

Действительный член АН УССР В. Е. ЛАШКАРЕВ и Г. А. ФЕДУРУС  
„НЕЛИНЕЙНАЯ“ ФОТОПРОВОДИМОСТЬ ЗАКИСИ МЕДИ

Во многих случаях фототок в полупроводниках возрастает с освещением медленнее, чем следует по линейному закону. Этот вопрос не подвергался до настоящего времени систематическому изучению.

Целью настоящей работы является изучение связи между нелинейным эффектом фотопроводимости и временем жизни носителей фототока. В качестве объекта исследования взята закись меди, в которой нелинейность фототока легко наблюдается, особенно на образцах, не подвергавшихся отжигу при высокой температуре в вакууме.

Мы исследовали при комнатной температуре образцы закиси меди, отколотые от материнской меди. Электроды из золота или аквадага наносились на концы образца, оставляя свободным промежуток 7—10 мм. Освещалось все междуэлектродное пространство. Затемнение приэлектродных участков не изменяло характера явления. Для освещения был применен разработанный И. Р. Потапенко метод прямоугольных импульсов света, разделенных длительными интервалами темноты, что позволило подробно исследовать как нарастание фототока при освещении, так и исчезновение его в темноте. Величина фототока измерялась по падению потенциала на постоянном сопротивлении (составлявшем не более 10% сопротивления образца), включенном последовательно с образцом. Импульсы потенциала, усиленные усилителем постоянного тока, подавались на катодный осциллограф и фотографировались. Точность описанного метода была исследована на модели, состоявшей из вакуумного фотоэлемента СЦВ-51 с последовательно включенным сопротивлением, зашунтированным емкостью. Осциллограмма спада фототока в темноте показывала экспоненциальный ход и позволяла определить собственное время с точностью до 5% от вычисленного по обычной формуле ( $\tau = CR$ ).

Переходим к описанию осциллограмм. Некоторые из них перечерчены в равномерной шкале времени. При этом за начало отсчета времени принято наступление темноты. Длительность импульса света  $2 \cdot 10^{-2}$  сек. На рис. 1 приведены осциллограммы, снятые при освещении через интерференционный фильтр ( $\lambda = 0,55 \mu$ ), при освещенностях, относившихся друг к другу как 1:0,24:0,1 (кривая (а) соответствует максимальной освещенности). Рядом приведены подлинные осциллограммы кривых (а) и (в) ((в) снята при большом коэффициенте усиления).

Из сопоставления осциллограмм видно, что в области освещения кривые резко отличаются друг от друга, а именно: кривая (а) заметно приближается к насыщению, которое отсутствует у кривой (в). Это говорит о том, что при увеличении освещения собственное вре-

мя в области света сокращается. Наоборот, ход кривых в области темноты не показывает заметных различий. Последнее особенно отчетливо видно на рис. 2, где ординаты, соответствующие рис. 1, нанесены в логарифмическом масштабе (на рис. 2 использован больший интервал времени, чем на рис. 1).

Легко убедиться, что при временах, превышающих  $2 \cdot 10^{-2}$  сек. (после наступления темноты), мы имеем прямые линии, свидетельствующие о наличии определенного собственного времени, равного  $34 \cdot 10^{-3}$  сек. При более коротких временах кривые искривляются и наклон их возрастает, что можно интерпретировать как результат суперпозиции различных собственных времен. Такое большое собст-

