

## Оптическая система установки измерения параметров фотоприемного устройства в гетеродинном режиме на длине волны 10,6 мкм

В. Е. Ложников

*Предложена оптическая схема установки измерения ФПУ на длину волны 10,6 мкм в гетеродинном режиме. Проведен анализ параметров и свойств оптических элементов, фокусирующего лазерное излучение в пятно малых размеров. Выбран тип и материал линз, антиотражающее покрытие, рассчитаны характеристики оптических элементов измерительной установки.*

*Ключевые слова:* ФПУ, модулятор, германий, пропускание, отражение, лазерное излучение, просветляющее покрытие, фокусирующая линза.

### Введение

Экспериментальное определение параметров реальных фотоприемных устройств (ФПУ) представляет важную, но зачастую трудную задачу для всех используемых диапазонов оптического излучения. В работе [1] представлена установка для измерения параметров быстродействующих ФПУ на основе КРТ на длину волны  $\lambda = 10,6$  мкм в гетеродинном режиме. Помимо измеряемого ФПУ, в оптическую часть измерительной установки, в частности, входят источник излучения (CO<sub>2</sub>-лазер) и высокочастотный модулятор. Размер входной апертуры кристалла модулятора составляет 0,8×0,8 мм при длине 15 мм, диаметр фоточувствительной площадки ФПУ равен 0,2 мм. Поэтому возникла необходимость разработки такой оптической системы, которая позволила бы полностью фокусировать лазерное излучение в пятно малых размеров. В данной статье описаны пути решения этой задачи.

### Разработка оптических элементов

Свойства лазерного излучения предъявляют ряд специфических требований к конструкции оптической системы. Материал оптических деталей необходимо выбирать с учетом их лучевой прочности. Для сохранения вертикальной поляризации излучения лазера поверхности преломляющих оп-

тических деталей следует располагать так, чтобы угол падения не превышал критических значений. Высокая степень когерентности излучения лазеров в некоторых случаях может приводить к появлению нежелательных интерференционных эффектов, для устранения которых необходимо соответствующим образом выбирать толщину оптических деталей.

Для оптических систем на основе CO<sub>2</sub>-лазеров могут быть эффективно использованы линзы двух типов: менисковые и плосковыпуклые, которые позволяют сфокусировать энергию излучения в точку заданного размера. Наиболее экономичный фокусирующий элемент, используемый в инфракрасных оптических системах – плосковыпуклые линзы. Их основное преимущество – это более низкая стоимость, хотя менисковые линзы могут обеспечить лучшие характеристики из-за специфической обработки и формы для минимизации сферических аберраций.

Ввиду малой расходимости лазерного пучка в нашем случае аберрации не сильно влияют на функционирование установки. Поэтому было принято решение использовать плосковыпуклые линзы, изготовленные из монокристаллического германия. Этот материал прозрачен в широком диапазоне длин волн (рис. 1), обладает высокой теплопроводностью, низкой дисперсией, хорошей антикоррозионной стойкостью [2]. Германий влагоустойчив и допускает прямое охлаждение водой.

Существенным недостатком является сильное отражение излучения от поверхности из-за высокого показателя преломления (например, для излучения с  $\lambda = 10,6$  мкм показатель преломления  $n_{Ge} = 4$ ). Потери на отражение от германиевой поверхности составляют 36 % [3], в результате чего интенсивность проходящего излучения значительно уменьшается.

---

Ложников Владислав Евгеньевич, главный специалист.  
АО «НПО «Орион», ГНЦ РФ  
Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.  
Тел. 8 (910) 409-38-14. E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 28 июня 2017 г.

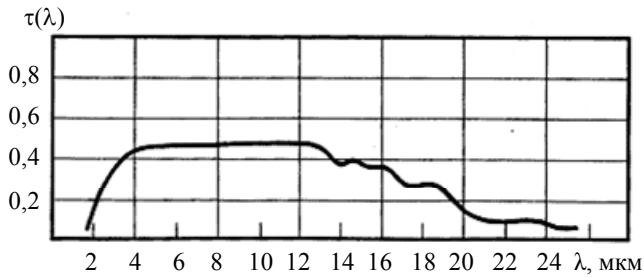


Рис. 1. Спектр пропускания германия.

В настоящее время имеются различные способы снижения потерь на отражение, приводящие к уменьшению интенсивности отраженного света и к соответствующему увеличению пропускания излучения. Наиболее простой способ уменьшения интенсивности излучения, отраженного от поверхности, состоит в создании поверхностной пленки с более низким показателем преломления, чем у германия [4].

