



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105074481 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 18

(21) 申请号 201380073763. 2

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2013. 12. 27

G01R 31/00(2006. 01)

(30) 优先权数据

61/747, 199 2012. 12. 28 US

14/140, 860 2013. 12. 26 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2015. 08. 25

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2013/078038 2013. 12. 27

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/106075 EN 2014. 07. 03

(71) 申请人 伊利诺斯工具制品有限公司

地址 美国伊利诺伊州

(72) 发明人 莱尔·D·尼尔森

史蒂文·B·海曼

马克·E·霍塞特

(74) 专利代理机构 上海脱颖律师事务所 31259

代理人 脱颖

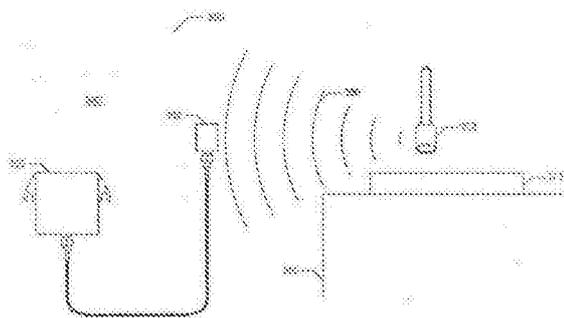
权利要求书2页 说明书12页 附图9页

(54) 发明名称

工具中 ESD 事件监测方法和设备

(57) 摘要

在本发明的一个实施例中,公开了一种用于静电放电(ESD)事件监测的设备,所述设备并入有带电器件模型事件模拟器(CDMES)单元,所述设备包括:至少一根天线,所述天线位于处理区域中;ESD检测器,所述ESD检测器耦接至所述至少一根天线;所述ESD检测器无线地耦接至所述CDMES单元;以及所述ESD检测器针对由所述CDMES单元产生的不同放电能量而经校准。



1. 一种用于静电放电 (ESD) 事件监测的设备, 所述设备并入有带电器件模型事件模拟器 (CDMES) 单元, 所述设备包括:

至少一根天线, 所述天线位于处理区域中;

ESD 检测器, 所述 ESD 检测器耦接至所述至少一根天线;

所述 ESD 检测器无线地耦接至所述 CDMES 单元; 以及

所述 ESD 检测器针对由所述 CDMES 单元产生的不同放电能量而经校准。

2. 如权利要求 1 所述的设备, 其中所述处理区域包括工具处理区域。

3. 如权利要求 1 所述的设备, 其中所述处理区域包括在所述工具处理区域外部的区域。

4. 如权利要求 1 所述的设备, 其中:

所述处理区域包括第一处理区域和第二处理区域;

所述至少一根天线包括耦接到所述 ESD 检测器的第一天线和耦接到所述 ESD 检测器的第二天线; 以及

所述第一天线定位在所述第一处理区域中, 以及所述第二天线定位在所述第二处理区域中。

5. 如权利要求 4 所述的设备, 其中所述第一处理区域与所述第二处理区域分隔开, 以及其中所述第一天线和所述第二天线形成多通道。

6. 如权利要求 4 所述的设备, 其中所述第一天线和所述第二天线具有类似的天线响应灵敏度。

7. 如权利要求 4 所述的设备, 其中所述第一天线和所述第二天线具有不同的天线响应灵敏度。

8. 如权利要求 1 所述的设备, 其中所述处理区域包括配置用于接收半导体芯片的插座。

9. 如权利要求 1 所述的设备, 其中所述处理区域包括配置用于接收多个半导体芯片的多个插座。

10. 如权利要求 1 所述的设备, 其中所述处理区域包括镊子, 所述镊子配置用于接收晶片。

11. 如权利要求 1 所述的设备, 其中所述处理区域包括导电迹线, 所述导电迹线可由测试探头接触。

12. 如权利要求 1 所述的设备, 其中所述 ESD 检测器包括:

电子静电放电检测器, 所述电子静电放电检测器配置用于检测辐射脉冲电磁信号, 配置用于鉴别不同的脉冲事件类型, 以及配置用于当 CDM 事件高于校准阈值时登记 CDM 事件。

