

УДК 621.383

Кремниевый координатный фотодиод с улучшенными параметрами

С. С. Демидов, Е. А. Климанов, М. А. Нури

Приведены результаты работы по улучшению параметров кремниевых координатных фотодиодов (ФД). Показано, что введение в технологический маршрут операции геттерирования диффузионным слоем фосфора приводит к существенному уменьшению темновых токов, что связано с резким снижением концентрации глубокого ГРЦ, определяющего темновой ток в ФД, изготовленных без применения данной операции. Приведены типичные параметры ФД.

PACS: 85.60.-q

Ключевые слова: кремниевый фотодиод, темновой ток, параметр, операция, фосфор.

Введение

Кремниевые координатные фотодиоды, начиная с 60-х годов и до настоящего времени, находят применение в различных системах автоматического управления и производятся различными фирмами [1—7]. При этом совершенствование кремниевой технологии приводит к постоянному улучшению параметров фотодиодов.

В настоящем сообщении приведены результаты работы по улучшению параметров кремниевых координатных фотодиодов (ФД), прежде всего, в направлении снижения темновых токов с целью расширения возможности применения данных ФД в широком диапазоне температур.

Постановка задачи

Четырехэлементные ФД с общим диаметром фоточувствительных элементов (ФЧЭ) 3 мм и зазором между ними 50 мкм изготавливались на кремнии *n*-типа марки КЭФ-20 (100) по стандартной планарной технологии с пассивацией поверхности термической двуокисью кремния.

Для снижения темновых токов фотодиодов I_d в технологическом маршруте изготовления использовалась операция геттерирования сильнолегированным диффузионным слоем фосфора для снижения концентрации генерационно-рекомбинационных центров (ГРЦ) [8, 9]. Сравнительные температурные зависимости темнового тока I_d ФД,

изготовленных с применением данной операции (ФД-2) и без нее (ФД-1), показывают значительное снижение темновых токов и, соответственно, шумов при использовании технологии ФД-2 (рис. 1).

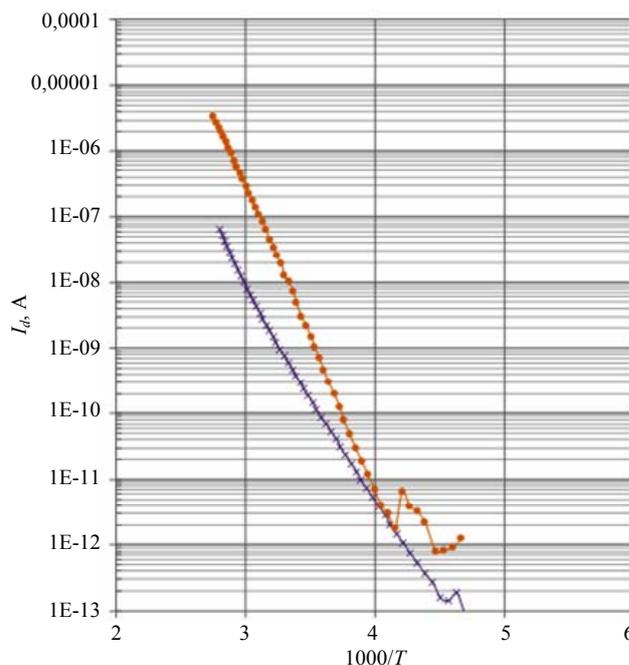


Рис. 1. Температурные зависимости темновых токов для ФД: 1 — с геттерированием, 2 — без геттерирования

Следует отметить меньшее значение энергии активации температурной зависимости темнового тока для образцов с применением операции геттерирования, что свидетельствует о меньшей глубине уровня ГРЦ, ответственных за генерационно-рекомбинационный ток в этих ФД. Действительно, значения энергии активации ΔE при положении уровня E_t в нижней половине запрещенной зоны соответствуют энергетическому зазору между краем зоны проводимости E_c и уровнем E_t в соответствии с соотношением, получаемым из из-

Демидов Станислав Стефанович, ст. научный сотрудник.
Климанов Евгений Алексеевич, гл. научный сотрудник.
Нури Марина Александровна, научный сотрудник.
ОАО «НПО «Орион».
Россия, 111123, Москва, шоссе Энтузиастов, 46/2.
E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 10 августа 2014 г.

© Демидов С. С., Климанов Е. А., Нури М. А., 2014

вестного выражения для генерационного тока в теории Са-Нойс-Шокли [10]:

$$I_d = q(\sigma_n v_n N_t) \sqrt{N_c N_v} \exp\left[-\left(\frac{E_c - E_t}{kT}\right)\right], \quad (1)$$

где q , v_n — заряд и тепловая скорость электронов, N_t , σ_n — концентрация ГРЦ и их сечение захвата электронов.

