

BASLER
the power of sight



WEBINAR

Basler 網路研討會 | 2023 年 10 月

如何為機器視覺相機選擇合適的鏡頭

主講人：Hans Chen

能夠分辨哪些是適合的鏡頭嗎？

boA9344-70cm - Basler boost

Basler CoaXPress 2.0 boA9344-70cm
相機採用 GMAX3265 CMOS 感光元件，提供每秒 70 幀的取像速度和 65 MP 解析度。



規格

感光元件	GMAX3265
快門	全域快門
感光元件格式	2.3"
感光元件對角線	37.4 mm
感光元件類型	CMOS
感光元件尺寸	29.9 mm x 22.4 mm
解析度 (HxV)	9344 px x 7000 px
解析度	65 MP
畫素尺寸 (H x V)	3.2 μ m x 3.2 μ m
取像速度	70 fps
黑白 / 彩色	彩色



大綱

1. 為機器視覺相機找到合適鏡頭的關鍵步驟
2. 說個歷史小故事作為開場.....
3. 如何判斷鏡頭性能？
4. 成本與性能之間如何取捨？
5. 關鍵要點



您需要考量什麼.....

才能為相機選對鏡頭

完美搭配



應用要求



額外要求



值得信賴的
供應商



關鍵步驟

人工計算

1. 了解所需的**成像範圍**
(取決於相機感光元件尺寸)

2. 計算**焦距**

$$Focal\ Length = \frac{Working\ Distance\ (mm)}{\frac{Field\ of\ View(mm)}{Sensor\ Size\ (mm)} + 1}$$

3. 根據相機解析度和畫素尺寸計算合適的**鏡頭解析度 (lp/mm)**

$$Pixel\ Size(\mu m) = \frac{500}{\xi(lp/mm)}$$

4. 檢查**鏡頭接環**

線上工具

Start with selecting your camera model

Basler boost

boA9344-70cm - 2.3" - GMAX3265

Start with selecting a sensor

Sensor

Lens Mount

Enter values

Please enter as many values as possible. Missing values will be calculated
If you have any questions, please contact our support.

The diagram illustrates a camera system with a lens and sensor. The camera is shown on the left, and the field of view is depicted as a cone extending to the right. The field of view is divided into horizontal and vertical angles. The object being imaged is a rectangular block with dimensions labeled: Object width (mm) and Object height (mm). The distance between the camera and the object is labeled Working distance (mm). The focal length of the lens is labeled Focal Length. The diagram also shows the sensor size and lens mount.

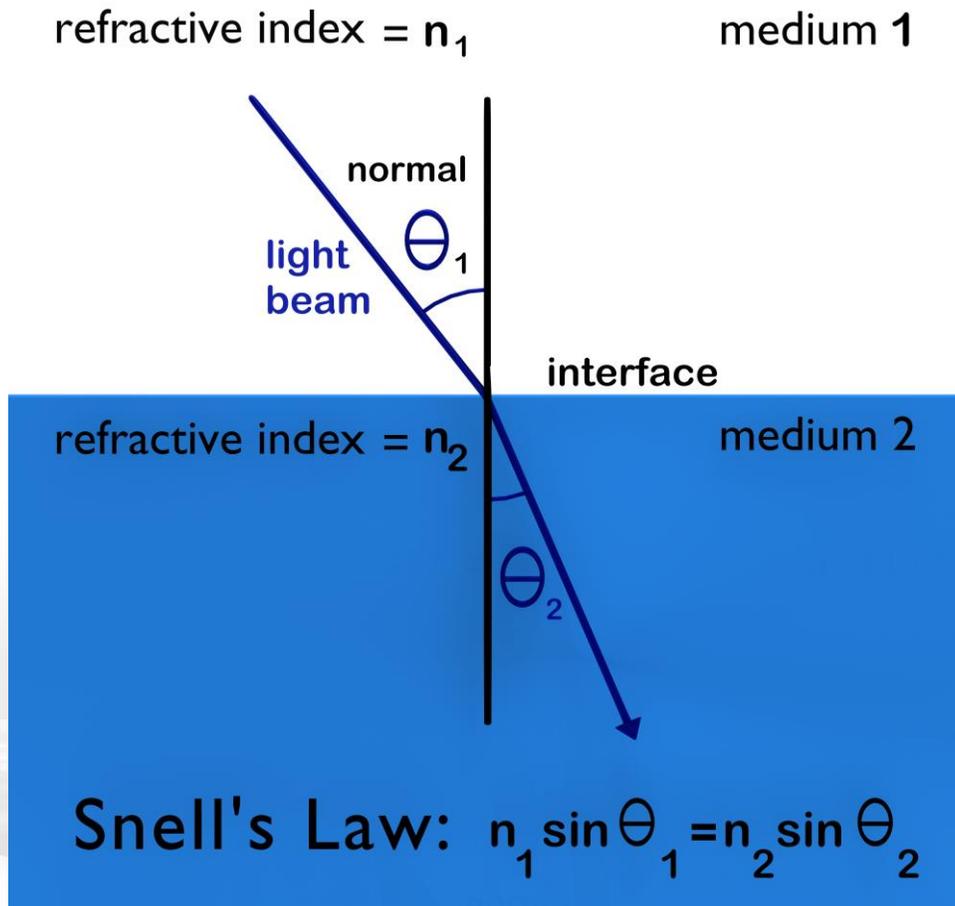
Please enter your values for the calculation

不過.....

