

В качестве критерия точности аппроксимации опытных данных предложенными кривыми, как обычно, выбирались величины, равные корню квадратному из (5), поделенному на число степеней свободы $(n - m)$, где m – число параметров (для данного случая $m = 3$).

Анализ полученных данных показывает, что ни одному из видов кривой нельзя отдать в общем случае абсолютное предпочтение. Оптимальные значения параметров для всех кривых позволяют обеспечить выполнение необ-

ходимых условий $\frac{\partial \varphi_k(\delta, \{\Theta\})}{\partial \delta} < 0$ и

$\frac{\partial^2 \varphi_k(\delta, \{\Theta\})}{\partial \delta^2} > 0$. Для звеньев A_1, A_2, A_3 наиболее

подходящей является логарифмическая зависимость, а для звена A_4 – степенная. В каждом конкретном случае необходимы анализ исходных данных и индивидуальный подбор кривой.

Предложенная методика выбора вида функции, описывающей зависимость технологичности составляющего звена размерной цепи от его точности, позволяет обеспечить наибольшую точность аппроксимации исходных данных, что является основой для последующей оптимизации размерной цепи по критерию достижения требуемой точности замыкающего звена при максимальной технологичности изготовления изделия в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Элементы информационного обеспечения оптимизации конструкторских размерных цепей / Г. М. Левин, С. С. Соколовский, В. Л. Соломахо, Ю. Б. Спесивцева // Моделирование и информационные технологии проектирования: Сб. науч. трудов. – Мн.: НАНБ, 2002. – Вып. 4. – С. 150–160.
2. Меркачев В. Н., Бутенко А. И. Экономический справочник машиностроителя. – Одесса: Маяк, 1991.
3. Дунаев П. Ф., Леликов О. П. Расчет допусков размеров. – М.: Машиностроение, 1981.

УДК 621.315

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И БАЗИСНЫЕ СТРУКТУРЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НУЛЬ-ДЕТЕКТОРОВ

*Докт. физ.-мат. наук ЯРЖЕМБИЦКИЙ В. Б.,
канд. физ.-мат. наук ШАДУРСКАЯ Л. И., СВИСТУН А. И.*

Белорусский национальный технический университет

В измерительной технике широко применяются дифференциальные методы измерения и методы уравнивания [1]. Центральное место в них занимают так называемые нуль-детекторы, чей выходной сигнал меняет полярность или фазу при непрерывном изменении входной неэлектрической величины $P_{вх}$. Такие свойства нуль-детекторов позволяют реализовывать оригинальные способы измерения перемещений, сил, давления, их производных, обладающие повышенной помехозащищенностью, линейностью выходных характеристик и другими важными свойствами.

Однако в практике фотоэлектрических измерений по существу не известны оптоэлек-

тронные приборы с инверсией знака выходного сигнала. Нами впервые проведены анализ принципов действия и возможная классификация фотоэлектрических нуль-детекторов, в частном случае названных парафазными фотоприемниками (ПФ) [2]. Основное внимание уделяется параметрам базисных структур, выходным характеристикам и областям применения ПФ на их основе. При разработке парафазных фотоприемников необходимо обеспечить протекание фотоэлектрических процессов в таких условиях (структурах), когда непрерывное изменение входной величины (параметра светового потока или когерентного электромагнитного излучения) сопровождается возбу-

ждением в структуре встречных фототоков (потенциалов), нарушением симметрии оптического возбуждения и другими факторами. Перспективными в данном отношении являются структуры в виде планшайб из полупроводникового материала, в которых сформированы встречновключенные потенциальные барьеры, $p-n$ - и гетеропереходы, переходы металл – полупроводник, встроенные оптические и оптоэлектронные элементы в виде регулярного поверхностного рельефа, интерференционных фильтров, дифракционных решеток, волноводов и т. п. Соответственно сформулированные общие принципы предлагаемых нами парафазных фотоприемников позволяют использовать

инверсию выходного сигнала при входном изменении оптической мощности, длины волны света, координат X, Y, Z освещения фотоприемной площадки, степени и вида поляризации света, угловых координат светового потока и плоскости поляризации света относительно фотоприемника и др.