Следовательно, глубокий уровень, определяющий темновой ток в ФД-1, удаляется при использовании операции геттерирования.

Оценка энергетического положения уровня ГРЦ, ответственных за темновой ток в ФД-2, дает $E_t \approx E_c - (0,6—0,65)$ эВ и согласуется с положением уровня термодоноров $E_{td} = (E_v + 0,4)$ эВ, образуемых межузельными атомами железа, как и в случае $p-i-n$ -ФД, изготовленных из кремния p -типа с высоким удельным сопротивлением [11].

На рис. 2 приведены гистограммы распределений при рабочем напряжении $V = 5$ В интегральной токовой чувствительности S_i ФД, соответственно, при комнатной, повышенной (70°C) и пониженной (-60°C) температурах. На рис. 3 даны гистограммы темновых токов при комнатной и повышенной температурах (70°C). Значения темнового тока при пониженной температуре (-60°C) не превышали 10^{-12} А.

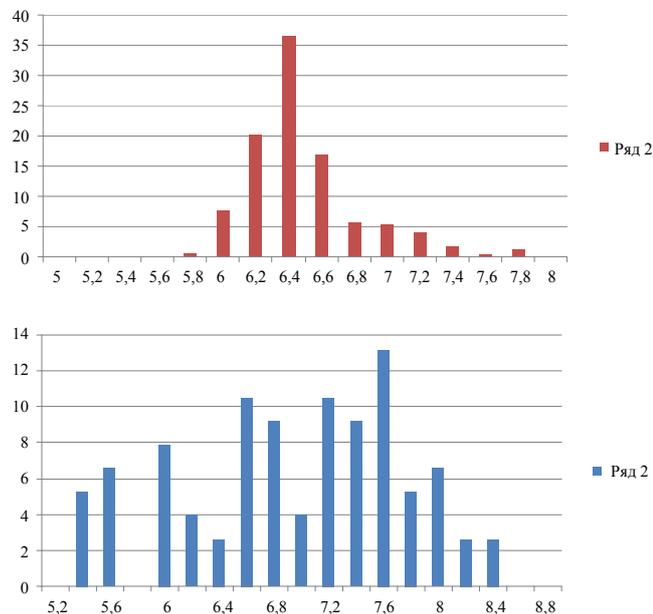


Рис. 2. Распределение значений интегральной токовой чувствительности при 22° и 70°C

Из полученных результатов следует, что изготавливаемые по данной технологии ФД сохраняют достаточно высокий для многих применений уровень параметров во всем диапазоне температур от -60 до 70°C , а именно:

- темновой ток $I_d \leq 5,10^{-9}$ А;

- токовая чувствительность к источнику «А» $S_i \geq 4,5$ мА/лм;
- коэффициент фотоэлектрической связи между элементами $k \leq 2\%$;
- неравномерность чувствительности между площадками и по площадкам $\Delta S_i \leq 10\%$.

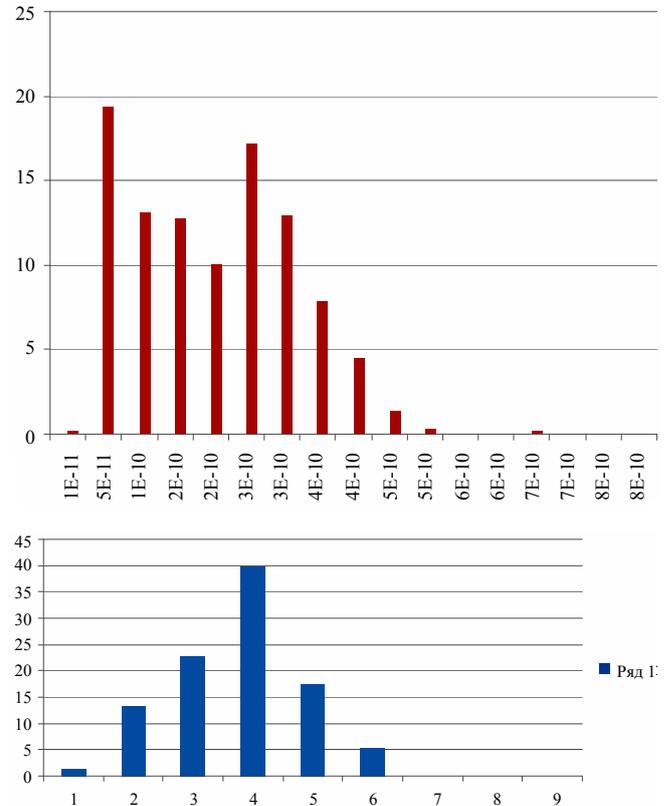


Рис. 3. Распределение значений темнового тока при 22° и 70°C

Важным эксплуатационным параметром координатных ФД является дрейф нулевой точки. Значение этого параметра в диапазоне температур от -60 до 70°C не превышало 10 мкм.

