

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПО ПЛОЩАДИ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР InGaAsSb/GaSb

Гаврушко В. В.¹, Григорьев А. Н.²

¹ФГОУ ВПО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого» Великий Новгород, Россия (173003, Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41), e-mail: Valery.Gavrushko@novsu.ru

²ЗАО «Планета- АРГАЛ» Великий Новгород, Россия (173004, Великий Новгород, ул. Федоровский ручей, 2/13) e-mail: gss2@yandex.ru

При изготовлении фотодиодов на основе гетероэпитаксиальных структур с хорошими электрическими характеристиками наблюдался низкий процент выхода годных изделий из-за брака по фотоэлектрическим параметрам. В работе представлены результаты исследования распределения фоточувствительности по площади для структур $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}/\text{GaSb}$ при значениях $x=0,18$ и $y=0,17$. Эпитаксиальные структуры были получены методом жидкофазной эпитаксии. Приведено описание установки и методика измерения, основанная на использовании эталона сравнения. Для исключения паразитных фото ЭДС, связанных с наличием широкозонной подложки, в установке использован германиевый фильтр. На пластинах обнаружены явно выраженные области с высокой и низкой фоточувствительностью. Разброс значений чувствительности в разных частях пластины достигал 3 крат. Оценки абсолютных значений токовой чувствительности для лучших образцов оказались близкими к предельно возможному. Предлагаемая установка и методика исследований может быть успешно использована для отработки технологии жидкофазной эпитаксии и оценки качества пластин при их поставке потребителю.

Ключевые слова: эпитаксиальные структуры InGaAsSb/GaSb , токовая чувствительность, площадь, светофильтр.

ON THE PHOTOSENSITIVITY DISTRIBUTION OVER THE InGaAsSb/GaSb EPITAXIAL STRUCTURES AREA

Gavrushko V. V.¹, Grigoriev A. N.²

¹Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia (173003 Veliky Novgorod, ul. B. St. Petersburgskaya, 41), e-mail: Valery.Gavrushko@novsu.ru

²Planet-Argal, Veliky Novgorod, Russia (173004, Veliky Novgorod, ul. Fedorovsky creek, 2/13) e-mail: gss2@yandex.ru

In the manufacture of photodiodes based on the heteroepitaxial structures with good electrical characteristics, a low-percentage yield of suitable was seen because of the photoelectric parameters failure. The results of the photosensitivity distribution over the area for the $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}/\text{GaSb}$ structures for the values of $x = 0.18$ and $y = 0.17$ are presented the epitaxial structures were grown research by a liquid phase epitaxymethod. A description of the installation and a measurement technique based on the use of reference standards are given. To eliminate spurious photo EMF associated with the presence of wide-zone Substrate a germanium filter is used in the installation. Clearly defined areas of high and low photosensitivity are detected on the plates. The spread of sensitivity values in different parts of the plate reached 3-fold value. The estimates of the absolute values of the current sensitivity of the best samples were close to the maximum possible. The proposed installation and research methods can be successfully used for development of the technology of liquid phase epitaxy and the plate quality evaluation during their delivery to the consumer.

Keywords: InGaAsSb / GaSb epitaxial structure, current sensitivity, size, color filter.

Основным достоинством твердого полупроводникового раствора $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}/\text{GaSb}$ при значениях $x=0,18$ и $y=0,17$ является возможность реализации на его основе неохлаждаемых фотодиодов с красной границей фоточувствительности 2,3 мкм, что позволяет использовать их в различных областях техники: системах пожарной сигнализации, медицинских и научных приборах. [4,5,6]. При изготовлении эпитаксиальных структур обычно их качество оценивается по электрическим

характеристикам тестовых структур [1]. Однако обнаружилось, что при использовании эпитаксиальных структур с малыми обратными токами некоторые из них имели низкий процент выхода годных изделий из-за брака по фотоэлектрическим параметрам. В связи с этим нами была разработана методика и проведено исследование распределения токовой чувствительности по площади пластины с выращенной фотодиодной эпитаксиальной структурой.

