

实验十五 用光学多通道分析器研究发光二极管光谱

光谱分析是研究物质微观结构的重要方法，它广泛应用于化学分析、医药、生物、地质、冶金和考古等部门。常见的光谱有吸收光谱、发射光谱和散射光谱。涉及的波段从 x 射线、紫外光、可见光、红外光到微波和射频波段。本实验通过测量发光二极管的发射光谱，使大家了解发光二极管的主要光学特性和光谱测量的基本方法。

【实验目的】

1. 了解发光二极管发射光谱；
2. 测量发光二极管相对输出光强 i_v 和正向电流 I_f 关系；
3. 掌握多通道分析器的原理和使用方法。

【实验原理】

1. 发光二极管的光学特性

半导体发光二极管与普通二极管和双极晶体管一样，具有低工作电压和低阻抗特点，是一种电流型器件。发光二极管体积小、重量轻、寿命长、结构牢固、工作可靠，已得到广泛应用。

发光二极管根据芯片发光波长可以分成红色、橙色、绿色、兰色和多色等数种类型。发光二极管主要光学性质有

(1) 发射光谱曲线

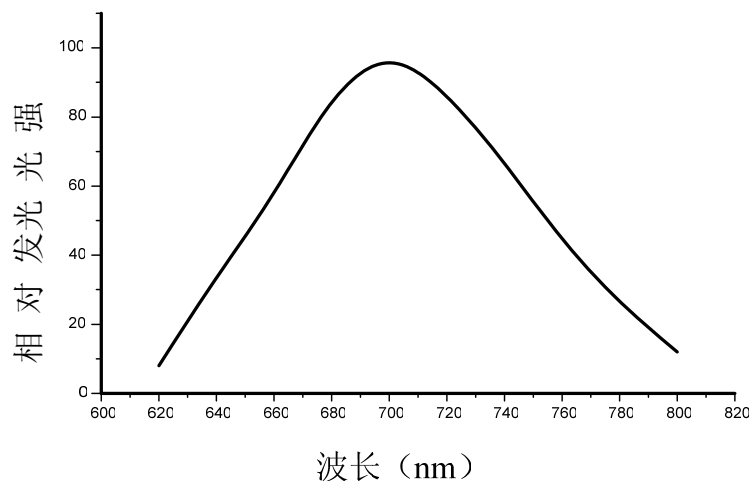
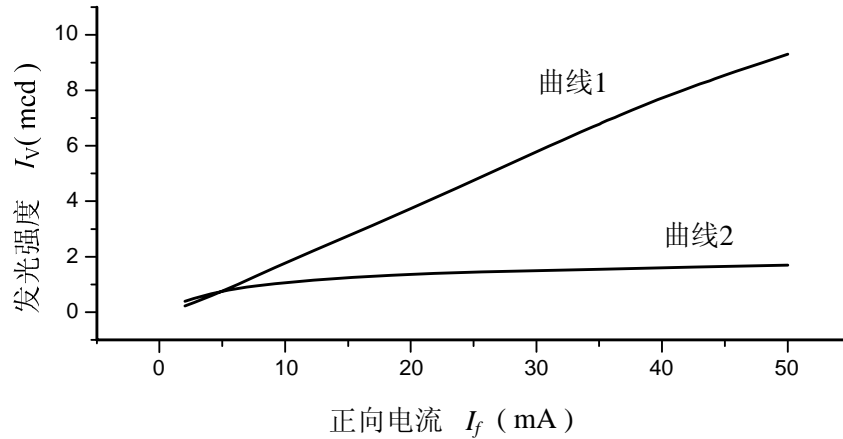


图 (1) 发光二极管发射光谱曲线

图 (1) 给出了典型发光二极管发射光谱曲线。发光二极管发光峰值波长 λ_0 由半导体

材料的能隙宽度或发光中心的能级位置确定。它决定了LED的发光颜色，光谱半宽度 $\Delta\lambda$ 标志光谱的纯度，同时可以衡量半导体材料中对发光有贡献的能量状态离散程度，典型发光二极管的光谱半宽度为20~100nm。

(2) 发光强度 I_v 和正向电流 I_f 关系曲线



图(2) 发光二极管发光强度 I_v 和正向电流 I_f 关系曲线

图(2) 给出了二种典型的发光二极管发光强度 I_v 和正向电流 I_f 关系曲线，其中曲线(1) 随正向电流增加而线性上升，且不饱和，而曲线(2) 增加得慢且迅速饱和。

