

(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
2014 年 8 月 7 日 (07.08.2014)



(10) 国际公布号
WO 2014/117674 A1

- (51) 国际专利分类号:
G02B 6/136 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2014/071254
- (22) 国际申请日: 2014 年 1 月 23 日 (23.01.2014)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201310038365.9 2013 年 1 月 31 日 (31.01.2013) CN
- (71) 申请人: 东北大学 (NORTHEASTERN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国辽宁省沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号, Liaoning 110819 (CN)。
- (72) 发明人: 姜潇潇 (JIANG, Xiaoxiao); 中国辽宁省沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号, Liaoning 110819 (CN)。 司光远 (SI, Guangyuan); 中国辽宁省沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号, Liaoning 110819 (CN)。 谷琼婵 (GU, Qiongchan); 中国辽宁省沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号, Liaoning 110819 (CN)。 王凤文 (WANG, Fengwen); 中国辽宁省沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号, Liaoning 110819 (CN)。 吕江涛 (LV, Jiangtao); 中国辽宁省沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号, Liaoning 110819 (CN)。
- (74) 代理人: 北京路浩知识产权代理有限公司 (CN-KNOWHOW INTELLECTUAL PROPERTY AGENT LIMITED); 中国北京市海淀区丹棱街 3 号中国电子大厦 B 座 18 层, 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, 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, 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)。

[见续页]

(54) Title: METHOD FOR ETCHING OPTICAL WAVEGUIDE BASED ON FOCUSED ION BEAM

(54) 发明名称: 基于聚焦离子束刻蚀光波导的方法

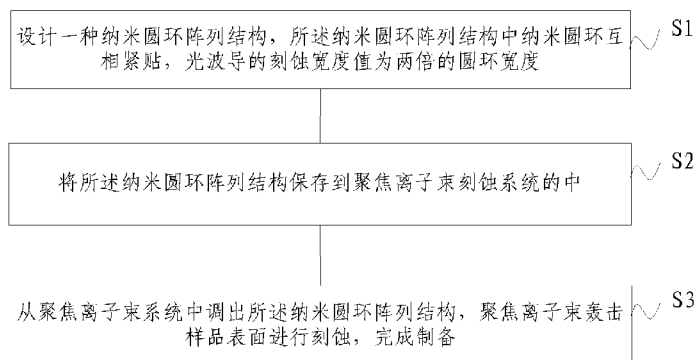


图 4 /FIG. 4

- S1 Designing a nano-ring array structure, the nano-rings in the nano-ring array structure pressing against each other, the etching width of the optical waveguide being twice the width of the ring
- S2 Storing the nano-ring array structure in a focused ion beam etching system
- S3 Invoking the nano-ring array structure from the focused ion beam etching system, focusing an ion beam to bombard the sample surface to conduct etching and complete the preparation

(57) Abstract: Provided is a method for etching an optical waveguide based on a focused ion beam, the method comprising: S1, designing a nano-ring array structure, the nano-rings in the nano-circular ring array structure pressing against each other, the etching width of the optical waveguide being twice the width of the ring; S2, storing the nano-ring array structure in a focused ion beam etching system; S3, invoking the nano-ring array structure from the focused ion beam etching system, focusing an ion beam to bombard the sample surface to conduct etching, completing the preparation. The optical waveguide structure of the present invention has ultra-high aspect ratio, and nearly vertical sidewalls.

(57) 摘要: 本发明提供一种基于聚焦离子束刻蚀光波导的方法, 该方法包括: S1、设计一种纳米圆环阵列结构, 所述纳米圆环阵列结构中纳米圆环互相紧贴, 光波导的刻蚀宽度值为两倍的圆环宽度; S2、将所述纳米圆环阵列结构保存到聚焦离子束刻蚀系统中; S3、从聚焦离子束系统中调出所述纳米圆环阵列结构, 聚焦离子束轰击样品表面进行刻蚀, 完成制备。通过本发明制造的光波导结构具有超高占空比, 几乎垂直的侧壁。

