

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ФОТОДИОД  
НА ОСНОВЕ ВСТРЕЧНОШТЫРЕВЫХ  
ШОТТКИ-БАРЬЕРНЫХ КОНТАКТОВС.В. А в е р и н, М.Д. Д м и т р и е в,  
А.Н. Ц а р е в, Б.Б. Э л е н к р и г

В последние годы заметно повысился интерес к исследованиям, направленным на создание полупроводниковой элементной базы пикосекундной оптоэлектроники. Из самых общих соображений очевидно, что наличие быстродействующих дискретных элементов (инжекционных лазеров, фотодиодов, модуляторов излучения и т.д.) само по себе не обеспечивает столь же высокого быстродействия оптоэлектронных устройств на их основе из-за неизбежного паразитного влияния межсоединений. Выходом из положения является создание оптоэлектронных схем в гибридном или интегральном исполнении.

Целью настоящей работы является рассмотрение возможности создания быстродействующих планарных фотодиодов, допускающих их использование в гибридных и интегральных оптоэлектронных схемах. Из возможных вариантов создания фотодиодов с пикосекундным быстродействием ( $p-i-n$  диод [1], фоторезисторы [2], диоды с барьером Шоттки [3]) перспективными для целей гибридизации представляются поверхностно-барьерные планарные диоды Шоттки, выполненные в виде встречно-штыревых контактов к эпитаксиальному  $n-GaAs$ , выращенному на полуизолирующей подложке [4]. Наряду с высоким быстродействием, достоинством таких диодов является также относительная простота изготовления и высокая воспроизводимость характеристик, возможность применения групповых методов технологии и пр.

В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования фотодиодных структур на основе диодов с барьером Шоттки, выполненных в виде встречно-штыревых контактов к  $n-GaAs$ . Фотодиодные структуры изготавливались следующим образом. На поверхности эпитаксиального слоя  $n-GaAs$  толщиной 3 мкм и концентрацией носителей заряда  $N = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , выращенного на полуизолирующем  $GaAs$ , методами контактной фотолитографии создавалась встречно-штыревая система Шоттки барьерных контактов с параметрами: апертура 100 мкм, ширина электрода 3 мкм, расстояние между электродами встречно-штыревой системы контактов 3 мкм, число пар электродов 9. Толщина слоя металла составляла 0.3 мкм, металл барьера  $Ti-Au$ . На рис. 1 представлена фотография встречно-штыревой Шоттки-барьерной фотодиодной структуры, выполненная на электронном микроскопе  $ERM - 20$ . При такой геометрии 50% площади диода чувствительно к световому излучению. ВАХ изготовленных структур симметричны относительно начала координат при приложении напряжения смещения обеих полярностей, темновой ток составлял  $\sim 0.1$  мкА при  $U_{см} = \pm 5$  В. Измеренная

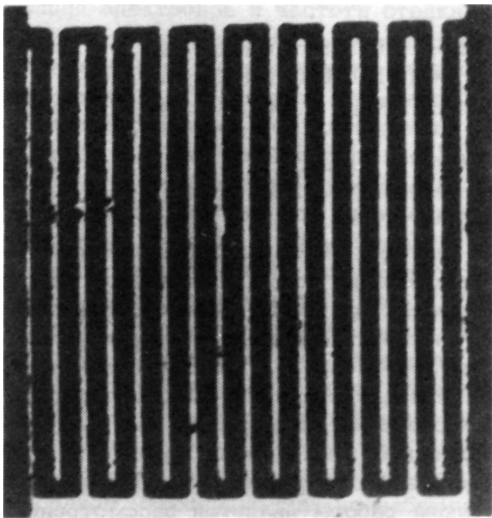


Рис. 1. Фотография встречно-барьерной фотодиодной структуры, выполненная на электронном микроскопе *ERM-20*.

емкость барьера была равна  $\sim 0.14$  пФ и практически не менялась при изменении напряжения смещения в пределах  $U_{см} = 5-30$  В.

Для определения параметров эквивалентной схемы диодов использовалась стандартная процедура измерения импедансов. При этом диодные структуры монтировались непосредственно на микрополосковую СВЧ-линию и измерялись комплексные сопротивления фотодиодных структур в частотном диапазоне 2-10 ГГц. Исходя из эквивалентной схемы фотодетектора с учетом элементов монтажа на микрополосковой линии определялась емкость барьера фотодиодной структуры. Как показали измерения, она составила 0.2 пФ при  $U_{см} \geq 5$  В. Основываясь на этой величине и исходя из сопротивления нагрузки (50 Ом),  $RC$  - постоянная времени будет равна 22 пс ( $\tau = 2.2 R C_n$ ).

Другим возможным механизмом ограничения быстродействия фотодиода является время переноса фотогенерированных носителей. В данной геометрии максимальное время переноса фотогенерированных носителей (при достаточно высоких напряженностях электрического поля в межконтактной области  $\sim 40 \frac{kB}{cm}$ ) будет равно  $\sim 30$  пс. Таким образом, результирующее время нарастания импульса составит 37 пс, что соответствует граничной частоте 9.5 ГГц.

