

第四章 材料光学性能

当光通过固体材料时，会发生透射、折射、反射、吸收、散射等现象，不同的材料具有不同的光学性能

同时，在电、声、磁、热、压力等外场作用下，材料的光学性能会发生变化，或者在光的作用下其结构和性能会发生变化，如发光材料、激光材料、光导材料、磁光材料、非线性光学材料等

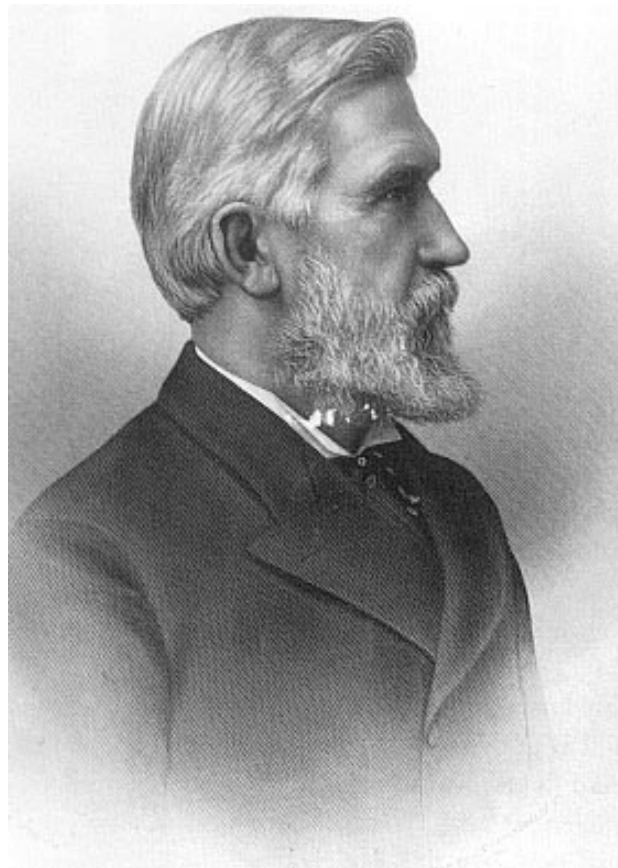
人们对光学性能以及在材料中发生的光学现象的研究和应用，已经有很长的历史了。人类很早就认识到用光可以传递信息，2000多年前我国就有了用光传递远距离信息的设施——烽火台



