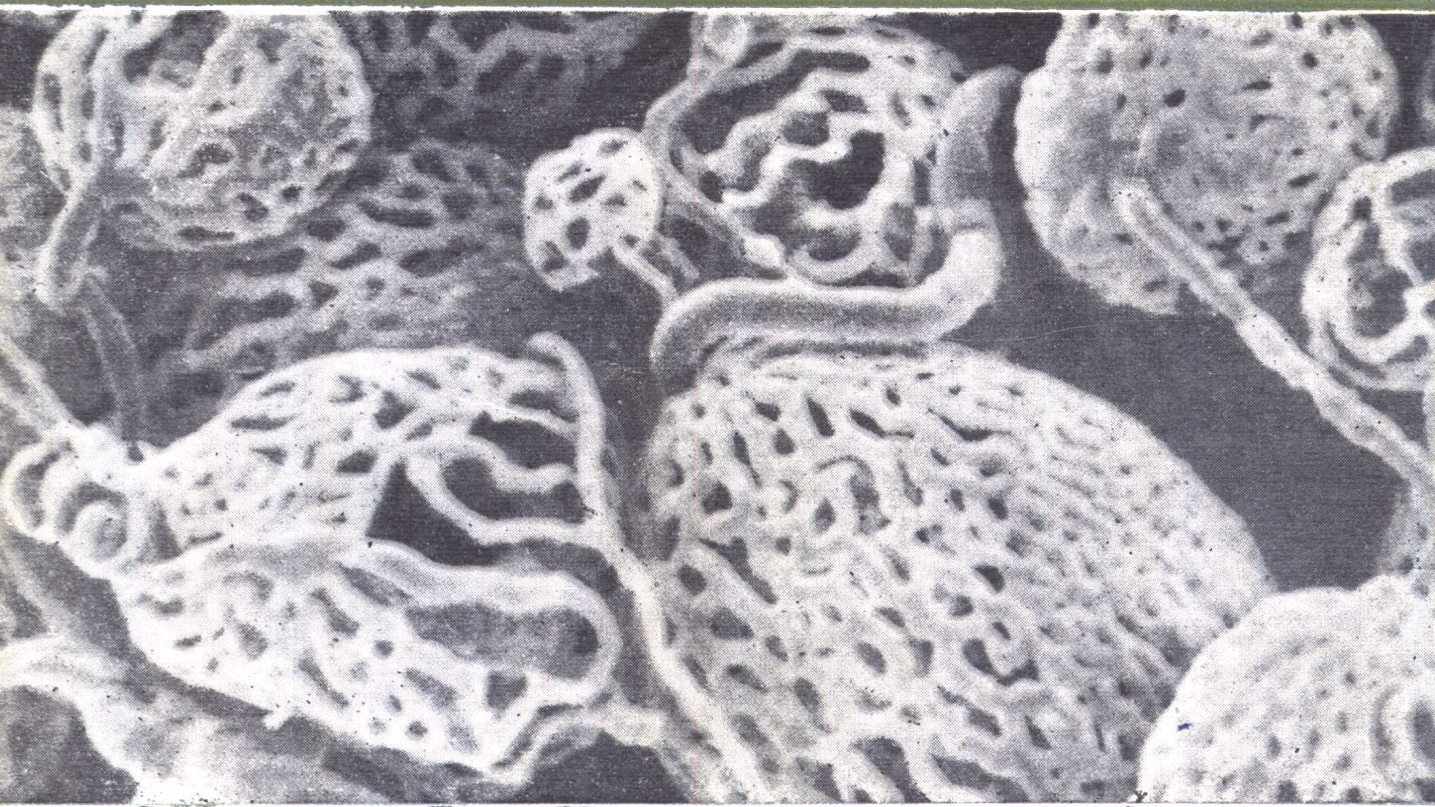


器官内微血管铸型 扫描电镜图谱

张朝佑 主编



科学出版社

器官内微血管 铸型扫描电镜图谱

张朝佑 主编

科学出版社

1988

内 容 简 介

本书由河北医学院解剖教研室和电镜室部分教研人员负责编写。全书包括三部分：第一部分，器官内微血管铸型扫描电镜技术简介，扼要地描述扫描电镜的原理和结构；第二部分是微循环研究的进展，除了简介微循环的研究历史外，对几种器官的微循环，从其形态学基础、生理学特性等方面作了比较详细的论述；第三部分为器官内血管铸型图谱，是本书的主要部分，包括三种图片：（1）大体标本彩色照片；（2）双目立体显微镜下彩色图象；（3）扫描电镜图象；共 131 幅。

