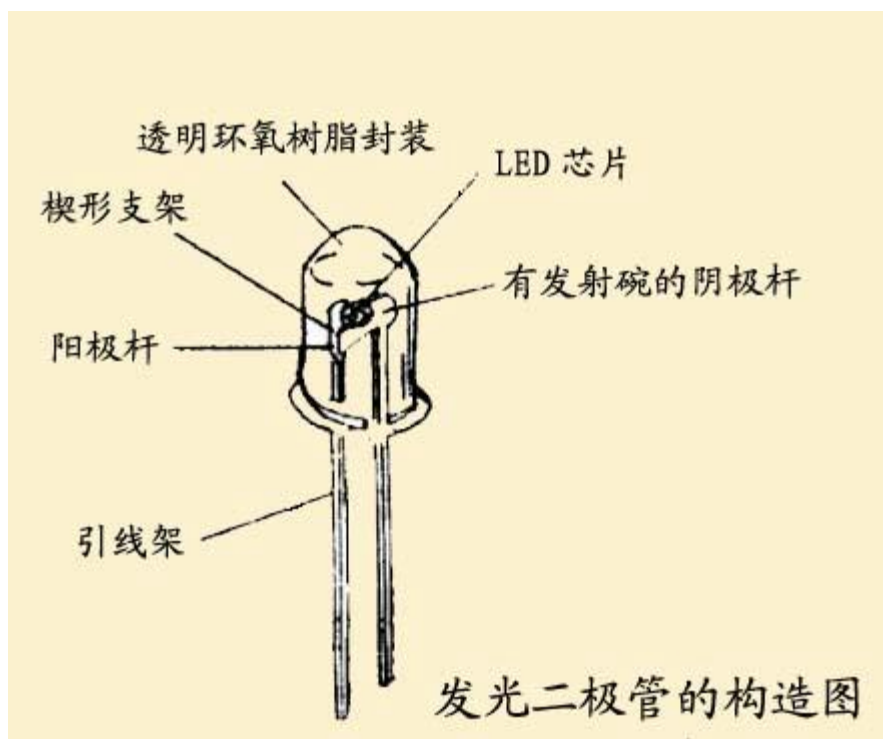


一、LED 的结构及发光原理

50 年前人们已经了解半导体材料可产生光线的基本知识，第一个商用二极管产生于 1960 年。LED 是英文 light emitting diode（发光二极管）的缩写，它的基本结构是一块电致发光的半导体材料，置于一个有引线的架子上，然后四周用环氧树脂密封，起到保护内部芯线的作用，所以 LED 的抗震性能好。LED 结构图如下图所示



发光二极管的核心部分是由 p 型半导体和 n 型半导体组成的晶片，在 p 型半导体和 n 型半导体之间有一个过渡层，称为 p-n 结。在某些半导体材料的 PN 结中，注入的少数载流子与多数载流子复合时会把多余的能量以光的形式释放出来，从而把电能直接转换为光能。PN 结加反向电压，少数载流子难以注入，故不发光。这种利用注入式电致发光原理制作的二极管叫发光二极管，通称 LED。当它处于正向工作状态时（即两端加上正向电压），电流从 LED 阳极流向阴极时，半导体晶体就发出从紫外到红外不同颜色的光线，光的强弱与电流有关。

二、LED 光源的特点

1. 电压：LED 使用低压电源，供电电压在 6-24V 之间，根据产品不同而异，所以它是一个比使用高压电源更安全的电源，特别适用于公共场所。
2. 效能：消耗能量较同光效的白炽灯减少 80%
3. 适用性：很小，每个单元 LED 小片是 3-5mm 的正方形，所以可以制备成各种形状的器件，并且适合于易变的环境
4. 稳定性：10 万小时，光衰为初始的 50%

5. 响应时间：其白炽灯的响应时间为毫秒级，LED 灯的响应时间为纳秒级
6. 对环境污染：无有害金属汞
7. 颜色：改变电流可以变色，发光二极管方便地通过化学修饰方法，调整材料的能带结构和带隙，实现红黄绿兰橙多色发光。如小电流时为红色的 LED，随着电流的增加，可以依次变为橙色，黄色，最后为绿色
8. 价格：LED 的价格比较昂贵，较之于白炽灯，几只 LED 的价格就可以与一只白炽灯的价格相当，而通常每组信号灯需由上 300~500 只二极管构成。

三、单色光 LED 的种类及其发展历史

最早应用半导体 P-N 结发光原理制成的 LED 光源问世于 20 世纪 60 年代初。当时所用的材料是 GaAsP，发红光 ($\lambda_p=650\text{nm}$)，在驱动电流为 20 毫安时，光通量只有千分之几个流明，相应的发光效率约 0.1 流明/瓦。

70 年代中期，引入元素 In 和 N，使 LED 产生绿光 ($\lambda_p=555\text{nm}$)，黄光 ($\lambda_p=590\text{nm}$) 和橙光 ($\lambda_p=610\text{nm}$)，光效也提高到 1 流明/瓦。