后来出现了用**灯光闪烁**、**旗语**等传递信息的方法

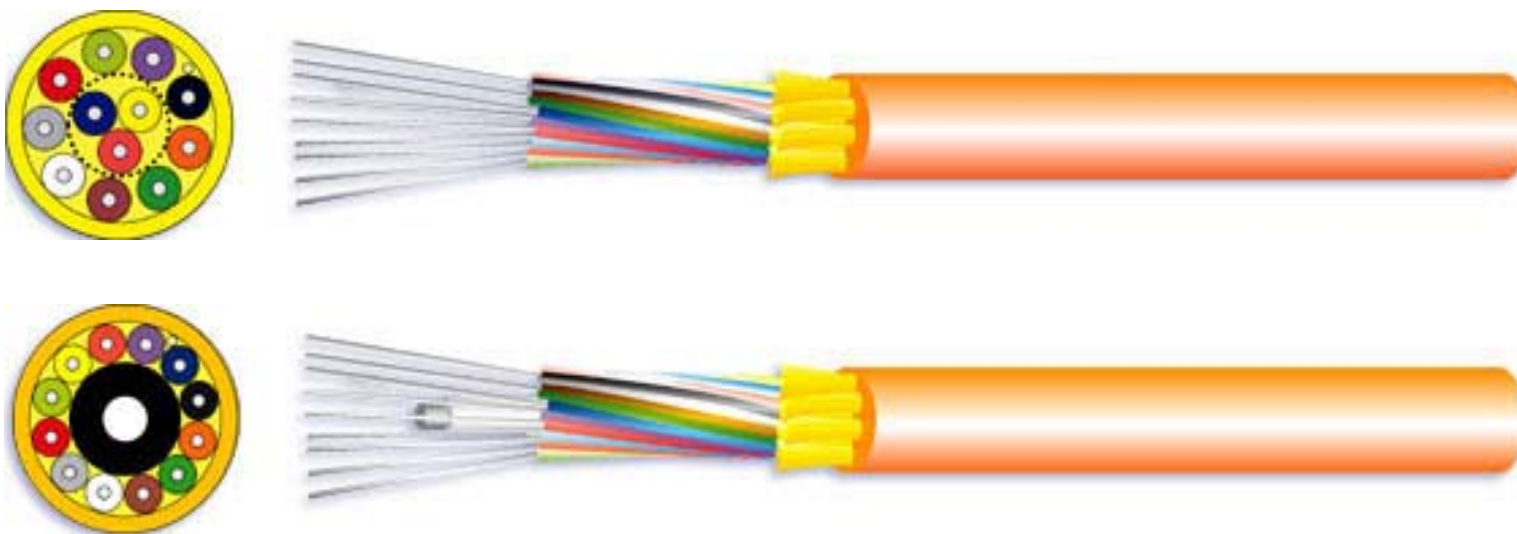


以发明电话而著称的发明家贝尔（A. G. Bell, 1847~1922）也在光通信方面作过贡献，1880年，他利用太阳光作光源，用硒晶体作为光接收器件，成功地进行了光电电话的实验，通话距离最远达到了213米。

