

(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
2020 年 9 月 24 日 (24.09.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/186829 A1

- (51) 国际专利分类号:
G16C 60/00 (2019.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/122952
- (22) 国际申请日: 2019 年 12 月 4 日 (04.12.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201910215285.3 2019年3月21日 (21.03.2019) CN
- (71) 申请人: 大连理工大学(DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。
- (72) 发明人: 亢战(KANG, Zhan); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。

高进城(GAO, Jincheng); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。王亚光(WANG, Yaguang); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学, Liaoning 116024 (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, 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。

(54) Title: TPMS CURVED-SURFACE MICROSTRUCTURE MATERIAL CONTAINING HOLES, AND OPTIMIZED DESIGN METHOD THEREOF

(54) 发明名称: 含有孔洞的TPMS曲面微结构材料及其优化设计方法

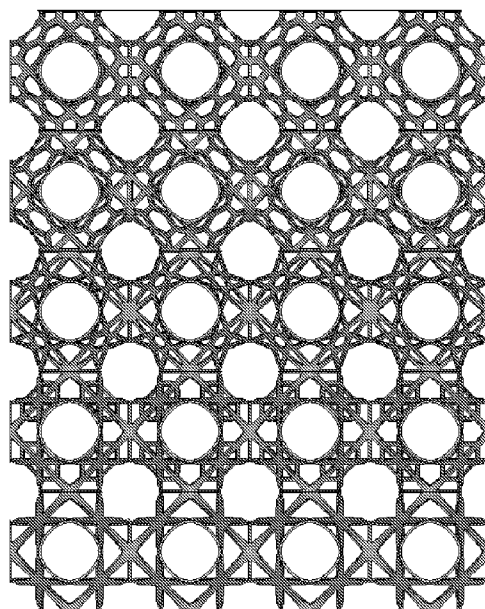


图 7

(57) Abstract: Provided are a a triply periodic minimal surface (TPMS) curved-surface microstructure material containing holes, and an optimized design method thereof, belonging to the fields of topology optimization, microstructure materials, and 3D printing technology. The TPMS has a smooth surface, a large specific surface area, and good mechanical properties, and has good prospects for application in the field of microstructure material design. In the described method, topology optimization is performed on a TPMS surface model, then the number, layout, and shape of holes (2-2, 2-3, 2-4) is designed on the complete TPMS surface according to the topology optimization

(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))。

result to obtain structural micromaterials having different configurations, the resulting material having a higher utilization rate and better lightweight performance. The design of the microstructure material has a novel configuration and good performance, and can be used for designing new tissue engineering scaffolds and functional structures such as energy absorption and heat dissipation.

(57) 摘要: 一种含有孔洞的TPMS曲面微结构材料及其优化设计方法, 属于拓扑优化、微结构材料和3D打印技术领域。TPMS曲面表面光滑、比表面积大、具备良好的力学性能, 在微结构材料设计领域拥有良好的应用前景。上述方法通过对TPMS曲面模型进行拓扑优化, 然后根据拓扑优化结果在完整的TPMS曲面上设计孔洞(2-2,2-3,2-4)的个数、布局和形状, 得到不同构型的结构微材料, 得到的材料利用率更高、轻量化性能更优。设计的微结构材料构型新颖, 性能良好, 可以用于设计新型的组织工程支架以及吸能和散热等功能性结构。

含有孔洞的 TPMS 曲面微结构材料及其优化设计方法

技术领域

本发明属于拓扑优化、微结构材料和 3D 打印技术领域，涉及一种含有孔洞的 TPMS 曲面微结构材料及其优化设计方法。

背景技术

拓扑优化方法是一种新型的结构设计方法，它能够在给定的约束条件下得到最优材料分布，“从无到有”地设计出构型新颖的结构，已经成功应用在负泊松比、零膨胀、散热以及吸能等微结构材料的设计中。TPMS 是三维周期极小化曲面的简称，它能够在三维正交直角坐标系的 3 个坐标轴方向周期阵列，并且表面光滑、比表面积大、具备良好的力学性能，目前已有部分研究人员将其应用在组织工程、吸能、散热等领域。但是，目前关于 TPMS 曲面的设计研究都是采用完全的实心结构或基于完整 TPMS 曲面的壳体，没有充分发掘材料的应用潜能。

本发明使用拓扑优化技术得到基于 TPMS 曲面的创新性构型，在完整的 TPMS 曲面模型上设计孔洞，得到材料利用率更高、结构轻量化更优的微结构材料。所设计的微结构材料可以采用 3D 打印技术来制造。

发明内容

针对现有的基于 TPMS 曲面的微结构材料的不足，本发明提供一种含有孔洞的 TPMS 曲面微结构材料及优化设计方法。首先对 TPMS 曲面模型进行最大拉伸模量和最大体积模量的拓扑优化，然后根据拓扑优化结果，设计不同构型的微结构材料。对于本发明所设计的构型比较复杂的微结构材料可以采用 3D 打印技术来制造。

为了达到上述目的，本发明采用的技术方案为：

一种含有孔洞的 TPMS 曲面微结构材料，通过拓扑优化法在完整的 TPMS 曲面上设计孔洞，TPMS 曲面厚度及孔洞的个数、布局、形状均可调整。所述的孔洞形状为圆、三角形、四边形、五边形、六边形等。

