

# HOLOGRAPHY

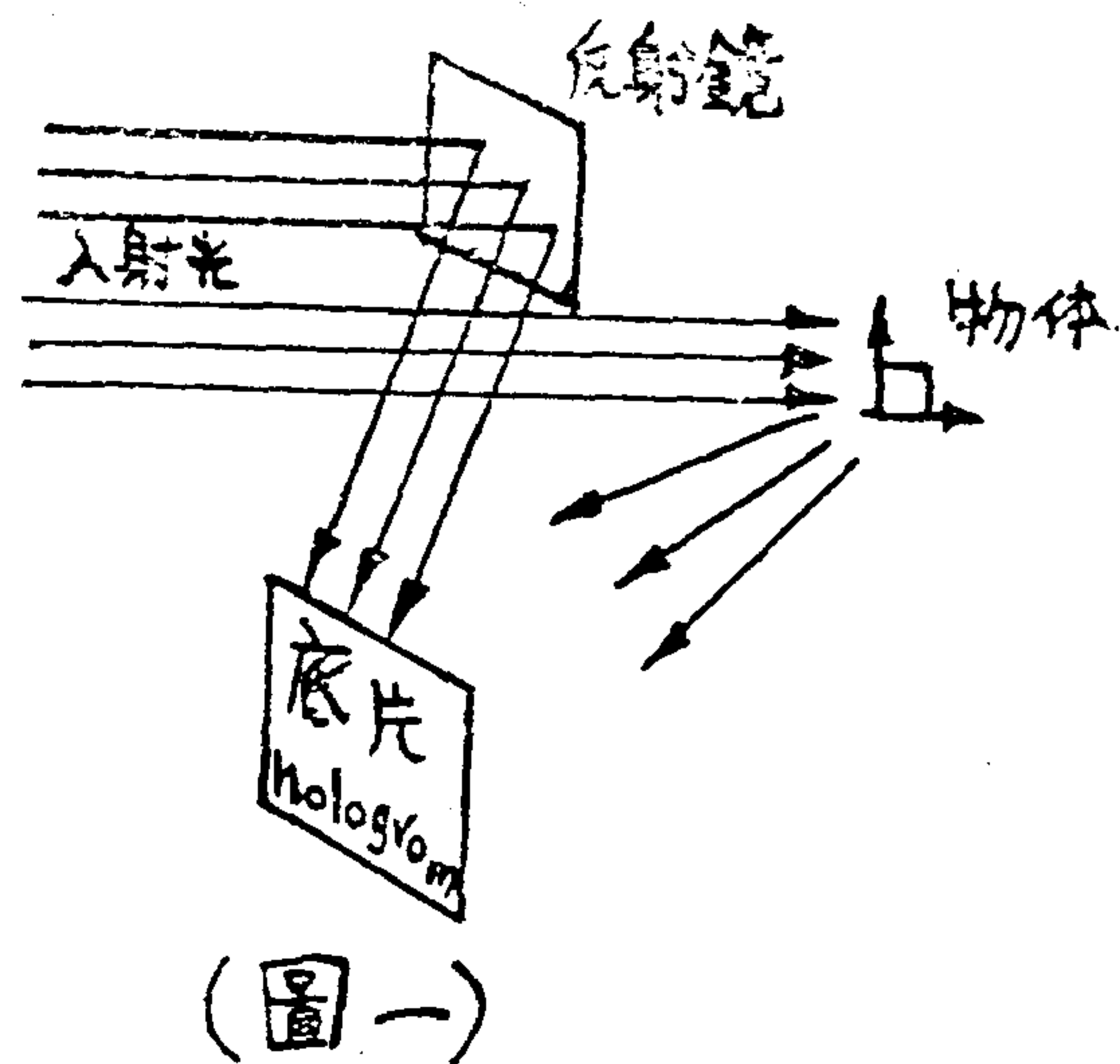
## 立體照像術簡介

◀ 蒲 慕 明 ▶

### 引 言

一九四八年，帝國大學蓋柏 (Gabor) 教授爲了應用於顯微照相 (microscopy)，提出了立體照相術 (holography)，可以使光線經過物體反射後的相位及振幅 (Phase & amplitude) 收錄於照相底片 (hologram) 上。他當時是把一個透明物體置於單色 (monochromatic) 點光源之前，將繞射的與透過的光線產生的干涉條紋記錄於底片。底片經過沖洗之後，透過單色光，可以看到原來的物體。

