

表面粗糙度及其量測

陳亮嘉 教授

National Taiwan University

Precision Metrology Lab.

表面粗糙度之重要性

表面特性對工件使用時的**磨耗及潤滑**、反覆受應力對加工件之**疲勞破壞**、工件接合面之**黏著性**、汽缸與活塞滑動面間之**氣密性與油密性**及**外觀光澤質感**等都有直接且重要的影響。

Precision Metrology Lab.

表面組織之定義

- **形狀 (Form) :**
又稱形狀誤差，由機器及工件受力變形，及滑道直度不佳等誤差所引起。
- **波紋 (Waviness) :**
由於加工所產生的**低頻**震動、機器振顫、機器及工件撓曲等，所引起的低頻波形。
- **粗糙度 (Roughness) :**
加工的**高頻**因素所引起的高頻不規則表面。
- **瑕疵：** 氣孔、缺陷、裂痕等。
- **全部輪廓 (total profile)** 即由以上幾種因素所組成

Precision Metrology Lab.

工件表面全部輪廓(1)

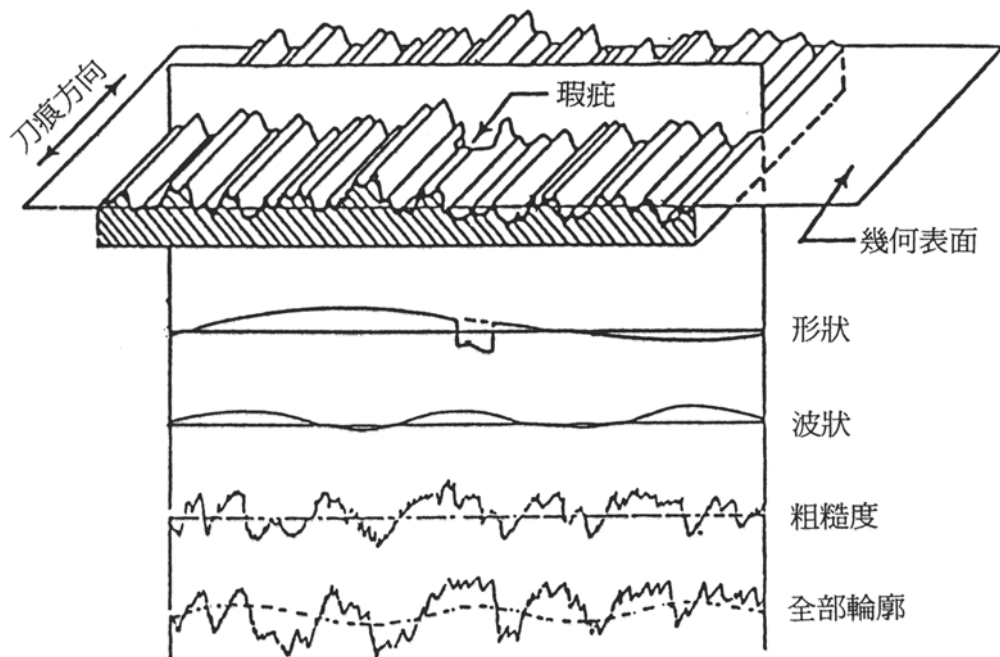
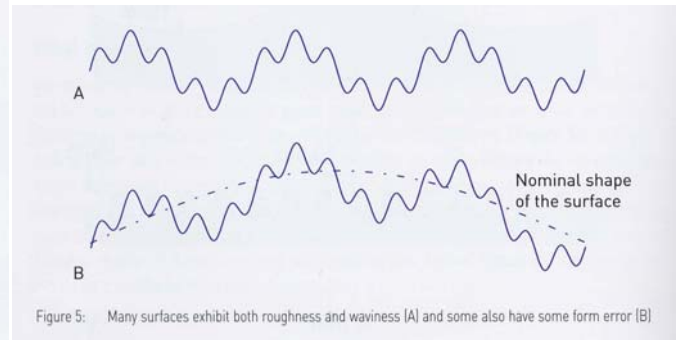
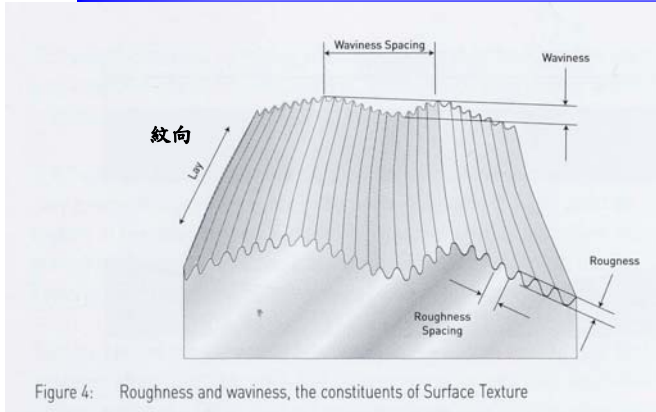


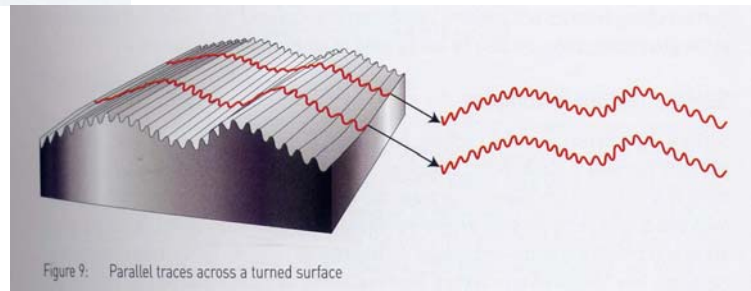
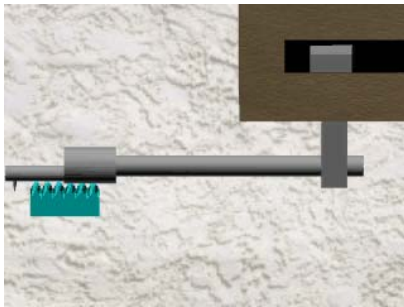
圖 8-1-1 工件表面全部輪廓

Precision Metrology Lab.

工件表面全部輪廓(2)



Source: Talyform manual



Precision Metrology Lab.

表面量測上之基本術語

- 紋向 (Lay) :
加工後所遺留加工痕跡或結晶粒之方向。
- 剖面曲線 :
沿工件表面垂直方向切下，以觀察其高低不平之輪廓線。

Precision Metrology Lab.

