

基于光学零空间介质的角反射器

孙非¹, 刘一超¹, 杨毅彪¹, 陈智辉¹, 何赛灵²

¹太原理工大学, 物理与光电工程学院 ²浙江大学

简介: 通过COMSOL波动光学模块验证理论设计的新型角反射器的性能, 扫描入射角度提取角反射器效率

结果: COMSOL模拟结果验证了理论设计的角反射器性能。

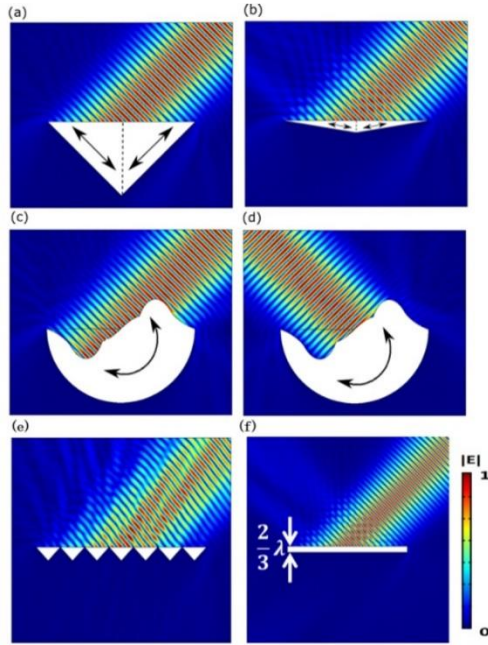


图 1. COMSOL得到的数值模拟结果: 画出的是归一化的电场分布图。验证了基于光学零空间介质定向投影性质, 设计得到的形状任意的角反射器性能。这里入射角度为+45或者-45度, 改变角反射器的形状。设计过程中仅需对角反射器入射面和出射面形状进行设计, 然后利用光学零空间介质进行填充, 只要保证入射面和出射面上的点经过零空间介质投影后满足180度的反转对应关系, 即可实现角反射器的效果。角反射器可以被设计为各种不同形状, 比如超薄平板结构(厚度为波长的2/3, 如图1(f))

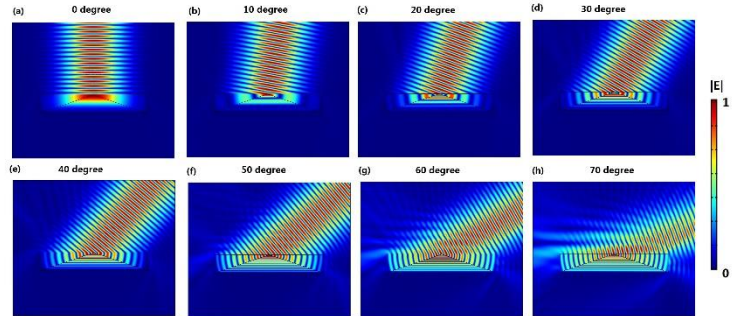


图 3. 不同角度入射光下, 平板型角反射器的角反射性质

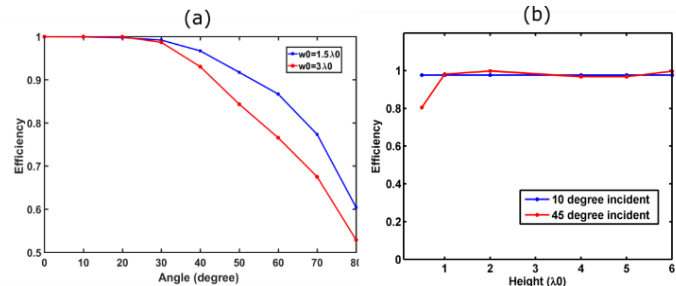


图 5. 平板型角反射器效率随着入射角度变化关系 (a) 和随着器件高度变化关系 (b)

计算方法: 模拟采用COMSOL二维波动光学模块的频域求解器

$$\nabla \times \mu_r^{-1}(\nabla \times \mathbf{E}) - k_0^2(\epsilon_r - \frac{j\sigma}{\omega\epsilon_0})\mathbf{E} = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{E}(x, y, z) = \tilde{\mathbf{E}}(x, y)e^{-ik_z z}$$

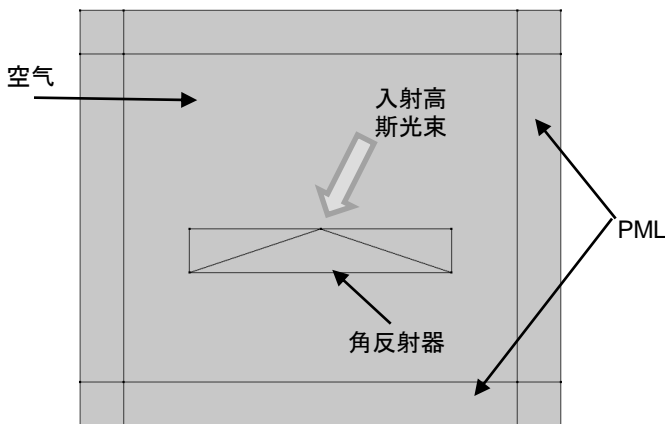


图 2. COMSOL建模图: 角反射器由高度各向异性介质构成, COMSOL可用于高度各向异性介质的模拟。

用于设计角反射器的理论——“光学表面变换”是由变换光学理论扩展得到的, 其优点包括:

- 1) 设计过程简单, 仅需通过几何表面投影的方式即可设计, 无需复杂的数学计算;
- 2) 所有基于光学表面变换设计得到的器件, 无论功能、形状和尺寸如何改变, 都只需要一种光学零空间介质材料即可实现(零空间介质的形状和主轴选取不同方向);
- 3) 设计方法很容易扩展到其他物理场甚至是多物理场同时调控。

本研究提出的新型角反射器亮点:

- 1) 可以使用超薄超构材料实现了返射效果, 克服了传统器件体积庞大的缺点, 可以广泛应用于平板集成系统、紧凑型传感器、导航和通信系统。
- 2) 角反射器形状可以任意选取, 可为某些特殊应用场合提供了更多选择。
- 3) 提出的角反射器在宽入射角范围内具有很高的效率(比如: 入射角范围从-50°到+50°时效率高达98%。即使入射角达到80°, 设计得到的角反射器效率仍然大于50%。)

参考文献:

Sun, F., Liu, Y., Yang, Y., Chen, Z., & He, S. (2020). Arbitrarily shaped retro-reflector by optics surface transformation. Chinese Optics Letters, 18(10), 102201. (期刊封面论文)