

cathodic and anodic processes. The efficiency of the module is determined by the law of Faraday and depends on the number of meshes, size of their active area and the chosen current density. The regulation and stabilization of the fixed sizes of flow and the pressure of hydrogen are realized by the automatic regulator of current by means of flow sensors and pressure sensors

Keywords: instrument making, chromatograph, flame-ionization detector, hydrogen, gas analyzer, generator, electrolyzer

Досліджено вплив низькотемпературного відпалу вихідних монокристалів InSe на фотоелектричні властивості гетеропереходів n-InSe-p-InSe. Знайдено, що максимальне поліпшення фотоелектричних параметрів гетеропереходів n-InSe-p-InSe спостерігається при температурах відпалу 150 – 200°C. Підвищення якості монокристалічних зразків після відпалу підтверджується мультиплетністю спектрів ЯКР, які відображають упорядкування в системі політипії шаруватої структури InSe

Ключові слова: шаруваті напівпровідники, гетеропереходи, відпал кристалів, спектри ЯКР, структурні дефекти, фотоелектричні властивості

Исследовано влияние низкотемпературного отжига исходных монокристаллов InSe на фотоэлектрические свойства гетеропереходов n-InSe-p-InSe. Найдено, что максимальное улучшение фотоэлектрических параметров гетеропереходов n-InSe-p-InSe наблюдается при температурах отжига 150 – 200°C. Повышение качества монокристаллических образцов после отжига подтверждается мультиплетностью спектров ЯКР, которые отражают упорядочение в системе политипов слоистой структуры InSe

Ключевые слова: слоистые полупроводники, гетеропереходы, отжиг кристаллов, спектры ЯКР, структурные дефекты, фотоэлектрические свойства

УДК 621.315.592:539.143.43

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ НА ОСНОВЕ INSE И ЯДЕРНЫЙ КВАДРУПОЛЬНЫЙ РЕЗОНАНС В ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛАХ

В. А. Хандожко

Аспирант

Кафедра радиотехники и информационной безопасности

Физический факультет

Черновицкий национальный университет

им. Юрия Федьковича

ул. Коцюбинского, 2, г. Черновцы, 58012

Контактный тел.: (03722) 4-24-36

E-mail: khand@chv.ukrpack.net

З. Р. Кудринский

Аспирант*

Контактный тел.: (0372) -52-51-55

E-mail: zakhar.kovalyuk@gmail.com

З. Д. Ковалюк

Доктор физико-математических наук, профессор

Руководитель Черновицкого отделения Института проблем

материаловедения им. И.Н.Францевича НАН Украины*

Контактный тел.: (0372) -52-51-55

E-mail: zakhar.kovalyuk@gmail.com

*Институт проблем материаловедения

им. И.Н.Францевича НАН Украины

Черновицкое отделение

ул. Ирины Вильде, 5, г. Черновцы, Украина, 58001

1. Введение

В современных оптоэлектронных приборах значительную роль играют выпрямляющие структуры с гетеропереходами (ГП). Развитие данного направления электроники требует расширения класса используемых материалов. Как показывают исследования [1-4], слоистые кристаллы группы $A^{III}B^{VI}$, типичным представителем которых является моноселенид индия (InSe), являются перспективными материалами современной оптоэлектроники. Во-первых, слабая

ван-дер-ваальсовая связь между слоями данных полупроводников позволяет достаточно легко получать пластины этих соединений любой, вплоть до микронной, толщины с практически идеальной зеркальной поверхностью. Они не нуждаются в дополнительной обработке, и потому с практической точки зрения являются удобными для изготовления ГП. Во-вторых, поверхность этих кристаллов имеет низкую концентрацию дефектов, высокую степень инертности. А главное, что «атомная» гладкость сколотой поверхности позволяет использовать ме-

тод посадки на оптический контакт [5, 6], который в сочетании с предыдущими двумя особенностями, приводит к созданию резких ГП.

Фотопреобразователи видимого и ближнего инфракрасного (ИК) диапазонов на основе гетеропереходов n -InSe– p -InSe привлекают внимание исследователей, в первую очередь, ввиду их высокой радиационной стойкости [7, 8].

