

(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 12 月 3 日 (03.12.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/239002 A1

(51) 国际专利分类号:
G01R 29/24 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/092809

(22) 国际申请日: 2020 年 5 月 28 日 (28.05.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201910458938.0 2019年5月29日 (29.05.2019) CN

(71) 申请人: 同济大学 (TONGJI UNIVERSITY) [CN/
CN]; 中国上海市杨浦区四平路 1239 号,
Shanghai 200092 (CN)。

(72) 发明人: 郑飞虎 (ZHENG, Feihu); 中国上海市
杨浦区四平路 1239 号, Shanghai 200092 (CN)。
谢姣 (XIE, Jiao); 中国上海市杨浦区四平路

1239号, Shanghai 200092 (CN)。 张治文(ZHANG,
Yewen); 中国上海市杨浦区四平路 1239
号, Shanghai 200092 (CN)。

(74) 代理人: 北京方圆嘉禾知识产权代理有限公司
(FANG & ASSOCIATES); 中国北京市海淀区彩和
坊路11号6层605室, 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, 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,

(54) **Title:** TWO-SIDED IN-SITU MEASUREMENT SYSTEM AND METHOD FOR CHARGE DISTRIBUTION IN THIN DIELECTRIC FILM

(54) 发明名称: 一种电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统与方法

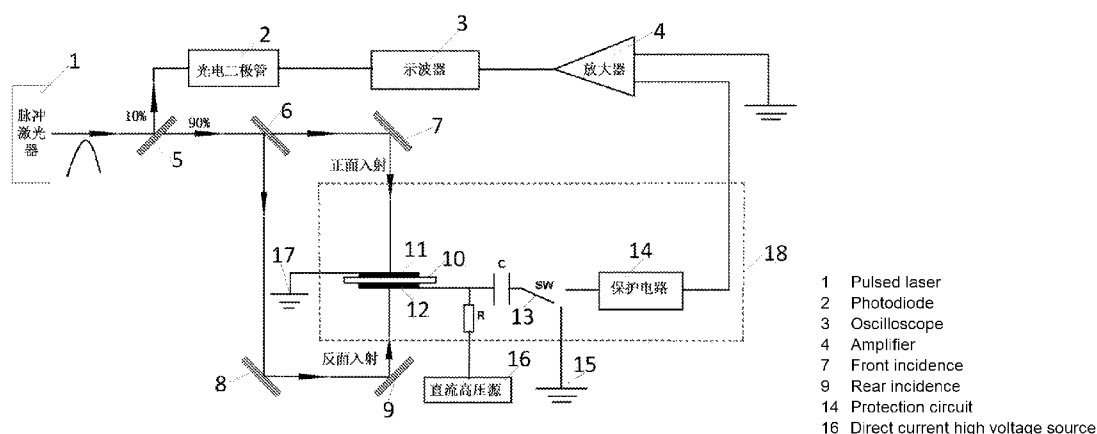


图 1

(57) **Abstract:** A two-sided in-situ measurement system and method for charge distribution in a thin dielectric film. The two-sided in-situ measurement system comprises a sample under test (10), a pulsed laser (1), a photoelectric trigger circuit, a two-sided measurement light path, a voltage application circuit, and a measurement circuit. Laser light generated by the pulsed laser (1) is divided into two parts, and the two parts respectively enter the photoelectric trigger circuit and the two-sided measurement light path. The two-sided measurement light path divides the laser into two parts, and the two parts respectively enter a front surface coating electrode (11) and a rear surface coating electrode (12). The voltage application circuit comprises a direct current high voltage source, which applies a voltage to the rear surface coating electrode (12) of the thin dielectric film via a current limiting resistor. The rear surface coating electrode (12) is further connected to a moving end of a single-pole two-throw switch via a coupling capacitor, and two fixed ends thereof are respectively connected to ground and a protection circuit. The protection circuit is connected to the measurement circuit. The front surface coating electrode (11) is grounded. Compared with the prior art, the provided technical solution solves the problem of thermal pulse methods in which resolution decreases in a light incident direction, and improves the spatial resolution of measurement overall.

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))。

(57) 摘要: 一种电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统及方法。双面原位测量系统包括待测样品 (10)、脉冲激光器 (1)、光电触发电路、双面测量光路、加压电路和测量电路; 其中, 脉冲激光器 (1) 产生的激光被分为两路, 分别进入光电触发电路和双面测量光路中; 双面测量光路将激光分两路依次分别入射到正面镀层电极 (11) 和反面镀层电极 (12); 加压电路包括直流高压源, 并通过限流电阻施加至电介质薄膜的反面镀层电极 (12) 上, 反面镀层电极 (12) 还通过耦合电容连接单刀双掷开关的动端, 两个不动端分别连接地和保护电路, 保护电路与测量电路连接, 正面镀层电极 (11) 接地。与现有技术相比, 提供的技术方案减小了热脉冲法在沿光入射方向上分辨率下降的问题, 从整体上提高测量的空间分辨率。

一种电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统及方法

本申请要求于 2019 年 5 月 29 日提交中国专利局、申请号为 201910458938.0、发明名称为“一种电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统及方法”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本
5 申请中。

技术领域

本发明涉及电介质薄膜中电荷分布的测量技术，尤其是涉及一种基于热脉冲法的电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统及方法。

背景技术

10 电介质薄膜具有很多的优点，如良好的绝缘性能、抗机械应力强、耐压耐温高、重量轻等，因此被广泛的用作电容器等电气设备的绝缘介质层。在外加直流高电场下，介质薄膜内部的空间电荷积累现象不容忽视，积累的电荷会使介质内部原本均匀的电场发生畸变，影响电容器等电气设备运行的安全性和可靠性。