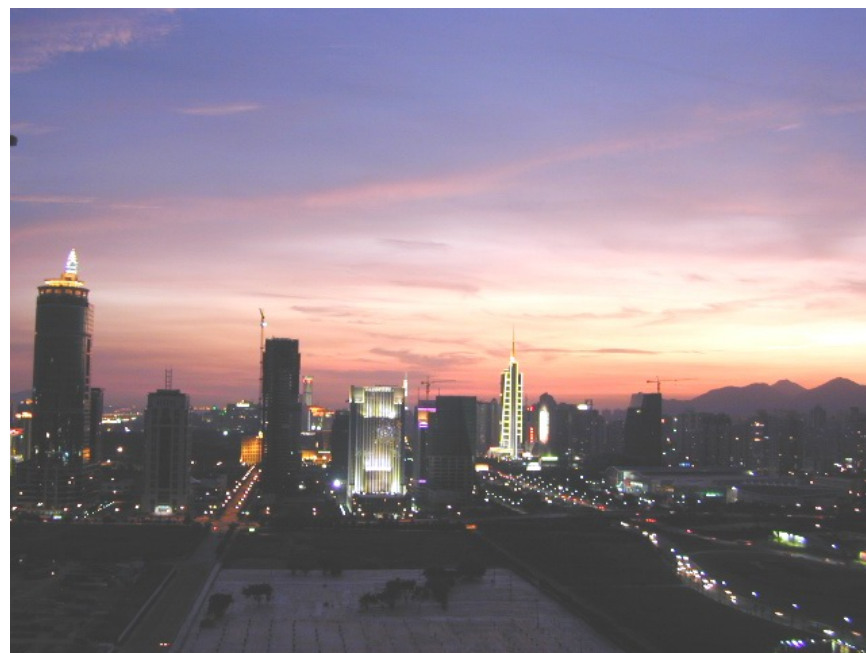


用大气作为传输介质，损耗很大，而且无法避免自然气象条件的影响和各种外界的干扰，最多只能传几百米远。人们不得不寻求可以在封闭状态下传送光信号的办法

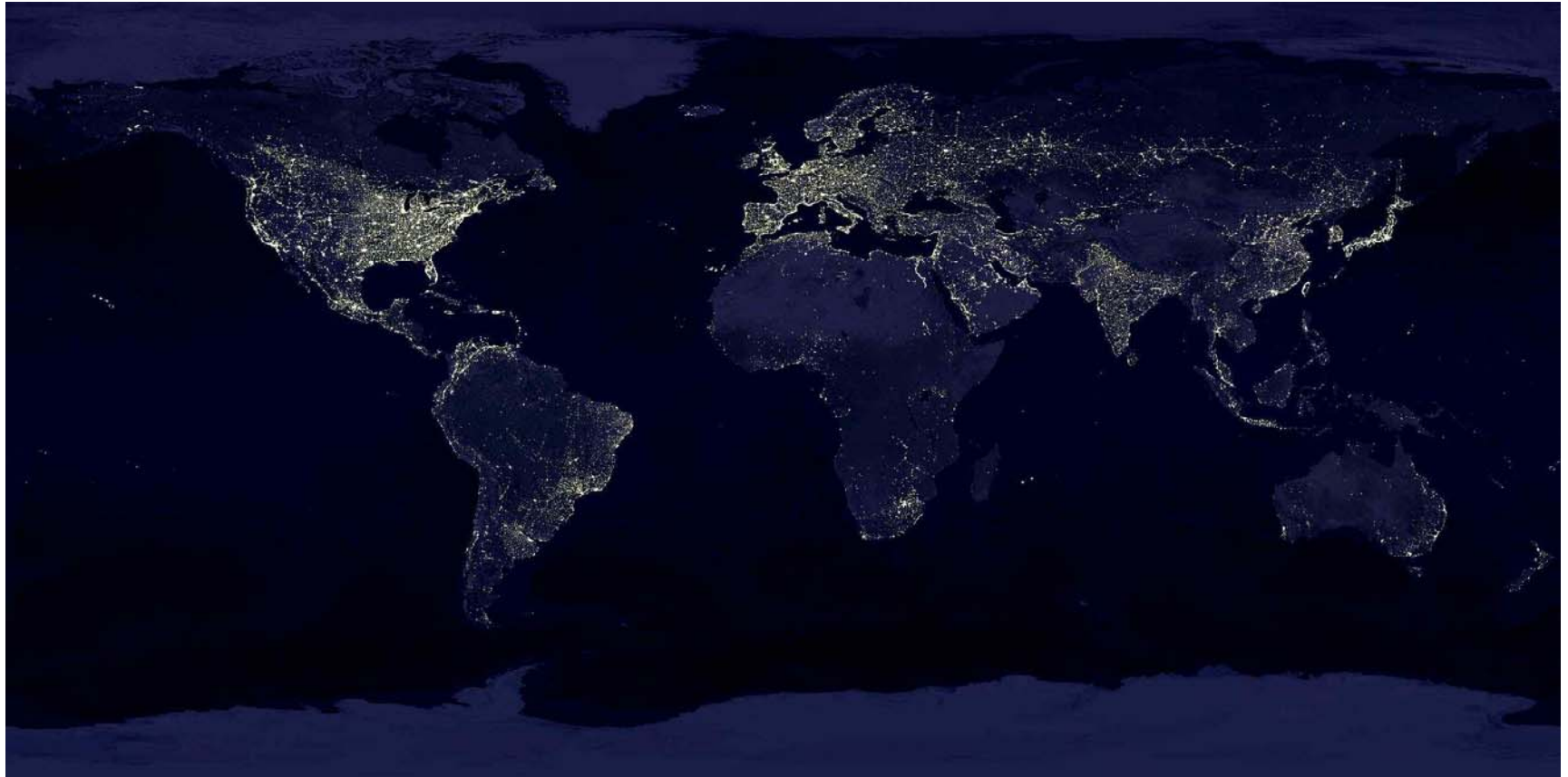
低损耗石英光纤的出现，实现了大容量、高速、长距离、低成本的光信息传输
现在不少发达国家又把光缆铺设到住宅前，实现了光纤到办公室、光纤到家庭



