



Beynəlxalq Konfrans "Fizika-2005" International Conference "Fizika-2005" Международная Конференция "Fizika-2005"

7 - 9
İyun
June 2005
Июнь

№224
səhifə
page 849-852
стр.

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

ВЛИЯНИЕ ЦЕНТРОВ, ОКРУЖЕННЫХ ОТТАЛКИВАЮЩИМ БАРЬЕРОМ, НА НЕРАВНОВЕСНЫЕ ПРОЦЕССЫ В CdIn_2S_4

КАДЫРОГЛЫ З., КЕРИМОВА Т.Г., ГУСЕЙНОВ Д.Т.

*Институт Физики НАН Азербайджана
г. Баку, 370143, пр.Г.Джавида, 33
E-mail: ktaira@physics.ab.az; zafark58@mail.ru*

Изучены термостимулированные токи (ТСТ), оптическое и температурное гашения фототока (ОГФ и ТГФ), а также температурное тушение фотолюминесценции (ТТФЛ) в монокристаллах CdIn_2S_4 . Эксперименты объясняются существованием центров захвата окруженных отталкивающим потенциальным барьером для электронов. При нагревании образцов в области температур 200÷250 К электроны освобождаются из центров захвата, окруженных отталкивающим барьером, переходят в зону проводимости и участвуют в процессах рекомбинации. В результате изменяется характер кривых ТСТ, ТГФ, ТТФЛ, а также величины оптического гашения фототока.

ВВЕДЕНИЕ

Тройные полупроводниковые материалы типа $\text{A}^2\text{B}_2\text{C}_4$ привлекают внимание исследователей рядом интересных свойств. В них обнаружены эффекты переключения, световой памяти, генерация токовых колебаний и др. Среди соединений $\text{A}^2\text{B}_2\text{C}_4$ особый интерес вызывают широкозонные материалы и, в том числе CdIn_2S_4 . Интенсивная фотолюминесценция (ФЛ) и высокая фоточувствительность в сочетании с большой шириной запрещенной зоны обуславливают перспективность данного материала для применения в оптоэлектронике.

Монокристаллы CdIn_2S_4 выращиваются либо путем газотранспортных реакций с использованием йода в качестве транспортера, либо кристаллизацией из расплава. Удельная темновая проводимость кристаллов σ_t обычно изменяется в пределах 10^{-3} ÷ 10^{-9} Ом⁻¹см⁻¹, величина ее зависит от степени содержания серы (недостаток, стехиометрия, избыток). Избыток по сере увеличивает фоточувствительность и удельное сопротивление [1,2]. CdIn_2S_4 всегда имеет проводимость n-типа.

В отличие от бинарных аналогов в структуре CdIn_2S_4 имеется два различных катиона, которые упорядочены относительно друг друга. Благодаря сложной кристаллической структуре, в CdIn_2S_4 встречается большое разнообразие собственных дефектов. Это приводит к наличию богатого спектра локальных состояний в запрещенной зоне.

Исследование рекомбинации носителей в CdIn_2S_4 показало, что в этих кристаллах имеются центры

фоточувствительности двух типов (m и r) с различными сечениями захвата электронов [3]. Центры r-типа расположены ближе к v-зоне на энергетическом расстоянии $E_{vr}^0=0,73$ эВ от нее и их обмен с v-зоной наступает при температурах около 140 К. Центры m-типа расположены ближе к середине запрещенной зоны ($E_{vm}^0=0,96$ эВ) и их обмен с v-зоной наступает при более высоких температурах (обычно выше 250 К). Кроме того в кристаллах имеются центры с большим сечением захвата электронов, объединенные под названием s-центры быстрой рекомбинации, а также t-центры прилипания.

В полупроводнике как центры прилипания, так и центры рекомбинации могут быть окружены отталкивающим барьером. Ранее было показано, что в CdIn_2S_4 существуют центры окруженные отталкивающим кулоновским барьером для основных носителей. Сечение захвата, концентрация и энергетическое расположение относительно зоны проводимости для этих центров составляют $\sim 10^{-23}$ см², $\sim 10^{15}$ см⁻³ и 0,23 ÷ 0,25 эВ, соответственно [4-6].