表面量測上之基本術語

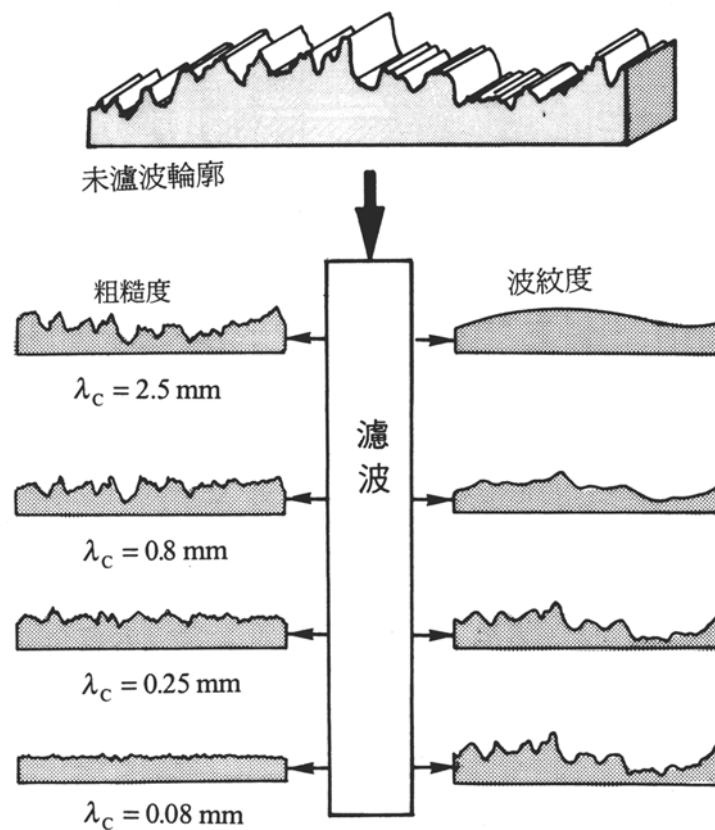


圖 8-1-2 不同切斷長度對輪廓之影響



電子濾波

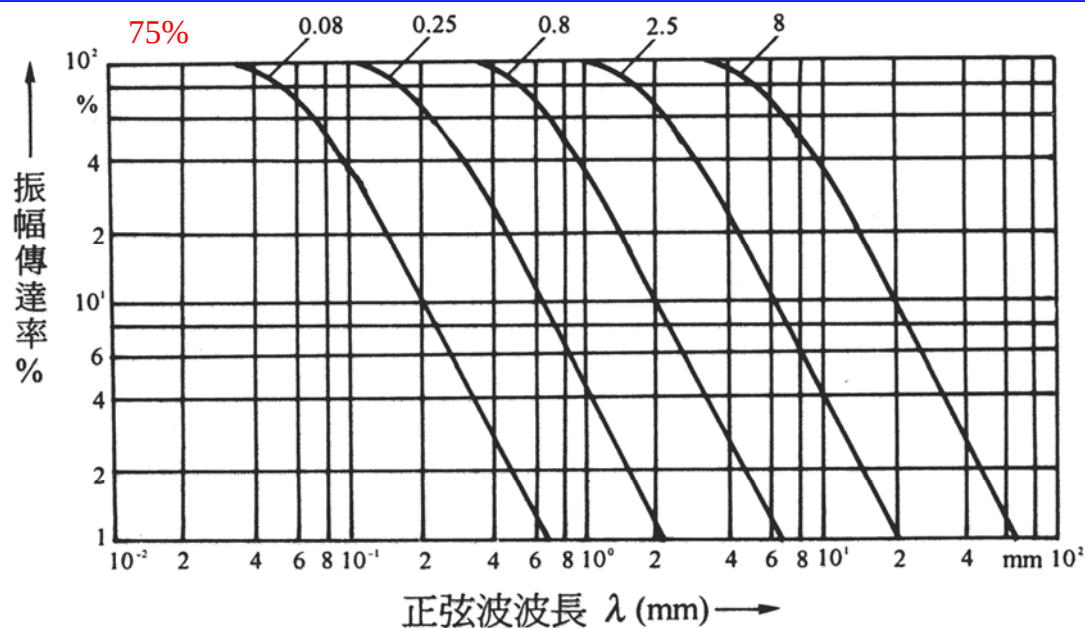


圖 8-2-5 切斷值之選用

- **粗糙度曲線：**
由量測儀器所得並經處理後之曲線。
- **不規則點 (Irregularities)：**
即實際曲線之波峰與波谷。
- **樣本長度 (Sampling length)：**
足以顯示整個粗糙度型式的表面長度。
- **評估長度 (Assessment length)：**
包括幾個樣本長度，量測值為幾個參數評估的平均值。
- **量測長度 (Traverse length)：**
探針量測時，表面量測的總長度。

Precision Metrology Lab.

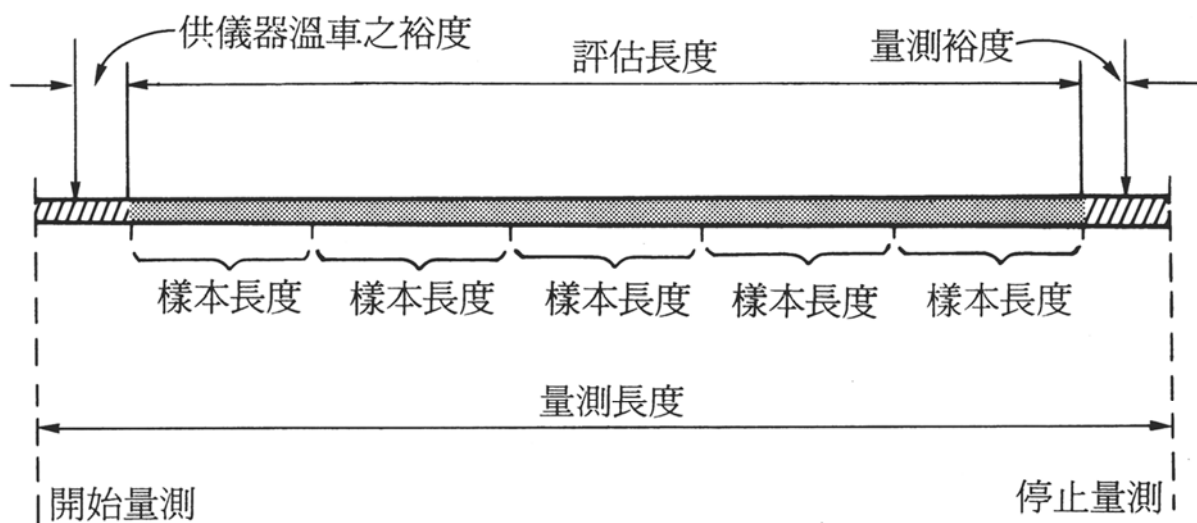


圖 8-2-2 樣本長度、評估長度及量測長度的關係

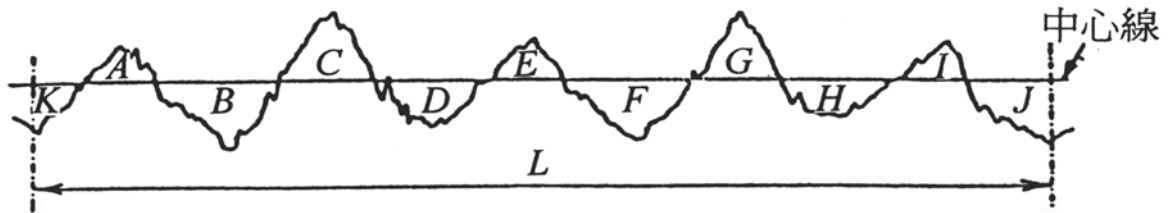
Precision Metrology Lab.

