

## Si レンズ

Si は、中赤外 (MIR: 3~5  $\mu\text{m}$ ) での使用に適した材料ですが、1.2~1,000  $\mu\text{m}$  以上の範囲でも使用できます。Si は 3 つのグレード (OCz-Si、FZ-Si、HRFZ-Si) に分かれており、使用波長、厚さ、使用用途によって、グレードを選択します。主要な材料の特徴を下図に示します。また、透過率は結晶のオリエンテーションには依存しません。

図 1 は NIR、MIR での透過率を示したものです。3~5  $\mu\text{m}$  ではグレードと抵抗による透過率の差はなく、すべてのグレードでありませんが、6.5~25  $\mu\text{m}$  ではラティス吸収によるフォノン吸収ピークが見られます。OCz-Si は加えて 5.8、9.1、19.4  $\mu\text{m}$  でも酸素振動吸収によるピークがあります。酸素濃度が少ないので (10E16  $\text{cm}^{-3}$  vs. 約 10E18  $\text{cm}^{-3}$  in OCz-Si)、FZ-Si は酸素ピークとは関係なく、過酷な環境での使用が可能です。

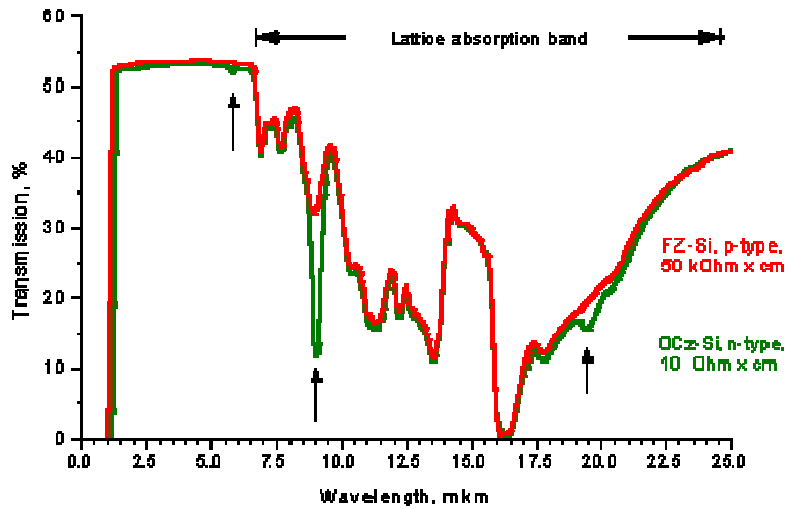


図 1: Si 透過率 (1 25  $\mu\text{m}$ , 矢印は酸素吸収, 厚さは 5mm)

ラティス吸収は酸素吸収と同様、素子への入射、光路 (厚さ) に依存し、抵抗には依存しません。そのため、6~25  $\mu\text{m}$  での使用においては厚さの精度が非常に重要です。図 2 は、厚さと透過率の関係を示したものです。3~5  $\mu\text{m}$  においては高温測定とサーモグラフィに使用され、透過率は厚さにはあまり影響を受けませんが、それ以上の波長になると吸収が顕著になり、厚さによる透過率への影響が大きくなります。5mm 厚の OCz-Si サンプルの 8~10  $\mu\text{m}$  での平均透過率は 32% 以下 (Fz-Si では約 38%) で、10~14  $\mu\text{m}$  では 18% (Ocz-Si、Fz-Si も同様) しかありません。

しかし 1mm 厚程度の Si ウィンドウは、パイロメトリックなどの MIR 領域でよく使用されています。厚さ 0.5mm の場合、7~14  $\mu\text{m}$  での平均透過率は 51% 以上、Fz-Si では 51.9%、これは酸素吸収線がないためです。

