

(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
2024 年 4 月 18 日 (18.04.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/078237 A1

- (51) 国际专利分类号:
G02B 6/35 (2006.01) **G02B 6/122** (2006.01)
G02B 6/12 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/118315
- (22) 国际申请日: 2023 年 9 月 12 日 (12.09.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202211240812.4 2022 年 10 月 11 日 (11.10.2022) CN
- (71) 申请人: 浙江大学 (ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/
CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路
866 号, Zhejiang 310058 (CN)。
- (72) 发明人: 李欢 (LI, Huan); 中国浙江省杭州市西湖
区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。 胡
寅鹏 (HU, Yinpeng); 中国浙江省杭州市西湖区
余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。 戴道铎

(DAI, Daoxin); 中国浙江省杭州市西湖区余杭
塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。

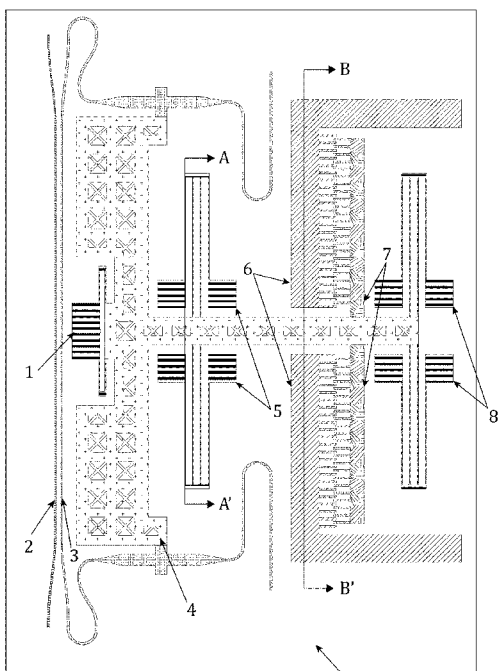
(74) 代理人: 杭州求是专利事务所有限公司
(HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE CO., LTD.);
中国浙江省杭州市西湖区古墩路 701 号紫金广
场 C 座 1506 室林超, Zhejiang 310030 (CN)。

(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,
CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ,
IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ,
LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN,
MU, MW, MX, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚

(54) Title: ELECTROSTATIC-COMB-DRIVEN INTEGRATED WAVEGUIDE MEMS OPTICAL SWITCH BASED ON ADIABATIC COUPLER

(54) 发明名称: 静电梳驱动的基于绝热耦合器的集成波导 MEMS 光开关



[图 1]

(57) Abstract: An electrostatic-comb-driven integrated waveguide MEMS optical switch based on an adiabatic coupler, the integrated waveguide MEMS optical switch comprising a switch unit, wherein the switch unit comprises a substrate (10), a mechanical driving structure and an adiabatic coupler; the adiabatic coupler comprises a fixed tapered waveguide (2) and a movable tapered waveguide (3) which are arranged in parallel; the movable tapered waveguide (3) is connected to the mechanical driving structure; and the two waveguides have the same structure and the same length, but the gradual change directions of the widths of the two waveguides are opposite, such that the two waveguides are arranged in a centrosymmetric manner.

(57) 摘要: 一种静电梳驱动的基于绝热耦合器的集成波导 MEMS 光开关, 包括开关单元, 开关单元包括基底 (10)、机械驱动结构和绝热耦合器, 绝热耦合器包括平行布置的固定锥形波导 (2) 和可移动锥形波导 (3), 可移动锥形波导 (3) 与机械驱动结构相连, 两种波导结构相同, 长度相同但宽度渐变方向相反, 呈中心对称排列。

(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, ME, 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))。

静电梳驱动的基于绝热耦合器的集成波导MEMS光开关

技术领域

[0001] 本发明属于集成光电子器件领域的一种光开关，具体涉及一种通过静电梳驱动调节绝热耦合器中两根锥形波导的间距，从而实现光路调节的集成波导MEMS光开关以及其阵列。

背景技术

[0002] 近年来，数据中心网络规模急剧扩大，随着5G、物联网、云计算、人工智能等新技术的成熟应用，网络数据流量急剧增加，这对数据中心网络提出了新的要求，亟需更高性能的数据中心来支持以上述技术为关键内容的数字经济的飞速发展。在此背景下，光互联技术凭借大带宽、低功耗等传统电互联难以抗衡的优势迅速崛起，为提升数据中心的性能提供了解决方案，光互联目前已成为大规模数据中心的关键技术。

[0003] 随着光互联网络的发展，其规模不断扩大，复杂程度也随之增加，因此如何实现光互联网络的灵活重构成为新的问题。大规模 $N \times N$ 光开关阵列是实现光互联网络灵活重构的关键器件，其已成为研究焦点之一，基于不同平台的多种多样的光开关结构被陆续提出，例如基于微机械系统（MEMS）的光开关、基于马赫曾德干涉仪（MZI）的集成波导光开关等。

[0004] 在众多的光开关结构中，基于MEMS的光开关凭借低损耗、速度快、可靠性好、可扩展性强等特点而备受关注，基于MEMS的大规模光开关阵列已应用于数据中心网络中。基于MEMS的光开关又分为自由空间开关和集成波导光开关。对于自由空间光开关而言，光信号从光纤输入开关以后在自由空间中完成传播和切换再被输出光纤接收，目前数据中心网络中的光开关多为自由空间光开关。基于MEMS的自由空间开关可扩展性好，目前已经能在保证低插入损耗和低串扰的前提下实现数百的端口数目，但是此种开关的开关时间较长，一般在几毫秒和几十毫秒的水平，限制了大规模数据中心的重构速度。在集成波导光开关中，光信号从输入光纤输入芯片以后束缚在集成波导中传播，通过集成在一起的波导结

构和机械结构实现光路的切换。近年来，基于MEMS的集成波导光开关取得了很大的进展，其能够实现亚微秒级的快切换时间、低插入损耗、低串扰和大端口数目。基于MEMS的集成波导光开关有望突破目前光开关阵列的限制性因素，应用到大规模光互联网络中去。

发明内容

[0005] 针对上述背景技术，本发明的目的在于提供一种静电梳驱动的基于绝热耦合器的集成波导MEMS光开关及 $N \times N$ 阵列，此开关通过给固定静电梳施加驱动电压，使其与接地的移动静电梳之间产生吸引力，带动移动静电梳产生运动，进一步通过传动杆带动绝热耦合器中的移动锥形波导运动，改变其与固定锥形波导之间的距离，达到光路切换的效果。

[0006] 本发明采用的技术方案是：

[0007] 本发明包括至少一个开关单元，每个开关单元包括基底以及置于基底上的机械驱动结构和绝热耦合器，所述的绝热耦合器主要包括固定锥形波导和可移动锥形波导，固定锥形波导保持固定，固定锥形波导和可移动锥形波导均沿垂直于机械驱动结构的移动方向平行布置，固定锥形波导两端均连接有弯曲波导，可移动锥形波导的两端通过一对多模干涉交叉波导结构与机械驱动结构相连，由机械驱动结构带动可移动锥形波导靠近或远离固定锥形波导移动。

