

第一章 绪论 (3 个知识点)

1、光子替代电子作为信息传输的载体:

随着导体所传输电信号频率的增加，导体的阻抗也在增加，因此电缆的传输特性变得不受欢迎：频率在 10MHz 以上的电信号必须通过特殊设计的导体（称为同轴线）来传输，将衰减降到最低。

基于同轴线中传输电信号的通信，典型传输距离是几十米（建筑物之间），而不能用于大于几公里（城市之间的连接）距离的传输。

集成电路发展中遇到的问题：

在电子作为信息载体的集成电路系统中，半导体器件的进一步微型化（更小的电路体积）和高速化（更高的信息交换速度）已经受到了严峻的挑战：

微型化所导致的阻抗增加，使得电路中的能量损耗过大，并且散热困难；

而高速化会导致信号在电子器件中传输造成不同程度的延迟，容易出现信号失真。

与电子相比较，光子具有如下优势：

- (1) 响应快—光信号在介质中传播速度要比电信号在电子器件中的传播速度快的多；
- (2) 信息容量大—介质中电磁波的频带带宽要比半导体中电磁波的频带宽得多；
- (3) 损耗低—光子之间没有相互作用，可以有效降低传输能耗。

2、光电子技术的概念

电子技术：包括真空电子技术、气体电子技术、固体电子技术等；主要研究电子的特性与行为，及其在真空或物质中的运动与控制

光子技术：研究光子的特性与行，为及其与物质的相互作用，以及光子在自由空间或物质中的运动和控制。

光电子技术：是电子技术与光子技术相结合而形成的一门新兴的综合性交叉学科；主要研究光与物质中的电子相互作用及其能量相互转换的相关技术；也是光波段的电子技术。

光电子技术的特征：光源激光化、传输波导化、手段电子化、电子学中的理论模式和处理方法光学化。

光电子技术与微电子技术共同构成了信息技术的两大重要支柱

信息时代的三大基石:微电子学，光电子学和纳米技术

3、典型信息光电子系统

光源器件，光控制器件，光传输器件，光探测器件，光存储器件和显示器件

第二章 光学基础知识与光场传播规律 (10 个知识点)

1 光的基本属性

光具有波粒二象性

波动性：光是一种横向电磁波，光的波动性可以解释光的干涉、衍射和偏振现象；

粒子性：光波能量不连续，光以 $h\nu$ 的整数倍发射和吸收，这种最小的单位称为光子，

光的粒子性可以解释光的吸收、光的发射、黑体辐射、光电效应

通常所说的光学区域(或光学频谱)包括红外线、可见光和紫外线；由原子外层电子跃迁产生

中、远红外等是物体发射的一种热辐射，所以也叫热红外

可见光的波长范围 400nm-760nm；人眼对于不同波长的光的相对灵敏度不同，可见光区

中心波长约为 555nm 的黄绿光，人眼感觉最敏感

紫外线的粒子性较强，能使各种金属产生光电效应

2 折射、反射定律以及全反射 (临界角)

