

УДК 621.315.592

Фотоприемник с управляемой спектральной характеристикой на основе гетероструктуры $n\text{-ZnS—}n\text{-GaAs}$

Ю. В. Сусяков, И. В. Кормильцев

Рассмотрены технология получения, структурные и фотоэлектрические свойства гетероэпитаксиальных слоев сульфида цинка на арсениде галлия. Показано, что спектральная характеристика изотипных гетероструктур $n\text{-ZnS—}n\text{-GaAs}$ имеет три максимума с длинами волн 750, 450 и 335 нм. При переходе из длинноволновой области в коротковолновую область излучения и обратно происходит смена знака фотоответа. Вид спектральной характеристики изотипной гетероструктуры $n\text{-ZnS—}n\text{-GaAs}$ зависит от знака и величины приложенного напряжения.

PACS: 85.60.-q

Ключевые слова: гетероэпитаксиальный слой, гетероструктура, фотоэлектрические свойства.

Введение

Одним из актуальных направлений твердотельной электроники, микро- и нанoeлектроники является создание полупроводниковых гетероструктур — контактов двух различных по химическому составу и свойствам полупроводников. Научный интерес к этим объектам обусловлен, с одной стороны, их нетривиальными физическими свойствами, связанными со сложной упорядоченной структурой и взаимодействием на границе раздела, а с другой — перспективами использования для создания эффективных фотопреобразователей в ультрафиолетовой, видимой и дальней инфракрасной областях спектра, инжекционных лазеров и светодиодов [1, 2].

В статье рассмотрены гетероструктуры на основе соединений сульфида цинка и арсенида галлия и их возможные приложения в фотоэлектронике. Выбор этой пары был основан на том, что при комнатной температуре постоянные решеток GaAs и кубического ZnS различаются не более чем на 4,0 %. Близки и коэффициенты термического расширения этих материалов, а также их диэлектрические проницаемости. Кроме того, GaAs и ZnS полностью взаимно растворимы в твердом состоянии, и, следовательно, GaAs должен служить хорошей подложкой для эпитаксиального осаждения ZnS [3].

Технология получения

Слои ZnS были получены газотранспортным методом в открытой системе в потоке водорода. Выбор этого метода обусловлен рядом преимуществ водорода по сравнению с другими газами-транспортерами. Во-первых, водород является нейтральной примесью в ZnS. Во-вторых, испаряемость ZnS в атмосфере водорода выше, чем в вакууме или нейтральной среде (азоте, аргоне) вследствие взаимодействия серы с водородом. Это дает возможность получить эпитаксию ZnS при относительно невысоких температурах. В-третьих, водород, являясь хорошим восстановителем при повышенных температурах, дает возможность очистить поверхность подложки газовым травлением перед самой эпитаксией. В качестве подложек использовался монокристаллический $n\text{-GaAs}$ с концентрацией носителей $10^{16}\text{—}10^{18}\text{ см}^{-3}$, ориентированный по плоскостям (100) и (111).

Электронографические и рентгеноструктурные исследования показали, что эпитаксиальные слои ZnS имеют монокристаллическую структуру и реагируют на ориентацию подложки. Слои ZnS обнаруживают зависимость фигур роста от ориентации подложки. Так, на подложках (111) GaAs растут многочисленные шестиугольные или треугольные пирамиды с плоской вершиной. Эпитаксиальные слои, выращенные на подложках (100) GaAs, не обнаруживали характерных фигур роста (рис. 1, а). На подложках $(\overline{111})$ As наблюдались фигуры роста с характерной огранкой, как правило, гексагональные (рис. 1, б). При ориентации подложек (111) Ga наблюдались фигуры роста преимущественно тетраэдрические (треугольные, рис. 1, в). Первые связаны с ростом ZnS гексагональной, а вторые — кубической модификаций.

Сусяков Юрий Васильевич, доцент.
Кормильцев Иван Васильевич, старший преподаватель.
Калмыцкий государственный университет.
Россия, 358000, Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11.
Тел. (8-84722) 3-90-11. E-mail: Suslyakov48@mail.ru

Статья поступила в редакцию 16 января 2010 г.

