

(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
2019 年 11 月 21 日 (21.11.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/218385 A1

- (51) 国际专利分类号:
G02F 1/035 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2018/087918
- (22) 国际申请日: 2018 年 5 月 22 日 (22.05.2018)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201810467755.0 2018年5月16日 (16.05.2018) CN
- (71) 申请人: 中山大学 (SUN YAT-SEN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国广东省广州市海珠区新港西路135号, Guangdong 510275 (CN)。
- (72) 发明人: 蔡鑫伦 (CAI, Xinlun); 中国广东省广州市海珠区新港西路135号, Guangdong 510275 (CN)。 何名博 (HE, Mingbo); 中国广东省广州市海珠区新港西路135号, Guangdong 510275 (CN)。 徐

梦玥 (XU, Mengyue); 中国广东省广州市海珠区新港西路135号, Guangdong 510275 (CN)。 余思远 (YU, Siyuan); 中国广东省广州市海珠区新港西路135号, Guangdong 510275 (CN)。

(74) 代理人: 广州粤高专利商标代理有限公司 (YOGO PATENT AND TRADEMARK AGENCY LIMITED COMPANY); 中国广东省广州市天河区体育西路191号中石化大厦B塔4416室, Guangdong 510620 (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, 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, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

(54) **Title:** SILICON AND LITHIUM NIOBATE HYBRID INTEGRATED OPTICAL MODULATOR AND PREPARATION METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 硅和铌酸锂混合集成光调制器及其制备方法

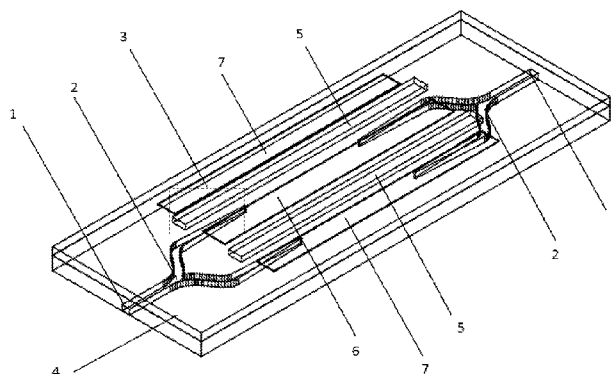


图 1

(57) **Abstract:** A silicon and lithium niobate hybrid integrated optical modulator, comprising a silicon-based optical waveguide structure (1) on an insulator, an optical beam splitting structure (2), a silicon wedge-shaped waveguide optical mode conversion structure (3), a bonding medium layer (4), a lithium niobate waveguide (5), a signal metal electrode (6) and a ground metal electrode (7), the silicon-based optical waveguide structure (1) on an insulator being connected to an input end of the optical beam splitting structure (2), and two output ends of the optical beam splitting structure (2) being connected to the lithium niobate waveguide (5) respectively by means of the silicon wedge-shaped waveguide optical mode conversion structure (3); the signal metal electrode (6) is disposed at a side opposite to the lithium niobate waveguide (5); the ground metal electrode (7) is disposed at a side facing away from the lithium niobate waveguide (5); the hybrid integrated optical modulator is a two-layer structure: the silicon-based optical waveguide structure (1), the optical beam splitting structure (2) and the silicon wedge-shaped waveguide optical mode conversion structure (3) are disposed within the bonding medium layer (4), and the lithium niobate waveguide (5), the signal metal electrode (6) and the ground metal electrode (7) are disposed above the bonding medium layer (4). Further comprised is a corresponding preparation method for the silicon and lithium niobate hybrid integrated optical modulator.

PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, 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))。

(57) 摘要: 一种硅和铌酸锂混合集成光调制器, 包括绝缘体上硅基光波导结构(1)、光学分束结构(2)、硅楔形波导光学模式转换结构(3)、键合介质层(4)、铌酸锂波导(5)、信号金属电极(6)和接地金属电极(7), 其中绝缘体上硅基光波导结构(3)与光学分束结构(2)的输入端连接, 光学分束结构(2)的两个输出端分别通过硅楔形波导光学模式转换结构(3)与铌酸锂波导(5)连接; 信号金属电极(6)设置在铌酸锂波导(5)相对的一侧; 接地金属电极(7)设置在铌酸锂波导(5)相背的一侧; 该混合集成光调制器是一种双层结构: 硅基光波导结构(1)、光学分束结构(2)、硅楔形波导光学模式转换结构(3)设置在键合介质层(4)内, 铌酸锂波导(5)、信号金属电极(6)和接地金属电极(7)设置在键合介质层(4)上方。还包括该硅和铌酸锂混合集成光调制器的相应制备方法。

硅和铌酸锂混合集成光调制器及其制备方法

技术领域

5 本发明涉及光学调制技术领域，更具体地，涉及一种硅和铌酸锂混合集成光调制器及其制备方法。

背景技术

硅基光子学平台是当下最好的集成光学平台。硅基光子学平台由于其与传统 CMOS 工艺兼容，具有高折射率差，使得硅基光子学平台具有易于大规模制作、
10 易于集成两大优势。硅基平台十分适合制作无源器件，但是硅的基本特性导致实现一些有源器件有巨大的挑战。硅本身是中心对称的晶体结构，因此硅没有线性电光效应，而线性电光效应是目前高性能光调制器所需的。硅基调制器需要依靠等离子体色散效应，通常利用离子注入形成 PN 结的方式实现，通过改变 PN 结的载流子浓度来改变硅波导的折射率，进而实现对光波振幅的调制。不过这种方式
15 在改变硅波导的折射率的同时，也会改变硅波导的损耗，是在牺牲消光比的基础上实现高带宽，这使得硅基调制器在长距离数字光通信系统中的应用受到限制，此外，由于载流子效应本身是一个非线性过程，因此硅基调制器的线性度远远比不上传统的铌酸锂器件，而未来的 5G 移动通信系统，微波光子学，以及下一代光纤通信的应用中，线性度的要求越来越高。

20 综上所述，尽管硅基光子器件有非常大的技术优势，但是基于载流子效应的硅基调制器在性能上仍然无法与商用的铌酸锂调制器相比拟。铌酸锂材料具有优越的线性电光效应，是高性能光调制器的首选材料。

发明内容

本发明针对现有硅基调制器消光比不高、线性度受限、插入损耗大等问题，
25 提出一种硅和铌酸锂混合集成光调制器，该光调制器通过结合硅和铌酸锂这两种材料的优点，来提高硅基光调制器的性能，具有高消光比，高线性度，低插入损耗的优点。

为实现以上发明目的，采用的技术方案是：

一种硅和铌酸锂混合集成光调制器，包括绝缘体上硅基光波导结构、光学分
30 束结构、硅楔形波导光学模式转换结构、键合介质层、铌酸锂波导、信号金属电

极和接地金属电极，其中绝缘体上硅基光学结构与光学分束结构的输入端连接，光学分束结构的两个输出端分别通过硅楔形波导光学模式转换结构与铌酸锂波导连接；所述信号金属电极设置在光学分束结构的两个输出端相对的一侧；接地金属电极设置在光学分束结构两个输出端相背的一侧；所述硅基光学结构、光学分束结构、硅楔形波导光学模式转换结构、铌酸锂波导、信号金属电极和接地金属电极设置在键合介质层内。

在具体使用的时候，光学分束结构将硅基光学结构中的光束分成两束完全相等的光束通过硅楔形波导光学模式转换结构将光束逐步耦合进入铌酸锂波导中。在信号金属电极上加电压，将接地金属电极接地，由于普克尔斯效应铌酸锂波导的折射率发生变化，两条铌酸锂波导之间产生折射率差 Δn ，从而使两束相等的光之间产生相位差。将两束光通过硅楔形波导光学模式转换结构逐步耦合进入硅波导，通过光学分束结构两束光发生干涉，实现光束强度调制。

优选地，所述硅基光波导结构的数量为 2，所述光学分束结构的数量为 2，所述铌酸锂波导的数量为 2，2 个硅基光波导结构分别与 2 个光学分束结构的输入端连接；2 个光学分束结构的 2 个输出端分别通过硅楔形波导光学模式转换结构与 2 个铌酸锂波导的左右两端连接。

