

Среди других материалов для инфракрасных приложений мы используем германий, хорошо пропускающий в диапазоне от 2 до 15 микрон. В частности, германиевые линзы также благодаря высокому показателю преломления являются очень полезными компонентами для ИК-систем построения изображения, работающих в двух «атмосферных окнах»: 3-5 и 8-12 микрон.

Для изготовления оптических компонентов может использоваться как монокристаллический, так и поликристаллический германий. Мы изготавливаем германиевые линзы и окна для термографии и пирометрии (см. Германиевые окна и линзы для термографии). Также мы изготавливаем компоненты для спектроскопии, такие как АТР-призмы, детекторные окна, ИК-поляризаторы.

Германий является также хорошим материалом для экранирования электромагнитной интерференции (EMI). Специальный его тип (EMI-grade) становится всё более важным для современных военных приложений, где другие сигналы (в миллиметровом и сантиметровом диапазоне) достаточно интенсивны и могут снижать эффективность работы ИК-систем.

Типичное сопротивление для германия EMI-типа 4 Ом·см, но оно зависит от требуемого уровня гашения паразитного сигнала. При использовании германиевых окон с таким сопротивлением уровень этих сигналов может быть существенно понижен, и ИК-системы приобретают хорошую эффективность.

Ниже представлены основные свойства германия, а также графики его пропускания и поглощения.

Таб. 1. Физические свойства германия

Атомный номер	32
Атомный вес	72.6
Кристаллическая структура	Алмазная кубическая
Постоянная решётки при 25°C, А	5.657
Плотность (298 К), г/см ³	5.323
Атомная плотность, атомов/см ³	4.42 × 10 ²²
Поверхностное натяжение, жидкая форма при температуре плавления, мН/м	650
Модуль разрыва, МПа	72.4
Фунты/Кв.Дюйм (ФКД)	1.05 × 10 ⁴
Твёрдость по Моссу	6
Твёрдость по Викерсу, 25 г нагрузки, кг/мм ²	746 (52 Ом·см)
Вязкость разрушения, МПа ^{1/2}	1.004 (плоскость разлома – 110)
Сопротивление тепловому удару, °C	125
Коэффициент Пуассона, 125-375 К	0.278
Упругие постоянные, 25°C, см ² /дин	S11 = 9.685 × 10 ⁻¹³ S12 = -2.70 × 10 ⁻¹³ S44 = 14.94 × 10 ⁻¹³
Коэффициенты упругости, 25°C, дин/см ²	C11 = 13.16 × 10 ¹¹ C12 = 5.09 × 10 ¹¹ C44 = 6.69 × 10 ¹¹
Модуль Юнга, 25°C, дин/см ²	Y100 = 10.33 × 10 ¹¹ Y110 = 13.80 × 10 ¹¹ Y111 = 15.55 × 10 ¹¹
Модуль сдвига, 25°C, дин/см ²	M100 = 6.69 × 10 ¹¹ M100 = 4.1 × 10 ¹¹ M111 = 4.9 × 10 ¹¹

Таб. 2. Термические свойства германия

Температура плавления, °C	937	
Точка кипения, °C	2830	
Удельная теплоёмкость (0-100°C), кал/гх°C	0.074	
Скрытая теплота плавления	кал/моль	8100
	Дж/г	466.5
Скрытая теплота парообразования, Дж/г	4602	
Коэффициент линейного теплового расширения (293К), см/°C	6.1 × 10 ⁻⁶	
Теплоёмкость, 25°C, Дж/(кгхК)	322	

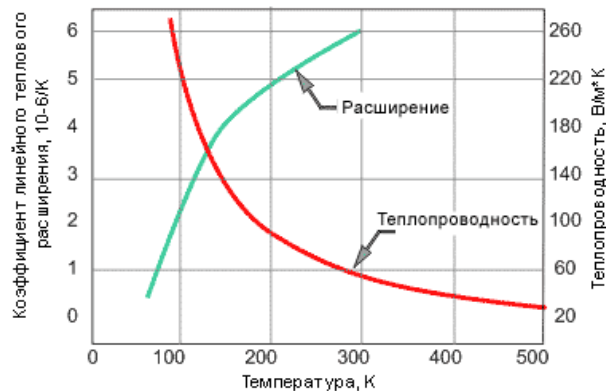


Рис. 1. Зависимость линейного теплового коэффициента расширения и теплопроводности германия от температуры.

