(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 113311537 B
(45)授权公告日 2022.05.31

(21)申请号 202110690128.5
(22)申请日 2021.06.22
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113311537 A
(43)申请公布日 2021.08.27
(73)专利权人 桂林电子科技大学
地址 541004 广西壮族自治区桂林市七星区金鸡路一号
(72)发明人 尚玉玲 郭文杰 何翔
(51)Int.Cl.
G02B 6/122(2006.01)
G02B 6/125(2006.01)
G02B 6/14(2006.01)
G02B 6/28(2006.01)
(56)对比文件
CN 107490829 A,2017.12.19
CN 107490829 A,2017.12.19
CN 106249355 A,2016.12.21
CN 112859240 A,2021.05.28
US 2012219026 A1,2012.08.30
CN 110542950 A,2019.12.06
US 2016377814 A1,2016.12.29
WO 2013102033 A1,2013.07.04
CN 109752790 A,2019.05.14
CN 205680803 U,2016.11.09
杨静.模分复用系统中少模光子晶体光纤及模式转换器的设计及研究.《中国知网优秀硕士论文全文数据库(电子期刊)》.2018,
John D. Love等.Single-, few-, and multimode Y-junctions.《Journal of Lightwave Technology》.2012,第30卷(第3期),
乐燕思等.光纤型三模式复用解复用器的研究.《中国激光》.2016,第43卷(第6期),
YiWeng等.Space division multiplexing optical communication using few-mode fibers.《Optical Fiber Technology》.2017,第36卷
He Wen等.Few-mode fibre-optic microwave photonic links.《nature》.2017,
审查员 黎进

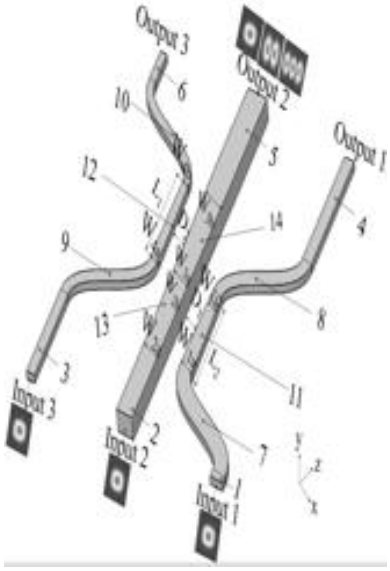
权利要求书2页 说明书9页 附图5页

(54)发明名称

一种基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器

(57)摘要

本发明提出一种基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器,其包括输入直波导,少模锥形波导,单模锥形波导,S形弯曲波导和输出直波导,S形弯曲波导用于波导靠近和分离,当基模分别从三个输入直波导输入沿S形弯曲波导经过单模锥形波导时,通过少模锥形波导和单模锥形波导的模式演化,分别以二阶模、基模和三阶模在少模锥形波导中传输,从而实现三模式的复用。该复用器优点是具有高模式转换效率,低额外损耗和大带宽,有望应用于板级光互连中的模分复用系统。



CN 113311537 B

1.一种基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器，其包括第一输入直波导，第二输入直波导，第三输入直波导，第一少模锥形波导，第二少模锥形波导，第一单模锥形波导，第二单模锥形波导，第一S形弯曲波导，第二S形弯曲波导，第三S形弯曲波导，第四S形弯曲波导，第一输出直波导，第二输出直波导和第三输出直波导，所述的第一单模锥形波导、第一少模锥形波导、第二单模锥形波导和第二少模锥形波导分别具有小头端和大头端；所述的第一输入直波导宽度与第一S形弯曲波导宽度相等，所述的第一S形弯曲波导宽度与第一单模锥形大头端宽度相等，所述的第二S形弯曲波导宽度与第一单模锥形小头端宽度相等，所述的第一输出直波导宽度与第二S形弯曲波导宽度相等，所述的第二输入直波导宽度与第一少模锥形波导宽度小头宽度相等，所述的第一少模锥形波导大头宽度与第二少模锥形波导小头宽度相等，所述的第二少模锥形波导大头宽度与第二输出波导宽度相等，所述的第三输入直波导宽度与第三S形弯曲波导宽度相等，所述的第三S形弯曲波导宽度与第二单模锥形波导大头宽度相等，所述的第二单模锥形波导小头宽度与第四S形弯曲波导宽度相等，所述的第三输出波导宽度与第四S形弯曲波导宽度相等；所述的第一输入直波导高度，第一S形弯曲波导高度，第一单模锥形波导高度，第二S形弯曲波导高度，第一输出直波导高度，第三输入直波导高度，第三S形弯曲波导高度，第二单模锥形波导高度，第四S形弯曲波导高度和第三输出直波导高度相等，所述的第二输入直波导高度，第一少模锥形波导高度，第二少模锥形波导高度和第二输出直波导高度相等；所述的第一输入直波导的始端为所述的三模式复用器的第一输入端，所述的第一输入直波导的末端与所述的第一S形弯曲波导始端连接，所述的第一S形弯曲波导的末端与第一单模锥形波导的大头端连接，所述的第一单模锥形波导的小头端与第二S形弯曲波导的始端连接，所述的第二S形弯曲波导的末端与第一输出波导的始端连接，所述的第一输出波导的末端为所述三模式复用器的第一输出端，所述的第二输入波导的始端为所述的三模式复用器的第二输入端，所述的第二输入波导的末端与第一少模波导的小头端连接，所述的第一少模波导的大头端与第二少模波导的小头端连接，所述的第二少模波导的大头端与第二输出波导的始端连接，所述的第二输出波导的末端为所述三模式复用器的第二输出端，所述的第三输入波导的始端为所述的三模式复用器的第三输入端；所述的第三输入直波导的末端与所述的第三S形弯曲波导始端连接，所述的第三S形弯曲波导的末端与第二单模锥形波导的大头端连接，所述的第一单模锥形波导的小头端与第四S形弯曲波导的始端连接，所述的第四S形弯曲波导的末端与第三输出波导的始端连接，所述的第三输出波导的末端为所述三模式复用器的第三输出端；所述的第一单模锥形波导在第一少模锥形波导的右侧，所述的第一单模锥形波导与第一少模锥形波导间距离为2-4μm，所述的第一单模锥形波导与第一少模锥形波导长度相同，所述的第二单模锥形波导在第二少模锥形波导的左侧，所述的第二单模锥形波导与第二少模锥形波导的间距离为3-5μm，所述的第二单模锥形波导与第二少模锥形波导的长度相同；将所述的第一输入直波导宽度，第一S形弯曲波导宽度和第一单模锥形波导的大头端的宽度记为W_{1a}，将所述的第一单模锥形波导的小头端的宽度，第二S形弯曲波导宽度和第一输出直波导宽度记为W_{1b}，将所述的第二输入直波导宽度和第一少模锥形波导小头宽度记为W_{2a}，将所述的第一少模锥形波导大头宽度记为W_{2b}，将所述的第二少模锥形波导小头宽度记为W_{3a}，将所述的第二少模锥形波导大头宽度和第二输出直波导宽度记为W_{3b}，将所述的第三输入直波导宽度，第三S形弯曲波导宽度和第二单模锥形波导大头宽度记为W_{4a}，将第二单模锥形波导小头宽度，