13. 如权利要求 1 所述的设备, 其中所述检测器配置用于基于可调节的脉冲事件阈值来鉴别不同的脉冲事件类型。

14. 如权利要求 1 所述的设备, 其中所述检测器配置用于通过分析时域, 诸如脉冲持续时间, 中的 EMI (电磁干扰) 事件以及执行阈值鉴别来使用二维算法, 从而检测某些电磁能量的脉冲静电放电。

15. 如权利要求 1 所述的设备, 其中所述检测器是基于对所述 CDM 事件的一或多个模拟而针对特定的器件耐电压阈值校准的。

16. 如权利要求 1 所述的设备,其中所述至少一根天线包括:
微型天线,所述微型天线耦接到所述检测器;
其中所述微型天线包括天线增益特性以进行特定范围处的最佳检测,同时排除不期望的信号源。
17. 一种用于静电放电 (ESD) 事件监测的方法,所述方法并入有带电器件模型事件模拟器 (CDMES) 单元,所述方法包括:
检测放电能量;以及
针对不同的放电能量校准静电检测器。
18. 如权利要求 17 所述的方法,其中所述检测步骤包括:
基于可调节的脉冲事件阈值来鉴别不同的脉冲事件类型。
19. 如权利要求 17 所述的方法,其中所述检测步骤包括:
通过分析时域,诸如脉冲持续时间,中的 EMI (电磁干扰) 事件以及执行阈值鉴别来使用二维算法,从而检测某些电磁能量的脉冲静电放电。
20. 如权利要求 17 所述的方法,还包括:
设置天线增益特性以进行特定范围处的最佳检测,同时排除不期望的信号源。

工具中 ESD 事件监测方法和设备

[0001] 相关申请案的交叉引用

[0002] 本申请案要求美国临时申请案 No. 61/747, 199 的优先权和权益。

技术领域

[0003] 本发明的实施例大体涉及一种用于工具中监测和表征静电放电 (electrostatic discharge, ESD) 事件的方法和设备, 和 / 或涉及一种 CDMES/ 微型脉冲 (MiniPulse) 设备和方法, 和 / 或其他类型的带电器件模型事件模拟器 (charged device model event simulators, CDMES)、检测器和方法。本文所公开的至少一种方法和设备提供在例如集成电路 (integrated circuits, ICs) 生产工具和 / 或不同工艺中的实时 ESD 事件监测, 以及使用一种或多种带电器件模型 (charged device model, CDM) 方法来辅助阻止 ESD 相关滤波。本文公开了一种用于监测 ESD 事件的方法和两种用于校准监测器的方法。

背景技术

[0004] 本文所提供的背景技术描述是出于一般地提供本公开的上下文的目的。本发明人的某些工作 (即已在此背景技术部分中作出描述的工作) 以及说明书中某些在申请日时尚未成为现有技术的方面, 均不被明示或暗示为相对于本公开的现有技术。

[0005] CDM 事件代表在人工和自动化电子 IC 生产系统中发生的静电放电。在生产工具中, IC 可通过多种方式获取电荷, 诸如例如通过与附近电场接触、摩擦和 / 或感应 (仅列举几种可能的方式)。当 IC 的导电部分接触到接地装备部分或者具有较低电位的部分时, 所积聚的 IC 电荷自由地自发放电。因此, 相对较高的放电电流 (ESD 事件) 可损坏或者损伤 IC (参见, 例如图 1a 和图 1b)。

[0006] IC 部件的设计通常并入特别的手段 (或者特定部件) 以保护部分免受 ESD 影响。半导体行业已经开发出了用于测试 IC 器件的若干种标准方法, 并且已经定义出了所述 IC 器件的 CDM ESD 阈值参数, 例如耐电压和电流幅值。可应用的标准还详细说明了用于自动化 IC CDM 测试的测试设备要求。这些方法和器件可在 IC 设计阶段、产品认证最终测试和受损器件的故障分析期间使用。