近兩年來，由於雷射 (Laser) 的應用，立體照相術大有進展。以雷射作爲單色光源要比以前強多了。李斯等 (Lieth & Upatnieks) 曾改良了蓋柏的方法，利用了參考光線 (reference beam) 與反射光產生干涉 (見圖一)。使用這種方法可以



使得這種照相術能應用於較大的物體 (產生繞射有一定的限度)，同時能夠清楚地將影像攝於底片。因爲反射光的「亮度」與「相差」均能記於底片，(普通照相僅記錄亮度) 所以以單色光照之，立體影像又重現於空間了。

這種照相術有幾個特點：第一，沒有使用鏡片。第二，底片與一般底片看起來不同。在普通日光 (非單色光) 下所見的是渦狀及線狀條紋；只有透過雷射光，才能看到物體的影像；對遠近物亦有視差

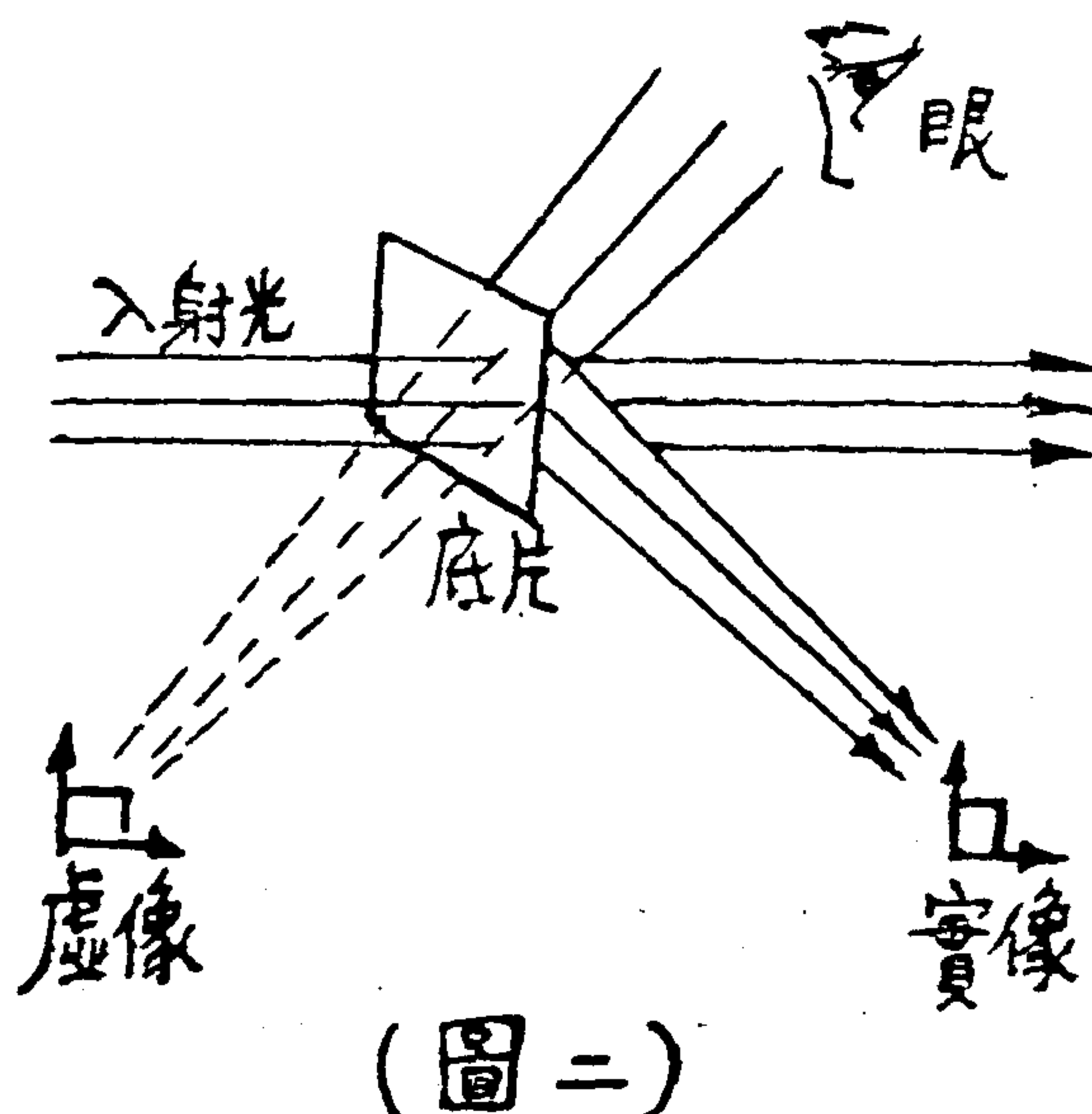
現象 (經底片進入眼睛的光線與原物體所發出的光完全相同)。第三，不同的影像可以拍攝在一底片；攝時每次稍微移一角度，看時也需同一角度。

