



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102084473 B

(45) 授权公告日 2014. 10. 22

(21) 申请号 200980126807. 7

H01L 21/3065(2006. 01)

(22) 申请日 2009. 07. 07

H01L 21/205(2006. 01)

(30) 优先权数据

61/078, 739 2008. 07. 07 US

(56) 对比文件

US 5936413 A, 1999. 08. 10, 说明书第 1 栏第 21 行至第 44 行, 第 4 栏第 30 行至第 5 栏第 10 行、附图 1, 3.

(85) PCT 国际申请进入国家阶段日

2011. 01. 05

KR 10-2008-0048310 A, 2008. 06. 02, 摘要、说明书第 4 页第 4 段至第 5 页第 4 段、附图 2.

(86) PCT 国际申请的申请数据

PCT/US2009/049757 2009. 07. 07

US 2002/0011213 A1, 2002. 01. 31, 全文.

(87) PCT 国际申请的公布数据

W02010/005930 EN 2010. 01. 14

审查员 陆然

(73) 专利权人 朗姆研究公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 杰 - 保罗 · 布斯

道格拉斯 · L · 凯尔

(74) 专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263

代理人 周文强 李献忠

(51) Int. Cl.

H01L 21/66(2006. 01)

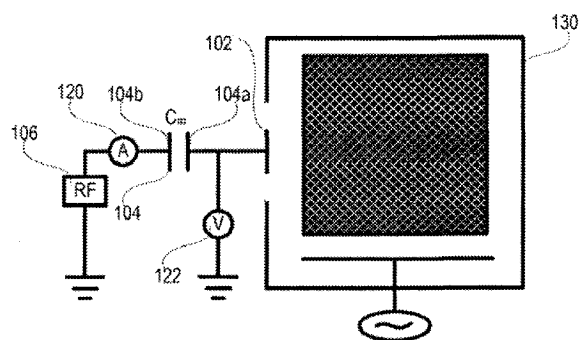
权利要求书2页 说明书11页 附图13页

(54) 发明名称

用于检测等离子处理室中激发步骤的电容耦合静电 (CCE) 探针装置及其方法

(57) 摘要

提供一种识别等离子处理系统的处理室内稳定的等离子体的方法。该方法包括在该处理室内执行激发步骤以生成等离子体。该激发步骤包括在该处理室内施加相当高压并在该处理室内维持低射频 (RF) 功率。该方法还包括采用探针头以采集一组激发步骤过程中的特性参数测量值, 该探针头在处理室的表面上, 其中该表面非常接近衬底表面。该方法进一步包括将该组特性参数测量值与预定的范围对比。如果该组特性参数测量值在预定的范围内, 则存在稳定的等离子体。



1. 一种识别等离子处理系统的处理室内稳定的等离子的方法,包括:
在所述处理室执行实际蚀刻步骤之前的激发步骤以生成等离子,其中所述激发步骤包括
在所述处理室内施加高的气压以确保等离子引发,以及
在所述处理室内维持比实际蚀刻过程中的射频功率低的射频 (RF) 功率;
采用探针头以采集一组所述激发步骤过程中的特性参数测量值,通过监测所述特性参数测量值,检测等离子激发的信号阶跃特征,所述探针头在所述处理室的表面上,其中所述表面靠近衬底表面;以及
将该组特性参数测量值与预定的范围对比,如果该组特性参数测量值不在所述预定的范围内,则所述等离子不稳定并且应用校正动作,如果该组特性参数测量值在所述预定的范围内,则存在所述稳定的等离子且所述激发步骤结束,从而检测所述激发步骤是否成功并最小化执行所述激发步骤所需的持续时间。
2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述探针头是电容耦合静电 (CCE) 探针。
3. 根据权利要求 2 所述的方法,其中所述探针头的面向等离子的表面由与所述处理室的其他面向等离子的部件相同的材料制成。
4. 根据权利要求 1 所述的方法,其中该组特性参数测量值是一组离子通量测量值。
5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中该组特性参数测量值是一组电子温度测量值。
6. 根据权利要求 1 所述的方法,其中该组特性参数测量值是一组空载电势测量值。
7. 一种识别等离子处理系统的处理室内稳定的等离子的装置,包括:
衬底,其中所述衬底设在所述处理室内的下部电极上;
射频 (RF) 功率源,其中以比实际蚀刻过程中的射频功率低的 RF 功率在所述处理室利用所述射频功率源;
气体输送系统,其中将气体输送到所述处理室以与所述 RF 功率相互作用而产生等离子;
压力模块,其中在所述处理室内以高的气压利用所述压力模块以确保等离子引发;
探针装置,其中所述探针装置包括面向等离子的传感器并且设在所述处理室的表面上,所述表面靠近所述衬底的表面,其中所述探针装置构造为至少采集一组实际蚀刻步骤之前的激发步骤过程中的特性参数测量值,通过监测所述特性参数测量值,检测等离子激发的信号阶跃特征;以及
检测模块,其中所述检测模块构造为将该组特性参数测量值与预定的范围对比,如果该组特性参数测量值不在所述预定的范围内,则所述等离子不稳定并且应用校正动作,如果该组特性参数测量值在所述预定的范围内,则存在所述稳定的等离子且所述激发步骤结束,从而检测所述激发步骤是否成功并最小化执行所述激发步骤所需的持续时间。
8. 根据权利要求 7 所述的装置,其中所述面向等离子的传感器是电容耦合静电 (CCE) 探针头。
9. 根据权利要求 8 所述的装置,其中所述面向等离子的传感器的面向等离子的表面由与所述处理室的其他面向等离子的部件相同的材料制成。
10. 根据权利要求 7 所述的装置,其中该组特性参数测量值是一组离子通量测量值。
11. 根据权利要求 7 所述的装置,其中该组特性参数测量值是一组电子温度测量值。

12. 根据权利要求 7 所述的装置,其中该组特性参数测量值是一组空载电势测量值。

用于检测等离子处理室中激发步骤的电容耦合静电 (CCE) 探针装置及其方法

背景技术

[0001] 在该等离子处理室中的衬底处理过程中,令人满意的结果往往需要对工艺参数的密切控制。这对于如沉积、蚀刻、清洁等用来制造现代高密度集成电路的工艺尤其正确。

[0002] 在特定的蚀刻工艺执行中,例如,在衬底上执行实际蚀刻步骤之前,等离子需要稳定以及良好地表征。为了引起稳定且良好表征的等离子,往往采用称作激发步骤制法(recipe)的特别制法。在这个激发步骤过程中,该等离子处理室采用相对高的气压来确保等离子引发(ignition)。通常将射频(RF)功率保持较低以防止对衬底和/或室部件造成无意的损伤。该激发步骤确保在按照预定的蚀刻步骤在衬底上开始实际蚀刻(通常采用较高的RF功率)之前,室内的等离子条件达到某种预定的、可接受的程度。因此,尽管激发步骤可能包含对于实际蚀刻来说不稳定的等离子条件,但是激发步骤是确保满意的蚀刻结果以及每个衬底的高器件成品率的重要步骤。

[0003] 现有技术中,激发步骤往往按照某种预定的已知最佳方法或BKM来执行任意的时间长度。激发步骤持续时间通常根据从测试衬底获得的反馈数据提前凭借经验确定,并且在执行每个蚀刻制法之前执行。例如,某些BKM可能需要5秒激发步骤以确保在蚀刻之前等离子可靠引发和稳定。通常执行完整的5秒激发步骤,而不管是否在这5秒持续时间内等离子是否在第一、第二、第三或第四秒中引发并稳定。

[0004] 如果在该预定的激发步骤持续时间中非常早的引发并稳定等离子,该激发步骤持续时间的其余部分实际上是浪费的时间,因为等离子已经引发并稳定,而且在这段时间内没有发生有用的蚀刻。浪费的时间减少等离子处理系统总的产量,导致更高的持有等离子工具的成本(是生产的器件单元的函数)。此外,在这个浪费的时间中,该室中存在的激发等离子会促使室部件过早的退化(由此迫使更频繁的清洁和维护循环)和/或导致衬底被不希望地蚀刻而没有产生相应的与改进和/或增加衬底产量有关的好处。

[0005] 另一方面,如果该激发步骤结束后,等离子没有引发或者没有保持稳定,在没有良好表征的等离子情况下,开始主蚀刻步骤往往导致损伤衬底。

[0006] 考虑到前面所述,期望改进的技术以检测激发步骤是否成功和/或最小化执行激发步骤所需的持续时间。

发明内容

[0007] 在一个实施方式中,本发明涉及一种识别等离子处理系统的处理室内稳定的等离子方法。该方法包括在该处理室内执行激发步骤以生成等离子。该激发步骤包括在该处理室内施加相当高压和在该处理室内维持低射频(RF)功率。该方法还包括采用探针头以采集一组激发步骤过程中的特性参数测量值,该探针头在处理室的表面上,其中该表面非常接近衬底表面。该方法进一步包括将该组特性参数测量值与预定的范围对比。如果该组特性参数测量值在该预定的范围内,则存在稳定的等离子。

[0008] 上面的概述只涉及这里公开的本发明许多实施方式的一个并且不是为了限制本

发明的范围,这个范围在权利要求中阐述。本发明的这些和其他特征将在下面的具体描述中结合附图更详细地说明。

附图说明

[0009] 在附图中,本发明作为示例而不是作为限制来说明,其中类似的参考标号指出相似的元件,其中:

[0010] 图 1 示出示例 CCE 探针装置。

[0011] 图 2 示出现有技术中的离子电流(单位时间单位面积上的离子通量)比时间的曲线。

[0012] 图 3 示出,按照本发明一个实施方式,离子电流(单位时间单位面积上的离子通量)比时间的曲线。

[0013] 讨论的图 A 示出等离子系统一部分的简单示意图,具有电容耦合至反应器室以产生等离子的射频(RF)源。

[0014] 讨论的图 B1 示出 RF 充电之后的电压比时间图表。

[0015] 讨论的图 B2 示出 RF 充电后采集的电流数据的图表。

[0016] 讨论的图 C 示出 RF 爆发(RF burst)之间的单个时间间隔的简单电流比电压图表。

[0017] 讨论的图 D 示出在本发明的一个实施方式中的简单流程图,说明在衬底处理过程中自动表征等离子的总体步骤。

[0018] 讨论的图 E 示出,在本发明的一个实施方式中,确定关联范围和该种子值的简单算法。

[0019] 讨论的图 F1 示出 RF 爆发之后的电流比时间示例。

[0020] 讨论的图 F2 示出 RF 爆发之后的电压比时间示例。

[0021] 讨论的图 F3 示出拐点的示例。

[0022] 讨论的图 F4 示出应用于电流比电压图表的曲线拟合的示例。

具体实施方式

[0023] 现在将根据其如在附图中说明的几个实施方式来具体描述本发明。在下面的描述中,阐述许多具体细节以提供对本发明的彻底理解。然而,对于本领域技术人员,显然,本发明可不利用这些具体细节的一些或者全部而实施。在有的情况下,公知的工艺步骤和/或结构没有说明,以避免不必要的混淆本发明。

