

УДК 535.376+535.377+537.226.8

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

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

ПАМЯТЬ И ФОТОПРОВОДИМОСТЬ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СЕЛЕНИДА КАДМИЯ ПРИ 77 И 300° К

1. Понятие «память» стали применять в физике полупроводников с недавнего времени. Под памятью разумеют длительное сохранение полупроводником возбуждения после удаления возбудителя. Если последний вызывает генерацию носителей и проводимость, то при длительном или повторном возбуждении память ведет к накоплению проводимости. Длительно сохраняющуюся, добавленную к темновой, проводимость называют стимулированной.

Среди соединений Al_2V_{VI} наряду с кристаллами CdS (¹⁻³) поликристаллический селенид кадмия выделяется весьма сильным эффектом стимулированной проводимости (⁴). Отношение стимулированной проводимости к нестимулированной достигает значений больше 10^3 ; возбудителем может служить как свет, так и сильное электрическое поле. Стимулированная проводимость в широких пределах ($77-273^\circ K$) не зависит от температуры (⁴); эффект гасится не только нагреванием, но и импульсом напряжения (⁵); стимулированное состояние достигает одинакового насыщения при возбуждении светом (независимо от длины волны) (⁶) или полем; измерения хорошо воспроизводятся.

В наших опытах ячейки были вырезаны из фоторезисторов ФС-Д1 и предварительно обработаны, как в работе (⁵). Освещенность поверхности препарата измерялась в люксах. Возбудителем служил белый свет лампы накаливания 20 вт.

2. При действии света на селенид кадмия при $77^\circ K$ мы наблюдали три процесса: а) задержку, б) стимулированную проводимость и в) фотопроводимость. В предшествующих работах по фотопроводимости $CdSe$ процессы а) и б) или не упоминаются, или не исследовались. Мы исследовали эти процессы, начиная с возбуждений освещенностью порядка 10^{-3} лк, до 2200 лк. При очень малой освещенности E в начале происходила задержка, т. е. от момента подачи освещения до момента, когда указатель гальванометра начинает двигаться, проходило время t . Обнаруживалось, что эффект задержки подчиняется закону взаимозаменяемости длительности экспозиции и ее интенсивности:

E , лк	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$	10^{-1}	$4 \cdot 10^{-1}$	2	13	60
t , сек	1578	364,8	70,8	18,6	3,18	0,54	0,11
$E \times t$, лк·сек	6,3	7,3	7,1	7,4	6,4	7,0	6,6

Из приведенных данных видно, что произведение $t \times E$ было для данного образца постоянным и равнялось в среднем $6,9 \pm 0,4$ лк·сек.

С момента, когда появлялся ток, измеряли ход нарастания общего фототока в течение полчаса или более до установления стационарного тока i_0 .

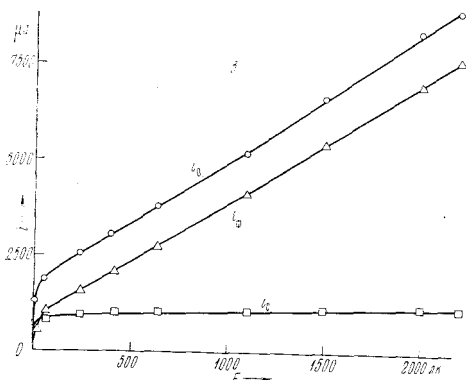
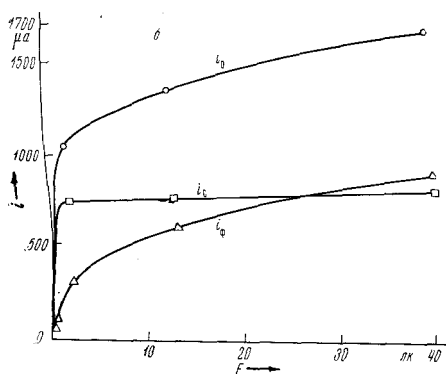
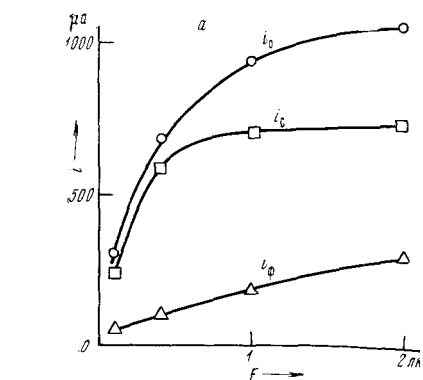


Рис. 1. Зависимость общего фототока i_0 , стимулированного тока i_c , тока фотопроводимости i_ϕ от освещенности E

возрастало приблизительно в два раза. В зависимости от освещенности в полупроводнике устанавливался слой стимулированной проводимости, начиная с поверхности и заканчиваясь на некоторой глубине. При E от $4 \cdot 10^{-3}$ и до 0,4 лк толщина слоя стимулированной проводимости не превышала половины толщи слоя полупроводника. Чтобы это установить,

Затем свет выключали и измеряли спад во времени. Часть i_0 спадала, эту часть обозначим i_ϕ , другая часть сохраняла длительное время одно и то же постоянное значение i_c , которое назовем стимулированным током. В этом случае результат возбуждения — увеличенная сохраняющаяся проводимость, которую назовем стимулированной. Таким образом,

$$i_0 = i_\phi + i_c.$$

Далее исследовались полученные этим путем i_ϕ и i_c . При малых освещенностях i_ϕ составляло малую долю от i_0 : 3—20%. При больших освещенностях E i_ϕ преобладало и составляло больше 85% от i_0 .