优选地，所述接地金属电极的数量为 2 个，2 个接地金属电极分别设置在光学分束结构两个输出端相背的一侧。

同时，本发明还提供了一种以上硅和铌酸锂混合集成光调制器的制备方法，其具体的方案如下：

- 1) 绝缘体上硅薄膜的基片上利用光刻刻蚀技术制作硅基光学结构；
- 2) 在所述步骤 1) 得到的硅基光学结构上旋涂苯并环丁烯；
- 3) 将绝缘体-埋氧层-铌酸锂薄膜的晶片贴在所述步骤 2) 得到的绝缘体-埋氧层-硅基光学结构-苯并环丁烯复合材料上，高温退火，得到硅铌酸锂组合基片；
- 4) 利用一系列机械化学手段将所述步骤 3) 得到的硅铌酸锂组合基片上位于铌酸锂薄膜上方的埋氧层和绝缘体去掉，得到硅铌酸锂薄膜组合基片；
- 5) 在所述步骤 4) 得到的组合基片上利用光刻和刻蚀手段制作铌酸锂波导；
- 6) 在所述步骤 5) 得到的结构中利用金属剥离工艺，镀上粘附层和金电极，得到硅铌酸锂混合集成光学调制器。

与现有技术相比，本发明的有益效果是：

1) 本发明将铌酸锂和硅混合集成在一起, 把铌酸锂的线性电光效应引入到硅基平台上, 通过结合硅和铌酸锂这两种材料的优点, 来提高光调制器的性能。

2) 采用了干法刻蚀铌酸锂材料的工艺, 提高了电场和光场的相互作用, 可以实现高效率的调制器。

5 附图说明

图 1 是本发明的一种硅铌酸锂混合集成调制器的光学器件的三维示意图。

图 2 是本发明的一种硅铌酸锂混合集成调制器的光学器件的俯视图。

图 3 是本发明的一种硅楔形波导光学模式转换结构示意图。

具体实施方式

10 附图仅用于示例性说明, 不能理解为对本专利的限制;

以下结合附图和实施例对本发明做进一步的阐述。

实施例 1

参照图 1~3, 本发明提供一种硅和铌酸锂混合集成光调制器包括: 绝缘体上硅基光波导结构 1、光学分束结构 2、硅楔形波导光学模式转换结构 3、键合
15 介质层 4、铌酸锂波导 5、信号金属电极 6、接地金属电极 7;

其中绝缘体上硅基光波导结构 1 与光学分束结构 2 的输入端连接, 光学分束结构 2 的两个输出端分别通过硅楔形波导光学模式转换结构 3 与铌酸锂波导 5 连接; 所述信号金属电极 6 设置在光学分束结构 2 的两个输出端相对的一侧; 接地金属电极 7 设置在光学分束结构 2 两个输出端相背的一侧; 所述硅基光学结构 1、
20 光学分束结构 2、硅楔形波导光学模式转换结构 3 设置在键合介质层 4 内, 铌酸锂波导 5、信号金属电极 6 和接地金属电极 7 设置在键合介质层 4 上方。

光学分束结构 2 将硅基光学结构 1 中的光束分成两束完全相等的光束通过模式转换结构 3 将光束逐步耦合进入铌酸锂波导 5 中。在信号金属电极 6 上加电压, 将接地金属电极 7 接地, 由于普克尔斯效应铌酸锂波导的折射率发生变化, 两条
25 铌酸锂波导 5 之间产生折射率差 Δn , 从而使两束相等的光之间产生相位差。将两束光通过模式转换结构 3 逐步耦合进入硅波导, 同过光学分束结构 2 两束光发生干涉, 实现光束强度调制。

本发明制作硅铌酸锂混合集成调制器的具体工艺步骤如下:

- 1) 绝缘体上硅薄膜的基片上利用光刻刻蚀技术制作硅基光学结构;
- 30 2) 在所述步骤 1) 得到的硅基光学结构上旋涂苯并环丁烯;

