

УДК 621.383

Функциональные возможности пленок $CdSe_{1-x}Te_x$ в ИК-области спектра

А. Ш. Абдинов, М. А. Джафаров, Э. Ф. Насиров, С. А. Мамедова
Бакинский государственный университет, г. Баку, Азербайджан

Приведены результаты исследования фотоэлектрических свойств пленок $CdSe_{1-x}Te_x$, имеющих прикладное значение для ИК-техники.

Введение

Интерес к пленкам $CdSe_{1-x}Te_x$ вызван прежде всего возможностями их практического применения, обусловленными контролируемым изменением физических свойств за счет вариации состава и технологии получения. Предпринятые в этом направлении исследования показывают, что несмотря на поликристалличность структуры пленок $CdSe_{1-x}Te_x$, осажденных из водного раствора, можно достичь необходимой степени взаимокompенсации различных уровней и реализовать в них различные фотоэлектрические эффекты.

Проводимые до настоящего времени исследования показывают, что можно реализовать высокую чувствительность пленок $CdSe_{1-x}Te_x$ в широком спектральном диапазоне (0,4—1,4 мкм) длин волн. Однако еще не до конца изучены многие особенности физических процессов, определяющих их высокую чувствительность в ближней инфракрасной (ИК) области.

Цель исследований — установление закономерностей и индивидуальных черт рекомбинационных и электронно-молекулярных процессов, обуславливающих высокую чувствительность в ИК-диапазоне, в зависимости от состава, режима осаждения и термической обработки.

Экспериментальные исследования

Как уже отмечалось, пленки $CdSe_{1-x}Te_x$ полученные методом химического осаждения из водного раствора, отличаются от монокристаллов и сплавов, полученных другими методами, своей простой, дешевой технологией, хорошей управляемостью параметрами, высокой воспроизводимостью и модификацией физических свойств. Так, изменяя состав реакционной смеси, длительность процесса осаждения, режим термической обработки, угол наклона подложек при нахождении в растворе и скорость вращения реакционной смеси, можно получать фоточувствительные пленки с различными фотоэлектрическими свойствами, в том числе с отрицательной фотопроводимостью (ОФП).

Пленки $CdSe_{1-x}Te_x$ ($0 \leq x \leq 0,4$) толщиной 5—8 мкм получены на ситалловых подложках химическим осаждением из водного раствора, содержащего хлориды кадмия, Na_2TeO_3 , $(NH_2)_2CSe$ и комплексобразователь $(NH_4OH — 8 \text{ мл})$. Размеры кристаллов, оцененные на растровом электронном микроскопе, составляли $\sim 1200—1800 \text{ \AA}$. Темновая проводимость пленок в зависимости от состава составляла $10^{-5}—10^{-6} \text{ Ом/см}$, а отношение фототока к темновому току достигало $10^2—10^3$. Концентрация носителей заряда, определенная по коэффициенту Холла, составляла $4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ — для пленок с $x = 0—0,2$ и 10^{17} см^{-3} — для пленок с $x = 0,4$.

На рис. 1 приведены вольт-амперные характеристики (ВАХ) светового (кривая 1) и темнового (кривая 2) тока. ВАХ темнового тока пленок имеет сложную структуру. При относительно малых значениях приложенного электрического поля зависимость тока имеет форму прямой [1]. С дальнейшим ростом напряженности электрического поля линейность ВАХ нарушается и наблюдается N-образная ВАХ. Далее при уменьшении приложенного напряжения на ВАХ наблюдается гистерезис. Световая ВАХ пленок $CdSe_{1-x}Te_x$ в широком интервале приложенного электрического поля (0,5—130 В/см) оказалась линейной.

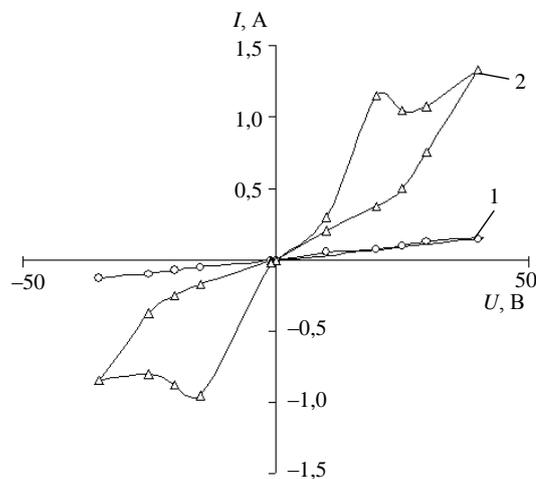


Рис. 1. ВАХ пленок $CdSe_{1-x}Te_x$ при $T = 300 \text{ K}$:
1 — светового тока; 2 — темнового тока

При освещении проводимость пленок $\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$ сначала незначительно увеличивается, а потом резко уменьшается относительно темнового, и наблюдается отрицательная фотопроводимость. Спектр отрицательной фотопроводимости при различных значениях интенсивности света с длиной волн $\sim 0,6$ мкм иллюстрирует рис. 2. С ростом интенсивности света зависимость имеет характер насыщения. При оптимальных условиях кратность ОФП составляла $\alpha = I_d/I_F \geq 10^3$ (I_d — значение темнового тока, а I_F — светового тока).

