**光子学基础**

**光子学应用——从光的探测到传输**

****

**学院：**

**专业：**

**班级：**

**学号：**

**姓名：**

**老师： 王宏**

**目录**

1. **光子学的诞生和定义………………………………………1**
2. **光子学研究领域…………………………………………1**
3. **从电子学到光子学………………………………………1**
4. **光子的提出………………………………………………2**
5. **光子的结构………………………………………………2**
6. **光子的性质………………………………………………2**
7. **光子的探测………………………………………………3**
8. **光在介质中的传输——光波导…………………………6**
9. **半导体激光器……………………………………………8**
10. **光子晶体…………………………………………………9**

**十一、参考资料………………………………………………13**

**一、光子学的诞生和定义**

光子学是研究作为信息和能量载体的光子的行为及其应用的学科。光子学及其发展的相关技术即光子技术具有丰富的内涵和广阔的应用前景。20世纪70年代，随着高速摄影技术的发展，半导体激光器、光通信器件、光电探测器和新材料的研制、应用和提高，光子学应运而生。1970年8月，在美国戴维营举行的第9届国际高速摄影会议上荷兰科学家L.波德瓦特首次提出光子学的定义规范，认为光子学是研究以光子为信息载体的科学。随后，他又说明以光子作为能量载体的亦应属于光子学的研究内容。

广义地讲，光子学是关于光子及其应用的学科。

**二、光子学研究领域**

在理论上，它主要研究光子的量子特性及其在与物质（包括分子、原子、电子以及光子自身）的相互作用中出现的各类效应及其规律；在应用方面，它的研究内容主要包括光子的产生、传输、控制以及探测规律等。

光子学是一个具有极强应用背景的学科，并由此而形成了一系列的光子技术，如光子发生技术（激光技术）、光子传输技术、光子调制与开关技术、光子存储技术、光子探测技术、光子显示技术等等。

光子学的重要研究领域有：信息光子学、生物医学光子学、基础光子学（量子光学、分子光学、非线性光学、超快光子学等）。

**三、从电子学到光子学**

1. **电子学定义**

电子学是以电子作为信息与能量载体的科学。

1. **电子学的瓶颈**

电子带负电荷，电子之间相互排斥；

电子有静止质量me=9.11\*10-31克

开关（弛豫）时间~1ns（瓶颈）

最高工频率~100GHz（瓶颈）

微波（特别是10GHz以上）的电子设备价格昂贵

1. **光子学优点**

光子静止无质量

光子的弛豫时间 10-15秒

光的频率 1014赫兹

光子学设备价格低廉

光子不带电，无相互作用，具有光学的透明性

光子具有极高的信息容量和效率

光子具有极强的互联和并行能力

**四、光子的提出**

光子的概念是爱因斯坦在1905年至1917年间提出的，当时被普遍接受的关于光是电磁波的经典电磁理论无法解释光电效应等实验现象。相对于当时的其他半经典理论在麦克斯韦方程的框架下将物质吸收和发射光的能量量子化，爱因斯坦首先提出光本身就是量子化的，这种光量子（英语：light quantum，德语：das Lichtquant）被称作光子。这一概念的形成带动了实验和理论物理学在多个领域的巨大进展，例如激光、玻色-爱因斯坦凝聚、量子场论、量子力学的统计诠释、量子光学和量子计算等。根据粒子物理的标准模型，光子是所有电场和磁场的产生原因，而它们本身的存在，则是满足物理定律在时空内每一点具有特定对称性要求的结果。光子的内秉属性，例如质量、电荷、自旋等，则是由规范对称性所决定的。[2] 

1905年，年轻的科学家爱因斯坦发展了普朗克的量子说。他认为，电磁辐射在本质上就是一份一份不连续的，无论是在原子发射和吸收它们的时候，还是在传播过程中都是这样。爱因斯坦称它们为“光量子”，简称“光子”**，**并用光量子说解释了光电效应，这成为爱因斯坦获得1921年诺贝尔物理学奖的主要理由。其后，康普顿散射进一步证实了光的粒子性。它表明，不仅在吸收和发射时，而且在弹性碰撞时光也具有粒子性，是既有能量又有动量的粒子。如此，光就既具有波动性（电磁波），也具有粒子性（光子），即具有波粒二象性。后来，德布罗意又将波粒二象性推广到了所有的微观粒子。

