

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2022 年 1 月 20 日 (20.01.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/012434 A1

- (51) 国际专利分类号:
G02B 6/125 (2006.01) **G02B 6/122** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2021/105519
- (22) 国际申请日: 2021 年 7 月 9 日 (09.07.2021)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202010690095.X 2020 年 7 月 17 日 (17.07.2020) CN
- (71) 申请人: 南京大学(NANJING UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道 163 号, Jiangsu 210023 (CN)。
- (72) 发明人: 李涛(LI, Tao); 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道 163 号, Jiangsu 210023 (CN)。 宋

万鸽(SONG, Wange); 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道 163 号, Jiangsu 210023 (CN)。 祝世宁(ZHU, Shining); 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道 163 号, Jiangsu 210023 (CN)。

(74) 代理人: 北京方圆嘉禾知识产权代理有限公司(BEIJING FINELAND IP FIRM); 中国北京市海淀区彩和坊路 8 号 11 层 1104-2, Beijing 100080 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,

(54) Title: HIGH-DENSITY INTEGRATED OPTICAL WAVEGUIDE

(54) 发明名称: 一种高密度集成光波导

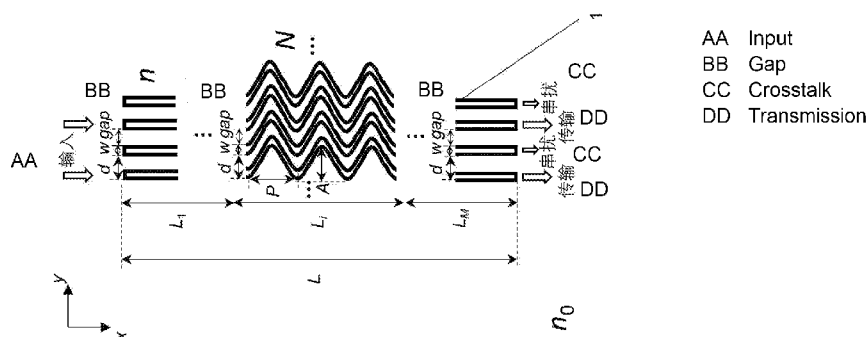


图 1

(57) Abstract: A high-density integrated optical waveguide. The optical waveguide is provided on a waveguide substrate, and comprises a plurality of curved waveguides; a rectangular coordinate system is established by using the curving direction of the curved waveguides as a y-axis and using a propagation direction of light as an x-axis; on the basis of the rectangular coordinate system, the curved waveguides are periodically curved in the propagation direction according to the curving direction; the plurality of curved waveguides are arranged in parallel in the y-axis direction, and the curved waveguides are perpendicular to the y-axis direction, so as to form a curved waveguide array; and an optical waveguide signal transmission function or an optical waveguide directional coupling function of the optical waveguide is achieved by adjusting a coefficient of coupling between the curved waveguides. Such an optical waveguide avoids sensitivity and dependency of parameters such as a gap between waveguides and wavelength in the condition of high-density integration, and thus has structural robustness and broadband characteristics.

(57) 摘要: 一种高密度集成光波导, 光波导设于波导衬底上, 包括: 多根弯曲波导; 以弯曲波导的弯曲方向为y轴, 以光的传播方向为x轴建立直角坐标系; 基于直角坐标系, 弯曲波导沿着传播方向在弯曲方向上周期性弯曲; 多根弯曲波导沿着y轴方向平行排列, 且弯曲波导与y轴方向相互垂直, 形成弯曲波导阵列; 通过调节弯曲波导之间的耦合系数实现光波导的光波导信号传输功能或者光波导定向耦合功能。这种光波导摆脱了高密度集成下对波导间距、波长等参数的敏感性和依赖性, 因此具有结构鲁棒性和宽带特性。

MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

一种高密度集成光波导

本申请要求于 2020 年 07 月 17 日提交中国专利局、申请号为 202010690095.X、发明名称为“一种高密度集成光波导”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本发明涉及集成光子领域，特别是涉及一种高密度集成光波导。

背景技术

随着现代物联网、大数据等行业的兴起，人类社会对更高速度、更大宽带网络容量、更强保密性等信息处理需求急剧增长，电学芯片显然到了瓶颈阶段。同理于集成电路的发展思路，将两个以上分立光学元件集成在一小片衬底上（厘米级以下），可形成实现某种功能的集成光学芯片系统，它由于具有高速，低功耗和高密度集成的优点而有望成为大容量，高速率信息系统的有希望的发展方向。

而绝缘体上硅（SOI）已经成为集成光子学中最广泛使用的平台之一，基于此，人们已经发展出了许多具有广泛应用的光子器件，例如波导，定向耦合器等。然而，高密度集成的芯片中，衍射极限的存在使得元件之间的串扰增强，从而限制了芯片集成度的进一步提升。另一方面，这些集成光子器件通常表现出对结构和波长的敏感性。因此，如何在高密度集成的芯片中，在宽波段内实现信号的无串扰传输以及宽带耦合，是当前芯片行业急需解决的问题。

关于低串扰传输，目前主要有两种手段，第一种是调控波导的宽度，增大模式的失配从而减小串扰，这种方法需要对波导的宽度进行设计；第二种是在波导之间插入若干个辅助小波导，通过减小波导模式宽度来减小串扰，由于辅助波导尺寸往往很小，对于大规模的加工来说也是一个挑战。关于宽带耦合，目前主流方案有两种，一种是引入马赫-曾德尔干涉仪的补偿过程，可以通过热效应，电光效应等来调节干涉仪的一个臂上的相位，以实现耦合距离的动态调制；然而，在大规模集成中，它非常耗电并且具有很大的技术难度，并且尺寸很大。另一种是采用绝热的设计，同样，这种方案的尺寸也很大。此外，还有其他几种方案，如利用表面等离子激元的设计，这种方案可以减小器件的尺寸，但是会引入较大的金属损耗。也可以采用非对称波导的设计，这种方案的损耗不大，尺寸也很小，但是对于带宽的提升却有限。最近，有报道基于使用局部

激光退火工艺可以实现可擦除的定向耦合器,它确实为按需制造提供了解决方案,然而,它将不可避免地引入更多的损耗并使整个加工过程更加繁琐。基于以上需求背景和技术现状可以看出,在目前集成芯片停留在直波导为主的设计范式下,在高密度集成、低串扰、高效率、鲁棒性、宽带这些重要性能指标上,某些性能的满足必然会牺牲掉其他一些性能,导致目前以直波导为主的集成芯片无法摆脱在高密度集成下对波导间距、波长等参数的敏感性和依赖性。如何同时实现高密度集成、低串扰、高效率、鲁棒性、宽带的集成器件,是集成光学技术领域研究人员长久以来追求的目标。

发明内容

本发明的目的是提供一种高密度集成光波导,以解决目前以直波导为主的集成芯片无法摆脱在高密度集成下对波导间距、波长等参数的敏感性和依赖性的问题。

为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

一种高密度集成光波导,所述光波导设于波导衬底上,包括:多根弯曲波导;

以所述弯曲波导的弯曲方向为 y 轴,以光的传播方向为 x 轴建立直角坐标系;且基于所述直角坐标系,所述弯曲波导沿着所述传播方向在所述弯曲方向上周期性弯曲;

多根弯曲波导沿着所述 y 轴方向平行排列,且所述弯曲波导与所述 y 轴方向相互垂直,形成弯曲波导阵列;通过调节所述弯曲波导之间的耦合系数实现所述光波导的光波导信号传输功能或者光波导定向耦合功能。

可选的,所述耦合系数根据所述弯曲波导的弯曲振幅、弯曲周期、入射光的入射波长、所述波导衬底的折射率以及所述弯曲波导的周期间隔进行调节。

可选的,所述耦合系数的表达式为: $c=c_0J_0(4\pi^2An_0d/P\lambda)$;

其中, c 为所述弯曲波导之间的耦合系数; c_0 为直波导之间的耦合系数, $c_0>0$, 所述直波导为第一直波导或第二直波导; A 为弯曲振幅; P 为弯曲周期; d 为波导排列的周期间隔, $d=w+gap$, w 为波导宽度, gap 为波导之间的间距; λ 为入射波长; n_0 为衬底折射率。

可选的,令 $J_0(4\pi^2An_0d/P\lambda)$ 小于 0, 所述耦合系数小于 0, 所述光波导还包括:第一直波导阵列以及第二直波导阵列;

所述第一直波导阵列包括沿着所述 y 轴平行排列的多根第一直波导;所述第二直波导阵列包括沿着所述 y 轴平行排列的多根第二直波导;所述第一直波

导之间的耦合系数等于所述第二直波导之间的耦合系数,且所述第一直波导之间的耦合系数以及所述第二直波导之间的耦合系数均大于0;

所述第一直波导阵列的输出端与所述弯曲波导阵列的输入端对接,所述弯曲波导阵列的输出端与所述第二直波导阵列的输入端对接,所述第一直波导阵列、所述弯曲波导阵列以及所述第二直波导阵列形成三级级联结构;所述入射光由所述第一直波导阵列的输入端进入所述三级级联结构,所述入射光在所述第一直波导阵列中由于耦合而发散,所述弯曲波导阵列由于负耦合将发散的光重新汇聚到所述第二直波导阵列,由于所述三级级联结构内的正耦合强度与所述负耦合强度相匹配,实现宽波段低串扰的光波导信号传输功能。