➤ 參考線 (Reference line)：

量化評估外型之表面粗糙度所採用之參考基準線。

➤ 中心線 (Center line)：

將外形分成**面積相等**之兩部分，且平行於外形一般方向的參考線。



中心線之上外形所含面積總和等於線下外形所含面積。即面積
 $A + C + E + G + I = B + D + F + H + J + K$

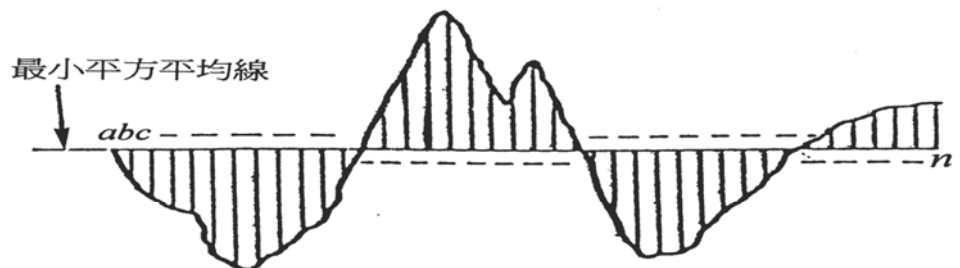
圖 8-2-3 中心線之求法

Precision Metrology Lab.

➤ 最小平方平均線

(Least square mean line)：

粗糙度的斷面曲線，取其一段而在曲線間設一直線，若直線至上下曲線**偏差距離平方的總和**為最小時，此設定直線謂之。



最小平方平均線是使 $a^2 + b^2 + c^2 + \dots + n^2$ 之總和為最小時，而定位之線段。

圖 8-2-4 最小平方平均線之求法

Precision Metrology Lab.

- 粗糙度曲線之切斷值 (Cut-off value) :

切斷值即為**樣本長度**在儀器上的相當量。表面粗糙度量測儀內樣本長度是以濾波器來修正放大器的反應頻率而產生變化。

約有**五十種**以上的參數，大至可歸為下面三大類：

- 振幅參數 (amplitude parameters)
- 波長或間距參數 (wavelength or spacing parameters)
- 綜合參數 (hybrid parameters)

1. 中心線平均粗糙度 (R_a)
2. 最小平方和粗糙度 (R_q)
3. 最大粗糙度高度 (R_{max})
4. 全粗糙度高度 (R_y)
5. 最大波峰高度 (R_p)
6. 十點平均粗糙度 (R_z)
7. 第三最高波峰至波谷之平均高度 (R_{3Z})

中心線平均粗糙度之求法

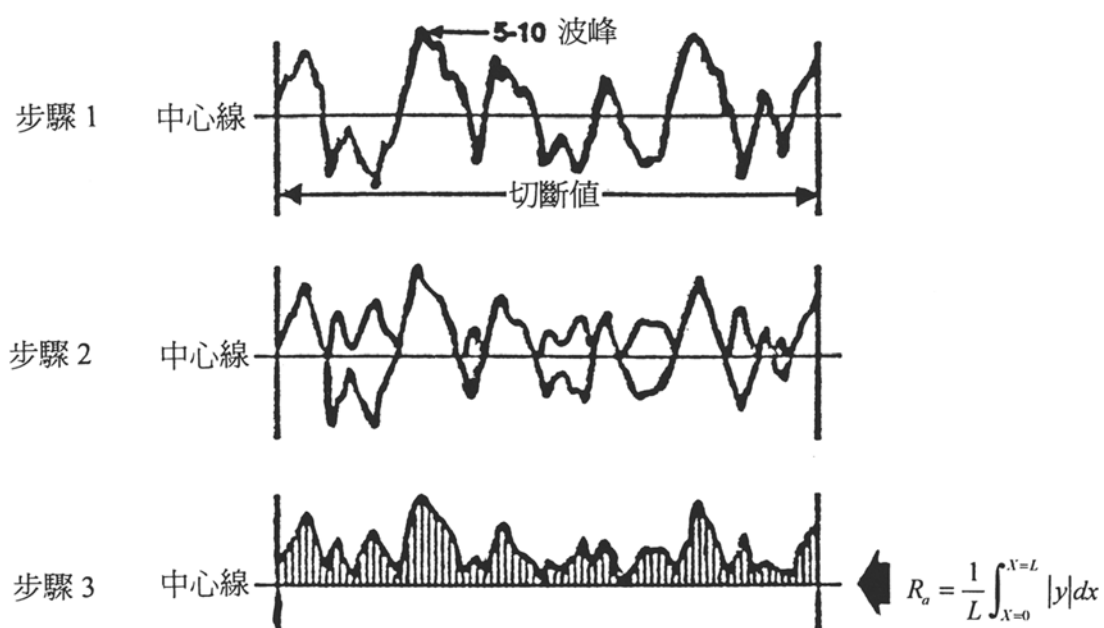


圖 8-3-1 中心線平均粗糙度之求法

Ra cannot characterize the surface information!!!

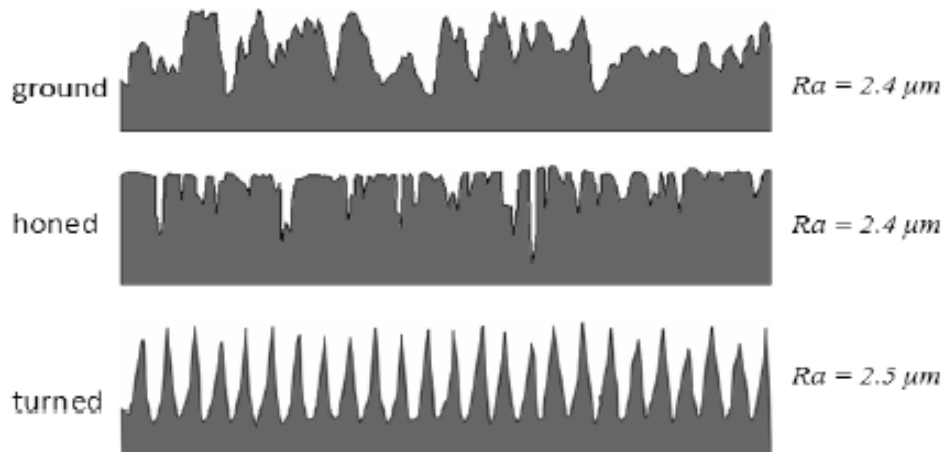


Fig. 6. Three surfaces with similar Ra.

