

Кремний

Обычно кремний считается материалом для систем, работающих в средней ИК-области спектра от 3 до 5 микрон. Но фактически этот материал может использоваться в гораздо более широком диапазоне длин волн от 1.2 микрон до 1000 микрон и даже больше.

Мы используем три вида кремния:

- кремний оптический, выращенный методом Чохральского (OCz-Si),
- кремний оптический, выращенный методом зонной плавки (FZ-Si),
- кремний высокоомный оптический, выращенный методом зонной плавки (HRFZ-Si).

Выбор материала из этих трёх типов зависит от рабочего диапазона длин волн, толщины элемента и специфики применения. Мы используем кристаллы соответствующего типа (в зависимости от технологии изготовления, типа проводимости и сопротивления), чтобы достичь наилучшего пропускания в требуемой области спектра. Ниже продемонстрированы и описаны основные принципы правильного выбора материала. Также надо отметить, что пропускание не зависит от ориентации кристалла, так как кремний, имея кубическую симметрию, является изотропным кристаллом.

На рис. 1 показаны спектры пропускания кремния в ближнем и среднем ИК-диапазонах. Как видно, в диапазоне от 3 до 5 микрон нет практически никакой разницы в пропускании материалов всех используемых градаций и сопротивлений. Также все типы материалов имеют фононные пики абсорбции, обусловленные решеточным поглощением в диапазоне от 6.5 до 25 микрон. Кремний, выращенный методом Чохральского, имеет пики на длинах волн 5.8, 9.1 и 19.4 микрон, индуцированные кислородным поглощением.

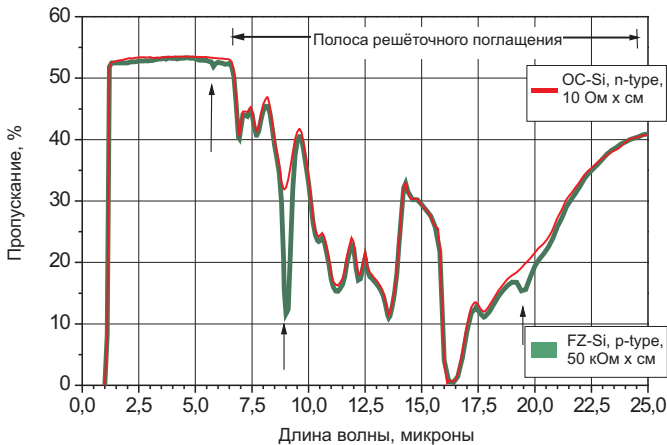


Рис. 1 Пропускание кремния в диапазоне 1-25 микрон. Стрелками указаны пики кислородного поглощения. Толщина образца 5 мм.

За счет гораздо меньшей концентрации кислорода (10^{16} см^{-3} вместо порядка 10^{18} см^{-3} в кремнии, выращенном методом Чохральского) кремний, выращенный методом зонной плавки, не имеет кислородных пиков и может использоваться для более критичных применений.

Решеточное поглощение также как и кислородное поглощение, зависит от оптического пути луча внутри элемента (грубо от толщины элемента). Оно не зависит от сопротивления. Таким образом, толщина элемента является достаточно критичным параметром в диапазоне 6-25 микрон.

На рис. 2 приведены спектры пропускания образцов различной толщины. Видно, что в диапазоне от 3 до 5 микрон, обычно используемом в пирометрии и термографии, и даже до 6.5 микрон зависимость пропускания от толщины незначительна. Для больших длин волн поглощение становится существенным, и пропускание сильно зависит от толщины. Для образца кремния, выращенного методом Чохральского, толщиной 5 мм среднее пропускание в диапазоне 8-10 микрон меньше 32% (для кремния, выращенного методом зонной плавки, около 38%) и только 18% в диапазоне 10-14 микрон (одинаково для кремния, выращенного методом зонной плавки и методом Чохральского).

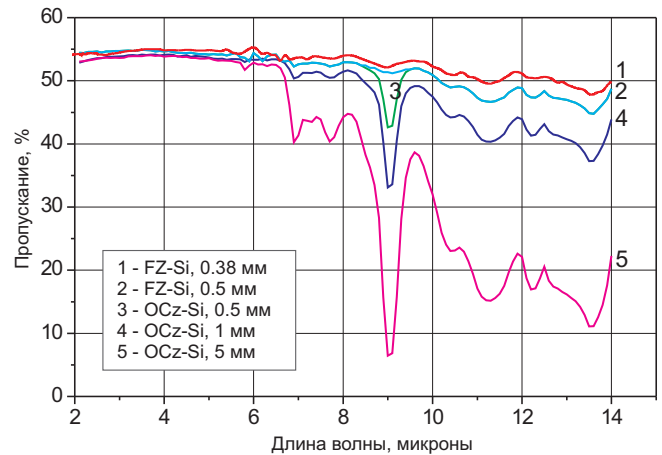


Рис. 2 Пропускание кремния, выращенного методом зонной плавки и методом Чохральского, в зависимости от толщины.

Однако, кремниевые окна толщиной менее, либо около 1 мм могут быть успешно использованы во втором «атмосферном окне» от 7 до 14 микрон. В этом диапазоне среднее пропускание окна из кремния, выращенного методом Чохральского, с толщиной 0.5 мм превышает 51% и для кремния, выращенного методом зонной плавки, оно немного выше (около 51.9%) из-за отсутствия кислородной линии поглощения.