[0008] 所述的可移动锥形波导两端的每端均依次连接有回形的第一根弯曲波导、十字形的多模干涉交叉波导和回形的第二根弯曲波导，十字形的多模干涉交叉波导由较长的一条和较短的一条构成，较长的一条由一对对称的模式演化锥形波导和一根长多模宽波导组成，一对模式演化锥形波导的宽端分别与长多模宽波导的两端相连，窄端分别与两根回形的弯曲波导相连；较短的一条是一根短多模宽波导，短多模宽波的一端与机械驱动结构相连，另一端无连接；十字形的多模干涉交叉波导中较长的一条用于光信号的传输，较短的一条用于机械固定。

[0009] 固定锥形波导和可移动锥形波导结构相同，均为一根宽度渐变的锥形波导，固定锥形波导和可移动锥形波导长度相同但宽度渐变方向相反，固定锥形波导的输入端宽度和可移动锥形波导的输出端宽度相同，固定锥形波导的输出端宽度和可移动锥形波导的输入端宽度相同，且固定锥形波导和可移动锥形波导之间

的间隙大小始终保持不变。

[0010] 所述的机械驱动结构包括由固定静电梳和移动静电梳组成的静电梳驱动器、T形传动结构以及三组固定岛和弹簧结构；

[0011] T形传动结构悬空于基底布置，T形传动结构的顶杆部与可移动锥形波导平行，底杆部与可移动锥形波导垂直，T形传动结构的底杆部从靠近可移动锥形波导的一端开始沿着长度方向依次布置第一组固定岛和弹簧结构、第二组固定岛和弹簧结构、第三组固定岛和弹簧结构，第一组固定岛和弹簧结构、第二组固定岛和弹簧结构、第三组固定岛和弹簧结构均和T形传动结构连接；

[0012] 第二组固定岛和弹簧结构、第三组固定岛和弹簧结构之间的T形传动结构两侧布置静电梳驱动器，静电梳驱动器包括一对固定静电梳和一对移动静电梳，固定静电梳固定于基底，一对固定静电梳对称分布在T形传动结构底杆部长度方向的两侧并且与T形传动结构的底杆部之间无连接；移动静电梳悬空于基底布置，一对移动静电梳对称分布在T形传动结构底杆部长度方向的两侧，一对移动静电梳靠近T形传动结构底杆部的一端与底杆部的侧边固定相连；固定静电梳和移动静电梳的梳齿呈对向、交错穿插分布。

[0013] 所述的第一组固定岛和弹簧结构主要由一个固定岛和一对半折叠弹簧组成，固定岛固定于基底，固定岛的两端均通过一半折叠弹簧和T形传动结构底杆部靠近可移动锥形波导的一端连接，半折叠弹簧悬空于基底布置。

[0014] 所述的半折叠弹簧为悬空结构，包括弹簧柄以及连接在弹簧柄两端且与弹簧柄长度方向垂直的两根梁组成，两根梁均朝向远离弹簧柄的同一侧延伸且分别与固定岛和T形传动结构相连。

[0015] 所述的第二组固定岛和弹簧结构与第三组固定岛和弹簧结构的结构相同，均由四个固定岛和一对折叠弹簧组成；固定岛固定于基底，四个固定岛中以两个固定岛为一组，一组固定岛布置在T形传动结构底杆部的同一侧，两组固定岛分别布置在T形传动结构底杆部的两侧，同一侧的两个固定岛通过一折叠弹簧和T形传动结构底杆部侧部连接，折叠弹簧悬空于基底布置。

[0016] 所述的折叠弹簧为悬空结构，包括弹簧柄、连接在弹簧柄两端且和弹簧柄长度方向垂直的两根短梁以及连接在弹簧柄中部且和弹簧柄长度方向垂直的两根长

梁组成，两根短梁的一端分别连接到弹簧柄的两端，两根短梁远离弹簧柄的另一端分别与位于T形传动结构底杆部同侧的两个固定岛相连，两根长梁的一端分别连接到弹簧柄中部的两处，两根长梁远离弹簧柄的另一端分别与位于T形传动结构底杆部同侧的两处相连。

[0017] 所述一对固定静电梳与外部电路连接，通过给一对固定静电梳施加或撤去电压实现对光开关的调控。

[0018] 所述的固定静电梳与外部电路相连，通过外部电路施加电压与移动静电梳之间产生电势差，因此在固定静电梳和移动静电梳之间产生吸引力，移动静电梳产生靠近固定静电梳的运动，通过移动静电梳与T形传动结构底杆部之间的连接带动整个T形传动结构产生垂直于固定锥形波导长度方向的位移，通过T形传动结构顶边与多模干涉交叉波导的连接进一步带动可移动锥形波导产生垂直于固定锥形波导长度方向的位移，同时与T形传动结构相连的三组弹簧结构均发生一定的弹性形变。通过调节外部电路施加的电压大小可以控制可移动锥形波导的位移大小，即调控固定锥形波导和可移动锥形波导之间的距离，从而实现集成波导MEMS光开关的切换光传播路径的功能。

[0019] 所述的固定锥形波导、可移动锥形波导、T形传动结构、三组固定岛和弹簧结构及静电梳驱动器的材料相同、厚度相同，整个开关单元结构或 $N \times N$ 阵列均可采用单片集成加工制作。

[0020] 所述的固定锥形波导、可移动锥形波导、T形传动结构、半折叠弹簧、折叠弹簧及移动静电梳均为悬空结构，通过掩埋层腐蚀释放。

[0021] 本发明的固定岛和固定件均通过掩埋层与基底相连，其余部分均悬空布置。

[0022] 所述的 $N \times N$ 光开关阵列应至少包括四个上述的集成波导MEMS光开关单元，相邻的开关单元之间通过单模波导和波导交叉相连，开关单元之间的连接方式可以采用但不限于Benes、Cross-Bar等拓扑结构。

[0023] 本发明的创新主要在于由可移动锥形波导3和固定锥形波导2构成的绝热耦合器在光开关的使用创新，原理是模式的绝热演化，与定向耦合器、微弯定向耦合器等基于干涉原理的耦合结构相比具有工艺容差大，可以实现超大带宽，可以实现超低损耗的原理性优势，通过上述绝热耦合器在上述光开关中的设置，能

够带来工艺容差更大、带宽更大、损耗更低的效果优势。

[0024] 本发明具有的有益效果是：

[0025] (1) 本发明材料单一、结构简单、制作成本低；

[0026] (2) 开关单元在大波长范围和大加工容差范围内具有低插入损耗、低串扰和高消光比；

[0027] (3) 开关单元采用的驱动方式为电容式结构，开关单元的能耗极低；

[0028] (4) 开关单元具有两个输入端口和两个输出端口，此 2×2 的开关单元可以采用多种拓扑结构级联为大规模光开关阵列，可拓展性强。

[0029] 总之，本发明通过静电梳驱动分开的绝热耦合器实现了光路切换的效果，具有带宽范围大、插入损耗低、串扰低、消光比高、制作工艺简单、加工成本低、功耗低、可扩展性强等显著优势。

附图说明

[0030] 图1是本发明在初始状态(OFF)下的结构俯视图；

[0031] 图2是图1中A-A' 的截面图；

[0032] 图3是图1中B-B' 的截面图；

[0033] 图4是本发明在施加电压后(ON)的结构俯视图；

[0034] 图5是固定锥形波导和移动锥形波导的示意图；

[0035] 图6是基于Benes拓扑结构的 $N \times N$ 集成波导MEMS光开关结构示意图；

[0036] 图7是本发明的绝热耦合器部分在OFF和ON状态下的光场传输图，(a)表示OFF状态下绝热耦合器的光场传输图，(b)表示ON状态下绝热耦合器的光场传输图。

