

06.3;07;12

©1995

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР GaAs-InGaAs ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИК-ФОТОПРИЕМНИКОВ

*Ю.В. Жиляев, Л.М. Канская, В.В. Криволапчук,  
А.Ю. Куликов, М.Г. Мынбаева*

Фотодетекторы (ФД) для ближней ИК-области на основе сложных  $A^3B^5$  полупроводниковых гетероструктур обладают известными преимуществами перед гомоструктурными ФД [1]. Для арсенида галлия имеется развитая массовая эпитаксиальная технология, позволяющая изготавливать многофункциональные электронно-оптические элементы. В этой связи представляет интерес реализация сочетания достижений в получении высокосовершенных  $p-n$ -переходов на основе арсенида галлия и селективно выращенных относительно узкозонных слоев твердых растворов для придания ИК-фотоприемникам длинноволновой чувствительности.

Настоящая работа является продолжением нашей предыдущей работы по созданию и исследованию фоточувствительных структур с конфигурацией, базирующейся на сформулированном выше подходе [2]. В отличие от ФД структуры, описанной в [2], данный фотоприемник представляет собой  $p-n$ -структуру из арсенида галлия, на которую определенным ниже способом нанесен фоточувствительный слой твердого раствора InGaAs. В работе [3] высказано предположение, что система InGaAs-GaAs, несмотря на рассогласование решеток, имеет ряд электрофизических и технологических преимуществ перед InGaAs-InP, используемой в качестве ИК-фотодетекторов. Технология [2] позволяет при значительном рассогласовании параметров решеток изготовить ФД структуры с высокой вольтовой чувствительностью для  $\lambda = 1.06$  мкм при малом обратном смещении с низким уровнем собственных шумов при комнатной температуре.

Исходная диодная  $p-n$ -структура была получена методом газофазной эпитаксии слоев GaAs на  $n$ -подложке из того же материала. Толщина верхнего  $p$ -слоя составляла около 5 мкм, а нижнего  $n$ -слоя — 15–20 мкм. Сверху напылялась пленка SiO<sub>2</sub>, из которой формировалась маска в виде чередующихся полос шириной 50 мкм. Затем в

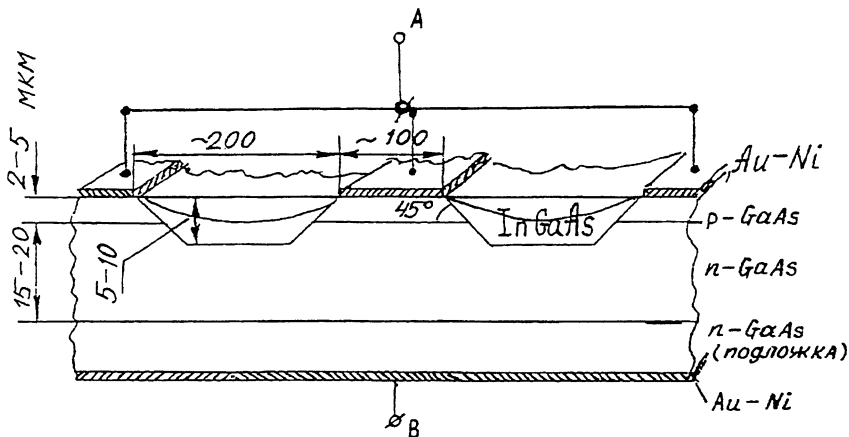


Рис. 1. Схематическое изображение элемента фотодетекторной гетероструктуры InGaAs. Сигнал снимается с выводов А-В.

окнах вытравливались канавки с углом фаски около  $45^\circ$  к поверхности образца на такую глубину, чтобы вскрытый в результате травления  $p-n$ -переход располагался на половине общей глубины канавки. После этого профилированная поверхность GaAs методом селективной газовой эпитаксии зарастивалась нелегированным преднамеренно слоем твердого раствора InGaAs, который попадал на фаски вскрытого  $p-n$ -перехода в арсениде галлия и дно канавки. Позже на поверхности образца термическим испарением с последующей фотолитографией формировались омические контакты Au-Ni к слоям  $p$ -GaAs. Второй — сплошной — омический контакт наносился на нижнюю сторону подложки. В результате была сформирована решетка фотоприемников, элемент которой схематично показан на рис. 1. Полученные таким методом структуры имели диодные вольт-амперные характеристики, ухудшенные по сравнению с исходной диодной структурой из GaAs вследствие шунтирования  $p-n$ -перехода слоем InGaAs.

