

(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 5 月 19 日 (19.05.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/100726 A1

(51) 国际专利分类号:
B29C 70/54 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/130583

(22) 国际申请日: 2021 年 11 月 15 日 (15.11.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202011280771.2 2020 年 11 月 16 日 (16.11.2020) CN

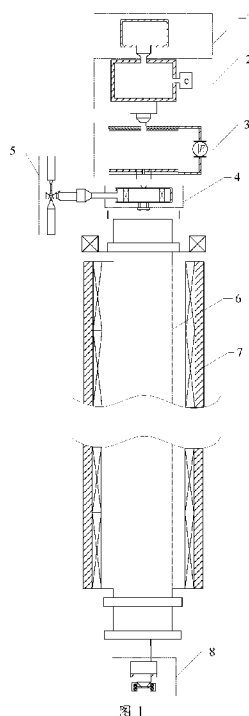
(71) 申请人: 浙江大学(ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/
CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路
866 号, Zhejiang 310058 (CN)。

(72) 发明人: 柯映林(KE, Yinglin); 中国浙江省杭州市
西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。
李江雄(LI, Jiangxiong); 中国浙江省杭州市西湖
区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。朱
伟东(ZHU, Weidong); 中国浙江省杭州市西湖
区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。王
青(WANG, Qing); 中国浙江省杭州市西湖区
余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。王晗
(WANG, Han); 中国浙江省杭州市西湖区余杭
塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。

(74) 代理人: 杭州天勤知识产权代理有
限公司(HANGZHOU TIANQIN INTELLECTUAL
PROPERTY AGENCY CO., LTD); 中国浙江省

(54) Title: MICROFIBER HIGH-ENERGY IMPLANTATION APPARATUS FOR MANUFACTURING THREE-DIMENSIONAL CARBON FIBER REINFORCED POLYMER

(54) 发明名称: 用于制造三维增强碳纤维复合材料的微细纤维高能植入装备



(57) Abstract: Disclosed is a micro-fiber high-energy implantation apparatus for manufacturing a three-dimensional carbon fiber reinforced polymer. The apparatus comprises: a reinforced microfiber feeding module, a reinforced microfiber directional arrangement module, a reinforced microfiber electrification module, a reinforced microfiber accelerator injection module, a vacuum generation apparatus module, a high-voltage electrostatic acceleration module, an accelerator bunching module and a reinforced microfiber lead-out control module. In the present invention, large-scale reinforced microfibers that have been subjected to charging processing and have met a target charge-to-mass ratio level requirement are taken as a fiber source for high-energy implantation, and a high-voltage electrostatic accelerating field is used to perform acceleration and energization on the large-scale reinforced microfibers that are uniformly and directionally arranged in an array, such that the speed and energy of the microfibers meet an implantation requirement. The microfibers are injected into a target reinforced region of a prepreg of a two-dimensional laminated structure by using the output kinetic energy of the reinforced microfibers, thereby realizing the manufacturing of a three-dimensional carbon fiber reinforced polymer.

(57) 摘要: 本发明公开一种用于制造三维增强碳纤维复合材料的微细纤维高能植入装备, 包括: 微细增强纤维送料模块, 微细增强纤维定向排列模块, 微细增强纤维起电模块, 微细增强纤维加速器注入模块, 真空发生装置模块, 高压静电加速模块, 加速器聚束模块和微细增强纤维引出控制模块。本发明通过充电处理且达到目标荷质比量级要求后的大规模微细增强纤维作为高能植入的纤维源, 采用高压静电加速电场对均匀定向排列的阵列式大规模微细增强纤维进行加速赋能, 使其速度和能量达到植入要求, 利用微细增强纤维的输出动能将其注入到二维层合结构预浸料目标增强区域内, 实现三维增强碳纤维复合材料的制造。

杭 州 市 西 湖 区 竞 舟 路 1 号 筑 品 金 座 501
室, Zhejiang 310013 (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,
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))。

用于制造三维增强碳纤维复合材料的微细纤维高能植入装备

技术领域

本发明涉及碳纤维复合材料植入装备领域，尤其是涉及一种用于制造三维增强碳纤维复合材料的微细纤维高能植入装备。

背景技术

随着航空航天技术的发展，碳纤维增强复合材料层合板结构因其诸多优点得到了大量应用。然而，由于机械连接和其他设计需求需要对层合板开孔，引起孔边分层和应力集中现象从而降低结构整体强度，成为失效的重要原因。通过增强层间性能降低开孔造成的界面损伤具有重要意义。

现有技术中，公开号 CN 110027304 A 和 CN 111583309 A 的申请文件均采用 Z-pin 连续植入技术。传统的 Z-pin 增强技术纤维直径一般在 0.2mm ~ 0.6mm，体积分数比一般介于 2% ~ 5%，Z-pin 的植入提高了层合板的层间性能，但增韧工艺容易造成纤维偏转、纤维卷曲断裂、富脂区的形成等问题，使层合板原有结构产生一定程度的破坏，导致层合板的面内性能下降。以微细增强纤维高能植入代替传统 Z-pin 植入有望解决以上问题，以微细增强碳纤维为例，将其荷质比作为评价指标，植入纤维携带饱和电荷量及质量计算方式如下：

$$q_{\max} = \pi d l \sigma 4 \pi \varepsilon_0 = \pi \varepsilon_0 \left(1 + 2 \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}\right) E l d$$

$$m = \frac{1}{4} \pi d^2 l \rho_f$$

式中， d 为纤维截面直径， l 为纤维长度， σ 为纤维表面电荷密度， ε_0 为环境介电常数， ε 纤维介电常数， E 为电场强度， $q_{\max}$ 为纤维携带饱和电荷量， ρ_f 为微细增强纤维密度。