Однако известно, что слоистые кристаллы, а особенно InSe, обладают большим количеством структурных дефектов, в том числе, дефектами упаковки и наличием плоских дислокаций [9]. Чрезмерное количество этих дефектов негативно влияет на фотоэлектрические характеристики ГП, а соответственно и на приборы изготовленные на их основе.

Исследования ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР) в слоистых соединениях типа A^3B^6 [10-12] показали, что данная область радиоспектроскопии эффективно может быть использована для оценки совершенства кристаллов из группы GaS. Последнее обусловлено чувствительностью квадрупольных моментов атомных ядер галлия и индия к малейшим изменениям их электронного окружения. Это дает возможность бесконтактным способом оперативно контролировать дефектность кристалла по состоянию политипной структуры, которая является характерной для слоистых полупроводников.

В данной статье показана возможность улучшения электрических и фотоэлектрических параметров ГП n -InSe– p -InSe за счет снижения дефектности и сопротивления объемных материалов путем подбора режимов низкотемпературной обработки в вакууме как исходных кристаллов, так и структур на их основе. Позитивное влияние низкотемпературного отжига на качество кристаллической матрицы подтверждается упорядочением в системе политипов, что наблюдается по спектрам ЯКР.

2. Методика эксперимента

а) приготовление и контроль исходных материалов

Монокристаллы селенида индия выращивались методом Бриджмена из нестехиометрического состава компонент ($In_{1.03}Se_{0.97}$). Нелегированные кристаллы имели n -тип проводимости с концентрацией электронов $n \approx 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и подвижностью основных носителей $\mu_n = 800 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ при комнатной температуре. С целью изменения типа проводимости кристаллы легировались кадмием в количестве 0.1% по массе. Монокристаллы p -InSe характеризовались подвижностью основных носителей $\mu_p = 100 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ и концентрацией дырок $p = 10^{14} \text{ см}^{-3}$ при комнатной температуре. Подвижность и концентрацию свободных носителей заряда определяли из холловских измерений.

Морфология поверхности таких образцов исследовалась при помощи атомно-силового микроскопа (АСМ) Nanoscope IIIa Dimension 3000 SPM (Digital Instruments, USA)

Гетеропереходы n -InSe– p -InSe изготавливались методом «посадки на оптический контакт» тонких (~ 50 мкм) пластинок n -InSe на толстые (~ 200 мкм) подложки p -InSe [5, 6]. Все операция проводились исклю-

чительно на свежих сколах. Контакты изготавливались путем сплавления чистого индия. Площадь структур составляла ~ 0.25 см^2 . Последовательная термическая обработка осуществлялась в вакуумированных до $10^{-4} \text{ мм рт. ст.}$ ампулах при температурах 150, 200 и 250°С на протяжении 4 ч.

Измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) и частотной зависимости импеданса проводились при комнатной температуре с помощью амплитудно-частотного анализатора Solartron FRA 1255, совмещенного с аналого-цифровым преобразователем Solartron EI 1286. Исследования темнового поперечного импеданса осуществлялись в диапазоне частот $10^{-1} - 10^6 \text{ Гц}$.

Спектры fotocувствительности изготовленных гетеропереходов исследовались при помощи монохроматора МДР-23 с разрешающей способностью 2.6 нм/мм. Все спектры нормировались относительно количества падающих фотонов.

б) приготовление и контроль исходных материалов

Для исследования ЯКР в слоистых полупроводниках использовался радиоспектрометр импульсного типа с Фурье-преобразованием сигналов ядерной спиновой индукции. Для резонансноактивных ядер ^{115}In со спином $I=9/2$ в электрическом поле кристалла реализуются 4 спиновых перехода, которым отвечают средние частоты резонансов: 10,25; 20,55; 30,75; 41 МГц. Мультиплетные спектры сложной формы наблюдались на всех четырех переходах, однако для текущего контроля использовался инструментально удобный второй спиновый переход, для которого спектр ЯКР наблюдается в диапазоне 20,45 – 20,75 МГц. Возбуждение сигнала ядерной спиновой индукции осуществлялось подачей в приемный контур с образцом высокочастотного импульса длительностью $\tau=3 \text{ мкс}$ и мощностью $P=200 \text{ Вт}$. Для обработки отклика ядерной спиновой системы с целью извлечения спектра ЯКР путем быстрого Фурье-преобразования использовалась программное обеспечение цифрового осциллографа «BORDO-421».