[0007] 然而, 常规技术遭受以下将论述的各种约束和 / 或缺陷。根据本发明的各种实施例的一个目标为提供一种用于 IC 生产工具和制造工艺中实时监测和校准 ESD 事件的方法和设备。

[0008] 图 1a 示出工具或者处理腔室中带电 (IC) 器件 CDM 事件的典型放电模型 100。在图 1a 中, 微型脉冲 ESD 检测器 105 (或者另一类型的 ESD 检测器 105) 截取电磁波 140, 以及机械手放置操纵装置 115 (或者另一合适类型的机械臂 115) 将带电器件 125 放置到测试插座 130 中。所述测试插座 130 通常被放置在合适的测试台 131、基座 131 或者另一合适的平台 131 上。当带电器件 125 接近测试插座 130 时, 放电 (ESD) 发生并且天线 135 (耦接至微型脉冲检测器 105) 截取放电事件波 140。在该实例中, ESD 事件是以电火花形式在具有不同电压电位的两个导电部分 125 和 130 之间发生的放电 141。所述导电部分 125 和 130 以

及其他半导体处理装备可以在工具或者处理腔室 132 中,所述工具或者处理腔室 132 可具有任何合适的尺寸,诸如例如大约 2×2 英尺、4×4 英尺,或者其他尺寸。

[0009] 常规技术的当前问题是 ESD 检测器校准困难。此困难是由于例如提供放电事件本身的再现性的挑战。由于处理点本身的材料和构造强加在辐射电场波形上的条件,还存在其他困难。因此,当前技术受限于其性能并且遭受至少上述约束和缺陷。本发明的实施例提供用于克服校准 ESD 检测器的困难的系统及方法。

[0010] 图 1b 示出其中放电以电火花形式在两个导电部分之间发生的 CDM 静电事件的典型示例性电压 / 电流波形的屏幕截图。顶部波形 180 是示例性输出信号 (电流脉冲), 所述示例性输出信号类似于将在下文根据本发明的一个实施例论述的由 CDMES (带电器件模型事件模拟器) 产生的示例性输出信号。下部波形 185 是响应于入射传播场的示例性微型 ESD (MicroESD) 天线 135。

[0011] 在图 1b 中,顶部波形 180 示出脉冲信号,所述脉冲信号类似于也可从 CDMES 装置产生和 / 或模拟的脉冲信号,所述 CDMES 装置将在下文根据本发明的一个实施例进行论述。底部波形 185 示出由耦接至微型脉冲检测器 105 的天线 135 检测到的辐射信号。所述微型脉冲检测器 105 包括电子电路,所述电子电路能够接收由天线 135 截取的信号。如果电子电路基于同样将在下文论述的 ESD 电压和脉冲持续时间阈值水平而确定此信号是所关注的 ESD 事件,那么所述电子电路将归类此信号为 ESD 事件 110。

发明内容

[0012] 在本发明的一个实施例中,一种用于静电放电 (ESD) 事件监测的设备,所述设备并入有带电器件模型事件模拟器 (CDMES) 单元,所述设备包括 : 至少一根天线,所述天线位于第一处理区域中 ; ESD 检测器,所述 ESD 检测器耦接至所述至少一根天线 ; 所述 ESD 检测器无线地耦接至所述 CDMES 单元 ; 以及所述 ESD 检测器针对由所述 CDMES 单元产生的不同放电能量而经校准。

[0013] 在本发明的另一实施例中,一种用于静电放电 (ESD) 事件监测的方法,所述方法并入有带电器件模型事件模拟器 (CDMES) 单元,所述方法包括 : 检测放电能量 ; 以及针对不同的放电能量校准静电检测器。