[0037] 图中：1、第一组固定岛和弹簧结构，2、固定锥形波导，3、移动锥形波导，4、T形传动结构，5、第二组固定岛和弹簧结构，6、固定静电梳，7、移动静电梳，8、第三组固定岛和弹簧结构，9、掩埋层，10、基底。

具体实施方式

[0038] 下面结合附图和实施例对本发明做进一步说明，但不应以此限制本发明的保护范围。

- [0039] 如图1和图4所示,本发明主要包括至少一个开关单元,每个开关单元包括基底10以及置于基底上的机械驱动结构和绝热耦合器,其中绝热耦合器主要包括固定锥形波导2和可移动锥形波导3,固定锥形波导2保持固定,固定锥形波导2和可移动锥形波导3均沿垂直于机械驱动结构的移动方向平行布置,固定锥形波导2两端均连接有S形弯曲的弯曲波导,两端的弯曲波导作为开关单元的输入/输出端。通过两端的弯曲波导和外部元件连接,也是通过两端的弯曲波导支撑固定锥形波导2使得固定锥形波导2固定。可移动锥形波导3的两端通过一对多模干涉交叉波导结构与机械驱动结构的T形传动结构4相连,由机械驱动结构带动可移动锥形波导3靠近或远离固定锥形波导2移动。
- [0040] 固定锥形波导和可移动锥形波导两端均包含一组弯曲波导,并且弯曲波导中的一部分为宽度渐变波导,其宽度从锥形波导的端部宽度渐变到单模波导宽度。固定锥形波导2和可移动锥形波导3均通过设置弯曲波导来增加结构弹性。
- [0041] 可移动锥形波导3两端的每端均依次连接有回形的第一根弯曲波导、十字形的多模干涉交叉波导和回形的第二根回形弯曲波导,十字形的多模干涉交叉波导由较长的一条和较短的一条构成,较长的一条由一对对称的模式演化锥形波导和一根长多模宽波导组成,一对模式演化锥形波导的宽端分别与长多模宽波导的两端相连,窄端分别与两根回形的弯曲波导相连;较短的一条是一根短多模宽波导,短多模宽波的一端与机械驱动结构的T形传动结构4相连,另一端无连接;十字形的多模干涉交叉波导中较长的一条用于光信号的传输,较短的一条用于机械固定。第二根弯曲波导在未连接多模干涉交叉波导的另一端作为开关单元的输入/输出端。
- [0042] 多模干涉交叉波导均包含一对绝热锥形波导和一对正交的多模宽波导,与固定锥形波导长度方向垂直的多模宽波导两端分别连接一个绝热锥形波导,实现多模波导中的模式和单模波导中的模式两者之间互相绝热演化,与固定锥形波导长度方向平行的多模宽波导不用来传播信号,一端与T形传动结构相连,另一端无连接。
- [0043] 当可移动锥形波导及其两端相连的回形弯曲在MEMS驱动装置的驱动下靠近固定锥形波导时两者形成一个绝热耦合器,固定锥形波导和可移动锥形波导的外端

均连接有单模波导，光信号通过单模波导输入输出，并且 $N \times N$ 阵列中相邻的开关单元也通过单模波导互相连接。

[0044] 相邻的开关单元之间均通过开关单元的弯曲波导互相连接，弯曲波导作为开关单元的输入输出波导。

[0045] 如图5所示，固定锥形波导2和可移动锥形波导3结构相同，均为一根宽度渐变的锥形波导，固定锥形波导2和可移动锥形波导3长度相同但宽度渐变方向沿波导方向相反，固定锥形波导2的输入端宽度和可移动锥形波导3的输出端宽度相同，固定锥形波导2的输出端宽度和可移动锥形波导3的输入端宽度相同，且固定锥形波导2和可移动锥形波导3之间的间隙大小始终保持不变，使得固定锥形波导2和可移动锥形波导3两者之间最终呈中心对称排列。

[0046] 其中机械驱动结构包括由固定静电梳6和移动静电梳7组成的静电梳驱动器、T形传动结构4以及三组固定岛和弹簧结构1、5、8；最靠近可移动锥形波导的一组固定岛和弹簧结构为第一组，远离可移动锥形波导的两组固定岛和弹簧结构分别为第二组和第三组。T形传动结构上均匀分布着开孔，以便腐蚀掩埋层的化学试剂进入。三组固定岛和弹簧沿T形传动结构的底杆部长度方向分布。

[0047] T形传动结构4悬空于基底10布置，T形传动结构4的顶杆部与可移动锥形波导3平行，底杆部与可移动锥形波导3垂直，T形传动结构4的底杆部从靠近可移动锥形波导3的一端开始沿着长度方向依次布置第一组固定岛和弹簧结构1、第二组固定岛和弹簧结构5、第三组固定岛和弹簧结构8，第一组固定岛和弹簧结构1、第二组固定岛和弹簧结构5、第三组固定岛和弹簧结构8均和T形传动结构4连接；T形传动结构4与移动静电梳7相连。

[0048] 第二组固定岛和弹簧结构5、第三组固定岛和弹簧结构8之间的T形传动结构4两侧布置静电梳驱动器，静电梳驱动器包括一对固定静电梳6和一对移动静电梳7，固定静电梳6固定于基底10，一对固定静电梳6对称分布在T形传动结构4底杆部长度方向的两侧并且与T形传动结构4的底杆部之间无连接，固定于基底10位于靠近第二组固定岛和弹簧结构5的位置，下方有掩埋层9支撑；移动静电梳7悬空于基底10布置，为悬空结构，一对移动静电梳7对称分布在T形传动结构4底杆部长度方向的两侧，位于靠近第三组固定岛和弹簧结构8的位置，一对移动静电

梳7靠近T形传动结构4底杆部的一端与底杆部的侧边固定相连，远离T形传动结构4底杆部的一端无连接；T形传动结构4底杆部长度方向两侧的固定静电梳6和移动静电梳7的梳齿呈对向、交错穿插分布。

[0049] 固定岛均为矩形结构，如图2和图3所示，固定岛和固定静电梳6均通过掩埋层9与基底10相连，其余部分均不和基底10相连。

[0050] 第一组固定岛和弹簧结构1主要由一个固定岛和一对半折叠弹簧组成，固定岛通过掩埋层9相连固定于基底10上，固定岛固定于基底10，固定岛的两端均通过一半折叠弹簧和T形传动结构4底杆部靠近可移动锥形波导3的一端连接，半折叠弹簧悬空于基底10布置。

[0051] 第一组固定岛弹簧结构1中的半折叠弹簧为悬空结构，包括弹簧柄以及连接在弹簧柄两端且与弹簧柄长度方向垂直的两根梁组成，两根梁均朝向远离弹簧柄的同一侧延伸且分别与固定岛和T形传动结构4相连。