[0024] 本发明的实施方式涉及使用电容耦合静电(CCE)探针以检测激发步骤的成功完成。CCE 探针已经长期用于测量等离子处理参数。CCE 探针是本领域公知的,并且细节可从公开文献得到,包括例如美国专利 5,936,413,主题为“Method And Device For Measuring An Ion Flow In A Plasma”(1999 年 8 月 10 号),其通过引用结合在这里。CCE 探针提供许多优点,包括例如改进的检测敏感度、由于传感器的小尺寸导致的最小的对等离子的扰动、容易安装在室壁上、对传感器头上的聚合物沉积不敏感。此外,该传感器的面向等离子的表面往往可由与围绕该室壁的相同的材料制成,由此进一步最小化对等离子的干扰。这些优点使得非常希望将 CCE 探针用于感应工艺参数。

[0025] 大体而言,CCE 探针装置包含连接到测量电容器的一个板的面向等离子的传感器。

这里在图 1 中示出一个示例 CCE 探针装置。图 1 中,面向等离子的传感器 102(其设在室 130 的壁中)连接到测量电容器 104 的一个板 104a。测量电容器 104 的另一个板 104b 连接到 RF 电压源 106。该 RF 电压源 106 周期性提供 RF 振荡波列 (oscillation trains),使得探针变成负偏置,并且执行跨该测量电容器的测量以确定每个 RF 振荡波列结束之后紧跟着的电容器电流放电的速率。电流测量装置 120 串联在测量电容器 104 和 RF 电压源 106 之间以检测该电容器电流放电速率。可替换地或者额外地,电压测量装置 122 连接在板 104a 和地之间以测量探针头的电势。关于 CCE 探针装置和 CCE 探针操作的细节在前面提到的美国专利 5,936,413 中描述,并且这里将不再进一步讨论。

[0026] 如所提到的,导电材料制成的探针头安装在室的表面中。将短 RF 波列施加于该探针,使得该电容器 (C_m) 充电,并且使得探针的表面获得负电势(相对地负几十伏特)。在 RF 脉冲结束之后,探针的电势随着 C_m 放电而衰退回到该空载电势 (floating potential)。电势变化的速率由等离子体特性决定。在这个放电过程中,探针的电势 V_f 利用电压测量装置 122 来测量,而流到该探针并通过电容器 C_m 的电流利用电流测量装置 120 来测量。曲线 $V(t)$ 和 $I(t)$ 用来构建电流-电压特性 VI ,其之后由信号处理器来分析。将模型函数拟合到这些数据点,产生空载电势 V_f 、离子饱和电流 I_{sat} 和电子温度 T_e 的估值。更多的细节可在主题为“Methods for Automatically Characterizing a Plasma”、2008 年 6 月 26 号递交于美国专利局(申请号 61/075,948)以及 2009 年 6 月 2 号递交于美国专利局(申请号 12/477,007)的共同待决申请中找到,它们包含在这里的讨论中。

[0027] 按照本发明的一个或多个实施方式,提出创新性的技术以能够检测激发步骤的成功完成。发明人这里是这样实现的,通过监测离子通量,使用适当的信号处理系统软件和/或硬件可检测该离子通量数据中等离子引发的信号阶跃 (signal step) 特征。一旦出现等离子引发,可监测该离子通量一段时间。等离子引发的信号阶跃特征的监测可在预计发生等离子引发的时间窗内执行。如果在这个时间窗内观察到建立稳定的离子通量,那么就说该等离子体稳定并认为该激发步骤成功。因此该激发步骤的成功完成要求检测到等离子引发事件以及确定对于给定时间段后续的等离子体参数完全满足特定条件。

[0028] 可替换地或额外地,可监测电子温度。通过监测电子温度,可得到额外的验证数据点以检测等离子引发事件。

[0029] 可替换地或额外地,可监测探针头的空载电势。通过监测空载电势,可使用适当的信号处理系统软件和/或硬件检测该空载电势数据中的等离子引发的信号阶跃特征。一旦发生等离子引发,则监测空载电势一段时间。如果在这个时间窗内满足特定条件,则说等离子体稳定并且认为激发步骤成功。与离子通量监测的情况相同,该激发步骤的成功完成要求检测等离子引发事件并确定对于给定时段内后续等离子体参数完全满足特定的条件。

[0030] 图 2 示出现有技术中离子电流(单位时间单位面积上的离子通量)比时间的曲线。图 2 中,点 200 表示激发步骤开始。点 200 和点 210 之间的时段表示该激发步骤。步骤 202 反映等离子引发。实际上,如图 2 中可见,从在点 204 开始,该等离子体已经稳定。由于该现有技术 BKM 要求激发步骤 200 开始之后的固定时间量,所以允许该激发步骤运行直到在点 210 该固定的时段到期。本领域的技术人员可容易理解点 204 和点 210 之间的时间段实际上表示浪费的时间,这降低了系统产量并且由于在漫长的稳定后点上存在激发等离子体而导致可能损伤衬底和/或室部件。

[0031] 图 3 示出,按照本发明一个实施方式,离子电流(单位时间单位面积上的离子通量)比时间的曲线。图 3 中,点 300 表示激发步骤开始。步骤 302 反映等离子引发。跟着该引发事件之后等离子开始稳定。在点 304,等离子稳定。通过监测离子通量和 / 或电子温度和 / 或空载电势,可检测等离子引发。如果点 302(等离子引发)和点 304 之间的时间段内的等离子条件令人满意,则蚀刻工艺可从点 304 开始,由此消除漫长的浪费时段(如现有技术图 2 的点 204 和 210 之间的时段)。注意如果一直都检测不到等离子引发(例如,没有步骤 302),则认为该激发步骤失败。这样,本发明提供比现有技术显著的优点,现有技术中蚀刻步骤开始于预定的激发步骤持续时间的结束,不管等离子是否已经成功引发和 / 或已经稳定。

[0032] 在本发明一个或多个实施方式中,在示例蚀刻中,对于的等离子引发、对于该稳定时段等,特性参数测量值(如离子通量测量值,电子温度测量值和 / 或空载电势测量值)可根据经验获得。一旦对于某些测试衬底确定了这些特征参数,特征参数模式(pattern)可用于与从将来的工艺获得的参数读数对比,以确定是否成功完成激发步骤。

[0033] 与现有参数测量技术相比,如测量入射或反射 RF 功率或 RF 阻抗探针,本发明基于 CCE 探针的激发步骤检测技术是高灵敏的。这是因为本发明的实施方式使用探针直接测量到达靠近被处理衬底的室壁的离子通量。因此,探针测量的离子通量与到达衬底表面的通量密切相关,使得这个测量值是固有地绝对测量值。所以,检测系统可验证离子通量是稳定的(例如,没有过分的振荡或不稳定性)并且在触发到蚀刻步骤的过渡(transition)前处于设定的控制限度内。

[0034] 这个直接测量方法与现有技术(如前面提到的 RF 功率测量或阻抗探针测量)不同,现有技术倾向于更间接的测量并且更有可能提供激发步骤检测的假肯定(false positives)和 / 或假否定(false negatives),并且更难以校准或使之绝对。

[0035] 另外,对等离子的干扰最小,因为 CCE 探针头倾向于更小、与等离子处理室的周围的面向等离子的结构齐平安装,并且具有由与该室面向等离子的部件相同的材料形成的面向等离子的探针表面。此外,该创新的基于 CCE 探针的激发步骤检测技术对于面向等离子的探针头上的聚合物沉积不敏感,因为电流电容耦合通过任何形成在探针头的面向等离子的表面上的沉积物。

[0036] 尽管本发明参照其多个优选实施方式来描述,但是存在改变、置换和等同方式,其落入本发明的范围内。还应当注意有许多实现本发明的方法和装置的替代途径。尽管这里提供各种示例,但意图是这些示例是说明性的而不是对本发明的限制。

[0037] 并且,这里为了方便提供主题和概要,并且不应当用来解释这里的权利要求的范围。进而,摘要是以高度概括的形式撰写的并且在这里为了方便而提供,因此不应当用来解释或者限制在权利要求中表述的总的发明。如果这里使用了术语“组”,这种属于意图是具有数学意义上的一般理解,涵盖零个、一个或多于一个元素。还应当注意,有许多实现本发明方法和设备的方式。所以,所以,其意图是下面所附的权利要求解释为包括所有这样的落入本发明主旨和范围内的改变、置换和各种替代等同物。

[0038] 该讨论还可以在主题为“Methods for Automatically Characterizing a Plasma”、2008 年 6 月 26 日在美国专利局递交(申请号 61/075,948)以及 2009 年 6 月 2 日在美国专利局递交(申请号 12/477,007)的共同待决申请中找到,并且通过引用结合在这

里。

[0039] 用于自动表征等离子体的方法的讨论

[0040] 等离子处理的进步促进了半导体工业的增长。为了为典型的电子产品供应芯片，可处理数百或数千个衬底（比如半导体晶圆）。为了使制造公司具有竞争力，该制造公司必须能够在最小的处理时间内将该衬底处理为合格的半导体器件。

[0041] 通常，在等离子处理过程中，可能出现会对该衬底造成负面影响的问题。可能改变被处理的衬底的品质的一个重要的因素是等离子本身。为了有足够的数据来分析该等离子，可以使用传感器收集有关每个衬底的处理数据。可以分析收集的数据以确定问题的原因。

[0042] 为了便于讨论，图 A 显示了在等离子系统 A-100 的一部分中的数据收集探针的简单示意图。等离子系统 A-100 可包括射频 (RF) 源 A-102（比如脉冲式射频频率发生器），其电容耦合于反应器室 A-104 以产生等离子 106。当射频源 A-102 开启时，在外部电容器 A-108 两侧产生偏压，该外部电容器 A-108 可以约为 26.2 纳法 (nF)。在一个实施例中，射频源 A-102 可以每几个毫秒（例如，约五毫秒）提供一个小的电力爆发 (burst)（例如，11.5 兆赫），导致外部电容器 A-108 被充电。当射频源 A-102 被关闭时，具有极性的偏压保留在外部电容器 A-108 上，从而探针 A-110 被偏置以收集离子。随着该偏压的衰退，可以追踪到如图 B1、B2 和 C 所示的曲线。

[0043] 本领域的技术人员意识到，探针 A-110 通常是具有传导平面的电探针，该传导平面可以靠着反应器室 A-104 的室壁放置。从而探针 A-110 直接暴露于反应器室 A-104 的环境。可以分析由探针 A-110 收集的电流和电压数据。因为某种配方可能使得非传导性沉积层 A-116 沉积在探针 A-110 上，所以不是所有的探针都能够收集可靠的测量值。然而，本领域的技术人员意识到，即使有非传导性沉积层，PIF（平坦离子流）探针也能够收集数据，因为该 PIF 探针方案不需要吸收直流 (DC) 以实现测量。

