

УДК 621.383

Исследование влияния глубины диффузии на параметры матричных фотодиодов на основе InGaAs/InP

Д. С. Андреев, П. Е. Хакуашев, И. В. Чинарева, М. А. Тришенков

В статье исследуется повышенная взаимосвязь между элементами фоточувствительной матрицы. Установлена причина этого явления: смыкание элементов матрицы из-за боковой диффузии. Выбраны оптимальные величины параметров, а именно, глубина диффузии примеси менее 2,5 мкм и расстояние между p^+ -областями соседних элементов матрицы 1 мкм, что обеспечило минимальный уровень взаимосвязи без потерь в обнаружительной способности.

PACS: 85.60.-q

Ключевые слова: матрица, взаимосвязь фоточувствительных элементов, дефектные элементы, сопротивление взаимосвязи, рабочее напряжение, темновой ток.

Введение

Одной из актуальных задач при производстве малошумящей матрицы фоточувствительных элементов (ФЧЭ) на основе InGaAs/InP [1—3] является обеспечение низкой взаимосвязи. При исследовании характеристики матричных планарных фотоприемных устройств (ФПУ) [4] была обнаружена повышенная взаимосвязь между ФЧЭ матрицы, что приводит к уширению изображения в области дефектных элементов в зависимости от напряжения смещения.

При малых обратных напряжениях смещения оказалось характерно уширение областей дефектов типа «утечки» [5]. С увеличением обратного напряжения смещения можно наблюдать постепенное сужение этих дефектов и уже при рабочем напряжении (~ -2 В) смещения на ФЧЭ превращение их в точки (рис. 1).

Увеличивая рабочее напряжение, можно уменьшить взаимосвязь, но при этом увеличивается темновой ток и, как следствие, падает обнаружительная способность [6].

Целью данных исследований являлось определение путей уменьшения взаимосвязи ФЧЭ мат-

рицы без потери в обнаружительной способности ФПУ.

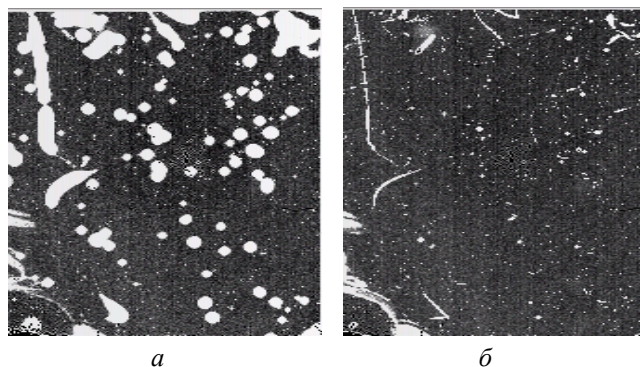


Рис. 1. Изображения карт дефектности фотоприемников с БИС считывания: а — темновой сигнал при температуре МФЧЭ +20 °С с емкостью накопления 10 фФ при малом смещении на ФЧЭ, б — при оптимальном смещении на ФЧЭ

Экспериментальная часть

Исследованы C - V -характеристики ФЧЭ для определения глубины p - n -перехода. Подробно методика измерения изложена в [7]. Измеренные глубины p - n -переходов для исследуемых структур представлены в таблице. По схеме, представленной на рис. 2, исследованы вольтамперные характеристики для оценки взаимосвязи $R_{вз}$ и темнового тока единичного элемента. На один ФЧЭ подавалось напряжение смещения в прямом, а на соседний элемент в обратном направлении. При этом сопротивление взаимосвязи пересчитывалось из вольтамперной характеристики исследуемого ФЧЭ как отношение подаваемого напряжения к току.

Андреев Дмитрий Сергеевич, ведущий инженер-технолог.
Хакуашев Павел Евгеньевич, главный специалист.
Чинарева Инна Викторовна, ведущий инженер-технолог.
АО «НПО «Орион».

Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, д. 9.
Тел. 8 (495) 672-20-31. E-mail: orion@orion-ir.ru

Тришенков Михаил Алексеевич, профессор.
МИРЭА (Технический университет).
Россия, 119454, Москва, просп. Вернадского, 78.