本书可供基础医学各科教师和临床医师以及广大医药院校、师范院校的生物系教师和学生参考；对从事微循环的研究人员更是必备的资料。

器官内微血管 铸型扫描电镜图谱

张朝佑

责任编辑 施兰卿

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1988 年 8 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

1988 年 8 月第一次印刷 印张：7 3/4 插页：34

印数：0001—2,400 字数：172,000

ISBN 7-03-000321-7/R·12

定价：8.70 元

前 言

扫描电镜的问世,促进了医学和生物学的发展。应用扫描电镜研究血管铸型,探讨器官内微血管的立体构筑形式,是个比较理想的方法,为微循环的形态学研究开辟了广阔的途径。因此,从70年代开始,应用血管铸型技术在扫描电镜下研究器官内微血管,引起了国内外学者极大的兴趣。

70年代后期,我们从事了这方面工作,对于消化器官的舌、胃、十二指肠、空回肠以及肝和胰腺等,呼吸器官的喉和肺,泌尿器官的肾,男女生殖器官的阴茎、睾丸、输精管和卵巢等,循环器官的心脏、脾和淋巴结等以及内分泌腺的垂体、肾上腺和甲状腺等均进行了比较系统的研究,并获得了清晰而立体的血管构筑图象。这些成果不但对于形态学工作者有所帮助,对于生理、病理和药理等从事功能方面研究的学者也是颇有裨益的。特别是在微循环这个学术领域,近年来发展极为迅速。为了适应这种形势发展的需要,我们将几年来研究积累的部分图片,汇集成册,供基础和临床学科以及医学生物学的广大工作者参考。

全书包括三部分。第一部分简单地介绍扫描电镜的原理和结构;第二部分着重描述几种器官的微循环;第三部分为器官内血管铸型图谱,包括大体标本彩色图象、双目立体显微镜下彩色图象和扫描电镜下图象,共131幅。

本书由河北医学院基础部解剖教研室和基础医学研究所电镜室部分人员编写。值得特别提出的,这项工作所以能顺利完成,与电镜室领导李文镇教授、雷建章教授、应国华讲师等从多方面给予鼓励与支持分不开;赵玉珍、张玉英、王丽同志等协助作了大量工作;李文镇教授亲自承担了总审校。锌版插图在绘图室领导支持下,由程寿根、刘斌和李玉丁三同志协助绘制,在此一并致谢。

由于经验不足、业务水平和资料所限,在图的质量和文字内容等方面,定有诸多缺点和不妥,诚恳期望广大读者给予批评指正。

最后,对曾经给予我们指导、帮助和支持的全国兄弟院校的专家、前辈和同道们表示衷心感谢。

编 者

主 编: 张 朝 佑

编 著 者: (按姓氏笔划排列)

李向印 张朝佑 侯广棋 袁桂琴
韩云明 雷 琦 廖 瑞 魏宝林

审 校 者: 李 文 镇

目 录

第一部分 器官内微血管铸型扫描电子显微镜技术简介

扫描电子显微镜特点及扫描样品制备进展概况	李向印、张朝佑 (3)
扫描电子显微镜结构、原理和血管铸型扫描样品制备法	李向印 (6)
一、扫描电子显微镜的结构	(6)
(一) 电子光学系统	(6)
(二) 电子信号的收集、处理和显示系统	(7)
(三) 真空系统	(8)
二、扫描电子显微镜的工作原理	(9)
三、金属镀膜法	(9)
(一) 真空镀膜法	(9)
(二) 离子溅射镀膜法	(10)
四、血管铸型扫描样品制备法	(11)
(一) ABS 血管铸型扫描样品制备法	侯广棋 (11)
(二) 甲基丙烯酸甲酯血管铸型扫描样品制备法	袁桂琴 (14)

第二部分 微循环研究的进展

微循环研究的概况	张朝佑 (19)
几种器官的微循环	(24)
一、心脏微循环	(24)
(一) 心脏微循环的形态学基础	(24)
(二) 心脏微循环的生理学特性	(26)
(三) 病态下的心脏微循环	(30)
二、心脏的侧副微循环	(34)
(一) 心脏侧副微循环的形态学基础	(34)
(二) 实验性心肌梗塞与侧副微循环形成	(37)
(三) 心脏侧副微循环发展的影响因素及其功能意义	(41)
三、脾脏微循环	袁桂琴 (45)
(一) 脾微血管形态结构	(46)
(二) 脾微循环类型的研究	(47)
(三) 脾肿大时脾的末梢循环	(49)
四、肝脏微循环	廖 瑞 (50)
(一) 肝脏微循环的形态学基础	(51)
(二) 肝脏的淋巴微循环	(56)
(三) 肝脏的微循环单位	(57)
(四) 肝脏微循环的调节	(58)
五、胰腺微循环	袁桂琴 (60)