**五、光子的结构**

所谓光子结构的测量，在量子电动力学中是指观测光子场的量子涨落，这种能量涨落用一个光子的结构方程来描述。对光子 结构的测量一般都依赖于对光子与电子，以及正负电子的对撞时的深度非线性散射的观测。根据量子色动力学，光子既能以无尺寸粒子，即轻子的方式参与 相互作用；也能以一组夸克和胶子的集合体，即强子的方式参与。决定光子结构的并不是像质子那样由传统的价夸克分布，而是由轻子的涨落而形成的部分子的集合。

**六、光子的性质**

光子具有能量ε=hν和动量p=hν∕c,是自旋为1的玻色子。 它是电磁场的量子，是传递电磁相互作用的传播子。原子中的电子在发生能级跃迁时，会发射或吸收能量等于其能级差的光子。正反粒子相遇时将发生湮灭，转化成 为几个光子。光子本身不带电，它的反粒子就是它自己。光子的静止质量为零，在真空中永远以光速c运动，而与观察者的运动状态无关。由于光速不变的特殊重要性，成为建立狭义相对论的两个基本原理之一。[3]

与其他量子一样，光子具有波粒二象性：光子能够表现出经典波的折射、干涉、衍射等性质（关于光子的波动性是经典电磁理论描述的电磁波的波动还是量子力学描述的几率波的波动这一问题请参考下文波粒二象性和不确定性原理）；而光子的粒子性则表现为和物质相互作用时不像经典的波那样可以传递任意值的能量，光子只能传递量子化的能量，即： 这里是普朗克常数，是光波的频率。对可见光而言，单个光子携带的能量约为4×10-19焦耳，这样大小的能量足以激发起眼睛上感光细胞的一个分子，从而引起视觉。除能量以外，光子还具有动量和偏振态，不过由于有量子力学定律的制约，单个光子没有确定的动量或偏振态，而只存在测量其位置、动量或偏振时得到对应本征值的几率。 

能量光子是一种超物质，不易于被利用。

**七、光子的探测**

对单个光子的探测可用多种方法，传统的光电倍增管利用光电效应：当有光子到达金属板激发出电子时，所形成的光电流将被放大引起雪崩放电。

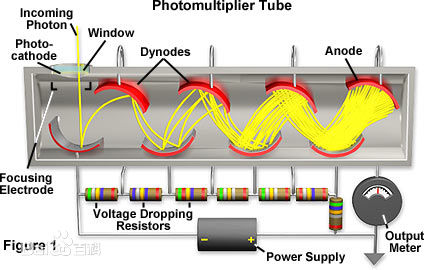
**光电倍增管**

1. 组成部分：

光电阴极、电子光学输入系统、电子倍增系统、阳极

1. 工作原理：

它利用二次电子发射使逸出的光电子倍增，获得远高于光电管的灵敏度，能测量微弱的光信号。光电倍增管包括阴极室和由若干打拿极组成的二次发射倍增系统两部分（见图）。阴极室的结构与光阴极K的尺寸和形状有关,它的作用是把阴极在光照下由外光电效应（见光电式传感器） 产生的电子聚焦在面积比光阴极小的第一打拿极D1的表面上。二次发射倍增系统是最复杂的部分。打拿极主要由那些能在较小入射电子能量下有较高的灵敏度和二 次发射系数的材料制成。常用的打拿极材料有锑化铯、氧化的银镁合金和氧化的铜铍合金等。打拿极的形状应有利于将前一级发射的电子收集到下一极。在各打拿极 D1、D2、D3…和阳极A上依次加有逐渐增高的正电压,而且相邻两极之间的电压差应使二次发射系数大于1。这样,光阴极发射的电子在D1电场的作用下以 高速射向打拿极D1,产生更多的二次发射电子,于是这些电子又在D2电场的作用下向D2飞去。如此继续下去，每个光电子将激发成倍增加的二次发射电子，最 后被阳极收集。电子倍增系统有聚焦型和非聚焦型两类。聚焦型的打拿极把来自前一级的电子经倍增后聚焦到下一级去，两极之间可能发生电子束轨迹的交叉。非聚 焦型又分为圆环瓦片式（即鼠笼式）、直线瓦片式、盒栅式和百叶窗式。