Из работы [12] следует, что низкотемпературный отжиг улучшает качество монокристалла InSe. Последнее видно из повышения разрешающей способности спектра ЯКР после процедуры отжига. В результате отжигов наблюдается более четкая форма линий и увеличение их интенсивности, что может свидетельствовать о упорядочении структурных дефектов – политипов. В настоящей работе методом импульсной радиоспектроскопии изучены спектры ЯКР отожженных материалов. Проверка качества монокристаллического образца InSe, легированного Cd, была проведена после двухэтапного отжига: 150°C и 200°C длительностью по 4 часа. Наличие политипных модификаций в кристалле InSe приводит к мультиплетным спектрам ЯКР ^{115}In . Именно это обстоятельство вызывает сложную форму сигнала ядерной спиновой индукции после действия возбуждающего высокочастотного импульса (рис.1). Длительность спада сигнала отражает характерное время спин-спиновой релаксации (T_2^*) и, соответственно, ширину резонансных линий.

Для БПФ сигнала спиновой индукции в качестве весовой функции выбрано прямоугольное окно, ширина которого устанавливается автоматически согласно числу выборок исследуемого сигнала. Это дает воз-

возможность получить наиболее правдоподобный спектр, приближающийся к реальному. В результате преобразования сигнала спиновой индукции получен спектр из первообразных линий резонансного поглощения ЯКР, интенсивность которых отображает количество неэквивалентных ядер ^{115}In в элементарной ячейке кристаллической решетки InSe (рис.2). Высокое разрешение линий в спектре после отжига указывает на отсутствие заметных искажений периодичности кристаллического поля InSe за счет дислокаций или наличия отдельных кристаллических блоков. Для сопоставления приведен спектр ЯКР для монокристалла, который хранился около 10 лет при комнатной температуре (рис. 3). Состаренный нелегированный монокристалл InSe за счет низкотемпературного самоотжига имеет четкий набор резонансных линий и применяется в качестве контрольного образца при выборе заготовок для гетеропереходов. Наблюдаемый спектр является характерным для смеси политипов ϵ - γ - модификаций в InSe. Из сопоставления спектров ЯКР (рис.2 и рис.3) следует, что выращенный кристалл после двух этапов низкотемпературного отжига по качеству идентичен контрольному нелегированному образцу. Время для наблюдения спектра ЯКР и реализации БПФ составило всего около 10 секунд. Спектры наблюдались при температуре $T = 297^\circ\text{C}$.

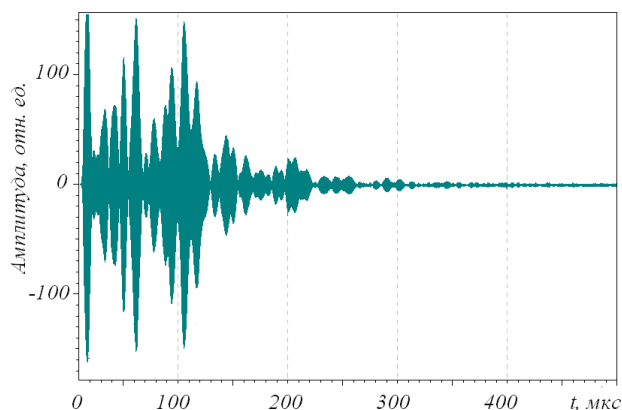


Рис. 1. Временная зависимость амплитуды сигнала спиновой индукции ядер ^{115}In в InSe, следующий сразу после действия высокочастотного импульса на образец на частоте 20,8 МГц