第四S形弯曲波导宽度和第三输出直波导宽度记为W_{4b},$W_{3b}>W_{3a}>W_{2a}>W_{2b}>W_{1a}>W_{1b}>W_{4a}>W_{4b}$,所述的第一输入直波导高度,第一S形弯曲波导高度,第一单模锥形波导高度,第二S形弯曲波导高度,第一输出直波导高度,第三输入直波导高度,第三S形弯曲波导高度,第二单模锥形波导高度,第四S形弯曲波导高度和第三输出直波导高度记为H_1,所述的第二输入直波导高度,第一少模锥形波导高度,第二少模锥形波导高度和第二输出直波导高度记为H_2,所述的第一单模锥形波导小头端,所述的第一单模锥形波导大头端和所述的单模锥形波导的模式传播常数满足以下条件:$\beta_{1b}<\beta_1<\beta_{1a}$,其中,$\beta_1$为所述的第一单模锥形波导的基模传播常数,$\beta_{1b}$为宽度与第一单模锥形波导小头端宽度相等的直波导中基模传播常数,β_{1a}为宽度与第一单模锥形波导大头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数,所述的第二单模锥形波导小头端,所述的第二单模锥形波导大头端和所述的第二单模锥形波导的模式传播常数满足以下条件:$\beta_{4b}<\beta_2<\beta_{4a}$,其中,$\beta_2$为所述的第二单模锥形波导的基模的模式传播常数,$\beta_{4b}$为宽度与第二单模锥形波导小头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数,β_{4a}为宽度与第二单模锥形波导大头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数,所述的第一少模锥形波导大头端,第一少模锥形波导小头端和所述的第一少模锥形波导的模式传播常数满足以下条件:$\beta_{2a}<\beta_3<\beta_{2b}$,其中,$\beta_3$为所述的第一少模锥形波导的基模的模式传播常数,$\beta_{2a}$为宽度与第一少模锥形波导小头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数,β_{2b}为宽度与第一少模锥形波导大头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数,所述的第二少模锥形波导大头端,第二少模锥形波导小头端和所述的第二少模锥形波导的模式传播常数满足以下条件:$\beta_{3a}<\beta_4<\beta_{3b}$,其中,$\beta_4$为所述的第二少模锥形波导的基模的模式传播常数,$\beta_{3a}$为宽度与第二少模锥形波导小头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数,β_{3b}为宽度与第二少模锥形波导大头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数。

2.根据权利要求1所述的一种基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器,其特征在于第一单模锥形波导与第一少模锥形波导之间的距离为2.5μm,第二单模锥形波导与第二少模锥形波导之间的距离为3.5μm,所述的第一单模锥形波导大头端宽度为9μm,所述的第一单模锥形波导小头端宽度为8μm,第一少模锥形波导小头端宽度为10.5μm,所述的第一少模锥形波导大头端宽度为11.5μm,所述的第二单模锥形波导大头端宽度为4.6μm,所述的第二单模锥形波导小头端宽度为2.6μm,所述的第一输入直波导高度,第一S形弯曲波导高度,第一单模锥形波导高度,第二S形弯曲波导高度,第一输出直波导高度,第三输入直波导高度,第三S形弯曲波导高度,第二单模锥形波导高度,第四S形弯曲波导高度和第三输出直波导高度为4μm,所述的第二输入直波导高度,第一少模锥形波导高度,第二少模锥形波导高度和第二输出直波导高度为8μm。

3.根据权利要求1所述的一种基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器,其特征在于所述的聚合物三模式复用器在1550nm波长处包层材料为EpoClad,其折射率为1.5631,芯层材料为EpoCore,其折射率为1.5752。

一种基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种模式复用器，特别涉及一种基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器。

背景技术

[0002] 随着板上电子系统大容量数据传输需求的不断增加，模块间大容量、高性能的信息传输成为关键挑战之一。模分复用(MDM)技术可以有效地扩展传输通道的数据容量，是实现板级大容量信息传输的有前途的方法。模式复用器/解复用器是模分复用系统中的关键组件。目前，已经提出了基不同结构的模式(解)复用器，包括非对称Y分支，多模干涉(MMI)，定向耦合(DC)，多模光栅和绝热模式演化等。基于级联非对称Y分支波导模式复用器是通过控制Y分支臂的尺寸大小来实现基本模式和高阶模式之间的模式转换。这些结构需要进一步改进制造工艺以最小化模式串扰和损耗。基于多模干涉的模式(解)复用器可以提供较小的占位面积，较宽的带宽和较低的损耗，但这种设计比较复杂并且其制造公差很小。根据传统的定向耦合原理，提出的基于平面定向耦合和非平面定向耦合的模式复用器分别可实现垂直方向上对称和非对称模式之间的耦合。然而，基于定向耦合或非对称定向耦合的模式复用器需要在精确的相位匹配条件下运行，因此其性能对尺寸变化敏感。锥形耦合器由于其宽松的制造公差和较宽的工作带宽成为潜在的选择。目前许多模式(解)复用器多适用于片上光通信。应用于板级光互连的模式多路复用器尚未得到广泛的研究。多模聚合物波导由于其可以直接集成到传统的PCB中并具有宽松的对准公差成为板级光学互连的一种优异的传输介质，被广泛应用于波导器件的设计与制备。最近，已提出的几种可应用于板级光互连的聚合物模式复用器实现了基模与二阶模式的模式转换与复用，但它们基于精确的尺寸设计，包括波导尺寸和波导相对位置，因而在器件制备上具有一定的复杂性和难度。基于绝热模式演化原理的模式复用器是一种受欢迎的解决方案，因为其可提供一定的制备容限。更多的模式转换和多路复用有待被研究以用于板上光互连的大容量传输。因此，应用于板级光互连的高性能聚合物模式复用器研究具有重要意义。

发明内容

[0003] 为了解决上述问题，本发明提出一种基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器，其包括第一输入直波导，第二输入直波导，第三输入直波导，第一少模锥形波导，第二少模锥形波导，第一单模锥形波导，第二单模锥形波导，第一S形弯曲波导，第二S形弯曲波导，第三S形弯曲波导，第四S形弯曲波导，第一输出直波导，第二输出直波导和第三输出直波导。所述的第一少模锥形波导，第二少模锥形波导，第一单模锥形波导，第二单模锥形波导分别具有小头端和大头端；所述的第一输入直波导宽度与第一S形弯曲波导宽度相等，所述的第一S形弯曲波导宽度与第一单模锥形波导大头端宽度相等，所述的第二S形弯曲波导宽度与第一单模锥形波导小头端宽度相等，所述的第一输出直波导宽度与第二S形弯曲波导宽度相等，所述的第二输入直波导宽度与第一少模锥形波导宽度小头宽度相等，所述的第