Типичные значения основных параметров приведены в таблице:

Таблица

Параметр	Единица измерения	Значение параметра
Токовая интегральная чувствительность	мА/лм	≥ 6 при 22°C ≥ 5 при 70°C ≥ 4 при -60°C
Темновой ток	А	$\leq 5 \cdot 10^{-10}$ при 22°C $\leq 5 \cdot 10^{-9}$ при 70°C
Разброс токовой интегральной чувствительности между ФЧЭ и по отдельным ФЧЭ	%	≤ 10
Коэффициент взаимосвязи между фоточувствительными площадками	%	≤ 1
Дрейф нулевой точки в диапазоне температур	мкм	≤ 10 мкм в диапазоне от -60 до 70°C

Следует отметить, что достигнутый уровень по основным параметрам соответствует значениям для аналогичных ФД, выпускаемых фирмой Hamamatsu [4]. Габаритные размеры ФД: диаметр — 7,2 мм, длина с выводами — 7,5 мм.

Заключение

Приведены результаты работы по улучшению параметров кремниевых координатных фотодиодов. Показано, что введение в технологический маршрут операции геттерирования диффузионным слоем фосфора приводит к существенному уменьшению темновых токов, что связано с резким снижением концентрации глубокого ГРЦ, определяющего темновой ток в ФД, изготовленных без применения данной операции. Приведены типичные параметры ФД.

Работа выполнена по гранту Президента Российской Федерации НШ-2787.2014.9

Литература

1. Филачев А. М., Таубкин И. И., Тришенков М. А. Твердотельная фотоэлектроника. Фотодиоды. — М.: Физматкнига. 2011.
2. Лисейкин В. П. Координатно-чувствительный фотодиод с поперечным фотоэффектом, Авторское свидетельство № 31030 с приоритетом от 8.07.1963 г.
3. Лисейкин В. П., Тришенков М. А. // Полупроводниковые приборы и их применение. 1966. № 16. С. 22.
4. Тришенков М. А. // Физика и техника полупроводников. 1967. Т. 1. С. 1242.
5. Каталог фирмы I D T (США), июль 1986 г.
6. Каталог фирмы Hamamatsu (Япония), www.hamamatsu.su
7. Лисейкин В. П. // Труды XXII Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. С. 298.
8. Seidel T. E., Meek R. L., Cullis A. G. // J. Applied Physics. 1975. V. 46. No. 2. P. 600
9. Климанов Е. А., Кулыманов А. В., Лисейкин В. П. // Военная техника и экономика». Сер. Общетеchnическая. 1977. № 7.
10. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов. — М.: Энергия. 1973.
11. Демидов С. С., Климанов Е. А., Колесникова Т. Г. и др. // Прикладная физика. 2014. № 1. С. 68.

The coordinate silicon photodiode with improved parameters

S. S. Demidov, E. A. Klimanov and M. A. Nuri

Orion R&P Association
46/2 Enthusiasts highway, Moscow, 111123, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

Received August 10, 2014

A work has been made for improving parameters of the coordinate silicon photodiodes. It is shown that gettering phosphor decreases dark currents.

PACS: 85.60.-q

Keywords: silicon photodiode, dark current, parameter, operation, phosphor.

References

1. A. M. Filachev, I. I. Taubkin and M. A. Trishenkov, *Solid-State Photoelectronics. Photodiodes*. (Fizmatkniga, Moscow, 2011) [in Russian].
2. V. P. Liseikin, USSR Inventor's Certificate, No. 31030. Priority - July 8, 1963.
3. V. P. Liseikin and M. A. Trishenkov, *Poluprovodnikovye Pribory i Ikh Primenenie*, No. 16, 22 (1966).
4. M. A. Trishenkov, *Semiconductors* **1**, 1242 (1967).
5. Catalog of IDT Company (USA), July, 1986.
6. Catalog of Hamamatsu Co. (Japan), www.hamamatsu.su
7. V. P. Liseikin, in Proc. XXII Intern. Conf. on Photoelectronics (Orion, Russia), p. 298.
8. T. E. Seidel, R. L. Meek and A. G. Cullis, *J. Applied Physics* **46**, 600 (1975).
9. E. A. Klimanov, A. V. Kulymanov and V. P. Liseikin, *Voennaya Tekhnika i Ekonomika*, No. 7 (1977).
10. S. M. Sze and K. Ng Kwok, *Physics of Semiconductors Devices*. (Wiley, 2007; Energia, Moscow, 1973).
11. S. S. Demidov, E. A. Klimanov, T. G. Kolesnikova, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 1, 68 (2014).