

УДК 59.41.29

ВЫСОКОТОЧНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДАТЧИК ДЛЯ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Е. М. Беломестнов

Институт проблем управления РАН, Москва, Россия

Приводятся основные технические характеристики и функциональные возможности высокоточного полупроводникового датчика — фотоприемника для оптоэлектронных измерительных систем. Обсуждаются технические преимущества, достигаемые при применении рассматриваемого датчика по сравнению с датчиками двух основных известных промышленно-освоенных датчиков — многоэлементными и координаточувствительными фотоприемниками на основе продольного фотоэффекта в р-п-переходах. Приводятся известные и новые области применения датчика в оптоэлектронных измерительных системах.

Задача измерения координат малоразмерного светового пятна является одной из старейших в оптической обработке информации и решена в наибольшем количестве измерительных систем. Полупроводниковые датчики можно разделить на многоэлементные фотоприемники и различные виды координаточувствительных фотоприемников [1].

Рассматриваемый полупроводниковый датчик относится к координаточувствительным фотоприемникам с непрерывной чувствительной поверхностью, формирующим выходной информационный сигнал амплитудного типа. Основное назначение полупроводникового датчика — преобразование координат светового пятна в амплитуду выходного электрического сигнала. Датчик осуществляет также преобразование центроида дефокусированного оптического изображения в амплитуду выходного электрического сигнала.

Формирование выходных сигналов в датчике осуществляется с помощью так называемого продольного фотоэффекта, связанного с появлением пространственной неоднородности распределения концентрации неравновесных фотоносителей в полупроводниковой структуре датчика, приводящей к возникновению разностного токового сигнала с дифференциальных токосъемов датчика.

Промышленностью серийно выпускаются различные модификации полупроводниковых датчиков на основе продольного фотоэффекта в распределенных р-п-переходах. Крупнейшие производители таких датчиков — фирмы Hamamatsu Photonics (Япония), United Detector Technology (США) и Silicon Detector Corp. (США). Все они имеют характерную особенность, связанную с большой величиной дрейфа сигнала на постоянном токе, вызванную наличием в них большемерного однородного р-п-перехода. Однако преимущества такого рода датчиков — высокая разрешающая способность, простая электронная схемотехника, высокое системное быстродействие — не могут быть использованы достаточно эффективно. Так, высокий уровень дрейфа приводит к тому, что суммарная погрешность преобразования, как правило, почти на два порядка больше величины разрешающей способности. Это снижает эффективный динамический диапазон преобразования до уровня 50—200, что существенно меньше достигнутого для многоэлементных фотоприемников.

Поэтому в оптоэлектронных измерительных системах, требующих большого динамического диапазона измерения и высокой относительной точности измерения зачастую применяют многоэлементные фотоприемники с высокой степенью интеграции единичных фотоэлементов в линейки или матрицы (512, 1028 и т. п.), несмотря на более сложную схемотехнику, более низкое системное быстродействие (время формирования собственно сигналов координат), сложность восприятия дефокусированных изображений.

В то же время известно, что продольный фотоэффект может проявляться не только в р-п-переходах, но и в большемерных пространственно-распределенных МДП-структурах [2]. Однако и в этом случае, как правило, временная нестабильность выходных сигналов, вызываемая динамикой поведения приповерхностных (относительно границы полупроводник — диэлектрик) центров захвата носителей заряда, весьма велика и сравнима с таковой для датчиков на р-п-переходах. В рассматриваемом датчике удалось реализовать комплекс конструктивных и технологических мер, позволивших достичь достаточно высоких значений основных технических характеристик при использовании серийного технологического оборудования.

Датчик функционирует следующим образом. Вблизи от поверхности раздела полупроводник — диэлектрик формируют слой, обедненный основными носителями заряда. При засветке полупроводниковой подложки световым зондом (создающим световое пятно) неравновесные носители собираются в этом обедненном слое, где время жизни существенно выше (для неосновных носителей), чем в остальном объеме полупроводниковой подложки. После этого носители перераспределяются вдоль приповерхностного слоя, участвуя в формировании выходного электрического сигнала, считываемого при помощи дифференциальных токосъемов, как и у известных типов датчиков на продольном фотоэффекте.