根据静电学计算，得到相关参数取值范围如下：

$$d = 10 \times 10^{-6} \sim 15 \times 10^{-6} m$$

$$l = 0.01 \sim 0.05 m$$

$$\varepsilon = 8$$

$$\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ Farad} / m$$

$$E = 1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^7 \text{ Volt} / m$$

$$\rho_f = 1 \times 10^3 \sim 2 \times 10^3 \text{ kg} / m^3$$

通过估算，植入微细增强纤维荷质比可以达到 $10^{-2} C/kg$ 量级。

发明内容

本发明的目的在于提供一种用于制造三维增强碳纤维复合材料的微细纤维高能植入装备，以直径为 μm 量级，长度为若干 mm 的微细增强纤维单丝作为三维增强材料，通过电晕起电等充电方式使微细增强纤维荷质比达到动能植入要求，采用高压静电加速电场对均匀定向排布的阵列式大规模微细增强纤维进行加速赋能，使其速度和能量达到植入要求，利用微细增强纤维动能将其植入到二维层合结构预浸料，实现三维增强碳纤维复合材料的制造。达到提高碳纤维树脂基预浸料三维增强密度和三维增强力学性能的目的。

为实现上述发明目的，本发明采用如下技术方案：

一种用于制造三维增强碳纤维复合材料的微细纤维高能植入装备，包括：

微细增强纤维送料模块，用于提供纤维源；

微细增强纤维定向排列模块，用于产生静电场对微细增强纤维实现阵列式分散和定向；

微细增强纤维起电模块，对大规模阵列式微细增强纤维充电；

微细增强纤维加速器注入模块，使大规模阵列式带电微细增强纤维有序、有效注入下一模块；

真空发生装置模块，为微细增强纤维提供真空低气压、低阻力的传输环境；

高压静电加速模块，内部产生高压静电场对大规模带电微细增强纤维进行赋能和传输；

加速器聚束模块，对微细纤维流进行静电力约束和空间运动控制，形成微细纤维高能运动包络流束；

微细增强纤维引出控制模块，用于微细增强纤维高能输出，并在预浸料区域完成高能植入。

本发明中，微细增强纤维高能植入装备核心功能单元主要由微细增强纤维定向排列模块、微细增强纤维起电模块、微细增强纤维注入模块、高压静电加速电场模块、加速器聚束模块、微细增强纤维引出控制模块构成。

本发明针对微细尺度的三维增强碳纤维复合材料高能植入技术要求，以微细增强纤维定向排列模块及微细增强纤维起电模块作为微细增强纤维高能植入装备的纤维源。根据高能植入的微细增强纤维荷质比需求，采用化学物理方法对微细增强纤维进行表面预处理，通过一定方式实现微细增强纤维阵列式均匀定向排列。并针对均匀定向排列后的大规模微细增强纤维通过微细增强纤维起电模块，使微细增强纤维表面带充电，实现碳纤维复合材料三维增强纤维源荷质比提升。

另外，本发明中由高压静电加速电场模块及加速器聚束模块构成的微细增强纤维高能植入加速器物理设计。通过高压静电加速电场对微细增强纤维赋能，实现微细增强纤维加速，以达到高能植入二维层合结构预浸料的动能要求。并通过高压静电加速电场的加速电压进行平滑调节，实现对微细增强纤维植入深度的控制。结合加速器聚束模块的横向变梯度束流电场作用，实现对微细增强纤维在高压静电加速电场中的稳定加速与传输。

以下还提供了若干可选方式，但并不作为对上述总体方案的额外限定，仅仅是进一步的增补或优选，在没有技术或逻辑矛盾的前提下，各可选方式可单独针对上述总体方案进行组合，还可以是多个可选方式之间进行组合。

可选的，所述微细增强纤维送料模块的输出端设置有送料模块输出阀。微细增强纤维送料模块集成于装备初始端，为装备各核心功能单元按需提供纤维源。

可选的，所述微细增强纤维定向排列模块包括静电屏蔽盒和在静电屏蔽盒内产生静电场的纤维定向静电发生器；所述静电屏蔽盒的一侧设有与

所述送料模块输出阀对接的定向排列模块对接头，另一侧设有定向纤维输送枪。

本发明中，微细增强纤维定向排列模块主要由静电屏蔽盒和纤维定向静电发生器组成，通过该模块产生的静电场，对大规模、散乱的微细纤维群实现充电预处理，由纤维的静电感应和静电力作用，实现微细增强纤维在模块中的阵列式分散和定向。

可选的，所述的微细增强纤维起电模块包括依次布置的：顶端的定向纤维接收阀，并与所述定向纤维输送枪连接；设置有纤维充电阵列的纤维充电阵列板；与所述纤维充电阵列对位设置的纤维充电托丝板；两端分别连接所述纤维充电阵列板和纤维充电托丝板的纤维起电高压静电场发电机；和底端的起电纤维输出阀。

微细增强纤维起电模块通过顶端的定向纤维接收阀与定向纤维输送枪装配，实现大规模充电预处理及阵列式定向排列纤维的模块对接。主要由纤维充电阵列，纤维充电阵列板，纤维充电托丝板，起电纤维绝缘输出板，纤维起电高压静电场发电机，发电机安装板和发电机座盖板组成。通过机电系统控制，实现满足高能植入纤维荷质比要求的大规模阵列式微细增强纤维充电功能。

可选的，所述微细增强纤维加速器注入模块包括相互配合的加速器注入腔和纤维预聚束腔。

微细增强纤维加速器注入模块安装在起电纤维输出阀下端，主要由加速器注入腔和纤维预聚束腔组成，二者相互装配而成，为大规模阵列式带电微细增强纤维有序、有效进入高压静电加速场提供预注入功能。

可选的，所述真空发生装置模块与所述的纤维预聚束腔连接。真空发生装置模块与后续核心功能模块集成，用于保证大规模微细增强纤维能在真空低气压、低阻力的环境下实现加速及传输。

