Кремниевый бетавольтаический преобразователь

И.Б. Чистохин¹⁾, Б.И. Фомин¹⁾, В.В. Преображенский¹⁾, В.Г. Сидоров²⁾, П.В. Зеленков²⁾,
А.Т. Лелеков^{2,3)}

¹ Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН,
Новосибирск, 630090, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,
Красноярск, проспект им. газ. «Красноярский рабочий», д. 31

³ Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук», Красноярск, Академгородок, 50.

DOI 10.34077/RCSP2019-122

Для функционирования миниатюрных микроэлектронных устройств (кардиостимуляторы, разнообразные сенсоры, оборудование для космических аппаратов и т.д.) необходимы автономные источники электрического питания с длительным временем работы. Одним из типов таких устройств являются полупроводниковые бета-преобразователи энергии, основанные на разделении зарядов в р-п переходе, сгенерированных потоками бета-частиц, аналогично солнечным элементам. В качестве источника бета-излучения перспективно использование распада радиоизотопа никеля-63, имеющего среднюю энергию бета-частиц около 17кэВ (максимальное 63кэВ) с периодом полураспада около 100 лет. Вследствие эффекта самопоглощения активность источника на никеле-63 ограничена величиной около 40 мКи. Для повышения к.п.д. структуры бета-вольтаического преобразователя пытаются использовать помимо кремния такие широкозонные полупроводники как SiC или GaN. Однако, в настоящее время, значения времени жизни неравновесных носителей заряда (ННЗ) в этих кристаллах существенно уступают соответствующим значениям в кремнии. Другой путь – увеличение удельной площади преобразователя за счет объемного структурирования поверхности полупроводника. В настоящее время в мире не существует коммерчески доступного законченного устройства подобного типа.

В работе представлен бета-преобразователь типа PIN диода на основе высокоомного кремния (>5 кОм см) с тонким р⁺ слоем (около 100 нм). Разработанная технология включала использование геттерного слоя, позволившего сохранить после применения высокотемпературных обработок в процессе изготовления PIN диода высокие значения времени жизни ННЗ. На изготовленных PIN диодах площадью 5х5 мм² величина обратного темнового тока составляла менее 2 нА при внешнем смещении 3 В.

При испытаниях отдельных чипов PIN диодов получены следующие результаты. На рисунке представлены вольтамперные характеристики PIN диода в отсутствии облучения (dark) и при облучении источником BNi3.S3.4.R (beta) активностью 9 мКи/см² путем приложения источника к чипу. Средние значения для серии экспериментальных образцов чипов – ток короткого замыкания $I_{кз}$ составил 7,8 нА, напряжение холостого хода $U_{хх}$ 60 мВ. КПД, рассчитанный от поверхностной мощности

излучения, падающего на активное окно чипа, составил 0,29%. Предложены дальнейшие шаги, направленные на оптимизацию бетавольтаического преобразователя.

Работа выполнена в рамках ГЗ 0306-2016-0011, 0306-2018-001, а также при поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014-2020 годы», соглашение №14.577.21.0117, уникальный идентификатор RFMEFI57714X0117.