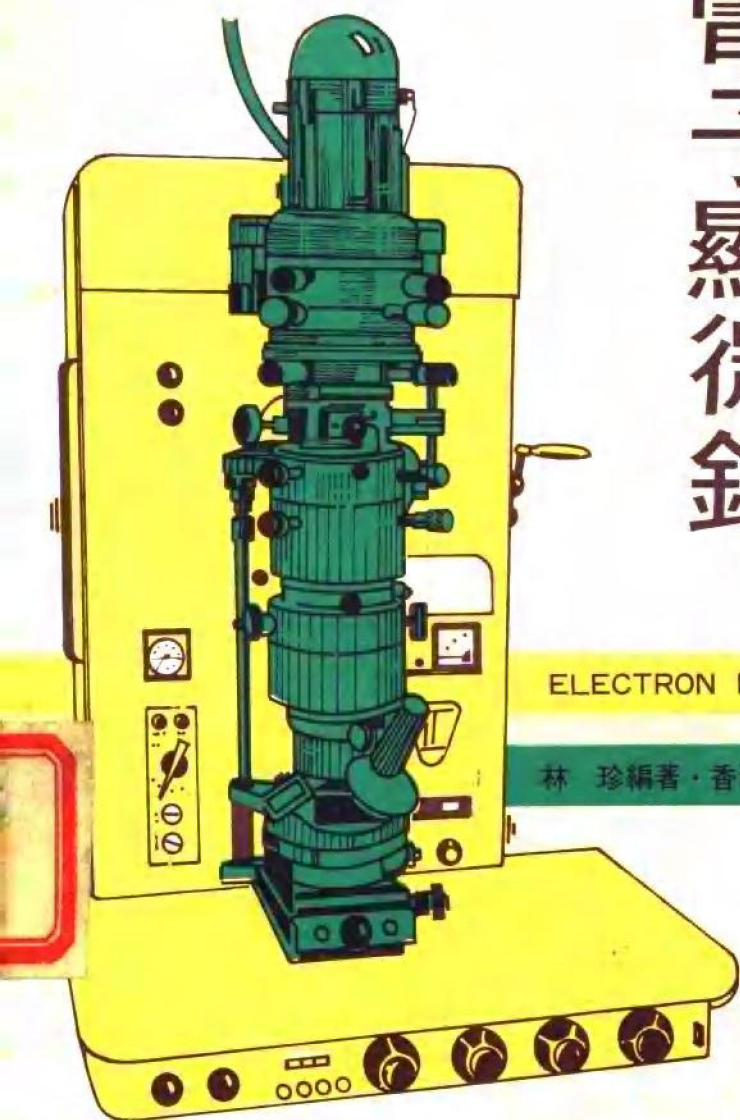


電子顯微鏡

ELECTRON MICROSCOPE

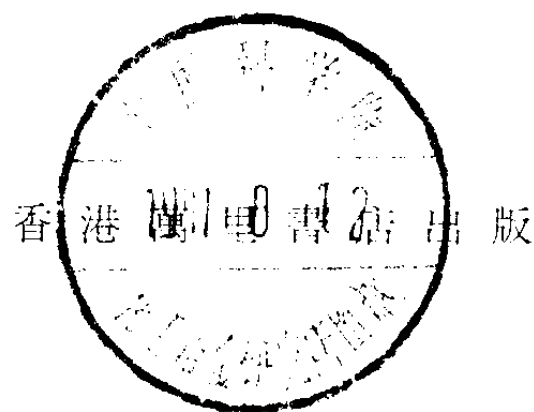
林 珍編著・香港廣里書店出版



78.11.21
335

電子顯微鏡

林 珍 編 著



電 子 顯 微 鏡

林 珍 編 著

出 版 者：香 港 萬 里 書 店

香港北角英皇道486號三樓

(P. O. BOX 15635, HONG KONG)

電話：5-712411 & 5-712412

承 印 者：新 華 印 刷 股 份 公 司

香港鰂魚涌華廈工業大廈四樓B座

定 價：港 幣 二 元 六 角

版 權 所 有 * 不 准 翻 印

(一 九 七 三 年 二 月 版)

