

显 示 电 子 学

[美] K.特拉克顿著

人 民 邮 电 出 版 社

Display Electronics

By Ken Tracton

1977

TAB BOOKS

内 容 提 要

《显示电子学》是介绍光电子器件及其电路的通俗书。内容包括光电子器件及其应用的基本知识和光电子电路两部份。除一、二两章对发光现象作了基本的描述外,三至七章重点地介绍了光电子器件的各种应用。第八章和第九章分别介绍了光电子电路和发光二极管的电路设计。具有基本半导体电子知识的读者都可以阅读。可供从事电子电路的工人,实验员、无线电爱好者和科技人员参考。

显 示 电 子 学

〔美〕K.特拉克顿著

时 光 译

*

人 民 邮 电 出 版 社 出 版

北京东长安街27号

天 津 新 华 印 刷 一 厂 印 刷

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

各 地 新 华 书 店 经 售

*

开本: 787×1092 1/32 1981年2月 第 一 版

印张: 8 8/32页数:132 1981年2月天津第一次印刷

字数: 187 千字 印数: 1—12,500 册

统一书号: 15045·总2440—有5185

定 价: 0.67 元

目 录

前言

第一章 光的发射、传输和探测..... 1

光子测量—光—光电效应—光子发射—结特性—光电池
—纤维光学

第二章 发光二极管..... 38

光耦合隔离器—显示器

第三章 发光二极管的应用 51

发光二极管状态指示器—发光二极管的脉冲电路和调制电
路—发光二极管电路和光电晶体管电路—光耦合隔离器

第四章 显示阵列和显示器 71

光电探测阵列—发光二极管阵列—字母数字矩阵扫描

第五章 新型显示器件和光敏器件..... 98

阴极射线管—新型显示器件—光晶显示—图象传感器—电
荷耦合器件(CCD)—MOS 光电二极管阵列

第六章 场致发光 119

图 象 增 强 器

第七章 二极管注入式激光器 129

激光器的基本类型—二极管注入式激光器—电 源—应 用

第八章 光电子电路..... 140

反应速度测验器—直流光开关—红外振荡器—窗口式比较
器—发光二极管状态指示器—发光二极管张弛振荡器—发
光二极管集成电路调制器—分立元件的发光二极管调制器
—光电晶体管接收机—光控继电器—BCD十进计数器—
光控多谐振荡器—场致发光板—光电探测电路—专用闪光
器—光控氙闪光灯—数字集成电路测试器—电子骰—光电

池控制的电灯—“独臂大盗”—字符产生器—数字式时钟—
发光二极管音量表—微型计算机

第九章 发光二极管电路设计221

发射特性—电特性—基本电路—视觉上的一些考虑—用发
光二极管代替白炽灯—发光器件和探测器件的数学表
达式

附录 A 常用图表237

附录 B 重要物理常数和单位244

附录 C 光电子器件特性表246

附录 D 名词汇编250

第一章 光的发射、传输和探测

任何固态发光器件，无论是分立元件还是完整的阵列，都具有一些十分理想的特性，诸如：可靠性高、稳定性好、强度高、功耗小以及寿命长等。固态发光器件另一个重要的特点，就是它近乎呈单色性（发射光所占频带极窄）。当然，可以通过不同的制造工艺，来改变发光颜色，从而产生适合于不同应用的各种光色。而且，由于它们本身是固体结构，故可将这些基本元件，例如发光二极管（LED）同透镜做在一起，成一体，对光进行放大和聚焦。

发现固体材料能够产生“冷光”这一现象，至今已约七十年。但是，在电子学领域，只是最近才出现了实用的器件。最早报导的固态光发射，是利用碳化硅（SiC）来实现的。与近代的发光二极管相比，碳化硅晶体需要约30伏的电压，而今日的发光二极管仅需几伏。

发光二极管的出现，极大地促进了电子学的发展，特别是极大地促进了指示器、读出器和遥控器件的发展。在种类繁多的发光二极管中，有一种叫做注入型半导体激光器。然而遗憾的是，大多数注入型激光器发光二极管只能运用于脉冲工作状态，最近才设计出少数几种能够在室温下连续工作的发光二极管。

目前，固态读出几乎完全淘汰了老式的多址（字符相互重迭的）荧光管读出。荧光管不能毫不混淆地示出数字或图形，而发光二极管读出矩阵，则可以在同一平面上示出任何一个读

出字符。荧光管和白炽灯读出器（它可以在同一平面上进行显示）的功率消耗，同发光二极管相比要大得多，因为前者所需电压高，消耗电流也大。液晶读出似乎能与发光二极管相抗衡，但它并不能产生光。因此，采用液晶读出还需另备光源。