可选的，所述高压静电加速模块包括高压静电加速器箱体，所述高压静电加速器箱体内设置有MV级高压静电场微细增强纤维加速管和MV级高压静电发生器；所述高压静电加速器箱体的顶部设有连接微细增强纤维加速器注入模块的高能加速管对接头。通过高压静电场对大规模带电微细

增强纤维进行赋能和传输，实现微细增强纤维的高能获取。

可选的，所述加速器聚束模块包括集成在MV级高压静电场微细增强纤维加速管壁管周围的高能微细增强纤维流聚束电极板单元，和位于MV级高压静电场微细增强纤维加速管壁管端部的电磁器件。

加速器聚束模块主要由高能微细增强纤维流聚束电极板单元及相关电磁器件组成，集成在MV级高压静电场微细增强纤维加速管壁管周围。通过聚束电极板单元形成的横向变梯度束流电场，对高压静电加速电场中带有同性电荷、相互排斥的高速运动微细纤维流进行静电力约束和空间运动控制，形成微细纤维高能运动包络流束，实现对大规模微细增强纤维在高压静电加速电场中的稳定加速与传输。

可选的，所述微细增强纤维引出控制模块安装在高压静电加速模块末端，包括：微细纤维高能输出枪，位于所述微细纤维高能输出枪两端的电荷转移导片和渐变稳压隔膜单元。

微细增强纤维引出控制模块安装在高压静电加速模块末端，主要由电荷转移导片，微细纤维高能输出枪和渐变稳压隔膜单元组成。渐变稳压隔膜单元的作用为在纤维高能输出时，维持该模块气压稳定。微细纤维高能输出枪的末端为数百平方毫米面积的高能植入终端输出盘，针对经该模块输出的大规模高能微细增强纤维，实现对二维层合结构预浸料目标增强区域进行的微细尺度三维高能植入工艺。

可选的，所用高能植入三维增强材料为单丝直径 μm 量级，长度为若干 mm 的大规模微细纤维；通过纤维表面化学物理改性和充电处理，使微细增强纤维荷质比及携带电荷量达到满足高能植入要求的目标量级。大规模微细纤维的长度要求为 mm 级，满足高能植入碳纤维树脂基预浸料目标植入深度的短纤维长度范围均可。另外，本发明中装备各功能模块都满足绝缘要求。

本发明的优点在于：1) 高能植入三维增强材料为单丝直径 μm 量级，长度为若干 mm 的大规模微细纤维，在微细尺度上，对二维层合结构预浸料进行三维增强，扩展增强域，提高增强密度和质量；2) 区别于传统三维增强碳纤维复合材料所用的Z-pin机械植入的碳纤维束pin针，微细纤维

通过高能动力植入的方式，对二维层合结构预浸料进行增强，植入深度范围更广，增强密度更大，植入造成的基体损伤更小；3) 通过微细增强纤维定向排列模块对纤维源进行预处理，并采用微细增强纤维起电模块，可使大规模微细增强纤维丝带上充足电荷，提高增强材料送料效率，保证在高压静电模块中的充能效果；4) 微细增强纤维定向排列模块通过静电感应和静电力作用，使大规模微细纤维定向且分离，避免纤维之间的纠缠，实现大规模微细纤维的阵列式排布；5) 微细增强纤维加速器注入模块保证带电纤维的电荷稳定性，实现大规模增强微纤维顺利进入高压静电加速模块；6) 真空发生装置模块与后续核心功能模块集成，保证大规模微细增强纤维能在真空低气压、低阻力的环境下实现加速及传输；7) 高压静电加速模块保证增强纤维获得高能植入工艺要求的动能，且高压静电场强度可根据实际植入深度需求进行调控；8) 通过加速器聚束模块的横向变梯度束流电场作用，形成大规模带电微细纤维包络加速，控制高能纤维流在高压加速电场中的空间运动，提升高压静电加速稳定性；9) 通过微细增强纤维引出控制模块，在输出末端为数百平方毫米面积的高能植入终端输出盘上，输出高能微细纤维丝，实现局部增强区域分散式三维增强；10) 通过渐变稳压隔膜单元，在纤维高能输出时，维持模块气压稳定，保证装备核心功能单元内部的真空度要求；11) 单次高能植入的微细纤维数目可达到较高量级，对比传统Z-pin机械植入的方式，高能植入的植入速度更快，稳定性较高，植入效率更高，自动化程度更高。

附图说明

图1为三维增强碳纤维复合材料微细增强纤维高能植入装备核心功能单元示意图；

图2为微细增强纤维送料模块示意图；

图3为微细增强纤维定向排列模块示意图；

图4为微细增强纤维起电模块示意图；

图5为微细增强纤维加速器注入模块示意图；

图6为高压静电加速模块示意图；

图 7 为加速器聚束模块示意图；

图 8 为微细增强纤维引出控制模块示意图。

具体实施方式

在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明，但是，本发明还可以采用其他不同于在此描述的其他方式来实施，因此，本发明并不限于下面公开的具体实施例的限制。本文中所涉及的方位词“上”、“下”、“左”和“右”，是以对应附图为基准而设定的，可以理解，上述方位词的出现并不限定本发明的保护范围。

下面详细描述本发明的实施例，所述实施例的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，旨在用于解释本发明，而不能理解为对本发明的限制。

在本发明中，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”等术语应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是机械连接，也可以是电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