При экспериментальном определении быстродействия фотодиода в качестве источника излучения использовался инжекционный гетеролазер в системе *GaAlAs* с насыщающим поглотителем, работающий в режиме самоподдерживающихся пульсаций и генерирующий

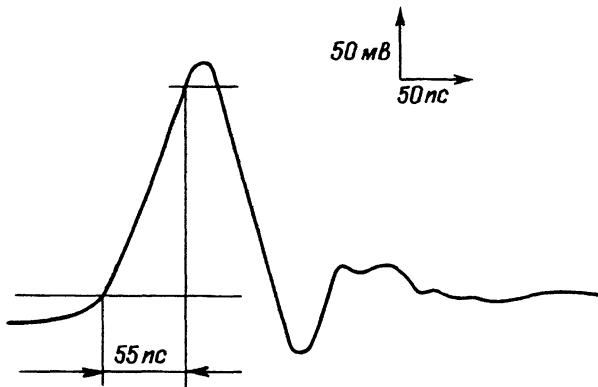


Рис. 2. Осциллограмма фотоотклика для фотодиода на основе встречно-штыревых Шоттки-барьерных контактов.

излучение  $\lambda = 0.85$  мкм с временем нарастания импульсов 20 пс [5]. Лазер возбуждался импульсами тока длительностью 5 нс, временем нарастания  $\sim 1$  нс и частотой повторения 30 МГц. Сигнал с фотодиода, смонтированного в микрополосковой линии, регистрировался на стробоскопическом осциллографе „*Watsu 601 B*” с временным разрешением  $\sim 30$  пс. Быстродействие исследуемых фотодиодных структур определялось по времени нарастания и спада первого пика излучения инжекционного лазера. На рис. 2 представлена типичная осциллограмма фотоотклика, полученная с фотодетектора на диоде Шоттки. Как видно из рисунка, время нарастания импульса (по уровню 10%–90%) составляет 55 пс. Очевидно, что при таких коротких временах характеристики быстродействия осциллографа и время нарастания импульса лазера влияют на результаты измерений и в действительности быстродействие исследуемого фотодетектора несколько меньше. Используя метод суммы квадратов, время нарастания импульса собственно фотодетектора равно 41 пс, хотя для более точного определения быстродействия фотодетектора нужны более детальные исследования. Отметим, что в отличие от фотопроводящих детекторов [2], время спада импульса почти не отличается от времени его нарастания.

Измерение частотной характеристики исследуемых фотодиодных структур показало, что огибающая последовательности импульсов с выхода фотодетектора на анализаторе спектра HP-8566B имела  $-3$  дБ спад на частоте 8.5 ГГц. Эти измерения показывают хорошее соответствие экспериментально определенных характеристик быстродействия и их оценок для исследуемых встречно-штыревых Шоттки-барьерных фотодиодов.

Из проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Исследуемые фотодиодные структуры обеспечивают высокое быстродействие (40 пс), имеют большую фоточувствительную об-

- ласть ( $100 \times 100 \text{ мкм}^2$ ), что позволит их успешно применять в волоконно-оптических линиях связи, при гетеродинировании излучения инжекционных лазеров, СВЧ демодуляции, и т.д.
2. Структура изготовлена на полуизолирующей подложке, которая может быть общей с другими компонентами оптоэлектронных схем, позволяя, в частности, изготовить комбинацию детектор/усилитель в одной интегральной схеме.
3. Результаты исследования параметров эквивалентной схемы показывают возможность реализации полосы пропускания ( $-3\text{дБ}$ ) диодов  $\sim 16 \text{ ГГц}$ . Таким образом, оптимизация геометрии подобных структур позволит, на наш взгляд, реализовать существенно более высокое быстродействие диодов.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] B o w e r s J.E., B u r r u s Ch.A. - Journal of Lightwave Technology, 1987, v. LT-5, N 10, p. 1339-1350.
- [2] А л ф е р о в Ж.И., Г у р е в и ч С.А., П о р т н о й Е.Л., Р ы в к и н Б.С., Т и м о ф е е в Ф.Н. - Письма в ЖТФ, 1984, т. 10, в. 6, с. 342-345.
- [3] W a n g J.J., B l o o m D.M. - Electronics Letters, 1983, v. 19, N 14, p. 554-555.
- [4] R o t h W., S c h u m a c h e r H., K l u g e J., G l u n H., B e n e k i n g H. - IEEE Trans. on ED, 1985, v. 32, N 6, p. 1034-1036.
- [5] А л ф е р о в Ж.И., Ж у р а в л е в А.Б., П о р т н о й Е.Л., С т е л ь м а х Н.М. - Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, в. 18. с. 1093-1098.

Институт радиотехники  
и электроники АН СССР

Поступило в Редакцию  
22 августа 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 24

26 декабря 1988 г.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИДЕОЧАСТОТНОГО АКУСТООПТИЧЕСКОГО КОРРЕЛЯТОРА С ВРЕМЕННЫМ ИНТЕГРИРОВАНИЕМ

А.Н. Р о г о в, В.Н. У ш а к о в

Относительная простота реализации в акустооптических корреляторах с временным интегрированием (АОКВИ) многоканальной корреляционной обработки сигналов с большим произведением длительности на ширину спектра делает их перспективными для многих применений [1].