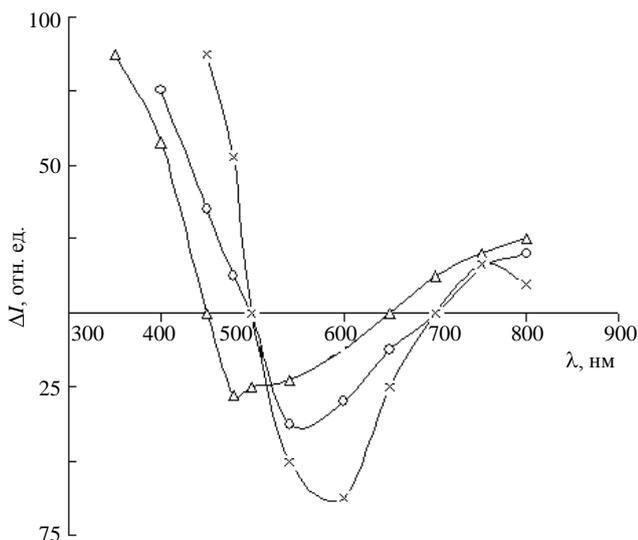


Рис. 2. Спектральное распределение отрицательной фотопроводимости пленок $\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$ при различных интенсивностях света:

— Δ — 350 лк; — \circ — 200 лк; — \times — 100 лк

При относительно малых интенсивностях света изучаемые пленки показывают спектральную характеристику ОФП с широким максимумом в области $0,480\text{--}0,660$ мкм. При малых интенсивностях возбуждающего света времена нарастания и спада фототока мало отличаются. Но при увеличении интенсивности света время спада уменьшается и не превышает нескольких секунд, а время нарастания увеличивается и при максимальной интенсивности света достигает нескольких часов.

Время нарастания ОФП при рассмотренных условиях зависит от температуры. Эта зависимость в интервале температур $290\text{--}300$ К имела активационный характер. Энергия активации составляла $0,8\text{--}1,0$ эВ. При $T < 250$ К проводимость изучаемых пленок резко уменьшается, а при $T \sim 77$ К становится ниже световой ($\rho = 10^9$ Ом·см и $n = 10^{10}$ см $^{-3}$). При этом наблюдается как слабая отрицательная, так и положительная фотопроводимость в зависимости от интенсивности света.

Следует отметить, что фотоэлектрические свойства пленок не зависят от материала токовых контактов и их освещенности.

Установлено, что отрицательная фотопроводимость зависит от интенсивности возбуждающего на образец светового потока и приложенного напряжения, она проявляется лишь в некоторых интервалах значений освещенности и напряжения.

Интерпретация полученных результатов

Что касается объяснения последующего изменения вида (наблюдения гистерезиса) ВАХ, то предполагалось, что в пленках $\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$ протекают процессы, приводящие к замедлению рекомбинации свободных носителей. Существуют различные точки зрения о природе механизмов, обуславливающих формирование восходящей ветви ВАХ полупроводниковых материалов. По-видимому, вид этой ветви ВАХ определяется в основном явлением инжекции при захвате носителей на ловушках.

Экспериментально наблюдаемые величины тока I через образец оказались существенно меньше теоретического значения, получаемого при "безловушечной" ВАХ для идеального изолятора [1]. Захват инжектированных носителей заряда на "медленные" ловушки приводит к медленному падению тока через образец при фиксированном напряжении и к появлению гистерезиса на ВАХ при вводе—выводе электрического тока [2].

Для объяснения ОФП в пленках $\text{CdS}_{1-x}\text{Se}_x$ рассмотрим более подробно явления, которые могут иметь место при фотовозбуждении электронно-дырочных пар в пленках $\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$ с потенциальными барьерами на межблочных границах (МГ).

Кинетические коэффициенты в пленках $\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$ характеризуются рассеянием носителей заряда на барьерах, образованных захватом основных носителей заряда на поверхностные состояния, локализованные на МГ. Емкость состояний на МГ предполагается большой, а высота барьера определяется условием "завязывания" энергий этих состояний с уровнями Ферми.