城市的绚丽灯光



地球夜景的卫星照片



激光光束



短波发光与激光材料在许多领域有着广泛而重要的应用价值，例如高密度的数据存储、海底通信、大屏幕显示（需要蓝绿光构造全色显示）、检测及激光医疗等

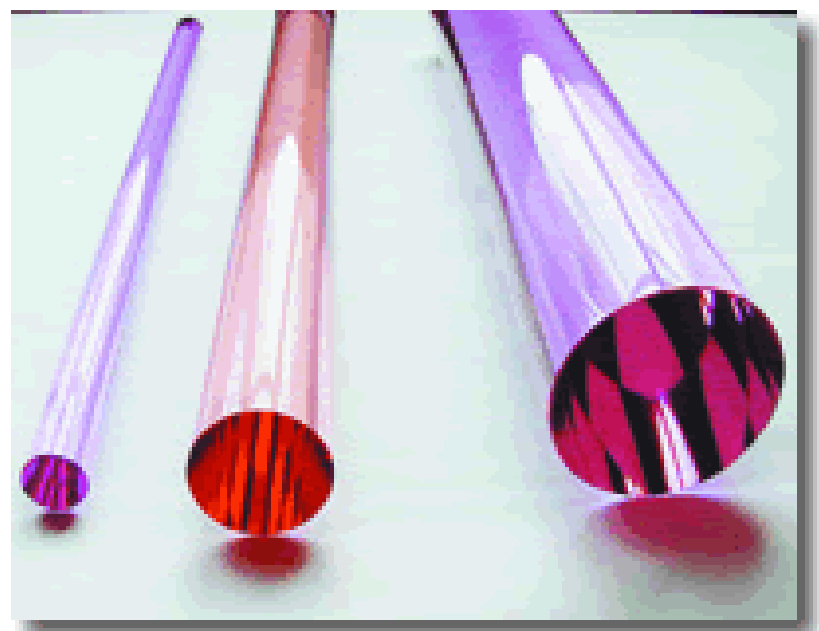
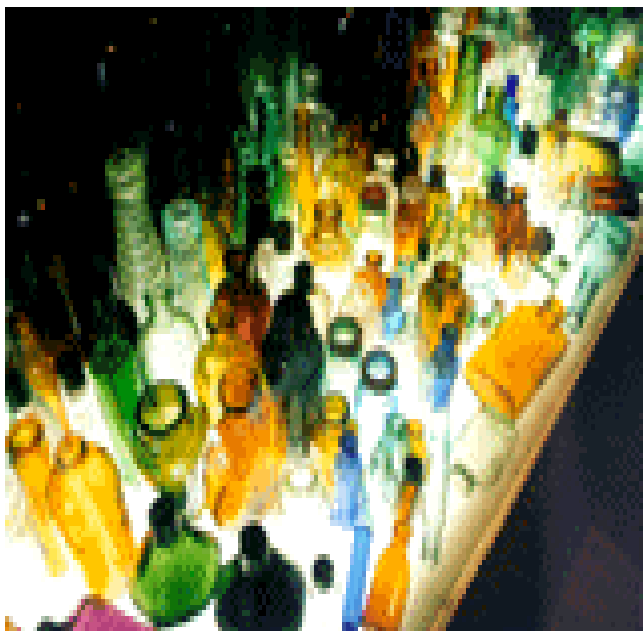
蓝色LED和LD的出现大大促进了高密度光学存储以及高分辨显示器、图象扫描仪、彩色打印机、生物医学诊断仪、遥感探测仪等的发展。下图所示为蓝色发光二极管在紧凑、便携式发光显示器件中的应用





安装在美国时代广场的GaN蓝光LED显示屏

玻璃制品可以显示出各种各样的颜色



材料的光学性能千差万别

—————→ 各种光学材料

为什么？

本章主要内容

- ❖ 讨论与电磁辐射及其与固态材料相互作用相关的一些基本概念与原理
- ❖ 从光折射、反射、吸收、透射、辐射等性质来探讨金属和非金属材料的光学性能，并从导体、半导体和绝缘体的电子能带结构出发，揭示它们在光的作用下表现出不同光学特性的本质
- ❖ 对固体的发光、激光、非线性光学、光电转换等各种光学材料及其应用作一简要介绍