Измерения фоточувствительности (ФЧ) проводились при комнатной и азотной температурах в фотодиодном режиме включения при обратных смещениях в диапазоне  $U = 0-8.0$  В. Последовательное сопротивление нагрузки  $R$  подбиралось по максимуму сигнала ФЧ. Спектральным прибором служил монохроматор МДР-2, а источником света — галогенная лампа накаливания.

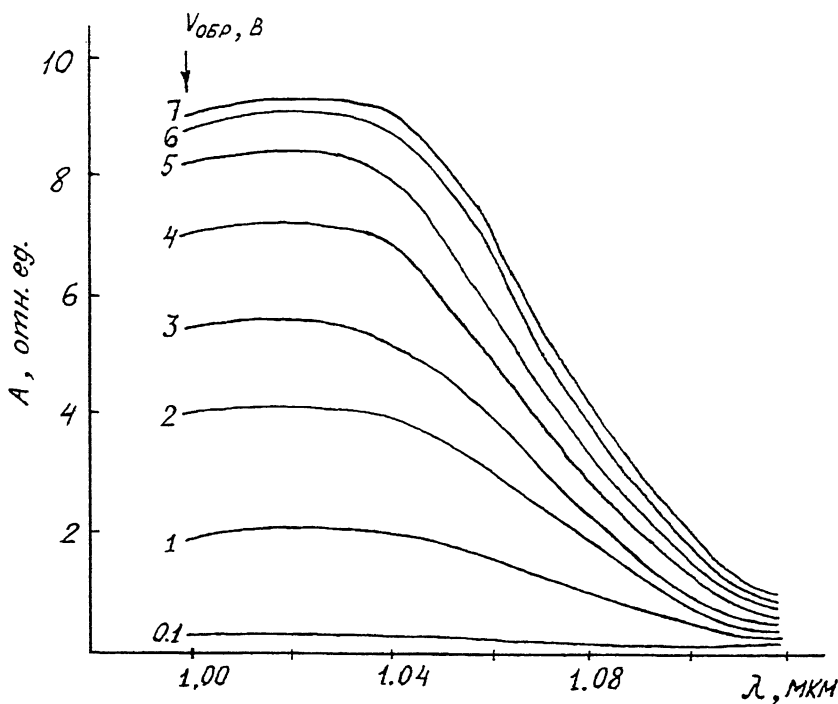


Рис. 2. Спектральные кривые фотодетекторной структуры вблизи края фоточувствительности при различных значениях обратного смещения (290 К).

Спектральные кривые исследуемых образцов в общих чертах типичны для фотопремников на гетеропереходе  $\text{InGaAs-GaAs}$  при определенном значении состава твердого раствора. Подобные спектры приводятся во многих работах последних лет, посвященных элементам оптоэлектроники, например, [3-6]. Между тем данная структура имеет и ряд существенных достоинств, которые заключаются в следующем: 1) ширина канавок с  $\text{InGaAs}$  (фоточувствительный слой), сравнима с диффузионной длиной носителей, поэтому большинство фотоэлектронов достигают гетерограницы, попадают в область пространственного заряда  $p-n$ -перехода и дают вклад в фототок. Кроме того, вследствие оптимизации толщины фоточувствительного слоя выбраны условия для максимального поглощения падающего на приемник света, что также позволяет повысить квантовую эффективность прибора; 2) большое значение отношения сигнал/шум в широком температурном диа-

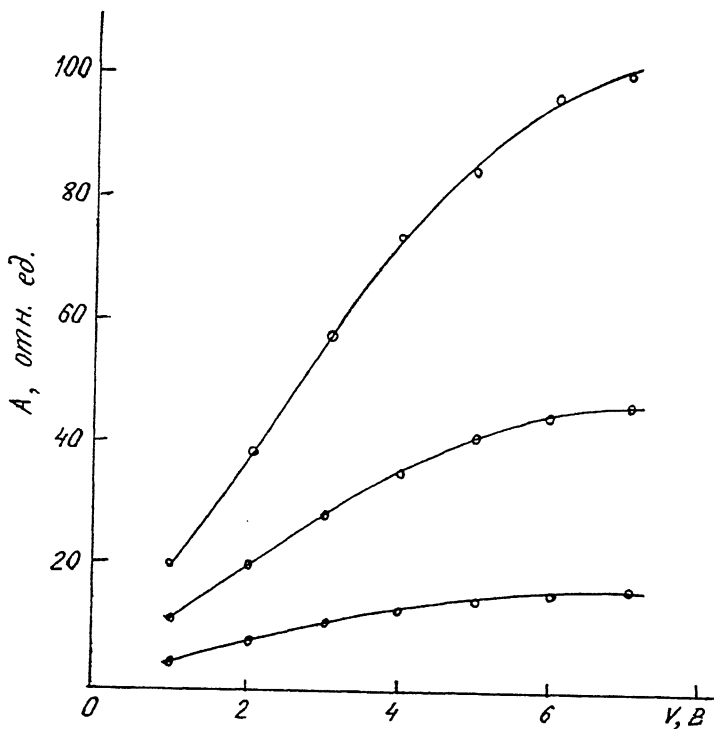


Рис. 3. Выходные характеристики фотодетектора в зависимости от напряжения  $U_{A-B}$  при различных интенсивностях освещения базовой фоточувствительной области ( $\lambda = 1.04$  мкм).

