

(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 7 月 26 日 (26.07.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/133216 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01N 27/22 (2006.01) **G01L 1/14** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/079932
- (22) 国际申请日: 2017 年 4 月 10 日 (10.04.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201710034190.2 2017 年 1 月 17 日 (17.01.2017) CN
- (71) 申请人: 华中科技大学(HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。
- (72) 发明人: 张云(ZHANG, Yun); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 李德

群(LI, Dequn); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 周华民(ZHOU, Huamin); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 黄志高(HUANG, Zhigao); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 王云明(WANG, Yunming); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 张逸(ZHANG, Yi); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 叶庆莹(YE, Qingying); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。

(74) 代理人: 华中科技大学专利中心(HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PATENT AGENCY CENTER); 中国湖北省武汉洪山区珞喻路 1037 号华中科技大学东一楼 340, Hubei 430074 (CN)。

(54) Title: COPLANAR CAPACITANCE-TYPE POLYMER MOLECULE ORIENTATION MEASUREMENT DEVICE AND METHOD

(54) 发明名称: 一种共面电容式聚合物分子取向测量装置及方法

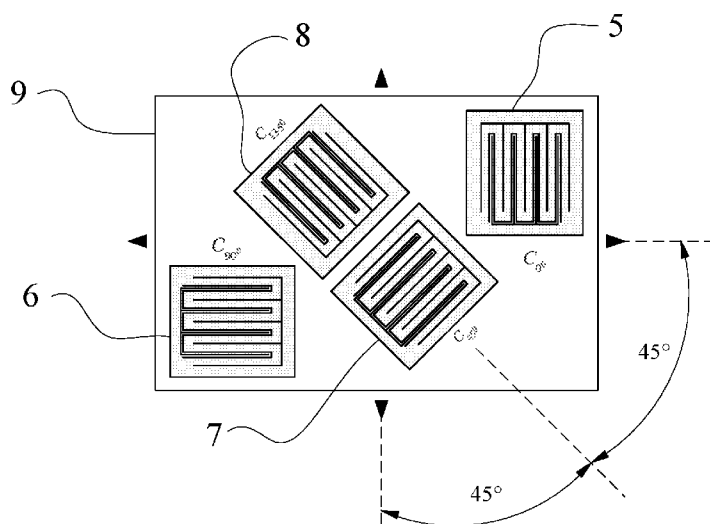


图 2

(57) Abstract: A coplanar capacitance-type polymer molecule orientation measurement device and method, the measurement device comprising: a sensor probe array (10), a capacitance measurement unit (13), and an orientation computing module (14); the sensor probe array (10) comprises multiple groups of coplanar electrodes, any group of coplanar electrodes comprising at least two conductive electrodes; the capacitance measurement unit (13) is used for measuring the capacitance between any two conductive electrodes from within the same coplanar electrodes, and for obtaining multiple groups of capacitance data; the orientation computing module (14) is used for computing, according to the multiple groups of capacitance data, the molecular orientation of a polymer to be measured. By using the anisotropy of the dielectric properties of a polymer material, polymer molecule orientation is measured by means of a coplanar electrode structure, thus establishing a relationship among orientation – dielectric – capacitance. The present invention is



(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, 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。

(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))。

suitable for various polymers, and is a nondestructive type of detection having the features of high precision, rapid response, being non-invasive, and the like.

(57) 摘要: 一种共面电容式聚合物分子取向测量装置及方法, 测量装置包括传感器探头阵列(10)、电容测量单元(13)、以及取向计算模块(14), 其中, 传感器探头阵列(10)包括多组共面电极; 任意一组共面电极均包括至少两个导电电极; 电容测量单元(13)用于测量同一共面电极内的任意两个导电电极之间的电容, 并得到多组电容数据; 取向计算模块(14)则用于根据多组电容数据计算待测量聚合物的分子取向。利用聚合物材料介电性能的各向异性, 通过共面电极结构测量聚合物分子取向, 建立了取向-介电-电容三者的关系, 适用于各类聚合物, 属于无损检测, 具有精度高、响应快、非侵入式等特点。

一种共面电容式聚合物分子取向测量装置及方法

[技术领域]

本发明属于聚合物加工成型过程检测领域，更具体地，涉及一种共面电容式聚合物分子取向测量装置及方法，该装置及方法可用于测量聚合物成型过程中分子取向。

[背景技术]

聚合物具有原料丰富、易于加工、比强度高、耐化学腐蚀等各种优良性能，因而在各行各业得到了广泛的应用。在聚合物成型过程中，聚合物分子链随熔体的流动行为而取向，并随熔体各处剪切的不同，呈现一定的取向分布。聚合物分子的取向的最终分布以及变化历史决定着聚合物产品的力学性能、光学性能及热物理性能，因此聚合物成型过程中的分子取向测量对于产品性能的确定具有重大意义。

目前，公开报道的聚合物分子取向测量方法主要有两大类：第一类为离线测量，较早提出的有 X 射线衍射法。X 射线衍射是研究晶体学的重要手段，在聚合物方面，利用 X 射线衍射能微观反应高分子链的构象及局部链段关系，因此利用 X 射线衍射测量聚合物分子取向也逐渐受到重视，例如广角 X 射线衍射（WAXD）和小角 X 射线衍射（SAXS）分别以衍射圆弧长度和弥散散射强度来度量取向度。同一时期还有双折射法和红外二向色性法，其中双折射法利用两个互相垂直方向上折射率差来衡量取向度，但只适用于透明材料且光学仪器调试复杂，而红外二向色性法根据取向试样红外吸收的各向异性来测量取向度。通常，这些离线测量方法具有制样过程复杂、无法在线检测等缺点。

第二类为在线检测，其方法较少，目前提出的有超声波测量法。例如在赵朋等所著文献《基于超声技术的塑料注射成型过程在线检测》中，利

用注塑过程中超声信号的变化解释聚合物熔体结构形态的变化。Edward R 等所著文献《On-line measurement of polymer orientation using ultrasonic technology》中采用超声横波在线检测了聚合物在模具型腔中的取向行为。但目前这方面的研究大多还处于实验室阶段，实际应用时还要对超声检测设备、超声信号与聚合物取向的理论关系、超声信号的分析 and 处理等方面进一步研究。