序

電子顯微鏡是光學和電子學結合而產生的一種新科學儀器，由發明迄今，僅有四十年的歷史。它不同於普通顯微鏡（光學顯微鏡）的地方，主要是以電子射束代替光綫，以電磁透鏡代替光學透鏡，以達到放大物像的目的。由於它所用的電子射束的波長遠比可見光綫的波長爲短，是以電子顯微鏡的分像能力（顯微能力）比光學顯微鏡的分像能力强得多；光學顯微鏡以及任何科學器械看不見的東西，電子顯微鏡却可以清楚地看見。

在1932年間，當第一部電子顯微鏡面世的時候，它所放大的透視物影像，僅是一個模糊的黑影，而且放大的倍數並不怎樣高。自此以後，經過科學家不斷研究改良，電子顯微鏡遂漸漸成爲完善的觀察器械。時至今日，形體微小到近乎原子的東西，電子顯微鏡也可以把它的影像清晰地顯示出來了。

賴有電子顯微鏡，我們知道了許多物質的基本結構，知道了許多濾過性病原體的底蘊，知道了生物學上許多奇妙的活動和變化。近幾十年來，科學之所以能有長足的進步，得電子顯微鏡之助實非淺鮮。雖然，到目前爲止，我們仍然未能透過電子顯微鏡而窺見原子的秘奧，但大家都

相信，這一天恐怕也爲期不遠了。

首先面世的第一部顯微鏡是發射式電子顯微鏡——這種電子顯微鏡利用一枝電子鎗發射出一條電子射束去照射透視物，再由各種電磁透鏡系統將電子射束聚焦成像，然後將物像加以放大，其放大過程與光學顯微鏡大致相同。電子顯微鏡雖然有若干不同的類型（如發射式、掃描式等等），但以發射式的類型最爲普遍，而且比較容易了解，現時大多數實驗室所用的電子顯微鏡，實際上都是發射式電子顯微鏡。本書的目的是使一般讀者對通用的電子顯微鏡能有基本的認識，所以特以發射式電子顯微鏡作爲論述的對象，至於其他類型的電子顯微鏡，因篇幅關係，只好從畧。

本書分爲三部份：第一部份論述電子顯微鏡的基本原理；第二部份論述電子顯微鏡的基本結構；第三部份論述電子顯微鏡的操作和檢校，俾讀者在理論方面和實用方面都能獲得一些基本的知識。爲了使讀者易於理解，本書盡可能地避免使用高深的算式和專門術語，若萬不得已而使用時，亦必詳加註解，務期通俗易懂。

電子顯微鏡本來是一種極爲複雜的科學儀器，其理論和實用都涉及高深的光學和電子學，外行人士想全盤徹底了解它，這本小書也許無法滿足他們的願望。不過，有心向學的讀者如讀完這本小書後再求深造，一定會得到許多方便。

林珍 1972年9月1日於香港

目次

序.....	1
一、電子顯微鏡的原理.....	5
何以要用電子？.....	5
電子透鏡.....	13
限制電子顯微鏡性能的因素.....	18
二、電子顯微鏡的構成部份及其作用.....	34
電子鎗.....	38
聚焦透鏡系統.....	42
透視物室.....	44
對物透鏡.....	45
對物透鏡的孔徑.....	46
投影透鏡系統.....	47
觀察室和攝影機.....	50
像散校正器及其性能.....	53
電磁偏轉器.....	55
三、電子顯微鏡的檢校和操作.....	60
照射系統的檢校.....	60
電磁透鏡的檢校.....	61
電磁干擾.....	63

機械干擾	64
電磁透鏡和透視物的染污	66
檢查真空系統，慎防漏氣	67
分像能力	68
電力顯微鏡的操作	69

序

電子顯微鏡是光學和電子學結合而產生的一種新科學儀器，由發明迄今，僅有四十年的歷史。它不同於普通顯微鏡（光學顯微鏡）的地方，主要是以電子射束代替光綫，以電磁透鏡代替光學透鏡，以達到放大物像的目的。由於它所用的電子射束的波長遠比可見光綫的波長爲短，是以電子顯微鏡的分像能力（顯微能力）比光學顯微鏡的分像能力强得多；光學顯微鏡以及任何科學器械看不見的東西，電子顯微鏡却可以清楚地看見。