X. Jiang,
ISMTII 2009

So, we need more parameters!

Precision Metrology Lab.

均方根粗糙度, RMS, R_q

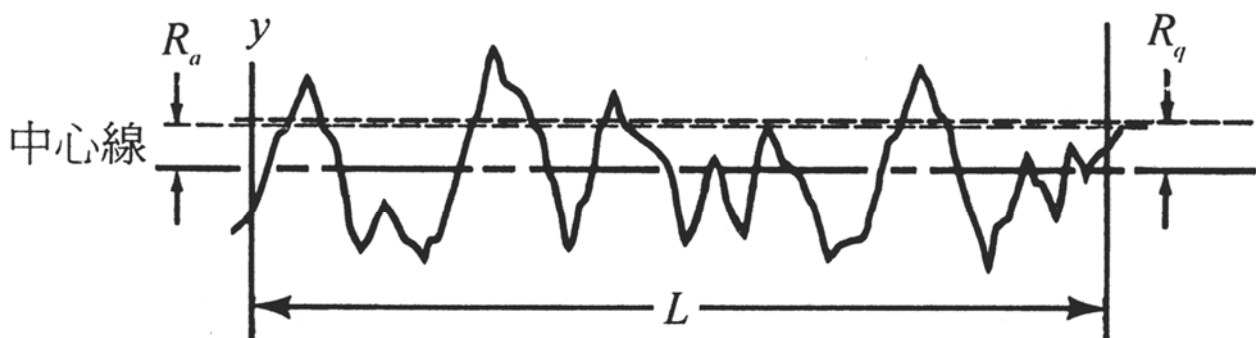
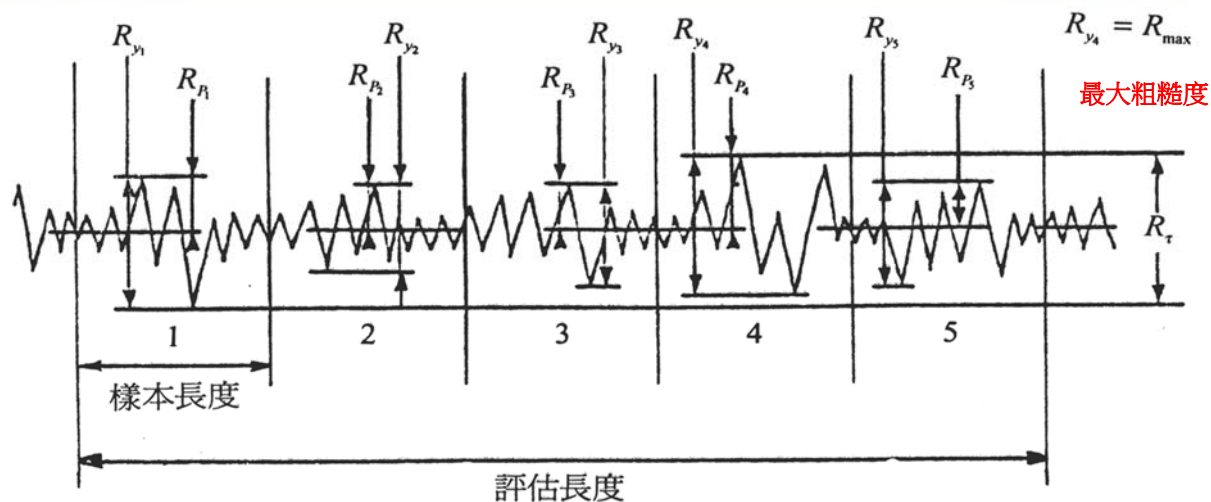


圖 8-3-2 均方根粗糙度之求法

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2}$$

最大粗糙高度、 全粗糙高度、波峰高度等求法

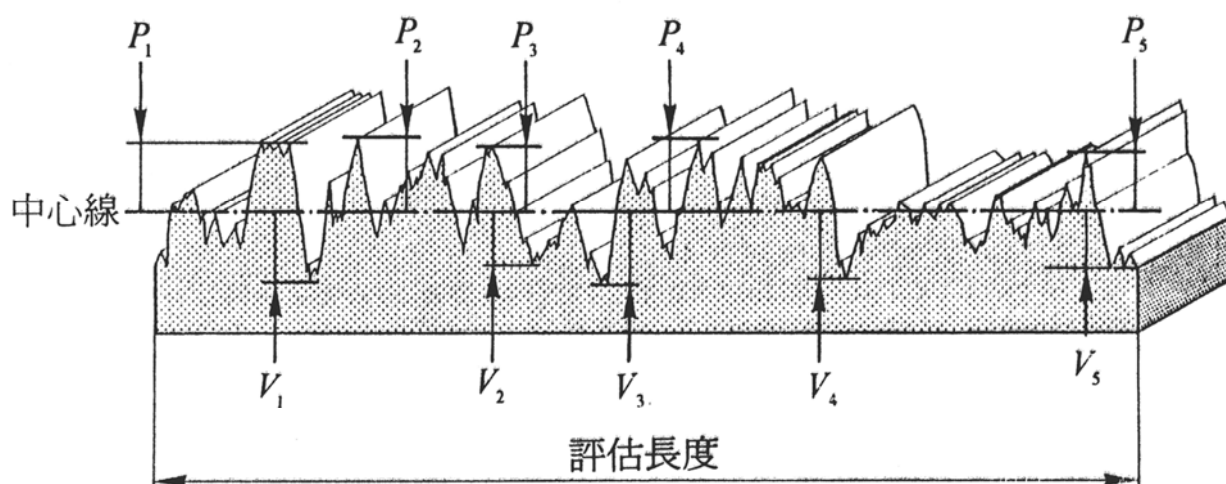


全粗糙度 $R_{z(DIN)} = R_{tm} = \frac{R_{y1} + R_{y2} + R_{y3} + R_{y4} + R_{y5}}{5}$

