



# TE - TM 波单介质面的折射率和透射率\*

周波 许江勇

(兴义民族师范学院 贵州 兴义 562400)

胡志林

(贵州师范大学 贵州 贵阳 550001)

谢磊

(兴义民族师范学院 贵州 兴义 562400)

(收稿日期:2015-05-062)

**摘要:**根据平面光波在单介质面的振幅反射率透射率与入射角、能流反射率透射率与入射角、反射系数与介质折射率比的关系,分析 TE-TM 波单介质面的反射率和透射率随着光波入射角、介质折射率比的变化规律。

**关键词:**TE-TM 波 反射率 透射率 入射角 折射率比

目前,人们希望在高速发展的电子和信息工业中广泛实现太比特每秒的信息传输量、太比特位元的信息存储密度、太分之一秒的信息处理速度;在半导体工业已经遇到了难于逾越的极限尺寸问题,科研人员希望能用光子取代电子作为信息载体,进一步推动人类科技的发展<sup>[1]</sup>。因为光的传播速度极快(光速),频率极高( $10^{15}$  Hz 以上),光子器件响应时间极短( $10^{-12} \sim 10^{-16}$  s),频带较宽,空间相容性好,非电磁性抗干扰能力强,每秒携带的数据量比电子要多得多等<sup>[1,2]</sup>。随着现代光学仪器和各种新颖光学器件的研制,光波传输特性的研究在新型光电材料、光通讯、薄膜加工工艺、光学器件等领域显得更重要<sup>[3]</sup>。光波在介质面的反射透射问题尤为突出,一直被科研工作者所重视<sup>[4]</sup>。

本文根据光的电磁理论,分析 TE 波( $p$ -偏振入射)和 TM 波( $s$ -偏振入射)单介质面的反射率和透

射率与光波入射角、介质折射率比的关系,通过计算绘图研究了 TE 和 TM 波单介质面的反射率和透射率随着光波入射角、介质折射率比的变化规律。

## 1 单介质面的反射率和透射率

光是电磁波,在两种介质的分界面处满足电磁场边界条件,电矢量切向分量和磁矢量切向分量连续,即

$$\begin{cases} E_{1t} = E_{2t} \\ H_{1t} = H_{2t} \end{cases} \quad (1)$$

当光通过介质界面时,入射光分为反射光和折射光两部分,折射定律和反射定律决定了它们的方向,这两部分光的强度和振动的取向用电磁理论来讨论<sup>[5~7]</sup>。图 1 中,光传播介质的折射率为  $n_1$  和  $n_2$ ,两介质交界面构成单介质面, $\alpha$ , $\beta$  和  $\gamma$  分别为入射角、反射角和折射角。

\* 贵州省黔西南州科技局科技计划项目,编号:2013-5,2014-3;兴义民族师范学院本科教学质量与教学改革工程项目,编号:兴师发(2014)21号,贵州省大学生创新训练项目,编号:201410666003;兴义民族师范学院精品课,编号:兴师发(2015)13号。

作者简介:周波(1984-),男,助教,主要从事物理课程与教学论研究。

通讯作者:许江勇(1978-),男,副教授,主要从事光子晶体理论与特性的研究。

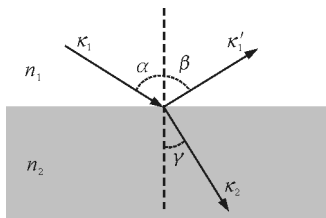


图 1 单介质的光波反射和折射

根据麦克斯韦电磁理论、平面波及叠加原理、微分算子和坡印廷矢量等推算 TE-TM 波的反射率和透射率,即

$$r_p = \frac{n_2 \cos \alpha - n_1 \sqrt{1 - (n_1/n_2)^2 \sin^2 \alpha}}{n_2 \cos \alpha + n_1 \sqrt{1 - (n_1/n_2)^2 \sin^2 \alpha}} \quad (2)$$

$$t_p = \frac{2n_1 \cos \alpha}{n_2 \cos \alpha + n_1 \sqrt{1 - (n_1/n_2)^2 \sin^2 \alpha}} \quad (3)$$

$$r_s = \frac{n_1 \cos \alpha - n_2 \sqrt{1 - (n_1/n_2)^2 \sin^2 \alpha}}{n_1 \cos \alpha + n_2 \sqrt{1 - (n_1/n_2)^2 \sin^2 \alpha}} \quad (4)$$

$$t_s = \frac{2n_1 \cos \alpha}{n_1 \cos \alpha + n_2 \sqrt{1 - (n_1/n_2)^2 \sin^2 \alpha}} \quad (5)$$

$$\begin{cases} R = |r|^2 \\ T = \frac{n_2 \cos \gamma}{n_1 \cos \alpha} |t|^2 \end{cases} \quad (6)$$