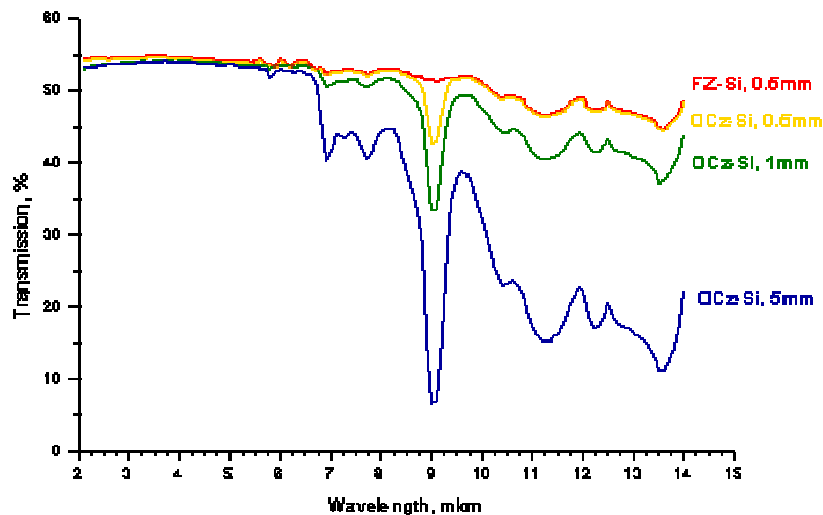


図 2: 厚さの違いによる、OCz-Si と FZ-Si の透過率

遠赤外における透過率を図3に示します。21  $\mu\text{m}$  からの場合、FZ-SiとOCz-Siは抵抗、伝導率も同じで違いはほとんどありません。50  $\mu\text{m}$  以上で使用する場合は、透過率も高いので、HRFZ-Siが最適です。抵抗値は30  $\text{k}\Omega \times \text{cm}$  まで対応可能です。

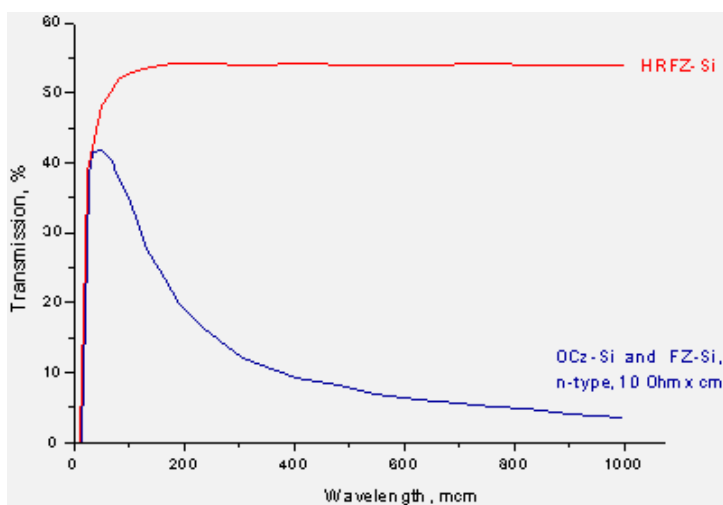


図3: 16 ~ 1,000  $\mu\text{m}$  での透過率

最大供給可能サイズは下記の通りです。

- OCz-Si: 150 mm (220mm まで特注対応可能)
- Fz-Si: 100mm (125mm まで特注対応可能)
- HRFZ-Si: 100mm (125mm まで特注対応可能)

## Si 物理特性

Density, g/cm <sup>3</sup>		2.329
Melting point, C		1412
Molecular weight		28.09
Surface tension, liquid at mp, mN/m		736
Thermal linear expansion @25 C		2.55 x 10 <sup>-6</sup>
Thermal conductivity @27 C, W/(m x C)		159
Specific heat capacity (solid), J/(kg x C)		712
Thermal coefficient of refractive index @ 25 C		1.50 x 10 <sup>-4</sup>
Intrinsic resistivity, kOhm x cm		240
1 Ohm x cm (n-type) is equal to, 10 <sup>15</sup> /cm <sup>3</sup>		2.93
1 Ohm x cm (p-type) is equal to, 10 <sup>15</sup> /cm <sup>3</sup>		7.33
Intrinsic electron drift mobility, cm <sup>2</sup> /(V x s)		1500
Number of intrinsic electrons, cm <sup>-3</sup>		1.22 x 10 <sup>10</sup>
Intrinsic hole drift mobility, cm <sup>2</sup> /(V x s)		600
Band gap, minimum, eV	300 K	1.14
	0 K	1.17
Modulus of rupture, MPa		125
Mohs hardness		7
Young modulus (E), Pa		1.89 x 10 <sup>10</sup>
Shear modulus (G), Pa		7.99 x 10 <sup>10</sup>
Poisson ratio		0.266
Solubility in water		insoluble

## 波長による Si 屈折率

$\lambda, \mu\text{m}$	n	$\lambda, \mu\text{m}$	n	$\lambda, \mu\text{m}$	n
1.40	3.4900	4.50	3.4270	7.00	3.4227
1.50	3.4841	5.00	3.4256	7.14	3.4226
1.66	3.4700	5.28	3.4250	7.30	3.4225
1.82	3.4600	5.50	3.4246	7.50	3.4224
2.00	3.4561	5.70	3.4243	7.72	3.4222
2.50	3.4431	5.83	3.4241	8.00	3.4220
3.00	3.4360	5.92	3.4239	8.16	3.4220
3.30	3.4326	6.00	3.4238	8.50	3.4218
3.50	3.4317	6.50	3.4232	9.00	3.4216
4.00	3.4289	6.92	3.4228	9.09	3.4215

According to the formula  $n = \sqrt{\epsilon_0}$ , where  $\epsilon_0 = 11.67$  is static permittivity, refractive index of silicon approaches 3.416 as wavelength goes to infinity (to 1000  $\mu\text{m}$  and more in our case).