



大学物理-基础实验 | 实验报告

姓名 卜一楠
学号 PB22071444
班级 22 级少院 01 班
日期 2023 年 6 月 5 日晚

RGB 配色

1 实验目的

本实验主要目的是了解 LED 原理与特性，掌握 RGB 三基色原理。

- (1) LED 的伏安特性测量
- (2) LED 的发光波长测量
- (3) LED 的发光强度特性
- (4) RGB 配色实验

2 实验原理

1. 三基色原理

自然界中人眼所能观察到的绝大多数颜色，都可以由三种相互独立的基本颜色按一定的比例混合得到；相反，自然界中的任意一种颜色又可以被分解为不同比例的相互独立的三种基色。所谓“相互独立”的三基色，是指三中基色中的任意一种颜色都不能由其他两种颜色混合产生，即三基色线性无关。

2. RGB 混色

在 RGB 颜色模型中，红绿蓝三基色按照不同的比例相加合成混色称为相加混色。三基色之间的比例，直接决定混合色的色调和色饱和度，混合比例相同时，色调是相同的。图 1 为将三种不同亮度的基色光同时投射到一个表面上合成不同彩色。

- 红色+绿色=黄色
- 绿色+蓝色=青色
- 蓝色+红色=紫色
- 红色+绿色+蓝色=白色
- 红色+青色=白色
- 绿色+紫色=白色
- 蓝色+黄色=白色

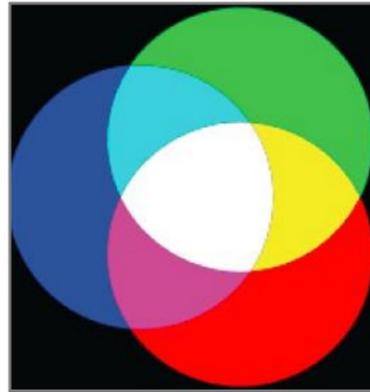


Figure 1: 相加混色圆图

3. CIE 色度图

CIE 色度图采用 x, y, z 作为假想的红 (R)、绿 (G)、蓝 (B) 三基色相对强度系数。对于任一种颜色 $x+y+z=1$ 。由于 z 可以从 $x+y+z=1$ 导出，因此通常不考虑 z ，而用另外两个系数 x 和 y 表示颜色，并绘制以 x 和 y 为坐标的二维图形，相当于把 $x+y+z=1$ 平面投射到 (x, y) 平面，也就是 $z=0$ 的平面，这就是 CIE 色度图 (见图)。色度图中 x 表示红色分量， y 表示绿色分量，图中只表示了从 400 nm (紫色) 到 700 nm (红色) 之间的三基色系数值，包含了所有的颜色数值。环绕在颜色空间边沿的颜色是光谱色，边界代表光谱色的最大饱和度，边界上的数字表示光谱色的波长，其轮廓包含所有的感知色调。所有图 1 相加混色圆图单色光都位于舌形曲线上，这条曲线就是单色轨迹，曲线旁标注的数字是单色 (或称光谱色) 光的波长值；自然界中各种实际颜色都位于这条闭合曲线内。

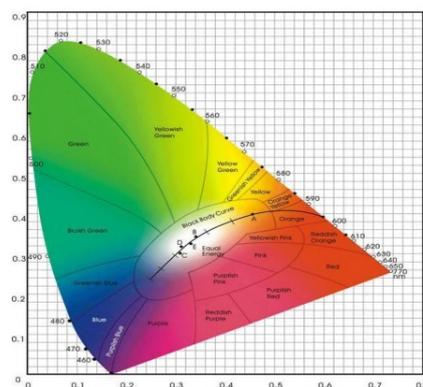


Figure 2: CIE 色度图

4. LED 工作原理

LED (Light Emitting Diode) 是一种半导体发光二极管, 通电 LED 发出红、绿、蓝光, 采用红、绿、蓝 LED 作为全彩光源的三基色, 然后混合成全彩色的可见光, 这种方法得到的白光有良好的显色性能、较宽的色温范围。首先要对 LED 进行选择。由色度图可知, 红绿蓝三基色的色度坐标越靠近光谱轨迹的三个顶角, 三基色的色度坐标所围成的三角形越大, 所能得到的颜色就越丰富。