15 热脉冲法是一种测量介质薄膜电场及空间电荷密度的方法，其基本原理是激光脉冲照射到介质薄膜表面的金属化电极上，金属化电极吸收部分光脉冲的能量后转化为热脉冲，热脉冲沿着光入射方向，向介质薄膜内部传导，由于非均匀的温度变化，内部的空间电荷随样品局部形变发生微小位移，引起电极上感应电荷量的变化，从而在外电路中产生微弱的电流，
20 分析电流信号就可获得介质薄膜电场及电荷密度分布。热脉冲法具有在介质薄膜受热表面附近分辨率高的特点，适用于厚度在几微米和几十微米介质薄膜中的电场与电荷分布的测量。

现有技术中,压力波法和电声脉冲法也被广泛的用于测量介质薄膜电场及电荷密度分布。但不同于热脉冲法,压力波法和电声脉冲法是以声波的形式在介质薄膜内部传播。在传播过程中,虽然波形几乎保持不变,但整体分辨率不及热脉冲法的分辨率。一般情况下,压力波法和电声脉冲法的分辨率为数十微米,只适合测量几百微米厚度以上的介质薄膜。

热脉冲法的分辨率与热脉冲传导至介质薄膜内部相应处的脉宽有关,脉宽越窄,分辨率越高。但热脉冲波形在传导过程中表现为脉宽变宽,幅值变低,导致分辨率沿传导方向迅速降低。因此,当只通过对介质薄膜进行单面测量时,测量分辨率在前一半厚度范围内要远高于后一半,不利于后期对数据的分析处理。

发明内容

本发明的目的是提供一种介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统及方法,以解决现有热脉冲法存在沿热传导方向上分辨率下降的问题。

为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

一种电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统,包括待测样品、脉冲激光器、光电触发电路、双面测量光路、加压电路和测量电路;

所述待测样品包括:待测电介质薄膜和设置在所述待测电介质薄膜两侧的正面镀层电极和反面镀层电极;

所述脉冲激光器产生的激光被分为两路,一路激光进入所述光电触发电路中,另一路激光进入所述双面测量光路中;

所述光电触发电路包括:光电二极管和示波器;所述光电二极管和所述示波器连接;

所述双面测量光路包括：多个反射镜；多个所述发射镜用于将进入所述双面测量光路的激光分为两路，并用于使分路后的两路激光分别入射到所述正面镀层电极和所述反面镀层电极；

所述加压电路包括：直流高压源、第一接地端、第二接地端、耦合电容、单刀双掷开关和保护电路；所述直流高压源与所述反面镀层电极连接；所述反面镀层电极还通过所述耦合电容与所述单刀双掷开关的动端连接；所述单刀双掷开关的第一不动端与所述第二接地端连接；所述单刀双掷开关的第二不动端与所述保护电路连接；所述正面镀层电极与所述第一接地端连接；所述保护电路与测量电路连接。

10 优选的，还包括：1/9分束镜；

所述脉冲激光器产生的激光通过所述1/9分束镜分为两路，其中一路有10%的激光进入所述光电触发电路，另一路有90%的激光进入所述双面测量电路。

15 优选的，多个所述反射镜具体为：第一45°反射镜、第二45°反射镜、第三45°反射镜和第四45°反射镜；所述第一45°反射镜具有可旋离复位功能并作为双面测量光路的切换点；

所述双面测量电路具有正面测量和反面测量两种功能；当进行正面测量时，旋离所述第一45°反射镜，入射激光直接经过所述第二45°反射镜入射到所述正面镀层电极；当进行反面测量时，复位所述第一45°反射镜，入射激光依次经过所述第一45°反射镜、第三45°反射镜和第四45°反射镜后入射到所述反面镀层电极。

优选的，所述加压电路还包括：限流电阻；

所述直流高压源通过所述限流电阻与所述反面镀层电极连接。

优选的, 所述限流电阻的阻值小于所述待测样品的绝缘电阻。

优选的, 所述测量电路包括: 放大器;

所述放大器的输出端和所述示波器连接; 所述放大器的输入端与所述

5 保护电路连接。

优选的, 还包括: 圆环电极;

所述圆环电极分别与所述正面镀层电极和所述反面镀层电极连接, 且
所述圆环电极与所述正面镀层电极和所述反面镀层电极保持同心设
置。

10 优选的, 所述耦合电容的电容值大于等于待测样品电容值的 100 倍。

一种电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量方法, 所述双面原位测量
方法为采用上述电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统进行双面原
位测量的测量方法; 所述双面原位测量方法, 包括:

S1、将单刀双掷开关的动端接地;

15 S2、对待测样品的正面镀层电极和反面镀层电极均施加直流高压;

S3、当所述待测样品中无电流流过时, 将所述单刀双掷开关的动端
与测量电路连接;

S4、开启脉冲激光器, 所述脉冲激光器产生的激光分为两路, 一路
经光电触发电路触发示波器采集信号, 另一路依次通过双面测量光路和测
20 量电路得到正面触发响应电流信号和反面触发响应电流信号, 并由示波器
对正面触发响应电流信号和反面触发响应电流信号进行显示;

S5、根据所述正面触发响应电流信号得到正面触发响应电流的电场

分布曲线和电荷密度分布曲线;根据所述反面触发响应电流信号得到反面触发响应电流的电场分布曲线和电荷密度分布曲线;

S6、根据所述正面触发响应电流的电场分布曲线和电荷密度分布曲线确定待测电介质薄膜正面的前 50 % 厚度的电场分布及电荷密度分布;

- 5 根据所述反面触发响应电流的电场分布曲线和电荷密度分布曲线确定待测电介质薄膜反面的前 50 % 厚度的电场分布及电荷密度分布;

S7: 根据待测电介质薄膜正面的前 50 % 厚度的电场分布及电荷密度分布和待测电介质薄膜反面的前 50 % 厚度的电场分布及电荷密度分布确定测量结果。

- 10 优选的,所述根据正面触发响应电流信号得到正面触发响应电流的电场分布曲线和电荷密度分布曲线;根据所述反面触发响应电流信号得到反面触发响应电流的电场分布曲线和电荷密度分布曲线,具体包括:

采用反卷积算法,根据正面触发响应电流信号得到正面触发响应电流的电场分布曲线;

- 15 采用泊松方程,根据所述正面触发响应电流的电场分布曲线确定正面触发响应电流的电荷密度分布曲线;

采用反卷积算法,根据反面触发响应电流信号得到反面触发响应电流的电场分布曲线;

- 20 采用泊松方程,根据所述反面触发响应电流的电场分布曲线确定反面触发响应电流的电荷密度分布曲线。

根据本发明提供的具体实施例,本发明公开了以下技术效果:

1、在电介质薄膜电场及电荷密度测量领域,本发明基于单面热脉冲

测量技术,提出双面测量方法,解决了热脉冲法在沿光入射方向上分辨率下降的问题,从整体上提高测量的空间分辨率,且具有操作简单方便的优点。

- 2、能够在不翻转样品的情况下实现热脉冲法的在线双面测量,即能实现样品的原位测量,有效地防止了翻转操作对样品薄膜造成的损伤,使得测量结果更为准确。

说明书附图

为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

图1为本发明提供的电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统的结构示意图;

图2为本发明提供的电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量方法的流程图;

图3本发明实施例中数据处理后,单面测量与双面测量结果的比较示意图。

附图符号说明:1-脉冲激光器,2-光电二极管,3-示波器,4-放大器,5-1/9分束镜,6-第一45°反射镜,7-第二45°反射镜,8-第三45°反射镜,9-第四45°反射镜,10-待测样品,11-正面镀层电极,12-反面镀层电极,C-耦合电容,R-限流电阻,13-单刀双掷开关,14-保护电路,15-第二接地端,16-直流高压源,17-第一接地端,18-屏蔽盒。

具体实施方式

下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没
5 有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

本发明的目的是提供一种介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统及方法,以解决现有热脉冲法存在沿热传导方向上分辨率下降的问题。

为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图
10 图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

图1为本发明提供的电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统的结构示意图,如图1所示,一种电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统,包括待测样品10、脉冲激光器1以及图1中未示出的光电触发电路、双面测量光路和加压电路和测量电路。

15 待测样品10为双面分别蒸镀有金属化电极的电介质薄膜。待测样品10包括:待测电介质薄膜和设置在待测电介质薄膜两侧的正面镀层电极11和反面镀层电极12。

其中,在本发明所提供的实施例中,采用磁控溅射或热蒸发的方式金属化电介质薄膜双面电极,得到正面镀层电极11和反面镀层电极12。双面
20 镀层电极(正面镀层电极11和反面镀层电极12)可以是铝、金、银等导电性较好的金属,厚度在尽可能薄的情况下,以不透光为准。正面镀层电极11和反面镀层电极12直径的选择以使电介质薄膜电容量比较小而不

造成测量信号失真为原则。本实施例采用 $8\mu\text{m}$ 的聚酰亚胺薄膜，将其裁剪为尺寸 $5\text{cm} \times 5\text{cm}$ 的大小，并在真空镀膜仪中以热蒸发的方式蒸镀直径为 5mm 、厚度为 180nm 的双面铝电极。

脉冲激光器 1 产生的激光被 1/9 分束镜 5 分为两路。其中一路有 10 % 的激光进入光电触发电路，另一路有 90 % 的激光进入双面测量电路。

在本发明提供的实施例中，脉冲激光器 1 采用 Nd:YAG 固体激光器，光波长为 1064nm ，脉冲宽度为 6ns 左右，到达样品薄膜双面镀层电极上的能量在 $1.1 \sim 2.3\text{mJ}$ 左右，可使镀层电极在多次激光的击打下不至受损，且信噪比较好。

上述光电触发电路包括：光电二极管 2 和示波器。光电触发电路取 1/9 分束镜 10 % 的反射光照射到光电二极管 2 上，光电二极管 2 和所述示波器连接，以作为整个测量系统的光触发信号。

双面测量光路包括：多个反射镜。多个发射镜用于将进入双面测量光路的激光分为两路，并用于使分路后的两路激光分别入射到正面镀层电极 11 和反面镀层电极 12。

作为本发明的另一实施例，上述多个反射镜具体为：第一 45° 反射镜 6、第二 45° 反射镜 7、第三 45° 反射镜 8 和第四 45° 反射镜 9。

因在本发明提供的双面测量电路具有正面测量和反面测量两种功能。那么，在进行测量时，第一 45° 反射镜 6 具有可旋离复位功能。第一 45° 反射镜 6 作为双面测量光路的切换点设置在入射激光的光路上。正面测量光路直接由第二 45° 反射镜 7 组成，其与第一 45° 反射镜 6 呈平行放置，且位于前(接地)黄铜圆环电极通光孔的正前方位置，测量时采用其反射光

击打电介质薄膜的正面镀层电极 11。反面测量光路由第一 45° 反射镜 6、第三 45° 反射镜 8 和第四 45° 反射镜 9 组成, 第三 45° 反射镜 8 与第一 45° 反射镜 6 呈平行放置, 且与第四 45° 反射镜 9 呈垂直放置, 第四 45° 反射镜 9 位于后(加压/测量)圆黄铜环电极通光孔的正前方, 测量时采用第四 45° 反射镜 9 的反射光来击打电介质薄膜的反面镀层电极 12。双面测量光路必须保证到达电介质薄膜双面镀层电极上的激光能量大致相同, 能量调整在 1.1~2.3mJ 左右为宜, 可使镀层电极在多次激光的击打下不至受损, 且信号幅值较高。