可选的,所述光波导包括多个所述三级级联结构;多个所述三级级联结构在x轴方向上平行排列。

可选的,令 $J_0(4\pi^2 An_0 d/P\lambda)$ 等于0,所述耦合系数等于0,入射光在所述弯曲波导阵列中传输,实现宽波段低串扰的光波导信号传输功能。

可选的,令 $J_0(4\pi^2 An_0 d/P\lambda)$ 小于0,所述耦合系数小于0,所述弯曲耦合阵列具体包括两根所述弯曲波导;两根所述弯曲波导沿y轴方向平行排列,实现宽波段的光波导定向耦合功能。

可选的,所述弯曲波导的周期性弯曲表达式为: $y(x)=A\cos(2\pi x/P+\varphi)$;

其中, $y(x)$ 为所述弯曲波导的周期性弯曲函数; A 为弯曲振幅; P 为弯曲周期; φ 为弯曲初相。

根据本发明提供的具体实施例,本发明公开了以下技术效果:本发明提供了一种高密度集成光波导,在波导衬底上设置多根弯曲波导,形成弯曲波导阵列,通过调节所述弯曲波导之间的耦合系数实现所述光波导的光波导信号传输功能或者光波导定向耦合功能。

本发明利用弯曲波导对于耦合的调控,实现了高密度集成下的宽带的低串扰传输和鲁棒性耦合,对结构偏差和波长变化表现出相当好的鲁棒性,提高了加工容错度,从而节约加工成本。

同时,本发明所提供的光波导在加工完成后不需要进一步进行调整和修正,从而避免了额外的能量消耗与损耗;与当前制造工艺完全兼容,不会带来额外的加工困难,易于大规模生产,对生产精度要求低。

说明书附图

为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是

本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图1为实现宽带低串扰光波导传输的级联正耦合直波导阵列和负耦合弯曲波导阵列的示意图；

图2为实现宽带低串扰光波导传输的零耦合弯曲波导阵列的示意图；

图3为实现宽带鲁棒性光波导定向耦合的负耦合弯曲波导示意图；

图4为 N 根波导的直波导阵列和 N 根波导的弯曲波导阵列的示意图；

图5为将两个直波导阵列和一个弯曲波导阵列级联在一起形成的三级级联结构示意图；

图6为弯曲波导的初相 $\varphi=0$ 和初相 $\varphi=\pi$ 两种情况下与直波导连接的示意图；

图7为级联结构在不同弯曲幅度 $A=0$ ， $A=0.74\mu\text{m}$ 的情况下，波导之间的耦合系数 c 随波长的变化关系图；

图8为级联结构中 $N=2$ 的情况下传输端口和串扰端口的传输效率随波长的变化关系图；

图9为级联结构中相应的不同波长下波导内光场的传播 $100\mu\text{m}$ 和 $200\mu\text{m}$ 的情况示意图；

图10为级联结构中 $N=7$ 的情况下，传输端口和串扰端口的传输效率随波长的变化关系图；

图11为级联结构中不同波长下相应的光场的传播 $100\mu\text{m}$ 的情况示意图；

图12为零耦合弯曲波导在弯曲幅度 $A=0.51\mu\text{m}$ 的情况下，波导之间的耦合系数 c 随波长的变化关系图；

图13为零耦合弯曲波导 $N=2$ 的情况下，传输端口和串扰端口的传输效率随波长的变化关系图；

图14为零耦合弯曲波导相应的不同波长下波导内光场的传播 $100\mu\text{m}$ 的情况示意图；

图15为零耦合弯曲波导 $N=7$ 的情况下，传输端口和串扰端口的传输效率随波长的变化关系图；

图16为零耦合弯曲波导不同波长下相应的光场的传播 $100\mu\text{m}$ 的情况示意图；

图17为在不同弯曲幅度 A 的情况下，波导之间的耦合系数 c 随波长的变化关系图；

图18为耦合度随波长的变化关系图；

图19为隔离度随波长的变化关系图；

图20为方向性随波长的变化关系图；

图21为直波导不同波长下波导内光场的传播情况示意图；

图22为弯曲波导不同波长下波导内光场的传播情况示意图；

图23为在不同弯曲幅度 A 的情况下，波导之间的耦合系数 c 随波导间距的变化关系图；

图24为耦合度随波导间距的变化关系图；

图25为隔离度随波导间距的变化关系图；

图26为方向性随波导间距的变化关系图；

图27为弯曲波导不同波导间距下波导内光场的传播情况图；

图28为弯曲波导不同波导间距下波导内光场的传播情况图。

符号解释：1 为直波导与弯曲波导的级联结构（含多次级联）；2 为零耦合的弯曲波导阵列；3 为两根弯曲波导。

具体实施方式

下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

本发明的目的是提供一种高密度集成光波导，采用直波导弯曲波导级联带来的正负耦合级联实现宽带低串扰光波导传输；采用弯曲波导带来的零耦合对于波长的稳定性来实现宽带的低串扰光波导传输，如图2为实现宽带低串扰光波导传输的零耦合弯曲波导阵列的示意图；采用弯曲波导带来的负耦合对于结构和波长的稳定性来实现鲁棒性且宽带的光波导定向耦合，如图3为实现宽带鲁棒性光波导定向耦合的负耦合弯曲波导示意图。

为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

一种高密度集成光波导，所述光波导设于波导衬底上，包括：多根弯曲波导；以所述弯曲波导的弯曲方向为 y 轴，以光的传播方向为 x 轴建立直角坐标系；且基于所述直角坐标系，所述弯曲波导沿着所述传播方向在所述弯曲方向上周期性弯曲；多根弯曲波导沿着所述 y 轴方向平行排列，且所述弯曲波导与所述 y 轴方向相互垂直，形成弯曲波导阵列；通过调节所述弯曲波导之间的耦合系数实现所述光波导的光波导信号传输功能或者光波导定向耦合功能。

所述弯曲波导，是沿着传播方向 y 在 x 方向上进行周期性的弯曲，比如，形为三角函数的弯曲： $y(x)=A\cos(2\pi x/P+\varphi)$ ，其中， A 为弯曲的振幅， P 为弯曲的周期， φ 为弯曲的初相，代表弯曲波导的初始状态，如图 6 所示，展示了弯曲波导的初相 $\varphi=0$ 和初相 $\varphi=\pi$ 两种情况下与直波导连接的示意图。 N 为波导阵列的波导总数，表示需要传输的信号路数； M 为级联个数， M 可以取大于 1 的整数，若为三级级联结构，则 $M=3$ ； d 为波导排列的周期间隔； w 为波导宽度， gap 为波导之间的间距，满足 $d=w+gap$ ； λ 为入射波长， n 是波导折射率， n_0 是衬底折射率， c 是弯曲波导之间的耦合系数， c 与 A 、 n_0 、 d 、 P 和 λ 等参数有关。

所述耦合系数根据所述弯曲波导的弯曲振幅、弯曲周期、入射光的入射波长、所述波导衬底的折射率以及所述弯曲波导的周期间隔进行调节。

所述耦合系数的表达式为： $c=c_0J_0(4\pi^2An_0d/P\lambda)$ ；其中， c 为所述弯曲波导之间的耦合系数； c_0 为直波导之间的耦合系数， $c_0>0$ ，所述直波导为第一直波导或第二直波导； A 为弯曲振幅； P 为弯曲周期； d 为波导排列的周期间隔， $d=w+gap$ ， w 为波导宽度， gap 为波导之间的间距； λ 为入射波长； n_0 为衬底折射率。

作为一种可选的实施方式，所述光波导还包括：第一直波导阵列以及第二直波导阵列；所述第一直波导阵列包括沿着所述 y 轴平行排列的多根第一直波导；所述第二直波导阵列包括沿着所述 y 轴平行排列的多根第二直波导；所述第一直波导之间的耦合系数等于所述第二直波导之间的耦合系数，且所述第一直波导之间的耦合系数以及所述第二直波导之间的耦合系数均大于 0；所述第一直波导阵列的输出端与所述弯曲波导阵列的输入端对接，所述弯曲波导阵列的输出端与所述第二直波导阵列的输入端对接，所述第一直波导阵列、所述弯曲波导阵列以及所述第二直波导阵列形成三级级联结构；所述入射光由所述第一直波导阵列的输入端进入所述三级级联结构，所述入射光在所述第一直波导阵列中由于耦合而发散，所述弯曲波导阵列由于负耦合将发散的光重新汇聚到所述第二直波导阵列，由于所述三级级联结构内的正耦合强度与所述负耦合强度相匹配，实现宽波段低串扰的光波导信号传输功能。

所述光波导包括多个所述三级级联结构；多个所述三级级联结构在 x 轴方向上平行排列。

下面以三级结构为例对该结构的形成方式进行详细说明：首先将 N 根直波导沿 y 方向平行排列在一起形成直波导阵列结构，如图 4 所示，再将直波导

阵列中的直波导进行弯曲,形成弯曲波导阵列结构,接着将所述的两个直波导阵列和一个弯曲波导阵列沿 x 方向进行对接,则可形成如图 5 所示的三级级联结构。其他多级级联结构可通过多个直波导阵列和弯曲波导阵列对接完成。波导阵列中每一根波导都是一个传输光信号的通道,在理想情况下,从某一根波导进入的光信号都能够在输出端从该波导输出,而没有光信号输入的波导在输出端都不会有光信号输出。但是由于波导之间存在倏逝波耦合效应,信号会出现相互影响。有时候没有信号输入的波导在输出端也会出现信号,这就是串扰信号,且波导阵列间隔越小,这种串扰现象就会越严重,尤其是在高密度集成的情况下 ($d \sim \lambda/2$)。这里通过弯曲波导的引入,可以将直波导结构中产生的串扰现象进行消除,同时由于这种效应是宽带的,则可在宽带的波长范围内实现高密度集成情况下的低串扰或无串扰传输。

