

电子枪单能电子束流强度稳定装置的研制*

郝绿原 许小亮 徐克尊 杨炳忻 王 军

(中国科学技术大学, 合肥 230026)

研制了一台电子枪单能电子束流强度的稳定装置。该装置适用于需要连续束流的实验。它控制的流强范围是 5nA — $5\mu\text{A}$ 。束流强度的稳定度优于 $2 \times 10^{-2}/\text{h}$ 。

关键词: 电子束 束流强度 稳定度

以往固体样品的阴极荧光实验表明, 样品的发光强度与入射电子束的能量和强度有关, 而且函数关系较为复杂^[1]。这使得由于电子束不稳导致的光谱畸变很难用数据处理的方法来修正。我们在研究固体样品反常色散区的发光特性实验中, 用单色仪测量电子束激发样品的发光光谱。由于样品发光强度很弱, 而且不同波长的光强不能同时测量, 如果电子束能量和流强随时间变化, 将导致光谱畸变, 甚至出现本来不存在的假峰或使本来存在的峰消失。因此我们选用稳定性好的(8h 漂移 $\leq 5 \times 10^{-4}$) 高压电源来保证电子束的能量稳定。但电子束流强度还受灯丝供电、外部电气干扰、机械干扰等因素的影响^[2]。实验中测量一个光谱的时间为半小时至几小时。要使数据准确可靠, 在测量时间内必须保证电子束流强度稳定。为此我们研制了一套单能电子束流强度稳定装置, 在 nA 流强条件下, 稳定度优于 $2 \times 10^{-2}/\text{h}$, 满足了实验要求。

一、工作原理

我们曾采用自给栅偏压的方法来稳定束流。但实际使用时发现, 这种方法不仅需要较长的稳定时间, 而且稳定度不理想。为了使束流强度能够连续改变、快速稳定和有较高稳定度, 我们研制了电子束流强度稳定装置, 原理见图1。

电子枪由阴极、栅极、加速极和阳极组成。阴极是 $\phi 0.1\text{mm}$ 的直热式钨丝, 阳极接地。阴极接上 $1\text{--}10\text{kV}$ 的连续可调负高压。实验样品装在法拉弟筒上, 通过取样电阻 R_s 接地。当某种原因使束流 i 增大时, 取样电阻 R_s 上的压降 $-R_s i$ 随之增大, 并与基准电压比较产生误差信号。此误差信号经运算放大器放大后, 控制自激振荡器使其振荡幅度增大。通过隔离变压器耦合, 增大了栅偏压 U_0 。由于栅极的调制作用, U_0 增大将导致束流强度减小, 此过程可表示为

$$i \uparrow \rightarrow |i R_s| \uparrow \xrightarrow{\text{比较放大}} |U_1| \uparrow \rightarrow |U_2| \uparrow \rightarrow |U_0| \uparrow \rightarrow i \downarrow$$

同理, 当 i 减小时, 也有一个与之相应的负反馈控制过程, 从而减小变化量达到稳流目的。

* 本工作得到国家自然科学基金资助

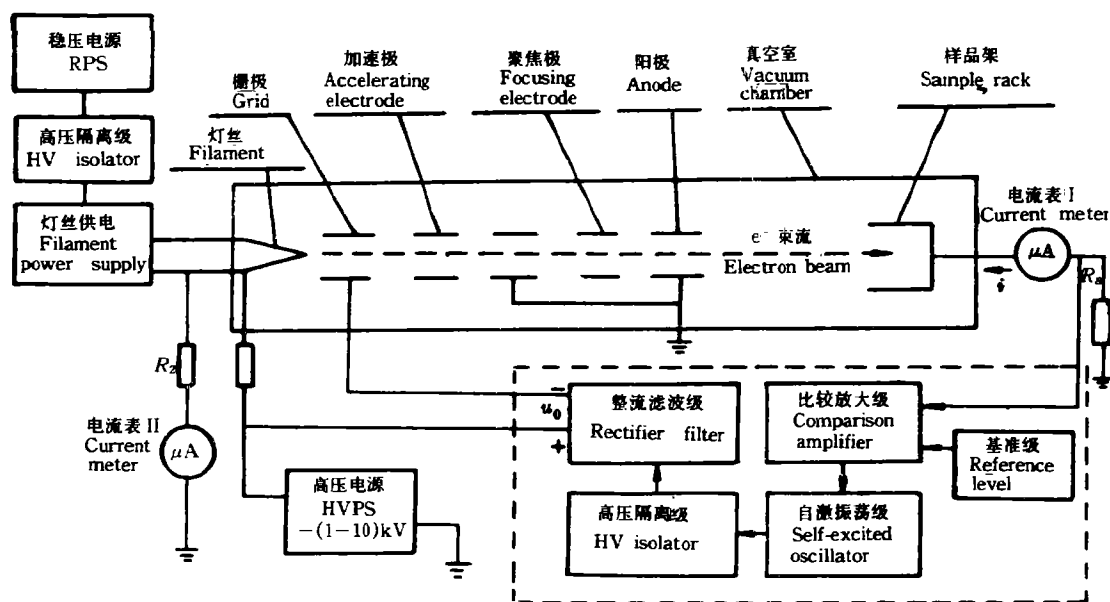


图1 单能电子束流强度稳定系统原理图

Fig. 1 Schematic diagram of the beam intensity stabilization apparatus for single energy electron beam

