

RGB 三基色发光二极管伏安特性与配色实验

LED 为半导体发光元件，波长覆盖了红外，可见、紫外整个区域。发光二极管色泽鲜艳，驱动电压低，光强易控，在 LED 平板显示，大型节日渲染等光电显示方面，得到广泛应用。

[实验目的与要求]

1. 掌握LED的工作原理和特点；
2. 测量LED的电光转换曲线；
3. 通过配色实验，了解三基色配色原理。

[原理]

发光二极管是一种可以直接把电转化为光的固态半导体器件，由III-IV族化合物，如GaAs（砷化镓）、GaP（磷化镓）、GaAsP（磷砷化镓）等半导体制成的，其核心是PN结。因此它具有一般P-N结的I-V特性，即正向导通，反向截止、击穿特性。

此外，在一定条件下，它还具有发光特性。在正向电压下，电子由N区注入P区，空穴由P区注入N区。进入对方区域的少数载流子（少子）一部分与多数载流子（多子）复合而发光。

根据不同的结构和材料，LED 发出的颜色也是不同的。目前显示领域使用的 LED 可分为两大类：一类是磷化铝、磷化镓和磷化铟的合金，可以做成红色、橙色和黄色的 LED；另一类是氮化铟和氮化镓的合金，可以做成绿色、蓝色和白色的 LED。通常，LED 峰值波长 λ 和半导体材料的能隙 E_g 满足下列关系：

$$\lambda = 1240/E_g$$

其中， E_g 的单位为电子伏特（eV），波长单位为纳米（nm）。

1. LED 的 I-V 特性曲线

LED 电压-电流之间的相互作用关系，一般称为伏特（电压 V）和安培（电流 A）特性（简称 V-I 特性）。图 2 的 V-I 特性曲线可分为反向死区 0→C 和反向击穿区 C→D，正向死区 0→A 段，工作区 A→B 段。

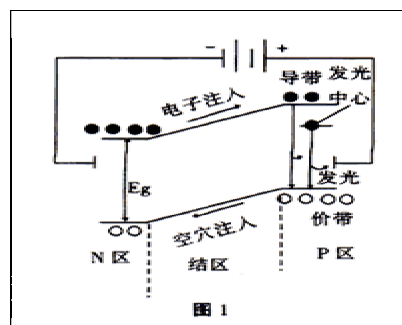


图 1 LED 的发光原理示意图

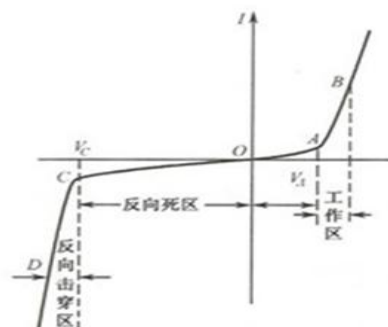


图 2. LED 伏安特性曲线

正向区：

一般情况下，显示用发光二极管应在正向工作区 A→B 段工作，此时 LED 电流和电压成线性关系，且动态电阻较小。将 A B 反向延长并和横坐标相交所的电压，称为导通电压，也称为阈值电压 V_{th} 。当正向电压小于 V_{th} 时，PN 节为截止状态，LED 不发光。当电压达到阈值电压后，LED 开始发出微光，此时电流还很小，随着电压的增大，电流逐渐增大，此时 LED 的动态电阻还比较大；继续增加电压，到拐点 V_A 后，但不能无限制的增大电源电压，当 LED 的正向电流增大到某一定值（和发光二极管的种类有关） I_{f_m} 后，二极管两端的电压变得不稳定，甚至出现电压下降的现象，此时，发光二极管会因电流增大而烧坏。

发光二极管能够正常工作时受到最大正向电流 I_{f_m} 和反向击穿 V_{R_m} 的限制，为安全起见，实际电流 I_f 应小于 60% I_{f_m} ，对应的正向电压称为 V_f 。对于一般的小功率 LED， $I_f=20mA$ ，并规定 5V 时的反向漏电流 I_R 应小于 $10\mu A$ 。对于大功率 LED 芯片，以上电学参数要根据芯片的规格来确定，本实验中约定 $I_f=100mA$ ，对应电压称为高亮工作电压 V_f 。

