

УДК: 621.315.592

## ПРОЦЕССЫ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ В МОНОКРИСТАЛЛАХ $\text{AgGaTe}_2$ ИНДУЦИРОВАННЫЕ СВЕТОМ И ГАММА ИЗЛУЧЕНИЕМ

Ф.И.Мамедов

Академия МЧС Азербайджанской Республики

*В работе приводятся результаты комплексных исследований фотоэлектрических свойств монокристаллов  $\text{AgGaTe}_2$  под действием света и гамма излучений. Впервые наблюдалось температурное и ИК гашение, обусловленное быстрыми  $s$  и медленными  $r$  – центрами рекомбинации. Установлено, что при относительно низких дозах гамма облучения за счет рекомбинации неравновесных носителей в запрещенной зоне монокристаллов  $\text{AgGaTe}_2$  возникают те же процессы, что и при освещении видимым светом.*

**Ключевые слова:** монокристаллы  $\text{AgGaTe}_2$ , фотоэлектрические свойства, дефектообразование

Изучение проблемы взаимодействия излучения с веществом в настоящее время приобрело большую актуальность. Среди различных групп материалов в последние годы интенсивно исследуются тройные соединения типа  $A^I B^{III} C^{VI}$ , которые кристаллизуются в структуре халькопирита (пространственная группа  $D_{2d}^{12}-142d$ ) и являются электронно-химическим аналогом бинарных соединений  $A^{II} B^{VI}$  [1-3]. Перспективным веществом такого вида являются монокристаллы  $\text{AgGaTe}_2$ . Этот материал перспективен для применения как в солнечных батареях, так и в нелинейной

оптике и ИК технике, а также имеет большие перспективы для изготовления дозиметрических приемников для регистрации гамма- и рентгеновских излучений [4-8].

Чтобы определить возможность практического применения монокристаллов  $\text{AgGaTe}_2$  в качестве полупроводниковых детекторов  $\gamma$ -излучения, а также выяснить механизмы дефектообразования, нами были изучены фотоэлектрические свойства этого соединения под действием  $\gamma$  – и светового облучения.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Синтез поликристаллического продукта проводился в эвакуированных до  $10^{-4}$  мм.рт.ст. кварцевых ампулах. В качестве загрузки использовались исходные компоненты с чистотой 99.999% для Ag и 99.9999 для Ga, Te.

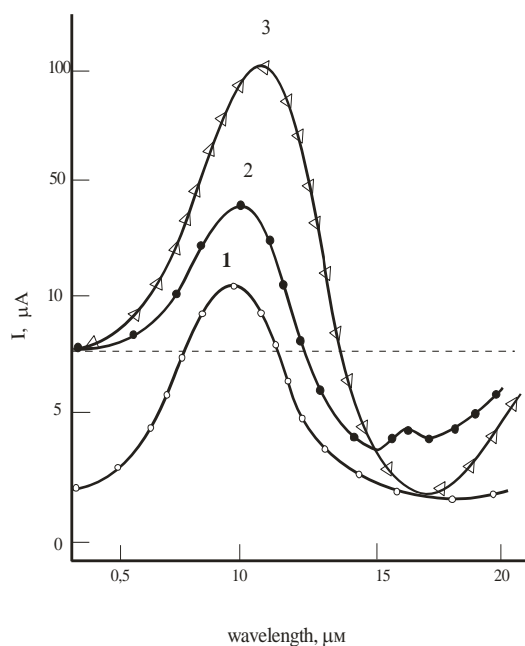
Кристаллы  $\text{AgGaTe}_2$  выращены методами Бриджмена-Стокбаргера и полученные слитки были монокристаллическими. Кристаллы имеют халькопиритную структуру с параметрами  $a=6.28\text{Å}$ ,  $c=12.01\text{Å}$ .