所述纳米圆环阵列结构, 聚焦离子束轰击样品表面进行刻蚀, 完成制备。通过本发明制造的光波导结构具有超高占空比, 几乎垂直的侧壁。



WO 2014/117674 A1



本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

说明书

基于聚焦离子束刻蚀光波导的方法

技术领域

本发明涉及光学器件技术领域，具体涉及一种基于聚焦离子束刻蚀光波
5 导的方法。

背景技术

光波导广泛应用于制备各类光学器件中，光波导的实验制备主要有湿法
刻蚀和干法刻蚀两种方法。其中湿法刻蚀是通过使用具有腐蚀性的酸溶液对
用于制备光波导的材料进行刻蚀并最终形成波导。其制备原理如图 1 所示，
10 通过使用掩膜遮挡，使得酸溶液只对暴露在外的样品部分进行刻蚀，被遮挡
住的部分则不会被刻蚀（注：当作掩膜使用的物质需抗酸的腐蚀）。正是通
过这种选择性刻蚀，最终形成所需要的光波导结构。湿法刻蚀由于需被刻蚀
的材料和酸溶液的反应受到诸多因素的影响，使得刻蚀过程不易被控制。比
如，反应的速率和溶液的溶度、温度、以及压强关系密切。在刻蚀过程中，
15 必须确保各种影响反应速率的因素稳定、无波动，否则会造成刻蚀的结果不
均一。这种不均一的波导形状会造成光在其中传输时产生过大的损耗，降低
器件的工作效率，制约器件的使用范围。

对于干法刻蚀而言，最常用的方法为等离子刻蚀（plasma etching）。相
较于湿法刻蚀，这种方法刻蚀速率偏低，但是却能对刻蚀过程达到很好的控
20 制。此外，对于光波导的侧壁，其垂直程度会得到一定程度的改善。但是，
使用等离子刻蚀法依然无法得到很大的刻蚀深度和很高的占空比（占空比英
文为 aspect ratio，定义为刻蚀深度 / 刻蚀宽度），这是因为虽然离子可以在加
速电场的作用下以高速轰击样品表面，但是离子轰击样品时的入射方向并非
全部完全垂直于样品表面。如图 2 中的示意图所示，也就是说，大部分离子
25 是倾斜一定的角度轰击样品表面并移除物质从而形成波导的。可见不论是使

用湿法刻蚀还是使用等离子刻蚀，都有一个不可避免的问题，那就是所制备的波导的侧壁参差不齐且不垂直，都很难得到大尺寸的刻蚀深度和具有超高占空比的结构。

发明内容

5 (一) 所要解决的技术问题

为解决上述技术问题，本发明提供一种基于聚焦离子束刻蚀的光波导制备方法，得到具有深度刻蚀的超高占空比和几乎完全垂直侧壁的光波导结构。

(二) 技术方案

10 本发明提供一种基于聚焦离子束刻蚀光波导的方法，该方法包括：

S1、设计一种纳米圆环阵列结构，所述纳米圆环阵列结构中纳米圆环互相紧贴，光波导的刻蚀宽度值为两倍的圆环宽度；

S2、将所述纳米圆环阵列结构保存至聚焦离子束刻蚀系统中；

15 S3、从聚焦离子束系统中调用所述纳米圆环阵列结构，聚焦离子束垂直轰击样品表面进行刻蚀，完成制备。

其中，所述光波导的刻蚀宽度最小值为 20 nm。

(三) 有益效果

20 本发明采用互相紧贴的纳米环结构进行聚焦离子束刻蚀，超高占空比光波导具有几乎垂直的侧壁结构，由这种结构所组成的波导及光学器件具有超低的传输损耗，可以使得器件的工作性能得到大幅改善。相应的应用范围也会大幅度扩展，得到的器件不但性能优越、稳定，而且能准确地再现所传输和保存的光信号。

附图说明

图 1 为湿法刻蚀的工作原理示意图；

25 图 2 为等离子刻蚀法的工作原理示意图；

图 3 为聚焦离子束刻蚀法工作原理示意图；

图 4 为紧凑型圆环阵列结构；

图 5 为本发明制备方法步骤流程图；

图 6 为超高占空比光波导结构的截面扫描电子显微镜图；

图 7 为使用传统的湿法/等离子刻蚀法和本发明中使用圆环结构的聚焦离子束刻蚀法的效果对比图；

5 图 8 为运用本发明提出的方法制备的复杂菱形光波导。

具体实施方式

下面结合附图和具体实施例对本发明做进一步详细说明。

本发明使用聚焦离子束 (focused ion beam, 简记为 FIB) 刻蚀方法, 其工作原理示意图如图 3 所示。经过电场加速后的镓离子通过一个聚束镜被
10 聚焦到样品的表面, 通过溅射反应将样品表面一定区域的物质移除掉, 进而形成不同的结构。这种技术无需使用掩膜, 是一种无掩膜的直接刻蚀方法。而且, 这种方法几乎适用于所有物质 (对于不同物质, 刻蚀速率会有所不同)

