

民主德国精密光学仪器及电工
器材专业展览会专家报告汇编

序 言

1969年4月18日至5月8日，德意志民主共和国对外贸易协会在北京展览馆举办了德意志民主共和国精密光学仪器和电工器材专业展览会。展览会展出面积约一千九百平方米，展品共六百余项，包括各种光学仪器、摄影和电影机及洗印设备、电工和电子仪器、核子仪器、医疗器械、量具……等等。

在展览期间，民主德国专家和工程技术人员曾举行了一系列的专题报告。听众对这些报告颇感兴趣，希望将这些报告付印，以供参考。因此我所征得展览会负责同志的同意，并在各有关单位的协助下将这些专题报告译出，出版了这个专集。

由于这些专题报告分量很大，分别由许多人译出；事后限于时间，又未能仔细校对，因此不论名词和译文上都可能有不妥当之处；同时，原报告中图片很多，而且多半是幻灯片，由于印刷技术上的困难，只好删去一大部分，余下的虽然尽了最大的努力，仍然有很多是不够清晰的。在这里特向原报告人及读者致歉。

(第一机械工业部技术情报所十月七日)

目 录

1. 电子显微镜及其应用	(1)
2. UR-10型紅外分光光度計	(14)
3. 大地测量和矿山测量仪器	(22)
4. 国营卡尔蔡司厂(耶那)生产的测距仪器	(32)
5. 满足大型天文仪器结构上和制造上要求的途径	(38)
6. 16毫米窄胶片用 AK16型和ZL16型电影摄影机	(46)
7. 德累斯頓 D ₂ 型电影机及其在各方面的用途	(51)
8. 影片加工机械	(60)
9. 新式显微机的設計原理	(69)
10. 蔡司文件复制设备系統	(75)
11. 輻射接收器	(81)
12. 德意民主共和国核子物理测量仪器的发展和生产	(92)
13. 测量电气零件特性的方法和所用的仪表	(99)
14. 300兆赫以內电压的测试方法及其仪器	(110)
15. 300兆赫調頻調幅的测量仪器与滤波器	(129)
16. 在低頻及載頻范围 1.5兆赫內的电訊测试法和仪器	(142)
17. 用于广播, 超短波和电视以及其它目的的测试仪器	(164)
18. "WSSBII"型軌道圖形联鎖机的发展状况	(185)
19. 电子测量技术在發动机制造业的研究和发展中的应用	(198)
20. 內燃机研究和发展的实验设备	(218)
21. 振荡测试仪和示波器	(243)
22. 振动發生器	(251)
23. 發动机、汽車和傳动构件的試驗设备	(259)
24. 用电气遙控的非电的和液动調节设备的工业自动化, 用于测量和調节的一般仪器技术和發展趋势	(278)
25. 气体和固体材料的湿度测量	(290)
26. 气动测量仪器	(297)
27. 現代測定仪器及測定方法	(303)
28. 蔡司厂的高真空技术	(314)
29. 新的 "TUR" T250型深部X射綫治疗机(附 "TUR" TG2型可移动的X射綫机设备)	(320)
30. 現代診斷X射綫设备及仪器的描述	(324)
31. 米勒-梅拉格氏明道攝影鏡的构造及特点	(330)
32. 試驗身体机能的一种新方法	(334)

电子显微镜及其应用

民主德国卡尔蔡司（耶拿）厂研究员 布雷克博士

1 电子显微镜的意义及目前情况

作为电子显微镜的生产厂，我们经常碰到的问题是：这种显微镜是做什么用的？对这样问题可以如下笼统的答复：电子显微镜可用来观察光学显微镜可见范围以外的一切东西，一直到大分子（见图1）。在这个范围内有许多非常有意思的结构。特别是胶体这一数量级，其大小与分布在很多情况下是很有意义的，此外还有过滤性病毒和细胞原形质结构以及在固体物理学中的一些问题。许许多多材料的性能，无论在化学、金属学或材料学方面，都可以由这种结构来了解。我们虽然可以从许多其他的物理和化学实验的结果来推断这样的结构，但是最好的提供答案的工具仍属我们的眼睛。

现在电子显微学的发展越来越广。这一点可以由发表文章的数字得到证明（估计全世界每星期发表有关文章约10至20篇）。又如1958年在柏林召开的国际会议期间，约做了400多个报告。从发表文章的范围，可以看出在各种知识领域中，有相当大的部分都采用了这种实验的方法进行工作。这里所说的绝大部分是局限于工作中使用电子显微镜这一方面。电子显微镜的物理和工艺可以说已经达到了一个相当成熟的阶段。但是电子显微学仍然是一门年青的并有发展前途的科学，尤其在医学的形态学方面，还可期望得到许多有意义的结果。

在全世界估计约有2000台电子显微镜。其中美国有1000台，苏联500台，日本约400台。生产电子显微镜的国家有苏联、美国、民主德国、西德、英国、荷兰、日本和瑞士。绝大部分电子显微镜都用在研究工作上。据我们了解，只有少数电子显微镜用在工厂检验上。

不过，电子显微镜解决问题的能力也不应估计过高，因为一般总是这样，新的进展总是要经过一番周折的。电子显微学只不过是进行科学研究的一种方法。

为了能正确地了解和判断这些问题，十分有必要全面地观察与电子显微学有关的一些问题。只有如此，才有可能对电子显微镜的作用给以恰如其分的估价。

2 光学基础

首先必须澄清的一点是，一架光学仪器的质量不是取决于其放大的能力，而是决定于它的分辨本领。用数学公式 $d = \frac{\lambda}{2 \sin \alpha}$ 来表示。公式中， d 表示分辨本领，也就是说两个点之间恰恰还能分开的间隔； λ 表示波长，它能提供最大衍射的间距； $\sin \alpha$ 为物镜的半开孔角，亦称为孔径，由它来决定物镜能达到的范围； n 表示镜头透镜介质的折光系数。

我们眼睛的分辨本领，在25厘米距离时为 $l = 0.2$ 毫米。为了能将更小的间距分辨出来，例如 $20 \text{ 埃} = 20 \cdot 10^{-7} \text{ 毫米}$ ，就必须使用一架光学仪器，即将分辨本领小于20埃的物镜放在眼睛前面。这里主要是将20埃的距离放大，使之出现在我们的眼前时要大于0.2毫米。与分辨本领相适应的有效放大倍数称为必要的放大倍数。上举例子的放大倍数是100000倍。

上述公式给我们指出了其他的方法，使人们能看到用光学显微镜所看不到的结构。若想

减小数值 l ，譬如可以将数值 $nsina$ (孔径) 放大。但是这一数值的加大是有限度的，因为物镜的开孔角不可能大于 180° ，也就是说 $sina$ 不能超过 1 。好的镜头，其孔径也可能达到 1 。一架用可见光 ($\lambda = 4000 - 8000 \text{ 埃}$) 进行工作的光学显微镜的分辨本领因此也就不能比 $\frac{\lambda}{2}$ 或 2000 埃 更好。