[0014] 应了解,上文一般描述及下文详细描述都仅为示范性及说明性的并且并非限制本发明,如所主张的。

[0015] 并入和构成本说明书的一部分的附图示出了本发明的一个 (若干) 实施例,并且与上述描述一起用来解释本发明的原理。

附图说明

[0016] 参照以下附图描述了本发明的非限制性和非穷举性实施例,其中除非另有说明,否则在所有各种视图中相同的附图标记可以指示相同的部分。

[0017] 图 1a 是在工具或者处理腔室中带电 (IC) 器件 CDM 事件的典型放电模型的简图。

[0018] 图 1b 是其中放电以电火花形式在两个导电部分之间发生的 CDM 静电事件的典型示例性电压 / 电流波形的波形图的屏幕截图。

[0019] 图 2 是根据本发明的一个实施例的具有外接 HVPS (高压电源) 和示波器的带电器

件模型事件模拟器的简图。

[0020] 图 3a 是根据本发明的一个实施例的 CDMES 脉冲波形的方块图,所述 CDMES 脉冲波形代表当 CDMES 被触发时产生的典型电流脉冲。

[0021] 图 3b 是根据本发明的一个实施例的系统(或者设备)的简图,所述系统(或者设备)包含带电器件模型事件模拟器,并且其中所述系统被配置成还提供用于 ESD 事件检测器的校准方法。

[0022] 图 3c 是根据本发明的另一实施例的系统(或者设备)的简图。

[0023] 图 4a 是根据本发明的各个实施例的示出了通用多天线 ESD 检测阵列的简图。

[0024] 图 4b 是根据本发明的一个实施例的示出了微型 ESD (MicroESD) 天线组件的简图。

[0025] 图 5 是根据本发明的一个实施例的 ESD 检测器(微型脉冲)的方块图。

[0026] 图 6 是根据本发明的一个实施例的图 7 的 ESD 检测器的 ESD 监测器电路的示意图。

[0027] 图 7 示出本发明的一个实施例中从外部看到的微型脉冲 ESD 检测器的概略图。

[0028] 图 8 是根据本发明的一个实施例的微型脉冲 ESD 校准工艺的流程图中。

具体实施方式

[0029] 在本文的描述中,提供了众多细节,诸如部件、材料、部分、结构和 / 或方法的实例,以提供对本发明的实施例的透彻了解。然而,相关领域的技术人员将认识到本发明的实施例可在没有所述一或多个细节的情况下实践,或者可以使用其他设备、系统、方法、部件、材料、部分、结构等实践。在其他情况中,熟知的部件、材料、部分、结构、方法或者操作未示出或者详细描述,以避免模糊本发明的实施例的各个方面。另外,所述附图本质上是代表性的,并且他们的形状并非意欲示出任何构件的精确形状或精确尺寸,并且并非意欲限制本发明的范围。

[0030] 本领域的技术人员将理解,当附图中的构件或者部分被称为“在另一构件上”(或者“连接至另一构件”或者“耦接至另一构件”或者“附接至另一构件”)时,所述构件可以直接在其他构件上(或者直接附接到其他构件),或者也可存在介入构件。此外,相对术语,诸如“内部”、“外部”、“上部”、“上方”、“下部”、“下方”、“低于”、“向下”、“向上”、“朝向”和“远离”,以及类似术语,可在本文用于描述一个构件相对于另一构件的关系。应理解的是,这些术语旨在涵盖除了在附图中描述的取向以外的不同器件取向。

[0031] 虽然术语第一、第二等等可在本文中用于描述各种构件、部件、部分、区域、层、腔室和 / 或区段,但是这些构件、部件、部分、区域、层、腔室和 / 或区段不应受限于这些术语。这些术语仅用于区分一个构件、部件、部分、区域、层、腔室或者区段与另一个构件、部件、部分、区域、层、腔室或者区段。因此,在不脱离本发明的教导的情况下,如下论述的第一构件、部件、部分、区域、层、腔室或者区段可被称为第二构件、部件、部分、区域、层、腔室或者区段。

[0032] 另外,所述附图中示出的构件本质上是示意性的,并且他们的形状并非旨在示出装置构件的精确形状,并且并非旨在限制本发明的范围。此外,基于本文所呈现的对本发明的实施例的论述,本领域的技术人员将了解到附图中的部件的位置和 / 或构造可变化为不同尺寸、不同形状、不同位置,和 / 或不同构造。因此,在附图中示出的各种部件可被放置在与附图中所示的构造不同的其他位置中。出于解释本发明的实施例的功能性的目的,所述

