

06.2;12

Позиционно-чувствительный фотоприемник для фотоэлектрических преобразователей углов поворота

© Н.Т. Гурин, С.Г. Новиков, И.В. Корнеев, А.А. Штанько,
В.А. Родионов

Ульяновский государственный университет
E-mail: KorneevIV@gmail.com

Поступило в Редакцию 8 ноября 2010 г.

Рассмотрен позиционно-чувствительный фотоприемник для фотоэлектрических преобразователей углов поворота. Позиционно-чувствительный фотоприемник представляет собой полупроводниковую трехслойную структуру, выполненную в форме сектора кольца. Выходное напряжение позиционно-чувствительного фотоприемника линейно зависит от угла поворота излучающего диода относительно контактов фотоприемника. Рассмотренный фотоприемник имеет точность определения угла $7'$, высокую надежность, а также совместимость с любой измерительной, согласующей и обрабатывающей аппаратурой в конструкции преобразователей углов поворота.

Для бесконтактного измерения ряда физических величин, таких как перемещения, вибрации, углы поворота, в большинстве случаев использование оптических методов является наиболее эффективным, а иногда и единственным способом получения данных [1]. При этом для многих применений остается актуальной задача получения простых линейных фотопреобразователей, например для измерения углов поворота, наклонов и смещений различных объектов [2].

В современной электронной аппаратуре широко используются полупроводниковые позиционно-чувствительные фотоприемники (ПЧФ) [2], особенностью которых является линейная зависимость выходного сигнала от пространственного положения светового пучка на поверхности фотоприемника.

Обычно ПЧФ [1,3,4] представляют собой протяженные (до нескольких сантиметров) полупроводниковые структуры с одним или несколькими $p-n$ -переходами, аналоговые выходные сигналы которых пропорциональны положению пятна от направленного источника света

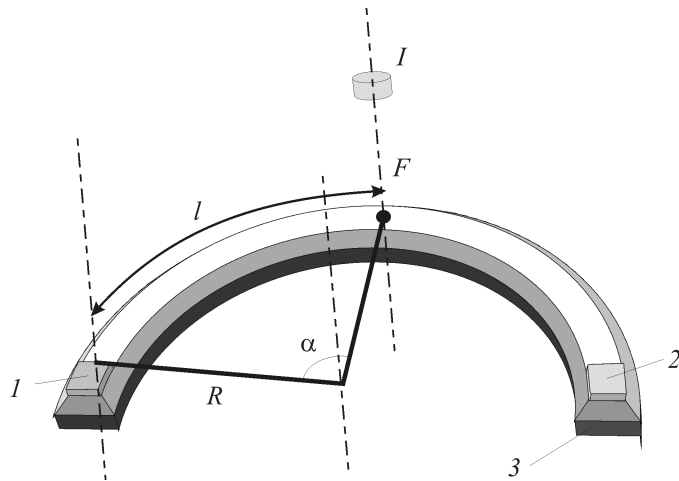


Рис. 1. Кольцевой позиционно-чувствительный фотоприемник.

на поверхности фотоприемника. В качестве опорного направленного источника света для таких фотоприемников, как правило, используется луч лазера (обычно полупроводникового). При этом источник излучения может быть размещен в одном корпусе с ПЧФ.

Одним из вариантов реализации полупроводникового ПЧФ для применения в преобразователях угла поворота может являться трехслойная полупроводниковая структура $p-n-p$ -типа с тремя омическими контактами (рис. 1), два из которых (1 и 2) расположены по краям верхнего фоточувствительного слоя, служащего эмиттером и одновременно делителем напряжения источника. Третий (3) является контактом к эквипотенциальной нижней области полупроводника, служащей коллектором. При проецировании светового пучка F от направленного источника (1) на эмиттерную область ПЧФ создается рельеф возбужденных светом и разделенных $p-n$ -переходом носителей тока. Считывание рельефа осуществляется либо приложением пилообразного напряжения между эмиттером и коллектором (режим сканистора) [4], либо постоянным напряжением, приложенным между эмиттерами (режим фотопотенциометра). В любом из этих режимов возможно измерение координаты падающего на поверхность фотоприемника светового пучка, что позволяет использовать либо один из режимов, либо оба режима одновременно

для повышения точности измерений. Однако режим фотопотенциометра является более просто реализуемым и не требует сложного аппаратурного оформления, как в случае сканистора (генератора пилообразного напряжения, дифференциального усилителя и др.). Выходным полезным сигналом в этом случае является напряжение на электроде 3.