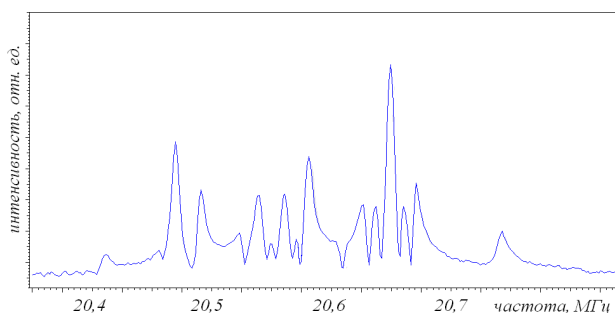


Рис. 2. Распределение интенсивности линий в спектре в зависимости от частоты для ЯКР ^{115}In в монокристаллическом InSe<Cd> после двухэтапного низкотемпературного отжига ($T=150^\circ\text{C}$, 200°C по 4 часа)

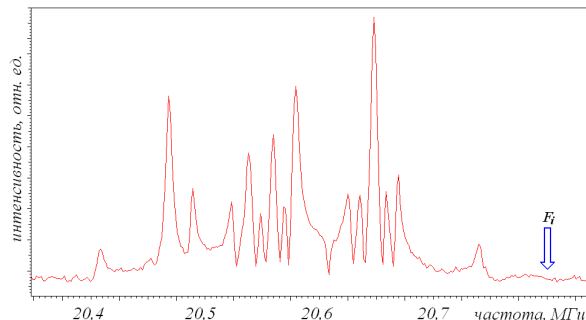


Рис. 3. Распределение интенсивности линий в спектре в зависимости от частоты для ЯКР ^{115}In в нелегированном монокристалле InSe после длительного самоотжига при комнатной температуре. F_1 - частота приложенного возбуждающего импульса

3. Структура *n*-InSe-*p*-InSe

АСМ-изображения поверхности слоистых кристаллов *n*-InSe и *p*-InSe показаны на рис. 4. Исследуемая поверхность скола (0001) характеризовалась низкой плотностью поверхностных состояний ($\leq 10^{10} \text{ см}^{-2}$), а среднearифметическое значение шероховатости составляло $\sim 0.053 \text{ нм}$ для *n*-InSe и $\sim 0.089 \text{ нм}$ для *p*-InSe. Полученные данные позволяют считать эти поверхности фактически атомарно-гладкими. Такое высокое качество поверхности скола слоистых кристаллов InSe дает возможность исключить проведение каких-либо дополнительных операций перед созданием гетеропереходов. На основе этих поверхностей формировались *n*-InSe-*p*-InSe структуры.

Для исследования отбирались гетеропереходы со среднестатистическими значениями U_{xx} и $J_{\text{кз}}$. Исследуемые гетероструктуры *n*-InSe-*p*-InSe обладали четко выраженными диодными характеристиками, о чем свидетельствует величина коэффициента выпрямления исходных образцов, которая при комнатной температуре и смещении 0.6 В достигала значения $K=120$. На рис. 5 показана динамика изменения темновых ВАХ гетероперехода *n*-InSe-*p*-InSe с отжигом.

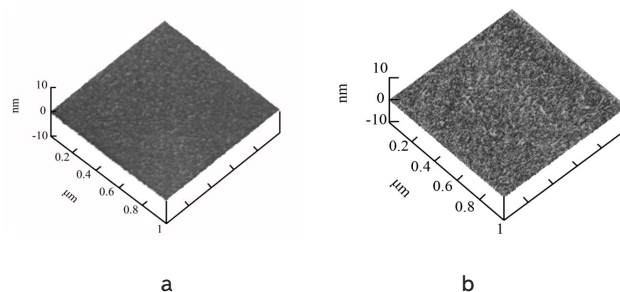


Рис. 4. Трехмерные изображения поверхности скола (0001) *n*-InSe (a) и *p*-InSe (b), полученные с помощью атомно-силового микроскопа

Прямые ветки ВАХ отвечают подключению положительного полюса внешнего источника тока к электроду со стороны *p*-InSe. В результате отжига происходит рост крутизны и сдвиг прямых ветвей ВАХ

влево, что может указывать на уменьшение удельного сопротивления контактирующих полупроводников.