[0052] 第二组固定岛和弹簧结构5与第三组固定岛和弹簧结构8的结构相同，均由四个固定岛和一对折叠弹簧组成；固定岛通过掩埋层9相连固定于基底10上，固定岛固定于基底10，四个固定岛中以两个固定岛为一组，一组固定岛布置在T形传动结构4底杆部的同一侧，两组固定岛分别布置在T形传动结构4底杆部的两侧，一组固定岛下同一侧的两个固定岛通过一折叠弹簧和T形传动结构4底杆部侧部连接，折叠弹簧悬空于基底10布置。

[0053] 第二组固定岛和弹簧结构5与第三组固定岛和弹簧结构8中的折叠弹簧为悬空结构，包括弹簧柄、连接在弹簧柄两端且和弹簧柄长度方向垂直的两根短梁以及连接在弹簧柄中部且和弹簧柄长度方向垂直的两根长梁组成，两根短梁的一端分别连接到弹簧柄的两端，两根短梁远离弹簧柄的另一端分别与位于T形传动结构4底杆部长度方向同侧的两个固定岛相连，两根长梁的一端分别连接到弹簧柄中部的两处，两根长梁远离弹簧柄的另一端分别与位于T形传动结构4底杆部长度方向同侧的两处相连。

[0054] 一对固定静电梳6与外部电路连接，通过给一对固定静电梳6施加或撤去电压实现对光开关的调控，除了固定静电梳6以外的顶层结构以及硅基底10均接地。

[0055] 由一对固定静电梳6施加电压，产生吸引力或者排斥力带动移动静电梳7向靠近

或者远离固定静电梳6方向移动，进而带动T形传动结构4在三组固定岛和弹簧结构1、5、8的弹性控制下驱动可移动锥形波导3向靠近或者远离固定锥形波导2方向移动，进而控制可移动锥形波导3和固定锥形波导2之间的耦合连接/接触连接，实现光开关的调控。

[0056] 本发明的实施工作过程是：

[0057] 当外部电路对一对固定静电梳6施加电压时，则固定静电梳6对移动静电梳7产生吸引力，带动移动静电梳7朝着固定静电梳6移动，通过移动静电梳7与T形传动结构4底杆部相连接的部分带动整个T形传动结构4发生垂直于可移动锥形波导3长度方向的位移，再通过可移动锥形波导3与T形传动结构4的顶边相连接的部分带动可移动锥形波导3位移，靠近固定锥形波导2，T形传动结构4的运动导致与之相连的第一组固定岛和弹簧结构1中的半折叠弹簧和第二、三组固定岛和弹簧结构5、8中的折叠弹簧发生弹性形变。

[0058] 通过调控施加在一对固定静电梳6上的电压大小可以控制可移动锥形波导3和固定锥形波导2之间的距离，当两者靠近到一定程度时实现光传播路径的调控。

[0059] 实施例中的静电梳驱动器6、7放置于第二组固定岛和弹簧结构5以及第三组固定岛和弹簧结构8之间，两组固定岛和弹簧结构5、8有利于增加静电梳驱动器6、7工作过程中的稳定性。

[0060] 如图1所示，当实施例中的集成波导MEMS光开关处于自然状态下即没有加电压的OFF状态下时，可移动锥形波导3和固定锥形波导2之间的间距较大，锥形波导2、3之间的光信号没有耦合。此状态下固定静电梳6和移动静电梳7的梳齿之间在T形传动结构的底杆部长度方向上有较大距离，该距离大于自然状态下可移动锥形波导3和固定锥形波导2之间的距离，以避免两锥形波导靠近，即处于图4所示的ON状态时静电梳6、7的梳齿之间发生碰撞。

[0061] 如图4所示，当实施例中的集成波导MEMS光开关处于施加一定偏压的ON状态下时，可移动锥形波导3靠近固定锥形波导2，两锥形波导之间保持较小的空隙，此时两根锥形波导构成定向绝热耦合器，光信号可以发生绝热演化从而实现光信号的路径切换。

[0062] 实施例中的集成波导MEMS光开关由自然的OFF状态切换到ON状态的过程中，固

定静电梳6一直保持加电压的状态，调节电压使可移动锥形波导3稳定在固定锥形波导2的一定距离处。当实施例中的集成波导MEMS光开关需要由ON状态切换到OFF状态时，只需撤去施加在固定静电梳6上的偏压即可。

[0063] 实施例中的固定锥形波导2和可移动锥形波导3是用于光学传输的部分，固定锥形波导2两端有连接的单模弯曲波导，可移动锥形波导3两端有连接的单模弯曲波导和多模干涉交叉波导。固定锥形波导2及可移动锥形波导3下方的掩埋层均被掏空，两者均为悬空波导结构，固定锥形波导2保持不动，可移动锥形波导3可以靠近固定锥形波导2以形成一个绝热定向耦合器，固定锥形波导2和可移动锥形波导3的长度以及两者之间的间隙应支持光信号在其中完成绝热演化。

[0064] 具体实施中，绝热耦合器和静电梳驱动器的顶层结构均为同一材料，且无论掩埋层是否被掏空均处于同一平面。对于整个开关结构而言，除了固定岛和固定静电梳6有掩埋层支撑之外，其他的结构均为悬空结构，所有的悬空结构中除了固定锥形波导2之外，都可以发生移动。

[0065] 具体实施中，绝热耦合器和静电梳驱动器的顶层结构均为同一材料，可以实现单片集成加工制造。实施例的集成波导MEMS光开关具有 2×2 的端口结构，可以按照不同的拓扑结构连接成 $N \times N$ 的开关阵列，并且可以通过增加开关单元的个数增大 $N \times N$ 阵列的规模。

[0066] 图6为采用Benes拓扑结构级联的 4×4 开关阵列示意图， 4×4 的开关阵列共包含六个开关单元，其中开关单元1和开关单元2为第一级，开关单元3和开关单元4为第二级，开关单元5和开关单元6为第三级，不同级开关单元之间通过直波导或交叉波导相互连接。位于第一级的开关单元1的两个输出端口分别与位于第二级的开关单元3和开关单元4的其中一个输入端口连接，位于第一级的开关单元2的两个输出端口分别与位于第二级的开关单元3和开关单元4的剩余一个输入端口连接，第二级开关单元和第三级开关单元之间的连接与此相同。

[0067] 以下说明本发明中的集成波导MEMS光开关的工作过程：

[0068] 图1是开关的OFF状态，此时固定静电梳6没有施加偏压，固定静电梳6和移动静电梳7之间以及固定锥形波导2和可移动锥形波导3之间均保持较大的间隙。此时，对于从固定锥形波导2下方输入的信号而言，由于可移动锥形波导3距离较远

，因此信号将不受影响的从固定锥形波导2的上方输出，同样的，此时从可移动锥形波导3的下方输入的光信号也将不受影响的从可移动锥形波导3的上方输出。

[0069] 给固定静电梳6施加一定的电压，移动静电梳7上将产生感应电荷，两者之间产生静电吸引力，在该静电力吸引力的作用下，移动静电梳7靠近固定静电梳6运动，T形传动结构4沿着与可移动锥形波导3的长度方向相垂直的方向运动，并拉动三组固定岛和弹簧结构中的弹簧的一端使其发生形变。当形变所产生的弹力与静电梳齿之间的静电力平衡时，整个机械结构到达平衡状态。

[0070] 随着施加的电压增加，那么固定静电梳6和移动静电梳7之间产生的静电力就越大，机械结构到达平衡状态时所产生的位移也就越大，可移动锥形波导3的移动距离也就越大，更靠近可移动锥形波导2。

