

Ф И З И К А

Г. А. ЖЕЛУДЕВА

**ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ ТОЛЩИ  
СУРЬМЯНО-ЦЕЗИЕВОГО КАТОДА НА ХАРАКТЕР ИХ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ЭНЕРГИЯМ**

Показано, что сурьмяно-цезиевые катоды разной толщины, изготовленные в одной трубке, имеют неодинаковое распределение фотоэлектронов по энергиям при фронтальном освещении катодов и весьма близкое при тыловом их освещении. На основании полученных результатов делаются заключения о неоднородности сурьмяно-цезиевого катода по толщине и об отсутствии влияния глубины выхода электронов на характер распределения по энергиям.

Фотоэлектроны при движении к поверхности катода через его толщину теряют свою энергию, и их распределение по энергиям, первоначально обусловленное энергетической структурой вещества катода, может быть изменено этими потерями. Представляет интерес выяснить, как сильно характер энергетического спектра фотоэлектронов сурьмяно-цезиевого катода зависит от глубины их выхода.

**§ 1. Распределение по энергиям фотоэлектронов  
сурьмяно-цезиевых катодов разной толщины  
при фронтальном их освещении**

Постановка опытов. Наиболее простым методом исследования влияния глубины выхода электронов на распределение по энергиям является метод катодов разной толщины [1, 2]. Если толщины катодов определяют (ограничивают) глубину выхода электронов, то изменения в распределении фотоэлектронов по энергиям для таких катодов будут обусловлены различной длиной пути, проходимого электронами в веществе катода. Таким методом, естественно, можно пользоваться только в том случае, если катоды разной толщины имеют одинаковые свойства. Считается, что для сурьмяно-цезиевых катодов это условие будет выполнено, если катоды изготавливать в одной трубке при одних и тех же условиях.

Однако при работе с сурьмяно-цезиевыми катодами нам неоднократно приходилось отмечать, что катоды разной толщины не одинаковы по своим свойствам, если даже они изготовлены в одной трубке, при одних и тех же условиях. Так, чувствительность нормального по

толщине катода ( $\sim 1500\text{Å}$ ) больше чувствительности более тонкого катода и тогда, когда толщина последнего превосходит эффективную глубину выхода электронов и «толщинный» эффект не может сказаться.

Это обстоятельство побудило нас проверить, будет ли идентичным распределение по энергиям фотоэлектронов таких катодов, которые изготовлены в одной трубке, при одних и тех же условиях, но на слоях сурьмы существенно разной толщины. При этом толщины всех катодов должны превосходить эффективную глубину выхода электронов из толщи катода и глубину проникновения света в катод, чтобы исключить влияние на распределение фотоэлектронов по энергиям «толщинного» эффекта и интерференционных явлений в толще катодов [3]. Тогда характер распределения фотоэлектронов по энергиям катодов разной

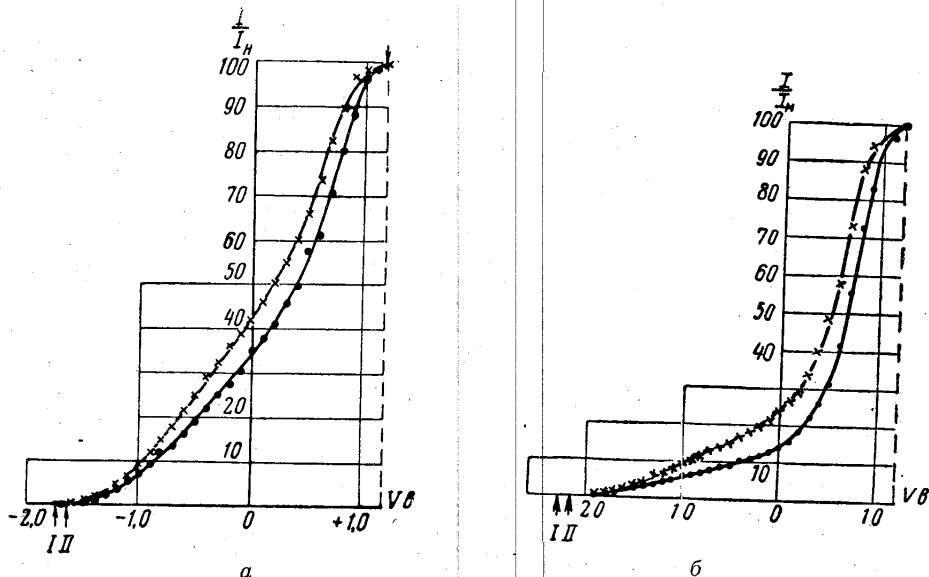


Рис. 1. Кривые задержки сурьмяно-цезиевых катодов разной толщины при освещении их с фронта.