1. 应用：

由于光电倍增管增益高和响应时间短，又由于它的输出电流和入射光子数成正比，所以它被广泛使用在天体光度测量和天体分光光度测量中。 其优点是：测量精度高，可以测量比较暗弱的天体，还可以测量天体光度的快速变化。天文测光中，应用较多的是锑铯光阴极的倍增管,如RCA1P21。这种光 电倍增管的极大量子效率在4200埃附近，为20%左右。还有一种双碱光阴极的光电倍增管,如GDB-53。它的信噪比的数值较RCA1P21大一个数量 级，暗流很低。为了观测近红外区，常用多碱光阴极和砷化镓阴极的光电倍增管，后者量子效率最大可达50%。

电荷耦合元件（CCD）应用半导体中类似的效应，入射的光子在一个微型电容器上激发出电子从而可被探测到。其他探测器，如盖革计数器利用光子能够电离气体分子的性质，从而在导体中形成可检测的电流。

**电荷耦合元件**

1. 结构：

微型镜头

CCD成像的关键是在于其感光层，为了扩展CCD的采光率，必须扩展单一像素的受光面积。但是提高采光率的办法也容易使画质下降。这一层“微型镜头”就等于在感光层前面加上一副眼镜。因此感光面积不再因为传感器的开口面积而决定，而改由微型镜片的表面积来决定。

分色滤色片

CCD的第二层是“分色滤色片”，目前有两种分色方式，一是RGB原色分色法，另一个则是CMYK补 色分色法这两种方法各有优缺点。首先，我们先了解一下两种分色法的概念，RGB即三原色分色法，几乎所有人类眼睛可以识别的颜色，都可以通过红、绿和蓝来 组成，而RGB三个字母分别就是Red、Green和Blue，这说明RGB分色法是通过这三个通道的颜色调节而成。再说CMYK，这是由四个通道的颜色 配合而成，他们分别是青（C）、洋红 （M）、黄（Y）、黑（K）。在印刷业中，CMYK更为适用，但其调节出来的颜色不及RGB的多。

原色CCD的优势在于画质锐利，色彩真实，但缺点则是噪点问题。相对的，补色CCD多了一个Y黄色滤色器，在色彩的分辨上比较仔细，但却牺牲了部分影像的分辨率。

感光层

CCD的第三层是“感光片”，这层主要是负责将穿过滤色层的光源转换成电子信号，并将信号传送到影像处理芯片，将影像还原。

1. 应用：

CCD是使用一种高感光度的半导体材料集成，它能够根据照射在其面上的光线产生相应的电荷信号，在通过模数转换器芯片转换成“0”或“1”的数字信号，这种数字信号经过压缩和程序排列后，可由闪速存储器或硬盘卡保存，可对被测物体进行准确的测量、分析。

CCD最常应用于数码相机、光学扫瞄仪与摄影机的感光元件。能捕捉到70%的入射光，优于传统菲林底片的2%，其优越的性能迅速获得天文学家的大量采用。

传真机所用的是线型CCD，传真机或扫瞄仪用的线性CCD每次捕捉一细长条的光影。一旦完成曝光的动作，控制电路会使电容单元上的电荷传到相邻的下一个单元，到达边缘最后一个单元时，电荷讯号传入放大器，转变成电位。如此周着复始，直到整个影像都转成电位，取样并数位化之后存入内存。储存的影像可以传送到打印机、储存设备或显示器。

数码相机或摄影机所用的是面型CCD，一次捕捉一整张影像，或从中撷取一块方形的区域。一般的彩色数码相机是将拜尔滤镜（ Bayer filter ）加装在CCD上。每四个像素形成一个单元，一个负责过滤红色、一个过滤蓝色，两个过滤绿色，但是效果一般。用三片CCD和分光棱镜组成的3CCD系统能 将颜色分得更好，分光棱镜能把入射光分析成红、蓝、绿三种色光，由三片CCD各自负责色光的呈像。所有的专业级数位摄影机，和一部份的半专业级数位摄影机采用3CCD技术。

CCD同时也广泛应用于天文摄影与各种夜视装置，而各大型天文台亦不断研发高像素CCD以拍摄极高解像之天体照片。CCD能使固定式的望远镜发挥有如带追踪望远镜的功能。方法是让CCD上电荷读取和移动的方向与天体运行方向一致，速度也同步，以CCD导航不仅能使望远 镜有效纠正追踪误差，还能使望远镜记录到比原来更大的视场。一般的CCD大多能感应红外线，所以衍生出红外线影像、夜视装置、零照度（或趋近零照度）摄影机、照相机等。因室温下的物体会有红外线的黑体辐射效应，天文用CCD常以液态氮或半导体冷却。