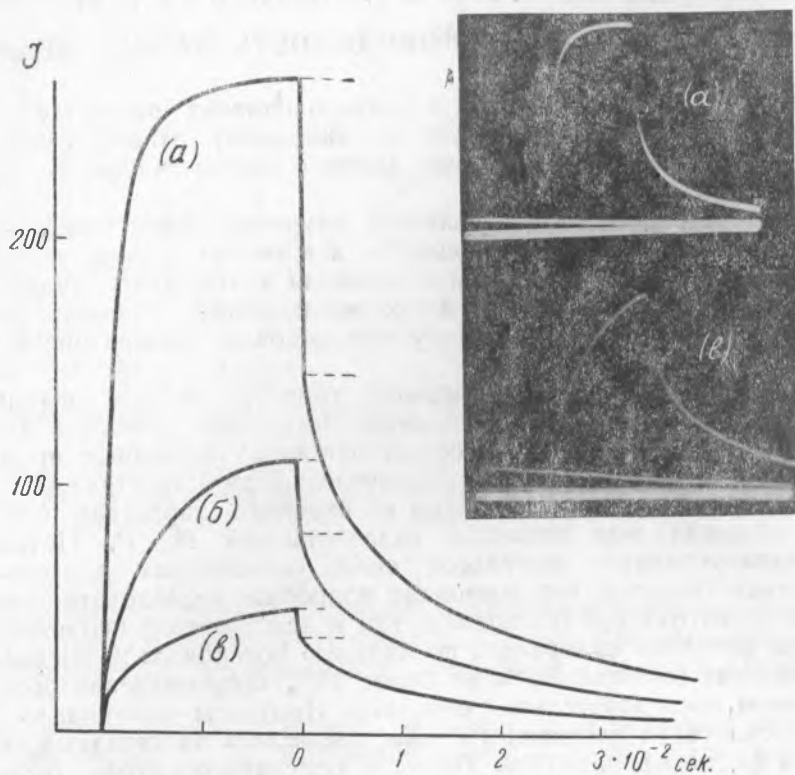


Рис. 1

венное время может вызвать подозрения, что в данном случае имеет место нагревание образца светом. Однако подсчет количества тепла, падающего на поверхность образца за время импульса, давший значение  $5 \cdot 10^{-8}$  мкал/см<sup>2</sup>, исключает это предположение.

Возвращаясь к рис. 1, мы замечаем, что при включении и выключении света на осциллограммах наблюдается резкий скачок, связанный с наличием малоинерционной компоненты фототока (ограниченный на рис. 1 пунктиром). Укорачивая время импульса света, можно было установить, что собственное время этой компоненты не превышает по порядку величины  $10^{-4}$  сек.

Величина малоинерционной компоненты зависит от освещенности приблизительно линейно. Наоборот, инерционная часть фототока показывает резкий нелинейный эффект. Так, при уменьшении интенсивности света в 10 раз амплитуда этой части фототока уменьшается лишь в 3,5 раза.

Объяснение „нелинейности“ с помощью бимолекулярного закона рекомбинации приводит к выводу, что сокращение времени жизни носителей фототока должно быть однозначно связано с мгновенным значением их концентрации и не связано непосредственно с присут-

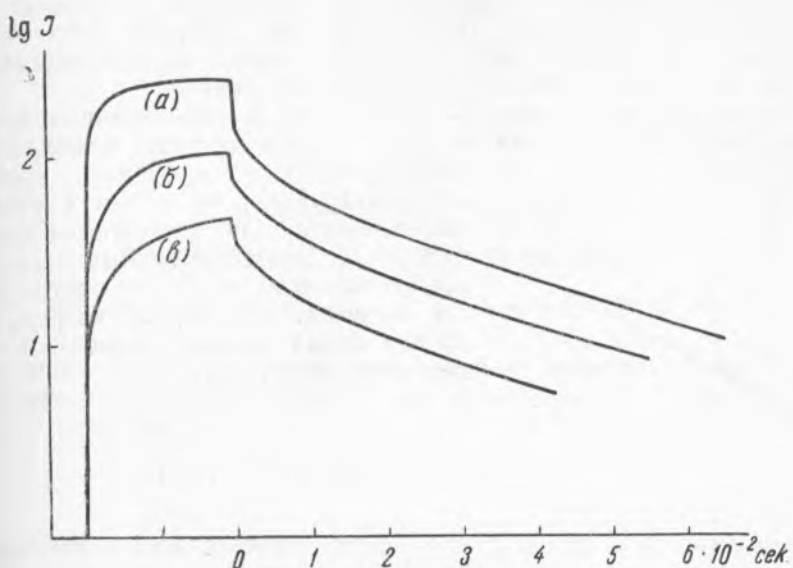


Рис. 2

ствием или отсутствием света в образце. В этом случае совмещение кривых на рис. 1 или 2 могло бы быть произведено параллельным перемещением вдоль оси времени. Легко убедиться, что такое совмещение наших кривых невозможно, а потому мы должны обратиться к другому объяснению эффекта „нелинейности“.

Как видно из рис. 2, кривые в области темноты точно совмещаются при параллельном перемещении по оси ординат. Это означает, что спадание фототока в темноте зависит только от времени. Поэтому сокращение собственного времени в области освещения мы должны интерпретировать как непосредственное действие света на собственное время жизни носителей фототока. Механизм этого действия может заключаться в том, что свет переводит электроны с уровней, характеризующихся длительным временем жизни, на уровни с коротким временем жизни.