Характерная величина неоднородности распределения в случае МДП-структур может достигать очень больших значений (по оценкам [2], — вплоть до сотен сантиметров). Поэтому при реальных серийных размерах величины чувствительной поверхности датчика (до 40 мм) может быть достигнута высокая степень линейности преобразования.

Датчики из опытной партии, изготовленные на серийном технологическом оборудовании, продемонстрировали следующие характеристики (приведены для

датчиков с размером рабочей зоны преобразования 10 мм, осуществляющих одномерное преобразование сигналов координат):

диапазон управляемого изменения координатной чувствительности, мкА/мм · мВт	20—450
координатная чувствительность при линейности позиционной характеристики вдоль всей рабочей зоны преобразования, мкА/мм · мВт	20
эквивалентный дрейф сигнала на постоянном токе, мкм:	
в центре датчика	0,5
на расстоянии от центра датчика в 1/3 от полного размера рабочей зоны преобразования	5,0
быстродействие, мс, менее	0,3
спектральный диапазон, мкм	0,4—0,9
рабочее напряжение, В, менее	10

Датчик обладает малой энергоемкостью, низким уровнем дрейфа, способен функционировать в режиме “нуль-органа”. Возможно уменьшение величины шумов и снижение величины дрейфа датчика за счет внутренней электрической модуляции выходного сигнала.

Для сравнения можно привести данные о серийном датчике фирмы “Хамаматсу фотоникс” (Япония) типа 1545 с равной величиной рабочей зоны преобразования (10 мм). Для этого датчика эквивалентный дрейф выходного сигнала на расстоянии от центра, равном приведенному выше, составляет 60—240 мкм. Таким образом, достигнутый уровень дрейфа выходного сигнала позволяет существенно расширить эффективный динамический диапазон преобразования в рассматриваемом датчике относительно известных (по крайней мере, на порядок). Это может обеспечить существенное расширение областей применения такого типа датчиков в высокоточных оптоэлектронных измерительных системах, вытеснение многоэлементных фотоприемников из части применений, а также появление новых областей применения.

К традиционным областям применения относятся автоматическая фокусировка; измерение линейных или угловых координат; измерение смещений, вибраций, биений различного вида, юстировка и центрирование лазерных пучков; измерение расстояний, плоскостности, рельефа, трехмерных координат и ориентации “глаз” роботов. В качестве новых интересных применений можно указать измерение скорости и расхода прозрачных сред, медицинские измерительные приборы для пульмонологии, весоизмерительная техника.

В частности, датчики скорости и расхода прозрачных сред на основе рассматриваемого датчика способны существенно расширить эффективный динамический диапазон измерений (выше 100:1), тогда как для известных типов датчиков скорости и расхода он составляет (5—30) : 1 в области малых потоков и скоростей. При этом может быть обеспечено высокое быстродействие (менее 10^{-2} с), искробезопасность, возможность работы в агрессивных и взрывоопасных средах, отсутствие потерь напора и сохранение характера протекания среды в зоне измерения и двунаправленность измерений потока единым датчиком.

Таким образом, полупроводниковый датчик можно рассматривать как изделие широкого применения для различных областей измерительной техники, способное составить заметную конкуренцию на рынке полупроводниковых датчиков аналогичного назначения. Значительный интерес может также вызвать реализация новых видов оптоэлектронных измерительных приборов с уникальными характеристиками, основанными на использовании полупроводникового датчика и его возможностях.

Литература

1. *Зотов В. Д.* Полупроводниковые устройства восприятия оптической информации. — М.: Энергия, 1976.
2. *Овсяк В. Н.* Электронные процессы в полупроводниках с областями пространственного заряда. — Новосибирск: Наука, 1984.

THE PRECISION SEMICONDUCTOR SENSOR FOR OPTOELECTRONIC MEASUREMENT SYSTEMS

E. M. Belomestnov

Institute of Control Sciences Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The main performances and functional capabilities of the precision semiconductor sensor are presented. Technical advantages that may be achieved by means of the sensor usage are considered by comparison with two commercially available sensor types — with multielement photoreceivers and with lateral photoeffect photodiodes. The familiar and new fields of the sensor usage with optoelectronic measurement systems are presented too.