

(19) 中华人民共和国国家知识产权局



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103885120 A

(43) 申请公布日 2014.06.25

(21) 申请号 201210558146.9

代理人 张恒康

(22) 申请日 2012.12.20

(51) Int. Cl.

(71) 申请人 上海信申通通信建设服务有限公司

G02B 6/125 (2006. 01)

地址 201802 上海市嘉定区沪宜公路 1101
号 1 檐

申请人 上海鸿辉光通科技股份有限公司
上海交通大学

(72) 发明人 顾晶 叶剑锋 沈伟星 陆志英
陈子勇 陈益新 李雪峰 管玉成
张森 周林杰 张效衡 李新碗
陈建平

(74) 专利代理机构 上海天协和诚知识产权代理
事务所 31216

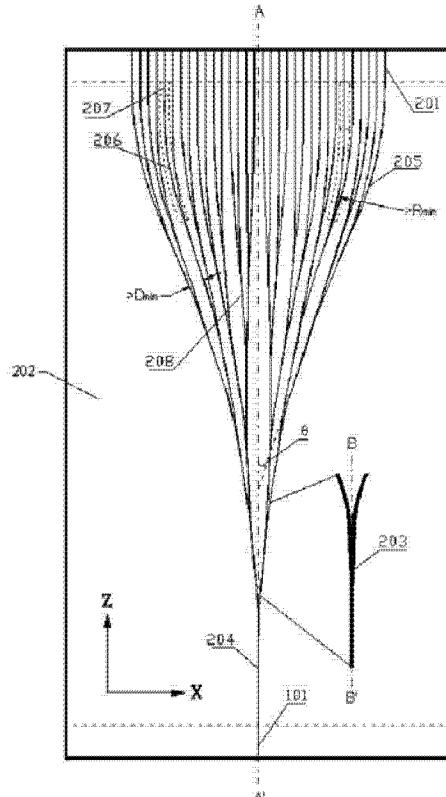
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

紧密级联型 $1 \times N$ 光功率分配器

(57) 摘要

本发明公开了一种紧密级联型 $1 \times N$ 光功率分配器，即本分配器包括一个输入波导、N个输出波导和分叉区，分叉区包括级联的 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元，级联数 $n = \log_2 N$ ，级联的 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元首级输入端连接输入波导、末级输出端由多段弧形波导和 / 或多段直波导分别连接 N 个输出波导，除第一级 1×2 光功率分配器单元外，任意 1×2 光功率分配器单元对称轴与所述输入波导轴线相交，所述 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元之间由单段弧形波导连接。本光功率分配器有效提高了集成度，其器件长度小于传统光功率分配器，且随级数增长较慢，能在级联数较高的情况下保持较小的外形尺寸，减小了光器件的插入损耗，具有带宽高、功率分配均匀等优点。



1. 一种紧密级联型 $1 \times N$ 光功率分配器，包括一个输入波导和等距排列的 N 个输出波导，其特征在于：所述输入波导轴线与 N 个输出波导轴线平行，还包括分叉区，所述分叉区包括级联的 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元，级联数 $n = \log_2 N$ ，所述级联的的 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元首级输入端连接所述输入波导、末级输出端由多段弧形波导和 / 或多段直波导分别连接 N 个输出波导，除第一级 1×2 光功率分配器单元外，任意 1×2 光功率分配器单元对称轴与所述输入波导轴线相交，所述 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元之间由单段弧形波导连接。

2. 根据权利要求 1 所述的紧密级联型 $1 \times N$ 光功率分配器，其特征在于：任意波导之间平滑连接，波导与波导接口处的切线重合。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的紧密级联型 $1 \times N$ 光功率分配器，其特征在于：所述级联的的 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元末级输出端与 N 个输出波导连接的弧形波导由单段圆弧或两段圆弧构成。

紧密级联型 $1 \times N$ 光功率分配器

技术领域

[0001] 本发明涉及光功率分配器，尤其涉及一种紧密级联型 $1 \times N$ 光功率分配器。

背景技术

[0002] $1 \times N$ 光功率分配器是有线电视网(CATV)、无源光网络(PON)、光局域网等通讯网络的核心器件之一，其主要规格有 1×2 、 1×4 、 1×8 、 1×16 、 1×32 、 1×64 、 1×128 等多种。理想的光功率分配器应满足外形尺寸小、插入损耗小、带宽高、功率分配均匀等条件，因此，实际应用中多采用平板波导结构(PLC)的级联型光功率分配器。

