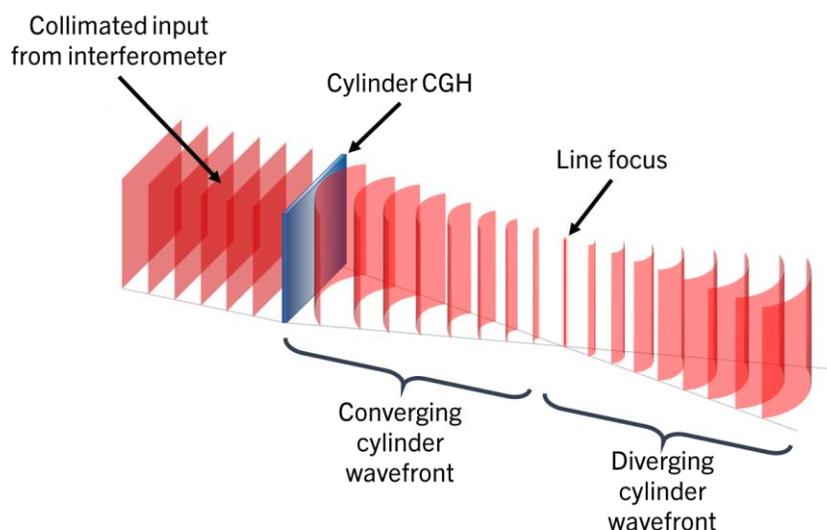


用柱面 CGH（计算机生成的全息图，或计算全息）可以准确测量圆柱型光学表面。虽然标准干涉仪镜头能够精确地测量一些光学表面，但也仅限于平面或球面的测量。另一方面，柱面 CGH 将标准干涉仪出射波前转变成柱面波前，从而使用干涉仪测量柱面成为可能。平行光入射到柱面 CGH 上产生会聚和发散的柱面波前，如下图所示。单个柱面 CGH 可以测量一系列凹面（CC）和凸面（CX）柱面被测单元（UUT）。

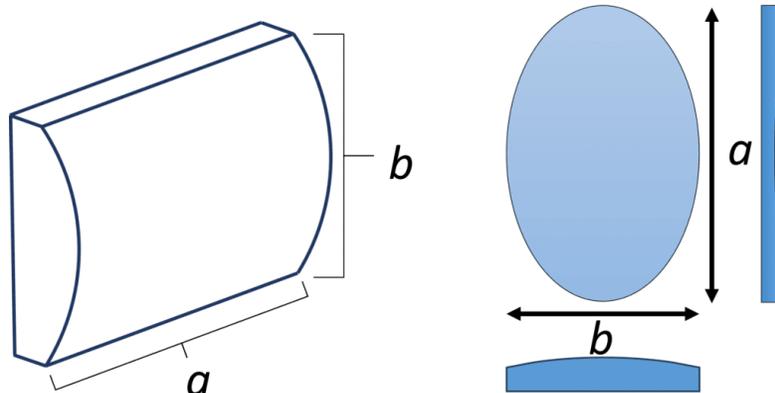


本文将引导您了解[选择合适的柱面CGH所需的注意事项](#)。为了简化选择过程，我们创建了可供下载的[柱面 CGH 选择工作簿](#)。只需输入 UUT 和测量设置的参数，内置计算器就会突出显示哪些 AOM 柱面 CGH 满足要求，我们将在下面深入讨论。

## 柱面 UUT

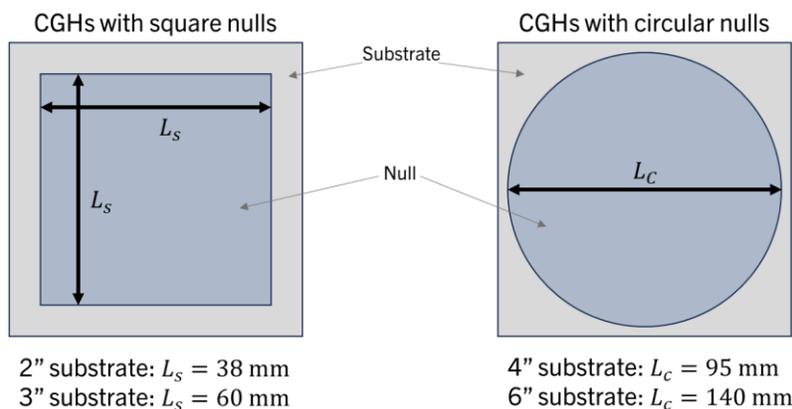
特定 UUT 的几何形状对于柱面 CGH 的选择至关重要。我们需要考虑曲率半径（ROC）、表面形状（凹面（CC）或凸面（CX））以及孔径形状和尺寸。本文中 ROC 始终为正，但使用 CC 或 CX 明确指定曲面的形状。对于矩形或椭圆形孔径，UUT 沿柱面轴向的长度（ $a$ ）和沿曲率方向的宽度（ $b$ ）非常重要。对于方形或圆形 UUT， $a = b$ 。在本篇文章中，我们考虑柱面体的  $r/\#$ ，它是 ROC 与孔径之比，由下式给出

