

УДК 535.376 + 535.377 + 537.226.8

Академик АН УССР А. Г. ГОЛЬДМАН, М. М. ПЫШНЫЙ

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СТИМУЛИРОВАННОГО И НЕСТИМУЛИРОВАННОГО ТОКА В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ CdSe ПРИ 77—273° К

1. У поликристаллических порошкообразных фотосопротивлений из селенистого кадмия ФС-Д0 и ФС-Д1 мы обнаружили эффект стимуляции того же порядка величины, как описанный у особых монокристаллов CdS, исследованных в работах Варшауэра, Литтона и Рейнольдса (¹⁻³) и вызвавших ряд дальнейших исследований по выяснению природы этого эффекта (⁴⁻⁷). Все эти исследования производились или на тех же кристаллах, которыми пользовались первые исследователи, или на подобных им «топ» кристаллах.

Мы измеряли у таблеток ФС-Д0 (¹⁰) при температуре 155° К отношение стимулированного тока к нестимулированному, равное 10^8 , и значительное усиление этого отношения при дальнейшем снижении температуры. Такое большое усиление тока при стимуляции достигается исключительно за счет уменьшения нестимулированного обычного тока при снижении температуры. Стимулированный ток оказался в интервале температур от 77 до 273° К не зависящим от температуры.

2. Селенид кадмия при одной и той же температуре может находиться в одном из двух состояний: в состоянии с низкой проводимостью, сильно зависящей от температуры, например, пропорциональной T^{21} , где T — абс. температура, или же в состоянии с высокой проводимостью (больше первой на несколько порядков величины), от температуры не зависящей, по крайней мере в интервале 77—270° К. Из состояния с низкой проводимостью в состояние с высокой проводимостью ячейка переводится стимуляцией, а именно предварительным действием электрического напряжения, или света. Для перевода же образца из состояния с высокой проводимостью в состояние с низкой проводимостью достаточно нагреть ячейку до 120° С и затем в темноте охладить ее до исходной температуры.

Из двух видов проводимости, которыми может обладать полупроводник, состояние с низкой проводимостью естественно рассматривать как обычную полупроводниковую проводимость, в данном случае — как электронную проводимость в зоне проводимости. Вторая проводимость, не зависящая от температуры, это — проводимость особого рода. Эта проводимость отличается тем, что: а) она возникает в процессе стимуляции, б) она не зависит от температуры (от 77 до 273° К) и в) она разрушается при нагревании до температуры, например, 120° С.

Было показано (⁸), что стимуляция может создаваться в обычном полупроводнике введением значительной (порядка 10^8 частиц/см³) концентрации соответствующих примесей.

Роль значительного содержания примеси в образовании стимуляции и указание, данное Моттом и Туозом, что в примесных полупроводниках возрастание концентрации примеси ведет к убыванию, а затем и к исчезновению энергии активации примесной проводимости, после чего удельное сопротивление становится не зависимым от температуры до самых низких температур (⁹), заставляет предполагать, что процесс стимуляции,

по крайней мере в некоторых случаях, заключается в переключении полупроводника с обычной проводимости на проводимость в примесной зоне.

Аналогичный вывод относительно стимуляции у монокристаллов сернистого кадмия весьма относительно обоснован в работе (5). Допуская наличие у селенида кадмия после стимуляции проводимости в примесной зоне, находим объяснение независимости проводимости от температуры в допущении о ничтожной энергии активации.

Сведение эффекта стимуляции к переключению с обычной проводимости на проводимость в примесной зоне открывает путь к овладению этим эффектом и его освоению.