平均波峰粗糙度 $R_{pm(DIN)} = \frac{R_{p1} + R_{p2} + R_{p3} + R_{p4} + R_{p5}}{5}$

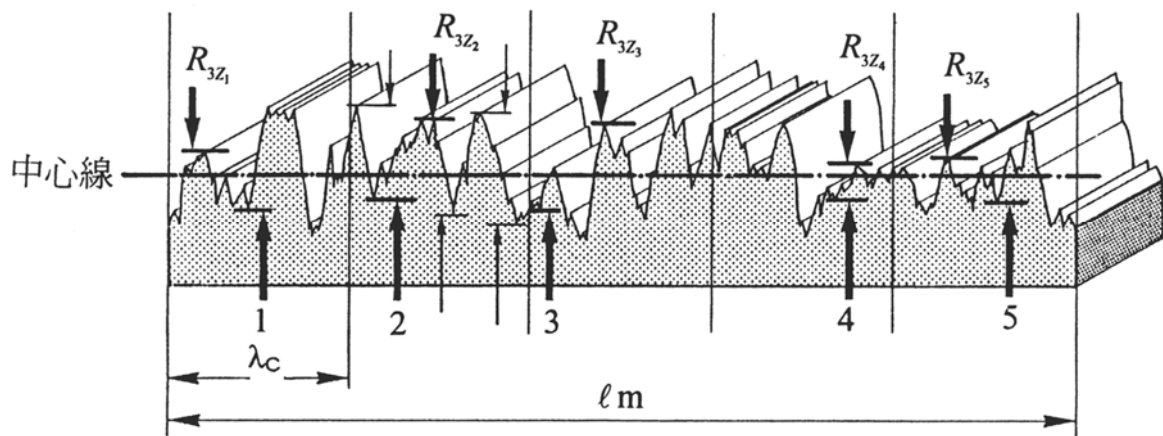
圖 8-3-3 最大粗糙度高度、全粗糙度高度、波峰高度等求法
([7], P29)

十點平均粗糙度之求法



$$R = \sum (P_i + V_i)$$

圖 8-3-4 十點平均粗糙度之求法 ([12], P31)



$$R_{3z(DIN)} = \frac{R_{3z_1} + R_{3z_2} + R_{3z_3} + R_{3z_4} + R_{3z_5}}{5}$$

$$R_{3z(JAPAN)} = R_{3z_i}, \text{ 此處 } i = 1, 2, 3, 4, 5$$

圖 8-3-5 第三最高波峰至波谷平均高度 ([12], P30)

Rz、Rmax 之不同

以上參數中 Rz、Rmax 在 DIN和 ISO有稍微不同。

- Rz(DIN)：取五個樣本長度之平均全粗糙高度。
- Rz(ISO)：取評估長度中五個最高波峰、波谷間的平均距離。

故Rz(DIN)之數值會比較小；同理， $R_{max(DIN)}$ 亦會比較小（德人較保守!!!）

Rz、Rmax 在 DIN和 ISO之差異

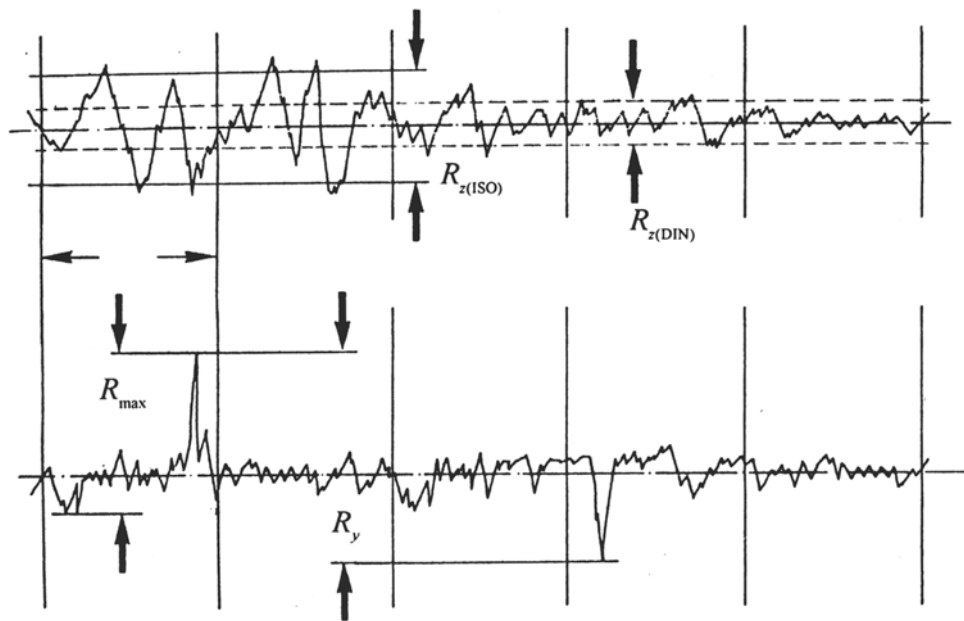


圖 8-3-6 R_z , $R_{\max}$ 在 DIN 和 ISO 之差異 ([12], P32)

Precision Metrology Lab.

波長或間距參數

1. 波峰數 (P_c)

2. 平均之波峰間距 (S_m)

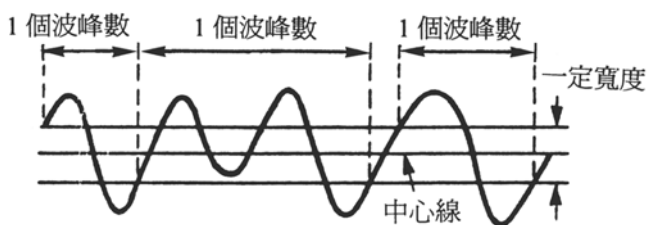


圖 8-3-7 波峰數之求法

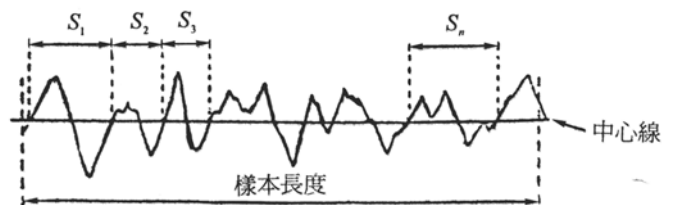


圖 8-3-8 平均波峰間距

以寬度為閾值

S_m 愈大，代表表面愈平順

P_c 愈大，代表表面愈粗糙

Precision Metrology Lab.

1. 承壓比值 (BAC)

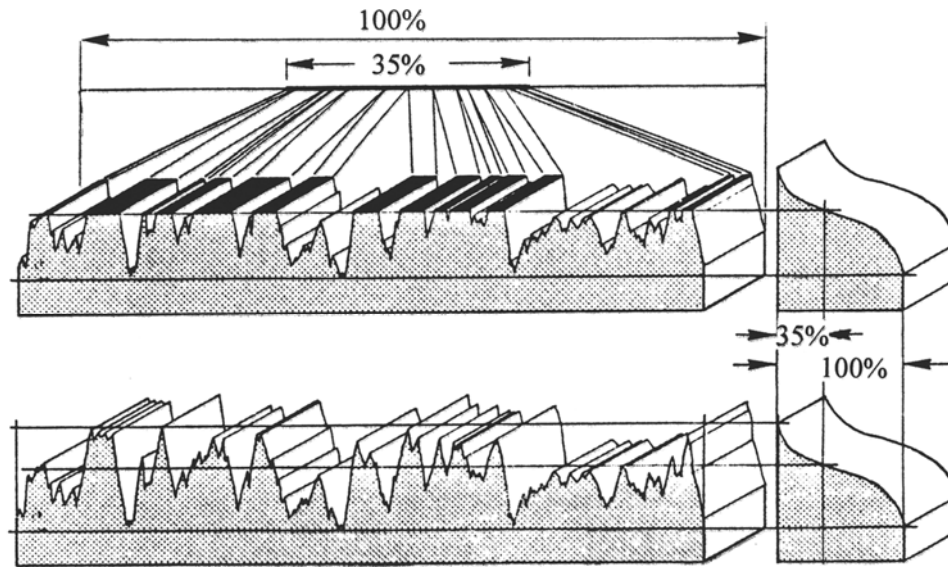


圖 8-3-9 承壓比值 ([12], P38)