С отжигом также наблюдается увеличение коэффициента выпрямления гетеропереходов *n*-InSe–*p*-InSe (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость коэффициента выпрямления гетеропереходов *n*-InSe–*p*-InSe от температуры и времени отжига

Температура отжига, °С	Время отжига, ч	$K_{\text{вып}}$ (при 0.6 В)
Без отжига		120
150	4	340
200	4	950

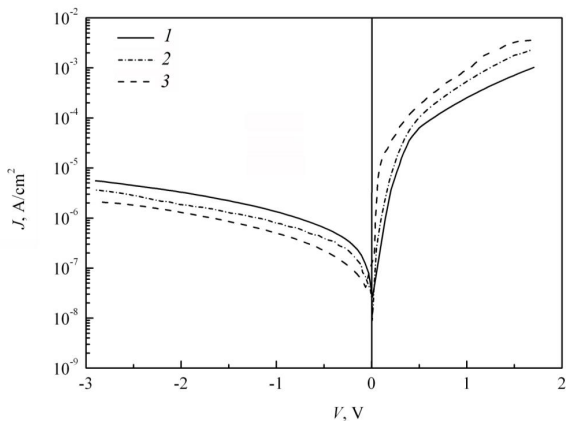


Рис. 5. Зависимость плотности тока от приложенного напряжения для структуры *n*-InSe–*p*-InSe при различных температурах отжига T , °С: 1 – исходный образец, 2 – 150, 3 – 200

Для более детального изучения процессов, которые происходят при отжиге в кристаллах была исследована частотная зависимость импеданса $Z^* = Z' - jZ''$, где Z' и Z'' действительная и мнимая части соответственно. На рис. 6 и 7 представлены диаграммы Найквиста образцов монокристаллов *n*-InSe и *p*-InSe, соответственно, которые подвергались низкотемпературным отжигам. Как видно из диаграмм, в обоих случаях, отжиги приводили к существенному уменьшению сопротивления вдоль оси с. Максимальное изменение активного сопротивления образцов селенида индия обоих типов наблюдалось при температуре отжига $T=200$ °С.

Для выяснения механизма влияния температуры отжига на фотоэлектрические характеристики исследовалась спектральная зависимость квантовой эффективности фототока (фотоотклик) структуры *n*-InSe–*p*-InSe (рис. 8). Видно, что с отжигом происходит увеличение амплитуды низкоэнергетического края, что свидетельствует об улучшении спектральной зависимости фотоотклика исследуемой структуры. Следует также отметить, что для всех образцов в InSe при $E_{\text{ex}} = 1.25$ эВ наблюдается экситонный пик, величина которого с отжигом растет и достигает максимума при температуре 200 °С, что можно связать с упорядочением структуры дефектов. Известно [13], что в несовершенных слоистых кристаллах экситонное поглощение не наблюдается.

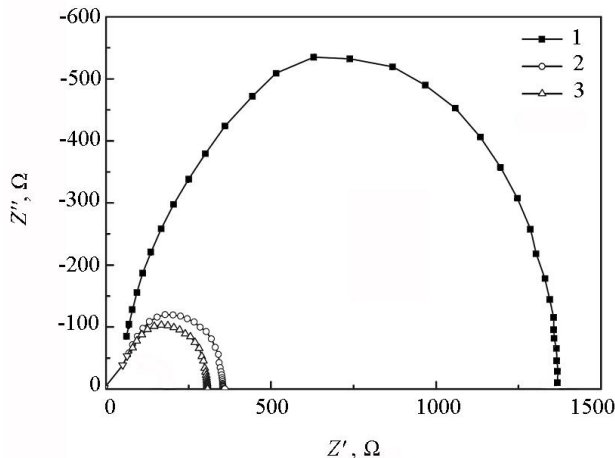


Рис. 6. Зависимость мнимой части импеданса от действительной части для монокристалла *n*-InSe, измеренная вдоль кристаллографической оси С при разных температурах отжига T , °С: 1 – исходный образец, 2 – 150, 3 – 200