假如遇到這些情況怎麼辦：

- 沒有理想的焦距
- 有一項以上的建議產品
- 沒有顯示建議產品
-
-

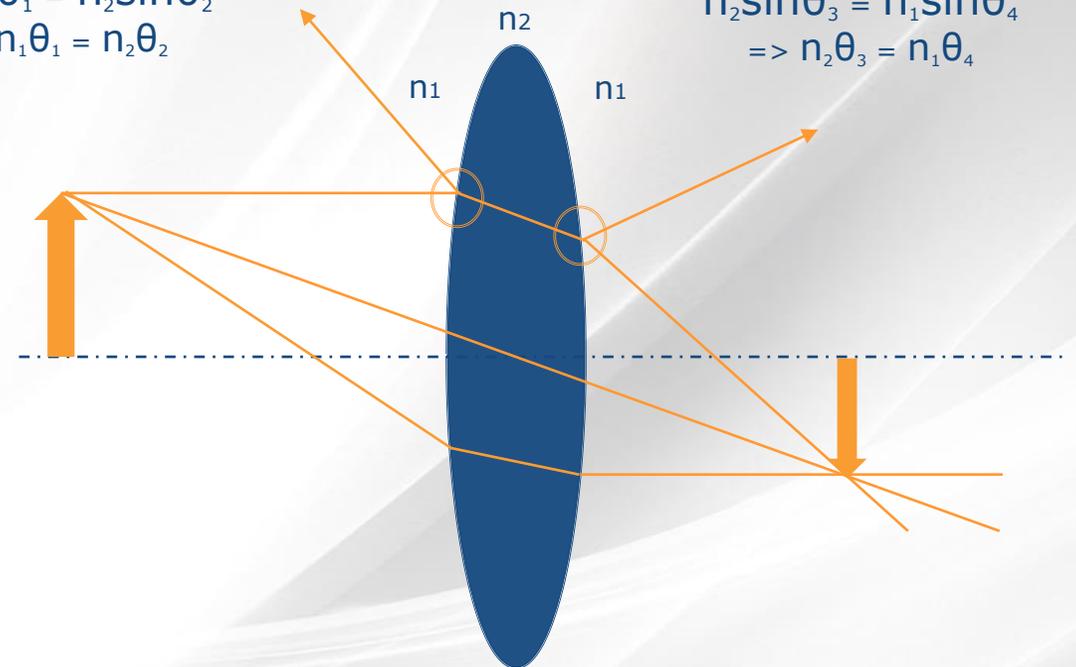
鏡頭設計史



製造商運用司乃耳定律(Snell's Law)設計鏡頭

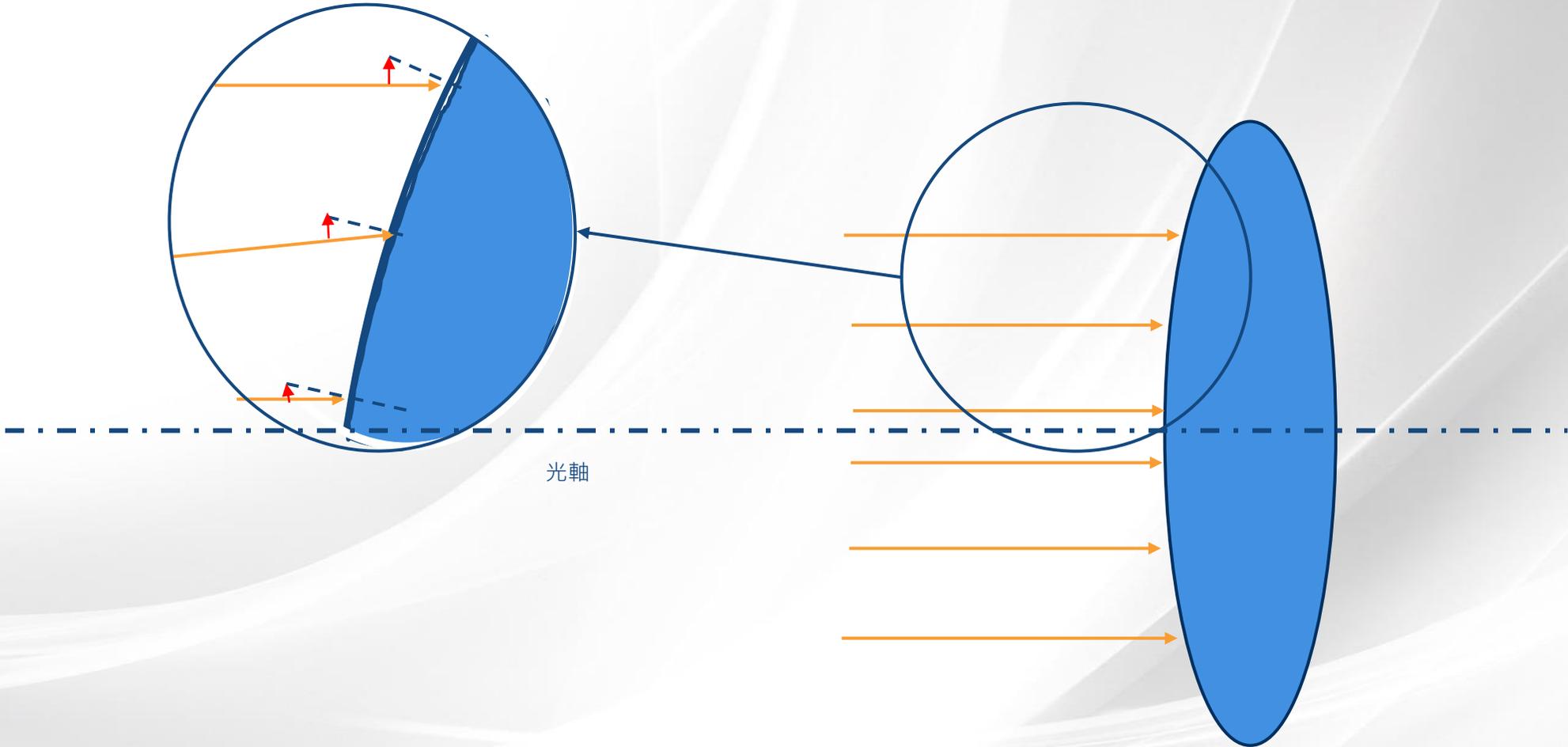
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \\ \Rightarrow n_1 \theta_1 = n_2 \theta_2$$

$$n_2 \sin \theta_3 = n_1 \sin \theta_4 \\ \Rightarrow n_2 \theta_3 = n_1 \theta_4$$



鏡頭設計史

Snell's Law 司乃耳定律 (像差原因)

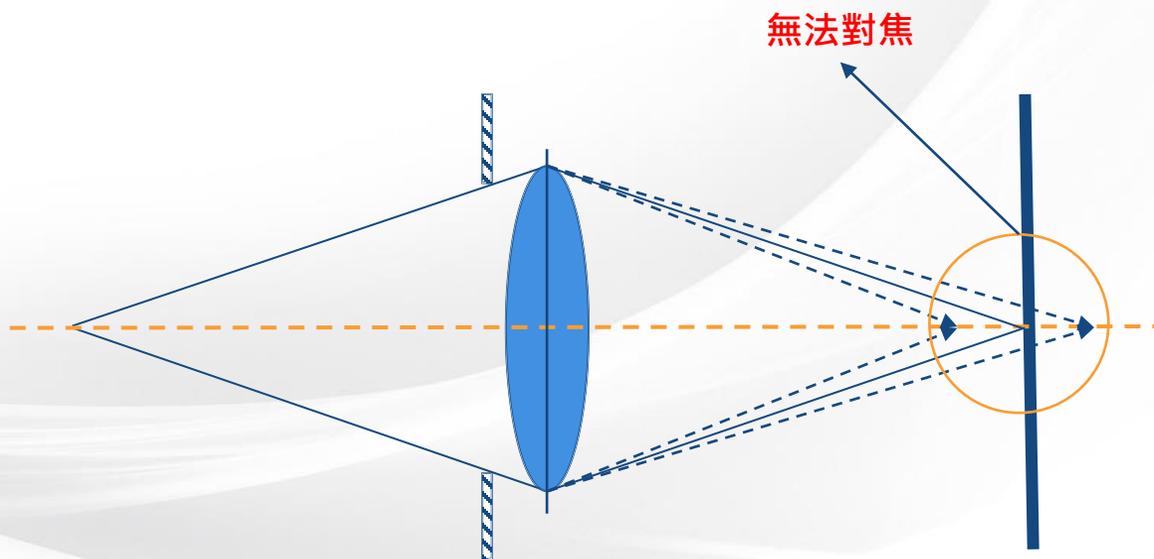


鏡頭性能

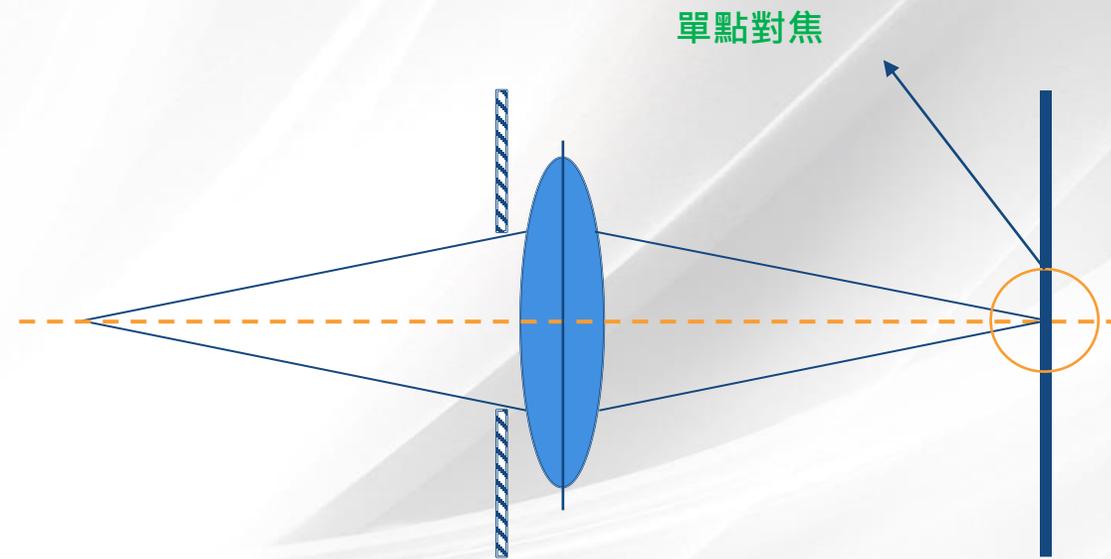
像差與光圈

就像差相同的鏡頭而言.....

光圈較大時



光圈較小時



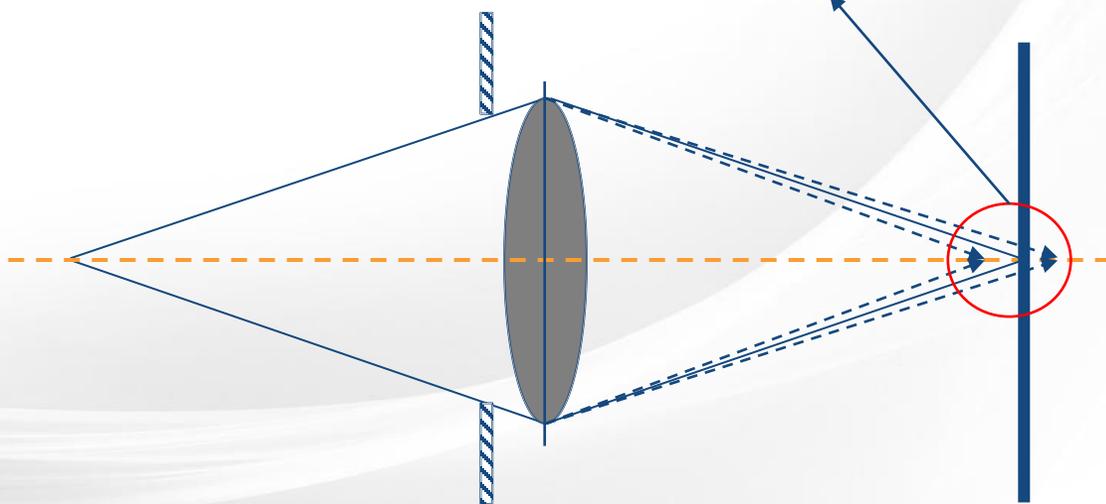
鏡頭性能

像差 (可避免)