第一节 基本概论

第二节 折射和色散

第三节 反射和散射

第四节 吸收与颜色

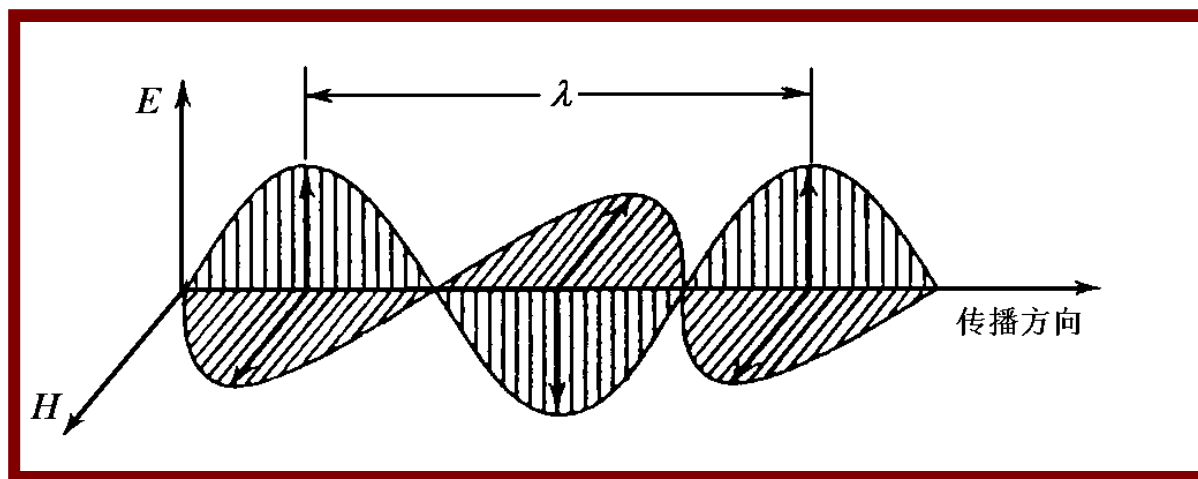
第五节 其它光学现象、光学材料及其应用

第一节 基本概念

一、电磁辐射

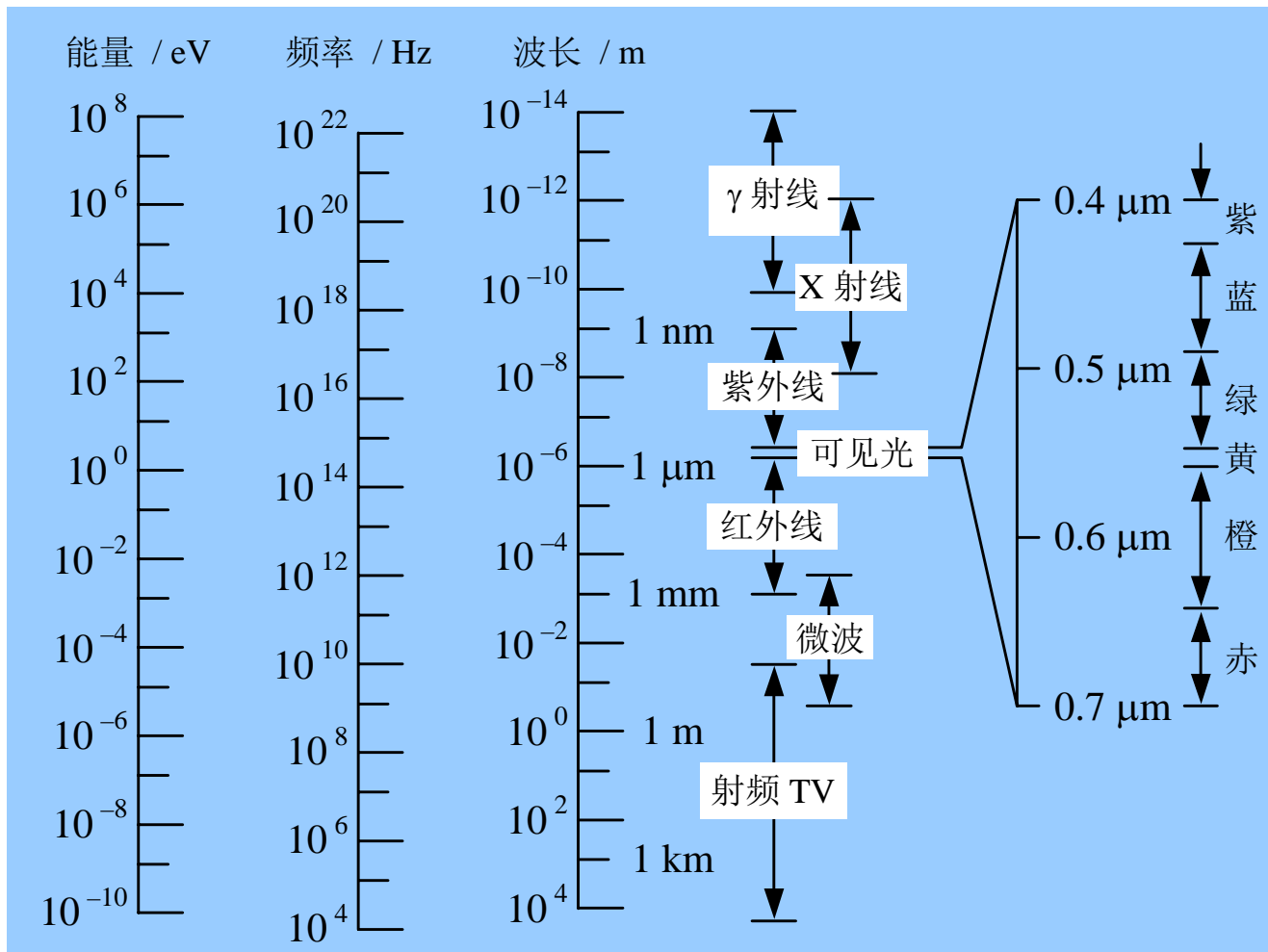
光的本质是什么？

历史上有过很多争论。现在，我们知道光具有波粒二象性，牛顿（I. Newton, 1642~1727）的微粒理论和惠更斯（C. Huygens, 1629~1695）的波动理论二者同时有效，前者有光电效应为其证明，后者有光的干涉现象作为例证