加压电路包括: 直流高压源 16、第一接地端 17、第二接地端 15、耦合电容 C、单刀双掷开关 13、保护电路 14 和限流电阻 R。直流高压源 16 通过限流电阻 R 与反面镀层电极 12 连接。反面镀层电极 12 还通过耦合电容 C 与单刀双掷开关 13 的动端连接。单刀双掷开关 13 的第一不动端与第二接地端 15 连接。单刀双掷开关 13 的第二不动端与保护电路 14 连接。正面镀层电极 11 与第一接地端 17 连接。保护电路 14 与测量电路连接。

其中, 为了防止待测样品 10 被击穿时因电流过大而对放大器 4 及高压源造成损坏, 减小分压效应, 使直流高压能完全加到样品两侧, 限流电阻 R 的阻值需要远小于待测样品 10 的绝缘电阻。

耦合电容 C 一方面用于隔离直流高压, 一方面用于信号耦合。单刀双掷开关 13 位于耦合电容 C 和保护电路 14 之间, 用于接通和断开电容 C 与测量电路的连接, 可在接地和测量之间进行切换。保护电路 14 与测量电路相连, 主要起保护测量电路的作用。

在本发明提供的实施例中，因为聚酰亚胺薄膜的绝缘电阻在 $T\Omega$ ($10^{12}\Omega$) 级别以上，所以限流电阻 R 的取值为 $300M\Omega$ 。为了保证样品为一个电流源，要求耦合电容 C 要比样品电容大 100 倍以上，本实施例中，耦合电容 C 采用了 20nF 的高压陶瓷电容。

5 测量电路由放大器 4 和示波器 3 组成，放大器 4 的输出端和示波器 3 连接。放大器 4 的输入端与保护电路 14 连接。

在本发明提供的实施例中，放大器 4 具体为前置电流放大器，具体采用的是低噪声的前置电流放大器，其带宽为 DC-300kHz，低频增益为 $2 \times 10^6 V/A$ ，且其输入电阻小于 10Ω 。示波器 3 用于显示和记录位移电流
10 信号。该示波器 3 采用数字示波器，同时作为光电触发电路中的示波器。

在本发明所提供的电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统，在对待测样品 10 进行测量的过程中，采用的是圆环电极。圆环电极分别与正面镀层电极 11 和反面镀层电极 12 连接，且圆环电极与正面镀层电极 11 和反面镀层电极 12 保持同心设置。在本发明所提供的实施例中，所提供的
15 圆环电极优选为一对具有通光孔的黄铜圆环电极。

采用圆环电极进行测量时，具有双面镀层电极的电介质薄膜被两个黄铜圆环电极夹紧，待测样品 10 的双面镀层电极（正面镀层电极 11 和反面镀层电极 12）要与前、后面黄铜圆环电极紧密贴合，并保证电介质薄膜双面镀层电极（正面镀层电极 11 和反面镀层电极 12）的中心与两个圆环
20 黄铜电极的通光孔中心位于同一轴线上，以保证激光能够垂直击打到电介质薄膜的双面镀层电极上。

具体的，设置在前面的圆环电极为接地电极，后面的圆环电极为加压

/测量电极。接地侧黄铜电极中与样品接触的电极小电极，电极直径为5mm，符合样品蒸镀铝电极的直径尺寸，通光孔直径为2mm。加压/测量端圆环电极中与样品接触的电极大电极，电极直径为5cm，通光孔直径为2mm。

5 在本发明提供的实施例中采用电极夹具将具有双面镀层电极的电介质薄膜和两个黄铜圆环电极进行夹紧。所采用的电极夹具不局限于本实施例中的黄铜圆环电极夹具，只需满足激光能分别垂直击打到电介质薄膜两面的金属化电极上，并保证待测样品10的电容量不至于过大而造成信号失真即可。

10 本发明提供的双面测量系统中，除了外部的测量线路外，为了提高测量精度，还可以包括有一个屏蔽效果良好的屏蔽盒18。如图1所示，在本发明实施例中，待测样品10、耦合电容C、单刀双掷开关13、保护电路14和限流电阻R均设置于屏蔽盒18（虚线框）内。

此外，本发明还对应提供了一种采用上述电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统进行双面原位测量的测量方法，如图2所示，该测量方法包括以下步骤：

S1、将单刀双掷开关13的动端接地。

S2、对待测样品10的正面镀层电极11和反面镀层电极12均施加直流高压。

20 S3、当待测样品10中无电流流过时，将单刀双掷开关13的动端与测量电路连接。

S4、开启脉冲激光器1，脉冲激光器1产生的激光分为两路，一路经

光电触发电路触发示波器 3 采集信号,另一路依次通过双面测量光路和测量电路得到正面触发响应电流信号和反面触发响应电流信号,并由示波器 3 对正面触发响应电流信号和反面触发响应电流信号进行显示。

5 S5、根据正面触发响应电流信号得到正面触发响应电流的电场分布曲线和电荷密度分布曲线。根据反面触发响应电流信号得到反面触发响应电流的电场分布曲线和电荷密度分布曲线。

S6、根据正面触发响应电流的电场分布曲线和电荷密度分布曲线确定待测电介质薄膜正面的前 50 % 厚度的电场分布及电荷密度分布。根据反面触发响应电流的电场分布曲线和电荷密度分布曲线确定待测电介质
10 薄膜反面的前 50 % 厚度的电场分布及电荷密度分布。

S7: 根据待测电介质薄膜正面的前 50 % 厚度的电场分布及电荷密度分布和待测电介质薄膜反面的前 50 % 厚度的电场分布及电荷密度分布确定测量结果。

本实施例中,步骤 S5 中采用尺度变换法对采集到的正、反面触发响应
15 电流信号进行反卷积计算,先获得各自的电场分布,基于泊松方程再获得电荷密度分布,最后对正、反两面前 50 % 电介质薄膜厚度的电场分布及电荷密度分布进行组合。本实施例的反卷积算法不局限于尺度变换法,蒙特卡洛法(Monte Carlo 法)、吉洪诺夫正则化法(Tikhonov regularization)等均适用。

