

# 光电倍增管显微镜光度仪的研制和测试

伍桂芳 孙光荣

(四川省地质矿产局中心实验室)

## 一、前言

光电倍增管显微镜光度仪是鉴定和研究矿物(特别是金属矿物)的必备仪器。由于光电倍增管具有高灵敏度及光电流强度与光照度正比关系良好等特点,因此,光电倍增管法是目前精确测定矿物多种光学性质常数的最佳方法。

光电倍增管显微镜光度仪在国外有多种商品出售,国内也有单位改装和组装此仪器。

作者于1978年采用晶体管线路,将光源稳压、直流高压稳压、光电倍增管直流放大组装成一件成型仪器,连接ortholux—II pol

BK型显微镜构成光电倍增管显微镜光度仪, 后于1981年另行设计。其改进后的仪器系采用集成元件, 为数字显示, 具有测区小、精度高、体积小、使用方便等优点。

## 二、仪 器

### (一) 技术指标

1. 光源输出直流电压, 电流分两档连续可调: 2—3A/4—6.5v, 3—3.5A/6.5—10v;

2. 光电倍增管输入直流电压: -500v至-900v, 连续可调;

3. 光源、高压、放大器稳定系数: 当输入交流电压变化在 $\pm 10\%$ , 在额定负载内 $\delta$ 为 $10^{-4}$ ;

4. 金属干涉滤光片透光波段半宽度小于12毫微米 (nm);

5. 测试光栏孔径大于0.5mm, 正确安放在目镜内焦平面位置;

6. 工作条件:

环境温度: 常温。相对湿度:  $< 80\%$ 。大气压力:  $750 \pm 20$ mm汞柱。电源消耗功率: 60W。运载性能: 连续运行8小时。电源: 交流 $220v \pm 10\%$ ,  $50Hz \pm 0.5$ 。体积:  $470 \times 340 \times 140$ (mm<sup>3</sup>)。重量: 10.5kg。

7. 最小测试区域与 $5\mu m$ 。

8. 测试相对误差2%, 其数据可与文献<sup>[1][2]</sup>资料和西德MPV型所测数据对比。

### (二) 结构

仪器由变压器、光源集成、高压集成稳压器, 光电倍增管直流运算放大器, 四位数字电压表装成一件成型仪器, 连接显微镜组成。如照片1。其原理如图1所示。线路见图2。

仪器电源开关、光源亮度调节、放大器指示、高压调节、倍率档 ( $R \times 1$ 、 $R \times 2$ 、 $R \times 4$ )、光电倍增管插座及平板式直流数字表等均设在板面上。

### (三) 工作原理

1. 光源部份: 采用WB724系列集成稳压器 (图3), 为使输出功率增大, 用3DF20A管接成扩大电流线路, 3DF20A作调制管。

2. 高压部份: 采用集成稳压器及扩大电流线路, 输出电压到推挽式振荡成方波 (8KHz) 形成交变电压, 再二次倍压成直流高压供给光电倍增管。在光电倍增管打拿极上取负反馈电压到3CG17基极。3CG17为一跟随器, 控制负载的变化。