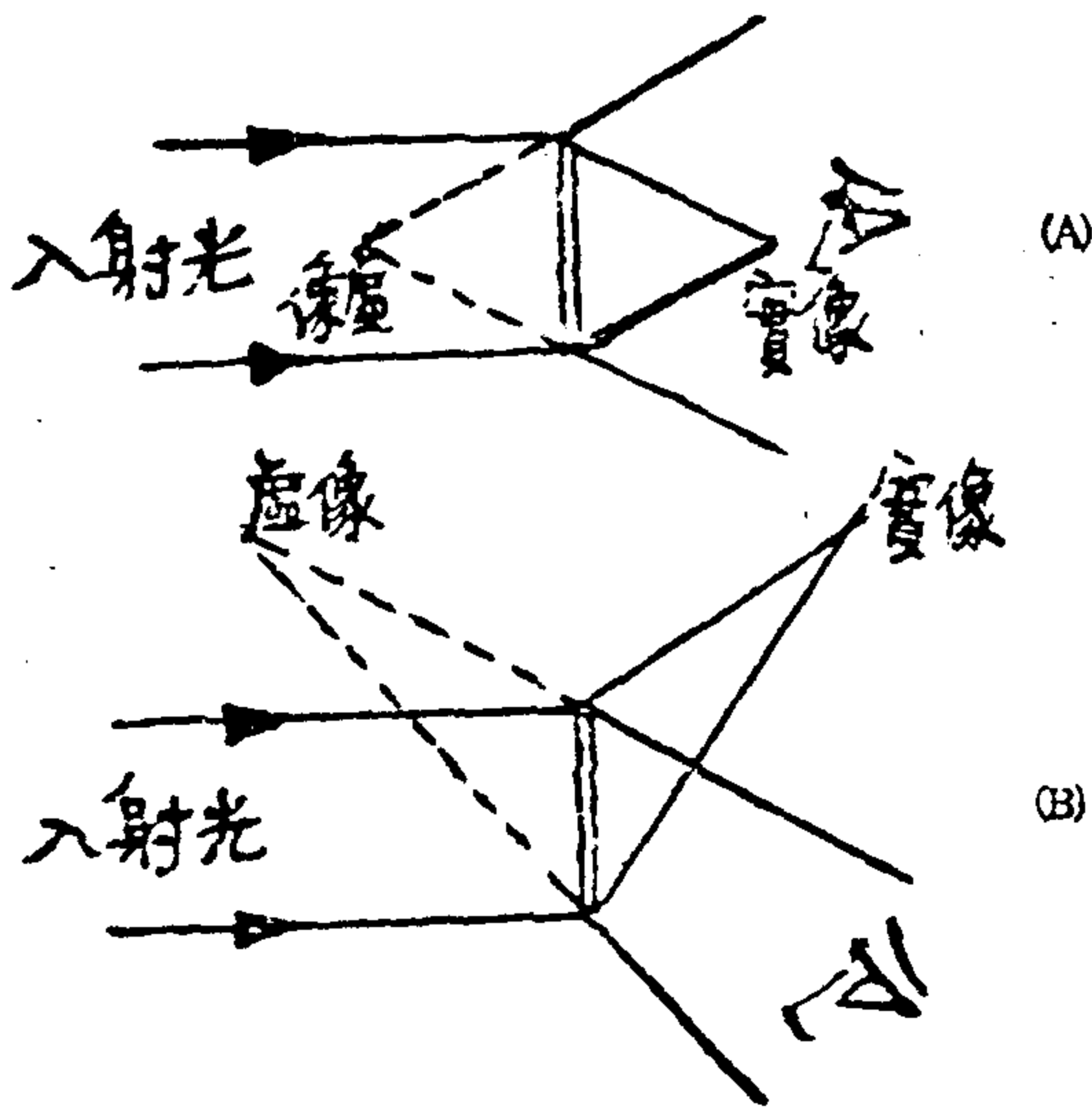
立體照相術所攝錄的是物體的視覺資訊 (Visual information)。以專有名詞來說，底片上所記錄的是發自物體的 Fourier Transform 並混合同一波長的參考光線。

