

显微技术的发展

李琪

(保山师范高等专科学校 云南 678000)

1. 光学显微镜

大家知道,我们的眼睛看到了一个物体,是看到它发出或者反射的光并把光转变成信号,再由大脑把信号理解为相应的图像。然而,哪怕是最好的眼睛,也无法辨别比视网膜上感光细胞的间距还要小的物体。要想看到这样小的东西,就是靠显微技术,就是要靠放大镜或显微镜。

1590年,荷兰的眼镜制造者约翰尼斯兄弟把两片凸透镜放在一个管子中合用,从而得到了一个能把微小物体放大的光学仪器——显微镜。

说到显微镜,我们还必须提到一个人,他就是荷兰德尔夫特市的一个布店店员,名叫列文虎克。这人一生的癖好,就是磨制和玩赏玻璃透镜,并将其组成光学显微镜,用来看各式各样的细微东西。1665年,他第一次看到了血液里红色的红血球(直径约7微米)。1683年他模模糊糊地看了比红血球还要小的东西,后来人们认为他就是发现了细菌。

光学显微镜虽可观察到组成细胞的基本结构(如细胞质、细胞核、细胞膜等),却只能了解到它的一般情况。这是因为光学显微镜的分辨本领,也就是能够分清的两个细节之间的最短距离,受到了作为成像媒介的光线的限制,最高约为光线波长的一半。波长越短,能够看清的东西就越小。光学显微镜使用的是可见光,波长介于0.39—0.76微米(mm)之间。所以,光学显微镜的最高分辨本领约为200nm。人眼的分辨本领大致是0.1mm。因此,光学显微镜的有效放大倍数为 $0.1\text{mm}/200\text{nm}=500$ 倍左右。在实际使用时,为了操作上的方便,不应使眼睛

经常处于最高分辨而容易疲劳的状态。用分辨本领大致是0.1mm的肉眼来观察0.2—0.3mm的细节就毫不费力。因此,常把上面定义的有效放大倍数再提高2倍。认为光学显微镜的有效放大倍数约为1500倍,然而,世界是有限的,要研究更小的微观世界、研究细胞内的超微结构,光学显微镜就无能为力了。

列文虎克见过的细菌,大小约为1微米,差不多是光学显微镜所能看到的最小的东西。要想看到更小的东西,就需要更短的波长,或者要增加后面要提到的特殊设备。

除了X光和射线的波长很短之外,所有微观粒子都具有像光波一样的波动性,而且能够让波长很短。因此,电子显微镜应运而生。

2. 透射式电子显微镜(TEM)

1897年布劳恩发明了阴极射线管,尽管结构简单,但已是现代电子束管的雏形。同年汤姆孙测定了电子的荷质比,指出以前发现的阴极射线也是一种物质粒子流(现称电子流)。1926年布许发表了有关磁聚焦的论文,因此可以利用电子来成像(与光学透镜成像极为相似)。这样,就为发明电子显微镜作好了技术上和理论上的准备。

恩·鲁斯卡,1906年12月25日出生于德国的海德堡,1929年从事电子透镜的实验研究。1931年4~6月鲁斯卡和克诺尔采用二级磁透镜放大,获得了光阑孔的16倍放大像,制成了世人公认的第一台电子显微镜的最初雏型。当时得到的分辨率为40nm,获得了比光学显微镜清楚得多的大肠杆菌的

电气设备检测中的应用。电气设备的接点有故障时,温度升高,用红外仪可测出其过热点,从而判断某电气元件故障。利用红外热成像仪可用来检测开关柜、互感器、电缆头、电容器等电气设备的热故

障,及早消除事故隐患,确保安全生产。总之,利用红外热成像技术,可广泛用来检测设备故障而引起温度变化的领域,具有广泛的应用价值。

电子像,这一成就在显微学史上是一项重大的突破。1931—1932年鲁斯卡在德国《物理学进展》杂志上发表了以“几何电子光学的进展”为题的论文,第一次使用了电子显微镜的名称。1932年成为了发明电子显微镜的年份。

据理论计算,电子在100kV的加速电压下运动时,其波长仅为0.0037nm,竟比可见光波长小5个量级。即使考虑到各种技术上的困难,电子显微镜的分辨本领也会比光学显微镜高得多。

