

LCGT

thermal deformation and lensing

Daisuke Tatsumi

National Astronomical Observatory of Japan

Fundamentals

Thermal lens which has a curvature radius of R is expected by the following equations.

$$\frac{1}{R} = \frac{2 \delta s}{\omega^2} = \begin{cases} \frac{\alpha}{2\kappa} \frac{P}{\pi\omega^2} & \text{for thermal deformation} \\ \frac{\beta}{2\kappa} \frac{P}{\pi\omega^2} & \text{for thermal lensing} \end{cases}$$

Table 5: Parameters of fused silica substrate

			Comments
Mirror substrate		Fused silica	Suprasil P10
Thermal conductivity	κ	1.38	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$
Thermal expansion	α	5.5×10^{-7}	K^{-1}
Refractive index variation for temperature	$\beta = \frac{\partial n}{\partial T}$	1.4×10^{-5}	K^{-1}
Heating laser power density	$P/\pi\omega^2$		

Deformation and lensing coefficient

The effect of thermal lensing is larger than that of thermal distortion.

**Fused Silica
(300 K)**

$$\frac{\alpha}{2\kappa} = 2.0 \times 10^{-7}$$

distortion

$$\frac{\beta}{2\kappa} = \underline{5.0 \times 10^{-6}}$$

lensing

**Sapphire
(20 K)**

$$\frac{\alpha}{2\kappa} = 2.5 \times 10^{-12}$$

$$\frac{\beta}{2\kappa} = 3.3 \times 10^{-10}$$

Thermal effects

PRC intra cavity power = 75 W x 11 = 825 W

at PRM	Heating Power Density	Thermal Distortion	Thermal Lens	Mirror Curvature Radius
No-lens design	0.21 mW/cm ² 0.01 mW/cm ²	2.4e+6 m 4.9e+7 m	9.6e+4 m 1.9e+6 m	flat
unfolded	62 mW/cm ² 3.2 mW/cm ²	8.1 km 161 km	317 m 6.3 km	4.84 m
Folded (-1.95, +16)	14 mW/cm ² 0.7 mW/cm ²	19.2 km 703 km	1.38 km 27.6 km	337 m

thermal absorption

10 ppm

0.5 ppm

付録

Power Density

Nominal Design (2004)
LCGT design – ver.1

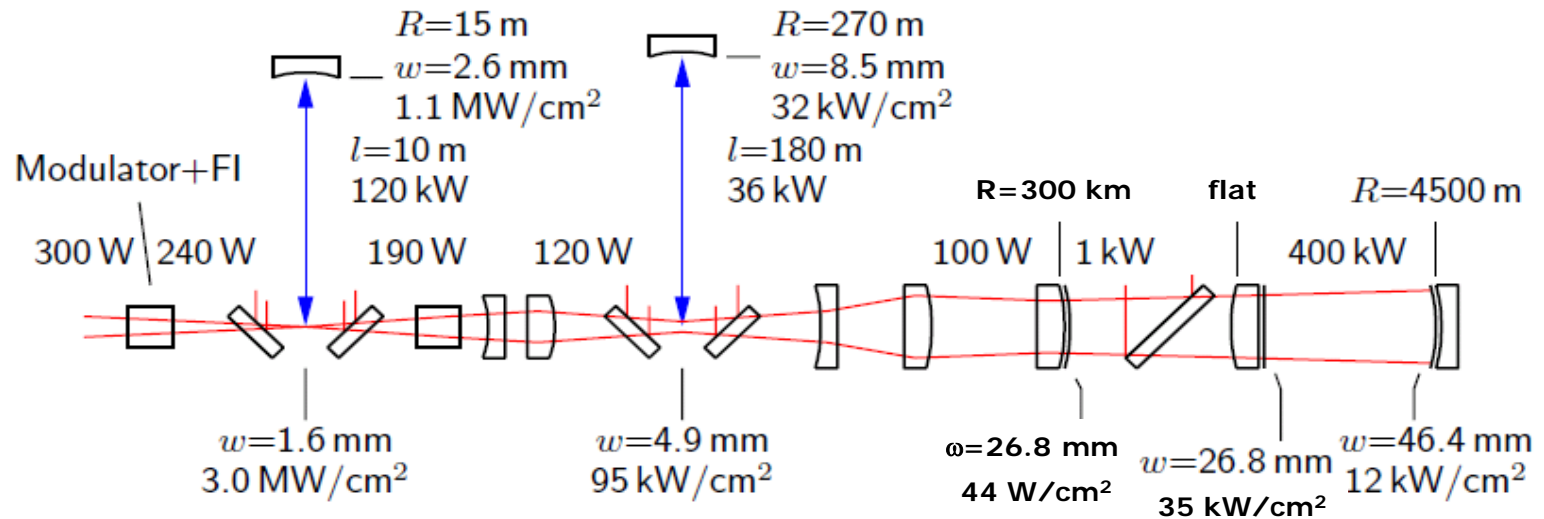


図 7.12: 入射光学系のモードクリーナーと主干渉計でのビーム半径 w とパワー密度. なお, モードマッチングテレスコープには図示の都合で凹凸レンズが描いてあるが, 実際には散乱光を低減する目的で凸凹反射鏡を用いる.

