

反应堆上,而把核聚变堆作为更远一步的目标。这在目前看是很自然的。但若聚变堆一旦能早日实现,由于它的优点和生命力,必将促使它同快中子裂变堆在经济性上相竞争,并迅速取代之。

参 考 文 献

- [1] Waston, J. H., *J. Brit. Nucl. Energy Soc.*, 9-1 (1970), 12.
- [2] Hancox, R., *Nucl. Fusion*, 11-6 (1971), 649.
- [3] Golovin, I. N. et al., *Nuclear Fusion Reactors*, (Proceedings), (1969), 194.
- [4] Steiner, S., *Nucl. Appl. & Techn.*, 9-1 (1970), 83.
- [5] McCrachen, G. M., *Nuclear Fusion Reactors (Proceedings)*, (1969), 353.
- [6] Booth, L. A., *USAEC Report, LA-4858-MS*, 1 (1972).
- [7] Tuck, J. L., *Nuclear Engineering Internat.*, 16-186 (1971), 924.
- [8] Lontai, L. N., *AD-619670* (1965).
- [9] Lidsky, L. M., *Nuclear Fusion Reactors (Proceedings)*, (1969), 41.
- [10] Gruber, J. E., *Nuclear Fusion*, 13-3 (1973), 451.

电 子 显 微 镜 的 新 发 展

姚 骏 恩

(中国科学院)

一、前 言

伟大领袖毛主席指出:“任何知识的来源,在于人的肉内感官对客观外界的感觉,……”^[1]，“无数客观外界的现象通过人的眼、耳、鼻、舌、身这五个官能反映到自己的头脑中来,……”^[2]，说明了人类在认识客观世界过程中包括视觉在内的感觉的重要作用。然而人的视力是有限的,显微镜和望远镜延伸了人眼的观察能力:望远镜扩大了视距,而显微镜则使人们见到了肉眼无法见到的微观世界。十六世纪光学显微镜的出现,曾经促进了科学技术的发展;二十世纪三十年代问世的电子显微镜(以下简称电镜)使人们看到了病毒以及大小为数十埃到数埃的物体内部结构,三、四十年来电子显微学的奋斗目标,是力求从试样上得到更多的信息,以便对试样进行各种研究。主要是:

1. 观察试样中单个原子的象

提高一般透射式电镜的分辨本领至 3Å ,试制成功分辨本领为 5Å 的高分辨本领扫描电镜,改进试样制备技术和研究成象理论,以便直接观察大分子的结构和单个原子象。

2. 观察试样在自然状态下的形貌

(1) 发展超高压电镜,期望观察“活”细菌、有机体的活动情况以及接近块状性质的薄膜试样等;

(2) 发展扫描电镜,可以直接观察块状试样如金属断面表面的三维空间结构等;

(3) 发展各种附件,以观察试样在加温、冷却、拉伸、弯曲等过程中的形变。

3. 对试样进行综合分析

电镜与X光微区分析、选区衍射和俄歇(Auger)电子谱仪等相结合,可在观察形貌的同时,对试样进行微区化学成分及结构分析;检查半导体集成电路工艺过程和寻找其失灵原因等。

近年来电子显微术有了很大发展,仅就下列几方面作一简要介绍。

二、高分辨本领透射式 电子显微镜

观察试样中单个原子象是电镜工作者长期追求的目标。米勒(Müller, 1957)^[1]用场离子显微镜在液氢温度下获得了钨单晶针尖的单个原子象。试样必须制成针尖状,钨在极高的电场强度(450兆伏/厘米)下电离而投影成象,因而只限于研究象钨这样可以制成针尖的耐熔金属。应用范围很窄。透射式电镜利用穿过试样(薄膜)的电子成象,五十年代点分辨本领达到 10Å 左右,六十年代中期提高到 $3-4\text{Å}$,接近了理论值。可是要获得这样高的分辨本领,对试样的要求十分苛刻:必须制成厚度不超过数十埃的薄膜,并减少

1) 毛泽东,《实践论》,《毛泽东选集》一卷本,人民出版社,(1968), 265.