通过将波导弯曲,可以有效地减小波导之间的耦合,若波导体系满足弱导弱耦的条件,那么弯曲波导之间的耦合系数 c 与其他参数之间的关系可以近似写为: $c=c_0 J_0(4\pi^2 A n_0 d / P \lambda)$, 其中 c_0 是直波导之间的耦合系数,一般来说 $c_0 > 0$; J_0 是第一类的最低阶贝塞尔函数。因此当 A 、 P 、 d 、 λ 、 n_0 取合适参数时,可以使得函数 $J_0(4\pi^2 A n_0 d / P \lambda) < 0$, 因此波导之间的耦合系数 c 可以取负值。值得注意的是,在高密度集成的条件下,弱导弱耦的条件不会满足,所以弯曲波导之间的耦合系数不会严格满足该式 $c=c_0 J_0(4\pi^2 A n_0 d / P \lambda)$, 而是呈现更复杂的形式。但是由于弯曲波导带来的负耦合的效应依然存在,并且可以通过仿真的手段,得到高密度集成条件下弯曲波导之间的耦合系数随其中一些参数的关系图,如图 7 所示。

为了实现多路信号的传输,首先考虑将 N 个直波导沿 y 方向平行排列在一起形成直波导阵列,波导的宽度为 w ,波导的间隔为 gap ,则该波导阵列的周期为 $d=w+gap$,如图 1 所示,直波导之间的耦合系数 c_0 大于零。再考虑一个波导阵列,这个波导阵列和刚刚所述的直波导阵列参数完全一致,只是将每个波导都进行弯曲,则可得到一个弯曲波导阵列,这个阵列中的耦合系数为负数。然后将若干个所述的弯曲波导阵列和直波导阵列在传播方向上 (x 方向) 将波导对接在一起形成多级级联结构,如图 1 所示。光在直波导中由于耦合而发散,而在弯曲波导中由于负耦合而汇聚,因此光在特定的传播距离处会重新汇聚到入射端口所在波导,完成信号传输功能。同时由于正负耦合的强度在很长的波长范围内保持匹配,因此可以实现宽波段的低串扰传输功能。

考虑一般情况,即 M 个波导阵列在传播方向 x 上进行 M 级级联,第 i 个

波导阵列的长度和耦合系数分别为 L_i , c_i 。一般地, c_i 可写成波长 λ 和传播距离 x 的函数 $c_i(\lambda, x)$ 。器件总长度为 $L=L_1+L_2+\dots+L_i+\dots$, 以 $x=0$ 作为输入端, 则 $x=L$ 为输出端, 在输入端的 N 个波导可任意输入 N 路不同的信号。

如果满足:

$$\int_{x=0}^{L_1} c_1(\lambda, x) dx + \int_{x=L_1}^{L_2} c_2(\lambda, x) dx + \dots + \int_{x=L_{i-1}}^L c_i(\lambda, x) dx + \dots = 0, \quad (1)$$

那么光在输出端 $x=L$ 处会完美地得到这 N 路信号, 完美指的是输出端 $x=L$ 处的信号与输入端 $x=0$ 处的信号强度和相位分布完全一致, 从而完成信号传输功能。为方便起见, 令耦合系数不随传播 x 而变化, 上式可简化为

$$c_1(\lambda)L_1+c_2(\lambda)L_2+\dots+c_i(\lambda)L_i+\dots=0, \quad (2)$$

一般来说, 介质直波导之间的耦合系数是正值, 并且耦合大小会随波长的变化而变化。因此, 要满足 (2) 式, 一种方式是级联结构中同时存在正耦合与负耦合; 另一种方式是所有的耦合系数均等于零。此外, 如果要想实现宽波段的传输功能, 那么 (2) 式必须在一定波段内依然得到满足或近似满足。

为了得到零耦合和负耦合, 对弯曲波导进行分析建模, 如下:

弯曲波导是沿着传播方向 x 在 y 方向上进行周期性地弯曲, 比如, 形为三角函数的弯曲:

$$y(y)=A\cos(2\pi x/P+\varphi) \quad (3)$$

其中, A 为弯曲的振幅, P 为弯曲的周期, φ 为弯曲的初相。 φ 的取值对于结果的影响很小, 令 φ 等于 π (或 0), 如图 6 所示。因为此时弯曲的斜率为零, 这样光可以无损耗得进入弯曲波导体系。

通过将波导弯曲, 可以有效地减小波导之间的耦合, 甚至可以取零值、负值, 此时将正耦合的直波导与负耦合的弯曲波导级联在一起形成级联结构, 光在直波导中由于耦合而发散, 而在弯曲波导中由于负耦合而汇聚, 从而实现传输功能。或者利用零耦合, 也可实现传输功能。

当 A 、 P 、 d 、 λ 、 n_0 取合适参数时, (2) 式可以在一定波段内得到满足, 对于正负耦合级联的方案或零耦合方案, 都可实现宽带的光波导传输功能。

作为一种可选的实施方式，入射光在所述弯曲波导阵列中传输，实现宽波段低串扰的光波导信号传输功能。

将 N 根弯曲波导沿 y 方向平行排列在一起，通过将波导弯曲，可以消除波导之间的耦合效应，从某根波导进入的光信号不会耦合到相邻波导，从而消除串扰，实现低串扰传输。同时这种效应是宽带的，则可在宽带的波长范围内实现低串扰传输功能。

通过将波导弯曲，可以有效地减小波导之间的耦合，若波导体系满足弱导弱耦的条件，那么弯曲波导之间的耦合系数 c 与其他参数之间的关系可以近似写为： $c=c_0J_0(4\pi^2An_0d/P\lambda)$ ，其中 c_0 是直波导之间的耦合系数； J_0 是第一类的最低阶贝塞尔函数。因此当 A 、 P 、 d 、 λ 、 n_0 取合适参数时，可以使得函数 $J_0(4\pi^2An_0d/P\lambda)=0$ ，因此波导之间的耦合系数 c 可以取零。值得注意的是，在高密度集成的条件下，弱导若耦的条件不会满足，所以弯曲波导之间的耦合系数不会严格满足该式子 $c=c_0J_0(4\pi^2An_0d/P\lambda)$ ，而是呈现更复杂的形式。但是由于弯曲波导带来的零耦合的效应依然存在，并且可以通过仿真的手段，得到高密度集成条件下弯曲波导之间的耦合系数随其中一些参数的关系图，如图 12 所示。

为了实现多路信号的传输，首先考虑将 N 个弯曲波导沿 y 方向平行排列在一起形成单一的弯曲波导阵列，在这个阵列中的耦合系数为零，并且在一定波段范围内均可以近似等于零。光进入这种耦合系数为零的波导阵列不会耦合到相邻的波导中去，因此也可以通过单一的弯曲波导阵列结构实现宽波段的低串扰传输功能。

作为一种可选的实施方式，令 $J_0(4\pi^2An_0d/P\lambda)$ 小于 0，所述耦合系数小于 0，所述弯曲耦合阵列具体包括两根所述弯曲波导；两根所述弯曲波导沿 y 轴方向平行排列，实现宽波段的光波导定向耦合功能。

这种结构是通过将两根弯曲波导沿 y 方向平行排列在一起形成的，通过将波导弯曲，可以实现波导之间的宽带耦合效应，即从某根波导进入的光信号能够在宽带的波长范围内稳定地耦合到相邻波导，实现宽带定向耦合功能。

通过将波导弯曲，可以有效地减小波导之间的耦合，若波导体系满足弱导弱耦的条件，那么弯曲波导之间的耦合系数 c 与其他参数之间的关系可以近似写为： $c=c_0J_0(4\pi^2An_0d/P\lambda)$ ，其中 c_0 是直波导之间的耦合系数； J_0 是第一类的最

低阶贝塞尔函数。因此当 A 、 P 、 d 、 λ 、 n_0 取合适参数时，可以使得函数 $J_0(4\pi^2 A n_0 d / P \lambda) < 0$ ，因此波导之间的耦合系数 c 可以取负数。值得注意的是，在高密度集成的条件下，弱导若耦的条件不会满足，所以弯曲波导之间的耦合系数不会严格满足该式子 $c = c_0 J_0(4\pi^2 A n_0 d / P \lambda)$ ，而是呈现更复杂的形式。但是由于弯曲波导带来的零耦合的效应依然存在，并且可以通过仿真的手段，得到高密度集成条件下弯曲波导之间的耦合系数随其中一些参数的关系图，如图 17 所示。不同于直波导之间的正耦合对波长和结构参数的敏感性，这种负耦合可以在很长的波长范围内、很大的波导间距变化范围内保持很小的变化。因此，通过将两根弯曲波导沿 y 方向平行排列在一起形成两根弯曲波导结构。光在两根弯曲波导之间的耦合效应可以实现波导定向耦合功能，并且在很长的波段内、以及很大的波导间距变化内保持定向耦合功能。

通过将波导弯曲实现负耦合后，发现当 A 、 P 、 d 、 λ 、 n_0 取合适参数时，波导之间的耦合在很长的波长范围内、很大的波导间距变化范围内保持很小的变化，即

$$c(\lambda + \Delta\lambda) \approx c(\lambda), \quad (4)$$

$$c(gap + \Delta gap) \approx c(gap), \quad (5)$$

其中， $\Delta\lambda$ ， Δgap 分别为波长和波导间距的变化。

一般在高密度集成的条件下，(4) 式、(5) 式中的耦合取负数。即可以在很大的波段内或很大的结构参数变化范围内都能够保持稳定的负耦合的性质。此时，可以实现宽波段的以及具有结构鲁棒性的光波导定向耦合功能。

