

鮑里萬諾夫報告

華南農學院圖書館藏

3. 鮑里萬諾夫同志的報告

一九五五年十月五日

1. 目前之應用的一種極重要的儀器。

2. 現代，電子顯微鏡在技術和科學各領域中得到了廣泛的應用，例如化物理學，化學，生物學，醫學上等。

3. 第一架電子顯微鏡是將近二十年前製成的，在這短短的二十年內，用電子顯微鏡獲得了一系列的發現，電子顯微鏡發現了濾過性病毒，細菌的內部結構，電子顯微鏡也研究了金屬的結構，電子顯微鏡使我們有可能觀察到大的有機分子，結晶的點陣排列。

4. 電子顯微鏡的車大意義就在於，它有可能研究超顯微標本，有效放大倍數比普通最好光學顯微鏡大一〇〇——二〇〇倍。

5. 大家知道，普通光學顯微鏡的放大倍數在最好情況下也不過能放大一〇〇〇——一五〇〇〇倍，為什麼不能在普通的光學顯微鏡中增加一些透鏡而使它的放大倍數超過一千（一〇〇〇〇——一五〇〇〇〇）——一千五百倍呢？增加它的放大倍數是可以的，但是這時在顯微鏡裡我們不會看到，新的，更小的東西，因為光學顯微鏡的鑑別率被光的波長所限。

6. 顯微鏡把靠近兩點分開辨別的距離愈小那麼它的鑑別率就愈高，普通光學顯微鏡的最小分辨的距離不能小於二〇〇〇 公式  $\Delta r = 1.02 \lambda \sin \alpha$  距離小於二〇〇〇埃的兩個質點在顯微鏡中看起來，如似互相混合的一點。而我們不論用光學顯微鏡把它們放大多少倍，要分別地看見它們已經是不可能的了，這是因為這兩個質點的距離小於光學顯微鏡的最小分辨距離。

爲了說明這種現象，就必須提到普通可見光乃波長四〇〇〇——七〇〇〇埃的電磁波。從物理學上我們知道，當光線通過障礙物或狹縫時如障礙或狹縫不多和波長相等時，光線就不遵守直線傳播的法則了，而產生了 射現象（也稱衍射現象）。

這種現象的產生是這樣的：當被觀察物，兩質點間的重疊距離，變得很小而近於光的波長時，一質點的衍射光圈，就要蓋到另一質點的 射光圈上，於是兩質點的影像就變成一個斑點了。理論計算證明，最小分辨距離在最好的情況下，總不能小於所用光線波長的一半。

（最小分辨距離）  $\Delta r_{\text{min}}$  （波長）

如果用紫外光的話，其波長四〇〇〇埃，那麼最小分辨距離將是二〇〇〇埃左右。

人眼最小的分辨距離是  $0.2\text{mm}$ （公厘）如果兩質點的距離將近  $0.2\text{mm}$ ，那麼如果放在人眼明視距離處（正常人眼明視距離大約爲二五  $\text{cm}$ ），人眼可以很清晰地把它們分開，假如兩質點離得比  $0.2\text{mm}$  更近，那麼對人眼來說，已經是混成一個斑點了，人眼分辨本領的有限，是由於我們眼睛的生理性質所決定的。

現在我們可以了解，為什麼光學顯微鏡的有鏡放大是有限的了，因為要使眼經過顯微鏡能夠看清微小的觀察物，必須使顯微鏡把它清楚地放大到人眼分辨本領所要求（的尺寸。即  $0.2\text{mm}$ ，假如顯微鏡的最小分辨距離——二〇〇〇埃，那麼顯微鏡的有效放大。

$$M = \frac{0.2\text{mm}}{2000\text{\AA}} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-7}} = 1000$$