(一) 胰腺微循环概况	(60)
(二) 胰腺微循环的调节	(63)
(三) 糖尿病状态下的胰腺微循环	(64)
六、小肠微循环	廖 瑞 (65)
(一) 小肠微循环的形态学基础	(66)
(二) 小肠的淋巴微循环	(70)
(三) 小肠微循环的机能意义	(70)
七、肺微循环	侯广棋 (71)
(一) 肺微循环的形态学基础	(73)
(二) 肺微循环的生理特点	(75)
八、肾微循环	张朝佑 (77)
(一) 肾微循环的形态学基础	(77)
(二) 肾微循环的生理	(82)
九、睾丸及输精管道的微循环	韩云明 (88)
(一) 睾丸微循环	(89)
(二) 输精管道的微循环	(98)
十、卵巢、子宫和输卵管的微循环	雷 琦 (102)
(一) 卵巢微循环	(103)
(二) 子宫微循环	(106)
(三) 输卵管微循环	(107)
十一、甲状腺微循环	袁桂琴 (108)
(一) 甲状腺的微血管	(109)
(二) 甲状腺激素的运输	(110)
(三) 甲状腺的淋巴微循环	(110)
十二、葡萄膜微循环	魏宝林 (111)
(一) 脉络膜的微血管	(111)
(二) 睫状体的微血管	(113)
(三) 虹膜的微血管	(113)
(四) 视神经乳头的血液供应	(114)

第三部分 器官内微血管铸型图谱

一、器官内微血管铸型大体标本彩色图像

图 3-1—图 3-8

张朝佑、廖 瑞

二、器官内微血管铸型双目立体显微镜下彩色图像

图 3-9—图 3-23

侯广棋、韩云明

三、器官内微血管铸型扫描电镜下图像

(一) 消化器官 图 3-24—图 3-61

廖 瑞、袁桂琴等

(二) 呼吸器官 图 3-62—图 3-69

侯广棋、魏宝林等

(三) 泌尿器官 图 3-70—图 3-83

张朝佑、廖 瑞等

(四) 生殖器官 图 3-84—图 3-102

韩云明、雷 琦等

(五) 循环器官 图 3-103—图 3-116

张朝佑、雷 琦等

(六) 内分泌器官 图 3-117—图 3-120

袁桂琴、侯广棋等

(七) 感觉器官 图 3-121—图 3-131

魏宝林、袁桂琴等

第一部分

器官内微血管铸型扫描
电子显微镜技术简介

扫描电子显微镜特点及扫描样品制备进展概况

扫描电子显微镜(简称扫描电镜)虽然在 1935 年德国人 Knoll 就提出了设计思想与原理。经过近三十年的努力,直到 1965 年,英国才开始生产商品扫描电镜,当时最佳分辨率为 $500 \text{ \AA}$ 。次年日本也研制成扫描电镜。扫描电镜问世不长,但由于以电视为中心的电子光学兴起,其改良和普及都很迅速。目前扫描电镜的分辨率已从初期的 $500 \text{ \AA}$ 发展到 $20 \text{ \AA}$;有的实验室已在研究分辨率为 $5 \text{ \AA}$ 的扫描电镜。扫描电镜发展如此迅速主要扫描电镜具有以下特点:

1. 扫描电镜的焦点深度大、图像富有立体感

由于扫描电镜与光镜和透射电镜的照明光源及原理不同,因此扫描电镜比光学显微镜的焦深大几百倍;比透射电镜的焦深大几十倍(图 1-1)。扫描电镜是利用一次电子轰击样品后从样品表面激发的二次电子成像,所以扫描电镜的图象不受样品厚度的影响。透射电镜是电子穿过样品后在荧光板上成像,因而图像受样品厚度的限制。

2. 分辨率高、放大范围大

扫描电镜已从初期的 $500 \text{ \AA}$ 发展到 $20-60 \text{ \AA}$ 。放大倍率从几倍可连续调到二十万倍。对于一个较小的样品可以观察其全貌,还能以不同的放大倍率,对某些局部很方便地进行细微的观察。