3. i_c быстро возрастал, начиная с очень малых освещенностей. Начальный темновой ток при $U = 10$ в был порядка $1 \cdot 10^{-12}$ а и при $E = 0,1$ лк i_c достигало 250 μ а (рис. 1а). Достигнутое при малой освещенности значение i_c с течением времени не изменялось. Увеличение освещенности повышало это значение i_c вплоть до насыщения, которое достигалось при освещенности $E \sim 1$ лк (рис. 1б). Дальнейшее увеличение освещенности от 1 до 2000 лк только немного повышало достигнутую почти насыщенную стимуляцию (рис. 1в), а именно, при увеличении E от 1 до 2200 лк i_c

слой полупроводника заключали между двумя прозрачными электродами. При освещенностях $E = 4 \cdot 10^{-3}$, $2 \cdot 10^{-2}$, $1,1 \cdot 10^{-1}$ лк и освещении спереди i_c было 6, 43, 190 μ а соответственно, а добавкой освещения сзади увеличили i_c до 12, 86, 360 μ а соответственно, т. е. ровно вдвое, что указывает, что с задней стороны полупроводника оказался предварительно незастимулированным слой такой же толщины, как с передней. Таким образом обнаружилось, что освещенность порядка 1 лк создавала стимулированный слой, заполнявший переднюю половину толщи полупроводника. Дальнейшее усиление освещенности от 1 до 2200 лк могло только вдвое усилить стимулированный слой, и, действительно, при 2 лк $i_c = 730 \mu$ а, а при 2200 лк $i_c = 1200 \mu$ а в согласии с ожидаемым.

Т а б л и ц а 2

4. Если в пределах $E = 1 - 2200$ лк изменение стимулированной проводимости было сравнительно невелико и электрические условия в этой среде также менялись незначительно, то при слабых освещенностях $E = 1 \cdot 10^{-2} - 1$ лк изменения

E , лк	$T = 300^\circ \text{K}$	$T = 77^\circ \text{K}$	
	i_0 , μ а	i_ϕ , μ а	i_c , μ а
0,1	0,2	50	250
0,4	1	100	580
2	6,6	250	730

электрических условий в полупроводнике были весьма значительными. Стимулированный ток изменялся от $1 \cdot 10^{-12}$ до $7 \cdot 10^{-4}$ а, т. е. в $7 \cdot 10^8$ раз. Удельная проводимость стимулированных ячеек достигала $1 \cdot 10^{-4}$ (ом $\cdot$ см) $^{-1}$. Принимая подвижность электронов за величину порядка $10 \text{ см}^2/\text{сек}$, получим для концентрации свободных электронов $n = 6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Число электронов в ловушках бывает на несколько порядков выше концентрации свободных электронов. Большая часть ловушек при этом заполнялась. Концентрации электронов равны концентрации закрепленных и бренированных против рекомбинации дырок. Соответственно увеличена концентрация заряда в слоях Мотта — Шоттки и утончены эти слои; соответственно изменены и свойства барьеров.

Вызванная освещенностью до 1 лк стимуляция радикально изменила всю электрическую атмосферу в стимулированном полупроводнике. Рост тока фотопроводимости в области слабой, средней и большой освещенности представлен на рис. 1.

5. Ток фотопроводимости при малых освещенностях ($E = 4 \cdot 10^{-3}$ лк) составлял около 3% от i_0 , он возрастал до 20% i_0 при $E = 2$ лк и при больших E становился больше i_c (рис. 1а, б, в). Однако и при малых E значение i_ϕ превышало в сотни раз весь фототок, который при той же освещенности возникал при комнатной температуре.

Сопоставим значения i_0 при комнатной температуре (300°K) и i_c и i_ϕ при 77°K при одной и той же величине освещенности E . Огромное увеличение отдачи фотопроводимости получено за счет созданных стимуляцией изменений в окружающей среде; ее естественно отнести за счет τ -фотопроводимости (7), т. е. за счет увеличения времени жизни фотоэлектронов.

6. Аналогичное исследование было проведено с таблеткой из промышленного электролюминофора ЭЛ-455. При 77°K эти таблетки обнаруживают устойчивую память. Возбуждение производилось ртутной лампой в установке ОИ-18. Зависимости i_0 , i_ϕ и i_c при 77°K от освещенности оказались весьма схожими с описанными выше. Вот пример:

E (усл. ед.)	0,00018	0,0009	0,006	1
i_c/i_0	0,875	0,735	0,70	0,25

И в этом случае при малых освещенностях происходит преимущественное накопление стимулированной проводимости и связанное с этим преобразование электрических свойств полупроводника.

За последние три года интенсивно изучаются вопросы создания памяти у стекловидных халькогенидных полупроводников. Как видно из данной работы, совершенно аналогично протекают процессы, связанные с памятью

и у кристаллических полупроводников. Память является мощным средством, позволяющим слабыми воздействиями производить глубокие, стойкие изменения в свойствах полупроводников.

Институт физики
Академии наук УССР
Киев

Поступило
7 VI 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ D. U. Warschauer, D. C. Reynolds, J. Phys. Chem. Sol., **13**, 152 (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 А. Г. Гольдман, М. М. Пыш-
ный, ДАН, **193**, № 1, 65 (1970). ⁵ А. Г. Гольдман, М. М. Пышный, Физика
и техн. полупроводников, № 4 (1971). ⁶ А. Г. Гольдман, М. М. Пышный,
А. И. Проскура, Укр. физ. журн., **15**, в. 3, 503 (1971). ⁷ В. И. Стафеев, ФТТ,
3, 2513 (1961).