這樣一來，顯微鏡的有效放大就等於人眼分辨率除上顯微鏡的分辨率。

1.3. 如果在光學顯微鏡上多加幾個透鏡使它具有更大的放大倍數，那麼我們將看到僅僅在尺寸上放大的影像，但我們却不會發現新的更小的細節，這就說明了為什麼顯微鏡的有效放大是有  
限的，因為繼續放大是毫無意義的了。

爲了增加有效放大倍數必須增大顯微鏡的分辨本領，因爲分辨本領決定着有效放大倍數。上面已經講過，顯微鏡的鑑別率爲波長所限， $(\lambda = 0.5 \mu)$ （波長）。

顯然，爲了提高鑑別率（也就是縮小距離），就必須縮小鐳鏡所用光線的波長。

這樣一來，很煩製一架這樣

的顯微鏡：即不用普通光線，而採用波長最短的其他光線。

我們知道，正像物理學上所表明的快速飛行三的質點拌隨着波的過程，其波長爲下列公式所規定

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

在這裡，  
席教：

( $\Gamma = 6.55 \cdot 10^{-27}$  價格/噸) (5d 的單位)

3、運動質點的質量，公式爲

$$\frac{12-1}{2} = 5$$

質點的速度：

1.2. 如果電子在強力的電場中得到加速，那麼它們能達到一〇〇〇，〇〇〇——二〇〇〇，〇〇〇公里每秒（ $\text{km/sec}$ ）的高度與這樣速度相當的電子波長按照上列公式的計算將是十分小的，大約

是  $0.05 \pm 0.1^\circ$  (埃) 即等於普通可見光波長的十萬分之一。

1.8 如果能製一架不用普通可見光線而用電子射線的顯微鏡，那麼這種顯微鏡的鑑別率 and 有效放大將大很多倍。

1.9 數學計算和物理實驗表明，可能找出這樣的電場或磁場，它們將像玻璃透鏡對光線所起的作用一樣，對快速飛行的電子起同樣進取作用。

2.0 這一發現使我們有可能製造電子顯微鏡，這種顯微鏡不用普通的光線而用電子射線，不用玻璃透鏡而用磁透鏡或靜電透鏡，由於爲此而用的場之不同——電場及磁場——電子顯微鏡分爲磁性和靜電的。

2.1 圖一、(鋼的電子顯微鏡學三十五頁，第十三圖) 是磁的和靜電的電子顯微鏡原理線路圖。爲了較比一下，用光學顯微鏡的圖來說明(只做簡單的介紹和零件的用途)

2.2 上面以表明相當於快速電子波長要比光的波長大約到一〇〇，〇〇〇倍可以想像電子顯微鏡的鑑別率 and 有效放大倍數也可以達到一〇〇，〇〇〇倍而並不是這樣。最好的電子顯微鏡的鑑別率能達到一〇——二〇埃而有效放大倍達到一〇〇，〇〇〇——二〇〇，〇〇〇倍，也就是說比光學顯微鏡增大一〇〇〇——二〇〇〇倍。上面已經說過，快速飛行電子的波長比光波長要小十萬倍，那麼是否說電子顯微鏡的分鑑別率及有效放大倍同樣可以增大十萬倍呢？然而沒有

達到這個目的。現在最好的電子顯微鏡較小的，放大率可到 $10^4-20 \times 10^4$ （埃），其相當的有效放大等於 $10^4, 10^5, 10^6, 10^7, 10^8$ 倍即比光學顯微鏡的有效放大只增大了 $10^4-10^8$ 倍，其原因在於電子的透鏡不完善，假如說，現代光學玻璃透鏡製造得很完善，而光學顯微鏡的放大率只被波長所限，那麼現代電子的透鏡就還沒有達到這種技術規格的，電子透鏡的放大率首先就被電子透鏡質量的不完善所限。電子透鏡的像差和色像差以及經過光柵小孔時，電子衍射等，這些原因都是本身所具有的特徵性的而且也是不可能消除的。理論證明，由於這三個主要原因，電子顯微鏡的放大率不能再小於  $3-4 \times 10^4$ （埃）。

