

СЕНСИБИЛИЗИРОВАННЫЕ ПРИМЕСНЫЕ
ФОТОПРОВОДИМОСТИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ p-GaSe,
ЛЕГИРОВАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

А.Ш.АБДИНОВ, Р.Ф.БАБАЕВА, Р.М.РЗАЕВ, Ш.А.АЛЛАХВЕРДИЕВ
Бакинский Государственный Университет

Исследованы особенности сенсibilизированных собственным светом и внешним электрическим полем примесных фотопроводимостей (СПФ) в монокристаллах p-GaSe, легированных редкоземельными элементами Gd, Ho и Dy с $N_{PЗЭ}=0\div 10^1 ат. \%$.

Установлено, что с ростом $N_{PЗЭ}$, при прочих одинаковых условиях, величина СПФ увеличивается.

Предполагается, что обнаруженная СПФ в изучаемых кристаллах обусловлена комбинированным возбуждением носителей через мелкие уровни α -прилипания, плотность которых увеличивается с ростом $N_{PЗЭ}$.

Разнообразия электронных явлений в полупроводниках, прежде всего, определяются наличием и особенностями распределения различных локальных уровней в их запрещенной зоне. Поэтому одним из фундаментальных вопросов физики полупроводников является изучение энергетического спектра запрещенной зоны полупроводников, которое осуществляется различными способами, в том числе, исследованиями сенсibilизированных примесных фотопроводимостей (СПФ) в них. Подобные исследования позволяют также выяснить механизмы внедрения, энергетического расположения и взаимодействия ионов введенных примесей с уже существующими (собственными) точечными дефектами рассмотренного полупроводника. Ранее в [1] сообщалось о наличии в запрещенной зоне специально нелегированных монокристаллов p-GaSe мелких α - и глубоких β -уровней прилипания, медленных γ - и быстрых S-центров рекомбинации, также и определены основные их параметры (плотность, энергетическая глубина залегания и сечение захвата носителей). Далее установлено влияние легирования редкоземельными элементами (PЗЭ) гадолиния (Gd), гольмия (Ho) и диспрозия (Dy) на люминесцентные свойства этого полупроводника [2]. Однако, при этом не выяснены механизм внедрения ионов PЗЭ в изучаемый материал, а также тип созданных ими локальных уровней и характер взаимодействия их собственными дефектами.

В представленной работе, с целью выявления особенностей сенси-

билизованных примесных фотопроводимостей в слоистых кристаллах типа A_3B_6 и влиянии на них легирования РЗЭ, а также определения типа созданных введенными примесями РЗЭ локальных уровней и характера их взаимодействия собственными дефектами, исследованы сенсibilизированные собственным светом и (или) внешним электрическим напряжением примесных фотопроводимостей в легированных РЗЭ монокристаллах p-GaSe.

Образцы срезались из выращенных методом медленного охлаждения при постоянном градиенте температуры вдоль слитка монокристаллов p-GaSe<РЗЭ> с $N_{РЗЭ}=0; 10^{-5}; 10^{-4}; 10^{-3}; 10^{-2}; 10^{-1}$ ат.% для каждого рассмотренного РЗЭ. Легирование изучаемых монокристаллов осуществлялось по описанной в [3] методике.

Измерения производились в диапазоне $77 \div 300$ К при помощи экспериментальной установки, собранной на базе монохроматоров МДР-12 и МДР –12У.

В результате проведенных исследований установлено, что монокристаллы p-GaSe<РЗЭ> тоже, как и нелегированные специально кристаллы p-GaSe при 77 К обладают довольно большой собственной и слабой отрицательной фотопроводимостью (ОФП) в областях $0.35 \leq \lambda \leq 0.65$ мкм (с $\lambda_{мс}=0.56$ мкм) и $0.68 \leq \lambda \leq 1.60$ мкм (с $\lambda_{мс}=0.85$ мкм) соответственно. С ростом температуры (Т) величина обоих типов фотопроводимости уменьшается и при $T \geq 180 \div 200$ К (в зависимости от $N_{РЗЭ}$) отрицательная фотопроводимость совсем исчезает (рис. 1, кривые 1-3). Однако при воздействии на изучаемые образцы собственного света или же внешнего электрического напряжения (U), большего некоторого критического, в области более низких температур спектр fotocувствительности кристаллов p-GaSe<РЗЭ> меняется – на нем в диапазоне $0.90 \div 2.60$ мкм появляется также положительная примесная фотопроводимость, величина ($\Delta i_{\phi c}$) которой оказывается зависимой как от Φ_c (Интенсивности собственного света), U, T, так и от $N_{РЗЭ}$ (рис. 1, кривые 4-7). С изменением уровня фонового возбуждения (интенсивности собственного света, или же внешнего электрического напряжения) меняются как величина ОФП (Δi_{ϕ}^-), так и $\Delta i_{\phi c}$ (рис. 1). С ростом $N_{РЗЭ}$, при прочих одинаковых условиях, (Δi_{ϕ}^-) постепенно уменьшается, а $\Delta i_{\phi c}$ увеличивается. С ростом Φ_c величина $\Delta i_{\phi c}$ увеличивается сначала линейно, далее сублинейно, а при более высоких Φ_c – выходит на насыщение.