[0044] 通过其它传感器测量等离子系统 A-100 中的电流和电压信号。在示例中，当射频源 A-102 被关掉时，分别使用电流传感器 A-112 和高阻抗电压传感器 A-114 测量电流和电压。然后绘制从电流传感器 A-112 和电压传感器 A-114 收集的测量数据以创建电流图和电压图。数据可以手动绘制或者可以将数据输入到软件程序以创建这些图。

[0045] 图 B1 显示了在射频充电周期后的电压 / 时间图。在数据点 B1-202，在提供射频充电（即，射频爆发）之后射频源 A-102 已被关掉。在此示例中，在数据点 B1-202，探针 A-110 两端的电压约为负 57 伏。当等离子系统 A-100 返回到安静状态（数据点 B1-204 和 B1-206 之间的间隔）时，该电压通常达到空载电压电势。在此示例中，该空载电压电势从约负 57 伏升高到约零伏。然而，该空载电压电势无需非得为零，而可以是负的或正的偏压电势。

[0046] 类似地，图 B2 显示了在射频充电之后收集的电流数据的图表。在数据点 B2-252，在已经提供射频充电之后射频源 A-102 已被关掉。在衰退期 B2-254 期间，外部电容器 A-108 的返回电流会被放电。在一示例中，在完全充电（数据点 B2-252）时，电流约为 $0.86\text{mA}/\text{cm}^2$ 。然而，当该电流被彻底放电后（数据点 B2-256），电流回到零。根据该图表，该放电花费约 75 毫秒。从数据点 B2-256 到数据点 B2-258，该电容器保持放电。

[0047] 因为该电流数据和该电压数据两者都是在一个时间段内被收集的，所以通过协调该时间以消除时间变量可以生成电流 / 电压图。换句话说，可以将收集的电流数据针对收

集的电压数据匹配起来。图 C 显示了对于射频爆发之间的单一的时间间隔的简单的电流 / 电压图。在数据点 C-302, 在提供射频充电之后射频源 A-102 已被关掉。

[0048] 通过对每个射频爆发过程中收集的数据施加非线性拟合, 可以表征等离子 A-106。换句话说, 可以确定表征等离子 A-106 的参数 (例如, 离子饱和度、离子饱和度斜率、电子温度、空载电压电势等)。尽管等离子 A-106 可以用收集的数据表征, 然而计算该参数的过程是需要人为干预的沉闷的手动过程。在一示例中, 当每个射频爆发后 (即, 当已经提供了射频充电然后将其关闭后) 已经收集了数据时, 该数据可以被馈送到软件分析程序。该软件分析程序可执行非线性拟合以确定可以表征该等离子的参数。通过表征该等离子, 工程师能够确定可以如何调整配方以最小化该衬底的标准处理。

[0049] 不幸的是, 分析每个射频爆发的数据的现有技术方法会需要若干秒或长达数分钟的时间来完成。因为通常有数千个 (如果不是数百万个的话) 射频爆发要分析, 所以表征配方的等离子的总时间可能要花几小时来计算。结果, 该现有技术方法无法有效地为工艺控制目的而提供及时的关联数据。

[0050] 现在参考附图中描绘的一些实施方式, 对本发明进行详细描述。在下面的描述中, 阐明了许多具体细节以提供对本发明的彻底理解。然而, 显然, 对于本领域的技术人员来说, 本发明没有这些具体细节中的一些或全部仍然可以实施。在其它情况下, 没有对已知的工艺步骤和 / 或结构进行详细描述, 以免不必要地模糊本发明。

[0051] 下面描述了包括方法和技术在内的各种实施方式。应当记住, 本发明也涵盖包括计算机可读介质的制造品, 在该计算机可读介质上存储有用于执行本发明的技术的各实施方式的计算机可读指令。计算机可读介质可包括, 例如, 半导体、磁的、光磁的、光学的或者其它形式的用于存储计算机可读编码的计算机可读介质。进一步, 本发明还可涵盖用于实现本发明的各实施方式的装置。这样的装置可包括用以执行与本发明的实施方式有关的任务的专用的和 / 或可编程的电路。这样的装置的例子包括恰当编程过的通用计算机和 / 或专用计算装置, 也可包括适于执行与本发明的实施方式有关的各种任务的计算机 / 计算装置和专用的 / 可编程的电路的结合。

[0052] 如上所述, 该 PIF 探针法可用于收集关于该等离子的数据, 其可位于该反应器室环境内。从传感器 (例如, PIF 探针) 收集的数据可用于表征该反应器室中的等离子。而且, 因为该传感器使用如图 A 中所示的收集表面, 所以也可以确定有关该室表面的数据。在现有技术中, 由该 PSD 探针收集的数据提供了可用于分析的现成的数据源。不幸的是, 可被收集的巨大的数据量使得及时地分析该数据成为挑战。因为可能收集数千甚或数百万的数据点, 识别关联间隔以准确地表征等离子成为一个艰巨的任务, 特别是因为数据通常是手动分析的。结果, 收集的数据对提供能够及时对等离子表征的等离子处理系统是没有用的。

[0053] 然而, 如果从数千 / 数百万个收集的数据点中识别出表征等离子所必需的关联数据点, 那么表征等离子所需的时间可以明显减少。依照本发明的实施方式, 提供一种在相对短的时间段内自动表征等离子的方法。此处描述的本发明的实施方式提供了一种用于识别该关联范围以减少表征等离子所需要分析的数据点的算法。此处所述的“关联范围”指的是从在每个射频爆发之间采集的数千或数万个数据点中的更小的一组数据点。本发明的实施方式进一步提供了估算可用于计算表征等离子的值的数学模型的种子值。通过对该关联范围执行曲线拟合, 可以计算出可用来表征等离子的参数。

[0054] 参考下面的附图和讨论,可以更好地理解本发明的特征和优点。

[0055] 图 D 显示了,在本发明的一个实施方式中,描绘用于在衬底处理过程中自动表征等离子的步骤的简单流程图。考虑以下情况,其中在衬底处理中已经提供了射频充电。

[0056] 在第一个步骤 D-402 中,收集电流和电压数据。在一个示例中,在该射频源被开启后,提供射频充电(脉冲)。在该射频充电被关闭后,可以使用电流传感器和电压传感器在探针(比如平坦离子流探针,其可被安装到该反应器室的室壁)收集数据。如上所述,可以由该传感器收集的数据点的数量可以在数千到数百万范围内。在一些情况下,在每个射频爆发之间可以收集数千到数万个数据点,使得现有技术中接近实时的分析几乎不可能。

[0057] 在现有技术中,可以分配若干小时来分析在半导体衬底处理过程中收集的测量数据。在本发明的一个方面中,本发明的发明人意识到,不需要分析每个射频爆发之间的测量数据以表征等离子。相反,如果将曲线拟合应用于数据组的关联范围,可以确定用于表征该等离子的参数。

[0058] 在下一个步骤 D-404 中,确定关联范围。如上所述,该关联范围指的是在每个射频爆发之间收集的数据组的子集。在现有技术中,因为数据是手动分析的,所以收集的数据的巨大的量使得计算该关联范围成为艰巨的任务。在许多情况下,可以目视估算该关联范围。在识别该关联范围时,可以从数据组的子集中基本上消除可能存在的噪声。在一个示例中,在复杂的衬底处理过程中,在该探针上可能发生聚合物累积,导致收集的数据的一部分是有偏差的。例如,被影响的这部分数据通常是一旦该电容器已经完全被放电后收集的数据。在识别该关联范围时,可以从分析中除去与该聚合物累积有关的数据。换句话说,该关联范围的确定使得能够进行等离子表征而不受随机噪声的影响。例如,在后面对图 E 的讨论中,提供了有关如何确定关联范围的讨论。

[0059] 除了识别该关联范围以外,在下一个步骤 D-406 中,还可以确定该种子值。此处讨论的“种子值”指的是该斜率、该电子温度、该离子饱和度值、该空载电压电势等的估算值。例如,在对图 E 的讨论中,提供了有关如何估算该种子值的讨论。

[0060] 利用该关联范围和该种子值执行曲线拟合。因为曲线拟合必须在下一个射频爆发之前执行,所以用于确定该关联范围和 / 或种子值的方法必须利用最小的总开销并产生接近最终拟合值的值,从而减少实现快速收敛所需的曲线拟合迭代的次数。

[0061] 使用该关联范围和该种子值,在下一个步骤 D-408 中,可以执行非线性拟合(例如,曲线拟合),从而使得该等离子能够在更短的时间段内被表征而无需昂贵的高端计算机。与现有技术不同,该方法允许来自单一射频爆发导致的衰退间隔的结果在大约 20 毫秒内被表征,而不是需要几分钟乃至几小时来处理。具备了这种近似实时分析的能力,该方法可以被用作自动控制系统的一部分以在等离子处理过程中向工程师提供关联数据。

[0062] 图 E 显示了,在本发明的一个实施方式中,用于确定该关联范围和种子值的简单算法。将联系图 F1、F2、F3 和 F4 对图 E 进行讨论。

[0063] 在第一个步骤 E-502 中,自动绘制在每个射频爆发过程中收集的数据。在一个示例中,由该电流传感器收集的电流数据被绘制到电流 / 时间图 F1-600 中,比如在图 F1 中所示的那个。在另一个示例中,收集的电压数据可被绘制到电压 / 时间图 F2-650 中,如图 F2 中所示。尽管该数据可能产生与现有技术类似的图表,然而与现有技术不同,该收集的数据被自动馈送到分析程序中而无需人为干预。替代地,无需绘制收集的测量数据。相反,可以

直接将数据馈送到该分析程序中。相反,该图被用作可视的示例来解释该算法。

[0064] 与现有技术不同,不分析整个数据组来表征等离子。相反,确定关联范围。为了确定关联范围,在下一个步骤 E-504 中,可以首先确定百分比衰退点。此处所述的“百分比衰退点”指的是原始值衰退到该原始值的某个百分比的那个数据点。在一个实施方式中,该百分比衰退点可代表被分析的数据间隔的末尾。在一个示例中,当该射频源被关掉时,该电流值约为 $0.86\text{mA}/\text{cm}^2$ 。图 F1 的图表 F1-600 上的数据点 F1-602 代表了该值。如果百分比衰退点被设定为该原始值的百分之十,该百分比衰退点在数据点 F1-604,约为 $0.086\text{mA}/\text{cm}^2$ 。换句话说,通过该原始值应用预定义的百分比,可以确定该百分比衰退点,其中该原始值是该射频源被关掉而该系统正返回平衡状态时的电荷的值。在一个实施方式中,百分比是根据经验确定的。在一个实施方式中,不是使用百分比衰退点来确定该数据间隔的末尾,而是计算在每个射频爆发时收集的数据的一阶导数的峰值。