пазоне (при  $T = 290$  К  $I_{\text{темн}} < 10^{-9}$  А). При этом необходимо заметить, что незначительное обратное смещение ( $U = 0.1$  В) на  $p-n$ -переходе резко усиливает фоточувствительность образца в диапазоне температур 77–300 К, а при  $U = 6$  В сигнал ФЧ возрастает более чем в 40 раз по сравнению с тем же в отсутствие внешнего напряжения. Одновременно  $U$  понижает уровень собственных шумов фотодиода. Так, обратного смещения величиной 6 В достаточно, чтобы увеличить на два порядка отношение сигнал/шум, а следовательно, интегральную чувствительность фотодиодной структуры. Спектральная зависимость фотоответа при фиксированной интенсивности освещения от величины обратного напряжения на  $p-n$ -переходе или для комнатной температуры показана на рис. 2. Как видно из рисунка, сигнал фотоответа монотонно растет с увеличением смещения, приложенного к  $p-n$ -переходу, и при напряжении, приближающемся к величине обратного напряжения пробоя

диола, выходит на насыщение, причем насыщение происходит раньше пробоя. Это объясняется тем, что при данной интенсивности света все фоторожденные носители, достигшие области пространственного заряда  $p-n$ -перехода, эффективно разделяются электрическим полем и дают вклад в фототок. Благодаря усилению, возникающему в каждом элементе приемника, отношение сигнал/шум при  $T = 290$  К достаточно велико для регистрации слабых сигналов (при  $T = 290$  К и частоте модуляции 480 Гц токовая чувствительность приблизительно равна 0.5 А/Вт). Усиление достигается тем, что каждый элемент прибора представляет собой аналог фототранзистора, в котором эмиттер и коллектор сформированы  $p-n$ -переходом на GaAs, а базовой областью является фоточувствительный слой InGaAs. Для того чтобы лучше проиллюстрировать работу прибора, обратимся к зависимости величины фотоответа  $A$  от напряжения на  $p-n$ -переходе при разных интенсивностях освещения. Эти зависимости приведены на рис. 3. При этом следует заметить, что интенсивность засветки определяет количество носителей, инжектированных в область  $p-n$ -перехода. Тем самым эти кривые представляют собой не что иное, как типичное семейство статических характеристик биполярного транзистора для разных токов базы и различных значений  $U_{\text{ЭК}}$ .

Другой особенностью данной структуры является изменение сигнала ФЧ от угла падения ИК-излучения. Это свойство весьма важно для использования в системах индикации объекта (например, приборах ночного видения), так как значительно расширяет линейное поле зрения приемника. Обычно увеличение размеров чувствительной площади приемника ведет к ухудшению его характеристик. Если же фотоприемник эффективен для внеосевых лучей при малых линейных размерах — преимущества его очевидны. Это качество данной структуры в сочетании с возможностью максимизировать отношение сигнал/шум и слабой зависимостью внутреннего сопротивления от температуры делает ее перспективной также для использования в системах электронной фильтрации ИК-излучения.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

## Список литературы

- [1] Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники. М.: Моск. радио, 1978. 400 с.
- [2] Канская Л.М., Кечек А.Г., Криволапчук В.В., Мынбаева М.Г., Полетаев Н.К., Федоров Л.М. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 16. С. 66-69.
- [3] Ng W., Narayanan A., Hayes R.R., Persechini D., Yap D. // IEEE Photon Technol. Lett. 1993. V. 5. N 5. P. 514-517.
- [4] Канская Л.М., Куликов А.Ю. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 5. С. 21-25.
- [5] Rogers D.L., Woodall J.M., Pettit G.D., McInturff D. // IEEE. Trans. Electron. Devices ED-34. 1987. P. 2383-2387.
- [6] Nakajima K., Sugimoto K., Hirohata T., Mizushima Y. // Appl. Phys. Lett. V. 61. N 23. P. 2575-2576.

Физико-технический институт  
им. А.Ф. Иоффе РАН  
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию  
10 июля 1995 г.

---