Пропускание в дальнем ИК диапазоне показано на рис. 3. Мы обращаем внимание на то, что, начиная с 21 микрона, нет разницы в пропускании между кремнием, выращенным методом Чохральского и методом зонной плавки с одинаковым сопротивлением и типом проводимости. Для таких приложений (50 микрон и более) мы предлагаем высокоомный кремний, выращенный методом зонной

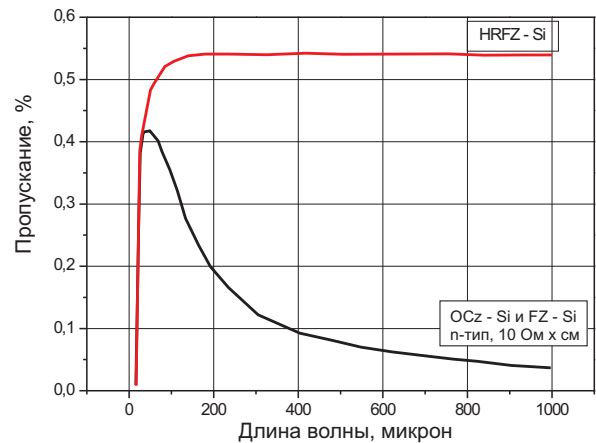


Рис. 3 Пропускание кремния, 16-1000 микрон. Толщина образцов 5 мм.



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

плавки, сохраняющий пропускание 50-54% до 1000 микрон (и более по специальному запросу). Кремний с сопротивлением до 30 кОм х см может быть использован.

Максимальные размеры кристаллов, используемых для изготовления оптики:

- Si, выращенный методом Чохральского - 150 мм (рост слитка на заказ - до 220 мм);
- Si, выращенный методом зонной плавки - 100 мм (рост слитка на заказ - до 125 мм);
- высокоомный Si, выращенный методом зонной плавки - 100 мм (рост слитка на заказ - до 150 мм).

Физические свойства кремния

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Плотность, г/см ³ | 2.329 |
| Точка плавления, °С | 1412 |
| Молекулярный вес | 28.09 |
| Поверхностное натяжение, (в жидком состоянии в точке плавления), мН/м | 736 |
| Коэффициент линейного термического расширения при 25°С | 2.55 x 10 ⁻⁶ |
| Теплопроводность при 27°С, Вт/(м х °С) | 159 |
| Удельная теплоемкость (тв.), Дж/(кг х °С) | 712 |
| Тепловой коэффициент показателя преломления при @ 25°С | 1.50 x 10 ⁻⁴ |
| Модуль разрыва, МПа | 125 |
| Твердость по Моосу | 7 |
| Модуль Юнга (E), Па | 1.89 x 10 ¹⁰ |
| Модуль сдвига (G), Па | 7.99 x 10 ¹⁰ |
| Коэффициент поперечной деформации (Пуассона) | 0.266 |
| Растворимость в воде | нерастворим |

Электрические свойства кремния

| | | |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------|
| Собственное сопротивление, кОм х см | 240 | |
| Дрейфовая подвижность собственных электронов, см ² /(В х сек.) | 1500 | |
| Количество электронов, см ⁻³ | 1.22 x 10 ¹⁰ | |
| 1 Ом х см (n-тип) равен, 10 ¹⁵ /см ³ | 2.93 | |
| 1 Ом х см (p-тип) равен, 10 ¹⁵ /см ³ | 7.33 | |
| Дрейфовая подвижность собственных дырок, см ² /(В х сек.) | 600 | |
| Запрещенная зона, минимум, эВ | 300 К | 1.14 |
| | 0 К | 1.17 |

Коэффициент преломления кремния в

| λ, микроны | n | λ, микроны | n |
|------------|--------|------------|--------|
| 1.40 | 3.4900 | 5.83 | 3.4241 |
| 1.50 | 3.4841 | 5.92 | 3.4239 |
| 1.66 | 3.4700 | 6.00 | 3.4238 |
| 1.82 | 3.4600 | 6.50 | 3.4232 |
| 2.00 | 3.4561 | 6.92 | 3.4228 |
| 2.50 | 3.4431 | 7.00 | 3.4227 |
| 3.00 | 3.4360 | 7.14 | 3.4226 |
| 3.30 | 3.4326 | 7.30 | 3.4225 |
| 3.50 | 3.4317 | 7.50 | 3.4224 |
| 4.00 | 3.4289 | 7.72 | 3.4222 |
| 4.50 | 3.4270 | 8.00 | 3.4220 |
| 5.00 | 3.4256 | 8.16 | 3.4220 |
| 5.19 | 3.4200 | 8.50 | 3.4218 |
| 5.50 | 3.4246 | 9.00 | 3.4216 |
| 5.70 | 3.4243 | 9.09 | 3.4215 |

В соответствии с формулой

$$n = \sqrt{\epsilon_0},$$

где $\epsilon_0 = 11.67$ – статическая диэлектрическая проницаемость, коэффициент преломления кремния стремится к значению 3.416 при стремлении длины волны к бесконечности (до 1000 микрон и более).

Обращаем ваше внимание на то, что мы не поставляем кремний 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