

С. М. РЫВКИН [и] Л. Н. МАЛАХОВ

## ВЛИЯНИЕ КИСЛОРОДА НА ПРОВОДИМОСТЬ И ФОТОПРОВОДИМОСТЬ СЕРНО-СВИНЦОВЫХ ФОТОСОПРОТИВЛЕНИЙ

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 3 VI 1952)

Известно, что появление большой фотоэлектрической чувствительности в слоях сублимированных серно-свинцовых фотосопротивлений происходит в результате поглощения этими слоями кислорода из воздуха во время специальной высокотемпературной обработки. Однако, кроме кислорода, сравнительно прочно связывающегося со слоем при высокой температуре, не менее существенное влияние на свойства слоев PbS оказывает так называемый «легко связанный» или «обратимый» кислород, содержание которого в слоях можно легко изменять посредством их длительного выдерживания в вакууме или в атмосфере воздуха (кислорода) при температурах, незначительно отличающихся от комнатной. Сильное влияние «обратимого» кислорода на свойства слоев PbS было убедительно показано в работе Б. Т. Коломийца (1).

Перед нами стояла задача комплексного исследования влияния «обратимого» кислорода на фотоэлектрические и электрические свойства PbS-фотосопротивлений.

Известно, что стационарная фотопроводимость  $\Delta\sigma_{\text{стац}}$  и темновая проводимость  $\sigma_{\text{т}}$  могут быть записаны в виде произведения ряда феноменологических параметров:

$$\Delta\sigma_{\text{стац}} = e u_c \tau \beta k I^* \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{т}} = e u_{\text{т}} n_{\text{т}} \quad (2)$$

где  $e$  — заряд электрона;  $u_{\text{т}}$  и  $u_c$  — подвижности, соответственно, темновых носителей тока и носителей фототока;  $\tau$  — время жизни носителей фототока;  $k$  — коэффициент поглощения;  $\beta$  — квантовый выход;  $I^*$  — интенсивность света, измеряемая в квантах;  $n_{\text{т}}$  — концентрация темновых носителей тока.

Комплексное исследование связано с отдельным изучением возможно большего числа параметров, входящих в (1) и (2). В настоящей работе изучалось влияние «обратимого» кислорода на  $\Delta\sigma_{\text{стац}}$ ,  $\sigma_{\text{т}}$ ,  $\tau$ ,  $u_{\text{т}}$  и  $n_{\text{т}}$ .

Анализ результатов позволил также сделать заключение о действии кислорода и на некоторые другие параметры, входящие в (1).

Метод измерения. Измерения  $\Delta\sigma_{\text{стац}}$  и  $\sigma_{\text{т}}$  производились зондовым методом. Постоянная времени  $\tau$  определялась по методу Н. А. Толстого и П. П. Феофилова (2). При этом была использована

\* См. (2).

возможность расширения пределов применимости метода в сторону коротких времен, указанная одним из авторов настоящей статьи (4). Установка позволяла определять собственные времена вплоть до  $\sim 3 \cdot 10^{-7}$  сек.

Концентрация темновых носителей тока  $n_T$  определялась из измерений постоянной Холла  $R$ . Подвижность  $u_T$  находилась как произведение постоянной Холла  $R$  и проводимости  $\sigma_T$ .

Дозированное изменение содержания кислорода в слое с одновременным исследованием влияния этого содержания на электрические и фотоэлектрические параметры слоя могло быть проделано на основании следующих соображений.

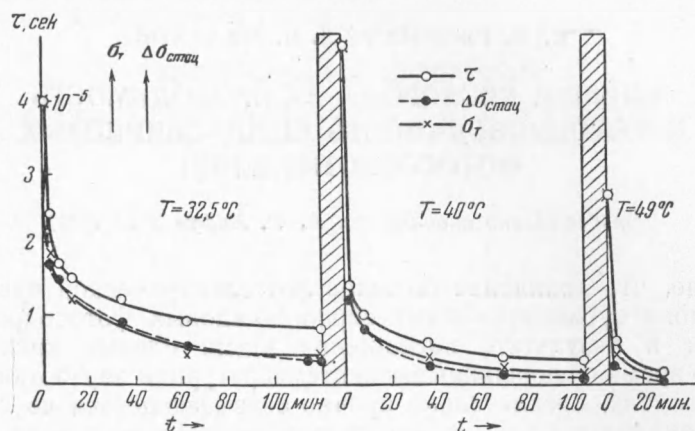


Рис. 1. В точках при  $t = 0$  значения  $\sigma_T$  и  $\Delta\sigma_{\text{стай}}$  совмещены со значением для  $\tau$

1. Каждому значению температуры слоя  $T$  и давления окружающего воздуха  $p$  соответствует определенная равновесная концентрация «обратимого» кислорода, растворенного в слое.