在1932年間，當第一部電子顯微鏡面世的時候，它所放大的透視物影像，僅是一個模糊的黑影，而且放大的倍數並不怎樣高。自此以後，經過科學家不斷研究改良，電子顯微鏡遂漸漸成爲完善的觀察器械。時至今日，形體微小到近乎原子的東西，電子顯微鏡也可以把它的影像清晰地顯示出來了。

賴有電子顯微鏡，我們知道了許多物質的基本結構，知道了許多濾過性病原體的底蘊，知道了生物學上許多奇妙的活動和變化。近幾十年來，科學之所以能有長足的進步，得電子顯微鏡之助實非淺鮮。雖然，到目前爲止，我們仍然未能透過電子顯微鏡而窺見原子的秘奧，但大家都

相信，這一天恐怕也爲期不遠了。

首先面世的第一部顯微鏡是發射式電子顯微鏡——這種電子顯微鏡利用一枝電子鎗發射出一條電子射束去照射透視物，再由各種電磁透鏡系統將電子射束聚焦成像，然後將物像加以放大，其放大過程與光學顯微鏡大致相同。電子顯微鏡雖然有若干不同的類型（如發射式、掃描式等等），但以發射式的類型最爲普遍，而且比較容易了解，現時大多數實驗室所用的電子顯微鏡，實際上都是發射式電子顯微鏡。本書的目的是使一般讀者對通用的電子顯微鏡能有基本的認識，所以特以發射式電子顯微鏡作爲論述的對象，至於其他類型的電子顯微鏡，因篇幅關係，只好從畧。

本書分爲三部份：第一部份論述電子顯微鏡的基本原理；第二部份論述電子顯微鏡的基本結構；第三部份論述電子顯微鏡的操作和檢校，俾讀者在理論方面和實用方面都能獲得一些基本的知識。爲了使讀者易於理解，本書盡可能地避免使用高深的算式和專門術語，若萬不得已而使用時，亦必詳加註解，務期通俗易懂。

電子顯微鏡本來是一種極爲複雜的科學儀器，其理論和實用都涉及高深的光學和電子學，外行人士想全盤徹底了解它，這本小書也許無法滿足他們的願望。不過，有心向學的讀者如讀完這本小書後再求深造，一定會得到許多方便。

林珍 1972年9月1日於香港

目 次

序.....	1
一、電子顯微鏡的原理.....	5
何以要用電子？.....	5
電子透鏡.....	13
限制電子顯微鏡性能的因素.....	18
二、電子顯微鏡的構成部份及其作用.....	34
電子鎗.....	38
聚焦透鏡系統.....	42
透視物室.....	44
對物透鏡.....	45
對物透鏡的孔徑.....	46
投影透鏡系統.....	47
觀察室和攝影機.....	50
像散校正器及其性能.....	53
電磁偏轉器.....	55
三、電子顯微鏡的檢校和操作.....	60
照射系統的檢校.....	60
電磁透鏡的檢校.....	61
電磁干擾.....	63