LED 伏安特性是表征 LED 芯片 P-N 结性能的主要参数。LED 的伏安特性具有非线性和单向导电性, 即外加正偏压时表现为低电阻, 反之为高电阻, 如图 3 所示, 包括正向死区、工作区、反向死区和击穿区。发光二极管发出光的颜色与半导体材料的禁带宽度 E_g 有关。由能量守恒:

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda} = eE_g$$

得发光波长与 E_g 关系:

$$\lambda = \frac{hc}{eE_g} = \frac{1240}{E_g} \text{mm}$$

式中, 禁带宽度 E_g 的单位为 eV, 产生可见光的半导体材料的 E_g 应在 1.63 ~ 3.26 eV 之间。

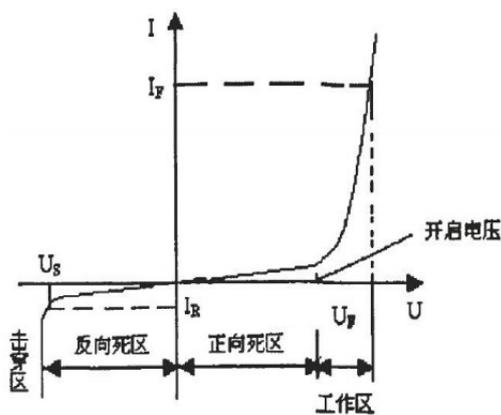


Figure 3: LED 伏安特性曲线

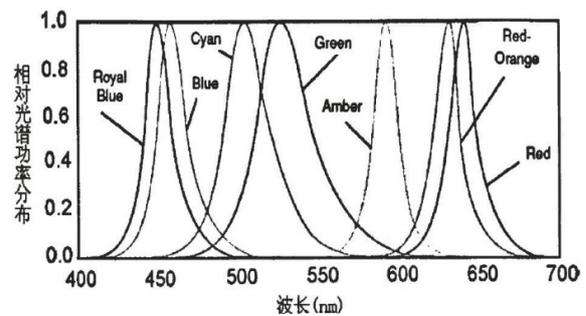


Figure 4: LED 发光光谱分布

3 实验仪器

直流电源 (取 3.0V)、三色 LED (负极管脚公用)、毫安表、数字万用表 (只用电压档、欧姆档、二极管检测档)、硅光电池、电阻箱、白板、开关、导线、分压盒。

4 实验步骤

1. 按照实验要求检查实验仪器、导线等是否正常；
2. 按下图接线，调节分压盒，在 $I < 100mA$ 内，对每种颜色的二极管测量 20 组 $U - I$ 数据。

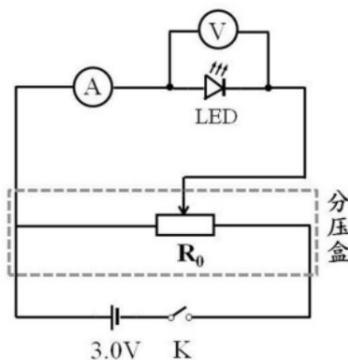


Figure 5: LED 伏安特性曲线测量

3. 基于 $I - U$ 特性曲线，估算 LED 的发光中心波长。
4. 按图 6 接线，调节分压盒，在工作电流内，测量 20 组 LED 相对光强 L 与工作电流 I 数据，绘制 LED 的 $L-I$ 特性曲线。