$a - \lambda = 2805 \text{ Å}$ ,  $b - \lambda = 2482 \text{ Å}$ ,  $\bullet$  — катод I толщиной  $\sim 5300 \text{ Å}$ ,  $\times$  — катод II толщиной  $\sim 1200 \text{ Å}$

толщины можно считать обусловленным только физико-химической структурой пленок.

Были исследованы катоды (на кварцевой подложке) толщиной 490, 1080, 1200, 1600, 5300 Å.

Для получения катодов разной толщины в одной экспериментальной трубке и для определения толщин катодов использовался метод клина [4].

Распределение фотоэлектронов по энергиям получалось методом кривых задержки в сферическом конденсаторе. Результаты для всех катодов аналогичны по характеру, поэтому ниже приводятся данные для двух катодов одной экспериментальной трубки: для катода I толщиной  $\sim 5300\text{Å}$  и катода II толщиной  $\sim 1200\text{Å}$ . Катод I толще нормального катода. Он совершенно непрозрачен. Его интегральная чувствительность равнялась  $40 \mu\text{a/lm}$ . Катод II тоньше нормального. На клине он был расположен за участком вишнево-красного цвета на просвет (соответствующего нормальному катоду) в сторону меньших толщин и имел оранжево-коричневую окраску. Интегральная чувствительность его составляла 0,5 чувствительности катода I.

Все измерения проводились с коротковолновым светом в диапазоне длин волн  $2200\text{Å} - 4047\text{Å}$ . Коротковолновый свет сильно поглощается веществом катода: глубина проникновения света с длиной волны  $\lambda = 1200\text{Å}$  в толщу сурьмяно-цезиевого слоя порядка  $500\text{Å}$  [3, 4].

Эта глубина много меньше толщины исследуемых катодов, так что глубина зарождения и выхода фотоэлектронов не ограничивалась толщинами фотослоев и одинакова для катодов *I* и *II*.

Результаты измерений. На рис. 1 *a, б* приведены типичные кривые задержки фототока катодов *I* и *II*. На рис. 2 даны кривые распределения по энергиям фотоэлектронов катодов *I* и *II*, полученные графическим дифференцированием соответствующих кривых задержки.

Анализ результатов. Фотоэлектрическая работа выхода  $\varphi_{\text{э}}$  катода *II* несколько больше фотоэлектрической работы выхода катода *I*. Так,  $\varphi_{\text{э}II}$  равно 1,46; 1,55; 1,55; 1,59 эв ( $\pm 0,05$  эв), а  $\varphi_{\text{э}I}$  — 1,43; 1,46; 1,47; 1,49 эв ( $\pm 0,05$  эв) соответственно для  $\lambda = 4046\text{Å}$ , 3130, 2805, 2482Å.

Величина  $\delta$  — энергетическое расстояние от верха заполненной зоны до уровня электрохимического потенциала — для катода *I* (более толстого) меньше примерно на 0,1 эв, чем для катода *II* \*\*.

Распределение по энергиям фотоэлектронов катода *I* не совпадает с распределением по энергиям фотоэлектронов катода *II*. В энергетическом спектре фотоэлектронов катода *II* больше быстрых и соответственно меньше медленных электронов, чем в энергетическом спектре фотоэлектронов катода *I*.

Таким образом, оказалось, что сурьмяно-цезиевые пленки разной толщины не одинаковы по своим свойствам несмотря на то, что они изготовлены в одной трубке при одних и тех же условиях. Они имеют различную чувствительность, фотоэлектрическую работу выхода, энергетическое расстояние  $\delta$ , распределение фотоэлектронов по энергиям и в том случае, когда их толщины таковы, что исключается влияние «толщинного» эффекта, влияние глубины выхода фотоэлектронов.

Из этого следует, что использование сурьмяно-цезиевых пленок разной толщины для определения влияния глубины выхода электронов на распределение по энергиям может привести к ошибочным выводам.