2) 毛泽东,《人的正确思想是从那里来的?》,《毛主席的五篇哲学著作》,人民出版社,(1970), 226.

支持膜本身的噪声。此时象的反差也不够理想。美国芝加哥大学的克鲁 (Crewe, 1970)^[42] 用超高真空高分辨本领透射扫描电镜观察到了铀和钍-BTCA 中的铀原子 ($Z=92$) 和钍原子 ($Z=90$)。日本的 H. Hashimoto (1971)^[43] 等在透射式电镜 JEM-100B 上用倾斜照明暗场法提高了象的反差, 用同样的试样也观察到了铀和钍原子。德国的托恩 (Thon 等 1972)^[44] 在西门子公司 Elmiskop 101 型电镜上用空心锥电子束照明暗场法观察到汞原子 ($Z=80$)。试样是三乙酰氧汞基玫红酸 (triacetoxymercuri aurine, 简称 TAMA)。所谓空心锥电子束照明暗场法(图 1),

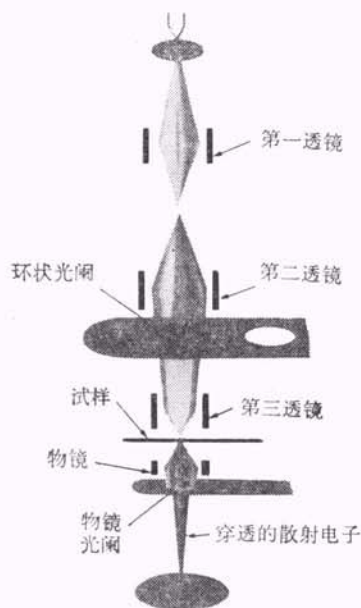


图 1 空心锥电子束照明暗场法

就是在聚光镜中加一环状光阑, 形成空心锥状电子束照射于试样上, 物镜光阑挡住了非散射的电子, 而只允许散射的轴上电子束进入物镜成象。其主要优点是:

1. 照明是旋转对称的;
2. 物镜后焦面上的非散射电子束也是旋转对称的, 因而减少了物镜光阑引起的象散等。英国 AEI 公司的 EM801 型电镜为此增设了第三聚光镜。最近加拿大的奥滕斯迈尔 [Ottensmeyer 等 (1973)]^[45] 用倾斜照明暗场法在飞利浦公司的 EM-300 型电镜上获得了四乙酰氧汞基噻吩 (Tetraacetoxymercurithiophene) 的照片。经电子计算机进行信息处理后显示出了原子序数为 16 的硫原子象(图 2)。上面四个黑点是汞原子, 下面中间的是硫原子象。

观察到试样中单个原子象标志着电子显微术已得到了重大发展。更有实际意义的是在大分子中有意地引进重原子, 放入电镜中直接观察和拍摄照片(或再进行信息处理)。根据重原子所占据的位置就可以给判

断大分子的结构提供有价值的信息, 把人们的视野扩展到分子水平, 为分子生物学等学科创造了重要的观察工具。

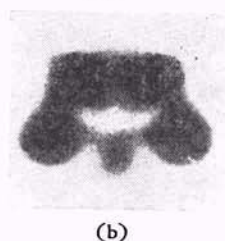
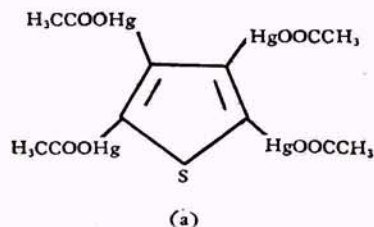


图 2 (a) 四乙酰氧汞基噻吩;
(b) 四乙酰氧汞基噻吩的照片(上面 4 个黑点是汞原子, 下面中间的是硫原子象)