折射、反射光位于入射光与界面法线所决定的平面内；反射角等于入射角；折射率角与

入射角之间满足 Snell's 定理

临界角

3 光的干涉：

相干条件：频率相同；光矢量振动方向平行；相位差恒定

4 光的衍射：

惠更斯原理：行进中的波阵面上任一点都可看作是新的次波源，而从波阵面上各点发出的许多次波所形成的包络面，就是原波面在一定时间内所传播到的新波面

惠更斯原理可以解释光的直线传播、反射、折射现象，也可以解释晶体的双折射现象；

惠更斯原理的次波假设还可以解释光偏离直线传播现象；

但是由于未涉及波的时空周期特性——波长，振幅和位相，无法解释为什么屏上会出现“明暗条纹”（表明各点的振幅大小不等）

惠更斯原理还会导致有倒退波的存在

惠更斯-菲涅耳原理：同一波面上各点发出的次波是相干波，经过传播在空间某点相遇

时的叠加是相干叠加。

惠更斯-菲涅耳原理的数学表达式

惠更斯通过引入倾斜因子解决了惠更斯原理中的倒退波；

衍射现象通常分为两类：菲涅耳衍射（近场衍射）和夫琅禾费衍射（远场衍射）

艾里斑规定了光学仪器的分辨率极限，称为衍射极限

瑞利判据（光学仪器最小分辨率）：最小分辨角 $\delta\varphi = 1.22 \frac{\lambda}{D}$

5 光的偏振：

机械波的传播需要特定的介质，在真空中不能传播，而电磁波（例如光波）可以在真空中传播；

机械波可以是横波和纵波，但电磁波只能是横波；

常见的机械波有：声波（纵波）、水波和地震波属于复杂机械波

偏振：振动方向对于传播方向的不对称性叫做偏振，它是横波区别于纵波的一个最明显的标志。

最常见光偏振态包括：线偏振光、部分偏振光、圆偏振光和椭圆偏振光

布儒斯特定律：反射光为光矢量垂直于入射面的完全偏振光；透射光为部分偏振光；布儒斯特角

获得偏振光的方式：布儒斯特角入射（反射光为垂直极化光）；玻片堆（透射光为平行极化光）；介质的二向色性（平行于光轴的极化光）

5 麦克斯韦方程组

麦克斯韦总结了库仑、安培和法拉第等人的电磁学研究成果，用两个基本假设【涡旋电

场和位移电流，其基本思想是认为变化的磁场会产生电场，变化的电场也会产生磁场】

将电磁学理论统一起来，归纳出了电磁场的基本方程组。

感应电场与静电场，位移电流与传导电流的异同

麦克斯维方程组中每一个方程的物理含义

本构方程

边界条件

6 电介质

极化：在电场作用下物质中产生感应电矩或剩余电矩的现象

电介质：是在电场下能产生极化作用/现象的一类物质

电子位移极化是一种基本的极化方式，存在所有介质中

在非极性介质中，电子位移极化是唯一的极化方式

极性电介质偶极转向极化

极化强度：单位体积元 ΔV 内的总电偶极矩与 ΔV 之比，

$$\vec{D}(\vec{r}, t) = \epsilon_0 \vec{E}(\vec{r}, t) + \vec{P}(\vec{r}, t) = \epsilon(\vec{r}, t) \vec{E}(\vec{r}, t)$$

$$\text{极化强度 } \vec{P} = (\epsilon - \epsilon_0) \vec{E} = \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} - 1 \right) \epsilon_0 \vec{E} = (\epsilon_r - 1) \epsilon_0 \vec{E} = \chi \epsilon_0 \vec{E}$$

$$\text{极化率 } \chi = \epsilon_r - 1$$

$$\text{相对介电常数 } \epsilon_r = 1 + \chi$$

$$\text{折射率 } n = \sqrt{\epsilon_r} = \sqrt{1 + \chi}$$

电介质分类：简单介质、各项异性介质、色散介质、谐振介质

线性光学与非线性光学的区别

7 波动方程

简单介质中电场的时域波动方程 $\nabla^2 \vec{E} - \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \mu_0 \sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} \nabla \rho + \mu_0 \frac{\partial \vec{J}_s}{\partial t}$

简单电介质情况下的频域波动方程 $\nabla^2 \vec{E} - i\omega\mu_0\sigma\vec{E} + \omega^2\mu_0\epsilon\vec{E} = \frac{1}{\epsilon} \nabla \rho + i\omega\mu_0\vec{J}_s$

波矢量 $k^2 = \omega^2\mu_0\epsilon - i\omega\mu_0\sigma$

在低频高电导介质中 (良导体 $\sigma \gg \omega\epsilon$) $k^2 = -i\omega\mu_0\sigma$

在电介质中或高频低电导介质中 (光在无损耗介质中传播): $k^2 = \omega^2\mu_0\epsilon$

真空中的波矢量 $k_0 = \omega\sqrt{\mu_0\epsilon_0} = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi f}{c} = \frac{2\pi}{\lambda_0}$

介质中的波矢量 $k = k_0 n = \omega\sqrt{\mu\epsilon} = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi f}{v} = \frac{2\pi}{\lambda}$

8 光波的电磁表示

$E(z, t) = E_0 \cos[\frac{2\pi}{\lambda}(z - vt) + \phi_0]$

$E(z, t) = E_0 \exp\{j[(kz - \omega t) + \phi_0]\} = E_0 \exp[j(kz + \phi_0)] \exp(-j\omega t)$

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 、 $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi v}{\lambda}$

复振幅 : $E_0 \exp[j(kz + \phi_0)]$

时间参量与空间参量的关系为 : $\omega = kv$

三维简谐平面波 : $E(\vec{r}, t) = E_0 \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \phi_0)$