## § 2. Влияние направления освещения катода на распределение фотоэлектронов по энергиям

Постановка опытов. Получить распределение по энергиям фотоэлектронов, вышедших с разных глубин катода, можно другим путем, не прибегая к катодам разной толщины.

Глубина проникновения коротковолнового излучения в толщу ка-

\*  $\varphi_{\text{э}}$  — фотоэлектрическая работа выхода, вычисленная из уравнений Эйнштейна.  
 \*\* Величина  $\delta$  определялась с помощью «прямой Эйнштейна» —  $V_0 = f(h\nu)$ , где  $V_0$  — максимальный задерживающий потенциал на кривые задержки,  $h(\nu)$  — энергия светового кванта.

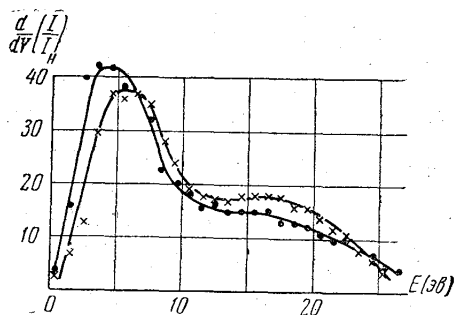


Рис. 2. Распределение по энергиям фотоэлектронов сурьмяно-цезиевых катодов разной толщины.  $\lambda = 2805 \text{Å}$ , ● — катод *I*, × — катод *II*

тогда, как уже говорилось, сравнительно невелика. Поэтому если катод толщиной много больше глубины проникновения света освещать с фронта (со стороны вакуума), то фотоэлектроны будут зарождаться только в тонком поверхностном слое катода, куда проникает свет, а если катод облучать с тыла (через прозрачную для данного света подложку), то фотоэлектроны будут зарождаться только «на дне» фотослоя. Условия выхода фотоэлектронов в том и другом случае будут весьма различны. При фронтальном освещении фотоэлектроны проходят сравнительно незначительную толщину катода, равную в худшем случае глубине проникновения света в катод. При тыловом освещении, когда электроны зарождаются «на дне» фотослоя, их путь в веществе катода будет значительно больше.

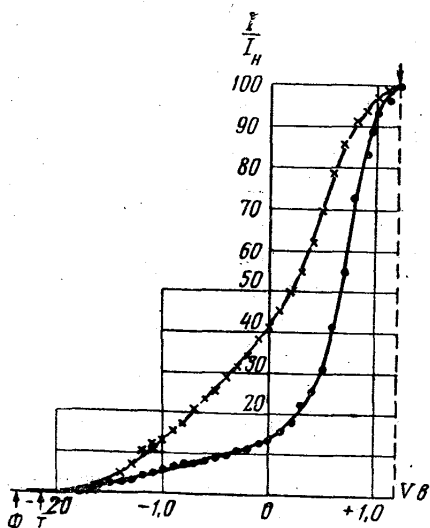


Рис. 3. Кривые задержки сурьмяно-цезиевого катода I (толщиной  $\sim 5300 \text{ \AA}$ ) при фронтальном и тыловом освещении.  $\lambda = 2482 \text{ \AA}$ ,  $\bullet$  — освещение с фронта,  $\times$  — освещение с тыла

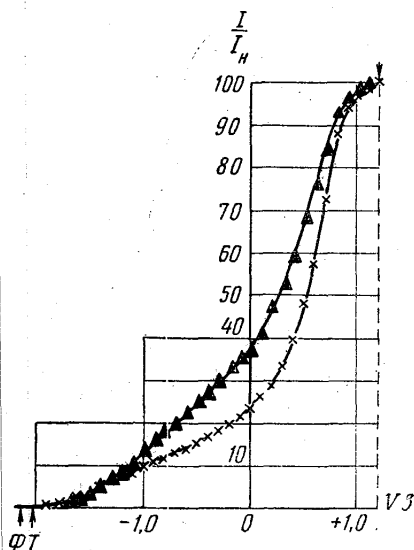


Рис. 4. Кривые задержки сурьмяно-цезиевого катода II (толщиной  $\sim 1200 \text{ \AA}$ ) при фронтальном и тыловом освещении.  $\lambda = 2482 \text{ \AA}$ ,  $\times$  — освещение с фронта,  $\blacktriangle$  — освещение с тыла

В силу таких различий в условиях выхода электронов при фронтальном и тыловом освещении катода коротковолновым светом можно получить определенные сведения о влиянии глубины выхода электронов на характер распределения по энергиям путем сравнения энергетических спектров фотоэлектронов при фронтальном и тыловом освещении катода.