20 本实施例中,测量过程具体如下:

(1)将单刀双掷开关 13 的动端接地。

(2)待测样品 10 的双面金属化电极外加直流高压,其可通过加压电路

作用于后面(加压)黄铜圆环电极来实现, 前面(接地)黄铜圆环电极经屏蔽盒 18 外壳接地。本实例中给样品施加的直流电场平均为 10kV/mm, 但施加的电场不局限于 10kV/mm, 只要其满足合适的信噪比即可。

(3)检测待测样品 10 两侧是否有电流流过, 若无, 则将单刀双掷开关 13 的动端接保护电路 14 并进行双面测量。

(4)打开脉冲激光器 1, 脉冲激光器 1 发出的激光先平行入射到呈 45° 放置的 1/9 分束镜上, 取 10 % 反射光用作测量系统的光触发信号。

正面测量时, 旋离切换点处具有旋离复位功能的第一 45° 反射镜 6, 使 1/9 分束镜 90 % 的透射光直接照射到第二 45° 反射镜 7 上, 经过反射 10 击打到电介质薄膜的正面镀层电极 11 上, 脉冲激光被金属靶电极吸收后转化为热脉冲, 热脉冲在入射方向上传导并在途径位置处产生热形变, 从而产生位移电流, 该位移电流经电路中的耦合电容 C、单刀双掷开关 13、保护电路 14 至前置电流放大器 4 并由示波器 3 显示记录。反面测量时, 复位切换点处具有旋离复位功能的第一 45° 反射镜 6 使 90 % 的透射光经 15 第一 45° 反射镜 6 直接照射到第三 45° 反射镜 8 上, 取其反射光入射到第四 45° 反射镜 9 上, 最后取第四 45° 反射镜 9 的反射光击打到电介质薄膜的反面镀层电极 12 上, 产生的位移电流信号同样经上述电路至电流放大器 4 并由示波器 3 显示记录。

本实施例对 8 μ m 聚酰亚胺薄膜施加 10kV/mm 的电场, 得到的单面测量 20 量及双面测量电场分布曲线如图 3 所示。由于实施例对聚酰亚胺薄膜样品施加的是 10kV/mm 的外加电场, 此电场远远小于聚酰亚胺薄膜样品的电荷注入阈值场强, 因此样品内部电场应等于外施电场。从图 3 中可以看出,

单面测量的结果在薄膜厚度大于 $4\mu\text{m}$ 的情况下，电场已逐渐远离 10kV/mm 的刻度线。而对于双面测量结果而言，在整个样品厚度上，电场基本吻合于 10kV/mm 的刻度线。由此可以说明本申请所提出的基于热脉冲法的电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统和方法可以有效避免热脉冲在传导方向上分辨率下降的问题，提高了数据采集的正确性。

本说明书中各个实施例采用递进的方式描述，每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处，各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。

本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述，以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想；同时，对于本领域的一般技术人员，依据本发明的思想，在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述，本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

权 利 要 求 书

1、一种电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统，其特征在于，包括待测样品、脉冲激光器、光电触发电路、双面测量光路、加压电路和测量电路；

所述待测样品包括：待测电介质薄膜和设置在所述待测电介质薄膜两侧
5 的正面镀层电极和反面镀层电极；

所述脉冲激光器产生的激光被分为两路，一路激光进入所述光电触发电路中，另一路激光进入所述双面测量光路中；

所述光电触发电路包括：光电二极管和示波器；所述光电二极管和所述示波器连接；

10 所述双面测量光路包括：多个反射镜；多个所述发射镜用于将进入所述双面测量光路的激光分为两路，并用于使分路后的两路激光分别入射到所述正面镀层电极和所述反面镀层电极；

所述加压电路包括：直流高压源、第一接地端、第二接地端、耦合电容、单刀双掷开关和保护电路；所述直流高压源与所述反面镀层电极连接；
15 所述反面镀层电极还通过所述耦合电容与所述单刀双掷开关的动端连接；所述单刀双掷开关的第一不动端与所述第二接地端连接；所述单刀双掷开关的第二不动端与所述保护电路连接；所述正面镀层电极与所述第一接地端连接；所述保护电路与测量电路连接。

2、根据权利要求1所述的一种电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统，其特征在于，还包括：1/9分束镜；
20

所述脉冲激光器产生的激光通过所述1/9分束镜分为两路，其中一路有10%的激光进入所述光电触发电路，另一路有90%的激光进入所述双

面测量电路。

3、根据权利要求1所述的一种电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统，其特征在于，多个所述反射镜具体为：第一45°反射镜、第二45°反射镜、第三45°反射镜和第四45°反射镜；所述第一45°反射镜
5 具有可旋离复位功能并作为双面测量光路的切换点；

所述双面测量电路具有正面测量和反面测量两种功能；当进行正面测量时，旋离所述第一45°反射镜，入射激光直接经过所述第二45°反射镜入射到所述正面镀层电极；当进行反面测量时，复位所述第一45°反射镜，入射激光依次经过所述第一45°反射镜、第三45°反射镜和第四
10 45°反射镜后入射到所述反面镀层电极。

4、根据权利要求1所述的一种电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统，其特征在于，所述加压电路还包括：限流电阻；

所述直流高压源通过所述限流电阻与所述反面镀层电极连接。

5、根据权利要求4所述的一种电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统，其特征在于，所述限流电阻的阻值小于所述待测样品的绝缘电阻。
15

6、根据权利要求1所述的一种电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统，其特征在于，所述测量电路包括：放大器；

所述放大器的输出端和所述示波器连接；所述放大器的输入端与所述保护电路连接。

7、根据权利要求1所述的一种电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统，其特征在于，还包括：圆环电极；
20