2. 光学多通道分析器 (OMA)

利用现代电子技术接收和处理某一波长范围($\lambda_1 \sim \lambda_2$) 内光谱信息的光学多通道检测系统的基本框图如图3所示。

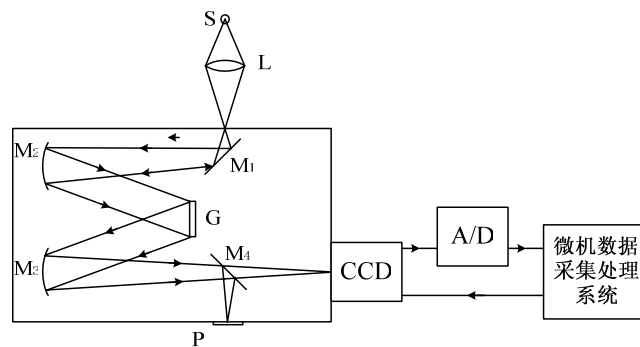


图3 光学多通道检测系统的基本框图

入射光被多色仪色散后在其出射窗口形成 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 的谱带。位于出射窗口处的多通道光电探测器将谱带的强度分布转变为电荷强弱的分布，由信号处理系统扫描、读出、经A/D变换后存贮并显示在计算机上。

OMA的优点是所有的像元(N个)同时曝光，整个光谱可同时取得，比一般的单通道光谱系统检测同一段光谱的总时间快N倍。在摄取一段光谱的过程中不需要光谱仪进行机

械扫描，不存在由于机械系统引起的波长不重复的误差；减少了光源强度不稳定引起的谱线相对强度误差；可测量光谱变化的动态过程。

多色仪及光源部分的光路见图。光源S经透镜L成像于多色仪的入射狭缝S₁，入射光经平面反射镜M₁转向90°，经球面镜M₂反射后成为平行光射向光栅G。衍射光经球面镜M₃和M₄成像于观察屏P。由于各波长光的衍射角不同，在P处形成以某一波长λ₀为中心的一条光谱带，使用者可在P上直观地观察到光谱特征。转动光栅G可改变中心波长，整条谱带也随之移动。多色仪上有显示中心波长λ₀的波长计。转开平面镜M₄可使M₃直接成像于光电探测器CCD上，它测量的谱段与观察屏P上看到的完全一致。

CCD 是电荷耦合器件 (Charge-Coupled Device) 的简称，是一种以电荷量表示光强大小，用耦合方式传输电荷量的器件，它具有自扫描、光谱范围宽、动态范围大、体积小、功耗低、寿命长、可靠性高等优点。将 CCD 一维线阵放在光谱面上，一次曝光就可获得整个光谱。目前，二维面阵 CCD 已大量用于摄像机和数字照相机。

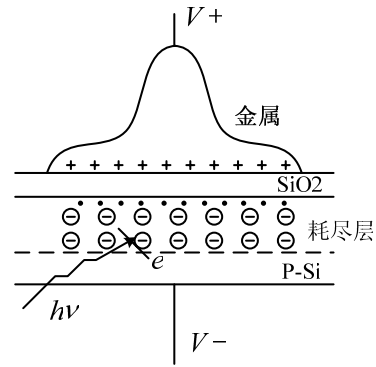


图4 CCD 结构图

CCD的结构如图4所示，衬底是P型Si，硅表面是一层二氧化硅薄膜，膜上是一层金属作电极，这样硅和金属之间形成一个小电容。如果金属电极置于高电位，在金属界面积累了一层正电荷，P型半导体中带正电荷的空穴被排斥，只剩下不能移动的带负电荷的受主杂质离子，形成一耗尽层，受主杂质离子因不能自由移动对导电作用没有任何贡献。在耗尽区内或附近，由于光子的作用产生电子-空穴对，电子被吸引到半导体与SiO₂绝缘体的界面形成电荷包，这些电子是可以传导的。电荷包中电子的数目与入射光强和曝光时间成正比，很多排列整齐的CCD像元组成一维或二维CCD阵列，曝光后一帧光强分布图将成为一帧电荷分布图。