Для этих опытов использовались те же катоды, что и для опытов, описанных в § 1.

Измерения проводились со светом  $\lambda = 2805 \text{ \AA}$  и  $\lambda = 2482 \text{ \AA}$ , проникающим в толщу катода на  $\sim 500 \text{ \AA}$  [3, 4], так что толщины исследуемых катодов значительно превосходили глубину проникновения света в катод.

Результаты измерений и их обсуждение. На рис. 3, 4 приведены кривые задержки фототока катодов I и II при фронтальном и тыловом освещении светом  $\lambda = 2482 \text{ \AA}$ .

На рис. 5 как пример даны кривые распределения по энергиям

фотоэлектронов катода  $I$  при фронтальном и тыловом освещении, полученные графическим дифференцированием кривых задержки рис. 3.

При рассмотрении полученных результатов обращает на себя внимание следующее.

1. Естественно было ожидать (по аналогии с распределением по энергиям фотоэлектронов с металлических пленок разной толщины), что для «глубинных» электронов (при тыловом освещении) в распределении по энергиям будет больше электронов с малыми энергиями и меньше электронов с большими энергиями, чем для «поверхностных» электронов (при фронтальном освещении), так как для «глубинных» электронов путь в толще катода больше и потери энергии электронами также больше.

Однако полученные результаты не соответствуют этим представлениям и имеют скорее обратный характер: в энергетическом спектре «глубинных» электронов меньше медленных и больше быстрых электронов, чем в энергетическом спектре «поверхностных» электронов (рис. 5).

2. Распределение по энергиям «глубинных» электронов для катода  $I$  и катода  $II$  аналогично. Особенно четко это видно на соответствующих кривых задержки — кривые задержки для катодов  $I$  и  $II$  при тыловом освещении практически совпадают (рис. 3 и 4).

Этот результат явился весьма неожиданным, так как путь электронов через толщу в катоде  $I$  больше, чем в катоде  $II$ .

3. Отличие распределения по энергиям «глубинных» электронов от распределения по энергиям «поверхностных» электронов весьма схоже с тем, что имеет место для недоактивированного и нормального катодов. В этом можно убедиться, если сравнить кривые задержки для тылового и фронтального освещения катодов  $I$  и  $II$  (см. рис. 3 и 4) с кривыми задержки для недоактивированного и нормального катодов — рис. 6\*.

Объяснить полученные результаты нам представляется возможным, если сделать предположения.

1. Катод неоднороден по толщине. Поверхностный слой представляет собой сурьмяно-цезиевое соединение, отвечающее большей фоточувствительности, тогда как глубинные слои катода, граничащие с подложкой, близки по своей физико-химической структуре к недоактивированному катоду.

2. Сурьмяно-цезиевый катод представляет собой «серый фильтр» для возбужденных электронов: при прохождении толщи катода электроны не изменяют своего распределения по энергиям, обусловленного энергетической структурой эмитирующего вещества.

С этих позиций полученные результаты легко объясняются.

Прежде всего необходимо объяснить, почему катоды толщиной 1200 Å и 5300 Å дают заметный фототок при тыловом освещении, тогда как исходя из глубины проникновения света в толщу нормально-

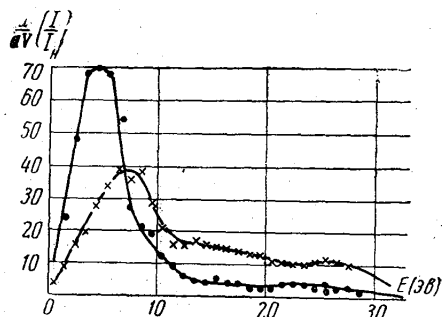


Рис. 5. Распределение по энергиям фотоэлектронов катода  $I$  при фронтальном и тыловом освещении.  $\lambda = 2482 \text{ \AA}$ , ● — освещение с фронта, × — освещение с тыла

\* Графики рис. 6 составлены по данным работы [5].

го сурьмяно-цезиевого катода и обычно называемой глубины выхода электронов (250—300Å), фототок с катодов таких толщин не должен был наблюдаться.