Измерение интегральной токовой чувствительности проводилось методом сравнения с эталоном в соответствии с рекомендациями [2]. Схема используемой установки приведена на рисунке 1. В качестве источника излучения использована лампа накаливания 3, в которой поддерживался стабильный ток накала. Исследуемые образцы 1 изолировались от внешнего освещения светонепроницаемым экраном 6, имеющим окно 5 с германиевым светофильтром 4. Использование светофильтра устраняло коротковолновую радиацию вплоть до значения $\lambda' = 1,8$ мкм. Это позволяло исключить появление паразитных фото ЭДС, возникновение которых возможно на контактах с широкозонной подложкой. В качестве эталона сравнения были использованы смонтированные в корпуса фотодиоды на основе аналогичного материала с известной чувствительностью и площадью кристалла. Эталонный фотодиод помещался на таком же расстоянии от источника света, как и образец. В непосредственной близости от образца на основании 2 смонтирован усилитель 8 с источником питания 9, а также упругий контактный зонд 7. Электрическая схема измерительной установки приведена на рисунке 2. Использование трансимпедансного преобразователя на основе операционного усилителя, охваченного отрицательной обратной связью, позволяло измерять ток фотодиода в режиме короткого замыкания, при напряжении близком к нулю. Последнее обстоятельство исключало влияние на результаты измерения токов проводимости р-п перехода. Таким образом, измеряемое вольтметром напряжение было пропорциональным фототоку.

В работе было исследовано распределение токовой чувствительности по площади для 19 пластин. Пластины имели размеры примерно 10×25 мм², на каждой из которых методом химического травления формировалось от 12 до 24 фотодиодных мезоструктур.

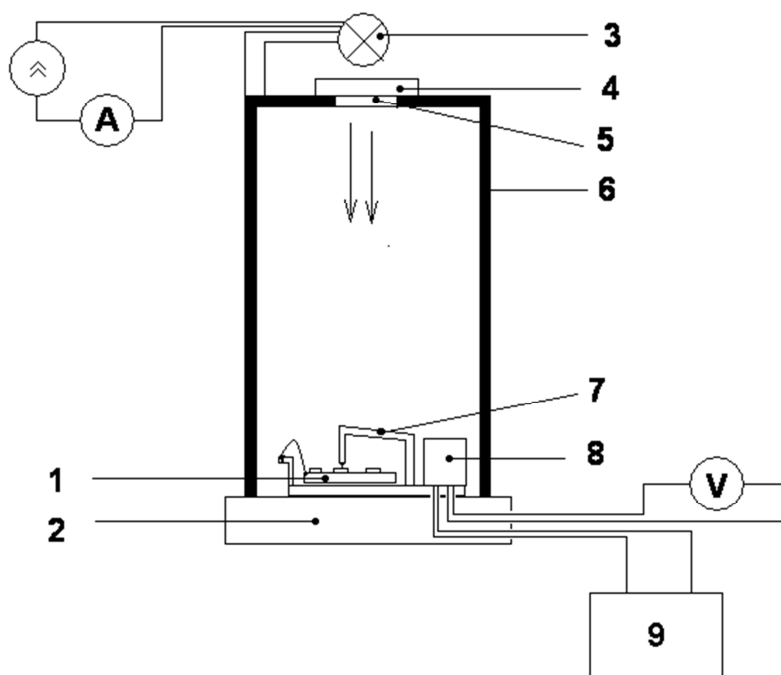


Рисунок 1. Установка для исследования фоточувствительности

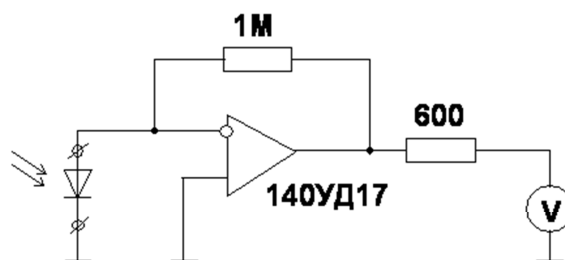


Рисунок 2. Измерительная схема

Чувствительность исследуемого образца определялась в соответствии с выражением:

$$S_i = S_{i_3} \frac{A_3 \times \Delta U}{A \times \Delta U_3}$$

Где: A – площадь исследуемой структуры;

A_3 – площадь эталонного фотоприемника;

ΔU – изменение напряжения на структуре при освещении;

ΔU_3 – изменение напряжения на эталонном фотоприемнике при освещении;

S_{i_3} – чувствительность контрольного образца.

Для сравнения пластин между собой можно использовать средние значения чувствительности по каждой из пластин.

$$S_{ic} = \frac{\sum_{n=1}^N S_{in}}{N} \quad (3)$$

Средние значения чувствительности для различных пластин могли отличаться почти в 2 раза и лежали в диапазоне от 18 до 34 мА/Вт для АЧТ 800 К. Соответствующие данные приведены в виде диаграммы на рисунке 3.