Принцип действия просветляющих покрытий основан на явлении интерференции. На поверхность оптической детали наносят тонкую плёнку, показатель преломления которой меньше показателя преломления материала линзы  $n_{пл} < n_l$  (рис. 2). Луч, отраженный от поверхности пленки, и луч, отраженный от границы «пленка-линза» – когерентны. Толщина пленки подбирается таким образом, чтобы при интерференции лучи гасили бы друг друга, усиливая проходящий свет.

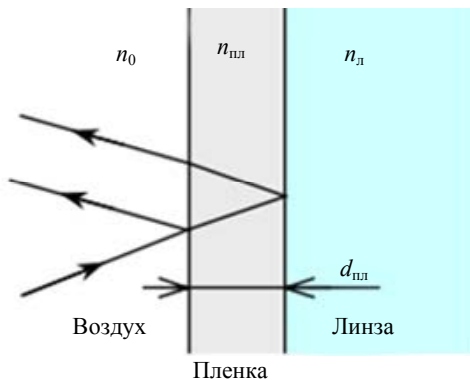


Рис. 2. Механизм просветления оптики.

Для этого, во-первых, амплитуды двух отраженных волн должны быть примерно равны ( $\rho_1 = \rho_2$ ), и, во-вторых, фазы должны отличаться на половину периода (т. е. «оптическая» толщина линзы должна быть равна  $\lambda/4$ ). Оптимальное значение показателя преломления просветляющей пленки для германия равно  $n_{пл} = \sqrt{n_{Ge}} = 2$ .

На практике применительно к оптическим материалам, прозрачным в ИК-области спектра, показатель преломления пленки  $n_{пл}$  может иметь величину от 1,6 до 2,3. Обычно в качестве одно-

слойного покрытия применяется сульфид цинка ZnS, у которого на длине волны  $\lambda = 10,6$  мкм  $n_{пл} = 2,3$ . Оно не вносит заметного рассеяния излучения и наиболее устойчиво, благодаря своей структуре, хотя и не может снизить остаточный коэффициент отражения до нуля [4]. Преимуществом такого покрытия является также его относительная дешевизна.

Оптимальная толщина просветляющего покрытия ZnS составляет величину

$$d = \frac{\lambda}{4n_{пл}} = \frac{10,6}{4 \times 2,3} = 1,15 \text{ мкм.}$$

При использовании такой плёнки потери на отражение лазерного излучения от линзы уменьшаются до 11 %, другими словами, уменьшаются более, чем в 3 раза по сравнению с непросветленным германием.

Пропускание германиевой пластины, покрытой с обеих сторон слоем ZnS для обеспечения максимума на длине волны  $\lambda = 10,6$  мкм, показано на рис. 3, заимствованного из работы [5].

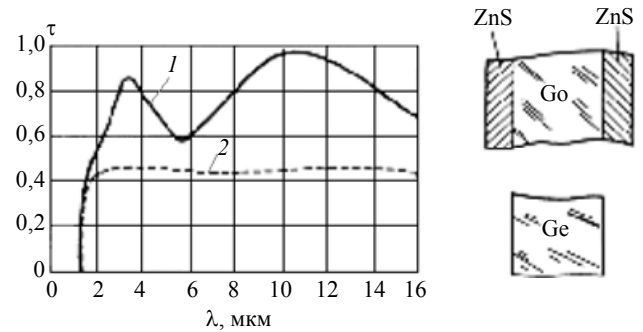


Рис. 3. Коэффициент пропускания германиевой пластины с однослойным просветляющим покрытием. Кривая 1 – просветленный германий, 2 – непросветленный.

Конструктивные особенности кристалла модулятора (при апертуре  $0,8 \times 0,8$  мм его длина составляет 15 мм) обуславливают фокусное расстояние линзы Л1 порядка 100 мм. Для фокусировки излучения, прошедшего через модулятор, на фоточувствительную площадку ФПУ диаметром 0,2 мм необходима линза Л2 с фокусным расстоянием порядка 50 мм.

Рассчитаем конструктивные параметры плосковыпуклой линзы, схема которой приведена на рис. 4.

Радиус кривизны одной (выпуклой) поверхности  $r_2 > 0$ , вторая поверхность – плоская, т. е. её радиус кривизны  $r_1 \rightarrow \infty$ . Значения фокусных расстояний  $f'$  и  $f$ , фокальных отрезков  $S'_F$  и  $S_F$ , отрезков  $S'_H$  и  $S_H$ , а также расстояние  $\Delta_{HH}$  между главными плоскостями определяются по известным формулам [6], с помощью которых находим

радиусы кривизны  $r_2$ . Для длиннофокусной линзы Л1  $r_2 = 300$  мм, для короткофокусной линзы Л2  $r_2 = 150$  мм.