當像差不同的鏡頭以同一光圈運作時：

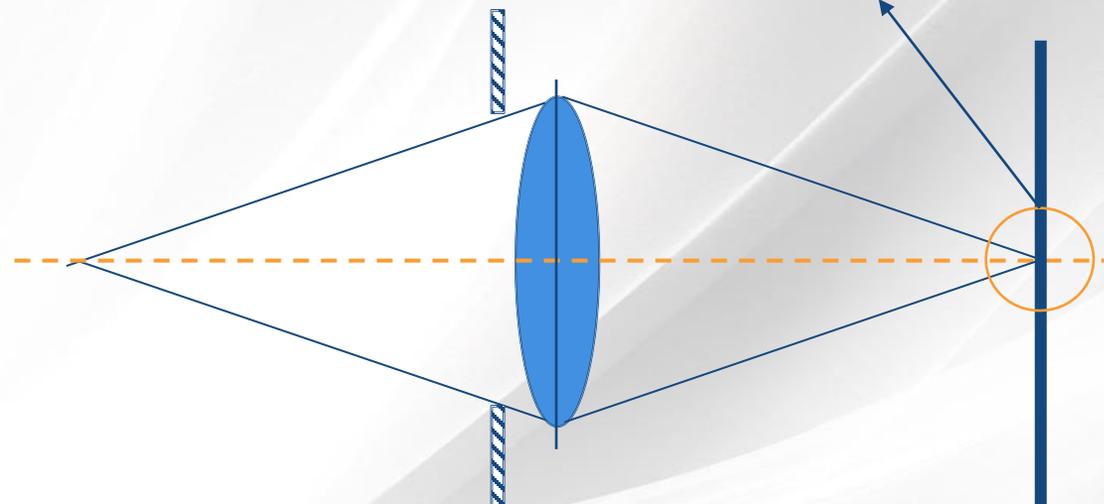
高像差的鏡頭

無法對焦



低像差的鏡頭

單點對焦

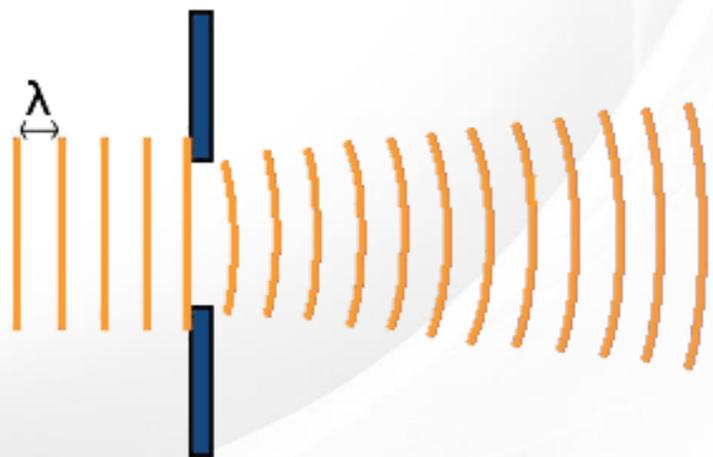


問題

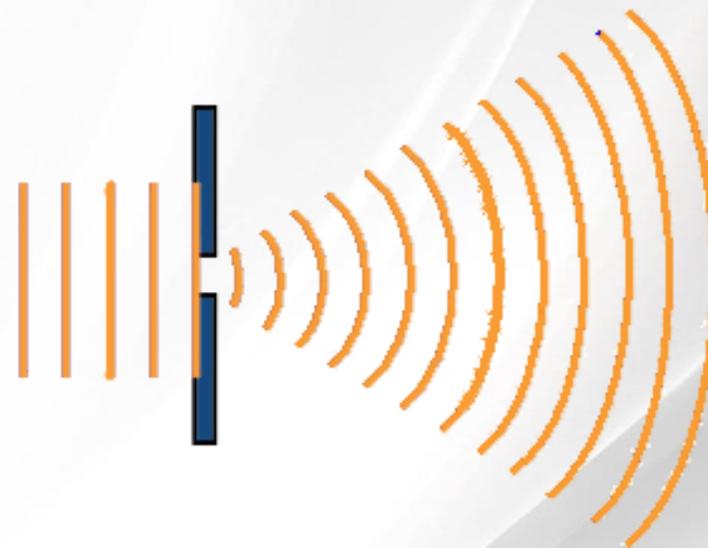
下面這句話是對是錯？

「鏡頭靠近光軸時功效較佳，
所以我縮小光圈提升影像品質。」

繞射



較大光圈 - 低度繞射

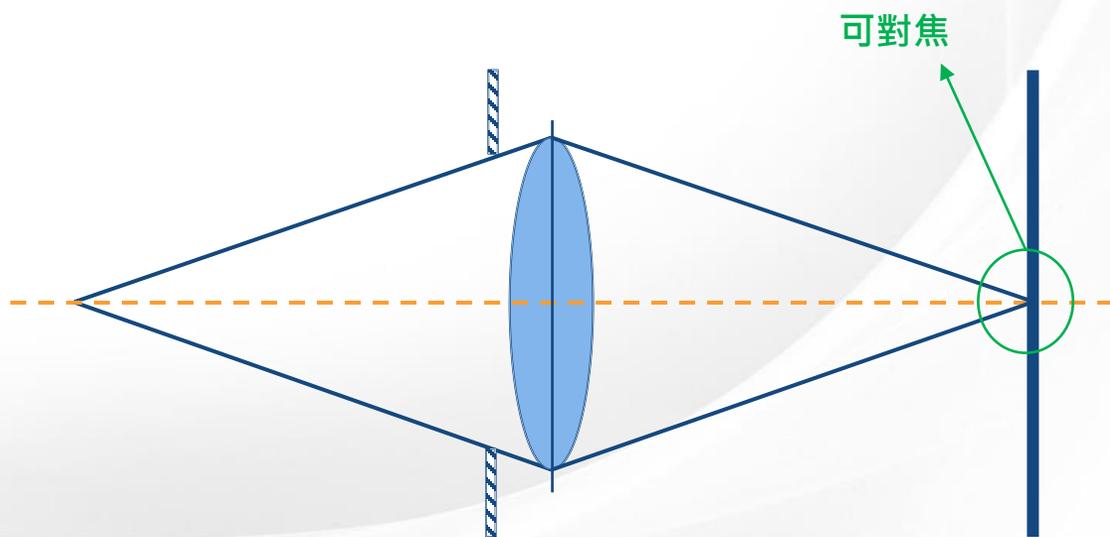


較小光圈 - 高度繞射

鏡頭性能

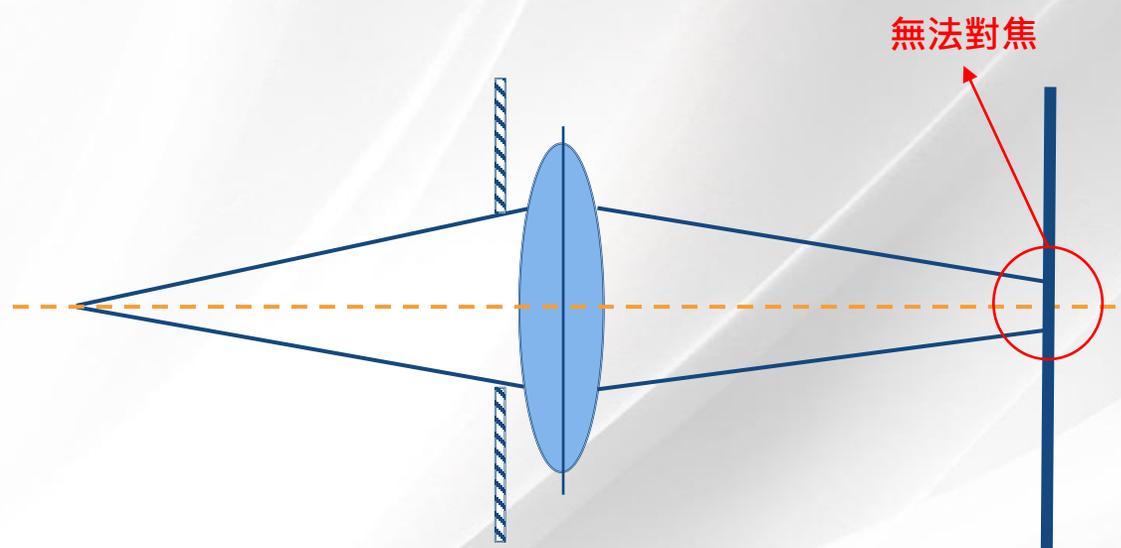
繞射與光圈 (繞射無法避免)