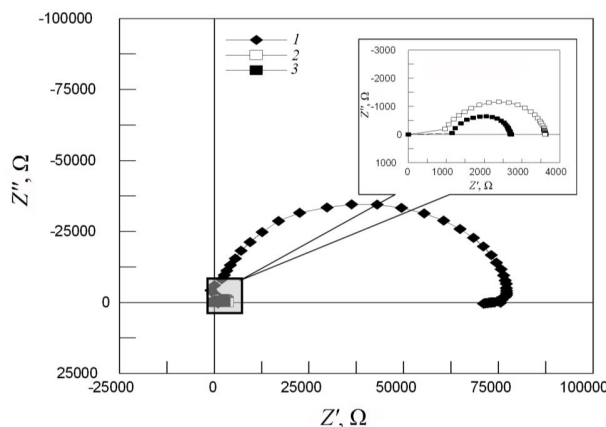


Рис. 7. Зависимость мнимой части импеданса от действительной части для монокристалла *p*-InSe<Cd>, измеренная вдоль кристаллографической оси С при разных температурах отжига T , °С: 1 – исходный образец, 2 – 150, 3 – 200

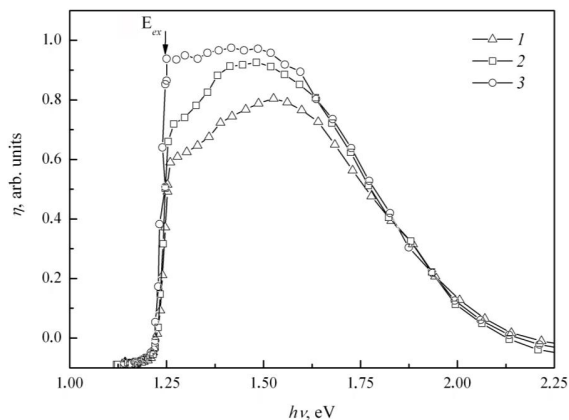


Рис. 8. Зависимость относительной квантовой эффективности структуры *n*-InSe–*p*-InSe от энергии фотонов ($h\nu$) при разных температурах отжига T , °С: 1 – исходный образец, 2 – 150, 3 – 200

Исходная структура *n*-InSe–*p*-InSe характеризовалась средними значениями фотоэлектрических пара-

метров: $U_{xx} = 0.29$ В и $J_{kз} = 350$ мкА/см². С отжигом их изменения имеют свои особенности (табл. 2).

Таблица 2

Изменение фотоэлектрических параметров структуры *n*-InSe–*p*-InSe в зависимости от температуры и времени отжига

Температура отжига, °С	Время отжига, ч	U_{xx} , В	$J_{kз}$, мкА/см ²	S_I , мА/Вт	S_V , В/Вт
Без отжига		0.29	350	120	$10,8 \cdot 10^3$
150	4	0.51	610	190	$13,2 \cdot 10^3$
200	4	0.56	840	227	$13,4 \cdot 10^3$
250	4	0.48	510	135	$6,8 \cdot 10^3$

Наблюдается позитивная тенденция по росту как тока короткого замыкания $J_{kз}$, так и напряжения холостого хода U_{xx} . Максимальное улучшение фотоэлектрических параметров наблюдалось после отжига при температуре 200 °С. Например, рост U_{xx} составил 93%, а $J_{kз}$ – 140%. Также увеличивались монохроматическая ампер-ваттная S_I и вольт-ваттная S_V чувствительности (табл. 2), которые вычислялись как отношение фототока (фотонапряжения) к мощности монохроматического потока излучения на длине волны $\lambda = 0.98$ мкм, вызвавшего появление этого фототока (фотонапряжения). Максимальный рост ΔS_I достиг

89%, а ΔS_V – 24%. Последующий отжиг при температуре 250 °С приводил к падению U_{xx} на ~14% и $J_{kз}$ на ~39%, хотя в сравнении с начальными значениями все равно можно говорить о росте U_{xx} на ~65% и $J_{kз}$ на ~46%.