值得注意的是，之前是通过 (2) 式得到零耦合实现光传输的方案。但其实，零耦合方案也可认为是 (4) 式、(5) 式的一个特例，即当 A 、 P 、 d 、 λ 、 n_0 取合适参数时可以使得

$$c(\lambda + \Delta\lambda) \approx c(\lambda) = 0, \quad (6)$$

$$c(gap + \Delta gap) \approx c(gap) = 0, \quad (7)$$

在很大的波段内或很大的结构参数变化范围内都能够保持稳定的零耦合的性质。此时，可以实现宽波段的以及具有结构鲁棒性的光波导传输功能。

总之，将波导进行弯曲，可以实现对波导之间的耦合效应的灵活调控，通过对弯曲的参数控制，可以实现上述的宽带低串扰传输、宽带定向耦合等不同的功能。

为了更好的理解本发明，下面结合实施例进行进一步解释。

不失一般性，本实施例针对近红外波段，在空气的环境中，针对氧化铝衬底上的硅波导设计了弯曲波导，该发明同样适用于其他波段和材料体系。如图1所示，其中，光波导传输技术基于两种方案：（1）直波导与弯曲波导的级联结构（含多次级联），这里以直波导阵列连接弯曲波导阵列连接直波导阵列的三级级联结构为例；（2）单一的弯曲波导阵列结构。光波导定向耦合技术，是基于（3）两根弯曲波导。波硅导的宽度 w 为400nm，弯曲调制的周期 $P=10\mu\text{m}$ ，本实施例采用 COMSOL Multiphysics 对器件性能进行仿真测试。

图7-图11为级联直波导和弯曲波导实现宽带低串扰传输的仿真结果。仿真过程中，采用波导所支持的基模TE模式入射。在 $d=760\text{nm}$ 的情况下模拟了不同弯曲幅度 A 和不同波长 λ 情况下的耦合情况。当 $A=0$ 时，弯曲波导退化为直波导。可以看到，在直波导的情况下，随着波长的增大，两根波导之间的耦合系数逐渐增大。当 A 从0逐渐增大到 $0.74\mu\text{m}$ 时，即直波导变为弯曲波导，发现两根波导之间的耦合系数变为负值，并且此时的耦合系数的绝对值与直波导的耦合系数近似相等，并且这种相等性可以在很长的波段内保持，即 $c^{A=0}(\lambda) \approx -c^{A=0.74\mu\text{m}}(\lambda)$ 。由于直波导和弯曲波导宽度一致，均为 $w=400\text{nm}$ ，因此可以把两者级联起来。考虑直波导-弯曲波导-直波导的三级级联结构，在总长度为 L 的情况下，两段直波导长度选为 $L/4$ ，中间弯曲波导的长度选为 $L/2$ ，这样（2）式可以得到满足。图8计算了两根波导 $N=2$ 时不同长度 L （ $L=100\mu\text{m}, 200\mu\text{m}$ ）的情况下的传输和串扰随波长的变化。可以看到该器件（ $L=100\mu\text{m}$ ）在很长的波段范围内（ $>200\text{nm}$ ）均能维持很高的传输效率（ $>-0.1\text{dB}$ ）和很低的串扰（ $<-20\text{dB}$ ）。若长度增加到 $200\mu\text{m}$ ，虽然串扰有所增大，但其依然可以在很长的波段内（ $>200\text{nm}$ ）保持较高的传输效率（ $>-0.19\text{dB}$ ）。图9展示了不同波长情况下光场在该结构波导内的传播

和 $200\mu\text{m}$ 的情况，可以看到在很长的波段内光场都能够保持很高地传输效率和很低的串扰。图 10 和图 11 展示了利用阵列 $N=7$ 传输多路信号的模拟结果。以 7 根波导为例进行多通道的信号传输，比如“1011010”，其中“1”代表有信号传输，“0”代表无信号传输。图 10 计算了长度 $L=100\mu\text{m}$ 的情况下的不同通道传输效率和串扰随波长的变化。可以看到该器件在很长的波段范围内（ $1300\sim 1450\text{nm}$ ）均能维持很高的传输效率（ $-0.46\sim -0.27\text{dB}$ ）和很低的串扰（ $< -20.3\text{dB}$ ）。图 11 展示了不同波长情况下光场在该结构波导内的传播 $100\mu\text{m}$ 的情况，可以看到在很长的波段内光场都能够保持很高地传输效率和很低的串扰。

图 12-图 16 为零耦合弯曲波导实现宽带低串扰传输的仿真结果。在 $d=760\text{nm}$ 的情况下发现当 $A=0.51\mu\text{m}$ 时，两根波导之间的耦合系数近似为零，并且可以在很长的波段内保持为零，即（6）式可以得到满足。图 13 计算了 $N=2$ 时传播 $100\mu\text{m}$ 的情况下的传输和串扰随波长的变化。可以看到该器件在较长的波段范围内（ $\sim 100\text{nm}$ ）均能维持很高的传输效率（ $> -0.138\text{dB}$ ）和较低的串扰（ $< -15\text{dB}$ ）。图 14 展示了不同波长情况下光场在该结构波导内的传播的情况，可以看到在很长的波段内光场都能够保持很高地传输效率和很低的串扰。图 15 和图 16 展示了利用阵列 $N=7$ 传输多路信号的模拟结果。以 7 根波导为例进行多通道的信号传输，比如“1011010”，其中“1”代表有信号传输，“0”代表无信号传输。图 15 计算了长度 $L=100\mu\text{m}$ 的情况下的不同通道传输效率和串扰随波长的变化。可以看到该器件在很长的波段范围内（ $1300\sim 1450\text{nm}$ ）均能维持很高的传输效率（ $-0.85\sim -0.63\text{dB}$ ）和较低的串扰（ $< -9.8\text{dB}$ ）。图 16 展示了不同波长情况下光场在该结构波导内的传播 $100\mu\text{m}$ 的情况，可以看到在很长的波段内光场都能够保持很高地传输效率和较低的串扰。

图 17-图 22 为弯曲波导实现宽带耦合的仿真结果。在 $\text{gap}=200\text{nm}$ ，即 $d=600\text{nm}$ 的情况下模拟了不同弯曲幅度 A 和不同波长 λ 情况下的耦合情况。在 $A=0$ 时，为传统的直波导耦合情形，可以看到，此时耦合大小随波长改变而发生变化，当固定长度后，输出端口的能量分配情况也会发生改变。当考虑弯曲

波导, 即 $A > 0$ 时, 发现两根波导之间的耦合系数逐渐变为负值, 并且耦合随波长的变化逐渐放缓。特别地, 当 $A = 0.9\mu\text{m}$ 时, 此时的耦合系数几乎不随波长变化而变化, 即 (4) 式可以得到满足。图 18-图 20 分别计算了直波导 ($A = 0$) 和弯曲波导 ($A = 0.9\mu\text{m}$) 两种情况下在不同波长时的耦合度、隔离度和方向性。对于直波导, 器件的长度选为 $15.6\mu\text{m}$, 弯曲波导的长度为 $34.8\mu\text{m}$ 。可以看到, 相比于传统的直波导耦合器, 弯曲波导耦合器具有更低的耦合度, 并且具有很大的带宽, 在 1dB 的耦合度下带宽达到了近 200nm。此外, 弯曲波导耦合器在隔离度、方向性指标上均优于传统的直波导定向耦合器。图 21 和图 22 直观的展示了光场在直波导耦合器和弯曲波导耦合器的传播情况, 可以看到在 1350-1550nm 波段内光场能够很好的耦合到另一根波导。而传统直波导耦合器的性能随波长改变而发生剧烈变化。

图 23-图 28 为弯曲波导实现结构鲁棒性耦合的仿真结果。在 $\lambda = 1550\text{nm}$ 的情况下模拟了不同弯曲幅度 A 和不同波导间距 gap 情况下的耦合情况。在 $A = 0$ 时, 为传统的直波导耦合情形, 可以看到, 此时耦合大小随波导间距的改变而发生变化, 当固定长度后, 输出端口的能量分配情况也会发生改变。当考虑弯曲波导, 即 $A > 0$ 时, 发现两根波导之间的耦合系数逐渐变为负值, 并且耦合随间距的变化逐渐放缓。特别地, 当 $A = 0.9\mu\text{m}$ 时, 此时的耦合系数几乎不随间距变化而变化, 即 (5) 式可以得到满足。图 24-图 26 分别计算了直波导 ($A = 0$) 和弯曲波导 ($A = 0.9\mu\text{m}$) 两种情况下在不同波长时的耦合度、隔离度和方向性。对于直波导, 器件的长度选为 $23\mu\text{m}$, 弯曲波导的长度为 $34.5\mu\text{m}$ 。可以看到, 相比于传统的直波导耦合器, 弯曲波导耦合器具有更低的耦合度, 近 200nm 的波导间距变化的情况下仍能维持小于 1dB 的耦合度。此外, 弯曲波导耦合器在隔离度、方向性指标上均优于传统的直波导耦合器。图 27 和图 28 直观的展示了光场在直波导耦合器和弯曲波导耦合器的传播情况, 可以看到即便 gap 在 200nm~400nm 大范围内变化, 光场仍能够很好的耦合到另一根波导, 而传统直波导耦合器的性能随波导间距改变而发生剧烈变化。

基于弯曲波导实现的片上光波导传输和耦合表现为:

1) 从某一波导端口输入的光信号通过正耦合的直波导和负耦合的弯曲波导级联结构, 可以实现宽波段的低串扰的信号传输功能。

2) 从某一波导端口输入的光信号通过零耦合的弯曲波导, 可以实现宽波段的低串扰的信号传输功能。

3) 通过弯曲波导实现的负耦合, 可以实现宽波段的光波导定向耦合功能。

综上, 本发明采用直波导弯曲波导级联带来的正负耦合级联实现宽带低串扰光波导传输; 采用弯曲波导带来的零耦合对于波长的稳定性来实现宽带的低串扰光波导传输; 采用弯曲波导带来的负耦合对于结构和波长的稳定性来实现鲁棒性且宽带的光波导定向耦合。

本发明与当前制造工艺完全兼容, 不会带来额外的加工困难, 易于大规模生产, 且精度要求不高。

本说明书中各个实施例采用递进的方式描述, 每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处, 各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。

本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述, 以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想; 同时, 对于本领域的一般技术人员, 依据本发明的思想, 在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述, 本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

权 利 要 求 书

1、一种高密度集成光波导，所述光波导设于波导衬底上，其特征在于，包括：多根弯曲波导；

以所述弯曲波导的弯曲方向为 y 轴，以光的传播方向为 x 轴建立直角坐标系；且基于所述直角坐标系，所述弯曲波导沿着所述传播方向在所述弯曲方向上周期性弯曲；

多根弯曲波导沿着所述 y 轴方向平行排列，且所述弯曲波导与所述 y 轴方向相互垂直，形成弯曲波导阵列；通过调节所述弯曲波导之间的耦合系数实现所述光波导的光波导信号传输功能或者光波导定向耦合功能。

2、根据权利要求 1 所述的一种高密度集成光波导，其特征在于，所述耦合系数根据所述弯曲波导的弯曲振幅、弯曲周期、入射光的入射波长、所述波导衬底的折射率以及所述弯曲波导的周期间隔进行调节。

3、根据权利要求 2 所述的一种高密度集成光波导，其特征在于，所述耦合系数的表达式为： $c=c_0J_0(4\pi^2An_0d/P\lambda)$ ；

其中， c 为所述弯曲波导之间的耦合系数； c_0 为直波导之间的耦合系数， $c_0>0$ ，所述直波导为第一直波导或第二直波导； A 为弯曲振幅； P 为弯曲周期； d 为波导排列的周期间隔， $d=w+gap$ ， w 为波导宽度， gap 为波导之间的间距； λ 为入射波长； n_0 为衬底折射率。

4、根据权利要求 3 所述的一种高密度集成光波导，其特征在于，令 $J_0(4\pi^2An_0d/P\lambda)$ 小于 0，所述耦合系数小于 0，所述光波导还包括：第一直波导阵列以及第二直波导阵列；

所述第一直波导阵列包括沿着所述 y 轴平行排列的多根第一直波导；所述第二直波导阵列包括沿着所述 y 轴平行排列的多根第二直波导；所述第一直波导之间的耦合系数等于所述第二直波导之间的耦合系数，且所述第一直波导之间的耦合系数以及所述第二直波导之间的耦合系数均大于 0；

所述第一直波导阵列的输出端与所述弯曲波导阵列的输入端对接，所述弯曲波导阵列的输出端与所述第二直波导阵列的输入端对接，所述第一直波导阵列、所述弯曲波导阵列以及所述第二直波导阵列形成三级级联结构；所述入射光由所述第一直波导阵列的输入端进入所述三级级联结构，所述入射光在所述第一直波导阵列中由于耦合而发散，所述弯曲波导阵列由于负耦合将发散的光

重新汇聚到所述第二直波导阵列,由于所述三级级联结构内的正耦合强度与所述负耦合强度相匹配,实现宽波段低串扰的光波导信号传输功能。

5、根据权利要求4所述的一种高密度集成光波导,其特征在于,所述光波导包括多个所述三级级联结构;多个所述三级级联结构沿x轴方向平行排列。

6、根据权利要求3所述的一种高密度集成光波导,其特征在于,令 $J_0(4\pi^2 An_0 d/P\lambda)$ 等于0,所述耦合系数等于0,入射光在所述弯曲波导阵列中传输,实现宽波段低串扰的光波导信号传输功能。

7、根据权利要求3所述的一种高密度集成光波导,其特征在于,令 $J_0(4\pi^2 An_0 d/P\lambda)$ 小于0,所述耦合系数小于0,所述弯曲耦合阵列具体包括两根所述弯曲波导;两根所述弯曲波导沿y轴方向平行排列,实现宽波段的光波导定向耦合功能。

8、根据权利要求1-7任一项所述的一种高密度集成光波导,其特征在于,所述弯曲波导的周期性弯曲表达式为: $y(x)=A\cos(2\pi x/P+\varphi)$;