光圈較大時



較大光圈 - 低度繞射, 高像差

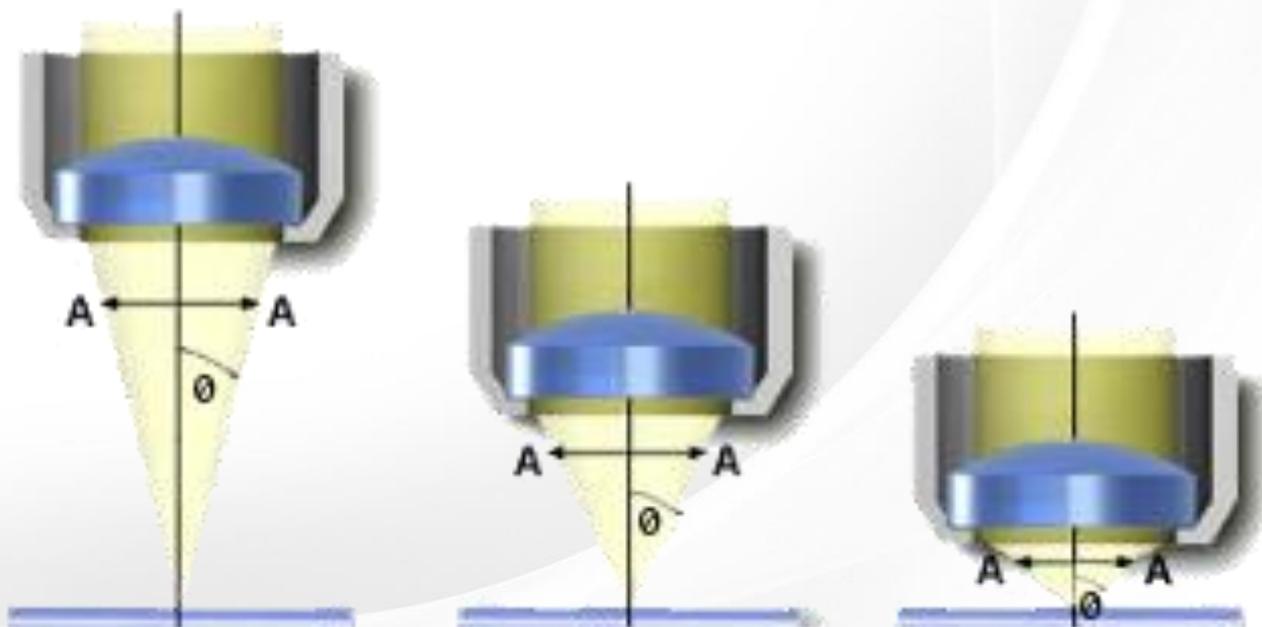
光圈較小時



較小光圈 - 高度繞射, 低像差

NA 是什麼？

數值孔徑



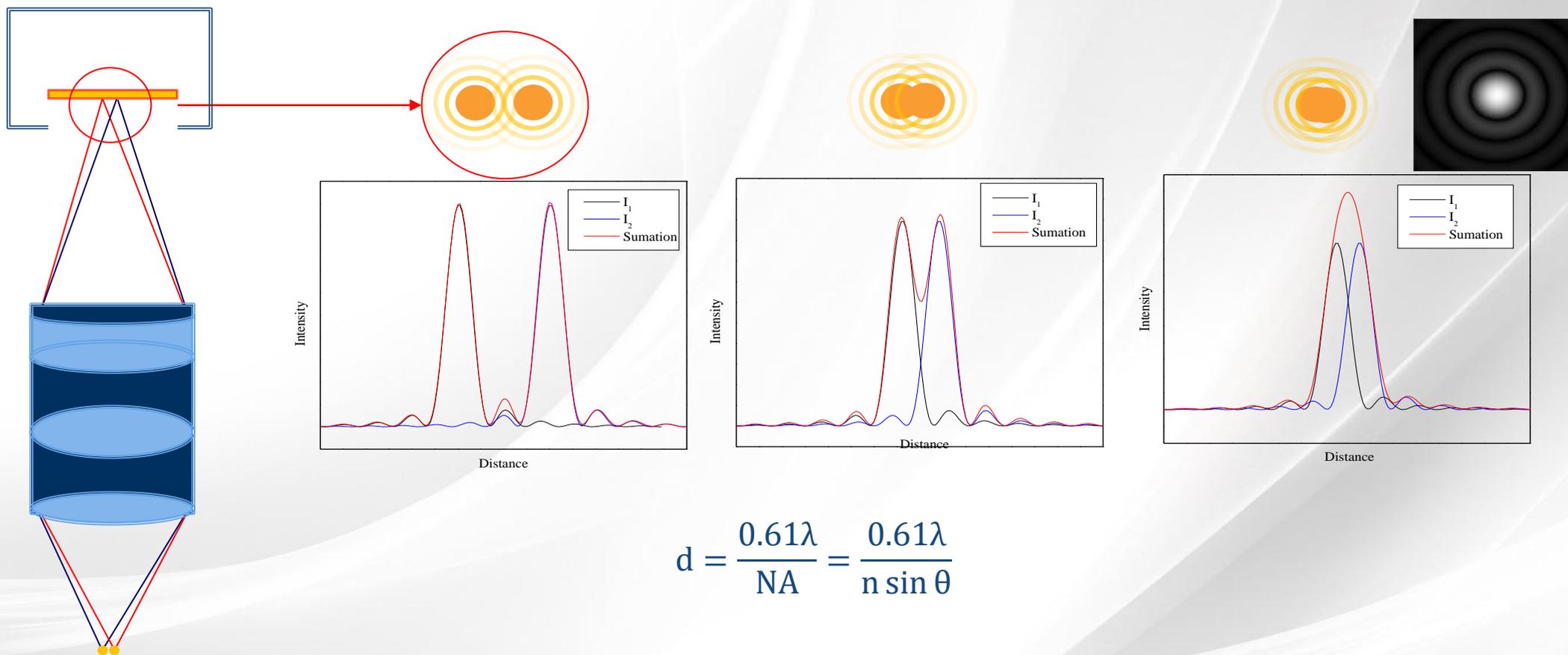
$$NA = n \sin \theta$$

n : 折射率

θ : 鏡頭可收集到的光錐半角

NA 是什麼？

Airy Disk 艾里斑



$$d = \frac{0.61\lambda}{NA} = \frac{0.61\lambda}{n \sin \theta}$$

NA 愈大，鏡頭解析度愈好。

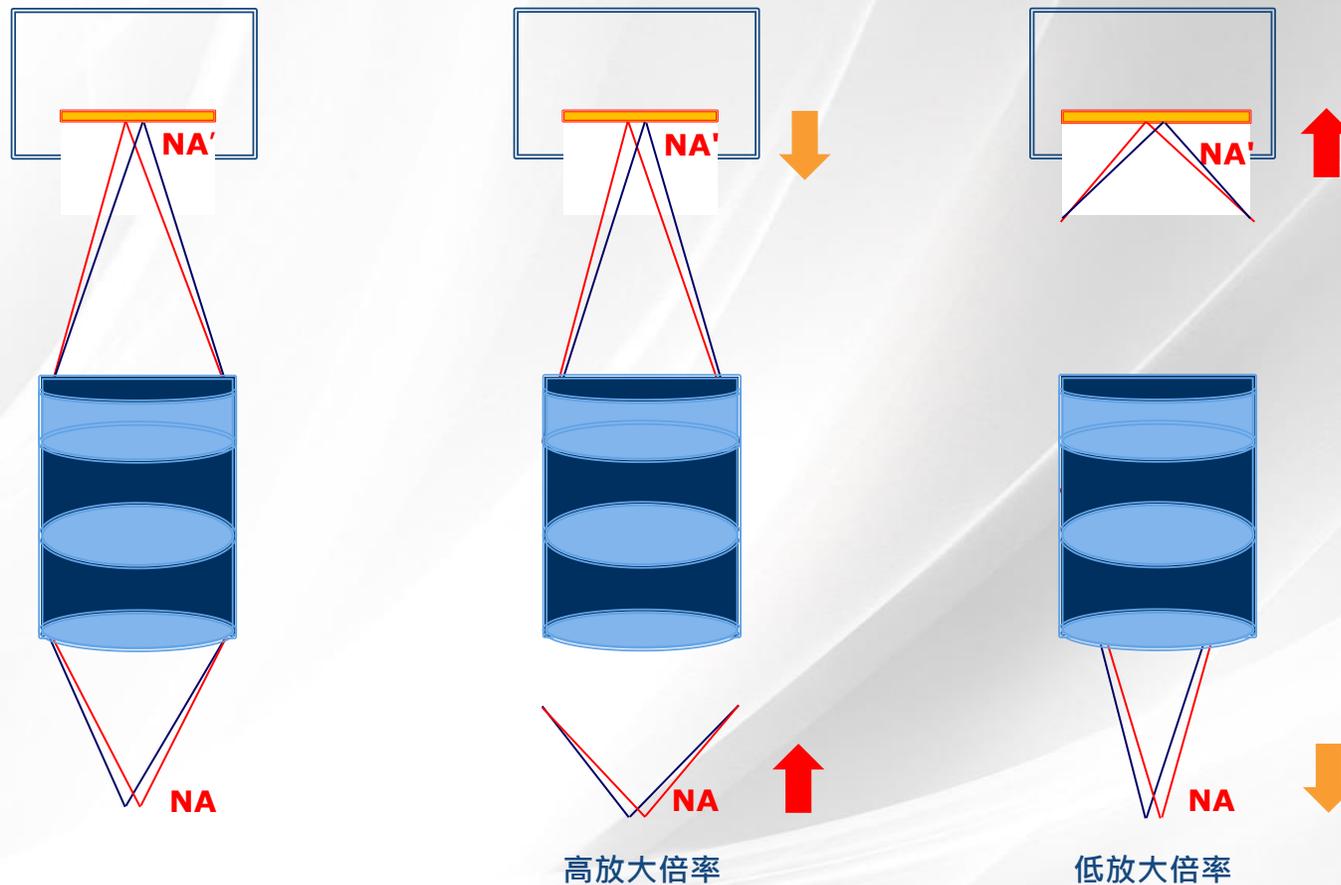
NA 是什麼？

放大倍率 & NA

NA & NA'

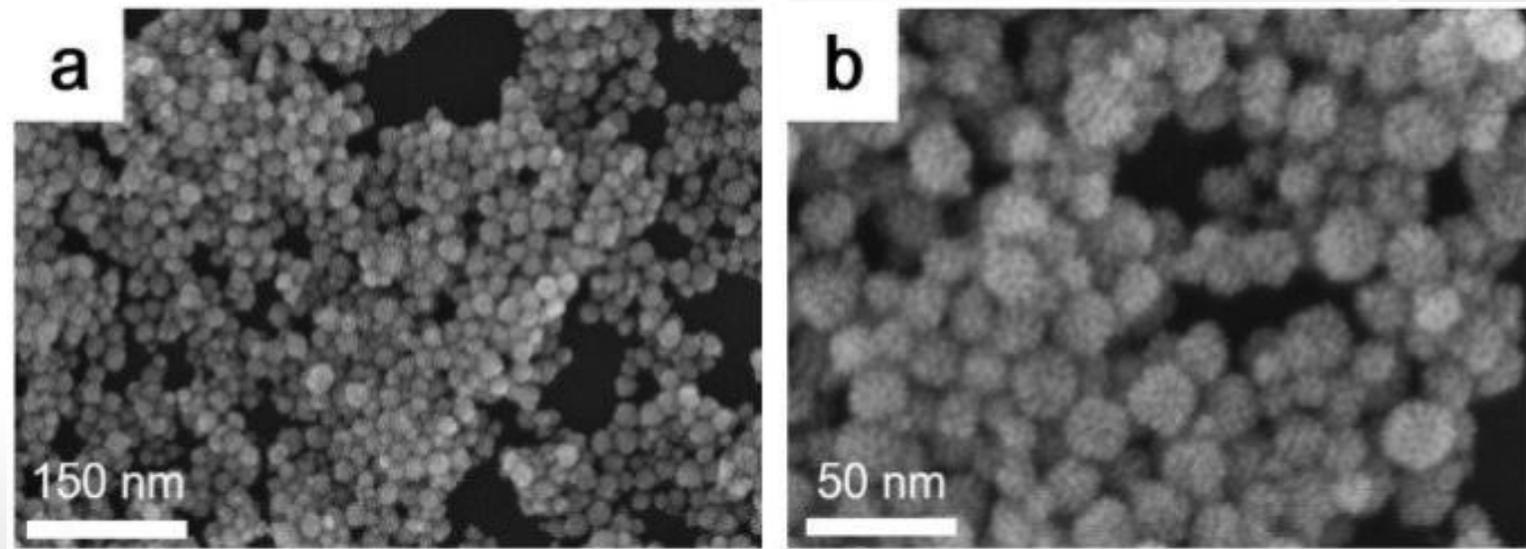
NA: 與鏡頭解析度有關。能偵測到多小的缺陷？

NA' : 與鏡頭銳化有關。在高亮度與高對比度之下，能多清楚看見所擷取的影像？(MTF)



