(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
2018 年 2 月 15 日 (15.02.2018)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2018/028000 A1

(51) 国际专利分类号:
C25D 5/18 (2006.01) *B33Y 30/00* (2015.01)
C25D 21/18 (2006.01) *B33Y 10/00* (2015.01)
C25D 21/12 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2016/095625

(22) 国际申请日: 2016 年 8 月 17 日 (17.08.2016)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201610643106.2 2016年8月8日 (08.08.2016) CN

(71) 申请人: 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。

(72) 发明人: 张朝阳 (ZHANG, Zhaoyang); 中国江苏省镇江市学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。 刘皋 (LIU, Gao); 中国江苏省镇江市学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。 陆海强 (LU, Haiqiang); 中国江苏省镇江市学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。 庄鸿武 (ZHUANG, Hongwu); 中国江苏省镇江市学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。 戴学仁 (DAI, Xueren); 中国江苏省镇江市学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。 杨敬博 (YANG, Jingbo); 中国江苏省镇江市学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。 曹增辉 (CAO, Zenghui); 中国江苏省镇江市学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。

(74) 代理人: 北京德崇智捷知识产权代理有限公司 (JW IP LAW FIRM); 中国北京市朝阳区酒仙桥路14号A5楼7层701, Beijing 100015 (CN)。

WO 2018/028000 A1

(54) **Title:** DEVICE AND METHOD FOR MULTI-POTENTIAL LIQUID-SUCKING ELECTRODEPOSITION 3D PRINTING

(54) 发明名称: 一种多电位吸液电沉积3D打印的装置和方法

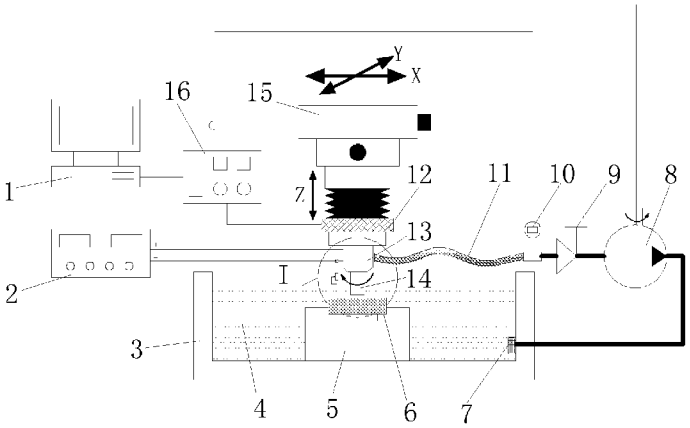


图 1

(57) **Abstract:** A device and method for multi-potential liquid-suction electrodeposition 3D printing. A workpiece is processed by means of constructing internal and external composite electrodes having different potentials. An external electrode (18) is connected with the negative electrode of a power supply and has a low potential; an internal electrode (20) is connected with the positive electrode of the power supply and has a high potential. A workpiece substrate (6) can be connected with the negative electrode of the power supply by means of an adjustable resistor (17), and have an intermediate potential, so as to constrain the direction of an electric field. A tube electrode having central liquid suction is used as a tool electrode (14), causing an electrodeposition liquid (4) converge to the center and removing bubbles in a deposition layer, so as to reduce the concentration polarization, improve the localization as well as the processing surface quality. The regulation and control on a deposition area can be achieved by means of adjusting the potential of an auxiliary electrode and a liquid suction flow rate; the axial feeding of the electrode is fed back and adjusted by means of a force sensor (12) and a flowmeter (10) to ensure a proper machining gap; the method is able to effectively improve the localization, processing

[见续页]

(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, 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, 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))。

precision and processing surface quality of electrochemical deposition.

(57) 摘要：一种多电位吸液电沉积3D打印的装置和方法，通过构造不同电位的内外复合电极对工件进行加工，外电极（18）与电源负极相连，具有低电位，内电极（20）与电源正极连接，具有高电位，工件基板（6）通过可调电阻（17）与电源负极相连，具有中电位，以约束电场方向。采用中间吸液的管电极作为工具电极（14），使电沉积液（4）向中心汇聚并吸走沉积层的气泡，减小浓差极化、提高定域性和加工表面质量。通过调节辅助电极的电位和吸液流量的方式可实现对沉积面积的调控；通过力传感器（12）和流量计（10）反馈调节电极轴向进给以保障合适的加工间隙；该方法能有效提高电化学沉积的定域性、加工精度及加工表面质量。

一种多电位吸液电沉积 3D 打印的装置和方法

技术领域

本发明涉及制造技术中的特种加工领域，特指一种多电位吸液电沉积 3D 打印的加工装置和方法。

背景技术

目前金属零件快速成形的 3D 打印方法，可以利用激光的热效应和定域效果进行选区或分层熔融铸造，如选择性激光烧结（SLS），采用激光有选择地分层烧结固体粉末，并使烧结成型的固化层不断叠加生成所需形状的零件。但该方法存在加工精度低、表面质量差、设备昂贵、材料利用率低等缺陷。

微细电沉积加工即微细电铸加工，是以带电金属离子在材料表面发生电化学还原反应，实现 3D 打印增材制造的一种加工方法，其加工精度可达纳米级，在微细制造及微细金属零件的修复领域具有很大的发展空间。但由于加工过程中电场的分布特点经常导致沉积厚度不均匀，定域性差，表面质量差等缺点。对电场分布进行约束成了提高电沉积定域性及均匀性的有效途径，目前约束电场的方式主要有辅助电极法、辅助能量法、电极运动法、脉冲电源法及绝缘法等。

