



# Германиевые окна и линзы для термографии

Мы изготавливаем оптические компоненты из германия для пирометрии и термографии с просветляющими покрытиями для широкого диапазона длин волн, включая алмазоподобные покрытия для специальных, экстремальных условий работы. Все оптические элементы проходят строгий контроль качества. Для этой цели мы проводим спектроскопические и интерферометрические измерения.



## Окна

### 1. Спектроскопические измерения

Для производства оптических элементов используется монокристаллический германий наивысшего оптического качества. Перед нанесением покрытий измеряется спектр пропускания полированных изделий в диапазоне 2-14 микрон (см. Рис.1).

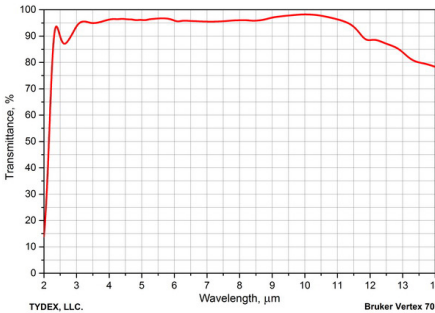
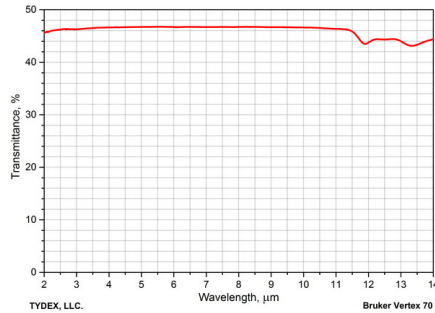


Рис. 1. Спектр пропускания Ge-окна диаметром 180 мм и толщиной 12.7 мм до (а) и после (нанесения широкополосного просветляющего покрытия на 3- 5 и 8 - 12 микрон.

Для приборов, используемых в пирометрии, важно лишь общее пропускание оптики. Однако для элементов изображающих систем этот параметр оказывается малоинформативным. Качество построенного изображения зависит от светорассеяния и направленного пропускания, которые определяют, соответственно, его контрастность и яркость. Поэтому оптические элементы изображающих систем проходят дополнительное тестирование и подвергаются специальным измерениям.

Прежде всего, определяется значение внутреннего рассеяния. Этот параметр характеризует ту часть энергии прошедшего излучения, которая, вследствие рассеяния света в материале, отклоняется от расчетного направления луча при его прохождении через деталь. Используется специальная методика измерений, т.к. при обычном фотометрировании нельзя выделить излучение, рассеиваемое под разными углами.

Поскольку реперный луч имеет длину волны 2.5 микрона и известно, что для больших длин волн потери за счет рассеяния уменьшаются, полученное значение может служить достаточным

критерием для оценки внутреннего качества материала. Апертура измерительного устройства составляет примерно 35мм. В случаях, когда этот размер значительно меньше чистой апертуры окна, мы измеряем внутреннее рассеяние в нескольких точках окна, лежащих на перпендикулярах к радиусам меньшего размера (см. таб. 1 и рис. 2).

Таб. 1. Значения внутреннего рассеяния при  $\lambda = 2.5$  микрона

№ точки								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
центр	R1		R2		R3		R4	
1.2%	1.2%	1.3%	1.4%	1.3%	1.4%	1.5%	1.3%	1.6%

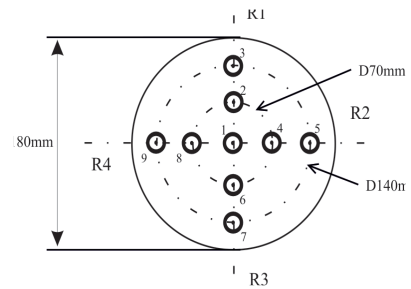


Рис. 2. Схема расположения точек для измерения внутреннего рассеяния.

На следующем этапе исследуется “направленное” пропускание, т.е. пропускание в направлении распространения падающего луча (контрольная длина волны 2.5 микрона). Этот параметр характеризует часть энергии излучения, вышедшую в «правильном» направлении без рассеяния. Схема измерений построена таким образом, чтобы устранить влияние множественных внутренних отражений на результаты тестирования. Диаметр реперного луча равен 5 мм. Как описано выше, мы обеспечиваем измерения в нескольких точках. Значение направленного пропускания для рассматриваемого окна составляло  $(40.2 \pm 0.2)\%$  во всех точках, что практически совпадало с теоретическим максимумом, учитывая поглощение на толщине окна и показатель преломления на длине волны 2.5 микрона. И, наконец, мы измеряем пропускание окна после нанесения покрытия (см. рис. 1).

### 2. Интерферометрические измерения

Наряду с высоким светопропусканием, чрезвычайно важно, чтобы элементы изображающих и лазерных систем минимально искажали форму прошедшего волнового фронта. Значение искажения прошедшего волнового фронта (transmitted wavefront distortion - TWD) мы определяем с помощью интерферометрических измерений. Для этого используется следующая процедура.

Интерферометрическая картина, полученная на 10.6 микрон, напрямую регистрируется компьютером. Вначале необходимо удалить шумы и повысить контрастности изображения при помощи стандартного графического программного обеспечения (см. рис. 3).

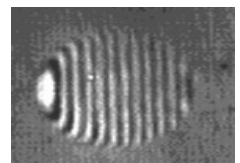


Рис. 3. Интерферометрическая картина прошедшего волнового фронта после удаления шумов и повышения контрастности (окно диаметром 50.8 мм, толщиной 5мм).