Возрастание тока короткого замыкания $J_{kз}$ связывается с уменьшением сопротивления материалов *n*-InSe и *p*-InSe при отжиге, а напряжения холостого хода U_{xx} – с изменением концентрации дефектов в прилегающих областях гетероперехода.

4. Выводы

Исследовано влияние низкотемпературного отжига на электрические и фотоэлектрические характеристики гетеропереходов *n*-InSe–*p*-InSe. Установлено, что оптимальными температурно-временными режимами отжига, которые приводят к максимальному улучшению параметров гетеропереходов, являются 150–200 °С на протяжении 4 часов. Улучшение качества монокристаллов InSe после отжига подтверждается мультиплетными спектрами ЯКР, которые отражают упорядочение в системе политипов. С отжигом наблюдается позитивная тенденция по росту тока короткого замыкания ~140% и напряжения холостого хода ~93%. Также происходит увеличение амплитуды низкоэнергетического края спектра фотоотклика.

Литература

1. Катеринчук, В.Н. Получение гетероструктур окисел–*p*-InSe с улучшенными фотоэлектрическими характеристиками [Текст] / В.Н. Катеринчук, З.Д. Ковалюк // ФТП. – 2004. – Т. 38, № 4. – С. 417-421.
2. Катеринчук, В.Н. Размерный оптический эффект в наноструктурированных пленках In₂O₃ [Текст] / В.Н. Катеринчук, З.Р. Кудринский // ФТП. – 2013. – Т. 47, № 3. – С. 320-323.
3. Katerinchuk V.N., Kovalyuk M.Z. InSe *p-n* homojunction diodes. Phys. stat. sol. (a), 1992, Vol.133, № 1, pp. K45-K48.
4. Ковалюк, З.Д. Характеристики гетеропереходов окисел–*p*-InSe в условиях рентгеновского облучения [Текст] / З.Д. Ковалюк, В.Н. Катеринчук, О.А. Политанская, Н.Д. Раранский // ФТП. – 2006. – Т. 40, № 8. – С. 940-943.
5. Бакуменко, В.Л. Электрические свойства оптических контактов слоистых полупроводников [Текст] / В.Л. Бакуменко, В.Ф. Чишко // ФТП. – 1977. – Т. 11, № 10. – С. 2000-2002.
6. Бакуменко, В.Л. Исследование гетеропереходов InSe–GaSe, приготовленных посадкой на оптический контакт. II. Характеристики переходов с освещенным слоем [Текст] / В.Л. Бакуменко, З.Д. Ковалюк, Л.Н. Курбатов, В.Г. Тагаев, В.Ф. Чишко // ФТП. – 1980. – Т. 14, № 8. – С. 1573-1577.
7. Ковалюк, З.Д. Влияние гамма-облучения на свойства InSe-фотодиодов [Текст] / З.Д. Ковалюк, В.Н. Катеринчук, О.А. Политанская, О.Н. Сидор, В.В. Хомяк // Письма в ЖТФ. – 2005. – Т.31, №9. – С. 1-5.
8. Ковалюк, З.Д. Влияние нейтронного облучения на фотоэлектрические параметры структур *n*-*p*-InSe [Текст] / З.Д. Ковалюк, О.А. Политанская, П.Г. Литовченко, В.Ф. Ластовецкий, О.П. Литовченко, В.К. Дубовой, Л.А. Поливцев // Письма в ЖТФ. – 2007. – Т.33, №18. – С. 14-22.
9. Blasi C., Manno D., Mongelli S. The stacking of polytypes in InSe crystals. Phys. stat. sol. (a), 1985, Vol.90, No.1, pp. K5-K6.
10. Bastow T.J., Cambell I.D., Whitfield H.J. A ⁶⁹Ga, ¹¹⁵In NQR study of polytypes of GaS, GaSe and InSe. Sol. St. Com., 1981, V. 39, pp. 307-311.
11. Bastow T.J., Whitfield H.J. Nuclear Quadrupole Resonance of ⁶⁹Ga and ¹¹⁵In in Chalcogenides MX and M₂X₃. Journal of Magnetic Resonance, 1975, V.20, pp. 1-10.
12. Ластивка, Г.И. Влияние отжига на спектры ЯКР и характеристики гетерофотодиодов GaSe–InSe [Текст] / Г.И. Ластивка, О.Н. Сидор, З.Д. Ковалюк, А.Г. Хандожко // Восточно - Европейский Журнал передовых технологий. – 2010. – №4/5(46). – С. 28-34.
13. Abay B., Guder H.S., Efeoglu H., Yorgurtcu Y.K. Excitonic absorption and Urbach-Martienssen's tails in Er-doped and undoped *n*-type InSe. J. Phys. D: Appl. Phys, 1999, Vol.32, No. 22, pp. 2942-2948.