到了 80 年代初，出现了 GaAlAs 的 LED 光源，使得红色 LED 的光效达到 10 流明/瓦。

90 年代初，发红光、黄光的 GaAlInP 和发绿、蓝光的 GaInN 两种新材料的开发成功，使 LED 的光效得到大幅度的提高。在 2000 年，前者做成的 LED 在红、橙区 ($\lambda_p=615\text{nm}$) 的光效达到 100 流明/瓦，而后者制成的 LED 在绿色区域 ($\lambda_p=530\text{nm}$) 的光效可以达到 50 流明/瓦。

四、单色光 LED 的应用

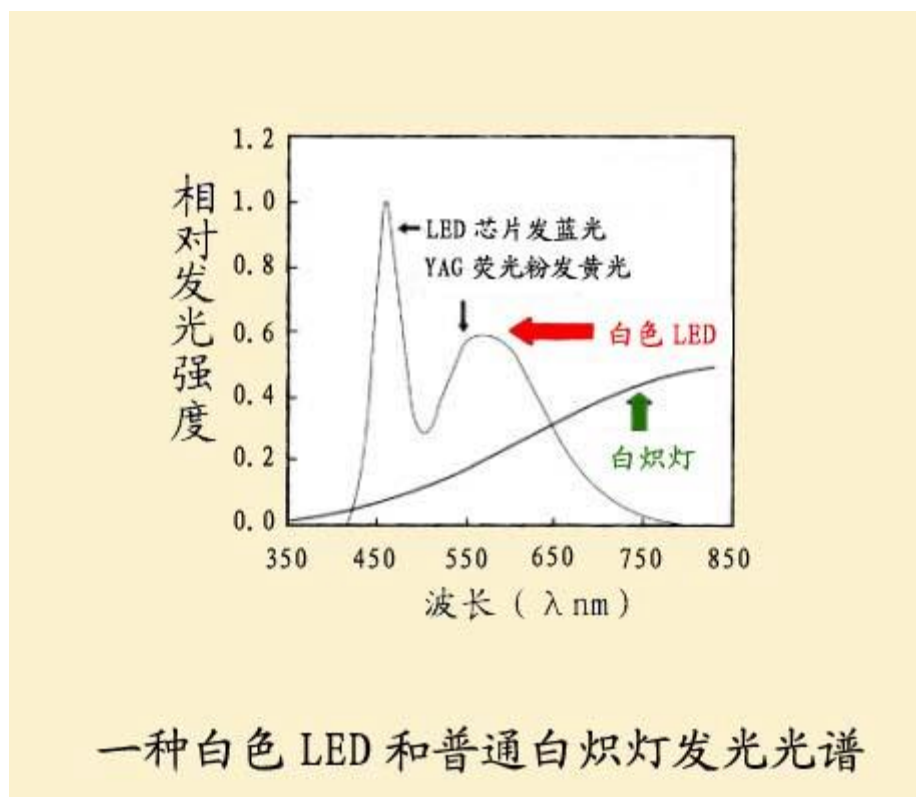
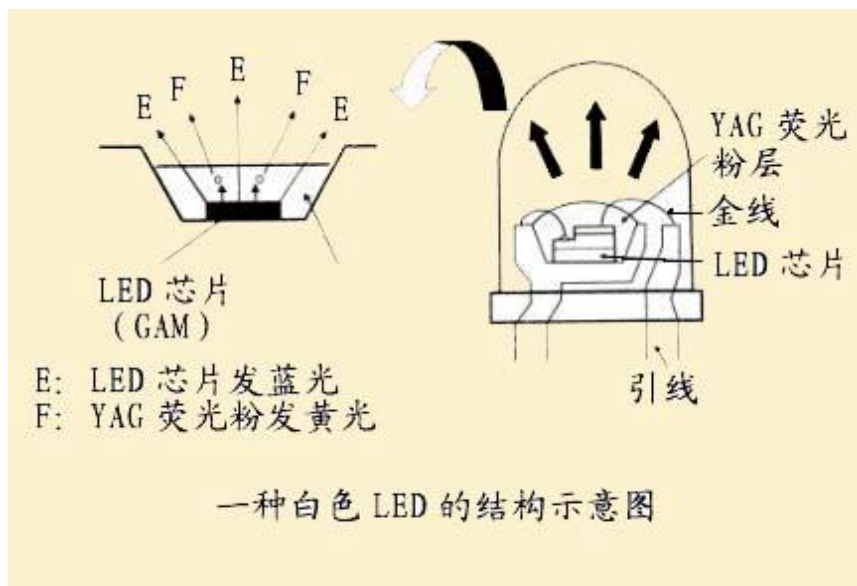
最初 LED 用作仪器仪表的指示光源，后来各种光色的 LED 在交通信号灯和大面积显示屏中得到了广泛应用，产生了很好的经济效益和社会效益。以 12 英寸的红色交通信号灯为例，在美国本来是采用长寿命，低光效的 140 瓦白炽灯作为光源，它产生 2000 流明的白光。经红色滤光片后，光损失 90%，只剩下 200 流明的红光。而在新设计的灯中，Lumileds 公司采用了 18 个红色 LED 光源，包括电路损失在内，共耗电 14 瓦，即可产生同样的光效。