[0065] 在下一个步骤 E-506 中,该算法可确定该离子饱和区间,其是该原始值和第二衰退点之间的数据子集。此处所述的“离子饱和区间”指的是该电流-电压 (IV) 曲线的区域,在该区域中该探针的电势相对于该空载电势足够负从而到该探针的电子通量是微不足道的。在此区域中,到该探针的电流随着负电势的增加而缓慢且线性地增加。另外,该离子饱和区间是一种状态,在该状态下该偏压相对于该空载电势足够负从而该探针会收集该系统中所有的现有离子。换句话说,当该偏压被升到足够高时,收集的电流“饱和”。而且,此处所述的“现有离子”指的是碰撞在该包层边界(当偏压进一步增加时其会扩大)上的离子的通量。

[0066] 换句话说,该离子饱和区间是与图 F1 的数据点 F1-602 和 F1-606 的间隔。在一个实施方式中,通过取该原始值的一个百分比(即,数据点 F1-602)可以确定该第二衰退点。在一个示例中,如果该第二衰退点是该原始值的约百分之 95,该第二衰退点约为 $0.81\text{mA}/\text{cm}^2$ (即,数据点 F1-606)。因此,该离子饱和区间是从该原始值(数据点 F1-602)到该第二衰退点(数据点 F1-606)。注意,该第二衰退点在该原始值(数据点 F1-602)和该百分比衰退点(数据点 F1-604)之间。与该百分比衰退点类似,在一个实施方式中,该第二衰退点也可以是基于该预定义阈值的。在一个实施方式中,该百分比是根据经验确定的。

[0067] 一旦确定了该离子饱和区间,在下一个步骤 E-508 中,可以估算该斜率(λ)和该离子饱和度(i_0)。如上所述,该斜率(λ)和该离子饱和度(i_0)是可用于数学模型(下面的方程 2)以确定表征等离子体的参数的四个种子值中的两个。在一个示例中,可以通过执行线性回归确定该斜率(λ)。在另一个实施方式中,该算法还可以通过取数据点 F1-602 和 F1-606 之间的数据值的平均值而确定该离子饱和度(i_0)。

[0068] 在下一个步骤 E-510 中,该算法可确定该拐点,其是该一阶导数改变正负号的点。在一个实施方式中,该拐点可以通过识别该百分比衰退点和该第二衰退点之间的电流值的一阶导数的最小值来计算。为了描绘,图 F3 显示了电流信号 F3-660 的百分比衰退点(F3-664)和原始点(F3-662)之间的值的一阶导数。拐点是该一阶导数(F3-670)的最小数据点,其具有 $-0.012\text{mA}/\text{cm}^2$ 的值和 226 的索引值(如数据点 F3-666 所示)。为了确定该转折值,该索引值被映射到电流信号绘图 F3-660。在此示例中,当该一阶导数的索引值被映射到电流信号 F3-660 时,该转折值是 $0.4714\text{mA}/\text{cm}^2$,如数据点 F3-668 所示。

[0069] 在一个实施方式中,该关联范围被定义为该原始值和该拐点之间的范围。附加地

或替代地,百分比衰退阈值可以被设定(例如,在百分之 35)而不是计算该拐点。在一个示例中,使用百分之 35 的百分比衰退点(其可以根据经验确定),该关联范围可降到图 F1 的点 F1-602 和 F1-604 之间。

$$[0070] \quad T_e = \text{abs} \left(\frac{I_{\text{meas}}(t)}{\left(\frac{dI_{\text{meas}}}{dV_{\text{meas}}} \right)} \right) = \text{abs} \left(\frac{I_{\text{meas}}(t)}{\left(\frac{dI_{\text{meas}}}{dt} \right) \left(\frac{dt}{dV_{\text{meas}}(t)} \right)} \right) \quad [\text{方程 1}]$$

[0071] 表 1:参数定义

[0072]

参数	变量名
I_{meas}	测量电流
V_{meas}	测量电压
t	当前时间
T_e	电子温度

[0073] 识别该拐点后,在下一个步骤 E-512 中,可以估算该电子温度。可以使用上面的方程 1 估算该电子温度。用于计算该电子温度的电流和电压数据在该转变间隔范围内,该转变间隔通常是当探针吸收比该离子饱和电流更小的电流时。在一个实施方式中,该电流和电压数据被测量的时间可以对应于该拐点。替代地,也可以使用该电流-电压(I-V)曲线的拐点。因为该电子温度是在对应于该电流-电压曲线上的拐点的的时间对射频爆发收集的数据的一阶导数(是在计算百分比衰退点中确定的)的比,产生该数值所需的计算总开销最小。

[0074] 在下一个步骤 E-514 中,该算法可确定该空载电压电势。因为该空载电压电势是根据收集的电压数据确定的,可以确定该空载电压电势而不必首先确定在步骤 E-504-E-512 中计算的值。本领域的技术人员意识到,空载电压电势是在该外部电容器被完全放电之后该探针悬浮的电势。通常,该空载电压电势可以通过看恰好在下一个射频爆发之前的信号而确定。然而,由于聚合物累积导致变形的可能性,可能会收集到错误的数(即,噪声);因此,可以通过对在接近该收集时间段的末端收集的电压值求平均值而计算该空载电压电势。在一个实施方式中,该空载电压电势可以从数据点 F2-652(该电压首次达到其空载电势的数据点)到数据点 F2-654(恰好在下一个射频爆发之前的数据点)计算,如图 F2 中所示。在另一个实施方式中,该空载电压电势可以基于窗 656 内的电压值,该窗 F2-656 位于数据点 F2-652 和 F2-654 之间,如图 F2 中所示。在一个实施方式中,窗 F2-656 可以是任何尺寸的,只要该窗开始于先前脉冲衰退超过百分比 99 之前并在下一个脉冲开始时结束。在一个实施方式中,该空载电压电势可以从提供具有低标准偏差(误差)的平均值的窗中确定。

[0075] 从上文可以看出,用于确定该关联范围和该种子值的方法考虑了在电流、电压和 /

或电流 - 电压 (I-V) 曲线中可能出现的异常。在一个示例中, 聚合物累积可能在射频爆发的末尾发生。然而, 通过应用上述算法, 该关联范围和该种子值不受处理过程中可能出现的意外的假象的影响。

[0076] 一旦确定了该关联范围并计算出该种子值, 在下一个步骤 E-516 中, 可以对比该电压值绘制该电流值, 并可以应用曲线拟合以生成图 F4 的图表 F4-680。在一个示例中, 可以应用非线性曲线拟合 (比如 Levenberg-Marquardt 算法) 来执行该曲线拟合。通过生成曲线拟合图表并将该种子值应用于该数学模型 (比如下面的方程 2), 可以确定用于表征该等离子的四个参数。

$$[0077] \quad I = I_0 \left\{ 1 - s * (V - V_f) - \exp \left[\frac{(V - V_f)}{T_e} \right] \right\} \quad [\text{方程 2}]$$

[0078] 表 2 参数定义

[0079]

参数	变量名
I	电流
I ₀	离子饱和度
S	斜率
V	电压
V _f	空载电压电势
T _e	电子温度

[0080] 从本发明的一个或更多实施方式中可以看出, 提供了一种用于在等离子处理过程中表征等离子的自动化方法。通过确定关联范围和一组种子值, 可以进行等离子表征而无需处理通常在单一射频爆发后收集的数千或数百万个数据点。该自动化方法将之前沉闷且手动的过程转化为可以被快速而高效地执行的自动化的任务。在数据分析从几分钟 (甚或数小时) 显著缩短到若干毫秒的情况下, 可以在等离子处理过程中而不是在生产过程后执行等离子表征。因此, 关联数据可以提供对当前等离子环境的洞察, 从而使得配方和 / 或工具的调整能够进行而使浪费最小化。

[0081] 尽管已经依照一些优选实施方式描述了本发明, 然而有落入本发明范围的变更、置换和等同。还应当注意, 有许多实现本发明的方法和装置的替代方式。尽管此处提供了各种实施例, 然而这些实施例意在是说明性的而非对本发明进行限制。

[0082] 而且, 本文提供的发明名称和发明内容也是为了方便, 不应当用于解释此处权利要求的范围。而且, 摘要是用高度浓缩的形式写成的, 在此提供是为了方便, 而不应当用来解释或限制整个发明, 发明用权利要求来表示。如果本文使用了术语“组”, 这种术语意在具有通常理解的数学含义, 涵盖零个、一个、或者一个以上成员。还应当注意, 所附权利要求的