3. 对样品的适应性大

扫描电镜对样品适应性很大,不同的学科领域都可以使用,如地质、生物、医学、工业等。样品的种类很多,有金属、非金属、植物、动物及成品材料,以及颗粒和粉末等。这么多种类的样品经过不同方法处理都可以很好地进行观察。

4. 电子束对样品的损伤与污染小

由于扫描电镜的电子束流很小,仅为 $10^{-10}-10^{-12} \text{ A}$,比透射电镜小两个数量级。其加速电压为 $0.2-30 \text{ kV}$,比透射电镜的加速电压 100 kV 低 2—4 倍。电子束的直径一般在几十到数百 $\text{\AA}$ 。电子束的能量小,不像透射电镜那样连续不断地在一个点内轰击,而是以点的形式在样品表面进行扫描,因此电子束照射所引起的污染与损伤都小。

5. 扫描样品制作比较简单

除生物样品制备较复杂外,大部分扫描样品制备都是比较简单的;不需要做切片,有的金属样品不经任何处理就能很好地观察。

6. 能结合元素分析

在观察外貌的同时,还可以利用从样品发出的其他信号作微区化学成分分析,或晶体

学分析。

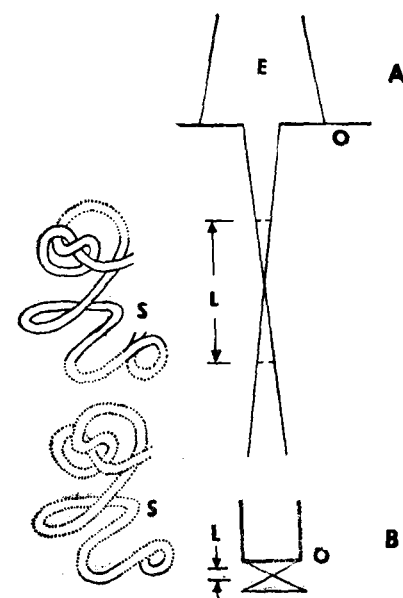
上述扫描电镜的几个特点,对于血管铸型来说,最重要的是焦点深度大;因此都能把

很厚一层、交织成网的血管铸型看得很清楚,并能照出立体感非常强的图片(图1-1)。其他如放大倍数连续可变,从最低倍开始观察,可以了解整个器官或组织血液循环的空间结构全貌,这也是非常重要的。扫描电镜对样品损伤不大,血管铸型并不是生物样品本身,而是塑料类物质,因而受到的损伤更微小。可见血管铸型很适于扫描电镜观察,有利之点很多。

用于扫描电镜研究的样品、制备的方法不完全相同,很大程度上取决于样品的类型和大小;不少情况还取决于研究的目的。如果是生物样品,则样品必须经过处理,使之具备条件;能耐受电子的冲击和高真空。如果系金属样品,它已具备这些条件,即不需要特别制备方法,样品可直接置于高真空系统中进行研究。

生物样品的制备,不同于矿物和金属。生物样品是柔软而富有水分的,因此在高真空的电子显微镜中观察生物样品时,必须按照规定进行处理。其中最主要的是脱水、干燥和金属镀膜等。

图1-1 A. 扫描电镜焦点深度(L)大,样品(S)大部分聚焦清楚,相当实线处,○示物镜。B. 光镜焦点深度(L)小,样品小部分聚焦清楚,相当实线处。大部分聚焦不清楚,相当虚线处,○示物镜。



一般生物样品的制备,先要经过固定、脱水、干燥。血管铸型并不是生物样品本身,而是树脂类物质。它既不需要固定,也不需要脱水,在空气中就能放干。1951年,Anderson首先创制临界点干燥器;1969用于制备生物样品。生物样品在接受临界点干燥以前,先要经过丙酮和醋酸异戊酯处理,但对血管铸型来说,丙酮和醋酸异戊酯对它都有不良影响,不能使用。近年来用二甲基亚砷冷冻割断法等制作组织细胞的剖断面样品。这种冷冻割断法也可用于血管铸型,能做出更为自然的断面。血管铸型和生物样品一样,最后都要进行金属镀膜,使之具有导电性,防止充电放电,才能做扫描电镜观察。关于金属镀膜法的原理、设备和操作将有专题叙述。下面仅介绍导电物质和导电法。