另一个减小 d 值的方法是将波长 λ 缩小。从物理学可以知道，有一系列电磁波的光谱，从无线电波一直到 γ 射线。如果利用一种光波比较短的射线，例如紫外线，那么就可以将这种显微镜的分辨本领 (与光学显微镜相比)，提高二倍。如果利用 x 射线来成像的话，那么在理论上讲，分辨本领一直可以提高到原子的大小。但在实践中，由于没有用于 x 射线的透镜，因此，这一点就无法做到了。对各种材料来说，射线的折光系数是主要的。有人曾经试图用弧形晶体产生 x 射线的聚射衍射在这种情况下，凯尔克——帕脱力克 (Kirk-Patrick) 成功地将分辨本领达到约 1 微米。在任何情况下，虽然有可能将分辨本领超出光学显微镜的范围，但是由于必须使用光或电磁振荡，因而困难还是很大的。

1926年，路依斯·勃罗格利 (Louis de Broglie) 在作他的关于光波机械问题的论文的实验时，发现了光不仅存在着二象性——人们可以将光理解为波或光子微粒——而其它的基本粒子如电子或离子也存在着二象性。我们只要将电子或离子加速，使具有相当高的速度就行了。另外，路依斯·勃罗格利甚至将这种被加速粒子的波长用 $\lambda = \frac{h}{m}$ 来表示。如果将这数值与表示电场中电子加速的 EF 联系起来，就可以看出，这一“物质波”的波长与加速电场的平方根成反比。例如在 50 千伏时，电子被加速到光速的 $2/5$ ，等于 0.05 埃的波长 (见图 2)。这里，我们可以看到各种不同加速的电子的波长。人们可以看出，在约 50 千伏时，波长缩小较多，而在 50 千伏—— 100 千伏范围内就缩小得较少。勃罗格利的公式在基本粒子高速度的范围内接近光速时，已不很精确。这使我们已经看到一些可以用相对论说明的影响，即所谓相对效应。事实上，其速度要比表示电场电子加速的值为小。电子显微镜就是用这种电子波来成像的。

3 發展史

电子射线是在 1859 年由帕利克尔 (Plücker) 发现的。 1869 年，希托尔夫 (Hittorf) 发现通过磁场可以引起折射，而哥特斯坦 (Goldstein) 在 1876 年发现了通过静电电场可以引起折射。电子光学真正奠基人乃是布许 (Busch)，他在 1925 年在耶那 (蔡司厂) 物理研究所制造出第一个磁场电子透镜。路斯卡 (Ruska) 和克纳尔 (Knöll) 在 1931 年用这种透镜做出了一架特殊的示波器，以后他们还用它制造了第一台电子显微镜。

1932 年以来，勃利希 (Brüche)，玛尔 (Mahl) 和约翰逊 (Jahannson) 等人都利用静电电子透镜获得辉光阴极各种过程的成像，这就是静电电子显微镜的起源。

4 电子显微镜的作用

那么电子显微镜是怎么回事呢？电子显微镜基本上与光学显微镜相类似，所不同的仅仅在于它不需要光源，而需要电子源与电子光学系统。产生电子的可能性很多，最简单的方法是将一根金属加热，电子就会根据不同的温度或多或少地从金属丝跑出来。为了能够得到点状电子源，人们可以将金属丝适当的弯曲 (见图 3)。穿孔金属板与辉光阴极相对，并保持相应的电位作阳极。电子也就通过阴极与阳极之间的电场而被排列和加速起来。

此外还有其他产生自由电子的可能性，譬如通过电子发射、气体放电、光效应或场致发

射等。在电子显微镜的发展之中，已经部分地应用了上述方法。

为调节激发电流起见，可以利用阴极的温度；但是比较好的方法是在阴极周围加上附加的控制电极，这种电极以发明者的姓名命名，称为韋納尔特电极(Wehnelt-Elektrode)。但是还值得提起注意的是，电子会与空气分子相撞击，空气分子愈多，则相撞击愈频繁。根据气体分子运动论可以了解到粒子在外界气压不同时所走的无撞击路程。在一个大气压力时，也就是说每克分子为 10^{23} 个分子的时候，自由程长为 10^{-5} 厘米，若在真空度为 10^{-4} 毫米汞柱时，每克分子只有 10^{16} 分子，而自由程长则为 10^2 厘米。我们所需要的自由程却必须大于阳极与末端成像之间的距离，从而就可以避免不必要的电子散射。

标本和照相材料必须通过真空部分放到射线的通路中去。往往由扩散泵制造高真空，并在其前用前置泵抽空。

电子本来是用肉眼看不到的，因此必须在这个地方放上一块照相底版或发光屏，以便对成像进行观察。在实际工作中都利用照相底版进行工作，以后还可将底版放大8倍，而不会看到银粒。

若将标本放入电子射线中去，可以得到一个简单的阴影投影。但是，如果要想获得一个真正的成像时，就需要电子光学系统了。像光束遇到玻璃透镜一样，电子也可以通过静电场或电磁场而作为负电粒子折射出去。因而，只要当电极或磁铁呈环形的时候，完全有可能像玻璃透镜一样制造出转动对称的电场或磁场。静电透镜的具体做法是用金属丝网做成玻璃透镜的形状并通以高压。这种透镜的主要缺点是由于金属丝网的缘故而十分不均匀。它与玻璃透镜的基本不同点在于不存在折射面，电子射线的折射乃是逐渐完成的。另一种比较好的电透镜是将一块有孔的光阑接通高压。在光阑表面周围就构成了转动对称的电位，人们称之为平衡电位面，它环绕在孔的范围以内(图4)。通过这个孔的高速度电子射线力求与平衡电位面垂直交叉即被折射至光轴方向。电子透镜都是会聚透镜，其焦距可通过 $f = 2d \left(\frac{U_A}{U_L} \right)$ 求得另外由于电场的延伸使焦距很大。在实际工作中所应用的焦距6毫米以下的高放大倍率透镜，其电场由两个外电极来限制并压缩在一起。从电极间的距离和孔的直径可以知道透镜的焦距。高压都是在外电极和中电极之间，因而，由于考虑到绝缘起见，必须保持一定的距离。这些电极式样往往采用迴转双曲面，从而也考虑到绝缘的条件(见图5)。如果电子射线通过这种透镜，那么它就被中电极的电场阻拦，并在克服了电位鞍以后被加速了。随着中电极的电位升高，透镜的焦距也就变小了。如果说加速电压稍为小一些，或者是相当于透镜电压，这样一来，电子也就不能够通过透镜，从而就会引起电子在中电极的范围内振荡，随后就被反射了。(图6所示为一种电子反射镜。由此也就有可能在静电透镜方面进行电位调节，仅仅使具有一定的最低速度的电子得以通过并由此而用于成像。透镜在我们的仪器上起着重要的作用。这些情况在下面还要作说明。这里所提出的是折射力与电压比 $\frac{U_L}{U_A}$ 的关系。当透镜电压还是负值的时候(孔中间的电位比电极本身的电位要更趋向正面一些)；折射力达到一个最大值，逐渐走向零值，并进而过渡到第二最大值(图7)。折射力的第一最大值是透镜的工作点，在这时候，透镜的误差最小。在折射力的第二最大值工作范围内所得到的成像称为二等成像。这种成像的主要缺陷是存在着畸变差。电透镜的电位分布可以在水底下的电介槽内测得，它可以用作这种透镜的计算基础。从静电透镜焦距的公式中，我们可以看到，决定焦距的并不是射线和透镜电压的绝对数值，而是它们的比例。这一点对静电透镜却是一个很大的优点。因为，若透镜和射线电压是由同一高压电源供给，(我们称它为两极或短路电路)，基本