Abstract

The article studies the effect of low-temperature annealing of source single crystals InSe on the photoelectric

properties of the heterojunctions *n-InSe-p-InSe*. It was found that the maximum improvement of the parameters of the heterojunctions was observed at annealing temperatures of the source material 150 - 200 ° C and the duration of 4 hours. The improvement of the quality of single-crystal samples after annealing was confirmed by multiplicity of NQR spectra, which reflect the collating in the system of polytypes of layered structure of InSe.

Reduction of defects, including stacking and flat dislocations defects during annealing had had positive effect on the photoelectric parameters of the heterojunctions. The latter follows the dynamics of the current-voltage characteristics and the growth of photoresponse of the heterostructure *n-InSe-p-InSe*. The improvement of the characteristics of the heterojunction was connected with the change of concentration of defects near the heterojunction boundary and the decrease of the impedance in the volume of the sample along the *c* axis. For the annealed materials the structure *n-InSe-p-InSe* is characterized by an increase of the intensity of the exciton peak, the growth of the open-circuit potential from 0.29 to 0.56 V and the growth of the short-circuit current from 350 to 840 mA/sm². The maximum growth of the conversion factor according to the photocurrent and photovoltage at a wavelength of $\lambda = 0,98$ mkm after annealing was $\Delta SI = 89\%$, and $\Delta SV = 24\%$, respectively.

Keywords: layered semiconductors, heterojunctions, annealing of crystals, NQR spectra, structural defects, photoelectric properties.

Розглянута технологія формування відливок зі складними внутрішніми порожнинами, які не потребують подальшої механічної обробки за допомогою стрижнів з теплозахисною оболонкою

Ключові слова: стрижні, оболонки, металеві, що виплавляються

Рассмотрена технология формирования отливок со сложными внутренними полостями, не требующих последующей механической обработки, при помощи металлических стержней с теплозащитной оболочкой

Ключевые слова: стержни, оболочки, металлические, выплавляемые

УДК 621.74

ФОРМИРОВАНИЕ ОТЛИВОК СО СЛОЖНЫМИ ВНУТРЕННИМИ ПОЛОСТЯМИ ПРИ ПОМОЩИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ

А. А. Бондарь

Кандидат технических наук, доцент*

Контактный тел.: 097-337-57-27

E-mail: andrey-bondar@rambler.ru

Ю. М. Дудзинский

Доктор физико-математических наук, профессор**

Л. И. Солоненко

Аспирант*

К. В. Колесник*

Контактный тел.: 097-285-63-62

E-mail: kristykrista@mail.ru

*Кафедра технологий управления литейными процессами

**Кафедра физики

Одесский национальный политехнический университет
пр. Шевченко, 1а, г. Одесса, Украина, 65044

1. Введение

В современных условиях развития литейной промышленности существует необходимость производства готовых изделий, не требующих дополнительной обработки. Это особенно актуально при получении качественных полостей сложной формы в таких деталях, как поршни двигателей внутреннего сгорания, детали гидроаппаратуры и др. Так как изготовление сложных полостей механической обработкой встречает ряд трудностей из-за невозможности подведения реза

к внутренним частям детали, то мы вынуждены выполнять указанные детали сварными из двух и более частей, что, в свою очередь, снижает технологические свойства готовых изделий и вызывает дополнительные финансовые и трудовые затраты.

2. Постановка проблемы

Формирование таких внутренних полостей при помощи песчано-глинистых стержней на основе раз-