[0003] 如图 1 所示为沿 Z 轴放置的使用传统级联方式的 1×32 光功率分配器 100，该光功率分配器 100 由 5 级 1×2 光功率分配器单元按二叉树形式连接构成。光信号从输入波导 101 进入，经第一级 1×2 光功率分配器单元 102 均分为 2 路，再由 S 形连接波导 103 进入第 2 级均分为 4 路，依此类推，直至末级光功率分配器单元 104，构成 1×32 光功率分配器 100，从而实现光信号的 32 路均分。当该类光功率分配器的级数从 i 增加到 $i+1$ 时，器件长度增加：

$$\Delta Z_i = Z_y + Z_s(i)$$

$$Z_y = L_y$$

$$Z_s(i) = \sqrt{2^i} D \sqrt{\frac{2R}{D} - 2^{i-2}}, \quad (i = 0, 1, 2, 3, 4)$$

其中， ΔZ_i 为光功率分配器长度的增量， L_y 为 1×2 光功率分配器单元的长度， Z_y 为其在 Z 轴方向的投影， $Z_s(i)$ 为新增 S 形连接波导在 S 轴方向的投影， s 为相邻输出波导的间距， R 为 S 形连接波导的半径。当 $R \gg 2^{i-1} D$ 时， $Z_s(i+1) \approx \sqrt{2} Z_s(i)$ ，即由波导引起的器件长度增加按 $\sqrt{2}$ 的幂次上升。故随着级数的增加，级联型 $1 \times N$ 光功率分配器的长度迅速增长，造成光功率分配器集成度的下降。同时，由于光信号通过的路径长度与器件长度近似成正比，故当级数较大时，光信号的路径损耗也较大，造成较大的插入损耗。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是提供一种紧密级联型 $1 \times N$ 光功率分配器，本光功率分配器有效提高了集成度，其器件长度小于传统光功率分配器，且随级数增长较慢，能在级联数较高的情况下保持较小的外形尺寸，减小了光器件的插入损耗，具有带宽高、功率分配均匀等优点。

[0005] 为解决上述技术问题，本发明紧密级联型 $1 \times N$ 光功率分配器包括一个输入波

导和等距排列的 N 个输出波导，所述输入波导轴线与 N 个输出波导轴线平行，还包括分叉区，所述分叉区包括级联的 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元，级联数 $n = \log_2 N$ ，所述级联的 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元首级输入端连接所述输入波导、末级输出端由多段弧形波导和 / 或多段直波导分别连接 N 个输出波导，除第一级 1×2 光功率分配器单元外，任意 1×2 光功率分配器单元对称轴与所述输入波导轴线相交，所述 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元之间由单段弧形波导连接。

[0006] 进一步，上述任意波导之间平滑连接，波导与波导接口处的切线重合。

进一步，上述级联的的 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元末级输出端与 N 个输出波导连接的弧形波导由单段圆弧或两段圆弧构成。

[0007] 由于本发明紧密级联型 $1 \times N$ 光功率分配器采用了上述技术方案，即本分配器包括一个输入波导、N 个输出波导和分叉区，分叉区包括级联的 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元，级联数 $n = \log_2 N$ ，级联的的 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元首级输入端连接输入波导、末级输出端由多段弧形波导和 / 或多段直波导分别连接 N 个输出波导，除第一级 1×2 光功率分配器单元外，任意 1×2 光功率分配器单元对称轴与所述输入波导轴线相交，所述 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元之间由单段弧形波导连接。本光功率分配器有效提高了集成度，其器件长度小于传统光功率分配器，且随级数增长较慢，能在级联数较高的情况下保持较小的外形尺寸，减小了光器件的插入损耗，具有带宽高、功率分配均匀等优点。

附图说明

[0008] 下面结合附图和实施方式对本发明作进一步的详细说明：

图 1 为传统级联方式的 1×32 光功率分配器的示意图；

图 2 为本发明紧密级联型 $1 \times N$ 光功率分配器的示意图；

图 3 为半径相同的 S 形波导与弧形波导的对比示意图；

图 4 为与输出波导连接的弧形波导示意图之一；

图 5 为与输出波导连接的弧形波导示意图之二；

图 6 为与输出波导连接的弧形波导示意图之三；

图 7 为级数不同时本分配器与传统分配器的长度比较示意图；

图 8 为本分配器和传统分配器插入损耗随波长变化的示意图；

图 9 为紧密级联型 1×8 光功率分配器的版图。

具体实施方式

[0009] 如图 2 所示，本发明紧密级联型 $1 \times N$ 光功率分配器包括一个输入波导 101 和等距排列的 N 个输出波导 201，所述输入波导轴线 AA' 与 N 个输出波导轴线平行，还包括分叉