所述圆环电极分别与所述正面镀层电极和所述反面镀层电极连接，且

所述圆环电极与所述正面镀层电极和所述反面镀层电极保持同心设置。

8、根据权利要求1所述的一种电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统，其特征在于，所述耦合电容的电容值大于等于待测样品电容值的100倍。

9、一种电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量方法，其特征在于，所述双面原位测量方法为采用如权利要求1~8任一项所述的电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量系统进行双面原位测量的测量方法；所述双面原位测量方法，包括：

10 S1、将单刀双掷开关的动端接地；

S2、对待测样品的正面镀层电极和反面镀层电极均施加直流高压；

S3、当所述待测样品中无电流流过时，将所述单刀双掷开关的动端与测量电路连接；

15 S4、开启脉冲激光器，所述脉冲激光器产生的激光分为两路，一路经光电触发电路触发示波器采集信号，另一路依次通过双面测量光路和测量电路得到正面触发响应电流信号和反面触发响应电流信号，并由示波器对正面触发响应电流信号和反面触发响应电流信号进行显示；

S5、根据所述正面触发响应电流信号得到正面触发响应电流的电场分布曲线和电荷密度分布曲线；根据所述反面触发响应电流信号得到反面
20 触发响应电流的电场分布曲线和电荷密度分布曲线；

S6、根据所述正面触发响应电流的电场分布曲线和电荷密度分布曲线确定待测电介质薄膜正面的前50%厚度的电场分布及电荷密度分布；

根据所述反面触发响应电流的电场分布曲线和电荷密度分布曲线确定待测电介质薄膜反面的前 50 % 厚度的电场分布及电荷密度分布;

S7: 根据待测电介质薄膜正面的前 50 % 厚度的电场分布及电荷密度分布和待测电介质薄膜反面的前 50 % 厚度的电场分布及电荷密度分布确定测量结果。

10、根据权利要求 9 所述的一种电介质薄膜中电荷分布的双面原位测量方法, 其特征在于, 所述根据正面触发响应电流信号得到正面触发响应电流的电场分布曲线和电荷密度分布曲线; 根据所述反面触发响应电流信号得到反面触发响应电流的电场分布曲线和电荷密度分布曲线, 具体包括:

采用反卷积算法, 根据正面触发响应电流信号得到正面触发响应电流的电场分布曲线;

采用泊松方程, 根据所述正面触发响应电流的电场分布曲线确定正面触发响应电流的电荷密度分布曲线;

采用反卷积算法, 根据反面触发响应电流信号得到反面触发响应电流的电场分布曲线;