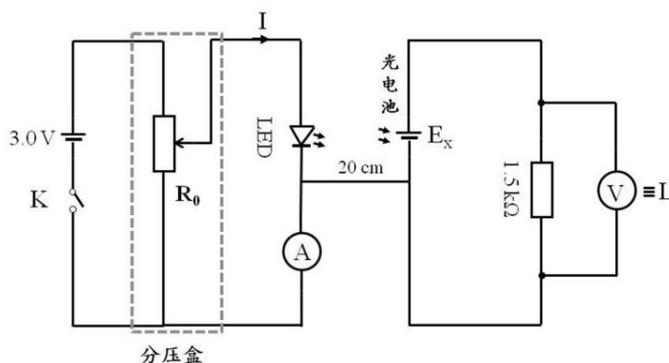


Figure 6: LED 伏安特性曲线测量

5. 按下图所示，将红、绿、蓝 LED 作为发光当作假想的 RGB 三基色，相加混合法配出指定色卡的颜色。调整白屏，使 3 个 LED 光斑在白屏上呈同心圆。
 - (1) 按下图接线，调整分压盒，分别采用两个 LED，在 $I \leq 100mA$ 内，配出标准卡的黄色、青色、紫色，将光电池放置于白屏处，测量两个 LED 的及配色的相对光强 L ，给出两个基色的光强比。

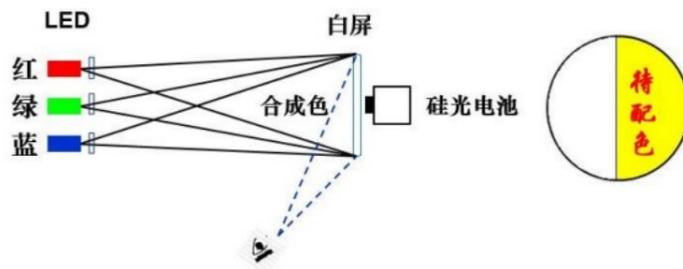


Figure 7: RGB 配色示意图

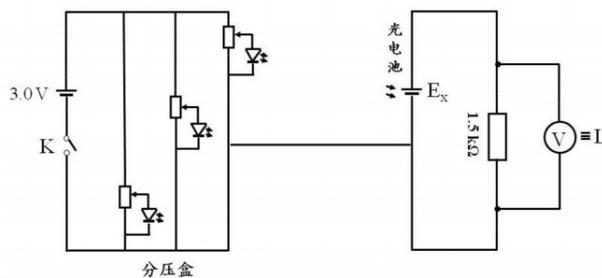


Figure 8: RGB 配色相对光强测量

- (2) 保持接线不变，调整分压盒，采用三个 LED，在 $I \leq 100mA$ 内，配出标准卡的白色，将光电池放置于白屏处，测量三个 LED 及配色的相对光强 L ，给出三个基色的光强比。

6. 结束实验，整理仪器。

5 测量记录

原始数据记录见“附件: 原始数据”。

6 分析与讨论

6.1 LED 的伏安特性测量

(其中万用表选择 2V 量程，电流表选用 100mA 量程)

为保障测量精度，此次实验中在测量不超出万用表直流电压 2V 档量程的条件下均使用 2V 档，其余均使用 20V 档。故实验数据中所有精确到万位的数据均用 2V 量程测得，所有精确到千位的数据均用 20V 量程测得。

Table 1: 红光的伏安特性测量

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I(mA)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	6.5	19.5	31.6
U(V)	0.0917	0.2049	0.3515	0.6108	1.0324	1.5674	1.6799	1.7385	1.7928	1.8269
组别	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
I(mA)	42.0	52.0	58.0	69.0	71.4	78.0	81.6	88.8	90.0	97.7
U(V)	1.8497	1.8701	1.8814	1.9006	1.9049	1.9160	1.9210	1.9327	1.9346	1.9463

Table 2: 绿光的伏安特性测量

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I(mA)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U(V)	0.1076	0.2057	0.3131	0.4207	0.5586	0.6310	0.7143	0.8123	0.9432	1.0813
组别	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
I(mA)	0.0	0.0	0.0	1.0	11.0	22.0	48.6	68.7	84.5	96.8
U(V)	1.2829	1.7360	1.967	2.116	2.265	2.324	2.429	2.490	2.535	2.567

Table 3: 蓝光的伏安特性测量

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I(mA)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	5.5
U(V)	0.3241	0.6093	0.8264	1.1163	1.4357	1.8470	2.153	2.411	2.469	2.536
组别	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
I(mA)	14.0	30.5	47.2	57.8	65.0	75.0	84.0	91.6	92.3	97.0
U(V)	2.580	2.639	2.679	2.704	2.720	2.740	2.758	2.773	2.774	2.783

