

УДК 621.383

Уменьшение времени восстановления чувствительности в $p-i-n$ -фотодиодах на основе InGaAs/InP после воздействия мощных импульсных фоновых засветок

Д. С. Андреев, В. С. Варганова, П. Е. Хакушев, И. В. Чинарева, А. И. Дирочка

Предложена топология фотодиода, обеспечивающая малые времена восстановления чувствительности. В предложенной топологии фоточувствительная площадка окружена "карманом", устраняющим медленные диффузионные составляющие в периферийном фотоотклике. Приведены экспериментальные результаты, подтверждающие уменьшение времени восстановления чувствительности.

PACS: 85.60.Dw

Ключевые слова: фотодиод, засветка, инерционность, время восстановления.

Введение

В настоящее время велика потребность в быстродействующих и малошумящих InGaAs-фотодетекторах для систем лазерной дальнометрии, работающих в диапазоне длин волн 0,9—1,7 мкм [1—3].

Собственное быстродействие $p-i-n$ -фотодиодов достаточно мало — (0,1—1) нс и ограничивается временем пролета фотоносителей через область пространственного заряда. Для систем лазерной дальнометрии значения длительности импульса излучения обычно превышают 5 нс, поэтому быстродействие $p-i-n$ -фотодиодов вполне удовлетворяет требованиям системы [4, 5].

Следует отметить, что указанное выше быстродействие фотодиодов соблюдается при освещении т. н. фоточувствительной площадки — области с достаточно высокой напряженностью электрического поля. Однако в системах лазерной дальнометрии достаточно часто оптическое пятно может попасть и на периферию фотодиода, если имеется мощная фоновая засветка от стартового

импульса или мощная фоновая засветка от близких объектов. В этом случае быстродействие фотодиодов может существенно ухудшиться (на несколько порядков) в результате диффузии фотодырок [4, 6] из необедненной части n -области вокруг области пространственного заряда. Кроме того, высокая мощность таких оптических импульсов приводит к перегрузке усилителя системы. Указанные выше проблемы приводят к ухудшению одного из важных параметров системы, а именно, времени восстановления чувствительности.

Для улучшения данного параметра существуют несколько способов. Первая группа способов — схемотехническая [7], ограничивающая в основном амплитуду сигнала: использование на входе усилителя активного ключа, применение ограничительного диода на входе усилителя, использование логарифмических каскадов, использование схемы временной автоматической регулировки усиления. Вторая группа способов заключается в улучшении конструкции фотодиода [8], причем в основном в уменьшении сбора периферийных фотоносителей в результате следующих мероприятий.

1) Создание металлической диафрагмы на маскирующей пленке Si_3N_4 , но при этом резко увеличивалась емкость фотодиода и, как следствие, наблюдается уменьшение быстродействия.

2) Покрытие активной p^+ -области просветляющей пленкой, а необедненной части n -области — отражающей пленкой. Такой вариант защиты справляется со своей задачей только на 20 % и не дает удовлетворительных результатов.

3) Создание p^+ -кармана вокруг фоточувствительной площадки. Установив на нем нулевой потенциал, можно эффективно экранировать все периферийные фотоносители от фоточувствительной площадки.

Андреев Дмитрий Сергеевич, ведущий инженер-технолог¹.
Варганова Виолета Станиславовна, главный специалист¹.
Хакушев Павел Евгеньевич, зам. начальника ПТК¹.
Чинарева Инна Викторовна, ведущий инженер-технолог¹.
Дирочка Александр Иванович, ученый секретарь¹, профессор².
¹ АО «НПО «Орион».

Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.

Тел. 8 (495) 672-20-31.

E-mail: orion@orion-ir.ru

² Московский институт радиотехники, электроники и автоматики (МИРЭА).

Россия, 119454, Москва, просп. Вернадского, 78.

Статья поступила в редакцию 27 ноября 2015 г.

© Андреев Д. С., Варганова В. С., Хакушев П. Е., Чинарева И. В., Дирочка А. И., 2015

Целью данной работы является экспериментальное исследование эффективности этого последнего метода улучшения времени восстановления чувствительности.

Изготовление экспериментальных образцов

Нами был рассмотрен вариант создания в конструкции фотодиода дополнительного p^+ -кармана и предложена топология фотодиода (см. рис. 1), обеспечивающая улучшенное быстродействие.