光 子 测 量

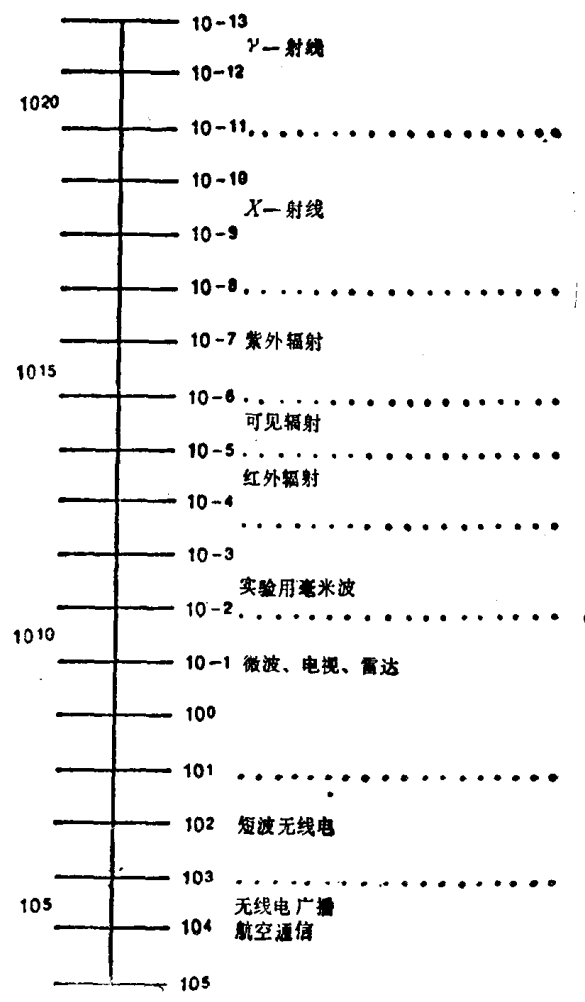
为了对发光器件或光敏器件进行深入地讨论，最好先对所涉及的一些概念加以定义和解说。

许多人把任何能量辐射都称为“光”，从技术角度来看，这是不正确的，因为只有人眼所能感觉到的那部分电磁频谱才称为光。图1—1示出了整个电磁波频谱，图中还指明了称之为光的那一段频谱，通常把光定义为可见的能量辐射。

为了对可见能量辐射和不可见能量辐射进行讨论，曾发展了两种不同的测量系统，即光度测量系统和辐射度测量系统。前者是指一种估算可见辐射能量参数的系统，后者则是指用于测量电磁频谱任意部分能量的系统。

在辐射度测量系统中，某一给定辐射的强度，用其功率或总通量密度来表述，一般采用周期（或波长），而不用频率，但在光度测量系统中，可见光对人眼的作用则是确定光波强度的决定性因素。

光度测量中使用的单位，按照通量或通量密度所具有的生理效应来衡量。波长常常用光的颜色来表述，例如红色、蓝色、绿色。对紫外线、黑光或红外光，则不去进行光度测量，因为如果给定的波长对人眼并无生理效应，则它就不能叫做光。从技术上讲，不应将紫外线称为紫外光，而应称作紫外辐射。这一原则也适用于电磁频谱的红外部分，即应称这部分电磁频谱



频率 (赫) 波长 (米)

图1—1 电磁波频谱

为红外辐射。至于流行的名称“黑光”，这一名称本身就暴露出这种表达方式是错误的，因为如果这种光真正是黑的，人们怎么能看见它呢？“黑光”一词通常是指波长接近电磁频谱可见部分的光。

为了准确地对发光器件进行讨论，我们须使用一些辐射度单位。这些单位须根据所用测量器件的响应曲线进行调整。光探测器的一个重要参数是有效辐照度，它是用投射在接收表面上的通量密度(例如，瓦/厘米²)来量度的。对于具有能谱分布为 E_λ 的宽带辐射，总有效能量可按下述方式求得：将频带划分成许多窄频段，再将每一窄频段内的能量乘以探测器在该频段内的相对响应 $D(\lambda)$ ，最后将所得到的有效能量求和，即

$$E_{EFF} = \sum D(\lambda) E_\lambda \Delta\lambda \text{ 瓦/厘米}^2$$

若给定光源的能量处在所用探测器的响应带宽之外，则它无助于有效能量的利用。因此，有效能量与总能量之间的关系，与所用的能源有关，一个良好的实例是波长为1微米或1微米左右的辐射。它对硅探测器的有效度为100%，而对人眼则为0%，因而成为完全不可见的辐射。