$$r/\# = \frac{ROC}{b}$$

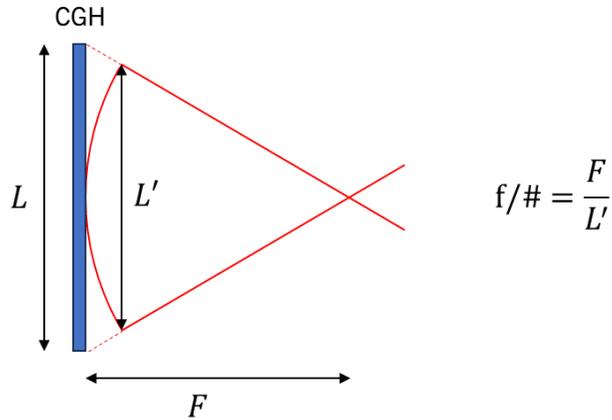


## AOM 柱面 CGH

AOM 提供多种基板尺寸和零补偿图案形状的柱面CGH，适用于 632.8 nm 波长的干涉仪。方形基板内有方形或圆形零补偿图案。该区域产生柱面波前。方形零补偿图案由边长 ( $L_s$ ) 描述，而圆形零补偿图案由直径 ( $L_c$ ) 描述。附图说明了每种形状的可用尺寸。

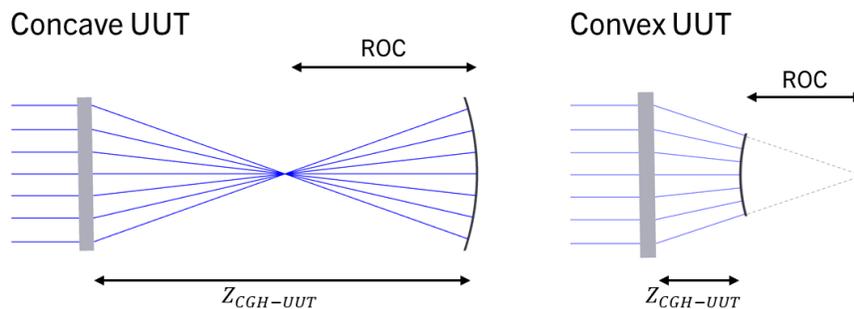


对于每种基板尺寸，我们提供具有各种  $f/\#$  的 CGH。  $f/\#$  定义为焦距  $F$  与 CGH 有效孔径之间的比率，表征波前会聚的速度。如下图所示，有效孔径  $L'$  是 CGH 产生的第一个完整柱面波前的宽度。我们对  $f/\#$  使用此定义，因为它类似于柱面体的  $r/\#$ ，并且使 CGH 的选择更容易，如下图所示。有关可用 AOM 柱面 CGH 的完整列表，请访问我们的[柱面CGH目录](#)。



## 柱面的测量

凹面 (CC) 和凸面 (CX) UUT 的典型设置如下所示。AOM 柱面 CGH 设计为平行光入射，因此CGH和干涉仪之间的间距是任意的。CC UUT 在发散区域进行测量，而 CX UUT 在会聚区域进行测量，以便CGH的波前与柱面的形状相匹配。在每种情况下，UUT 距焦线的距离都等于 UUT 的曲率半径 (ROC)。这意味着存在特定的测量距离  $Z_{CGH-UUT}$ ，让所有光线都垂直于 UUT，此即为零条纹测量。



## 如何选择柱面 CGH

在选择CGH时，我们需要确保测量位置处的柱面波前足够大以覆盖整个 UUT，且仍能在干涉图中提供足够的分辨率。对于凸 (CX) UUT，我们还需要确保 UUT 放置在焦线和CGH之间。最后，测量的设置也需和您的干涉仪及可用的空间匹配。以下讨论解释了选择合适的 CGH 时的几何考虑因素。为了方便起见，您可以跳过数学公式并下载 AOM 的[柱面 CGH 选择工作簿](#)，其中包含以下讨论中的所有内容。