Это обстоятельство мы объясняем следующим образом. Как уже отмечалось, глубина проникновения света используемых длин волн (4047Å — 2482Å) в толщу сурьмяно-цезиевого катода составляет ~ 500Å. Однако катод неоднороден по толщине. Эффективное соединение, к которому относится названная цифра, имеет место только в поверхностных слоях катода, откуда идет фотоэффект при фронтальном освещении, а глубинные слои по своей природе близки к недоактивированному катоду. Недоактивированные слои обладают большей прозрачностью для света и при тыловом освещении катода верхняя граница возбуждения электронов, по видимому, лежит не около 500Å, а выше.

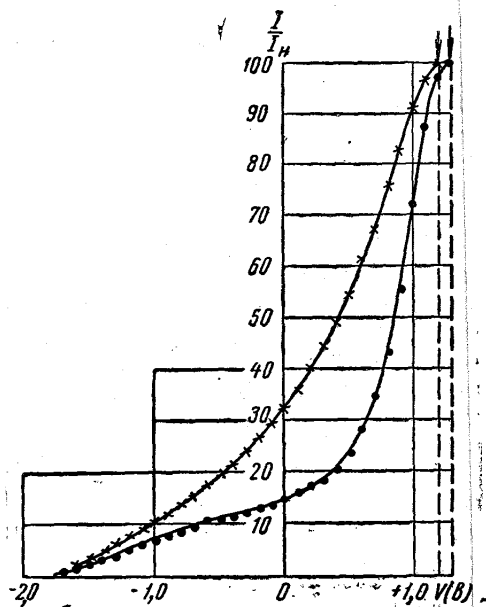


Рис. 6. Кривые задержки для  $\lambda = 2482 \text{ \AA}$  нормального (●) и недоактивированного (×) сурьмяно-цезиевого катода

Кроме того, эффективная глубина выхода электронов для сурьмяно-цезиевого катода 300Å определена для длинноволнового света — 5600Å, 6300Å [3]. Можно ожидать, что для более коротких длин волн (с которыми проводились измерения), когда электроны получают большую энергию от световых квантов, эффективная глубина выхода электронов будет больше.

Неоднородностью катода по толщине и представлением о нормальном сурьмяно-цезиевом катоде, как о «сером фильтре», объясняется и тот результат, что распределение фотоэлектронов по энергиям при тыловом освещении для столь различных по толщине катодов, как катод I и II, одинаково и весьма схоже с распределением для недоактивированного катода.

Фотоэлектроны при тыловом освещении зарождаются в глубинных недоактивированных слоях катода, и их распределение по энергиям определяется энергетической структурой этих слоев. При движении к поверхности через толщу катода характер этого распределения не меняется, меняется лишь количество электронов — толща сурьмяно-цезиевого катода аналогична «серому фильтру», ослабляющему в равной мере интенсивность потоков квантов разной энергии. Поэтому энергетический спектр глубинных электронов отличается от энергетического спектра поверхностных электронов так же, как распределение по энергиям недоактивированного катода отличается от распределения по энергиям нормального катода (см. рис. 3, 4 и 6), а энергетические спектры глубинных электронов для двух катодов существенно разной толщины одинаковы (см. рис. 3 и 4).

Таким образом, результаты этого опыта можно трактовать как свидетельство того, что распределение по энергиям фотоэлектронов сурьмяно-цезиевого катода не зависит от глубины выхода электронов

и дает сведения об энергетической структуре катода без искажений потерями энергии при движении электронов к поверхности.

Автор сердечно благодарит проф. И. А. Капцова за руководство работой и Н. Поликарпову за помощь в измерениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Политова Н. М. ЖЭТФ, 25, № 4, 468—470, 1953.
2. Хлебников Н. С., Меламид А. Е. «Радиотехника и электроника», 4, № 6, 1008—1017, 1959.
3. Дятловицкая Б. И. ЖТФ, 22, № 1, 84—100, 1952.
4. Моргулис Н. Д., Борзяк П. Г., Дятловицкая Б. И. «Изв. АН СССР», сер. физическая, 12, № 2, 126—143, 1948.
5. Желудева Г. А., Ахматова Н. А. «Радиотехника и электроника», 3, № 3, 400—404, 1958.

Поступила в редакцию  
28. 10 1961 г.  
после переработки  
10. 2 1962 г.

Кафедра  
электроники