1933年鲁斯卡用短磁透镜,在75kV下获得了12000倍的放大率。1937年鲁斯卡等开始研制商品电子显微镜。1938年得到了放大30000倍的照片,点分辨本领为13nm,比光学显微镜高了20倍。西门子公司1939年推出了世界上第一台商品电子显微镜,1949年又推出了分辨本领达10nm的UM-100型电子显微镜,1954年又推出了当时最先进的新一代高分辨Elmiskop型电子显微镜。其主要指标为:分辨本领1.0—1.5nm,加速电压100kV,放大倍数16万倍。

到了80年代,电子显微镜不论实际达到的分辨率还是应用性能都有很大进展。现代加速电压为1250kV的超高压、超高分辨电子显微镜,分辨本领已达0.1nm,放大倍数在150万倍以上。电子显微镜的问世成为显微镜发展史上的第二个里程碑。

3. 扫描电子显微镜(SEM)

当聚焦得很细的电子束在试样表面扫描时,用探测器收集相关信息,逐点逐行地在显像管上显示出来,用这种原理制成的电子显微镜称为扫描电子显微镜。

马·克诺尔等在1935年制成了让电子束在材料表面扫描的仪器,把这个装置作为电子显微镜则是偶然的。受电子束直径所限,当时的分辨率只有100微米左右。

第一台真正的扫描电镜是冯·阿登纳在1937年制成的。电子束直径聚焦、缩小到0.01微米、探针电流只有 10^{-12} A的量级。这台仪器原理虽然正确,但由于调试困难、记录时间长、分辨本领低,而以失败告终。

现代扫描电镜的设计制造应归功于英国剑桥大学工程系的奥特莱及其研究小组。1958年剑桥大学向该研究所提供了一台新的扫描电镜。1965年英国剑桥仪器公司生产出了商品Stereoscan。从此开创了扫描电镜的新纪元。

SEM的分辨本领虽没有TEM那么高,但试样制备简单、焦深长、视场大,可直接观察很大很厚的实物试样,而且还能让它作上下、前后、左右、倾斜和旋转运动,从各个角度来仔细观察。SEM的放大倍数还能方便地从几倍连续地增大到几十万倍,既可对感兴趣的细节仔细研究,又可看到全貌,知道这些细节在整个物体中的部位。现代常规SEM的分辨本领已达3.5nm。这是一种非破坏性的分析测试装置。

采用场发射电子枪的超高分辨SEM的分辨本领已高达0.6nm,接近TEM的水平。现在SEM不但在科学研究而且在工农业生产中得到了广泛的应用,特别是电子计算机产业的兴起使其得到了飞速发展。SEM成为半导体集成电路芯片的常规检测工具。

4. 扫描隧道显微镜(STM)

80年代初发展起来的扫描隧道显微镜是继光学显微镜、电子显微镜后人们能够直接观察研究物质微观结构的新型显微镜。它的横向分辨本领高达0.1—0.2nm,而深度分辨本领为0.01nm,是各类显微镜中最高的。而其放大倍数可达数千万倍,比一般电子显微镜还高数百倍。它还克服了电子显微镜中高能电子束对试样的损伤、深度分辨本领低以及试样必须处于真空中的限制,既可以在超高真空、真空,也可以在大气下甚至液体中无损伤地直接观察物质表面结构。

扫描隧道显微镜利用的原理是量子世界的隧道效应。由于隧道效应,在两块金属片之间形成隧道电流,而且这个电流有个奇特的性质,在一定的电压下,隧道电流随间距的增加而急剧地减小。当间距改变一个原子的尺度时,电流就改变数十或数百倍。利用这种关系,可用来制造新型的显微镜。

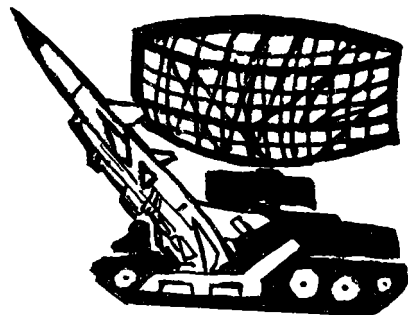
1981年,瑞士苏黎世国际商用公司实验室的科学家罗雷尔和来自德国的研究生宾尼格研制成功了第一台扫描隧道显微镜(STM),终于使人们实现了看到原子真面目的愿望。这台显微镜的针尖只有几个原子大小,针尖离样品的间距也只有1纳米,它的水平分辨率在0.2nm以下,垂直分辨率可以达到远小于0.1nm。