在公开号为 CN102012400A 的中国专利文献中，提供了一种超声波声速检测管材取向度的方法，通过超声波测试多个管材样品垂直于材料取向方向上声速，再利用红外二向色性法来标定，得到超声波波速和取向度的对应曲线。但该方法必须对样品进行切片测试，标定过程复杂，不利于在线测量，且适用范围仅限于聚合物管材。

[发明内容]

针对现有技术的以上缺陷或改进需求，本发明的目的在于提出一种共面电容式聚合物分子取向测量装置及方法，其中通过对测量装置中关键的多组共面电极的相对设置方式、每组共面电极中导电电极的形状及相对位置设置、以及测量的参数类型等进行改进，与现有技术相比能够有效解决聚合物的分子取向测量困难、测量方法只适用于部分特定形状的聚合物等问题，本发明利用聚合物材料介电性能的各向异性，建立了取向-介电-电容三者的关系，适用于各类聚合物，属于无损检测，具有精度高、响应快、非侵入式等特点，且该测量装置及方法能用于真实加工环境的聚合物分子取向在线测量，灵活度较高且适用范围较广。

为实现上述目的，按照本发明的一个方面，提供了一种共面电容式聚合物分子取向测量装置，其特征在于，包括传感器探头阵列（10）、电容测量单元（13）、以及取向计算模块（14），其中，

所述传感器探头阵列（10）包括设置在绝缘基底（9）上的多组共面电极；

对于任意一组所述共面电极，均包括至少两个导电电极，并且，任意一个所述导电电极均具有条状电极结构；对于同一所述共面电极内的任意两个所述导电电极，它们的条状电极结构相互平行，并且保持固定间距；任意两个所述导电电极之间的电容受待测量聚合物的影响；并且，对于任意一组所述共面电极，定义在所述基底（9）平面上的、且与该共面电极中的条状电极结构相平行的直线为该共面电极的排布直线；

所述电容测量单元（13）与所述传感器探头阵列（10）相连，用于测量同一组所述共面电极内的任意两个所述导电电极之间的电容，并得到与所述多组共面电极相对应的多组电容数据；

所述取向计算模块（14）与所述电容测量单元（13）相连，用于根据所述电容测量单元（13）测量得到的所述多组电容数据计算所述待测量聚合物的分子取向；

此外，所述传感器探头阵列（10）上的所述多组共面电极至少为 4 组共面电极，以这些共面电极中的 4 组所述共面电极作为 2 个共面电极阵列单元，其中，每个所述共面电极阵列单元均包括 2 组所述共面电极；对于同一个所述共面电极阵列单元中的 2 组所述共面电极，这 2 组所述共面电极的排布直线之间的夹角为 90° ；

对于这 2 个所述共面电极阵列单元，其中一个阵列单元中任意一组共面电极的排布直线，与另一个阵列单元中的任意一组共面电极的排布直线，这两条直线之间的夹角为 45° 。

作为本发明的进一步优选，定义所述基底（9）面上的任意一个方向为单位正方向，则对于任意一组所述共面电极，该共面电极的排布直线与该单位正方向之间的夹角为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。

作为本发明的进一步优选，对于任意一组所述共面电极，该共面电极中的任意一个所述导电电极均包括多个所述条状电极结构，这些条状结构相互平行、且彼此之间通过导电结构相连。

作为本发明的进一步优选，对于任意一组所述共面电极，均包括三个导电电极以及一个基板（4），记这三个导电电极分别为第一导电电极（1）、第二导电电极（2）、以及第三导电电极（3）；优选的，所述第一导电电极（1）、所述第二导电电极（2）、以及所述第三导电电极（3）均位于所述基底（9）的同一面上。

作为本发明的进一步优选，对于任意一组所述共面电极，所述第一导电电极（1）与所述第二导电电极（2）相互交叉分布，该第二导电电极（2）中的任意一个所述条状电极结构距与其相邻的、且属于所述第一导电电极（1）中的条状电极结构的距离保持固定；

所述第三导电电极（3）位于所述第一导电电极（1）与所述第二导电电极（2）之间，该第三导电电极（3）距所述第一导电电极（1）中任意一个条状电极结构的距离保持固定，该第三导电电极（3）距所述第二导电电极（2）中任意一个条状电极结构的距离保持固定；并且，所述第三导电电极（3）距所述第一导电电极（1）中任意一个条状电极结构的距离与所述第三导电电极（3）距所述第二导电电极（2）中任意一个条状电极结构的距离两者不相等。

作为本发明的进一步优选，当任意一组所述共面电极中的所述导电电极两个时，

所述电容测量单元（13）用于测量所述 2 个共面电极阵列单元中属于同一所述共面电极内的、两个所述导电电极之间的电容，并得到与所述 2 个共面电极阵列单元中的 4 组所述共面电极相对应的 4 个电容数据；

所述取向计算模块（14）用于根据所述电容测量单元（13）测量得到的所述 4 个电容数据计算所述待测量聚合物的分子取向 θ ：

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{C_1 - C_2}{C_3 - C_4} ;$$

其中， C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 为所述电容测量单元（13）测量得到的所述 4

个电容数据， C_1 、 C_2 对应同一个共面电极阵列单元， C_3 、 C_4 对应另一个共面电极阵列单元。

作为本发明的进一步优选，所述电容测量单元（13）用于测量所述 2 个共面电极阵列单元中属于同一所述共面电极内的、预先选择的两个所述导电电极之间的电容，并得到与所述 2 个共面电极阵列单元中的 4 个所述共面电极相对应的 4 个电容数据；所述预先选择的两个导电电极是第一导电电极与第二导电电极，或者为第一导电电极与第三导电电极，或者为第二导电电极与第三导电电极；

所述取向计算模块（14）用于根据所述电容测量单元（13）测量得到的所述 4 个电容数据计算所述待测量聚合物的分子取向 θ ：

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{C_1 - C_2}{C_3 - C_4};$$

其中， C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 为所述电容测量单元（13）测量得到的所述 4 组电容数据， C_1 、 C_2 对应同一个共面电极阵列单元， C_3 、 C_4 对应另一个共面电极阵列单元。