3)将绝缘体-埋氧层-铌酸锂薄膜的晶片贴在所述步骤2)得到的绝缘体-埋氧层-硅基光学结构-苯并环丁烯复合材料上，高温退火，得到硅铌酸锂组合基片；

4)利用一系列机械化学手段将所述步骤3)得到的硅铌酸锂组合基片上位于铌酸锂薄膜上方的埋氧层和绝缘体去掉，得到硅铌酸锂薄膜组合基片；

5)在所述步骤4)得到的组合基片上利用光刻和刻蚀手段制作铌酸锂波导；

6)在所述步骤5)得到的结构中利用金属剥离工艺，镀上粘附层和金电极，得到硅铌酸锂混合集成光学调制器。

显然，本发明的上述实施例仅仅是为清楚地说明本发明所作的举例，而并非是对本发明的实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说，在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明权利要求的保护范围之内。

权利要求书

1.一种硅和铌酸锂混合集成光调制器，其特征在于：包括绝缘体上硅基光波
导结构、光学分束结构、硅楔形波导光学模式转换结构、键合介质层、铌酸锂波
5 导、信号金属电极和接地金属电极，其中绝缘体上硅基光学结构与光学分束结构的
输入端连接，光学分束结构的两个输出端分别通过硅楔形波导光学模式转换结
构与铌酸锂波导连接；所述信号金属电极设置在光学分束结构的两个输出端相对
的一侧；接地金属电极设置在光学分束结构两个输出端相背的一侧；所述混合集
10 成光调制器是一种双层结构：硅基光波导结构、光学分束结构、硅楔形波导光学
模式转换结构设置在键合介质层内，铌酸锂波导、信号金属电极和接地金属电极
设置在键合介质层上方。

2.根据权利要求1所述的硅和铌酸锂混合集成光调制器，其特征在于：所述
硅基光波导结构的数量为2，所述光学分束结构的数量为2，所述铌酸锂波导的
数量为2，2个硅基光波导结构分别与2个光学分束结构的输入端连接；2个光
15 学分束结构的2个输出端分别通过硅楔形波导光学模式转换结构与2个铌酸锂波
导的左右两端连接。