3. 光电倍增管部份: 英制9781B型, 波长范围200—800nm, 最灵敏区200—400nm。共九个打拿极, 第二打拿极工作电压为



照片 1 光电倍增管显微镜光度仪  
Pic.1 Photomultiplier microscope  
photometer

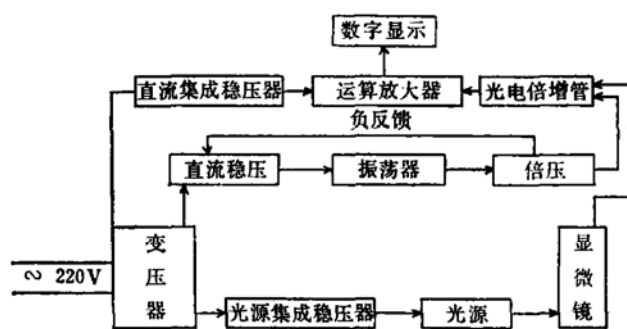


图1 仪器原理方块图

Fig. 1 Square diagram of the instrumental principles

120V, 其余均为100V。

工作原理：由光源集成稳压器接通钨灯（50W），光线经显微镜射至光电倍增管阴极，由于打拿极上加有电压，因此，光能即转换为电能。其输出电流大小取决于电压高

低和光线强弱。为了延长光电倍增管寿命及显示重复性，应控制在1—2微安。光电倍增管装置结构见图4。

4. 放大部份：光电倍增管虽能放大，但其微弱电信号在一般数字电压表上所显示的数字和重现性达不到测试要求，故需采用XFC-78集成运算放大器；又因光电倍增管输出阻抗大，XFC-78输入阻抗小，二者间用3DJ6F场效应管匹配。XFC-78的线路见图5。

