

В. А. АРХАНГЕЛЬСКАЯ и А. М. БОНЧ-БРУЕВИЧ

## ИЗМЕНЕНИЕ ПРОВОДИМОСТИ СЕРНИСТОГО КАДМИЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ЕГО ЭЛЕКТРОНАМИ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 8 I 1951)

1. Явление катодопроводимости. В 1924 г. Р. Крониг сообщил об изменении величины проводимости селена при облучении его электронами<sup>(1)</sup>. Скорость электронов в работе Кронига не превосходила 90 в. При этой скорости электронов в силе тока в облучающем потоке около 400  $\mu$ а величина наведенной проводимости достигала величины темновой проводимости образца. Позже исследовалось изменение проводимости кристаллического и аморфного селена под действием пучка электронов, обладающих скоростью в несколько единиц или десятков киловольт<sup>(2-4)</sup>. Кинетика этого явления до настоящего времени не выяснялась. Вместе с тем исследование законов изменения с течением времени величины наведенной проводимости и сопоставление их с законами родственных явлений (катодолюминесценция, фотопроводимость и фотолюминесценция) могут дать новый материал для постройки теории кристаллофосфоров и выяснения механизма электрических явлений в полупроводниках. В качестве объекта исследования кинетики катодопроводимости мы выбрали сернистый кадмий. Катодопроводимость в кристаллах CdS до настоящего времени не исследовалась.

2. Постановка опыта. Схема установки, служившей для исследования катодопроводимости, приведена на рис. 1. Кристалл сернистого кадмия 1 был укреплен между двумя металлическими вводами, впаянными в шлиф, и помещен в охватывающий его металлический цилиндр 2, в верхней крышке которого имелось отверстие. Вывод от цилиндра также проходил через шлиф. Шлиф закрывал один из концов стеклянной трубки, которую можно было откачивать до давления порядка  $10^{-5}$  мм рт. ст. В эту же стеклянную трубку помещалась смонтированная на втором шлифе электронная пушка 3, которая служила источником пучка электронов, возбуждающих катодопроводимость. Между электродами из аквадага, нанесенными на кристалл CdS, была включена батарея с напряжением 20 в и сопротивление, к концам которого присоединялся вход вертикального отклонения луча в катодном осциллографе ЭО-4. Во избежание возможных ошибок, связанных с явлениями в переходных цепях усилителей, из схемы осциллографа были исключены каскады, имеющие разделительные конденсаторы. Потенциал цилиндра, охватывающего образец, поддерживался на 80—100 в выше потенциала положительного электрода образца. Гальванометр, включенный в цепь питания этого цилиндра, позволял

измерять величину тока, падающего на образец (специальными измерениями было установлено, что коэффициент вторичной эмиссии с поверхности образца равен единице).

Подавая разность потенциалов между пластинами 4, можно было отклонять электронный пучок, выходящий из пушки, от своего начального направления. При исследовании стационарных характеристик разность потенциалов между пластинами поддерживалась равной нулю и электронный луч, пройдя через отверстие в крышке цилиндра 2, попадал на кристалл сернистого кадмия. При исследовании кинетики

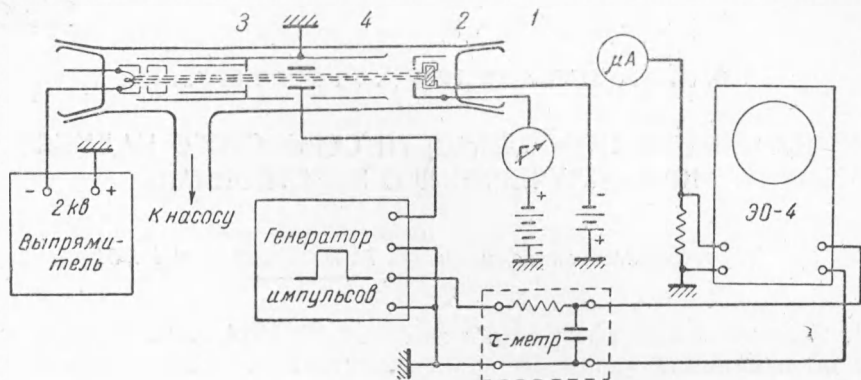


Рис. 1

катодопроводимости к отклоняющим пластинам прикладывались прямоугольные импульсы напряжения. В этом случае образец подвергался периодическому прерывистому облучению постоянным по величине потоком электронов, а на экране катодного осциллографа наблюдались кривые, соответствующие нарастанию и спадаению величины наведенной проводимости. Длительность фронтов импульсов электронного потока была порядка  $10^{-7}$  сек.