具体的, 如图 4 所示, 基于聚焦离子束刻蚀光波导的方法包括:

S1、设计一种纳米圆环阵列结构, 所述纳米圆环阵列结构中纳米圆环互
15 相紧贴, 光波导的刻蚀宽度值为两倍的圆环宽度;

S2、将所述纳米圆环阵列结构保存到聚焦离子束刻蚀系统中;

S3、从聚焦离子束系统中调用所述纳米圆环阵列结构, 聚焦离子束垂直轰击样品表面进行刻蚀, 完成制备。

在刻蚀过程中, 为了得到高的占空比 (刻蚀深度 / 刻蚀宽度), 必须尽量增大刻蚀深度并减小刻蚀的宽度。为了在最大限度内得到超高占空比的光波导结构, 本发明特使用了一种纳米圆环阵列结构进行刻蚀, 纳米圆环阵列结构如图 5 所示, 每行每列中的圆环互相紧贴, 其中 r_2 和 r_1 分别表示聚焦离子束刻蚀过程中圆环结构的外半径和内半径, 光波导的刻蚀宽度为 $g=2 \times (r_2-r_1)$ 。离子束对于圆环结构更容易聚焦, 大部分的离子束能量可以被很好
20 地限制在圆环区域中, 圆环结构互相紧贴, 使得聚焦离子束在刻蚀过程中位于圆环区域的能量能够重叠, 从而使得离子束的穿透力倍增。在垂直方向上以高速轰击样品表面, 使得刻蚀深度可以大幅增加, 进而使得超高占空比结
25

构成为可能。

在刻蚀过程中，把刻蚀的宽度固定在最小值为 20 nm，但由于设备系统的误差，刻蚀后并不一定是准确的 20 nm。在此基础上尽可能增大刻蚀深度，进而在最大限度内得到超高占空比的波导结构。图 6 中所示结构，宽度为 20 nm，深度约为 15 μm ($1\ \mu\text{m} = 1000\ \text{nm} = 1 \times 10^{-6}\text{m}$) 的波导结构，其对应的占空比为 750。值得注意的是，波导结构的顶端会呈现出相对较严重的损伤，这是由长时间的刻蚀造成的。一方面是离子束对结构表面的损伤，另一方面是被刻蚀的材料再沉积到受到损伤的结构表面。但是，从样品表面约 2 μm 以下，波导结构就变得非常垂直且均一了。对于波导结构的大部分区域而言 (2 μm 以下的部分)，不但刻蚀宽度极小 (20 nm)，而且侧壁垂直、均一，这些都会减小光在波导传输过程中的损耗，使得波导的性能大幅度提高。

使用这种方法不但可以得到具有超高占空比的光波导，而且所制备得到的波导结构的侧壁几乎完全垂直，正如图 6 中所示。这种几乎垂直的侧壁会大大降低光在其中传输时的损耗，且由于波导宽度很小，光波的大部分能量可以很好地限制在波导区域内。

这种圆环阵列结构可以有效降低在聚焦离子束刻蚀过程中的再沉积效应，从而大幅度改善器件的侧壁结构和增大刻蚀深度。使用这种结构进行刻蚀的另一个好处是高度可控性。波导的结构可以通过调节圆环的内、外径进行有效控制。这种结构事先被画好并保存到聚焦离子束刻蚀系统的电脑中，需要的时候可直接调用所需的相应结构进行刻蚀。图 7 为使用传统的湿法/等离子刻蚀法和使用圆环结构的聚焦离子束刻蚀法的效果对比图。

运用此方法的另一个显著的优点是可以制备出互相交叉的复杂菱形光波导，如图 8 所示。这种结构可以被广泛用于制备法布里-珀罗干涉仪。不同模式的光学信号在不同的光路中传播并相互作用，通过精确控制光波的相位和能量大小，可以有效形成具有各种不同应用背景的光学输出。不同光通道中的光信号之间由于相位差而互相干涉，并进一步形成干涉仪。

