

УДК 621.383

Линейный фотоприемник на основе структур с квантовыми ямами

В. Б. Куликов, Л. М. Василевская, Г. Х. Аветисян,
В. А. Тэгай, Ю. И. Завадский, А. Х. Давыдов
ГУП «НПП "Пульсар"», Москва, Россия

И. Д. Залевский, И. В. Будкин
АО "Сигм-Плюс", Москва, Россия

Д. В. Бородин
ООО «РТК "Импекс"», Москва, Россия

Представлены результаты исследования характеристик многоэлементного фотоприемника (ФП) на основе структур с квантовыми ямами (СКЯ), чувствительного в диапазоне 8–12 мкм, а также спектры fotocувствительности ФП, его шумовые свойства, разрешающая способность и др. ФП был изготовлен из эпитаксиальной структуры GaAs/AlGaAs, выращенной методом МОС-гидридной эпитаксии. Обсуждены возможности улучшения характеристик ФП. ФП на основе структур с квантовыми ямами (КЯ) сегодня получают все большее распространение. Несмотря на то, что уже созданы полноформатные матрицы на основе СКЯ, существуют области применения, где достаточно эффективно могут быть использованы ФП с относительно малым числом элементов.

Конструкция фотоприемника

Фотоприемник имел формат 2×48 элементов и был изготовлен из эпитаксиальных структур с квантовыми ямами, выращенных методом МОС-гидридной эпитаксии.

Эпитаксиальные структуры выращивались на подложках полуизолирующего GaAs диаметром 50 мм и имели следующие конструктивные параметры. Активная область СКЯ содержала 50 периодов, в каждом из которых ямы из GaAs имели толщину 53 Å, а барьер из $Al_xGa_{1-x}As$ ($x = 0,26$) — толщину 450 Å. Ямы легировались кремнием и имели концентрацию свободных носителей около 10^{18} см^{-3} . Между подложкой и активной областью последовательно выращивались не легированный стоп-слой из $Al_xGa_{1-x}As$ ($x = 0,35$) толщиной 1,5 мкм и нижний контактный слой n^+ -GaAs толщиной 1 мкм. На поверхности активной области выращивался верхний контактный слой n^+ -GaAs толщиной 0,8 мкм. Оба контактных слоя легировались кремнием до концентраций свободных носителей свыше 10^{18} см^{-3} . Схематически конструкция эпитаксиальной структуры представлена на рис. 1.

Изготовление многоэлементных ФП начиналось с формирования дифракционной решетки для ввода излучения в чувствительные элементы. Двухмерная фазовая дифракционная решетка имела период 4 мкм, формировалась посредством химического травления верхней части СКЯ. Глубина рельефа решетки в ФП выбиралась из условия $d = \lambda / [2(N_r - 1)]$ (где λ — длина волны, соответствующая длинноволновой границе чувствительности ФП; N_r — показатель преломления GaAs) и для $\lambda = 10 \text{ мкм}$ составлял около 2 мкм. Формирование чувствительных элементов осуществлялось путем химического травления СКЯ до нижнего контактного слоя. Омические контакты изготавливались по стандартной технологии посредством напыления и последующего вжигания слоев Au:Ge/Au. Пассивация поверхности ФП осуществлялась посредством пиролитического осаждения пленок SiO_2 и вскрытия в них окон над областью омического контакта, далее наносилось планаризирующее покрытие из полиимида, на поверхности которого формировалась металлическая разводка из Al. Полиимидная пленка выполняла также функцию жесткого носителя после того, как от ФП отделялась подложка. Схематическое изображение чувствительных элементов ФП представлено на рис. 2.