Таб. 3. Электронные свойства германия

Ширина запрещенной зоны (300 К), эВ	0.67	
Концентрация собственных носителей (300 К), см ⁻⁶	p, n = 5.5 × 10 ²⁶	
Собственная дрейфовая подвижность (300 К), см ² /на:	электронов	3800
	дырок	1820
Коэффициент диффузии (300 К), см ² /сек:	электроны	101
	дырки	49
Собственное сопротивление (300 К), Ом·см	52	
Количество собственных электронов, см ⁻³	2.12 × 10 ¹³	
1 Ом·см (n-тип) соответствует, 10 ¹⁵ /см ⁻³	1.1	
1 Ом·см (p-тип) соответствует, 10 ¹⁵ /см ⁻³	2.3	

Таб. 4. Химические свойства германия

Растворимость	
В воде при 20°C, г/100см ³	нерастворим
В кислоте	растворим

Толщина германиевого окна, требуемая для поддержания разницы давлений с разных сторон окна, может быть рассчитана по следующей формуле:

$$Thk = \sqrt{(1.1 \times P \times r^2 \times SF/MR)},$$

где:

P = разница давлений (ФКД);

r = неподдерживаемый радиус (мм);

SF = фактор безопасности (от 4 до 6) (предлагаемый диапазон, возможно использование других факторов);

MR = модуль разрыва (ФКД).

Например, окно с диаметром 100 мм и неподдерживаемым радиусом 45 мм, используемое в среде с разницей давлений в 1 атмосферу, должно иметь толщину ~4.0 мм (фактор безопасности 5).

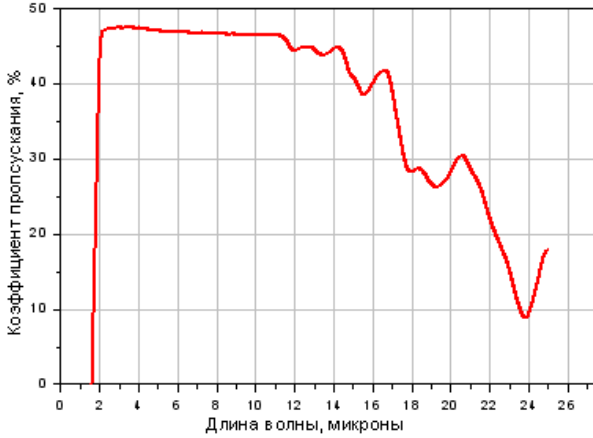


Рис. 2. Типичное пропускание германия оптического качества (толщина образца 2 мм).

Германий имеет низкий коэффициент поглощения инфракрасного излучения в диапазоне длин волн от 2 до 12 микрон. Запрещённая зона германия величиной 0.67эВ является причиной увеличения поглощения в коротковолновом ИК-диапазоне. В дальнем ИК-диапазоне преобладает решёточное (фононное) поглощение.

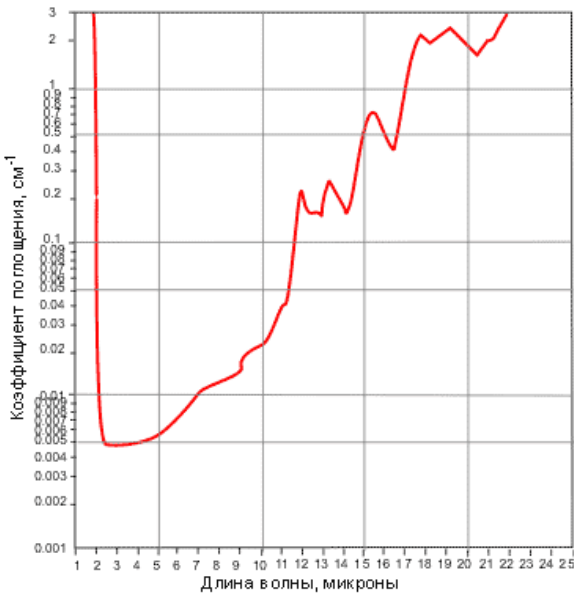


Рис. 3. Типичный коэффициент поглощения германия.

При высокой температуре германий оптического качества имеет избыточное поглощение вследствие увеличивающегося количества термически генерированных дырок.