使用 ORIGIN 作图后有：

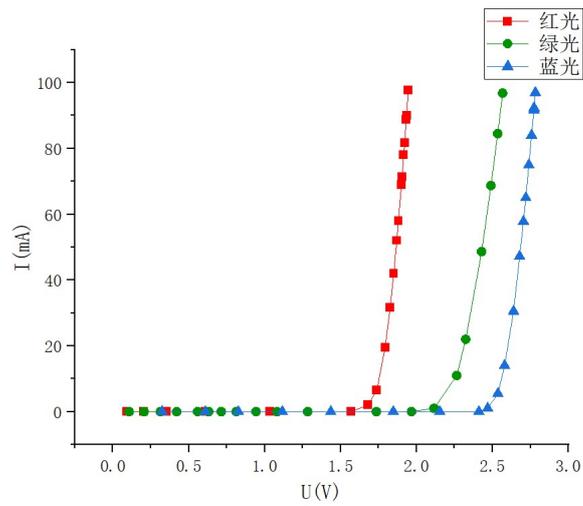


Figure 9: LED 三基色伏安特性曲线

分析：

由图像可知，LED 的伏安特性具有非线性，当电压小于开启电压时，电流近似于 0；电压大于开启电压后，随电压的增大，电流的变化迅速。

6.2 LED 发光波长测量

由实验原理中发光波长与 E_g 关系:

$$\lambda = \frac{hc}{eE_g} \approx \frac{1240}{E_g} nm$$

其中, $E_g = U_F e$, 带入数据计算即可得到波长。由上一部分的图像可以看出, 红光的记录于第十组数据开始, 电压和电流呈现线性关系。利用 ORIGIN 进行拟合, 有:

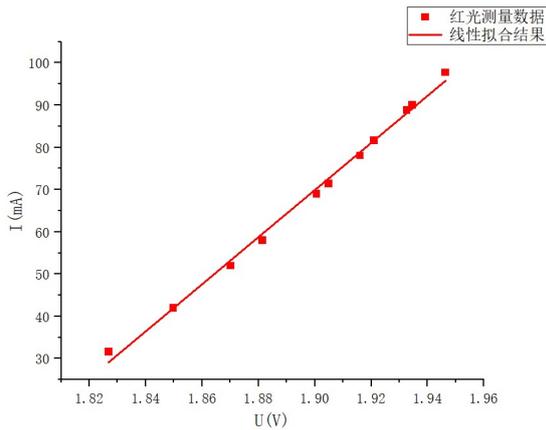


Figure 10: $I - U$ 的拟合曲线

	A	B
1	方程	$y = a + b*x$
2	绘图	I (mA)
3	权重	不加权
4	截距	-989.44459 ± 22.93088
5	斜率	557.55023 ± 12.07585
6	残差平方和	18.66608
7	Pearson's r	0.9979
8	R平方(COD)	0.9958
9	调整后R平方	0.99533

Figure 11: $I - U$ 的拟合结果

拟合结果为:

$$y = 557.55023x - 989.44459, R = 0.9979$$

故 $E_g = \frac{989.44459}{557.55023} = 1.77463V$, 因此计算红光波长为:

$$\lambda_R = \frac{1240}{1.77463} nm \approx 698.74nm$$

对于绿色二极管, 取第 16 组以后的数据, 有:

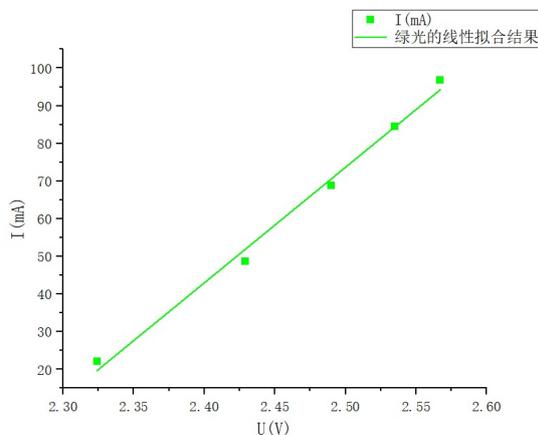


Figure 12: $I - U$ 的拟合曲线

	A	B
1	方程	$y = a + b*x$
2	绘图	I (mA)
3	权重	不加权
4	截距	-694.20428 ± 38.13088
5	斜率	307.13823 ± 15.43448
6	残差平方和	26.46137
7	Pearson's r	0.99623
8	R平方(COD)	0.99248
9	调整后R平方	0.98997