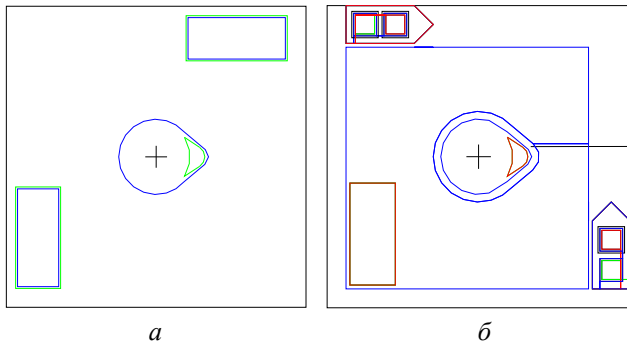


Рис. 1. Топология $p-i-n$ -ФД на основе $InGaAs/InP$ гетероструктуры: а — стандартный; б — с «карманом»

Фотодиоды изготавливались по одинаковой планарной технологии для $p-i-n$ -ФД на основе

$InGaAs/InP$ -гетероструктур. В качестве маскирующей, защитной и просветляющей пленки использовалось соединение Si_3N_4 , получаемое низкотемпературным плазмохимическим осаждением. Путем плазмохимического травления пленки Si_3N_4 в ней получались отверстия с помощью стандартной фотолитографии. Фоточувствительная область и область «кармана» формировались в едином производственном процессе с помощью диффузии кадмия в запаянной кварцевой ампуле. Контактные окна в защитной пленке вскрывались также плазмохимическим травлением. В качестве средства металлизации к n - и p -областям использовалась двухслойная система титан-золото с последующим её вжиганием в водороде [9].

Экспериментальные результаты

Типичные фотоотклики фотодиода при освещении фоточувствительной площадки и периферии фотодиода приведены соответственно на рис. 2, а и б. При освещении фоточувствительной площадки фотодиода передний фронт составляет 0,65 нс, задний — 0,85 нс, в то время как при освещении периферии (пятикратное уменьшение чувствительности) фотодиода передний фронт увеличивается на порядок -6,9 нс, а задний фронт почти на два порядка — 69 нс.

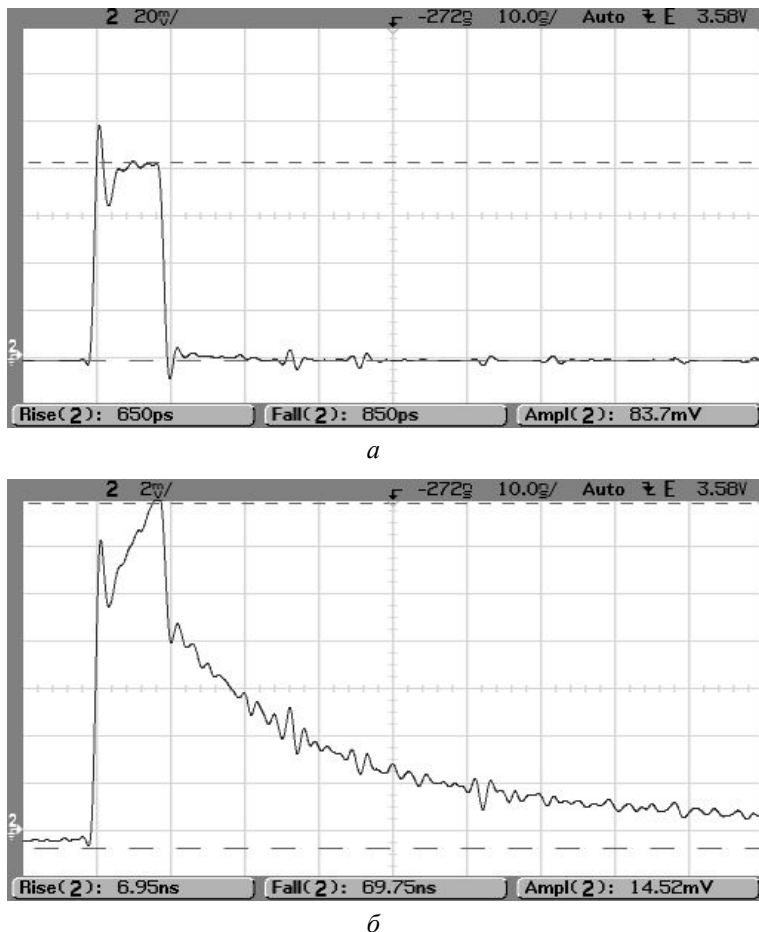


Рис. 2. Фотоотклик при освещении: а — фоточувствительной площадки фотодиода; б — периферии фотодиода

Для проверки эффективности работы "кармана" были выбраны следующие характеристики: распределение чувствительности (амплитуды) по площадке и распределение длительности заднего фронта по площадке. Измерения проводились на контрольном (стандартном) фотодиоде, фотодиоде с "карманом", имеющим нулевой потенциал (режим 0) и фотодиоде с плавающим "карманом" (режим xx). Измерения проводились в диапазоне амплитуд до 0,01 от значения в центре фоточувствительной площадке.