作为本发明的进一步优选，当所述电容测量单元（13）中的所述预先选择的两个导电电极变动时，所述取向计算模块（14）则用于计算得到一组分子取向 θ 。

作为本发明的进一步优选，所述基底（9）位于聚合物成型模腔内壁（12）上；

且所述基底（9）为表面涂有绝缘涂层的绝缘基底（9）。

按照本发明的另一方面，本发明提供了一种共面电容式聚合物分子取向测量方法，该测量方法是采用上述一种共面电容式聚合物分子取向测量装置，其特征在于，包括以下步骤：

（1）将至少一个传感器探头阵列（10）安装在聚合物成型模腔内壁（12）上，并将该传感器探头阵列（10）中的共面电极与电容测量单元（13）连

接；

(2) 执行聚合物成型加工步骤，以聚合物成型模腔中进行成型加工的聚合物作为待测量聚合物，并根据预设的采样周期定时对所述电容测量单元(13)输出的电容值进行采集；

(3) 根据同一时刻采集到的所述电容值，计算所述待测量聚合物的分子取向 θ ：

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{C_1 - C_2}{C_3 - C_4}$$

其中， C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 为同一时刻所述电容测量单元(13)采集到的电容数据， C_1 、 C_2 对应2个共面电极阵列单元中的同一个共面电极阵列单元， C_3 、 C_4 对应2个共面电极阵列单元中的另一个共面电极阵列单元； C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 对应的预先选择的两个导电电极之间的距离彼此相等，优选的，这两个导电电极均为第一导电电极与第二导电电极，或者均为第一导电电极与第三导电电极，或者均为第二导电电极与第三导电电极；

即得到一系列随时间变化的待测量聚合物的分子取向 θ 。

通过本发明所构思的以上技术方案，与现有技术相比，通过共面电极结构测量聚合物分子取向，利用介电性能各向异性原理，建立了取向-介电-电容三者的关系。本发明利用共面电极的结构优势，通过测量不同散射电场方向上已取向聚合物的电容大小，计算聚合物分子的取向，克服了以往聚合物分子取向测量中无法在线检测、取向方向不明确等缺点。本方法采用电学量测量，属于无损检测，适用于各类聚合物，具有精度高、响应快、非侵入式、测量方法简单等特点，为聚合物成型过程中分子取向的测量与分析提供了一种有效手段，并可广泛运用于聚合物产品的质量控制。具体说来，具有如下优点：

1) 电容式测量适用于各类聚合物（绝缘材料），包括透明、半透明和不透明材料，且电信号精度高、响应快；

- 2) 共面电容式结构简单, 方便安装, 且能与测量电路集成一体;
- 3) 电容建模简单, 易于分析电容与取向的理论关系;
- 4) 可实现聚合物分子取向的无损在线检测, 具有非侵入式特点。

本发明中一种共面电容式聚合物分子取向测量装置, 采用了共面电极结构外加基底材料, 并将传感器探头阵列安装在模具型腔内, 灵活度较高且适应性较广。进一步, 共面电极结构中三个导电电极间距两两不等, 两两组合后产生三种不同穿透深度, 可以实现聚合物熔体同一位置不同厚度的取向测量。对于聚合物成型过程中容易出现的分层现象, 本发明可以测得不同层聚合物的取向状态, 得到的聚合物取向信息更准确。另外, 对于材料的固体状态和熔体状态, 两者与传感器之间的接触情况不同, 熔体和传感器之间紧密接触, 不存在空气间隙层, 而对于固体状态, 本发明中虽然存在空气间隙, 但通过共面电极得到的散射电场具有一定穿透深度, 因此本发明对固态和熔融态的待测材料均能准确测量, 且与传统的多波长共面电极结构相比, 本发明中共面电极测量的是同一区域, 不存在因区域不同受力不平衡导致固态待测聚合物测量不准确的问题。

本发明中一种共面电容式聚合物分子取向测量方法, 无需待测试样准备过程, 采用无损检测技术在线测量, 方法简单, 易实施, 且为电学量测量, 精度高, 便于聚合物材料物理机械性能的判断。进一步, 在型腔壁内多个位置安装此传感器探头, 可以在线测量聚合物成型过程中不同位置不同深度熔体的取向分布。

[附图说明]

图 1 是本发明中共面电容式取向测量传感器探头阵列中任意一个共面电极中导电电极与基板示意图;

图 2 是本发明共面电容式取向测量传感器探头阵列示意图;

图 3 为待测聚合物材料主介电张量、主介电张量坐标系和传感器探头阵列的位置关系示意图;

图 4 为本发明中共面电容式取向测量装置的工作示意图；

图 5 为本发明中共面电容式取向测量装置在转矩流变仪中的工作示意图。

[具体实施方式]

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。此外，下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

本发明中一种共面电容式聚合物分子取向测量装置，如图 4 所示，包括共面电容式取向测量传感器探头阵列（10）、电容测量单元（13）和取向计算模块（14），所述的共面电容式取向测量传感器探头阵列（10）位于聚合物模具型腔壁（即聚合物成型模腔内壁（12））上，包括基底材料（9）、共面电极（5）（6）（7）（8）以及绝缘涂层，如图 2 所示，所述的共面电极均与电容测量单元（13）连接。由于聚合物成型模腔内壁（12）远大于传感器探头阵列（10），因此该传感器探头阵列（10）仍可近似为一个平面。

进一步，所述的共面电容式取向测量传感器探头阵列（10）包括多组共面电极结构，其数目为 4 组及以上，且对应不同的设计角度。

进一步，所述共面电极结构的数目为 4 组，分为 2 个阵列单元，每个阵列单元由 2 组共面电极构成，且分别对应不同的设计角度（设计角度即以基底（9）面上的任意一个方向作为单位正方向，如传感器探头阵列长度方向，该单位正方向与共面电极间的夹角）。

进一步，所述 4 组共面电极结构对应的设计角度均位于 0° - 180° 之间，且同一个阵列单元中共面电极结构的设计角度相差 90° 。

进一步，所述 2 个阵列单元中共面电极结构对应的设计角度相差 45° ，因此 4 组共面电极结构对应的设计角度包括但不限于 0° ， 45° ， 90° ， 135°

(0° 即对应单位正方向平行于其中 1 组共面电极结构的情况)。

进一步,所述的共面电极结构包括三个导电电极 1、2、3 和一个基板 4,如图 1 所示,所述的每个导电电极均与电容测量单元 (13) 连接。

进一步,所述的三个导电电极包括第一导电电极 (1)、第二导电电极 (2) 和第三导电电极 (3),均位于基板 (4) 上,所述的基板 (4) 位于基底材料 (9) 上。