采用泊松方程, 根据所述反面触发响应电流的电场分布曲线确定反面触发响应电流的电荷密度分布曲线。

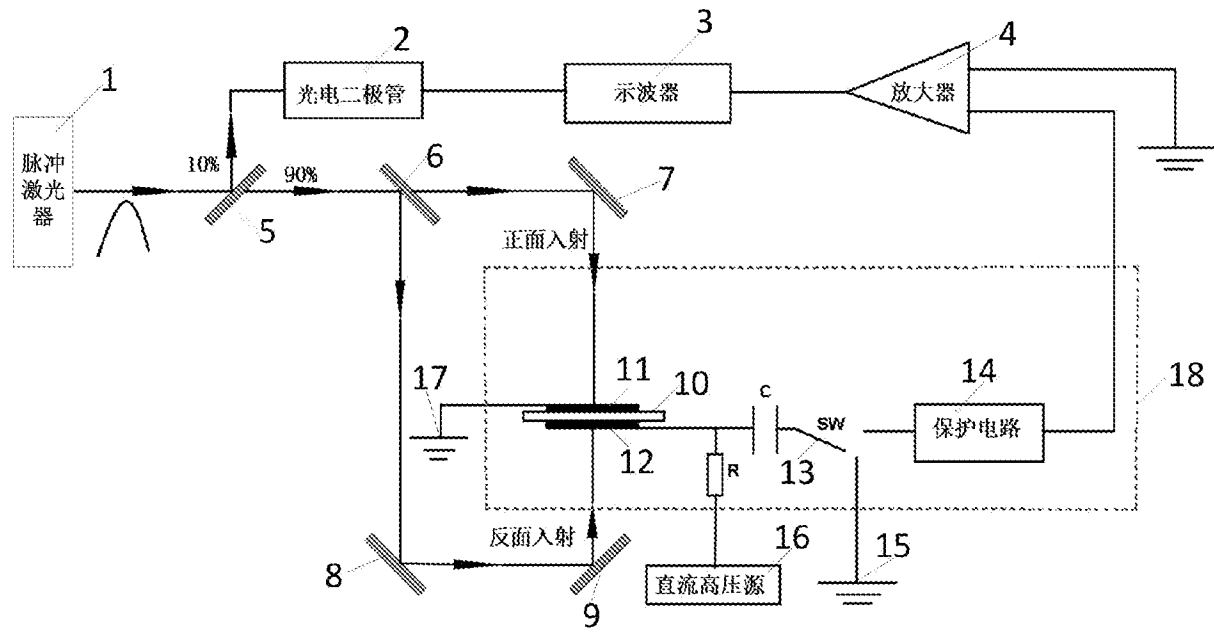


图 1

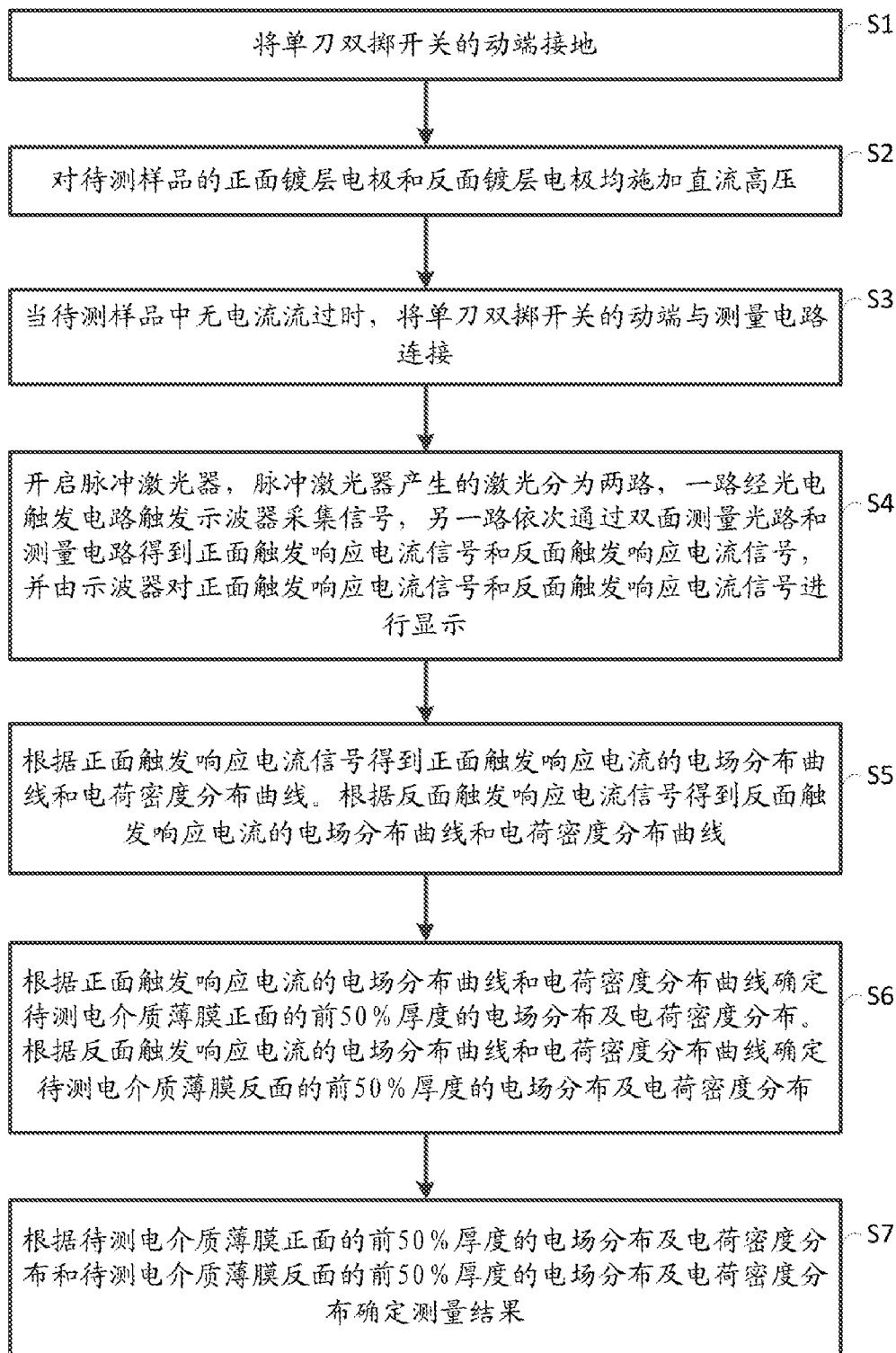


图 2

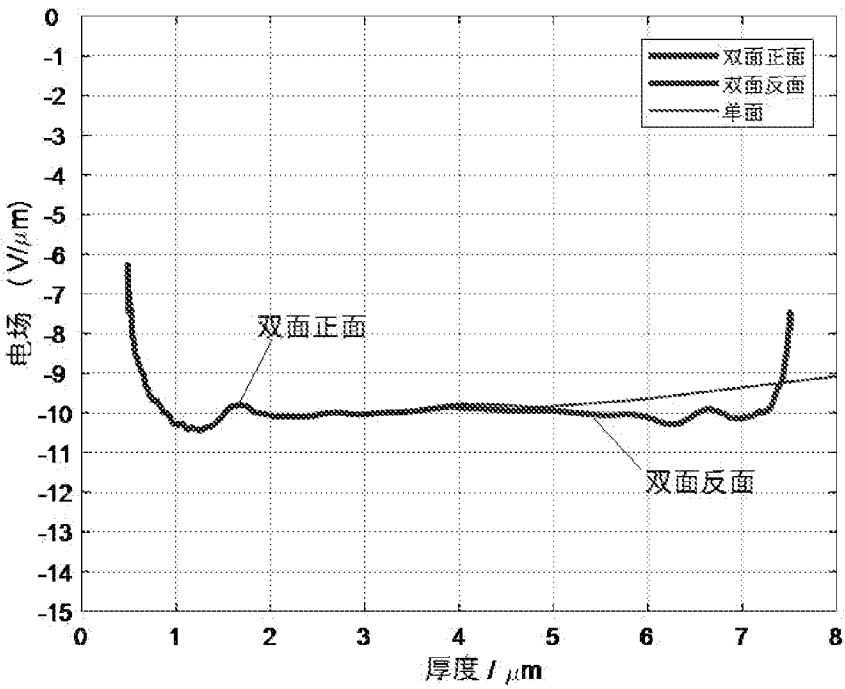


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/092809

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 29/24(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)

G01R; G01N

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, DWPI: 同济大学, 郑飞虎, 谢姣, 张治文, 电介质, 薄膜, 聚合物, 电荷, 电场, 空间分布, 双面, 双侧, 两面, 正, 反, 入射, 照射, 反射镜, 热脉冲, 激光, 脉冲, 反卷积, dielectric, film, polymer, polyethylene, pulse, laser, thermal, heat, light, space distribution, charge, double side, rear, front