3. Для измерений брали таблетки ФС-ДО (10), органическая пленка снималась дихлорэтаном, и таблетка зажималась между стеклами с проводящим покрытием. Такая ячейка типа сэндвича помещалась в криостат с надежной световой изоляцией и с нагревательным приспособлением. Температура на поверхности ячейки контролиро-

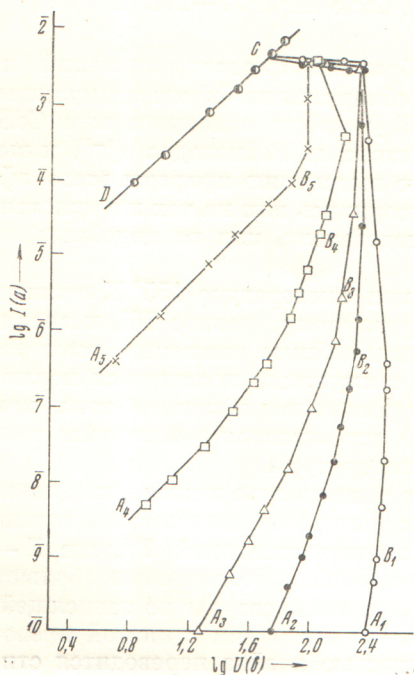


Рис. 1

Рис. 1. Вольт-амперные характеристики поликристаллического CdSe в логарифмических координатах при температурах: A_1B_1CD 77°, A_2B_2CD 155°, A_3B_3CD 186°, A_4B_4CD 237°, A_5B_5CD 273° К

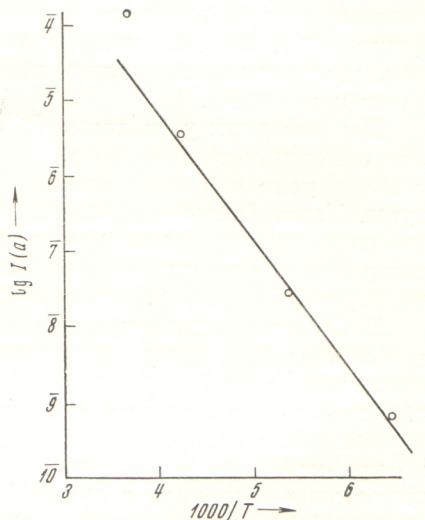


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость $\log I$ нестимулированных токов от T^{-1} в поликристаллическом CdSe

валась с помощью термопары. Напряжение брали от стабилизированного источника постоянного напряжения. Ячейку предохраняли от пробоя добавочным сопротивлением, которое в приводимых ниже сериях измерений равнялось 150 ком.

Опыт начинался с нагревания ячейки при 120° С в течение 20 мин. для возвращения ячейки в начальное состояние. Затем ячейка охлаждалась в темноте до желаемой температуры.

Опыты состояли из измерений при определенных температурах вольт-амперной характеристики ячейки, причем измерение производили постепенно повышая напряжение на ячейке, начиная с малых значений и доходя до критического напряжения (около 300 в), при котором начиналась стимуляция, а именно ток начинал возрастать при постоянном, а затем и при убывающем напряжении на ячейке (11). Рост процесса стимуляции

сначала ускорялся, доходя до предельной скорости, затем замедлялся и, наконец, останавливался (¹²), после чего измеряли новую устойчивую вольт-амперную характеристику стимулированного тока.

4. На рис. 1 представлены в логарифмическом масштабе характеристики, измеренные при 77, 155, 186, 237 и 273° К, соответственно обозначенные A_1B_1CD , A_2B_2CD , A_3B_3CD , A_4B_4CD и A_5B_5CD .

На участке $b < 100$ в кривые логарифмов для нестимулированных токов имеют приблизительно линейный вид, т. е. ток находится в степенной зависимости от напряжения, причем эта степень возрастает со снижением температуры: при 273° К $b = 1,92$; при 237° К $b = 2,5$; при 186° К $b = 4$; при 155° К $b = 4,8$.