上就需要稳压了；只是由于相对效应，才有必要将电压稳定到约1%。

电磁透镜就同了。迴轉对称的磁場，最簡單的是一个金屬絲圈，焦距可用公式 $f = c \cdot \frac{R}{12 \cdot U_A}$ 表示。焦距的变化与射綫电压成正比，与透鏡电流的平方成反比。这里，电流和电压必需很好地加以稳定。。如果电磁铁的磁場綫是由蹄形磁铁聚集时，就形成了高級的电磁透鏡。在这情况下，我們可以得到0.8毫米以內的非常小的焦距，主平面和焦点甚至还可以在透鏡本身以內。較小显微鏡使用的永久电磁透鏡也已制造成功。由于电磁場的电子射綫与静电場射綫身相比存在着其他影响，从而在放大倍数改变时，成像也就改变了。

所有这一切透鏡，都离不开几何光学的透鏡定律，这也就是说，其射綫行程与光学显微鏡中的光路是相同的（見圖8）：物鏡，中間成像，投影，最終成像。由于物鏡中像的形成过程不同，因此在电子射綫方面还有必要在射綫的行程中加上一个光闌，使像相差得以改善。

5 透鏡誤差、孔徑、射綫系統、电气設備

当然，电子透鏡具有玻璃透鏡的各种透鏡誤差，不过部分誤差是可以改正的。此外，在电磁透鏡和干扰磁場方面还会产生空間起电誤差和扭曲誤差（見圖9）。色差在这里不起主要作用，因为从輝光阴極出来的电子几乎保持着同一速度。透鏡的畸变差是可以进行調节的，只要把它調整到桶形和枕形像差之間的过渡范围以內进行工作，就能使这种誤差变得相当小。如果采用高級的机械透鏡系統以及利用一个补偿仪器像散补偿器。那么像散差就可以避免。它是由一个八組極板系統組成，其电压是可以調节的。这样就可以引起与存在的像散差平面相垂直的人为的場畸变差。当調焦不好时，在标本周圍产生菲涅耳衍射环。通过这种現象就能看到該仪器的作用。这里我們所指的乃是火棉胶（珂珞酊）箔上的孔，菲涅耳衍射环是非对称地环绕在孔的周圍边緣上。通过这一像散补偿器，可以得到同已有的像散差成90°方向的人为的像散現象。此后，就可以調节补偿器的振幅，一直到菲涅尔环对称为止。

最有影响的誤差要算孔徑誤差了。防止这种誤差的方法只有一个：将射綫光闌开放到近軸的范围。对我們的孔徑誤差常数为50毫米的静电物鏡來說，在这种情况下，孔徑大致上为 10^{-3} ，而最高分辨本领在理論上来講为10埃。电磁透鏡的孔徑誤差常数約为1.5毫米，也就是说，孔徑为 10^{-2} 时，最高分辨本领为5埃。

但从另一个角度来看，这种較小的孔徑也有其优点，即可以达到較大的景深。例如在分辨本领为20埃时，景深可达1至2微米。只有这样，才能使人們能够用电子显微鏡进行工作。这一点同样也为立体攝影提供了良好的可能性。在这种情况下，立体攝影大多是将物鏡傾斜12°的角度，先后攝影两次，用立体鏡就可以看到富有立体感的相片。但是問題在于随着放大倍数的增長，像的光亮度却随之減弱。为此我們必須弄清楚，在放大10000倍时，1平方毫米均匀照明場要占到100平方米的面积，而亮度就減低108倍。基于上述原因，所要求的照明强度比一般的光学系統要大得多，达到这一要求的方法很多：如通过电子光学聚光器进行調焦，以达到高度照准射綫值，也就是说，利用能精确进行对中心的电磁透鏡或静电透鏡。在静电式仪器方面，大多采用同泰格瓦德(Steigerwald)射綫發生器——聚光器組合（圖10），远焦距阴極。与常見的在阳極（在电場以外空間）外面还能产生散發电子射綫的三極管系統相反，通过一个装在韋納特(Wehnelt)电極前面的电極在远端的标本中将射綫聚束到約0.3毫米。在这方面的另一个發展是汉氏(Hahn)四極管系統。通过这一系統，在标本距离为200毫米时，調焦直徑可达到60至80微米。在調节好控制电極的电位后，就可以使标本的平面

成为正交，从而改变了辐射孔径和照明面。这种射线发生器包括带有远焦距阴极的三极管魏纳特遮光板与里面的控制电极的电位相同，与阴极相对为1千伏。中间的控制电极，其电位与阴极相对为+1千伏(圖11)。控制电极的电压输入采用耦合法，因而，在射线电流变化时，射线孔径不会引起变化。在最近几年中，人们做过试验，想把照明孔径进一步放大，也就是说想把标本中的焦面进一步缩小。关于这一点例如可以再用一个长焦距的聚光透镜来实现，这种透镜第一个焦面在标本面上缩小后再成像。根据同样的原理，可以制作一个静电微射线聚光镜，由于它的静电透镜的稳定性数较高，它更能够有保证地进行工作(見圖12)。