范围意在被解读为包括所有这些落入本发明的真实精神和范围的变更、置换和等同替换。

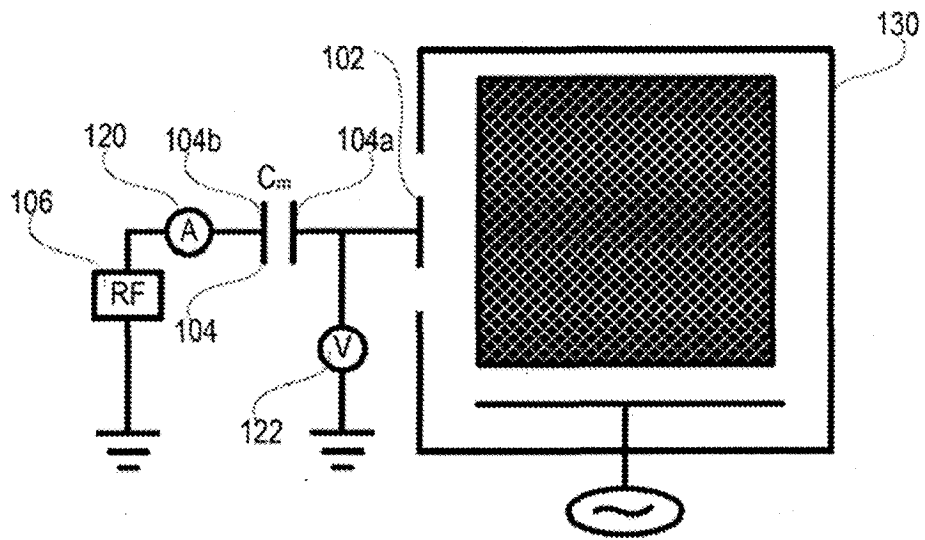


图 1

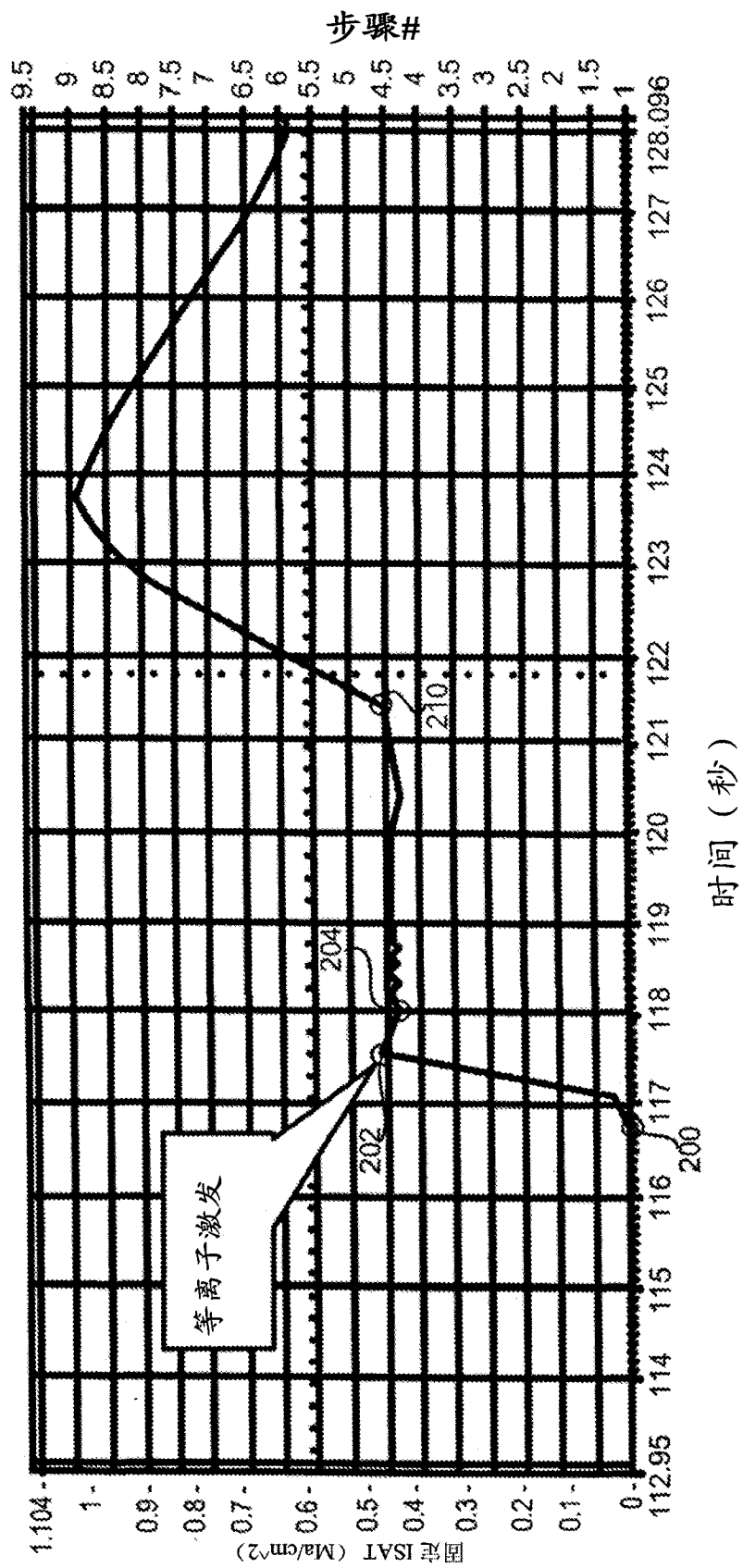


图 2 (现有技术)

