

## 微观磁区中磁力线的电子全息观察

马 建 傅淑芬 陈建文 王之江  
(中国科学院上海光机所)

曹涵清  
(宝山钢铁总厂)

### Observation of magnetic lines of force in magnetic microfield by electron holography

*Ma Jian, Fu Shufen, Chen Jianwen, Wang Zhijiang*

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

*Cao Hanqing*

(Baoshan Steel and Iron Works, Shanghai)

**提要:**用 Möllenstedt 电子双棱镜作为分束器,磁性镍钢片为测试样品,在 JEM-200CX 型电子显微镜上记录了微观磁场的电子全息照,由 M-Z 干涉仪再现,获得了微观磁区的磁力线图。

**关键词:** 电子干涉,电子全息,微观磁场

自从 1956 年 Möllenstedt 等人<sup>[1]</sup>采用静电双棱镜作电子分束器首次观察到电子束干涉条纹以来,电子干涉和全息术已取得了显著进展。特别是在薄膜磁畴的研究<sup>[2,3]</sup>、 $p-n$ 结附近微电场的测量<sup>[4]</sup>、Aharonov-Bohm 效应的验证<sup>[5]</sup>等领域,电子干涉和全息术已成为一不可替代的方法。我们已经在 JEM-200CX 透射式电子显微镜上用 Möllenstedt 静电双棱镜作电子分束器,先后拍摄到 648 条干涉条纹<sup>[6]</sup>和 1600 条干涉条纹<sup>[7]</sup>,并用两次曝光法,获得了 MgO 晶体颗粒的等厚条纹<sup>[8]</sup>。本文以磁性镍钢片产生的磁场作为被测物,在 JEM-200CX 型电镜上记录了磁场的电子全息照,由 M-Z 干涉仪再现,观察到了微观磁区中的磁力线分布。

由磁场作用使任意两路径电子产生的位

相差可表示为<sup>[9]</sup>

$$\Delta\phi = -\frac{2\pi e}{h} \oint \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{2\pi e}{h} \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} \quad (1)$$

其中  $e$  为电子电荷,  $h$  为普朗克常数,  $\mathbf{A}$  为矢势,  $\mathbf{B}$  为磁感应强度。(1)式中第一个积分沿两电子路径,第二个是对由电子路径所围的面积分。(1)式表明:(1)如果两电子路径间的磁通量为零,则位相差为零:  $\Delta\phi=0$ ; (2)当两电子路径间的磁通量为  $h/e=4 \times 10^{-5}$  Wb 时,电子的位相差恰为  $2\pi$ ; 由此可以推断:(1)电子的等位线是沿磁力线的;(2)两等位线间的磁通量为  $h/e$

电子显微镜中离轴电子全息的形成原理示于图 1。实验中我们取:静电双棱镜的工

作电压为 32 V，棱镜石英丝半径为  $0.8 \mu\text{m}$ ，电镜加速电压为 80 kV，等效电子束源至双棱镜丝的距离为 14 cm，双棱镜丝到干涉平面的距离为 9 cm，由文献[10]可计算得干涉场的条纹数约为 300 条，条纹间距约为  $0.1 \mu\text{m}$ ，因此分辨率约为  $0.3 \mu\text{m}$ 。图 2 为磁性镍钢片的全息图放大 2000 倍后的照片。

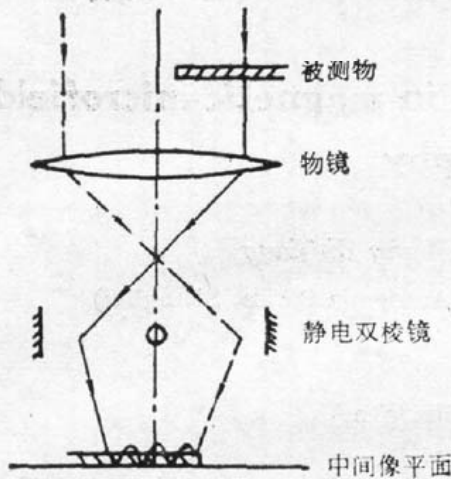


图 1 电镜中离轴电子全息的形成

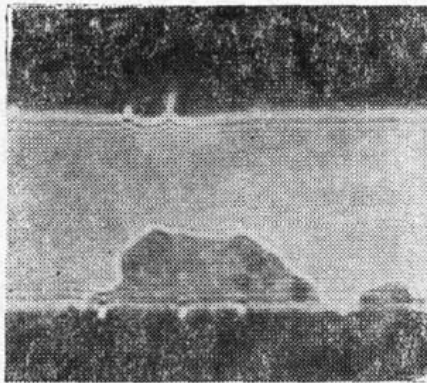


图 2 放大 2000 倍的磁性镍钢片全息照

为了获得两倍位相放大的全息再现像，使用 M-Z 干涉仪进行电子全息的光学再现 (图 3)。调整干涉仪的两光束，恰使一光束再现的像和另一束光再现的共轭像通过光阑，它们重合后的干涉像即为两倍相位分布。图 4 为再现的磁性镍钢片产生磁场的磁力线分布。

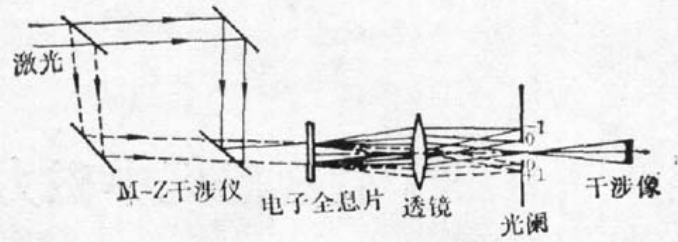


图 3 由 M-Z 干涉仪再现被测物位相分布光路



图 4 磁性镍钢片微观磁区磁力线分布的电子全息再现

用此方法可大致确定微观磁区任一点的磁场强度。因两倍位相放大再现，两相邻磁力线的位相差为  $\pi$ ，由 (1) 式， $\Delta\phi = -\frac{2\pi e}{h} \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \pi$ ，求得磁力线间的磁通量为  $\left| \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} \right| = h/2e$ 。

参 考 文 献

- 1 G. Möllenstedt et al., *Z Physik*, **145**, 377 (1956)
- 2 N. Osakabe et al., *Appl. Phys. Lett.*, **42**, 746 (1983)
- 3 G. Mattencei et al., *IEEE Trans. Magn.*, **20**, 1970 (1984)
- 4 S. Frabboni et al., *Phys. Rev. Lett.*, **55**, 2196 (1985)
- 5 A. Tonomura et al., *Phys. Rev. Lett.*, **51**, 331 (1983)
- 6 陈建文 et al., *科学通报*, **30**, 1200 (1985)
- 7 Shufen Fu et al., *Optik*, **76**, 45 (1987)
- 8 陈建文 et al., *中国激光*, **14**, 24 (1987)
- 9 Y. Aharonov et al., *Phys. Rev.*, **115**, 485 (1959)
- 10 傅淑芬 et al., *光学学报*, **6**, 258 (1986)