一少模锥形波导大头宽度与第二少模锥形波导小头宽度相等，所述的第二少模锥形波导大头宽度与第二输出波导宽度相等，所述的第三输入直波导宽度与第三S形弯曲波导宽度相等，所述的第三S形弯曲波导宽度与第二单模锥形波导大头宽度相等，所述的第二单模锥形波导小头宽度与第四S形弯曲波导宽度相等，所述的第三输出波导宽度与第四S形弯曲波导宽度相等；所述的第一输入直波导高度，第一S形弯曲波导高度，第一单模锥形波导高度，第二S形弯曲波导高度，第一输出直波导高度，第三输入直波导高度，第三S形弯曲波导高度，第二单模锥形波导高度，第四S形弯曲波导高度和第三输出直波导高度相等，所述的第二输入直波导高度，第一少模锥形波导高度，第二少模锥形波导高度和第二输出直波导高度相等，所述的第一输入波导的始端为所述的三模式复用器的第一输入端，所述的第一输入直波导的末端与所述的第一S形弯曲波导始端连接，所述的第一S形弯曲波导的末端与第一单模锥形波导的大头端连接，所述的第一单模锥形波导的小头端与第二S形弯曲波导的始端连接，所述的第二S形弯曲波导的末端与第一输出波导的始端连接，所述的第一输出波导的末端为所述三模式复用器的第一输出端，所述的第二输入波导的始端为所述的三模式复用器的第二输入端，所述的第二输入波导的末端与第一少模波导的小头端连接，所述的第一少模波导的大头端与第二少模波导的小头端连接，所述的第二少模波导的大头端与第二输出波导的始端连接，所述的第二输出波导的末端为所述三模式复用器的第二输出端，所述的第三输入波导的始端为所述的三模式复用器的第三输入端；所述的第三输入直波导的末端与所述的第三S形弯曲波导始端连接，所述的第三S形弯曲波导的末端与第二单模锥形波导的大头端连接，所述的第一单模锥形波导的小头端与第四S形弯曲波导的始端连接，所述的第四S形弯曲波导的末端与第三输出波导的始端连接，所述的第三输出波导的末端为所述三模式复用器的第三输出端。所述的第一单模锥形波导在第一少模锥形波导的右侧，所述的第一单模锥形波导与第一少模锥形波导的间距离为2-4μm，所述的第二单模锥形波导在第二少模锥形波导的左侧，所述的第二单模锥形波导与第二少模锥形波导间距离为3-5μm；将所述的第一输入直波导宽度，第一S形弯曲波导宽度和第一单模锥形波导的大头端的宽度记为W_{1a}，将所述的第一单模锥形波导的小头端的宽度，第二S形弯曲波导宽度和第一输出直波导宽度记为W_{1b}，将所述的第二输入直波导宽度和第一少模锥形波导小头宽度记为W_{2a}，将所述的第一少模锥形波导大头宽度记为W_{2b}，将所述的第二少模锥形波导小头宽度记为W_{3a}，将所述的第二少模锥形波导大头宽度和第二输出直波导宽度记为W_{3b}，将所述的第三输入直波导宽度，第三S形弯曲波导宽度和第二单模锥形波导大头宽度记为W_{4a}，将第二单模锥形波导小头宽度，第四S形弯曲波导宽度和第三输出直波导宽度记为W_{4b}，$W_{3b}>W_{3a}>W_{2a}>W_{2b}>W_{1a}>W_{1b}>W_{4a}>W_{4b}$，所述的第一输入直波导高度，第一S形弯曲波导高度，第一单模锥形波导高度，第二S形弯曲波导高度，第一输出直波导高度，第三输入直波导高度，第三S形弯曲波导高度，第二单模锥形波导高度，第四S形弯曲波导高度和第三输出直波导高度记为H_1，所述的第二输入直波导高度，第一少模锥形波导高度，第二少模锥形波导高度和第二输出直波导高度记为H_2，所述的第一单模锥形波导小头端，所述的第一单模锥形波导大头端和所述的单模锥形波导的模式传播常数满足以下条件：$\beta_{1b}<\beta_1<\beta_{1a}$，其中，$\beta_1$为所述的第一单模锥形波导的基模的模式传播常数，$\beta_{1b}$为宽度与第一单模锥形波导小头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，β_{1a}为宽度与第一单模锥形波导大头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，所述的第二单模锥形波导小头端，所述的第二单模锥形波导大头端和所

述的第二单模锥形波导的模式传播常数满足以下条件：$\beta_{4b}<\beta_2<\beta_{4a}$，其中，$\beta_2$为所述的第二单模锥形波导的基模的模式传播常数，$\beta_{4b}$为宽度与第二单模锥形波导小头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，β_{4a}为宽度与第二单模锥形波导大头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，所述的第一少模锥形波导大头端和所述的第一少模锥形波导的模式传播常数满足以下条件：$\beta_{2a}<\beta_3<\beta_{2b}$，其中，$\beta_3$为所述的第一少模锥形波导的基模的模式传播常数，$\beta_{2a}$为宽度与第一少模锥形波导小头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，β_{2b}为宽度与第一少模锥形波导大头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，所述的第二少模锥形波导大头端和所述的第二少模锥形波导的模式传播常数满足以下条件：$\beta_{3a}<\beta_4<\beta_{3b}$，其中，$\beta_4$为所述的第二少模锥形波导的基模的模式传播常数，$\beta_{3a}$为宽度与第二少模锥形波导小头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，β_{3b}为宽度与第二少模锥形波导大头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数。

[0004] 所述的聚合物三模式复用器在1550nm波长处包层材料为EpoClad，其折射率为1.5631，芯层材料为EpoCore，其折射率为1.5752。所述的第一单模锥形波导与第一少模锥形波导之间的距离为2-4μm，所述的第二单模锥形波导与第二少模锥形波导之间得距离为3-5μm，所述的第一单模锥形波导大头端宽度为9μm，所述的第一单模锥形波导小头端宽度为8μm，第一少模锥形波导小头端宽度为10.5μm，所述的第一少模锥形波导大头端宽度为11.5μm，所述的第二单模锥形波导大头端宽度为4.6μm，所述的第二单模锥形波导小头端宽度为2.6μm，所述的第一输入直波导高度，第一S形弯曲波导高度，第一单模锥形波导高度，第二S形弯曲波导高度，第一输出直波导高度，第三输入直波导高度，第三S形弯曲波导高度，第二单模锥形波导高度，第四S形弯曲波导高度和第三输出直波导高度为4μm，所述的第二输入直波导高度，第一少模锥形波导高度，第二少模锥形波导高度和第二输出直波导高度为8μm。所述的第一单模锥形波导长度和第一少模锥形波导长度为2.1mm，所述的第二单模锥形波导长度和第二少模锥形波导长度为4.5mm。该结构使三模式复用器中各部件的参数配置实现良好的性能，具有高模式转换效率，低额外损耗和大带宽。