Долговременная релаксация неравновесной отрицательной (σ_n^-) остаточной проводимости, эффекты изменения спектра термостимулированной проводимости (ТСП) под действием света в зависимости от температуры засветки и скачкообразный переход из состояния повышенной относительно темновой проводимости в состояние с проводимостью ниже темновой в CdIn_2S_4 объясняется существованием отталкивающих потенциальных барьеров для электронов [7].

В настоящей работе сообщается о влиянии центров окруженных отталкивающим барьером на процессы ТСТ, температурного и оптического гашения фототока (ТГФ и ОГФ), а также температурного тушения фотолуминесценции в CdIn_2S_4 .

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Поликристаллические образцы CdIn_2S_4 получены нами сплавлением исходных компонентов в стехиометрическом соотношении. Продукты синтеза были использованы для выращивания монокристаллов. Монокристаллы выращивались газотранспортным методом (в качестве транспортера использовался йод) и представляли собой прозрачные октаэдры красного цвета с четко выраженной огранкой. Для проведения измерений образцам придавался вид плоскопараллельных пластин размерами $3 \times 2 \times 1$ мм³. В качестве омических контактов использовался металлический индий. Для исследований отбирались фоточувствительные, высокоомные в темноте образцы с удельным сопротивлением $10^6 \div 10^8$ Ом·см, кратностью темнового и светового сопротивлений $R_T/R_c = 10^2 \div 10^5$ при освещенности 200 лк белым светом при $T=300$ К. Образцы монтировались в специальном криостате, в котором во время экспериментов поддерживался вакуум. Напряженность электрического поля прикладываемая к образцам не превышала 20 В/см. При таких напряженностях вольт-амперная характеристика (ВАХ) линейна и предотвращены эффекты, связанные с токами объемного заряда. При измерении ТСТ нагрев образцов производился с постоянной скоростью 0,08 К/сек.

При изучении ОГФ постоянный фоновый фототок создавался освещением из области собственного поглощения. Для подсветки использовался монохроматор. Измерения проводились по стационарной методике в области длин волн $0,4 \div 2,0$ мкм. Возбуждение люминесценции осуществлялось линией ($\lambda = 365$ нм) ртутной лампы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для измерения ТСТ образцы выдерживали в темноте и не прикладывали напряжение. Образцы охлаждались до температуры 110 К. Освещение образцов производилось при 110К светом с энергией квантов, больше ширины запрещенной зоны ($h\nu \geq E_g$) в течении определенного времени. После выключения освещения с целью создания квазиравновесия, образцы выдерживали при 110К несколько минут.

CdIn_2S_4 при На рис.1 приведены кривые ТСТ в различных временах засветки. Как следует из рисунка, кривые ТСТ имеют два пика с максимумами при температурах $T_{M1}=165$ К и $T_{M2}=190$ К. Увеличение дозы облучения ($L \cdot t$, где L интенсивность освещения, t -время освещения) приводит к возрастанию значений токов, соответствующих максимумам ТСТ. При этом положение максимумов не меняется.

Если образец освещать при комнатной температуре, а затем не прерывая освещение охладить до температуры 110 К, тогда на спектре ТСТ появляется третий пик в области температур $200 \div 250$ К. Несмотря на то, что доза облучения кривой 4

больше дозы облучения остальных кривых, значения токов максимумов ТСТ при $T_{M1}=165$ К и $T_{M2}=190$ К, не возрастает

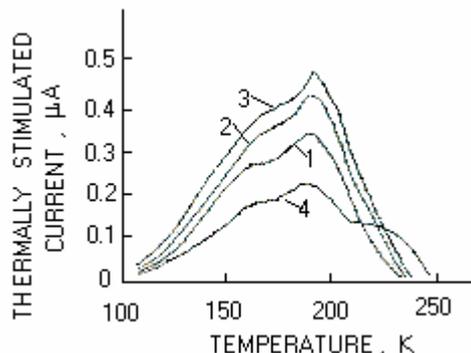


Рис.1. Спектр ТСТ монокристаллов CdIn_2S_4 при различных временах засветки. С ростом номера кривых время засветки увеличивается. Кривые 1-3 соответствуют освещению образца при 110 К, а кривая 4 соответствует освещению при комнатной температуре с последующим охлаждением на свету до температуры 110 К.