機械干擾	64
電磁透鏡和透視物的染污	66
檢查真空系統，慎防漏氣	67
分像能力	68
電力顯微鏡的操作	69

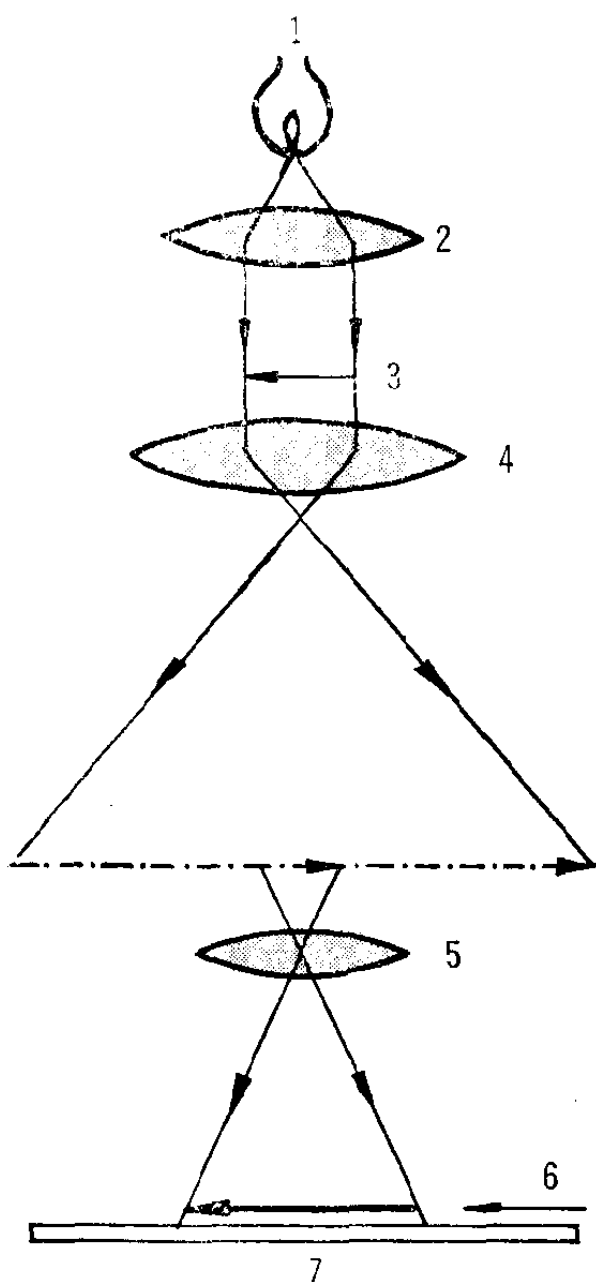
一、電子顯微鏡的原理

何以要用電子？

顯微鏡是一種利用放大鏡而觀察微小物體的器械，大致可分為兩種：一種是光學顯微鏡(Optical microscope)，另一種是電子顯微鏡(Electron microscope)——前者是由光線來做放大影像的工作，後者是由電子來做放大影像的工作。

我們為什麼要用電子來放大物體的影像呢？要回答這個問題，首先就要弄清楚光學顯微鏡的「顯鏡限度」(即放大能力的限度)。結構簡單的投影式光學顯微鏡(Projection optical microscope)，其主要構成部份是一個光源(Light source)、一個聚焦透鏡(Glass condenser)、一個對物透鏡(Objective lense)和一個投影透鏡(Projector lense)，情形如圖 1 所示。這些構成部份都經過妥當的安排和配合，使位於對物透鏡和投影透鏡之間的放大影像，清晰地被投射到用磨沙玻璃造成的顯影幕上。

光波經過顯像系統時因為受到繞射(Diffraction)的緣故，物體上面的某一點通常都不會一模一樣地重現於它的影像上面——重現於影像上面的已不是物體原來的那一



1. 燈光
2. 聚焦透鏡
3. 透視物
4. 對物透鏡
5. 投影透鏡
6. 最後的影像
7. 磨沙玻璃顯影幕

圖 1 簡單投影光學顯微鏡概畧圖

點，而是一個細小的光盤；此種現象首先是由科學家艾黎 (Airy) 氏發見的，故稱「艾黎氏光盤」(Airy disc)。這光盤有一個明亮的中心，外面有一圈圈的光環圍繞着，明暗相間，一路向外擴散。光盤上的光度分佈如圖 2 所示。光