正如上面已经谈到的那样，电磁电子显微镜和静电电子显微镜在电的要求方面是不同的。前者对透镜电流的稳定性要求很高。要适应¹²的要求过去，大多是用蓄电池进行工作。现在在新式的显微镜方面，则使用稳定性较高的电源设备。但是，射线电压 U 也同样必须稳定一般的要求是，分辨本领在10埃以上时，稳定性必须达到0.01%。特别感到困难的是，必须使稳定性在较长的时间内保持不变。在这方面应用的装置也各有不同，如电磁电压稳定器，频带滤波器，稳压管以及最新的电子控制的高频稳定器。电压一般使用20~100千伏。再高的电压就没有必要了，否则像相差反而不好。产生电压一般用简单的高压变压器，串联(级联)连接或高频发生器。静电仪器的电压由于绝缘的原因，不能超过50~65千伏。我们认为，这样的射线电压完全是能够解决问题的。但在静电电子显微镜上也还是可以想些别的办法，例如在目的物近处将电子加速到较高的电压，当目的物取走后，再进行减速。这种方法称之为中间加速。电磁电子显微镜供给线圈的电流约各30瓦。静电和电磁电子显微镜的射线电流仅为10~100微安，也即比x光机的工作电流约小1000倍，因而电子显微镜中所产生的x射线的强度也就小1000倍，这样的射线也就没有危害性了。

我们的静电电子显微镜仅仅需要一个高压设备，其原因是这种电子显微镜是用两极电源进行工作的。与此相适应，也不能存在着焦距的改变。所以说，长时间的电压不稳定不是严重的问题。由于电子相对效应的缘故，有必要将电压稳定到1%。此外，由一个高压变压器供给50千伏以内的50周高压。但高压变压器的千次电压应通过电磁稳定到1%，并且要求能连续进行调节。整流可用辉光调制管进行，而电流纹波则用频带滤波器进行。高压电缆和透镜容量与控制电位计以及作为附加滤波器的阻在电阻相连并产生作用。通高压的各个部分都浸在油中进行绝缘。用于像散补偿器和电动调整射线中心的控制电压由附加的开关箱供给(圖13接线图)。

关于市面上可以买到的西门子公司Elniskop 1型电磁电子显微镜的构造可以参看其截面图(圖14)。上面是射线发生器，复式电磁聚光器，放置标本的容器，物镜，中间成像平面，投影系统并附带可掉换的蹄形磁铁，终端成像屏及摄影系统。各个不同成像阶段的射线行程可参看圖15。

6 蔡司电子显微镜技术特征

我厂的ElmiD 2型静电式电子显微镜見圖16。上端由电缆经过瓷质绝缘器输入高压，电子光学的元件都装在显微镜的立柱中间，处在 10^{-4} 至 10^{-5} 毫米汞柱的高真空度之下。远焦距阴极射线发生器，魏纳特电极，控制电极，阳极，电动调整射线中心系统，标本工作台，透镜系统，终端成像屏和摄影系统。最后的成像用一个光亮度大的辅助显微镜再放大5~8倍。射线系统在上面已作过说明了。它可以对着阳极，用机械调节螺丝调到最大射线通路。为便

于迅速和方便地調整射線中心起見，還裝有靜電折射系統（圖 17）。它是由上下兩對折射板組成的，用一定的方法通電給電壓。這一系統的作用與散補償器相近似。通過這個系統，可以將射線向旁邊移動，分開，並改變它的方向。標本系通過標本匣放到高真空中並掛在標本工作台上。這一過程共約 20 秒鐘。工作台是機械操縱的，並且十分精密（圖 18）。通過這一裝置，可以將工作台在每個座標方向移動 0.2 毫米。清晰度調節並不是通過透鏡電位的變動而是通過標本在 1.2 毫米的範圍內升降進行的標本工作台的機械允差要求為 0.1 至 0.2 微米。這一要求與電磁物鏡的電壓和電流的調節精度和穩定性 $2-4 \cdot 10^{-5}$ 相符合。

我們的電子顯微鏡上裝備有 5 個靜電透鏡（圖 19）。這些透鏡都裝在一個磨光過的套筒內，中心調整的精度達到 1 微米。這 5 個透鏡並不是為了改正透鏡的誤差，而是便於調節放大率（圖 20），因為對電子透鏡來說改正透鏡誤差是不可能的。物鏡和最後一個投影透鏡是始終接連高壓的，另外三個附加的投影透鏡是可連可離的。最後一個投影透鏡之所以固定不變的原因，乃是它決定成像的直徑和像畸變差，這兩點都是同等主要的。在物鏡和投影透鏡之間裝有孔徑遮光極和在一定範圍內開啓的用於電子衍射和像散補償器的光闌（圖 21），像散補償器的作用已經在前面解釋過了。這些光闌都是放在真空中的，可以在外面進行調整中心以及從射線通路中取出。全部透鏡都通過透鏡總開關進行接地。

投影透鏡 2 是一個長焦距透鏡，其作用如下：將物鏡後焦面上所產生的電子衍射成像按照包許(Boersch)射線通路把成像變成電子衍射而投影到照明屏上去。物鏡的孔徑誤差常數為 50 毫米，最末一個投影透鏡的畸變差最大為 4%。其他各個透鏡的放大率為 10 倍（衍射透鏡）和 80 倍（物鏡）。

通過處在真空中的透鏡開關的操作，在不用改變和更換蹄形磁鐵的情況下，就可以調節 2000, 3000, 6000, 8000, 12000, 20000 和 30000 等各級穩定的放大率，此外還能調整電子衍射和放大率約為 800 倍的示意成像。靜電透鏡對異雜物的靈敏度一般說來是估計得過高一些。當然不能讓能起絕緣作用的塵土直接跑到透鏡的孔里去。這一點只要小心地清潔，一般情況下三個月一次，就能很好地避免發生。由於炭層或導電不潔物所引起的電場不均勻性可以很方便地通過像散補償器得以補償。像散補償器本身可以對焦距差改正到 40 微米。一般可以說，靜電透鏡的成像穩定性是很好的。為隔絕磁作用起見，透鏡系統裝有高磁導率的金屬隔層。在顯微鏡下面裝有暗盒，可放置四塊底板或膠片。曝光過程與一般無異，只要把照明屏提起即可（圖 22）。

另外，顯微鏡上還有一個簡單的裝置，用於迅速地檢查射線的方向。其原理是，將梯形交流電壓輸送給透鏡系統，然後在照明屏上對兩個成像進行觀察，在此同時，運用電射線的中心調節鈕使兩個成像在中心點重合。全部調整中心的过程可以在 1~2 分鐘內進行完畢（圖 23-25）。

顯微鏡立柱安裝在裝有操作鈕和測量儀表的工作台上。在工作台裡面還裝有一個水銀擴散泵，其抽氣能力為每秒約 120 升，另外還有一個高真空閥門組。真空度可以用彭寧(Pennig)真空計測定。根據上述結構，我們相信，我們的用戶可以得到一台良好的、使用上有保證的電子顯微鏡。到目前為止，這種型號的電子顯微鏡已經生產了 40 台。

在市面上，根據不同的用途，有不同型號的電子顯微鏡。例如有分辨本領為 10 埃的尖端電子顯微鏡，分辨本領為 20 埃的高級電子顯微鏡，以及分辨本領為 50~100 埃的所謂小型顯微鏡，這些顯微鏡在價格上也有所不同。