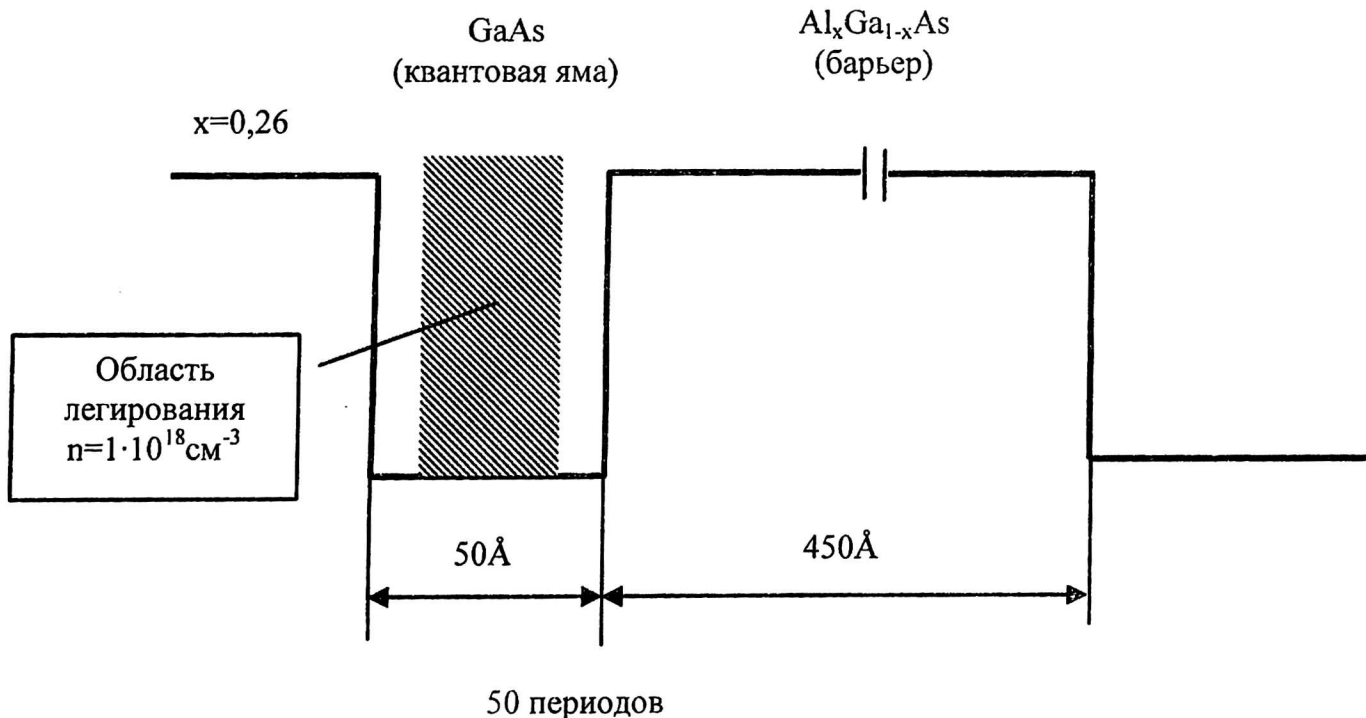


Рис. 1. Схематическая конструкция СКЯ

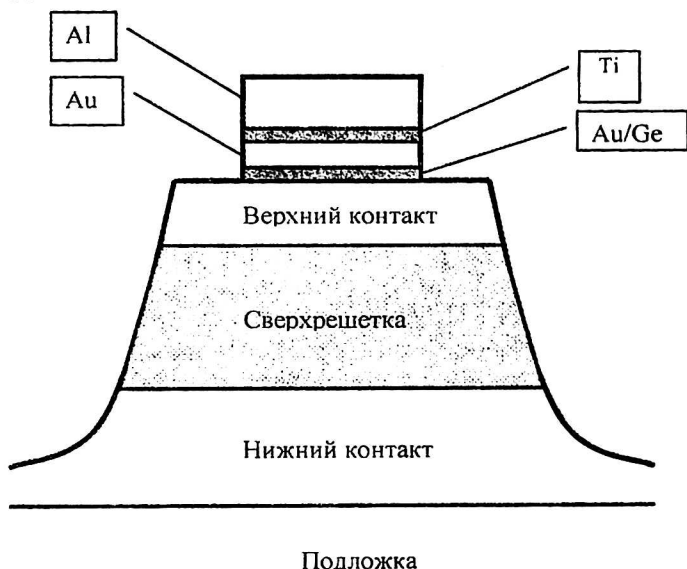


Рис. 2. Схематическое изображение фоточувствительного элемента

Подложка ФП удалялась посредством химического травления в травителе на основе $\text{NH}_4\text{OH} : \text{H}_2\text{O}_2$ до посадки ФП на коммутационную плату и соединения его со схемами выделения сигналов.

Помимо указанной выше конструкции, на которой проводились измерения и исследования параметров и характеристик ФП, создан вариант кристалла ФП для сборки методом flip-chip, который значительно упростил технологию создания кристалла ФП и позволил удалять подложку после посадки фоточувствительного кристалла на коммутационную плату или микросхему выделения сигнала.

Микросхемы выделения сигналов

Для считывания сигналов с ФП использовались интегральные микросхемы (ИМС), изготовленные по КМОП-технологии. ИМС имели 2×64 входа и возможность соединения с ФП как посредством ультразвуковой сварки, так и посредством flip-chip-сборки. Каждый канал ИМС осуществляет интегрирование входного тока в течение 64 тактов и двойную коррелированную выборку сигнала с последующим выводом видеосигнала на дифференциальный выход. Кристаллы микросхем имеют площадь $4,65 \times 5,1 \text{ мм}^2$ и состоят из двух идентичных топологически зеркальных частей. Такое расположение двух секций предполагает возможность соединения их с ФП посредством flip-chip-сборки. В случае

сборки с помощью ультразвуковой сварки кристалл разрезается на две одинаковые части. Шаг площадок в одном ряду — 120 мкм. Каждая часть ИМС имеет два аналоговых дифференциальных выхода.