При сенсibilизации внешним электрическим полем с ростом U величина $\Delta i_{\phi c}$ сначала увеличивается, далее начинает уменьшаться и при более больших U – резко спадает до нуля.

В случаях возбуждений СПФ предварительным и фоновым воздействиями (рис. 2, кривые 1 и 2 соответственно) соответствующии кинетики

$\Delta i_{\phi c}$ – заметно отличаются. В частности, в первом случае вспышка $\Delta i_{\phi c}$ наблюдается лишь в начале первого импульса, а с дальнейшим ростом числа сканирующих импульсов величина $\Delta i_{\phi c}$ уменьшается. Во втором случае, во-первых, вспышка тока наблюдается в начале каждого импульса $\Delta i_{\phi c}$, во-вторых, их амплитуды оказываются одинаковыми.

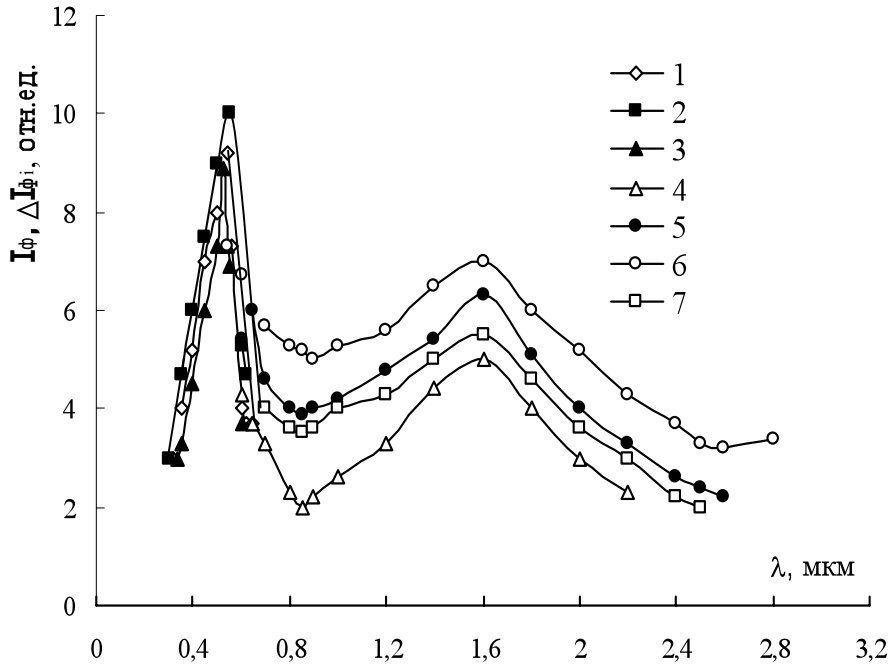


Рис. 1. Спектральное распределение фоточувствительности монокристаллов р-GaSe<PЗЭ> в исходном состоянии (1-3), при воздействиях фоновой собственной подсветки (4-6) и внешнего электрического напряжения $U > U_{кр}$ (7)

$T=77K$; $\lambda_c=0.56 \text{ мкм}$; $\Phi_c=3\Phi_{\text{сmin}}$; $U=1.5U_{кр}$,
 $N_{PЗЭ}$, ат.‰: 1, 4 - 0; 2, 5 - 10^{-3} ; 3, 6, 7 - 10^{-1} .

Снимались также температурные зависимости равновесного (рис. 3, кривые 4 и 5), установившихся после предварительного воздействия собственного света (рис. 3, кривые 1 и 3) и внешнего электрического напряжения (рис.3, кривая 2) квазиравновесных темновых токов. Как видно из рис. 3 на температурной зависимости квазитемнового тока (рис. 3, кривые 1-3) наблюдаются характерные для термостимулированных токов (ТСТ) максимумы. Определенные по известной теории ТСТ [4] плотность (N_t) и энергетическая глубина залегания (ϵ_t) уровней прилипания, соответствующих этим максимумам совпадают со значениями, найденных из измерений токов, ограниченных объемным зарядом (ТООЗ), мелких уровней прилипания в изучаемых кристаллах. Найденные обоими способами зна-

чения ε_t , также хорошо согласуется со значениями энергий, найденных по красной границе спектра сенсibilизированной примесной фотопроводимости. Установлено, что значение N_t мелких уровней прилипания с $\varepsilon_t \approx 0.15 \text{ эВ}$ зависит от $N_{\text{PЗЭ}}$ и с ростом последнего – постепенно увеличивается (от $\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $\sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$). При этом, значение ε_t от $N_{\text{PЗЭ}}$ – почти не зависит. Кроме того, хотя наблюдаются зависимости ОФП, СПФ, величины N_t от $N_{\text{PЗЭ}}$, однако влияние химической природы рассмотренных примесей РЗЭ на указанные эффекты и параметры не обнаруживается.