反射膜での吸収 10 ppm と仮定する。

Thermal effects

LCGT design – ver.1 : Flat-4500m design

	Heating Power Density	Thermal Distortion	Thermal Lens	Mirror Curvature Radius
MC1 in/out	30 W/cm ² 1.5 W/cm ²	16.7 m 335 m	0.66 m 13.1 m	flat
MC1 end	11 W/cm ² 0.55 W/cm ²	45.6 m 912 m	1.8 m 35.8 m	15 m
MC2 in/out	0.95 W/cm ² 48 mW/cm ²	528 m 10.6 km	21 m 415 m	flat
MC2 end	0.32 W/cm ² 16 mW/cm ²	1.56 km 31 km	61.6 m 1.2 km	270 m
PRM	0.44 mW/cm ² 0.02 mW/cm ²	1.14e+6 m 2.28e+7 m	45 km 9.0e+5 m	300 km
Near	0.35 W/cm ² 17.5 mW/cm ²	1.14e+8 m 2.29e+9 m	8.79e+5 m 1.76e+7 m	flat
End	0.12 W/cm ² 6 mW/cm ²	3.33e+8 m 6.67e+9 m	2.56e+6 m 5.13e+7 m	4.5 km

Power Density

Moriwaki design
 LCGT design – ver.2

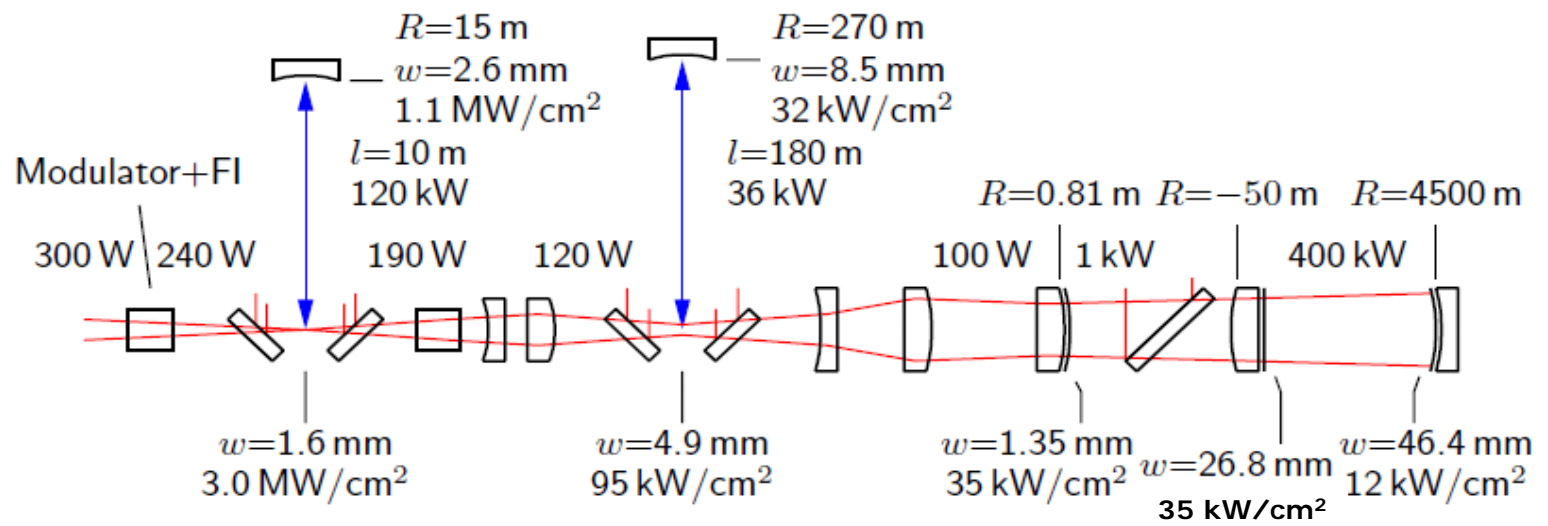


図 7.12: 入射光学系のモードクリーナーと主干渉計でのビーム半径 w とパワー密度. なお, モードマッチングテレスコープには図示の都合で凹凸レンズが描いてあるが, 実際には散乱光を低減する目的で凸凹反射鏡を用いる.