三、扫描电子显微镜

扫描电镜的基本原理是: 当一极细的电子束在试样表面上依次逐点逐行扫描时, 便产生二次电子、背散射电子、穿透电子、X 射线、荧光和试样电流等等, 接收这些信号, 放大并调制同步扫描的显示管上的亮度而形成一放大的试样图象(图 3)。

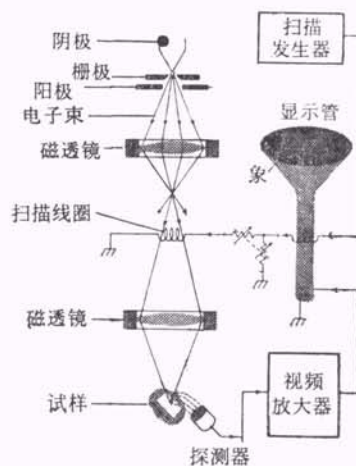


图 3 扫描电镜原理

1. 影响扫描电镜分辨本领的主要因素

(1) 入射电子束斑点的大小 决定于电子光学系统, 如电子枪、电子透镜及其象差等。分辨本领

不能大于入射电子束斑。

(2) 实际电子束斑点的大小 电子束射入试样时发生散射,因此实际斑点大于入射束斑点。散射程度与加速电压、接收的信号和试样本身的性质有关。显然,分辨本领也不能大于试样中电子束实际斑点的大小。

(3) 信号噪音比 减小电子束斑可以提高分辨本领,但信号电平也随着降低,最后信号噪音比限制了分辨本领。

(4) 各种干扰 如杂散电磁场、机械震动等。

2. 扫描电镜的特点

(1) 分辨本领较高 能观察到小于 100 \AA 的微小物体。放大倍数可以很方便地在 $20\times$ — $200,000\times$ 间连续变化(光学显微镜只能看到 2000 \AA 以上的细微结构)。

(2) 景深长,成象富有立体感 金属试样凹凸不平的断面,整个吸血虫以及其吸吮人体内的红血球都能看得清清楚楚,这是其它显微镜所无法达到的。利用一对立体照片,还可测定试样表面凹凸的深度和高度,得到三度空间的参量,如体积、表面积等。深度分辨本领也可达到 200 \AA 左右(接近于扫描电镜的分辨本领)。

(3) 试样制备简单 一般透射电镜的分辨本领最高可达数埃,但试样必须制成厚度仅为数十埃的薄膜或生物切片,制备技术环节繁多。金属试样一般制成复型(表面形状的复制薄膜),其分辨本领也只是 100 \AA 左右,而且往往不能真实反映物体的原来状态。生物试样则要制成超薄切片,经过电子染色以增加反差等。而扫描电镜的试样则无需上述复杂过程,如整个细胞、整块组织、金属断面(直径一、二十毫米,厚数毫米;最大可达 $100 \times 80 \times 50$ 毫米³)等,几乎可以直接放入扫描电镜中观察,因而更接近于物体的自然状态。

(4) 试样综合分析 和 X 光微区分析及选区电子衍射等相结合,可以在观察形貌的同时逐点分析其化学成分及晶体结构。打破了显微镜只能观察、成分分析仪器只能分析成分的局限,兼具电子显微镜、电子探针、电子衍射仪等的特点,而成为一种综合性分析、检验工具;配备各种附件后,还可在加热、冷却、拉伸、弯曲等过程中观察试样的动态变化。

(5) 观察半导体器件及集成电路的工作状态,寻找其失灵原因以提高成品率 如观察半导体单晶表面、外延层的生长情况、金属连线的通断、引线及封装的质量、p-n 结的工作状态、测量耗尽层的宽度、介质层的质量等。