На рисунках 4, 5 представлены типичные результаты распределения фоточувствительности по площади для пластин с высокой и низкой усредненной чувствительностью.

Как видно из рисунка 4, для пластин с высокой чувствительностью ($S_I=34$ мА/Вт) наблюдалось достаточно равномерное распределение S_I по площади со значением относительного среднеквадратичного отклонения (ОСКО) 12 %. Для пластин с низкой чувствительностью (рис. 5) характерна явно выраженная неоднородность в распределении чувствительности по площади. Так при среднем значении $S_I=20$ мА/Вт разброс значений чувствительности в разных частях пластины достигал 3 крат, а величина ОСКО составила 22 %.

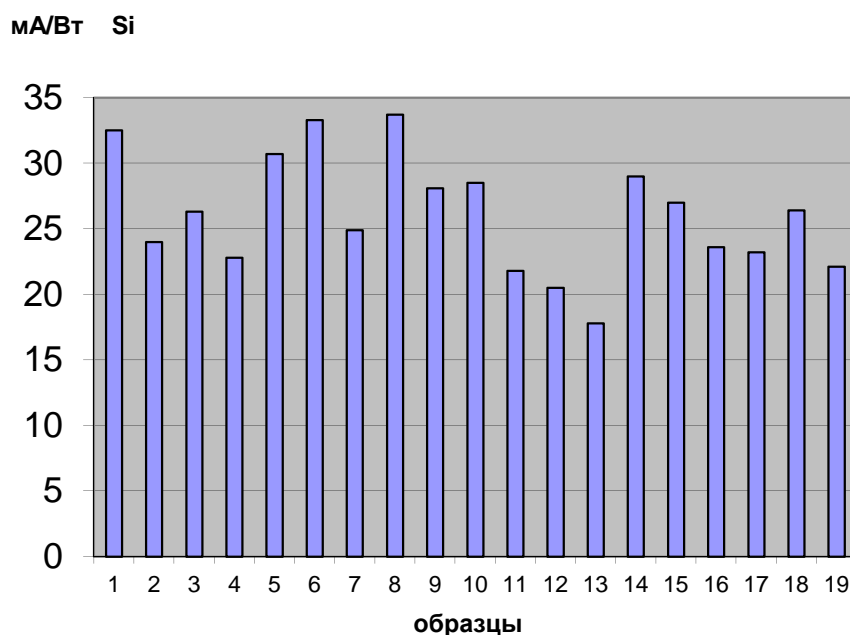


Рисунок 3. Значения средней токовой чувствительности для исследованных пластин

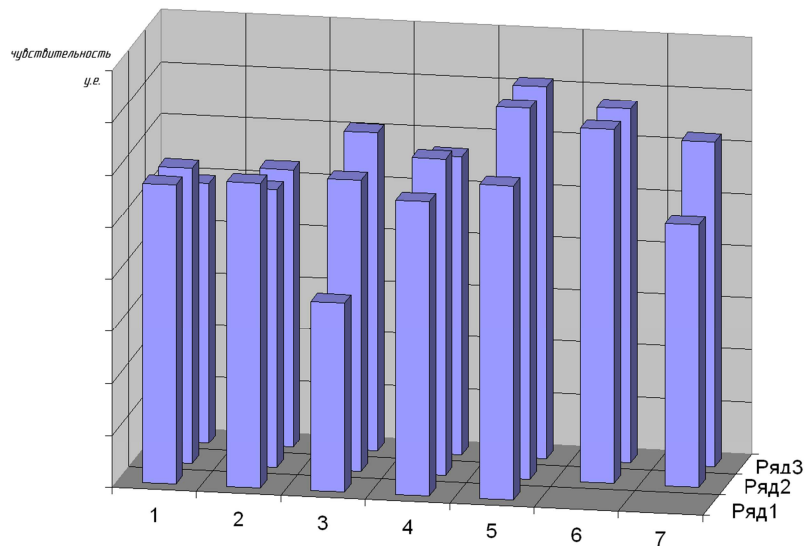


Рисунок 4. Распределение фоточувствительности по площади для пластин с высокой токовой чувствительностью