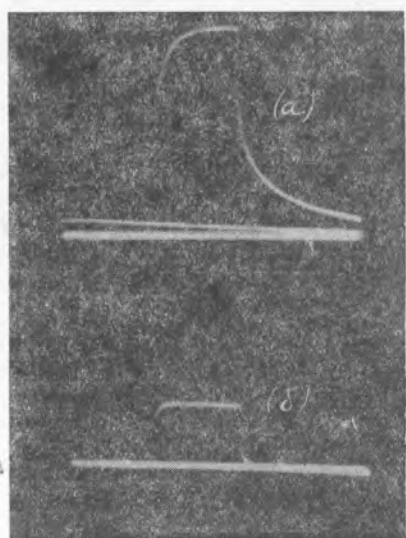


Рис. 3

Для изучения влияния света на время жизни носителей фототока мы применили постоянное освещение образца (подсветка) с наложением на него прямоугольных импульсов света.

На рис. 3 показано действие подсветки. Кривая (а) соответствует отсутствию подсветки, кривая (б) — ее наличию. Видно резкое уменьшение инерционной части фототока (более чем в 5 раз) и слабое уменьшение (до 40%) малоинерционной части. Уменьшение сильно-

инерционной части связано в первую очередь с сокращением времени жизни соответствующих ей носителей фототока.

Качественно эффект подсветки не зависит от длины волны света. Для получения количественных соотношений мы использовали для подсветки красный свет, пропускаемый рубиновым стеклом, мало поглощаемый закисью меди. Поэтому в слое  $\text{Cu}_2\text{O}$ , где применявшийся для импульса зеленый свет ( $\lambda = 0,55$ ) полностью поглощался, интенсивность подсветки могла считаться постоянной.

Мы исследовали зависимость от подсветки собственного времени инерционной части фототока, используя для этого части осциллограмм, соответствующие временам, превышающим  $2 \cdot 10^{-2}$  сек. от момента наступления темноты. Как отмечалось выше, в этой области осциллограммы в полулогарифмическом масштабе являются прямыми линиями. Как видно из рис. 4, обратное время линейно зависит от интенсивности света, т. е.

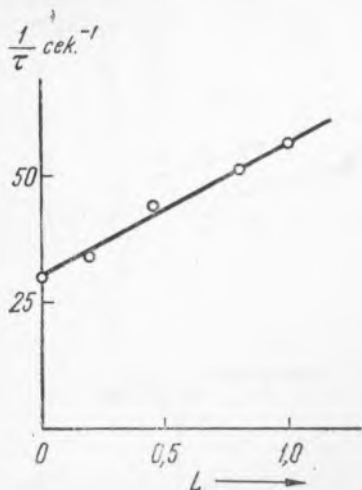


Рис. 4

$$\tau = \frac{\tau_0}{1 + \beta L},$$

где  $L$  — освещенность,  $\beta$  — константа.

Мы установили, таким образом, что:

1. Фототок в  $\text{Cu}_2\text{O}$  характеризуется набором собственных времен, отличающихся друг от друга на порядки величин.

2. Наибольшее наблюдаемое нами время достигало  $3,5 \cdot 10^{-2}$  сек. при комнатной температуре, наименьшее  $\leq 10^{-4}$  сек.

3. Эффект нелинейности в  $\text{Cu}_2\text{O}$  связан с непосредственным действием света на время жизни носителей фототока.

4. Это действие тем значительнее, чем больше собственное время носителей.

В заключение отметим, что путем отжига  $\text{Cu}_2\text{O}$  в вакууме можно получить образцы, в которых практически отсутствуют длинновременные компоненты фототока. Эти образцы показывают линейность в широком интервале освещенности и характеризуются при комнатной температуре весьма малым собственным временем, лежащим в пределах  $10^{-4} - 10^{-5}$  сек., в полном соответствии с данными, приведенными в работах (1, 2).

Институт физики  
Академии наук УССР  
Киев

Поступило  
19 XI 1948

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> В. П. Жузе и С. М. Рывкин, ДАН, 58, 1629 (1947). <sup>2</sup> В. Schönwald, Ann. d. Phys., 15, 395 (1932).