Статья поступила в редакцию 18 марта 2015 г.

© Андреев Д. С., Хакуашев П. Е., Чинарева И. В., Тришенков М. А., 2015

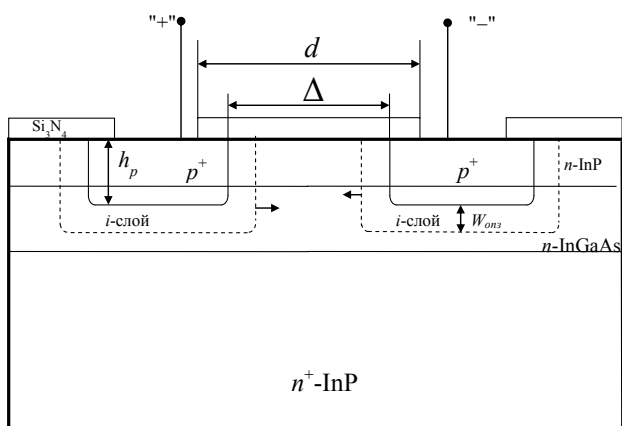


Рис. 2 Схема измерения вольтамперной характеристики ФЧЭ матрицы для определения сопротивления взаимосвязи и темного тока единичного элемента, где h_p — глубина p - n -перехода, $W_{онз}$ — ширина области пространственного заряда (ОПЗ), Δ — расстояние между p^+ -областями соседних элементов матрицы, d — зазор между диффузионными окнами

Таблица

№ пластины	Толщина слоя InP, мкм	Глубина p - n -перехода, мкм	Зазор между диф. окнами, мкм	Δ , мкм	$R_{вз}$, МОм		$I_{темн}$, нА		$U_{раб}$, В
					0,2 В	2 В	0,2 В	2 В	
п. 1 V-2043 (2)	1,0	3,2	6	$6-3,2 \times 2 = -0,4^*$	30	1,1	40	2040	4,5
п. 2 V-1632(2)-4	1,0	2,4	21	$21-2,4 \times 2 = 16,2$	210	1900	0,02	0,02	1
п. 3 V-2099 (1)	2,32	2,8	6	$6-2,8 \times 2 = 0,4$	6700	28	1,6	7,6	2
п. 4 V-2099(2)	2,32	2,47	6	$6-2,47 \times 2 = 1,1$	180	1050	1,5	1,6	0,4

* отрицательное значение Δ соответствует смыканию пикселей.

Результаты исследований и обсуждение

В результате проведенных исследований выявлено, что за счёт боковой диффузии примеси увеличивается эффективный размер ФЧЭ. Это приводит к смыканию p^+ -областей (расстояние между границами p^+ -областей $\Delta = -0,4$ мкм), и в результате увеличивается взаимосвязь (т. е. $R_{вз}$ уменьшается) (см. рис. 3). При этом рабочее напряжение $U_{рабочее} = 4,5$ В, а темновой ток при изменении напряжения от 0,2 до 2 В увеличивается на два порядка (пластина 1 в таблице).

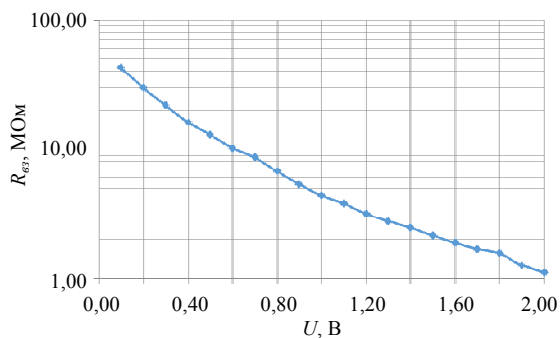


Рис. 3. Зависимость сопротивления взаимосвязи от подаваемого напряжения пластины № 1 с зазором между диффузионными окнами 6 мкм и $\Delta = -0,4$ мкм

С целью преодоления процесса смыкания была скорректирована топология матрицы: увеличен зазор между диффузионными окнами до 21 мкм при сохранении шага матрицы 30 мкм (пластина 2). В этом случае наблюдалось значительное увеличение $R_{вз}$ (рис. 4), что отразилось на рабочем напряжении матрицы $U_{рабочее} = 1$ В. Однако область пространственного заряда (ОПЗ) при этом не смыкалась ($\Delta = 16,2$ мкм), а, следовательно, коэффициент заполнения матрицы много меньше 100 %.