На рис. 1 представлена классификация базисных структур парафазных фотоприемников. Данный перечень структур включает их основные типы, но является далеко не полным. Проанализируем принцип действия и характеристики каждой структуры. Варианты (а, б, д, ж) содержат встречновключенные барьеры в виде диодов Шоттки (переход металл – полупро-

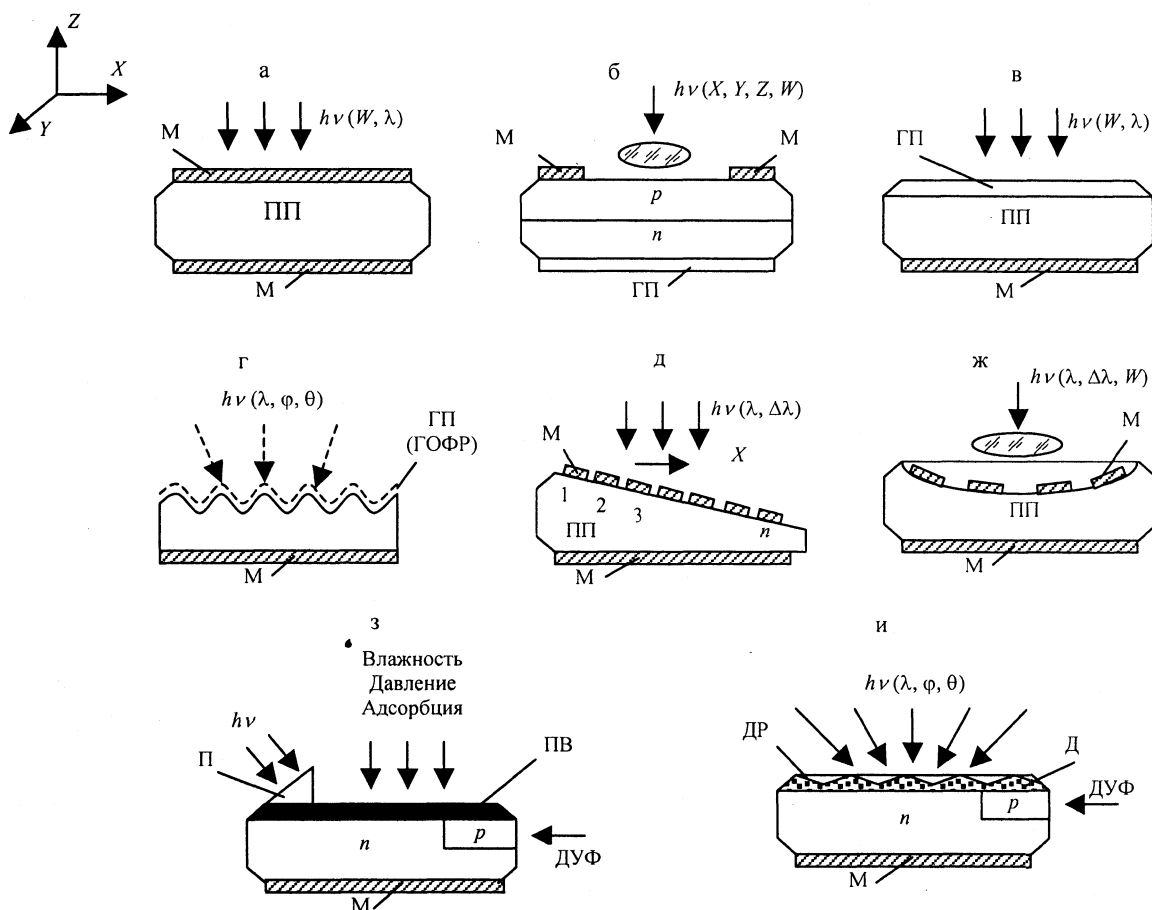


Рис. 1. Структуры: а – плоская металл – полупроводник – металл (МПМ); б – плоская с низкоомной n - и высокоомной p -областями; в – плоская гетеропереход – полупроводник – металл; г – с гофрированной поверхностью; д – косая (МПМ); ж – воронкообразная (МПМ); з – с планарным волноводом; и – с дифракционной решеткой; $h\nu$ – световое возбуждение; W – оптическая мощность или ее пространственное распределение $W(x, y, z)$; λ – длина волны монохроматического света; ϕ, θ – угловые координаты плоскости поляризации; $\Delta\lambda$ – спектр излучателя; М – металл; ПП – полупроводниковая подложка n или p типов; ГП – гетеропереход; П – призма; ДР – дифракционная решетка; Д – диэлектрик; ПВ – планарный волновод; ДУФ – дополнительный уравновешивающий фактор (например, световой поток и др.)