区 202，所述分叉区 202 包括级联的 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元 203，级联数 $n = \log_2 N$ ，所述级联的的 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元 203 首级 204 输入端连接所述输入波导 101、末级 205 输出端由多段弧形波导 206 和 / 或多段直波导 207 分别连接 N 个输出波导 201，除第一级 1×2 光功率分配器单元外，任意 1×2 光功率分配器单元对称轴 BB' 与所述输入波导轴线 AA' 相交，所述 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元 203 之间由单段弧形波导 208 连接。

[0010] 进一步，上述任意波导之间平滑连接，波导与波导接口处的切线重合。

[0011] 进一步，上述级联的的 $N-1$ 个 1×2 光功率分配器单元末级 205 输出端与 N 个输出波导 201 连接的弧形波导 206 由单段圆弧或两段圆弧构成。

[0012] 在实际制作中，上述任意波导的曲率半径存在一定的下限，该下限由本分配器所容许的最大波导损耗决定，可减小因波导过度弯曲造成的路径损耗。同样上述任意两条连接波导之间的最短距离也存在一定的下限，该下限由本分配器所容许的最大波导间耦合决定，可减小两条连接波导之间的耦合损耗，提高光信号输出的均匀性和稳定性。

[0013] 本发明光功率分配器采用单段弧形波导取代传统分配器 S 形波导连接 1×2 光功率分配器单元，有效减少器件在 Z 轴方向的长度；改变各 1×2 光功率分配器单元的位置和倾角，以使其与输入端的弧形波导平滑连接；修改末级 1×2 光功率分配器单元与输出波导之间的弧形波导，使其与输出波导平滑连接；同时优化 1×2 光功率分配器单元之间弧形波导的半径和弧度，使得器件总长最小；设置相邻波导最小间距，减少波导间的耦合，确保光信号输出的均匀性和稳定性。

[0014] 使用单段弧形波导取代 S 形波导，可有效减小连接波导引起的长度增加。在传统级联方式中，S 形波导的作用是引入 X 轴方向的位移，以使光信号能垂直进入 1×2 光功率分配器单元的输入端，但导致了器件在 Z 轴方向的长度增加。若采用与 S 形波导半径相同的单段弧形波导，则在 X 轴方向位移相同时，有更小的 Z 轴方向位移。如图 3 所示，设波导半径为 R ，X 轴方向位移为 Δx ，则有：

$$Z_s = \sqrt{4R\Delta x - \Delta x^2}$$

$$Z_a = \sqrt{2R\Delta x - \Delta x^2}$$

其中， Z_s 为 S 形波导的 Z 轴方向位移， Z_a 为弧形波导的 Z 轴方向位移。当 $\Delta x \ll R$ 时，有 $Z_a \approx Z_s/\sqrt{2}$ ，即由弧形波导引入的 Z 轴方向位移缩减为原来的 $1/\sqrt{2}$ 。但此方法也带来了一些问题，S 型波导的输入和输出相互平行，故传统级联方式中， 1×2 光功率分配器单元可平行排列，而弧形波导的输入和输出方向不一致，故其两端的 1×2 光功率分配器单元无法保持平行。

[0015] 考虑到 1×2 光功率分配器单元平行排列并非构造级联型光功率分配器的必要条

件,可以通过改变各单元的倾角保证其与弧形波导的平滑连接。因此本发明中级联的 1×2 光功率分配器单元除第一级外,其余各级的 1×2 光功率分配器单元对称轴均与输入波导轴线相交。对每个 1×2 光功率分配器单元来说,其平面坐标和倾角 θ 的大小取决于从第一级 1×2 光功率分配器单元到它的输入端所经历的所有弧形波导的弧度和半径。