# Германиевые окна и линзы для термографии

Последующие операции проводятся с использованием программного обеспечения, разработанного специально для анализа интерферограмм. Сначала определяются координаты центров светлых и тёмных полос. Затем эти полосы аппроксимируются двумерными степенными полиномами. После этого производится расчет TWD и оценка точности измерений (см. табл. 2). И, наконец, топография волнового фронта реконструируется и воспроизводится на плоской и 3-х мерной диаграммах (см. рис. 4).

Таб. 2 Параметры TWD и точность измерений (окно диаметром 50.8 мм и толщиной 5.0 мм).

RMS <sub>F</sub>	PV <sub>F</sub>	D	B <sub>4</sub>	PV <sub>Z</sub>	RMS <sub>(W-Z)</sub>	σ
0.044	0.26	0.11	0.16	0.12	0.027	0.009

RMS<sub>F</sub> - среднеквадратичное искажение волнового фронта по отношению к ближайшей плоскости;

PV<sub>F</sub> - максимальный размах искажения волнового фронта по отношению к ближайшей плоскости;

D - фокусирующий коэффициент эталона;

B<sub>4</sub> - коэффициент Цернике 4-го порядка для зональной ошибки;

PV<sub>Z</sub> - максимальный размах зональной ошибки;

RMS<sub>(W-Z)</sub> - среднеквадратичное искажение волнового фронта без зональной ошибки;

σ - неточность реконструкции волнового фронта.

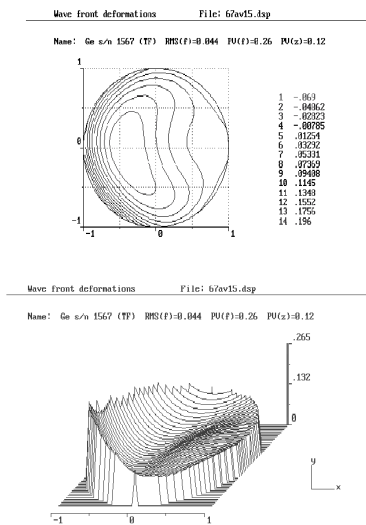


Рис. 4. Восстановленная топография волнового фронта, представленная на плоской и 3-х мерной диаграммах (окно диаметром 50.8 мм, толщиной 5 мм).

Параметры прошедшего волнового фронта зависят от оптической однородности материала и точности поверхностей. В ряде случаев необходимо определить влияние на TWD каждого фактора в отдельности и предоставить отдельные данные для каждого из них.

Интерферометрический анализ точности поверхностей проводится на длине волны 0.633 микрона в режиме измерения фазы лучей. Интерферограммы обрабатываются описанным выше способом, данные оформляются в виде плоских и трехмерных диаграмм, а также таблицы параметров.

Для того, чтобы оценить оптическую однородность материала, производится коррекция TWD путем исключения ошибки, связанной с несовершенством поверхностей (рис. 5).

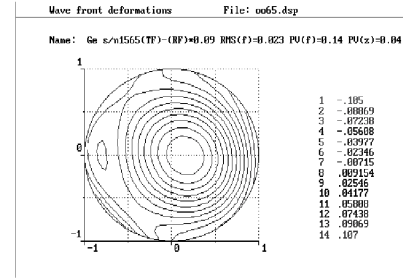


Рис. 5. Восстановленное значение ошибки волнового фронта за счет оптической неоднородности материала (исключено влияние ошибки поверхностей) представлено на плоской диаграмме. Значение TWD в чистой апертуре 36 мм равно 0.14 PV на 10.6 микрон. Это соответствует значению  $d(n)=3*10$  в чистой апертуре окна. Диаметр окна= 50.8 мм, толщина= 5.0 мм.

В ряде случаев, например, при изготовлении выходных частично отражающих зеркал для СО -лазера, важно добиться высокой параллельности двух поверхностей зеркала. Обычные контактные методы контроля являются недостаточно точными, чтобы произвести регистрацию малых углов клина. К тому же, при контактных измерениях всегда высок риск повреждения оптики. Применяемые нашими специалистами интерферометрические измерения позволяют определить значения клина с точностью до 1.5 угловых секунд.

## Линзы

Проверка материала германиевых линз для термографии осуществляется так же, как и для окон. Однако контроль точности сферических поверхностей осуществляется с помощью пробных стекол. Для пересчета радиусов и изготовления линз мы используем парк имеющихся у нас пробных стёкол.

Максимальный диаметр линз, которые могут быть изготовлены с характеристиками, достаточными для данного приложения - 150 мм. На линзы и окна могут быть нанесены различные типы просветляющих и защитных покрытий, включая алмазоподобное (DLC) покрытие.

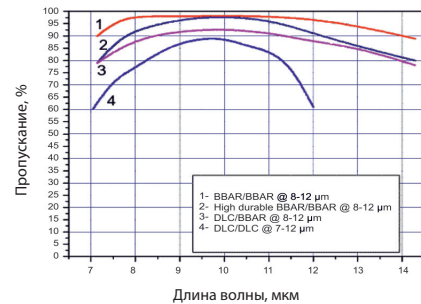


Рис. 6. Сравнительные спектры пропускания германиевых окон (толщиной 4.5 мм) с различными типами просветляющих и защитных покрытий