光波是一种波长很短的电磁波，由电场分量和磁场分量组成，两个分量彼此互相垂直并都垂直于波的传播方向

电磁波的**波长范围**很宽（ $10^{-14}\text{m}\sim 10^5\text{m}$ ），光、热（辐射能）、雷达、无线电波和X射线都是各种形式的电磁波，它们之间的差别是波长（或频率）范围不同，按波长增加的次序，依次为 **γ 射线**→**X射线**→**紫外光**→**可见光**→**红外线**→**无线电波**



可见光是人的眼睛能感知的电磁波，其波长范围为 **$0.4\mu\text{m}\sim 0.7\mu\text{m}$**

根据麦克斯韦电磁理论，电磁波的真空传播速度 c 与真空介电常数 ϵ_0 、真空磁导率 μ_0 存在如下关系：

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

波动说

可以把电磁辐射看作为由一系列能量量子—光子（**photons**）组成的，即**微粒说**。
光子的能量是量子化的，即：

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

微粒说

- 讨论涉及光与物质之间相互作用的各种光学现象时，用光子理论比较方便
- 讨论光的传播所涉及的光学现象，则用波动理论比较容易理解

二、光和固体的相互作用

入射到固体表面的光辐射能流率为 φ_0 ，透射、吸收和反射光的光辐射能流率分别为 φ_T 、 φ_A 和 φ_R ，则：

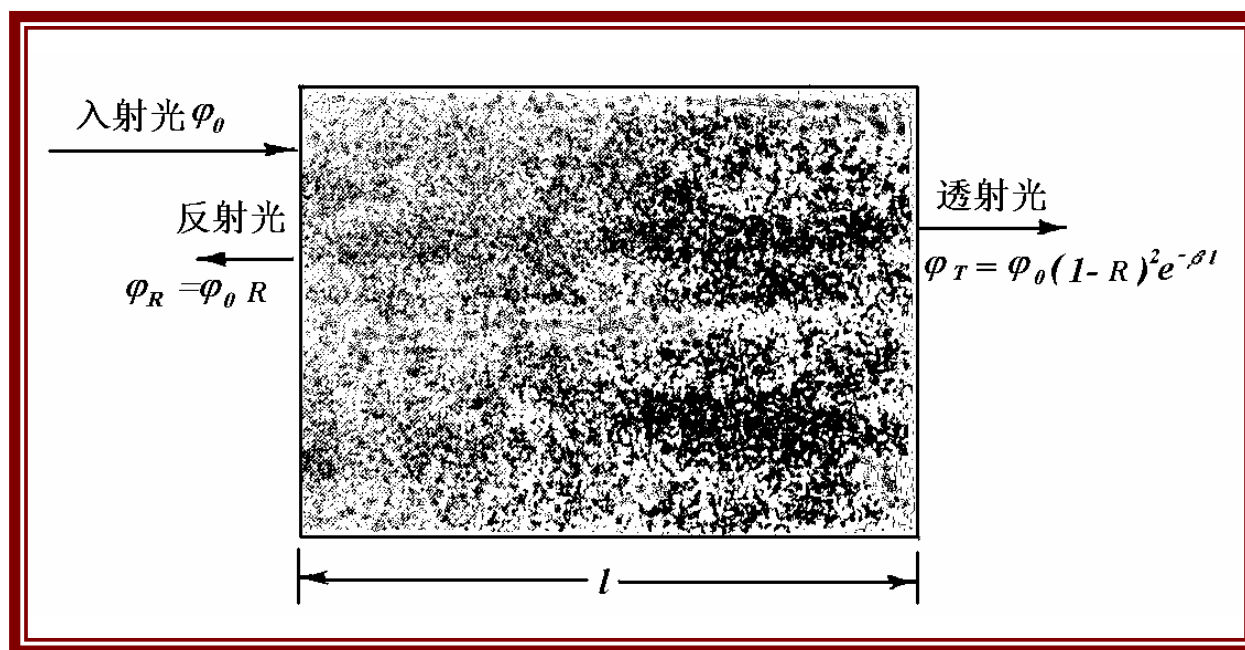
$$\varphi_0 = \varphi_T + \varphi_A + \varphi_R$$