如附图 1 所示，用于制造三维增强碳纤维复合材料的微细增强纤维高能植入装备的核心功能单元，包括：

微细增强纤维送料模块 1，用于提供纤维源；

微细增强纤维定向排列模块 2，用于产生静电场对微细增强纤维实现阵列式分散和定向；

微细增强纤维起电模块 3，对大规模阵列式微细增强纤维充电；

微细增强纤维加速器注入模块 4，使大规模阵列式带电微细增强纤维有序、有效注入下一模块；

真空发生装置模块 5，为微细增强纤维提供真空低气压、低阻力的传

输环境；

高压静电加速模块 6，内部产生高压静电场对大规模带电微细增强纤维进行赋能和传输；

加速器聚束模块 7，对微细纤维流进行静电力约束和空间运动控制，形成微细纤维高能运动包络流束；

微细增强纤维引出控制模块 8，用于微细增强纤维高能输出，并在预浸料区域完成高能植入。

如图 2 所示，微细增强纤维送料模块 1 集成于装备初始端，为装备各核心功能单元按需提供纤维源，其输出端安装有送料模块输出阀 9，向微细增强纤维定向排列模块 2 输送大规模微细增强纤维。

如图 3 所示，静电屏蔽盒 11 和纤维定向静电发生器 12 共同组成微细增强纤维定向排列模块 2。静电屏蔽盒 11 顶部的定向排列模块对接头 10 安装在送料模块输出阀 9 下端，接收进入微细增强纤维。纤维定向静电发生器 12 产生的静电场，对大规模、散乱的微细纤维群实现充电预处理，由纤维的静电感应和静电力作用，实现微细增强纤维在模块中的阵列式分散和定向。最后由底部的定向纤维输送枪（13）输出。

如图 4 所示，微细增强纤维起电模块 3 顶端的定向纤维接收阀 14 与定向纤维输送枪 13 装配，实现大规模充电预处理及阵列式定向排列纤维模块对接。纤维充电阵列 15，纤维充电阵列板 16，纤维充电托丝板 17，起电纤维绝缘输出板 18，纤维起电高压静电场发电机 19，发电机安装板 20 和发电机座盖板 21 组成微细增强纤维起电模块 3。通过纤维起电高压静电场发电机 19 在纤维充电阵列板 16 和纤维充电托丝板 17 间形成电场，可使大规模微细增强纤维丝带上充足电荷，提高增强材料送料效率，保证在高压静电模块中的充能效果。

如图 5 所示，微细增强纤维加速器注入模块 4 安装在起电纤维输出阀 22 下端，主要由加速器注入腔 23 和纤维预聚束腔 24 组成，二者相互装配而成，为大规模阵列式带电微细增强纤维有序、有效进入高压静电加速场提供预注入功能。真空发生装置模块 5 与后续核心功能模块集成。

如图 6 所示, 高压静电加速模块 6 主要由 MV 级高压静电场微细增强纤维加速管 27, MV 级高压静电发生器 28 和高压静电加速器箱体 30 组成, 高能加速管对接头 26 安装在纤维预聚束腔输出阀 25 下端。通过高压静电场对大规模带电微细增强纤维进行赋能和传输, 实现微细增强纤维的高能获取。

如图 7 所示, 加速器聚束模块 7 主要由高能微细增强纤维流聚束电极板单元 31 及相关电磁器件 32 组成, 集成在 MV 级高压静电场微细增强纤维加速管壁管 29 周围。通过聚束电极板单元形成的横向变梯度束流电场, 对高压静电加速电场中带有同性电荷、相互排斥的高速运动微细纤维流进行静电力约束和空间运动控制, 形成微细纤维高能运动包络流束, 实现对大规模微细增强纤维在高压静电加速电场中的稳定加速与传输。

如图 8 所示, 微细增强纤维引出控制模块 8 安装在高压静电加速模块 6 末端, 主要由电荷转移导片 33, 微细纤维高能输出枪 34 和渐变稳压隔膜单元 35 组成。渐变稳压隔膜单元 35 的作用为在纤维高能输出时, 维持该模块气压稳定。微细纤维高能输出枪 34 的末端为数百平方毫米面积的高能植入终端输出盘, 针对经该模块输出的大规模高能微细增强纤维, 实现对二维层合结构预浸料目标增强区域进行的微细尺度三维高能植入工艺。

本实施例中, 各核心功能单元依次装配, 最终集成在六轴联动龙门机床执行器末端。上述装备的具体工作过程如下:

- 1) 通过六轴联动龙门机床控制, 根据模具在机床坐标系中的位置信息, 将末端执行器调整到目标位姿, 开始进行一次对植入面积为数百平方毫米的方形预浸料三维增强区域微细增强纤维高能植入;

- 2) 大规模微细增强纤维经过采用化学物理方法对其进行表面预处理, 实现纤维荷质比提升;

- 3) 启动真空发生装置模块, 保证大规模微细增强纤维能在真空低压、低阻力的环境下实现加速及高能输出;

- 4) 将微细增强纤维导入到微细增强纤维送料模块, 完成大规模微细

增强纤维送料；

5) 微细增强纤维进入定向排列模块，实现微细增强纤维在模块中的阵列式分散和定向；

6) 微细增强纤维定向排列后，进入微细增强纤维起电模块，完成满足高能植入纤维荷质比要求的大规模阵列式微细增强纤维充电；

7) 微细增强纤维充电后，进入微细增强纤维加速器注入模块，实现大规模带电微细增强纤维顺利进入高压静电加速电场；

8) 微细增强纤维进入 MV 级高压静电加速器模块，通过高压静电加速电场，对大规模带电微细增强纤维做功，实现纤维高能获取；

9) 微细增强纤维进入加速器聚束模块，实现大规模微细增强纤维的定向高能稳定加速；

10) 微细增强纤维进入引出控制模块，实现微细增强纤维高能输出，用于进行碳纤维树脂基预浸料高能植入；

11) 通过对微细增强纤维高能植入引出控制模块的执行控制，完成一次植入面积为数百毫米的方形预浸料区域微细增强纤维高能植入；

12) 通过对渐变稳压隔膜单元的控制，实现在纤维高能输出时，维持腔体内气压稳定，保证核心功能模块内部的真空度要求；

13) 通过对六轴联动龙门机床控制，将末端执行器调整到碳纤维树脂基预浸料的下一个三维增强面积为方形的单元高能植入的位姿状态，并重复上述工作过程。

以上所述仅为本发明的较佳实施举例，并不用于限制本发明，凡在本发明精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1、一种用于制造三维增强碳纤维复合材料的微细纤维高能植入装备，其特征在于，包括：