[0016] 当所有单元间的弧形波导的弧度和半径确定后,末级单元的位置和倾角也随之固定,即弧形波导起点的坐标和切线方向确定。由于本光功率分配器的输出波导等间距排列,且方向与输入波导平行,故N个输出波导末端弧形波导终点的X轴方向坐标与切线方向也确定,唯一的可变量是终点的Z轴方向坐标。为使器件长度最短,需令终点的Z轴方向坐标最小。由于波导的曲率半径不小于 R_{min} ,故在X轴方向距离 $\Delta x < R_{min}$ 的条件下,采用半径为 R_{min} 的弧形波导组合可使得弧形波导的Z轴方向位移最小。

[0017] 如图4所示,当弧形波导的起点在终点右侧时,设 θ 为Z轴与波导起点切线的交角,当 θ 在Z轴右侧时为正,在左侧时为负。当 $-\cos^{-1}(1 - \Delta x/R_{min}) < \theta < 90^\circ$ 时,连接波导由顺时针和逆时针方向的两段圆弧构成,其旋转角分别为:

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{1}{2} \left(1 + \cos \theta - \frac{\Delta x}{R_{min}} \right);$$

$$\beta = \alpha + \theta$$

如图5所示,当 $\theta = -\cos^{-1}(1 - \Delta x/R_{min})$ 时,弧形波导由一段顺时针方向的圆弧构成,其旋转角为 $-\theta$ 。

[0018] 如图6所示,当 $-90^\circ < \theta < -\cos^{-1}(1 - \Delta x/R_{min})$ 时,弧形波导仍由顺时针和逆时针方向的两段圆弧构成,其旋转角分别为:

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{1}{2} \left(1 + \cos \theta + \frac{\Delta x}{R_{min}} \right);$$

$$\beta = \alpha - \theta$$

按此方法,可计算出所有末级单元与输出波导间的弧形波导,并进一步确定本分配器输出端的最大Z轴方向位移。

[0019] 同时本发明对分配器的模型进行参数优化,优化过程分如下几步:

a) 选取自变量,由于本分配器的几何结构完全决定于建立各 1×2 光功率分配器单元连接的弧形波导。故选取所有弧形波导的半径和弧度作为自变量;

b) 计算目标函数,本发明的目的之一是减小器件长度,故选取Z轴方向的最大值 Z_{max} 为优化目标,计算得出各 1×2 光功率分配器单元的位置和倾角;

c) 设定线性约束条件,设定所有弧形波导圆弧的半径不得小于 R_{min} ,圆弧的弧度不得大于 90° ;

d) 设定非线性约束条件,任意两波导之间最小距离不得小于 D_{min} ;

e) 选取优化算法进行计算,考虑到此问题为非线性优化问题,且极小点个数不确定,故选用可实现全局最优化的遗传算法。具体计算可采用计算机数据分析软件,如调用 MATLAB 软件的 Global Optimization 工具箱实现;

f) 验证优化结果,根据优化所得自变量的值,绘制出光功率分配器的版图,检验是否满足优化约束条件。

[0020] 如图 7 所示,通过对比得到当级数越大,光功率分配器的长度减小百分比越大,因此采用紧密级联方式的本光功率分配器尤其适用于分路数较大的光光功率分配器,可有效减少器件的长度尺寸。

[0021] 如图 8 所示,在输入信号相同的情况下,级联方式为~~1×8~~ 的本光功率分配器与传统分配器的插入损耗对比,由图可见,在~~1.26~1.61μm~~ 的通信波段,本光功率分配器比采用传统级联方式的光功率分配器的插入损耗降低了~~0.3~0.4dB~~。因此,本发明提出的紧密级联型~~1×N~~ 光功率分配器具有尺寸小、插入损耗小的优点,相比传统光功率分配器具有突出的优势。

[0022] 本发明采用单段弧形波导连接~~1×2~~ 光功率分配器单元,有效减小器件长度,并降低路径损耗导致的插入损耗;采用全局优化算法对每段弧形波导的半径和弧度进行优化,使器件长度最小化;同时设定弧形波导的半径最小值,降低了弯曲波导造成的路径损耗,设定相邻波导的最小距离,减小波导之间的耦合,确保光信号输出的均匀性和稳定性。

[0023] 如图 9 所示,该光功率分配器采用折射率比为 0.75% 的 PLC 材料制作,其中包层材料为~~SiO₂~~,折射率为 1.4446,芯层材料为~~SiO₂-GeO₂~~,折射率为 1.4555。输入、输出以及~~1×2~~ 光功率分配器单元间的连接均采用单模波导,宽度为~~5.0μm~~。相邻输出波导的距离为~~127μm~~。最小弯曲半径~~R_{min}~~ 为~~5000μm~~,最小波导间距为~~200μm~~。从图 8 可知,该分配器在~~1.26μm~~ 至~~1.26μm~~ 波段插入损耗小于~~1.26μm~~,其中~~1.26μm~~ 波段的插入损耗更是低至~~9.8dB~~,且器件长度比传统级联型~~1×8~~ 功率分配器减小~~29.85%~~。