Распределение чувствительности по площадке контрольного фотодиода и фотодиода с "карманом" показаны на рис. 3. Разумеется, наиболее эффектно видна работа "кармана" при его

переключении из режима xx в режим 0. Фоточувствительная площадка по уровню 0,1 уменьшается по диаметру d с 270 мкм до 240 мкм. Фотолитографический диаметр активной области фотодиода 200 мкм, соответственно, использование "кармана" позволило почти в два раза уменьшить диаметр области сбора медленных, диффузионных составляющих фотоотклика — с 70 до 40 мкм.

Распределение длительности заднего фронта по площадке контрольного фотодиода и фотодиода с "карманом" показаны на рис. 4. Использование фотодиода с "карманом" позволяет почти в 30 раз уменьшить длительность заднего фронта, т. е. с 1000 до 34 нс.

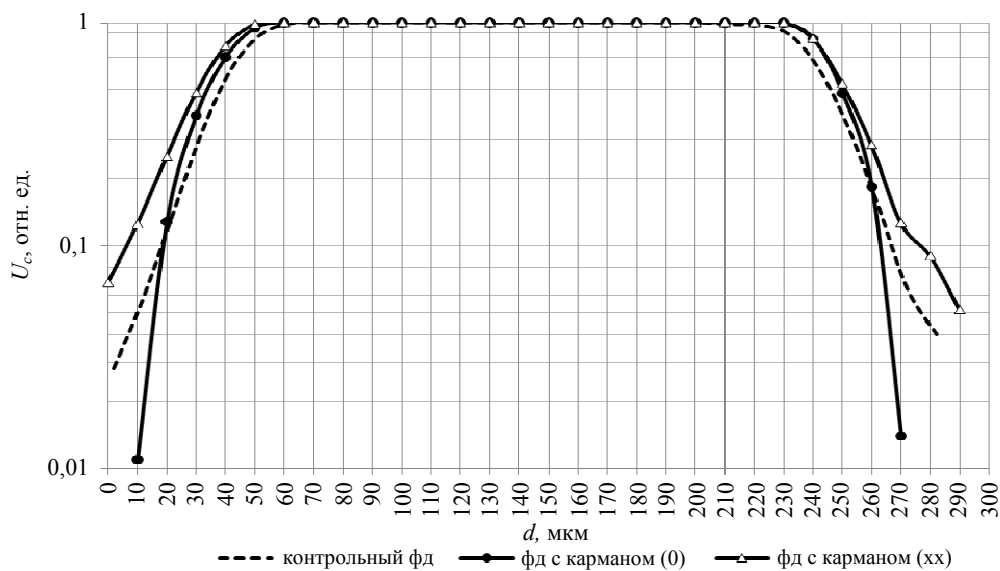


Рис. 3. Распределение чувствительности по площадкам контрольного фотодиода и фотодиода с карманом в двух режимах, а именно, режим замкнутого на ноль кармана (0) и режим "плавающего кармана" (xx)

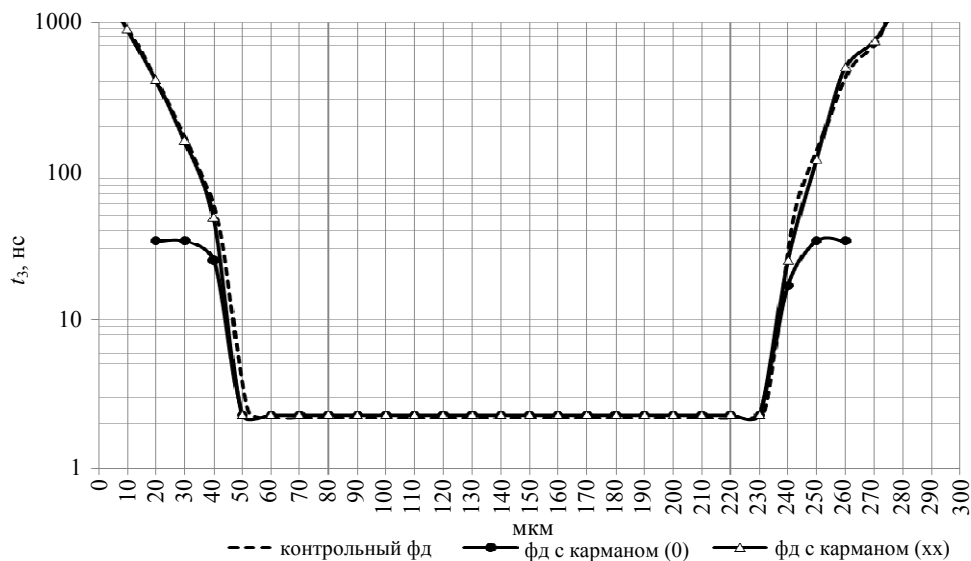


Рис. 4. Распределение длительности заднего фронта по площадкам контрольного фотодиода и фотодиода с карманом в двух режимах: режим замкнутого на ноль кармана (0) и режим "плавающего кармана" (xx)