Максимальное изменение выходного сигнала составляет 2,5 В. Частота вывода аналоговой информации по каждому из выходов — 5 МГц. Динамический диапазон — более 3000. Напряжение питания +5 В. Рассеиваемая мощность на каждую часть ИМС составляет 30 мВт. Коэффициент преобразования входного тока может принимать значения 1; 6; 60. ИМС обладает функцией вычитания части входного тока до интегрирования. Коэффициент преобразования входного заряда в выходное напряжение может принимать значения 0,5; 0,17; 0,017 В/пКл.

Фотоэлектрические характеристики

На рис. 3 представлен спектр фоточувствительности СКЯ, измеренный на тестовом ФП площадью $400 \times 400 \text{ мкм}^2$, изготовленном из той же СКЯ, что и многоэлементные ФП. Тестовый ФП не имел устройства ввода излучения в виде дифракционной решетки, подложка из него не удалялась, спектр был снят при температуре ФП 77К.

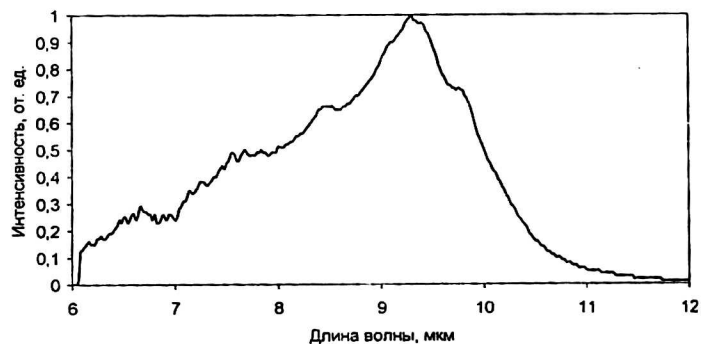


Рис. 3. Спектр фоточувствительности СКЯ

Максимальное значение удельной обнаружительной способности элемента при λ_{max} и $T = 60 \text{ К}$ равно $4,2 \cdot 10^{10} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$. Измерения проводились при использовании диафрагмы, обеспечивающей апертурный угол около 25° .

Неравномерность чувствительности и темнового тока в ФП составила $\pm 10 \%$. Полученная величина несколько больше наиболее типичной для ФП на СКЯ: $\pm 5 \%$ и, по-видимому, связана с неоднородностью эффективной площади контактов на измеряемых образцах. Этот фактор был учтен при усовершенствовании конструкции и технологии создания ФП.

Измерение разрешающей способности ФП проводилось с помощью ИК-излучателя ИКО-1, создающего в плоскости ФП в спектральном диапазоне 8–12 мкм изображение штриховых мир с разными пространственными частотами. Измерения проводились на переменном сигнале. Все элементы ФП были включены параллельно в измерительную цепь. Сигнал снимался с одного из элементов в зависимости от координаты перемещающегося по нему изображения мира. Глубина модуляции сигнала M (аналог ЧКХ) оценивалась как отношение глубины провалов

между пиками сигналов с мелких штрихов к сигналу с крупной детали изображения. На пространственной частоте, близкой к половине частоты Найквиста, получено значение $M = 50\%$, что свидетельствует о незначительном межэлементном взаимодействии в исследуемых ФП.

Особенности СКЯ, на которых созданы ФП, и результаты исследований чувствительности и шумовых характеристик ФП изложены в других работах по СКЯ, представленных ГУП «НПП "Пульсар"».

Linear photodetector on the basis of quantum well structures

*V. B. Kulikov, L. M. Vasilevskaya, G. Kh. Avetisyan,
V. A. Tegay, Yu. I. Zavadsky, A. Kh. Davydov*
Pulsar Scientific & Production Enterprise, Moscow, Russia

I. D. Zalevsky, I. V. Budkin
Sigm-Plus, Inc., Moscow, Russia

D. V. Borodin
RTK Impeks, Ltd., Moscow, Russia

The performances of a multiple photodetector (PD) on the basis of quantum well structures, sensing in the 8–12 μm range, and also spectrums of the PD photosensitivity, its noise properties, resolving ability and others are presented in this article as results of the examination. The PD was manufactured of GaAs/AlGaAs epitaxial structure, brought up by a method of the OMC-hydride epitaxy. The opportunities of improving the performances of the PD have been argued.