进一步,所述的第一导电电极和第二导电电极分别包括多根相互平行的均匀分散排布的电极条,相互交错排列且互不连通。所述第三导电电极包括一根嵌在第一导电电极和第二导电电极间隙间的蜿蜒的矩形电极条,且与第一导电电极和第二导电电极的垂直距离不同,三个导电电极两两间距均不同。

相应的,本发明中一种共面电容式聚合物分子取向测量方法,包括共面电容式传感器探头阵列的设计与安装、探头阵列电容值的测量以及基于电容值的聚合物分子取向分析,具体来说,包括:

1) 将至少一个共面电容式取向测量传感器探头阵列安装在聚合物模具型腔壁 (12) 上,并将传感器探头阵列的共面电极与电容测量单元 (13) 连接;

2) 执行聚合物成型加工步骤,共面电容式取向测量传感器探头阵列接触待测聚合物材料 (11),根据预设的采样周期定时对电容测量单元的输出电容值进行采集,通过不同的电极组合,得到测量点聚合物四个方向上、每个方向三个厚度位置的电容值,结果如下表表 1 所示。

表 1

电极组合	共面电极方向			
	0°	45°	90°	135°
导电电极 1—导电电极 3	$C_{0^\circ}^1$	$C_{45^\circ}^1$	$C_{90^\circ}^1$	$C_{135^\circ}^1$

导电电极 2—导电电极 3	$C_{0^0}^2$	$C_{45^0}^2$	$C_{90^0}^2$	$C_{135^0}^2$
导电电极 1—导电电极 2	$C_{0^0}^3$	$C_{45^0}^3$	$C_{90^0}^3$	$C_{135^0}^3$

3) 选取同一厚度电容结果, 根据以下电容-取向转换公式计算聚合物分子的取向角 (聚合物分子取向与所述传感器探头阵列长度方向的夹角), 具体转换步骤为

3.1) 对于各向异性材料, 在任意坐标系下其介电常数可以用介电张量 ε 来表示,

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

其中, $\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{zz}$ 为介电张量的对角量, $\varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yx}, \varepsilon_{yz}, \varepsilon_{zy}, \varepsilon_{xz}, \varepsilon_{zx}$ 为介电张量的非对角量。以传感器探测阵列所在平面为基准面, Ze 方向为其法向, 介电张量可化简为三主元形式如下

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_2 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_3 \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

与主介电张量分量 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ 对应的坐标系称为主坐标系 $x_1 x_2 x_3$, 如图 3 所示, 主介电方向与聚合物分子取向一致。

3.2) 根据理论推导, 接触介质材料后, 若传感器探测阵列的长度方向 Xe 轴与介电张量分量 ε_1 方向成角度 θ , 则共面电极电容值计算公式如下

$$C_\theta = C_0 \left[\chi \left(1 + \frac{1}{2} \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} \cos 2\theta \right) + \varepsilon_s \right] \quad (1.3)$$

同理正交的共面电容结构中一对导电电极间的电容值 $C_{\theta+\pi/2}$

$$C_{\theta+\pi/2} = C_0 \left[\chi \left(1 - \frac{1}{2} \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} \cos 2\theta \right) + \varepsilon_s \right] \quad (1.4)$$

其中, $2C_0$ 是这对导电电极在真空中的电容值, 可通过电极结构参数计算得

出, ε_s 是基底材料的介电常数, $\chi = \sqrt{\varepsilon_3(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)/2}$, θ 即是聚合物分子的取向角, 当取向角为 0° 时, 表示传感器探头阵列方向与聚合物分子取向方向一致。

3.3) 选取两组正交的共面电容结构并求其电容的差值, 即可得到聚合物分子的取向角 θ , 公式如下

$$C_{0^\circ} - C_{90^\circ} = C_0 \chi \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} \cos 2\theta \quad (1.5)$$

$$C_{45^\circ} - C_{135^\circ} = C_0 \chi \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} \sin 2\theta \quad (1.6)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{C_{45^\circ} - C_{135^\circ}}{C_{0^\circ} - C_{90^\circ}} \quad (1.7)$$

以下为具体实施例:

实施例 1

参照图 5, 本例中采用旋转流变仪获得聚合物熔体的振荡剪切流, 因此聚合物分子的取向大致和聚合物熔体的流动方向一致。本例中聚合物材料选择 PS (聚苯乙烯), 流变仪选择美国 TA 公司仪器型号为 AR-1000 的动态旋转式流变仪, 并采用同心圆柱式压力传感器, 其中外圆柱 16 固定, 半径 $R_2 = 22.5mm$, 内圆柱 15 随流变仪旋转运动, 半径 $R_1 = 21mm$ 。PS 熔体处于两圆柱面之间, 由于两圆柱间间隙远小于两圆柱的半径, 因此可以近似为纯剪切运动。

具体取向测量方法步骤包括:

1) 将至少一个共面电容式取向测量传感器探头阵列安装在旋转流变仪的固定外圆柱的内表面上, 这样在流变仪运动时, 能保证传感器探头阵列与高温聚合物 PS 熔体接触。

2) 连接好叉指电极和电容测量单元, 旋转流变仪开始运动, 输出的振荡扭矩信号使内圆柱振荡运动产生剪切流, 此时传感器探头阵列与高温聚合物熔体接触, PS 熔体的介电性质发生改变, 测得的电容也随之发生变化。

3) 根据预设的采样周期定时对电容测量单元的输出电容值进行采集, 得到测量点聚合物熔体 4 个方向上、每个方向 3 个厚度位置的电容值, 结果如表 1 所示。

4) 利用采集软件将采集到的电容信号在窗口显示, 并根据公式 (1.7) 实时将电容转换计算为聚合物分子的取向角, 从而实现在聚合物加工中对分子取向的在线测量, 这里选取第一个电极组合输出的 4 个电容值来计算分子取向

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{C_{45^0}^1 - C_{135^0}^1}{C_{0^0}^1 - C_{90^0}^1} \quad (1.8)$$

具体取向测量装置包括:

参照图 4, 一种用于聚合物成型加工在线测量分子取向的装置包括共面电容式取向测量传感器探头阵列 (10)、电容测量单元 (13) 以及取向计算模块 (14), 其中传感器探头阵列 (10) 固定安装在聚合物成型模具型腔壁 (12) 上, 电容测量单元 (13) 与传感器探头阵列的电极相连。