微细增强纤维送料模块（1），用于提供纤维源；

微细增强纤维定向排列模块（2），用于产生静电场对微细增强纤维实现阵列式分散和定向；

微细增强纤维起电模块（3），对大规模阵列式微细增强纤维充电；

微细增强纤维加速器注入模块（4），使大规模阵列式带电微细增强纤维有序、有效注入下一模块；

真空发生装置模块（5），为微细增强纤维提供真空低气压、低阻力的传输环境；

高压静电加速模块（6），内部产生高压静电场对大规模带电微细增强纤维进行赋能和传输；

加速器聚束模块（7），对微细纤维流进行静电力约束和空间运动控制，形成微细纤维高能运动包络流束；

微细增强纤维引出控制模块（8），用于微细增强纤维高能输出，并在预浸料区域完成高能植入。

2、根据权利要求 1 所述的用于制造三维增强碳纤维复合材料的微细纤维高能植入装备，其特征在于，所述微细增强纤维送料模块（1）的输出端设置有送料模块输出阀（9）。

3、根据权利要求 2 所述的用于制造三维增强碳纤维复合材料的微细纤维高能植入装备，其特征在于，所述微细增强纤维定向排列模块（2）包括静电屏蔽盒（11）和在静电屏蔽盒（11）内产生静电场的纤维定向静电发生器（12）；

所述静电屏蔽盒（11）的一侧设有与所述送料模块输出阀（9）对接的定向排列模块对接头（10），另一侧设有定向纤维输送枪（13）。

4、根据权利要求 3 所述的用于制造三维增强碳纤维复合材料的微细

纤维高能植入装备，其特征在于，所述的微细增强纤维起电模块（3）包括依次布置的：

顶端的定向纤维接收阀（14），并与所述定向纤维输送枪（13）连接；

设置有纤维充电阵列（15）的纤维充电阵列板（16）；

与所述纤维充电阵列（15）对位设置的纤维充电托丝板（17）；

两端分别连接所述纤维充电阵列板（16）和纤维充电托丝板（17）的纤维起电高压静电场发电机（19）；

底端的起电纤维输出阀（22）。

5、根据权利要求 4 所述的用于制造三维增强碳纤维复合材料的微细纤维高能植入装备，其特征在于，所述微细增强纤维加速器注入模块（4）包括相互配合的加速器注入腔（23）和纤维预聚束腔（24）。

6、根据权利要求 5 所述的用于制造三维增强碳纤维复合材料的微细纤维高能植入装备，其特征在于，所述真空发生装置模块（5）与所述的纤维预聚束腔（24）连接。

7、根据权利要求 1 所述的用于制造三维增强碳纤维复合材料的微细纤维高能植入装备，其特征在于，所述高压静电加速模块（6）包括高压静电加速器箱体（30），所述高压静电加速器箱体（30）内设置有 MV 级高压静电场微细增强纤维加速管（27）和 MV 级高压静电发生器（28）；

所述高压静电加速器箱体（30）的顶部设有连接微细增强纤维加速器注入模块（4）的高能加速管对接头（26）。

8、根据权利要求 7 所述的用于制造三维增强碳纤维复合材料的微细纤维高能植入装备，其特征在于，所述加速器聚束模块（7）包括集成在 MV 级高压静电场微细增强纤维加速管壁管（29）周围的高能微细增强纤维流聚束电极板单元（31），和位于 MV 级高压静电场微细增强纤维加速管壁管（29）端部的电磁器件（32）。

9、根据权利要求 8 所述的用于制造三维增强碳纤维复合材料的微细纤维高能植入装备，其特征在于，所述微细增强纤维引出控制模块（8）安装在高压静电加速模块（6）末端，包括：

微细纤维高能输出枪 (34)，位于所述微细纤维高能输出枪 (34) 两端的电荷转移导片 (33) 和渐变稳压隔膜单元 (35)。

10、根据权利要求 1 所述的用于制造三维增强碳纤维复合材料的微细纤维高能植入装备，其特征在于，所用高能植入三维增强材料为单丝直径 μm 量级，长度为若干 mm 的大规模微细纤维。