[0071] 当可移动锥形波导3和固定锥形波导2之间的间隙减小到一定程度时，可移动锥形波导3和固定锥形波导2就形成了一个绝热定向耦合器，此即为开关的ON状态。

[0072] 图4描述开关的ON状态，此时固定锥形波导2和可移动锥形波导3形成了一个绝热定向耦合器，此时，对于从固定锥形波导2下方输入的光信号而言，由于可移动锥形波导3距离很近，因此固定锥形波导2中的光信号将绝热地演化到可移动锥形波导3中，从可移动锥形波导3的上方输出。如果想要恢复到开关的OFF状态，只需撤去施加在固定静电梳6上的电压即可，失去静电力后机械结构不再受力平衡，将在弹簧形变产生的弹力作用下恢复到初始的OFF状态，这就完成了开关的状态切换，实现了对光传播路径的调节。

[0073] 本实施例描述的集成波导MEMS光开关具有两个输入端口和两个输出端口，为 2×2 光开关，与一个输入端口和两个输出端口的 1×2 光开关相比更具可扩展性。 1×2 光开关一般采用Cross-bar拓扑结构，形成 $N \times N$ 阵列所需的光开关单元数高达 N^2 个，而 2×2 硅基MEMS光开关还可以采用Benes拓扑结构，如图7所示，形成 $N \times N$ 的开关阵列仅需 $N(\log_2 N - 0.5)$ 个光开关单元。除了Benes拓扑结构外，其他的拓扑结构也可以用于本发明中开关单元的开关阵列。

[0074] 以下描述本发明的具体实施情况：

- [0075] 选用绝缘体上硅（SOI）作为实施平台，顶层材料为220nm厚的硅，掩埋层为2μm厚的二氧化硅，基底为硅。考虑的波长范围是1500nm到1600nm，采用TE偏振的光信号。固定锥形波导的两端宽度分别为400nm和300nm，可移动锥形波导的两端宽度分别为300nm和400nm，两者的长度相同，为120μm。OFF状态下的固定锥形波导和可移动锥形波导之间的距离为1μm，ON状态下的固定锥形波导和可移动锥形波导之间的距离为100nm
- [0076] 经三维时域有限差分方法（3D-FDTD）对器件的光学性能进行仿真验证，OFF状态下入射光场几乎全部沿固定锥形波导传播，如图7(a)所示。在1500nm到1600nm波段上均能实现低损耗和高消光比，其损耗小于0.04dB，串扰低于-30dB。给固定静电梳施加电压，移动静电梳通过T形传动结构推动可移动锥形波导向固定锥形波导运动，两者之间的缝隙为100nm时开关进入ON状态，此时入射光场几乎绝热地演化进入可移动锥形波导，如图7(b)所示。开关处于OFF状态时在1500nm到1600nm波段上均能实现低损耗和高消光比，其损耗小于0.03dB，串扰低于-25dB。由此可见，本发明提出的集成波导MEMS光开关可以达到超大带宽、超低损耗、高消光比及超低能耗等效果。
- [0077] 上述实施例用来解释说明本发明，而不是对本发明进行限制，在本发明的精神和权利要求的保护范围内，对本发明作出的任何修改和改变，都落入本发明的保护范围。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种静电梳驱动的基于绝热耦合器的集成波导MEMS光开关，其特征在于：
- 包括至少一个开关单元，每个开关单元包括基底（10）以及置于基底上的机械驱动结构和绝热耦合器，所述的绝热耦合器主要包括固定锥形波导（2）和可移动锥形波导（3），固定锥形波导（2）保持固定，固定锥形波导（2）和可移动锥形波导（3）均沿垂直于机械驱动结构的移动方向平行布置，固定锥形波导（2）两端均连接有弯曲波导，可移动锥形波导（3）的两端通过一对多模干涉交叉波导结构与机械驱动结构相连，由机械驱动结构带动可移动锥形波导（3）靠近或远离固定锥形波导（2）移动。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的一种静电梳驱动的基于绝热耦合器的集成波导MEMS光开关，其特征在于：
- 所述的可移动锥形波导（3）两端的每端均依次连接有回形的第一根弯曲波导、十字形的多模干涉交叉波导和回形的第二根弯曲波导，十字形的多模干涉交叉波导由较长的一条和较短的一条构成，较长的一条由一对对称的模式演化锥形波导和一根长多模宽波导组成，一对模式演化锥形波导的宽端分别与长多模宽波导的两端相连，窄端分别与两根回形的弯曲波导相连；较短的一条是一根短多模宽波导，短多模宽波的一端与机械驱动结构相连。
- [权利要求 3] 根据权利要求1所述的一种静电梳驱动的基于绝热耦合器的集成波导MEMS光开关，其特征在于：
- 固定锥形波导（2）和可移动锥形波导（3）结构相同，均为一根宽度渐变的锥形波导，固定锥形波导（2）和可移动锥形波导（3）长度相同但宽度渐变方向相反，固定锥形波导（2）的输入端宽度和可移动锥形波导（3）的输出端宽度相同，固定锥形波导（2）的输出端宽度和可移动锥形波导（3）的输入端宽度相同，且固定锥形波导（2）和可移动锥形波导（3）之间的间隙大小始终保持不变。

- [权利要求 4] 根据权利要求1所述的一种静电梳驱动的基于绝热耦合器的集成波导MEMS光开关，其特征在于：
- 所述的机械驱动结构包括由固定静电梳（6）和移动静电梳（7）组成的静电梳驱动器、T形传动结构（4）以及三组固定岛和弹簧结构（1、5、8）；
- T形传动结构（4）悬空于基底（10）布置，T形传动结构（4）的顶杆部与可移动锥形波导（3）平行，底杆部与可移动锥形波导（3）垂直，T形传动结构（4）的底杆部从靠近可移动锥形波导（3）的一端开始沿着长度方向依次布置第一组固定岛和弹簧结构（1）、第二组固定岛和弹簧结构（5）、第三组固定岛和弹簧结构（8），第一组固定岛和弹簧结构（1）、第二组固定岛和弹簧结构（5）、第三组固定岛和弹簧结构（8）均和T形传动结构（4）连接；
- 第二组固定岛和弹簧结构（5）、第三组固定岛和弹簧结构（8）之间的T形传动结构（4）两侧布置静电梳驱动器，静电梳驱动器包括一对固定静电梳（6）和一对移动静电梳（7），固定静电梳（6）固定于基底（10），一对固定静电梳（6）对称分布在T形传动结构（4）底杆部长度方向的两侧并且与T形传动结构（4）的底杆部之间无连接；
- 移动静电梳（7）悬空于基底（10）布置，一对移动静电梳（7）对称分布在T形传动结构（4）底杆部长度方向的两侧，一对移动静电梳（7）靠近T形传动结构（4）底杆部的一端与底杆部的侧边固定相连；
- 固定静电梳（6）和移动静电梳（7）的梳齿呈对向、交错穿插分布。
- [权利要求 5] 根据权利要求4所述的一种静电梳驱动的基于绝热耦合器的集成波导MEMS光开关，其特征在于：
- 所述的第一组固定岛和弹簧结构（1）主要由一个固定岛和一对半折叠弹簧组成，固定岛固定于基底（10），固定岛的两端均通过一半折叠弹簧和T形传动结构（4）底杆部靠近可移动锥形波导（3）的一端连接，半折叠弹簧悬空于基底（10）布置。
- [权利要求 6] 根据权利要求5所述的一种静电梳驱动的基于绝热耦合器的集成波导MEMS光开关，其特征在于：