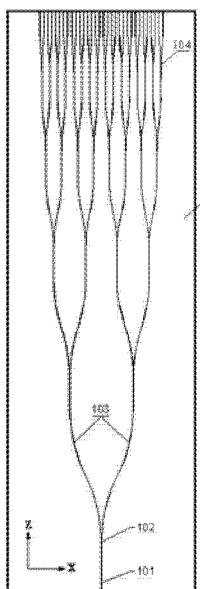


图 1

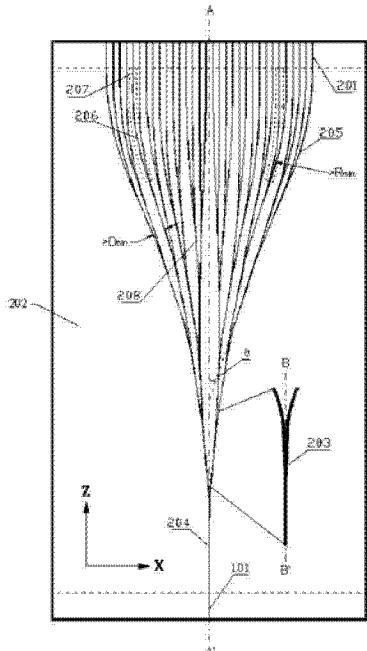


图 2

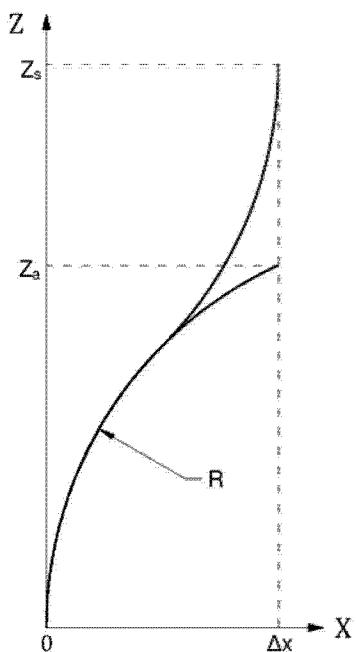


图 3

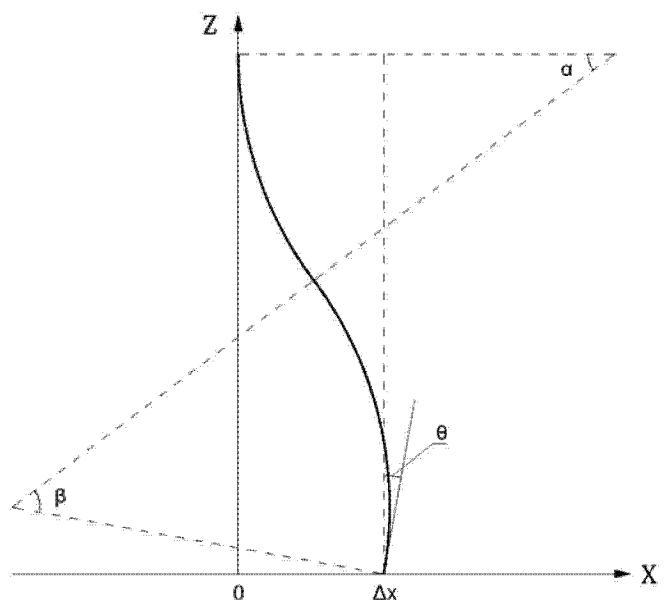


图 4

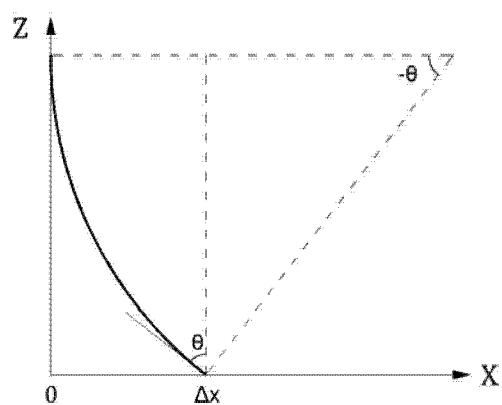