### 原 理

一物體上每一點均爲點光源，底片上的相位分佈 Phase distribution 爲一羣同心圓。在蓋柏的方法中，參考光線是從物體後繞過，與透過物體的光線在底片上形成干涉條紋 (事實上，若爲不甚大的非透明體，使用够強的單色光源，光線被擋損失的相位記錄並不重要，僅由亮度的記錄就可以產生影像)。這些條紋就是所謂的 Fresnel diffraction

pattern。以單色光照之，在軸的兩端形成實像和虛像 (見圖三A)。若參考光線不與透過物體的光線平行，就可以看到虛像 (見圖二及圖三B)。物

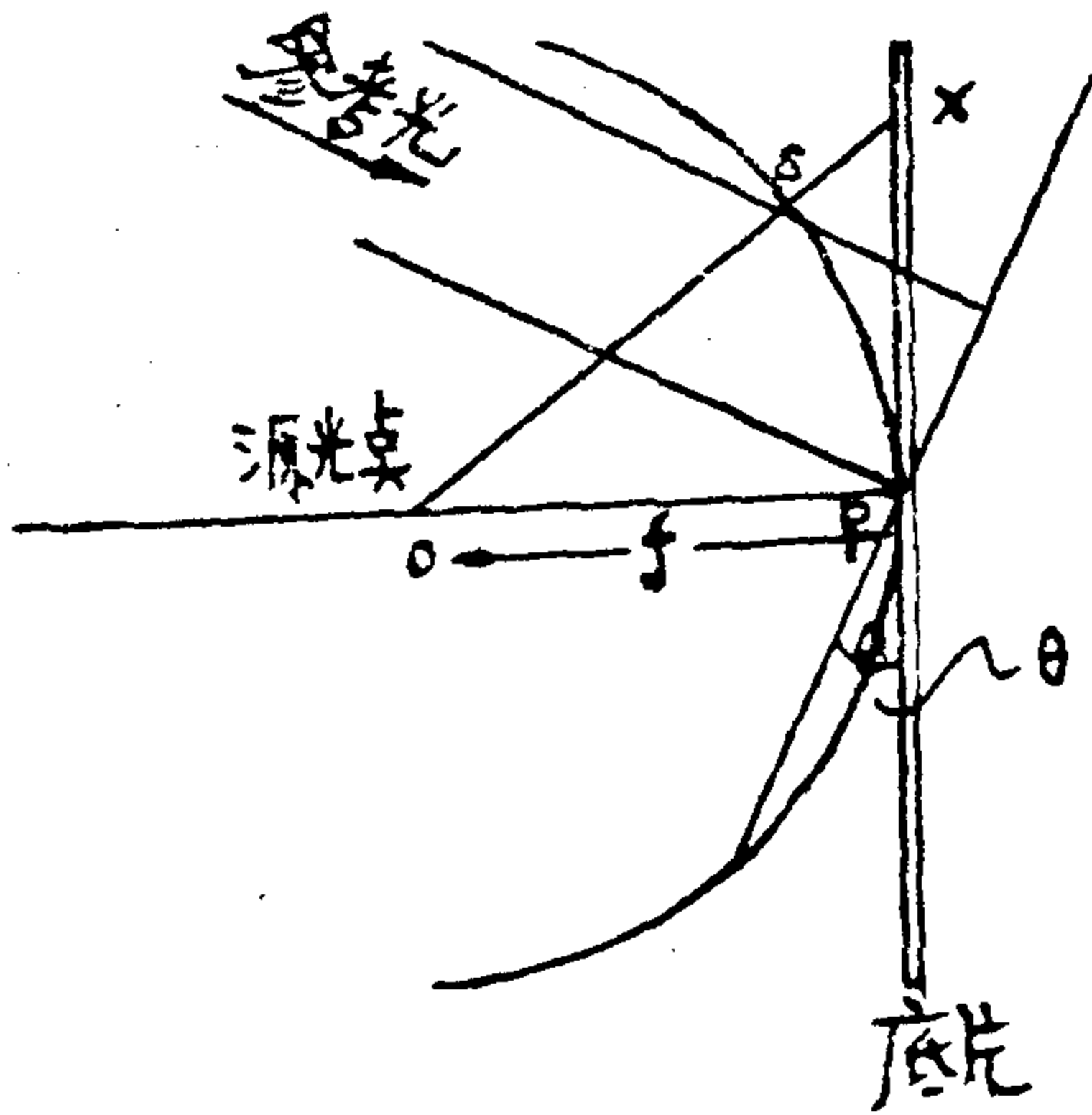




(圖三)

體上的每一點有其干涉條紋，而且能在相等距離重現虛像，因此能產生立體的影響。

二、點光源的相位分佈（見圖四）：（簡化為一



度空間) X 點的相差 (與 OP 比較) =  $\frac{2\pi}{\lambda} \cdot SX$

( $\lambda$  : 光之波長)

X 點的相差 (與 OP 比較) =  $(2\pi/\lambda) SX$

=  $(2\pi/\lambda) [(x^2 + f^2)^{1/2} - f] \sim \pi x^2 / f\lambda$

點光源振幅 =  $A(x)\exp[i\pi x^2 / f\lambda]$

參考光振幅 =  $A_0 \exp[-i(2\pi\theta/\lambda)x]$  ( $\theta \approx \sin\theta$ )

X 點的強度：

$$I(x) = |A(x)\exp(i\pi x^2 / f\lambda) + A_0|^2$$

$$\begin{aligned} & \exp(-i2\pi\theta/\lambda)x|^2 \\ & = A_0^2 + A^2(x) + 2A(x)A_0 \cos(2\pi\theta x/\lambda + \pi x^2/f\lambda) \end{aligned}$$

底片的穿透： $T(x) \propto I(x)^{1/2}$

r (transmittance) 為常數