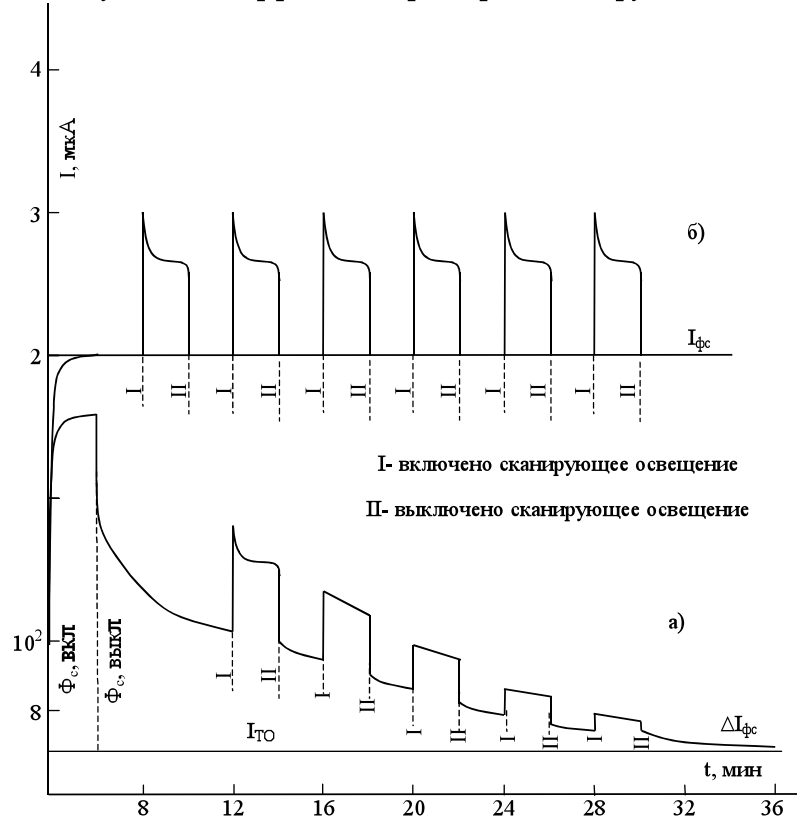


Рис. 2. Схематическое изображение кинетики сенсibilизированной предварительной (а) и фоновой (б) собственной подсветкой примесной фотопроводимости в монокристаллах $p\text{-GaSe}\langle\text{PЗЭ}\rangle$.

$$T=77\text{K}; \lambda_c=0.56 \text{ мкм}; \lambda_{ci}=1.65 \text{ мкм}; \Phi_c=3\Phi_{c\text{min}}; \Phi_{ci}=3\Phi_{ci\text{min}} \\ N_{\text{PЗЭ}}=10^3 \text{ ат.}\%$$

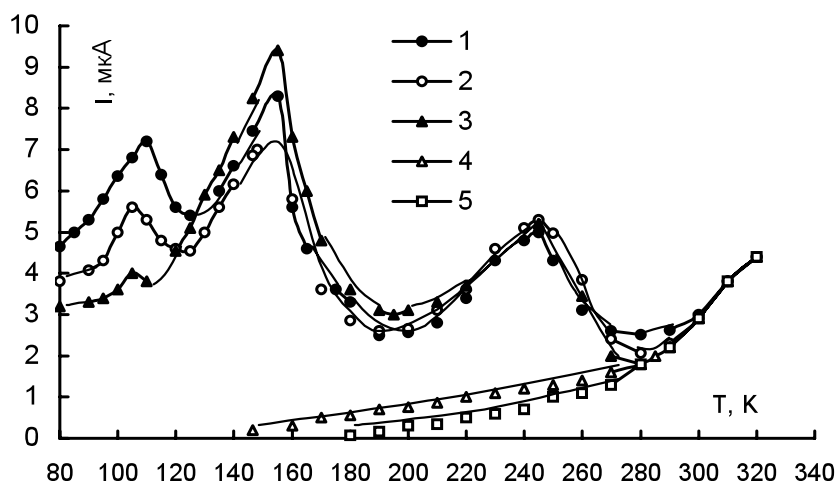


Рис. 3. Температурная зависимость равновесной темновой (4 и 5) и установленной после предварительного воздействия собственной подсветки (1 и 3) и электрического напряжения $U > U_{кр}$ (2) проводимости (тока).