我们采用的是具有 2048 个像元的CCD一维线阵，其光谱响应范围为 200~1000 nm，响应峰值在 550 nm，动态范围大于 2¹⁰。每个像元的尺寸在 14 μm×14 μm，像元中心距为 14 μm，像敏区总长为 28.672 mm。多色仪中M₂，M₃的焦距 302 mm，光栅常数为 1 / 600 mm，在可见光区的线色散 Δλ / Δl (光谱面上单位宽度对应的波长范围) 约为 5.55 nm / mm，由此可知CCD一次测量的光谱范围为 5.55×28.67 约为 159 nm。光谱分辨率即两个像元之间波长相差约 0.077 nm。在OMA中每个像元称为一“道”，本实验的系统是 2048 道OMA。

每次采样 (曝光) 后每个像元内的电荷在时钟脉冲的控制下顺序输出，经放大、模数 (A/D) 转换，将电荷即光强顺序存入采集系统 (微机) 的寄存器，经微机处理后，在显示器上就可看到我们熟悉的光谱图。移动光谱图上的光标，屏上即显示出光标所处的道数和相对光强值。

使用者可通过屏幕提示来操作采集系统，一般操作界面主窗口下包括的菜单项有：

- (1) 文件——主要提供文件打开/关闭、结果打印和程序退出等功能。
- (2) 运行——主要包含一些数据采集子菜单项，如实时采集、背景采集和改变起始波长等。
- (3) 数据处理——主要提供对采集到的光谱数据进行操作处理的功能，如定标、平滑、

扩展、数据读取和两谱图的加减等。定标就是用光标从光谱中找出各已知波长的谱峰所处的道数，并输入相应的波长值，计算机用最小二乘法拟合道与波长的关系，拟合后的横坐标由原来的道数标度变为波长标度。

(4) 设置——用来修正 CCD 的工作参数和显示模式，如曝光时间、平均次数、累加次数和显示范围等。增加曝光时间、平均次数和累加次数可增加信噪比和提高弱峰的计数，但设置曝光时间时要考虑到 CCD 动态范围的限制。

(5) 帮助——提供在线帮助。

其他详细说明见仪器说明书。

利用多通道光谱仪测量光谱时， λ 的狭缝宽度一般不超过 0.1 mm。利用观察屏 P 观察谱线时，狭缝可适当放大以得到可观察的光谱线，但不超过 2 mm，否则会损坏狭缝。

测量前应调正 L, S 和多通道仪共轴等高，并使光源成大像于入射狭缝处。

实验前在 StuData 文件夹建立以个人姓名命名的个人文件夹，所有实验文件存入该文件夹。

【实验仪器】

发光二极管、汞灯、透镜、光学多通道分析仪

【实验内容】

1. 利用汞灯分段定标；
2. 测量红、黄、绿三种发光二极管发射光谱，峰值波长 λ_p 和光谱半宽度 $\Delta \lambda$ 。
3. 测量绿色发光二极管归一化发光强度 i_v 和正向电流 I_f 关系曲线。

【注意事项】

1. 任何时候狭缝宽度小于 3 mm。
2. 更换光源时应保证光源、透镜和光学多通道分析仪相对位置不变。启动光学多通道分析仪的步骤为：打开计算机电源，打开 CCD 电源，置 M_4 控制手柄于 CCD 位置，打开软件。
3. 建立个人数据文件夹，把所有实验文件存入个人数据文件夹，应带好软盘，完成实验后拷贝实验文件。

【预习思考题】

1. 在实验中怎样保证多色仪和光源光路的同轴等高？
2. 利用 CCD 测量光谱时，多色仪狭缝宽度要不大于 0.1 mm 的理由？

【思考题】

1. 试分析在实验室中对同一发光二极管测得 λ_p 会有明显改变（大于仪器测量误差）的原因。
2. 分析狭缝宽度、实验测量精度和在观察屏上谱线明亮度之间的关系。

【参考资料】

- [1] 杨文明等. 近代物理实验. 上海交通大学物理实验中心, 2001
- [2] 陈泽民等. 近代物理与高新技术物理基础. 北京: 清华大学出版社, 2001
- [3] 段家祇等. 普通物理实验. 北京: 北京大学出版社

【附表】

汞原子主要光谱线 (单位: nm)

312.6	313.2	334.2 (紫外)	404.7 (蓝紫)
407.8 (蓝紫)	435.8 (蓝)	491.6 (绿蓝)	546.1 (绿)
577.0 (黄)	579.1 (黄)	623.4 (橙)	690.7 (红)