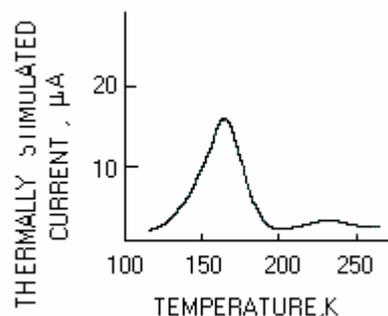


Рис.2. Температурная зависимость ТСТ в монокристаллах CdIn_2S_4 с примесью Cu (время засветки 5 мин., скорость нагревания 0,24 К/сек)

Аналогичное явление наблюдается в монокристаллах CdIn_2S_4 легированных примесью Cu.

На рис.2 приведен спектр ТСТ в этих кристаллах при скорости нагревания 0,24 К/сек (время засветки 5 минут). Второй максимум ТСТ находящийся в области температур $200 \div 250$ К отсутствует, если освещение образца производить при температуре 110 К. Если освещение образца производить при комнатной температуре, то пик ТСТ является в области температур $200 \div 250$ К.

На рис.3 приведено температурная зависимость эффекта гашения фототока в монокристаллах CdIn_2S_4 . По оси ординат отложено значение $i = i_{ph} - i_{tr}$, где i_{ph} и i_{tr} – фототок в отсутствии и при наличии подсветки из области оптического гашения. Длина волны гасящего света соответствует максимальному значению гашения ($\lambda = 850$ нм) в спектре ОГФ. Интенсивность собственного и гасящего света постоянна. Вид кривого позволяет выделить два интервала температур: $100 \div 200$ К и $200 \div 250$ К.

ТГФ исследовали как при собственном, так и при примесном монохроматическом возбуждении.

Полученные результаты показали, что форма спектров ТГФ сильно зависит от длины волны возбуждающего света. На рис.4 приведены кривые ТГФ в монокристаллах CdIn₂S₄. Как видно из рисунка при возбуждении $\lambda=560$ nm (кривая 4) в температурном интервале 200÷250 К появляется плечо, искажается кривая ТГФ.

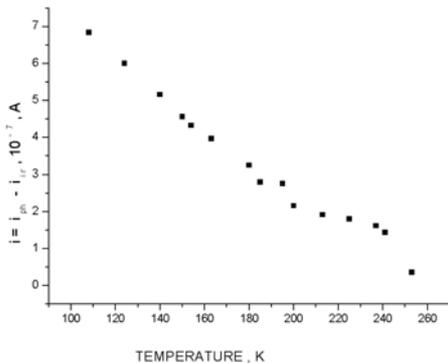


Рис.3. Температурная зависимость величины гашения.

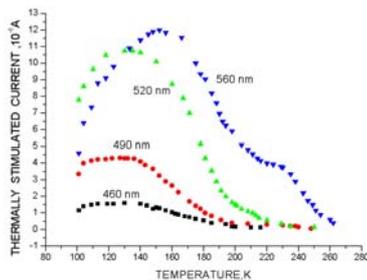


Рис.4. ТГФ в монокристаллах CdIn₂S₄ при различных длинах волн возбуждающего света.

Излучательная рекомбинация CdIn₂S₄ исследована в работах [8-10]. Установлено, что интегральный спектр ФЛ является сложным и состоит из четырех отдельных полос ФЛ с максимумами около 1.89, 1.67, 1.45 и 1.35 эВ. Учитывая, что в монополярных фоточувствительных полупроводниках захват на медленные центры обычно является излучательным,

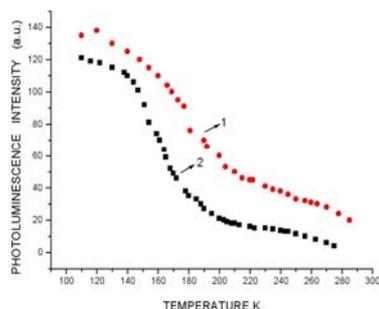


Рис.5. Температурное тушение ФЛ при различных энергиях излучающего света: 1 – 1.45 эВ; 2 – 1.67 эВ

ранее предполагали, что полосы с максимумами 1.67 и 1.45 эВ обусловлены излучательным захватом электронов на Γ - и m - центры медленной