[0005] 与现有技术相比，本发明的基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器的优点在于通过第一输入直波导，第二输入直波导，第三输入直波导，第一少模锥形波导，第二少模锥形波导，第一单模锥形波导，第二单模锥形波导，第一S形弯曲波导，第二S形弯曲波导，第三S形弯曲波导，第四S形弯曲波导，第一输出直波导，第二输出直波导和第三输出直波导构成三模式复用器，所述的第一少模锥形波导，第二少模锥形波导，第一单模锥形波导，第二单模锥形波导分别具有小头端和大头端；所述的第一输入直波导宽度与第一S形弯曲波导宽度相等，所述的第一S形弯曲波导宽度与第一单模锥形波导大头端宽度相等，所述的第二S形弯曲波导宽度与第一单模锥形波导小头端宽度相等，所述的第一输出直波导宽度与第二S形弯曲波导宽度相等，所述的第二输入直波导宽度与第一少模锥形波导小头宽度相等，所述的第一少模锥形波导大头宽度与第二少模锥形波导小头宽度相等，所述的第二少模锥形波导大头宽度与第二输出波导宽度相等，所述的第三输入直波导宽度与第三S形弯曲波导宽度相等，所述的第三S形弯曲波导宽度与第二单模锥形波导大头宽度相等，所述的第二单模锥形波导小头宽度与第四S形弯曲波导宽度相等，所述的第三输出波导宽度与第四S形弯曲波导宽度相等；所述的第一输入直波导高度，第一S形弯曲波导高度，第一单模锥形波导高度，第二S形弯曲波导高度，第一输出直波导高度，第三输入直波导高度，第三S形弯曲

波导高度，第二单模锥形波导高度，第四S形弯曲波导高度和第三输出直波导高度相等，所述的第二输入直波导高度，第一少模锥形波导高度，第二少模锥形波导高度和第二输出直波导高度相等，所述的第一输入波导的始端为所述的三模式复用器的第一输入端，所述的第一输入直波导的末端与所述的第一S形弯曲波导始端连接，所述的第一S形弯曲波导的末端与第一单模锥形波导的大头端连接，所述的第一单模锥形波导的小头端与第二S形弯曲波导的始端连接，所述的第二S形弯曲波导的末端与第一输出波导的始端连接，所述的第一输出波导的末端为所述三模式复用器的第一输出端，所述的第二输入波导的始端为所述的三模式复用器的第二输入端，所述的第二输入波导的末端与第一少模波导的小头端连接，所述的第一少模波导的大头端与第二少模波导的小头端连接，所述的第二少模波导的大头端与第二输出波导的始端连接，所述的第二输出波导的末端为所述三模式复用器的第二输出端，所述的第三输入波导的始端为所述的三模式复用器的第三输入端；所述的第三输入直波导的末端与所述的第三S形弯曲波导始端连接，所述的第三S形弯曲波导的末端与第二单模锥形波导的大头端连接，所述的第一单模锥形波导的小头端与第四S形弯曲波导的始端连接，所述的第四S形弯曲波导的末端与第三输出波导的始端连接，所述的第三输出波导的末端为所述三模式复用器的第三输出端。所述的第一单模锥形波导在第一少模锥形波导的右侧，所述的第一单模锥形波导与第一少模锥形波导的间距离为2-4μm，所述的第二单模锥形波导在第二少模锥形波导的左侧，所述的第二单模锥形波导与第二少模锥形波导间距离为3-5μm；将所述的第一输入直波导宽度，第一S形弯曲波导宽度和第一单模锥形波导的大头端的宽度记为W_{1a}，将所述的第一单模锥形波导的小头端的宽度，第二S形弯曲波导宽度和第一输出直波导宽度记为W_{1b}，将所述的第二输入直波导宽度和第一少模锥形波导小头宽度记为W_{2a}，将所述的第一少模锥形波导大头宽度记为W_{2b}，将所述的第二少模锥形波导小头宽度记为W_{3a}，将所述的第二少模锥形波导大头宽度和第二输出直波导宽度记为W_{3b}，将所述的第三输入直波导宽度，第三S形弯曲波导宽度和第二单模锥形波导大头宽度记为W_{4a}，将第二单模锥形波导小头宽度，第四S形弯曲波导宽度和第三输出直波导宽度记为W_{4b}，$W_{3b}>W_{3a}>W_{2a}>W_{2b}>W_{1a}>W_{1b}>W_{4a}>W_{4b}$，所述的第一输入直波导高度，第一S形弯曲波导高度，第一单模锥形波导高度，第二S形弯曲波导高度，第一输出直波导高度，第三输入直波导高度，第三S形弯曲波导高度，第二单模锥形波导高度，第四S形弯曲波导高度和第三输出直波导高度记为H_1，所述的第二输入直波导高度，第一少模锥形波导高度，第二少模锥形波导高度和第二输出直波导高度记为H_2，所述的第一单模锥形波导小头端，所述的第一单模锥形波导大头端和所述的单模锥形波导的模式传播常数满足以下条件：$\beta_{1b}<\beta_1<\beta_{1a}$，其中，$\beta_1$为所述的第一单模锥形波导的基模的模式传播常数，$\beta_{1b}$为宽度与第一单模锥形波导小头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，β_{1a}为宽度与第一单模锥形波导大头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，所述的第二单模锥形波导小头端，所述的第二单模锥形波导大头端和所述的第二单模锥形波导的模式传播常数满足以下条件：$\beta_{4b}<\beta_2<\beta_{4a}$，其中，$\beta_2$为所述的第二单模锥形波导的基模的模式传播常数，$\beta_{4b}$为宽度与第二单模锥形波导小头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，β_{4a}为宽度与第二单模锥形波导大头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，所述的第一少模锥形波导大头端和所述的第一少模锥形波导的模式传播常数满足以下条件：$\beta_{2a}<\beta_3<\beta_{2b}$，其中，$\beta_3$为所述的第一少模锥形波导的基模的模式传播常数，$\beta_{2a}$为宽度与第一少模锥形波导小头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，

β_{2b}为宽度与第一少模锥形波导大头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，所述的第二少模锥形波导大头端和所述的第二少模锥形波导的模式传播常数满足以下条件：$\beta_{3a}<\beta_4<\beta_{3b}$，其中，$\beta_4$为所述的第二少模锥形波导的基模的模式传播常数，$\beta_{3a}$为宽度与第二少模锥形波导小头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，β_{3b}为宽度与第二少模锥形波导大头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数。