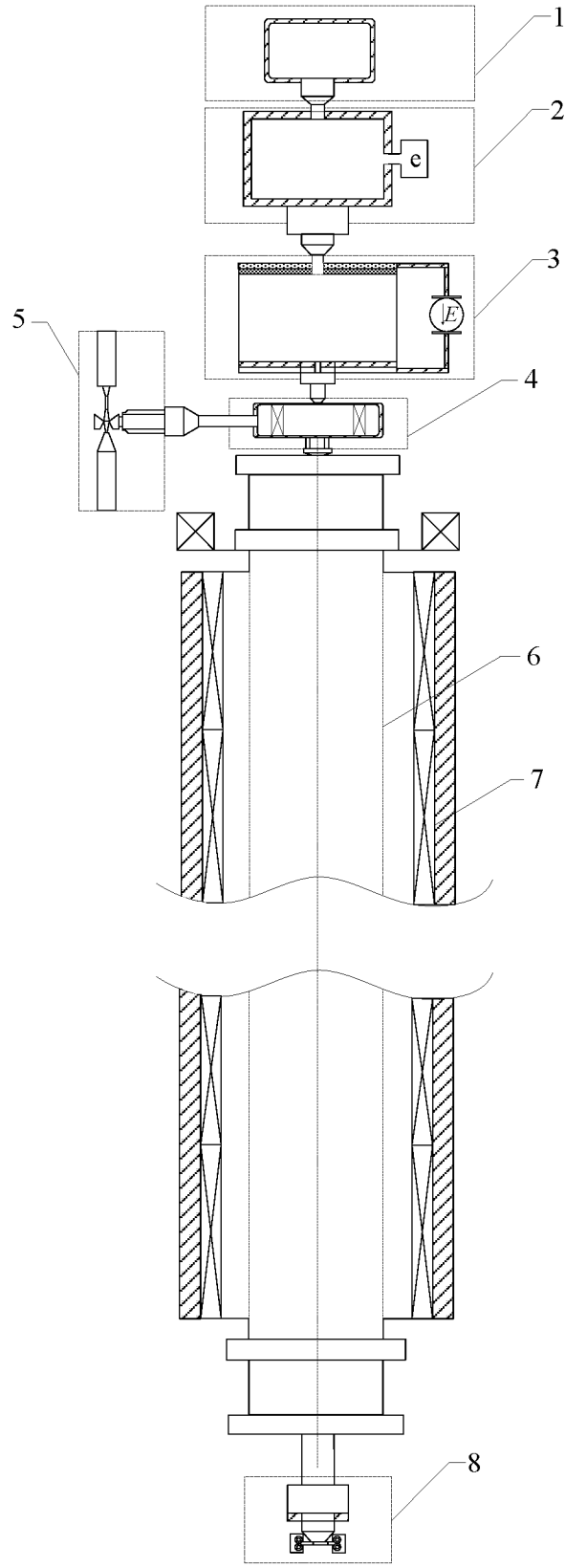


图 1

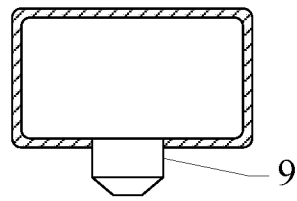


图 2

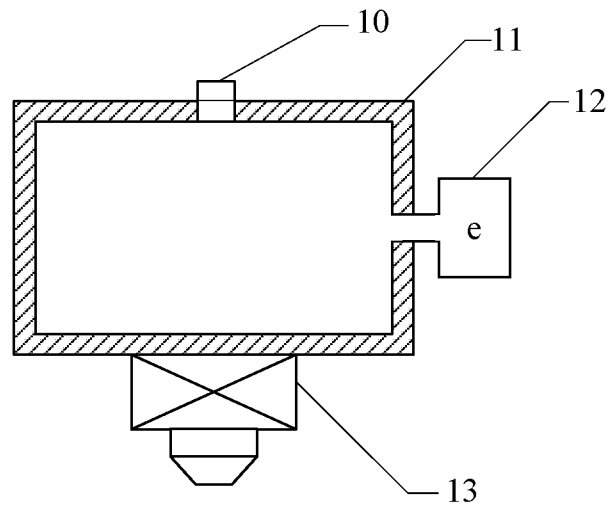


图 3

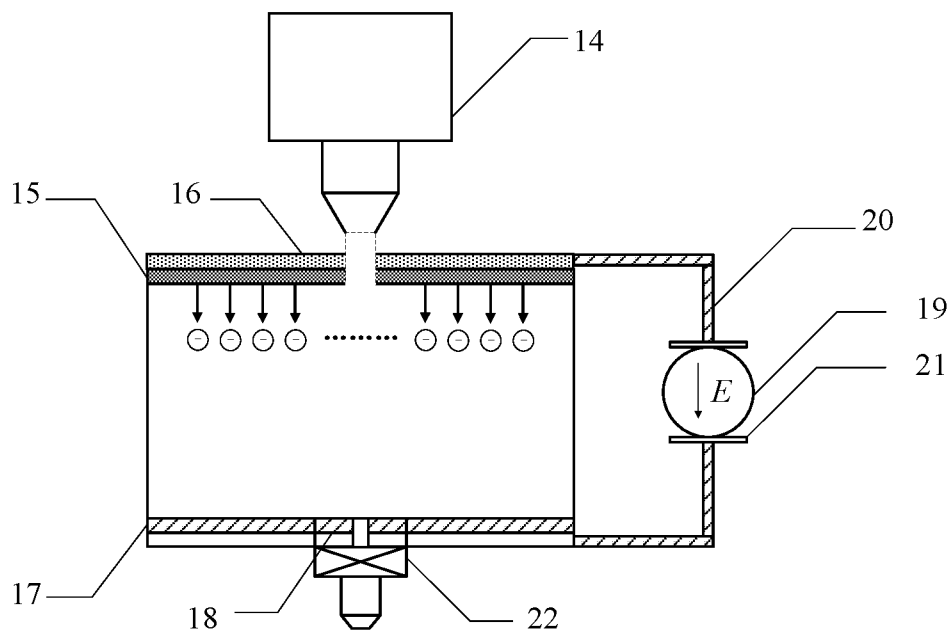


图 4

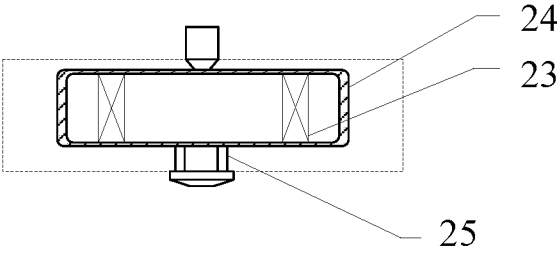


图 5

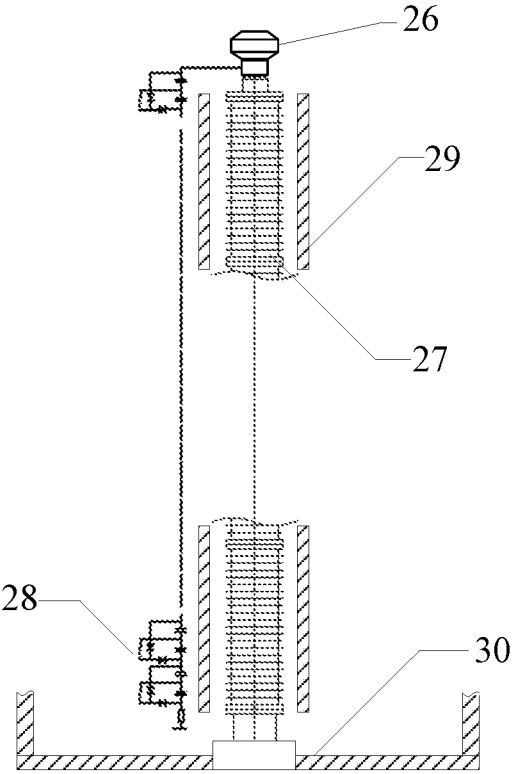


图 6

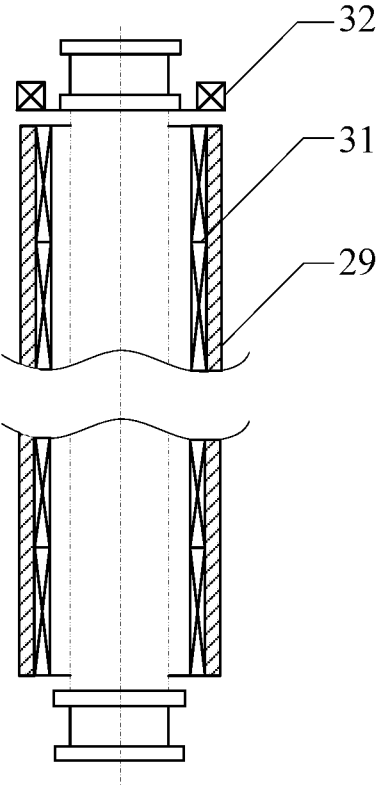


图 7

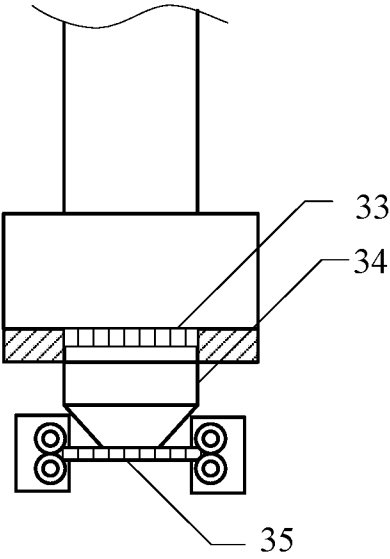


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/130583

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER B29C 70/54(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) B29C70/- 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, CJFD: 浙江大学, 柯映林, 李江雄, 朱伟东, 王青, 王晗, 碳纤维, 纤维, 丝, 增强, pin, 植入, 插入, 埋入, 引入, 电场, 静电, 电压, 高能, 高速, 起电, 分散, 取向, 定向, 植绒; VEN, USTXT, WOTXT, EPTXT, WEB OF SCIENCE: UNIV ZHEJIANG, UYZH, fiber, fibre, CF, carbon, threadlet+, filament+, embed+, imbed+, implant+, insert+, electrostat+, electri+, flock+		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 112721230 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 30 April 2021 (2021-04-30) description, paragraphs 56-86, and figures 1-8	1-10
A	CN 111284044 A (CHANGCHUN INST. OF APPARATUS & TECHNIQUE) 16 June 2020 (2020-06-16) description, paragraphs 4-5, figures 1-2	1-10
A	CN 203957370 U (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 26 November 2014 (2014-11-26) description, paragraphs 11-14, figures 1-2	1-10
A	CN 103764393 A (CYTEC TECH CORP) 30 April 2014 (2014-04-30) entire document	1-10
A	CN 111410546 A (FUJIAN YONGAN YONGTSING INSTITUTE OF GRAPHENES CO., LTD. et al.) 14 July 2020 (2020-07-14) entire document	1-10
☒ 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 20 December 2021		Date of mailing of the international search report 30 January 2022
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

International application No.

PCT/CN2021/130583

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 107396610 A (SHENZHEN HONGFUCHENG SHIELDING MATERIALS CO., LTD.) 24 November 2017 (2017-11-24) entire document	1-10
A	US 5873973 A (NORTHROP GRUMMAN CORP.) 23 February 1999 (1999-02-23) entire document	1-10
A	EP 0233430 A1 (PRADOM LTD.) 26 August 1987 (1987-08-26) entire document	1-10
A	JP 2017047586 A (TORAY INDUSTRIES) 09 March 2017 (2017-03-09) entire document	1-10
A	DE 3037470 C2 (EKEBRO AB. et al.) 23 March 1989 (1989-03-23) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/130583