$$\lambda_c = 0.56 \text{ мкм}; \Phi_c = 3\Phi_{\text{мин}}; U = 1.5U_{\text{кр}},$$

$$N_{P3Э}, \text{ ат.}\%: 1, 4 - 0; 2, 3, 5 - 10^{-2}.$$

Предполагается, что СПФ в изучаемых кристаллах $p\text{-GaSe}\langle P3Э \rangle$ связана с опустошением мелких уровней прилипания, которые заполнены неравновесными основными носителями, возбужденными собственным светом и (или) инжекцией. В пользу последнего свидетельствует также обнаружение сенсibilизированной электрическим полем примесной фотопроводимости именно при напряжениях, соответствующих суперлинейной области темновой ВАХ. Что касается зависимости Δi_{ϕ_c} от $N_{P3Э}$, по-видимому, она обусловлена вхождением ионов примесей P3Э рассмотренных типов в кристаллы $p\text{-GaSe}$ как мелкие уровни α -прилипания. Эта версия подтверждается также установленной зависимостью N_t от $N_{P3Э}$.

В заключении можно сказать, что СПФ в кристаллах $p\text{-GaSe}\langle P3Э \rangle$ обусловлена комбинированным возбуждением носителей через мелкие уровни α -прилипания, а примеси Gd, Ho и Dy внедряются в эти кристаллы как мелкие уровни α -прилипания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдинов А.Ш., Мулина Л.Н., Нуруллаев Ю.Г., Гусейнов А.М., Сендли М.М. Остаточное ИК гашение собственной фотопроводимости в монокристаллах селенидов индия и галлия. // ДАН Аз.ССР. 1989. Т. 45. В. 4. с. 11-16.
2. Абдинов А.Ш., Бабаева Р.Ф. К вопросу о механизме влияния легирования редкоземельными элементами на фотолюминесценцию монокристаллов соединений A_3B_6 со слоистой структурой. // Прикладная физика. 2004. №5. с. 74-78.
3. Гусейнов А.М., Садыхов Т.И. Получение легированных редкоземельными элементами монокристаллов селенида индия. В сб. «Электрофизические свой-

- ства полупроводников и плазмы газового разряда». Баку. Изд. АГУ. 1989. с. 42-44.
4. Литовченко П.Г., Устьянов В.И. Определение параметров уровней прилипания в полупроводниках методом термостимулированной проводимости. В сб. «Актуальные вопросы физики полупроводников и полупроводниковых приборов». Вильнюс. Изд. "Минтис". 1969. с. 154-171.

**NADİR TORPAQ ELEMENTLƏRİ İLƏ AŞQARLANMIŞ
p-GaSe KRİSTALLARINDA
SENSİBİLİZƏ OLUNMUŞ AŞQAR FOTOKEÇİRİCİLİK**

**Ə.Ş.ABDİNOV, R.F.BABAYEVA, R.M.RZAYEV,
Ş.A.ALLAHVERDİYEV**

XÜLASƏ

Məqalədə $N_{NTE}=0\div 10^{-1}$ at.% miqdarında Gd, Ho və Dy tipli nadir torpaq elementləri ilə aşqarlanmış p-GaSe monokristallarında məxsusi işıq və xarici elektrik sahəsi vasitəsilə sensibilizə olunmuş aşqar fotokeçiriciliyinin (SAF) xüsusiyyətləri tədqiq olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, digər şərtlər daxilində N_{NTE} -nin artması ilə SAF artır. Fərz olunur ki, müşahidə edilən SAF tədqiq olunan kristallarda yükdaşıyıcıların sıxlığı N_{NTE} -nin artması ilə artan dayaz α -tutma mərkəzlərindən kombine olunmuş həyəcanlanması ilə şərtlənmişdir.

**SENSITIZED IMPURITY PHOTOCONDUCTIVITY IN MONOCRYSTALS
OF p-GaSe, DOPED BY RARE-EARTH ELEMENTS**

A.Sh.ABDINOV, R.F.BABAEVA, R.M.RZAEV, Sh.A.ALLAHVERDIEV

SUMMARY

The features of sensitized by intrinsic light and external electrical field of impurity photoconductivity (IPH) in monocrystals p-GaSe, doped by rare-earth elements of Gd, Ho and Dy with $N_{RE} = 0\div 10^{-1}$ at.% are investigated.

It is established, that with increasing of N_{RE} , the value of IPH is increased. It is supposed, that the observed IPH in investigated crystals is caused by the combined excitation of carriers through shallow levels of α -sticking, which density is increased with increasing of N_{RE} .