[0006] 当基模从第一输入直波导输入，则该模式沿着第一S形弯曲波导经过第一单模锥形波导耦合，激励并转化成第一少模锥形波导中的二阶模式并沿着第二少模锥形波导和第二输出直波导输出，当基模从第三输入直波导输入，则该模式沿着第三S形弯曲波导经过第二单模锥形波导耦合，激励并转化成第二少模锥形波导中的三阶模式并沿着第二少模锥形波导和第二输出直波导输出，当基模从第二输入直波导输入，该模式沿着第一少模锥形波导，第二少模锥形波导和第二输出波导传输。由此本发明的基于级联锥形耦合器的模式复用器工作特性完美。具有高模式转换效率，低额外损耗和大带宽等特性，有望应用于板级光互连中的模分复用系统，可以实现基模从第一输入直波导输入沿第一S弯曲波导后经过第一单模锥形波导并耦合转化为二阶模式在第一少模锥形波导，第二少模锥形波导和第二输出直波导传输，可以实现基模从第二输入直波导输入后沿第一少模锥形波导，第二少模锥形波导和第二输出波导输出，以及可以实现基模从第三输入直波导输入后沿着第三S弯曲波导经过第二单模锥形波导并耦合转化为三阶模式在第一少模锥形波导，第二少模锥形波导和第二输出直波导传输，在实际器件制备过程中具有可控性。

[0007] 附图说明：

[0008] 图1为本发明的基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器的结构图。

[0009] 图2为本发明的基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器当光从第一输入直波导1输入时的模式传输图。

[0010] 图3为本发明的基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器当光从第二输入直波导2输入时的模式传输图。

[0011] 图4为本发明的基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器当光从第三输入直波导3输入时的模式传输图。

[0012] 图5为本发明的基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器，基模与二阶模间转换效率及输出功率随锥形波导长度变化的关系图。

[0013] 图6为本发明的基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器，基模与三阶模间转换效率及输出功率随锥形波导长度变化的关系图。

[0014] 图7为本发明的基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器，基模与二阶模间转换效率及额外损耗随工作波长变化的关系图。

[0015] 图8为本发明的基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器，基模与三阶模间转换效率及额外损耗随工作波长变化的关系图。

[0016] 具体实施方式：

[0017] 本发明公开了一种基于级联锥形耦合器的三模式复用器，以下结合附图实施例对本发明的基于级联锥形耦合器的三模式复用器作进一步描述。

[0018] 如图1所示，一种基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器，包括第一输入直波导1，第二输入直波导2，第三输入直波导3，第一输出直波导4，第二输出直波导5和第三输出

直波导6，第一S形弯曲波导7，第二S形弯曲波导8，第三S形弯曲波导9，第四S形弯曲波导10，第一单模锥形波导11，第二单模锥形波导12，第一少模锥形波导13，第二少模锥形波导14。第一单模锥形波导11，第二单模锥形波导12，第一少模锥形波导13，第二少模锥形波导14分别具有小头端和大头端；第一输入直波导宽度1与第一S形弯曲波导7宽度相等，第一S形弯曲波导7宽度与第一单模锥形波导11大头端宽度相等，第二S形弯曲波导8宽度与第一单模锥形波导11小头端宽度相等，第一输出直波导4宽度与第二S形弯曲波导8宽度相等，第二输入直波导2宽度与第一少模锥形波导13宽度小头宽度相等，第一少模锥形波导13大头宽度与第二少模锥形波导14小头宽度相等，第二少模锥形波导14大头宽度与第二输出波导5宽度相等，第三输入直波导3宽度与第三S形弯曲波导9宽度相等，第三S形弯曲波导9宽度与第二单模锥形波导12大头宽度相等，第二单模锥形波导12小头宽度与第四S形弯曲波导10宽度相等，第三输出波导6宽度与第四S形弯曲波导10宽度相等。第一输入直波导1高度，第一S形弯曲波导7高度，第一单模锥形波导11高度，第二S形弯曲波导8高度，第一输出直波导4高度，第三输入直波导3高度，第三S形弯曲波导9高度，第二单模锥形波导12高度，第四S形弯曲波导10高度和第三输出直波导6高度相等，第二输入直波导2高度，第一少模锥形波导13高度，第二少模锥形波导14高度和第二输出直波导5高度相等，所述的第一输入波导1的始端为所述的三模式复用器的第一输入端，第一输入直波导1的末端与所述的第一S形弯曲波导7始端连接，所述的第一S形弯曲波导7的末端与第一单模锥形波导11的大头端连接，所述的第一单模锥形波导11的小头端与第二S形弯曲波导8的始端连接，8第二S形弯曲波导8的末端与第一输出波导4的始端连接，第一输出波导4的末端为所述三模式复用器的第一输出端，第二输入波导2的始端为所述的三模式复用器的第二输入端，第二输入波导2的末端与第一少模波导13的小头端连接，第一少模波导13的大头端与第二少模波导14的小头端连接，第二少模波导14的大头端与第二输出波导5的始端连接，第二输出波导15的末端为所述三模式复用器的第二输出端，第三输入波导3的始端为所述的三模式复用器的第三输入端；第三输入直波导3的末端与第三S形弯曲波导9始端连接，第三S形弯曲波导9的末端与第二单模锥形波导12的大头端连接，第一单模锥形波导11的小头端与第四S形弯曲波导10的始端连接，所述的第四S形弯曲波导10的末端与第三输出波导6的始端连接，第三输出波导6的末端为所述三模式复用器的第三输出端。第一单模锥形波导11在第一少模锥形波导13的右侧，第一单模锥形波导11与第一少模锥形波导13间距离为2-4μm，第二单模锥形波导12在第二少模锥形波导14的左侧，第二单模锥形波导12与第二少模锥形波导14间距离为3-5μm；第一输入直波导1宽度，第一S形弯曲波导7宽度和第一单模锥形波导11的大头端的宽度记为W_{1a}，将第一单模锥形波导11的小头端的宽度，第二S形弯曲波导8宽度和第一输出直波导3宽度记为W_{1b}，将第二输入直波导2宽度和第一少模锥形波导13小头宽度记为W_{2a}，将第一少模锥形波导13大头宽度记为W_{2b}，将第二少模锥形波导14小头宽度记为W_{3a}，将第二少模锥形波导14大头宽度和第二输出直波导5宽度记为W_{3b}，将第三输入直波导3宽度，第三S形弯曲波导9宽度和第二单模锥形波导12大头宽度记为W_{4a}，将第二单模锥形波导12小头宽度，第四S形弯曲波导10宽度和第三输出直波导6宽度记为W_{4b}，$W_{3b}>W_{3a}>W_{2a}>W_{2b}>W_{1a}>W_{1b}>W_{4a}>W_{4b}$，第一输入直波导1高度，第一S形弯曲波导7高度，第一单模锥形波导11高度，第二S形弯曲波导8高度，第一输出直波导4高度，第三输入直波导3高度，第三S形弯曲波导9高度，第二单模锥形波导12高度，第四S形弯曲波导10高度和第三输出直波导6高度记为H_1，第二输入直波