XFC-78工作原理：由差分输入级，中间放大级和输出级三部份组成。

输入级由 $Q_1-Q_7$ ， $T_1-T_2$ ， $R_1-R_5$ 和电位器 $W$ 组成。

中间放大器由 $T_8$ ， $Q_9$ ， $R_{11}$ ， $R_{12}$ 组成。

输出级由 $Q_{11}-Q_{15}$ ， $T_9$ ， $T_{16}$ ， $R_{13}$ ， $R_{14}$ 组成。

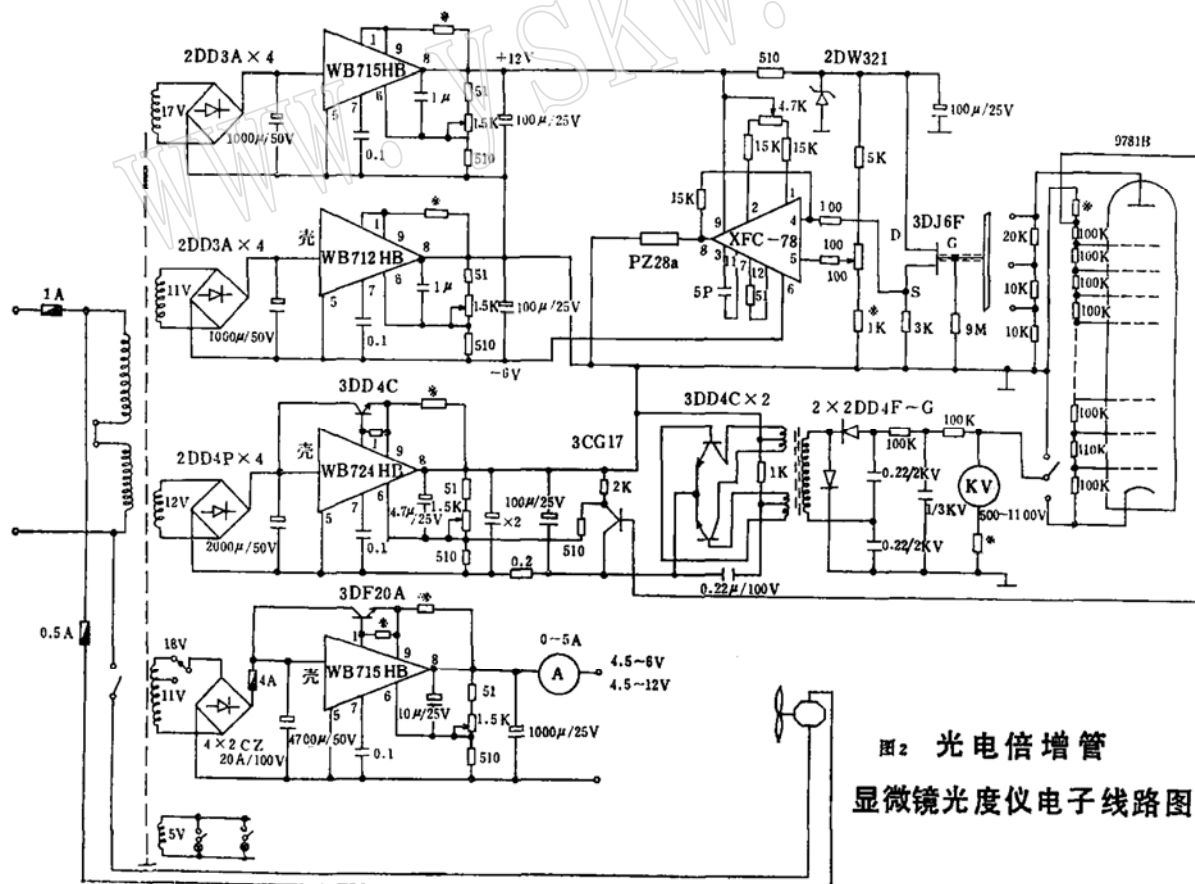
图2 光电倍增管  
显微镜光度仪电子线路图

图2 光电倍增管显微镜光度仪电子线路图

Fig. 2 Diagram of electronic circuit of photomultiplier microscopic photometer

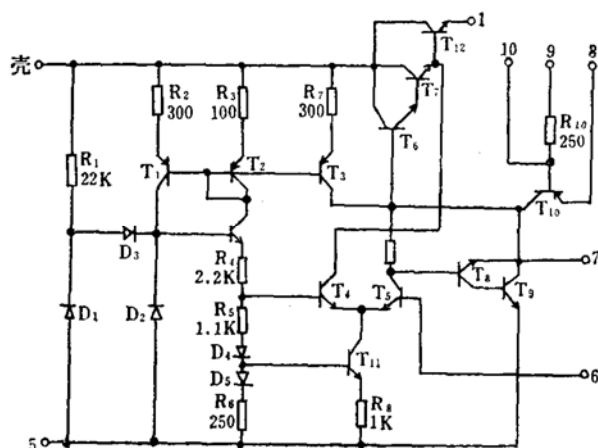


图3 WB724系列线路图

Fig. 3 Diagram of WB724 Serial circuit

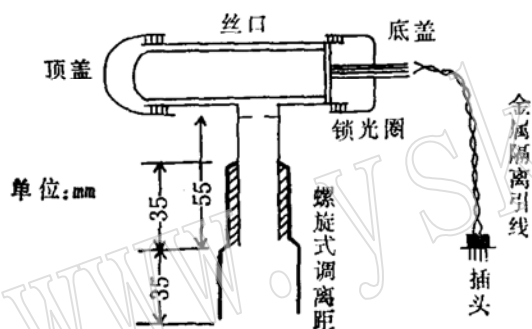


图4 光电倍增管剖面

Fig. 4 Photomultiplier section

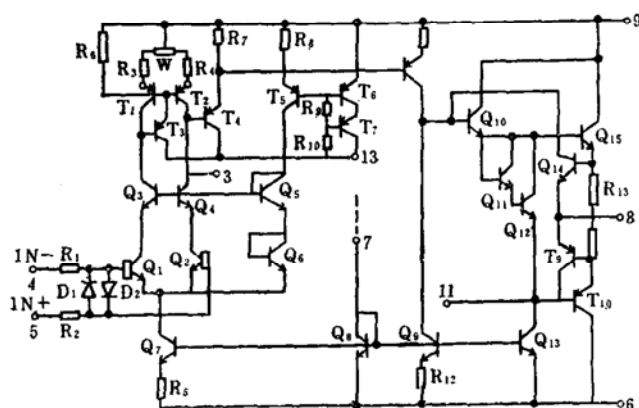


图5 XFC-78线路

Fig. 5 XFC-78 Circuit

### 三、测量原理及 R值的计算

矿物反射率是指垂直投射到它的磨光面上光线的反射能力，即反射光强与入射光强之比，可用下列公式表示：

$$R(\text{反射率}) = I_r(\text{反射光强}) / I_i(\text{入射光强}) \times 100$$

光电法测定矿物反射率，是用光电转换元件（光电池、光电管、光电倍增管）利用光电效应测定矿物反射率。根据光电效应的基本定律可知，在单位时间和单位面积内，受光照射的物质释放出的电子数与入射光的强度成正比。比较其待测矿物和标准物质所测的电流强度，即可算出待测矿物的反射率。其计算反射率的公式如下：