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	112721230	A	30 April 2021	None			
CN	111284044	A	16 June 2020	None			
CN	203957370	U	26 November 2014	None			
CN	103764393	A	30 April 2014	ES	2718450	T3	02 July 2019
				CA	2845504	A1	07 March 2013
				MY	163302	A	15 September 2017
				EP	2750889	A1	09 July 2014
				BR	112014003350	B1	18 February 2020
				US	2013052897	A1	28 February 2013
				WO	2013032620	A1	07 March 2013
				MX	2014001657	A	21 March 2014
				AU	2012301482	A1	30 January 2014
				RU	2014111809	A	10 October 2015
				EP	2750889	B1	02 January 2019
				RU	2590539	C2	10 July 2016
				CN	103764393	B	28 July 2017
				JP	2014529536	A	13 November 2014
				KR	20140066201	A	30 May 2014
				TW	1584960	B	01 June 2017
				TW	201311457	A	16 March 2013
				AU	2012301482	B2	13 November 2014
				BR	112014003350	A2	14 March 2017
				IN	201401490	P4	01 July 2016
CN	111410546	A	14 July 2020	None			
CN	107396610	A	24 November 2017	WO	2019034063	A1	21 February 2019
				CN	107396610	B	18 August 2020
				CN	207219264	U	10 April 2018
US	5873973	A	23 February 1999	None			
EP	0233430	A1	26 August 1987	EP	0233430	B1	25 April 1990
				DK	634786	A	01 July 1987
				PT	84030	A	01 January 1987
				US	4786453	A	22 November 1988
				DE	3670658	D1	31 May 1990
				JP	S62177272	A	04 August 1987
				AU	6706686	A	02 July 1987
				BR	8606491	A	20 October 1987
				FR	2592404	A1	03 July 1987
				ZA	8609751	A	30 September 1987
				CA	1275234	C	16 October 1990
				ES	2015889	B3	16 September 1990
JP	2017047586	A	09 March 2017	None			
DE	3037470	C2	23 March 1989	BE	885552	A1	02 February 1981
				GB	2064404	A	17 June 1981
				US	4568008	A	04 February 1986
				DE	3037470	A1	23 April 1981
				CH	649029	A5	30 April 1985
				CA	1135177	A	09 November 1982
				GB	2064404	B	09 March 1983
				FR	2467077	A1	17 April 1981

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/130583

A. 主题的分类

B29C 70/54 (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)

B29C70/-

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, CJFD: 浙江大学, 柯映林, 李江雄, 朱伟东, 王青, 王晗, 碳纤维, 纤维, 丝, 增强, pin, 植入, 插入, 埋入, 引入, 电场, 静电, 电压, 高能, 高速, 起电, 分散, 取向, 定向, 植绒; VEN, USTXT, WOTXT, EPTXT, WEB OF SCIENCE: UNIV ZHEJIANG, UYZH, fiber, fibre, CF, carbon, threadlet+, filament+, embed+, imbed+, implant+, insert+, electrostat+, electri+, flock+

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 112721230 A (浙江大学) 2021年4月30日 (2021 - 04 - 30) 说明书第56-86段, 附图1-8	1-10
A	CN 111284044 A (长春设备工艺研究所) 2020年6月16日 (2020 - 06 - 16) 说明书第4-5段, 附图1-2	1-10
A	CN 203957370 U (南京航空航天大学) 2014年11月26日 (2014 - 11 - 26) 说明书第11-14段, 附图1-2	1-10
A	CN 103764393 A (氟特科技股份有限公司) 2014年4月30日 (2014 - 04 - 30) 全文	1-10
A	CN 111410546 A (福建永安市永清石墨烯研究院有限公司 等) 2020年7月14日 (2020 - 07 - 14) 全文	1-10
A	CN 107396610 A (深圳市鸿富诚屏蔽材料有限公司) 2017年11月24日 (2017 - 11 - 24) 全文	1-10
A	US 5873973 A (NORTHROP GRUMMAN CORP.) 1999年2月23日 (1999 - 02 - 23) 全文	1-10

☒ 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12月20日

国际检索报告邮寄日期

2022年1月30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

李基

电话号码 (86-28)62968247

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
A	EP 0233430 A1 (PRADOM LTD.) 1987年8月26日 (1987 - 08 - 26) 全文	1-10
A	JP 2017047586 A (TORAY INDUSTRIES) 2017年3月9日 (2017 - 03 - 09) 全文	1-10
A	DE 3037470 C2 (EKEBRO AB. 等) 1989年3月23日 (1989 - 03 - 23) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/130583

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	112721230	A	2021年4月30日	无			
CN	111284044	A	2020年6月16日	无			
CN	203957370	U	2014年11月26日	无			
CN	103764393	A	2014年4月30日	ES	2718450	T3	2019年7月2日
				CA	2845504	A1	2013年3月7日
				MY	163302	A	2017年9月15日
				EP	2750889	A1	2014年7月9日
				BR	112014003350	B1	2020年2月18日
				US	2013052897	A1	2013年2月28日
				WO	2013032620	A1	2013年3月7日
				MX	2014001657	A	2014年3月21日
				AU	2012301482	A1	2014年1月30日
				RU	2014111809	A	2015年10月10日
				EP	2750889	B1	2019年1月2日
				RU	2590539	C2	2016年7月10日
				CN	103764393	B	2017年7月28日
				JP	2014529536	A	2014年11月13日
				KR	20140066201	A	2014年5月30日
				TW	1584960	B	2017年6月1日
				TW	201311457	A	2013年3月16日
				AU	2012301482	B2	2014年11月13日
				BR	112014003350	A2	2017年3月14日
				IN	201401490	P4	2016年7月1日
CN	111410546	A	2020年7月14日	无			
CN	107396610	A	2017年11月24日	WO	2019034063	A1	2019年2月21日
				CN	107396610	B	2020年8月18日
				CN	207219264	U	2018年4月10日
US	5873973	A	1999年2月23日	无			
EP	0233430	A1	1987年8月26日	EP	0233430	B1	1990年4月25日
				DK	634786	A	1987年7月1日
				PT	84030	A	1987年1月1日
				US	4786453	A	1988年11月22日
				DE	3670658	D1	1990年5月31日
				JP	S62177272	A	1987年8月4日
				AU	6706686	A	1987年7月2日
				BR	8606491	A	1987年10月20日
				FR	2592404	A1	1987年7月3日
				ZA	8609751	A	1987年9月30日
				CA	1275234	C	1990年10月16日
				ES	2015889	B3	1990年9月16日
JP	2017047586	A	2017年3月9日	无			
DE	3037470	C2	1989年3月23日	BE	885552	A1	1981年2月2日
				GB	2064404	A	1981年6月17日
				US	4568008	A	1986年2月4日
				DE	3037470	A1	1981年4月23日
				CH	649029	A5	1985年4月30日
				CA	1135177	A	1982年11月9日
				GB	2064404	B	1983年3月9日
				FR	2467077	A1	1981年4月17日