此外,随着大规模集成电路的迅速发展和微波器件的需要,在半导体上刻制宽度 1000 \AA 或更细的线条

图形,一般的光刻技术已无能为力。利用扫描电镜中的极细电子束在实验室中已得到了宽度仅为 600 \AA 的线条。

因此,扫描电镜在近代各科学技术领域和工农业生产中得到了广泛的应用:如检查金属件断裂原因,在加温、冷却、拉伸、弯曲等过程中的变化;昆虫、植物、细菌等分类及细胞学研究、正常及病态人体内脏、支气管上皮表面、子宫颈癌的病理研究;半导体集成电路工艺检查;粮食品质和羊毛纤维的质量检查等等。自 1966 年有商品以来,在短短的六、七年中,据不完全统计,现有英、日、美、法、德等国十五个厂商生产了近 20 种共 2500 台左右扫描电镜,可见其发展之迅速。

3. 扫描电镜与电子探针仪

电子探针仪中一般使用 X 光晶体分光法——X 光谱法来分析试样的微区化学成分。随着高能物理及半导体电子学的发展,最近制成锂漂移硅 Si(Li) 等半导体探测元件,可以对自试样发出的 X 光进行能谱分析——X 光能谱法,从而分析试样的化学成分。光谱法与能谱法的主要优缺点如表(1)所示。除需精确定量及超轻元素等分析外,能谱法得到了广泛的应用。目前,很多扫描电镜中已配备了能谱分析装置。虽然生物试样中大部分为碳氢化合物,但更感兴趣的是细胞内痕量重元素分析,例如用能谱法对厚 1500 \AA 的生物切片,当电子束斑直径为 350 \AA 时,可以在相距 700 \AA 的二微区上进行定点分析,检出了含有 1.8×10^{-18} 克的硫及 2.3×10^{-18} 克的钙[拉斯(Russ), 1972]^[6]。

电子探针与扫描电镜基本技术相似,因此有将二者结合起来成为电子光学组合装置:如日本的 JSM-50A 型扫描电镜与 JXA-50A 型电子探针仪的基本部分相同。后者为了满足 X 光定量分析的需要,增添了必要的部件,并可以配备电子计算机来控制分析过程及进行数据处理,大大提高了分析速度及精度。也有为了发挥各自的特长,制成二种结构互不相同的仪器:如由同一个英国剑桥仪器公司生产的 S4-10 型扫描电镜及 Microscan 5 型电子探针仪。前者电子光学系统为直立式,可以配备半聚焦 X 光光谱仪及半导体能谱分析装置以进行定性或半定量分析。后者为了满足精确定量分析的需要,二个光谱仪是全聚焦式的,罗兰圆直径为 500 毫米,取出角为 75° ,晶体在同一水平面内运动以提高精度。电子光学系统是卧式的。

4. 扫描技术用于透射电镜——分析电镜

透射电镜的高分辨本领(3 \AA)是它的特出优点,可是其应用范围不如扫描电镜。扫描技术应用于透射电镜可以在保持高分辨本领的同时兼有扫描电镜的长处。如英国 AEI 公司的 EMMA-4 型分析电镜:试样室上装有二个 X 光光谱仪;点分辨本领为 10 \AA , X 光微

表1 X 光光谱法与能谱法比较

项目 \ 方法	X 光光谱法	X 光能谱法
能量分辨率	~10 电子伏	150—200 电子伏(峰背比差)
分析范围	铍(Be ⁴⁺)—铀(U ⁹²⁺)	钠(Na ¹¹), 镁(Mg ¹²) 以上
电子束电流	10 ⁻⁶ —10 ⁻⁸ 安培	10 ⁻¹¹ —10 ⁻¹² 安培
最小电子束直径	1000—2000 埃	50—70 埃
空间分辨率	~1 微米	~1 微米(对薄膜及颗粒试样可小于 1000 埃)
分析时间	分析区域上得全谱需 15—30 分钟	1—1/2 分钟
分析灵敏度	~10 ⁻¹⁵ 克	~10 ⁻¹⁸ 克
试样几何形状	全聚焦谱仪难于分析粗糙表面	粗糙表面
使用条件	室温	Si(Li) 需在液氮温度下保存和工作
定量分析	容易(校正方法已成熟)(低含量时精度较高)	可用相同方法进行校正, 但还不成熟(在发展中)。一般用于定性分析及薄膜微区分析, 低含量时精度差。