2. 振幅分佈之偏斜度 (S_k)

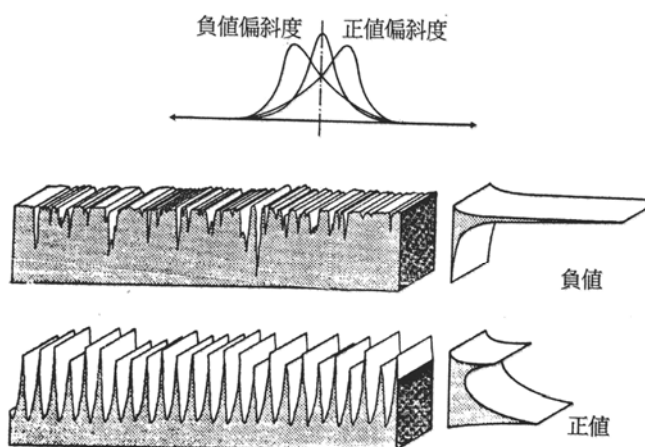


圖 8-3-10 振幅分佈之偏斜度 ([12], P54)

3. 振幅分佈之陡峭度 (K_u)

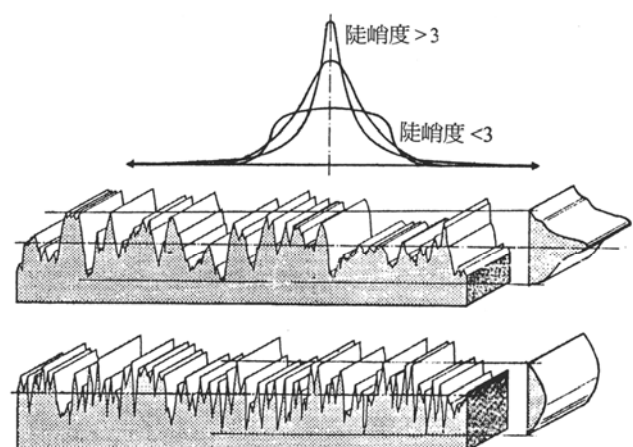


圖 8-3-11 振幅分佈之陡峭度 ([12], P55)

表面粗糙度的量測方法很多，如：粗糙度標準片、放大鏡或工具顯微鏡、光線切斷、……等。

➤ **粗糙度標準片比較法：**

應用表面粗糙度標準片與工件作觸覺或視覺上的量測方法。

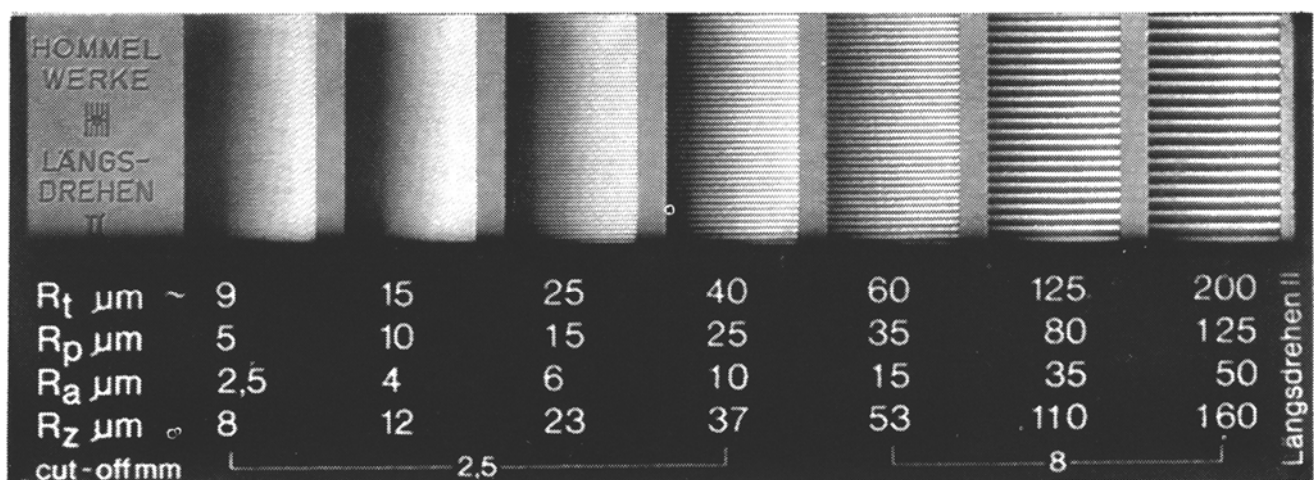


圖 8-4-1 粗度比較片 ([28])

表 8-4-1 CNS 10793 規定中心線平均粗糙度區分値之標準片量測範圍

粗 糙 度 區 分 値		0.025 a	0.05 a	0.1 a	0.2 a	0.4 a	0.8 a	1.6 a	3.2 a	6.3 a	12.5 a	25 a	50 a
表面粗糙度範圍 ($\mu m R_a$)	最小値	0.02	0.04	0.08	0.17	0.33	0.66	1.3	2.7	5.2	10	21	42
	最大値	0.03	0.06	0.11	0.22	0.45	0.90	1.8	3.6	7.1	14	28	56
粗 糙 度 編 號		N 1	N 2	N 3	N 4	N 5	N 6	N 7	N 8	N 9	N 10	N 11	N 12

探針式表面粗糙度量測儀

1. 探針：具有**球形尖端**的鑽石錐體。
2. 收錄器：將探針微小的垂直位移轉換成電氣信號。
常用的收錄器機構有兩類；**滑動器**（Skids）、**鞋狀體**（Shoes）。
3. 驅動器：提供探針沿工件表面做平行掃描運動，
有手動及馬達自動驅動兩種功能。
4. 放大器：提供不同的放大倍率，通常需配合粗糙度的範圍來設定。