在扫描电镜样品制备过程中,需要对样品进行表面喷镀金属,使其能够导电。最初曾用铜喷镀导电法,以后推荐用炭和金双重喷镀导电法。理由是炭能够很好地旋转进入样品,而金可以充分放出二次电子形成图象。因此,认为把它们二者组合起来是非常合理的。缺点是炭喷成的膜较厚;而金的颗粒性不甚理想。这种方法在扫描电镜分辨力低的时代认为是好的,但在进入高分辨力的时代,就期望有更薄的、颗粒更好的喷镀。于是把金改为金钼,将易于旋转进入样品的炭,则改成使用旋转装置进行喷镀。之后,喷镀方法又由电阻加热型改为溅射喷镀法;喷镀物质由金改为金钼或白金。溅射喷镀要用离子镀膜机进行。近年来,有的离子镀膜机已具有测知和控制镀膜厚度的功能。

作为导电法,除了金属喷镀外,还有使金属颗粒进入样品的导电染色法,即单宁酸钨酸法。这种导电法,近10余年来有很多改进,其要点主要是:(1)无放电现象,(2)导电

层薄,(3)能清楚地观察到样品表面的微细结构,(4)二次电子放出率高。从这个角度考虑,有人提出,做过单宁酸钨酸法之后,再尽可能薄地溅射喷镀一层白金。

以上介绍的是制备扫描电镜样品的一般技术方法,根据样品的类型有使用树脂铸型的血管观察法、冷冻扫描电镜法、免疫扫描电镜法以及X线微区分析法等。这里着重介绍树脂血管铸型扫描样品的制备方法。

为了研究空腔性器官,特别是器官内微血管系统的复杂立体构筑,先向管腔内灌注一些物质。待注入物硬化后,将周围组织腐蚀去掉,观察研究其铸型。

扫描电镜具有高分辨力和很大的焦点深度。为了制作适用于扫描电镜观察的铸型,应特别重视选择颗粒细小、收缩率低、适于金属喷镀以及电子束照射等条件铸型剂。常用的铸型剂有ABS、甲基丙烯酸甲酯、过氯乙烯以及亲水性聚氨酯(WPU)等。

(李向印、张朝佑)

扫描电子显微镜结构、原理和血管铸型扫描样品制备法

一、扫描电子显微镜的结构

扫描电子显微镜一般由产生电子束的电子光学系统、信号接收处理显示系统和真空系统等组成(图 1-2)。

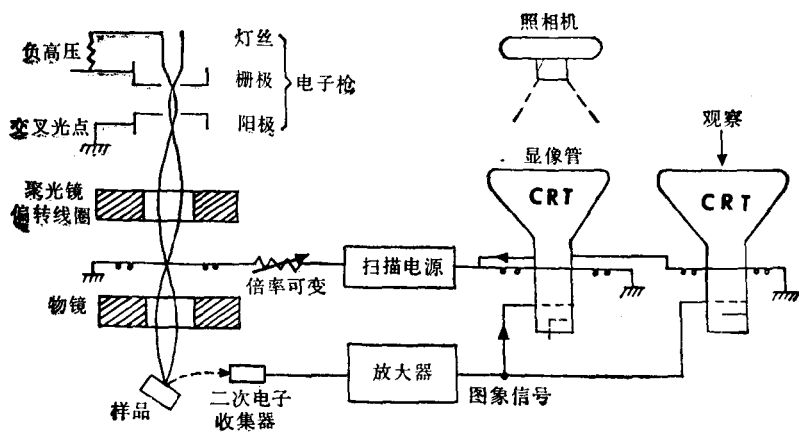


图 1-2 扫描电镜原理图

(一) 电子光学系统

电子光学系统包括电子枪,第一、第二聚光镜,扫描偏转系统及物镜等。其作用是产生直径为几十 $\text{\AA}$ 的电子束,使该电子束在样品上扫描。

1. 电子枪

电子枪是产生连续不断的电子束的器件,它包括阴极、栅极和阳极。阴极也称灯丝,它是由直径 0.12mm 左右的钨丝制成的。其形状有V形的,也叫发卡型的和点状灯丝等。当灯丝通以电流时,钨丝发热而产生热电子发射。在一定程度范围内,电子发射随灯丝温度升高而增加。上升到一定温度时,达到饱和状态,温度再升高也不会产生更多的电子,只会缩短灯丝的寿命。

栅极位于阴极和阳极之间,相对于阴极,是负电位,起着控制电子束的发射和改变电子枪中电场分布的作用。栅极负电压形成的负电场,对电子有排斥抑制作用,可使一些电子返回灯丝。栅压越负通过的电子束越少。束流的大小与灯丝的温度、栅偏压的大小,以及灯丝与栅极帽的距离等有关。