NA 是什麼？

放大倍率 & NA



NA 是什麼？

放大倍率 & NA

如何計算 **NA** 和 **NA'** ？

$$NA = \frac{1}{2 \cdot f/\# \cdot (1 + \frac{1}{\beta})}$$

VS

$$NA' = \frac{1}{2 \cdot f/\# \cdot (1 + \beta)}$$

在 **F/2**、不同放大倍率之下，**NA** 與 **NA'** 分別為多少？

放大倍率	1X	2X	4X	8X	16X	32X	64X	128X	256X	
NA	0.125	0.167	0.200	0.222	0.235	0.242	0.246	0.248	0.249	2X
NA'	0.125	0.083	0.050	0.028	0.015	0.008	0.004	0.002	0.001	0.008X

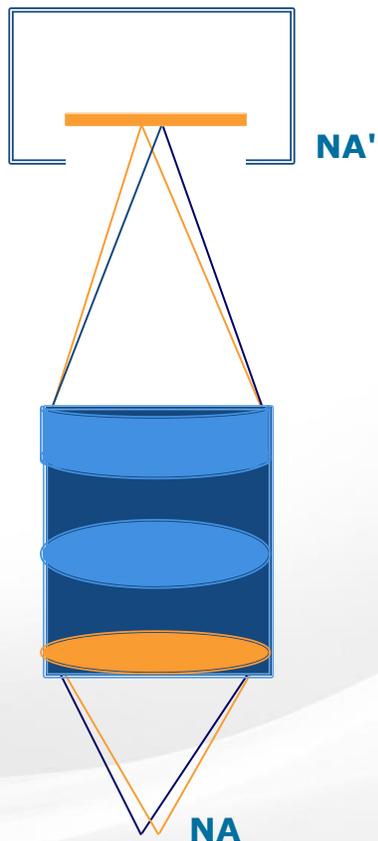
->20um

->5um

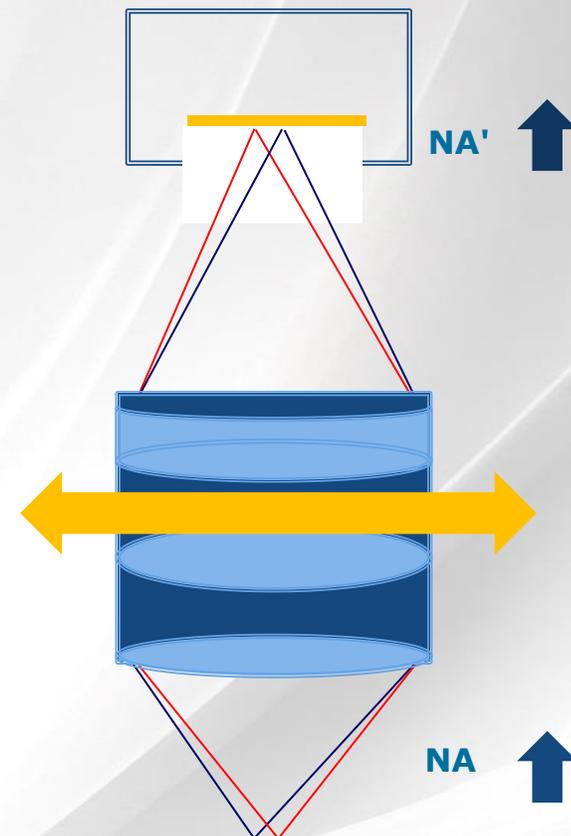
單靠增加放大倍率，可能無法得到想要的解析度。

NA 是什麼？

我們可以如何增加鏡頭解析度？



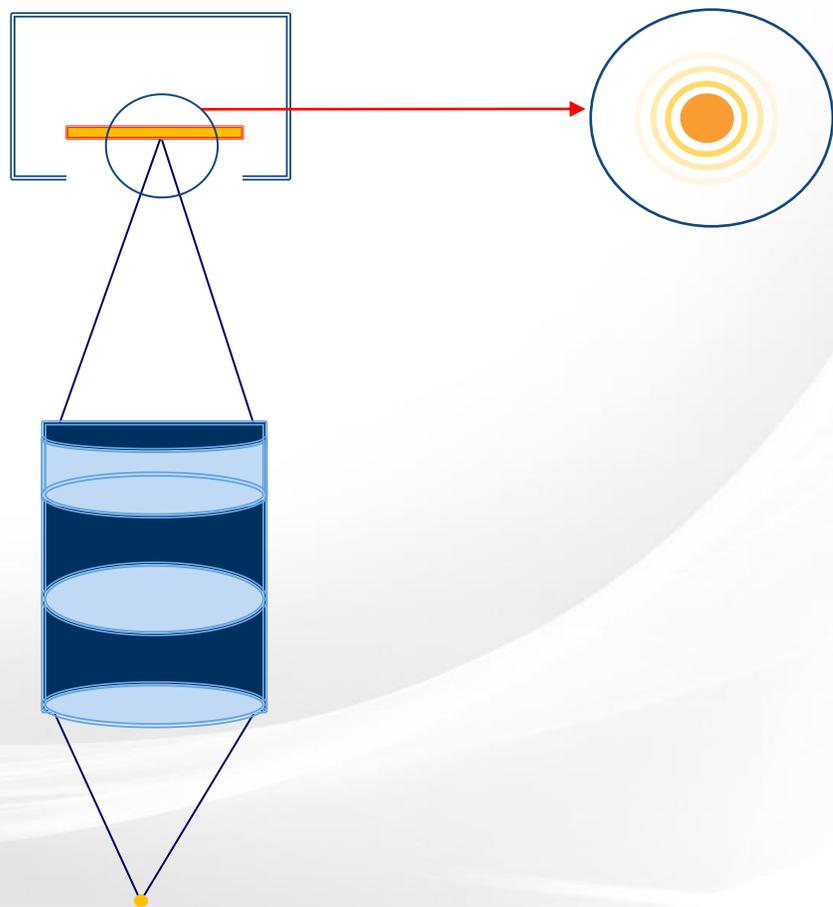
NA	波長	可偵測尺寸
0.3	400nm	413nm
0.5	400nm	248nm
0.8	400nm	156nm
0.9	400nm	139nm