В случае реализации ПЧФ в форме сектора кольца (рис. 1) можно оценить зависимость напряжения на коллекторе ПЧФ от величины угла. Длина дуги сектора кольца рассчитывается по формуле:

$$l = \alpha_0 \pi R / 180,$$

где α — угол сектора в градусах, R — радиус кольца.

Для идеального ПЧФ такого типа напряжение на третьем электроде:

$$U_l = k U_{12} l / L,$$

где U_{12} — постоянное напряжение, прикладываемое между первым и вторым электродами ПЧФ; L — длина фоточувствительного слоя; l — длина сектора ПЧФ от 0 до центра светового пятна; k — конструктивный параметр, зависящий от геометрии ПЧФ и интенсивности излучения.

При условии, что напряжение пропорционально координате (l), можно получить следующее соотношение:

$$U_l = k \alpha_0 U_{12} / 180 R.$$

Таким образом, напряжение на коллекторе ПЧФ прямо пропорционально углу, на который отклонится световой луч по отношению к началу дуги ПЧФ. Данное обстоятельство позволяет получить простой преобразователь угла в напряжение на основе кольцевого ПЧФ.

Для реализации преобразователя угла поворота в напряжение необходимо сформировать полупроводниковую структуру фотоприемника в форме кольца, полукольца или сектора кольца, что является сложной технической задачей.

Однако решение этой задачи возможно с помощью технологий ультразвуковой резки. Особенности данной технологии являются высокая скорость и качество резки, а также возможность получения различных геометрических форм полупроводниковых структур.

Для изготовления кольцевого фотоприемника была создана установка ультразвуковой резки, мощность колебательной системы которой составляет 80–100 W. Резонанс ультразвукового преобразователя,

совместно с концентратором и режущим инструментом, находился в диапазоне частот 17–22 kHz. Использование режущих инструментов с концентрическими режущими кромками треугольного сечения позволило в процессе резки снимать фаски с боковой поверхности колец для повышения напряжений пробоя переходов и снижения токов утечки. В процессе резки между пластиной кремния и инструментом подавалась суспензия в виде взвеси в воде порошка карбида бора со средним размером гранул 20 μm . При этом средняя скорость резки полупроводниковых пластин толщиной 300 μm составляла 2–3 min . В результате получены полупроводниковые трехслойные структуры ПЧФ в форме секторов колец.

В экспериментальном образце преобразователя угла поворота в напряжении использован кольцевой кремниевый ПЧФ (сектор кольца 70°), представляющий собой полупроводниковую структуру шириной 2 mm , радиусом 14 mm , с двумя p – n -переходами, реализованными на глубинах 53 и 233 μm в объеме полупроводника n -типа проводимости с поверхностным сопротивлением $30 \Omega/\square$. Удельное сопротивление p -областей составляло $400 \Omega \cdot \text{cm}$. На верхней фоточувствительной поверхности полупроводникового ПЧФ посредством никелирования получены два металлических электрода 1 и 2 (по краям кольцевого сектора) для подключения источника питания, на противоположной стороне кристалла — третий выходной электрод (рис. 1).

Фотоприемник смонтирован на медном компенсаторе, припаянном к металлизированной диэлектрической пластине, и размещен в цилиндрическом корпусе с поворотным механизмом, на валу которого размещен диэлектрический диск с лазерным ИК-диодом. При вращении ИК-диод поворачивается относительно фотоприемника. Максимальный угол поворота ИК-диода относительно контакта 1 или 2 ПЧФ составлял 60° .

Экспериментально исследованы вольт-амперные характеристики (ВАХ) ПЧФ (рис. 2) и напряжения на третьем электроде в зависимости от угла поворота вала преобразователя (рис. 3). При этом ИК-лазерный диод излучал на длине волны 780 nm . Ток накачки лазера равен 100 mA , диаметр луча на поверхности ПЧФ составлял $\sim 1 \text{ mm}$. Длина светочувствительной области фотоприемника составляла $L = 14.6 \text{ mm}$. Темновой ток составлял $2 \mu\text{A}$ и отношение фототока к темновому току $I_{ph}/I_d \sim 1000$. Питание ПЧФ осуществлялось от высокостабильного блока питания. Измерения проводились вольтметром В7-40А. Погрешность измерения составляла 0.5%. Напряжение питания между электродами 1 и 2 ПЧФ составляло $U_{12} = 24 \text{ V}$. ВАХ ПЧФ получены при