参照图 2, 进一步作为优选的实施方式, 所述的共面电容式取向测量传感器探头阵列 (10) 包括 4 组共面电极结构 (5)、(6)、(7)、(8), 电极方向与传感器探头阵列长度方向的夹角分别为 0° , 45° , 90° , 135° 。

参照图 1, 进一步作为优选的实施方式, 所述的共面电极结构包括 3 个导电电极 (1)、(2)、(3) 和基板 (4), 所述的每个导电电极均与电容测量单元 (13) 连接。参照图 1, 进一步作为优选的实施方式, 所述的 3 个导电电极包括第一导电电极 (1)、第二导电电极 (2) 和第三导电电极 (3), 均位于基板 (4) 之上。所述的第一导电电极 (1) 和第二导电电极 (2) 包括多根相互平行的叉指, 尺寸参数相等, 两者相互交错排列且互不连通。参照图 1, 进一步作为优选的实施方式, 所述第三导电电极 (3) 包括一根嵌在第一导电电极 (1) 和第二导电电极 (2) 间隙间的蜿蜒的矩形电极条, 且与 (1) 和 (2) 的垂直距离不同, 3 个导电电极两两间距均不同。

参照图 2，进一步作为优选的实施方式，所述基底材料（9）可以选择柔性材料，所述基板（4）位于柔性基底材料上。

本发明中一种共面电容式聚合物分子取向测量装置，传感器探头阵列（10）上至少包括 4 组共面电极（这 4 组共面电极根据排布直线按要求分布，并且根据排布直线的不同，这 4 组共面电极被分为 2 个共面电极阵列单元；图 2 示出了这 4 组共面电极的一种排布情况，其中共面电极（5）、共面电极（6）属于同一个共面电极阵列单元，共面电极（7）、共面电极（8）属于另一个共面电极阵列单元）；当传感器探头阵列（10）上的共面电极数量大于 4 组（如 5 组、6 组）时，则可以只选取其中满足 2 个共面电极阵列单元要求的 4 组共面电极，并测量这 4 组共面电极中相应 2 个导电电极（如，预先选择的 2 个导电电极）之间形成的共面电容。

根据散射电场原理，电极组合之间的距离不同，电场穿透能力也不同；当预先选择的两个导电电极变动时（例如，从第一导电电极与第二导电电极的组合，变为第一导电电极与第三导电电极的组合），由于测量电容时针对的电极组合彼此之间的距离发生变化，将能够反应出不同深度聚合物的分子取向（以图 5 为例，深度方向即从外径 R_2 指向圆心，也即指向内径 R_1 的径向方向），因此，本发明测量装置中，对于任意 1 组共面电极，第一导电电极与第二导电电极之间的间距、第一导电电极与第三导电电极之间的间距、第二导电电极与第三导电电极之间的间距三者保持不同（当然导电电极的数量还可以根据需要增加，至少为 2 个）；另一方面，为确保采用本发明测量装置进行检测得到的检测结论的准确性，作为 2 个共面电极阵列单元中的 4 组共面电极相应导电电极之间的间距必须保持一致，这 4 组导电电极除了排布直线不同外，其他结构或形状均要保持相同的设置。

在传感器探头阵列（10）中，任意一个导电电极与其他导电电极之间相互分离、彼此互不连通（否则两个导电电极之间的电容值测量将失去意义）；对于任意一个导电电极包括多个条状电极结构的情况，这些条状结

构相互平行、且彼此之间通过导电结构相连（导电结构所采用的材料可以与条状电极结构所使用的材料相同），如图 1 所示。

本领域的技术人员容易理解，以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，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，均应包含在本发明的保护范围之内。

1、一种共面电容式聚合物分子取向测量装置，其特征在于，包括传感器探头阵列（10）、电容测量单元（13）、以及取向计算模块（14），其中，

所述传感器探头阵列（10）包括设置在绝缘基底（9）上的多组共面电极；

对于任意一组所述共面电极，均包括至少两个导电电极，并且，任意一个所述导电电极均具有条状电极结构；对于同一所述共面电极内的任意两个所述导电电极，它们的条状电极结构相互平行，并且保持固定间距；任意两个所述导电电极之间的电容受待测量聚合物的影响；并且，对于任意一组所述共面电极，定义在所述基底（9）平面上的、且与该共面电极中的条状电极结构相平行的直线为该共面电极的排布直线；

所述电容测量单元（13）与所述传感器探头阵列（10）相连，用于测量同一组所述共面电极内的任意两个所述导电电极之间的电容，并得到与所述多组共面电极相对应的多组电容数据；

所述取向计算模块（14）与所述电容测量单元（13）相连，用于根据所述电容测量单元（13）测量得到的所述多组电容数据计算所述待测量聚合物的分子取向；

此外，所述传感器探头阵列（10）上的所述多组共面电极至少为 4 组共面电极，以这些共面电极中的 4 组所述共面电极作为 2 个共面电极阵列单元，其中，每个所述共面电极阵列单元均包括 2 组所述共面电极；对于同一个所述共面电极阵列单元中的 2 组所述共面电极，这 2 组所述共面电极的排布直线之间的夹角为 90° ；

对于这 2 个所述共面电极阵列单元，其中一个阵列单元中任意一组共面电极的排布直线，与另一个阵列单元中的任意一组共面电极的排布直线，这两条直线之间的夹角为 45° 。

2、如权利要求1所述一种共面电容式聚合物分子取向测量装置，其特征在于，定义所述基底（9）面上的任意一个方向为单位正方向，则对于任意一组所述共面电极，该共面电极的排布直线与该单位正方向之间的夹角为 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 。

3、如权利要求1所述一种共面电容式聚合物分子取向测量装置，其特征在于，对于任意一组所述共面电极，该共面电极中的任意一个所述导电电极均包括多个所述条状电极结构，这些条状结构相互平行、且彼此之间通过导电结构相连。

4、如权利要求3所述一种共面电容式聚合物分子取向测量装置，其特征在于，对于任意一组所述共面电极，均包括三个导电电极以及一个基板（4），记这三个导电电极分别为第一导电电极（1）、第二导电电极（2）、以及第三导电电极（3）；优选的，所述第一导电电极（1）、所述第二导电电极（2）、以及所述第三导电电极（3）均位于所述基底（9）的同一面上。