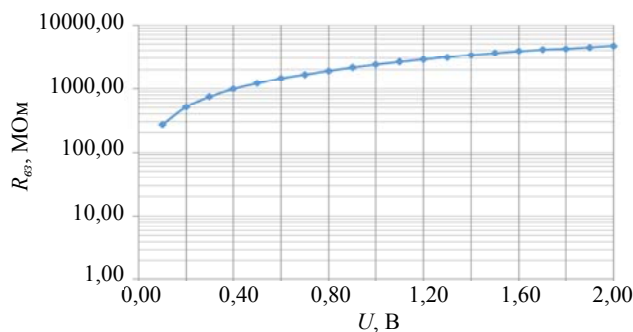


Рис. 4. Зависимость сопротивления взаимосвязи от подаваемого напряжения пластины № 2 с зазором между диффузионными окнами 21 мкм и $\Delta = 16,2$ мкм

Уменьшение взаимосвязи может быть получено и для стандартной топологии с зазором между диффузионными окнами 6 мкм. Для пластины 3, (где $\Delta = 0,4$ мкм и глубина диффузии 2,8 мкм, $U_{\text{рабочее}} = 2$ В) происходит смыкание ОПЗ, но сопротивление $R_{\text{вз}}$ при $U_{\text{рабочее}}$ недостаточно большое, и темновой ток при изменении напряжения от 0,2 до 2 В изменяется в 5 раз (рис. 5).

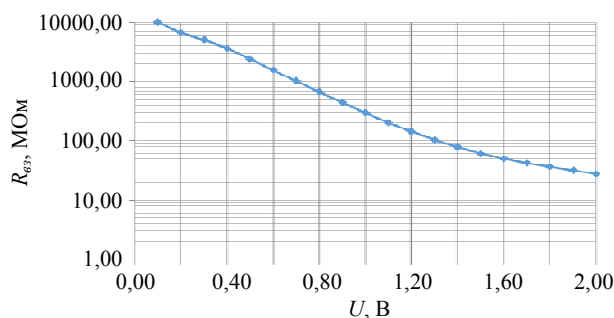


Рис. 5. Зависимость сопротивления взаимосвязи от подаваемого напряжения пластины № 3 с зазором между диффузионными окнами 6 мкм и $\Delta = 0,4$ мкм

В структуре пластины 4 (рис. 6) с глубиной диффузии примеси 2,47 мкм и $\Delta = 1,1$ мкм обеспечивается оптимальное $R_{\text{вз}}$ и рабочее напряжение $U_{\text{рабочее}} = 0,4$ В, причем в сочетании с полным обеднением поглощающего слоя. В этом случае при изменении напряжения от 0,2 до 2 В наблюдается стабильность темнового тока.

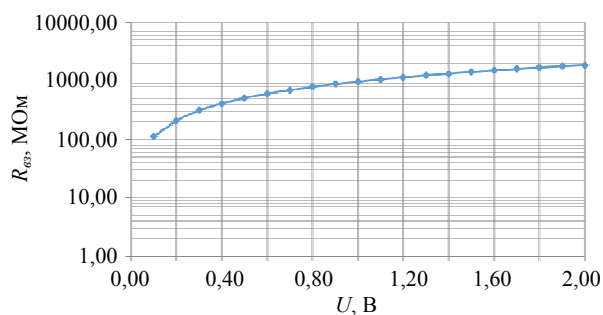


Рис. 6. Зависимость сопротивления взаимосвязи от подаваемого напряжения пластины № 4 с зазором между диффузионными окнами 6 мкм и $\Delta = 1,1$ мкм

Полученные в результате исследования данные сведены в вышепредставленную таблицу.