表1—1列出辐射度测量系统和光度测量系统之间的关系。

表1-1 辐射度单位和光度单位

术 语	辐射度单位	光度单位
总 通 量	ϕ_E (瓦)	ϕ_V (流明)
从表面发出的通量密度	M_E (瓦/厘米 ²) 辐射度	M_V (流明/厘米 ²) 发光度
入射到某一表面上的通量密度	E_E (瓦/厘米 ²) 辐照度	E_V (流明/厘米 ²) 照度
源的强度	I_E (瓦/球面度) 辐射强度	I_V (瓦/球面度) 发光强度
入射到某一表面上单位立体角内的通量	L_E (瓦/厘米 ² —球面度) 辐射亮度	L_V (流明/厘米 ² —球面度) 亮度

为了将两个系统中相同的符号区分开来，对光度（可见光）测量采用下标 V ，对辐射度（物理）测量采用下标 E 。表中还给出了每个参数的常用单位。

硅光敏器件的探测范围包括红外辐射源和可见光源。表中给出了讨论辐射源和探测器时所要用的辐射度术语和光度术语。将谱分布乘以人眼的谱响应进行积分，即可由相应的辐射度术语导出各个光度术语。总光通量 ϕ_V 与总辐射通量之间的关系是：

$$\phi_V = K_M \int \phi_E(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad \text{流明}$$

式中， K_M 为比例常数， $\phi_E(\lambda)$ 为瓦/单位波长时， $K_M = 680$ 流明/瓦。 ϕ_V 的单位是流明。 $V(\lambda)$ 为人眼对不同波长的相对灵敏度。

同样，照度 E_V 与辐照度 E_E 之间有下列关系：

$$E_V = K_M \int E_E(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad \text{流明/厘米}^2$$

式中， $E_E(\lambda)$ 的单位是瓦/厘米²·单位波长。

为产生一定的视觉响应，所需的有效入射辐照为照度 E_V 。为产生一定的探测器响应，可用相似的概念导出 E_{EFF} 。 E_{EFF} 表示所需的有效入射辐照（通量密度）。

发光二极管及其相关的光探测器件的研制，促进了光通信研究的高速发展。一般说来，一个光学系统包括调制（或脉冲）光源和该光源的探测器这样两大部分。光源可以是白炽灯或半导体发光二极管；探测器可以是光电二极管、光电三极管或其他光敏器件。

表1-2列出了可见光源和不可见辐射源的一些关系。图1-2和图1-3示出各个参数的意义。当能量是由一个点源发出时，辐

表1-2 点源的各个参数

参 数	辐射度单位	光度单位
源 强 度	I_E (瓦/球面度)	I_V (流明/球面度)
通过接收表面的通量	$\phi_E = I_E A / r^2$ (瓦)	$\phi_V = I_V A / r^2$ (流明)
入射通量密度	$E_E = \phi_E / A = I_E / r^2$ (瓦/面积单位)	$E_V = I_V / r^2$ (流明/面积单位)
总输出通量	$\phi_{ET} = 4\pi I_E$ (瓦)	$\phi_{VT} = 4\pi I_V$ (流明)
接收表面倾角为 θ	$E_E = I_E / r^2 \cos(\theta)$ (瓦/面积单位)	$E_V = I_V / r^2 \cos(\theta)$ (流明/面积单位)

射能量沿所有的方向向外传送。为进行测量，被照射表面通常为球面，球的表面积等于 $4\pi r^2$ (r 为球的半径)。球面度是与球面的表面积有关的立体角。按定义，整个球的表面积为 4π 球面度，因而一个圆球面的球面度便等于球的表面积除以球面半径的平方，即 A/r^2 。图1-2所示为一个点源照射一部分球面的情况。当被照射的接收表面与入射辐射方向呈一夹角 θ 时，各个量的取法如图1-3所示。同表1-1相似，在表1-2中，下标 E 表示辐射度符号，下标 V 表示光度符号。

