

使用热电子发射枪进行电子干涉和全息实验

曹涵清

陈建文 傅淑芬 马建 王之江

(上海宝山钢铁总厂中心试验室)

(中国科学院上海光机所)

Electron interference and holographic experiment with a TEG

Cao Hanqing

(Central Lab., Baoshan Iron and Steel Plant, Shanghai)

Chen Jianwen, Fu Shufen, Ma Jian, Wang Zhijiang

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: By analysing the condition of coherent illumination, the possibility and problems of electron interference and holographic experiment employing a TEG (thermo-electric emission gun) are explained simply. Experimental results obtained with JEM-200CX transmission electron microscope (with SAP pole piece) are given.

1. 前言

目前,国内尚没有场发射透射电镜。因此,使用现有的热电子发射枪高分辨商品电镜进行电子干涉与全息工作可以达到什么水平,这是不少研究人员关心的问题。我们在 JEM-200CX 型电镜上,用 LaB₆ 灯丝进行了一系列实验研究。

2. 实验参数的选择和实施方法

根据横向相干性对条纹能见度的影响,等效电子束源到双棱镜细丝的距离 a 和双棱镜细丝到干涉平面的距离 b 必须满足以下关系,干涉条纹才可能分辨:

$$\frac{a}{b} > \frac{1 - (\ln 3)^{1/2} / \alpha \varepsilon K}{(\ln 3)^{1/2} / \alpha \varepsilon K} \quad (1)$$

式中 α 为电子束的偏转角, ε 为电子束源的线度, $K = 2\pi/\lambda$ 。另外,与分辨率直接有关的干涉条纹间距 Δ , 以及与重叠区宽度 W 大小有关的条纹总数 N 分别满足以下关系式^[1]:

$$\Delta = \lambda(a+b)/2\alpha a \quad (2)$$

$$N = \frac{2 \ln 3}{K \pi \varepsilon^2} \cdot \frac{a(a+b)}{b} \quad (3)$$

因此, a 应尽量大, b 应尽可能小。但 b 值太小将使

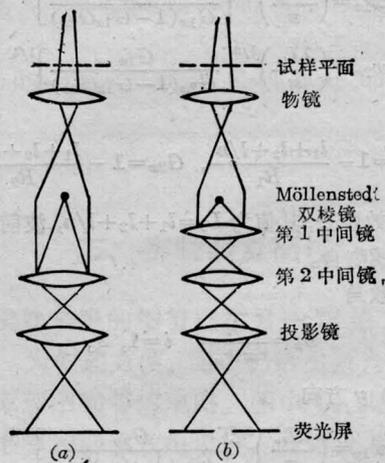


图1 两种可实用的光路

(a) 第1中间镜关闭; (b) 全部透镜通电

重迭区过窄。由于商品电镜的结构无法改变,而且在各操作模式下,各透镜电流互相连动,在参数选择上存在很大困难。但是,可以借助各透镜的开关来改变光路设计以控制有关参数。在 JEM-200CX 型电镜上可采用图 1 所示的两种光路。

电子枪从灯丝开始发射到最后稳定约要 2~3

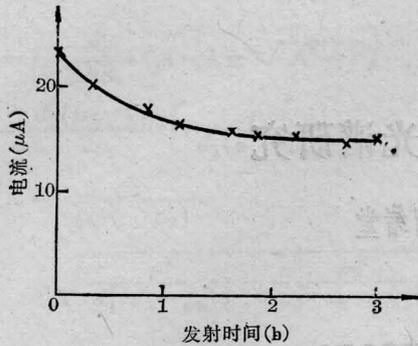


图2 束流随发射时间的变化

小时(见图2),所以应于灯丝发射后3小时左右开始实验。另外,镀金的双棱镜细丝,在80 kV加速电压、双棱镜工作电压 V_f 为50V左右时,平均寿命约30小时。应当在工作中仔细检查双棱镜工作状态,发现异常立即更换细丝。

3. 实验结果

在使用SAP极靴的JEM-200CX型电镜上,

表1 两种操作方式的参数

参 数	模 式	
	第1中间镜关闭	全部透镜通电
	实 用 范 围	
α 值(mm)	~140	~140
b 值(mm)	~90	~30
电镜的标称倍率	30,000~100,000	30,000~73,000
试样的放大倍率	6,000~34,000	30,000~73,000
干涉条纹的放大倍率	300~1,100	970~2,200
双棱镜工作电压 V_f (V)	30~50	70~100
全息实验曝光时间 (s)	120~300	90~240
试样中的有效目标区 (nm)	150~200	100~160
干涉平面上重迭区的宽度(μm) ($V_f=30\sim 100\text{V}$)	5.5~21	3~6

经过实际试验可供应用的参数范围见表1。

实验表明,在良好条件下,电子干涉试验曝光时间可长达600s。而在进行全息试验时,由于样品相对稳定时间较短,一般只能曝光200s左右,理想状态下也可达到300s。从表1可见,当目标物大于150nm时,必须将第1中间镜关闭。此时所得到的典型数据见表2。应当说明,关于 α 角的公式,文献报道中差别甚大。表2的 α 值,是采用柱形电容器场近似所推出的公式^[2]计算的。在实验中,曾采用各不同直径的石英丝,调整 V_f 值使其阴影恰好消失来进行检验,计算值和实验值吻合良好。

表2 第1中间镜关闭时的典型实验数据

V_f (V)	30	40	50	65	85
W (μm)	5.7	7.5	11.3	13.1	17.3
α (10^{-5}rad)	3.7	4.9	6.2	7.7	10
N	220	360	650	853	1620
Δ (nm)	25.8	21	17.5	15.4	10.7

4. 讨 论

(1) 进行电子干涉与全息实验,最好使用透镜电流可以各自独立调整的电子光学系统,以便使参数的选择有更大的自由度。

(2) 实验表明,使用标准的LaB₆灯丝进行工作时,在保证相干照明的前提下(聚光镜充分散焦),亮度受到限制,样品的直接放大倍数将在6,000~73,000倍的范围中。所以,不可能直接观察原子尺度的结构。而在磁性元器件及有关材料中微观电磁场的观察与测定上^[3],将能胜任。

对于中国电子显微镜学会理事长郭可信教授给予本工作的关切和支持,胡凡同志协助进行电子双棱镜细丝的镀金工作,本文作者表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 陈建文 *et al.* 中国激光, 1987; 14(1): 24
- 2 陈建文. 光学学报, 1985; 5(3): 229
- 3 Tonomura A *et al.* *Phys. Rev. Lett.*, 1980; 44: 1430

(收稿日期: 1987年1月19日)