导2高度，第一少模锥形波导13高度，第二少模锥形波导14高度和第二输出直波导5高度记为H_2，第一单模锥形波导11小头端，第一单模锥形波导11大头端和单模锥形波导11的模式传播常数满足以下条件：$\beta_{1b}<\beta_1<\beta_{1a}$，其中，$\beta_1$为所述的第一单模锥形波导11的基模的模式传播常数，β_{1b}为宽度与第一单模锥形波导11小头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，β_{1a}为宽度与第一单模锥形波导11大头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，第二单模锥形波导12小头端，第二单模锥形波导12大头端和第二单模锥形波导12的模式传播常数满足以下条件：$\beta_{4b}<\beta_2<\beta_{4a}$，其中，$\beta_2$为所述的第二单模锥形波导12的基模的模式传播常数，β_{4b}为宽度与第二单模锥形波导12小头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，β_{4a}为宽度与第二单模锥形波导12大头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，所述的第一少模锥形波导13大头端和所述的第一少模锥形波导13的模式传播常数满足以下条件：$\beta_{2a}<\beta_3<\beta_{2b}$，其中，$\beta_3$为所述的第一少模锥形波导13的基模的模式传播常数，β_{2a}为宽度与第一少模锥形波导13小头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，β_{2b}为宽度与第一少模锥形波导13大头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，所述的第一少模锥形波导13大头端和所述的第一少模锥形波导13的模式传播常数满足以下条件：$\beta_{3a}<\beta_4<\beta_{3b}$，其中，$\beta_4$为所述的第二少模锥形波导14的基模的模式传播常数，β_{3a}为宽度与第二少模锥形波导14小头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数，β_{3b}为宽度与第二少模锥形波导14大头端宽度相等的直波导中基模的模式传播常数。

[0019] 本实施例中，第一单模锥形波导11与第一少模锥形波导13之间的距离为2.5μm，第二单模锥形波导12与第二少模锥形波导14之间的距离为2.5μm，第一单模锥形波导11大头端宽度为9μm，第一单模锥形波导11小头端宽度为8μm，第一少模锥形波导13小头端宽度为10.5μm，第一少模锥形波导13大头端宽度为11.5μm，第二单模锥形波导12大头端宽度为4.6μm，第二单模锥形波导12小头端宽度为2.6μm，第一输入直波导1高度，第一S形弯曲波导7高度，第一单模锥形波导11高度，第二S形弯曲波导8高度，第一输出直波导4高度，第三输入直波导3高度，第三S形弯曲波导9高度，第二单模锥形波导12高度，第四S形弯曲波导10高度和第三输出直波导6高度为4μm，第二输入直波导2高度，第一少模锥形波导13高度，第二少模锥形波导14高度和第二输出直波导5高度为8μm。第一单模锥形波导11长度和第一少模锥形波导13长度为2.1mm，第二单模锥形波导12长度和第二少模锥形波导14长度为4.5mm。

[0020] 本发明的基于级联锥形耦合器的三模式复用器在工作波长为1550nm条件下，三模式传输图如图2所示。分析图2可知，当基模从第一输入直波导1输入，则该模式沿着第一S形弯曲波导7经过第一单模锥形波导11耦合，激励并转化成第一少模锥形波导13中的二阶模式并沿着第一少模锥形波导13，第二少模锥形波导14和第二输出直波导5输出，当基模从第三输入直波导2输入，则该模式沿着第三S形弯曲波导8经过第二单模锥形波导12耦合，激励并转化成第二少模锥形波导14中的三阶模式并沿着第二少模锥形波导14和第二输出直波导5输出，当基模从第二输入直波导2输入，该模式沿着第一少模锥形波导13，第二少模锥形波导14和第二输出波导5输出。由此可知本发明的基于级联锥形耦合器的模式复用器工作特性完美吻合预期设计效果。

[0021] 本发明的基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器在工作波长1550nm下，第一单模锥形波导与第一少模锥形波导间距离为2.5μm，当基模在输入直波导1输入沿第一S弯曲波导7和第一单模锥形波导11，耦合转换为第一少模锥形波导13中的二阶模时的转换效

率及第一输出波导4末端和第二输出波导5末端的模式功率随着第一锥形波导11和第一少模锥形波导13长度的变换关系，如图3所示。图3中，“实心圆形”连线表示在不同锥形波导长度下，当基模在输入直波导1输入沿第一S弯曲波导7和第一单模锥形波导11耦合转换为第一少模锥形波导13中的二阶模时的转换效率，“右实心三角形”连线表示在不同锥形波导长度下，基模从输入直波导1输入沿第一S弯曲波导7和第一单模锥形波导11耦合转换为第一少模锥形波导13中的二阶模在第二输出波导5末端的功率，“左实心三角形”连线表示在不同锥形波导长度下，基模从输入直波导1输入沿第一S弯曲波导7和第一单模锥形波导11耦合转换为第一少模锥形波导13中的二阶模后，在第一输出波导4末端检测到的基模功率。由图看出，锥形波导长度为2.1mm时，基模与二阶模式间转换效率为0.9996，在输出波导1末端检测的基模功率为-34.28 dB，在输出波导12末端检测的二阶模功率为-0.14 dB，这意味着从输入直波导1入射的基模通过锥形耦合区域几乎完全转换为二阶模式并在少模锥形波导中传输。

[0022] 本发明的基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器在工作波长1550nm下，第二单模锥形波导与第二少模锥形波导间距离为3.5μm，当基模在输入直波导3输入沿第三S弯曲波导9和第一单模锥形波导12，耦合转换为第二少模锥形波导14中的三阶模时的转换效率及第三输出波导6末端和第二输出波导5末端的模式功率随着第二锥形波导12和第二少模锥形波导14长度的变换关系，如图4所示。图4中，“实心圆形”连线表示在不同锥形波导长度下，当基模在输入直波导3输入沿第三S弯曲波导9和第二单模锥形波导12耦合转换为第二少模锥形波导14中的三阶模时的转换效率，“右实心三角形”连线表示在不同锥形波导长度下，基模从输入直波导3输入沿第三S弯曲波导9和第二单模锥形波导12耦合转换为第二少模锥形波导14中的二阶模在第二输出波导5末端的功率，“左实心三角形”连线表示在不同锥形波导长度下，基模从输入直波导3输入沿第三S弯曲波导9和第二单模锥形波导12耦合转换为第二少模锥形波导14中的三阶模后，在第三输出波导6末端检测到的基模功率。由图看出，锥形波导长度为4.5mm时，基模与三阶模式间转换效率为0.9998，在输出波导1末端检测的基模功率为-37.35 dB，在输出波导12末端检测的二阶模功率为-0.35 dB，这意味着从输入直波导3入射的基模通过锥形耦合区域几乎完全转换为三阶模模式并在少模锥形波导中传输。