稳定装置电路见图2。灯丝和栅极悬在负高压上,用隔离变压器将栅偏压输出电路与取样放大部分隔离。束流强度由波段开关 K 和十圈电位器 R_w 调节。根据运算放大器工作原理

$$\begin{cases} U_+ = U_- \\ U_+ = [R_3 / (R_w + R_4)] \cdot (-6V) \Rightarrow i = 6R_3 / (R_w + R_4) R_s \\ U_- = R_s \cdot (-i) \end{cases}$$

式中, $R_w = 220\Omega$, $R_4 = 2.2k\Omega$ 。在电子枪电子光学系统调好的情况下,一个 R_s 对应一定范围的束流强度。在此范围内调节 R_3 ,可使电子束流强度连续改变。相应于 $10M\Omega$ 、 $1M\Omega$ 、 $100k\Omega$ 等几种 R_s 的流强范围分别是 $(5-50) \times 10^{-9}$ 、 $(5-50) \times 10^{-8}$ 、 $(5-50) \times 10^{-7}A$ 。

二、稳流性能

利用图2的电路,我们测量了四种束流强度的稳定度。测量时电子能量为 $3keV$,测量时间为 $60min$ 。结果列于表1。

表1 利用稳定装置得到的束流稳定度
Table 1 Beam stability obtained by using the stabilization apparatus

束流强度(A) Beam intensity	1×10^{-6}	1×10^{-7}	1×10^{-8}	5×10^{-9}
稳定度(%) Stability	1.34	2	2	2

又分别在改变电子能量和灯丝电压的条件下测量,发现在一定变化范围内,束流仍然相当稳定。测量结果见表2。

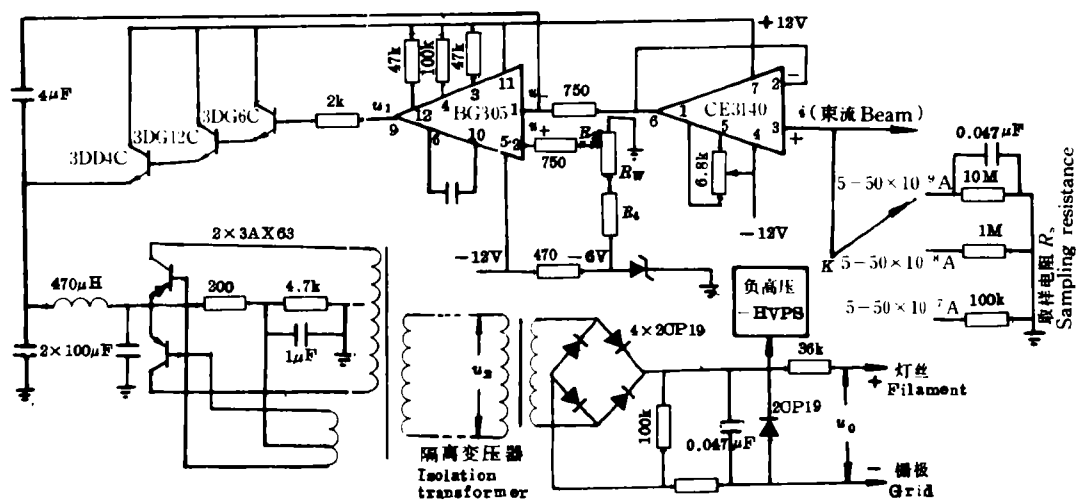


图 2 5nA—5μA 束流稳定装置电路

Fig. 2 Circuit of the beam intensity stabilization apparatus for beam currents of 5nA—5μA

表 2 电子能量和灯丝电压的改变对稳流效果的影响

Table 2 Beam stabilization with the variation of electron energy and filament voltage

测量条件 Measurement conditions	固定灯丝电压(6V), 连续改变电子能量 3—8keV Changing electron energy from 3 to 8 keV with fixed filament voltage (6V)		固定电子能量(5keV), 连续改变灯丝电压 5.50—6.75V Changing filament voltage from 5.50 to 6.75V with fixed electron energy (5keV)	
束流强度(nA) Beam intensity	10	5	10	5
束流稳定度(%) Beam stability	2	2	1	1

由表 2 可见, 当灯丝电压和电子能量在一定范围内改变时, 使用这个负反馈装置来稳定束流, 其稳定度几乎不受影响。所以使用上述负反馈装置稳定束流时, 灯丝不必工作在饱和状态, 即可以适当降低灯丝电压, 延长使用寿命。另外, 由于电子能量对束流强度影响很小, 可以在一定流强下随意进行不同电子能量下光谱的测量, 大大提高了工作效率。

在我们的实际测量过程中, 测一个样品需 30—60 min, 选择束流强度为 5 nA。图 2 所示的电路栅偏压输出 $-(20-300)$ V, 可控制的流强范围为 5 nA—5 μA, 束流稳定度好于 2×10^{-2} /h, 可以满足实验要求。

本工作得到郭常新、沈激、张芳等同志热心帮助, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 吉林物理所, 中国科大合编, 固体发光, 1976: 50
- [2] 张铭诚等, 电子束扫描成像及微区分析, 北京: 原子能出版社, 1987: 99

A beam stabilization apparatus for single energy electron gun

Hao Luyuan Xu Xiaoliang Xu Kezun Yang Bingxin Wang Jun

(University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Abstract

A continuous beam intensity stabilization apparatus used in experiments is discussed. The range of beam intensity is $5\text{nA}-5\mu\text{A}$ with a stability of better than $2 \times 10^{-2}/\text{h}$.

Keywords: Electron beam Beam intensity Stability

(1991 年 3 月 22 日收到)