водник) или в виде гетероперехода, сформированных на противоположных поверхностях сэндвич-структуры. При изменении мощности светового потока W , длины волны λ монохроматического излучения, смещении фокуса света вдоль базы структуры Z происходит перемещение и перераспределение компонент светового потока и фототока внутри базы, поскольку она действует как пространственно-спектральный фильтр. Пример измеренной на структуре Al-n-Si-Ni выходной характеристики показан на рис. 2, где $U_{\text{вых}}$ – выходной сигнал структуры (напряжение, ток); $P_{\text{вх}}$ – непрерывно изменяющаяся входная неэлектрическая величина (например, W , λ , Z); M_{Φ} – внешний модулирующий фактор (в данном случае – напряжение), последовательно изменяющийся по величине. Основное свойство характеристик – 180° -е изменение фазы сигнала при изменении $P_{\text{вх}}$, причем положение точки инверсии управляется значением M_{Φ} .

В качестве факторов, модулирующих выходной сигнал и положение точки инверсии, могут использоваться не только параметры светового потока и электромагнитных волн, но и другие разнообразные по природе неэлектрические и электрические величины (например, структура, представленная на рис. 1з). С точки зрения удобства и оперативности управления, в качестве фактора ДУФ или M_{Φ} желательно ис-

пользовать свет или напряжение, прикладываемое к противоположным электродам структуры. Тогда разные величины $P_{\text{вх}}$, приведенные к нулю, можно сопоставить с определенными значениями напряжения U_n или мощностями света и построить соответствующий калибровочный график. Такой режим электронного (по напряжению) сканирования структур очень удобен для построения разнообразных уравновешивающих и дифференциальных методов измерения. Так, при необходимости измерения длины волны монохроматического излучения с помощью структуры металл – полупроводник – металл удобно уравновешивать электрический выходной сигнал ПФ напряжением. В этом случае получаем строгое (с точностью до величины напряжения шума) соответствие между определяемым значением длины волны λ_0 и величиной напряжения U , приводящего сигнал ПФ к нулю. Серия проведенных предварительных измерений такого рода позволяет построить градуировочный график зависимости $\lambda = f(U)$, который служит основой измерения λ . Так, на рис. 3 показан пример подобной градуировки, полученный для германиевой структуры Ni-Ge-Ni (тип структуры на рис. 1а). Отметим, что в отличие от кремния для германия спектр смещен в более длинноволновую область.