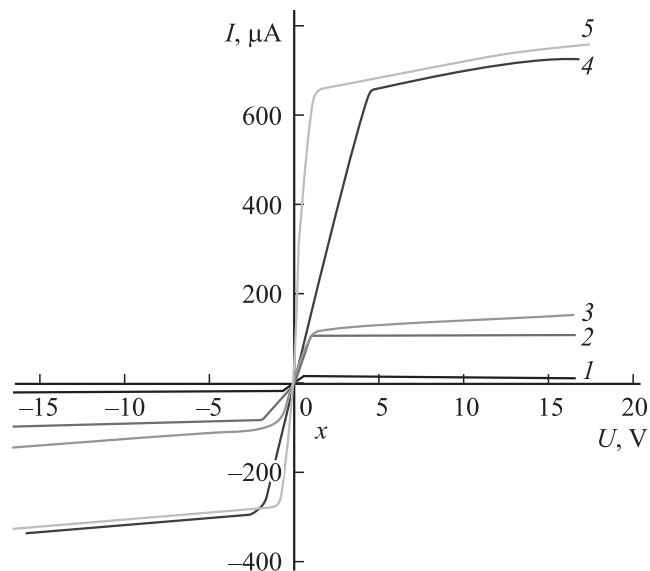


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики кольцевого ПЧФ в зависимости от угла поворота (1 — 0°, 2 — 5°, 3 — 14°, 4 — 20°, 5 — 70°).

подаче напряжения между контактами 1 и 3 (рис. 1) и измерении тока, протекающего через два встречно-последовательных $p-n$ -перехода, в зависимости от угла поворота лазерного диода.

Из рис. 2 видно, что при освещении фоточувствительной области ПЧФ ($> 14^\circ$) ВАХ остается практически неизменной, т.е. фототок в структуре не зависит от координаты светового пятна.

Из рис. 3 видно, что линейность (в пределах 5%) зависимости напряжения от угла поворота сохраняется в пределах $14-70^\circ$. При этом значение коэффициента k для данного образца равно 32.6 m/deg. В пределах от 0 до 14° нелинейность характеристики объясняется тем, что луч ИК-диода попадает на контактную площадку фотоприемника.

Таким образом, результаты работы показывают возможность создания позиционно-чувствительного фотопреобразователя угла поворота на основе полупроводниковых трехслойных позиционно-чувствительных фотоприемников, выполненных в форме кольца, полукольца или сектора кольца. Такие преобразователи имеют линейную зависи-

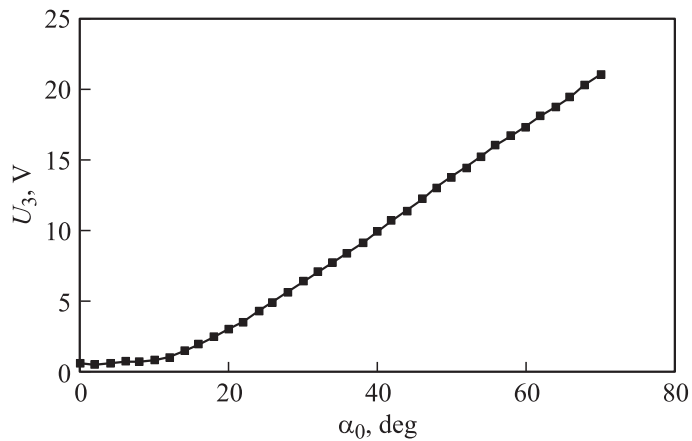


Рис. 3. Зависимость напряжения на третьем электроде кольцевого ПЧФ от угла поворота вала преобразователя.

мость выходного сигнала от угла, высокую точность определения угла (в разработанной конструкции — $7'$), высокую надежность (твердотельная конструкция), а также совместимость с любой измерительной, согласующей и обрабатывающей аппаратурой. При этом в качестве источника излучения может быть использован полупроводниковый лазер (лазерный диод), луч которого проецируется на поверхность фотоприемника, в том числе с помощью системы оптических волокон.

Работа поддержана грантами ФЦП „Научные и научно-педагогические кадры инновационной России“ на 2003–2013 годы, контракты П1158 и П2142.

Список литературы

- [1] Виглеб Г. Датчики. М.: Мир, 1989. 196 с.
- [2] Самарин А.А. // Электронные компоненты. 2003. № 7. С. 103–108.
- [3] Капитанкин И.А., Гурин Н.Т. // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. В. 13. С. 46–49.
- [4] Золотарев В.Ф. Безвакуумные аналоги телевизионных трубок. М.: Энергия, 1972. 216 с.