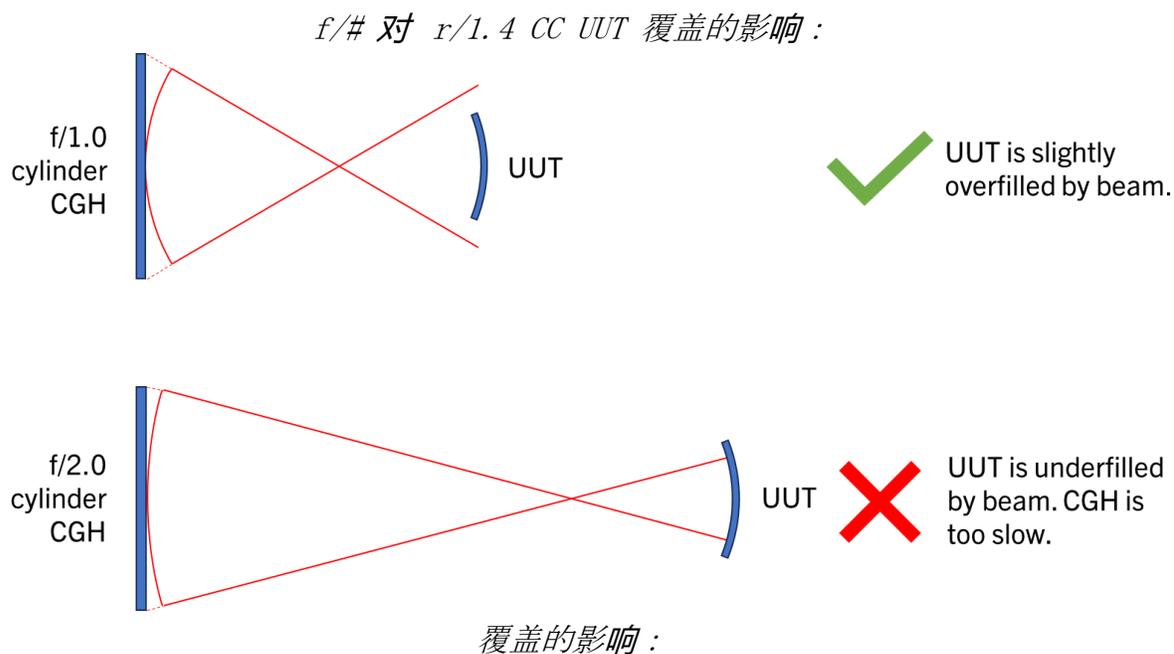
柱面 CGH 的优点之一是单个CGH可以测量一系列 UUT。选择 CGH 时，您可能需要考虑当前和未来的应用。如果您需要对多个柱面体表面进行计量，有可能会找到适用于所有应用的单个CGH。

### 1. 确定最大f/#

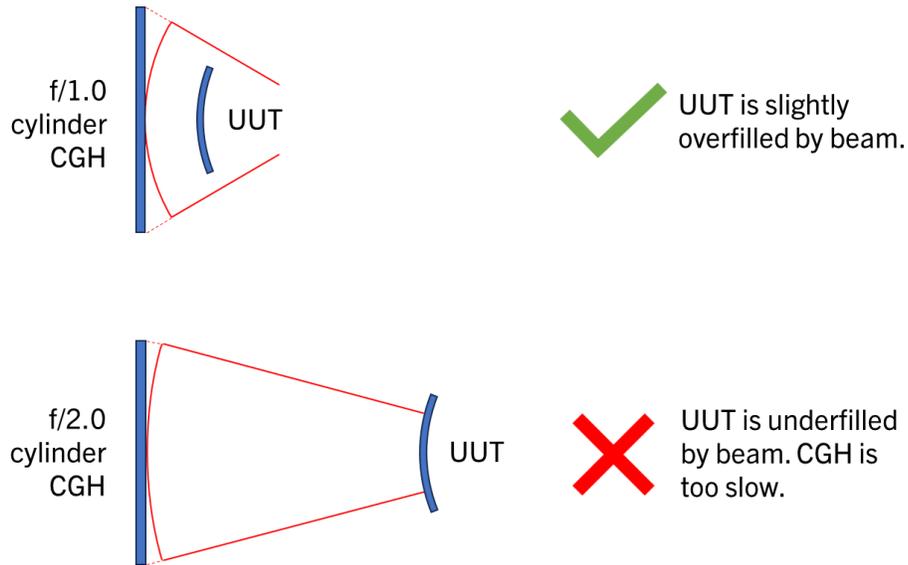
CGH 的 f/# 决定了 UUT 曲率方向上波前的覆盖范围。为了确保完全覆盖 UUT，f/# 必须小于或等于柱面的 r/#：

$$f/\# \leq r/\#$$

下面针对 CC (凹面) 和 CX (凸面) UUT 说明 f/# 对覆盖的影响。对于每个 UUT，第一种情况显示了柱面 CGH 的正确选择，其中波前刚好覆盖或稍微溢出 r/ 1.4 柱面 UUT。第二张图显示了 f/# 过高时的不足以覆盖整个柱面。在这种情况下，无法测量整个 UUT。