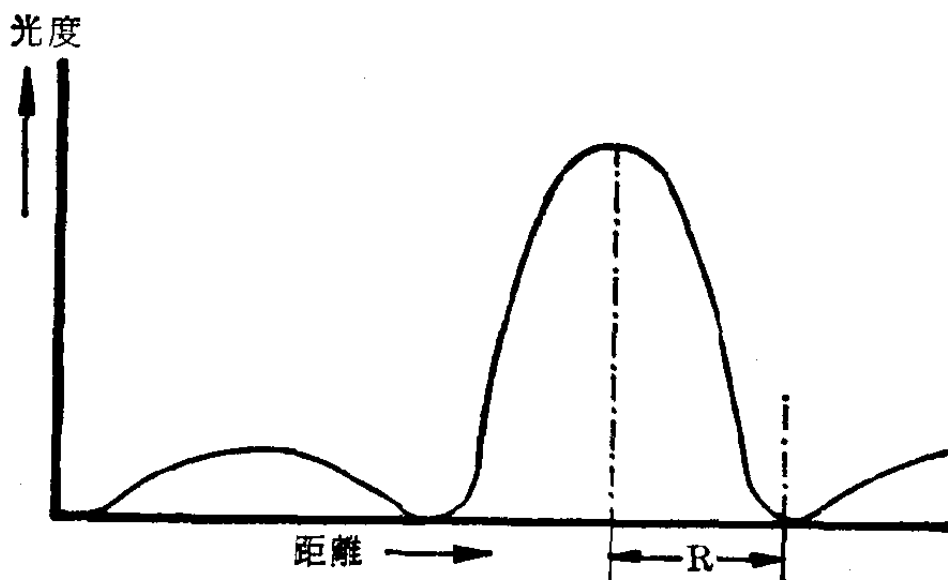


圖 2 艾黎氏光盤的光度分佈圖。

盤中心最亮之處和最暗之處的距離 R 可依下式而求得：

$$R = \frac{0.612\lambda}{n \sin \alpha} \dots\dots\dots (1)$$

上式中的 λ 表示由光源發射出來的光波波長； n 表示物體所在空間（即發光點和透鏡之間的自由空間）的媒質對光線的折射指數 (Refractive index)； α 表示光錐 (Illuminating pencil) 的孔角 (Aperture angle)——即從透視物到對物透鏡 (Objective lense) 前面被收到的光錐角的一半。

顯像系統的分像能力 (Resolving power)——即顯微鏡的顯微能力——通常都作如下的解釋：在一個顯像系統之下，物體上面距離最短的兩點如能分別被清晰地看見，我們便說這顯像系統具有良好的分像能力，如果這兩點不能分別被清晰地看見的話（如兩點的輪廓模糊，或者是交疊在一起），我們便說這顯像系統沒有良好的分像能力。

除此之外，分像能力還可以用前述的艾黎氏光盤 (Airy disc) 來加以解釋。根據這種解釋，在某一個顯像系統之下，物體上的兩點由於光波的繞射作用，其所顯現的影像不是原來的兩點，而是兩個艾黎氏光盤，每一個光盤的中心最亮之處和最暗之處的距離是 R (請參看圖 3)。如果其中一個光盤的中心最亮之處與另一個光盤的中心最暗之處僅相接合，即這兩個光盤的中心最亮之處的距離不小於 R (請參看圖 3)，換言之，兩個光盤彼此密邇相接而又不互相重疊，則該物體上的兩個光點即能清楚分辨，在這種情形之下，這顯像系統便具有良好的分像能力；如