光辐射能流率（单位为 W/m^2 ）：表示单位时间内通过单位面积的能量

上式的另一种表达式为：

$$\tau + \chi + R = 1$$

τ 为透射率（ φ_T/φ_0 ）； χ 为吸收率（ φ_A/φ_0 ）； R 为反射率（ φ_R/φ_0 ）



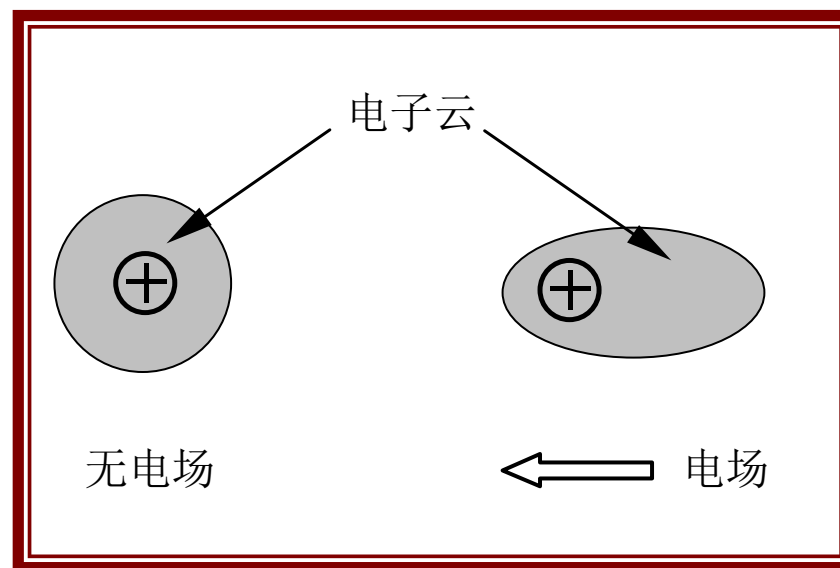
三、光和原子、电子的相互作用

固体材料中出现的光学现象是电磁辐射与固体材料中原子、离子或电子之间相互作用的结果。其中最重要的两种作用是电子极化和电子跃迁

1. 电子极化

电子极化：在可见光频率范围，**电场分量**与传播过程中遇到的围绕每个原子的**电子云**都会发生相互作用，引起**极化**，即**随着电场分量方向的改变，诱导电子云和原子核的电荷中心发生相对位移**

