

дой фазы в водных суспензиях. Датчики, разработанные на основе указанного метода, могут встраиваться в технологическую линию подачи пульпы на бумагоделательную машину и работают в реальном времени в течение всего технологического процесса. Помимо высокой точности измерения концентрации твердой фазы, такие приборы нечувствительны к типу целлю-

лозных волокон, их длине, составу, степени помола, цвету, скорости потока и особенно незаменимы при измерении концентрации макулатурных потоков массы. Высокое качество данных приборов подтверждается тем фактом, что более 150 таких датчиков работают на целлюлозно-бумажных предприятиях Беларуси, России, Казахстана, Украины и Литвы.

УДК 621.383.52

МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЙ P-I-N ФОТОПРИЕМНИК ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ

Блынский В.И.

Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

В системах оптической локации широко используется излучение с длиной волны $\lambda=1,06$ мкм. Это объясняется тем, что с одной стороны ему соответствует край одного из окон прозрачности атмосферы, с другой - существуют мощные полупроводниковые источники излучения с данной длиной волны.

Кремниевые фотодиоды активно используются для приема излучения в ближней ИК области спектра, в том числе и излучения с $\lambda=1,06$ мкм.

Из-за малого коэффициента поглощения данного излучения в кремнии оно лишь частично поглощается в подложке фотоприемника [1]. Это является одной из основных причин, приводящих к низкой чувствительности кремниевых фотодиодов на данной длине волны. В многоэлементных фотоприемниках (МЭФП) приходится также учитывать фотоэлектрическое взаимодействие между соседними *p-i-n* переходами [2-4].

Для увеличения спектральной чувствительности фотоприемника используются контакты различной формы, отражающие излучение от тыльной стороны подложки обратно в кремний. [5]. Однако они мало пригодны для использования в интегральных МЭФП, так как их присутствие в конструкции наряду с увеличением спектральной чувствительности приводит к увеличению фотоэлектрической связи (ФЭС) между *p-i-n* переходами и соответственно ухудшению пороговых характеристик.

В работе рассматривается влияние формы металлизации на обратной стороне подложки на спектральную чувствительность и фотоэлектрическую связь между *p-i-n* переходами в МЭФП, предназначенном для приема излучения с $\lambda=1,06$ мкм. Коэффициент фотоэлектрической связи определялся по отношению фототока *p-i-n* перехода, фоточувствительная поверхность которого закрыта экраном, край которого расположен посередине зазора между переходами, к фототоку соседнего освещенного *p-i-n* перехода.

Исследуемый фотоприемник состоял из двух ортогонально расположенных в одном кристалле матриц *p-i-n* переходов. Он предназначался для работы в системе оптической локации, включающей светоделительное устройство, разлагающее отраженный от объекта локации оптический луч в 2 взаимно-перпендикулярных направлениях. Местоположение этих лучей, каждый из которых попадает на отдельную матрицу фотодиодов, позволяет получить необходимую информацию относительно координат объекта.

Фотоприемник формировался в кремнии *p*-типа с удельным сопротивлением 200 Ом см толщиной 200 мкм. Каждая матрица фотодиодов включала 12 расположенных параллельно друг к другу *p-i-n* переходов, расположенных с шагом 300 мкм (рисунок 1).

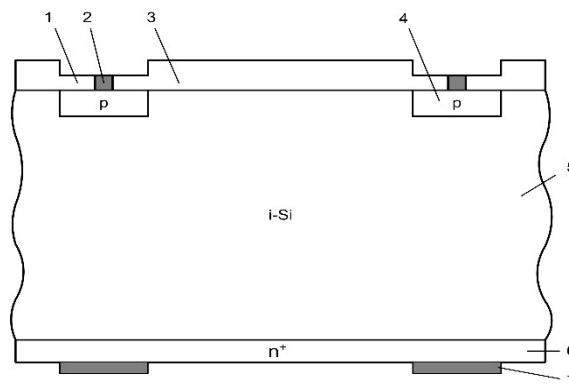


Рисунок 1 – Фрагмент конструкции МЭФП.
1- просветляющее покрытие, 2 – электрод к *p*-области, 3 – защитный окисел, 4 – *p*-область, 5 – подложка, 6 – геттерирующий слой, 7 – контакт к подложке

Для стабилизации поверхности кремния и уменьшения поверхностной составляющей темнового тока фотоприемника его фоточувствительная поверхность легировалась фосфором до концентрации 10^{15} см⁻³. *P*-области *p-i-n* переходов формировались имплантацией бора.

Для улучшения омического контакта к подложке ее тыльная сторона легировалась фосфором до концентрации 10^{19} см³. Алюминиевая металлизация на обратной стороне подложки изготавливалась в двух вариантах. В первом случае она полностью закрывала тыльную сторону подложки МЭФП, а во втором – выполнялась в виде сетки, состоящей из участков металлизации, расположенных под *p*-областями *p-i-n* переходов и соединенных между собой.