Как это видно из графика (рис. 5), рост поглощения становится существенным при температурах более 45 °С.

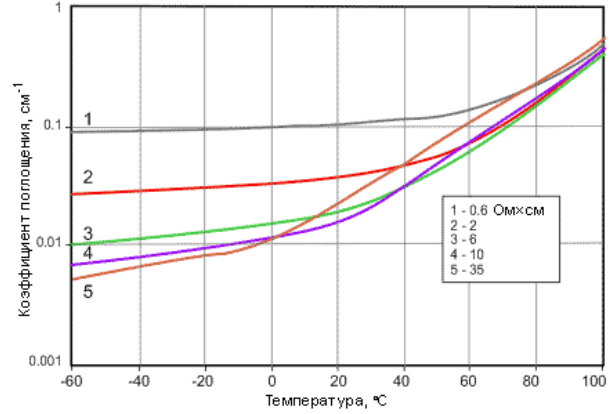


Рис. 4. Зависимость поглощения германия от температуры на длине волны 10.6 микрон.

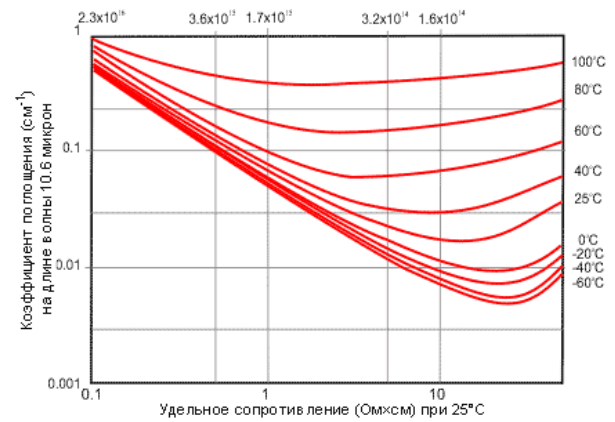


Рис. 5. Зависимость поглощения германия от сопротивления.

Поглощение на свободных носителях (электронах и дырках) и решёточное поглощение (фононное) являются причиной поглощения в оптическом ИК-диапазоне. Дырки в германии поглощают больше энергии, чем электроны в этом диапазоне. Для практически электрически нейтрального германия число дырок, помноженное на число электронов, является постоянным. Число дырок может быть уменьшено за счёт увеличения числа электронов путём добавления атомов V группы в германий. Таким образом, уменьшается сопротивление. Избыточное добавление доноров ведёт к избыточной концентрации электронов и повышенному поглощению.

Таб. 5. Показатель преломления германия

λ, микроны	n	λ, микроны	n	λ, микроны	n
2.0	4.1079	9.5	4.0056	12.3	4.0038
2.5	4.0653	10.0	4.0052	12.7	4.0036
3.0	4.0446	10.6	4.0048	13.0	4.0035
4.0	4.0255	11.0	4.0045	13.3	4.0034
5.0	4.0170	11.3	4.0043	14.0	4.0032
6.0	4.0122	11.5	4.0042	14.1	4.0031
7.0	4.0092	11.7	4.0041	15.0	4.0029
8.0	4.0074	11.9	4.0040	15.6	4.0027
8.5	4.0067	12.0	4.0039	16.0	4.0026
9.0	4.0061				

Для изготовления оптических компонентов обычно используется материал со следующими параметрами.

Таблица 6:

Ориентация	111
Отклонение от ориентации, угл. град.	≤ 2
Тип проводимости	n
Удельное сопротивление, Ом·см	5 - 40
Неоднородность показателя преломления, n	$\leq 2 \times 10^{-4}$
Плотность дислокаций, см ⁻²	$\leq 1 \times 10^4$
Пропускание образца толщиной 1 мм, %	≥ 46.8 на 10.6 микрон > 46.0 от 2.5 до 11 микрон
Коэффициент внутреннего рассеяния на 2.5 микрон, %	≤ 5

Возможно изготовление оптических компонентов различных форм: сферической, эллиптической, прямоугольной, плоскопараллельной, плосковыпуклой/плосковогнутой, менисковой, клиновидной, стержней.

Возможные габаритные размеры: от 2 мм до 250 мм для монокристаллов и до 300 мм для поликристаллов.

Обращаем Ваше внимание на то, что мы не поставляем германий в необработанном виде, а только готовые, полированные компоненты.