Известно, что процесс извлечения пленок $\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$ из технологического объема в атмосферу после завершения процесса конденсации сопровождается почти мгновенной адсорбцией кислорода на поверхности пленок. Адсорбированный кислород создает на поверхности глубокие акцепторные состояния, захватывающие электроны из объема пленки [3]. При этом на поверхности образуется потенциальный барьер с высотой ϕ_1 .

Поверхностные состояния, локализованные на МГ, достаточно мелкие, поэтому высота барьера на них ϕ_2 , которая определяется разностью энергий Ферми и поверхностных состояний, не очень велика, и $\phi_1 > \phi_2$.

Генерированные при освещении фотоносители разделяются барьерами на МГ, а барьеры — на

поверхности пленки; фотодырки скапливаются на поверхности, а фотоэлектроны останутся в объеме пленок вблизи поверхностного барьера. Если изучаемая пленка достаточно тонкая, то можно считать, что фотоэлектроны равномерно распределены в квазинейтральном объеме пленки [4, 5].

Предполагается, что при комнатной температуре электроны преодолевают барьеры на МГ туннелированием. Вероятность туннельного прохождения электрона через треугольный барьер определяется выражением

$$W = \exp\left(-\frac{16}{3\eta} \sqrt{\frac{\chi\chi_0 m_n}{e^2 N_d}} (E_F - E_S)\right),$$

где m_n — эффективная масса электронов;
 $N_d \approx 10^{16} \text{ см}^{-3}$ — концентрация электронов;
 $\chi\chi_0$ — диэлектрическая проницаемость полупроводника;
 $E_S < 0$ — энергия незаполненных состояний на МГ.

Проводимость одного блока с прилегающей к нему границей потенциальными барьерами выражается как

$$\sigma = eN_d\mu_n W,$$

где μ_n — подвижность электронов.

При освещении эффективная концентрация электронов в объеме пленки увеличивается на число фотоэлектронов в единице объема Δn (рис. 3), тогда проводимость блока при освещении увеличивается и составляет

$$\sigma_c = e(N_d + \Delta n)\mu_n W_c,$$

где

$$W_c = \exp\left[-\frac{16}{3\eta} \times \sqrt{\frac{\chi\chi_0 m_n}{e^2 (N_d + \Delta n)} \left(-kT \ln \frac{N_c}{N_d} - kT \ln\left(1 - \frac{\Delta n}{\Delta n + N_d}\right) - E_S\right)}\right]$$

вероятность прохождения электронов через барьер при освещении.

При этом

$$\frac{\sigma_c}{\sigma} = \left(1 + \frac{\Delta n}{N_d}\right) \exp\left[B \ln\left(1 - \frac{\Delta n}{\Delta n + N_d}\right)\right], \quad (1)$$

где

$$B = \frac{16kT}{3\eta} \sqrt{\frac{\chi\chi_0 m_n}{e^2 (N_d + \Delta n)}}.$$

Оцененная величина B для пленок $\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$ составляет $\sim 10^3$.

Пусть Δn меньше N_d настолько, что $\Delta n/(N_d + \Delta n) < 1$, тогда логарифм под экспонентой и экспоненту в

(1) можно разложить в ряд, и в первом приближении получаем

$$\frac{\sigma_c}{\sigma} \approx \frac{1 + \frac{\Delta n}{N_d}}{1 + B \frac{\Delta n}{N_d + \Delta n}}. \quad (2)$$

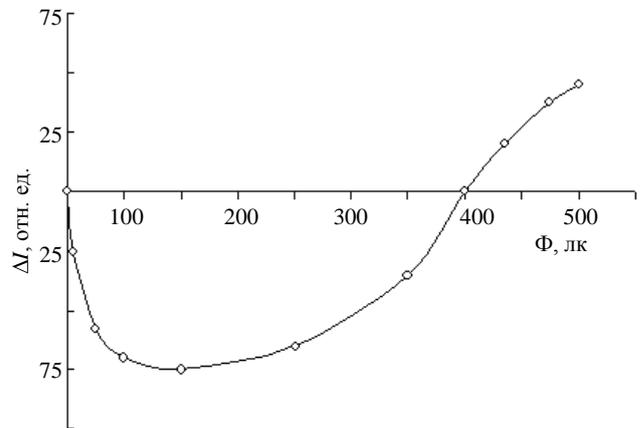


Рис. 3. Зависимость фототока в пленках $\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$ от интенсивности света ($\lambda = 660 \text{ нм}$) в области отрицательной фотопроводимости при $T = 300 \text{ К}$

Кратность изменения проводимости, рассчитанной по формуле (2), совпадает с экспериментальными данными.