5、如权利要求4所述一种共面电容式聚合物分子取向测量装置，其特征在于，对于任意一组所述共面电极，所述第一导电电极（1）与所述第二导电电极（2）相互交叉分布，该第二导电电极（2）中的任意一个所述条状电极结构距与其相邻的、且属于所述第一导电电极（1）中的条状电极结构的距离保持固定；

所述第三导电电极（3）位于所述第一导电电极（1）与所述第二导电电极（2）之间，该第三导电电极（3）距所述第一导电电极（1）中任意一个条状电极结构的距离保持固定，该第三导电电极（3）距所述第二导电电极（2）中任意一个条状电极结构的距离保持固定；并且，所述第三导电电极（3）距所述第一导电电极（1）中任意一个条状电极结构的距离与所述第三导电电极（3）距所述第二导电电极（2）中任意一个条状电极结构的距离两者不相等。

6、如权利要求1所述一种共面电容式聚合物分子取向测量装置，其特

征在于，当任意一组所述共面电极中的所述导电电极两个时，

所述电容测量单元（13）用于测量所述 2 个共面电极阵列单元中属于同一所述共面电极内的、两个所述导电电极之间的电容，并得到与所述 2 个共面电极阵列单元中的 4 组所述共面电极相对应的 4 个电容数据；

所述取向计算模块（14）用于根据所述电容测量单元（13）测量得到的所述 4 个电容数据计算所述待测量聚合物的分子取向 θ ：

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{C_1 - C_2}{C_3 - C_4};$$

其中， C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 为所述电容测量单元（13）测量得到的所述 4 个电容数据， C_1 、 C_2 对应同一个共面电极阵列单元， C_3 、 C_4 对应另一个共面电极阵列单元。

7、如权利要求 1 所述一种共面电容式聚合物分子取向测量装置，其特征在于，所述电容测量单元（13）用于测量所述 2 个共面电极阵列单元中属于同一所述共面电极内的、预先选择的两个所述导电电极之间的电容，并得到与所述 2 个共面电极阵列单元中的 4 个所述共面电极相对应的 4 个电容数据；所述预先选择的两个导电电极是第一导电电极与第二导电电极，或者为第一导电电极与第三导电电极，或者为第二导电电极与第三导电电极；

所述取向计算模块（14）用于根据所述电容测量单元（13）测量得到的所述 4 个电容数据计算所述待测量聚合物的分子取向 θ ：

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{C_1 - C_2}{C_3 - C_4};$$

其中， C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 为所述电容测量单元（13）测量得到的所述 4 组电容数据， C_1 、 C_2 对应同一个共面电极阵列单元， C_3 、 C_4 对应另一个共面电极阵列单元。

8、如权利要求 7 所述一种共面电容式聚合物分子取向测量装置，其特

征在于，当所述电容测量单元（13）中的所述预先选择的两个导电电极变动时，所述取向计算模块（14）则用于计算得到一组分子取向 θ 。

9、如权利要求1所述一种共面电容式聚合物分子取向测量装置，其特征在于，所述基底（9）位于聚合物成型模腔内壁（12）上；

且所述基底（9）为表面涂有绝缘涂层的绝缘基底（9）。

10、一种共面电容式聚合物分子取向测量方法，该测量方法是采用如权利要求1—9任意一项所述一种共面电容式聚合物分子取向测量装置，其特征在于，包括以下步骤：

（1）将至少一个传感器探头阵列（10）安装在聚合物成型模腔内壁（12）上，并将该传感器探头阵列（10）中的共面电极与电容测量单元（13）连接；

（2）执行聚合物成型加工步骤，以聚合物成型模腔中进行成型加工的聚合物作为待测量聚合物，并根据预设的采样周期定时对所述电容测量单元（13）输出的电容值进行采集；

（3）根据同一时刻采集到的所述电容值，计算所述待测量聚合物的分子取向 θ ：

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{C_1 - C_2}{C_3 - C_4}$$

其中， C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 为同一时刻所述电容测量单元（13）采集到的电容数据， C_1 、 C_2 对应2个共面电极阵列单元中的同一个共面电极阵列单元， C_3 、 C_4 对应2个共面电极阵列单元中的另一个共面电极阵列单元； C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 对应的预先选择的两个导电电极之间的距离彼此相等，优选的，这两个导电电极均为第一导电电极与第二导电电极，或者均为第一导电电极与第三导电电极，或者均为第二导电电极与第三导电电极；