2. Возрастание  $T$  и уменьшение  $p$  уменьшают количество кислорода в слое.

3. В комнатной температуре изменение содержания кислорода в слое с нарушенным равновесием происходит весьма медленно\*.

Измерения  $\Delta\sigma_{\text{стай}}$ ,  $\tau$  и  $\sigma_T$  производились в следующем порядке. Образец, насыщенный «обратимым» кислородом и снабженный электродами и зондами, помещался в специальную камеру, где создавался вакуум. Затем при комнатной температуре в образце измерялись  $\sigma_T$ ,  $\Delta\sigma_{\text{стай}}$  и  $\tau$ \*\*.

После этого образец быстро нагревался до некоторой температуры и выдерживался при этой температуре в вакууме определенное время. При этом из него выделялась определенная «порция» «обратимого» кислорода.

Затем образец быстро охлаждался до комнатной температуры («замораживался»), и при этой температуре в нем вновь измерялись  $\sigma_T$ ,  $\Delta\sigma_{\text{стай}}$  и  $\tau$ . Такие циклы повторялись несколько раз. В результате можно было построить зависимость темновой проводимости, фотопроводимости

\* Это позволяет при этой температуре производить измерения всех интересующих нас величин без опасения, что за время измерения существенно изменится содержание кислорода в слое.

\*\* Для измерения  $\Delta\sigma_{\text{стай}}$  и  $\tau$  образец освещался световыми  $\pi$ -импульсами сквозь стеклянное окно в камере. Поскольку в PbS-фотосопротивлениях, как показали В. Е. Лашкарев, И. Р. Потапенко и Г. А. Федорус (5),  $\tau$  зависит от интенсивности освещения, мы использовали значения  $\tau$  (а также и  $\Delta\sigma_{\text{стай}}$ ), полученные при наименьшей возможной интенсивности.

и постоянной времени от длительности обезгаживания слоя в вакууме (которая связана с количеством остаточного кислорода в слое). Такие зависимости для одного из образцов представлены на рис. 1\*.

Из графика видно, что все три исследованные величины одинаковым образом зависят от содержания «обратимого» кислорода в слоях PbS.

Корреляция между  $\Delta\sigma_{\text{стац}}$  и  $\tau$  свидетельствует о том, что из всех параметров, входящих в правую часть соотношения (1) и определяющих стационарную фотопроводимость, лишь один — время жизни носителей фототока — зависит от содержания в слое «обратимого» кислорода.

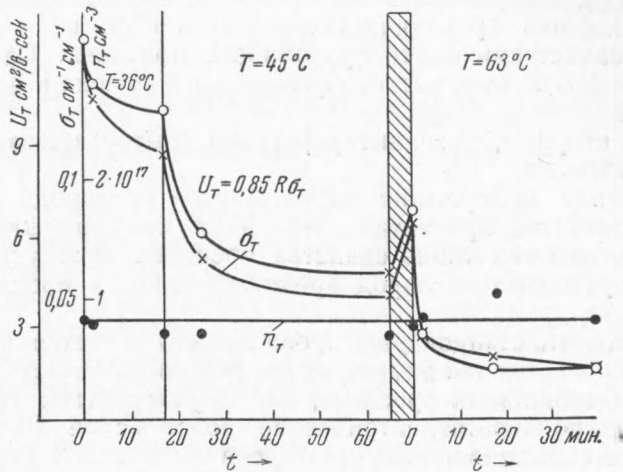


Рис. 2

Отсюда можно заключить, что «обратимый» кислород не влияет ни на квантовый выход, ни на подвижность носителей фототока. Следовательно, если не вводить каких-либо специальных допущений, то следует считать, что внедряющиеся в слой атомы «обратимого» кислорода не играют роли «центров» примесного фотоэффекта.

Кислород влияет лишь на время жизни носителей фототока, увеличивая это время, а вместе с ним, естественно, и стационарную фотопроводимость\*\*.