一种含有孔洞的 TPMS 曲面微结构材料的优化设计方法，该方法通过对 TPMS 曲面模型进行最大拉伸模量和最大体积模量的拓扑优化，然后根据拓扑优化结果在完整的 TPMS 曲面上设计孔洞的个数、布局和形状，得到不同构型的结构微材料，通过进一步调节孔洞的大小与曲面的厚度可以调整微结构材料的性能，如刚度、强度以及渗透率等。具体包括以下步骤：

第一步，根据 TPMS 曲面的数学表达式建立完整的 TPMS 曲面模型；

根据 P 型 TPMS 曲面建立完整的 P 型 TPMS 曲面模型，P 型 TPMS 曲面的表达式为：

$$\cos\left(\frac{2\pi x}{D}\right) + \cos\left(\frac{2\pi y}{D}\right) + \cos\left(\frac{2\pi z}{D}\right) = 0$$

$$x, y, z \in [-D/2, D/2]$$

其中, x 、 y 、 z 为三维正交直角坐标系的坐标; D 为微结构材料的单胞尺寸。

第二步, 考虑 P 型 TPMS 曲面模型的对称性, 取 1/8 的 TPMS 曲面作为设计域, 在模型的对称面施加对称边界条件, 进行最大拉伸模量和最大体积模量的拓扑优化。优化列式为:

$$\begin{cases} \text{find } \mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \\ \max f(\mathbf{X}) \\ \text{s.t. } V(\mathbf{X}) \leq V_{\max} \end{cases}$$

其中, $\mathbf{X}$ 为单元相对密度, n 表示设计变量的个数, 目标函数 $f(\mathbf{X})$ 为微结构材料的拉伸模量或体积模量, 约束条件为体积约束, $V(\mathbf{X})$ 是微结构材料体积, $V_{\max}$ 是指定的微结构材料最大体积。

第三步, 为了得到沿三维正交直角坐标系的 3 个坐标轴方向对称的微结构材料, 对 1/8 的 P 型 TPMS 曲面模型施加旋转对称约束。

第四步, 对 1/8 的 TPMS 曲面模型进行最大拉伸模量和最大体积模量的拓扑优化。

第五步, 根据拓扑优化结果在 TPMS 曲面上设计孔洞, 重构拓扑优化的结果, 得到不同构型的微结构材料单胞, 并进一步调节孔洞的大小与曲面的厚度对微结构材料的性能进行调整。通过调整各种构型的微结构材料单胞的尺寸参数并根据工程实际需求对各种构型的单胞进行组合变换, 设计新型的基于 P 型 TPMS 曲面的组织工程支架以及吸能结构等, 得到满足不同需求的结构。

所述的微结构材料单胞的构型包括构型 I、构型 II、构型 III、构型 IV 及构型 V。每种构型都是沿三维正交直角坐标系的 3 个坐标轴方向对称, 可以通过对 1/8 模型进行对称操作得到。每种构型的 1/8 模型都是具有 3 个周期的旋转对称模型。每种构型都在其上下前后左右 6 个方向的顶端设计闭合环状结构 2-1 来保证不同构型单胞间的顺利过渡。具体如下:

构型 I 的 1/8 模型设计了 3 个相同的闭合三角形孔洞 2-2 和 3 个相同的开口三角形孔洞 2-3, 在完整的构型 I 中, 孔洞 2-3 经过对称操作后成为闭合的四边形孔洞 2-4。

构型 II 的 1/8 模型设计了 6 个相同的闭合三角形孔洞 3-1、3 个相同的闭合四边形孔洞 3-2 和 3 个相同的开口四边形孔洞 3-3, 在完整的构型 II 中, 孔洞 3-3 经过对称操作后成为闭合的六边形孔洞 3-4。

构型 III 的 1/8 模型设计了 1 个圆孔 4-1、3 个相同的闭合三角形孔洞 4-2、6 个相同的闭

合扇形孔洞 4-3 和 3 个相同的开口三角形孔洞 4-4，在完整的构型 III 中，孔洞 4-4 经过对称操作后成为闭合的四边形孔洞 4-5。

构型 IV 的 1/8 模型设计了 1 个闭合六边形孔洞 5-1、6 个相同的闭合四边形孔洞 5-2 和 6 个相同的开口三角形孔洞 5-3，在完整的构型 IV 中，孔洞 5-3 经过对称操作后成为闭合的三角形孔洞 5-4。

构型 V 的 1/8 模型设计了 3 个相同的闭合五边形孔洞 6-1、3 个相同的闭合六边形孔洞 6-2 和 6 个相同的开口四边形孔洞 6-3，在完整的构型 V 中，孔洞 6-3 经过对称操作后成为闭合的五边形孔洞 6-4。

进一步，所设计新型结构比较复杂，可以采用 3D 打印技术进行制备。

本发明的有益效果为：将拓扑优化方法引入到关于 TPMS 曲面模型的设计中，通过在完整的 TPMS 曲面上设计孔洞，得到新型的微结构材料。含有孔洞的 TPMS 曲面微结构材料的可调节参数更多，设计自由度更高，提高了 TPMS 曲面模型在结构设计中的应用范围和实际使用效果。例如，将所设计的新型微结构材料应用到组织工程支架的设计中，可以增强其渗透性，提高组织工程中营养物质和代谢废物的运输效率，增强高孔隙率的组织工程支架的强度，能够对组织工程支架的力学特性进行更精确的控制。或者，可将该材料用于航空航天领域隔热、主动冷却等结构。与完整 TPMS 曲面微结构相比，含有孔洞的 TPMS 曲面微结构可以在现有的制造能力下实现更低的微结构等效密度，实现结构轻量化。

