

Т.Л. Кушнер

УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь

**ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ
В ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫХ СТРУКТУРАХ
In/CuIn₃Se₅, In/CuGa₃Se₅, In/CuGa₅Se₈**

Введение

В настоящее время основные закономерности фотопроводимости в полупроводниках можно считать установленными и хорошо изученными. Создаются высокочувствительные фотодетекторы, которые находят широкое применение в науке и технике. Наиболее актуальным становится изучение фотопроводимости и фотоактивного поглощения в неоднородных системах, например, в гетероструктурах на основе уже изученных полупроводников.

Выпрямляющие контакты между металлом и полупроводником (барьеры Шоттки) находят широкое распространение в микроэлек-

троники, в выпрямителях СВЧ диапазона, интегральных схемах. Последние на основе полупроводниковых приборов с барьером Шоттки по многим параметрам и характеристикам превосходят схемы на биполярных структурах. Контакты металл-полупроводник особенно перспективны для применения в качестве сверхбыстродействующих импульсных и высокочастотных элементов. В этом направлении исследований, особенно, если это касается новых полупроводниковых материалов, имеется целый ряд физических проблем, требующих своего теоретического и экспериментального решения. В данной статье приведены результаты исследований фоточувствительных поверхностно-барьерных структур $\text{In/CuIn}_3\text{Se}_5$, $\text{In/CuGa}_3\text{Se}_5$, $\text{In/CuGa}_5\text{Se}_8$.

1. Основная часть

Для создания фоточувствительных структур $\text{In/CuIn}_3\text{Se}_5$, $\text{In/CuGa}_3\text{Se}_5$, $\text{In/CuGa}_5\text{Se}_8$ из выращенных кристаллов [1, 2] вырезали плоскопараллельные пластинки, которые механически шлифовали и полировали, а затем подвергали обработке в полирующем травителе состава $\text{Br}_2:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}=1:3$. Средние размеры пластин после такой обработки составляли $5 \times 5 \times 0,5-1$ мм. Использовали также зеркальные плоскости сколов. В этом случае какой-либо обработке поверхности пластин не подвергались. Структуры получали вакуумным термическим напылением металлического индия (толщина слоя 1–2 мкм) на поверхность кристаллов, находившихся при комнатной температуре и не подвергавшихся какому-либо нагреву при напылении слоев, что позволяло не принимать в учет возможность образования на границе слоя с подложкой других фаз. Омические контакты создавались пайкой контактных проводников с помощью сплава на основе галлия (рисунок 1).

Измерение фотоэлектрических свойств указанных поверхностно-барьерных структур осуществлялось на установке, собранной на базе монохроматора SPM–2. Методика и описание схемы измерений приведены в [3].

Все зарегистрированные спектры пересчитывались на равное число падающих квантов, либо на одинаковую интенсивность излучения. Линейность зависимости фотоответа от интенсивности излучения достигалась подбором соответствующего нагрузочного сопротивления. Мощность падающего на образец излучения регулировалась с помощью набора нейтральных светофильтров. Спектральное разрешение, реализованное при исследовании созданных нами структур, составляло ~ 1 мэВ.

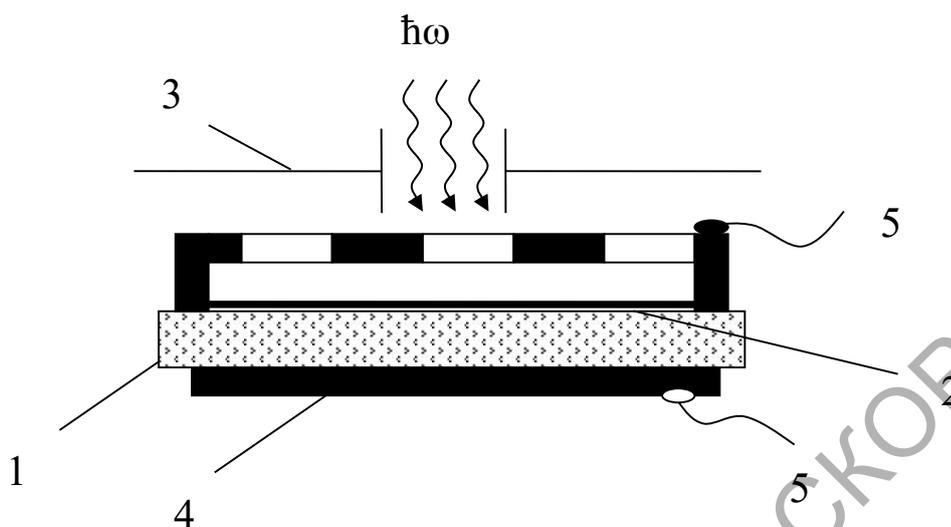


Рисунок 1 – Схема фоточувствительной структуры In/CuIn₃Se₅
 1 – пластина полупроводника CuIn₃Se₅; 2 – пленка In; 3 – диафрагма;
 4 – омический контакт к полупроводнику; 5 – токоподводящие провода

Использованные при создании поверхностно-барьерных структур кристаллы тройных соединений CuIn₃Se₅, CuGa₃Se₅ и CuGa₅Se₈ являются высокоомными компенсированными полупроводниками.