其中, $y(x)$ 为所述弯曲波导的周期性弯曲函数; A 为弯曲振幅; P 为弯曲周期; φ 为弯曲初相。

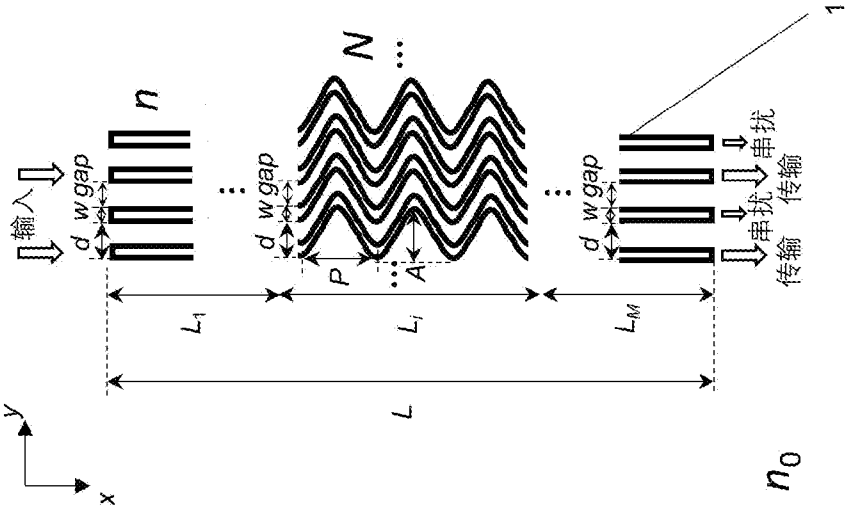


图 1

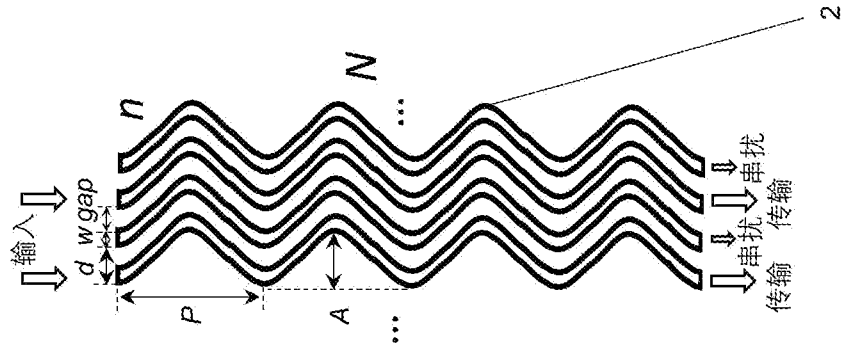


图 2

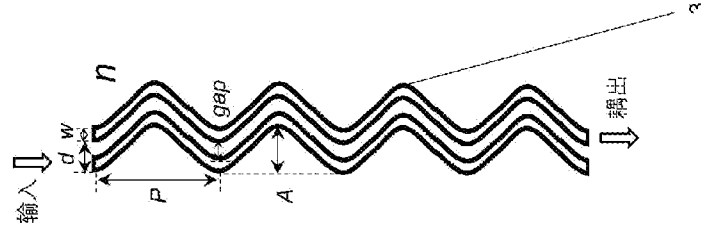


图 3

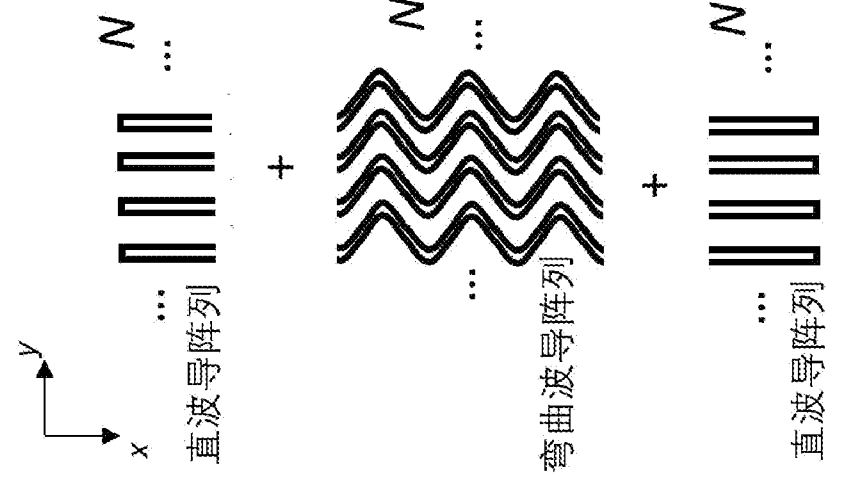
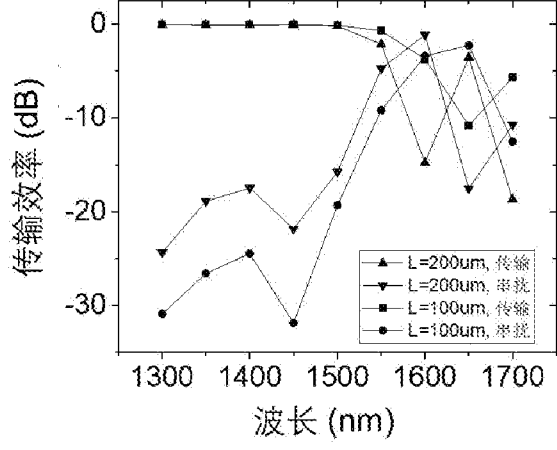
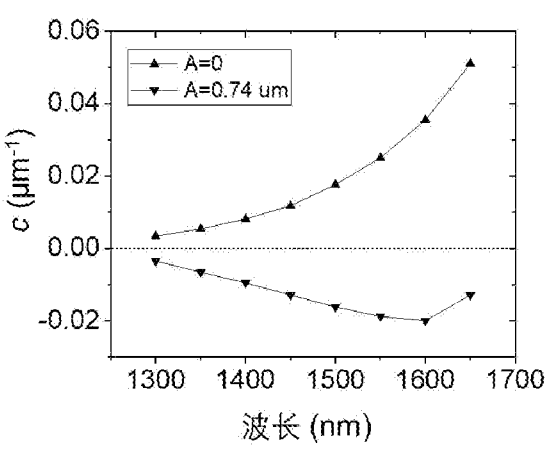
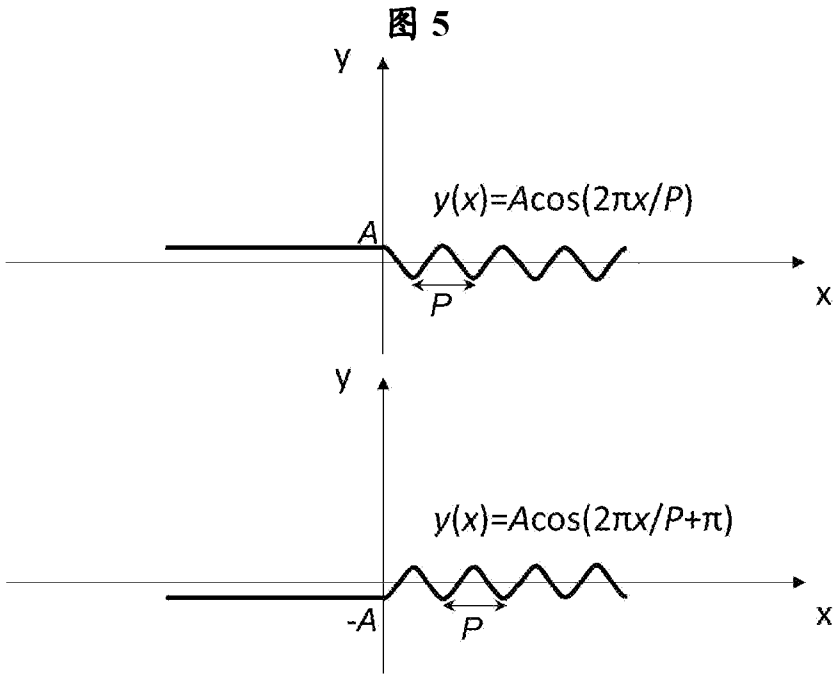
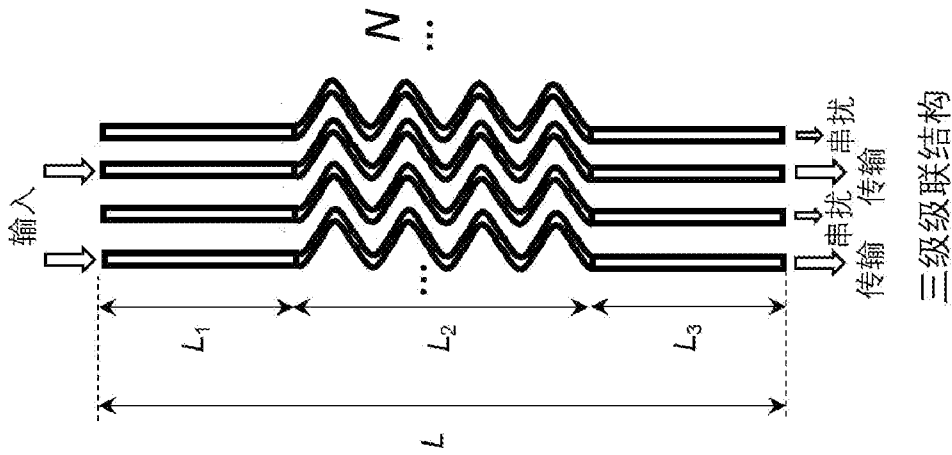