$$R_x = R_{\text{标}} \times I_x / I_{\text{标}}$$

式中， $R_x$ 为未知矿物反射率， $I_{\text{标}}$ 为标准读数（数字电压表上显示）， $R_{\text{标}}$ 为标准物质反射率， $I_x$ 为未知矿物读数。必须注意，计算时应先减去一次耀光，二次耀光可用作图法、数学算法消除，求得真实反射率。其方法在有关文章中已有介绍。

### 四、测 量

#### (一) 标准物质的选择

前已述及，利用光电法测定矿物反射率，是用已知反射率的标准物质进行比较、计算所得。因此，标准物质的选择很重要，如果标准物质性能不好，反射率不稳定，会直接影响未知矿物反射率测量精度。所以，标准物质应具备以下性能：均质、化学成份稳定、不易氧化等。标准物质可分为一级标准和二级标准，一级标准用理论值或直接测定，二级标准为日常工作中应用的标准。笔者采用碳化硅底面、单晶硅为一级标准，再用此仪

表 1 国际矿相学委员会公布的反射率标准

Table.1 Reflection Standard published by International Mineralography Committee

| 波 长<br>(nm) | 反 射 率<br>标准 | 碳 化 硅 底 切 面 |            |            | 单 晶 硅      |
|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
|             |             | 1<br>空 气 中  | 2<br>空 气 中 | 3<br>浸 油 中 | 4<br>空 气 中 |
| 400         |             | 22.2        |            |            |            |
| 420         |             | 21.8        |            |            |            |
| 440         |             | 21.6        | 21.47      | 7.94       | 42.7       |
| 460         |             | 21.3        | 21.26      | 7.83       | 40.9       |
| 480         |             | 21.1        | 21.07      | 7.74       | 39.6       |
| 500         |             | 20.9        | 21.01      | 7.66       | 38.5       |
| 520         |             | 20.7        | 20.77      | 7.59       | 37.7       |
| 540         |             | 20.6        | 20.65      | 7.53       | 36.9       |
| 560         |             | 20.5        | 20.54      | 7.48       | 36.4       |
| 580         |             | 20.4        | 20.44      | 7.43       | 35.8       |
| 600         |             | 20.3        | 20.36      | 7.39       | 35.3       |
| 620         |             | 20.2        | 20.28      | 7.30       | 34.9       |
| 640         |             | 20.1        | 20.21      | 7.33       | 34.6       |
| 660         |             | 20.0        | 20.15      | 7.30       | 34.2       |
| 680         |             | 19.9        |            |            |            |
| 700         |             | 19.9        |            |            |            |

表 1 中第 1 栏碳化硅的 R 值由 N. P. L. 于 1968 年在磨光底截面上测定<sup>(2)(4)</sup>。第 2、3 栏为格伦与皮勒 1964 年根据蒂巴特测定透明碳化硅底切面折光率值计算而得<sup>(2)(4)</sup>。第 4 栏单晶硅的 R 值由 N. P. L. 测定<sup>(2)(4)</sup>。

器标准定一套反射率从低到高的矿物为二级标准。一级标准的反射率值系采用 COM (国际矿相学委员会) 公布的数据。见表 1。

### (二) 单色光源的选择

单色光利用单色仪或金属干涉滤光片产生。玻璃滤光片的单色光选择性差, 最好不用。各种金属谱线灯 (如钠光灯) 虽然容易获得纯净的单色光, 但光强不易达到高度稳定, 因此, 不太适用。