3.根据权利要求2所述的硅和铌酸锂混合集成光调制器，其特征在于：所述
接地金属电极的数量为2个，2个接地金属电极分别设置在光学分束结构两个输
出端相背的一侧。

4.一种根据权利要求1~3任一项所述硅和铌酸锂混合集成光调制器的制备方
20 法，其特征在于：包括以下步骤：

1)绝缘体上硅薄膜的基片上利用光刻刻蚀技术制作硅基光学结构；

2)在所述步骤1)得到的硅基光学结构上旋涂苯并环丁烯；

3)将绝缘体-埋氧层-铌酸锂薄膜的晶片贴在所述步骤2)得到的绝缘体-埋氧
25 层-硅基光学结构-苯并环丁烯复合材料上，高温退火，得到硅铌酸锂组合基片；

4)利用一系列机械化学手段将所述步骤3)得到的硅铌酸锂组合基片上位于
铌酸锂薄膜上方的埋氧层和绝缘体去掉，得到硅铌酸锂薄膜组合基片；

5)在所述步骤4)得到的组合基片上利用光刻和刻蚀手段制作铌酸锂波导；

6)在所述步骤5)得到的结构中利用金属剥离工艺，镀上粘附层和金电极，
30 得到硅铌酸锂混合集成光学调制器。

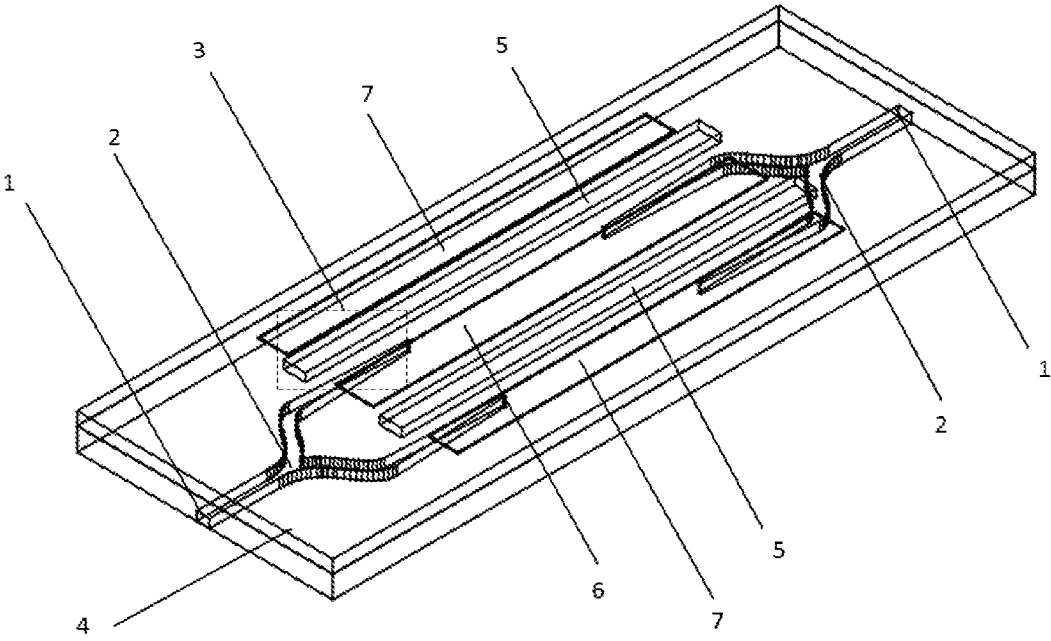


图 1

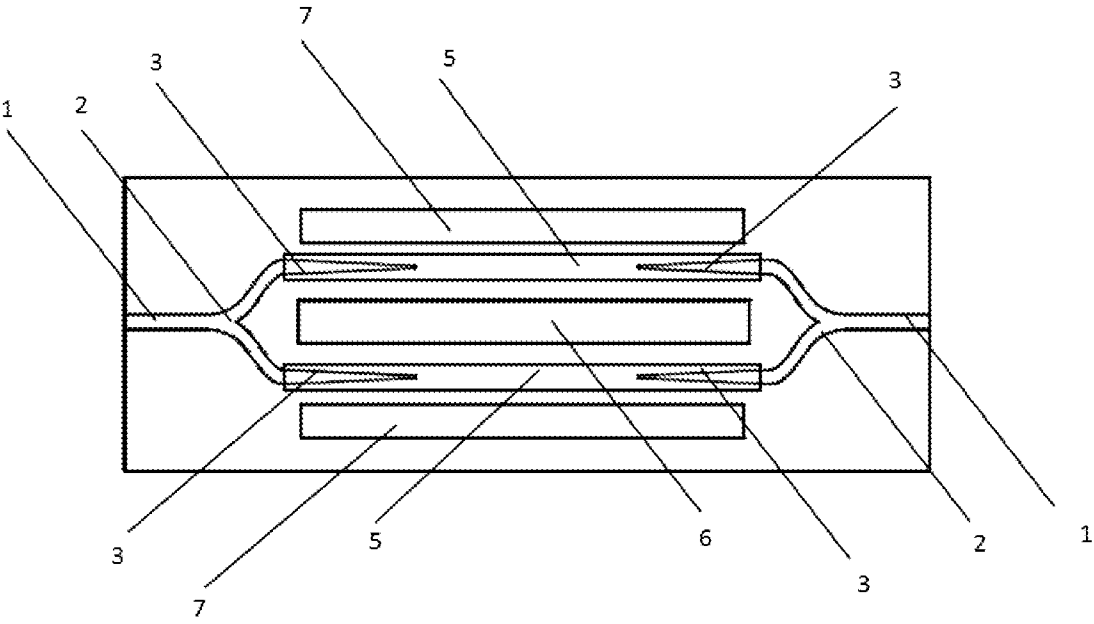


图 2

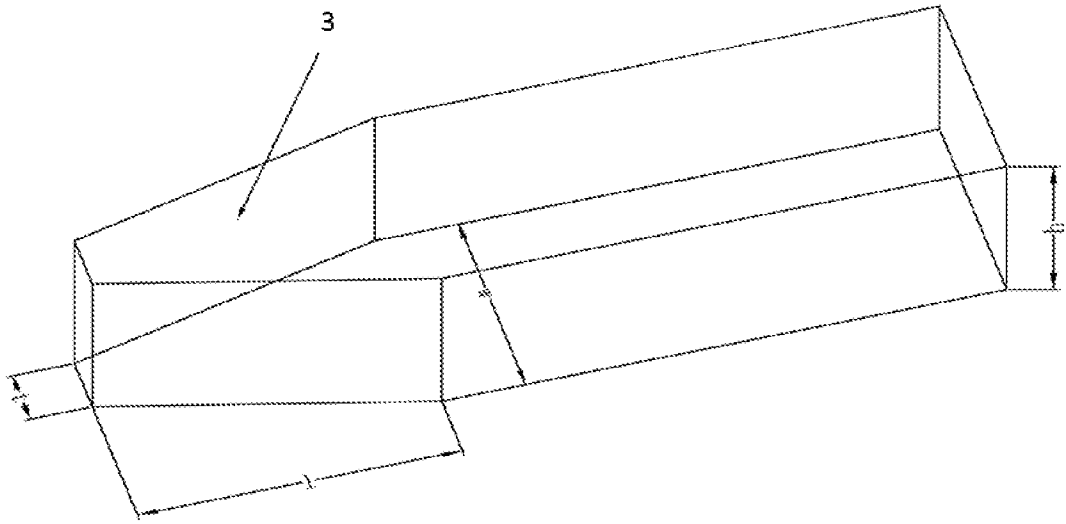


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/087918

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F 1/035(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)

G02F 1

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: 调制器, 硅, 铌酸锂, 波导, 混合, 模式, 模场, 转换, 变换, modulator, lithium niobate, LiNbO₃, LN, silicon, si, waveguide, hybrid, mode, conversion**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 104460053 A (SOUTHEAST UNIVERSITY) 25 March 2015 (2015-03-25) description, pages 3-5, and figures 1-3	1-4
Y	WEIGEL, P.O. et al. "Lightwave Circuits in Lithium Niobate through Hybrid Waveguides with Silicon Photonics" <i>Scientific Reports</i> , No. 22301, 01 March 2016 (2016-03-01), pages 1-6, and figures 1-3 and 5	1-4
A	CN 106092080 A (ACCELINK TECHNOLOGY CO., LTD.) 09 November 2016 (2016-11-09) entire document	1-4
A	US 2003128905 A1 (NEC CORP.) 10 July 2003 (2003-07-10) entire document	1-4

☐ 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

15 February 2019

Date of mailing of the international search report

21 February 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

State Intellectual Property Office of the P. R. China