图 4



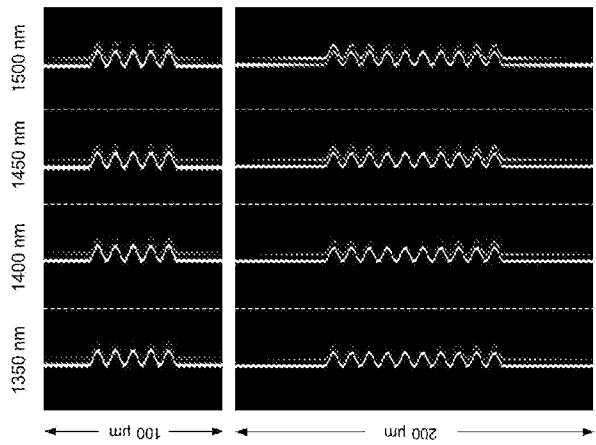


图 9

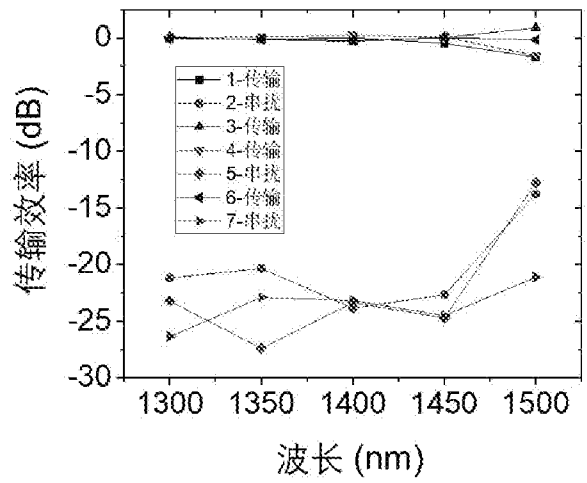


图 10

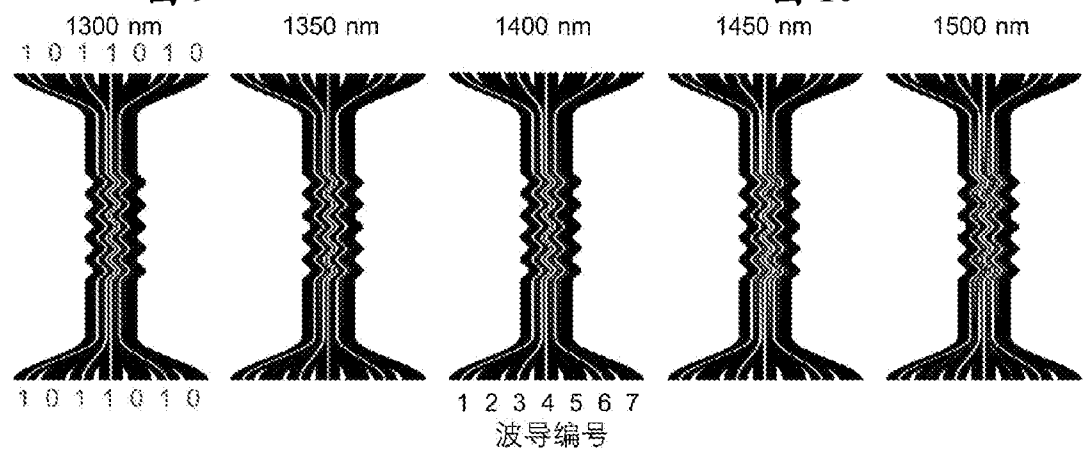


图 11

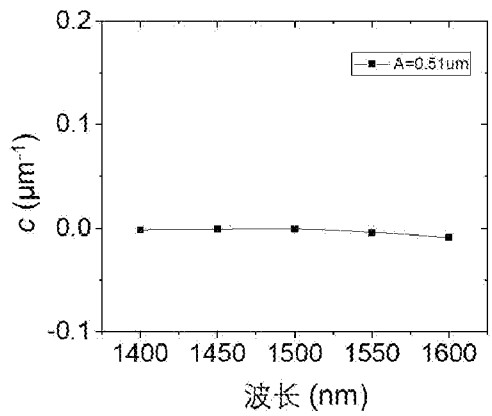


图 12

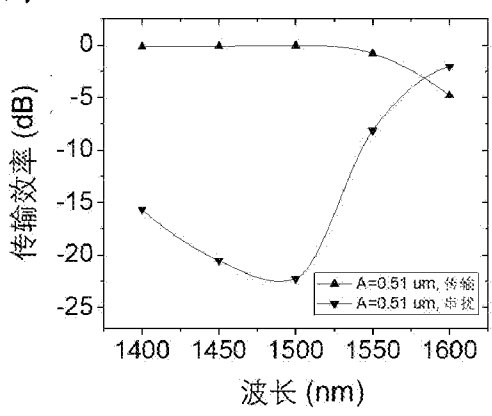


图 13

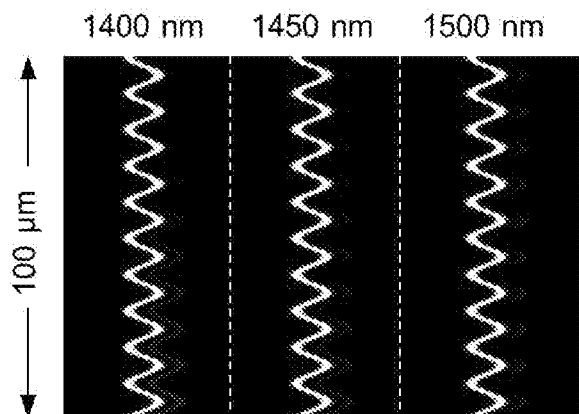


图 14

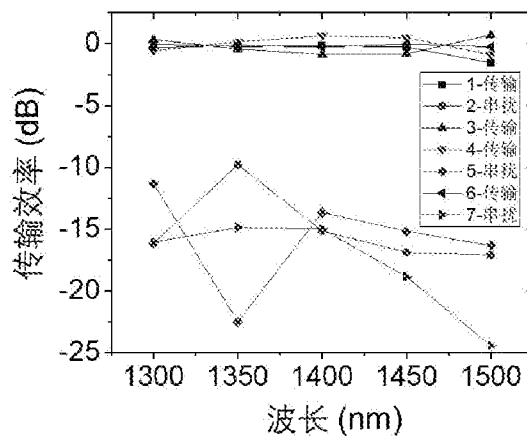


图 15

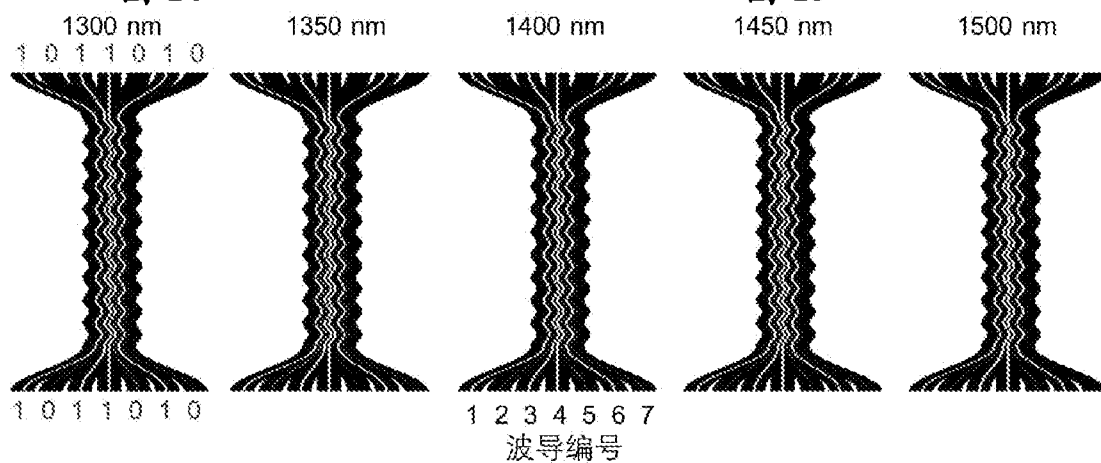


图 16

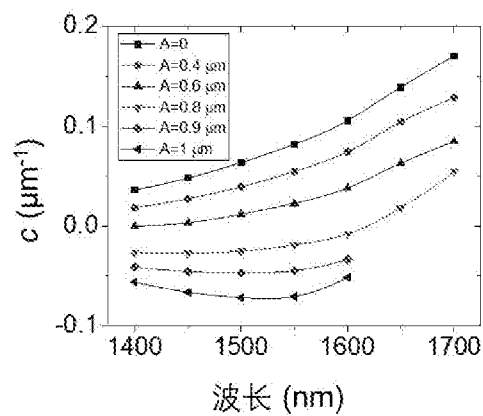


图 17

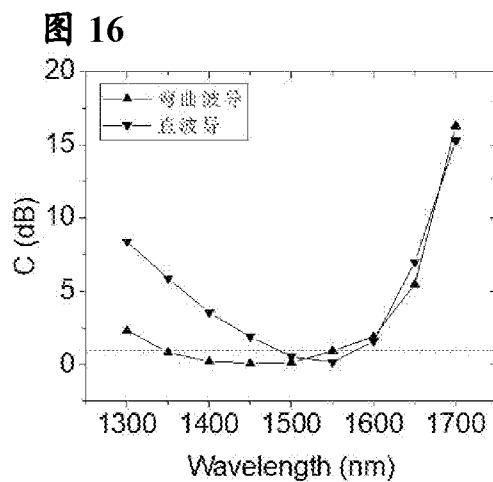


图 18

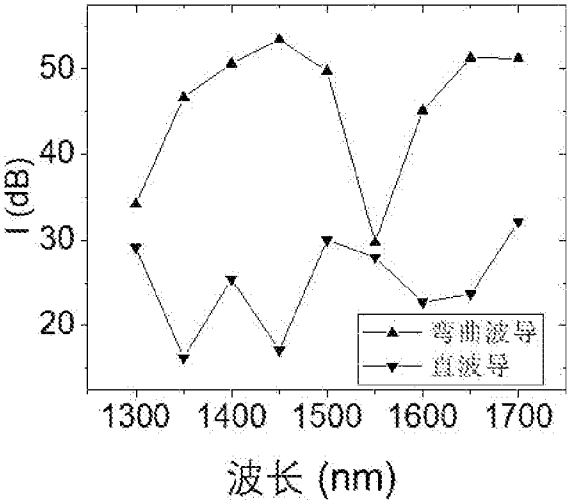


图 19

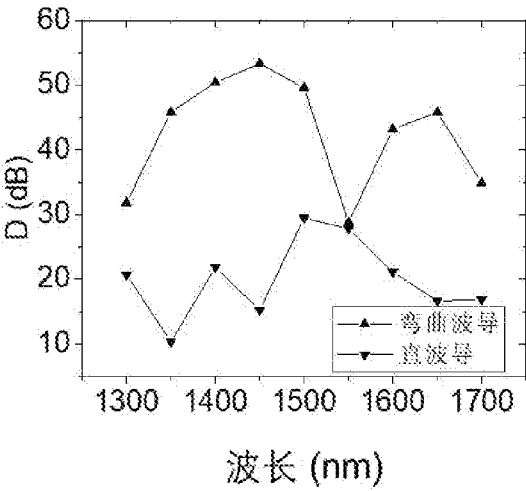


图 20

1350 nm 1400 nm 1450 nm 1500 nm 1550 nm

直波导

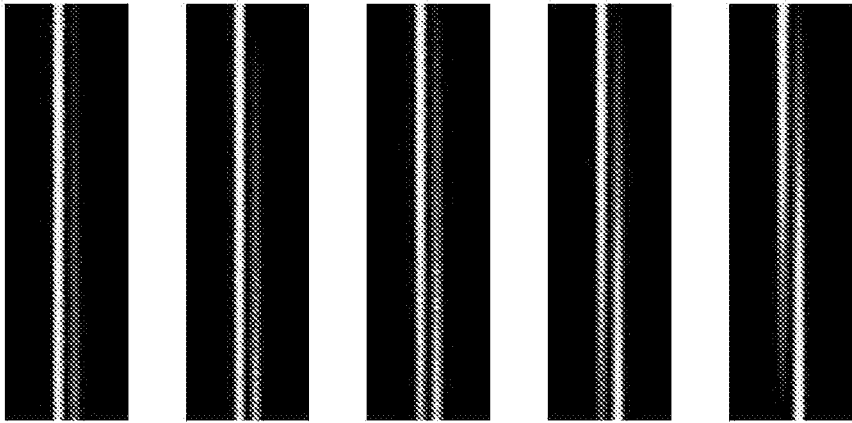


图 21

1350 nm 1400 nm 1450 nm 1500 nm 1550 nm

弯曲波导

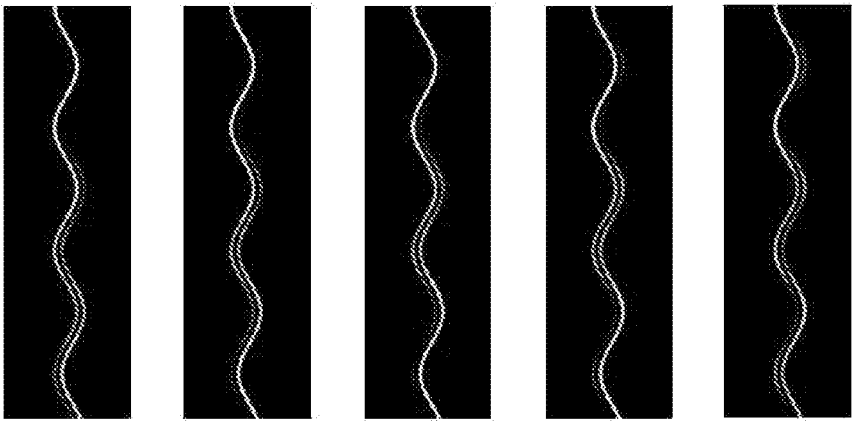


图 22

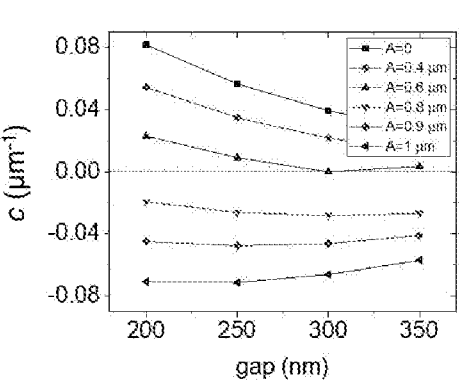


图 23

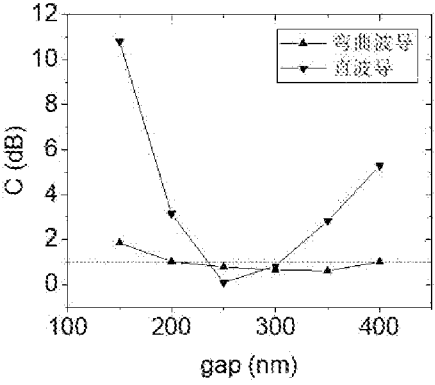


图 24

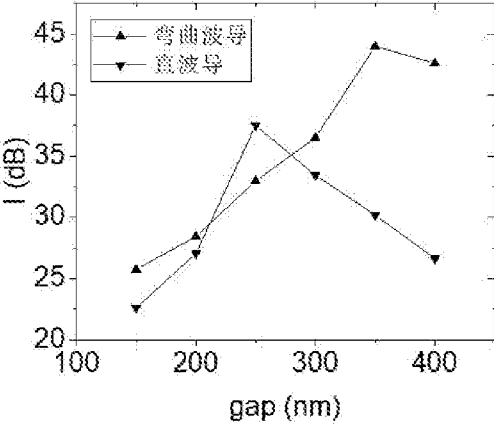


图 25

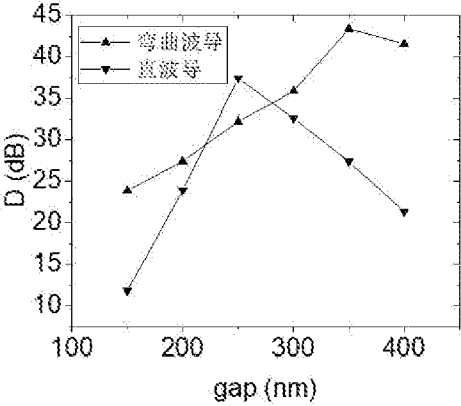


图 26

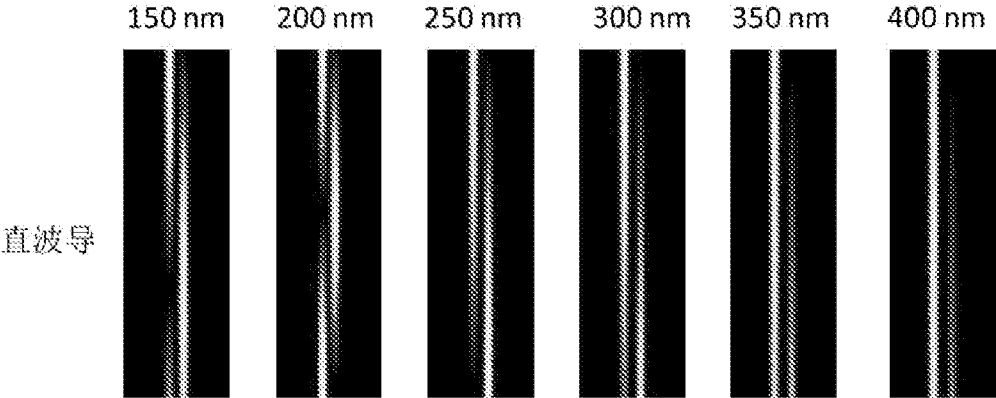


图 27

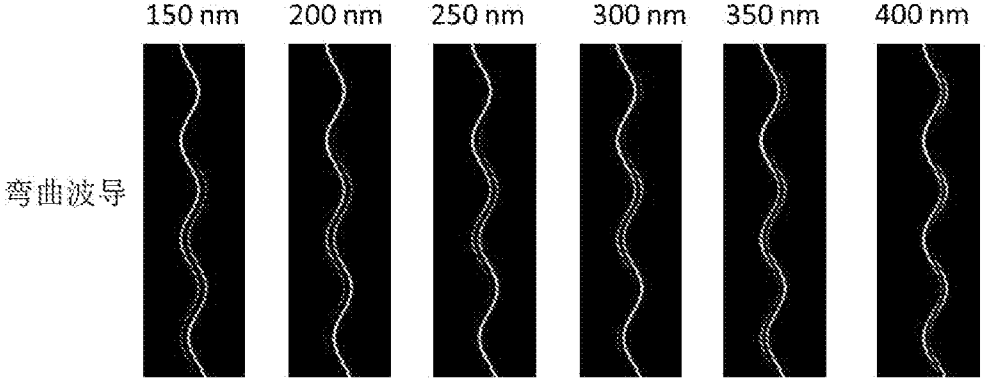


图 28

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/105519

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 6/125(2006.01)i; G02B 6/122(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI; EPODOC; CNKI; IEEE; CNPAT: optical waveguide, 光波导, 衬底, substrate, 弯曲, bend+, curv+, 周期, periodical+, 耦合系数, coupling coefficient, 宽带, broadband, 传输, transmission, 串扰, crosstalk, 绝缘体上硅, SOI, 集成光子学, integrated photonics

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 111708116 A (NANJING UNIVERSITY) 25 September 2020 (2020-09-25) claims 1-8	1-8
X	CN 107144918 A (INSTITUTE OF SEMICONDUCTORS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 08 September 2017 (2017-09-08) description, paragraphs [0040]-[0062], and figures 1-4	1-3, 6-8
A	CN 104570208 A (SOUTHEAST UNIVERSITY) 29 April 2015 (2015-04-29) entire document	1-8
A	CN 104849807 A (NANJING UNIVERSITY) 19 August 2015 (2015-08-19) entire document	1-8
A	CN 101216655 A (INSTITUTE OF PHYSICS CHINESE, ACADEMY OF SCIENCES) 09 July 2008 (2008-07-09) entire document	1-8
A	CN 1837873 A (LUCENT TECHNOLOGIES, INC.) 27 September 2006 (2006-09-27) entire document	1-8
A	US 2014325827 A1 (CORNELL UNIVERSITY et al.) 06 November 2014 (2014-11-06) entire document	1-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 September 2021