专利号为 CN 103590080 A 的中国发明专利公开了一种激光强化喷射电沉积快速成形加工装置及方法，将高能量密度激光束和高速电沉积溶液通过管状的钝性阳极中心孔同步射向阴极表面，实现激光强化电沉积与溶液喷射电沉积的结合，达到较高的沉积速度，但由于增材沉积方向与冲液方向相对，沉积精度低、加工间隙难以保障。专利号为 CN 102409369 A 的中国发明专利公开了一种添加辅助阳极的微细电铸装置，该方法通过添加可随进液轴旋转的辅助阳极，确保理想的传质空间以获得厚度均匀的微电铸件，但装置复杂，且加工定域性并未改善；专利号为 CN 204342912 U 的中国实用新型专利公开了一种用于电沉积的阴极移动装置，该装置通过阴极作水平直线运动，可以改善阴极表面的流场分布和电流密度分布，从而提高沉积层厚度的均匀性，但定域性未有改善。

以上专利提供的装置和方法能有效提高沉积速度及均匀性，但沉积精度低、定域性差、加工间隙难以保障，仍有待进一步研究。

发明内容

为了解决上述问题，本发明提出了一种多电位吸液电沉积 3D 打印的装置及方法，减

小或消除了杂散沉积现象，提高了加工定域性、加工精度和表面质量以及加工效率，实现加工间隙的自动化控制。

本发明的技术方案为：

一种多电位吸液电沉积 3D 打印装置，其特征在于，包括多电位电沉积加工系统、溶液的吸液循环系统、运动控制系统；

所述的多电位电沉积加工系统包括电极座、工具电极、工件基板、可调脉冲电源、可调电阻、工作腔、工作台，所述工具电极主要由内电极、绝缘材料和外电极构成，所述内电极、绝缘材料和外电极均为筒状，所述绝缘材料设置在内电极与外电极之间，所述工具电极装在电极座上，所述电极座上具有与轴向、径向相连通的通孔，所述电极座轴向的通孔与内电极中心的空腔连通，所述内电极与可调脉冲电源的正极相连，具有高电位，所述外电极与可调脉冲电源的负极相连，具有低电位；所述工作腔用于盛放电沉积液，所述工作台设置在工作腔内部，工件基板能够安装在工作台上，所述工件基板通过可调电阻与可调脉冲电源的负极相连，具有中电位；

所述溶液吸液循环系统包括连通工作腔的底部与电极座的循环管，设置在循环管上的流量泵、溢流阀；

所述运动控制系统包括计算机、X-Y-Z 三坐标数控平台、力传感器、流量计、数据采集卡，所述力传感器装在电极座与 X-Y-Z 三坐标数控平台上所述电极座装在力传感器上；所述力传感器、所述流量计均与所述数据采集卡相连，所述数据采集卡、所述 X-Y-Z 三坐标数控平台均与所述计算机相连。

优选地，所述工作腔底部连接循环管的位置设置有过滤装置，所述循环管与电极座连接的一端端部为橡胶管。

优选地，所述工具电极的外电极下端面与绝缘材料下端面及内电极下端面三者光滑齐平，内电极及端面光滑导电，内电极孔锥度 0°~5°。

优选地，所述可调电阻阻值的可调范围为 0~200Ω。

优选地，所述可调脉冲电源的电压 0~30V，频率 1~5000Hz，占空比 0~100%；所述可调脉冲电源具有短路保护及短路报警功能。

优选地，所述工具电极的内电极为铜管电极，外电极为石墨电极，所述工件基板为导电材料，所述绝缘材料为绝缘橡胶材料，所述电沉积液为硫酸铜导电溶液。

一种多电位吸液电沉积 3D 打印方法，其特征在于，包括以下步骤：

（1）组装工具电极，并将其安装在电极座上，将所述可调脉冲电源正极连接所述电

极座的正接线柱，所述正接线柱与所述内电极连接，将可调脉冲电源负极连接所述电极座的负接线柱，所述负接线柱与所述外电极连接，将所述工件基板安装在工作台上，并通过可调电阻连接所述可调脉冲电源的负极，使得内电极具有高电位、外电极具有低电位、工件基板具有中电位，构成多电位沉积加工系统；

（2）将过滤装置安装在工作腔底部，采用循环管依次将所述过滤装置与流量泵、溢流阀、流量计、橡胶管及电极座连接，构成电沉积液循环系统；

（3）将力传感器安装在 X-Y-Z 三坐标数控平台 Z 轴，并将所述电极座安装在所述力传感器下方夹头上；

（4）通过实验建立数据库，向工作腔中添加电沉积液，通过控制 X-Y-Z 三坐标数控平台将工具电极移动至工件加工位置，启动流量泵，工具电极内孔吸收电沉积液，通过溶液的吸液循环系统将电沉积液输送至工作腔内，工具电极内孔吸收电沉积液时在工件基板与工具电极之间产生吸力，通过流量计、力传感器检测不同的吸液流量情况下工件基板与工具电极之间的吸力值，并通过数据采集卡将流量、吸力值传输至计算机并存储作为数据库；

（5）接通所述可调脉冲电源，形成多电位沉积加工系统，工件基板上开始出现沉积体，在沉积的过程中工具电极上加工电流由高电位的内电极流向中电位的工件基板时，由于内电极外环绕着低电位的外电极，使内电极边缘处电场被外电极吸引偏转，工件基板上的电流密度被定域集中，减小杂散沉积现象，提高沉积定域性；在电沉积过程中，流量泵为开启状态，将溶液由工具电极内孔向上吸出，再送回到工作腔循环流动，使电沉积产生的氢气泡随之被吸出，提高加工表面质量；同时电沉积溶液中金属离子随水流方向不断向工具电极中心汇聚，电沉积溶液流动方向与沉积体生长方向相同，提高定域沉积效果；电沉积液的循环降低了浓差极化，提高沉积速度；所述流量计检测循环管内流量值并将数据输出到数据采集卡，所述数据采集卡将数据上传计算机，所述力传感器检测所述工具电极与所述电沉积液间的吸力，并将数据输出至数据采集卡，所述数据采集卡将数据上传计算机；随着加工的进行，工具电极与加工工件之间的间隙变小，即电沉积液通道变窄，工具电极端面流速逐渐增大，吸力也逐渐增大，所述力传感器对吸力进行高频采集并将检测的吸力值输出到数据采集卡，所述数据采集卡将数据上传计算机，所述计算机将检测到的吸力值和流量值同数据库中的数值进行比较，通过 X-Y-Z 三坐标数控平台沿 Z 轴运动调整工具电极与加工工件之间的间隙，同时，所述计算机控制所述 X-Y-Z 三坐标数控平台沿 X、Y 轴运动，实现零件的 3D 打印。