反射膜での熱吸収 10 ppm と仮定する。

Thermal effects

LCGT design – ver.2

	Heating Power Density	Thermal Distortion	Thermal Lens	Mirror Curvature Radius
MC1 in/out	30 W/cm ² 1.5 W/cm ²	16.7 m 335 m	0.66 m 13.1 m	flat
MC1 end	11 W/cm ² 0.55 W/cm ²	45.6 m 912 m	1.8 m 35.8 m	15 m
MC2 in/out	0.95 W/cm ² 48 mW/cm ²	528 m 10.6 km	21 m 415 m	flat
MC2 end	0.36 W/cm ² 18 mW/cm ²	1.39 km 28 km	54.8 m 1.1 km	270 m
PRM	0.35 W/cm ² 17.5 mW/cm²	1.43 km 28.7 km	56.3 m 1.12 km	0.81 m
Near	0.35 W/cm ² 17.5 mW/cm²	1.14e+8 m 2.29e+9 m	8.79e+5 m 1.76e+7 m	flat /AR: -50m
End	0.12 W/cm ² 6 mW/cm²	3.33e+8 m 6.67e+9 m	2.56e+6 m 5.13e+7 m	4.5 km

Power Density

大型低温重力波望遠鏡 (LCGT) 計画
— 設計文書 (第3版) —

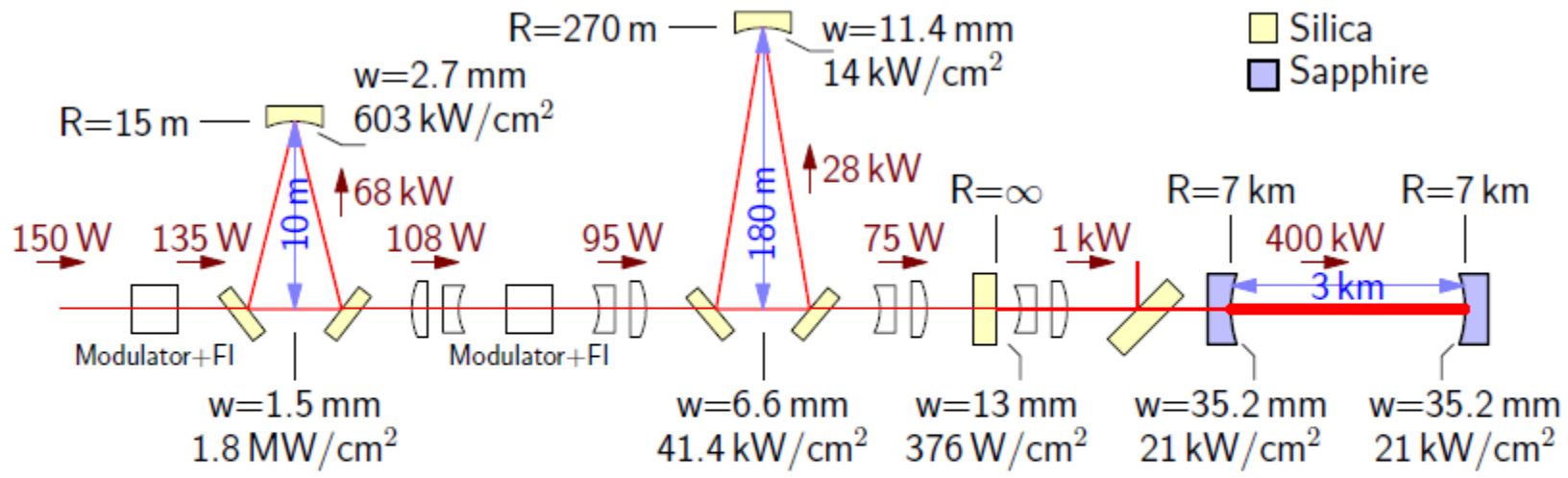


図 7.12: 入射光学系のモードクリーナーと主干渉計でのビーム半径 w とパワー密度. なお, モードマッチングテレスコープには図示の都合で凹凸レンズが描いてあるが, 実際には散乱光を低減する目的で凸面反射鏡, 凹面反射鏡を用いる。

反射膜での吸収 10 ppm と仮定する。

Thermal effects

LCGT design – ver.3

	Heating Power Density	Thermal Distortion	Thermal Lens	Mirror Curvature Radius
MC1 in/out	18 W/cm ² 0.90 W/cm ²	27.8 m 558 m	1.1 m 21.9 m	flat
MC1 end	6 W/cm ² 0.30 W/cm ²	83.3 m 1664 m	3.3 m 65.4 m	15 m
MC2 in/out	0.41 W/cm ² 0.02 W/cm ²	1220 m 24 km	48 m 952 m	flat
MC2 end	0.14 W/cm ² 7 mW/cm ²	3584 m 71.7 km	141 m 2816 m	270 m
PRM	3.8 mW/cm ² 0.19 mW/cm ²	133 km 2.67e+6 m	5243 m 1.05e+5 m	flat
Near	0.21 W/cm ² 10 mW/cm ²	1.90e+8 m 3.81e+9 m	1.46e+6 m 2.93e+7 m	7 km
End	0.21 W/cm ² 10 mW/cm ²	1.90e+8 m 3.81e+9 m	1.46e+6 m 2.93e+7 m	7 km