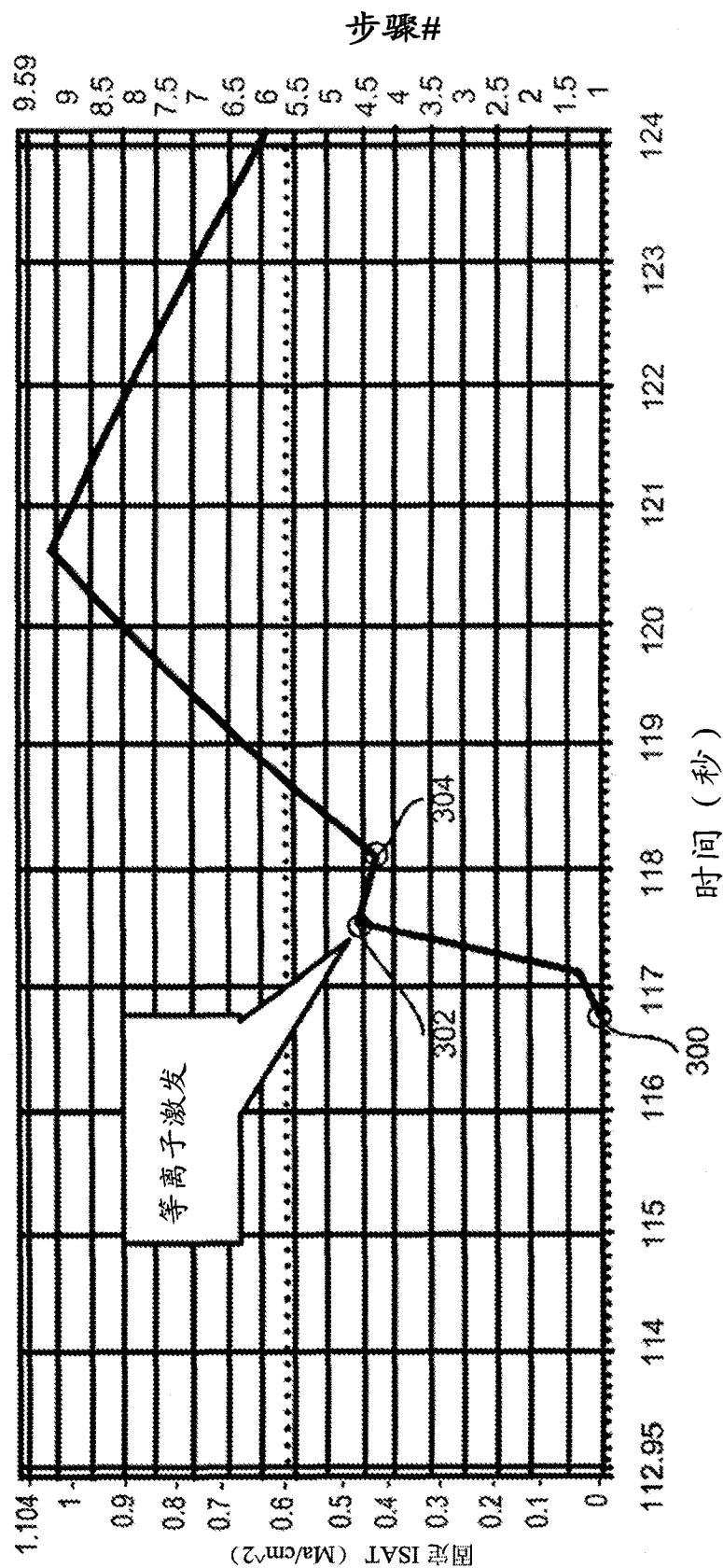


图 3

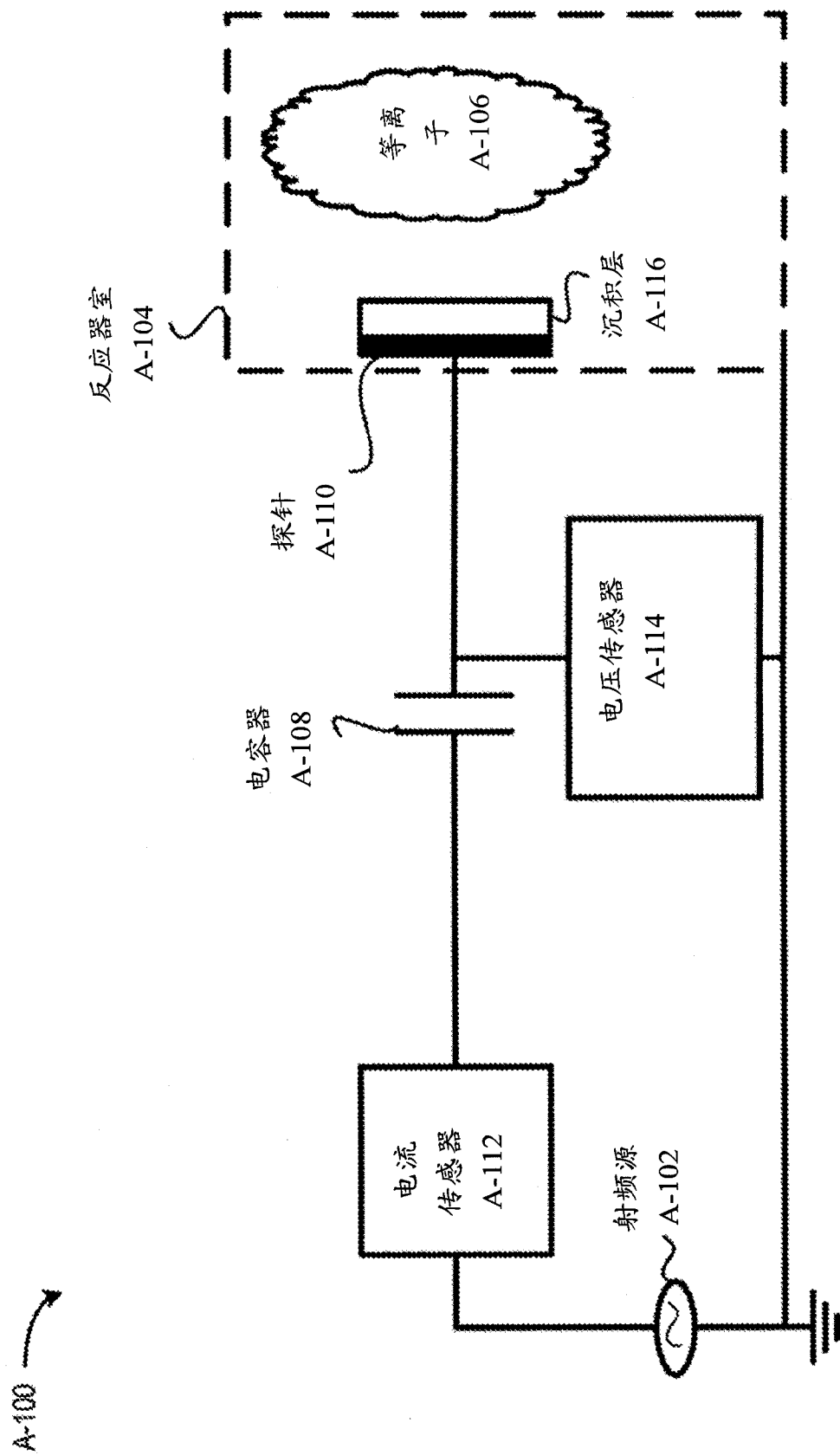


图 A（现有技术）

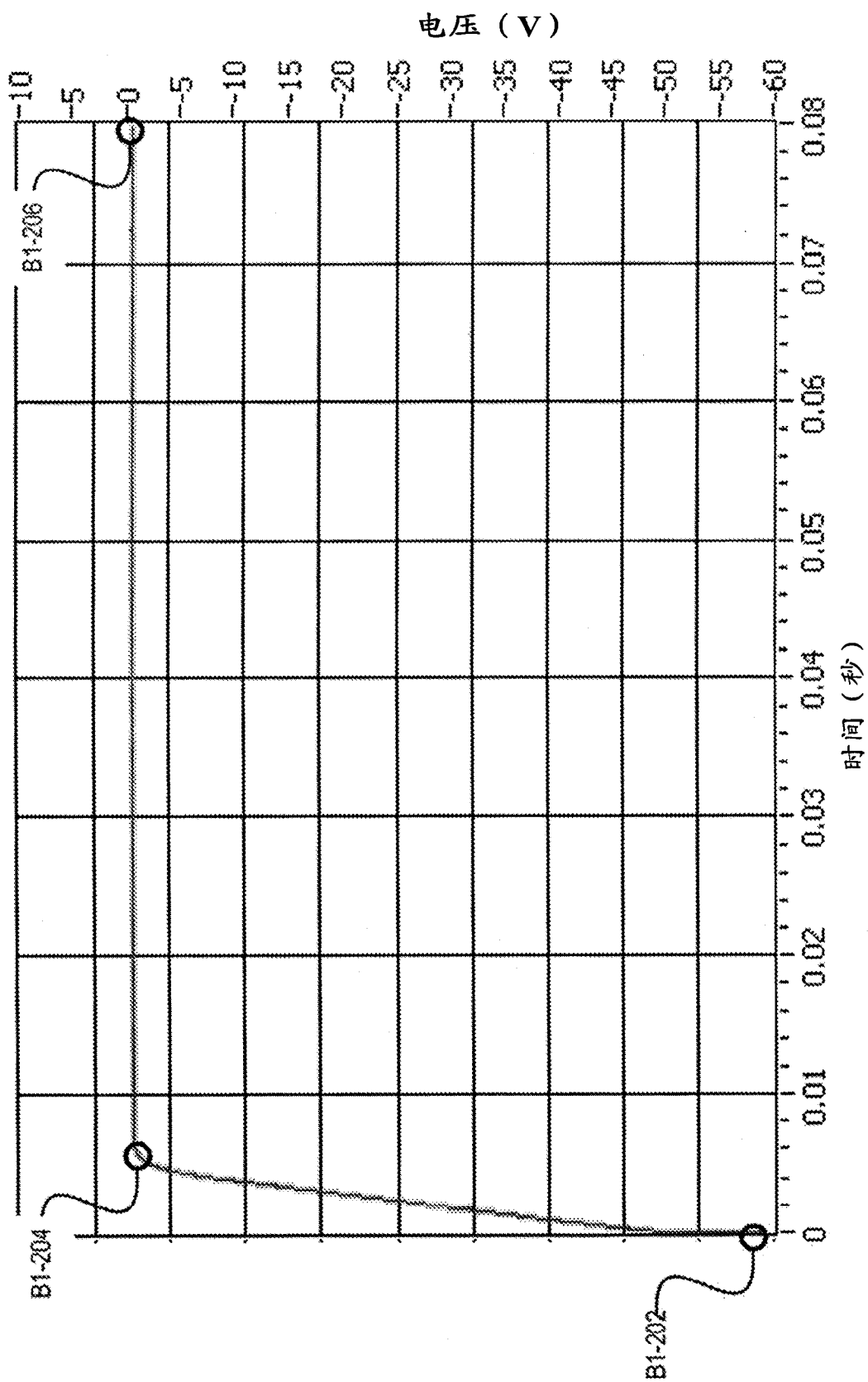


图 B1 (现有技术)

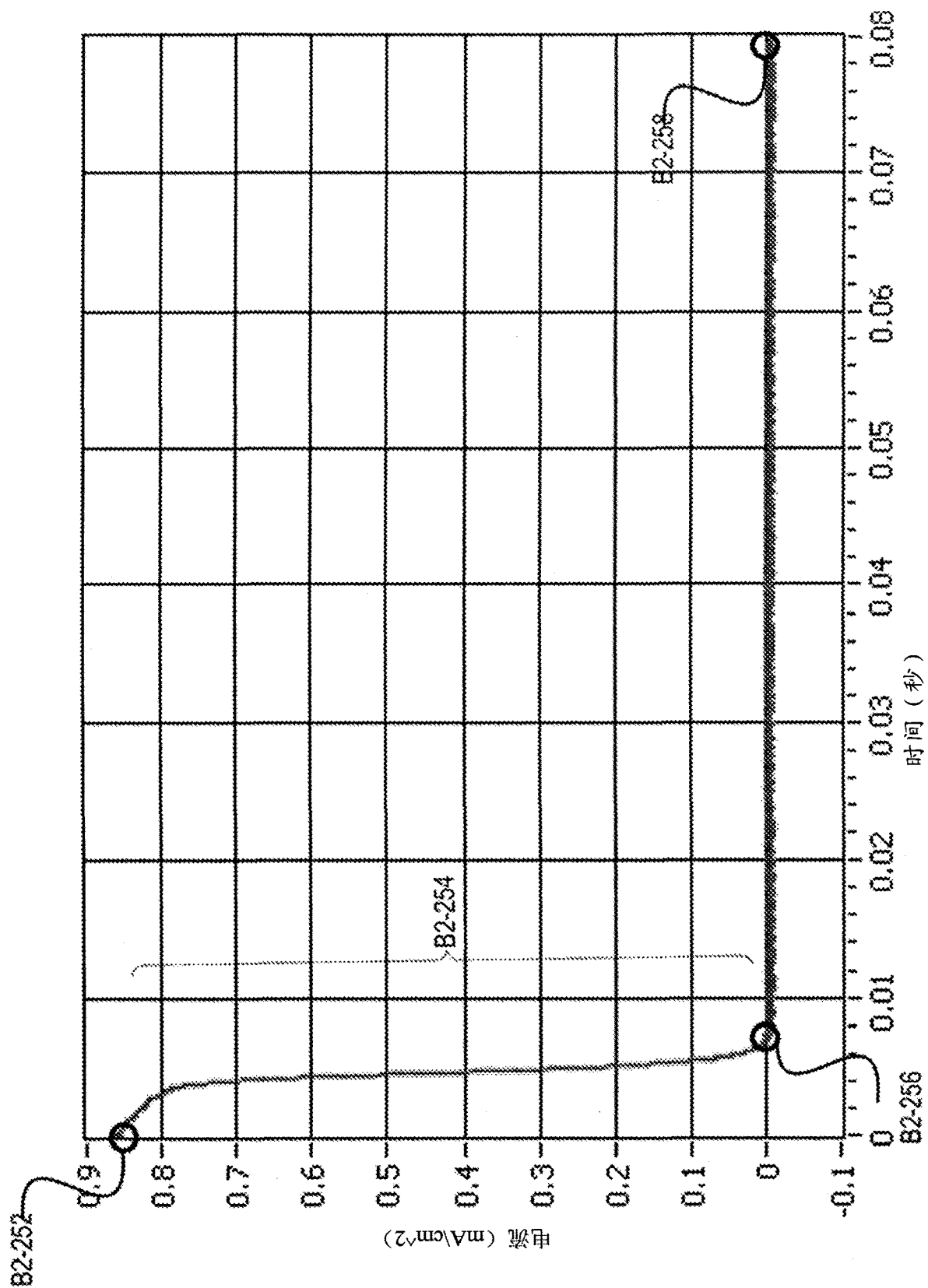


图 B2 (现有技术)

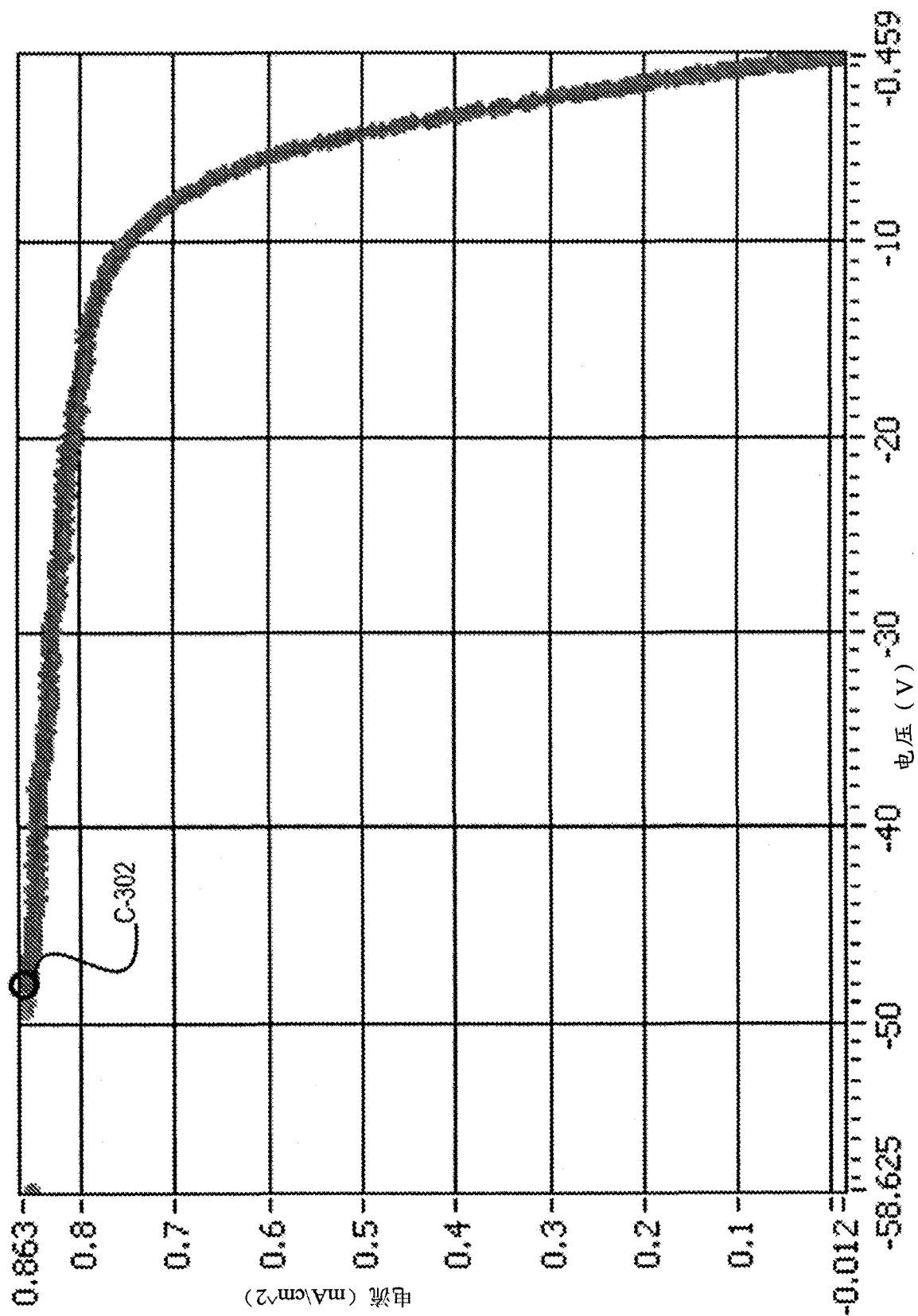


图 C (现有技术)