EMS光开关，其特征在于：

所述的半折叠弹簧为悬空结构，包括弹簧柄以及连接在弹簧柄两端且与弹簧柄长度方向垂直的两根梁组成，两根梁均朝向远离弹簧柄的同一侧延伸且分别与固定岛和T形传动结构（4）相连。

[权利要求 7] 根据权利要求4所述的一种静电梳驱动的基于绝热耦合器的集成波导M EMS光开关，其特征在于：

所述的第二组固定岛和弹簧结构（5）与第三组固定岛和弹簧结构（8）的结构相同，均由四个固定岛和一对折叠弹簧组成；固定岛固定于基底（10），四个固定岛中以两个固定岛为一组，一组固定岛布置在T形传动结构（4）底杆部的同一侧，两组固定岛分别布置在T形传动结构（4）底杆部的两侧，同一侧的两个固定岛通过一折叠弹簧和T形传动结构（4）底杆部侧部连接，折叠弹簧悬空于基底（10）布置。

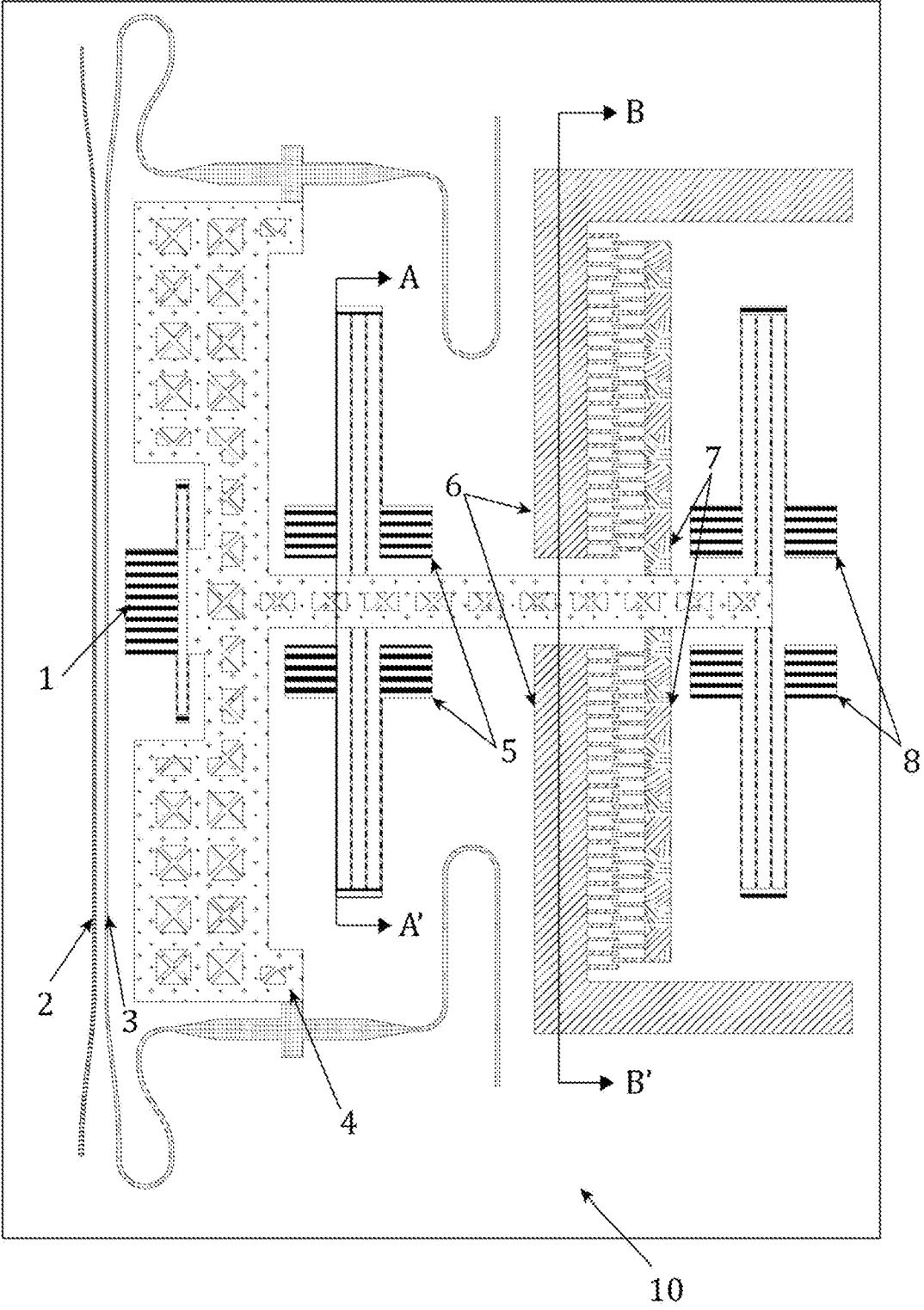
[权利要求 8] 根据权利要求7所述的一种静电梳驱动的基于绝热耦合器的集成波导M EMS光开关，其特征在于：

所述的折叠弹簧为悬空结构，包括弹簧柄、连接在弹簧柄两端且和弹簧柄长度方向垂直的两根短梁以及连接在弹簧柄中部且和弹簧柄长度方向垂直的两根长梁组成，两根短梁的一端分别连接到弹簧柄的两端，两根短梁远离弹簧柄的另一端分别与位于T形传动结构（4）底杆部同侧的两个固定岛相连，两根长梁的一端分别连接到弹簧柄中部的两处，两根长梁远离弹簧柄的另一端分别与位于T形传动结构（4）底杆部同侧的两处相连。

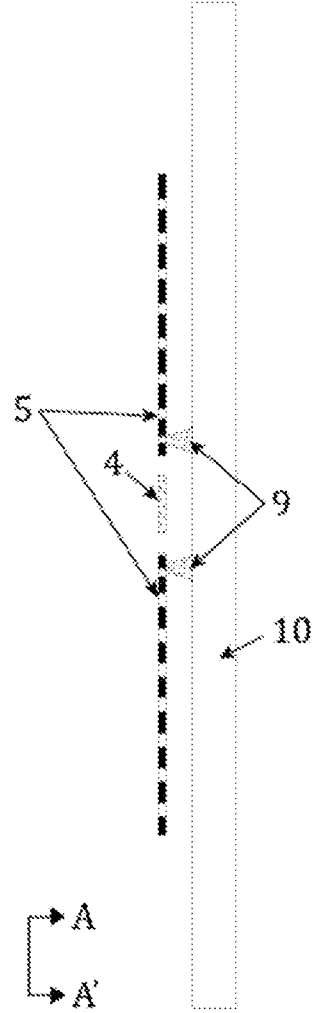
[权利要求 9] 根据权利要求4所述的一种静电梳驱动的基于绝热耦合器的集成波导M EMS光开关，其特征在于：