2. LED 的 P-V 特性曲线

发光强度指光源在指定方向上单位立体角内的光通量，国际单位称为坎德拉 (cd)，又可以表示为流明 / 立体弧度 (lm/Sr)。发光二极管芯片尺寸面积通常为 $8mm \times 8mm$ ($1mm=0.0254mm$)，可看成点光源，为了提高光源的指向性，多通过光学设计，将光通量集中在芯片中心轴线正前方，该方向上光强最大，通常所说的 LED 光强，特指该方向。偏离中心轴线越多，光强越小。

3. LED 的配色体系

自然界物体的颜色是多种多样的，其发射光谱或反射光谱也不同。现代光电显示可将自然界景物显示在屏幕上，给人以同样的视觉感受，但并不是完全的重现。研究表明，人眼不能分辨光谱，只能感受出物体的亮度，色调和饱和度的不同，称为彩色三要素。例如黄光，可由单色的黄色荧光粉发光产生，也可由红色和绿色荧光粉按照一定比例混合后发光产生，只要彩色三要素相同，人眼的视觉感受就相同。

三基色原理是现代光电显示的基础。显示三基色是指红，绿，蓝三色，它们相互独立，分处于可见光的低、中、高区域。研究表明，自然界的绝大多数颜色都可以分解成三基色，即大多数的颜色都可以通过红、绿、蓝三色按照不同的比例合成产生，称为三基色原理。混色方法主要有全反射混色，相加混色，时间混色，生理混色等 4 种。

国际照明委员会 (CIE) 于 1931 年发布了基于配色实验的物理 RGB 计色体系，之后又在此基础上发布了 XYZ 计量体系，UCS 配色体系。图 4 为 XYZ 计色体系，马蹄形闭合曲线的内部包含了自然界所有颜色。任意三个基色都可构成一个配色体系，其中三个顶点为基色光源，改变三基色的配比，可配出三角形内部所包含的全部颜色，称为显色色域。其中，

NTSC 为美国为首的一种电视制式，三基色的色度坐标分别是 $R_e(0.67, 0.33)$, $G_e(0.21, 0.71)$, $B_e(0.14, 0.08)$, 将此三基色光通量按照 0.59: 0.30: 0.11 的比例混合在一起时，相加混色得到标准白光光源 C ($0.31, 0.32$)，其色温为 6774K。

本实验采用三芯片 LED 光源，其色坐标分别为 $R_b(0.56, 0.31)$, $G_b(0.23, 0.67)$, $B_b(0.16, 0.05)$, 构成 RGB_LED_2 三角形色域。实验通过控制三路 LED 的工作电流，使之产生不同比例的光通量，相加混色得到不同种类的彩色光。

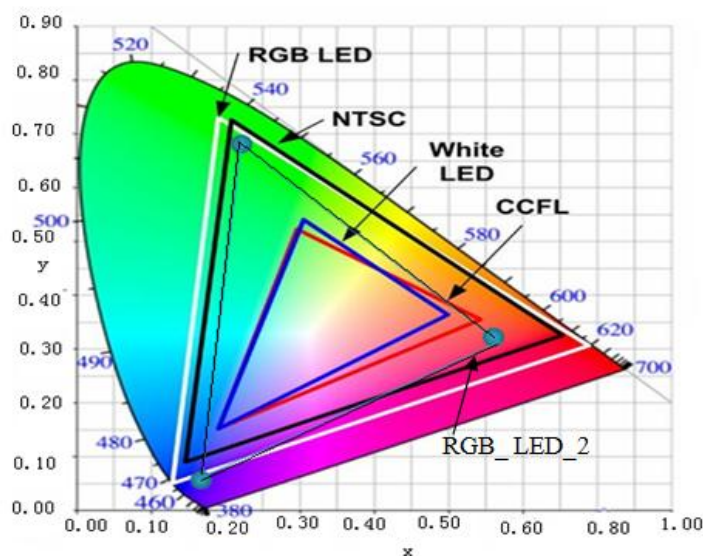


图 4 LED 显示色域与传统 NTSC_CRT 色域比较

[仪器]