若  $r = 2$ ,  $T(x) \propto I(x)$

$$\propto A_0^2 + A^2(x)$$

$$+ A(x)A_0 \exp\{i[(2\pi\theta x/\lambda) + (\pi x^2/f\lambda)]\}$$

$$+ A(x)A_0 \exp\{-i[(2\pi\theta x/\lambda) + (\pi x^2/f\lambda)]\}$$

$$= A_0^2 + A^2(x)$$

$$+ A(x)\exp[i\pi x^2/f\lambda]A_0 \exp[i2\pi\theta x/\lambda]$$

$$+ A(x)\exp[-i\pi x^2/f\lambda]A_0 \exp[-i2\pi\theta x/\lambda]$$

第一二項沒有什麼內容，第三項等於點光源所發出的  $A(x)\exp(\frac{i\pi x^2}{f\lambda})$ ，乘上常數  $A_0$ ，繞射角

$\theta$  而乘上  $\exp(\frac{i2\pi\theta x}{\lambda})$ 。也就是說，在與底面成  $\theta$  角處望去，光線似從原光點發出。第四項是一個在底片和觀察者之間的實像。

三、由此所得的為一完全顛倒的影像，所以利用所產生的實像再製一個底片，經過相同的過程，我們可以得到真正的原像重現。

四、當  $r \leq 2$  時，在不同繞射角有其他的影像 (higher order images)。影像重現時，使用的入射光必須與原參考光線相同。若使用另一波長的光，角度依布拉格 (Bragg) 公式  $2d \sin \theta = \lambda$  變化。

四、早期蓋柏法中，缺少上方的參考光線，底片所記錄的僅為  $A(x,y)e^{i\phi(x,y)}$  [ $\phi(x,y)$  相位分佈]

五、多色影像：使用數種不同波長的雷射在同一角度射向物體，同時以這幾種雷射作為參考光線，則每一種顏色各自形成干涉。多色影像重現時，紅色入射光經過原來紅光產生的干涉條紋與藍光經其條紋所生的影像重合於空間，至於紅光與藍光的條紋亦能產生影像，但在另一角度並無妨礙。