距栅极一定距离有一阳极,它与阴极之间放置可以调节的高压,称为加速电压。因为

阳极对阴极存在电位,故有吸引和加速电子的作用,使电子通过栅极孔向阳极运动。阳极能会聚电子束,起着静电透镜的作用,使电子束聚成 $20-50\mu\text{m}$ 左右的交叉光点,通过阳极孔发射出来。

2. 电磁透镜

扫描电镜的电磁透镜不再象透射电镜那样起着图像放大作用,而是起着缩小电子束直径的作用。来自电子枪的 $20-50\mu\text{m}$ 直径的电子束经第一、二聚光镜及物镜的会聚,成为一束直径大约 $20-50\text{\AA}$ 的电子束打在样品上进行扫描。

3. 扫描系统

扫描电镜荧光屏上的图像是由数百万个点组成(这些点也称像素)。这些点来自镜筒中电子束在样品表面上逐点轰击产生的二次电子。电子束由点成行,由行成面。轰击样品后产生无数二次电子,经检测器接收,变成电流信号,调制显像管栅极而形成图像,这个过程称为扫描。电子束从左到右方向的运动叫行扫描;从上往下运动叫帧扫描。这一过程是由设置在物镜上部的偏转线圈完成的。由于镜筒与显像管上的偏转线圈电流同步,因此显像管荧光屏上的图像任一点的亮度便相当于样品表面相应点的二次电子信号。改变显像管和镜筒中偏转线圈的电流大小能改变电子束在样品表面的扫描面积。无论扫描面积多大,都要在整个显像管荧光屏上显示出来。由于显像管荧光屏的面积是一定的,所以扫描面积越大,放大倍数越小,扫描面积越小,放大倍数越高(图 1-3)。

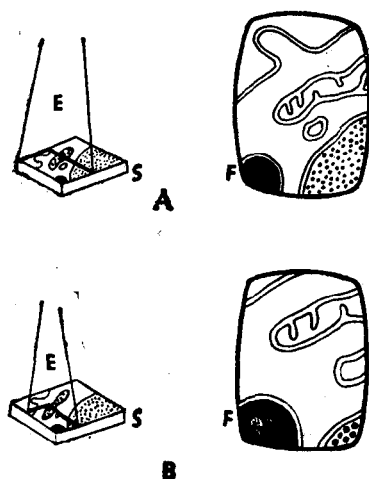


图 1-3 A. 电子束(E)在样品(S)上扫描面积大,显像管荧光屏(F)上图像放大倍数低。B. 电子束(E)在样品(S)上扫描面积小,显像管荧光屏(F)上图像放大倍数高。

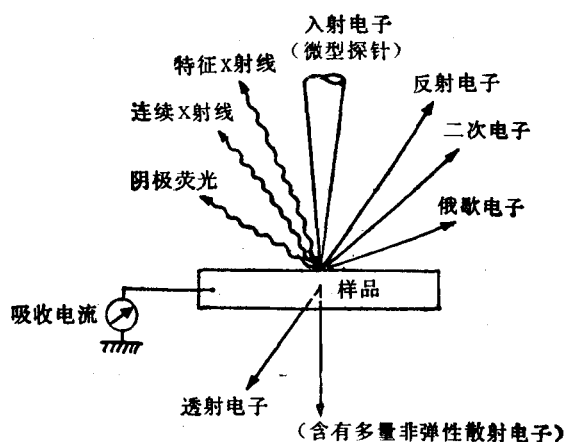


图 1-4 扫描电镜样品放出多种信号

(二) 电子信号的收集、处理和显示系统

电子枪发射的电子束,经过聚光镜和物镜汇聚成直径在几十 $\text{\AA}$ 的光斑,在物镜上部偏

转系统作用下,以水平方向和垂直方向在样品上进行扫描轰击。样品可产生各种信号(图1-4)形成不同的图像,用于不同的目的。

在样品表面向下 $50-500 \text{ \AA}$ 深度内可以发出大量的二次电子。在 $500-10000 \text{ \AA}$ 深度内激发出很多的反射电子。在 $0.5-5 \mu\text{m}$ 深度激发出特征X线。样品做得比较薄时,一部分电子可以穿透样品,这部分电子叫透射电子;没有穿过样品而停留在样品内部的电子叫吸收电子。有些物质在高能电子束轰击下就会发出可见光,称为阴极荧光;另外在样品极表层,还可以激发出俄歇电子。目前扫描电镜工作中最常使用的是以下三种信号。

