

©1994 г.

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ГЕНЕРАЦИОННО-РЕКОМБИНАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ TlInSe_2

И. В. Алексеев

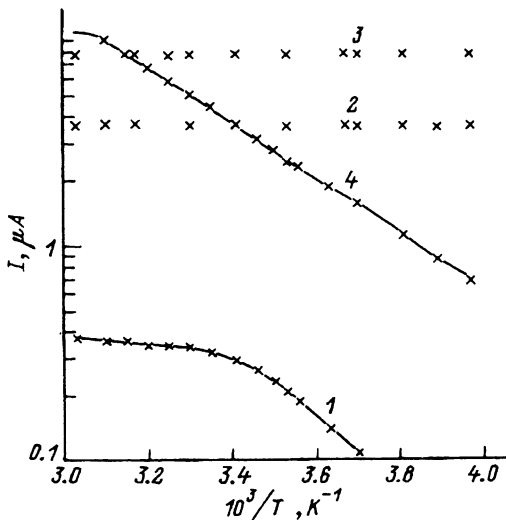
Институт физики Академии наук Азербайджана,
370143, Баку, Азербайджан
(Получена 29 декабря 1993 г. Принята к печати 2 февраля 1994 г.)

Измерено стационарное время жизни неравновесных зарядов, генерируемых в кристаллах TlInSe_2 светом, рентгеновским и гамма-излучением. Показано, что с увеличением энергии фотонов уменьшается электронная заселенность локальных центров запрещенной зоны. Объяснен экспериментальный факт независимости от температуры токов, генерируемых в полупроводнике жестким излучением.

В [1] было показано, что температурная зависимость подвижности свободных носителей заряда, генерируемых в CdS светом (μ_{ph}) и рентгеновским излучением (μ_x), различна: μ_{ph} с ростом температуры увеличивается, а μ_x практически неизменна. Идентично поведение соответствующих токов. Анализируя явление, авторы ограничиваются предположением, что при световом и рентгеновском возбуждениях может различаться ионизация центров прилипания в CdS , что должно сказаться на рассеянии свободных электронов и на их подвижности.

В данной работе исследуется подобное явление в кристаллах TlInSe_2 — ток, возбуждаемый рентгеновским излучением, от температуры не зависит при значительном возрастании с температурой фототока (см. рисунок). В отличие от CdS , здесь это различие, как показали исследования, не связано с подвижностью свободных носителей заряда.

В исследованиях был несколько расширен по сравнению с [1] энергетический диапазон воздействующего излучения использованием, помимо собственного света ($\lambda = 1.05$ мкм) и рентгеновского излучения (эффективная энергия 69 кэВ при гомогенности не хуже 1.2–1.4), еще и гамма-излучения ^{60}Co . В качестве параметра, критичного к электронной заселенности локальных центров, исследовалось стационарное время жизни τ основных носителей заряда — дырок. При определении τ плотность потока энергии Φ рассчитывалась так, чтобы обеспечить одинаковую скорость неравновесных зарядов для каждого из трех типов возбуждения.



Температурная зависимость токов, возбуждаемых светом при скорости генерации $G = 8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ (1) и $1.7 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ (4), рентгеновским (2) и гамма-излучением (3) при $G = 8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$.

Техника эксперимента описана в [2,3]. Для расчетов (метод Монте-Карло) использовали программу моделирования электромагнитных ливней ELSS [4], адаптированную для ПЭВМ типа IBM PC.

По измеренным значениям токов I (концентраций неравновесных дырок Δp) определяли τ в одних и тех же образцах в соответствии с выражениями

$$\Delta p = \frac{\tau \beta \Phi [1 - \exp(-kd)]}{h\nu d} \tau, \quad (1)$$

$$\Delta p = \frac{g\Phi}{d\varepsilon} \tau. \quad (2)$$

для случаев оптического и жесткого излучений соответственно.