Для анализа формы наблюдаемых кривых мы воспользовались экспоненциальной разверткой и методом парциальных времен<sup>(5)</sup>. Синхронная и синфазная с исследуемым процессом экспоненциальная развертка с переменной величиной постоянной времени получалась с помощью RC-цепи с емкостью на выходе (тауметр), на вход которой подавались прямоугольные импульсы напряжения от генератора, питающего отклоняющие пластины.

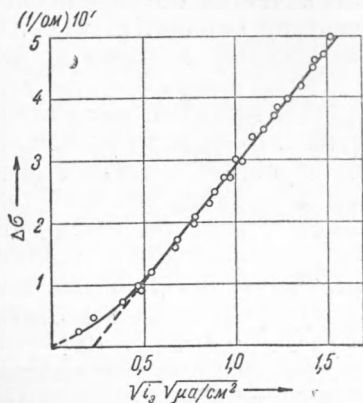


Рис. 2

3. Результаты. На рис. 2 приведен график зависимости величины наведенной стационарной проводимости в кристалле сернистого кадмия  $\Delta\sigma_0$  от величины плотности тока  $i_e$  в электронном луче, возбуждающем катодопроводимость. Абсолютное значение темновой проводимости образца было меньше, чем  $5 \cdot 10^{-11}$  ом<sup>-1</sup>. Скорость электронов,

падающих на образец, поддерживалась равной 2000 в.

Первые исследования спадаения величины наведенной проводимости в CdS показали, что этот процесс замедляется с увеличением плотности тока в пучке, падающем на образец. При изменении, например, плотности тока от 1 до 15 мкА/см² время, в течение которого наведенная проводимость уменьшается вдвое, возрастает в 1,5 раза.

Если же плотность тока в пучке поддерживается постоянной, то после 10—15 мин. облучения кристалла время спада наведенной проводимости в заданное число раз остается постоянным и не изменяется с уменьшением плотности тока в электронном пучке. Эта установившаяся скорость процесса сохраняется, по крайней мере, в течение нескольких суток после обработки кристалла электронным током, но лишь в том случае, если в процессе измерений электронный ток возбуждения не превосходит значения тока, обработавшего кристалл.

На рис. 3а приведен график спада со временем величины наведенной проводимости кристалла CdS (кривая А). Две серии точек со-

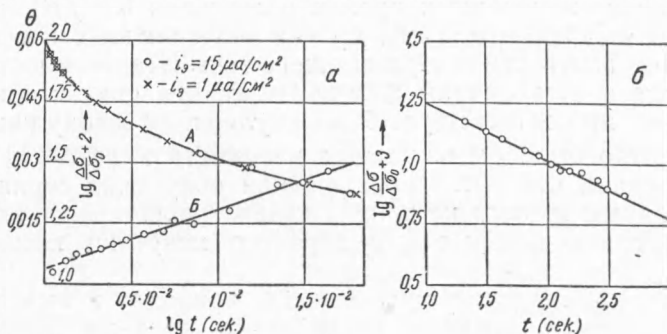


Рис. 3

ответствуют плотностям тока в пучке, возбуждающем катодопроводимость: 15 и 1  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ . Кристалл перед измерениями был обработан пучком электронов плотностью 15  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ . Этот график соответствует значениям времени  $t$ , лежащим в области до  $2 \cdot 10^{-2}$  сек. График на рис. 3б иллюстрирует спадание величины наведенной проводимости в области значений времени  $t$  от 20 до 500 сек.