5. 濾波器：亦即電子式的切斷器，濾除低波數據以消除波紋信號。
6. 微處理器：為提供各種表面參數的計算使用，有模組式及微電腦式等兩種。

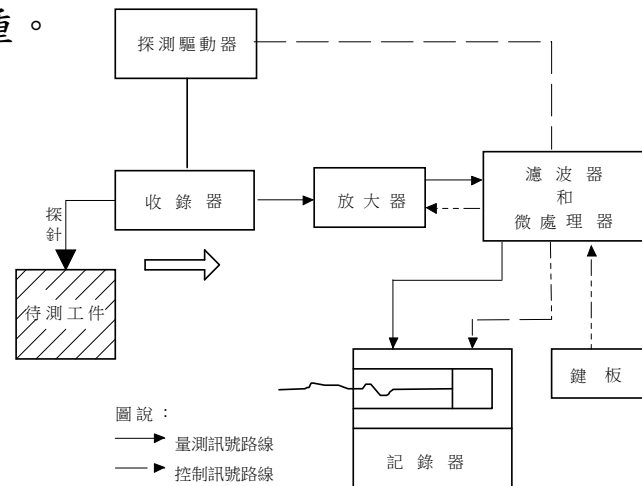
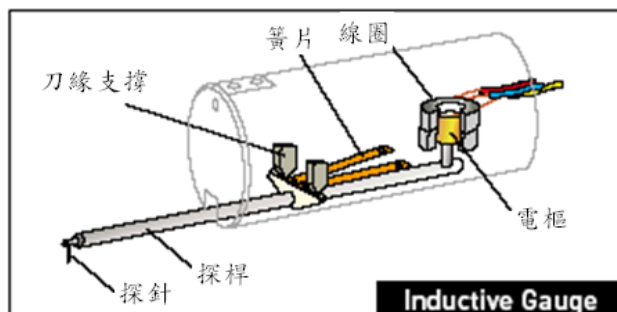


圖 8-4-2 表面粗糙度量測儀之量測系統

Taylor Hobson Inductive Gauge



Gauge Type	Range	Resolution	Speed
Inductive*	0.1mm 2.5mm	2nm 40nm	3mm/sec



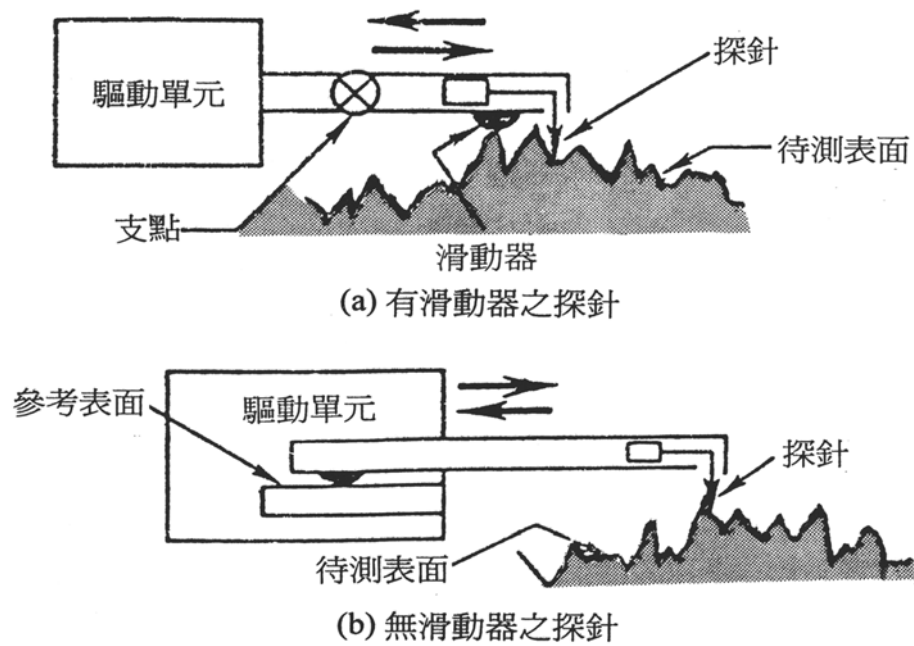


圖 8-4-3 探針與滑動器

Precision Metrology Lab.

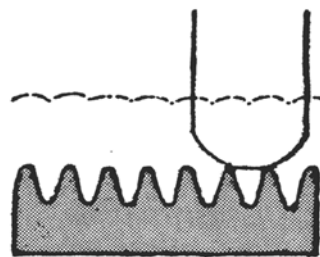


圖 8-4-4 滑動器所造成近似直線之圖形

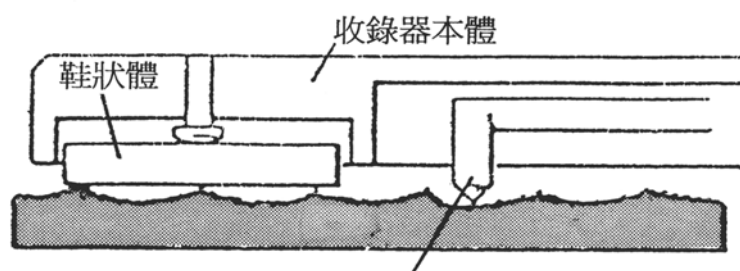


圖 8-4-5 鞋狀體探針

Precision Metrology Lab.

收錄器內部構造

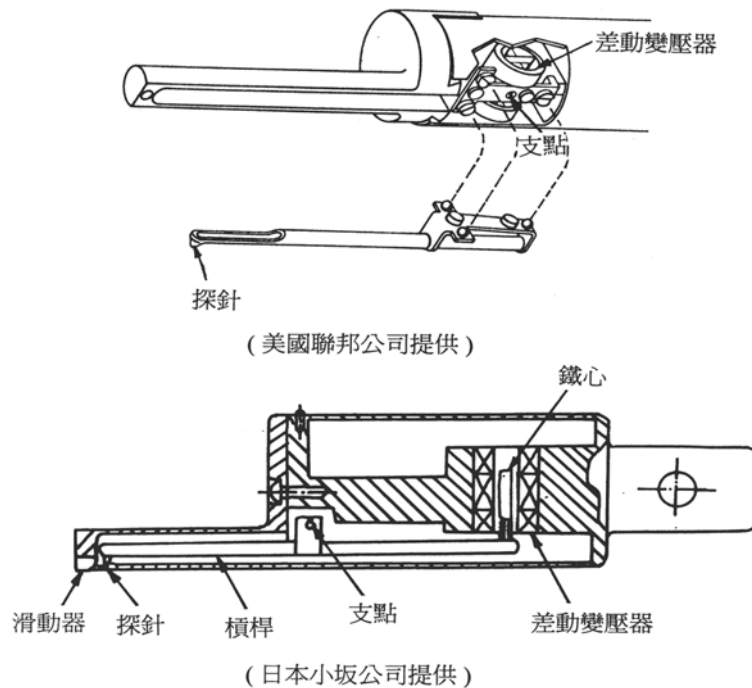


圖 8-4-6 收錄器內部構造圖

Precision Metrology Lab.