电磁波强度(光强)的定义是 : 能流密度 在接收器可分辨的时间间隔(即响应时间) τ 内

的时间平均值

光强表示为 : $I = \langle \vec{S} \rangle = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau S dt$

光强 I 的量纲和 S 的量纲相同 , 常用单位是 J/s·m² 或 W/ m²。

在光电子学中，常用光波的电场分量来表示光波电磁场

平面波： $\vec{E}(\vec{r}) = \vec{A}e^{-i\vec{k}\cdot\vec{r}}$

球面波： $\vec{E}(\vec{r}) = \frac{A}{\vec{r}}e^{-i\vec{k}\cdot\vec{r}}$

柱面波： $\vec{E}(\vec{r}) = \frac{A}{\sqrt{\vec{r}}}e^{-i\vec{k}\cdot\vec{r}}$

9 利用电磁学知识推导折射反射定理

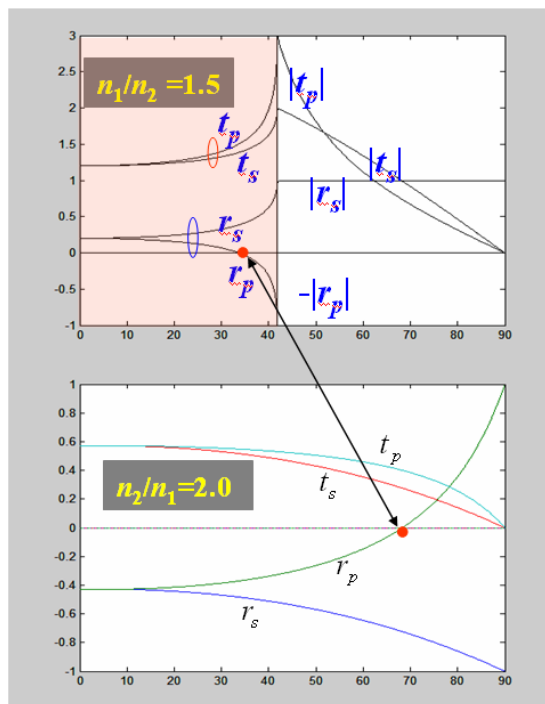
s 分量、p 分量

菲涅耳公式

反射系数、透射系数

反射率、透射率

会分析 s、p 分量反射系数、透射系数曲线 (两种情况)

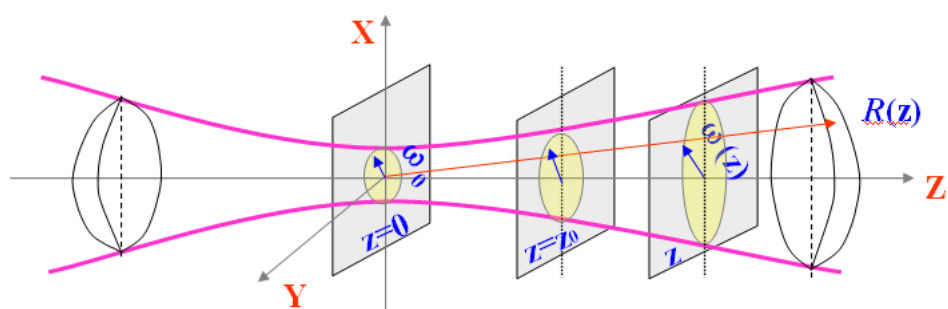


根据全反射时候，透射波电场： $\vec{E}_t = \vec{E}_o \exp[-k_i(\sin^2 \theta_i - \frac{n_2^2}{n_1^2})^{\frac{1}{2}} z] \exp[i(xk_i \sin \theta_i - \omega t)]$

分析倏逝波性质

1/4 波片；V 型增透膜；W 型增透膜

10 高斯光束



$$E(\rho, z) = A_0 \frac{\omega_0}{\omega(z)} \exp\left[-\frac{\rho^2}{\omega^2(z)}\right] \exp\left[-ikz - ik \frac{\rho^2}{2R(z)} + i\xi(z)\right]$$

激光器所发出的光是高斯光束；

高斯光束是一种傍轴波，可以认为是平面波振幅缓变的结果；

高斯光束是波动方程的一个特解；

高斯光束在轴线附近可以看成一种非均匀高斯球面波；

在传播过程中曲率中心不断改变；

其振幅在横截面内为一高斯分布；

强度集中在轴线及其附近；

等相位面保持球面