

УДК 621.383

Фотоэлектрические свойства германиевых фотодиодов со слоями диоксида циркония, нанесенными магнетронным методом

Т. Н. Гришина, Н. Н. Кичина, Л. А. Косухина, М. С. Сидоров, М. А. Трищенко, Е. А. Трошков,
П. Е. Хакуашев, Т. А. Хромова, И. В. Чинарева

ФГУП «НПО "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

E-mail: orion@orion-ir.ru

В рамках программы использования фианита в фотоэлектронике изготовлены образцы многоэлементных германиевых фотодиодов с кодом Грея. Дополнительно на поверхности прибора нанесено защитное и стабилизирующее покрытие — слой двуокиси циркония ZrO_2 (аналога фианита). Традиционно используемый низкотемпературный окисел SiO_2 имеет определенные недостатки, которые удалось устранить благодаря новому стабилизирующему покрытию. Сравнение германиевых приборов с традиционным окислом SiO_2 и с новым окислом ZnO_2 показало, что использование последнего приводит к существенным преимуществам.

PACS: 85.30.-z

Введение

Возможности традиционных материалов в микроэлектронике зачастую исчерпаны, дальнейший прогресс в этой области связан с разработкой и использованием новых материалов и технологий, в том числе фианита [1, 2]. Использование фианита перспективно и для изделий фотоэлектроники.

В работе [3] отмечены три новых направления разработок фотоприемников, использующих электрофизические свойства фианита. В настоящей работе изложены результаты по исследованию фианита как защитного и стабилизирующего слоя германиевых многоэлементных фотодиодов.

Исследуемые образцы

Защитные и стабилизирующие свойства фианитового диэлектрического слоя были исследованы применительно к кодовому многоэлементному германиевому фотодиоду. Эти фотодиоды позволяют регистрировать координату распространенных лазерных источников излучения с длиной волны в диапазоне 0,9—1,55 мкм (точнее, координату оптической полосы, спроецированной на фоточувствительную площадку). Благодаря коду Грея координата выдается непосредственно в двоичном виде. Такие фотоприемники используются в системах защиты танков от управляемых по лучу противотанковых снарядов противника, в системах ориентации самолетов и вертолетов при взлете и посадке и других аналогичных оптико-электронных системах. Топология изготовленного германиевого фотоприемника, соответствующая коду Грея, приведена на рис. 1. Принцип формирования фотоотклика в двоичном коде при перемещении оптической полосы, проецируемой поперек всех элементов, описан в [4]. Прибор изготовлен по планарной технологии на германии электронного типа с удельным сопротивлением 0,3 Ом·см. Электронно-дырочный переход формировался диффузией и разгонкой бора.

Для выявления особенностей фианита были приготовлены две партии образцов. В первой партии контрольных образцов для защиты поверхности традиционно используется пленка двуокиси кремния SiO₂, которая формировалась пиролитическим методом и имеет толщину 2000 Å. Вторая партия образцов (назовем их "фианитовыми") изготовлена по новой технологии, которая имеет дополнительный слой. В первых экспериментах этот слой формировался магнетронным распылением из мишени двуокиси циркония ZrO₂, химического аналога фианита (основой фианита является ZrO₂, и содержание этой двуокиси в фианите составляет ~90 %). Для следующей серии экспериментов изготовлена мишень из фианита. Технология магнетронного распыления указанных слоев, фотолитографии, травления, формирования токопроводящей системы описаны в работе [5].

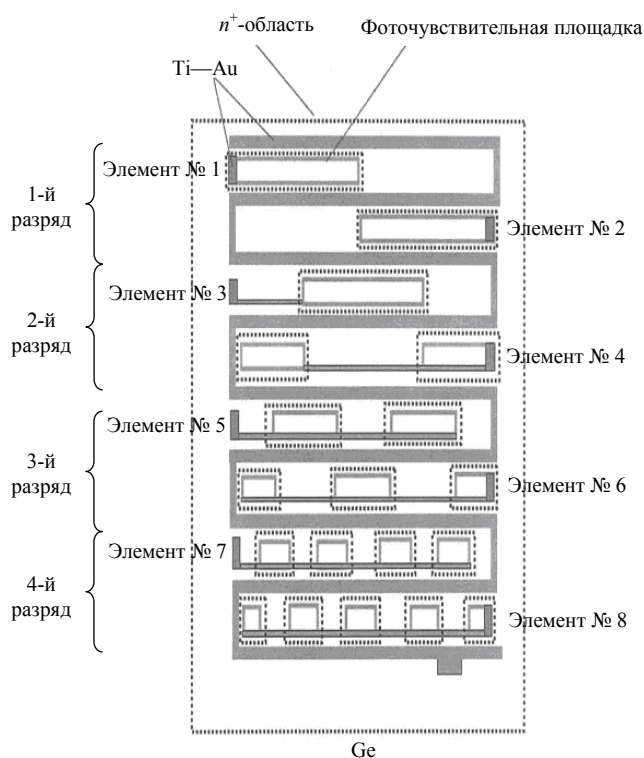


Рис. 1. Топология германиевого фотоприемника, соответствующая коду Грея

Результаты экспериментов

На обоих типах образцов — контрольных и "фианитовых" снимались традиционные фотоэлектрические характеристики: монохроматическая чувствительность на длинах волн 1,06 и 1,55 мкм, вольт-амперные и шумовые характеристики.