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/CN2018/087918

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	104460053	A	25 March 2015	CN	104460053	B	23 June 2017
CN	106092080	A	09 November 2016	None			
US	2003128905	A1	10 July 2003	JP	2003195239	A	09 July 2003
				US	6876782	B2	05 April 2005
				GB	2383642	A	02 July 2003
				GB	2383642	B	11 February 2004
				GB	0230191	D0	05 February 2003

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/087918

A. 主题的分类

G02F 1/035 (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)

G02F 1

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; 调制器, 硅, 铌酸锂, 波导, 混合, 模式, 模场, 转换, 变换, modulator, lithium niobate, LiNbO3, LN, silicon, si, waveguide, hybrid, mode, conversion

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
Y	CN 104460053 A (东南大学) 2015年 3月 25日 (2015 - 03 - 25) 说明书第3-5页、图1-3	1-4
Y	Peter O. Weigel等. "Lightwave Circuits in Lithium Niobate through Hybrid Waveguides with Silicon Photonics" Scientific Reports, 第22301期, 2016年 3月 1日 (2016 - 03 - 01), 第1-6页, 图1-3、5	1-4
A	CN 106092080 A (武汉光迅科技股份有限公司) 2016年 11月 9日 (2016 - 11 - 09) 全文	1-4
A	US 2003128905 A1 (NEC CORP) 2003年 7月 10日 (2003 - 07 - 10) 全文	1-4

☐ 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

2019年 2月 15日

国际检索报告邮寄日期

2019年 2月 21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

受权官员

胡婉约

电话号码 62085586

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/087918

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	104460053	A	2015年 3月 25日	CN 104460053 B	2017年 6月 23日
CN	106092080	A	2016年 11月 9日	无	
US	2003128905	A1	2003年 7月 10日	JP 2003195239 A	2003年 7月 9日
				US 6876782 B2	2005年 4月 5日
				GB 2383642 A	2003年 7月 2日
				GB 2383642 B	2004年 2月 11日
				GB 0230191 D0	2003年 2月 5日