对一般的实验来说，20 埃的分辨本领足够应用了，生物学上着重的细胞中的片状组织约 30 埃时就可以看到，在最好的情况下复印法能复照出的，组织最小可到 20 埃。

从成像相差的角度来看，静电显微镜比电磁显微镜好。

7 电子射线的成像

在电子显微镜学中，制作片子的技术有特别重要的意义。做片子的方法有许许多多，我们在这里只能简略地谈一下，因为几乎每一件标本都需要有其独特的处理法。为了便于往下谈起见，我们必须先弄清一个问题，即像的形成在光学显微镜和电子显微镜方面是不同的。在光学显微镜方面，起决定性因素的是折光系数，一定波长的透射力，相差和吸收；而在电子光学方面，首先是电子散射问题，其次是布拉格 (Bragg) 衍射和全吸收。厚度为厚度乘密度在这里起决定性作用，因为这里存在着随物质不同而产生的电子交替作用这样一个问题。若物质的最终量为 $9 \cdot 10^{-26}$ 克时，如果电子碰着标本的原子核，就以较大的角度有弹性地散射；或是电子碰着电子层时，以较小的角度无弹性地散射。此外，第二个情况是能量损耗，也就是说电子射线的波长损失，它会引起成像的色差。这里适用脉衡定律。

无弹性散射的电子有一种不好的特性，即散射角小而不能被孔径光阑隔绝。由此，除了色差以外，还会使散射的电子逸出而引起相差不良。射线不受影响地通过以及全部吸收，对成像本身的作用不大。但在第一种情况下，我们不能获得相差，在第二种情况会引起标本负荷不良。我们必须知道，标本是在 50 微安例如到 25 千瓦厘米² 的射线电流时完成工作的，它在全部吸收时，留存在标本之中。

对电子射线来说，没有任何像玻璃透光那样。透明的材料，因此，只有非常薄的标本才能使射线通过。如密度为 1 克/厘米³ 时，可透过射线为 1~0.3 微米。由于能的转换作用，试片还必须对温度稳定。基于上述原因，所需要特殊的制作试片的技术。

8 做片子技术

由于放大率较高，因此，标本不必像光学显微镜工作时所需的那样大。也由于电子的透射力微小，所以载物片与光学系统方面的也有所不同。在这方面经常使用的是带小孔的紫铜小圆片，其上还紧复一张细铜丝网，或单独使用一个带 0.1 毫米小孔的。白金小圆片。载物片的直径我们采用的是 3.4 毫米。网眼跨距约为 60 微米 (图 26)，可以使用的面积约 1 毫米²。网的导热性能比带孔的光圈要差一些。

载物片本是一片镀在金属光圈上的薄箔。对这种载物箔的要求条件是，尽可能薄，同时要牢固，耐温。此外，还要求这种薄箔薄没有任何本身的组织。像这样的薄箔是可以制造的，例如可以用珂罗酊胶来做。制作这种薄箔的方法是 (图 27)，将一滴在乙酸戊酯中溶解的 3% 珂罗酊胶溶液放到清洁的水面上，让它在水面上散开。当乙酸戊酯蒸发以后，在水面上就形成了一个薄薄的胶层。如果在开始时，在容器底上放上了载物片，那么，就可以很小心地把水除掉，使这一胶膜沉降到载物片上去。

薄箔的厚度取决于所使用的胶溶液的浓度，并可以通过托朗斯基干涉测定法进行控制。根据所要求的浓度，薄箔的厚度可达到 10 毫微米。薄箔绝对不许有薄层的干涉色泽。除珂罗酊胶外，还可以使用其他的双，尤其是 Formvar 胶，这种胶对电子射线来说，可以达到牢固，耐温的要求。

在电子光束照射下，除碳以外，各种胶都会受到破坏。这一过程通过下列现象可以观察出来，即胶箔发生皱缩，破裂，其厚度减少等。因此，对某些用途来说，直接制作碳素膜比较好。对此，有一种方法，就是在苯气体中燃烧发生火花（按照荷里希方法）。放在发生火花范围以内的玻璃片就复盖了一层碳素聚合层。

按照比较新的布拉顿（Bradley）方法，纯粹的碳素层是在高真空中将碳蒸发涂膜而得，例如将两个碳电极在其接触点的地方通过电阻加热到 3000° 至 4000°C 。这样的薄膜，在小心地浸入水中或氢氟酸中以后，可以从玻璃表面溶解出来。此外，像大家已经知道的，还有有机物载物箔，如玻璃或云母。

氧化铝做的箔也常常被人们使用的，这种箔制作方便，其方法如下：

将铝表面清洁，抛光，去脂，并在15~20伏的情况下放在pH值为8.5的硼酸盐——电解液中进行阳极反应氧化。氧化层十分均匀和內聚，并可以在加入铝后溶解在金属的液态升华物溶液中。最后用稀释的盐酸和蒸馏水洗涤，放到载物片上去。这种薄层完全没有组织，并且很牢固；因此，它适于在较高温度情况下所进行的实验工作。

如果说为了便于成像和射线透射起见而标本十分小的话，那么，对制作试片来说是最简单了。最小的粒子在此时往往以液态悬浮的状况放到载物片上去，并干燥之。值得指出的是，用超声波将悬浮物进行分散。往往用超声波进行的。一种市面上可以买到的用于这方面的超声波仪器可以用800千周进行工作，磁力严密。三个不同的振动器可以相互交换。

利用这种方法，足以对烟雾，灰塵，胶体以及在橡胶工业，陶瓷工业等使用的其他粒子进行试验。在试验中，尤其使人关心的问题是粒子的大小及其分布。由于本厂的静电电子显微镜成像比例稳定，因此，对这些试验尤为合适，同时粒子的大小可以直接在负片上测得。

对这样的粒子，往往也能很成功地用电子衍射来进行透射。我们可以在这时候对各个晶体进行电子透射，并在曲线图计算以后求得其晶体栅格。反之，通过适当透射，也有可能列出有关晶体所规定的反射。

电子衍射的优点是，可以将成像直接变成衍射曲线。但反过来，也有它的缺点，只能射透薄层，使应用的范围相对地受到限制。这些情况可以参看关于氧化铝和氧化锌的图片（图28）。

细菌类也能用这种方法做成片子但需经过多次离心，进行清洗。此外，菌类大部分还要用四氧化钨蒸发定形。例如，按照这个方法，用Bakteriophagen可以得到大肠菌的成像。（图29）。