即得到一系列随时间变化的待测量聚合物的分子取向 θ 。

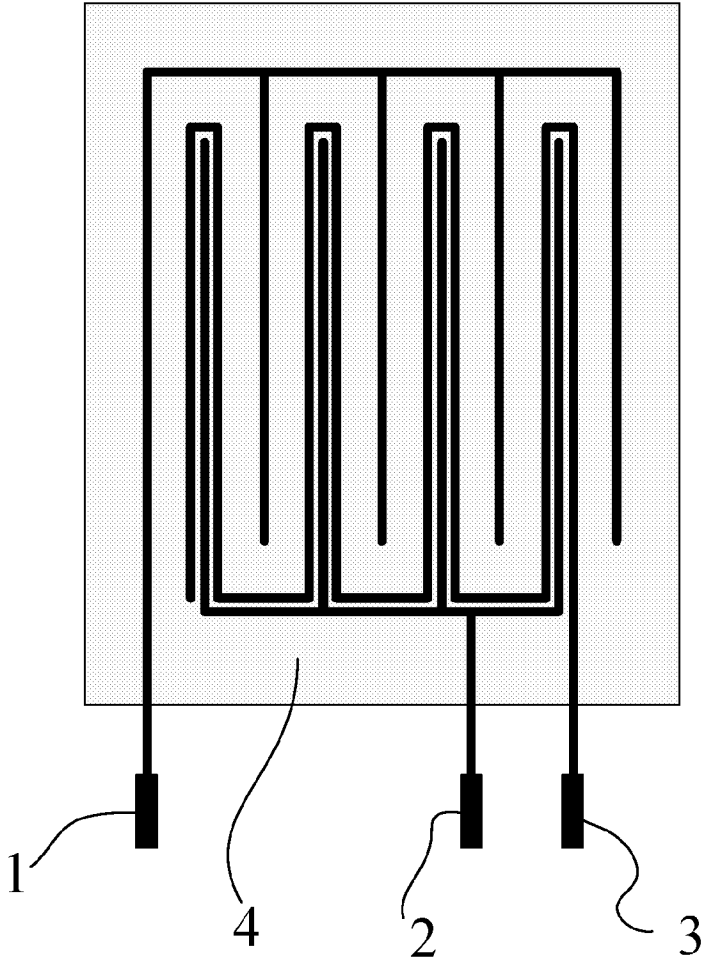


图 1

2/3

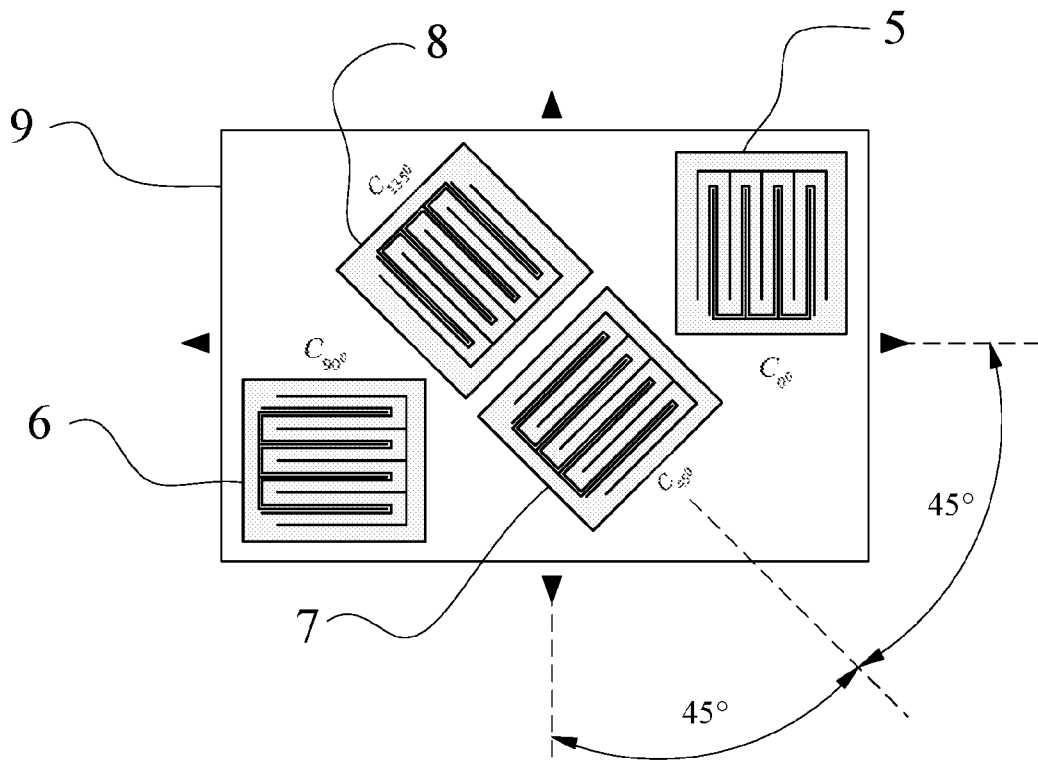


图 2

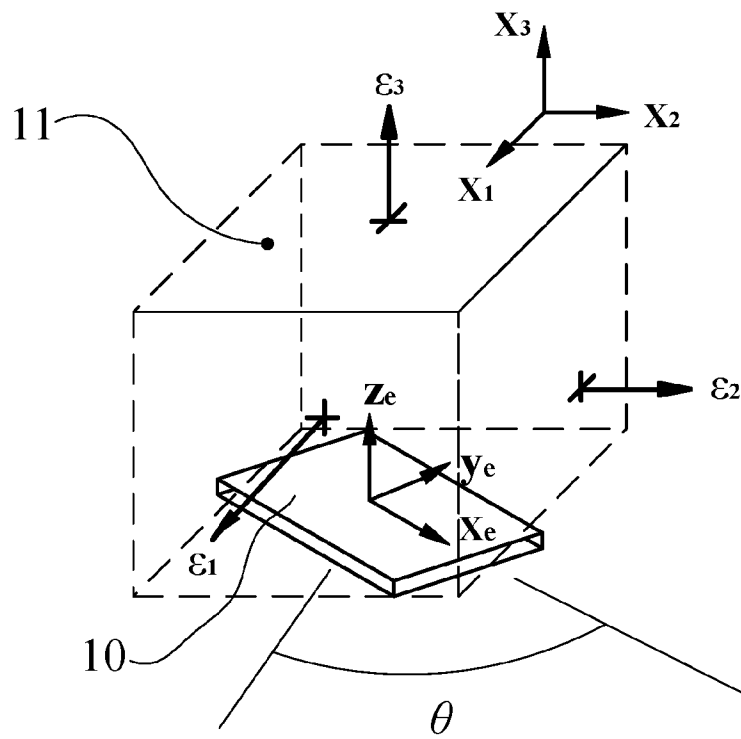


图 3

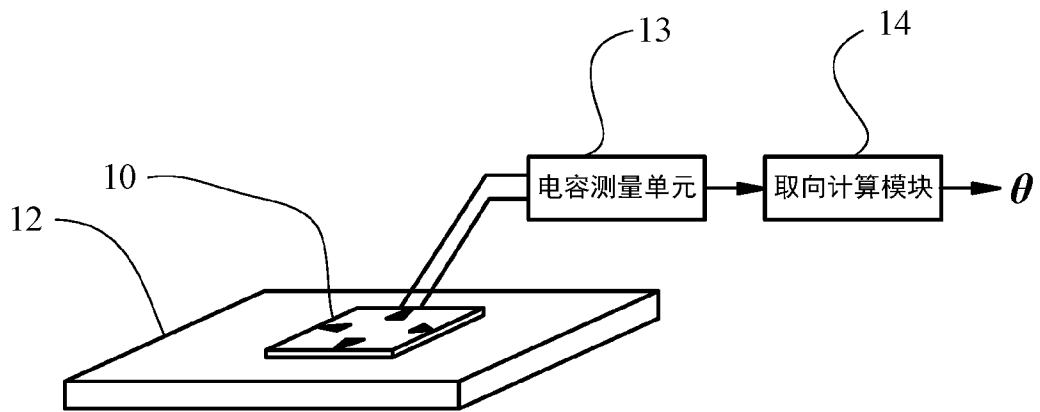


图 4

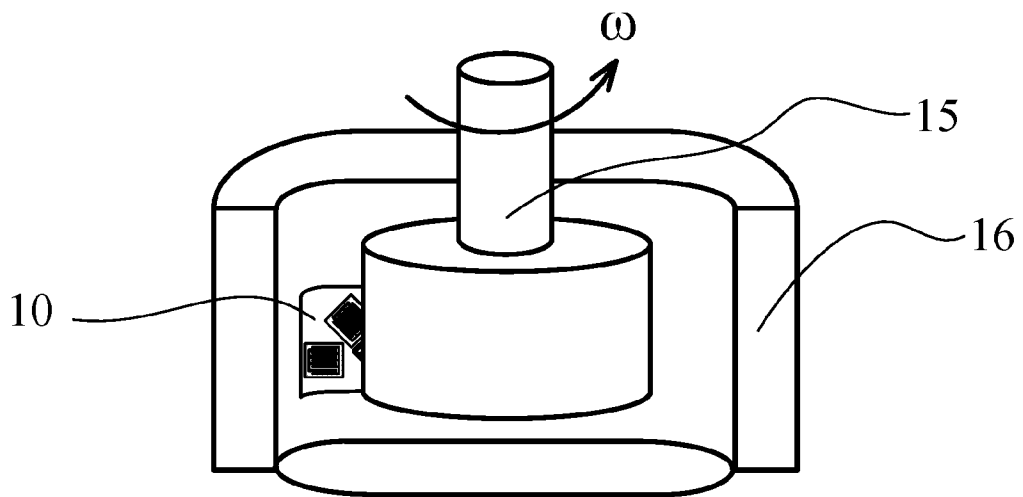


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/079932

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 27/22 (2006.01) i; G01L 1/14 (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)

G01N 27/-; G01L 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)

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: 华中科技大学, 张云, 聚合物, 分子取向, 树脂, 电容, 传感, 共面, 平面, 角度, 夹角, 旋转, 偏转, 电极, 叉指, 梳状, 三, 间距, 间隔, 距离, 不等, 不同, polymer+, molecule, orientation, resin, capacitance, sensor, coplanar, planar, angle, shift, rotat+, electrode?, interdigitat+, comb, three, third, space, interval, distance, differen+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 103389175 A (ZHENGZHOU UNIVERSITY), 13 November 2013 (13.11.2013), description, paragraph [0068], and figure 7	1-4, 6-10
Y	US 2009249885 A1 (SHKEL, Y.M. et al.), 08 October 2009 (08.10.2009), description, paragraphs [0050]-[0113], and figures 1-13	1-4, 6-10
A	CN 105158582 A (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 16 December 2015 (16.12.2015), entire document	1-10
A	US 3962673 A (THOMSON-CSF), 08 June 1976 (08.06.1976), entire document	1-10
A	CN 105334246 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 17 February 2016 (17.02.2016), entire document	1-10
A	CN 103954685 A (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 30 July 2014 (30.07.2014), entire document	1-10

☐ 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	
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“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
“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	“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
27 September 2017

Date of mailing of the international search report
12 October 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
SUN, Xueting
Telephone No. (86-10) 61648164

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/079932

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103389175 A	13 November 2013	CN 103389175 B	04 November 2015
US 2009249885 A1	08 October 2009	US 7726199 B2	01 June 2010
