

快 讯

强电流短脉冲高亮度电子显微镜的设想

为了提高电子显微镜的单色亮度,以满足电子全息术的要求,长期以来人们进行了大量的研究工作。1956年,为了改善电子束的相干性,Hibi制成了点状灯丝,为全息术提供了有力的工具,由于这个进展才开始了真正的电子全息实验。1968年,Cewe制成了场发射电子枪,与通常的热电子枪相比,其阴极面的电流密度提高了五个量级,亮度提高了三个量级。1978年 Tonomura 等人开发了场发射电子显微镜,第一次获得 3000 条干涉条纹。此后电子干涉和电子全息引起了人们的广泛兴趣,并在观察铁磁样品微磁畴结构方面,取得了一些令人感兴趣的结果。然而,迄今电子全息术所研究的都是静态问题,主要是受电子显微镜只能连续运转的限制。为此本文建议采用激光驱动的光阴极,装备现有的电子显微镜使其在高亮度短脉冲状态下工作,为动态电子全息术的研究提供有力的工具。

全息图的一张含有物体信息的干涉图,因此衡量一个源是否具有实用性,首先要知道它的相干性和亮度。和在光学里一样,电子束源的相干性也包含两个方面:时间相干性(即纵向相干性)和空间相干性(横向相干性)。在场发射枪里,在 0 K 时,电子能量分布由下式表示:

$$P(E) = (1/d)e^{(E-B)/d}$$

式中, $d = 9.76 \times 10^{-9} F/\Phi^{1/2}$, Φ 为阴极的功函数, F 为电场强度, $F = 4 \times 10^7 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$

$$E_f = \langle E_n \rangle + d + \pi k T \operatorname{ctg}(\pi k T/d)$$

$\langle E_n \rangle$ 是电子平均能量,场发射枪的能量展宽为 0.26 eV,亮度为

$$B = J_c / \pi \cdot eV/d$$

最大亮度值可达 $10^8 \text{ A/cm}^2 \cdot \text{rad}^2$,场发射枪能获得如此高的亮度,主要原因是由于场发射是在直径为 100 nm 点阴极上进行的,此时,在电子显微镜上交叉点的半径约为 2.2 nm,比普通电镜要小 4 个量级。

激光驱动的光阴极它是基于光电效应原理,能量展宽可表示为

$$\Delta E = 1/2(E_L - \Phi)$$

式中 E_L 为激光光子能量,我们知道激光器的单色性是非常好的,当发射电流密度为 200 A/cm^2 , $\Delta E = 0.2 \text{ eV}$,而电子束的亮度为

$$B = J_c / \pi e^2 \varepsilon_n^2 \quad \varepsilon_n = r(2\Delta E/m_0 c^2)^{1/2}$$

式中 m_0 是电子的静止质量, c 是光束, r 是发射半径,实验测的最大亮度值为: $B = 10^7 \text{ A/cm}^2 \cdot \text{rad}^2$ 。

从以上分析不难看出:激光驱动光阴极,其发射电子束的亮度和相干性都能和场发射电子枪相媲美,但光阴极能在短脉冲强电流高亮度状态下工作,又是场发射枪所不具备的。因此,激光驱动光阴极完全可以满足动态电子全息术对相干性的要求。

对激光器的第一个要求是辐射波长或者光子能量要大于阴极材料的阈值功,目前被广泛用来驱动光阴极的激光器是: Nd:YAG, 它的二倍频的光子能量为 2.33 eV (530 nm), 这种激光器既能连续工作,又能脉冲工作。这样电子显微镜既能在连续条件下工作,便于工作人员调节电镜,又能在脉冲状态下运转,以用来拍摄动态电子全息图。现在假定激光器脉冲持续时间为 20 ps, 输出能量为 $2 \mu\text{J}$, (变频以后的输出)功率密度则为 10^5 W/cm^2 , 相应的光子数则为: $2.67 \times 10^{13}/\text{cm}^2$; 再假定量子效率为 10^{-2} , 所获电子数为: $2.67 \times 10^{11}/\text{cm}^2$, 相应的电荷量为 42 nc, 峰值电流可达: $I = Q/\tau = 2000 \text{ A/cm}^2$, 这足以使任何电子全息底片感光。

如果上述装置用半导体二极管激光器泵浦,可以将它直接装配在电子显微镜头部,如果用氙灯泵浦,把它作为电子显微镜的一个附件,光束在窗口引入,这部分价格估计为总价值的 3% 左右(和场发射镜相比)。

用光阴极作为电子显微镜的电子束源,由于脉冲时间可以短到微微秒量级,因此电镜的机械、电源稳定性以及空间杂散电磁场屏蔽的要求都大大降低,这为研究动态电子全息和动态问题提供一个有力的工具。

(中国科学院上海光机所 陈建文 1992年12月4日收稿)