

УДК 621.383.4/5:546.817.233

Фотоприемники типа "pig-tail" на основе элементов PbSe

Ю. П. Бутров, Ю. А. Глебов, Е. Р. Глобус
ФГУП «НПО «Орион»», Москва, Россия

В. Г. Артюшенко, Ц. Войцеховский, В. В. Кашин
Институт волоконной оптики ИОФРАН, Москва, Россия

Приведены некоторые предварительные результаты совместной работы НПО «Орион» и Института волоконной оптики ИОФРАН по созданию нового класса фотоприемных устройств для инфракрасной техники. Разработанные приборы являются гибридом фотоприемника на основе охлаждаемых элементов PbSe и гибких световодов на основе волокон AgCl/AgBr.

Известно, что одним из перспективных направлений развития волоконной оптики является разработка гибких световодов для среднего диапазона ИК-области спектра от 4 до 14 мкм (MIR-волокно) на основе поликристаллического суперчистого раствора AgCl/AgBr [1]. Такие световоды обладают рядом ценных свойств. При диаметре волокна от 0,5 до 1,0 мм и длине до 2 м ИК-излучение транспортируется по световоду с потерями, не превышающими 0,3–0,35 дБ/м. Высокое пропускание (T более 90 %) в заданной области спектра обеспечивается специальной технологией зеркального среза волокна с последующим нанесением просветляющих покрытий. Последние необходимы не только для устранения френелевских потерь, но также для предотвращения коррозии и деградации светочувствительного материала волокна. Возможность гибкой доставки мощного ИК-излучения уже позволила создать перспективные устройства в области медицины и технологии обработки материалов [2].

Другим направлением использования MIR-волокна является измерительная техника. Встречаются ситуации, когда фотоприемник по тем или иным причинам затруднительно разместить в непосредственной близости от исследуемого объекта. Например, в объект нельзя вводить электрические провода для питания светочувствительного элемента или габариты фотоприемника с холодильником не позволяют оптимизировать конструкцию оптической системы. Возможна ситуация, когда исследуемое тепловое поле находится в условиях сильных магнитных или электрических полей. Во всех этих случаях приходится использовать сложную оптическую систему переноса изображения, что не всегда возможно, например, из-за вибраций, конструктивных или весовых ограничений. Вполне логичным решением является транспортировка исследуемого излучения из проблемной зоны по гибкому диэлектрическому световоду к отдельно расположенному фотоприемнику. При этом фо-

точувствительная площадка как бы «выносятся» за пределы корпуса фотоприемника на длину световода.

Сочетание фотоприемника и световода в единой конструкции фотоприемного устройства получило название "pig-tail" ("свиной хвостик"). Принимая во внимание указанный спектральный диапазон работы MIR-волокна, наиболее целесообразно совместное использование с ним фотоприемников на основе материалов кадмий—ртуть—теллур (КРТ) и селенида свинца (PbSe). Конструкция и характеристики "pig-tail" с заливным сосудом Дьюара, в котором фотоприемник КРТ находится при температуре жидкого азота, а ИК-излучение транспортируется в Дьюар по гибкому кабелю длиной 1,5 м, были рассмотрены ранее [3]. Ниже дается описание конструкции "pig-tail" с светочувствительным элементом PbSe.

Ввод излучения в MIR-волокно

Для ввода излучения в MIR-волокно (рисунок, а) использовался малогабаритный зеркальный плоскосферический объектив, выполненный по схеме Кассегрена в виде единой линзы из лейкосапфира [4]. На плоскую и сферическую просветленные поверхности линзы нанесены зеркальные покрытия, обращенные зеркальной поверхностью к излучению. На сферической поверхности линзы перпендикулярно оптической оси выполнена отполированная плоская лыска диаметром 1,5 мм, свободная от зеркального покрытия. К лыске плотно поджат специально обработанный (см. ниже) торец световода. Для волокна входная апертура составляет 15° . Зеркальное покрытие представляет собой слой металла или дихроичное интерференционное зеркало. Последний вариант позволяет ввести в световод излучение заданного спектрального состава. Для этого зеркала на сферической и плоской поверхностях линзы должны иметь разные спектральные характеристики отражения. При прохождении излучения через объектив

происходит последовательная фильтрация, характер которой определяется относительным сдвигом характеристик по спектру. Спектральная чувствительность "pig-tail" в этом случае имеет вид

$$\Phi_{\lambda} = \int (\tau_{\lambda} \varphi_{\lambda} R'_{\lambda} R''_{\lambda}) d\lambda,$$

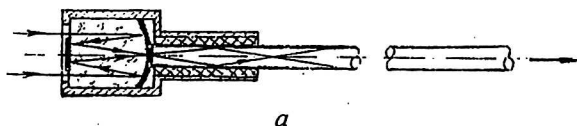
где Φ_{λ} — спектральная чувствительность "pig-tail";

τ_{λ} — коэффициент спектрального пропускания материала линзы с учетом френелевских потерь;

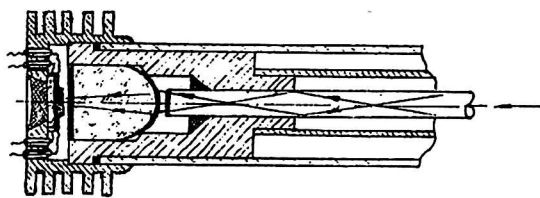
φ_{λ} — спектральная чувствительность ФЧЭ PbSe;

R'_{λ} — коэффициент спектрального отражения дихроичного зеркала на сферической поверхности линзы;

