

## Коротковолновый дифференциальный фотоприемник на основе кремния

© В.В. Гаврушко, А.С. Ионов, О.Р. Кадриев, В.А. Ласткин

Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого,  
173003 Великий Новгород, Россия  
e-mail: Valery.Gavrushko@novsu.ru

(Поступило в Редакцию 9 февраля 2016 г. В окончательной редакции 18 мая 2016 г.)

Описан фотоприемник на основе кремния, содержащий два одинаковых по площади  $n^+$ - $p$ -фотодиода. Один из фотодиодов имел широкую спектральную характеристику с высокой чувствительностью в ультрафиолетовой области. Чувствительность второго была снижена в коротковолновой части спектра путем создания дополнительных рекомбинационных центров в приповерхностной области методом имплантации ионов As. Исследование спектральной чувствительности дифференциального сигнала, полученного вычитанием фототоков, установило ярко выраженную коротковолновую спектральную характеристику. Границы спектрального диапазона по уровню  $\lambda_{0,5}$  находились в пределах 0.27–0.44  $\mu\text{m}$ . Максимум чувствительности соответствовал  $\lambda_{\text{max}} = 0.36 \mu\text{m}$ . Чувствительность дифференциального канала на этой длине волны достигала 83% от чувствительности широкодиапазонного канала.

DOI: 10.21883/JTF.2017.02.44144.1752

### Введение

Фотоприемники на основе кремния находят широкое применение в оптоэлектронике. Это связано с возможностью материала эффективно регистрировать оптическое излучение в широком спектральном диапазоне от ультрафиолетового (УФ) до инфракрасного (ИК) излучений, а также с высокоразвитой и низкочастотной технологией кремниевых приборов. Однако при регистрации коротковолнового излучения наличие паразитной чувствительности в ИК и видимой областях часто является нежелательной. Для коррекции спектральной чувствительности обычно используются оптические фильтры [1,2]. Использование для глубокого подавления высококачественных внешних фильтров резко увеличивает стоимость приборов и не всегда является эффективным. Кроме того, исследователи отмечают деградацию приборов из-за склонности светофильтров к соляризации [3]. Возможности снижения чувствительности в длинноволновой области за счет формирования встроенного тормозящего поля [4] также дают ограниченный эффект. Интересным является способ формирования спектральной чувствительности фотоприемника за счет вычитания сигналов рядом расположенных чувствительных площадок с различной спектральной характеристикой (дифференциальные фотоприемники). В настоящей работе описан способ получения селективного УФ кремниевого фотоприемника с использованием технологических операций только полупроводникового производства без применения внешних фильтров. В качестве хорошо управляемого способа изменения спектральной характеристики можно применять имплантацию примеси в поверхностный слой, создающую дополнительные центры рекомбинации [5]. Эффективно для этих целей использовать тяжелые ионы, например As [6].

### Структура и характеристики фотоприемника

Структура фотоприемника приведена на рис. 1. Фотоприемник содержал две площадки, спектральная чувствительность которых была идентичной в ИК и видимой областях, но различна для УФ области. Размер приемных площадок для обоих каналов был одинаковым. Один из каналов для обеспечения высокой чувствительности в УФ области, формировался аналогично способу, описанному в работе [7]. Исходным материалом служил кремний  $p$ -типа марки КДБ-10. Фотодиодная структура создавалась ионным легированием фосфором и его последующей разгонкой для создания  $p$ - $n$ -перехода с хорошими электрическими характеристиками. Пленки алюминия играли роль оптического экрана, задающего размеры фоточувствительных площадок, а также служили электрическими выводами. С целью снижения связи между каналами размеры экрана в 5–6 раз превышали диффузионную длину неосновных носителей заряда. Для обеспечения омического контакта с  $n$ -слоем по периферийной области фоточувствительного

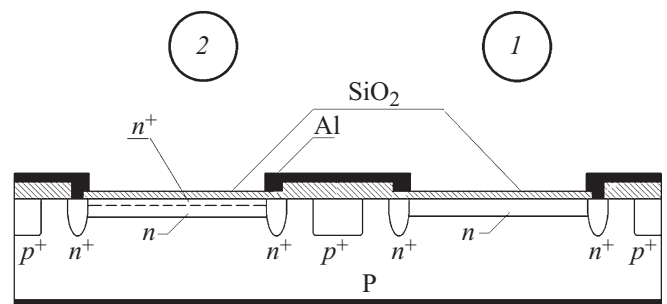


Рис. 1. Структура фотоприемника.

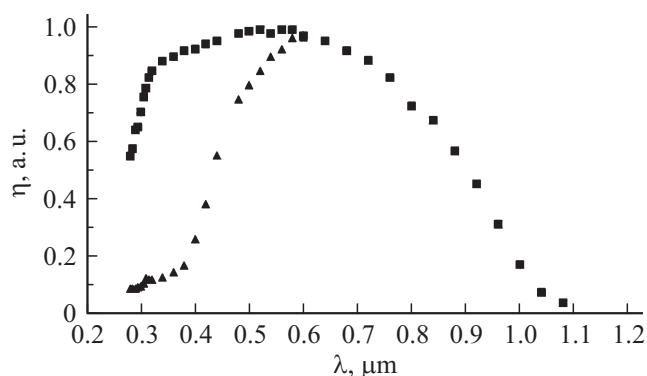


Рис. 2. Квантовая эффективность фотодиодов.