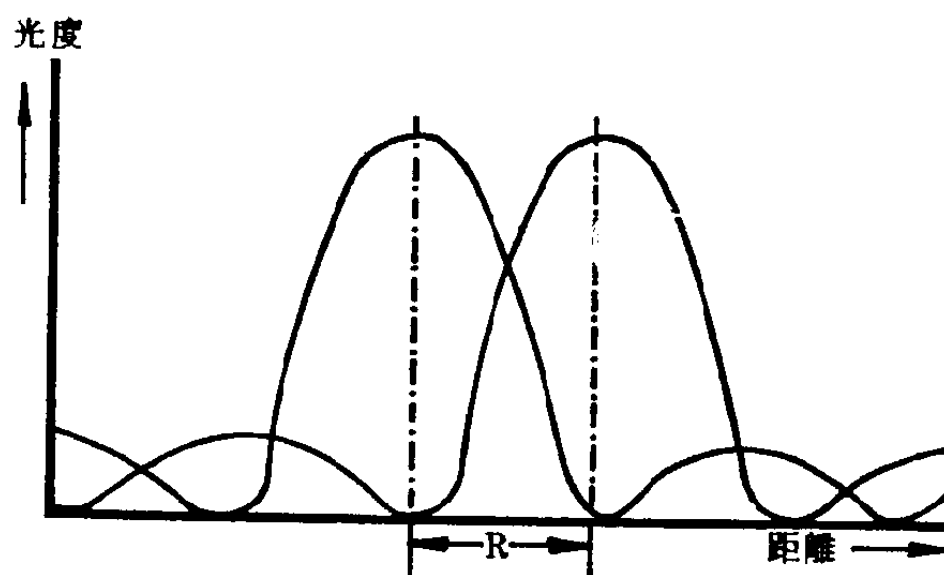


圖 3 兩個互相鄰接艾黎氏光盤的光度分佈圖。圖中兩條曲線的最高峯表示兩光盤中心部位的最光亮處，曲線的最低處表示光盤中心部位的最暗處，注意第一條曲線的最高峯(即第一光盤中心部位的最光亮處)和第二條曲線的最低處(即第二光盤中心部位的最暗處)是相合的。

果不是這樣，即兩個光盤的中心距離小於 R 時，顯像系統便沒有良好的分像能力了。由此可知，光學顯微鏡的顯微能力（分像能力）是由前述第（1）方程式中的 R 決定的。這個方程式明白地告訴我們：如果影像上兩個最接近的光點的距離小於 R 時，光學顯微鏡所顯示的影像就變成模糊不清了。

在理論上，影像上兩個相鄰接的光點，其中心距離越小，顯微鏡的分像能力就越強，但這距離無論如何不能大過第（1）方程式中的 R 。如欲使顯微鏡的性能優越，能觀察到最細微的事物，我們惟有盡量減小 R 的數值；但根據 $R = \frac{0.612\lambda}{n \sin \alpha}$ 這個方程式， R 是由 λ （光綫的波長）、 n （透視物所在空間光綫媒介之折射指數）以及 $\sin \alpha$ （光錐的孔角）所決定的，我們要減小 R 的數值，惟有從這三個因素着手。從這算式來看， R 與光綫的波長成正比，與空間的折射指數及光錐的孔角成反比。這是說，如果要減小 R 的數值，使顯微鏡獲致優越的分像能力，我們惟有一方面盡可能地縮短光綫的波長，而在另一方面則盡可能地增大空間之折射指數（如以油代替空氣）和光錐的孔角（使其盡可能接近 90° ）。換言之，光綫的波長越短，空間（對物透鏡與透視物之間）光綫媒介之折射指數以及光錐孔角越大，顯微鏡的分像能力便越是優越。

但光學顯微鏡是用可見的光綫來做顯像工作的，光綫的波長再短也不能短過紫外綫，其通常所用光綫的波長大約在 500nm （註）左右，而 n 和 $\sin \alpha$ 的乘積（稱為「數值孔

徑」——Numerical aperture) 極其量僅得1.4的數值，若將這些數字代入上式，則R大約等於200nm。換言之，目前普遍使用的光學顯微鏡，其分像能力僅在200nm左右，如欲再增進其分像能力，我們便要設法將R的數值減小至200nm以下。

在理論上，顯微鏡的分像能力可以無限制地加以改進，只要我們依據前述的第(1)方程式把R的數值盡量削減，即縮短光綫的波長(λ)和增大數值孔徑(n 和 $\sin \alpha$ 的乘積)便可達到目的。但實際上，我們這樣做時，却遭到極大的困難。第一，不論我們怎樣加大光錐的孔角和空間的折射指數，數值孔徑的數值極其量只能達到1.4；第二，可見光綫的波長不能短過某一個限度，即使我們用到看不見的紫外綫(紫外綫的波長比任何可見光綫的波長

(註)這裏的 nm 是 Nanometre 的簡寫，為科學上的長度單位，等於一公尺的十億分之一(1×10^{-9} metres)，它與其他光學上常用長度單位的關係如下：

$1 \mu\text{m}$ (Micrometre) = 1×10^{-6} metres = 一公尺的百萬分之一。

1 nm (Nanometre) = 1×10^{-9} metres = 一公尺的十億分之一。

$1 \text{ \AA}$ (Angstrom) = 1×10^{-10} metres = 一公尺的百億分之一。

1 pm (Picometre) = 1×10^{-12} metres = 一公尺的一萬億分之一。