优选地，所述步骤（5）中，还包括通过调节可调电阻，改变工件基板的电位高低，实现粗、精加工的快速转换；当可调电阻的电阻值增大时，工件基板的电位升高，内电极边缘区域的金属离子更多地流向电位低的辅助电极，流向工件基板的离子变少，有效沉积范围变小，消除或降低杂散沉积现象，加工精度高；当可调电阻值变小时，工件的电位降低，内电极边缘区域的金属离子更多地流向工件基板，导致有效沉积范围变大，产生或加重杂散沉积现象，加工精度低。

优选地，在所述步骤（1）前对所述工件依次进行研磨、除油、水洗、弱侵蚀、水洗的处理。

优选地，步骤（5）中，加工过程中应定时清理所述外电极上的沉积物。

本发明有益效果是：

1. 通过在高电位的内电极外添加一层低电位的辅助外电极，使电极边缘处电场偏转，仅保留电场分布均匀的电极中心区域进行电沉积，缩小了工件基板上的电场作用区域，减小或消除杂散沉积现象，提高加工定域性。

2. 采用工具电极中心吸液方式，使电沉积液由四周向中心汇聚，溶液流动方向与沉积体生长方向相同，减小了四周的杂散沉积，加速中心的沉积速度；在一定流量范围内，流量越大则沉积速度越大，通过调控流量可间接控制加工区域的沉积速度，提高沉积定域性，还能提高加工精度和表面质量。

3. 采用多电位电沉积系统，可以通过调节可调电阻控制沉积面积大小和沉积精度，依次实现粗沉积和精沉积加工，有效提高加工效率。

4. 电沉积过程中，沉积体上会析出氢气，采用吸液循环方式可以使氢气泡随电沉积液由电极内孔吸出，提高了沉积层的表面质量。

5. 当工具电极向上吸出电沉积液时产生吸力，力传感器通过检测该作用力控制X-Y-Z 三坐标数控平台进给，实现加工间隙的自动化控制。

6. 具有先沉积后刻蚀效果，由于外电极具有低电位，工件具有中间电位，电源导通后，外电极对工件有刻蚀效果，刻蚀后表面质量要优于沉积表面质量，从而进一步提高了定域性及加工表面质量。

附图说明

图 1 是本发明所述多电位吸液电沉积 3D 打印装置的示意图。

图 2 是沉积区域内工具电极、工件基板和溶液抽吸作用的示意图。

图 3 是无辅助电极的沉积微形貌示意图。从图中可看出，单一电极的定域性差，沉

积宽度随着时间的推移而显著变大。

图 4 是添加辅助电极后的沉积形貌示意图。由图可见，沉积定域性良好，且沉积宽度随着时间推移几乎不改变。

图中：

1.计算机，2.可调脉冲电源，3.工作腔，4.电沉积液，5.工作台，6.工件基板，7.过滤装置，8. 流量泵，9.溢流阀，10.流量计，11.橡胶管，12.力传感器，13.电极座，14.工具电极，15. X-Y-Z 三坐标数控平台，16.数据采集卡，17.可调电阻，18.外电极，19. 绝缘层，20.内电极，21.电场线。

具体实施方式

下面结合附图以及具体实施例对本发明作进一步的说明，但本发明的保护范围并不限于此。

如图 1 所示，本发明所述的多电位吸液电沉积 3D 打印装置，包括多电位电沉积加工系统、溶液的吸液循环系统、运动控制系统。所述的多电位电沉积加工系统包括电极座、工具电极、工件基板、可调脉冲电源、可调电阻、工作腔、工作台，所述工具电极主要由内电极、绝缘材料和外电极构成，所述内电极、绝缘材料和外电极均为筒状，所述绝缘材料设置在内电极与外电极之间，所述工具电极装在电极座上，所述电极座上具有与轴向、径向相连通的通孔，所述电极座轴向的通孔与内电极中心的空腔连通，所述工作腔用于盛放电沉积液，所述工作台设置在工作腔内部，工件基板能够安装在工作台上。具体的，所述内电极为铜管电极，所述外电极为石墨电极，所述工件基板为导电材料，所述绝缘材料为绝缘橡胶材料。所述电沉积液为由 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$（220g/L）、H_2SO_4（60g/L）、NaCl（80mg/L）组成的硫酸铜导电溶液，工件基板 6 为不锈钢钢板。所述可调脉冲电源的电压 0~30V，频率 1~5000Hz，占空比 0~100%；所述可调脉冲电源具有短路保护及短路报警功能。所述内电极与可调脉冲电源的正极相连，具有高电位，所述外电极与可调脉冲电源的负极相连，具有低电位；所述工件基板通过可调电阻与可调脉冲电源的负极相连，具有中电位，形成多电位电沉积加工系统。工具电极上加工电流由高电位的内电极流向中电位的工件基板时，由于内电极外环绕着低电位的外电极，使内电极边缘处电场被外电极吸引偏转，工件基板上的电流密度被定域集中，从而减小杂散沉积现象，提高沉积定域性和加工表面质量。

所述外电极下端面与绝缘材料下端面及内电极下端面三者光滑齐平。所述工具电极内孔及端面光滑导电，内孔锥度 0°~5°，所述工具电极内孔锥度越大，则电极端面溶

液流速越大，产生的吸力也越大。

所述可调电阻阻值的可调范围为0~200Ω，通过控制可调电阻改变工件基板的电位高低，实现对沉积范围及沉积精度的调节，进而实现粗、精加工的快速转换：当可调电阻的电阻值增大时，工件基板的电位升高，内电极边缘区域的金属离子更多地流向电位低的辅助电极，流向工件基板的离子变少，使得有效沉积范围变小，消除或降低杂散沉积现象，加工精度高；当可调电阻值变小时，工件的电位降低，内电极边缘区域的金属离子更多地流向工件基板，导致有效沉积范围变大，产生或加重杂散沉积现象，加工精度低。