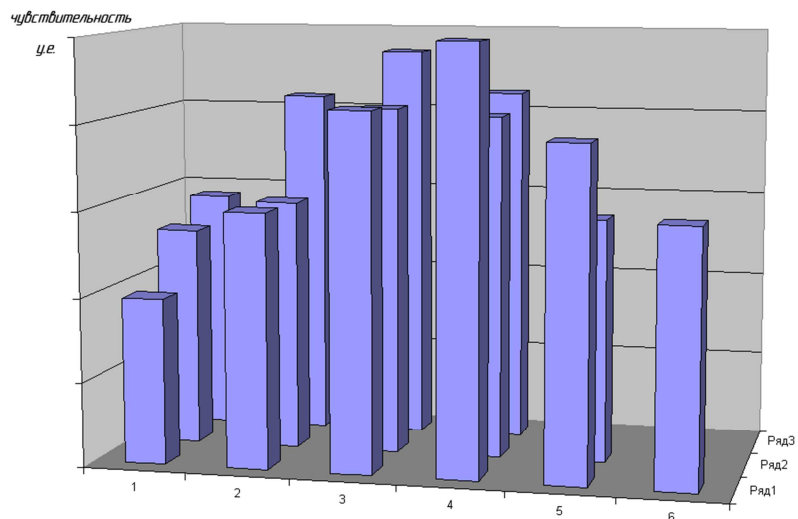


Рисунок 5. Распределение фоточувствительности по площади для пластин с низкой токовой чувствительностью

Обнаружение на пластинах явно выраженных областей с высокой и низкой фоточувствительностью, подтвержденных серией монотонно изменяющихся значений, может свидетельствовать о надежности полученных результатов.

Представляет интерес сравнение наблюдаемой чувствительности с максимально возможной [3].

Для монохроматического излучения

$$S_{\lambda} = \frac{e \cdot \lambda}{h \cdot c}$$

Тогда при $\lambda=2,1$ мкм расчёт даёт

$$S_{\lambda} = \frac{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 2.1 \cdot 10^{-6}}{6.62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} = 1.69 \text{ А/Вт.}$$

Если учесть коэффициент использования излучения от АЧТ 800 К, составляющий 2,4 %, то интегральная чувствительность составит $S_I= 40$ мА/Вт. Принимая во внимание отражение части светового потока от поверхности фотоприёмника, можно считать, что полученные значения $S_I=34$ мА/Вт для лучших образцов близки к предельно возможным.

Таким образом, предлагаемая установка и методика исследований распределения токовой чувствительности по площади пластины может быть успешно использована как для отработки технологии жидкофазной эпитаксии фоточувствительных эпитаксиальных слоёв InGaAsSb/GaSb, так и для оценки качества пластин при их поставке потребителю.

Список литературы

1. Гаврушко В. В., Григорьев А. Н. Исследование ВАХ фоточувствительных структур на основе InGaAsSb. // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: материалы 5-ой Международной конференции (Новополоцк 29–30 мая 2008 г.). – Новополоцк: Госуниверситет, 2008. – Т. 1. – С.7-9.
2. ГОСТ17772–88. Приёмники излучения и устройства приёмные полупроводниковые фотоэлектрические. Методы измерения фотоэлектрических параметров и определение характеристик. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – С. 90.
3. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов: В 2 т. – М.: Мир, 1981. – Т. 1. – С. 465.
4. Стоянов Н. Д., Фотодиоды на основе гетеропереходов II типа в системе GaSb/InGaAsSb для спектрального диапазона 1.5-4.8 мкм" // Физика и техника полупроводников. – 2001. – Т. 35. – Вып.4. – С. 467-473.
5. Филачев А. М., Таубкин И. И., Тришенков М. А. Современное состояние и магистральные направления развития твердотельной фотоэлектроники. – М.: Физматкнига, 2010. – С. 128.
6. Sharabani Y. InAsSb/GaSb Heterostructure Based Mid Wavelength Infrared Detector For High Temperature Operation // MIOMD-VII Abstracts 8th International Conference on Mid-Infrared Optoelectronics: Materials and Devices (MIOMD-VIII). (BadIschl. Austria 14th – 16th May 2007). – BadIschl. – Austria, 2007. – P. 158-159.

Рецензенты:

Астахов Владимир Петрович, д.т.н., зам. нач. Центрального КБ, ОАО Московский завод «Сапфир», г. Москва.

Бичурин Мирза Имамович, профессор, д.ф.м.н., заведующий кафедрой «Проектирования и технологии радиоаппаратуры», Новгородский государственный университет, г. Великий Новгород.