В точке C все характеристики примыкают к общей для них характеристике стимулированного тока (¹⁰). Прямая линия на графике (рис. 1) есть результат наложения шести графиков (к указанным выше добавлен еще график при 255° К), причем разброс значений был весьма мал: из 37 измерений только у трех отклонение от среднего превышало 10%. Приводим полученные средние значения стимулированного тока

U , в	10	20	30	40	50	60	70
I , ма	0,22	0,80	1,7	3,2	5,0	7,4	10,0

Эти значения удовлетворительно охватываются выражением

$$I = 2 \cdot 10^{-6} U^2.$$

У других образцов показатель степени у U был 3,0; 2,87. Характеристика стимулированного тока не обнаруживает гистерезиса; при прямом и обратном ходе напряжения значения тока одинаковы. Приводим пример подобных измерений:

U , в	10	20	30	40	50	60	70
I , ма	0,275	0,82	1,70	3,25	5,10	—	—
	← 0,275	0,84	1,70	3,20	5,10	7,60	10,4

Последние приведенные здесь значения тока близки к значениям, при которых происходит прогрессирующее нагревание образца с дальнейшим его разрушением. Значения до 5 ма были вполне воспроизводимы. Проводимость при 77° достигала значений 10^{-4} ом·см⁻¹.

5. Для нестимулированных токов при напряжениях, достаточно далеких от критического, можно рассмотреть зависимость от T^{-1} (рис. 2). Значения токов взяты при $U = 80$ в. Для температур от 250° К до более низких график представляет прямую, из угла наклона которой вычисляется энергия диссоциации примеси, определяющей начальную проводимость. Исходя из выражения $I = I_0 e^{-W/kT}$, получим $W = 0,32$ эв. Те же данные могут быть представлены эмпирической формулой $\log I = 37,7 + 21,5 \log T$ (при $U = 80$ в).

6. Порошковые препараты селенида кадмия исследовались под действием электрических полей Николем (¹³) и Бьюбом (¹⁴). Они наблюдали при комнатной температуре увеличение проводимости после возбуждения критическим напряжением, при снижении приложенного напряжения ячейка возвращалась в начальное состояние. Бьюб рассматривал полученные им эффекты как особого рода пробой. Эти опыты нами были повторены с порошковым селенистым кадмием «для люминофоров» и со связкой из этилцеллюлозы и были воспроизведены описанные ими результаты.

С порошками CdSe без связки мы получали при 77° К аналогичные описанным в данной работе, однако, не столь сильные эффекты.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ D. U. Warschauer, D. C. Reynolds, J. Phys. Chem. Solids, **13**, 251 (1960).
² C. W. Litton, D. C. Reynolds, Phys. Rev., **125**, 516 (1962). ³ C. W. Litton,
D. C. Reynolds, Phys. Rev., **133**, A536 (1964). ⁴ B. A. Kulp, J. Appl. Phys., **36**,
553 (1965). ⁵ B. A. Kulp, K. A. Gale, R. G. Schulze, Phys. Rev., **140**, A252 (1965).
⁶ B. A. Kulp, R. A. Gale, Phys. Rev., **156**, 877 (1967). ⁷ H. C. Wright, R. E. Downey,
J. R. Canning, Brit. J. Appl. Phys., **D1**, 1593 (1968). ⁸ А. Г. Гольдман,
Б. Н. Королько, Э. С. Степанченко, ДАН, **192**, № 5 (1970). ⁹ N. F. Mott,
W. D. Twose, Advances in Phys., **10**, 151 (1961). ¹⁰ Фотоэлектрические и оптиче-
ские явления в полупроводниках, Киев, 1959, стр. 371. ¹¹ А. Г. Гольдман, Г. А.
Жолкевич, А. П. Лазарь, ДАН, **165**, 786 (1965). ¹² А. Г. Гольдман, Г. А.
Жолкевич, Э. С. Степанченко, Укр. физ. журн., **14**, 391 (1969). ¹³ F. H.
Nicoll, Radio Corporation of America Rev., **19**, 77 (1958). ¹⁴ R. Bube, J. Appl.
Phys., **31**, 2239 (1960).