Коэффициенты отражения r и поглощения k измерялись, квантовый выход β принимался равным единице, эффективность g рассчитывалась методом Монте-Карло для толщины d конкретного образца. Энергия образования электронно-дырочной пары ε принималась равной 4 эВ в соответствии с известным соотношением Клейна (ширина запрещенной зоны TlInSe_2 составляет 1.2 эВ). Значения τ , вычисленные согласно (1) и (2), корректировались с целью учета некоторой неоднородности поглощения по толщине образца в условиях нелинейной зависимости отклика образца от поглощенной мощности излучения.

Для одного из исследованных образцов получили следующий типичный ряд значений τ при комнатной температуре и одинаковой скорости генерации $G = (7 \div 8)10^{13} \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$: 1.0, 9.7, 29.0 мс для оптического, рентгеновского и гамма-излучений соответственно, т.е. наблюдается увеличение стационарного времени жизни неравновесных дырок с энергией фотонов возбуждающего излучения. Величина τ в TlInSe_2 определяется интенсивным захватом дырок валентной зоны на центры прилипания (t -центры), заполненные в равновесии электронами, а также рекомбинацией через рекомбинационные s -центры, почти свободные от электронов [2]. Поэтому выявленная зависимость свидетельствует об уменьшении электронной заселенности этих центров с

возрастанием жесткости возбуждающего излучения. Причиной этого может быть следующее. При оптическом возбуждении фотоионизация локальных центров ограничена из-за правил отбора [5], а в случае жесткого излучения δ -электроны производят ударную ионизацию и атомов решетки, и атомов локальных центров с равной вероятностью независимо от их энергии. Поэтому при одинаковых скоростях генерации относительная вероятность ионизации локальных центров в первом случае будет ниже, чем во втором. Чем выше энергия фотонов жесткого излучения, тем, по-видимому, значительнее данный эффект.

Рост фототока с температурой в кристаллах TlInSe_2 , так называемая термоактивация обусловлен термическим высвобождением захваченных на t -центры дырок валентной зоны. В случае жесткого излучения, в условиях низкой электронной заселенности t -центров, термоактивация незначительна ввиду незначительной концентрации захваченных на t -центры дырок валентной зоны. Кроме того, если при световом возбуждении термоактивация не сопровождается возникновением генетических электронов на s -центрах, то при жестком излучении дополнительные электроны, забрасываемые при термоактивации на уровень прилипания, через зону проводимости перелокализуются частично на s -центры, что увеличивает интенсивность рекомбинации и тоже сдерживает рост концентрации дырок в валентной зоне. [Кривая 4 на рисунке показывает, что обсуждаемое различие в ходе $I(T)$ определяется не уровнем инжекции]. Отметим, что увеличение жесткости излучения приводит в конечном счете и к некоторому увеличению концентрации неосновных носителей в зоне проводимости.

С похожей ситуацией сталкиваемся в кристаллах TlInSe_2 , когда наблюдаем ослабление температурной зависимости фототока при очень высоких уровнях инжекции [2]. В последнем случае также имеет место перелокализация электронов с уровня прилипания на уровень рекомбинации с той лишь разницей, что осуществляется она посредством переходов зона-зона.

Список литературы

- [1] Н.Е. Корсунская и др. ФТП, 1, 488 (1967).
- [2] И.В. Алексеев и др. Изв. АН АзССР. Сер. физ.-мат., 4, 70 (1975).
- [3] И.В. Алексеев. Изв. РАН, Неорг. матер., 28, 2404 (1992).
- [4] П.А. Амадуни. Препринт ЕФИ-735 (50)-84 (Ереван, 1984).
- [5] П.С. Киреев. Физика полупроводников (М., 1969).

Редактор В.В. Чалдышев

On Some Features of Generation-Recombination Processes at Gamma-Irradiation of TlInSe_2

I. V. Alekseev

Institute of Physics, Academy of Sciences of Azerbaidzhan, 370143, Baku, Azerbaidzhan

Steady state life time of the charge carriers in TlInSe_2 crystals generated by light, X-ray and gamma-irradiation has been determined. It has been shown that the higher the photon energy the lower is the density of electrons on local levels inside the energy gap. Independence of carrier current of temperature is also explained.