Заключение

Отрицательная фотопроводимость наблюдается:

- при таких температурах, вероятность надбарьерного прохождения носителей которых гораздо меньше вероятности туннелирования;
- в пленках, имеющих большое значение диэлектрической проницаемости;
- в пленках, содержащих рекомбинационный барьер, не участвующий в токопереносе, но являющийся "резервуаром" для неосновных носителей;
- при экспериментальной регистрации эффекта при определенных уровнях освещения ($\Delta n < N_d$) и ощутимом сдвиге квазиуровня Ферми.

Литература

1. Городецкий И. Я., Ермолович И. Б., Полицкий Г. Н. Энергетический спектр локальных центров в монокристаллах $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Se}$ // ФТП. Т. 21. № 1. С. 63—67.
2. Lashkarev V. E., Lyubchenko A. V., Sheynkman M. K. Nonequilibrium processes in photoconductors. — Kiev. N. Dumka, 1991. — 264 p.
3. Sheynkman M. K., Korsunskaya N. E., Markevich I. V., Torchinskaya T. V. Recombinate-stimulated transformation of local centres in monocrystals CdS and ZnSe. In the book: Pros.

Inter. Conf. on radiative physics of semiconductors and affined materials. — Kiev, 1982. P. 676—679.

4. Jafarov M. A. // Inorganic Materials. 1999. V. 35. P. 1307—1312.

5. Abdinov A. Sh., Jafarov M. A., Mekhtiev N. M., Mamedov H. M.: Proc. SPIE 4340, 2000. P. 107—111.

Статья поступила в редакцию 11 октября 2006 г.

Functionalities of the $CdSe_{1-x}Te_x$ films in the IR area

A. Sh. Abdinov, M. A. Dzhabarov, E. F. Nasirov, S. A. Mamedova
Baku State University, Baku, Azerbaijan

Results of research of photo-electric properties for the $CdSe_{1-x}Te_x$ films are shown in this article.

УДК 621.315.592

Радиационно-стойкие фотоприемники на область спектра 0,35—1,1 мкм

Д. Ш. Абдинов, К. А. Аскеров, В. И. Гаджиева
Институт физики НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

М. Г. Бекташи
Завод "Искра", г. Баку, Азербайджан

Проведены разработка и исследование радиационной стойкости фотодиодов на основе слоистых соединений GaSe, InSe, GaTe, предназначенных для видимой и ближней ИК-областей спектра и процесса диффузии различных примесей в слоистых полупроводниках. Показано, что в новой технологии изготовления фотодиодных структур исходные материалы GaSe, InSe, GaTe подвергались воздействию ионизирующего облучения при малых флюенсах, а потом на них производились процессы диффузии компенсирующих элементов с предварительным отжигом. Указанные изменения в технологии получения фоточувствительных элементов позволили получить фотодиодные структуры более пяти элементов. Определена радиационная стойкость исследуемых фотодиодов и выявлена возможность использования их в условиях повышенной радиации.

Введение

На современном этапе развития науки одной из важнейших задач является создание фотоприемников в области спектра 0,35—1,1 мкм, работоспособных в условиях повышенной радиации.

Существующие в настоящее время фотоприемники в области спектра 0,35—1,1 мкм не в полной мере отвечают требованиям, предъявляемым по радиационной стойкости фотоэлектронным приборам. С другой стороны, создание фотоприемников на основе не очень дорогостоящих слоистых полупроводников, повышает эффективность, качество приборов и снижает трудоемкость при их изготовлении.

Исследование радиационной стойкости фотодиодов

Данная работа посвящена созданию и исследованию радиационной стойкости фотодиодов на

основе монокристаллов селенида галлия, селенида индия и теллурида галлия.

Для разработки фотодиодов изучены диффузия и растворимость различных примесей в указанных выше соединениях. Известно, что олово является компенсирующим элементом для селенида галлия и теллурида галлия, а индий и серебро — наиболее подходящие контактные материалы для указанных соединений, кристаллизующихся в гексагональной слоистой структуре и по механическим и электрофизическим свойствам являющихся анизотропными.

Монокристаллы селенида индия имеют *n*-тип проводимости при 300 К, поэтому здесь выбрано в качестве компенсирующего элемента золото, являющееся акцепторной примесью. Для получения диодных структур на основе указанных соединений необходимо изучение диффузии различных примесей на эти материалы.

Для исследования диффузии использовали специально нелегированные монокристаллические