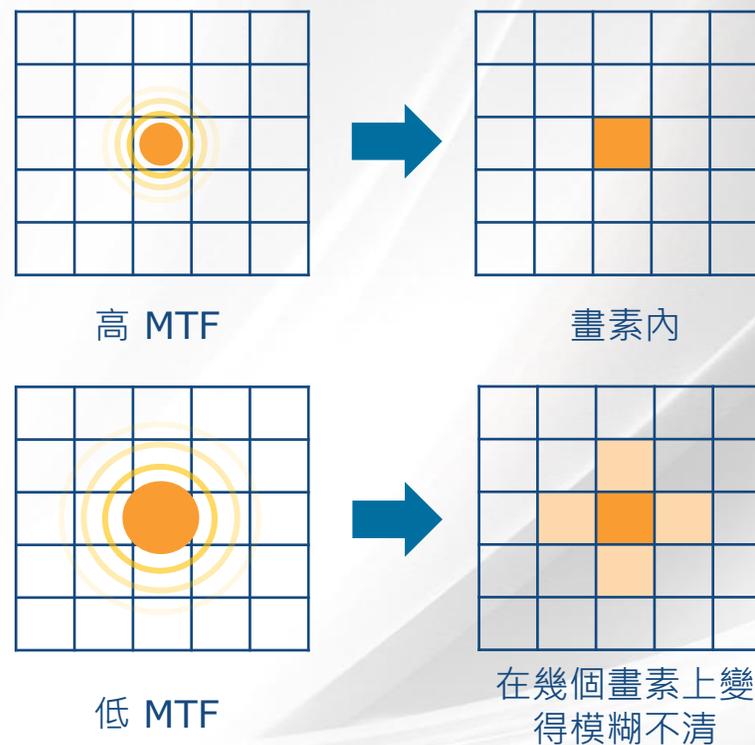
增加 NA 與 NA' 可提高解析度。

MTF: 調製傳遞函數

鏡頭 MTF VS 畫素尺寸

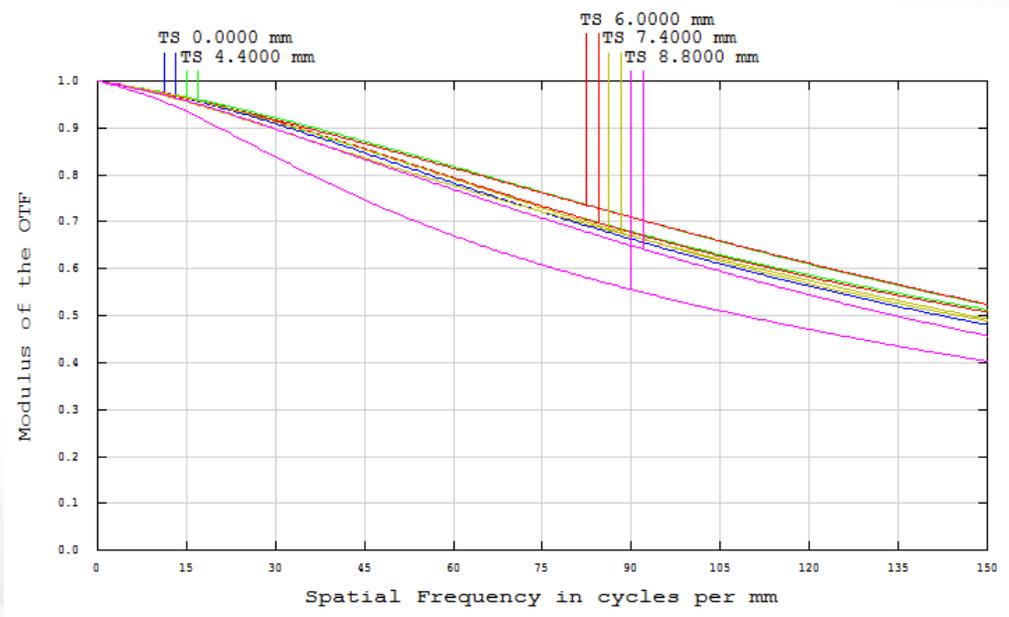


MTF 與相應畫素尺寸有關

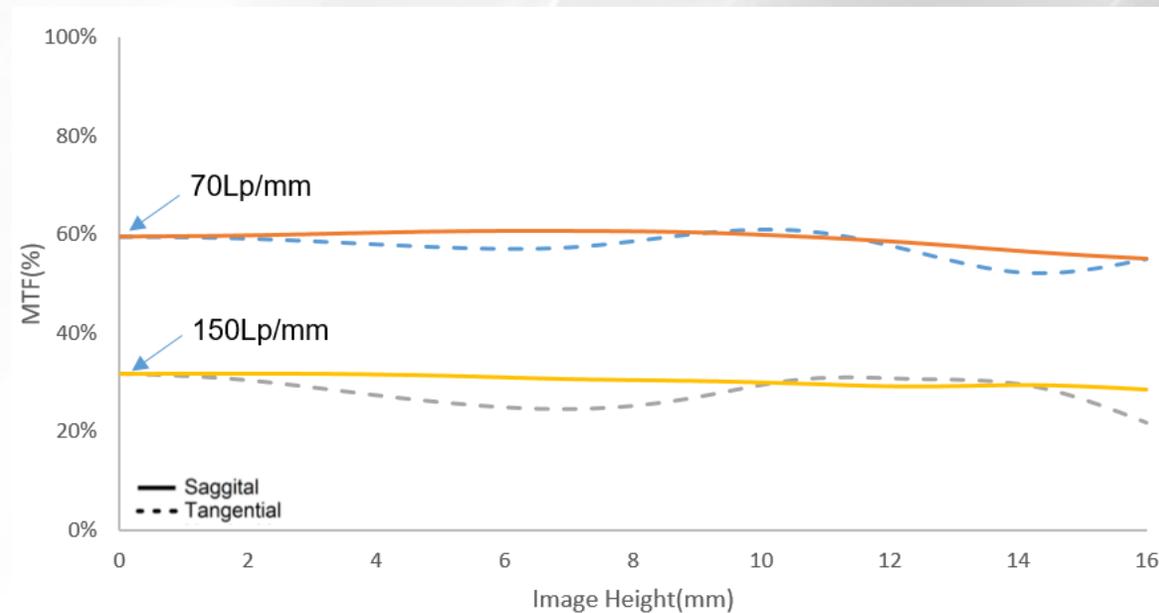


MTF: 調製傳遞函數

如何解讀各式 MTF 曲線圖？



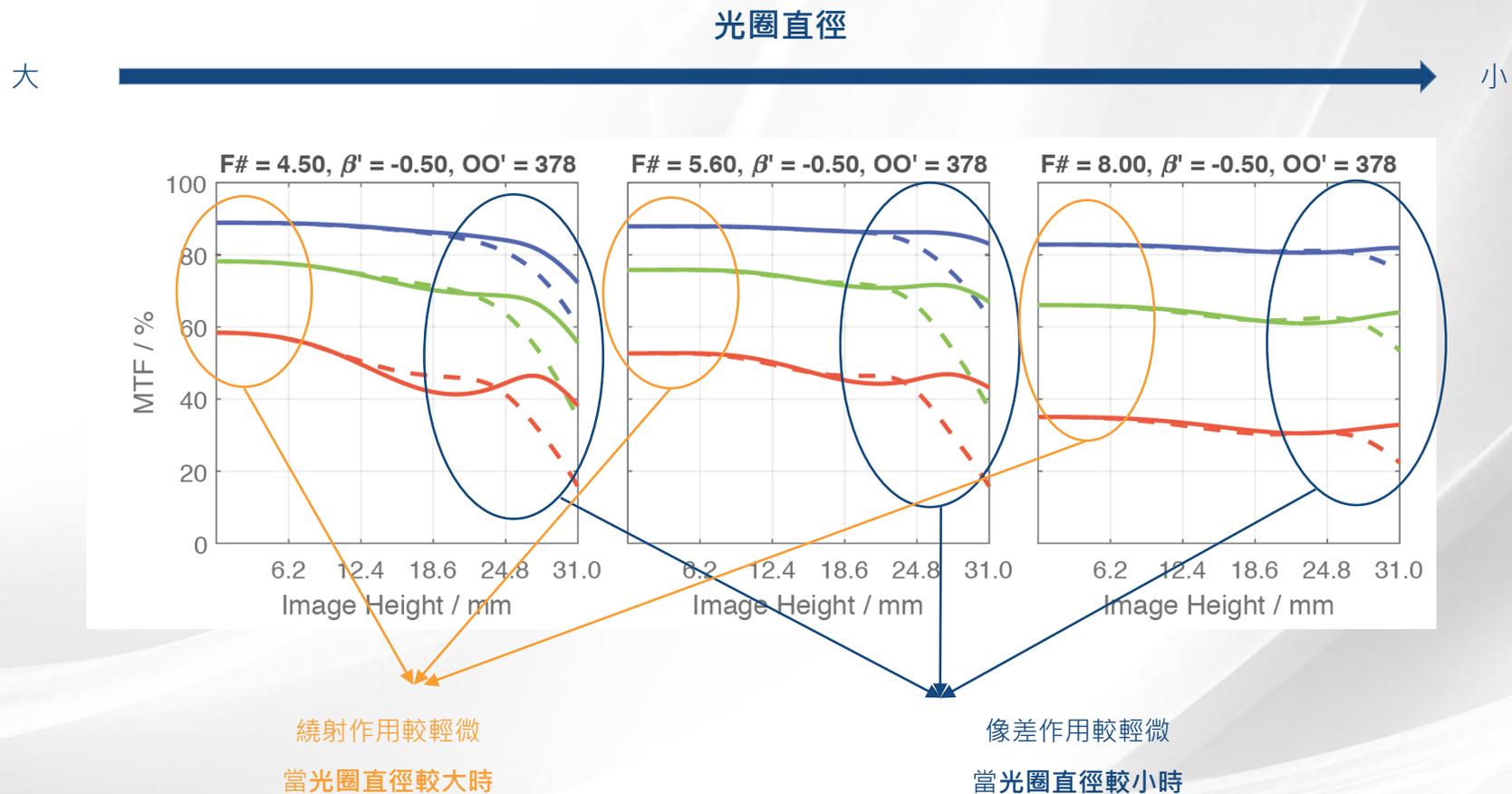
Basler 鏡頭 C11-5020-12M-P f50mm
(空間頻率導向)



Basler 鏡頭 F-S35-5028-45M-S-SD
(影像高度導向)