附图中的部件被示出于非限制性的示例性位置中,并且所述附图中的这些部件可以被配置到其他示例性位置中。

[0033] 根据本发明的一个实施例,所述带电器件模型事件监测系统(或者设备)是出于以下考虑来开发的:一般说来,半导体工具处理腔室实质上是回声腔室,其由于周围的金属外壳构件而具有相对较高的电噪音水平。

[0034] 实际上,在反射由静电放电事件造成的内部电磁场辐射方面,每一工具具有独有的特性(例如,EMI 横摆)。关于 CDM 事件的典型场景是带电 IC 装置当其接触具有不同电位的工具或者处理构件时被放电。此跨介电间隙(通常为空气)的放电使得由不同电位形成的偶极崩塌,或者使得形成在带电 IC 和工具部分之间的电容器崩塌。本发明的一个实施例还提供了 ESD 事件监测器,ESD 事件监测器在本文中也被称为“微型脉冲”或者微型脉冲检测器或者 ESD 检测器。所述监测器是例如用于工作站、电子设备生产工具、工艺和移动应用的低成本的事件监测器。所得辐射脉冲电磁波形(辐射信号)是由例如微型脉冲检测器和可通信地耦接至所述微型脉冲检测器的天线检测的。如果此脉冲波形的所检测场电压电平高于用带电器件模型事件模拟器(CDMES)装备校准的阈值,则所述微型脉冲检测器登记重大的 CDM 事件。

[0035] 所述 CDM 事件是例如表征为较短(通常小于约 4 毫微秒)的电磁场持续时间变化,并且以较高的转换速率在天线中产生感应电压(电流)上升信号。因此,关于在工具中的 ESD 监测,所使用的检测系统应区分回声腔室环境中所关注的 CDM 信号与一般工具噪音。

[0036] 根据本发明的各种实施例,提供了用于 ESD 检测器的校准方法。合适的装备,诸如例如在本领域中已知的 CDMES 装置,可用于模拟 CDM 事件,以及随后根据本发明的一实施例执行校准方法。例如,CDM 事件的原位监测是通过以下方式而被促进的:在 IC 器件接触导电工具构件的点模拟实际工具中的一组火花隙放电。崩塌中的带电电容器放电模拟针对给定的 IC 器件处于预选的电压阈值的 CDM 事件。当此程序完成时,所述工具可被称为针对 IC CDM ESD 事件探测而经校准处于指定水平。

[0037] 已知的或者将在未来开发出的不同类型 CDMES 装置可用于模拟 CDM 事件,并且在模拟 CDM 事件或者不同的放电能量之后执行根据本发明的一个实施例的校准方法。

[0038] 所述 CDMES 在若干实施例中配置作为具有在放电间隙中的开口移动式电极的装置,或者具有汞继电器或射频继电器或高压射频继电器(例如舌簧继电器)的装置。

[0039] 所述 CDM 事件模拟放电产生在监测装置(微型脉冲)的接收天线中截取和检测到的信号。所述微型脉冲天线(MicroESD 天线)耦接到微型脉冲(参见图 3b)并且允许微型脉冲接收由于 ESD 事件产生的波形。所述微型脉冲可通过以下方式进行原位校准:根据所预计的 CDM 事件源改变 CDMES 放电电压和/或微型脉冲天线的位置。

[0040] 因此,所述 CDMES 是带电器件模拟器,所述带电器件模拟器产生已知的辐射电火花,所述辐射电火花类似于当带电器件接近于或者接触插座时出现的放电。此 CDMES 用于校准微型脉冲。直流电源耦接至 CDMES,并且任何合适的电源电压值(例如,100V、200V、500V,或者其他值)被施加到 CDMES。当模拟 ESD 事件时,天线检测来自 CDMES 产生的放电的波形,并且微型脉冲捕获和处理由天线检测到的波形。由于 CDMES 产生的放电造成的波形的实例在例如图 1b 中示出的示波器中被观测到,如下文还将进一步论述的。