При освещении полученных барьеров Шоттки воспроизводимо наблюдался фотовольтаический эффект. Характерно, что знак фотонапряжения не зависел от геометрии фоторегистрации и изменений в локализации светового зонда вдоль поверхности структуры. Это обстоятельство позволило предположить, что разделение фотогенерированных носителей заряда осуществляется активной областью, возникающей при нанесении на поверхность тройных соединений слоя металла. Как правило, максимальное значение S_U достигалось при освещении структур со стороны слоя металла. Максимальное фотонапряжение составило $\sim 0,3$ В и было обнаружено в барьерах In/CuGa₃Se₅ при их освещении лампой накаливания с мощностью $P \approx 80$ Вт [3].

Типичные спектральные зависимости относительной квантовой эффективности фотопреобразования η для барьеров Шоттки In/ I–III_n–VI_m при $T=300$ К приведены на рисунке 2 при освещении их со стороны барьерных контактов. Обращает на себя внимание широкополосный характер спектров фоточувствительности барьеров Шоттки на таких полупроводниках.

В случае барьеров Шоттки In/CuIn₃Se₅ на длинноволновом спаде η обнаруживается четкий излом (рисунок 2, кривая 1), который может быть приписан фотоактивному поглощению с участием глубоких

уровней дефектов кристаллической решетки, удаленных от одной из свободных зон на $0,2\text{эВ}$. Следует заметить, что такие уровни ранее были отмечены и в случае структур на основе тройного соединения CuInSe_2 [4]. В спектрах η на основе других тройных соединений этой группы (рисунок 2, кривые 2, 3) такие особенности в примесной области не проявляются.

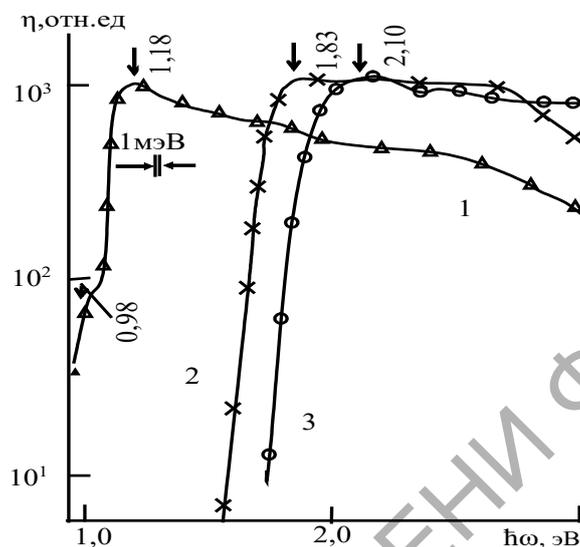


Рисунок 2 – Спектральные зависимости квантовой эффективности фотопреобразования η от $\hbar\omega$ для структур при $T=300\text{ К}$ $\text{In/CuIn}_3\text{Se}_5$ (1), $\text{In/CuGa}_3\text{Se}_5$ (2) и $\text{In/CuGa}_5\text{Se}_8$ (3)

Достигнутый в структурах на основе тройных соединений $\text{I-III}_n\text{-VI}_m$ с упорядоченными вакансиями широкополосный характер спектров fotocувствительности при освещении со стороны барьерного контакта свидетельствует о достаточно высоком качестве барьеров Шоттки на новых материалах. Действительно, наиболее выраженный коротковолновый спад характерен только для структур на основе тройного соединения CuIn_3Se_5 (рисунок 2, кривая 1). Полная ширина спектров fotocувствительности на полувысоте в них оказалась довольно значительной и равной $\delta \approx 900\text{ мэВ}$, для остальных соединений группы $\text{I-III}_n\text{-VI}_m$ этот параметр оказывается еще выше, поскольку коротковолновый спад η в широкой спектральной области для них практически не проявляется (рисунок 2, кривые 2, 3). Полезно отметить, что представленные фотоэлектрические параметры барьеров Шоттки для указанных полупроводниковых соединений не проявили каких-либо деградационных явлений. Эти характеристики хорошо воспроизводились для образцов, изготовленных из различных участков кристаллов [5].

Длинноволновый край спектров fotocувствительности барьеров в координатах $(\eta \cdot \hbar\omega)^2 = f(\hbar\omega)$ спрямляется (рисунок 3), что позволяет связать его с осуществлением прямых межзонных переходов в таких полупроводниках, а полученное экстраполяцией кривой $(\eta \cdot \hbar\omega)^2$ к нулю значение энергии приписать ширине запрещенной зоны (E_g). Полученное значение E_g при замене индия на галлий обнаруживает типичное для соединений I–III–VI₂ увеличение ширины запрещенной зоны полупроводника. Аналогичное поведение характерно для E_g при увеличении n от 3 к 5 и m от 5 до 8 на примере соединений CuGa_3Se_5 и CuGa_5Se_8 .