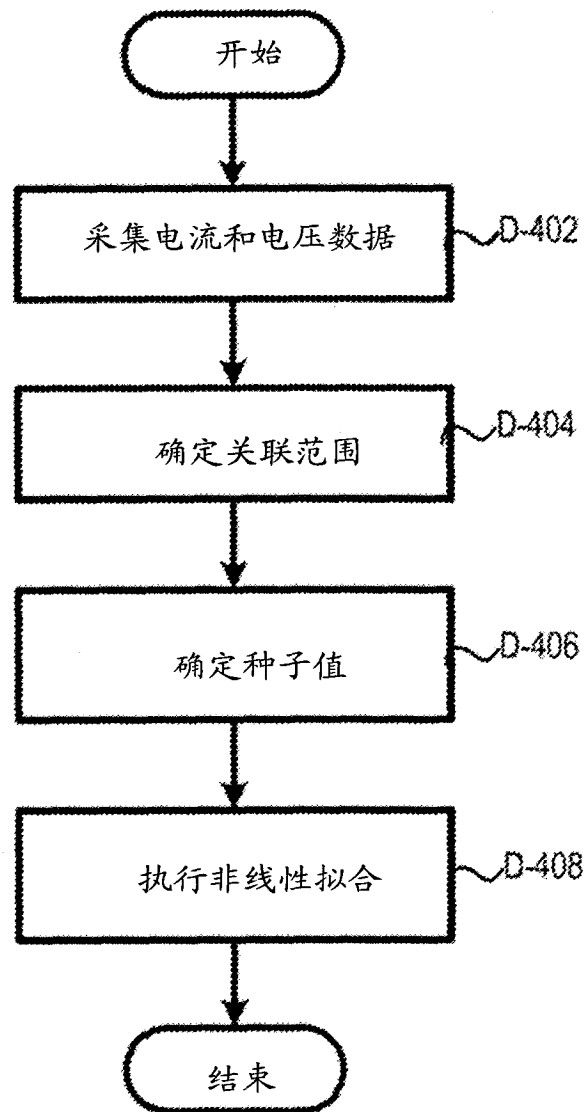


图 D

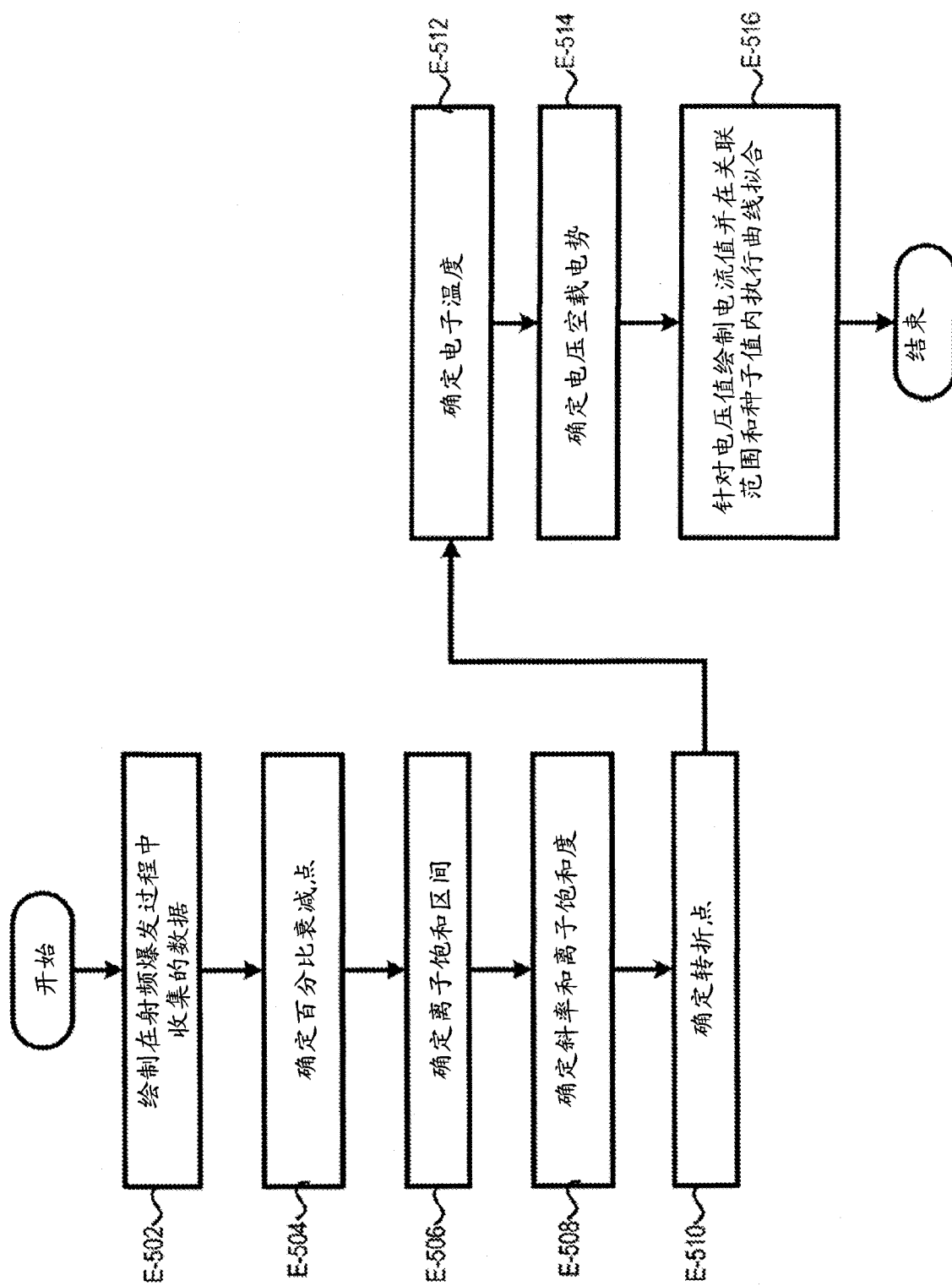


图 E

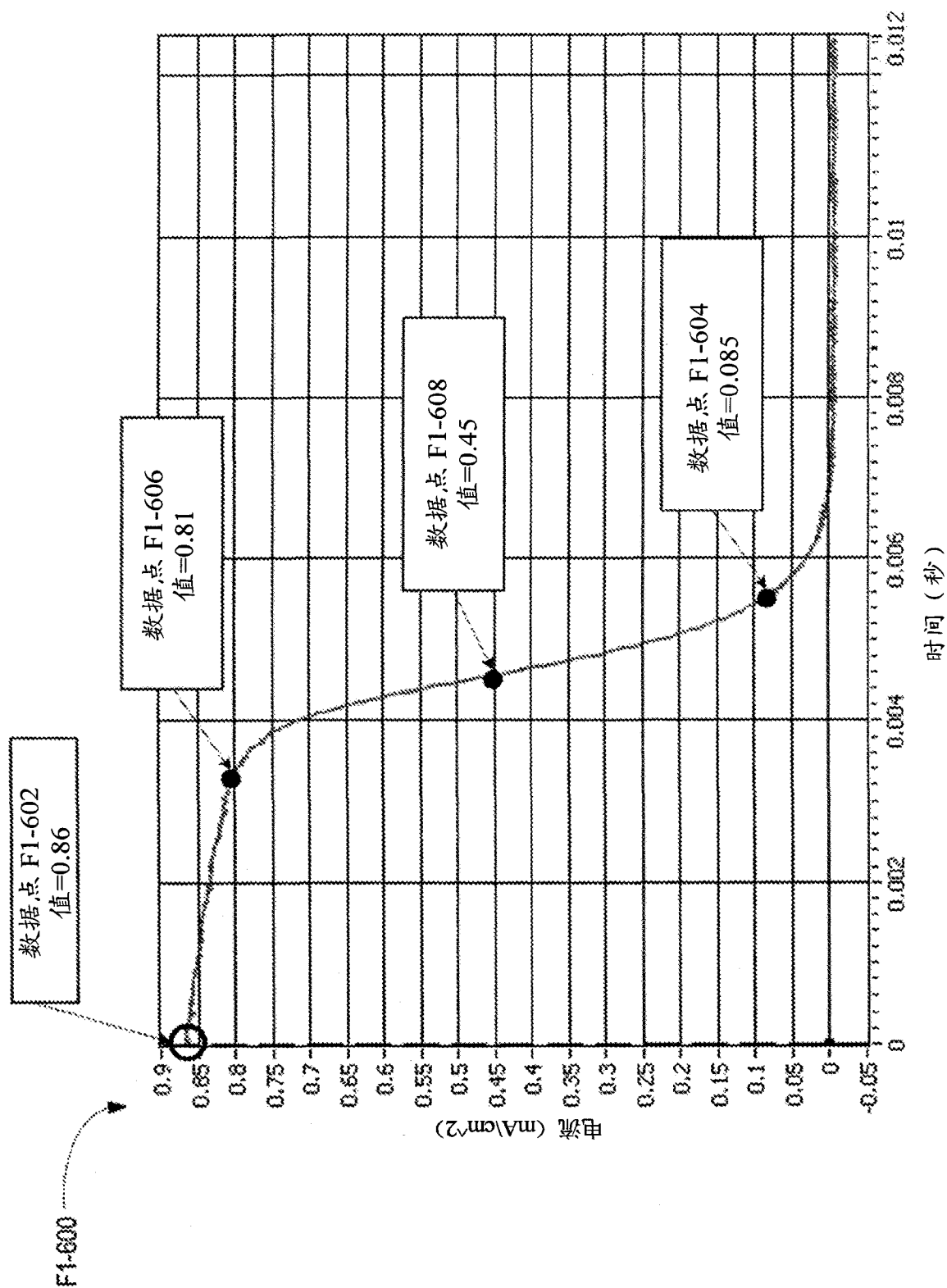


图 F1