所述溶液吸液循环系统包括连通工作腔的底部与电极座的循环管，设置在循环管上的流量泵、溢流阀，以及设置在所述工作腔底部连接循环管的过滤装置。由于工具电极为带内孔的管状电极，电沉积过程中利用流量泵将溶液由电极内孔向上吸出，再送回到工作腔循环流动。从而使加工产生的氢气泡随之被吸出，可提高加工表面质量；同时溶液中金属离子随水流方向不断向工具电极中心汇聚，溶液流动方向与沉积体生长方向相同，可提高定域沉积效果；电沉积液的吸出还可以降低了浓差极化，提高沉积速度；在一定流量范围内，流量越大则沉积速度越大，故调控流量可控制沉积定域性。

所述运动控制系统包括计算机、X-Y-Z三坐标数控平台、力传感器、流量计、数据采集卡，所述力传感器装在电极座与X-Y-Z三坐标数控平台上所述电极座装在力传感器上；所述力传感器、所述流量计均与所述数据采集卡相连，所述数据采集卡、所述X-Y-Z三坐标数控平台均与所述计算机相连。所述循环管与电极座连接的一端端部为橡胶管，X-Y-Z三坐标数控平台能带动工具电极进行空间三维运动，从而实现3D打印功能。

本发明所述多电位吸液电沉积3D打印方法，首先对所述工件依次进行研磨、除油、水洗、弱侵蚀、水洗的处理，然后再进行以下步骤的操作：

（1）组装工具电极，并将其安装在电极座上，将所述可调脉冲电源正极连接所述电极座的正接线柱，所述正接线柱与所述内电极连接，将可调脉冲电源负极连接所述电极座的负接线柱，所述负接线柱与所述外电极连接，将所述工件基板安装在工作台上，并通过可调电阻连接所述可调脉冲电源的负极，使得内电极具有高电位、外电极具有低电位、工件基板具有中电位，构成多电位沉积加工系统；

（2）将过滤装置安装在工作腔底部，采用循环管依次将所述过滤装置与流量泵、溢流阀、流量计、橡胶管及电极座连接，构成电沉积液循环系统；

（3）将力传感器安装在X-Y-Z三坐标数控平台Z轴，并将所述电极座安装在所述力

传感器下方夹头上；

（4）通过实验建立数据库，向工作腔中添加电沉积液，通过控制 X-Y-Z 三坐标数控平台将工具电极移动至工件加工位置，启动流量泵，工具电极内孔吸收电沉积液，通过溶液的吸液循环系统将电沉积液输送至工作腔内，工具电极内孔吸收电沉积液时在工件基板与工具电极之间产生吸力，通过流量计、力传感器检测不同的吸液流量情况下工件基板与工具电极之间的吸力值，并通过数据采集卡将流量、吸力值传输至计算机并存储作为数据库；

（5）接通所述可调脉冲电源，形成多电位沉积加工系统，工件基板上开始出现沉积体，在沉积的过程中工具电极上加工电流由高电位的内电极流向中电位的工件基板时，由于内电极外环绕着低电位的外电极，使内电极边缘处电场被外电极吸引偏转，工件基板上的电流密度被定域集中，减小杂散沉积现象，提高沉积定域性；在电沉积过程中，流量泵为开启状态，将溶液由工具电极内孔向上吸出，再送回到工作腔循环流动，使电沉积产生的氢气泡随之被吸出，提高加工表面质量；同时电沉积溶液中金属离子随水流方向不断向工具电极中心汇聚，电沉积溶液流动方向与沉积体生长方向相同，提高定域沉积效果；电沉积液的循环降低了浓差极化，提高沉积速度；所述流量计检测循环管内流量值并将数据输出到数据采集卡，所述数据采集卡将数据上传计算机，所述力传感器检测所述工具电极与所述电沉积液间的吸力，并将数据输出至数据采集卡，所述数据采集卡将数据上传计算机；随着加工的进行，工具电极与加工工件之间的间隙变小，即电沉积液通道变窄，工具电极端面流速逐渐增大，吸力也逐渐增大，所述力传感器对吸力进行高频采集并将检测的吸力值输出到数据采集卡，所述数据采集卡将数据上传计算机，所述计算机将检测到的吸力值和流量值同数据库中的数值进行比较，通过 X-Y-Z 三坐标数控平台沿 Z 轴运动调整工具电极与加工工件之间的间隙，同时，所述计算机控制所述 X-Y-Z 三坐标数控平台沿 X、Y 轴运动，实现零件的 3D 打印。

优选地，所述步骤（5）中，还包括通过调节可调电阻，改变工件基板的电位高低，实现粗、精加工的快速转换；当可调电阻的电阻值增大时，工件基板的电位升高，内电极边缘区域的金属离子更多地流向电位低的辅助电极，流向工件基板的离子变少，有效沉积范围变小，消除或降低杂散沉积现象，加工精度高；当可调电阻值变小时，工件的电位降低，内电极边缘区域的金属离子更多地流向工件基板，导致有效沉积范围变大，产生或加重杂散沉积现象，加工精度低。

在加工过程中，应定时清理所述外电极上的沉积物。所述沉积加工的加工精度和加

工速度由可调电阻及流量调节，通过改变可调电阻大小在不更换电极情况下实现粗精加工的快速转换。

其中电沉积液 4 由 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$（220g/L）、H_2SO_4（60g/L）、NaCl（80mg/L）组成；工件基板 6 为不锈钢钢板，绝缘材料 19 为绝缘橡胶材料，内电极 20 采用铜管电极，外电极 18 为石墨电极；可调脉冲电源 2 电压 0~30V，频率 1~5000Hz，占空比 0~100%。