区分析和电子衍射微区范围为 2000 Å。日本电子株式会社的 JEM-100B 型高分辨本领电镜上最近装置了扫描附件、侧插入倾斜试样台和 X 光微区分析能谱仪, 其透射电子象分辨本领为 4.5 Å; 二次电子象为 100 Å (可达 70 Å); 扫描透射象为 50 Å (可达 30 Å); 化学成分分析范围为 Na¹¹—U⁹²; 微区成分分析及电子(扫描)衍射范围分别为 500 Å 及 200 Å, 成为一种高性能的综合分析仪器。其缺点是试样必须放在物镜极靴中心面附近, 大小受到一定限制, 观察磁性材料时也存在一定困难等。

5. 高分辨本领扫描电镜

扫描电镜的另一值得注意的方向是上面已经提到的高分辨本领透射扫描电镜, 其原理见图4。分辨本领在实验室中为 5 Å, 接近了一般透射式电镜的水平 [克鲁 (Crewe) 1970]^[12]。

(1) 场发射式电子枪 场发射式枪的阴极是在超高真空 10⁻¹⁰ 托下工作的单晶钨丝针尖 (曲率半径小于 1000 Å), 电场强度大于 ~5 × 10⁷ 伏/厘米, 室温下工作时亮度可达 ~10⁸ 安/厘米²-立体角, 比一般发叉式钨丝阴极要高 3—4 个数量级。发射电子的能量宽度约为 0.4 伏, 交叉点直径约 100 Å, 经聚光镜聚焦后可以得到直径仅为数埃、束流足够强的电子束斑点。用这种扫描电镜已观察到脱氧核糖核酸中的铀、钍原子。为观察更厚的试样, 得到更高的分辨本领, 克鲁(1972)^[12]正在试制 10 万伏的, 物镜焦距约为 1 毫米, 其分辨本领应为 2.3 Å。二次电子象的分辨本领还取决于电子与试样间的相互作用。卡托(Catto, 1971)^[12]对此进行了理论研究: 当场发射枪及聚光镜产生的直径为 5 Å 的电子束垂直照射于一光滑而平整的试样表面时, 假定全部二次电子都被接收, 则达到 5 Å 的分辨本领是可能的。先不论仪器本身, 制备接近理论上假定的理想试样表面就是一个问题。对于扫描电镜中常用的粗糙而不规则的试样, 要得到这样高的分辨本领是很困难的。

面时, 假定全部二次电子都被接收, 则达到 5 Å 的分辨本领是可能的。先不论仪器本身, 制备接近理论上假定的理想试样表面就是一个问题。对于扫描电镜中常用的粗糙而不规则的试样, 要得到这样高的分辨本领是很困难的。

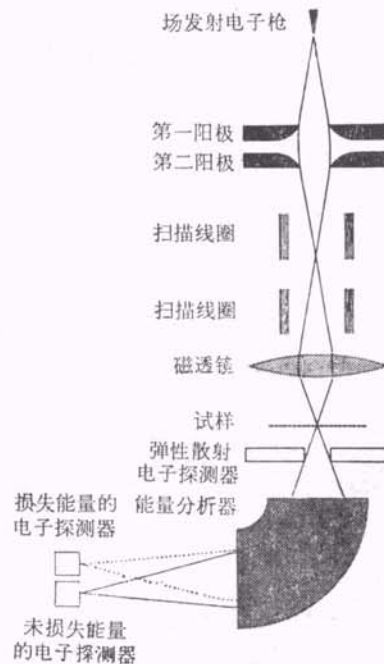


图4 高分辨本领扫描电镜原理图

(2) 商品高分辨本领扫描电镜 日本电子株式会社及日立公司于 1972 年分别试制了 JFSM-30 型及 HFS-2 型场发射式扫描电镜: 二次电子象的分辨本领保证 50 Å (可达 30 Å); 透射电子象为 15 Å。真