如反射率标准的 R 曲线是水平的 (无色散), 未知矿物的 R 曲线也无色散, 则无论单色光波段有多宽也不会出现测定误差。如单色光波段仅一毫米或更窄, 那无论标准和未知矿物的 R 色散曲线怎样, 测定读数只是曲线上的一个点, 故也不会产生误差。

实际上, R 色散曲线不可能完全符合上述两种情况, 故有必要选择适用的单色光波段宽度。单色性一般以半宽度表示, 所谓半

宽度是指透出的单色光波峰一半高度处的宽度。根据前人的经验, 在精确测定矿物反射率时, 所用的干涉滤光片透光波段半宽度须小于 15 毫微米; 如用单色仪也应按此要求调整。

按上要求, 并根据 COM 规定, 笔者选用 470、550、589、660 毫微米四种干涉滤光片获取单色光源, 其透光波段半宽度均小于 12 毫微米。这不仅排除了光源对测试精度的影响, 也便于将所测结果与文献资料对比。

### (三) 测量光栏

在微区进行矿物反射率测定时, 须在显微镜光学系统中安置测量光栏, 至于安置在何处为宜, 国外不同厂或同一厂生产的不同型号仪器均有所不同。国内一些单位所装的仪器测量光栏的安置亦各有异。

根据笔者研制仪器的特点, 既能使测定操作方便, 又能满足测量精度要求, 在目镜

内焦平面处加孔径为 0.5mm 以上不同大小的测量光栏 (根据测试需要选择), 此法方便而直观。

#### (四) 测量矿物反射率

##### 1. 均质矿物反射率的测量

接通电路, 调整光源并校正显微镜, 根据欲测矿物的反射率 (估计) 选定标准。用塑泥将二光片压在同一金属板上, 用机械台将此金属板固定在显微镜载物台上。在斜视目镜中选好测点, 待仪器预热进入稳定工作状态, 即可进行测量。测量时推出上偏光镜, 用玻璃反射器, 缩小视野光栏, 减少散射光的影响, 再将孔径光栏锁至合适位置, 然后推出折射棱镜, 使由矿物表面反射上来的光线通过直视目镜, 到达光电倍增管阴极, 即可在数字电压表上得到读数, 按前述公式及有关减去一、二次耀光的方法, 即可求得未

知矿物反射率。

##### 2. 非均质矿物反射率的测量

非均质矿物在光片中常为非定向切面, 在一个切面上有大小两个反射率值, 不同切面其反射率值不同。应选择双反射和非均性最强的晶粒测定。首先, 确定消光位, 因矿物处于消光位时, 必有一个方向与入射光振动方向平行。由于在矿相显微镜下消光现象不清楚, 凭目力准确确定消光位有困难, 应借助本仪器确定消光位, 测得 $R_1$ 后, 旋转载物台 $90^\circ$ 再测 $R_2$ 。此两次测定值即代表这一矿物的近似最大值和最小值 $R'_g$ 和 $R'_p$ 。此外, 也可分别测定 10—20 晶粒的 $R_1$ 和 $R_2$ , 用统计法得出该矿物的 $R_0$ 和 $R_c$ 或 $R_g$ 、 $R_m$ 和 $R_p$ 。