CN 105158582 A	16 December 2015	WO 2017054461 A1	06 April 2017
US 3962673 A	08 June 1976	DE 2451590 C2	28 October 1982
		JP S5075711 A	21 June 1975
		FR 2250102 A1	30 May 1975
		DE 2451590 A1	07 May 1975
		FR 2250102 B1	01 October 1976
		GB 1490739 A	02 November 1977
CN 105334246 A	17 February 2016	CN 105334246 B	01 June 2016
CN 103954685 A	30 July 2014	CN 103954685 A	15 February 2017

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/079932

A. 主题的分类

G01N 27/22(2006.01)i; G01L 1/14(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)

G01N 27/-; G01L 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))

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: 华中科技大学, 张云, 聚合物, 分子取向, 树脂, 电容, 传感, 共面, 平面, 角度, 夹角, 旋转, 偏转, 电极, 叉指, 梳状, 三, 间距, 间隔, 距离, 不等, 不同, polymer+, molecule, orientation, resin, capacitance, sensor, coplanar, planar, angle, shift, rotat+, electrode?, interdigitat+, comb, three, third, space, interval, distance, differen+

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 103389175 A (郑州大学) 2013年 11月 13日 (2013 - 11 - 13) 说明书第[0068]段、附图7	1-4, 6-10
Y	US 2009249885 A1 (SHKEL, YURI MICHAEL 等) 2009年 10月 8日 (2009 - 10 - 08) 说明书第[0050]-[0113]段、附图1-13	1-4, 6-10
A	CN 105158582 A (北京工业大学) 2015年 12月 16日 (2015 - 12 - 16) 全文	1-10
A	US 3962673 A (THOMSON-CSF) 1976年 6月 8日 (1976 - 06 - 08) 全文	1-10
A	CN 105334246 A (华中科技大学) 2016年 2月 17日 (2016 - 02 - 17) 全文	1-10
A	CN 103954685 A (华南理工大学) 2014年 7月 30日 (2014 - 07 - 30) 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

2017年 9月 27日

国际检索报告邮寄日期

2017年 10月 12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

传真号 (86-10)62019451

受权官员

孙雪婷

电话号码 (86-10)61648164

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/079932

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	103389175	A	2013年 11月 13日	CN	103389175	B	2015年 11月 4日
US	2009249885	A1	2009年 10月 8日	US	7726199	B2	2010年 6月 1日
CN	105158582	A	2015年 12月 16日	WO	2017054461	A1	2017年 4月 6日
US	3962673	A	1976年 6月 8日	DE	2451590	C2	1982年 10月 28日
				JP	S5075711	A	1975年 6月 21日
				FR	2250102	A1	1975年 5月 30日
				DE	2451590	A1	1975年 5月 7日
				FR	2250102	B1	1976年 10月 1日
				GB	1490739	A	1977年 11月 2日
CN	105334246	A	2016年 2月 17日	CN	105334246	B	2016年 6月 1日
CN	103954685	A	2014年 7月 30日	CN	103954685	A	2017年 2月 15日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)