Заключение

В работе была предложена измененная конструкция фотодиода, а именно, введена топология фоточувствительной площадки, окруженной "карманом". На ее основе создан фотодиод с дополнительной p^+ -областью. В результате проведенного экспериментального исследования созданного фотодиода выявлено, что за счет замкнутого на ноль «кармана» устраняются медленные диффузионные составляющие на периферии, что приводит к существенному уменьшению времени восстановления чувствительности в системах оптической дальнометрии после мощных фоновых засветках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дирочка А. И., Корнеева М. Д., Филачев А. М. // Успехи прикладной физики. 2014. Т. 2. № 4. С. 353.

2. Бурлаков И. Д., Гринченко Л. Я., Дирочка А. И. и др. // Успехи прикладной физики. 2014. Т. 2. № 2. С. 131.

3. Корнеева М. Д., Пономаренко В. П., Филачев А. М. // Прикладная физика. 2011. № 3. С. 82.

4. Филачев А. М., Таубкин И. И., Трищенко М. А. Твердотельная фотоэлектроника. Фотодиоды. — М.: Физматкнига, 2011.

5. Андреев Д. С., Болтарь К. О., Власов П. В. и др. // Успехи прикладной физики. 2014. Т. 2. № 1. С. 60.

6. Филачев А. М., Таубкин И. И., Трищенко М. А. Современное состояние и магистральные направления развития твердотельной фотоэлектроники. — М.: Физматкнига, 2010.

7. Боровков П. М., Казарин Л. Н. и др. // Прикладная физика. 2015. № 5. С. 61.

8. Хакуашев П. Е., Чинарева И. В. Кристалл фотодиода на основе гетерозепитаксиальной структуры InGaAs/InP. Свидетельство о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы №2014630154. Зарегистрирована 16 декабря 2014 г.

9. Андреев Д. С., Гришина Т. Н., Залетаев Н. Б. и др. // Прикладная физика. 2012. № 4. С. 86.

Decreasing a recovery time of sensitivity for the InGaAs / InP pin-photodiodes after an exposure to the high-power pulsed background illumination

D. S. Andreev¹, V. S. Varganova¹, P. E. Khakuashev¹, I. V. Chinareva¹, and A. I. Dirochka^{1,2}

¹Orion R&P Association, Inc.
9 Kosinskaya str., Moscow, 111538, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

²Moscow Institute of Radio Electronics and Automatics (MIREA)
78 Vernadsky av., Moscow, 119454, Russia

Received November 27, 2015

The topology of photodiode for the high-speed, low-noise 0.9—1.7 μm InGaAs photodetectors providing short times of a restore sensitivity is proposed. In the proposed topology, a photosensitive area is surrounded by a "pocket" that allowed almost twice the diameter of the reduced collection of slow diffusion components peripheral photoresponse — from 70 to 40 μm and almost 30-fold to reduce the length of the trailing edge from 1000 to 34 ns.

PACS: 85.60.Dw

Keywords: photodiode, background light, persistence, recovery time.

REFERENCES

1. A. I. Dirochka, M. D. Korneeva, and A. M. Filachev, *Uspekhi Prikladnoi Fiziki* **2**, 353 (2014).
2. I. D. Burlakov, L. Ya. Grinchenko, A. I. Dirochka, et al., *Uspekhi Prikladnoi Fiziki* **2**, 131 (2014).
3. M. D. Korneeva, V. P. Ponomarenko, and A. M. Filachev, *Prikladnaya Fizika*, No. 3, 82 (2011).
4. A. M. Filachev, I. I. Taubkin, and M. A. Trishenkov, *Solid-State Photoelectronics. Photodiodes* (Fizmatkniga, Moscow, 2011) [in Russian].
5. D. S. Andreev, K. O. Boltar, P. V. Vlasov, et al., *Uspekhi Prikladnoi Fiziki* **2**, 60 (2014).
6. A. M. Filachev, I. I. Taubkin, and M. A. Trishenkov, *The Current Status and Main-Line Trackage for Development of Photoelectronics* (Fizmatkniga, Moscow, 2010) [in Russian].
7. P. M. Borovkov, L. N. Kazarin, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 5, 61 (2015).
8. P. E. Khakuashev and I. V. Chinareva, RF Patent No. 2014630154. December 16, 2014.
9. D. S. Andreev, T. N. Grishina, N. B. Zaletaev, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 4, 86 (2012).