本发明使用方法如下：

（1）组装工具电极 14，并将其安装在电极座 13 上，将可调脉冲电源 2 正极连接电极座 13 的正接线柱，将可调脉冲电源 2 负极连接电极座 13 的负接线柱，将工件 6 安装在工作台 5 上，并通过可调电阻 17 连接可调脉冲电源 2 的负极，使得内电极具有高电位、外电极具有低电位、工件具有中电位，构成多电位沉积加工系统；

（2）将过滤装置 7 安装在工作腔 3 底部，并依次将过滤装置 7 与流量泵 8、溢流阀 9、流量计 10、橡胶管 11 及电极座 13 连接，构成电沉积液循环系统，流量泵 8 将电沉积液 4 从内电极 20 中吸出到橡胶管 11，橡胶管 11 随电极座 13 运动，流量计 10 检测管内流量值并将数据输出到数据采集卡 16，数据采集卡 16 将数据上传计算机 1，将计算机 1 与流量泵 8 和 X-Y-Z 三坐标数控平台 15 连接；

（3）将力传感器 12 安装在 X-Y-Z 三坐标数控平台 15 的 Z 轴，并将电极座 13 安装在力传感器 12 下方夹头上，力传感器 12 检测工具电极与电沉积液间的吸力，并将数据输出至数据采集卡 16，所述数据采集卡 16 将数据上传计算机 1；

（4）通过实验建立数据库，向工作腔 3 中添加电沉积液 4，启动流量泵 8，移动工具电极 14 至工件基板 6 的加工位置，工具电极 14 内孔吸入电沉积液 4，在工件 6 与工具电极 14 间产生吸力，力传感器 12 检测该吸力并根据不同的吸液流量检测并设置吸力值，所述工具电极 14 内孔加工锥度，可以加快电极内部溶液流速；

（5）接通可调脉冲电源 2，形成沉积回路，工件开始沉积加工，随着加工的进行，吸力逐渐增大，力传感器 12 对吸力进行高频采集并将检测的吸力值输出到数据采集卡 16，数据采集卡 16 将数据上传计算机 1，计算机 1 将检测到的吸力值和流量值同设置值进行比较，合理调整加工间隙，直到所需零件沉积成形。

所述实施例为本发明的优选的实施方式，但本发明并不限于上述实施方式，在不背离本发明的实质内容的情况下，本领域技术人员能够做出的任何显而易见的改进、替换或变型均属于本发明的保护范围。

权 利 要 求 书

1．一种多电位吸液电沉积 3D 打印装置，其特征在于，包括多电位电沉积加工系统、溶液的吸液循环系统、运动控制系统；

所述的多电位电沉积加工系统包括电极座、工具电极、工件基板、可调脉冲电源、可调电阻、工作腔、工作台，所述工具电极主要由内电极、绝缘材料和外电极构成，所述内电极、绝缘材料和外电极均为筒状，所述绝缘材料设置在内电极与外电极之间，所述工具电极装在电极座上，所述电极座上具有与轴向、径向相连通的通孔，所述电极座轴向的通孔与内电极中心的空腔连通，所述内电极与可调脉冲电源的正极相连，具有高电位，所述外电极与可调脉冲电源的负极相连，具有低电位；所述工作腔用于盛放电沉积液，所述工作台设置在工作腔内部，工件基板能够安装在工作台上，所述工件基板通过可调电阻与可调脉冲电源的负极相连，具有中电位；

所述溶液吸液循环系统包括连通工作腔的底部与电极座的循环管，设置在循环管上的流量泵、溢流阀；

所述运动控制系统包括计算机、X-Y-Z 三坐标数控平台、力传感器、流量计、数据采集卡，所述力传感器装在电极座与 X-Y-Z 三坐标数控平台上所述电极座装在力传感器上；所述力传感器、所述流量计均与所述数据采集卡相连，所述数据采集卡、所述 X-Y-Z 三坐标数控平台均与所述计算机相连。

2．根据权利要求 1 所述的多电位吸液电沉积 3D 打印装置，其特征在于，所述工作腔底部连接循环管的位置设置有过滤装置，循环管与电极座连接的一端端部为橡胶管。

3．根据权利要求 1 所述的多电位吸液电沉积 3D 打印装置，其特征在于，所述工具电极的外电极下端面与绝缘材料下端面及内电极下端面三者光滑齐平，内电极及端面光滑导电，内电极孔锥度 0°~5°。

4．根据权利要求 1 所述的多电位吸液电沉积 3D 打印装置，其特征在于，所述可调电阻阻值的可调范围为 0~200Ω。

5．根据权利要求 1 所述的多电位吸液电沉积 3D 打印装置，其特征在于，所述可调脉冲电源的电压 0~30V，频率 1~5000Hz，占空比 0~100%；所述可调脉冲电源具有短路保护及短路报警功能。

6．根据权利要求 1 所述的多电位吸液电沉积 3D 打印装置，其特征在于，所述工具电极的内电极为铜管电极，外电极为石墨电极，所述工件基板为导电材料，所述绝缘材料

为绝缘橡胶材料。

7．一种多电位吸液电沉积 3D 打印方法，其特征在于，包括以下步骤：

（1）组装工具电极，并将其安装在电极座上，将所述可调脉冲电源正极连接所述电极座的正接线柱，所述正接线柱与所述内电极连接，将可调脉冲电源负极连接所述电极座的负接线柱，所述负接线柱与所述外电极连接，将所述工件基板安装在工作台上，并通过可调电阻连接所述可调脉冲电源的负极，使得内电极具有高电位、外电极具有低电位、工件基板具有中电位，构成多电位沉积加工系统；