汽车信号灯也是 LED 光源应用的重要领域。1987 年，我国开始在汽车上安装高位刹车灯，由于 LED 响应速度快（纳秒级），可以及早让尾随车辆的司机知道行驶状况，减少汽车追尾事故的发生。

另外，LED 灯在室外红、绿、蓝全彩显示屏，匙扣式微型电筒等领域都得到了应用。

五、白光 LED 的开发：对于一般照明而言，人们更需要白色的光源。1998 年发白光的 LED 开发成功。这种 LED 是将 GaN 芯片和钇铝石榴石 (YAG) 封装在一起做成。GaN 芯片发蓝光 ($\lambda_p=465\text{nm}$, $Wd=30\text{nm}$)，高温烧结制成的含 Ce³⁺ 的 YAG 荧光粉受此蓝光激发后发出黄色光发射，峰值 550nm。蓝光 LED 基片安装在碗形反射腔中，覆盖以混有 YAG 的树脂薄层，约 200-500nm。LED 基片发出的蓝光部分被荧光粉吸收，另一部分蓝光与荧光粉发出的黄光

混合，可以得到白光。现在，对于 InGaN/YAG 白色 LED，通过改变 YAG 荧光粉的化学组成和调节荧光粉层的厚度，可以获得色温 3500-10000K 的各色白光。（如下图所示）



表一列出了目前白色 LED 的种类及其发光原理。目前已商品化的第一种产品为蓝光单晶片加上 YAG 黄色荧光粉，其最好的发光效率约为 25 流明/瓦，YAG 多为日本日亚公司的进口，价格在 2000 元/公斤；第二种是日本住友电工亦开发出以 ZnSe 为材料的白光 LED，不过发光效率较差。

从表中也可以看出某些种类的白色 LED 光源离不开四种荧光粉：即三基色稀土红、绿、蓝粉和石榴石结构的黄色粉，在未来较被看好的是三波长光，即以无机紫外光晶片加 R.G.B 三颜色荧光粉，用于封装 LED 白光，预计三波长白光 LED 今年有商品化的机会。但此处三基色荧光粉的粒度要求比较小，稳定性要求也高，具体应用方面还在探索之中。

表一 白色 LED 的种类和原理

芯片数	激发源	发光材料	发光原理
1	蓝色 LED	InGaN/YAG	InGaN 的蓝光与 YAG 的黄光混合成白光
	蓝色 LED	InGaN/荧光粉	InGaN 的蓝光激发的红绿蓝三基色荧光粉发白光
	蓝色 LED	ZnSe	由薄膜层发出的蓝光和在基板上激发出的黄光混色成白光
	紫外 LED	InGaN/荧光粉	InGaN 的紫外激发的红绿蓝三基色荧光粉发白光
2	蓝色 LED	InGaN、GaP	将具有补色关系的两种芯片封装在一起，构成白色 LED
	黄绿 LED		
3	蓝色 LED	InGaN	将发三原色的三种小片封装在一起，构成白色 LED
	绿色 LED	AllnGaP	
	红色 LED		
多个	多种光色的 LED	InGaN、GaP AllnGaP	将遍布可见光区的多种光芯片封装在一起，构成白色 LED

采用 LED 光源进行照明，首先取代耗电的白炽灯，然后逐步向整个照明市场进军，将会节约大量的电能。近期，白色 LED 已达到单颗用电超过 1 瓦，光输出 25 流明，也增大了它的实用性。表二和表三列出了白色 LED 的效能进展。

表二 单颗白色 LED 的效能进展

年份	发光效能（流明/瓦）	备注
1998	5	
1999	15	相若白炽灯
2001	25	相若卤钨灯
2005	50	估计

表三 长远发展目标

单颗白色 LED	
输入功率	10 瓦
发光效能	100 流明/瓦
输出光能	1000 流明/瓦

六、业界概况

在 LED 业者中，日亚化学是最早运用上述技术工艺研发出不同波长的高亮度 LED，以及蓝紫光半导体激光（Laser Diode; LD），是业界握有蓝光 LED 专利权的重量级业者。在日亚化学取得兰色 LED 生产及电极构造等众多基本专利后，坚持不对外提供授权，仅采自行生产策略，意图独占市场，使得蓝光 LED 价格高昂。但其他已具备生产能力的业者相当不以为然，部分日系 LED 业者认为，日亚化工的策略，将使日本在蓝光及白光 LED 竞争中，逐步被欧美及其他国家的 LED 业者抢得先机，届时将对整体日本 LED 产业造成严重伤害。因此许多业者便千方百计进行蓝光 LED 的研发生产。目前除日亚化学和住友电工外，还有丰田合成、罗沐、东芝和夏普，美商 Cree，全球 3 大照明厂奇异、飞利浦、欧司朗以及 HP、Siemens、Research、EMCORE 等都投入了该产品的研发生产，对促进白光 LED 产品的产业化、市场化方面起到了积极的促进作用。