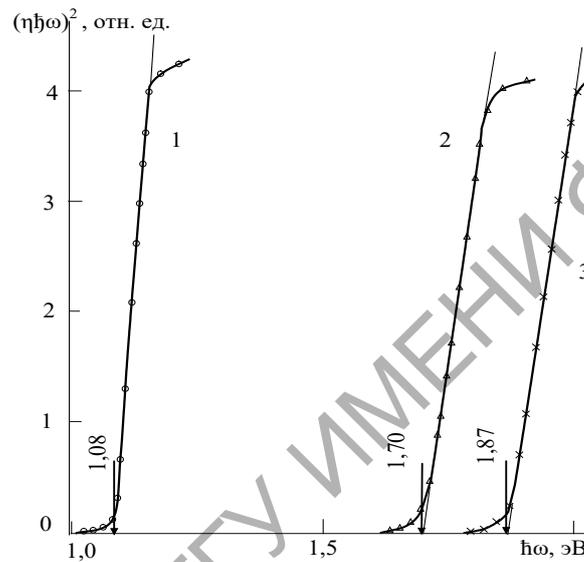


Рисунок 3 – Длинноволновый край спектров fotocувствительности барьеров $\text{In}/\text{CuIn}_3\text{Se}_5$ (1), $\text{In}/\text{CuGa}_3\text{Se}_5$ (2) и $\text{In}/\text{CuGa}_5\text{Se}_8$ (3)

Заклучение

Созданы fotocувствительные поверхностно-барьерные структуры $\text{In}/\text{CuIn}_3\text{Se}_5$, $\text{In}/\text{CuGa}_3\text{Se}_5$, $\text{In}/\text{CuGa}_5\text{Se}_8$. Достигнутый в таких структурах широкополосный характер спектров fotocувствительности при освещении со стороны барьерного контакта свидетельствует о высоком качестве барьеров Шоттки. В случае барьеров Шоттки $\text{In}/\text{CuIn}_3\text{Se}_5$ на длинноволновом спаде η обнаруживается четкий излом, который может быть приписан фотоактивному поглощению с участием глубоких уровней дефектов кристаллической решетки. Вольтовая fotocувствительность S_U достигала максимального значения при освещении со стороны слоя In и была наибольшей $S_U=750$ В/Вт для поверхностно-барьерных структур $\text{In}/\text{CuGa}_5\text{Se}_8$. Длинноволновый край спектров fotocувствительности барьеров $\text{In}/\text{CuIn}_3\text{Se}_5$, $\text{In}/\text{CuGa}_3\text{Se}_5$ и $\text{In}/\text{CuGa}_5\text{Se}_8$ в координатах $(\eta \cdot \hbar\omega)^2 = f(\hbar\omega)$

спрямляется, что позволяет связать его с осуществлением прямых межзонных переходов в полупроводниках, и определить значение ширины запрещенной зоны E_g соединений CuIn_3Se_5 , CuGa_3Se_5 и CuGa_5Se_8 . Данные структуры $\text{In/CuIn}_3\text{Se}_5$, $\text{In/CuGa}_3\text{Se}_5$, $\text{In/CuGa}_5\text{Se}_8$ могут использоваться для создания широкополосных фотопреобразователей естественного излучения.

Литература

1. Crystal Growth and Properties of the Compounds CuGa_3Se_5 and CuIn_3Se_5 / N.S. Orlova, I.V. Bodnar, T.L. Kushner, E.A. Kudritskaya // Cryst. Res. Technol. – 2002. – Vol. 37, №. 6. – P. 540–550.

2. Orlova, N.S. Preparation, structure and thermal properties of CuGa_5Se_8 / N.S. Orlova, I.V. Bodnar, T.L. Kushner // Cryst. Res. Tech. – 2003. – Vol. 38, №. 2. – P. 125–132.

3. Фотоэлектрические свойства структур $\text{In/CuIn}_3\text{Se}_5$ и $\text{In/CuGa}_3\text{Se}_5$ / И.В. Боднар, Т.Л. Кушнер, В.Ю. Рудь, Ю.В. Рудь, М.В. Якушев // Журнал прикладной спектроскопии. – 2002. – Т.69, №4. – С. 520–522.

4. Фоточувствительность структур на основе тройных соединений $\text{I-III}_n\text{-VI}_m$ с упорядоченными вакансиями / И.В. Боднар [и др.] // ФТП. – 2002. – Т. 36, № 10. – С. 1211–1214.

5. Preparation and investigation of heterostructures based on the $\text{I-III}_n\text{VI}_m$ ternary compounds / I.V. Bodnar, T.L. Kushner, Yu.V. Rud, V.Yu. Rud // E-MRS Spring Meeting 2002: book of Papers European Materials Research Society, Strasbourg, France, 18–21 June 2002 / Materials Science and Engineering B. – Strasbourg, 2002. – E-6.