单光子探测器（SPD）是一种超低噪声器件，增强的灵敏度使其能够探测到光的最小能量量子——光子。单光子探测器可以对单个光子进行探测和计数，在许多可获得的信号强度仅为几个光子能量级的新兴应用中，单光子探测器可以一展身手。

**单光子探测器**

1. 军事用途：

隐身飞机将无处“隐身”。

F－22、B－2等飞机高超的隐身性能，几乎使现役雷达和光电探测系统变成“瞎子”。但单光子探测系统极高的探测灵敏度，即使对F－22、B－2这样的隐身飞机，作用距离也可达到几百到几千公里，可在极远距离上发现隐身飞机，使其“无处遁形”。

空战将从“中距”拉向“远距”。

配装单光子探测系统的作战飞机，由于对空目标探测距离极远，将使空中作战从目前的中距进一步扩为远距。如：配挂单光子超远程空空导弹，火力攻击距离可达到几百到几千公里之外。空中战争将从传统的几十公里的超视距作战变为间隔几千公里的非接触战争。

“全球感知，全球打击”成为可能。

利用空中平台或临近空间平台配装单光子探测系统，构建单光子探测网络，只需几部单光子探测系统就可实现对 领空的全域覆盖。在此基础上用地面或空中远程导弹构建空中地面联合火力网，把单光子探测网络作为网络中心战的目标探测网络系统，可对任何位置（地面或空 中）发射的导弹进行目标指引，有效攻击全球目标，实现“全球感知，全球打击”。

1. 光谱测量

利用单光子探测技术，可极大提高光谱测量的灵敏度和精确性，灵敏度提高3-4个数量级，可实现对微量物质成分的光谱分析，使化学成分检测和安全检查等系统达到超高灵敏度。

1. 生物发光

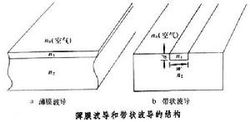
生物发光是一种微弱的准连续光子辐射现象。利用单光子探测技术能对生物发光进行有效探测，可用于分析生物体内特别体系的功能以及细胞的代谢或破坏过程，还能有效的推动现代医学对于脑功能和基因工程的研究。

1. 光纤传感

光纤传感工作频带宽、动态范围大、适合遥测遥控、可低损耗传输，利用单光子探测技术可极大地提高光纤传感的灵敏度和监控长度，对输油管道和海底光缆的安全监控、大型建筑的火灾报警、海岸线或边境安全等领域具有重大意义。

**八、光在介质中的传输——光波导**

光波导（optical waveguide）是引导光波在其中传播的介质装置，又称介质光波导。光波导有两大类：一类是集成光波导，包括平面（薄膜）介质光波导和条形介质光波导，它们通常都是光电集成器件（或系统）中的一部分，所以叫作集成光波导；另一类是圆柱形光波导，通常称为光纤。

[](http://baike.baidu.com/picture/993159/993159/0/d872d69587ae2d77d0135e0e.html?fr=lemma&ct=single)

平面介质光波导是最简单的光波导，它是用折射率为*n*2的硅（或砷化镓，或[玻璃](http://baike.baidu.com/subview/6783/4966372.htm)）作光波导[基片](http://baike.baidu.com/view/2176222.htm)，用微电子工艺在它上面镀一层折射率为*n*1的[介质膜](http://baike.baidu.com/view/4979027.htm)，再加上折射率为*n*3的[覆盖层](http://baike.baidu.com/view/1140246.htm)制成。通常取*n*1>*n*2>*n*3，以便将光波局限在[介质膜](http://baike.baidu.com/view/4979027.htm)内[传播](http://baike.baidu.com/view/69730.htm)。条形介质光波导是在折射率为*n*2的基体中产生一个折射率为*n*1的长条，取*n*1>*n*2，以便将光波局限在长条内传播。这种光波导常用作光的分路器、耦合器、开关等[功能器件](http://baike.baidu.com/view/11756614.htm)。    
　　光波导的横向尺寸比光的[波长](http://baike.baidu.com/subview/45341/45341.htm)大很多时，光的[波动性](http://baike.baidu.com/view/732252.htm)所产生的衍射现象一般可略去不计，可用几何光学定律来处理光在其中的传播问题。如集成光波导和阶跃折射率光纤中，都是利用入射角大于临界角使[光](http://baike.baidu.com/subview/9162/5073510.htm)在边界上发生全反射，结果光便沿折线路径在其中传播。梯度折射率光纤中，则利用光逐渐往折射率大的方向弯曲的规律，使光线沿曲线路径在其中传播。