以上所述仅是本发明的优选实施方式，应当指出，对于本技术领域的普

通技术人员来说，在不脱离本发明技术原理的前提下，还可以做出若干改进和替换，这些改进和替换也应视为本发明的保护范围。

权利要求

1、一种基于聚焦离子束刻蚀光波导的方法，其特征在于，该方法包括：

S1、设计一种纳米圆环阵列结构，所述纳米圆环阵列结构中纳米圆环互相紧贴，光波导的刻蚀宽度值为两倍的圆环宽度；

5 S2、将所述纳米圆环阵列结构保存到聚焦离子束刻蚀系统中；

S3、从聚焦离子束系统中调用所述纳米圆环阵列结构，聚焦离子束轰击样品表面进行刻蚀，完成制备。

2、如权利要求 1 所述方法，其特征在于，所述光波导的刻蚀宽度最小值为 20 nm。

说明书附图

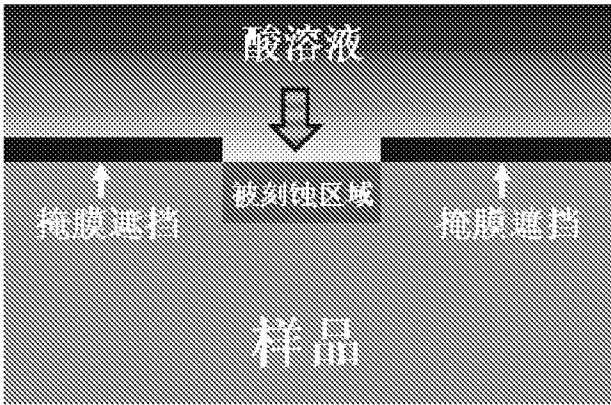


图 1

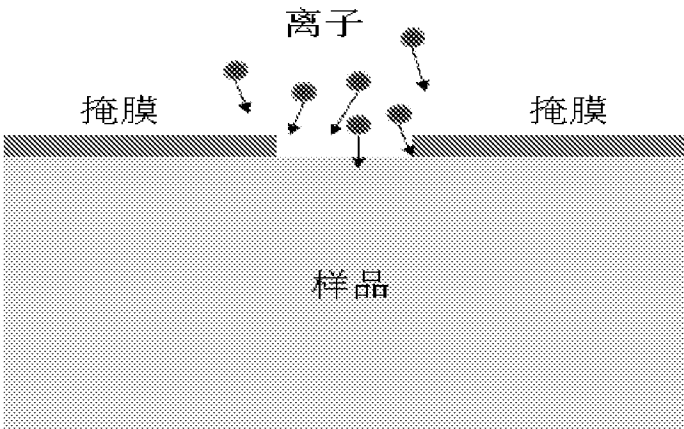


图 2

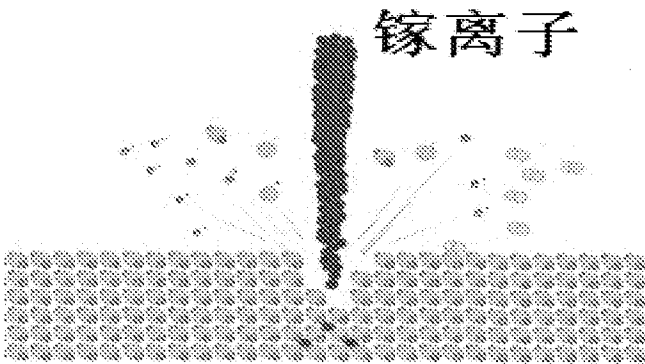


图 3

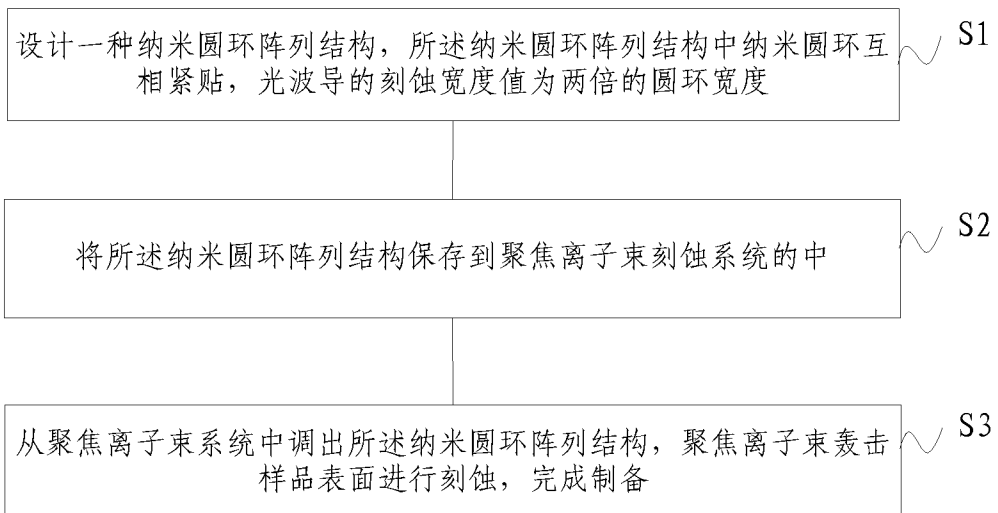


图 4

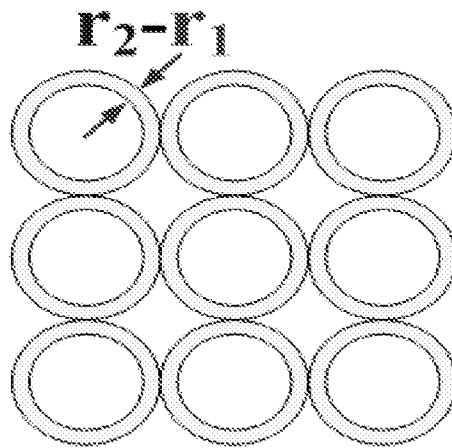


图 5

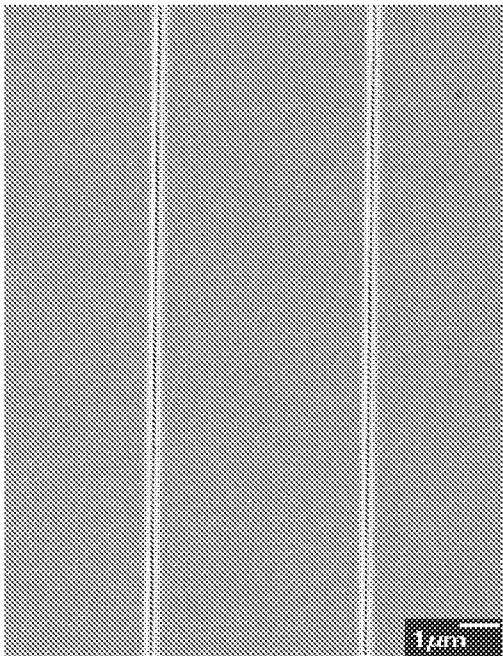
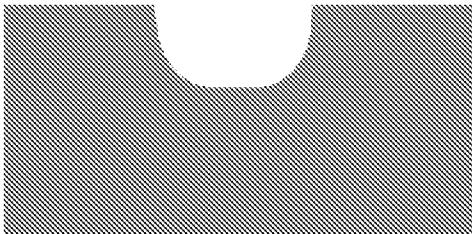