式(2)、(3)分别为 TE 波振幅的反射率、透射率,式(4)、(5)分别为 TM 波振幅的反射率、透射率,式(6)为单介质的能流的反射率和透射率。

## 2 反射率和透射率的变化规律

### 2.1 振幅反射率和透射率与入射角

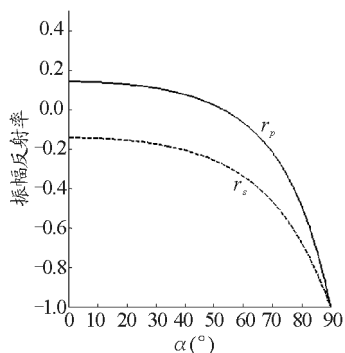


图 2 TE-TM 波反射率随入射角的变化规律

TE-TM 波的振幅反射率、透射率分别为  $r_p, r_s$  和  $t_p, t_s$ . 平面光波从光疏介质  $n_1$  进入光密介质  $n_2$  时,入射光分为反射光和折射光两部分,其中振幅反

射率  $r_p, r_s$  和振幅透射率  $t_p, t_s$  随着入射角  $\alpha$  发生变化. 取  $n_1 = 1, n_2 = 1.33$ , 根据式(2)、(4) 计算入射角  $0 \sim 90^\circ$  范围对应的振幅反射率如图 2 所示. 根据式(3)、(5) 计算入射角  $0 \sim 90^\circ$  范围对应的振幅透射率如图 3 所示.

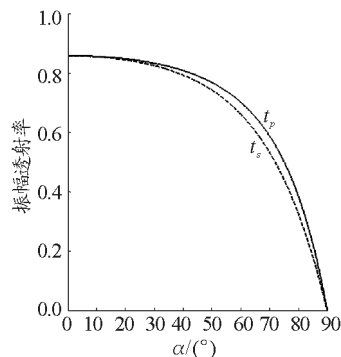


图 3 TE-TM 波透射率随入射角的变化规律

### 2.2 能流反射率和透射率与入射角

TE-TM 波的能量反射率、透射率分别为  $R_p, R_s, T_p, T_s$ . 平面光波从光疏介质  $n_1$  进入光密介质  $n_2$  时,能量反射率  $R_p, R_s$  和能量透射率  $T_p, T_s$  随着入射角  $\alpha$  发生变化. 取  $n_1 = 1, n_2 = 1.33$ , 根据式(6) 计算入射角  $0 \sim 90^\circ$  范围对应的能量反射率和透射率, 分别如图 4 和图 5 所示.

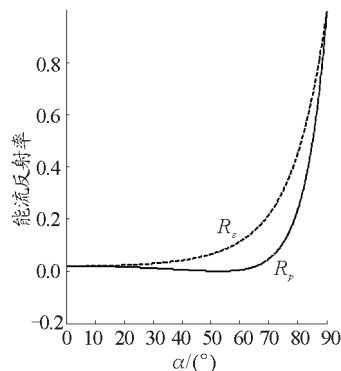


图 4 TE-TM 波能量反射率随入射角的变化规律

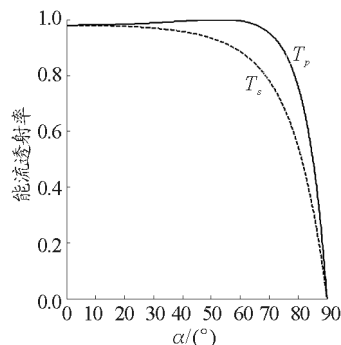


图 5 TE-TM 波能量透射率随入射角的变化规律

### 2.3 反射系数与折射率比

TE-TM波的反射率、透射率和反射系数、透射系数分别为  $r_p, r_s, r'_p, r'_s$ , 介质折射率比为  $h = \frac{n_1}{n_2}$ . 光波从光疏介质  $n_1$  进入光密介质  $n_2$  时, 即  $h < 1$ . 光波从密介质  $n_2$  进入光疏介质  $n_1$  时, 即  $h > 1$ . 取  $0.6 \leq h \leq 1.5$ , 这两种情况的反射率  $r_p, r_s$  和反射系数  $r'_p, r'_s$  随着介质折射率比  $h$  的变化规律如图 6 所示.