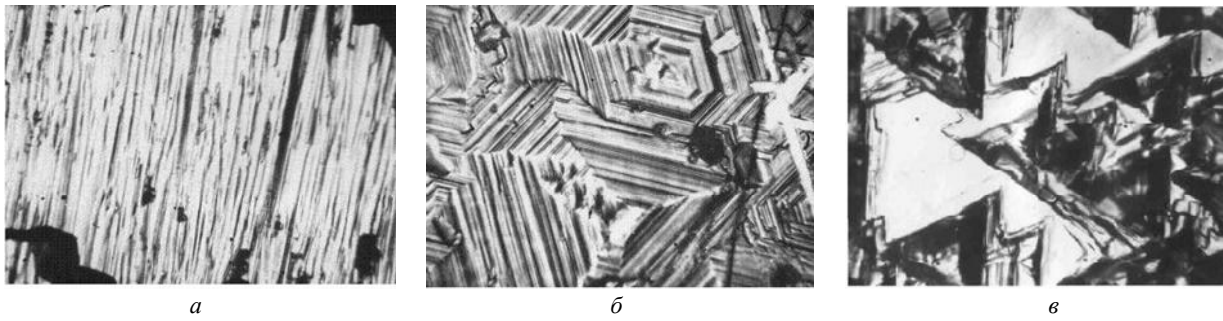


Рис. 1. Морфология эпитаксиальных слоев ZnS на GaAs:

a — (100) GaAs; *б* — (111) As; *в* — (111) Ga

Фотоэлектрические свойства

Изотипные n -ZnS— n -GaAs гетероструктуры обладали fotocувствительностью. Вид спектральных характеристик фотоответа гетероструктур n -ZnS— n -GaAs зависел от величины и знака приложенного напряжения смещения (рис. 2). Для напряжений смещения менее 3,0 В fotocувствительность гетероструктур имеет максимум при $\lambda = 750$ нм (рис. 2, кривая 1) и спадает до нуля в коротковолновой области длин волн. При напряжениях смещения больших 3,0 В в спектре fotocувствительности появляется второй максимум с $\lambda = 390$ нм (рис. 2, кривая 2), резко возрастающий с увеличением напряжения смещения (рис. 2, кривая 3). Для смещения другой полярности наблюдается fotocувствительность только в ZnS с максимумом $\lambda = 390$ нм (рис. 2, кривая 5), увеличивающаяся с ростом напряжения смещения.

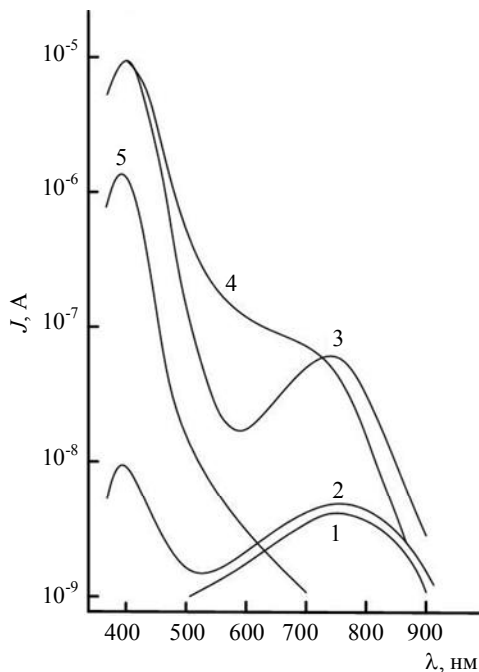


Рис. 2. Спектральные характеристики фотоответа изотипной гетероструктуры n -ZnS— n -GaAs при различных напряжениях смещения: "плюс" на ZnS: 1 — 3,0 В; 2 — 5,0 В; 3, 4 — 30,0 В; "минус" на ZnS: 5 — 30,0 В

Если при снятии спектра fotocувствительности двигаться из длинноволновой области в коротковолновую, то на спектральной кривой fotocувствительности наблюдаются два максимума (рис. 2, кривая 3), при обратном же движении максимум с $\lambda = 750$ нм сглаживается (рис. 2, кривая 4).

Эти результаты можно объяснить, предполагая, что при выращивании ZnS на подложках n -GaAs формируется гетеропереход с двусторонним обеднением, а также влиянием переходного слоя твердого раствора ZnS—GaAs, образующегося на границе раздела. Можно предположить, что наблюдаемое сглаживание длинноволнового максимума (рис. 2, кривая 4) связано с явлением остаточной fotocувствительности, в значительной степени определяющейся свойствами высокоомного слоя ZnS, включенного последовательно с гетеропереходом.

