

Модернизация одно- и двухканальных оптико-электронных приборов и методов измерений с использованием парафазных фотодетекторов

Гусев О.К., Свистун А.И., Яржембицкая Н.В.
Белорусский национальный технический университет

Оптические преобразователи, в состав которых входят различные типы фотоприемников, находят широкое применение в информационно-измерительной технике и, в частности, выступают в качестве важнейших узлов оптико-электронных средств и методов измерений. С их помощью можно измерять самые различные физические величины, включая оптическую мощность, колориметрические параметры, температуру, перемещение, скорость, линейные и угловые размеры и др.

Парафазные фотоприемники (ПФ), характеристики которых исследованы в данной работе, позволяют усовершенствовать конструкции как одноканальных, так и двухканальных оптико-электронных приборов.

Учитывая тенденцию создания многофункциональных автоматизированных быстродействующих и компактных оптико-приборов, следует признать не вполне соответствующей ей такие конструктивные особенности известных оптико-электронных приборов как наличие в них оптико-механических частей, недостаточная экспрессность измерений, громоздкость и вытекающие отсюда габариты, вес, стоимость, надежность.

Возможно, одним из путей решения данной проблемы может явиться разработка и применение в оптико-электронном приборостроении новых классов фотоприемников, сочетающих в себе функции и индикаторов (фотоэлектрических нуль-детекторов), и измерителей разных параметров световых потоков (оптической мощности, длины волны света, угла поворота плоскости поляризации и др.).

Главной внешней особенностью ПФ, отличающей его от обычного фотодетектора, является сочетание в одном чувствительном элементе двух фотоприемных площадок, воспринимающих одновременно световой поток, падающий на фотоприемник. Главной отличительной особенностью выходных характеристик ПФ является инверсия выходного сигнала (смена по-

лярности постоянного фототока I или фотонапряжения U , либо изменение на 180° фазы переменного I , U).

На рис.1 представлены экспериментальные спектры фототока германиевого ПФ (никель-германий-никель). Выбором разных режимов травления германиевой планшайбы перед вакуумным напылением пленок никеля для симметричной структуры Ni-Ge-Ni удалось сформировать неэквивалентные потенциальные барьеры $\phi_1 < \phi_2$. В этом случае гарантируется достижение инверсии фототока при освещении со стороны более низкого барьера ϕ_1 (рис.1б): при большой энергии квантов свет поглощается в области ϕ_1 , но не достигает области барьера ϕ_2 . По мере снижения энергии фотонов и соответствующего уменьшения коэффициента поглощения α согласно закону Бугера-Ламберта свет проникает к барьеру ϕ_2 , возбуждая фотоЭДС, противоположную по знаку. Конкуренция электродвижущих сил приводит к инверсии выходного сигнала ПФ в районе энергии кванта $\sim 0,7$ эВ (длина волны света $\lambda_0 \cong 1,6$ мкм).

Спектр фотоответа того же ПФ, изображенный на рис.1а, показывает, что при регистрации светового потока Φ со стороны более высокого барьера ϕ_2 , во всей области спектра (области поглощения германия) превалирует фототок более высокого потенциального барьера МПМ-структуры, и инверсии знака фототока не наблюдается. Таким образом, реализация в конструкции ПФ соотношения $\phi_1 < \phi_2$ или $\phi_1 > \phi_2$, а также использование геометрии освещения, обеспечивающей инверсию фотоответа, имеет решающее значение для модернизации оптико-электронных методов и средств измерений.

При использовании ПФ в оптико-электронном приборе (например, в качестве твердотельного аналога спектрофотометра, лишённого дисперсионной оптики), предназначенном для измерения длины волны монохроматического излучения, необходимо предварительно прокалибровать ПФ по эталонному монохроматору. На рис.2 представлена калибровочная кривая одного из серии германиевых ПФ, измеренная с мощностью монохроматора ИКМ-1 (призма LiF, ширина щели $\Delta = 0,05$ мм, $f_{\text{м}} = 800$ Гц, селективный вольтмет с $\Delta f \cong 1$ Гц). Эта кривая отражает зависимость длины волны λ_0 , соответствующей нулевому сигналу ПФ (рис. 1б) – от величины и полярности электрического смещения.