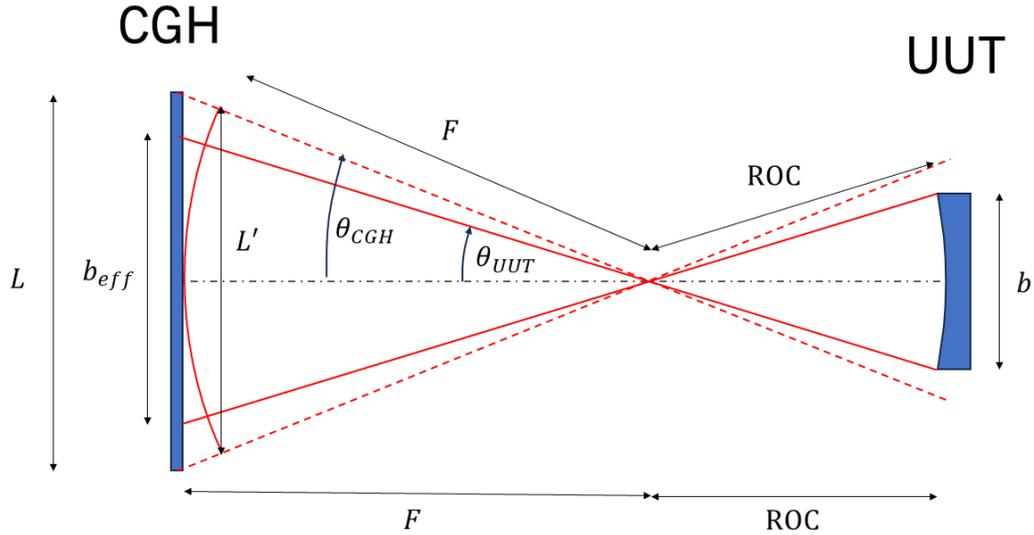
$f/\#$  对  $r/1.4$  CX UUT 覆盖的影响：



## 2. 选择 $f/\#$ 进行适当的覆盖

虽然满足上述条件意味着 UUT 的曲率方向将适合 CGH，但最好不要过度覆盖 UUT，以最大限度地提高数据分辨率。以下对 CGH 覆盖几何形状的讨论偏技术性，仅供感兴趣的读者参考。提醒一下，所有数学公式都嵌入在 AOM 的[柱面体 CGH 选择工作簿中](#)，因此您可以确保选择合适的 CGH，而无需做任何计算。

测量柱面体时，干涉图上的图像是 UUT 波前在 CGH 上的投影。这种投影会沿曲率方向比例失调，这种效应称为映射扭曲，如下图所示。UUT 曲率方向在 CGH 上的投影由实线表示。虚线显示 CGH 波前在 UUT 上的投影。由于满足上述条件 ( $f/\# < r/\#$ )，因此 UUT 被完全覆盖。



为使图像的分辨率最大化，我们希望确保零件在 CGH  $b_{eff}$  上的投影宽度尽可能大，同时仍小于 CGH 尺寸。为此，我们可以引入填充因子  $s$ ，定义为 CGH 宽度  $L$  和  $b_{eff}$  之间的比率。使用该图，我们发现：

$$s = \frac{L}{b_{eff}} = \frac{\tan(\theta_{CGH})}{\tan(\theta_{UUT})}$$

从图中，我们可以根据 CGH  $f/\#$  和柱面体  $r/\#$  来评估三角函数：

$$\tan(\theta_{CGH}) = \frac{L'/2}{\sqrt{F^2 - \left(\frac{L'}{2}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{4(f/\#)^2 - 1}}$$