Спадание наведенной проводимости в наших опытах с прерывистым облучением сернистого кадмия не было полным (обычно величина  $\Delta\sigma/\Delta\sigma_0$  к началу действия импульса возбуждающего электронного тока была около 0,1). Поэтому полностью закон нарастания величины наведенной проводимости нами не исследовался и скорость процесса оценивалась временем, в течение которого величина проводимости достигала половины своего стационарного значения ( $t_m$ ). На рис. 4 приведены графики, иллюстрирующие зависимость величины  $t_m$  от плотности возбуждающего электронного пучка.

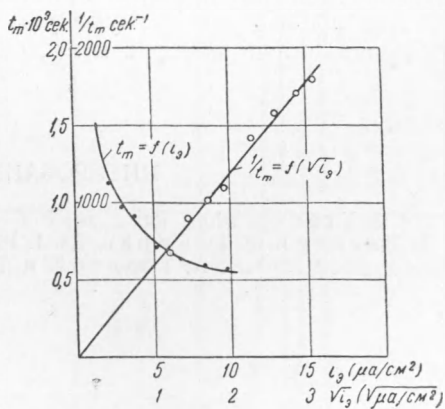


Рис. 4

Рассмотрение приведенных графиков  $\Delta\sigma_0 = f(i_3)$  и  $t_m = f(i_3)$  дает возможность сделать заключение о том, что при облучении кристалла CdS электронами кинетика возбуждения катодопроводимости приблизительно следует бимолекулярному закону. Действительно, чистому бимолекулярному закону кинетики соответствуют зависимости  $\Delta\sigma_0 \sim \sqrt{E}$  и  $1/t_m \sim \sqrt{E}$ , где  $E$  — интенсивность возбуждения. Вторая из этих зависимостей выполняется для катодопроводимости CdS достаточно хорошо, если под интенсивностью возбуждения подразумевать плот-

ность тока в возбуждающем пучке. Что же касается первой зависимости, то заметное отклонение от нее экспериментальной кривой в области малых значений плотности тока в пучке (см. рис. 2) напоминает известное для фотопроводимости вырождение бимолекулярного закона кинетики в области малых освещенностей образца.

Спадание величины наведенной проводимости в интервале времен от  $10^{-3}$  до  $2 \cdot 10^{-2}$  сек. после прекращения облучения кристалла электронами может быть, как это следует из наших опытов, приближенно аппроксимировано гиперболическим законом вида  $\Delta\sigma = \frac{\Delta\sigma_0}{(1 + at)^\alpha}$ . При этом из графика мгновенных времен релаксации  $\theta = f(t)$  (см. рис. 3б) следует, что  $\alpha = 0,65$  и  $a = 500$ , причем значения этих коэффициентов не зависят от плотности возбуждающего тока. Независимость значения коэффициента  $a$  от величины  $i_s$  показывает, что спадание наведенной проводимости не соответствует бимолекулярному закону кинетики, для которого можно было бы ожидать зависимости вида  $\Delta\sigma = \sqrt{i_s} f(t \sqrt{i_s})$ . Отсюда вытекает, что после прекращения облучения сернистого кадмия электронным пучком не только спадает величина наведенной проводимости, но изменяется самый характер кинетики катодопроводимости.

Сопоставление графиков рис. 3а и 3б приводит к выводу, что нарастание с течением времени мгновенного времени релаксации  $\theta$  в дальних стадиях убывания величины наведенной проводимости происходит более круто, чем в начальных стадиях (в противоположность тому, что обычно имеет место в люминесценции). Более детальное выяснение всех вопросов, связанных с обнаруженными особенностями кинетики катодопроводимости, может быть сделано после постановки дополнительных опытов и сопоставления кинетики этого явления с кинетикой катодолюминесценции (а также фотопроводимости и фотолюминесценции) в одном кристалле сернистого кадмия.

Авторы выражают глубокую благодарность акад. С. И. Вавилову за проявленный интерес к настоящей работе.

Поступило  
4 XII 1950

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> R. Kronig, Phys. Rev., 24, 377 (1924). <sup>2</sup> S. Ritter, ibid., 73, 1212 (1948),  
<sup>3</sup> A. Becker и E. Kruppke, Zs. f. Phys., 107, 477 (1937). <sup>4</sup> L. Pensak, Phys. Rev., 79, 171 (1950). <sup>5</sup> Н. А. Толстой и П. П. Феофилов. ЖЭТФ, 19, 421 (1949).