图 5

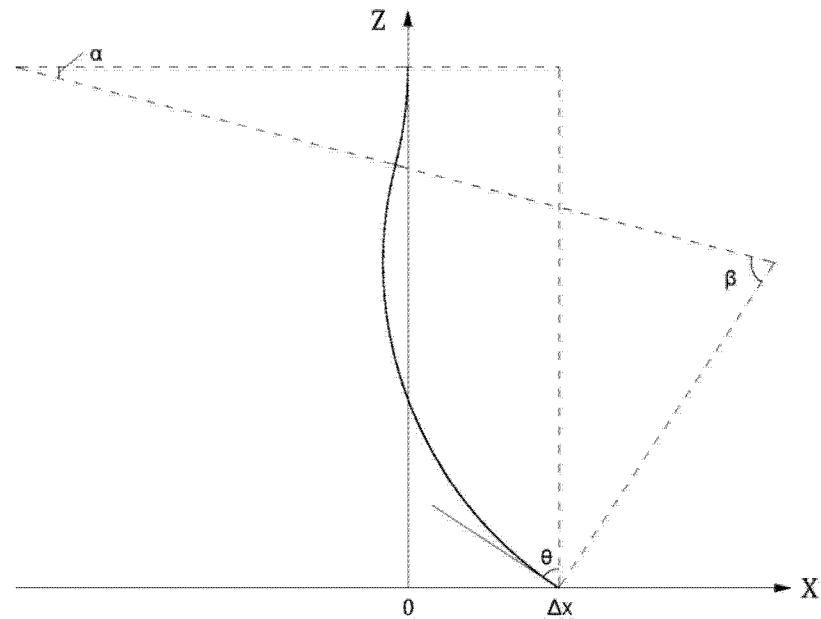


图 6

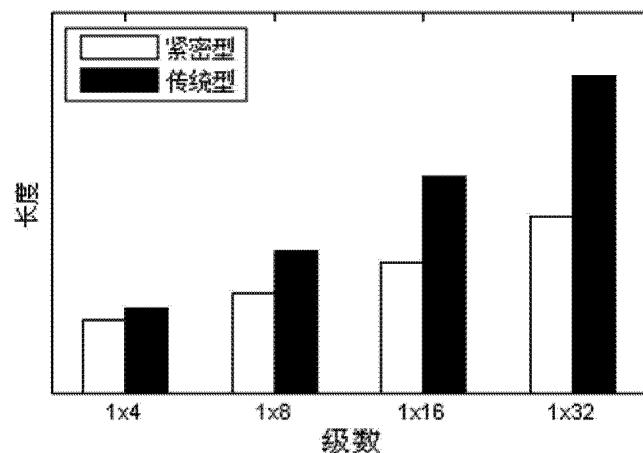


图 7

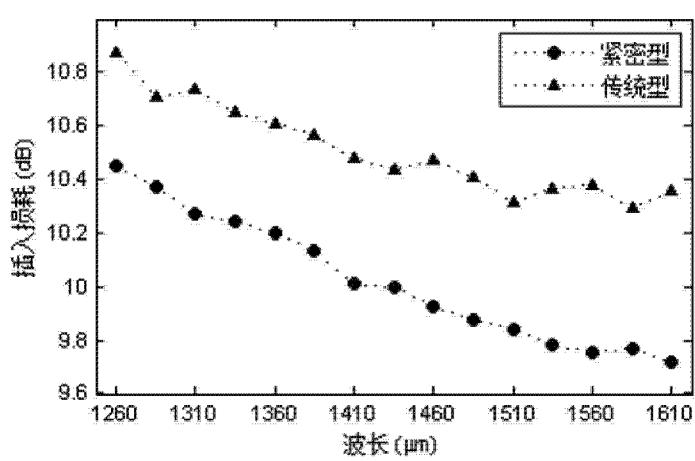


图 8

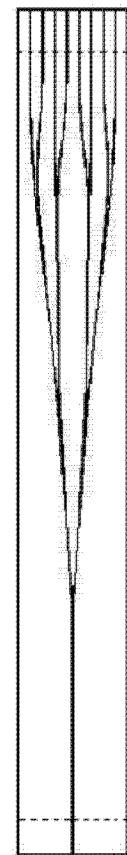


图 9