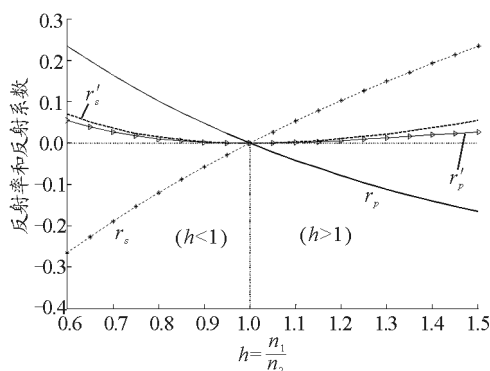


图 6 TE-TM波反射系数随介质折射率比的变化规律

## 3 结果与分析

### 3.1 振幅反射率透射率与入射角的关系

入射角  $\alpha = 0$  的垂直入射, 振幅反射率  $r_p, r_s$  分别等于  $0.15, -0.15$ , 表示存在反射波. 当入射角  $\alpha = 90^\circ$  的掠入射, 振幅反射率  $r_p, r_s$  都等于  $-1$ , 表示也存在反射波. 振幅反射率  $r_s$  的绝对值随着入射角  $\alpha$  的增加而增大至  $1$ . 振幅反射率  $r_p$  的绝对值随着入射角  $\alpha$  的增加而减小, 到达一特定的  $\alpha$  值时,  $r_p$  的绝对值等于零, 即此时没有  $p$  分量, 只有  $s$  分量, 产生全偏振现象, 随后  $\alpha$  增加,  $r_p$  的绝对值不断增大至  $1$ .

入射角  $\alpha = 0$  的垂直入射, 振幅透射率  $t_p, t_s$  都等于  $0.85$ , 表示存在透射波. 当入射角  $\alpha = 90^\circ$  的掠入射, 振幅透射率  $t_p, t_s$  都等于零, 表示不存在透射波. 振幅透射率  $t_p, t_s$  都随着入射角  $\alpha$  的增加而减小, 从  $0.85$  减小至零.

### 3.2 能流反射率透射率与入射角的关系

入射角  $\alpha = 0$  的垂直入射, 能流反射率  $R_p, R_s$  都

等于  $0.01$ , 表示存在反射波. 随着  $\alpha$  的增加,  $R_s$  不断增大至  $1$ ,  $R_p$  先是减小, 在  $\alpha = 60^\circ$  时,  $R_p$  减小至零之后随着  $\alpha$  增加而增大至  $1$ . 入射角  $\alpha = 0$  的垂直入射, 能流透射率  $T_p$  和  $T_s$  都等于  $0.88$ , 表示存在透射波. 随着  $\alpha$  的增加,  $T_s$  不断减小至零,  $T_p$  先是增大,  $\alpha = 60^\circ$  时,  $T_p$  增大至  $1$  之后随着  $\alpha$  增加而减小至零.

### 3.3 反射系数和透射系数与折射率比的关系

当  $h < 1$  时, 反射光中 TM 波的反射率  $r_s < 0$  且随着  $h$  增加而增大, 反射系数  $r'_s > 0$  且随着  $h$  增加而减小. TE 波的反射率  $r_p > 0$  且随着  $h$  增加而减小, 反射系数  $r'_p > 0$  且随着  $h$  增加而减小.  $h = 1$  时, 相当于光波在同一介质中传播, 反射率和反射系数都等于  $1$ , 表明没有反射波.  $h > 1$  时, 反射光中 TM 波的反射率  $r_s > 0$  且随着  $h$  增加而增大, 反射系数  $r'_s > 0$  且随着  $h$  增加而增大. TE 波的反射率  $r_p < 0$  且随着  $h$  增加而减小, 反射系数  $r'_p > 0$  且随着  $h$  增加而增大.

## 参考文献

- 1 刘治. 光子晶体的制备与应用展望. 自然杂志, 2005, 26(5): 274 ~ 277
- 2 王玉玲. 一维光子晶体的带隙特性研究: [硕士论文]. 南宁: 广西大学, 2007
- 3 吴朗. 光在非均匀介质中反射和透射系数的精确解析. 量子电子学报, 2009, 26(6): 750 ~ 756
- 4 况庆强, 饶志明, 桑明煌, 等. 平面电磁波在弱导电介质表面上的反射和透射. 江西师范大学学报(自然科学版), 2011, 35(5): 482 ~ 487
- 5 唐晋发, 顾培夫, 刘旭, 等. 现在光学薄膜技术. 杭州: 浙江大学出版社, 2006. 12 ~ 16
- 6 章志鸣, 沈元华, 陈惠芬. 光学. 北京: 高等教育出版社, 2004. 129 ~ 137
- 7 王昊鹏, 刘泽乾. 平面光波在电介质表面的反射特性仿真研究. 电子设计工程, 2012, 20(11): 117 ~ 121