扫描隧道显微镜经历了4代的发展演变。1981年的第一代非常复杂:真空室放在气垫防震台上,而隧道主体单元则靠强磁体与碗状铅超导体磁场之间的排斥作用悬浮起来,以减轻实验室环境中低频震

夜视技术及其对作战的影响

张 树 义

(石家庄陆军学院数理教研室 河北 050083)



夜视技术是指在夜间或低照度条件下,用于扩展观察者视力范围的信息采集、处理和显示的技术。用夜视技术制成的各种夜视器材已成为现代战争中夜间侦察与预警,瞄准与驾驶,火控与制导等不可缺少的装备,它是军队夜间作战的“眼睛”。

一、实现夜视的自然条件

1. 自然条件之一——微光。白天,可见光照度大,通常在 10^2 — 10^5 勒克司范围之内,人的视觉有很高的分辨能力。夜间,可见光照度很小,即使在星月满天的夜晚,也只有 0.2 勒克司,人眼分辨能力很低。在阴云密布的黑夜,人眼的视程更短,分辨力更

低,甚至伸手不见五指。夜间可见光照度虽然很小,但仍然存在月光、星光和大气辉光等微弱的可见光,统称微光。现代夜视技术可以把微光增强到人眼能够看清景物的光照范围,从而实现夜视的目的。

2. 自然条件之二——红外线。红外线是“人眼看不见的光线”,亦称红外辐射。理论和实验表明,任何温度高于绝对零度(-273.16)的物体都在不停地辐射红外线。其辐射能量的强弱、随着物体的温度不同而变化,物体温度越高,红外辐射的能量就越强。红外线作为一种电磁波在大气中传输,有其自身的特点。对于某些波长的红外线,大气几乎全

来获得边界增强的表面形貌图像。第二代则用磁体产生的涡流来代替超导体悬浮,结构就简单多了。现已为大家所仿效。第三代又变得复杂起来,体积也相当大,整个用石英制造以防止针尖的热漂移,也很快被淘汰了。现在广泛应用的第四代,所谓“口袋式”扫描隧道显微镜。设计得精致小巧,但非常稳固。本身的谐振频率极高,不需特殊防震措施。放在一般工作台上针尖与试样间的相对位置仍可保持不变而获得原子分辨本领。

1990 年美国加州 IBM 研究实验室的研究人员,在 Ni(镍)表面将 35 个 Xe(氙)原子排成“IBM”3 个字母,后来又在 Pt(铂)表面上移动 CO 分子排列成一个小人图案。1995 年有报道已经在 $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ 的硅片上制造了 16 个扫描隧道显微镜阵列,可同时动作。因此,可望研制成纳米级电子(量子)器件,纳米级新材料,进行超高密度信息存储以及纳米级加工等。

扫描隧道显微镜大家族统称为扫描探针显微镜。

1. 原子力显微镜(AFM) 利用针尖和试样原子间的相互微弱作用力来获得试样表面的形貌图像,可用于研究绝缘体、半导体及导体。也可对 DNA 分子进行切割。

2. 横向力显微镜(LFM) 对研究诸如由不同材料引起的表面摩擦力的变化十分有用,它还可

来获得边界增强的表面形貌图像。

3. 磁力显微镜(MFM) 可对样品表面的磁畴分布成像,获得含有表面形貌及磁学特性的信息。

4. 扫描近场光学显微镜(NSOM) 是一种特殊的、使用可见光的 SPM(扫描探针显微镜),比传统光学显微镜分辨率提高一个量级。

5. 静电力显微镜(EFM) 用来研究表面电荷载体密度的空间分布。

6. 扫描电容显微镜(SCM) 可对表面电容的空间分布成像。

7. 弹道电子发射显微镜(BEEM) 扫描隧道显微镜和原子力显微镜虽然具有原子级分辨率,但是这种技术不能对界面进行直接探测,只能用于观察界面的剖面。80 年代末发展起来的弹道电子发射显微镜是一种界面探测新技术,它能够对界面系统进行直接、实时及无损的探测,并具有纳米级的空间分辨率。目前这种技术已用于金属、半导体界面的研究。

电子显微镜和扫描隧道显微镜两者的原理和结构完全不同,但都是用电子来成像的超显微镜。1986 年诺贝尔奖的物理奖授予了在半世纪前发明电子显微镜的鲁斯卡以及创制扫描隧道显微镜的宾尼格和罗雷尔,以表彰他们在发展电子显微镜方面所作出的卓越贡献。