鏡頭性能

MTF 曲線圖



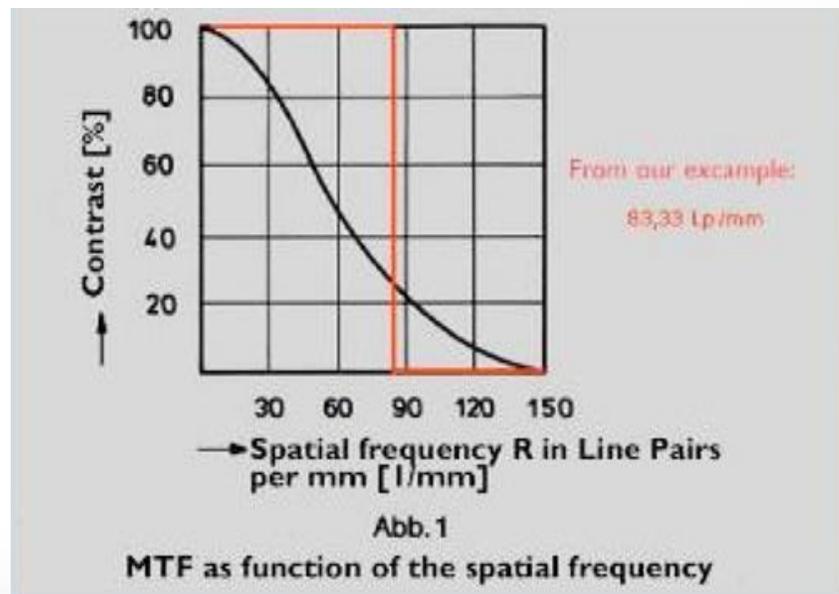
MTF: 調製傳遞函數

Nyquist frequency 奈奎斯特頻率

$$R_N = \frac{1}{2 \times p} = \frac{1}{2 \times 0.005} = 100 \text{ lp/mm}$$

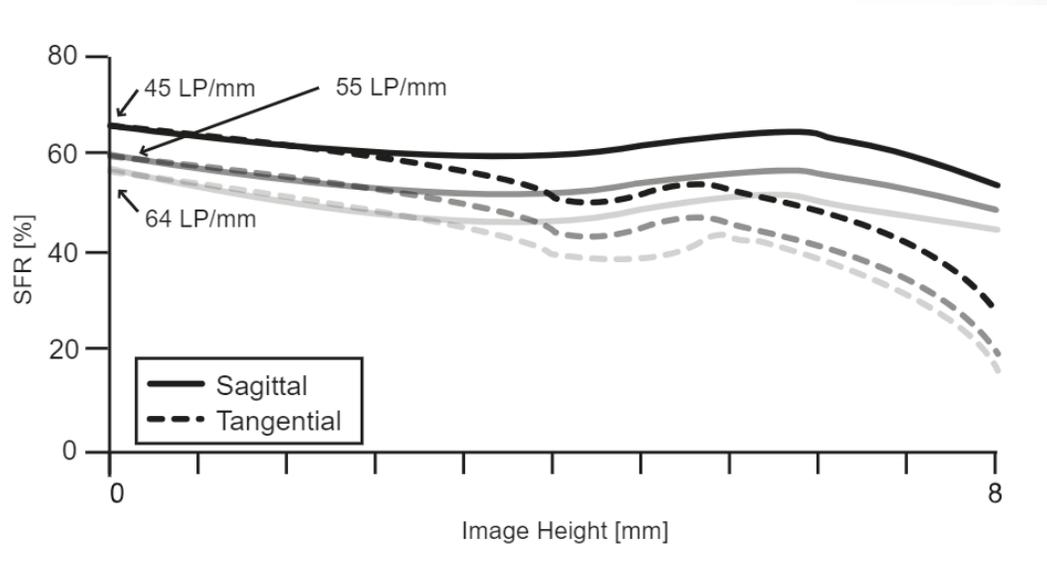
MTF: 調製傳遞函數

鏡頭解析度



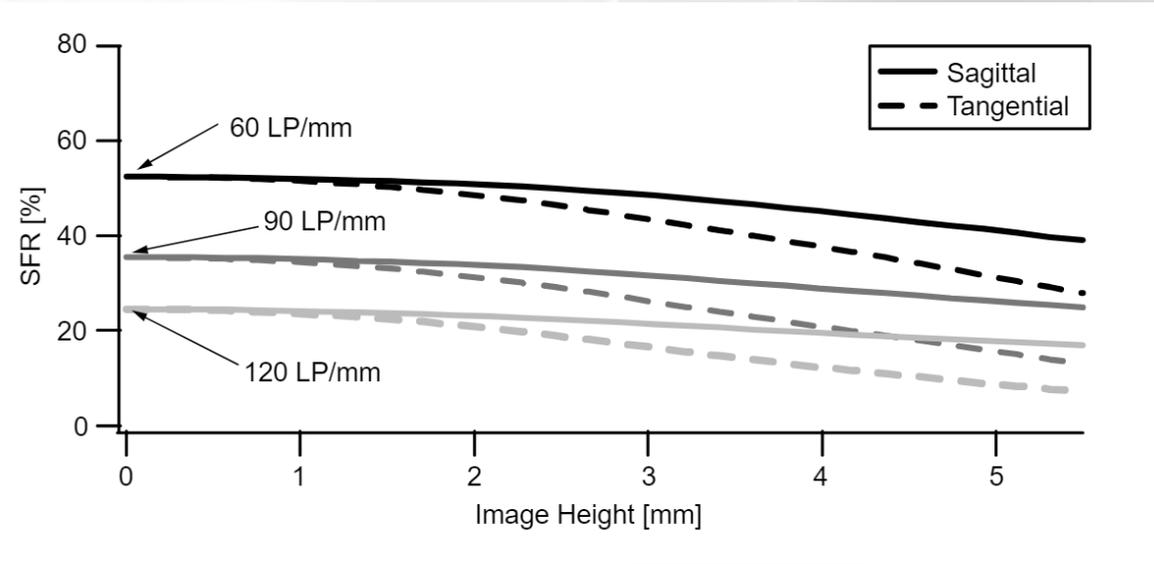
- 理論上：
 - 奈奎斯特頻率以下對比度為 100%
 - 奈奎斯特頻率以上對比度為 0%
- 實際上：
 - 在低奈奎斯特頻率之下對比度高
 - 在高奈奎斯特頻率之下對比度低
- 鏡頭選擇過程典型準則：
 - 在 0.67^* 奈奎斯特頻率之下對比度為 30%
- 總系統的 **MTF** 來自鏡頭、濾光片、影像感光元件及電子產品的 **MTF**。

MTF: 調製傳遞函數



C10-5014-2M-S

VS



C23-5026-2M-S

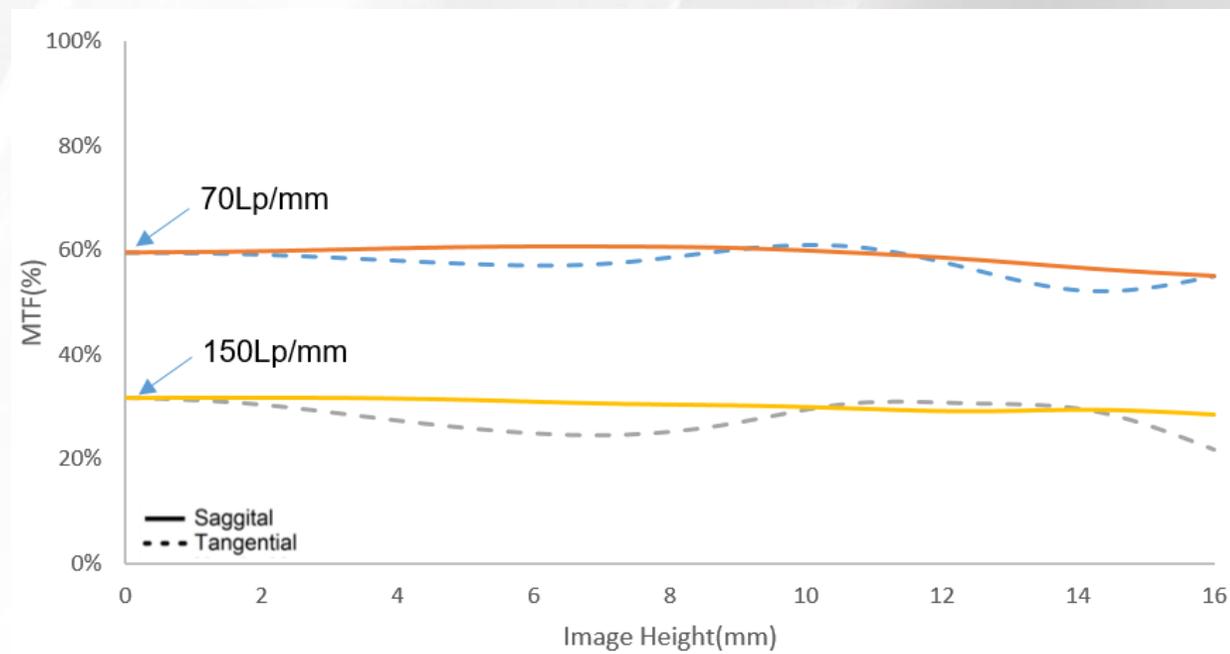
牛刀小試

檢視下方 MTF 曲線圖，並回答問題

鏡頭能應付多大的畫素尺寸？



F-S35-5028-45M-S-SD

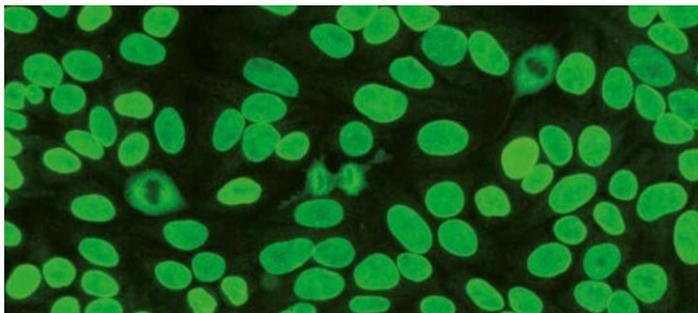


成本與性能之間如何取捨？

- 如何找到在成本與性能之間取得最佳平衡的鏡頭？其實**沒有通則**可遵循。
- 絕對是取決於**應用要求**
- 可以信賴您的**視覺專家**

應用案例一

螢光成像



客戶要求：

- 檢測來自血液樣本的螢光影像。（低光條件）
- 最小瑕疵尺寸：**1mm**

選用相機：

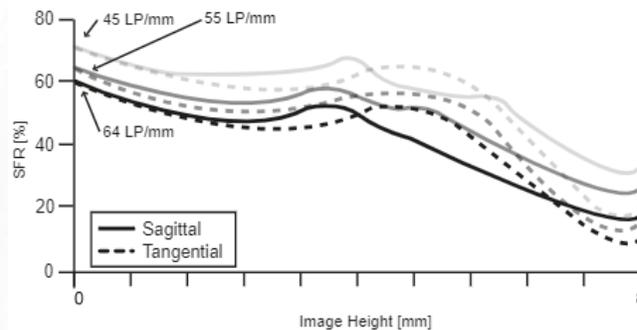
Basler MED ace

- 2.3 MP / 41 fps / 黑白
- 感光元件格式：1/1.2'
- 畫素尺寸：5.86 x 5.86 μm



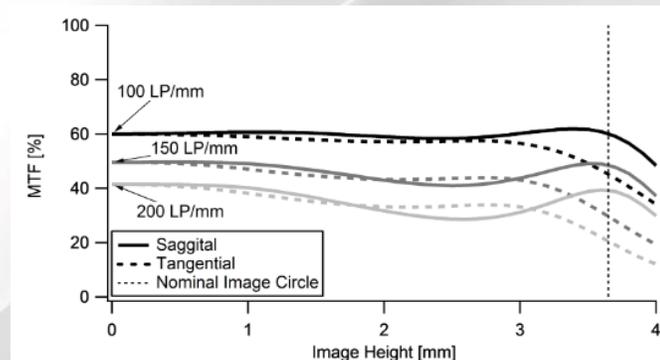
鏡頭

- 在低光條件下，必須取得足夠的光源。
- 2*2 畫素用於 1 細節 $\rightarrow 2 * 5.86\mu\text{m} = 11.72\mu\text{m}$
- 鏡頭解析度：
- $1 / (2 * 11.72 \mu\text{m}) * 0.67 = \mathbf{28\sim 29 \text{ lp/mm}}$