[0041] 基于校准曲线和已知的产品 CDM 故障阈值,可以设置(或者以另外方式配置)用

于微型脉冲检测器的 ESD 阈值电压电平。如果 CDM 事件超过工具中实际 IC 放电事件的阈值水平,那么将产生来自微型脉冲的输出警报信号并且所述输出警报信号可被发送到工具控制系统。

[0042] 所述 CDM 事件模拟器已被设计为允许 ESD 监测器(检测器)在 CDM 事件发生的工具和工艺中被校准。此模拟装置允许具有不同电压幅值的经校准 CDM 事件的形成产生于生产装置最易受损和 ESD 监测传感器所定位的点处。这种方法向敏感器件提供最高水平的操作安全。

[0043] CDM 事件模拟器(CDMES)

[0044] IC 器件通常针对传统测试台上的故障阈值表征,并且被机械设计成模拟各种器件输入和输出连接上的放电。此信息被用来评估器件制造和系统集成的所有阶段期间的风险。在本发明的一个实施例中,使用 ESD 事件监测装置和故障阈值信息结合 CDM 事件模拟器(CDMES)提供了一种方法。

[0045] 在例如半导体、磁盘驱动器、FPD、自动化 IC 处理和大量其他制造工艺中的许多应用在发生直接放电(在 IC 引脚和接地导体之间的静电放电)的位置处理敏感性产品(作为一个实例,参见图 1a 和图 1b)。

[0046] 在监测点(或者区域)处模拟 CDM 事件已在试图使用实际带电器件时引起挑战。此困难一部分涉及放电事件本身的再现性。由于处理点本身的材料和构造强加在辐射电场波形上的条件,还存在其他困难。两种版本的 CDM 事件模拟器在处理点处提供可再现的 CDM 校准事件,所述处理点考虑了非典型的位置条件(参见图 2 中 CDM 事件模拟器版本 1 的概略图)。

[0047] 还应注意的是,本文论述的系统和方法(具有各种 CDMES 和微型脉冲检测器)可在工具或者处理腔室中使用,并且还可在开放式工作台、任何桌面、实际环境,或者其中经校准的 CDM 出于校准 ESD 检测器的目的而被辐射(被创建)并且被检测的任何其他合适的环境中使用。

[0048] CDMES 版本 1:用机械间隙来产生 CDM 事件;

[0049] 第一版本的 CDM 事件模拟器(CDMES)使用机械间隙控制来模拟崩塌电容器事件,从而模拟在带电 IC 和处于不同电位或者接地基准的对象(目标)之间的静电放电。具体地,此实施例模型化带电器件模型(CDM)放电类型,所述 CDM 放电类型表征为在装置和地面之间转移的电流的快速单峰脉冲波形。CDMES 电源电路并入了高电阻(高达例如约 100 兆欧姆或更大),因此跨此间隙的电压较高(大约 25V-3000V 的范围),并且所施加的电流在此范围中小于 10 微安培。

[0050] 对于任意的带电接触和典型的接地将发生静电放电(参见图 1a 和 1b)。因此,当用电源电压对 CDMES 充电时,此 CDMES 将模拟 ESD 事件,所述 ESD 事件产生可由示波器检测并且在示波器中再现的脉冲波形。

[0051] 在此示波器上再现的 CDM 脉冲是电流脉冲波形的曲线图,并且对应于在所有标准文献(IEC 61000-4-4-2、ISO10605、JESD22-C101E)中提及的典型 CDM 波形。所产生的波形还对应于输入 CDM 脉冲波形,传统器件测试机(参见例如上述标准参考文献)使用所述输入 CDM 脉冲波形来评价器件 ESD 敏感度。

[0052] 图 2 是具有放电头部 202 的带电器件模型事件模拟器 200 的概略图,所述放电头

部 202 电耦接至外接 HVPS(高压电源) 205 和示波器 210。

[0053] 图 3a 是典型的 CDMES 脉冲波形, 代表当 CDMES 被触发时所产生的放电电流脉冲。在示波器屏幕截图 300 的该实例中, 例如来自 HVPS 205 的大约 100V 的电压放电将触发 CDMES 而产生具有波形 310 的典型电流脉冲 305。此典型的电流脉冲 305 将造成静电事件, 在所述静电事件中放电以电火花的形式在两个导电部分之间发生。