рекомбинации, соответственно [3]. Учитывая это, мы исследовали температурное тушение интенсивности ФЛ при 1.45 и 1.67 эВ. Как видно из рис.5 с ростом температуры интенсивность ФЛ уменьшается. В области температур 200÷250 К на кривых появляется плечо.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При наличии в кристалле отталкивающих центров для основных носителей, захват носителей на эти центры определяется энергией электронов и их способностью преодолевать отталкивающий барьер. Поэтому с ростом температуры может наблюдаться заметное увеличение сечения захвата. Если освещать образец CdIn₂S₄ из области собственного поглощения при низких температурах. (например, около 110 К), то эти центры остаются незаполненными, в результате этот уровень не появляется на спектрах ТСТ. Если освещение производится при высоких температурах, то эти центры начинают заполняться. С ростом температуры и времени засветки степень заполнения этих центров увеличивается. При нагревании предварительно освещенных образцов электроны освобождаются из центров захвата окруженных отталкивающим барьером переходят в зону проводимости и в спектрах ТСТ появляется пик в области температур 200÷250 К. Заполнение центров окруженных отталкивающих барьеров приводит к уменьшению значения других двух пиков ТСТ.

Уменьшение величины гашения i с ростом температуры обусловлено тем, что в этой области температур начинается термическое освобождение дырок из очуствляющих (медленных) центров. Изменение характера зависимости величины гашения в области температур 200÷250 К можно объяснить освобождением электронов из центров захвата окруженных отталкивающим барьером. Освобожденные электроны переходят в зону проводимости и в результате проводимость растет. Эти электроны в дальнейшем участвуют в процессах рекомбинации. Мы полагаем, что появление плеча на кривой ТГФ при возбуждении длины волны $\lambda=560$ nm также связано с опустошением центров захвата окруженных отталкивающим барьером. По видимому при возбуждении длины волны $\lambda=560$ nm создается благоприятное условие для заполнения указанных центров захвата. Освобожденные из центров электроны переходят в зону проводимости и далее захватываются дырками на локальные центры, которые играют роль центров излучательной рекомбинации. В результате в области температур 200÷250 К уменьшение интенсивности ФЛ с ростом температуры замедляется.

Таким образом, поведение кривых ТСТ, ТГФ, температурного тушения ФЛ и величины оптического гашения фототока в CdIn₂S₄ в области температур 200÷250 К свидетельствуют об освобождении электронов из центров захвата, окруженных отталкивающим барьером

-
- [1]. Абдуллаев Г.Б., Антонов В.Б. Беленький Г.Л., Гусейнов Д.Т, Нани Р.Х., Салаев Э.Ю. Изв.АН ССР. Серия физ.-тех. и мат. наук, 1971, №4, стр.127-131.
- [2]. Абдуллаев Г.Б., Антонов В.Б., Нани Р.Х., Гусейнов Д.Т, Салаев Э.Ю. ФТП, 1968, т.2, в.7, стр.1048-1050.
- [3]. Гусейнов Д.Т., Мамедов З.Г., Гасанов Н.Э., Асадов Ю.Г. ФТП, 1988, т.21, в.4, стр.738-740.
- [4]. Абдуллаев Г.Б., Беленький Г.Л., Ларионкина Л.С., Нани Р.Х., Салаев Э.Ю. ФТП, 1973, т.7, в.4, стр.821-822.
- [5]. Беленький Г.Л., Ларионкина Л.С., Маркевич Н.В., Нани Р.Х. - Изв.Ан Азерб. ССР, сер.физ.-мат.1975, №4, стр.62-64. J.of the Physical Society of Japan, 1986, vol.55, №10, p.3503-3515.
- [6]. Гусейнов Д.Т., Керимова Т.Г., Зафар Л.Кадыроглы . ФТП, 1996, т.30, в.6, стр.974 - 979.
- [7]. Georgobiani A.N., Gruzintsev A.N., Ilukhina Z.P., Tezlevan V.E. and Tiginyanu I.M. Phys.St. Sol.(a), 1984, v.82, p.207-212.
- [8]. Grilli E., Guzzi M., Cappeleti P. and Moskelonov A.V Levels- Phys.St. Sol.(a), 1980, v.59, p.755-765.
- [9]. Seki Y, Endo S., and Irie T. - Japan J.of Appl. Phys., 1980, v.19, №9, September, p.1667-1674.