空系统为差分式,即电子枪内为 10^{-10} 托,试样室内为 10^{-7} 托,分别用离子泵抽真空,换试样时间为数分钟。仅就分辨本领而言,这是目前商品扫描电镜中的最高水平,但此种仪器还处于试生产阶段,不够成熟,在试用范围和操作性能等方面远不如一般扫描电镜。

6. 超高真空扫描电镜及俄歇(Auger)电子能谱仪

最近美国的 Cwiscan/100 型等超高真空扫描电镜配备了俄歇电子能谱附件(俄歇电子是一种可以表征元素及其化学价态的二次电子),能对深度只有二、三个原子层的表面进行成分分析:例如研究钢内晶界处磷、砷、锡等有害杂质对材料脆性断裂的影响。它是七十年代中很有发展前途的仪器。

俄歇电子能谱仪分析的只是表面几层原子,试样表面不应有任何油污,因此镜筒中应保持超高真空(10^{-8} 托)。其分辨本领约为 1 微米,加速电压一般为 500—1000 伏。

四、百万伏超高压电子显微镜

生物试样在一般电镜中观察时,需制成超薄切片并置于高真空中。因而在研究其内部结构时,试样早已丧失了生命力。为了观察“活”显微组织及“活”细菌,法国于 1960 年首先制成了高穿透力的一百万伏(最高一百五十万伏)超高压电镜。“活”细菌和细胞保持在一充气室中,据报导经电镜观察和照象后仍能继续生长和繁殖。超高压电镜的主要特点还有:

1. 穿透能力强

提高加速电压,亦即增加电子的穿透能力,可以观察厚试样。这不仅简化了试样制备技术,更主要的是观察结果更符合实际情况。大部分晶体的内部结构和相变过程等与试样厚度有关。对于常用的 10 万伏电镜,试样的厚度不能超过数千埃,而厚数千埃的薄膜往往不能完全代表块状金属材料的性质。百万伏超高压电镜可以直接观察几微米(例如 5—10 微米厚的铝)厚的试样,此时已接近大块材料的性质,从而得到材料的宏观性能与其显微结构间的关系,为改进质量提供可靠依据。

2. 有可能进一步提高电镜的分辨本领

法国杜波(Dopouy, 1970)^[41]及日本日立公司(Ozasa 等 1970)^[42]的 300 万伏超高压电镜的理论分辨本领分别为 0.6 \AA 及 1 \AA 。目前,西德、美国等实验室中开展了研制机械、电气性能极稳定的超高压电镜。超导透镜的电流稳定度可达 10^{-7} — 10^{-9} /数小时[塞普蒂尔(Septier), 1972]^[10];美国沃尔萨姆(Worsham 等,

1970)^[11]试制成一种 15 万伏的高压电源,声称稳定度已达 1×10^{-8} /分。

此外,超高压电镜可以提高象的反差,减少对高分子材料和生物试样的损伤,微区衍射范围缩小到 200 \AA 左右(10 万伏时约为 1 微米),并改善了与微区象间的对应关系,可以直接观察金属薄膜中的位错,对材料进行电子辐照效应和临界电压效应等研究。