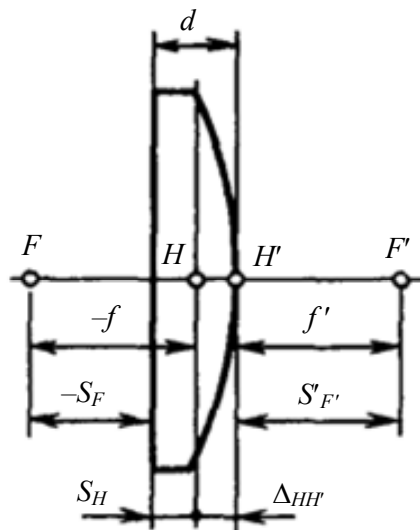


Рис. 4. Схема плосковыпуклой линзы.

Из справочника стандартных размеров оптических элементов [7] выбираем линзы, удовлетворяющие требуемому фокусному расстоянию и рассчитанному радиусу кривизны. Для линзы Л1 с фокусным расстоянием  $f = 100$  мм и радиусом кривизны  $r_2 = 300$  мм выбираем линзу диаметром  $D = 25,4$  мм. Для линзы Л2 ( $f = 50$  мм и  $r_2 = 150$  мм) для унификации крепления выбираем такой же диаметр. Толщина обеих линз составляет 1,6 мм, размер фаски  $0,3^{+0,3}$  мм под углом  $45^\circ$ .

В настоящее время изготовлены разработанные новые элементы оптической системы уста-

новки для исследования параметров быстродействующих ФПУ в гетеродинном режиме на длине волны  $\lambda = 10,6$  мкм, что позволит проводить исследования ФПУ с большей эффективностью.

### Заключение

В работе разработаны и изготовлены элементы оптической системы установки для исследования параметров быстродействующих ФПУ в гетеродинном режиме на длине волны  $\lambda = 10,6$  мкм. Разработанные линзы из монокристаллического германия с просветляющим покрытием из сульфида цинка с требуемым фокусным расстоянием позволяют без ощутимых потерь пропускать излучение  $\text{CO}_2$ -лазера через кристалл модулятора и полностью собирать его на фоточувствительной площадке измеряемого изделия.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ложников В. Е., Дирочка А. И. // Прикладная физика. 2016. № 3. С. 51.
2. Воронкова Е. М., Гречушиников Б. Н., Дистлер Г. И., Петров И. П. Оптические материалы для инфракрасной техники. – М.: Наука, 1965.
3. Родионов С. А. Основы оптики. – СПб.: СПб ГИТМО (ТУ), 2000.
4. Крылова Т. Н. Интерференционные покрытия. – Л.: Машиностроение, 1973.
5. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. – М.: Мир, 1988.
6. Заказнов Н. П., Кирюшин С. И., Кузичев В. И. Теория оптических систем. – М.: Машиностроение, 1992.
7. Бубис И. Я., Вейденбах В. А., Духопел и др. Справочник технолога-оптика. – Л.: Машиностроение, 1983.

PACS: 85.60.-q

## Optical system for measurements of the photodetector devices parameters in the heterodyne mode at a wavelength of 10.6 $\mu\text{m}$

V. E. Lozhnikov

Orion R&P Association  
9 Kosinskaya str., Moscow, 111538, Russia  
E-mail: orion@orion-ir.ru

Received June 28, 2017

*Consideration is given to the optical system for measurements of the HgCdTe photodiodes characteristics at the wavelength of 10.6  $\mu\text{m}$ . An analysis of optical elements responsible for focusing the laser beam into a small spot was performed. Germanium was chosen as the material to produce optical elements and their characteristics were estimated.*

*Keywords:* photodetector, modulator, germanium, transmission, reflection, laser radiation, antireflection coating, focusing lens

#### REFERENCES

1. V. E. Lozhnikov and A. I. Dirochka, *Prikl. Fiz.*, No. 3, 51 (2016).
2. E. M. Voronkova, B. N. Grechushnikov, G. I. Distler, et al., *Optical Materials for IR Devices* (Nauka, Moscow, 1965) [in Russian].
3. S. A. Rodionov, *Foundations of Optics* (GITMO, SpB, 2000) [in Russian].
4. T. N. Krylova, *Interference Coatings* (Mashinostr., Leningrad, 1973) [in Russian].
5. Gilbert Gaussorgues. *La Thermographie Infrarouge*. (Lavoisier, Paris; Mir, Moscow, 1988).
6. N. P. Zakaznov, S. I. Kiryushin, and V. I. Kuazichev, *Theory of Optical Systems* (Mashinostr., Moscow, 1992) [in Russian].
7. I. Ya. Bubis, V. A. Veidenbakh, et al., *Handbook of Optical Technologist* (Mashinostr., Leningr., 1983) [in Russian].