（2）将过滤装置安装在工作腔底部，采用循环管依次将所述过滤装置与流量泵、溢流阀、流量计、橡胶管及电极座连接，构成电沉积液循环系统；

（3）将力传感器安装在 X-Y-Z 三坐标数控平台 Z 轴，并将所述电极座安装在所述力传感器下方夹头上；

（4）通过实验建立数据库，向工作腔中添加电沉积液，通过控制 X-Y-Z 三坐标数控平台将工具电极移动至工件加工位置，启动流量泵，工具电极内孔吸收电沉积液，通过溶液的吸液循环系统将电沉积液输送至工作腔内，工具电极内孔吸收电沉积液时在工件基板与工具电极之间产生吸力，通过流量计、力传感器检测不同的吸液流量情况下工件基板与工具电极之间的吸力值，并通过数据采集卡将流量、吸力值传输至计算机并存储作为数据库；

（5）接通所述可调脉冲电源，形成多电位沉积加工系统，工件基板上开始出现沉积体，在沉积的过程中工具电极上加工电流由高电位的内电极流向中电位的工件基板时，由于内电极外环绕着低电位的外电极，使内电极边缘处电场被外电极吸引偏转，工件基板上的电流密度被定域集中，减小杂散沉积现象，提高沉积定域性；在电沉积过程中，流量泵为开启状态，将溶液由工具电极内孔向上吸出，再送回到工作腔循环流动，使电沉积产生的氢气泡随之被吸出，提高加工表面质量；同时电沉积溶液中金属离子随水流方向不断向工具电极中心汇聚，电沉积溶液流动方向与沉积体生长方向相同，提高定域沉积效果；电沉积液的循环降低了浓差极化，提高沉积速度；所述流量计检测循环管内流量值并将数据输出到数据采集卡，所述数据采集卡将数据上传计算机，所述力传感器检测所述工具电极与所述电沉积液间的吸力，并将数据输出至数据采集卡，所述数据采集卡将数据上传计算机；随着加工的进行，工具电极与加工工件之间的间隙变小，即电沉积液通道变窄，工具电极端面流速逐渐增大，吸力也逐渐增大，所述力传感器对吸力进行高频采集并将检测的吸力值输出到数据采集卡，所述数据采集卡将数据上传计算机，所述计算机将检测到的吸力值和流量值同数据库中的数值进行比较，通过 X-Y-Z 三坐标数控平台沿 Z 轴运动调整

工具电极与加工工件之间的间隙，同时，所述计算机控制所述 X-Y-Z 三坐标数控平台沿 X、Y 轴运动，实现零件的 3D 打印。

8．根据权利要求 7 所述的多电位吸液电沉积 3D 打印方法，其特征在于，在所述步骤（1）前对所述工件依次进行研磨、除油、水洗、弱侵蚀、水洗的处理。

9．根据权利要求 7 所述的多电位吸液电沉积 3D 打印方法，其特征在于，所述步骤（5）中，还包括通过调节可调电阻，改变工件基板的电位高低，实现粗、精加工的快速转换；当可调电阻的电阻值增大时，工件基板的电位升高，内电极边缘区域的金属离子更多地流向电位低的辅助电极，流向工件基板的离子变少，有效沉积范围变小，消除或降低杂散沉积现象，加工精度高；当可调电阻值变小时，工件的电位降低，内电极边缘区域的金属离子更多地流向工件基板，导致有效沉积范围变大，产生或加重杂散沉积现象，加工精度低。