细菌也可以直接在复盖珂珞酐胶膜的培养基上培养。细菌就穿过薄膜生长，并能用箔从培养基上取下（胶膜培植法）。

我们也可以按下面的方法进行，用去塵器或超声波将悬浮体变成雾，然后收集雾滴。这一方法尤其适用于定量工作。

制作片子的工作往往在立体显微镜下面进行，如用SMXX型立体显微镜。

在进行实验时，较大的标本必须想办法弄小。过去大多用压碎，切碎，腐蚀等方法，迁到有机物时用化学或发酵解裂法，也有用超声波分裂法。利用这些方法，可以研究纤维纤维，成胶质（胶元）纤维或破肺等。今天我们对有机物几乎只利用超级切片机进行工作，这种切片机有非常大的意义，也十分完善。目前在商业上能见到的约有20多种不同的型号。

所谓超级切片机也就是能够用它制成约200埃厚的组织片。由于这样的要求较高，因此

对机械部分要求十分精密。真正有把握进行工作的超級切片机在最近由于人們把机械推进改为热推进以后，才制造成功 (Newman 和 Eden)。切片的方法是将需要切片的标本放在膨胀杆的末端；并以垂直或圆运动在固定的刀片旁边经过，使刀片与片子仅仅在断面处才有接触。

刀片毫无例外都使用 Latta 和 Hartmann 在 1950 年提出的断裂玻璃刀来做。金属刀太粗糙，不能使用，因为金属有晶体组织。最近，使用金钢鑽刀切开软金属和陶瓷的方法也已获得成功。在刀片口上，粘有一个盛液体的小容器，讓片子在其中漂浮。标本本身则与光学显微学方面有所不同，它是嵌在塑料里面的；塑料大多用甲基丙烯酸酯，但也有用环氧树脂的。塑料的硬度必须与被切片的组织相当。

一 試片在进行镶嵌之前，要很好地去水，并用四氧化鉍进行定形。定形这一工序对于电子光学試片的相差及質量十分重要。片子的厚度不宜大至能看到干涉色澤。对标本的厚度始終要求为不大于分辨本领的十倍，否則上下重叠的组织会引起相互干扰 (圖30)。

在圖中，我們可以看到标准组织的細菌断面圖：核当量，双層膜，Cytoplasm 等。这类断面圖說明問題的能力要比干的有机片子大得多。

若要制作比較难以分切的标本試片，如在金相，腐蝕性試驗，固体物理，纖維研究等方面所需的片子，那就必須采用印制法。这种方法在 1941 年由馬尔 (Mahl) 提出的，它可以說是除了超級切片法以外，最常用的一种制片方法。

这种方法是，在需要进行研究的标本表面上加上一層无组织的耐性大的薄膜，表面组织就会被这層薄膜印制下来，然后在电子显微鏡上进行研究。这种方法在今天已經很完善，它所反映的表面组织可达到 20 埃的精度。这种印制膜可以由許多不同的原料做成。最简单的方法是胶体印制：将一層膜胶放到需要进行研究的标本表面上。当这層胶膜干燥以后，再用胶带将它取下。此后，把附带胶膜的胶带放在水面上。当薄膜飄浮起来的时候，胶带也就沉到水底下去了。使用这种方法时所得到的相差比較差 (圖31)，因为胶的厚度需視标本表面的粗糙程度有所不同。它不能反映出最細微的结构，其分辨本领仅为 300~500 埃。这种方法的优点在于，其成像与光学显微鏡中看到的很类似，即：凸出的地方亮，下凹的地方暗 (見圖32：一种硅藻的成像；胶印法，直接透射)。

若要对鋁金属或合金进行試驗时，可采用一种类似的方法，如在前面关于制作載物箔时已經談过的那样。像金属学方面采用的方法一样，首先将金属进行抛光和腐蝕，然后用电解方法进行氧化。在分解的氧化層上可以得到被腐蝕的金属表面的形似浮雕的現象。经过适当的腐蝕之后，就可以在成像很好的立方体面的形状下看到组织 (圖33)。用这种方法所获得之印制箔很坚实，并能很好地反映出标本的表面情况。但可惜的是，它仅在鋁金属方面才能获得良好的效果。像相差在使用这种方法的情况下也与胶印法不同，因为前者的整个表面的薄膜厚度是相同的。电子吸收只有在合适的箔層的情况下才比較强。这一点純粹从几何的角度来講易于弄清楚，即透射的厚度与傾角成反比。本来存在的下凹的地方看上去同样是黑的，因为印制薄膜在这地方重叠得很多。

如果是坚硬的目的物 (不是由鋁组成的)，它的表面凸凹组织能被压到軟鋁上去，并能按上述程序进行工作的話，那么我們就可以采用这种方法 (压印法)。

此外，也可以把鋁蒸發到标本的表面上去，用胶加厚，取下，然后再进行氧化。这种蒸發印制法称为“原子度制法 (Atomic replica)”。按照布拉頓 (Bradley) 或荷里希

(König)的方法，它也可以用碳进行，从而能获得最好的分辨本领。

另一种类似的方法是，将立体的试样，如烟膏或氧化物，全部用碳层包封住。然后将原来的标本取走，剩下空的碳封，它能提供十分立体的印象（荷里希包封印制法）（见图34）。

如果遇有印制薄膜不能顺利地与本站分离时，例如标本表面较粗糙，那么就必須利用模型法。

在标本上放上一層容易取下的胶层或塑料层。然后将一种无組織的容易被射线透过的物質在高真空中蒸發到这一模型上去，这种物質就构成了所謂印制薄层。当模型取下来以后，可以在溶液中将印制层搞到載物片上去。

在这里，人們也常常按照布拉賴方法采用碳或者采用氧化硅（ SiO_2 ）。作为模型材料，人們可以利用濃縮的有粘性的珂路酐溶液，或是直接将塑料聚合在标本表面上，例如甲基丙烯酸酯。聚苯乙烯在有温度的情况下呈塑性，在这情况下，它同样也可用作模型。聚合法所反映出的細部可达到10毫微米。

我們对下列方法评价较好：首先在标本上用蒸發塗上一層約1微米厚度的鋁层，然后加一層金屬鎂。这層蒸發模型由珂路酐胶加濃，同时也可以机械法取下来。在带有印制面的鋁层上，再按照布拉賴方法用碳进行蒸發。在稀釋的盐酸中，胶模首先与金屬分离，然后就将鋁溶解了。用这种方法，可以得到大量良好的片子。

上述种种方法可以根据标本的要求变化使用。在下面的圖中，我們可以看到利用各种不同方法做試片的标本。但首先看一下各种印制法的簡單的綜合圖（圖35）。

由于制片方法困难，复杂，因而所能获得的好片子的数量也就相对地少了，尤其是許多片子被弄髒而不能使用。因此，要完成某一指定的小地方的电子显微镜呈像的任务就非常困难了。