附图说明

图 1 是完整的 P 型 TPMS 曲面模型，图 1 (a) 是其正视图，图 1 (b) 是其轴测图，图 1 (c) 是其八分之一模型的示意图。

图 2 是基于 P 型 TPMS 曲面设计的微结构材料构型 I，图 2 (a) 是其正视图，图 2 (b) 是其轴测图，图 2 (c) 是其八分之一模型的示意图，2-1 是微结构材料单胞间的闭合环状连接结构，2-2，2-3，2-4 是设计的孔洞。

图 3 是基于 P 型 TPMS 曲面设计的微结构材料构型 II，图 3 (a) 是其正视图，图 3 (b) 是其轴测图，图 4 (c) 是其八分之一模型的示意图，3-1，3-2，3-3，3-4 是设计的孔洞。

图 4 是基于 P 型 TPMS 曲面设计的微结构材料构型 III，图 4 (a) 是其正视图，图 4 (b) 是其轴测图，图 4 (c) 是其八分之一模型的示意图，4-1，4-2，4-3，4-4，4-5 是设计的孔洞。

图 5 是基于 P 型 TPMS 曲面设计的微结构材料构型 IV，图 5 (a) 是其正视图，图 5 (b) 是其轴测图，图 5 (c) 是其八分之一模型的示意图，5-1，5-2，5-3，5-4 是设计的孔洞。

图 6 是基于 P 型 TPMS 曲面设计的微结构材料构型 V，图 6 (a) 是其正视图，图 6 (b)

是其轴测图，图 6（c）是其八分之一模型的示意图，6-1，6-2，6-3，6-4 是设计的孔洞。

图 7 是本发明中的多种含有孔洞的 TPMS 曲面微结构材料所组合的阵列的正面示意图。

图 8 是本发明中的多种含有孔洞的 TPMS 曲面微结构材料所组合的阵列的侧面示意图。

具体实施方式

为了充分说明本发明，下面结合附图和实施例做进一步的详细说明。应当理解，这里所描述的具体实施例仅仅是用来解释本发明，并不用于限定本发明。

图 1 所示为完整的 P 型 TPMS 曲面模型，由于该模型有 3 个对称面，因此取图 1（c）所示的八分之一模型进行拓扑优化，为了得到沿三维正交直角坐标系的 3 个坐标轴方向对称的微结构材料，对图 1（c）所示的设计域施加旋转对称约束。在本发明的拓扑优化方法中，设计变量为单元的相对密度，考虑体积约束，最大化微结构材料的拉伸模量或体积模量。

根据拓扑优化结果在完整 P 型 TPMS 曲面模型上设计如 2-2 所示的孔洞，得到图 2 至图 6 所示的不同构型微结构材料单胞。每种构型的单胞都在其上下前后左右 6 个方向顶端的接口处设计了如 2-1 所示的闭合环状结构来保证不同构型单胞间的顺利过渡。

图 2 至图 6 所示的 5 种构型的微结构材料单胞可以利用 3D 打印技术进行制备。

实施例：

本发明所提供的含有孔洞的 TPMS 曲面微结构材料用途广泛，例如可用于设计组织工程支架，如图 7 和图 8 所示的由含有孔洞的 TPMS 曲面微结构材料所设计的新型组织工程支架，该支架由 5 种不同构型的微结构材料进行组合得到，分为 5 层，每层单胞的个数为 4×4，每个单胞的尺寸为 1mm×1mm×1mm。该支架中微结构材料的孔洞可以改善支架的轻量化性能、提高支架的强度以及增强支架渗透率等。模型文件由三维建模软件得到，导出 3D 打印机可以识别的 STL 文件，基于生物可降解材料进行打印。

以上所述实施例仅表达本发明的实施方式，但并不能因此而理解为对本发明专利的范围的限制，应当指出，对于本领域的技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些均属于本发明的保护范围。

- 1.一种含有孔洞的 TPMS 曲面微结构材料,其特征在于,所述的 TPMS 曲面微结构材料通过拓扑优化法在完整的 TPMS 曲面上设计孔洞,TPMS 曲面厚度及孔洞的个数、布局、形状均可调整。
- 2.根据权利要求 1 所述的一种含有孔洞的 TPMS 曲面微结构材料,其特征在于,所述的孔洞形状为圆、三角形、四边形、五边形、六边形。
- 3.一种权利要求 1 或 2 所述的含有孔洞的 TPMS 曲面微结构材料的优化设计方法,其特征在于,该方法通过对 TPMS 曲面模型进行拓扑优化,根据拓扑优化结果在完整的 TPMS 曲面上设计孔洞的个数、布局和形状,得到不同构型的结构微材料,通过进一步调节孔洞的大小与曲面的厚度调整微结构材料的性能,包括以下步骤:

第一步,根据如下所示的 TPMS 曲面的数学表达式建立完整的 TPMS 曲面模型:

$$\cos\left(\frac{2\pi x}{D}\right) + \cos\left(\frac{2\pi y}{D}\right) + \cos\left(\frac{2\pi z}{D}\right) = 0$$

$$x, y, z \in [-D/2, D/2]$$

其中, x 、 y 、 z 为三维正交直角坐标系的坐标; D 为微结构材料的单胞尺寸;

第二步,考虑 TPMS 曲面模型的对称性,取 1/8 的 TPMS 曲面作为设计域,在模型的对称面施加对称边界条件,进行最大拉伸模量和最大体积模量的拓扑优化,其优化列式为:

$$\begin{cases} \text{find } \mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \\ \max f(\mathbf{X}) \\ \text{s.t. } V(\mathbf{X}) \leq V_{\max} \end{cases}$$

其中, $\mathbf{X}$ 为单元相对密度, n 表示设计变量的个数,目标函数 $f(\mathbf{X})$ 为微结构材料的拉伸模量或体积模量,约束条件为体积约束, $V(\mathbf{X})$ 是微结构材料体积, $V_{\max}$ 是指定的微结构材料最大体积;

第三步,为了得到沿三维正交直角坐标系的 3 个坐标轴方向对称的微结构材料,对 1/8 的 P 型 TPMS 曲面模型施加旋转对称约束;

第四步,对 1/8 的 TPMS 曲面模型进行最大拉伸模量和最大体积模量的拓扑优化;

第五步,根据拓扑优化结果在 TPMS 曲面上设计孔洞,重构拓扑优化的结果,得到不同构型的微结构材料单胞,并进一步调节孔洞的大小与曲面的厚度;所述的微结构材料单胞包括不同构型,每种构型都是沿三维正交直角坐标系的 3 个坐标轴方向对称,可以通过对 1/8 模型进行对称操作得到;每种构型的 1/8 模型都是具有 3 个周期的旋转对称模型;每种构型都在其上下前后左右 6 个方向的顶端设计闭合环状结构用于保证不同构型单胞间的顺利过渡;将一种或多种构型的微结构材料单胞进行组合设计,可以得到满足不同需求的结构。

4.根据权利要求3所述的一种权利要求1或2所述的含有孔洞的TPMS曲面微结构材料的优化设计方法,其特征在于,所述的微结构材料单胞的构型包括构型I、构型II、构型III、构型IV及构型V:

构型I的1/8模型设计3个相同的闭合三角形孔洞2-2和3个相同的开口三角形孔洞2-3,在完整的构型I中,孔洞2-3经过对称操作后成为闭合的四边形孔洞2-4;

构型II的1/8模型设计6个相同的闭合三角形孔洞3-1、3个相同的闭合四边形孔洞3-2和3个相同的开口四边形孔洞3-3,在完整的构型II中,孔洞3-3经过对称操作后成为闭合的六边形孔洞3-4;

构型III的1/8模型设计1个圆孔4-1、3个相同的闭合三角形孔洞4-2、6个相同的闭合扇形孔洞4-3和3个相同的开口三角形孔洞4-4,在完整的构型III中,孔洞4-4经过对称操作后成为闭合的四边形孔洞4-5;

构型IV的1/8模型设计1个闭合六边形孔洞5-1、6个相同的闭合四边形孔洞5-2和6个相同的开口三角形孔洞5-3,在完整的构型IV中,孔洞5-3经过对称操作后成为闭合的三角形孔洞5-4;

构型V的1/8模型设计3个相同的闭合五边形孔洞6-1、3个相同的闭合六边形孔洞6-2和6个相同的开口四边形孔洞6-3,在完整的构型V中,孔洞6-3经过对称操作后成为闭合的五边形孔洞6-4。

