

Германий

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 $4 \text{ Ом} \times \text{см}$, 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.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕРМАНИЯ

| | |
|---|--|
| Атомный номер | 34 |
| 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 Фунты/Кв.Дюйм (ФКД) | 72.4 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 | $S_{11} = 9.685 \times 10^{-13}$ $S_{12} = -2.70 \times 10^{-13}$ $S_{44} = 14.94 \times 10^{-13}$ |
| Коэффициенты упругости, 25°C, дин/см ² | $C_{11} = 13.16 \times 10^{11}$ $C_{12} = 5.09 \times 10^{11}$ $C_{44} = 6.69 \times 10^{11}$ |
| Модуль Юнга, 25°C, дин/см ² | $Y_{100} = 10.33 \times 10^{11}$ $Y_{110} = 13.80 \times 10^{11}$ $Y_{111} = 15.55 \times 10^{11}$ |
| Модуль сдвига, 25°C, дин/см ² | $M_{100} = 6.69 \times 10^{11}$ $M_{100} = 4.1 \times 10^{11}$ $M_{111} = 4.9 \times 10^{11}$ |



ТЕРМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГЕРМАНИЯ

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

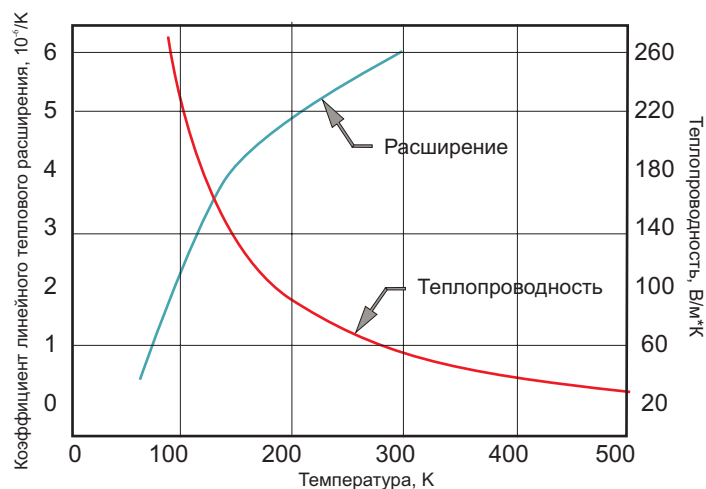


Рис. 1 Зависимость линейного теплового коэффициента расширения и теплопроводности германия от температуры.

ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ГЕРМАНИЯ

| | |
|--|-----------------------------|
| Ширина запрещённой зоны (300 К), эВ | 0.67 |
| Концентрация собственных носителей (300 К), см ⁻⁶ | $p, n = 5.5 \times 10^{26}$ |
| Собственная дрейфовая подвижность (300 К), см ² /на: электронов дырок | 3800 1820 |
| Коэффициент диффузии (300 К), см ² /сек: электроны дырки | 101 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 |

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕРМАНИЯ

| Растворимость | |
|--|-------------|
| В воде при 20 °С, 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:

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

где:

P = разность давлений (ФКД);

r = неподдерживаемый радиус (мм);

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

MR = модуль упругости (ФКД).

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



TYDEX[®]
J.S.CO.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3318702, -3346701; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: http://www.tydex.ru

Германий



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.