光波导的横向尺寸与光的波长相差不大时，光的波动性所产生的衍射现象便不能略去，需用光的电磁理论来处理光在其中的传播问题。即由麦克斯韦方程组出发，列出[边界条件](http://baike.baidu.com/view/1131062.htm)，求解光波的电场和磁场在光波导内的分布和传播特性，从而解决有关问题。计算表明，对于一种给定形状和折射率的光波导，能在其中传播的光波，其[电场](http://baike.baidu.com/view/63151.htm)和[磁场](http://baike.baidu.com/subview/351/9581963.htm)的分布有各种不同形式，把每一种形式叫作一种传输模，简称为模。每种模都存在一个截止频率，如果光波的[频率](http://baike.baidu.com/subview/30964/6534896.htm)低于这个截止频率，这种模的光就不能在该光波导中传播。光纤的直径越大能传输的模数就越多。能传输多种模的光纤叫作多模光纤；只能传输一种模的光纤叫作单模光纤。多模光纤常用于近距离传输，如内窥镜等；单模光纤则用于远距离通信。

**结构**

现代应用的光频的波长介于0.8—1.6微米之间。实用光波导有光导纤维（见光纤光缆）、薄膜波导、带状波导等三类。光导纤维的一个传输特性是衰减很小、频带很宽、抗电磁干扰，主要用于通信；光导纤维的另一传输特性是对外界的温度和压力等因素敏感，因而可制成光导纤维传感器，用于测量温度、压力、声场等物理量。

薄膜波导有三层[介质](http://baike.baidu.com/view/298837.htm)，中层的薄膜厚度约1—10微米，上层（通常即为空气）和底层介质的折射率*n*0与*n*2都小于*n*1。当薄膜的宽度为有限尺寸时，称为带状波导。光波能量主要集中在*W*×*d*的矩形带状结构中。薄膜波导与带状波导主要用于制作有源和无源的光波导元件，如激光器、调制器和光耦合器等。它们采用半导体薄膜工艺，适合于制成平面结构的集成光路（即光集成部件）。

**传输特性**

光纤的传输衰减很小，频带很宽。例如，在1.5微米波段衰减可小到0.2分贝/公里，频带宽达108/公里数量级（多模光纤）或109赫/公里数量级（单模光纤），如此优良的性能是其他传输线难以达到的，因而光纤可用于大容量信号的远距离传输。薄膜波导和带状波导传输特性及其分析与光纤类似。由于它们主要用来构成元件，对传输衰减与频带要求并不严格。严格求解光波导中的电磁场的矢量解较为困难，故通常用标量近似法、射线法等近似解法分析其传输特性，包括各个模式的场分布、色散以及模式之间的耦合等。

**九、半导体激光器**

半导体激光器是以一定的半导体材料做工作物质而产生激光的器件。.其工作原理是通过一定的激励方式，在半导体物质的能带（导带与价带）之 间，或者半导体物质的能带与杂质（受主或施主）能级之间，实现非平衡载流子的粒子数反转，当处于粒子数反转状态的大量电子与空穴复合时，便产生受激发射作 用。半导体激光器的激励方式主要有三种，即电注入式，光泵式和高能电子束激励式。电注入式半导体激光器，一般是由砷化镓（GaAs）、硫化镉（CdS）、磷化铟(InP)、硫化锌(ZnS)等材料制成的半导体面结型二极管， 沿正向偏压注入电流进行激励，在结平面区域产生受激发射。光泵式半导体激光器，一般用N型或P型半导体单晶（如GaAS,InAs,InSb等）做工作物 质，以其他激光器发出的激光作光泵激励.高能电子束激励式半导体激光器，一般也是用N型或者P型半导体单晶(如PbS,CdS,ZhO等)做工作物质，通 过由外部注入高能电子束进行激励。在半导体激光器件中，性能较好，应用较广的是具有双异质结构的电注入式GaAs二极管激光器。

**工作原理**

根据固体的能带理论，半导体材料中电子的能级形成能带。高能量的为导带，低能量的为价带，两带被禁带分开。引入半导体的非平衡电子-空穴对复合时，把释放的能量以发光形式辐射出去，这就是载流子的复合发光。