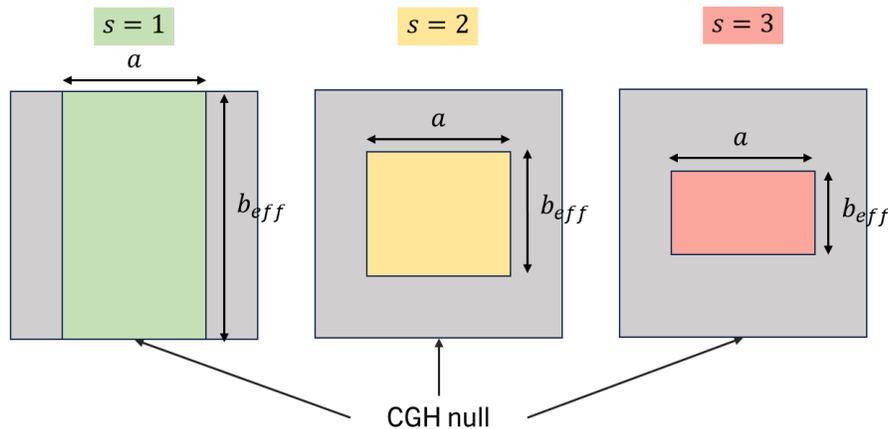
同样道理，

$$\tan(\theta_{UUT}) = \frac{b/2}{\sqrt{ROC^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{4(r/\#)^2 - 1}}$$

那么，填充因子就是

$$s = \sqrt{\frac{4(r/\#)^2 - 1}{4(f/\#)^2 - 1}}$$

下图显示了  $s$  如何影响干涉图中沿曲率方向的 ( $b_{eff}$ ) UUT 投影。AOM 建议  $1 \leq s \leq 2$  以获得最佳测量结果。用  $2 < s \leq 4$  进行测量也是合理的，但是，UUT 在 CGH 上的投影会很窄，因此沿曲率方向的干涉图分辨率较低。从技术上讲，您可以使用  $s > 4$  进行测量，如果您不需要高分辨率数据或者您拥有高于标准分辨率的干涉仪，这可能是可以接受的，但通常不建议这样做。



The same UUT measured by CGHs of the same null size, but different f/#, leading to different filling of the UUT as  $b_{eff}$  changes.

您可能需要在真实空间坐标中的面形测量数据，这需要修正 CGH 上的映射扭曲。AOM 的 CGH 数据处理软件 [Morpheus™](#) 旨在实现这一点（以及更多），并且与我们所有的柱面 CGH 兼容！

### 3. 验证 CX UUT 是否适合

为 CX UUT 选择 CGH f/# 时，必须满足附加要求，以确保 UUT 可以放置在 CGH 和焦线之间。根据您的测试设置和偏好，确定 CGH 和 UUT 之间所需的最小间距。我们将这个距离称为  $d$ 。AOM 建议  $d = 5$  毫米。满足的条件是  $F \geq ROC + d$ 。

### 4. 选择 CGH 尺寸

f/# 选择确保沿曲率方向的孔径被覆盖，但我们还要求波前覆盖 UUT 的轴向方向。这是通过选择CGH的大小和形状来实现的。

- **对于矩形或方形 UUT :**

- **对于方形 CGH :**  $a \leq L_s$
- **对于圆形 CGH , 我们必须考虑**投影矩形 UUT的对角线**适合圆形 CGH 零点。**在这种情况下, 我们需要满足 $a^2 + b_{eff}^2 \leq L_c^2$ 。从测量设置图中我们发现

$$b_{eff} = 2F \cdot \tan(\theta_{UUT}) = \frac{2F}{\sqrt{4(r/\#)^2 - 1}}$$

代入后, 条件变为

$$\frac{4F^2}{4(r/\#)^2 - 1} + a^2 \leq L_c^2.$$

- **对于圆形或椭圆形 UUT ,**  $a \leq L$  (对于方形和圆形 CGH) 。

尺寸的另一项考虑因素是您可以使用的干涉仪。4英寸干涉仪与2、3和4英寸CGH兼容, 而6英寸干涉仪与最大6英寸的柱面CGH兼容。

如果测量空间有限, 您还应该验证CGH和 UUT 之间的测量距离是否适合您的可用空间。CGH-UUT 间距 $Z_{CGH-UUT}$ 为:

- 对于 CC UUT :  $Z_{CGH-UUT} = F + ROC$
- 对于 CX UUT :  $Z_{CGH-UUT} = F - ROC$

**准备好订购或需要更多帮助吗?**

- [爱特蒙特公司](#)提供 2 英寸柱面 CGH 和配套调整架, 备有现货!
- 3 英寸柱面 CGH 有**现货**, 可从 AOM 购买。如果您更喜欢安装在 6 英寸框架中的 3 英寸 CGH, 可向AOM**查询**定制。
- 4 英寸和 6 英寸 CGH, AOM可提供定制。

- 我们还可以为 633 nm 以外的测试波长定制柱面 CGH。

如果您需要协助选择柱面 CGH 或设计计量系统，请[联系 AOM](#)！