强度（角通量密度）为由源沿着径向线发射的单位立体角内的通量。当有透镜或反射体存在时，则通量会改变方向。即使在窄光束经过很长的距离而发散的极限情况下，角通量密度的概念仍然适用。当然，如果光束是理想的平行光束，则“强度”这个术语便不再适用，这时要用“每单位面积的通量”一词，且它与距离无关，恒为常数。

前面介绍了点源，下面我们再来研究一下面源的情况。表1-3和图1-4、图1-5给出了计算面源的一些关系。这些关系是根据兰伯蒂安（Lambertian）分布得到的。所谓兰伯蒂安分布，即在给定方向上的发射正比于该方向与法线方向夹角 θ 的

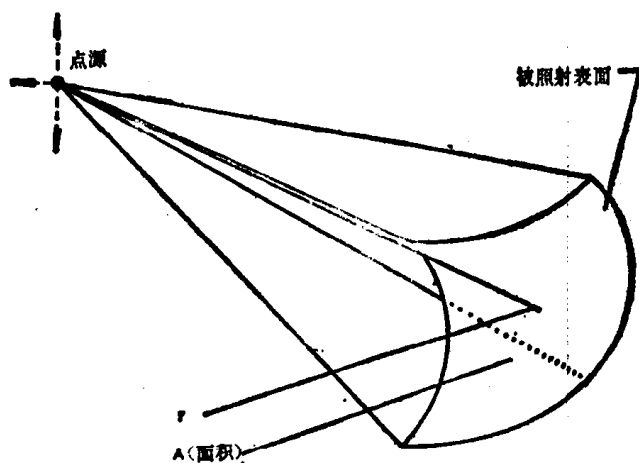


图1-2 由理想点源照射的表面

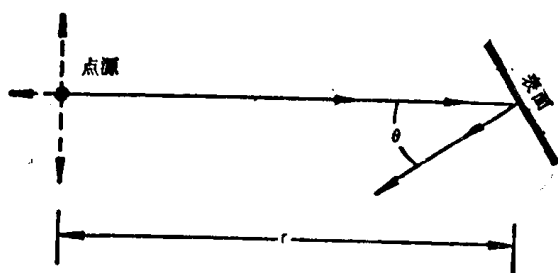


图1-3 入射射线与表面反射射线之间的夹角 θ

余弦（理想漫射）。

如果所考虑的方向不是发射表面的法线方向，则入射通量密度要下降，下降因子为 $\cos\theta$ ， θ 为所论方向与发射表面法线方向的夹角。这就等效于采用源在所论方向上的投影面积，而不用源的实际面积。这个投影面积很容易求得，而不规则发射表面的实际面积却完全不可能确定。

在研究光源和光接收器时将要对一些参数进行测量。前面

表1-3 面源的一些参数 (理想漫射)

参 数	辐射度单位	光 度 单 位
垂直于发射表面 法线方向单位面积上的源强度	$L_E = (\text{瓦/球面度} \cdot \text{厘米}^2)$	$L_V = (\text{流明/球面度} \cdot \text{厘米}^2)$
发射通量密度	$M_E = \pi L_E (\text{瓦/厘米}^2)$	$M_V = \pi L_V (\text{流明/厘米}^2)$
入射通量密度	$E_E = \frac{L_E \pi r^2}{r^2 + d^2}$ $= \frac{L_E A_S}{r^2 + d^2} (\text{瓦/厘米}^2)$	$E_V = \frac{L_V A_S}{r^2 + d^2} (\text{流明/厘米}^2)$
总输出通量	$\phi = M_E A_S (\text{瓦})$	$\phi_V = M_V A_S (\text{流明})$