1. 二次电子

通常电子枪发射的电子叫一次电子。一次电子轰击样品,由样品表面层 $50-500 \text{ \AA}$ 深度激发出来的电子叫二次电子;它的能量在 $0-30\text{eV}$ 之间。其特点是能反映样品的表面形态;其产额率主要取决于样品的外貌和成分。在检测器的收集栅加上正电压时,可使带负电的二次电子具有翻越障碍呈曲线入检测器的能力。所以,样品凹坑底部或凸起的背部都能清晰成像,而无阴影效应。另一特点是空间分辨率高,因为入射的电子束直径与二次电子发射的范围相差无几。

2. 反射电子

它是从样品表面向下 $500-10000 \text{ \AA}$ 深度内反射出来的电子。这种电子能量较高,多数与入射电子能量相近,基本上不受检测器收集栅电压的影响,呈直线进入检测器,有明显的阴影效应。由于从样品深部被反射出来,它在样品内部已接近完全扩散,其范围要比入射电子束的直径大若干倍,所以反射电子图像的分辨率要比二次电子图像的分辨率好得多倍。其产额率随原子序数增大而增多,所以反射电子除可以显示表面的形态外,还可以用来显示元素分布的状态。

3. X线

样品化学成分中的原子被入射电子电离后发出特征X线。它产生于 $5000 \text{ \AA}$ 左右的样品深部区域。不同元素可以发出不同的特征X线,其相对强度与激发区相应的元素含量有关。特征X线可用波谱仪和能谱仪检测以进行微区内元素的定性和定量分析。

入射电子束激发出来的各种信号,分别被特定的检测器所接收,以二次电子检测器为例介绍如下。

二次电子检测器是由闪烁体、光导管、光电倍增管所组成。闪烁体是一块特制的玻璃状圆片,表面涂有荧光粉,上面再喷镀一层铅膜作为导电层(加上一万伏直流电压)以吸引二次电子。二次电子被吸引到闪烁体上,引起荧光粉发光,由电子信号转变成光信号。这种光信号经过闪烁体后面的光导管传送到光电倍增管,光信号又经光电倍增管转变成电信号。经前置放大及视频放大送往观察显像管和照像显像管栅极调制其亮度,在显像管的荧光屏上形成一个放大的图像。

(三) 真空系统

扫描电镜的真空系统,由机械泵、油扩散泵、真空管道及真空检测系统组成。这些系

统可以保证扫描电镜在高真空状态下工作,否则将会引起高压放电打火,污染样品,缩短灯丝使用寿命等,以致机器无法使用。

对于血管铸型来说,前面提到的当检测器收集栅加上正电压时,可以使带有负电荷的二次电子具有翻越障碍进入检测器的能力,所以样品的凹坑底部和凸起的背部都能清晰成像,这一点是非常重要的。这就说明无论血管铸型的网状结构多么复杂,我们也能充分观察和记录其立体形象。特别是扫描电镜还具有非常灵活的旋转和倾斜样品的机能,可以从不同角度观察样品;这对于研究空间构型复杂的血管铸型更加有利。

二、扫描电子显微镜的工作原理

从电子枪发射出来直径为 $20-50\mu\text{m}$ 的电子束,被阳极吸引加速经过聚光镜与物镜,会聚成直径为 $20-50\text{\AA}$ 左右的电子束(也称电子探针)。在物镜上部偏转系统的偏转作用下,在样品上进行扫描轰击,产生各种信号。这些信号被相应的检测器接收,转变为电信号,经放大输送到显像管栅极,调制显像管而成像。当入射电子束在镜筒中偏转线圈的作用下,沿样品表面进行逐点扫描时,由于显像管的偏转线圈引起的扫描,与镜筒的偏转线圈引起的扫描是同步的,因此,显像管荧光屏上任一点的像素,与样品表面有关点的二次电子信号相对应,结果在荧光屏上出现的扫描图像,就反映了样品表面的形貌特征。

三、金属镀膜法

生物样品都是由低原子序数的元素所组成。一般生物样品都要先经脱水干燥后再镀膜(血管铸型相当塑料制品可以不经脱水直接镀膜)。二次电子发射率很低。由于一次电子在样品上激发出来的二次电子少、信号弱,建立不起来必要的图像反差。另一方面生物样品和其他非导体样品表面电阻率很大。在观察这类样品时,往往发生电荷积累的充电放电现象,影响对样品的观察,更不宜得到高分辨率的高倍图像。