超高压电镜体积庞大,结构复杂。英国 AEI 公司的 EM-7 型百万伏电镜分辨本领为 5 \AA 、放大倍数为 63—1,600,000 倍,高约 7.5 米,镜筒高 2.7 米,直径 46 厘米;每个透镜约重半吨。整个电镜安装在特制的防震地基上。所用的 100 万伏(最高 120 万伏)高压电源由瑞士 Haeefely 公司制造。其高压稳定度在拍摄照片的时间内达 1×10^{-6} 。日本电子株式会社的 JEM-1000D 型百万伏电镜分辨本领为 2.7 \AA (晶格),放大倍数最高为 50 万倍。电镜高 6.6 米、镜筒高 2.9 米,直径 56 厘米。为提高机械稳定性、加速管直接固定在镜筒上,而 100 万伏高压电源(最高 125 万伏)与镜筒间为挠性连接,稳定度为 2×10^{-6} /分。扫描附件正在试制中。据悉,该公司还在试制一千万伏超高压电镜,其优点还有待于将来的实践。

美国 Arizona 大学的斯特罗尼克(Strojnik, 1972)^[12]设计了一台百万伏卧式透射扫描电镜。荷兰的罗斯(Rus 等 1972)^[13]制造了一种折迭式百万伏电镜:电子自垂直安装的百万伏“凡得霍夫”发生器向下射出,经一双聚焦磁场(作为能量过滤器)旋转 180° 后向上,再通过聚光镜、物镜及投影镜成象。电镜总高仅三米左右,结构比较紧凑。可以在一般实验室中安装,而不必如上述超高压电镜那样需要一栋二层楼高的建筑物。

十余年来在超高压电镜本身的研制上化费了大量人力物力,共制造了二十台左右百万伏超高压电镜。每台价约一百万美元,扫描超高压电镜还处于摸索阶段。从上面提到的各特点来看,超高压电镜已显示了它的优越性,预期今后会得到更大的发展。

五、象增强器、信息处理和 提高象的分辨本领

1. 象增强器

为记录试样的动态变化及观察低电流密度的电子象等,很早以前就开始了象增强器的研制工作。现在电镜中应用的大多是“闭合电视系统式”象增强器。例如在透明荧光屏上显示的电子光学象,经纤维光学面板自电镜中引出到二级静电式象增强器的光电阴极,增强了的象再由电视摄像管摄出(经一闭合电视系统),最后在显示管上成象,以便寻找试样观察范围和聚

焦之用。电子照片则由一照相系统直接自静电式象增强器的象面摄得[希尔沙普(Heerschap)等, 1972]^[141]。这种方法比较复杂。最近有用通道电子倍增板的(每个通道的直径是40微米), 入射电子象直接由通道电子倍增板增强, 经电场加速后投射于一透明荧光屏上(图5)。电子倍增板与荧光屏间的电压约1—3千伏(板二端间约1千伏), 增益可达 10^3 — 10^4 。分辨本领为0.1毫米。英格利希(English)等(1972)^[142]用外径为27和54毫米的通道板式象增强器, 其增益为数百倍, 分辨本领为80微米(略优于其它象增强器)。通道板二端的电压为1.2—1.3千伏, 相距1.5毫米处的P20荧光屏上为9千伏。使用通道直径为15微米的倍增板可望得到更高的分辨本领。