一般所用的半导体材料有两大类，直接带隙材料和间接带隙材料，其中直接带隙半导体材料如GaAs（砷化镓）比间接带隙半导体材料如Si有高得多的辐射跃迁几率，发光效率也高得多。

半导体复合发光达到受激发射（即产生激光）的必要条件是：①粒子数反转分布分别从P型侧和n型侧注入到有源区的载流 子密度十分高时，占据导带电子态的电子数超过占据价带电子态的电子数，就形成了粒子数反转分布。②光的谐振腔在半导体激光器中，谐振腔由其两端的镜面组 成，称为法布里一珀罗腔。③高增益用以补偿光损耗。谐振腔的光损耗主要是从反射面向外发射的损耗和介质的光吸收。

半导体激光器是依靠注入载流子工作的，发射激光必须具备三个基本条件：

（1）要产生足够的 粒子数反转分布，即高能态粒子数足够的大于处于低能态的粒子数；

（2）有一个合适的谐振腔能够起到反馈作用，使受激辐射光子增生，从而产生激光震荡；

（3）要满足一定的阀值条件，以使光子增益等于或大于光子的损耗。

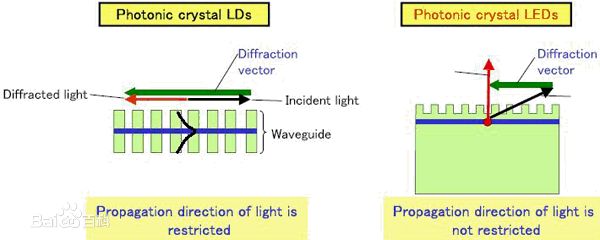
半导体激光器工作原理是激励方式，利用半导体物质（即利用电子）在能带间跃迁发光，用半导体晶体的解理面形成两个平行反射镜面作为反射镜，组成谐振腔，使光振荡、反馈，产生光的辐射放大，输出激光。

半导体激光器优点：体积小、重量轻、运转可靠、耗电少、效率高等。

**应用介绍**

半导体激光器是成熟较早、进展较快的一类激光器，由于它的波长范围宽，制作简单、成本低、易于大量生产，并且由于体积小、重量轻、寿命长，因此，品种发展 快，应用范围广，已超过300种，半导体激光器的最主要应用领域是Gb局域网，850nm波长的半导体激光器适用于）1Gh/。局域网，1300nm -1550nm波长的半导体激光器适用于1OGb局域网系统.半导体激光器的应用范围覆盖了整个光电子学领域，已成为当今光电子科学的核心技术.半导体激 光器在激光测距、激光雷达、激光通信、激光模拟武器、激光警戒、激光制导跟踪、引燃引爆、自动控制、检测仪器等方面获得了广泛的应用，形成了广阔的市场。1978年，半导体激光器开始应用于光纤通信系统，半导体激光器可以作为光纤通信的光源和指示器以及通过大规模集成电路平 面工艺组成光电子系统.由于半导体激光器有着超小型、高效率和高速工作的优异特点，所以这类器件的发展，一开始就和光通信技术紧密结合在一起，它在光通 信、光变换、光互连、并行光波系统、光信息处理和光存贮、光计算机外部设备的光祸合等方面有重要用途.半导体激光器的问世极大地推动了信息光电子技术的 发展，到如今，它是当前光通信领域中发展最快、最为重要的激光光纤通信的重要光源.半导体激光器再加上低损耗光纤，对光纤通信产生了重大影响，并加速了它 的发展.因此可以说，没有半导体激光器的出现，就没有当今的光通信.GaAs/GaAlA。双异质结激光器是光纤通信和大气通信的重要光源，如今，凡是长 距离、大容量的光信息传输系统无不都采用分布反馈式半导体激光器（DFB一LD).半导体激光器也广泛地应用于光盘技术中，光盘技术是集计算技术、激光技术和数字通信技术于一体的综合性技术.是大容t.高密度、快速有效和低成本的信息存储手段，它需要半导体激光器产生的光束将信息写人和读出.