Как видно из рис. 3, на спектральной кривой характеристики напряжения холостого хода изотипной гетероструктуры n -ZnS— n -GaAs наблюдаются три максимума с длинами волн 750, 450 и 335 нм. Эти три максимума соответствуют трем процессам возбуждения: генерации фотоносителей в GaAs ($\lambda = 750$ нм) и ZnS ($\lambda = 335$ нм) и фотоносителей на границе раздела ($\lambda = 450$ нм) из образовавшегося твердого раствора ZnS в GaAs, ширина запрещенной зоны которого меняется от $E_g = 1,48$ эВ (GaAs) до $E_g = 3,7$ эВ (ZnS). Смена знака на спектральной характеристике фотоответа указывает на то, что гетероструктура состоит из включенных навстречу двух барьеров — один со стороны GaAs, другой — со стороны ZnS и переходного слоя, состоящего из твердого раствора ZnS в GaAs. На существование двух встречно включенных барьеров указывают вольт-амперная и вольтемкостная характеристики изотипной гетероструктуры.

При фиксированном обратном (знак "плюс" на ZnS) напряжении $U = 10$ В и освещении белым светом интенсивностью $I = 7 \cdot 10^{-5}$ Вт/см² при $\Delta f = 1$ кГц определена пороговая чувствительность структур, которая, приблизительно, равна

$$P_n = 4,6 \cdot 10^{-12} \text{ Вт/см} \cdot \text{Гц}^{1/2}.$$

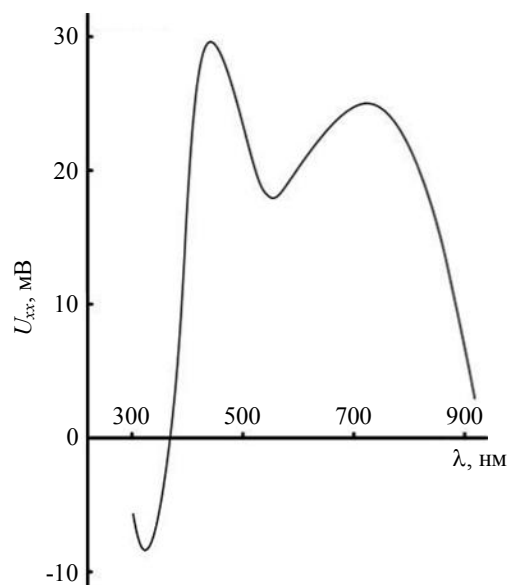


Рис. 3. Спектральная характеристика напряжения холостого хода изотипной гетероструктуры *n-ZnS—n-GaAs*

Заключение

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что гетероструктура *n-ZnS—n-GaAs* перспективна для дальнейшего изучения в качестве возможного низкотемпературного фотоприемника с широкой спектральной областью 335—900 нм и с пороговой чувствительностью порядка $P_n = 4,6 \cdot 10^{-12}$ Вт/см·Гц^{1/2}.

Литература

1. Бланк Т. В., Гольдберг Ю. А. Полупроводниковые фотопреобразователи для ультрафиолетовой области спектра (обзор)// ФТП. 2003. Т. 37. № 9. С. 1025.
2. Физика и химия соединений А²В⁶: пер. с англ.// Под ред. С. А. Медведева. — М.: Мир, 1970.
3. Yim W. M., Dismukes J. P., Kressel H. Vapor Growth of (II—VI) Quaternary Alloys and Their Properties// RCA Review. 1970. V. 31. No. 4. P. 662.

Photodetector with guided wavelength characteristics on the basis of the *n-ZnS—n-GaAs* heterostructure

Yu. V. Suslyakov, I. V. Kormiltsev

Kalmyk State University, 11 Pushkin's str., Elista, Republic Kalmykia, 358000, Russia

E-mail: Suslyakov48@mail.ru

*The technology of reception, structural and photo-electric properties of heteroepitaxial layers of such as ZnS on gallium arsenide are considered. It is shown that the spectral characteristics of the isotip *n-ZnS—n-GaAs* heterostructures have three maxima 750, 450 and 335 nm with lengths of waves. At transition from long-wave area in short-wave area of radiation and back there is a change of a sign on the photoanswer. The spectral characteristics of the *n-ZnS—n-GaAs* heterostructures depend on a sign and size of the applied volts.*

PACS: 85.60.-q

Keywords: heteroepitaxial layer, heterostructure, photoelectric properties.

Bibliography — 3 references.

Received January 16, 2010