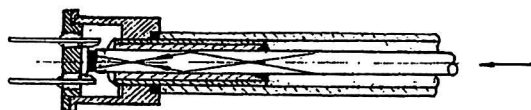
R''_{λ} — коэффициент спектрального отражения дихроичного зеркала на плоской поверхности линзы.



a



б



в

Конструкция фотоприемника типа "pig-tail":

а — малогабаритный плоскосферический объектив

Кассегрена для ввода излучения в MIR-волокно;

б — стыковка MIR-волокна с ФЧЭ PbSe с ТЭО;

в — то же без ТЭО

Изменяя соответствующим образом R'_{λ} и R''_{λ} , можно расширять или сужать выделяемую спектральную зону излучения, попадающего на фотослой, и отказаться от светофильтра, обычно устанавливаемого перед объективом. Важно отметить, что эффективность спектральной фильтрации увеличивается вследствие увеличения крутизны спектральных фронтов (двукратное перемножение спектральных характеристик), устранения побочных длинноволновых максимумов и снижения уровня фона.

Стыковка MIR-волокна с ФЧЭ

На рисунке, б показан узел стыковки световода и неохлаждаемого ФЧЭ (PbSe). Волокно диаметром 0,7 мм было обрезано перпендикулярно оптической оси с помощью специального сапфирового резака. Зеркальная поверхность среза имела незначительные ступеньки, которые образовались из-за сдвига поверхностного слоя мягкого кристалла AgCl. Просветляющее покрытие из фторида бария (BaF_2) толщиной 0,75 мкм было нанесено методом испарения в вакууме. ФЧЭ размером 1×1 мм был смонтирован в корпусе ТО-5. Крышка корпуса имела направляющий канал, через который волокно вводилось в корпус, поджималось просветленным торцом к ФЧЭ и фиксировалось компаундом.

На рисунке, в приведена конструкция стыковочного узла MIR-волокна и ФЧЭ с термоэлектрическим холодильником (ТЭО). Для предотвращения притока тепла от волокна к охлажденной площадке ФЧЭ между ними должен быть исключен непосредственный механический контакт. В качестве оптики переноса излучения была использована просветленная плоско-выпуклая линза из германия. Подготовка торца световода проводилась аналогично описанной выше. ФЧЭ размером 0,5×0,5 мм размещался на ТЭО, который припаивался к дну радиаторной головки с помощью сплава Вуда. Зазор между ФЧЭ и плоским торцом германиевой линзы равнялся приблизительно 0,5 мм и мог изменяться с помощью резьбового соединения радиаторной головки и корпуса "pig-tail". Регулировка выполнялась на измерительном стенде, на котором перед источником излучения (АЧТ) размещался зеркальный объектив входного конца кабеля. При достижении максимального сигнала от ФЧЭ радиаторная головка фиксировалась компаундом.

Исследование фотоэлектрических характеристик

Фотоэлектрические характеристики приборов "pig-tail" с металлическими зеркалами исследовались на стенде для типовых измерений параметров фотоприемников PbSe. Стенд оборудован источником излучения с температурой АЧТ 300 °С, модулятором с частотой модуляции 1200 Гц и селективным усилителем с шириной полосы 150 Гц. Измерения проводились в согласованном режиме при напряжении питания 2,5 В. "Pig-tail" помещался на стенд таким образом, чтобы передняя плоская поверхность зеркального объектива находилась на расстоянии 36 см от диафрагмы АЧТ. При диаметре линзы (S_1), равном 16 мм, и диаметре контротражателя объектива (S_2), равном 6 мм, входной зрачок "pig-tail" имел площадь $S_1 - S_2 = 1,7 \text{ см}^2$.

С учетом коэффициента модуляции облученность входного зрачка от АЧТ составляла $1,02 \cdot 10^{-5}$ Вт/см, т. е. в световод поступало излучение мощностью $1,7 \cdot 10^{-5}$ Вт. Сигнал неохлаждаемого прибора при этом составлял 2500 мкВ, а шум 5,8 мкВ. При охлаждении с помощью ТЭО до -8 °С сигнал увеличивался до 10000 мкВ при шуме 6,2 мкВ.

Таким образом, сочетание в единой конструкции световода, фотоприемника и оптического усилителя (объектива Кассегрена) позволило создать удобный инструмент для различных устройств измерительной техники, для научных

исследований, медицинского и экологического приборостроения, противопожарных устройств.

Л и т е р а т у р а

1. Artjushenko S. et. al. Infrared Fibers: Power delivery and medical application// Proc. SPIE Biomedical Optoelectronic instrumentation. 1995. P. 25—36.
2. Artjushenko S., Afanasijeva N., Brach R. Multichannel MET/PIR-fiber detectors for fast pyrometry and multispectral sensing// Proc. SPIE, v. 4130-80. Infrared Technology and applications XXVI, 2000.
3. Проспект фирмы A.R.T.-Photonics GmbH D-12489. Berlin, Germany, 2000.
4. Патент 2097711 РФ, 1993.

Photodetectors of the type "pig-tail" on the basis of the PbSe elements

Yu. P. Butrov, Yu. A. Glebov, E. R. Globus
ORION Research-and-Production Association, Moscow, Russia

V. G. Artjshenko, C. Voitcexovski, V. V. Kashin
Institute of advanced fiber Optic, Moscow, Russia

Some preliminary results teamwork of Science-industrial corporation "Orion" and Institute of advanced fiber Optic at General Physics Institute Russian Academy of Science are describe. New kind Infrared photodetector "pig-tail" on the basis cold element PbSe was created on the base flexible Infrared fiber AgCl/AgBr.