**十、光子晶体**

****

光子晶体（Photonic Crystal）是在1987年由S.John和E.Yablonovitch分别独立提出，是由不同折射率的介质周期性排列而成的人工微结构。光子晶体即光子禁带材料，从材料结构上看，光子晶体是一类在光学尺度上具有周期性介电结构的人工设计和制造的晶体。与半导体晶格对电子波函数的调制相类似，光子带隙材料能够调制具有相应波长的电磁波---当电磁波在光子带隙材料中传播时，由于存在布拉格散射而受到调制，电磁波能量形成能带结构光子晶体。能带与能带之间出现带隙，即光子带隙。所具能量处在光子带隙内的光子，不能进入该晶体。光子晶体和半导体在基本模型和研究思路上有许多相似之处，原则上人 们可以通过设计和制造光子晶体及其器件，达到控制光子运动的目的。光子晶体(又称光子禁带材料)的出现，使人们操纵和控制光子的梦想成为可能。

简单地说，光子晶体具有波长选择的功能，可以有选择地使某个波段的光通过而阻止其它波长的光通过其中。

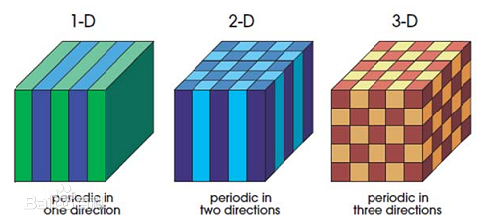
此外值得注意的是，蝴蝶翅膀的颜色有很大程度上与光子晶体有关，然而这并不意味着蝴蝶翅膀是无色的。

**背景**

微波波段的逞隙常称为电磁带隙（ElectromagneticBand-Gap,简称为EBG），光子晶体的引入为微波领域提供了新的研究方向。光子晶 体完全依靠自身结构就可实现带阻滤波，且结构比较简单，在微波电路、微波天线等方面均具有广阔的应用前景。国外在这一方面的研究已经取得了很多成果，而国 内的研究才刚刚起步，所以从事光子晶体的研究具有重要的意义。光子晶体是指具有光子带隙（Photonic Band-Gap,简称为PBG）特性的人造周期性电介质结构，有时也称为PBG结构。所谓的光子带隙是指某一频率范围的波不能在此周期性结构中传播，即这种结构本身存在“禁带”。这一概念最初是在光学领域提出的，现在它的研究范围已扩展到微波与声波波段。由于这种结构的周期尺寸与“禁带”的中心频率对应的波长可比拟，所以这种结构在微波波段比在光波波段更容易实现。

**分类**

按照光子晶体的光子禁带在空间中所存在的维数，可以将其分为一维光子晶体、二维光子晶体和三维光子晶体，如右图所示：



**基本原理**

从晶体结构图中，我们可以看出晶体内部的原子是周期性有序排列的，正是这种周期势场的存在，使得运动的电子受到周期势场的布拉格散射，从而形成能带结构，带与带之间可能存在带隙。电子波的能量如果落在带隙中，就无法继续传播。其实，不论是电磁波，还是其它波如光波等，只要受到周期性调制，都有能带结构，也都有可能出现带隙。而能量落在带隙中的波同样不能传播。

简言之，半导体中离子的周期性排列产生了能带结构，而能带又控制着载流子（半导体中的电子或者空穴）在半导体中的运动。相似的，在光子晶体中是由光的折射率指数的周期性变化产生了光带隙结构，从而由光带隙结构控制着光在光子晶体中的运动。

**结构**

光子晶体的结构可以这样理解，正如半导体材料在晶格结点（各个原子所在位点）周期性的出现离子一样，光子晶体是在高 折射率材料的某些位置周期性的出现低折射率（如人工造成的空气空穴）的材料。如下图所示的光子晶体材料从一维到三维的结构，可以明显看出周期性的存在，而 且三维光子晶体的结构图与普通的硅晶体单从结构是很相似的。高低折射率的材料交替排列形成周期性结构就可以产生光子晶体带隙（BandGap，类似于半导体中的禁带）。而周期排列的低折射率位点的之间的距离大小相同，导致了一定距离大小的光子晶体只对一定频率的光波产生能带效应。也就是只有某种频率的光才会在某种周期距离一定的光子晶体中被完全禁止传播。

如果只在一个方向上存在周期性结构，那么光子带隙只能出现在这个方向。如果在三个方向上都存在周期结构，那么可以出现全方位的光子带隙，特定频率的光进入光子晶体后将在各个方向都禁止传播。这对光子晶体来说是一个最重要的特性。而且实际上，这种三维光子晶体也是最先被制造出来的。

因为光被禁止出现在光子晶体带隙中，所以我们可以预见到我们能够自由控制光的行为。例如，如果我们考虑引入一种光辐 射层，该层产生的光和光子晶体中的光子带隙频率相同，那么由于光的频率和带隙一致则禁止光出现在该带隙中这个原则就可以避免光辐射的产生。这就使我们可以 控制以前不可避免的自发辐射。