针对这种制片方面的目的，人們發展了一些特殊的設備。这些設備可以放在普通的光学显微镜上使用，从而减少制作試片工作上的困难。

往往有些标本，（这兒所指的是直接試片或印制箔）缺少反襯，其原因一則是厚度差別太小，再則参与成像过程的分子序数太小。因此，人們又發展了提高反襯的方法。如果在高真空中以一定的角度将吸收力較高的物質蒸發到标本上去，这样一来，在突出的标本的局部地方就产生了阴影。表示这一过程的簡圖可參看圖36和37。此外，从圖中，可以看到一些起先只能看到模糊組織而后来在提高反襯以后的显著情况。

基于上述原因，几乎每一个片子都要傾斜蒸發。在使用蒸發材料时，尽可能使用微顆粒或序数較高的无組織的物質，此外还要求这样的物質在电子射线中不会引起蒸發。例如像Th, Cr, WO_3 , U, Au, Pd或Cu等等，其本身都有組織，因而就不能使用（見圖38、39、40）。

通过阴極噴霧，也可以使Pt作为 PtO_2 以分布極細的情况沉淀在标本上面。阴極噴霧在 $5 \cdot 10^{-3}$ ton 气压的条件下，在2千伏和几个毫安的时候进行。有关这一过程的程序可參看圖41。

若已知蒸發的角度，那么可以通过几何公式从阴影的长度很容易地求得标本的高度。

用于組織定形的 OsO_4 也同时可用来提高反襯，因为鐵能在分布細微的情况下，跑到一定的組織範圍內去。

此外，在带有磷鎢酸的有机液中进行浸漬以后，也可以提高像反襯。圖42中我們可以看

到成胶質纖維，由于它經過了這一處理，就可以看到周期組織。

人們正在努力發展一種能溶合在一定的生色酸中的特殊反襯劑，這種方法和光學顯微學中的著色法相類似。

我想大家早已知道了，對於大部分制片方法來說，都需要一台高真空復膜設備。我們供應一種設備。真空是由一個4米³前置真空泵和一個吸收效率為每秒120升的油擴散泵抽出來的，並由一個彭寧電離真空計（如本廠電子顯微鏡上所帶的）進行測定。人們在 10^{-4} 至 10^{-5} 毫米汞柱的真空度下進行工作。在這裡，所有閥門均用一個手輕輕進行操縱。在接受器內，裝有二個迴轉線路和二個蒸發器的電加熱線路。另外，也可以進行陰極噴霧。這一設備的電流接受一直到100安，電壓一直到2000伏。這設備上還裝有一個塑料罩，在接受器萬一發生問題時，使用者能得到保護。

用這一設備，可以完成一切有關的工作。

9 誤差的可能性

在判斷成像圖時，儘管看上去很清晰，但仍要十分小心。因為，我們所進行工作的領域可以說是人類還沒有掌握任何經驗的領域，這和世界的另一極端偉大的宇宙一樣。在這方面，有可能產生許許多多的誤會。譬如說，由於片子的厚度及電子射線的吸收程度會引起射線能過強，從而在標本中產生200°至1000°C的高溫，引起標本局部溶解或蒸發；如對細菌微粒來說就是一例。對晶体來說，電子射線會引起晶体的變化。此外，電子是荷電的粒子，會引起化學變化，進行電離或還原。或者，是標本本身荷電，其結果就會引起成像干擾。

活的標本是根本不能成像的，因為經過真空以及與真空相聯系的乾燥過程後，往往早已失去生命力了。

通過薄箔的變化，會引起標本含量的誤差。在射線透射時只要稍加注意，這類誤差是可以避免的。

遇到某些和射線投射方向成一定角度的晶体時，在網（交叉綫）平面上會產生布萊格反射。在成像中，這種現象可以通過晶体的虛假的陰暗部分覺察出來。人們所以能夠肯定這種現象，乃是由于當標本移動時，陰暗部分並不是固定不動的，而是隨之移動。反射的電子射線由衍射變成了衍射圖。這樣的組織稱之為虛假組織。鉍晶体就有這種現象（圖43）。

在經過較長時間的電子透射後，標本在電子顯微鏡中被碳層復蓋起來，這不僅會引起局部的放大，甚至還會把個別組織全部遮蓋起來。在顯微鏡的立柱中，有油脂和橡膠這類有機物的蒸發氣體，它們是由于電子射線而解裂的，這一情況與前面已經提到過的用于製造碳膜的荷里希-燃燒分離法相近似。當然，像這種“石墨化”是不希望發生的。防止這一現象發生的方法是，尽可能使顯微鏡立柱保持清潔，此外，在對標本進行透射時要倍加小心，並不宜透射過久。石墨產生的強度表示標導熱的能力。在溫度大於200°C時，碳決不會析離。同樣情況在-80°C以下，像艾納斯（Ennos）所指出的那樣，也不會發生這種現象。

尤其是在使用微射聚光器時，由於所能透射的標本範圍極小，因此這種現象就顯得十分不利了。

此外，也有可能由於調集不當或像散性而引起誤差。它會在標本中引起弗列斯納（Fresnel）——衍射條紋而成為虛假組織。在進行粒子定量時，這同樣能引起誤差。

但是，大多數人為效應是在制片工作本身產生的，例如排列均勻的或成為晶体的污粒能

促成誤差。至于制片方法本身也会將它的特性帶到片子中去，这种特性与原来的組織是毫不相关的（圖44、45）。

为了使成像能真正正确地說明問題起見，就需要丰富的經驗。如此，有必要按各种不同的制片方法进行工作，并对工作的結果加以比較。

10. 使用范围实例：

最后，我准备通过下列圖表介紹一下我們實驗室使用电子显微鏡所能进行的各項研究工作。介紹方式按圖的順序进行：

圖46表示塊規表面拋光不良的情况。在此情况，起先无法找出它的原因。电子显微鏡成像却对此作出了最精密的分析，結果証明是热处理有問題。

鋁面反鏡实际上并不是完全光滑平坦的，从圖47可以清楚地看到这一点。其組織当然对反射的性能有所影响。

圖48表示用于光电池的硒复膜層的晶体組織情况。

圖49中，可以看到玻璃透鏡表面的情况。表面上存在着霉菌，它肯定要降低光学質量。这种發霉的現象往往是在亞热带气候条件下产生的。

下面各圖說明金相組織情况：

首先是珠光体的鋼的組織，其中各碳化層也可以使它分开（圖50、51）。

圖52是球形珠光体。

在鑄鉄中，除了珠光体基本組織以外，尚能清楚地看到石墨層（圖53）。

高速鋼中碳化鎢析出于晶粒間界，会使高速鋼变硬。圖54中在晶粒間界的范围内可看到微小的馬登賽体（Martensite）析出物。

在研究电解拋光黃銅时，我們可以發現类似滑帶的組織。

在圖55中，我們看到的是鑲嵌在塑料中经过磨光和拋光的碳素鉄晶体，这种晶体有独特的磁性，对高频工业特別有用。我們在这兒可以清楚地看到排列成环形的碳化和亞硫酸盐析出物，这种析出物归根到底是生产过程的問題。