[0054] 图 3b 是根据本发明的一个实施例的系统 350 (或者设备 350) 的简图, 所述系统 350 包括带电器件模型事件模拟器 352 (或者 CDMES 352 或 CDMES 单元 352), 并且其中所述系统 350 还配置用于提供 ESD 事件检测器 355 的校准方法。因此, 图 3b 示出对微型脉冲 ESD 事件检测器 355 的 CDMES ESD 校准的描绘。由 CDMES 352 执行的 ESD 模拟, 以及 ESD 事件检测器 355 的校准方法可在实际工具或者处理腔室 362 中 (原位) 实现。然而, 如上所述, CDMES 的实施例可替代地在开放式工作台、任何桌面、实际环境, 或者其中经校准的 CDM 出于校准 ESD 检测器的目的而被创建并且被检测的任何其他合适的环境中使用。

[0055] 如参照图 2 类似论述的, CDMES 352 与 HVPS 205 和示波器 210 耦接 (并且一起操作)。CDMES 352 经由电气链路 266 (例如, 电缆) 电耦接至电源 205, 以供应电压至 CDMES 352。CDMES 352 还经由电气链路 267 (例如, 电缆) 电耦接到示波器 210, 所述示波器 210 检测和测量由 CDMES 装置 352 产生的输出信号 (电流脉冲) (参见图 3a 中的输出信号 310), 如下文将进一步论述的。当触发按钮被按下时, CDMES 352 (CDMES 单元 352) 使用来自 HVPS 205 的电压和内部 ESD 事件产生机制来产生电流脉冲事件。

[0056] (CDMES 352 的) 放电头部由来自 HVPS 205 的电压充电。天线 382 (耦接至 ESD 检测器 355) 截取在 CDMES 352 内产生的放电事件的辐射 380 (或者电磁波 380)。天线 382 配置用于检测辐射 380 中的不同放电能量。同样如上所述地, 利用 CDMES 352 和对应构件 (例如, HVPS 205、示波器 210 和 ESD 检测器 355) 对 ESD 事件的模拟可在腔室 362 内执行, 或者可在腔室 362 外执行 (即, 可在开放式工作台、任何桌面、实际环境, 或者其中经校准的 CDM 是出于校准 ESD 检测器 355 的目的而被创建和检测的任何其他合适的环境中执行)。

[0057] 图 3b 的附图示出当天线 382 沿着 CDMES 352 的辐射构件 (放电头部) 的轴并且垂直于所述辐射构件时, 在零 (NULL) 场区方向中的辐射 380。任何信号将主要由于反射形成。如果 CDMES 352 被逆时针 (CCW) 旋转约 90 度, 那么信号将受到显著影响。

[0058] 在正常器件处理发生的点处 CDMES 352 被放电, 以模拟器件 CDM 放电事件。ESD 检测器 355 (微型脉冲 355) 具有继电器输出, 以向工具控制系统通知 ESD 事件。

[0059] ESD 检测器 355 中的栅极检测输入是测试点, 所述测试点可用于设置微型脉冲 355 的 ESD 触发阈值水平, 其中 ESD 触发阈值水平将鉴别所关注的 ESD 事件。

[0060] ESD 检测器 355 的继电器输出可用于监测 (微型脉冲 355 的) 微型脉冲警报状态。所述继电器输出是例如集电极开路驱动器, 所述集电极开路驱动器在可听警报从微型脉冲 355 发出的同时被拉到接地。

[0061] 在微型脉冲检测器 355 (图 3b) 的校准工艺期间, 各种电源电压值 (例如, 大约 20V、100V、500V, 或者其他值) 和 CDMES 352 的崩塌电容器允许使用者模拟所需的 ESD 事件强度。