除上述三個規格上的原因外，還存在着其他一系列的技術規格的原因，這些原因也限制了電子顯微鏡的放大率。

1. 製造透鏡機械的不完善（不準確）。

2. 製造透鏡應用的材料損傷不均性，

3. 透鏡各部分調整的不準確。

4. 各方面磁場的影響。

5. 在電子照射下樣本本身的不穩定。

#### 6. 顯微鏡電源的不足。

這些原因綜合在一起就限制了電子顯微鏡的分辨率。雖然如此，電子顯微鏡還是相當大地發展了研究界限，並用電子顯微鏡已得到一系列的發現。

有電子顯微鏡大致都是由下列三部分構成：

1. 電子光學系統或顯微鏡鏡筒：

2. 真空系統。

3. 供電設備。

4. 11. (Jessen, 139頁、圖三、五七) 是  $300-1000$  型高能電子顯微鏡鏡筒截面圖。(鏡筒裏層的簡短說明)

電子來源是陰極——陰極片是加熱的特殊形狀的鎢絲：

圖三便是陰極 (Jessen, 141頁、三、五九圖)

從陰極射出的電子，受到陰陽之間的強電場的作用，加在陰陽極之間的高壓使電子加快（到最大速度），因此高壓還可稱為加速電壓。 $300-1000$  型的最高加速電壓，為十萬伏，陰陽極便是（所說的）電子槍。

調整陰極在兩個互相垂直水平方向移動。

電子經過陽極按慣性等速前進。

爲了使電子自由前進（通行無阻）必須把鏡筒內的空氣抽出，在工作時鏡筒內真空程度達到水

銀柱五·一〇四

電子槍下面是磁性聚光透鏡（圖四），借助於聚光透鏡，使電子射線聚在標本上，光學系統包括電子槍和聚光透鏡，整個光學系統好似一體的東西，當可以在兩個互相垂直水平方向移動。（圖四下面是圖一）其次把光傾斜在兩個互相無直方向（圖四上面的兩個傾斜），這樣光源系統做爲圓錐形光線移動，在聚光和接物透鏡之間裝設標本，圖五（書冊圖七）是接物透鏡和裝標本的機械部份，由於顯微鏡筒處於真空狀態，因此裝放標本有很多困難，由於顯微鏡構造複雜，因此換標本時必須放空氣。這一點也很麻煩，因爲每次抽空都得花費很多時間，而

——〇〇型

子顯微鏡設有裝換標本的特殊機械，我們稱這爲開門機械（圖五）在裝標本時往鏡筒內的開門小放小許空氣（開門容積大約爲十立方釐米，而整個鏡筒的容積約五〇〇立方釐米……首先依次移標本，然後移到鏡筒去。換標本後，開門系統要回到工作真空不到一分鐘，這樣就會大大地減輕並速了顯微鏡的正常工作。

標本本身放到換標本器上。圖六（Neegres

圖六頁，三六一圖），標本尺寸大約爲二公釐。

標本被觀看部份的尺寸爲一、五—二微米（這與放大倍有關）爲了觀察標本各部，我們用控制台上的兩個樞紐，做兩互相垂直水平方向移動。

接物透鏡是顯微鏡的主要透鏡，在這裏標本影像得到第一次放大（圖五），這透鏡的磁場是用通過線圈的直流電形成，極靴是供磁場所需強度及磁場的結構，極靴是由鎢莫合金做成。

接物鏡內的極靴是顯微鏡的最重要部份也可說是心臟，因此在製極靴時要求嚴格地準確，例如對材料質量的要求等一二五。接物透鏡的光闌在電子顯微鏡內對影像的形成起很主要的作用。光闌放在標本後面。（圖七。Jescies 十九頁。[111圖]）一部份電子經過標本後與標本分子不相互作用，通過標本後的那些電子還保持原來的方向和原來的速度，但另外一部份電子在標本分子作用下離開了原來的路線或稱「散射」，在標本很厚或密度很大的地方有很多很多的電子散射了，而在標本薄或密度小的地方電子散的就少（圖八——Jescies 二十頁。圖十四）