10．根据权利要求 7 所述的多电位吸液电沉积 3D 打印方法，其特征在于，步骤（5）中，加工过程中应定时清理所述外电极上的沉积物。

附 图

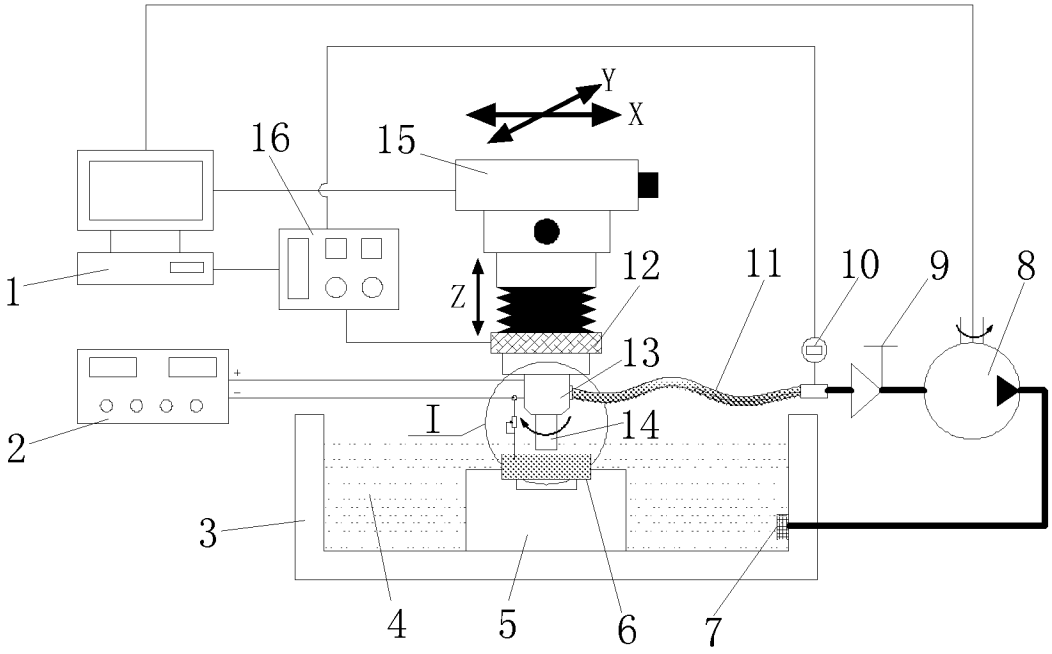


图 1

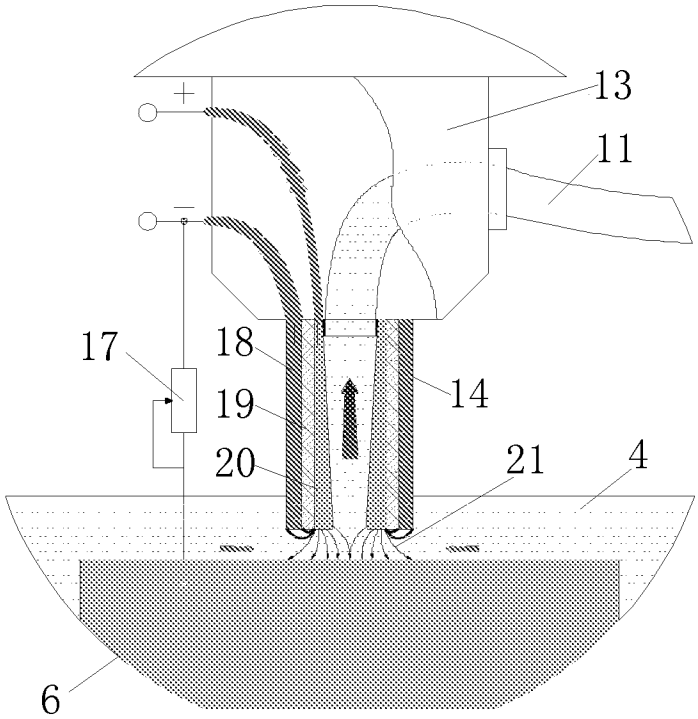


图 2

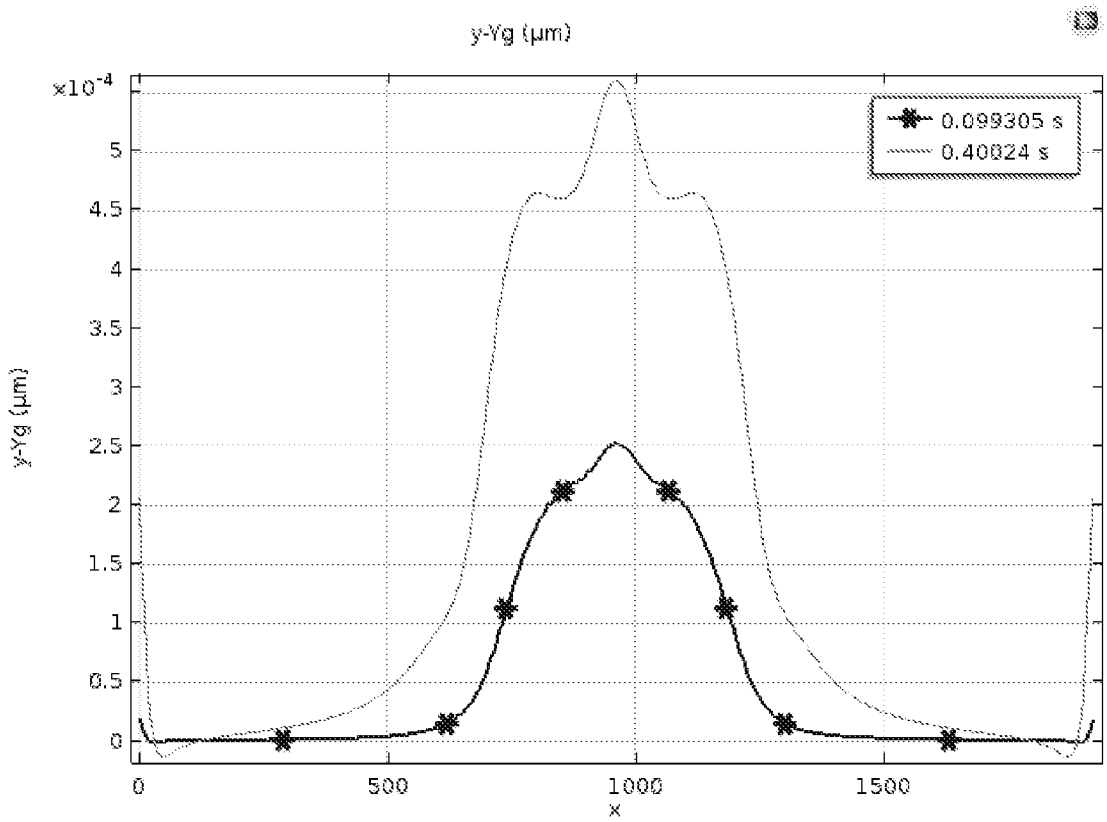

y-Yg (μm)
×10^-4
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
y-Yg (μm)
0.099305 s
0.40024 s
0
500
1000
1500
x

