajewsky, *Physik. Z.*, 32, 121, 1931.
 34. V. K. Zwoykin, *Hochfrequenztechnik u. Elektroakustik*, 43, 112, 1934.
 35. A. H. Brollly, *Elektr. Eng.*, 53, 1153, 1934.
 36. J. Pohl, *Z. techn. Phys.* 15, 579, 1934.
 37. G. Holst, J. H. de Boer, M. C. Teves u. C. F. Veenemans, *Physica* 1, 297, 1934; W. Schaffernicht, *Z. Physik*, 93, 762, 1935. W. Heilmann, *ENT*, стр. 291, 1935; W. Kluge, *Z. Physik*, 91, 789, 1935.
 38. J. Eggert, *Die technisch wichtigsten lichtempfindlichen Systeme*, *Z. techn. Phys.* 13, 441, 1934.
-