Монохроматическая чувствительность лежала в диапазоне 0,5—0,6 А/Вт (в данных экспериментах не ставилась задача выбора оптимальных для просветления толщин пленок). Фианитовый слой привел к некоторому (порядка 10 %) уменьшению темнового тока: у типового контрольного образца он составлял 9,8 мкА, а у типового "фианитового" — 8,8 мкА. Эти значения измерены при рабочем напряжении 1 В и усреднены по элементам для каждого образца.

Принципиальное улучшение фотоэлектрических свойств фотодиода за счет использования фианита проявилось при исследовании импульсных шумов. Как известно, в оптико-электронных системах обнаружения подобные шумы недопустимы. В таких системах в каждом канале решения "пришел" или "не пришел" оптический сигнал принимается с помощью порогового устройства. Обычно напряжение порога срабатывания U_b выбирают в три—шесть раз выше среднеквадратичного значения шума U_s . Эта методика выбора U_b , так же как и методика расчета вероятности ошибки при принятии решения, применяется в случае нормального закона распределения шумов.

На рис. 2 приведены типовые осциллограммы токового шума фотодиода: для контрольного образца (см. рис. 2, *а*) и "фианитового" (см. рис. 2, *б*). Эти осциллограммы снимались при одинаковом рабочем напряжении U на обоих типах приборов. При некотором напряжении на контрольном фотодиоде (без фианитового защитного слоя) нормальный закон распределения шума нарушается: возникают шумовые выбросы, характерные для телеграфного импульсного шума (см. рис. 2, *а*). Фианитовый защитный слой устранил источники этих телеграфных шумов: размах шумовой дорожки (от пика до пика) соответствует примерно трем—пяти среднеквадратичным значениям шума (см. рис. 2, *б*).

Телеграфный шум (см. рис. 2, *а*) в фотоприемниках описан в литературе [6], его возможной причиной являются ключевые процессы подключения—отключения проводящих каналов. В исследованных авторами контрольных образцах такие каналы могут возникать на поверхности и переходе в окрестности пор в диэлектрике SiO_2 . Измерения показали, что в диэлектрическом защитном слое SiO_2 не удается снизить концентрацию пор ниже значения $4\text{--}8\text{ см}^{-2}$. Дополнительный фианитовый слой (точнее, слой двуокиси циркония ZrO_2), используемый для защиты поверхности, практически не содержит пор [5]. Можно предположить, что по этой причине указанные каналы устраняются. Это может быть объяснением наблюдаемого эффекта устранения импульсных шумов при нанесении дополнительного фианитового защитного слоя.

Очевидно, что появление импульсных шумов недопустимо. Они приводят к срабатыванию порогового устройства, к принятию ложного решения о приходе сигнала (шумовой выброс принимается за сигнал). В ряде приложений допускается использование фотоприемников с пониженным рабочим напряжением, при котором импульсные шумы не проявляются, и в образцах, изготовленных по стандартной технологии с традиционным защитным слоем SiO_2 (без использования слоев ZrO_2). Но и в этом случае применение фианитового защитного слоя прогрессивно, так как приводит к улучшению показателя надежности прибора (при ускоренных испытаниях наработку используется повышенное напряжение питания).

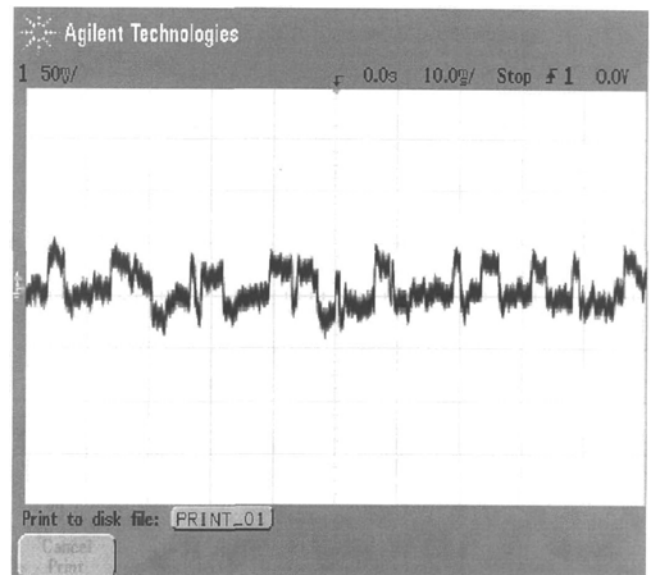
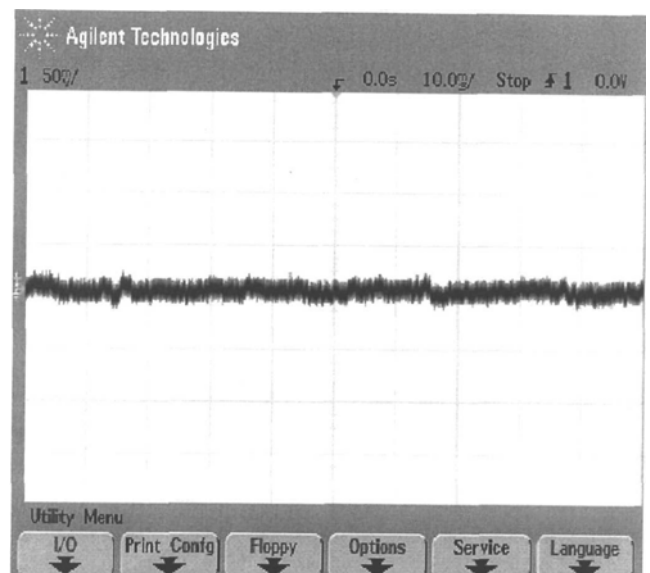
*а**б*