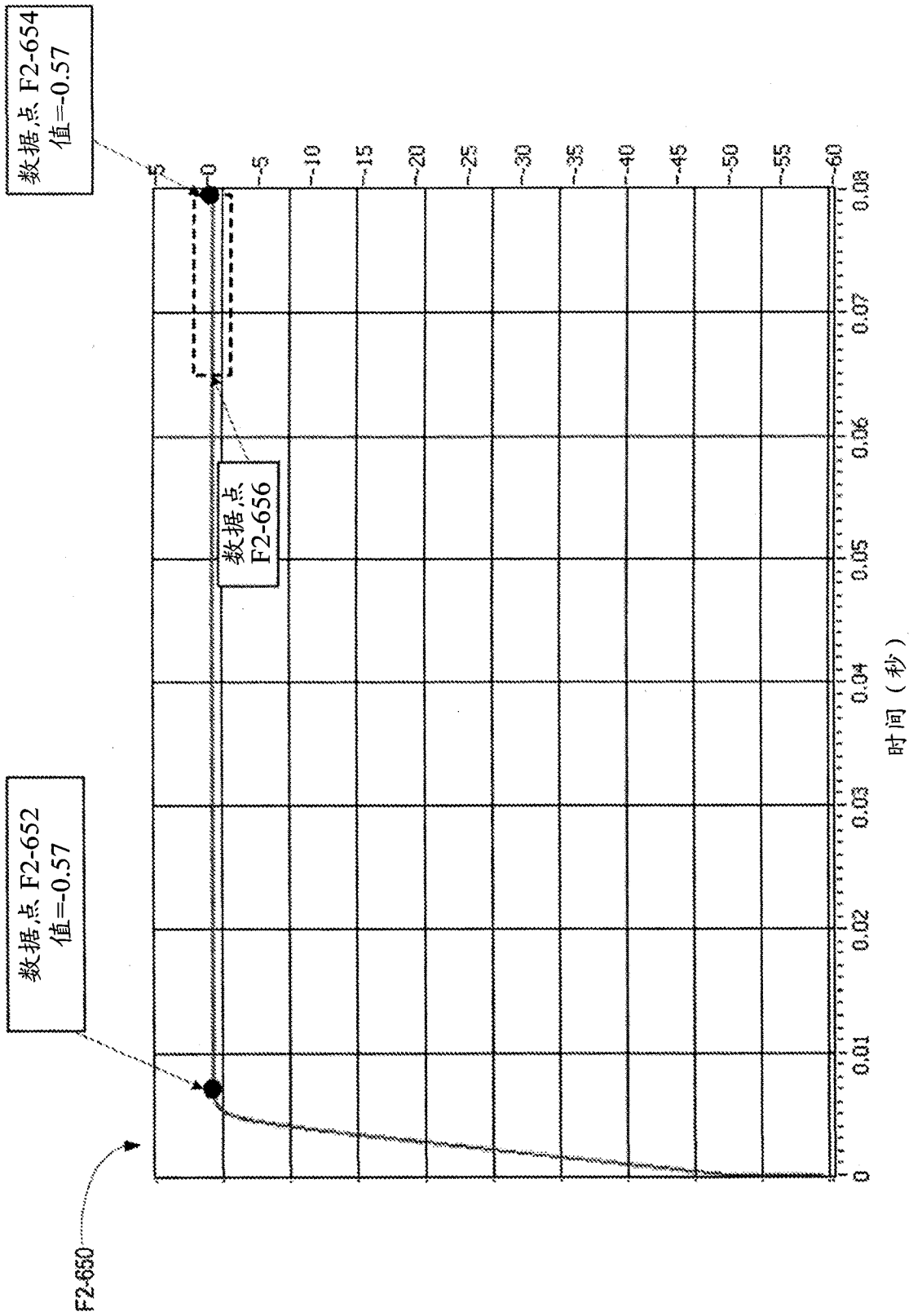


图 F2

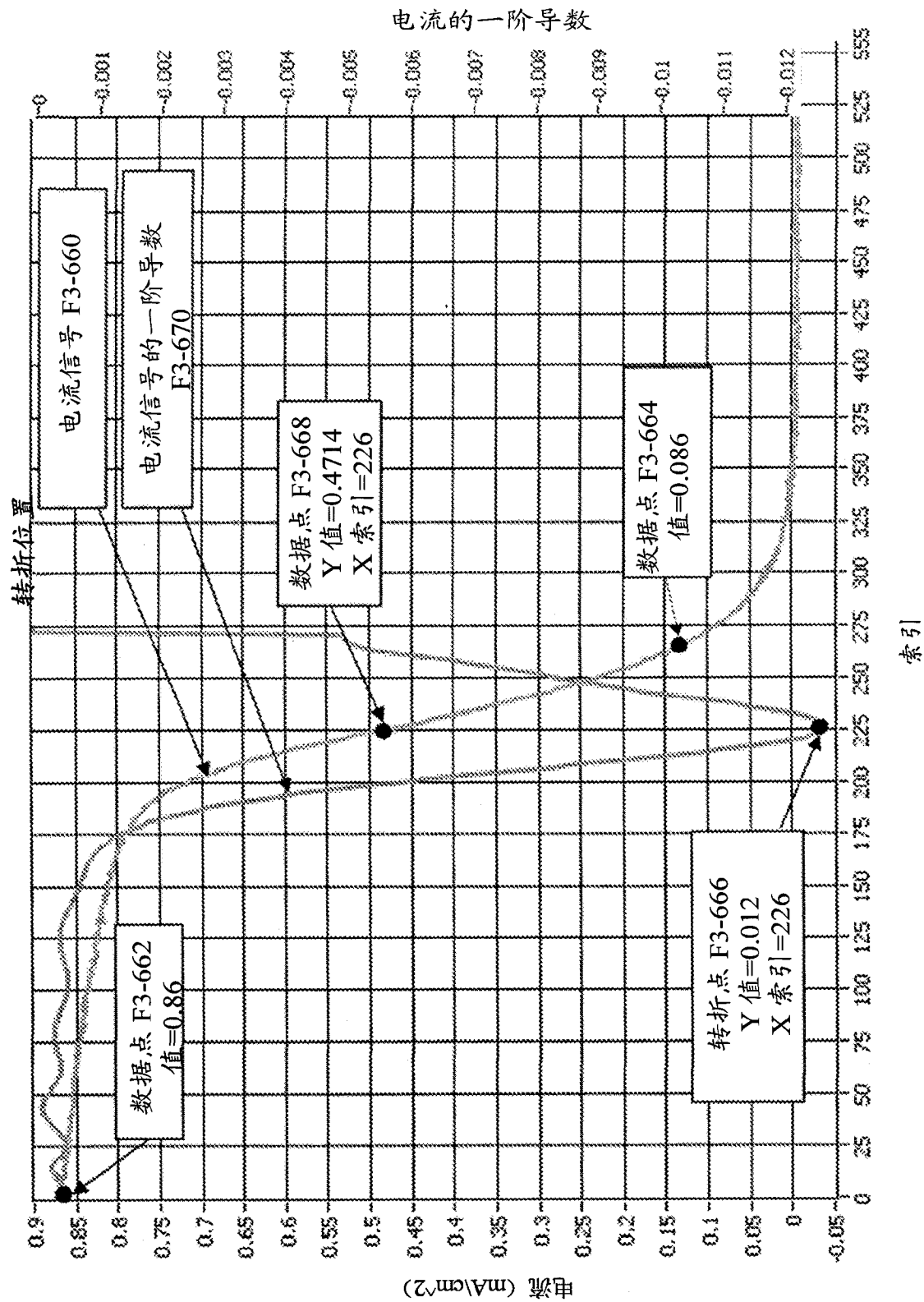


图 F3

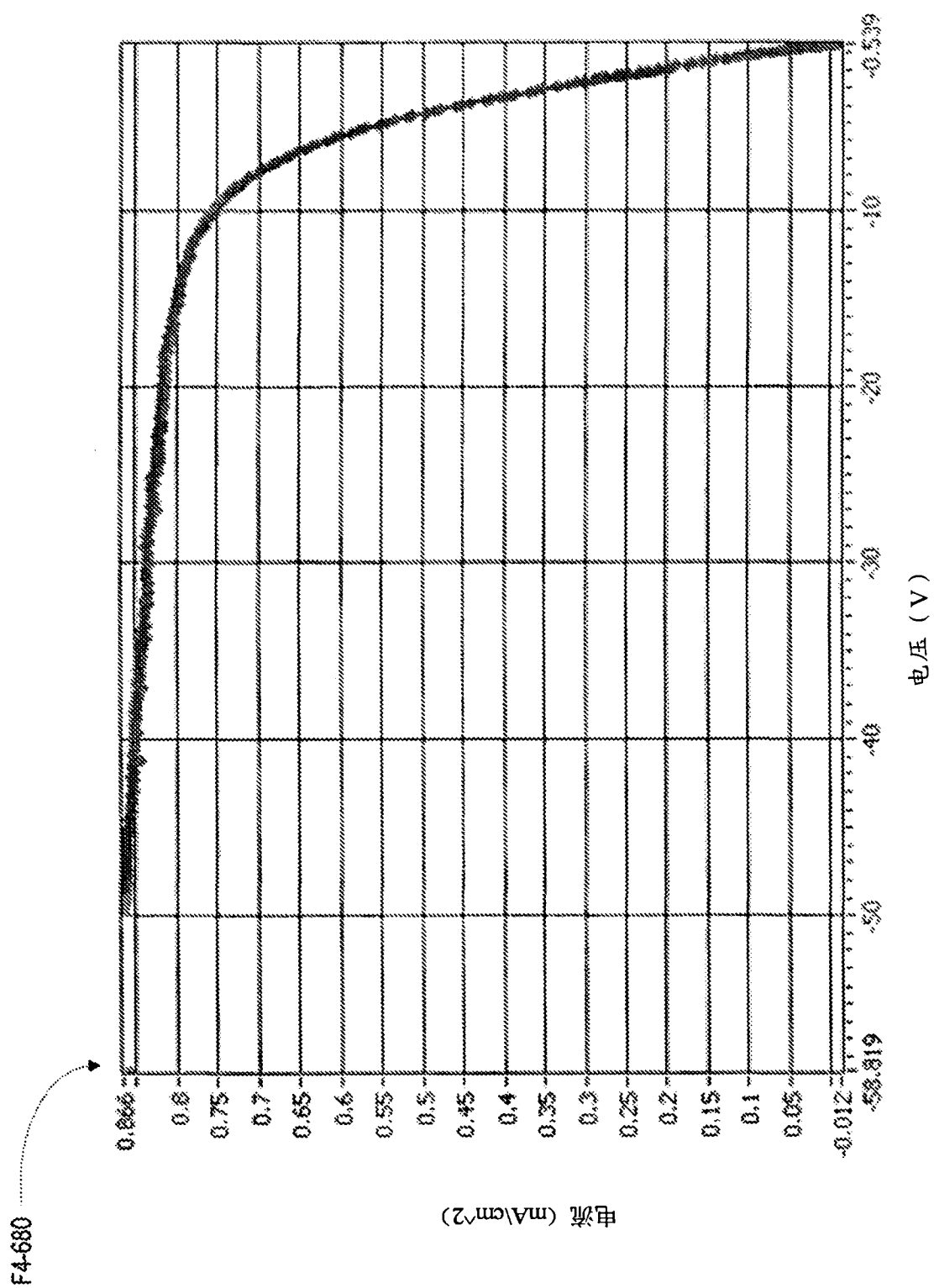


图 F4