在两个不同条件下做出来的氧化鋁試样（如在线电工业上用于氧化阴极的）表示出不同的机械反应（圖56）。在电子显微鏡中，可以清楚地看到一种不同的顆粒大小分布情况。

圖57和58表示的是在医学方面研究吸附在雞紅血球上的菌体和流行性感胃过滤性病毒。

圖59是一張关于用印制法制成的胶片層試片，圖中可以清楚地看到卤素銀顆粒。

我們从人造纖維厂得到了一項委托，研究各种纖維的表面性能問題，不仅是纖維的隔热性，并且还有耐磨性。圖60中看到的是这种尼龙纖維。

最后，我还想談一些关于电子显微学今后發展方面存在的某些可能性。毫无疑问，人們正在想尽一切办法使原子本身能够看到。这一問題只有在解决了一系列目前尚未解决的有关物理和化学方面的問題之后，也就是說通过科学革命，才有实现的可能。但是，在实际工作中，要想提高分辨本領的唯一可能是縮小透鏡的孔徑誤差。这一点到目前为止还不可能办到。如果說，人們完全放弃光学，而用阴影投影方法进行工作，那么才真正有可能看見原子。穆勒(E. Müller)曾經用他的磁場电子显微鏡(Feldelektronmikroskop)作过表演。但这种仪器的应用范围極为有限，原因在于只能用它来研究抗高热的片子（見圖61）。按布布洛利(Broglie)公式来看，只要使用較大量的質子，也有可能把波長縮短。但根据这一原理制造

出来的离子显微镜也存在着缺点，即标本受到严重的破坏。

最近，人们正在研究一种显微镜，用它能够直接对标本表面成像，以避免复杂的制片工作。其方法是，或者使标本直接热发射或光电发射，或者让电子在标本表面反射。此外，甚至于还有可能在反射情况下，通过电子衍射来研究标本表面薄层。但是，这样的显微镜在分辨本领方面是有限度的，从目前情况来看，最好也不过是500埃，尽管如此，这种显微镜在将来尤其对金相研究有很大的意义，因为它使用起来方便，成像性能较好。

在圖62中，我們看到的是用电子发射法成像的鎢阴極表面的情况。圖63是鎢的电子发射成像。

X光显微学是一个值得注意的方面。如前所述，制造X光光学系统是困难的。但是一旦使用阴影投影法进行工作之后，人们就可以得到相当好的成像（見圖64）。

将調成点状电子射线投到一个薄的对阴極上。我們就可以获得X光源。标本要尽量靠近对阴極。（見圖65）。

基于X射线的透射能力，我們能得到十分有趣的成像。这里所指的乃是甲虫像。X射线显微镜的分辨本领是受到相当的限制的，这一点在将来可能得到改善。

由于時間短促，这篇講演只能讀到一个概况，許多事物仅仅才接触到一点。但是我仍然希望，通过这次講演能够使你們在电子显微镜的广闊領域內知道較多的东西。这整个工作方法对于許多人看来虽是錯綜复杂的，并且事实上也确是需要一些詳尽而独特的方法，但是它終于能使人们成功地达到比光学显微镜高出100倍的分辨率，并对宏观分子进行深入的观察。自然界保持它的秘密看来是越来越不容易了。

UR-10型紅外分光光度計

民主德國蔡司廠物理學家 畢特納

最近廿年來，測定紅外光譜已經成為有機化學部門光學研究中的一種最重要方法。大家都知道，凡是在紅外光譜範圍以內的物質都有能表示它自己特性的吸收光譜，這種光譜通常都是以被測定物質對波長和波數透射程度的百分比或吸收程度的百分比來表示的。已經研究測定並歸類的了，用這種光譜定出特性來的物質，其數字以萬計。以苯為例來說，從圖1上可以看出，由於苯環上置換體的數量及其在環上的位置不同，所以光譜的情況改變了。吸收位置（即所謂吸收帶）的存在是因為分子是一種具有斷續自然頻率的可振動形體，這種自然頻率的數值取決於振動部分的質量和它們之間的連系力。如果全部頻率的射綫都射到一個這樣的分子上，分子的自然頻率就將被吸收，並在通過的射綫中以吸收位置的形式出現。

和其它分析方法比較，紅外光譜法的優點是：試樣需要量少，試樣可以回收，試驗需時較少，而且從這一組光譜中可以得到多種資料。紅外光譜法可以用來對有機物質進行定性定量分析，進行純度的檢定和對分子結構進行研究。它的应用範圍包括：有機化學工業、有機化學研究，制藥工業，藥物學，石油工業，塑料工業以及醫學，生物學和細菌學等方面的研究工作。

紅外光譜法之所以能有這樣廣闊的使用範圍是由于技術上高度完善的紅外分光光度計已投入生產，因而有可能大量的在石油工業和化學工業中安裝使用。最早在工廠中生產紅外分光光度計的是美國和英國，蔡司廠UR 10型紅外分光光度計（圖2）的制成意味着已經趕上了資本主義國家在這方面的技術水平。

對於一台現代化的分光光度計，要求它具有精度高，自動化程度高、使用簡便並能適應各種不同的使用條件等性能，這些性能決定了測量方法和儀器的光學，電氣及機械元件的結構。UR 10型的工作是依照經過考驗的雙光束交變光方法（Zweistrahl-wechsellichtverfahren），來達到光學的另一值平衡。圖3是該儀器的原理圖：從光源出發的光在進行中分為測量光程和比較光程，兩光程到調制反射鏡（迴轉的反射鏡）處重新會合，再沿同一途徑前進，通過單色光器，但二者在時間上具有位差。射綫接受器將入射的射綫能轉換成電壓，並通過電子管放大器把電壓放大到能操縱一個轉向連接器的程度，這就是所謂的替續器。這種裝置是用來推動馬達的。在比較光程中，要對光閘進行調整以求在測量光程和比較光程之間取得平衡。如果位於測量光程和比較光程中的物質吸收強度不同，通過單色光器後就會有一個頻率為10赫的交變光束照射到熱電偶上。交變光束在經過射綫接受器後轉換為交流電壓，它通過放大器和轉向器轉動比較光程中的測量光閘，直至通過兩個試樣槽的光綫強度重新相等為止。有一個記錄筆和測量光閘相連，因此光閘的運動就在記錄紙上被記錄下來。在放大器最後一級有一個與相位有關的整流器，可以使光閘的運動追隨正確的方向。

圖4是光學系統簡圖，它表示了光程和最主要的機械作用元件；光源是一條電熱硅炭棒，工作溫度為1300~1400°C從光源上兩個鄰近位置發出的光綫在通過兩個平面反射鏡之後射到兩個凹面反射鏡上，从而使光源在試樣槽空間成象，這兩個凹面鏡又在旋轉反射鏡的面