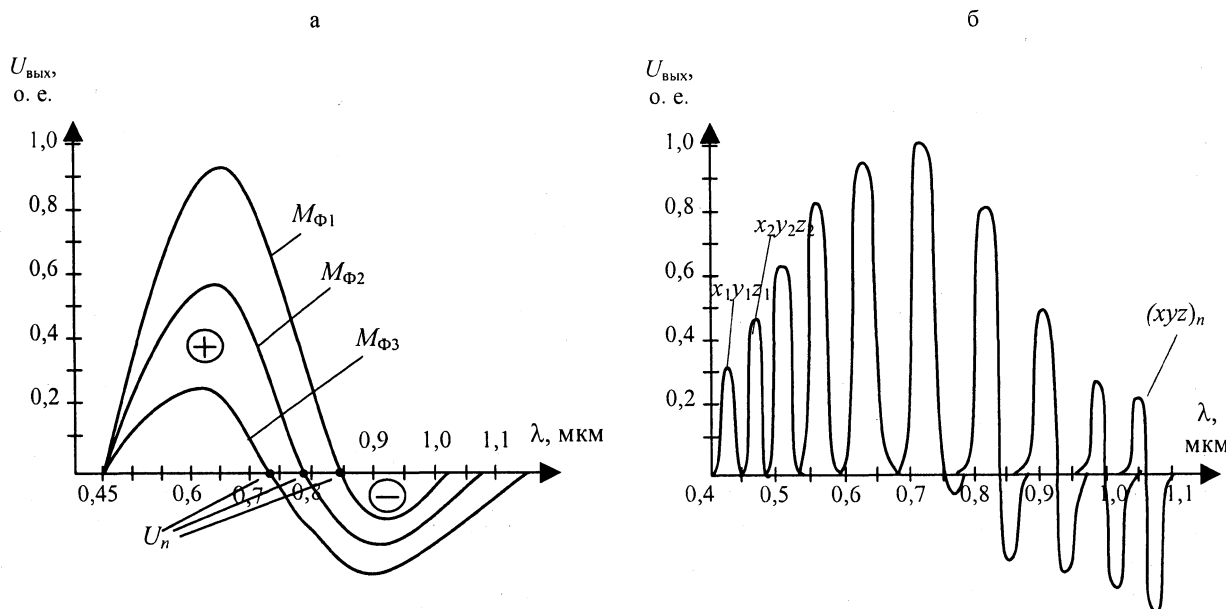


Рис. 2. Примеры выходных характеристик парафазных фотоприемников на основе структур, изготовленных из кремния: а – а, б, в рис. 1; б – д, ж рис. 1

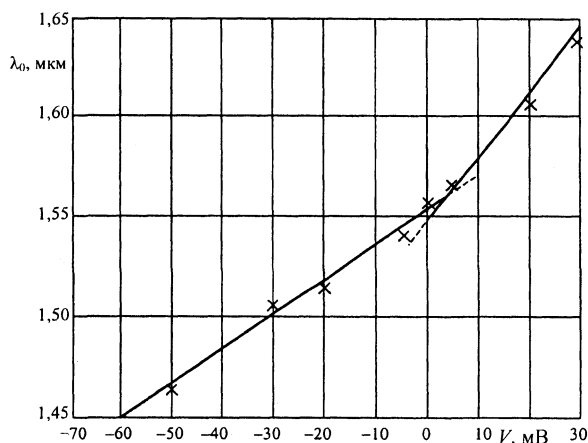


Рис. 3. Зависимость длины волны λ_0 , соответствующей нулевому сигналу нуля-детектора, от величины и полярности электрического смещения

В случае использования структур, представленных на рис. 1а, б, в, д, ж, для регистрации спектральных составляющих светового потока, т. е. измерения длины волны, используются развертка оптического спектра по λ (спектральное сканирование) и отмеченное выше электронное сканирование. Однако уже в структурах (рис. 1б, в, д, ж), а тем более в структурах (рис. 1г, з, и) могут использоваться другие виды сканирования: по линейным и угловым координатам светового потока (X, Y, Z, φ, Θ), а также путем модуляции фотоответа воздействием влажности, давления, адсорбции, электромагнитных полей и других параметров на выполненные из специальных материалов призмные, дифракционные и планарные элементы структур (в первую очередь структур (рис. 1з, и). В некоторых случаях базисных структур парафазных фотоприемников предлагается их механическое сканирование путем перемещения светового потока вдоль или поперек Z, X, Y базы или светового луча в целом, или изменения размеров фокусируемого светового пятна, что расширяет функциональные возможности ПФ относительно природы анализируемой входной информации.

Например, смещение фокуса светового потока вдоль Z (рис. 1а, б, в, д, ж) дает возможность следить за его координатой Z , т. е. определять условия точной фокусировки света. Сканирование вдоль X, Y позволит определять поперечные и угловые координаты светящихся

объектов, в том числе и движущихся. При многоэлементном выполнении потенциальных барьеров, специальном профиле структур (косая и воронкообразная (рис. 1д, ж)) и X, Y, Z -сканировании получаем информацию о спектре источника (рис. 2б). Отметим, что структура (рис. 1б), включающая низкоомную n -, высокоомную p -области и работающая на эффекте латеральной фотоЭДС при использовании сканирующей щелевой или круглой диафрагмы, может позволить дистанционно анализировать форму и размеры изображений простых по конфигурации металлических деталей. В табл. 1 приведены примеры взаимного расположения деталей (слева) и соответствующие знакопеременные выходные характеристики ПФ.