Исследования проводились на монокристаллических образцах с удельными сопротивлениями  $\rho = 10^3 + 10^4 \text{Om.см}$  при 300К, обладающих  $\rho$  – типом проводимости, полученных методом Бриджмена-Стокбаргера. Образцы имели форму параллелоипеда размерами  $6 \times 1 \times 2 \text{ мм}^3$ , что достигалось их шлифовкой и последующей полировкой. На готовые образцы наносились индиевые контакты. При изучении влияния гамма излучений на

фотоэлектрические свойства образец помещался внутри азотного дьюара. Нижняя часть держателя погружалась в жидкий азот, на верхней части монтировалась печь. Такое устройство давало возможность варьировать температуру образца от 77 до 400 К. Температуру измеряли медь - константановой термопарой. При облучении гамма-лучами образец тщательно экранировался от света с помощью черной бумаги. Дьюар с образцом помещался на оптической скамье. Источником излучения был  $Co^{60}$  с энергией гамма квантов 1.25 МэВ. Мощность дозы измерялась перемещением образца вдоль оптической скамьи. Образец охлаждался до температуры жидкого азота, после чего подвергался облучению  $\gamma$ -лучами определенной мощности дозы, до достижения равновесного состояния.

Для изучения кинетики  $\gamma$ -проводимости использовался специально изготовленный для этих целей свинцовый прерыватель. При изучении фотоэлектрических свойств использовался монохроматор ДМР-4. В обоих случаях величина изменения проводимости (и фототока) образца регистрировалась самописцем через усилитель.

Для выявления механизма рекомбинационных процессов в монокристаллах  $AgGaTe_2$  рассмотрим спектр ФП при одновременном освещении монокристаллов  $AgGaTe_2$  гелий-неоновым лазером с энергией  $E=1.15\text{эВ}$  или гамма облучением с энергией  $E=1.25\text{МэВ}$  и монохроматическим светом в диапазоне 0.5–2.5 мкм, результаты которых представлены на рисунке 1.



**Рис.1.** Спектр ФП – без подсветки – 1; с подсветкой гамма – 2 и лазерное облучение – 3.

Как видно из рисунка, спектральное распределение ФП исследуемых образцов без подсветки имеет один максимум, соответствующий собственному поглощению (кривая 1). При дополнительном облучении образца гамма- или лазерным излучением при азотной температуре наблюдается увеличение ФП в широкой области спектра. Эксперимент показал, что

при этом фототок превосходит сумму токов, возбуждаемых каждым видом излучения в отдельности. Следует отметить, что в обоих случаях начальное заполнение ловушек были одинаковыми ( $J_{\text{лаз}}=J_{\gamma}$ ) при дальнейшем увеличении длины волны наблюдается резкий спад фототока и в большинстве образцов, в зависимости от интенсивности подсветки,

обнаруживается гашение собственного фототока (энергия лазерного излучения соответствует переходу зона-зона) или гамма-тока. В обоих случаях область гашения тока охватывает диапазон примерно 1.4–2.0 мкм. В отличие от лазерной подсветки при гамма-облучении на спектре одновременно наблюдается слабо выраженный пик с длинноволновой границей  $E=0.42$  эВ. Оптическое гашение также сильно зависит от температуры образца.

Согласно литературным данным, под действием различного рода облучения в большинстве фоточувствительных полупроводников наблюдается либо температурное гашение фототока, либо его возрастание (термоактивация) с ростом температуры [9].

В монокристаллах  $AgGaTe_2$  наблюдаемые нами при различных длинах волн света кинетика гашения собственного фототока представлена на рисунке 2.

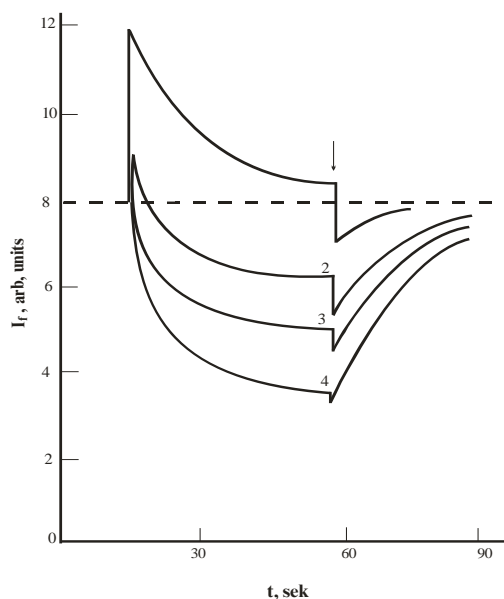


Рис. 2. Кинетика ИК – гашения собственного фототока в монокристалле  $AgGaTe_2$  при 77 К.

$$1-\lambda=1,3 \text{ мкм}; \quad 2-\lambda=1,4 \text{ мкм}; \quad 3-\lambda=1,45 \text{ мкм}; \quad 4-\lambda=1,8 \text{ мкм}$$

Эти кривые получены следующим образом. Образец помещался в криостат и при температуре 77К подвергался освещению лазерным светом длиной волны 1.15мкм. Затем образец освещался светом с разной длиной волны. В результате проводимость резко менялась, и когда фототок достигал своего стационарного значения, свет выключался и цикл повторялся при других длинах волн света.