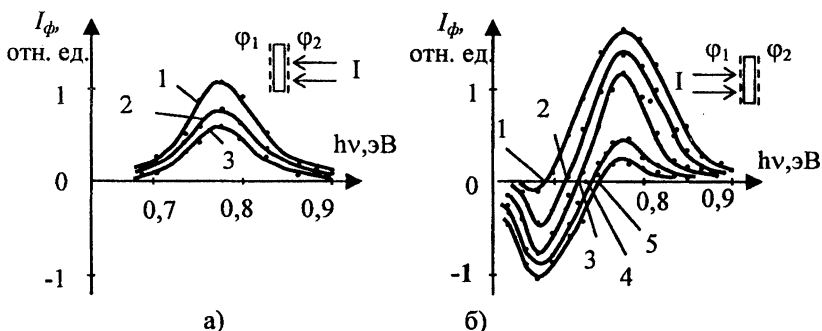


Рис.1. Зависимости фототока от энергии кванта монохроматического излучения для ПФ Ni-nGe(Cu)-Ni при разных смещениях V : а) освещение со стороны "высокого" барьера φ_2 ; б) освещение со стороны низкого барьера φ_1 ; 1 - $V = -10$ мВ; 2 - $V = 0$; 3 - $V = 10$ мВ; 4 - $V = 30$ мВ; 5 - $V = 70$ мВ

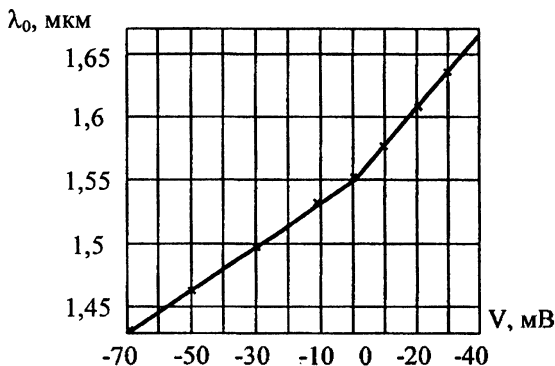


Рис.2. Калибровочная кривая ПФ длины волны λ_0 монохроматического излучения на основе ПФ Ni-Ge-Ni

Точность, с которой может быть измерен выходной сигнал (ток), близкий к 0, определяется уровнем шума фотоприемника на частоте f_m модуляции лучистого потока и составляет в данном случае $\sim 10^{-8} \div 10^{-9}$ А. В пересчете на эффективную разрешающую способность такого твердотельного спектрофотодиода, оказывается, что в неоптимизированных условиях измерений она лишь в 5 - 7 раз уступает ИКМ-1, а в пределе приближается

к разрешающей способности призмного монохроматора в данной спектральной области ($\sim 10 \text{ \AA}$).

Подчеркнем на данном примере особенности процедуры измерений с помощью фотоэлектрического нуля-детектора (ПФ), которые представляются наиболее важными для модернизации оптико-электронных методов и средств измерений.

1. При измерении величины входного параметра используется его электрическое уравновешивание в самом фотоприемнике путем приведения выходного сигнала ПФ к нулю с помощью прикладываемого напряжения. Это – несомненно, удобный и перспективный способ измерений, поскольку низкий уровень шумов вблизи нуля обеспечивает максимально возможную точность измерений. Использование мостовых схем обработки сигнала – не обязательно.

2. Отпадает необходимость использования в оптико-электронном приборе эталонных образцов, движущихся оптико-механических, чем не только повышается экспрессность измерений, но и надежность и компактность средства измерения.

3. Очевидно, что знакопеременная спектральная характеристика ПФ, ее двуполярность и перестраиваемость по спектру с помощью внешнего электрического смещения позволяет более простым образом автоматизировать колориметрические методы измерений.

4. Использование ПФ со знакопеременной зависимостью выходного сигнала от мощности оптического потока (подобной по виду калибровочной зависимости на рис.2) позволяет реализовать уравновешивающий метод измерения оптической мощности, освещенности, оптического пропускания, поглощения и рассеяния за счет свойств ПФ, используемого в качестве фотоэлектрического нуля-индикатора. Это радикальным образом позволит упростить схему соответствующих оптико-электронных приборов, снизить их габариты, вес, повысить быстродействие, надежность и облегчит возможность автоматизации процедуры измерений.

Таким образом, благодаря применению многофункциональных по своему действию, парафазных фотоприемников можно рассчитывать на модернизацию и совершенствование дифференциальных и уравновешивающих методов и средств оптических измерений.