为了避免这两种现象的产生,所以生物样品或非导体样品都要在样品表面上进行金属镀膜处理。经过镀膜处理的样品可以提供电子通路,防止或减少充电放电效应,并可防止或减轻电子辐射损伤。由于样品表面紧紧覆盖一层金属连续膜,这层膜可以代替生物样品表面发射二次电子,使二次电子发射率增高,图像信号强、细节丰富、分辨率高。

样品表面金属膜常用的基本方法有两种:一种是真空镀膜法;另一种是离子溅射镀膜法。

(一) 真空镀膜法

金属在高真空内加热到某种程度时就会熔化,其中有一部分蒸发出金属微粒沉积在样品上,使样品表面覆盖一层不影响样品表面的金属薄膜,厚度大约为 $60-300\text{\AA}$ 左右。通常使用的有碳、金、铂、金/钽、铂/钽合金等。

用来熔化和喷涂金属的加热器大多采用单根钨丝和钨丝篮。将单根钨丝加工成V形。再将被加热的金属(如黄金等……)绕在V形处(图1-5),通电加热使之蒸发。先慢慢

加大电流至金属突然熔化成小珠状悬挂在钨丝上,再逐渐加大电流。如果增大电流太快,金属珠在熔化时会溅落,或者由于喷射迅速使样品的镀膜不匀。以上过程都必须真空中进行。真空喷镀的设备称为真空镀膜机,结构见图 1-6。

真空镀膜时为了达到好的效果,应注意以下几点:

1. 样品上喷镀金属膜的好坏,真空镀

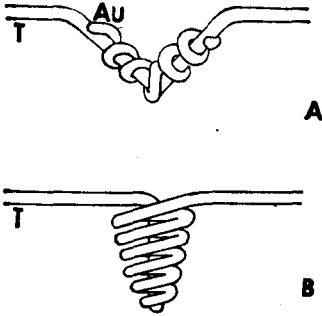


图 1-5 喷镀金膜

A. 将金丝 (Au) 绕在钨丝 (T) 上。B. 钨丝 (T) 其中可放金丝。

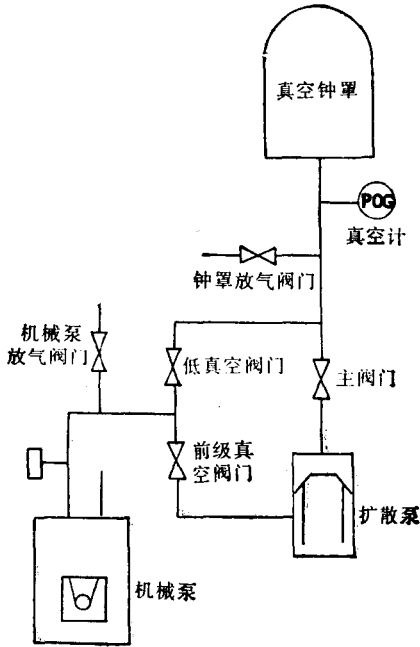


图 1-6 真空喷镀仪

膜机起到很大作用。只有优于 10^{-4} 托以上的真空度才能得到好的效果,不然喷镀金属颗粒太粗。真空不良时,空气中分子氧的氧化物与金属膜混合会使膜成为黑色或成油膜状色彩。

2. 真空喷镀时,由于加热器的辐射热会使样品表面温度上升。太高的温度会使样品变形、烧灼、损伤和龟裂,同时钨也会蒸发出来。样品至蒸发源的距离最好为 8—10cm。

3. 样品表面极为凹凸不平时,即使金属膜厚达 $300 \text{ \AA}$ 以上,也不能防止放电。这类样品喷镀金属膜以前,最好先喷一层碳,可减轻放电现象。

(二) 离子溅射镀膜法

离子溅射又叫阴极溅射或称离子喷镀。近几年来,在扫描样品制备中,逐渐取代真空喷镀而得到越来越广泛的应用。和真空镀膜仪相比,离子镀膜机具有体积小、重量轻、溅射颗粒细、岛状结构小、膜均匀、贵重金属耗量少、时间短、溅射厚度容易控制等优点。

1. 离子溅射装置的简单结构与原理(图 1-7)

镀膜机真空罩内装有阳极和阴极,阴极上装有金属靶。根据需要,选用的靶可由金、铂、金/钼、铂/钼合金等各种金属制成。样品放在阳极上面的样品台上。当玻璃罩内真空达到 $1 \times 10^{-1} \sim 10^{-2}$ 托时,在阴极与阳极之间加上 1000—3000 伏直流电压。在电场的作用下产生辉光放电,残留气体被电离,产生的阳离子轰击带负电位的金靶,使金原子或