Как видно из рисунка 2, характер кривых сильно зависит от длины волны падающего излучения. Свет с длинами

волн, лежащими в области 0.5 – 1.4 мкм, приводит как к увеличению ФП, так и гашению собственного фототока. Для длин волн, больших  $\lambda > 1,8$  мкм, наблюдается только гашение собственного фототока. После включения света длиной волны 1.3÷1.8 мкм нарастание фототока имеет «вспышечный» характер, нарастание становится мгновенным и, наконец, исчезает при длине волны, где наблюдается только гашение собственного фототока.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Чтобы интерпретировать изложенные выше экспериментальные результаты, прежде всего, необходимо было выяснить основной вопрос, а именно, чем вызывается ослабление гамма-проводимости при ее прохождении через монокристаллы  $\text{AgGaTe}_2$ .

Характерной особенностью взаимодействия гамма-квантов с веществом является то, что общий коэффициент ослабления аддитивно складывается из коэффициентов ослабления за счет фотоэффекта, комптон-эффекта в образования пар [10], причем комптоновское рассеяние играет решающую роль.

Комптоновские электроны, возникающие при взаимодействии  $\gamma$ -квантов с монокристаллами  $\text{AgGaTe}_2$ , по-видимому, возбуждают носители тока не только из валентной зоны в зону проводимости, но и электроны из примесных, особенно глубоких уровней кристалла, и в результате за счет изменения концентрации носителей в зоне проводимости сильно изменяется сопротивление образца.

Полученные результаты в  $\text{AgGaTe}_2$  при облучении  $\gamma$ -излучением сопоставлялись с результатами измерений фотоэлектрических свойств под действием светового излучения, причем эксперименты проводились на одних и тех же образцах при одинаковых уровнях начального возбуждения. Такой сравнительный анализ дает определенную возможность для выяснения механизма электронных процессов в запрещенной зоне исследуемых материалов под действием гамма излучения.

Сравнение экспериментальных результатов показывает, что в основном, влияние гамма излучения и белого света на локальные уровни  $\text{AgGaTe}_2$  носит схожий характер. Эти результаты опровергают предположение о том, что под действием гамма излучения происходит смещение атомов (ионов) из равновесных состояний в решетке благодаря ударам комптоновских электронов.

По-видимому, в обоих случаях происходят фотохимические реакции, которые представляют собой процессы перестройки локальных центров [11, 12]. На основании экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что в возникновении гамма и фотопроводимости важная роль принадлежит локальным центрам, расположенным в различных энергетических уровнях запрещенной зоны.

Гамма проводимость дителлуридогаллида серебра во многом сходна по ее проявлению с фотопроводимостью. Релаксация светового и гамма возбуждений качественно подобны, тогда как кинетические характеристики немного отличны. Так, при спаде фотовозбуждения отсутствует длинновременная компонента тока, наблюдаемая при определенных условиях после гамма облучения, хотя в начальные моменты спада кривые подобны.

При комбинированном возбуждении после включения фонового (лазерного или гамма) излучения в запрещенной зоне монокристаллов идет процесс заполнения примесных центров [13] и при этом с изменением интенсивности подсветки сильно изменяется степень заполнения этих центров. Примесный свет освобождает электроны, захваченные этими центрами, а дырка захватывается  $g$ -центрами. ИК свет приводит к освобождению захваченных дырок с центров, что ускоряет рекомбинацию через быстрые  $S$ -центры и уменьшается концентрация свободных электронов, т.е. наблюдается гашение собственного фототока.

На спектре ФП под действием гамма излучения наблюдаются две полосы ИК гашения, что свидетельствует о взаимодействии примесного света одновременно с двумя типами центров фоточувствительности с энергией примерно 0.52 и 0.42 эВ, определенной по длинноволновой границе ИК гашения.