Figure 13: $I - U$ 的拟合结果

由拟合结果：

$$y = 307.13823x - 694.20428, R = 0.9962$$

故 $E_g = \frac{694.20428}{307.13823} = 2.26023V$ ，因此计算绿光波长为：

$$\lambda_G = \frac{1240}{2.26023}nm \approx 548.62nm$$

对于蓝色二极管，取第 12 组后的数据，则有：由拟合结果：

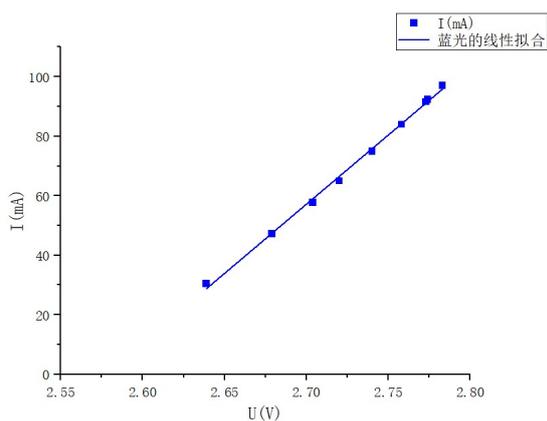


Figure 14: $I - U$ 的拟合曲线

	A	B
1	方程	$y = a + b*x$
2	绘图	I (mA)
3	权重	不加权
4	截距	-1199.6155 ± 22.95066
5	斜率	465.4839 ± 8.40564
6	残差平方和	9.46434
7	Pearson's r	0.99886
8	R平方(COD)	0.99772
9	调整后R平方	0.9974

Figure 15: $I - U$ 的拟合结果

$$y = 465.4839x - 1199.6155, R = 0.99886$$

故 $E_g = \frac{1199.6155}{465.4839} = 2.5771V$ ，因此计算蓝光波长为：

$$\lambda_B = \frac{1240}{2.5771}nm \approx 481.15nm$$

6.3 LED 发光强度特性

相对光强 L 的定义是：LED 到光电池距离约为 20 cm 时，光电池输出电压值。

测量 20 组数据如下表：

Table 4: LED 发光强度特性

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U(mV)	1.72	1.72	1.73	2.17	3.74	7.06	9.84	12.90	15.37	17.69
I(mA)	0.0	0.0	0.0	1.4	4.1	9.5	14.2	13.0	23.7	27.8
组别	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U(mV)	20.50	23.29	25.12	30.11	36.29	40.37	45.31	49.32	49.88	53.61
I(mA)	32.6	37.7	41.0	50.0	62.0	70.3	80.9	89.1	90.3	98.7

由测得数据作图，并通过 ORIGIN 拟合，有：

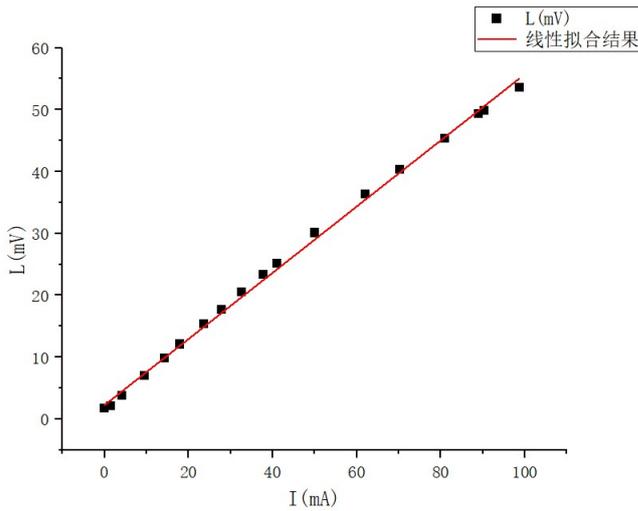


Figure 16: $L - U$ 的拟合曲线

故拟合结果为：

$$y = 0.5346x + 2.2643, R = 0.99918$$

由线性拟合结果可知，LED 的发光强度与通过 LED 灯管的电流成正比。

6.4 RGB 配色实验

背景光强为：0.04mV(使用 200mV 量程)