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 110244138 A (TONGJI UNIVERSITY) 17 September 2019 (2019-09-17) description paragraphs 0031-0051, figure 1	1-10
Y	CN 109557129 A (TONGJI UNIVERSITY) 02 April 2019 (2019-04-02) description paragraphs 031-044, figure 1	1-10
Y	Bernd Ploss et al. "Thermal Wave probing of pyroelectric distributions in the surface region of ferroelectric materials: A new method for the analysis" <i>Journal of Applied Physics</i> , Vol. 11., No. 72, 04 June 1998 (1998-06-04), ISSN: 0021-8979, pp. 2-4	1-10
Y	CN 1551309 A (SEMICONDUCTOR ENERGY LABORATORY CO., LTD.) 01 December 2004 (2004-12-01) figure 19c	1-10
Y	Zhien Zhu et al. "Methodological investigation on photo-stimulated discharge to obtain accurate trap information in polymer dielectrics" <i>Measurement Science and Technology</i> , No. 22, 15 July 2011 (2011-07-15), ISSN: 1361-6501, pp. 3-7	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

24 August 2020

Date of mailing of the international search report

28 August 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

International application No.

PCT/CN2020/092809

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 103412197 A (TIANJIN XUEZI POWER EQUIPMENT TECHNOLOGY CO., LTD.) 27 November 2013 (2013-11-27) entire document	1-10
A	JP 2000046884 A (SHOWA ELECTRIC WIRE & CABLE CO.) 18 February 2000 (2000-02-18) entire document	1-10
A	JP 11231005 A (RICOH K.K.) 27 August 1999 (1999-08-27) entire document	1-10
A	CN 105629085 A (NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY et al.) 01 June 2016 (2016-06-01) entire document	1-10
A	US 5723982 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP. et al.) 03 March 1998 (1998-03-03) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/092809

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110244138	A	17 September 2019	None			
CN	109557129	A	02 April 2019	None			
CN	1551309	A	01 December 2004	EP	1468774	B1	15 April 2009
				KR	20040077537	A	04 September 2004
				CN	100479115	C	15 April 2009
				DE	602004020538	D1	28 May 2009
				EP	1468774	A1	20 October 2004
				US	7700462	B2	20 April 2010
				US	2004171237	A1	02 September 2004
CN	103412197	A	27 November 2013	CN	103412197	B	10 August 2016
JP	2000046884	A	18 February 2000	None			
JP	11231005	A	27 August 1999	JP	H11231005	A	27 August 1999
CN	105629085	A	01 June 2016	None			
US	5723982	A	03 March 1998	JP	H0862229	A	08 March 1996

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/092809

A. 主题的分类

G01R 29/24(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)

G01R; G01N

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, DWPI: 同济大学, 郑飞虎, 谢姣, 张治文, 电介质, 薄膜, 聚合物, 电荷, 电场, 空间分布, 双面, 双侧, 两面, 正, 反, 入射, 照射, 反射镜, 热脉冲, 激光, 脉冲, 反卷积, dielectric, film, polymer, polyethylene, pulse, laser, thermal, heat, light, space distribution, charge, double side, rear, front

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 110244138 A (同济大学) 2019年 9月 17日 (2019 - 09 - 17) 说明书第0031-0051段、图1	1-10
Y	CN 109557129 A (同济大学) 2019年 4月 2日 (2019 - 04 - 02) 说明书第031-044段、图1	1-10
Y	Bernd Ploss等. "Thermal Wave probing of pyroelectric distributions in the surface region of ferroelectric materials: A new method for the analysis" 《Journal of Applied Physics》, 第11卷, 第72期, 1998年 6月 4日 (1998 - 06 - 04), ISSN: 0021-8979, 第2-4页	1-10
Y	CN 1551309 A (株式会社半导体能源研究所) 2004年 12月 1日 (2004 - 12 - 01) 图19c	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

2020年 8月 24日

国际检索报告邮寄日期

2020年 8月 28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

授权官员

刘俊杰

电话号码 80-010-62089542

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	Zhien Zhu等. "Methodological investigation on photo-stimulated discharge to obtain accurate trap information in polymer dielectrics" 《Measurement Science and Technology》, 第22期, 2011年 7月 15日 (2011 - 07 - 15), ISSN: 1361-6501, 第3-7页	1-10
A	CN 103412197 A (天津学子电力设备科技有限公司) 2013年 11月 27日 (2013 - 11 - 27) 全文	1-10
A	JP 2000046884 A (SHOWA ELECTRIC WIRE & CABLE CO.) 2000年 2月 18日 (2000 - 02 - 18) 全文	1-10
A	JP 11231005 A (RICOH KK) 1999年 8月 27日 (1999 - 08 - 27) 全文	1-10
A	CN 105629085 A (华北电力大学等) 2016年 6月 1日 (2016 - 06 - 01) 全文	1-10
A	US 5723982 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP. 等) 1998年 3月 3日 (1998 - 03 - 03) 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/CN2020/092809

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	110244138	A	2019年 9月 17日	无			
CN	109557129	A	2019年 4月 2日	无			
CN	1551309	A	2004年 12月 1日	EP	1468774	B1	2009年 4月 15日
				KR	20040077537	A	2004年 9月 4日
				CN	100479115	C	2009年 4月 15日
				DE	602004020538	D1	2009年 5月 28日
				EP	1468774	A1	2004年 10月 20日
				US	7700462	B2	2010年 4月 20日
				US	2004171237	A1	2004年 9月 2日
CN	103412197	A	2013年 11月 27日	CN	103412197	B	2016年 8月 10日
JP	2000046884	A	2000年 2月 18日	无			
JP	11231005	A	1999年 8月 27日	JP	H11231005	A	1999年 8月 27日
CN	105629085	A	2016年 6月 1日	无			
US	5723982	A	1998年 3月 3日	JP	H0862229	A	1996年 3月 8日