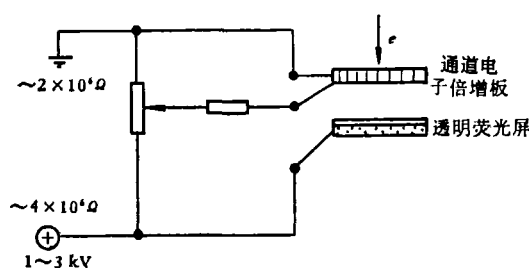


图5 通道电子倍增板式象增强器

2. 信息处理及提高象的分辨本领

由于电子透镜存在象差、拍摄照片时的失焦、支持膜及照相底片的噪声、试样漂移等原因, 在电镜中摄得的照片往往是模糊的。可以用电子计算机[霍佩(Hoppe), 1972]^[147]、光学衍射仪[托恩(Thon)等1970]^[147]以及全息傅利叶变换象增强法[斯特罗克(Stroke), 1972]^[148]等进行信息处理、象差校正及提高象的分辨本领。斯特罗克利用莱塞光、全息傅利叶变换分度滤波器和一套特殊的光学系统对电子显微照片进行信息处理(光学透镜完成傅利叶变换)得到了明显的效果: 将分辨本领为 5 \AA 的照片提高到 2.5 \AA 、显示了病毒的内部螺旋结构。该作者认为在电镜中使用大的照明角以减少物镜的衍射差, 而由此增加的球差则用全息象增强法加以校正, 可期得到 1 \AA 的分辨本领。但进行全息象增强时需要知道电镜的电子光学系统参数及拍摄照片时的实际条件。

六、仪器化及小型化

如所周知, 一般电镜的操作十分复杂, 电子显微照片的好坏很大程度上决定于操作者的水平。近年来采取了很多措施来改进电镜的使用性能及提高自动化程度: 如电磁合轴调整, 改变加速电压和放大倍数时不必重新对中和保持聚焦状态基本不变, 电磁扫描

偏转聚焦, 放大倍数数字化显示, 电子曝光表, 真空系统操作自动化, 同时安放多个试样, 置换试样时不需切断加速电压, 改用自对中灯丝, 电源的晶体管化及使用集成电路等等。此外还配备了各种附件, 如侧插入倾斜试样台($\pm 60^\circ$), 旋转试样台, 扫描附件, X光能谱分析装置, 加热、冷却、拉伸、弯曲试样台和象增强器等, 在应用范围和使用方便等方面前进了一大步(如西德西门子的 Elmiskop 102 型、日本电子株式会社的 JEM-100C 和日立公司的 HU-12A 型、荷兰飞利浦公司的 EM-301 型等高分辨率电镜。

小型化也是一个发展方向。如英国 AEI 公司的 Corinth 275 型台式电镜: 点分辨本领为 9 \AA , 加速电压为 60 千伏; 日本日立-明石公司的 MSM-2 型台式扫描电镜, 分辨本领为 300 \AA 等等。

七、小 结

作为微观世界眼睛的电子显微镜现在已可能直接观察到单个原子的象以及大分子的结构; 观察大块试样、整个细胞等的三度空间结构; 试样的各种动态过程及物理化学变化; 同时进行形貌、成分及结构等综合分析, 成为现代科学技术中一个不可缺少的重要工具。这些特点是其它仪器所无法替代的。但也有它的局限性: 仪器复杂、价格昂贵, 试样制备环节繁多, 使用及观察范围又有一定限制。电镜的发明曾经促进了科学技术的发展, 而科学技术的发展又给电镜提出了各种不同的新课题, 反过来推动了电镜的发展。毛主席指出: “...人类总得不断地总结经验, 有所发现, 有所发明, 有所创造, 有所前进”^[1]。电子显微术也一定会在现有的基础上得到进一步的发展: 提高分辨本领, 扩大使用范围, 简化结构, 对试样进行全面分析等, 为探索微观世界的奥秘作出新的贡献。

参 考 文 献

- [1] Muller, E. W., *J. Appl. Phys.*, **28** (1957), 1.
- [2] Crewe, A. V., *Quart. Rev. Biophys.*, **3** (1970), 137; *Proc. Fifth European Cong. on EM.*, (1972), 14.
- [3] Hashimoto, H. et al., *JEOL News*, 9e-3 (1971).
- [4] Thon, F., Willasch, D., *Optik*, **36-1** (1972), 55.
- [5] Ottensmeyer, F. P. et al., *Science*, **179**-4069 (1973), 175.
- [6] Russ, J. C., *Proc. Fifth European Cong. on EM.*, (1972), 666.
- [7] Catto, C. J. D., *Ph. D. Dissertation*. Univ. Cambridge, (1971).

(下转 169 页)

1) 转引自《周恩来总理在第三届全国人民代表大会第一次会议上的政府工作报告》。