光闌（圖七）孔眼很小，即  $0.01\text{mm}-0.05\text{mm}$  它的直徑隨顯微鏡的不同而言。光闌挡住了所有偏離的也就是散射的電子，這些電子就不會落到螢光屏上成像，只有那些沒有散射的電子才能通過光闌成像（更準確些就是這些電子的路徑與軸成角度，不大於孔佳角）如果將標本上的電子束的密度是標的那麼通過有光闌以後它的密度就不一樣了這直接影響標本的結構，通過標本厚的或密度大的地方電子要少些而通過標本薄的或密度小的地方，電子就多一些，這樣一來，在螢光屏上將會出現和標本各部分相對應的明暗的地方，因此因光闌就保證了影像的對比（視度），爲了調整方便，光闌挾持器可做兩個互相垂直水平方向

移動 借助於三個樞紐沿光軸可上下及水平移動（圖五）

圖九（插圖冊·圖八）是下一個透鏡——投影透鏡，在投影透鏡的進口處是中間幕。在中間幕上可以看到第一次放大像。這是經接物透鏡放大的。投影透鏡再把這影像放大到四〇〇〇倍。萬能電子顯微鏡的特點，就是它可有節率地逐漸由二〇〇倍放大到四〇〇〇〇倍。這是由於在投影透鏡內輪換極靴而得到保證的。借用於兩個樞紐來換極靴，不致破壞真空。用換極靴的辦法來改變放大數有均勻地改變放大倍必改變透鏡線圈內的電流。

電子經過投影透鏡後，就打到螢光幕上。螢光幕上的影像可以幾個窗口看到（圖二）。必要時，影像還可以照像。為此，在螢光幕下設有照像極靴（圖二）。照像盒內裝有十二張照像底片。換照像底片不致破壞真空。還有一個小計算器用來計算已暴光的底片（照過的），照像底片尺寸為六五×九 而尺寸為六三×八三cm。

36 真空系統是顯微鏡的第二個主要部分，因為真空系統保證了鏡筒內真空必須達到水銀柱5104mm用兩個油石抽成真空。這樣高的真空一級是靠兩個先後工作的抽氣石得到的，即：初級真空旋轉油泵抽成初真空，而真空擴散泵抽成高真空。由於顯微鏡鏡筒和真空系統大約有五十個接合處，所以空氣很容易進去。正因如此，顯微鏡上作時兩個抽氣泵都在不停地工作。顯微鏡內的真空有動平衡的性質。

37 電子顯微鏡的第三個主要部份是供電裝置，供電裝置由高壓電源、鏡電源以及一些其他輔助

線路等組成。新式的電子顯微鏡採用三萬到十萬伏的高壓。其他各別的顯微鏡還要有更高的高壓。十分重要的是使電子顯微鏡的電源穩定如雷，不穩定我們不能得到很清晰的影像現代估計穩定高壓門不穩定性為  $0.01\%$  而透鏡電流為  $0.004\%$  為了穩定電源採用了十分複雜

的線路。這線路裏包括了微磁穩定器，也包括了電子穩壓器和電子穩流器。

圖十 (Anson Chen, Nishikawa, Yen, JEM-100)

圖(11)是 JEM-100 型電子顯微鏡

的供電設備線路圖。從這線路證明，電子顯微鏡的供電裝置，在技術方面是十分複雜，還包括高壓的穩壓和穩流技術。為使供電設備很完善，我們必須有很高的技術水平（這任務很繁重）。要想詳解供電設備及線路經過幾次的講解，而在這一次報告內是不能講明全面問題的。

從 JEM-100 型顯微鏡的構造上我們可以想像，顯微鏡是很複雜的儀器，即包括光學系統部份，也包括真空機構，還有十分複雜的電路部份，因此電子顯微鏡要求有相當高的技術水平本領及如何來使用和保養。

