

ШИРОКОДИАПАЗОННЫЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В СИСТЕМАХ ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

**Воробей Р.И., Гусев О.К., Свистун А.И., Тьяловский К.Л., Шадурская Л.И.,
Костина Г.А., Буйневич М.В.**

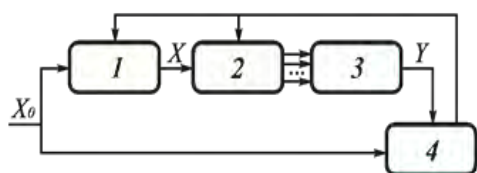
*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Многие задачи в физике, медицине, метрологии, технической диагностике решаются путем регистрации изображений областей, находящихся в рассеивающих оптическое излучение средах. Поэтому актуальными задачами исследований в области технической диагностики являются как изучение методов формирования тестирующего оптического излучения, так и методов регистрации параметров источников излучения и параметров вторичного излучения диагностируемой среды, с учетом гетерогенности свойств объектов контроля. Важной задачей при разработке принципов построения систем оптической диагностики является оценка возможностей первичных преобразователей системы диагностики на основе широкодиапазонных фотоэлектрических преобразователей. В основе оптических методов диагностики лежат как определенные модели исследуемого объекта, так и модели оптического сигнала и процессов формирования оптических характеристик такого сложного объекта, каким является, например, неоднородная нестационарная плазма. Одной из основных проблем при разработке методов оптической диагностики и интерпретации диагностических данных является сложный характер распространения света в биотканях. Аналитически эта задача не может быть решена в общем случае в силу сложной структуры биотканей. Они являются существенно более мутными средами, чем туман – оптически неоднородные поглощающие среды. За счет многократного рассеяния и поглощения при распространении в биоткани лазерный пучок уширяется в поперечном направлении и затухает – в продольном. Формируется значительный поток излучения в обратном направлении (обратное рассеяние). Основными рассеивателями биотканей являются клеточные мембраны, ядра, митохондрии и гранулы меланина в клетках. Оптическая диагностика широко применяется при контроле состояния технических объектов и сложных систем, в том числе, в режиме «реального времени». Особенно, применение методов оптической диагностики целесообразно в противоположных случаях, когда необходимо максимально исключить влияние средств измерения на объект контроля (невозмущающие методы диагностики), или в случае, когда сам объект контроля представляет опасность для измерительной аппаратуры и оператора (человека). Например, метод оптической диагностики используется при

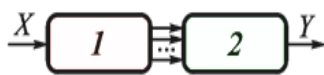
стендовой отработке ракетного двигателя и основан на измерении спектра излучения факела двигателя, выделении в спектре линий химических элементов, уносимых с элементов конструкции двигателя или присутствующих в качестве загрязнений в топливе, внутридвигательных полостях и в стендовых системах, и оценки степени износа и загрязнений. Важной областью климатологических исследований является мониторинг оптического состояния атмосферы. Для мониторинга высотного распределения компонентов атмосферы предназначены лидары. Лидары для исследования озона и аэрозоля в стратосфере составляют основу сети NDSC (Network for the Detection of Stratospheric Change). Технические требования к лидарным системам предусматривают обеспечение измерений оптических характеристик аэрозольного слоя, и обратного рассеяния аэрозоля.

Типовые фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) характеризуются относительно низким динамическим диапазоном (40-50 дБм) энергетической характеристики. При этом, для ряда методов изменения мощности оптических сигналов достигают 10^6 - 10^7 , а в ряде случаев паразитная засветка от объекта контроля или источника тестирующего воздействия превышает и эту величину. Диапазоны преобразования существующих фотоэлектрических преобразователей являются недостаточными, что приводит к необходимости в одном диагностическом приборе использовать несколько измерительных преобразователей одного типа с различными диапазонами. Указанные проблемы могут быть решены при использовании широкодиапазонных фотоэлектрических и измерительных преобразователей [1], позволяющих преобразовывать широкодиапазонные измерительные сигналы без переключения информационных каналов систем оптической диагностики.