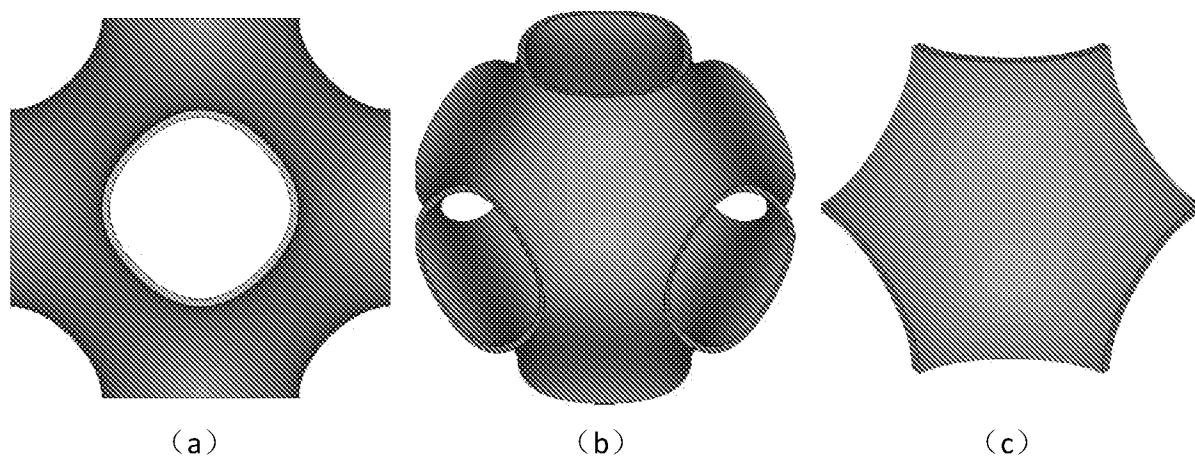


图 1

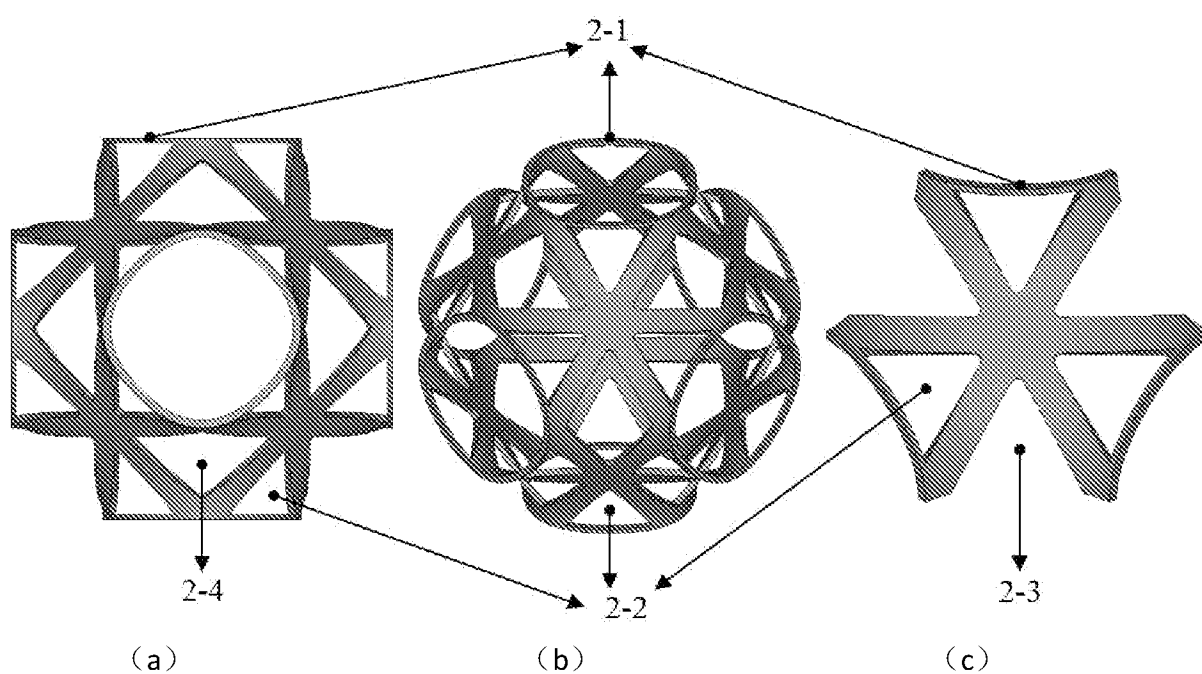


图 2

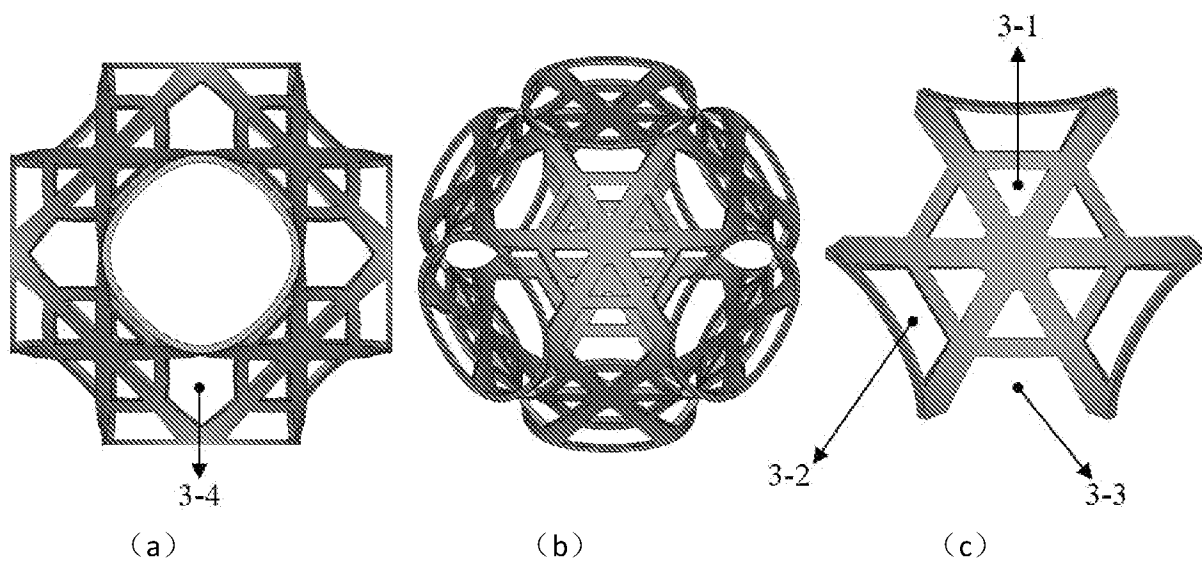


图 3

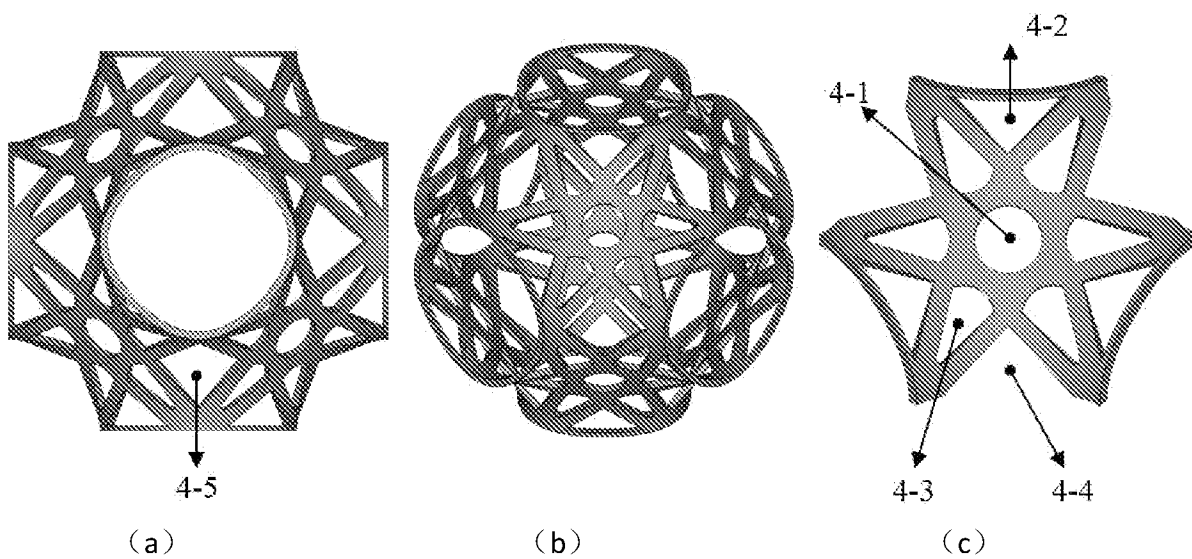


图 4

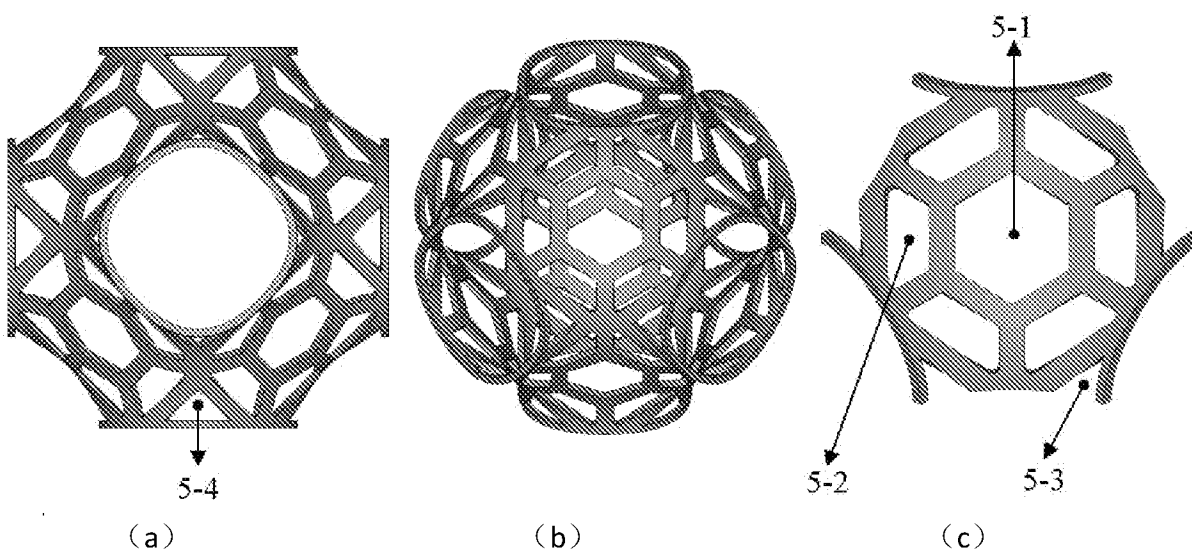


图 5

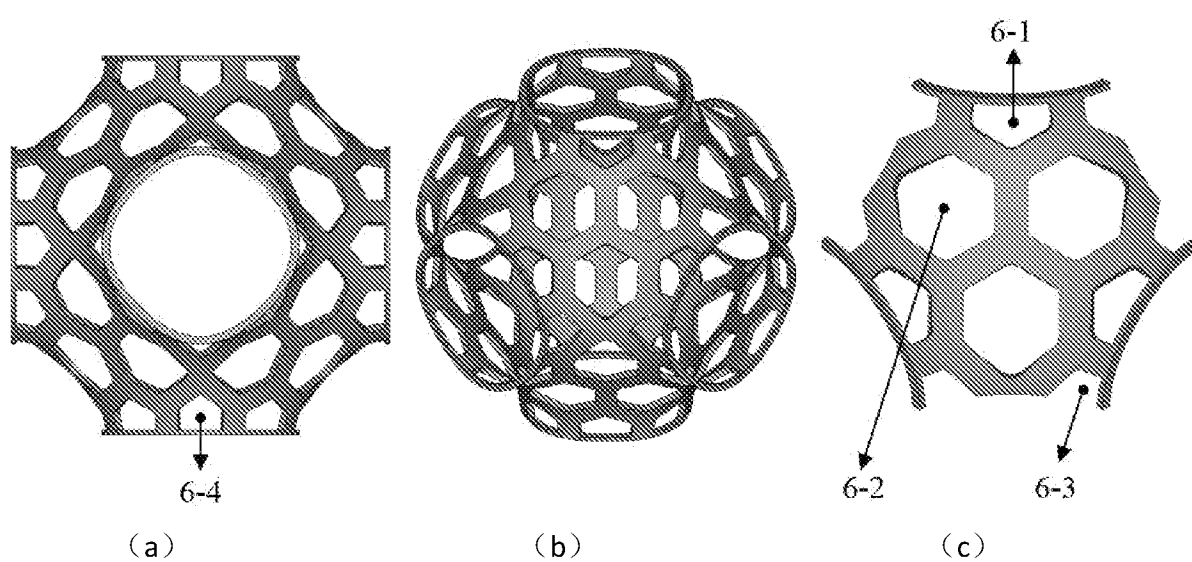


图 6

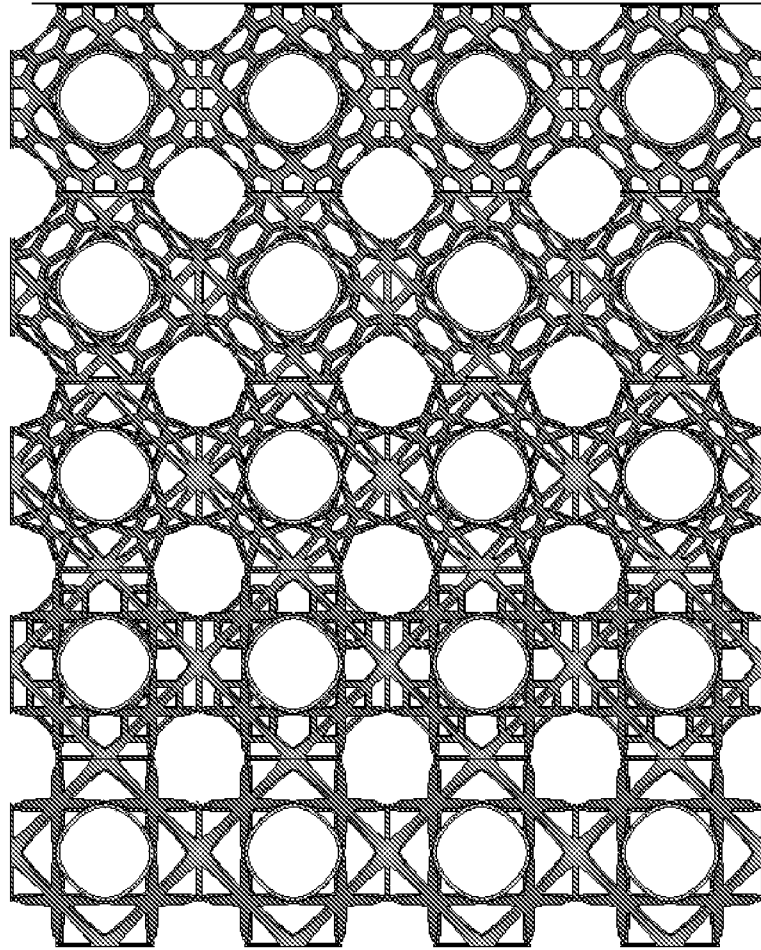


图 7

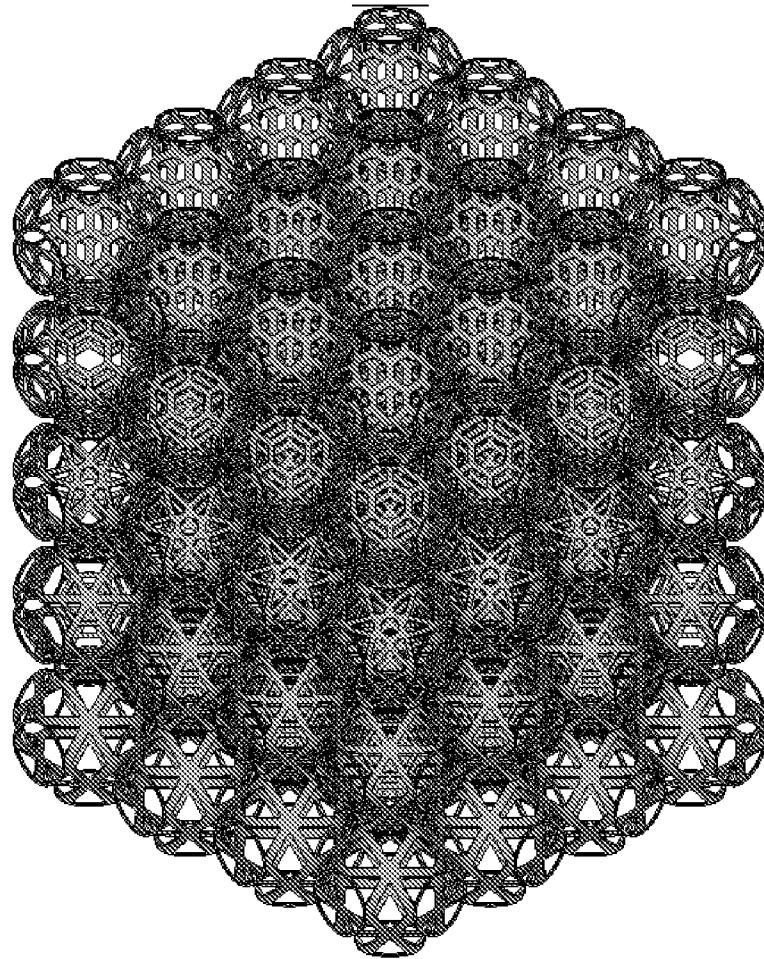


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/122952

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G16C 60/00(2019.01)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)

G16C

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)

CNPAT; CNKI; WPI; EPODOC: 孔洞, 孔, 曲面, 结构, 模型, 材料, 优化, 设计, 打印, 微, 极小, 多孔, 3D, TPMS, hole, surface, structure, model, material, optimization, design, print, tiny

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109920494 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 21 June 2019 (2019-06-21) claims 1-4	1-4
X	CN 108846148 A (SHANDONG UNIVERSITY) 20 November 2018 (2018-11-20) description, paragraphs [0054]-[0096]	1, 2
A	CN 109446549 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 08 March 2019 (2019-03-08) entire document	1-4