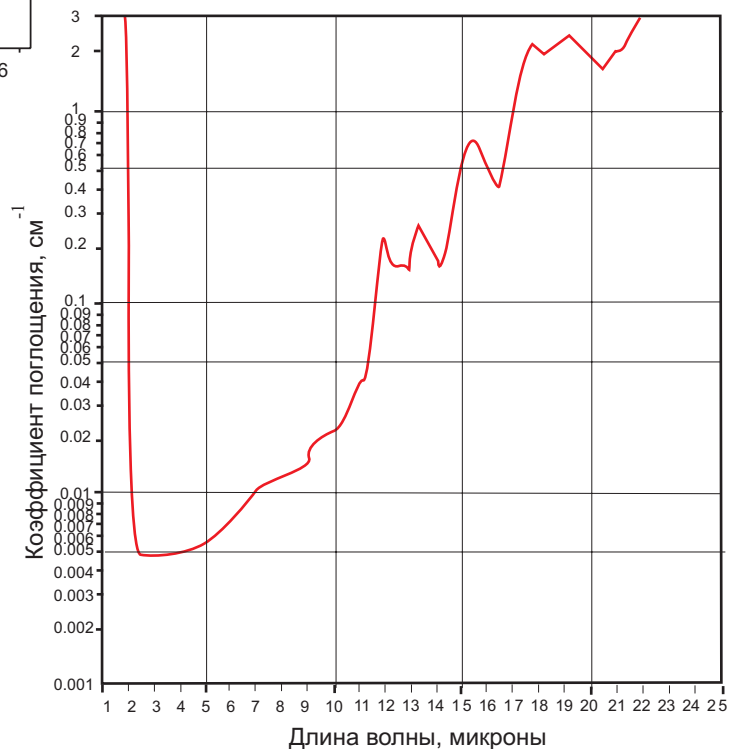
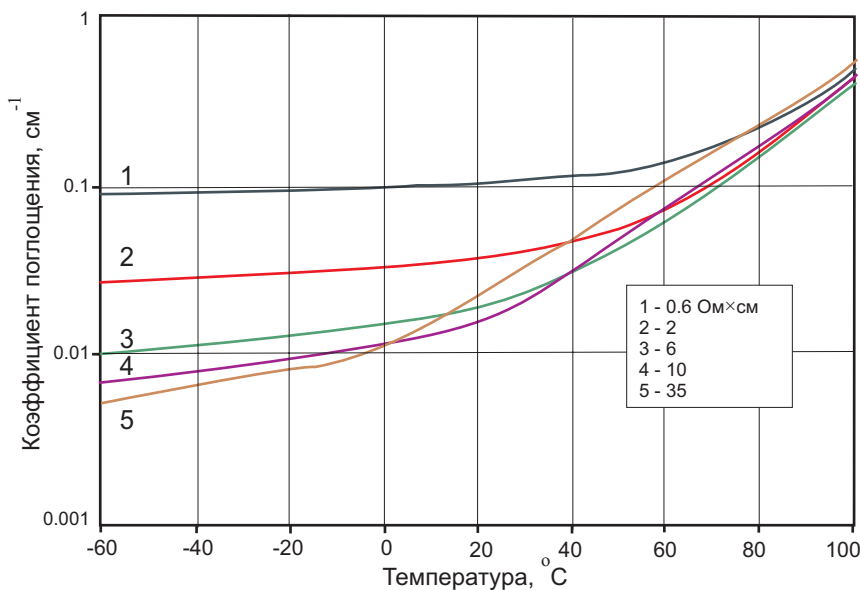


Рис. 3. Типичный коэффициент поглощения германия.



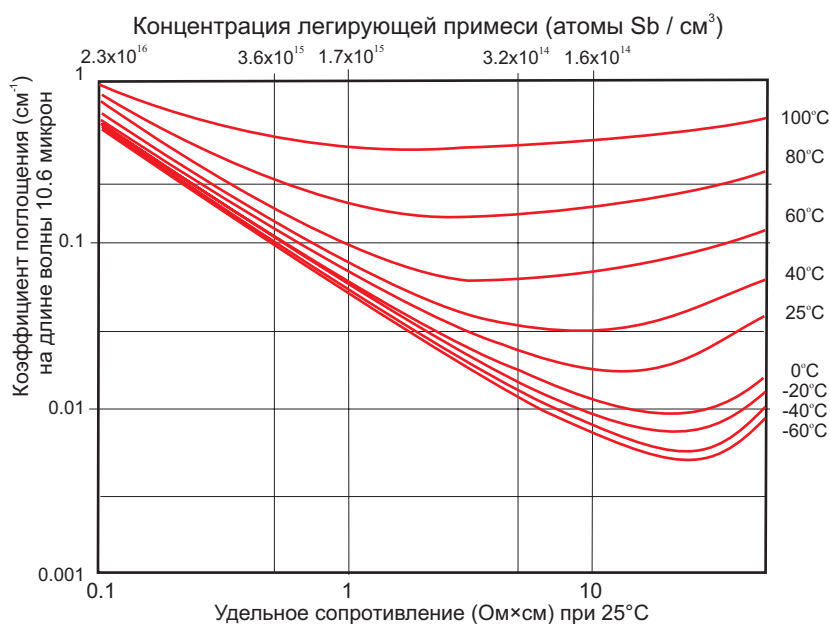
При высокой температуре германий оптического качества имеет избыточное поглощение вследствие увеличивающегося количества термически генерированных дырок. Как это видно из графика, рост поглощения становится существенным при температурах более 45 °С.

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



TYDEX[®]
J.S.CO.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3318702, -3346701; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: <http://www.tydex.ru>



Показатель преломления германия

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

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.

Для изготовления оптических компонентов обычно используется материал со следующими параметрами:

| | |
|--|--|
| Ориентация | 111 |
| Отклонение от ориентации, угл. град. | ≤ 2 |
| Тип проводимости | n |
| Удельное сопротивление, Ом×см | 5-40 |
| Неоднородность показателя преломления, Δn | $\leq 2 \times 10^{-4}$ |
| 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.



TYDEX[®]
J.S.CO.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3318702, -3346701; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: http://www.tydex.ru