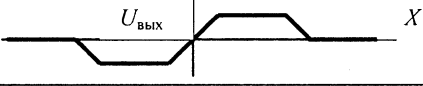

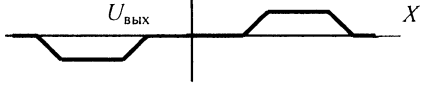

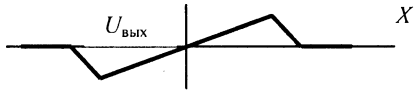

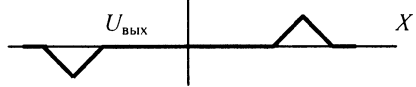
Базисные структуры (рис. 1г, и) отличаются от остальных наличием синусоидальной (гофрированной путем травления) поверхности, дифракционных металлических или диэлектрических решеток с шагом, соизмеримым с длиной волны принимаемого света. Структуры (рис. 1з, и) включают дополнительные $p-n$ фотодиоды, позволяющие уравнивать светом либо напряжением их выходной сигнал. В результате селективного взаимодействия световых потоков с чувствительным элементом фотоприемников (рис. 1г, и) возможна регистрация длины волны, координат светового потока, а также спектра излучателя $\Delta\lambda$ и координат плоскости поляризации когерентного излучения.

В структуре (рис. 1з) в качестве элемента, чувствительного к измеряемой входной величине, использован планарный волновод из соответствующего материала. Тогда, например, гидрофильные свойства волновода обеспечивают измерение влажности газов, а изменение его показателя преломления Δn под действием других входных факторов служит мерой измерения механических, электрических и магнитных величин.

Если не вникать в детали фотоэлектрических преобразований, то в качестве обобщенного принципа действия предлагаемых базисных структур ПФ выступает конкуренция диффузионных и дрейфовых компонент фототоков, приводящая к смене полярности (фазы) выходного сигнала фотоприемников.

Таблица 1

Сопоставление формы и размеров деталей с видом знакопеременных выходных характеристик ПФ (структура рис. 1б) при щелевом сканировании изображения детали

№ п/п	Деталь	Характеристика парафазного фотоприемника
1		
2		
3		
4		

Отличительной особенностью ПФ является возможность по одному выходу снимать два типа сигналов (с положительной и отрицательной полярностью), что обеспечивает передачу по одному каналу управляющего и информационного сообщений. Расширяются функциональные возможности обработки информации по входу (управление светом с длинами волн λ_1, λ_2). Немаловажно, что на основе ПФ возможна реализация оптоэлектронных генераторов синусоидальной формы, ряда оптоэлектронных логических элементов, активного оптрона с простыми схемными решениями и др.

Следует отметить, что в оптоэлектронных уравнивающих методах измерений часто вынужденно используются два и более фотоприемника, пространственно разделенных и «настроенных» каждый на свой спектральный диапазон излучателя или свою длину волны света. Таковы принципы действия, например, некоторых типов глюкометров (измерителей сахара в крови), приборов для измерения уровня гемоглобина в крови, измерителя толщин

тонких пленок и др. [3]. Пространственное разнесение фотоприемных площадок вносит временные, фазовые и другие искажения сигнала, увеличивает габариты устройств, создает ненужные помехи. Применение в подобных и других методах и приборах многофункциональных компактных одноэлементных парафазных фотоприемников, способных обрабатывать входной сигнал по многим параметрам, позволит повысить помехозащищенность, точность и достоверность обрабатываемой информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Измерения в промышленности: Справ. / Под ред. П. Профоса. – М.: Металлургия, 1980. – 648 с.
2. Яржембицкий В. Б. Фотоприемники с расширенными функциональными возможностями на основе поверхностно-барьерных структур с глубокими центрами // Приборостроение: Межвуз. сб. науч. трудов. – Мн., 1989. – Вып. 11. – С. 3–5.
3. Быстров Ю. А., Колгин Б. Н., Котлецов Б. Н. Технологический контроль размеров в микроэлектронном производстве. – М.: Радио и связь, 1988. – 168 с.