所述一对固定静电梳（6）与外部电路连接，通过给一对固定静电梳（6）施加或撤去电压实现对光开关的调控。

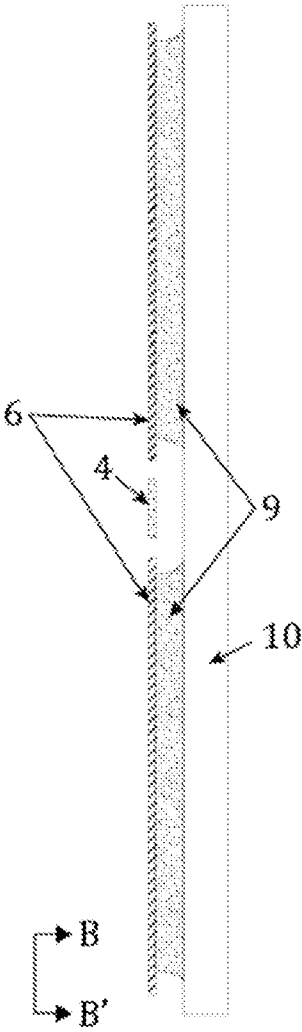
[图1]



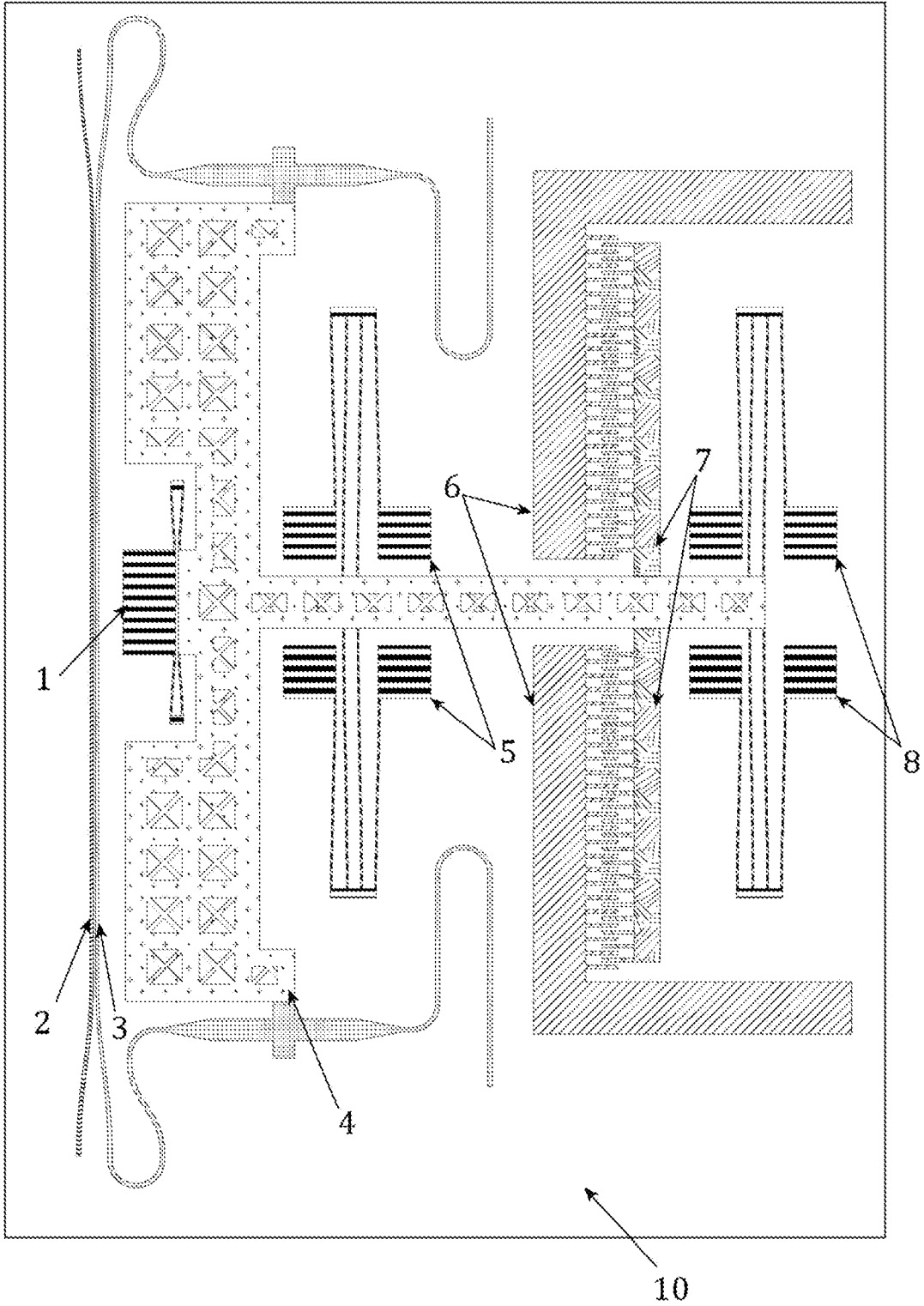
[图2]



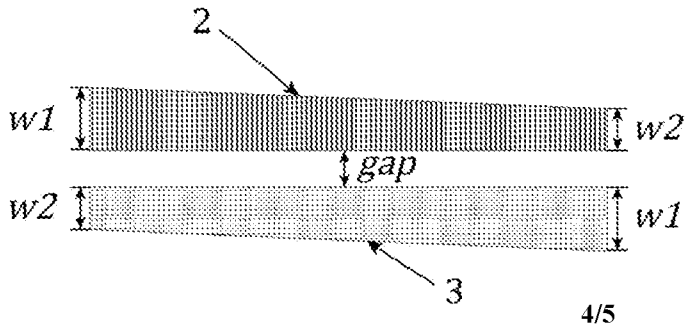
[图3]



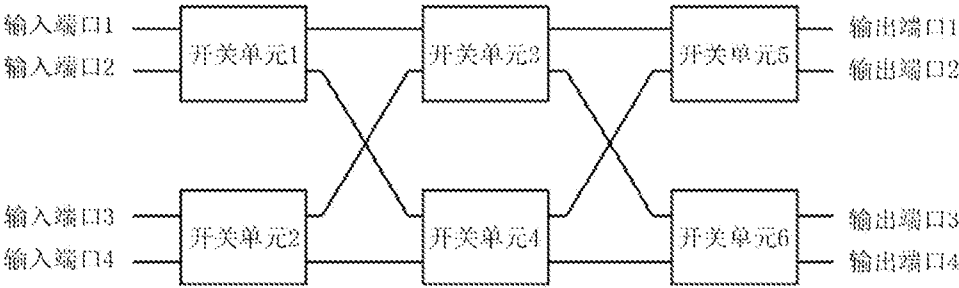
[图4]



[图5]



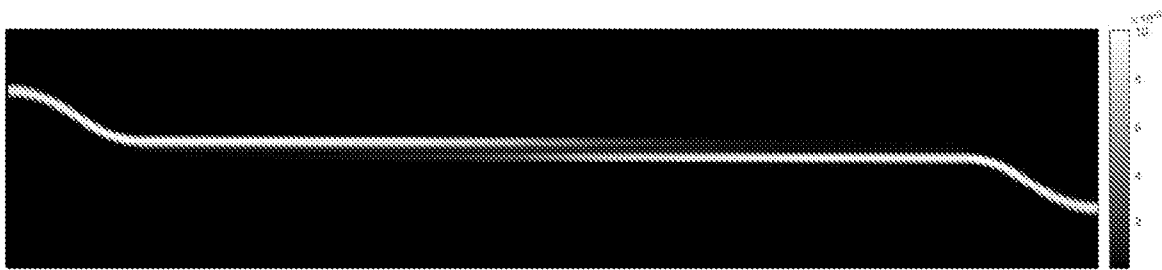
[图6]



[图7]



(a)



(b)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/118315

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B6/35(2006.01)i; G02B6/12(2006.01)i; G02B6/122(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)

IPC: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)

CNABS, CNTXT, CNKI, VEN, ENTXT, USTXT, WPABS, ENTXTC, Web of Science: 浙江大学, 李欢, 戴道铨, mems, 光开关, 静电梳, 梳齿, 驱动, 制动, electrostatic, static, comb?, teeth, toothed, switch???, waveguide?, driv???