底片製作過程有許多細節。密西根大學李斯等有長期的研究 (見參考書籍二、三、四)

## 應用和發展

一、顯微照像方面 (Microscopy)：蓋柏教授因電子顯微鏡的分辨力 (resolution) 不夠，想用立體照像術來改進它用底片 (hologram) 把像差 (aberration) 攝下，則在此特定波長下能得到

很大的分辨力。此外，從前用發散的X光 (divergent X-ray) 來放大物體得到的結果不够清楚，分辨力只有  $1000 \text{ \AA}$ ，用立體照像術能使分辨力大增。

二、立體照像術能立刻把運動中物體的照片攝下，故能用以研究高速運動的微小粒子的形狀，此為立體照像術在質點大小的測量 (particle-sizing) 上的一項應用。

三、立體照像術能消滅透鏡像差，其法先用底片照一個被像差扭曲的像然後在影像，重現 (reconstruction) 時，將此底片置於攝片時與物體所有的相對位置上，則由像差產生的相差可以抵銷，而得到原物體的形狀。

四、與上同理，一個擋住視線的半透明體對物體的像產生的改變可以由立體照像術消除之。

五、如果你想把一頁書中的字母A全找出來，先做一個A字的底片，則書中A字來的光線和底片上的條紋抵銷，只剩下一個亮點。如每個字母用一種波形則所有書中的字母可以同時認出。

六、立體照像術最重要且應用最多的方面是對物體振動 (vibration) 的測量，一個在共振 (resonance) 中的物體經過立體照像術能使原來靜止的部分 (如節 (node)) 變成白色，運動部分 (antinode) 變成黑色。用這種方法我們會得到不少令人驚奇的結果，用這種方法我們也有辦法求出此物體的共振頻率，振動波形及振幅。

七、進展方面，現在已有了用三條光線的立體照像術，也就是 3-beam holography (二條參考光線)，這種方法只要一步 (普通立體照像術還要重現的手續) 就能得到像。此外，此法對相位差的靈敏度較高。

八、最近的一項進展能用日光代替雷射供影像重現，因為布拉格反射能選擇光線，若各色光線同時照在底片上，唯一反射的是原來造成底片時用的光線，所以當日光中含有與使用的雷射光相等波長的光時，影像仍可重現。

參考書籍

- 一、Wireless World Feb. 1967
- 二、E. Lieth & J. Upatnieks J. Opt. Soc. Am. 52, 1123 (1962)
- 三、同上53, 1377 (1963)
- 四、同上54, 1295 (1964)
- 五、Scientific Research, 1966

上接 41 頁 慣性

的體積卻非常大。例如太陽對慣性所產生的影響不過為全部的一億分之一。因此，重力常數實則告訴我們遠距離 (大於 200 英寸望遠鏡所能看到的距離) 物質的平均密度。

因此如果這些理論屬正確的，則在地球上作簡單的實驗，就能得到有幾極遠處物質的資料。這告訴我們可能宇宙對其他的物理現象有重大的影響。例如，電子所帶的電量 (Charge on an electron) 一向被視為常數 (fundamental constant)，像慣性一樣，被認為不受周圍環境的影響。但它很可能是長距離相互作用 (long-range interaction) 的結果。要是原子的性質確實可以遠處決定出來，則遠處物體影響局部性的物理現象 (local phenomena)，這些物理現象又可以供給我們遠處物體的資料。「由一粒沙，而窺大千世界」，科學家們將可由一個原子而知道整個宇宙！



物理館外觀

上接 31 頁 示波器分析

pull)。hp 120B 型的對稱放大電路就是用這種方法。用電場控制電子偏向的方法有上述幾項缺點。因此用在高頻率訊號的示波器改以由線圈產生的磁場來控制電子偏向及聚焦。

一般用的示波器可以量訊號的量，頻率，形狀及與另一訊號的相位關係 (phase difference)。為了適應特殊用途也可以加上特殊設計。為了上幾項用途得有電壓減低，訊號放大電路及鋸齒形訊號發生電路。附帶的，還有低壓及高壓直流電源電路以供給陰極射線管，訊號放大電路及鋸齒形訊號發生電路作用所需的電壓。