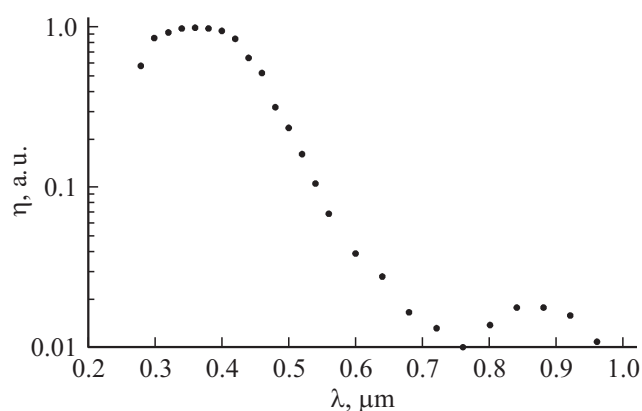


Рис. 3. Квантовая эффективность дифференциального канала.

слоя проводилась подконтактная диффузия фосфора. Диффузионные  $p^+$ -области служили для ограничения каналов инверсии, вносимых зарядом окисла. Второй канал формировался одновременно с первым на той же пластине с использованием общих технологических операций, но с добавлением на заключительной стадии процесса имплантации высокой дозы мышьяка. Такой прием позволил создать в приповерхностной области второго канала дополнительные центры рекомбинации и снизить чувствительность фотодиода в УФ-области. Вместе с тем идентичность глубоких слоев обеспечивала близкую спектральную чувствительность в длинноволновой области, где процессы сбора фотоносителей определялись удаленными от поверхности областями. Попытка предсказать количественные физические характеристики такого фотоприемника с помощью математического моделирования, например распределение спектральной чувствительности, вызывает определенные трудности. Это связано с проблемами в количественном определении значений концентрации структурных дефектов, их распределением, степенью ионизации мышьяка в имплантированном слое, параметрами центров рекомбинации. Тем более что эти величины подвержены изменениям в многоступенчатых технологических операциях. В связи с этим для получения достоверных све-

дений целесообразно было провести экспериментальное исследование характеристик таких приборов.

На рис. 2 представлена спектральная зависимость квантовой эффективности в относительных единицах для канала 1 и канала 2 (подвергнутого дополнительной имплантации мышьяком с дозой  $2000 \mu\text{Q}/\text{cm}^2$ ). Как видно из полученных данных, введение дополнительных рекомбинационных центров позволило на порядок снизить чувствительность второго канала в УФ-области. Вместе с тем при смещении к видимой области разница между сигналами в обоих каналах уменьшалась.

На рис. 3 приведена спектральная характеристика на выходе дифференциального усилителя, полученная вычитанием сигналов от каналов 1 и 2. Характеристика имела ярко выраженный максимум в УФ-области, около  $0.36 \mu\text{m}$ . Границы спектрального диапазона по уровню  $\lambda_{0.5}$  находились в пределах  $0.27\text{--}0.44 \mu\text{m}$ . Чувствительность дифференциального канала для больших длин волн ( $\lambda > 0.7 \mu\text{m}$ ) снижалась почти на два порядка. Одной из причин не полной компенсации сигналов мог служить разброс значений диффузионных длин в базовой области фотодиодов.

Следует отметить достаточно высокую чувствительность дифференциального канала. Так, в максимуме дифференциальный сигнал составил 83% от сигнала высокочувствительного канала 1 на этой же длине волны.

## Заключение

Описанный в настоящей работе дифференциальный фотоприемник обладал достоинствами, связанными с возможностью получения селективной спектральной характеристики, невысокой стоимостью кремниевой технологии, возможностью в широких пределах изменять размеры фоточувствительных площадок.

Исследование выполнено за счет поддержки Минобрнауки РФ в рамках базовой части госзадания, проект № 1755.

## Список литературы

- [1] Патент US № 7196311. H01L 27/15 от 11.08.2005.
- [2] Патент BY 8532 U. H01L 27/15 от 30.08.2012.
- [3] Гольтберг Ю.А., Царенков Б.В. //ЖТФ. 1996. Т. 66. Вып. 8. С. 195–197.
- [4] Гаврушко В.В., Ионов А.С., Ласткин В.А. // Датчики и системы. 2009. № 6 (121). С. 49–51.
- [5] Горшков А.П., Карпович И.А., Павлова Е.Д., Волкова Н.С. ФТП. 2012. Т. 46. Вып. 12. С. 1542–1545.
- [6] Патент RU № 156627. H01L 31/068 от 05.05.2015.
- [7] Гаврушко В.В., Ласткин В.А. // Вестник НовГУ. 2014. № 81. С. 53–55.