[0023] 本发明的基于级联锥形耦合器的聚合物三模式复用器，第一单模锥形波导11和第一少模锥形波导13长度为2.1mm，第一单模锥形波导11与第一少模锥形波导13间距离为2.5μm，当基模在输入直波导1输入沿第一S弯曲波导7和第一单模锥形波导11，耦合转换为第一少模锥形波导13中的二阶模时的转换效率及额外损耗随波长的变化关系图如图5所示。图中，“实心圆形”连线表示在不同工作波长下，当基模在输入直波导1输入沿第一S弯曲波导7和第一单模锥形波导11耦合转换为第一少模锥形波导13中的二阶模时的转换效率，“上实心三角形”连线表示在不同工作波长下，当基模在输入直波导1输入沿第一S弯曲波导7和第一单模锥形波导11耦合转换为第一少模锥形波导13中的二阶模时的额外损耗，由图看出，当工作波长为1560nm时，基模与二阶模的转换效率为0.9997，在1530-1625nm波段内，基模经过锥形耦合区域后转化为二阶模的转换效率均大于0.91，额外损耗均小于0.15 dB，在1530-1595nm波段内，基模与二阶模的转换效率均大于0.97。当基模在输入直波导3输入沿第三S弯曲波导9和第一单模锥形波导12，耦合转换为第二少模锥形波导14中的三阶模时的

转换效率和额外损耗随波长的变化关系图如图6所示。图中，“实心圆形”连线表示在不同工作波长下，当基模在输入直波导3输入沿第三S弯曲波导9和第一单模锥形波导12耦合转换为第二少模锥形波导14中的三阶模时的转换效率，“上实心三角形”连线表示在不同工作波长下，当基模在输入直波导3输入沿第三S弯曲波导9和第二单模锥形波导12耦合转换为第二少模锥形波导14中的三阶模时的额外损耗，由图看出，当工作波长为1560nm时，基模与二阶模的转换效率为0.9998，在1530-1625nm波段内，基模经过锥形耦合区域后转化为二阶模的转换效率均大于0.97，额外损耗均小于0.55 dB。

[0024] 需要说明的是本发明有利于板级模分复用系统的设计以实现板级大容量信息传输。在光波导器件，板级光互连，光通信技术领域具有极好的潜力。

[0025] 以上所述，仅为本发明专利较佳的具体实施方式，但本发明专利的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明专利揭露的技术范围内，可轻易想到的变化或替换，都应涵盖在本发明专利的保护范围之内。

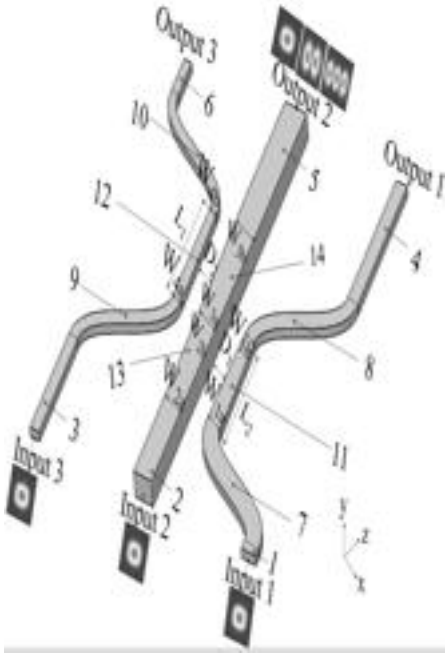

Output 3
Output 2
Output 1
Input 3
Input 2
Input 1
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14

图1

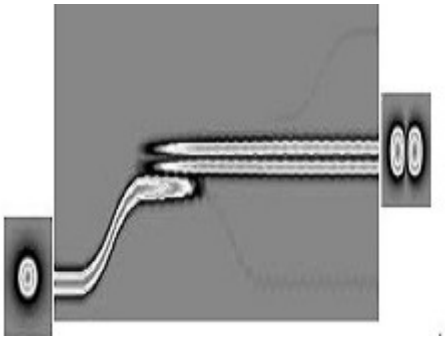


图2

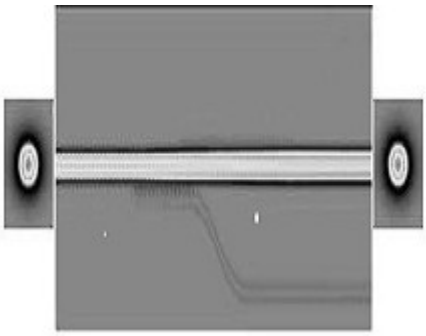


图3

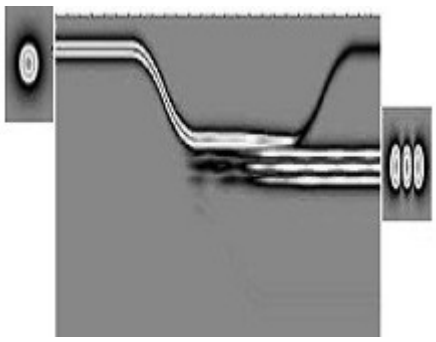


图4

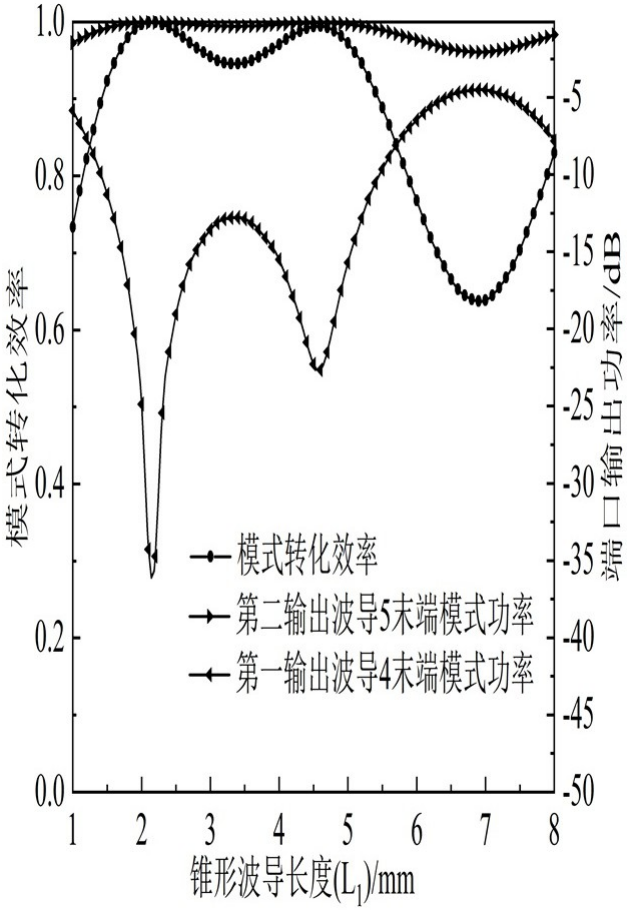

1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
模式转化效率
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
-50
端口输出功率/dB
模式转化效率
第二输出波导5末端模式功率
第一输出波导4末端模式功率
1
2
3
4
5
6
7
8
锥形波导长度(L1)/mm