XZG-DH 型 LED 多功能特性测试与应用实验仪，包括 LED 光强分布测试仪、电压表、电流表，光强计、测试电源、LED 混色实验仪及 LED 待测样品，导线和保护电阻等组成。



图 5. LED 光强分布特性测试



图 6. LED 混色实验仪

[实验内容与步骤]

1. 直流驱动下 LED 伏安特性实验

(1) 将待测（红，绿，蓝色）LED 样品板放置在 LED 光强特性测试仪上的 LED 旋转座插座上，阳极对应红色插座，阴极对应黑色插座。

(2) 把 LED-P2 实验电源的稳压源逆时针调到最小，然后按照下面的 LED 正向伏安特性测试电路连接线路；然后开启稳压电源，缓慢增加电压值，观察电压表和电流表的读数变化；当 LED 开始发光时，开始记录电流表的读数。

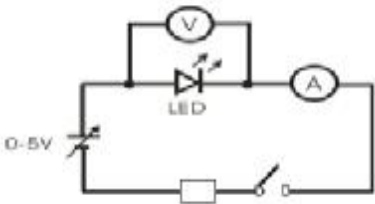


图 7. LED 正向伏安特性测试

注意: 监控电流表的读数，当电流表的电流到达 200mA 时候，停止增加稳压电源输出，以免 LED 电流过大而损坏。

红色	U/V			.....	
	I /mA			.....	
绿色	U/V			.....	
	I /mA			.....	
蓝色	U/V			.....	
	I /mA			.....	

2. RGB 三芯片 LED 发光强度测试实验

- (1) 将光强计放置混色实验仪 R G B 三基色芯片 LED 样品的正上方；
- (2) 将 G、B 恒流源的电流调到零，逐渐增加 R 恒流源的电流，测量并记录通过红色 LED 的电流和法线方向的发光强度之间的关系；
- (3) 调节 R 恒流源的电流为 0，分别改变 G、B 恒流源的电流，测量绿色和蓝色 LED 芯片的电光特性曲线。

红色	I /mA	0		.....	
	P /			.....	
绿色	I /mA	0		.....	
	P /			.....	
蓝色	I /mA	0		.....	
	P /			.....	

注意: 电光特性曲线要求在暗室内进行，并监控电流表的读数，当电流表的电流到达 200mA 时候，停止增加恒流电流，以免 LED 电流过大而损坏。

3. 三基色混色实验

参考三基色的 P-I 数据和配色三角形，改变三基色的工作电流，混合出黄色，青色，紫色，

记录相应的电流。

		1	2	3	4	5	6
紫色	I_B /mA	1.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0
	I_R /mA						
青色	I_G /mA	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0
	I_B /mA						
黄色	I_R /mA	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0
	I_G /mA						

[数据处理与分析]

1. 绘制直流驱动下红，绿，蓝 LED 的伏安特性 I - V 曲线，从图中读出并它们的阈值电压 V_{th} ，拐点电压 V_A 和工作电压 V_F ；
2. 绘制恒流驱动下红，绿，蓝三种 LED 的中心发光强度与驱动电流之间的关系曲线；
3. 求出黄色、青色、紫色对应的三基色发光强度比值的平均值。

[注意事项]

1. 在接通电源之前，一定要将电源电压调到 0（恒流时将电流调到 0），以免发光二极管因电流过大而烧毁；
2. 注意 LED 的正负极，背部的散热器必须与插座中心处的圆柱体接触好，利于 LED 散热。

[预习思考题]

1. 简述发光二极管的发光原理。
2. RGB 三基色发光二极管一般由什么材料制成？
3. 彩色的三要素是什么？
4. 三基色原理的主要内容是什么？

[分析讨论题]

1. 本实验中是否可以配出标准白光光源 C？若不能，说出理由。若能，三基色的光通量比例是否和 NTSC 制式相同，为什么？

[参考文献]

1. 陈元灯，LED 制造技术与应用，电子工业出版社，北京，2008
2. XZG-DH LED 多功能特性测试与应用实验仪说明书