注意：若 $r < d/10$ ，可以将面源看成是一个点源，强度等于 $I_E = L_E A_S$ 瓦/球面度， $I_V = L_V A_S$ 流明/球面度

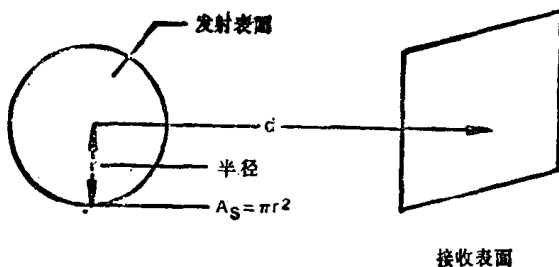


图1-4 被面源照射的表面

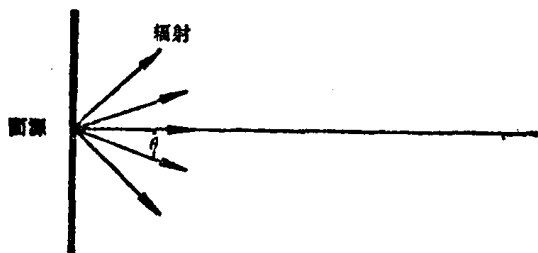


图1-5 半球内分布的发射与 $\cos(\theta)$ 的关系

我们已对这些参数做了一定程度的讨论，但是，为了深入理解这些知识，就需要对光本身的物理特性进行更详细的研究。

光

毫无疑问，19世纪所形成的最重要的概念之一就是：光是电磁波。由磁场和电场相互作用产生电磁波的理论，是麦克斯韦在1864年左右提出的。在进一步研究的基础上，麦克斯韦认识到，由于电磁波和光波都是横波，而且它们在真空中具有相同的速度，因而电磁波和光波必定是同一物理现象。此后，这一理论通过各种可能的途径得到了检验和证实。

当变化的磁场产生电场时，便发生了电磁感应。同样，变化的电场也将产生磁场。磁场不能直接对应于电场，但重要的一点是，对于变化的电场，必然伴随有一个磁场；反之，对于变化的磁场，也必然伴随有一个电场。利用这一假设，麦克斯韦建立起电磁波的理论 and 电磁波可以穿过真空（或空间）的理论。

由上述假设派生出来的一个理论就是，像水面受到扰动后水波会传播开来一样，电磁波也可以从一个扰动源传播开来。当由一个电的扰动（或磁的扰动）发出电磁波以后，其能量就接连不断地在电场和磁场之间转换。图1-6给出了电磁场的形象概念，但应记住，事实上真正的电磁场是三维的。

在研究电磁场时，我们要记住以下三个要点：

1. 电场和磁场的变化或波动是同时发生的，因此，电场和磁场的最大值（或最小值）是在同一时刻和同一位置出现的；
2. 电场和磁场的方向互相垂直（成直角），两个场又均与电磁场的传播方向相垂直。因此，光波是横波。

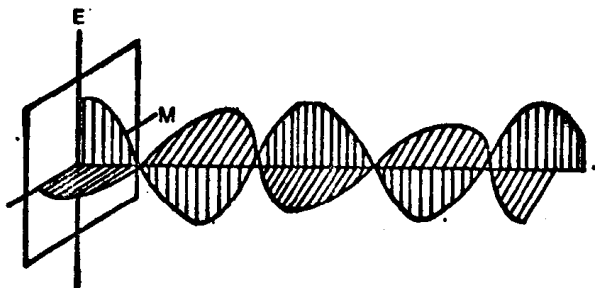


图1-6 电磁辐射由电场和磁场构成。电场与磁场互相垂直，并且它们都与传播方向垂直的情形

3. 电磁波的传播速度仅取决于传播波的媒质的电磁性质，与电、磁场的幅值无关。

还应记住如下事实，即在电磁波中并无物质的运动，这同声波（传声媒质运动）和水波运动不同。在电磁波中唯一起变化的仅是场强，在波的路径上不存在物质运动。

电磁波速（光速）通常用 C 表示，其值为 2.998×10^8 米/秒，在大多数计算中取为 3×10^8 米/秒。

在电磁频谱所有可能的频率中，光波仅占有很窄的一段频带，即由 3×10^{12} 赫（红光）到 8×10^{12} 赫（紫光），只有在这个两频率之间的那些频率是人眼可以看得见的。

如前所述，通常用波长（而不用频率）来描述给定的波。可按下式从频率求出波长：

$$\lambda = C/f$$

其中， λ 为波长， C 为光速， f 为频率。

折射

在将光同电磁辐射相联系的理论提出之前的一段很长时期，人们就把光看成是一种波动现象。许多人提出了光的波动

理论，但也有人提出光是粒子现象的理论。在进行深入讨论之前，我们先回顾几个简单的实验观察。

若一束光由一种媒质斜射至另一种媒质，在两种媒质之间的界面上光束发生某种程度的偏斜。在光学中，这一效应用光束与媒质法线的夹角来考虑。法线在光束进入媒质的点上垂直于媒质表面。

如果光束沿法线方向入射到水中，便不发生折射(图1-7)。如果光束不是垂直入射，而是以任意角度入射到水中，则光束向入射点处的法线偏折。当然，这一效应在两个方向上都存在。如果光以任意角度(与水面不垂直)从水中射出，则光束将更加偏离进入空气的一点上的法线方向。光在离开一种媒质而进入另一种媒质时发生弯折的特性称为折射。