Еще одной задачей при построении систем оптической диагностики является восстановление образа «по прецеденту», заключающееся в построении алгоритма восстановления на основе эталонной пары «идеальное изображение - искаженное изображение» и его использование для других сигналов того же класса. Общая схема преобразования данных (рисунок 1) состоит из двух этапов «обучение» и «обработка» изображений (образов).



а)



б)

1 – модель системы искажений;
2 – формирование признаков; 3 – классификатор;
4 – оценка погрешности

Рисунок 1 – Схема преобразования образов в системе оптической диагностики: а) обучение; б) обработка

Для построения таких систем возможно использование как дискретных координатно-чувствительных приборов, так и аналоговых приборов с протяженной фоточувствительной поверхностью. К последним можно отнести позиционно-чувствительные линейные фотоприемники, фоторезисторы, полупроводниковые сканисторы, а также полупроводниковые фотодиоды с продольным фотоэффектом. Для многих приложений применение аналоговых фотоприемников предпочтительно с точки зрения высокой разрешающей способности, быстродействия, простой технологии изготовления.

В ряде случаев системы оптической диагностики используют анализ излучения на различных длинах волн. Многофункциональные широкодиапазонные детекторы (МФД) позволяют путем инжекции носителей заряда (изменение интенсивности управляющей подсветки на длине волны λ_0 , или инжекция через дополнительный электрод) в фоточувствительную область позволяет изменять относительную чувствительность фотоприемного устройства к излучению в диапазоне длин волн $\lambda_1 \dots \lambda_n$ из области примесного поглощения. При этом реализуется возможность управления видом спектральной характеристики МФД, выполненного в одном объеме полупроводникового материала, расширение спектрального и динамического диапазона, исключение оптических фильтрующих элементов для формирования требуемого вида спектральной характеристики при использовании нескольких фотоприемников.

Например, при использовании в качестве одноэлементного фотоприемника с многозарядовыми примесями структуры Ge(Cu) реализуется переключение вида спектральной характеристики, определяемой включением зарядовых состояний на различных энергетических уровнях

(сдвиг красной границы спектральной чувствительности на 4 мкм). Переключение производится за время порядка постоянной времени рекомбинации (10^{-5} - 10^{-8} с), в зависимости от материала МФД и уровня оптического сигнала.

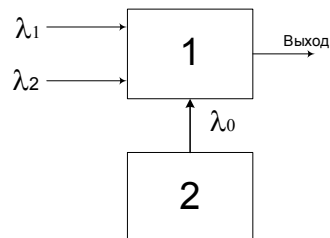


Рисунок 2 – Одноэлементный фотоприемник с управлением характеристик по оптическому каналу

Процессы формирования сигнала МФД связаны с изменением эффективного времени жизни и подвижности с уровнем инжекции. Зависимость времени жизни основных τ_n и неосновных τ_p носителей заряда от уровня возбуждения для германия и кремния, легированного глубокими примесями с несколькими многозарядными уровнями, характеризуется диапазоном изменения до четырех порядков величины.

Фотоприёмники оптико-электронных систем контроля и диагностики должны обладать не только высокой чувствительностью, но и устойчивостью к оптическим перегрузкам, особенно в оптических системах с использованием лазеров, характеризующимися большими плотностями мощности оптического излучения.

Свойства одноэлементных фотоэлектрических преобразователей на основе собственных полупроводников с малой концентрацией глубоких примесей, формирующих несколько зарядовых состояний, позволяют реализовывать оригинальные способы измерения не только параметров оптического сигнала, но и перемещений, сил, давления, их производных, обладающие повышенной помехозащищенностью, линейностью выходных характеристик и другими полезными эксплуатационными свойствами.

1. Гусев, О.К. Проектирование и управление метрологическими характеристиками фотоэлектрических преобразователей на основе полупроводников с многозарядными примесями / О.К.Гусев, А.И.Свистун, Л.И.Шадурская, Н.В.Яржембицкая // Датчики и системы. 2011. № 1. – С. 19-23.
2. Гусев О.К. и др. Фотоприёмное устройство, управляемое подсветкой. Патент № 15840 РБ, МПК Н 01L 31/16.