A	CN 109145427 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 04 January 2019 (2019-01-04) entire document	1-4
A	US 2007144639 A1 (OH, Mi Kyung) 28 June 2007 (2007-06-28) 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

03 January 2020

Date of mailing of the international search report

18 February 2020

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/CN2019/122952

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109920494	A	21 June 2019	None			
CN	108846148	A	20 November 2018	None			
CN	109446549	A	08 March 2019	None			
CN	109145427	A	04 January 2019	None			
US	2007144639	A1	28 June 2007	WO	2004093342	A1	28 October 2004
				EP	1599949	A1	30 November 2005
				CN	1771674	A	10 May 2006
				KR	20040077406	A	04 September 2004
				KR	20040083132	A	01 October 2004

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/122952

A. 主题的分类 G16C 60/00 (2019.01) 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) G16C 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)) CNPAT; CNKI; WPI; EPDOC: 孔洞, 孔, 曲面, 结构, 模型, 材料, 优化, 设计, 打印, 微, 极小, 多孔, 3D, TPMS, hole, surface, structure, model, material, optimization, design, print, tiny																				
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 109920494 A (大连理工大学) 2019年 6月 21日 (2019 - 06 - 21) 权利要求1-4</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 108846148 A (山东大学) 2018年 11月 20日 (2018 - 11 - 20) 说明书[0054]-[0096]段</td> <td>1-2</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109446549 A (大连理工大学) 2019年 3月 8日 (2019 - 03 - 08) 全文</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109145427 A (大连理工大学) 2019年 1月 4日 (2019 - 01 - 04) 全文</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2007144639 A1 (OH, Mi Kyung) 2007年 6月 28日 (2007 - 06 - 28) 全文</td> <td>1-4</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 109920494 A (大连理工大学) 2019年 6月 21日 (2019 - 06 - 21) 权利要求1-4	1-4	X	CN 108846148 A (山东大学) 2018年 11月 20日 (2018 - 11 - 20) 说明书[0054]-[0096]段	1-2	A	CN 109446549 A (大连理工大学) 2019年 3月 8日 (2019 - 03 - 08) 全文	1-4	A	CN 109145427 A (大连理工大学) 2019年 1月 4日 (2019 - 01 - 04) 全文	1-4	A	US 2007144639 A1 (OH, Mi Kyung) 2007年 6月 28日 (2007 - 06 - 28) 全文	1-4
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
PX	CN 109920494 A (大连理工大学) 2019年 6月 21日 (2019 - 06 - 21) 权利要求1-4	1-4																		
X	CN 108846148 A (山东大学) 2018年 11月 20日 (2018 - 11 - 20) 说明书[0054]-[0096]段	1-2																		
A	CN 109446549 A (大连理工大学) 2019年 3月 8日 (2019 - 03 - 08) 全文	1-4																		
A	CN 109145427 A (大连理工大学) 2019年 1月 4日 (2019 - 01 - 04) 全文	1-4																		
A	US 2007144639 A1 (OH, Mi Kyung) 2007年 6月 28日 (2007 - 06 - 28) 全文	1-4																		
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																				
<table border="0"> <tr> <td> * 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 </td> <td> “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 </td> </tr> </table>			* 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																
* 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 2020年 1月 3日		国际检索报告邮寄日期 2020年 2月 18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 王璐 电话号码 86-(10)-53961303																		

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/122952

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	109920494	A	2019年 6月 21日	无			
CN	108846148	A	2018年 11月 20日	无			
CN	109446549	A	2019年 3月 8日	无			
CN	109145427	A	2019年 1月 4日	无			
US	2007144639	A1	2007年 6月 28日	WO	2004093342	A1	2004年 10月 28日
				EP	1599949	A1	2005年 11月 30日
				CN	1771674	A	2006年 5月 10日
				KR	20040077406	A	2004年 9月 4日
				KR	20040083132	A	2004年 10月 1日