近代之表面粗糙度量測儀

探針式雷射干涉感測法：

此種表面粗糙度量測儀為結合探針式表面粗糙度量測儀、雷射干涉儀和精密移動平台設計、製作等優點。

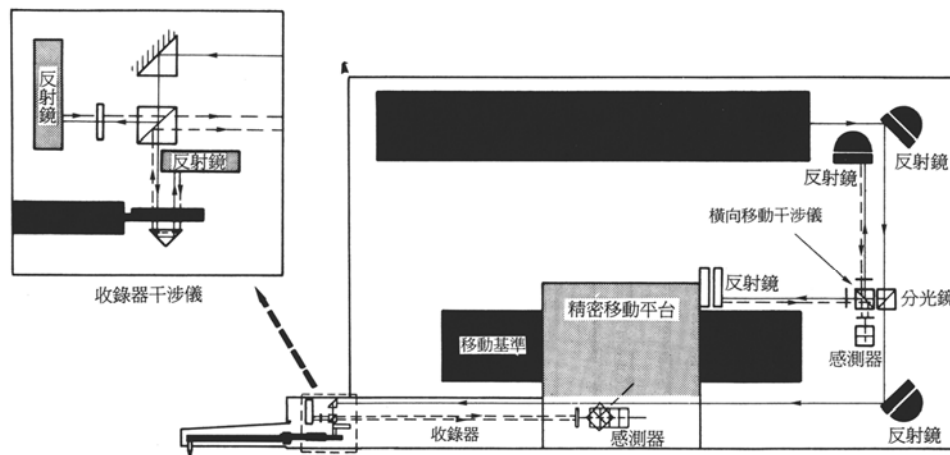


圖 8-4-7 探針式雷射干涉感測法 (英國 Rank Taylor Hobson 公司出品，中美科學公司提供)

Precision Metrology Lab.

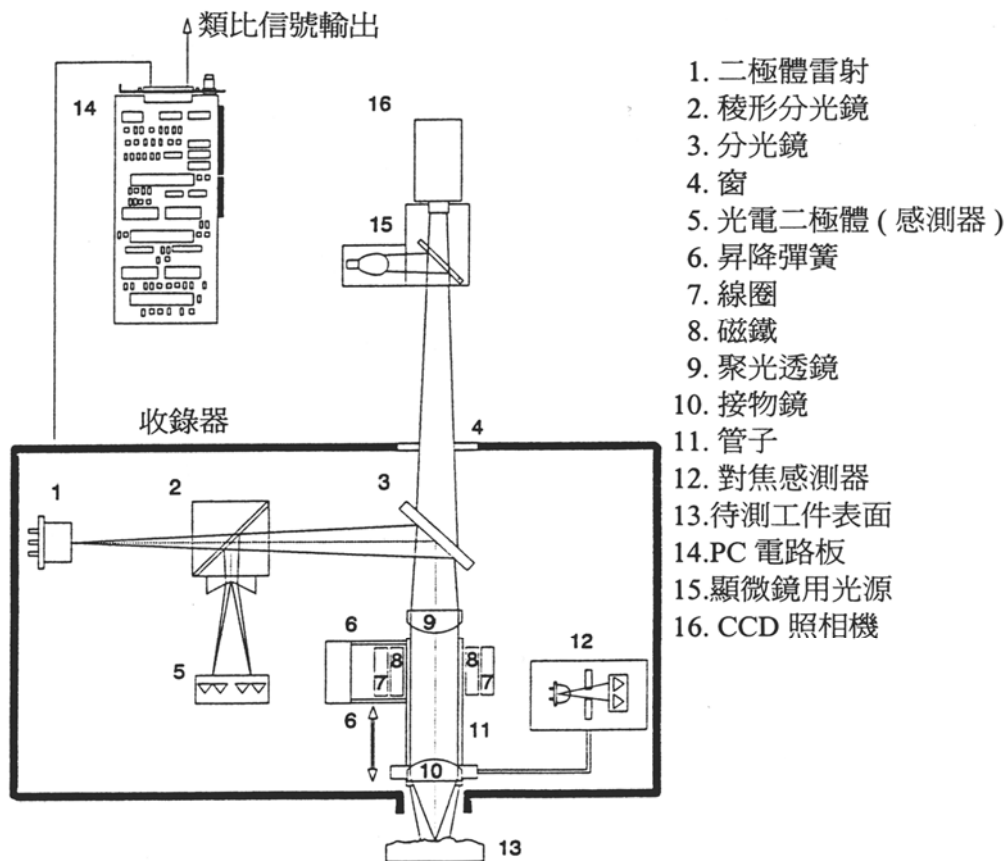


圖 8-4-8 光探針式自動對焦伺服探頭感測法 (德國 UBM 公司出品，科榮有限公司提供)

37



➤ 光探針式**自動對焦**伺服探頭感測法：

以雷射式收錄器替代探針式收錄器和有一雙軸移動的精密台所組成。

- * **機械式探針**和**光探針**最顯著的差別在於微小雷射光可達波谷，機械式探針受到針尖半徑的限制可能無法到達，同時雷射光投射點直徑僅約在 **$0.8\mu\text{m}$** 而已。

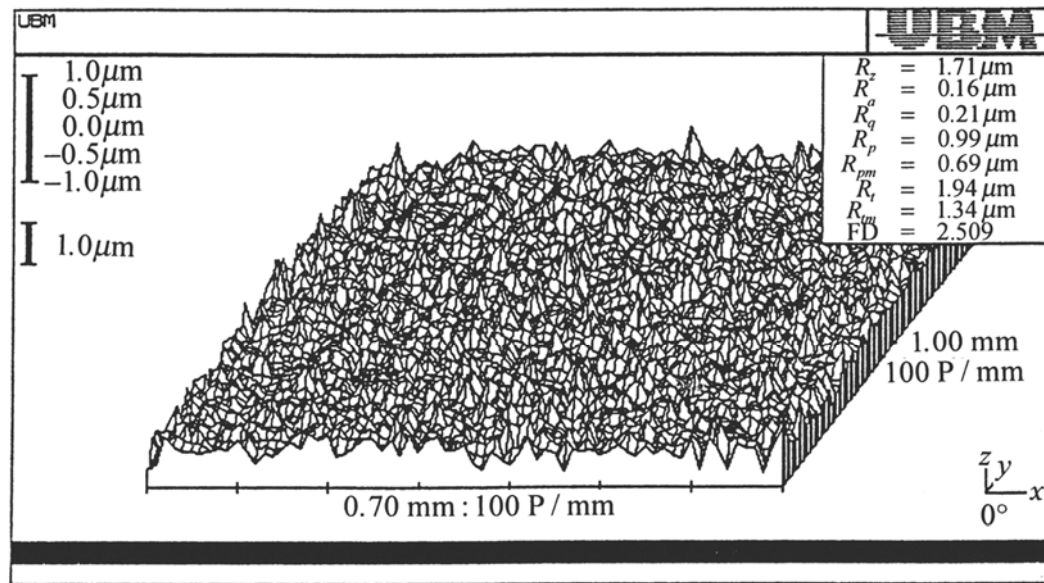


圖 8-4-9 光探針式自動對焦伺服探頭感測法之量測表面粗糙度圖形 (德國 UBM 公司出品，科榮有限公司提供)