现将本仪器所测矿物反射率部份结果列于表 2。

表 2 单色光下矿物反射率测定结果

Table 2 The result determined by the reflection of minerals under the monochromatic light

| 反 射 率<br>波 长<br>矿 物 | 470<br>(毫微米) | 550<br>(毫微米) | 590<br>(毫微米) | 663<br>(毫微米) |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 铬 铁 矿               | 13.8         | 12.53        | 12.47        | 12.21        |
| 闪 锌 矿               | 18.4         | 17.16        | 16.79        | 16.70        |
| 黑 钨 矿               | 16.40—18.16  | 16.73—18.08  | 15.63—17.58  | 16.24—17.65  |
| 磁 铁 矿               | 20.77        | 20.75        | 21.79        | 21.18        |
| 铅 钨 钛 铁 矿           | 20.91        | 20.55        | 19.60        | 19.02        |
| 黄 锡 矿               | 24.00—26.04  | 26.05—26.46  | 26.01—26.13  | 26.63—27.09  |
| 辰 砂                 | 25.78—30.28  | 24.54—28.84  | 24.37—28.28  | 23.44—26.38  |
| 磁黄铁矿                | 31.71—36.59  | 34.81—38.58  | 36.30—40.79  | 38.72—42.45  |
| 黄 铜 矿               | 34.99        | 44.79        | 47.22        | 46.27        |
| 镍黄铁矿                | 39.99        | 47.51        | 49.91        | 50.16        |
| 辉 砷 矿               | 30.11—45.62  | 31.30—42.29  | 39.41—42.20  | 28.94—39.46  |
| 黄 铁 矿               | 45.40        | 52.80        | 53.98        | 54.63        |
| 辉砷钴矿                | 46.77        | 49.17        | 47.64        | 49.75        |
| 方 铅 矿               | 47.09        | 42.99        | 42.51        | 41.40        |
| 毒 砂                 | 47.98—51.20  | 51.69—52.63  | 51.56—52.77  | 49.21—52.55  |
| 毒 砂 (含Co)           | 45.52—51.06  | 48.58—50.50  | 50.89—52.05  | 49.24—49.77  |
| 镍方钴矿                | 54.65        | 53.0         | 52.03        | 51.85        |
| 镍                   | 48.74        | 51.77        | 53.56        | 56.47        |
| 自 然 金               | 34.97        | 58.70        | 72.74        | 81.32        |

## 五、结 语

精确测定矿物反射率, 必须注意以下几点主要影响因素:

(一) 光源电压、倍增管工作电压需要有高度的稳压装置;

(二) 待测矿物光面需平而抛光良好, 即达到镜下无擦痕、无麻点;

(三) 应选择质量好的标准物质和单色性高的干涉滤光片获取单色光源;

(四) 测量光栏孔径应在0.5mm以上, 避免产生衍射光;

(五) 由于不同倍率的口径角不同, 斜射光的入射量也不同, 必须缩小孔径光栏, 以消除斜射光的影响。一般使用中倍物镜时, 锁至三分之一, 使用高倍物镜则锁至五分之一为宜。

## 参 考 文 献

- [1] W. 乌顿 布格、E. A. J. 伯克, 1975年, 金属矿物显微镜鉴定表。
- [2] 中国地质科学院地质矿产所编著, 1978年, 金属矿物显微镜鉴定。
- [3] 王曙, 1976年, 不透明矿物晶体光学。
- [4] 陈正等, 1979年, 金属矿物颜色指数研究。

## Development and Test of Photomultiplier-Cell Photomicrometer

Wu Guifang, Sun Guangrong

### Abstract

The photomultiplier-cell photomicrometer is an essential instrument in appraising and analyzing mineral (especially for metal mineral).

Up to the present, the best way to quantitate accurately various optical quality (including reflectivity, transmissivity, reflective transmission and apparent angle of rotation of heterogeneous substance, etc.) is the method of photomultiplier-cell.

In 1978, adopted transistor circuit, the authors had assembled a complete model of instrument connected with Ortholux- Pol BK microscope to constitute the photomultiplier-cell photomicrometer, which was made use of an illuminant voltage-stabilizer, direct current high-voltage stabilizer and photomultiplier-cell direct current operational amplifier.

In 1981, a new design was found application. Integrated circuit and digital display had been put to use in the reformed instrument. So it is featured with less in measure limit (the inferior limit is 5 micron), high precision (relative error in measure is below 2%), little volum and easy to handle.