C10-1214-2M-S
(12mm 焦距 f/1.4)

VS



C125-1218-5M-P
(12mm 焦距 f/1.8)

應用案例二

不犧牲影像品質



客戶要求：

- 偵測晶圓表面瑕疵
- 最小瑕疵尺寸：**110 μ m**
- 晶圓直徑：**100mm**
- 瑕疵細節很重要

考慮事項：

- 在本案例中，解析度不可或缺。
- 為了看清楚 110 μ m 大小的細節，我們需要 4*4 畫素用於 1 細節 $\rightarrow 110\mu\text{m} / 4 = 27.5\mu\text{m}$
- FOV=100mm \rightarrow 相機解析度：**>15MP (100mm / 27.5 μ m)**

選用相機：

Basler boost

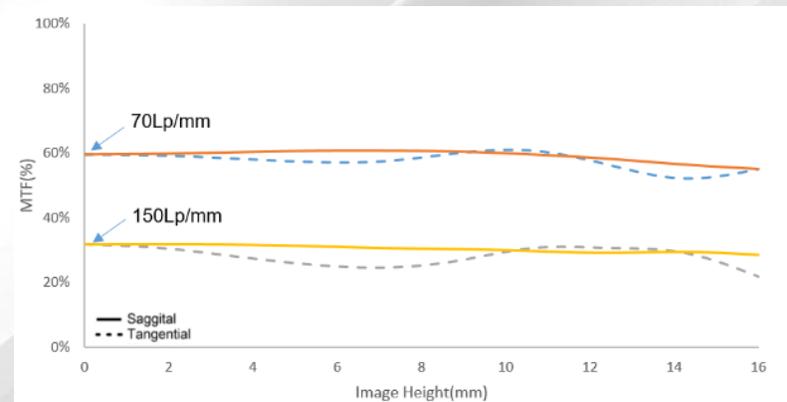


- 20 MP / 100 fps / 黑白
- 感光元件格式：1.1'
- 畫素尺寸：2.74 x 2.74 μ m
- 解析度：4504 X 4504px

選用鏡頭：



- 最合適的技術為第一優先考量。
- 解析度： $1 / (2 * 2.74 \mu\text{m}) * 0.67 =$ **123 lp/mm**
- F-S35-5028-45M-S-SD 具有 0.1X 最佳放大倍率 (27.4 μ m/畫素) 和適宜的解析度。



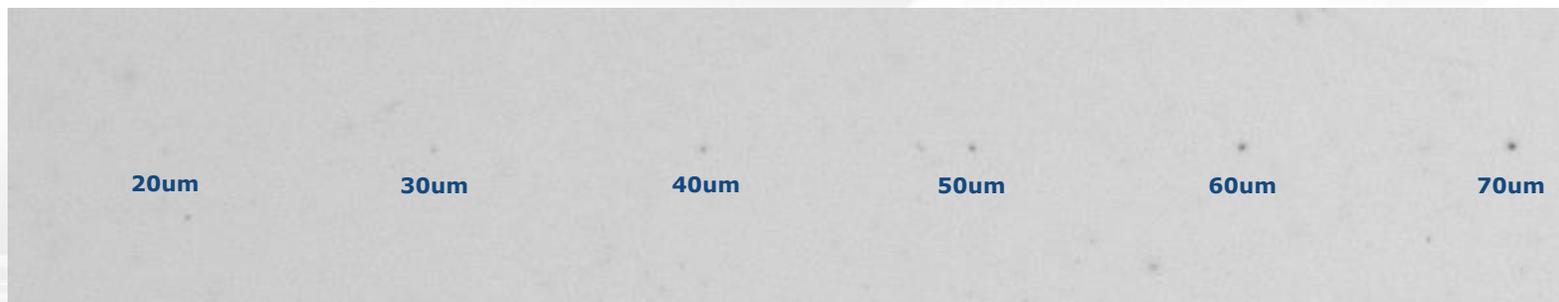
成功案例

Basler F-Mount 鏡頭 VS 他牌鏡頭

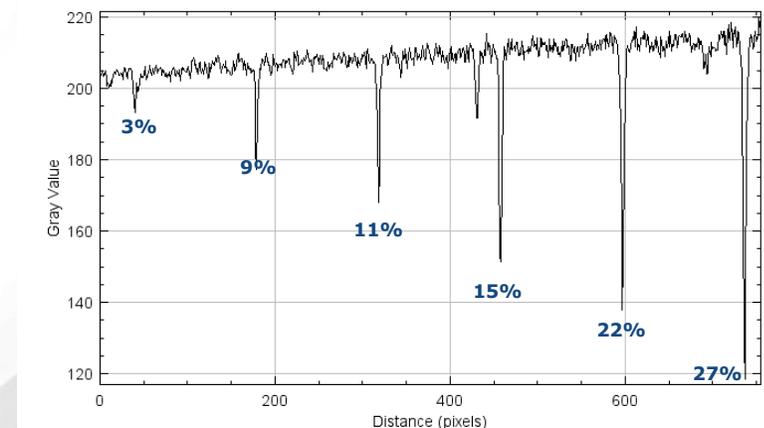
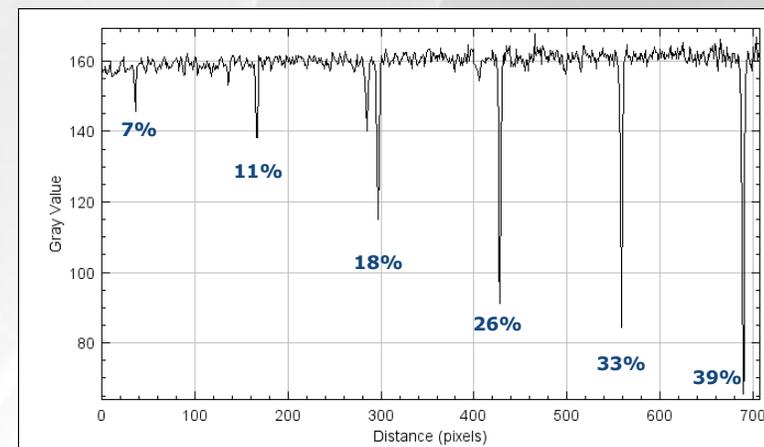
解析度



Basler 25mm 鏡頭 (22.7um/畫素)



他牌 25mm 鏡頭 (21.7um/畫素)



Basler 鏡頭產品組合

與所有 Basler 相機
完美搭配

產品組合：

- 定焦鏡頭
 - C-mount
 - F-mount
 - S-mount
- 遠心鏡頭



Basler 相機應有盡有：

- 解析度：~65 MP
- 成像範圍：1/2.5" 到 Super 35 mm

務實產品作法：

- 貼近需求的最佳鏡頭
- 整體光學性能無與倫比
- 工業等級品質

客製化：

- 滿足個人化應用的需求

Basler 機器視覺鏡頭產品組合

	1/2"	2/3"	1"/1.1"	1.2"	F-mount
Standard	 <p>C23 2MP</p>		 <p>C10 3MP</p>	 <p>NEW C12 25MP</p>	 <p>F-S35 45MP</p>
	 <p>C125 5MP</p>	 <p>C23 5MP</p>	 <p>C11 12MP</p>		 <p>Third party</p>
Telecentric	 <p>NEW</p>				
High-res S-mount	 <p>Third party</p>				

Basler 鏡頭產品組合

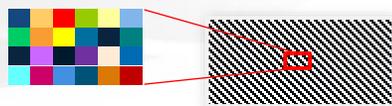
Standard 與 Premium



Basler Standard 鏡頭

- 出色的性價比
- 需求導向的設計，可靠的基本性能
- 適合許多要求較低、有成本考量的應用

畫素較大時



Basler Premium 鏡頭

- 高品質與高性能
- 非常適合用於分析最細微的結構
- 專為要求嚴格的應用設計及測試

畫素較小時



關鍵要點

1. **基本鏡頭選擇**，用於簡單視覺任務的鏡頭通常可利用 Basler 免費線上工具（鏡頭選型工具）。此方式在整套視覺系統中，讓鏡頭成為最後被考慮的元件。
2. **進階鏡頭選擇**，用於要求嚴格的視覺任務，需採全面的方式，同時考慮鏡頭和相機選擇。
3. **透過放大倍率**決定需要哪種鏡頭是可行的，但單靠增加放大倍率，可能無法得到想要的解析度。
4. **MTF 曲線**提供實用的辦法，有助您經過比較後為特定應用選擇最佳鏡頭。不過，MTF 曲線並非一成不變，因此使用時必須切記特定應用參數。

我們帶您找到正確的道路！

Questions & Answers



Hans Chen

+886-3-5583955

Support.asia@baslerweb.com