图5

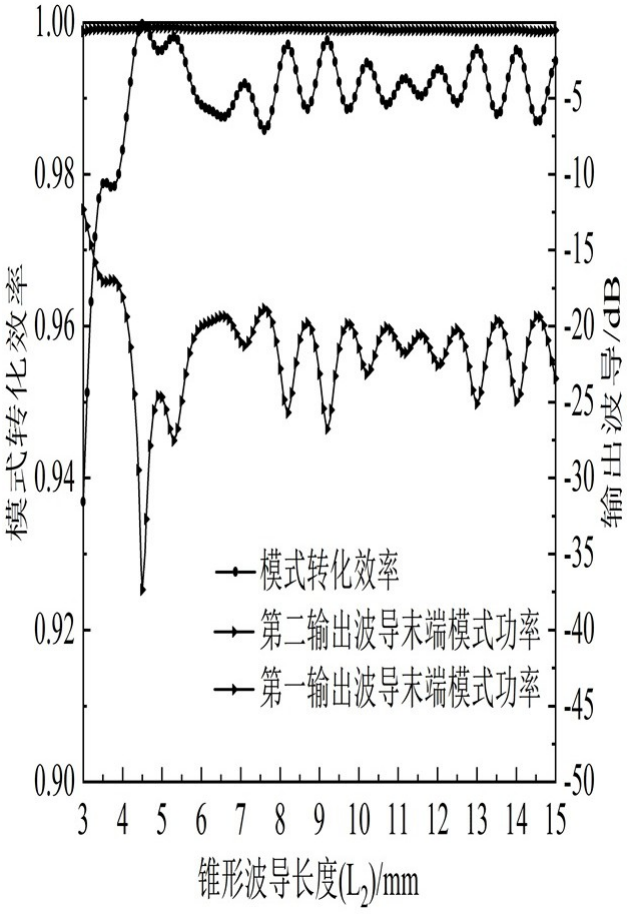

1.00
0.98
0.96
0.94
0.92
0.90
模式转化效率
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
-50
输出波导/dB
模式转化效率
第二输出波导末端模式功率
第一输出波导末端模式功率
3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
锥形波导长度(L2)/mm

图6

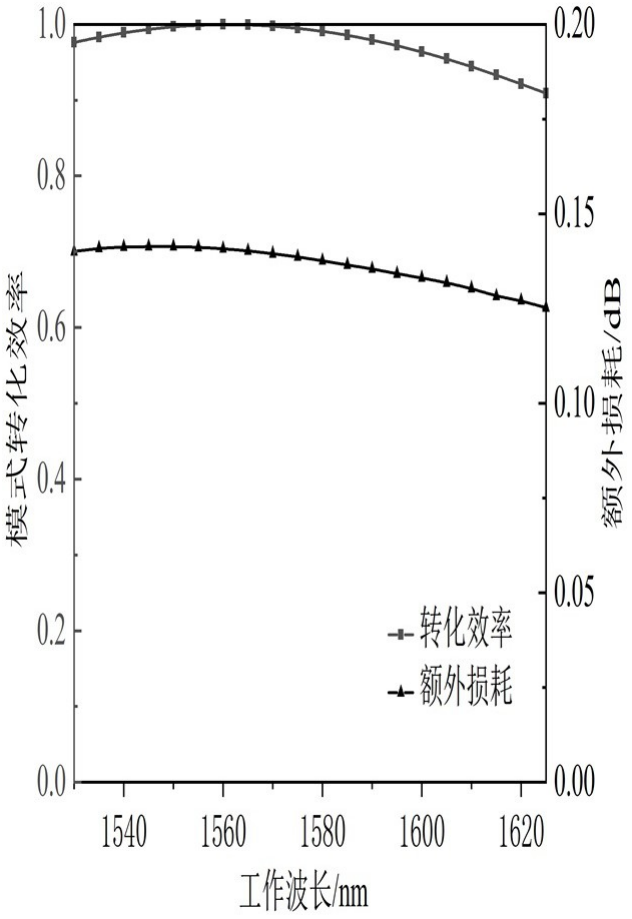

1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
模式转化效率
额外损耗/dB
转化效率
额外损耗
1540
1560
1580
1600
1620
工作波长/nm

图7

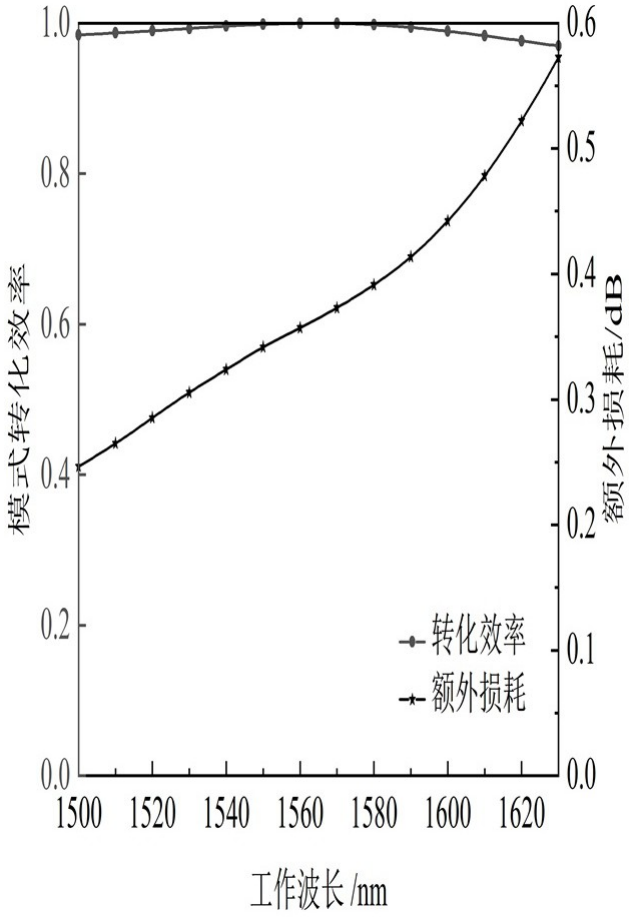

1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
模式转化效率
额外损耗/dB
转化效率
额外损耗
1500
1520
1540
1560
1580
1600
1620
工作波长/nm

图8