而如果我们通过引入缺陷破坏光子晶体的周期结构特性，那么在光子带隙中将形成相应的缺陷能级。将仅仅有特定频率的光可在这个缺陷能级中 出现。这就可以用来制造单模发光二极管和零域值激光发射器（详见光子晶体应用）。而如果产生了缺陷条纹--即沿着一定的路线引入缺陷，那么就可以形成一条 光的通路，类似于电流在导线中传播一样，只有沿着"光子导线"（即缺陷条纹）传播的光子得以顺利传播，其它任何试图脱离导线的光子都将被完全禁止。理想状态下我们已经实现了一条无任何损耗的光通路。这种光通路甚至比光纤更有效。

**应用**

迄今为止，已有多种基于光子晶体的全新光子学器件被相继提出，包括无阈值的激光器，无损耗的反射镜和弯曲光路，高品质因子的光学微腔，低驱动能量的非线性开关和放大器，波长分辨率极高而体积极小的超棱镜，具有色散补偿作用的光子晶体光纤，以及提高效率的发光二极管等。光子晶体的出现使信息处理技术的"全光子化"和光子技术的微型化与集成化成为可能，它可能在未来导致信息技术的一次革命，其影响可能与当年半导体技术相提并论。

光子晶体近期在国际上的应用进一步深化，具体表现在：

1. 与纳米技术相结合，用于制造微米级的激光，硅基激光；

2. 与量子点结合，使得原子和光子的相互作用影响材料的性质，从而达到减光速、减小吸收等作用

3. 光子晶体光纤应用

随着社会的发展，显赫一时的半导体器件已经不能满足信息技术发展的需要，必须寻找信息传输速率更高，效率更高的新材料。普遍认为，光子技术将续写电子技术的辉煌，光子晶体将成为未来所依赖的新材料。

4. 狄拉克锥在光子晶体中的实现

**未来发展**

预言总是很难实现。但是，光子晶体电路和装置的未来看起来却是确信无疑的。五年之内，许多光子晶体的基本应用将会在市场上出现。在这些应用中，将会有高效光子晶体激光发射器和高亮度的发光二极管。

而当每个家庭都连接到一个光纤网络的时候，与如今"视顶盒"类似的解码信号设备将使用光子晶体电路和装置而不是笨重的光纤和硅回路。

在五到十年的范围内，我们应该制造出第一个光子晶体"二极管"和"晶体管"；在十到十五年里，我们能制造出第一个光子晶体逻辑电路并使之占有主要地位；在接下来的二十五年内，由光子晶体驱动的光子计算机应该可以制造出来。令人惊奇的是，合成蛋白石甚至可以在珠宝和艺术品市场上找到生存环境；并且光子晶体薄膜能贴在信用卡上作为防伪标志。

**十一、参考资料：**

1.《光子学物理基础》

2.http://wenku.baidu.com/link?url=xWIMJy8CImR6rd29L\_3sMCSRJ44Gs-Q6uXPes8WUDxhvz6RA1cwrmYSj4fASsfFWSiVk7p57ux\_HkgG7tj6E-f9XiqIF4dID7y\_6aHHxlMW

3.http://baike.baidu.com/link?url=NVDUprLA4E1SKFfOCNgq7vsWuBeLwWQJafdlNGUQoBW3swWxg7bnvbnXDZEc84Agk\_Zu5EObFU9O2RN7OLG9Qa

4.http://baike.baidu.com/link?url=01MkPntAiPNLVocOEI4d0FIz0VvmOOav43DKBIc1oetBkVtImr0uxOajW2P-aeWEVbpKMyeMgihHGP1Y8CYw1q

5. <http://baike.baidu.com/view/471396.html>

6.《光量子信息传输技术》——光子学报第Z2期

7.http://baike.baidu.com/link?url=bd9IRdbDKdBWEgMWmItgM04YiorhOPjvKXMDspobArTCmEQt4P9M5hzCSIudz5Isi-BrO2PvoVCSuwiLYddea\_#3\_1

8. <http://baike.baidu.com/view/993159.html>

9.http://baike.baidu.com/link?url=SGWj6DRO24\_drWOvVdajOdydycC23pt\_78Gl1klGTL6j53KjdLDMSQjc0rfznQsc4-v5sglnDWKzImAB7NSleK