30X3M-1100 型萬能電子顯微鏡鑑別率為  $50 \times$  (埃) 在最好的條件下鑑別率可達到  $300 \times$ ，有效放大為  $40000 \times$  倍，它之所以稱為萬能的是因為它能用各種方法來觀看標本：如透射電子透過標本之意，反射（電子從花觀察的標本上反身出來）射方法還得到像同時可得

陽像和陰像放大倍數前已經講過，能從  $200 \times$  倍逐漸放大到  $40000 \times$  倍。這樣我們可從普通光學到超光學的放大。擁有  $100000 \times$  大的高壓便有可能觀看比較厚的標本，而擁有比較低的高壓就

不能觀看厚的樣本了。

所有電子顯微鏡的構造大體很相似，所包括的各部份都一樣如電子光學部份真空系統，和供電設備等。

因此，經過這不詳，1100型電子顯微鏡構造的詳細介紹，以後，我們就不再介紹其他

型的電子顯微鏡了，因為在蘇聯還製造出其他很多類型的電子顯微鏡。

31 圖1100型電子顯微鏡是最新型的，它在北京、上海都展出過，現在在廣州蘇聯展覽

也參加了展出，圖十一是消架電子顯微鏡的整件外觀（Meeress 136頁三、五四圖除

1100型為電子顯微鏡在蘇聯還製造其他類型的電子顯微鏡，最普遍的如113型，它的

件外觀用圖十二表示（Meeress, cnp. 114、118、131型電子顯微鏡

差別為113A°以上，最高電壓為50000伏，最高放大倍數為25000倍。

32 圖十三（Meeress 163頁，三、七八圖）是MOM-150型的小型電子顯微鏡，它的特

是尺寸很小，並且簡單，最高電壓50000伏，產別率可達100-150A°，放大倍可達1

000倍。

33 圖十四（Meeress 110圖，圖四、117）是113CM-150靜電式電子顯微鏡比起上述

電子顯微鏡，它的特點是電子透鏡不用磁場而用很強的靜電場，它的優點是可以用來研究磁性和物，但在磁性的電子顯微鏡中磁性樣品使物鏡磁場曲（即失真），因而不可能得到好的影像。

150型爲顯微鏡的最高電壓爲5000伏，差別率可達到50—80Å，放大倍數可達3000倍。

34 MEE 175型發射式電子顯微鏡 在這種顯微鏡裏觀察物體本身就是電子顯微鏡的陰極，極顯微鏡用以研究各種陰極的發射性能，最高電壓爲7500，差別率可達500Å。放大倍可達4000倍。

35 製造電子顯微鏡所研究的標本（樣品）是很困難，且複雜的，製標本的技巧首先要考慮特殊條件，高真空，加熱，電子對標本充電，標本電離，最終還受對電子的透明性限制。

爲了使擁有50000—100000伏速度的電子通過標本後速度發生了很小的變化，標本厚度必須不超過100—300Å。

在電子顯微學上對標本要求的特殊，以致不能採用普通光學顯微鏡方面的很豐富的經驗來製備標本的標本。

製造電子顯微鏡標本的技巧是很複雜和形形色色的，這次報告沒有提到製標本的要點而且只這次報告中我們也不可能詳細說明這個問題。

36 爲了比較一下請大家看看很光滑的鋁表面的影像圖（圖十六）Meeke 五二三頁一〇、一二圖

在光學顯微鏡內放大一五〇〇倍（十七圖）Meeke 五二三頁一〇、一二圖是在電子顯微

鏡內影像放大四〇〇〇倍。

37 最後應該指出，用電子顯微方法觀察和其他方法一樣，不能成爲單一形成和包圍對象的了，  
於顯微鏡觀察必須與電子圖案相結合起來，同時也要和本科學範圍內的特殊觀察相結合（光學、電  
學和光圖案以及其他等相結合）。