图 6

传统湿法刻蚀或离子束刻蚀效果



使用圆环结构的聚焦离子束法刻蚀效果

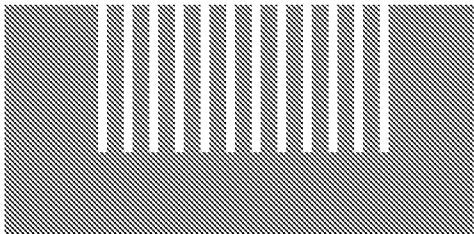


图 7

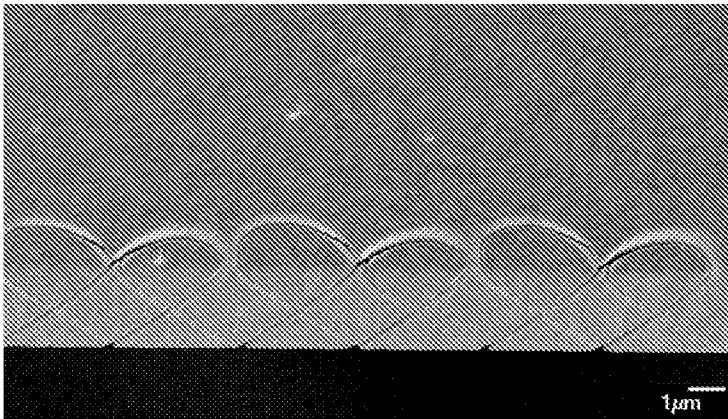


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2014/071254

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 6/136 (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; B82; H01L 21

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, VEN, CNKI: ion beam, etch, cut, process, manufacturer, write-through, write, filter, multi, plural, width, FIB, FIBM, focused, ion, beam, ring+, annular, circular, array?, matrix, matrices, nano+, millimicron, micro, millimeter