Наблюдение двух полос ИК гашения под действием гамма излучения, по-видимому, обусловлено дополнительной по сравнению с фотовозбуждением генера-

цией дырок из  $\Gamma$ -центров в  $U$ -зону в результате ионизации этих центров горячими электронами.

Комплексные исследования фотоэлектрических свойств монокристаллов  $AgGaTe_2$  под действием светового и гамма излучения показали, что взаимодействие фото и  $\gamma$  – излучений с кристаллами носят чрезвычайно сложный характер и

электронные процессы определяются не только видом облучения, но и степенью исходного совершенства образцов.

Предварительные исследования фотоэлектрических свойств монокристаллов  $AgGaTe_2$  под действием видимого и  $\gamma$  – излучений расширяют возможности использования их в радиационной и ИК технике в качестве детекторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Tell B. Shay J.L. and Kasper H.M. // Phys. Rev. 1975. B9. P. 5203-5108.
2. Shay J.L., Wernick J.H. Ternary. Chalcopyrite semiconductor: Growth, electronic Properties and applications. Oxford: Perg. Press 1975.
3. Мамедов Ф.И. Автореферат диссертации на соискание уч. степени к.ф.м.н. Баку. 1989. С 20.
4. Kasimov T.K., Mamedov F.I. and I.K.Gasimov. // Phys stat sol (a) 107. k 49. (1988).
5. Kasimov T.K and Mamedov F.I. // Phys stat sol (a) 111. k 205-208. 1989.
6. Mexhtieva S.J., Mamedov F.J. Peculiarities of photoelectric properties of single crystals of  $A^I B^{III} C^{VI}$  typed irradiated by  $\gamma$ -quantum //Proc. of Eurasia Conference on nuclear science and its application October 2000 Turkey. P 437-438.
7. Ohmer M.C., Goldsten J.T. // J. of Applied Physics. Jul 1999. v.86. N1. P. 94-9.
8. Reshak, Ali Hussian. Linear, nonlinear optical properties and birefringence of  $AgGaX_2$  ( $X=S, Se, Te$ ) compounds //Physica B: Physics of Condensed Matter. V 369. I 1-4. P. 243-253. 2005.
9. Лашкарев В.Е., Шейнкман М.К. Неравновесные процессы в фотопроводниках. Киев : Наукова Думка. 1981. 263 с.
10. Вавилов В.С., Кекемедзе Н.П., Смирнов Л.С. Действие излучений на полупроводники. Москва: Наука. 1988. С.52.
11. Дирнли Дж., Нортроп Д. Полупроводниковые счетчики ядерных излучений. Москва: Мир. 1966. ст.359.
12. Корсунская Н.Е., Кролевая Н.М. // ФТП. 1973. т.7. в 2.С.275-278.
13. Дякин В.В., Корсунская Н.Е. //ФТП. 1974. в.2. С.433-434.

#### **QAMMA VƏ İŞIQ ŞÜALARININ TƏSİRİ ALTINDA $AgGaTe_2$ MONOKRİSTALLARINDA DEFEKT ƏMƏLƏGƏLMƏSİ**

**F.İ.Məmmədov**

*Məqalədə qamma və işiq şüalarının təsiri altında  $AgGaTe_2$  monokristallarının fotoelektrik xüsusiyyətlərinin kompleks tədqiqinin nəticələri verilmişdir. İlk dəfə olaraq qamma şüalarının təsiri altında sürətli  $s$  və zəif  $r$  – rekombinasiya mərkəzləri ilə əlaqədar olan temperatur və  $IQ$  – sönmə müşahidə olunmuş və müəyyən edilmişdir ki, nisbətən kiçik dozalarda  $AgGaTe_2$  monokristallarında görünən işiq şüalarının təsiri altında qeyri-bərabər yükdaşıyıcıların hesabına eyni proseslər baş verir.*

***RPROCESSES OF DEFEKT-FORMATION IN MONOCRYSTALS AgGaTe<sub>2</sub> BY  
INDUCED LIGHT AND GAMMA-RADIATION***

***F.I.Mamedov***

*The paper analysis the results of investigations of photoelectrical properties of single crystals under the action of light and gamma radiation. First ever there was the temperature and infrared quenching due to s – rapid and r – slov recombination centers. It has been determined that at relative low gamma radiation doses at the expense of the recombination of excess carriers in forbidden of AgGaTe<sub>2</sub> single crystals zone there arise the same processes, which are typical for illumination by the visible light.*