Заключение

Положение p - n -перехода определяется диффузией примесей и для всех исследуемых структур находится в поглощающем слое InGaAs. Исходя из определенных в работе глубин p - n -перехода, ранее выдвинутое предположение [8] о причине появления большой взаимосвязи из-за накопления дырок на границе InP/InGaAs является несостоятельным. Увеличенная взаимосвязь между фоточувствительными элементами при малом зазоре между p^+ -областями определяется смыканием p^+ -областей при диффузии примеси. При глубине диффузии примеси менее 2,5 мкм и расстоянии между границами p^+ -областей $\Delta \geq 1$ мкм взаимосвязь может быть обеспечена на минимальном уровне, который определяется диффузией неосновных носителей заряда.

Таким образом, уменьшение взаимосвязи может быть получено без увеличения рабочего напряжения смещения на фотодиоде при сохранении достаточно низкого уровня темнового тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Д. С., Гришина Т. Н., Залетаев Н. Б. и др. // Прикладная физика. 2012. № 4. С. 86.
2. Андреев Д. С., Залетаев Н. Б., Трищенко М. А. и др. // Прикладной физики. 2013. № 6. С. 76.
3. Горлачук П. В., Мармалюк А. А., Рябоштан Ю. Л. и др. // Прикладная физика. 2012. № 5. С. 77.
4. Болтарь К.О., Лопухин А.А., Чинарева И.В. и др. // Прикладная физика. 2013. № 5. С. 10.
5. Андреев Д. С., Болтарь К. О., Власов П. В. и др. // Успехи прикладной физики. 2014. Т. 2. № 1. С. 60.
6. Бурлаков И. Д., Гринченко Л. Я., Дирочка А. И. и др. // Успехи прикладной физики. 2014. Т. 2. № 2. С. 131.
7. Андреев Д. С., Хакуашев П. Е., Чинарева И. В. и др. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 3. С. 374.
8. Акимов В. М., Андреев Д. С., Демидов С. С. и др. // Прикладная физика. 2014. № 5. С. 50.

Diffusion depth effects on array InGaAs/InP photodiode characteristics study

D. S. Andreev¹, P. E. Khakuashev¹, I. V. Chinareva¹, and M. A. Trishenkov²

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

²Moscow State Technical University of Radio Engineering, Electronics and Automation
78 Vernadsky av., Moscow, 119454, Russia

Received March 18, 2015

Consideration is given to an increased interrelation between the array cells. A cause of this phenomenon has been ascertained: it is a linkage of the photo-sensitive array cells due to sideways diffusion. The optimal diffusion depth of 2.5 μm and the distance between p^+ -areas of neighboring array cells of 1 μm have been selected, thus ensuring a minimal interrelation level without loss of detectability.

PACS: 85.60.-q

Keywords: focal plane array, crosstalk pixels, defect cells, crosstalk resistance, dark current.

REFERENCES

1. D. S. Andreev, T. N. Grishina, N. B. Zaletaev, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 4, 86 (2012).
2. D. S. Andreev, N. B. Zaletaev, M. A. Trishenkov, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 6, 76 (2013).
3. P. V. Gorlachuk, A. A. Marmalyuk, Yu. L. Ryaboshtan, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 5, 77 (2012).
4. K. O. Boltar, A. A. Lopukhin, I. V. Chinareva, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 4, 86 (2012). 2013. № 5. C. 10.
5. D. S. Andreev, K. O. Boltar, P. V. Vlasov, et al., *Uspekhi Prikladnoi Fiziki* **2**, 60 (2014).
6. I. D. Burlakov, L. Ya. Grinchenko, A. I. Dirochka, et al., *Uspekhi Prikladnoi Fiziki* **2**, 131 (2014).
7. D. S. Andreev, P. E. khakuashev, I. V. Chinareva, et al., *Uspekhi Prikladnoi Fiziki* **2**, 374 (2014).
8. V. M. Akimov, D. S. Andreev, S. S. Demidov, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 5, 50 (2014).