图 3

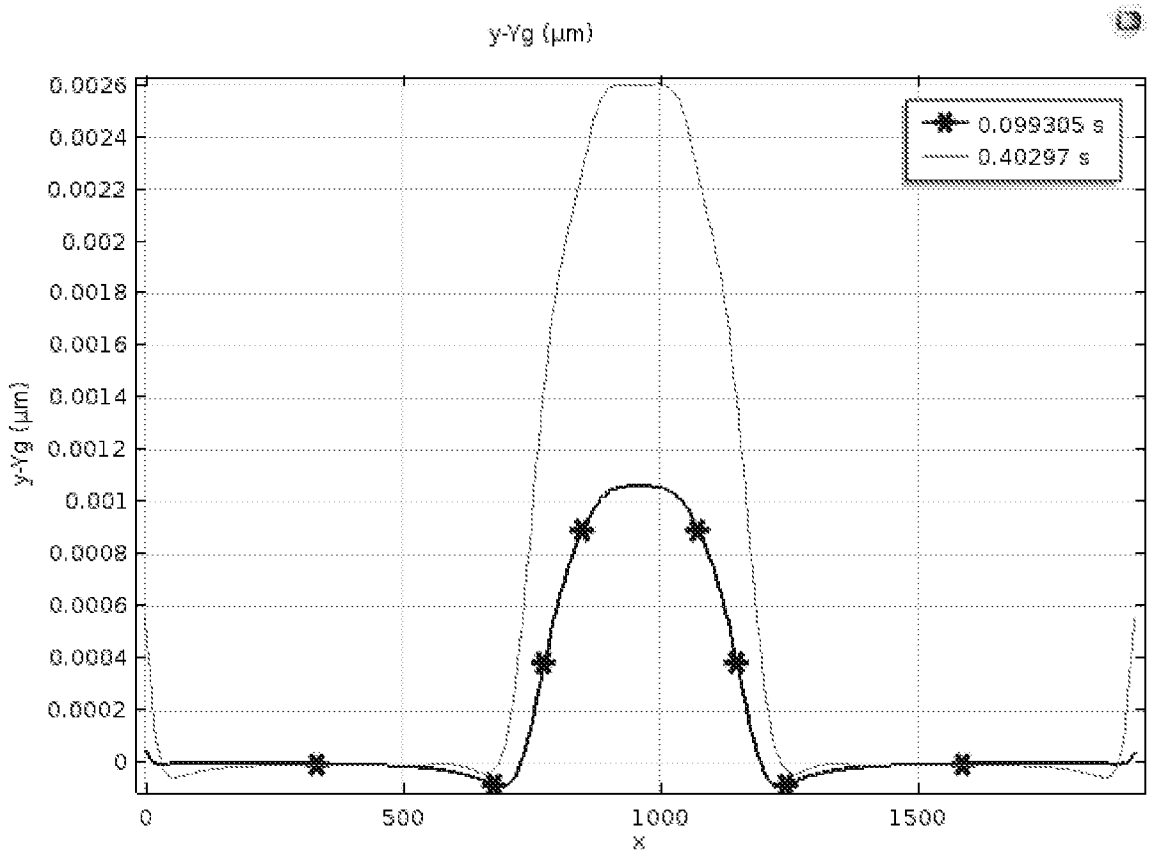

y-Yg (μm)
0.0026
0.0024
0.0022
0.002
0.0018
0.0016
0.0014
0.0012
0.001
0.0008
0.0006
0.0004
0.0002
0
y-Yg (μm)
0.099305 s
0.40297 s
0
500
1000
1500
x

图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2016/095625

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C25D 5/18 (2006.01) i; C25D 21/18 (2006.01) i; C25D 21/12 (2006.01) i; B33Y 30/00 (2015.01) i; B33Y 10/00 (2015.01) 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)

C25D, B33Y

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, VEN, CNKI: 3D printing, rapid formation, additive manufacturing, electroforming, electrochemical deposition, three, dimension, tridimension, print, form, rapid, form, additive, electrodeposition, electrode

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 201232091 Y (ZHEJIANG SCI-TECH UNIVERSITY) 06 May 2009 (06.05.2009) description, page 2, lines 2-30	1-10
A	CN 104178782 A (WENZHOU INSTITUTE OF INDUSTRY & SCIENCE) 03 December 2014 (03.12.2014) the whole document	1-10
A	CN 105112965 A (SHANGHAI SHENGKUANG ELECTROMECHANICAL TECHNOLOGY CO., LTD.) 02 December 2015 (02.12.2015) the whole document	1-10
A	CN 104164683 A (WENZHOU INSTITUTE OF INDUSTRY & SCIENCE) 26 November 2014 (26.11.2014) the whole document	1-10
A	CN 103590076 A (TONGLING UNIVERSITY) 19 February 2014 (19.02.2014) the whole document	1-10
A	JP H10237689 A (JAPAN SCI&TECHNOLOGY AGENCY) 08 September 1998 (08.09.1998) the whole 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	Date of mailing of the international search report
02 May 2017	12 May 2017
Name and mailing address of the ISA 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 YANG, Jianyong Telephone No. (86-10) 62084979

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2016/095625

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 201232091 Y	06 May 2009	None	
CN 104178782 A	03 December 2014	CN 104178782 B	07 December 2016
CN 105112965 A	02 December 2015	None	
CN 104164683 A	26 November 2014	None	
CN 103590076 A	19 February 2014	CN 103590076 B	23 November 2016
JP H10237689 A	08 September 1998	JP 3795611 B2	12 July 2006

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2016/095625

A. 主题的分类

C25D 5/18(2006.01)i; C25D 21/18(2006.01)i; C25D 21/12(2006.01)i; B33Y 30/00(2015.01)i; B33Y 10/00(2015.01)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)

C25D, B33Y

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;VEN; CNKI:3D打印，三维，快速成形，增材制造，电沉积，电铸，电化学沉积，电极，three, dimension, tridimension, print, form, rapid, form, additive, electrodeposition, electrode

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	CN 201232091 Y (浙江理工大学) 2009年 5月 6日 (2009-05-06) 说明书第2页第2-30行	1-10
A	CN 104178782 A (温州市工业科学研究院) 2014年 12月 3日 (2014-12-03) 全文	1-10
A	CN 105112965 A (上海圣匡机电科技有限公司) 2015年 12月 2日 (2015-12-02) 全文	1-10
A	CN 104164683 A (温州市工业科学研究院) 2014年 11月 26日 (2014-11-26) 全文	1-10
A	CN 103590076 A (铜陵学院) 2014年 2月 19日 (2014-02-19) 全文	1-10
A	JP H10237689 A (JAPAN SCI&TECHNOLOGY AGENCY) 1998年 9月 8日 (1998-09-08) 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	国际检索报告邮寄日期
2017年 5月 2日	2017年 5月 12日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
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	杨建勇
传真号 (86-10)62019451	电话号码 (86-10)62084979

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2016/095625

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	201232091	Y	2009年 5月 6日	无			
CN	104178782	A	2014年 12月 3日	CN	104178782	B	2016年 12月 7日
CN	105112965	A	2015年 12月 2日	无			
CN	104164683	A	2014年 11月 26日	无			
CN	103590076	A	2014年 2月 19日	CN	103590076	B	2016年 11月 23日
JP	H10237689	A	1998年 9月 8日	JP	3795611	B2	2006年 7月 12日