Date of mailing of the international search report

28 September 2021

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/105519

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	111708116	A	25 September 2020	None			
CN	107144918	A	08 September 2017	CN	107144918	B	09 August 2019
CN	104570208	A	29 April 2015	CN	104570208	B	10 October 2017
CN	104849807	A	19 August 2015	None			
CN	101216655	A	09 July 2008	None			
CN	1837873	A	27 September 2006	US	2006215957	A1	28 September 2006
				JP	2006276857	A	12 October 2006
				EP	1712937	A2	18 October 2006
				US	7302137	B2	27 November 2007
US	2014325827	A1	06 November 2014	US	9031362	B2	12 May 2015
				WO	2013096521	A1	27 June 2013

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/105519

A. 主题的分类 G02B 6/125 (2006.01) i; G02B 6/122 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G02B 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) WPI; EPDOC; CNKI; IEEE; CNPAT: optical waveguide, 光波导, 衬底, substrate, 弯曲, bend+, curv+, 周期, periodical+, 耦合系数, coupling coefficient, 宽带, broadband, 传输, transmission, 串扰, crosstalk, 绝缘体上硅, SOI, 集成光子学, integrated photonics		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 111708116 A (南京大学) 2020年 9月 25日 (2020 - 09 - 25) 权利要求1-8	1-8
X	CN 107144918 A (中国科学院半导体研究所) 2017年 9月 8日 (2017 - 09 - 08) 说明书第[0040]-[0062]段, 图1-4	1-3, 6-8
A	CN 104570208 A (东南大学) 2015年 4月 29日 (2015 - 04 - 29) 全文	1-8
A	CN 104849807 A (南京大学) 2015年 8月 19日 (2015 - 08 - 19) 全文	1-8
A	CN 101216655 A (中国科学院物理研究所) 2008年 7月 9日 (2008 - 07 - 09) 全文	1-8
A	CN 1837873 A (朗讯科技公司) 2006年 9月 27日 (2006 - 09 - 27) 全文	1-8
A	US 2014325827 A1 (CORNELL UNIVERSITY 等) 2014年 11月 6日 (2014 - 11 - 06) 全文	1-8
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2021年 9月 13日		国际检索报告邮寄日期 2021年 9月 28日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 王晓东 电话号码 86-(10)-53962387

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/105519

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	111708116	A	2020年 9月 25日	无			
CN	107144918	A	2017年 9月 8日	CN	107144918	B	2019年 8月 9日
CN	104570208	A	2015年 4月 29日	CN	104570208	B	2017年 10月 10日
CN	104849807	A	2015年 8月 19日	无			
CN	101216655	A	2008年 7月 9日	无			
CN	1837873	A	2006年 9月 27日	US	2006215957	A1	2006年 9月 28日
				JP	2006276857	A	2006年 10月 12日
				EP	1712937	A2	2006年 10月 18日
				US	7302137	B2	2007年 11月 27日
US	2014325827	A1	2014年 11月 6日	US	9031362	B2	2015年 5月 12日
				WO	2013096521	A1	2013年 6月 27日