Рис. 2. Осциллограмма токового шума:

а — контрольного фотодиода без защитного фианитового слоя; *б* — фотодиода с защитным фианитовым слоем

Дальнейшие исследования по этому вопросу будут направлены на выявление:

- детального механизма импульсных шумов при повышенных напряжениях;
- новых возможностей фианитовых технологий для улучшения фотоэлектрических характеристик германиевых фотодиодов, например, при использовании двухслойных пленок $\text{SiO}_2 + \text{ZrO}_2$ как с антиотражающими свойствами (для повышения фоточувствительности), так и с отражающими свойствами (такая пленка должна наноситься над периферийными межэлементными областями в целях снижения взаимосвязи между элементами);
- влияния на фотоэлектрические характеристики германиевых фотодиодов химического со-

става фиаинита — содержание стабилизирующих добавок R_2O_3 , где R — Sc, Y, Gd ... Lu.

Выводы

1. С повышением рабочего напряжения на германиевых фотодиодах с типовым защитным слоем SiQ_2 могут возникать импульсные шумы телеграфного характера.

2. Показано, что использование дополнительного защитного фиаинитного слоя в германиевых фотодиодах устраняет импульсные шумы, тем самым принципиально улучшаются фотоэлектрические и эксплуатационные характеристики таких приборов.

Литература

1. Wang S. G., Ong C. K., Xu et al. Electrical properties of crystalline YSZ films on silicon as alternative gate dielectrics// Semicond. Sci. Technol. 2001. V. 16. P. L13—L16.

2. Buzynin A. N., Osiko V. V., Lomonova E. E., Voron'ko Yu. K., Sadygov Z. Y., Buzynin Yu. N., Daniltsev V. N., Drozdov Ya. N., Khrukin O. I., Murel A. V. Epitaxial films of III—V compound on fianite substrates// Proc. of International Congress on Advanced Materials, their Processes and Applications, 25—28 September 2000. — Munich, Germany, Article 672.

3. Бузынин А. Н., Кравченко Н. В., Ломонова Е. Е. и др. Перспективы использования фиаинита как материала микро- и фотоэлектроники для создания фотоприемников.— М.: Наука, 2008.

4. Никонов Б. С., Ревкина Э. И., Таубкин И. И. и др. Кремниевый многоэлементный кодовый фотоприемник. — М.: Наука, 1983.

5. Бузынин А. Н., Гришина Т. Н., Косухина Л. А. и др. Полупроводниковые фоточувствительные структуры с фиаинитом как пассивирующим защитным покрытием. — М.: Наука, 2008.

6. Тришенков М. А., Хакуашев П. Е. Импульсные шумы лавинного фотодиода на ранней стадии микроплазменного пробоя// РиЭ. 1987. № 12.

Статья поступила в редакцию 12 октября 2007 г.

Photo-electric properties germanium photodiodes with zirconium dioxide layers produced by magnetron sputtering

T. N. Grishina, N. N. Kichina, L. A. Kosuhina, M. S. Sidorov, M. A. Trishenkov, E. A. Troshkov,
P. E. Hakuashev, T. A. Hromova, I. V. Chinareva
Orion Research-and-Production Association, Moscow, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

Within the scope of using cubic zirconia in photoelectronics programme the samples multiple-unit germanium photodiodes with Gray code have been made. In addition the protective and stabilizing covering — a layer of dioxide of zirconium — has been deposited on the device surfaces ZrO_2 (cubic zirconia analogue). Traditionally used low-temperature oxide SiO_2 has certain disadvantages which managed to be eliminated thanks to a new stabilizing covering. Comparison germanium devices with traditional oxide SiO_2 and with new oxide ZnO_2 has shown, that using of the last leads to essential advantages.

PACS: 85.30.-z