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 103064147 A (NORTHEASTERN UNIVERSITY AT QINHUANGDAO), 24 April 2013 (24.04.2013), claims 1 and 2	1 and 2
PX	CN 102981199 A (NORTHEASTERN UNIVERSITY AT QINHUANGDAO), 20 March 2013 (20.03.2013), description, paragraphs [0003]-[0026], and figures 2-10	1 and 2
PX	LV, Jiangtao et al., "Nanoring color filters based on fabry-Pérot cavities", ACTA PHYSICA SINICA, no. 5, vol. 62, 28 March 2013 (28.03.2013), ISSN: 10003290, pages 057804-1 to 057804-5	1 and 2
X	BAIDA, F.I. et al., "Light transmission by subwavelength annular aperture arrays in metallic films," OPTICS COMMUNICATIONS., nos. 1-3, vol. 209, 01 August 2002 (01.08.2002), ISSN: 00304018, pages 17-22	1 and 2

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 21 April 2014 (21.04.2014)	Date of mailing of the international search report 07 May 2014 (07.05.2014)
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 GAO, Jie Telephone No.: (86-10) 62085766

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2014/071254

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	POUJET, Y. et al., "Super-transmission of light through subwavelength annular aperture arrays in metallic films: Spectral analysis and near-field optical images in the visible range." PHOTONICS AND NANOSTRUCTURES-FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS., no. 1, vol. 4, 06 January 2006 (06.01.2006), ISSN: ISSN 15694410, pages 47-53	1 and 2
A	CN 101008681 A (PEKING UNIVERSITY), 01 August 2007 (01.08.2007), the whole document	1 and 2
A	MA, Xiangguo et al., "Application of FIB in micro/nano processing technology", VACUUM, no. 6, vol. 44, 30 November 2007 (30.11.2007), ISSN: ISSN 1002-0322, pages 74-78	1 and 2

International application No.
PCT/CN2014/071254

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103064147 A	24.04.2013	None	None
CN 102981199 A	20.03.2013	None	None
CN 101008681 A	01.08.2007	CN 100456049 C	28.01.2009

A. 主题的分类 G02B 6/136(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; B82; H01L21 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, VEN, CNKI: 聚焦, 离子束, 蚀刻, 刻蚀, 切割, 加工, 制造, 刻划, 直写, 写入, 圆环, 环状, 环形, 圆形环, 环型, 纳米, 滤波, 滤光, 阵列, 矩阵, 多个, 复数, 方法, 工艺, 宽度, FIB, FIBM, focused, ion, beam, ring+, annular, circular, array?, matrix, matrices, nano+, millimicron, micro, millimeter		
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 103064147 A ((东北大学秦皇岛分校)) 2013年 4月 24日 (2013 - 04 - 24) 权利要求1和2	1和2
PX	CN 102981199 A ((东北大学秦皇岛分校)) 2013年 3月 20日 (2013 - 03 - 20) 说明书第[0003]—[0026]段, 附图2—10	1和2
PX	吕江涛等. “基于法布里-珀罗腔的纳米环滤光器” 物理学报, 第5期, 第62卷, 2013年 3月 28日 (2013 - 03 - 28), ISSN: 1000-3290, 第057804-1至057804-5页	1和2
X	F. I. Baida等. “Light transmission by subwavelength annular aperture arrays in metallic films.” _Optics Communications., 第1-3期, 第209卷, 2002年 8月 01日 (2002 - 08 - 01), ISSN: 0030-4018, 第17—22页	1和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 “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 2014年 4月 21日		国际检索报告邮寄日期 2014年 5月 07日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 中国 传真号 (86-10)62019451		授权官员 高洁 电话号码 (86-10)62085766

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	Y. Poujet等. "Super-transmission of light through subwavelength annular aperture arrays in metallic films: Spectral analysis and near-field optical images in the visible range." _Photonics and Nanostructures - Fundamentals and Applications., 卷 第1期, 第 第4卷, 2006年 1月 06日 (2006 - 01 - 06), ISSN: ISSN 1569-4410, 第47—53页	1和2
A	CN 101008681 A ((北京大学)) 2007年 8月 01日 (2007 - 08 - 01) 全文	1和2
A	马向国等. "聚焦离子束技术及其在微纳加工技术中的应用" 真空, 卷 第6期, 第 第44卷, 2007年 11月 30日 (2007 - 11 - 30), ISSN: ISSN 1002-0322, 第74—78页	1和2

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2014/071254

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 103064147 A	2013年 4月 24日	无	无年
CN 102981199 A	2013年 3月 20日	无	无年
CN 101008681 A	2007年 8月 01日	CN 100456049 C	2009年 1月 28日