Измерение  $u_T$  и  $n_T$ . Если считать, что влияние примеси кислорода на подвижность связано лишь с созданием ею рассеивающих центров для носителей тока, то очевидно, что изменение содержания кислорода должно в общем одинаково влиять как на подвижность темновых носителей, так и на подвижность носителей, освобожденных светом. Поскольку, как показано выше, подвижность носителей фототока в первом приближении не зависит от количества примеси «обратимого» кислорода, следовало ожидать, что и подвижность темновых носителей также от него не зависит.

Были проделаны опыты по проверке этого утверждения, связанные с изучением влияния «обратимого» кислорода на темновую проводимость  $\sigma_T$  и постоянную Холла  $R$ . В результате были получены изображенные на рис. 2 зависимости  $\sigma_T$  и концентрации  $n_T$  (вычисленной

\* На рис. 1 приведены результаты для трех этапов обезгаживания, разделенных длительными промежутками времени ( $\sim 16$  час.), в течение которых образец при комнатной температуре и атмосферном давлении «поглощал» кислород (заштрихованные области).

\*\* Уменьшением содержания «обратимого» кислорода в слоях оказалось возможным снижать собственное время фотосопротивлений до  $\sim 10^{-7}$  сек. (при соответствующем уменьшении чувствительности).

из  $R$ ), а также подвижности  $u_T$  (вычисленной из произведения  $R$  на  $\sigma_T$ ) от времени обезгаживания слоя\*.

Из графика следует, что в то время как  $n_T$  практически не зависит от содержания «обратимого» кислорода,  $u_T = R\sigma_T$  изменяется с уменьшением его содержания в слоях, причем по тому же закону, как и проводимость  $\sigma_T$ . Этот результат противоречит нашим ожиданиям.

Однако это противоречие может быть легко устранено. Действительно, если считать, что слои PbS представляют собой неоднородную систему, состоящую из хорошо проводящих кристалликов PbS, отделенных друг от друга тонкими плохо проводящими прослойками, то, как известно<sup>(6)</sup>, измеряемое в таком слое  $R$  в основном определяется свойствами хорошо проводящих кристаллов PbS, в то время как  $\sigma_T$  связано со свойствами плохо проводящих прослоек. Следовательно, произведение  $R\sigma_T$  не имеет ясного физического смысла и не определяет подвижности.

С другой стороны, такая интерпретация опытов заставляет сделать следующие выводы.

1. Изменение содержания «обратимого» кислорода в слоях не влияет на свойства кристаллов PbS (так как при этом  $R = \text{const}$  и  $n_T = \text{const}$ ), изменяя лишь свойства прослоек между ними. Следовательно «обратимый» кислород проникает лишь в прослойки между кристаллами.

2. Учитывая, что стационарная проводимость меняется при изменении содержания кислорода так же, как и темновая проводимость, а последняя определяется свойствами прослоек, можно утверждать, что не только электрические, но и фотоэлектрические свойства слоев PbS в основном определяются свойствами вещества прослоек между кристаллами.

В заключение авторы выражают глубокую признательность В. П. Жузе за ценные советы.

Ленинградский физико-технический институт  
Академии наук СССР

Поступило  
14 V 1952

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Б. Т. Коломиец, Изв. АН СССР, сер. физ., 16, 70 (1952). <sup>2</sup> В. П. Жузе и С. М. Рывкин, ДАН, 58, 1629 (1947); С. М. Рывкин, ДАН, 68, 487 (1949); ЖЭТФ, 20, 139 (1950). <sup>3</sup> Н. А. Толстой и П. П. Феофилов, ЖЭТФ, 19, 921 (1949). <sup>4</sup> С. М. Рывкин, Изв. АН СССР, сер. физ., 15, 721 (1951). <sup>5</sup> В. Е. Лашкарев, И. Р. Потапенко и Г. А. Федорус, ЖЭТФ, 19, 887 (1949). <sup>6</sup> E. Hanp, J. Appl. Phys., 22, 855 (1951).

\* Прогрев образца для удаления кислорода производился при атмосферном давлении вначале при 36°, затем при 45°; заштрихованная область на рис. 2 соответствует длительному (~16 час.) выдерживанию образца при комнатной температуре и, наконец, последний участок соответствует прогреву при 62°. Все точки измерялись после «замораживания» образца до комнатной температуры.