Спектральные характеристики *p-i-n* переходов матриц с двумя формами контактов к подложке на ее обратной стороне при рабочем напряжении 80 В представлены на рисунке 2.

Видно, что максимальная спектральная чувствительность фотоприемника при $\lambda = 0,97$ мкм и рабочем напряжении 80 В составляет 0,53 А/Вт. Спектральная чувствительность при $\lambda = 1,06$ мкм составляет 0,27 А/Вт для фотоприемника со сплошным, и 0,23 А/Вт – с сетчатым контактом, соответствующим рисунку 1. Соответственно коэффициент ФЭС составлял 0,08 и 0,03.

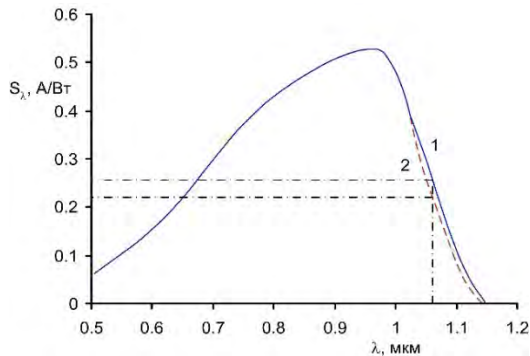


Рисунок 2 – Спектральная характеристика *p-i-n* перехода при различной форме электрода на тыльной стороне подложки. 1 – сплошной контакт, 2 – сетчатый контакт по рисунку 1

Основной вклад в спектральную чувствительность вносит излучение, проникающее в фотоприемник со стороны фоточувствительной поверхности. Частично поглощаясь в фоточувствительной области освещаемого *p-i-n* перехода, кванты излучения генерируют дырки. Часть излучения, падающего на фоточувствительную поверхность фотоприемника, достигает противоположной стороны подложки и отражается от алюминиевого контакта, расположенного на ней обратно в кремний. При этом в фоточувствительную область освещаемого *p-i-n* перехода в основном попадают кванты излучения, отраженные от участка алюминиевого контакта, расположенного под *p*- областью. При вторичном прохождении отраженного излучения через фоточувствительную область освещаемого *p-i-n* перехода происходит дополнительная генерация дырок и увеличение спектральной чувствительности.

Часть излучения, отраженного от металлиза-

ции на тыльной стороне подложки, попадает в фоточувствительную область соседнего неосвещенного *p-i-n* перехода, что приводит к возникновению фотоэлектрической связи между освещенным и соседним неосвещенным *p-i-n* переходами. Этот механизм образования ФЭС является доминирующим при приеме излучения с длиной волны $\lambda > 1,0$ мкм [6]. В нашем случае величина коэффициента ФЭС преимущественно определяется отражением излучения от участков металлизации на обратной стороне подложки между *p*-областями и под их краями.

Таким образом незначительное уменьшение спектральной чувствительности по сравнению со снижением ФЭС в несколько раз в МЭФП с сетчатым контактом обусловлено различным влиянием отраженного излучения на эти параметры. Спектральная чувствительность в МЭФП с обоими типами контактов изменяется незначительно как из-за того, что в обоих типах контактов присутствует металлизация на тыльной стороне подложки под *p-i-n*-переходами, так и вследствие того, что в отличие от ФЭС величина спектральной чувствительности лишь частично зависит от отраженного излучения.

Целесообразно использование сетчатого контакта рассмотренной формы в МЭФП, предназначенных для приема излучения с $\lambda = 1,06$ мкм, функционирующих при мощности информационного сигнала, близкой к пороговой.

1. Блынский, В.И. Влияние способа освещения на спектральные характеристики кремниевых *p-i-n* переходов / В.И. Блынский // ЖПС-1989. Т.50 № 3 С.500-603
2. Holway, H. Periphera photoresponse of *p-i-n* junction // Journal of Applied Physics. – 1983. – Vol. 54. – N8. – P. 4641-4656.
3. Holloway, H. Peripheral electron-beam induced current response of a shallow *p-n* junctions // Journal of Applied Physics. – 1984. – Vol.55. – N10. – P. 3669-3675.
4. Блынский, В.И. Диффузионная фотоэлектрическая связь в кремниевых многоэлементных структурах / В.И. Блынский, Ф.Ю. Куликов, В.И. Осинский, С.Ю. Рахлей // ДАН БССР. – 1989. – Т.33. – № 2. – С.117-120.
5. Добровольский, Ю.Г. Кремниевый *p-i-n* фотодиод с малым темновым током / Ю.Г. Добровольский, Е.В. Комаров, М.П. Биксей // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. Технология и конструирование в электронной аппаратуре. Функциональная микро и нано электроника. – 2011. – № 3. – С. 27-31.
6. Blynski, V.I. Photoelectric crosstalk between silicon photoelements / V.I. Blynski, A.Yu. Kulikov, S.Yu. Rakhley and V.I. Osinskii // Physica status solidi (a). – 1990. Vol.121. – N1. – P.227-238.