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	孙仪 (SUN, Yi). "基于硅光波导结构的光传输动态调控 (Dynamic Control of Optical Transmission Based on Silicon Photonic waveguides)" 中国优秀硕士学位论文全文数据库信息科技辑 (Information & Technology, China Master's Theses Full-Text Database), 15 September 2021 (2021-09-15), chapter 3, page 28 to chapter 4, page 67, and figures 3-1 to 4-12	1-2
Y	孙仪 (SUN, Yi). "基于硅光波导结构的光传输动态调控 (Dynamic Control of Optical Transmission Based on Silicon Photonic waveguides)" 中国优秀硕士学位论文全文数据库信息科技辑 (Information & Technology, China Master's Theses Full-Text Database), 15 September 2021 (2021-09-15), chapter 3, page 28 to chapter 4, page 67, and figures 3-1 to 4-12	3
Y	CN 114114681 A (NANTONG UNIVERSITY) 01 March 2022 (2022-03-01) description, paragraphs 0025-0052, and figures 1-7	3
Y	CN 114167545 A (NANTONG UNIVERSITY) 11 March 2022 (2022-03-11) description, paragraphs 0045-0076, and figures 1-5	3
Y	CN 114114540 A (NANTONG UNIVERSITY) 01 March 2022 (2022-03-01) description, paragraphs 0034-0066, and figures 1-5	3



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

"D" document cited by the applicant in the international application

"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

03 January 2024

Date of mailing of the international search report

05 January 2024

Name and mailing address of the ISA/CN

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/118315

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 112305676 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 02 February 2021 (2021-02-02) description, paragraphs 0045-0091, and figures 1-8	1-2
X	WO 2022062317 A1 (ZHEJIANG UNIVERSITY) 31 March 2022 (2022-03-31) description, page 5, last paragraph to page 12, and figures 1-8	1-2
PX	CN 115826143 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 21 March 2023 (2023-03-21) description, paragraphs 0039-0076, and figures 1-7(b)	1-9
A	JP 2005074561 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD.) 24 March 2005 (2005-03-24) description, paragraphs 0011-0044, and figures 1-9	1-9
A	US 2017235056 A1 (LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY) 17 August 2017 (2017-08-17) description, paragraphs 0013-0035, and figures 1A-6C	1-9
A	Yu, PD et al. "A Analysis of a Novel MEMS Electrostatic Comb Actuator for Optical Switching" <i>Micromachining and Microfabrication Process Technology and Devices</i> , Vol. 4601, No. 2001, 15 October 2001 (2001-10-15), 191-195 page 191, 2nd-to-last paragraph to page 195, paragraph 1, and figures 1-2	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/118315

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	114114681	A	01 March 2022	None			
CN	114167545	A	11 March 2022	None			
CN	114114540	A	01 March 2022	None			
CN	112305676	A	02 February 2021	None			
WO	2022062317	A1	31 March 2022	US	2023103616	A1	06 April 2023
CN	115826143	A	21 March 2023	None			
JP	2005074561	A	24 March 2005	None			
US	2017235056	A1	17 August 2017	US	10338319	B2	02 July 2019

A. 主题的分类

G02B6/35(2006.01)i; G02B6/12(2006.01)i; G02B6/122(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)

IPC: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))

CNABS、CNTXT、CNKI、VEN、ENTXT、USTXT、WPABS、ENTXTC、Web of Science:浙江大学,李欢,戴道铎, mems,光开关,静电梳,梳齿,驱动,制动,electrostatic, static, comb?, teeth, toothed, switch???, waveguide?,driv???

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
X	孙仪. "基于硅光波导结构的光传输动态调控" 中国优秀硕士学位论文全文数据库信息科技辑, 2021年9月15日 (2021 - 09 - 15), 第3章第28页至第4章第67页, 附图3-1至4-12	1-2
Y	孙仪. "基于硅光波导结构的光传输动态调控" 中国优秀硕士学位论文全文数据库信息科技辑, 2021年9月15日 (2021 - 09 - 15), 第3章第28页至第4章第67页, 附图3-1至4-12	3
Y	CN 114114681 A (南通大学) 2022年3月1日 (2022 - 03 - 01) 说明书第0025-0052段, 图1-7	3
Y	CN 114167545 A (南通大学) 2022年3月11日 (2022 - 03 - 11) 说明书第0045-0076段, 图1-5	3
Y	CN 114114540 A (南通大学) 2022年3月1日 (2022 - 03 - 01) 说明书第0034-0066段, 图1-5	3
X	CN 112305676 A (浙江大学) 2021年2月2日 (2021 - 02 - 02) 说明书第0045-0091段, 图1-8	1-2

☒ 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

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“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

2024年1月3日

国际检索报告邮寄日期

2024年1月5日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

殷雪

电话号码 (+86) 010-62085514

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

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
X	WO 2022062317 A1 (UNIV ZHEJIANG) 2022年3月31日 (2022 - 03 - 31) 说明书第5页最后1段至第12页, 图1-8	1-2
PX	CN 115826143 A (浙江大学) 2023年3月21日 (2023 - 03 - 21) 说明书第0039-0076段, 图1-7(b)	1-9
A	JP 2005074561 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD) 2005年3月24日 (2005 - 03 - 24) 说明书第0011-0044段, 图1-9	1-9
A	US 2017235056 A1 (UNIV LELAND STANFORD JUNIOR) 2017年8月17日 (2017 - 08 - 17) 说明书第0013-0035段, 图1A-6C	1-9
A	Yu, PD等. "A Analysis of a novel MEMS electrostatic comb actuator for optical switching" Micromachining and Microfabrication Process Technology and Devices, 第4601卷, 第2001期, 2001年10月15日 (2001 - 10 - 15), 191-195 第191页倒数第2段至第195页第1段, 附图1-2	1-9

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/118315

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	114114681	A	2022年3月1日	无			
CN	114167545	A	2022年3月11日	无			
CN	114114540	A	2022年3月1日	无			
CN	112305676	A	2021年2月2日	无			
WO	2022062317	A1	2022年3月31日	US	2023103616	A1	2023年4月6日
CN	115826143	A	2023年3月21日	无			
JP	2005074561	A	2005年3月24日	无			
US	2017235056	A1	2017年8月17日	US	10338319	B2	2019年7月2日