电子极化的结果：光线通过介质时，一部分光子能量被吸收，同时光波速度减小。后者导致光的折射



2. 电子跃迁

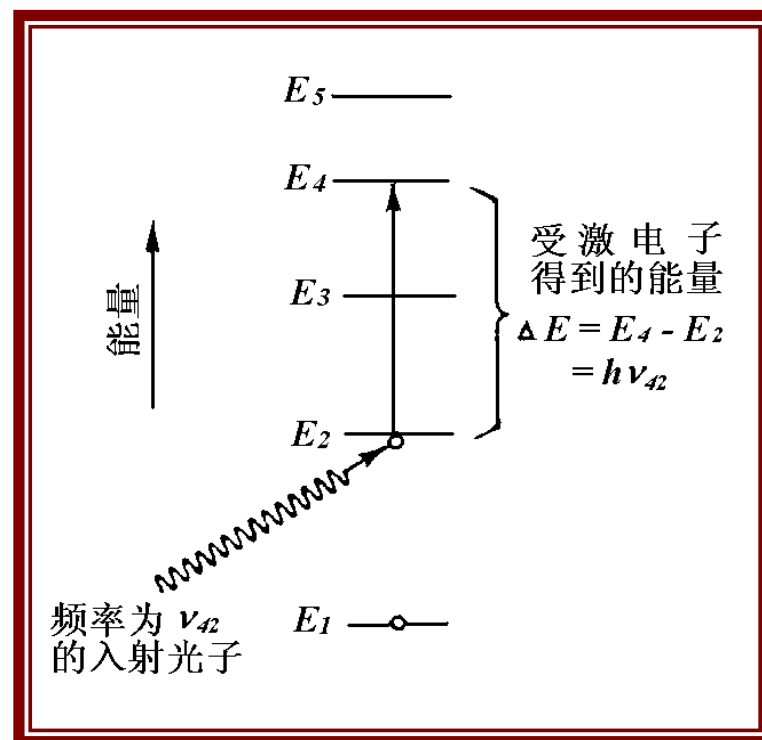
电磁波的吸收和发射包含电子从一种能态跃迁到另一种能态的过程

原子吸收了光子的能量之后，可能将 E_2 能级上的电子激发到能量较高的 E_4 空能级上去，电子发生的能量变化 ΔE 与被吸收光子的频率有关：

$$\Delta E = E_4 - E_2 = h\nu_{42}$$

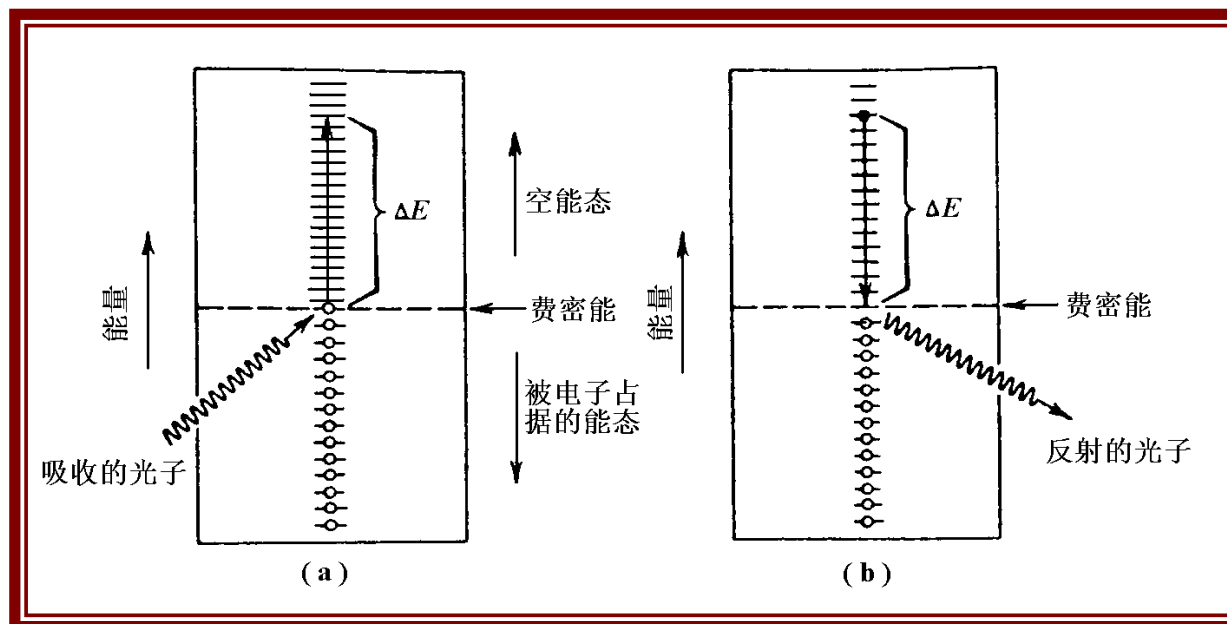
式中 ν_{42} 为光子振动频率。**能量的吸收是量子化的**，即只有能量为 ΔE 的光子才能被该原子通过电子跃迁而吸收

受激电子不可能无限长时间地保持在激发状态，经过一个短时期后，它又会衰变回基态或低激发能级，同时发射出电磁波



四、材料光学性能概述

● **金属对可见光是不透明的**：在金属的电子能带结构中，费米能级以上存在许多准连续的空能级。因而各种不同频率的可见光，即具有各种不同能量 (ΔE) 的光子都能被吸收



大部分被金属材料吸收的光又会从表面上以同样波长的光被发射出来，表现为反射光。大多数金属的反射率为0.9~0.95。**肉眼看到的金属颜色不是由吸收光的波长决定的，而是由反射光的波长决定的**

● **非金属材料对于可见光可能是透明的，也可能不透明**。因此，除反射和吸收以外，还应考虑折射和透射

本 节 结 束