6.4.1 配出标准卡的黄色、青色、紫色，测量两个 LED 的及配色的相对光强 L

Table 5: 配色及相对光强 L 表

配色	L_R/mV	L_G/mV	L_B/mV
黄色	20.06	15.43	
紫色	14.67		53.89
青色		43.93	35.94

扣除背景光强后计算结果如下表：

Table 6: 相对光强比

配色	黄色	紫色	青色
光强比	$L_R : L_G = 1.301 : 1$	$L_G : L_B = 0.272 : 1$	$L_G : L_B = 1.222 : 1$

方程	$y = a + b*x$
绘图	L (mV)
权重	不加权
截距	2.26429 ± 0.25493
斜率	0.5346 ± 0.00511
残差平方和	10.1368
Pearson's r	0.99918
R平方(COD)	0.99836
调整后R平方	0.99827

Figure 17: $L - I$ 的拟合结果

Table 7: 白光的配色

配色	红色	绿色	蓝色
L/mV	17.25	24.15	21.94

6.4.2 配出标准卡的白色光，测量三个 LED 的及配色的相对光强 L

扣除背景光强后，得到白光的相对光强比为：

$$L_R : L_G : L_B = 1.40 : 1.27 : 1$$

6.5 误差分析

实验可能的误差产生原因有：

1. 个体主观因素：

- (1) 配色时依靠人的主观比较，存在较大偏差；
- (2) 人体对不同色光的敏感度不同，对绿光最为敏感，因此对配色带来误差；

2. 外界光照会对实验产生影响；实验者在进行实验过程中不可避免的导致硅光电池上接受的外界光照强度产生轻微变化；

3. 电路方面误差：

- (1) 本实验中采用万用表对实验数据进行测量，万用表本身存在一定误差；
- (2) 读数时万用表示数有微小跳动，产生随机误差；
- (3) 本实验中测量伏安特性时采用电流表外界法，电流偏大。

7 思考题

1. 什么叫人眼的视敏特性？用什么函数度量？

- (1) 人眼的视敏特性是指人眼对不同光强度和不同波长的光的感知和敏感度。视敏特性描述了人眼在不同光条件下的视觉灵敏度和感知能力。
- (2) 人眼的视敏特性通常使用标准的光谱视敏函数来度量。其中最常用的视敏函数是 CIE（国际照明委员会）定义三个标准色度函数： $X(\lambda)$ 、 $Y(\lambda)$ 和 $Z(\lambda)$ ，它们分别对应人眼对红、绿、蓝三种基本颜色的感知灵敏度。

这些标准色度函数描述了人眼在可见光谱范围内，即从 380 纳米到 780 纳米波长的光的感知灵敏度。这个范围涵盖了人眼可以感知的大部分颜色。这些标准色度函数是通过大量被试进行实验测量获得的。测量中，研究者使用标准光源（如 CIE 定义的标准照明源）以不同波长的光刺激被试者的眼睛，然后记录被试者对这些刺激的感知和响应。

基于这些测量数据，CIE 定义了标准的 X 、 Y 、 Z 三个色度函数，它们被用于计算色度坐标、色温、色差等视觉参数，以及对光源的颜色再现能力进行评估。

2. 甲光 R:G:B 为 1:2:3；乙光 R:G:B 为 2:4:6，甲光和乙光有什么区别？

二者的颜色相同，亮度不同。

由于甲光和乙光 R:G:B 的比例相同，故进行归一化后在 CIE 色度图中的位置相同。但是乙光的各光光强高于甲，故看起来更明亮些。

附件

原始数据