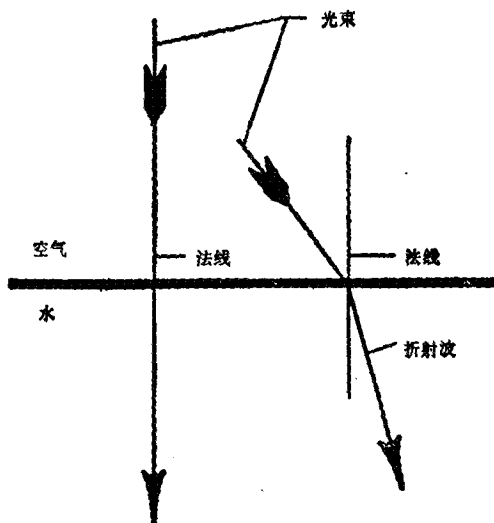


图1-7 当电磁波穿过两种媒质交界面时发生折射，即传播方向发生变化的情形

现在应当解决的问题是，光是由粒子还是由波组成。考察这个现象的最好方法，是设法用粒子理论以及波动理论来解释折射现象。按照粒子理论，斜射至水中的光束的速度可以认为是由两个分量组成，一个分量平行于法线，另一个分量平行于水的表面。

若假定光是由粒子构成，则可以进一步假设当光进入水中时，将有一定的力作用在光粒子上，这个力的方向应垂直于水的表面。因此，对于垂直入射到表面的光粒子，并无折射作用。但是，当粒子接近于与表面平行时，折射作用最大。光束进入水中时，这一作用力将使光粒子减速；光束从水中进入空气时，这一作用力又将使光粒子加速。最终观察到的现象就是，光束相对于法线方向发生偏折，且水中的光速比空气中的光速要小。

下面，我们来研究波动理论。设有两根或多根光线以一个倾斜的角度射向水中，显然，最靠近水的那根光线首先进入水中。自然，我们假定这些光线在水中或在空气中的行进方向都是互相平行的。如果光波在水中的速度比空气中的小，则首先进入水中的那根光线同空气中的另几根光线相比，行进的距离较短，直至其余光线均到达水面。这些光线均进入水面以后仍将互相平行地向前行进。显然，在水中，法线与光线之间的夹角要比空气中的小。这正是当光线进入水中时所发生的现象，所以，我们可以说光又是波，其传播速度在水中要比空气中小。

若光束进入某一媒质时向法线靠近，那么，光在这种媒质中的传播速度是快些还是慢些？这个问题很容易解决。但是，实验测定水中和空气中的光速则相当困难。尽管如此，经过适当的实验以后，最终证明了光进入水中以后速度减慢，从而使波动理论得到了充分的肯定。

媒质的折射率（ n ）等于真空中的光速（ c ）与这种媒质中的光速（ v ）之比，即

$$n = c/v$$

n 值越大，光束所受折射越严重。对于给定媒质，其折射一般取决于穿过该媒质的光的频率。因此，频率越高，则 n 值越大。显然，可以看出，对于不同的频率，折射量也不同。这个现象称为色散，且很容易在棱镜中观察到这一现象。从棱镜中射出的各种颜色的光带称为可见光谱。

衍射

光的另一个重要特征是衍射。所谓衍射，是指波能够沿障碍物边缘绕行这样一种现象。可以肯定，粒子注便不能像波那样产生衍射现象。而且由于通常见到的阴影都具有明显的边界。因此，过去人们曾认为，这充分证明光是由粒子构成的（因为没有观察到衍射现象）。

然而，只有障碍物或障碍物上的小孔的尺寸可与所用光的波长相比拟时，才能看到衍射现象。因此，测量光的衍射十分困难，而观测声波衍射便不那样困难。例如，水中的声速比光速低得多。因此，很容易得到一米左右的波长。在空气中，声波的波长要稍短一些。由于光的典型波长是 10^{-6} 米，不难想见，为什么早期人们无法观测到光的衍射现象。

干涉

光束的干涉现象为光的波动理论提供了强有力的支持。干涉现象很容易理解。设有两束光在同一时刻经过同一点，光束的总幅度为这两束光之和。因此，如果两束光同相，则总幅度较大，若两束光不同相，则总幅度较小。