[0062] 本文在本发明的一个实施例中公开的此 CDM 校准方法具有可为以下中的一或多个的大量可能益处。

[0063] • 校准工具和工艺中的 ESD 传感器的能力,其中所述 ESD 传感器将会被使用,而不是单独地经由实验室校准或者粗略的近似例程来使用。

[0064] • CDM 原位模拟自动考虑了影响传感器校准的可变条件。

[0065] • 允许经由简化高重复事件的模拟来对 ESD 传感器有效性进行统计验证。

[0066] • 允许在工具开发过程期间针对 CDM 放电事件校准器件处理工具。

[0067] • 允许 ESD 检测器定期原位校准,去除了从工具或者工艺拆卸检测器以进行实验室校准的必要性。

[0068] 此版本的 CDMES 的主要优点包括以下一或多个:

[0069] • 较小的辐射天线允许在更受限的工具空间中使用。

[0070] • CDM 模拟事件具有更少的变化,这是由于去除了第一版本的 CDMES 的手动触发接口(即,触发是使用不连续定时开关进行的)。

[0071] ESD 事件检测器

[0072] 在半导体、磁盘驱动器、FPD、自动化 IC 处理和大量其他的制造工艺中的许多应用与 ESD 敏感性产品一起在难以直接监测/控制的位置中操作。此外,这些环境中的许多环境在本质上充满从 HVDC 电源、电动机和致动器到宽带通信(射频)单元范围的 EMI 噪音源。在与产品处理相关的特定点处检测 ESD 事件可为挑战性的。

[0073] 新颖的 ESD 事件检测器的四个主要特征为:

[0074] 1. 通过脉冲转换速率和在纳秒范围中的持续时间来控制 ESD 检测。所述“微型脉冲”检测器 355(图 3b)能够鉴别不同的脉冲事件类型。这使得其能够根据其他的 EMI(电磁干扰或者发射)脉冲群信号(例如,从发动机、开关装置、蜂窝电话、电视、WiFi、环境噪音等释放的信号)确定和选择有效的 ESD 类型事件。因此,微型脉冲检测器 355 确定 ESD 脉冲事件是否符合所选的脉冲事件阈值,从而所述微型脉冲检测器 355 可确定 ESD 脉冲事件是否属于 CDM 带电器件模型,而非机器模型和人类模型。如本领域中的技术人员已知的,带电器件模型、机器模型和人类模型中的 ESD 事件将具有不同的电阻因数、电容因数,以及特征。虽然微型脉冲检测器 355 的一个实施例并非实际上指示 CDM、HBM 和 MM 类型 ESD 事件之间的差异,但是微型脉冲检测器 355 基于大于触发阈值的信号幅值来确定触发有效性,以及所述脉冲事件是否符合时间缓冲(即,被鉴定为脉冲)。

[0075] 2. 可调节的放电能量阈值控制。由于随着距离变化的电磁场衰减,许多较宽面积的 ESD 事件能够通过调节电压灵敏度阈值以匹配局部事件幅值(例如,1 伏特、100 伏特、500 伏特,或者其他值的阈值)而被过滤掉。

[0076] 3. 现根据本发明的一个实施例论述一种 ESD 检测方法。ESD 事件产生电磁脉冲。此脉冲在形式上被描述为电磁辐射通量密度,所述电磁辐射通量密度从来源处以球形向外辐射,其中辐射能量随着波前进远离所述来源而逐渐减小。所述微型脉冲 355 经由通过感应场耦合与偶极天线相互作用来对此扩张场采样。所述扩张电场的能量耦接至天线,以在天线电缆上产生信号。所述微型脉冲检测器单元 355 解调所述电缆上的输入信号,从而将各种频率分解成他们的有功分量。所述微型脉冲 355 测量辐射脉冲瞬变的混合功率(瓦)以确定所述混合功率是否大于检测阈值设置。如果大于,那么微型脉冲 355 触发所关注的事件。如果功率电平低于针对检测所设置的阈值,那么事件被忽略。此外,所述微型脉冲检测器 355 还使用比较电路(参见在图 5 和图 6 中的比较器 508)在脉冲持续时间内对输入

信号采样,以确定所述脉冲是否被鉴定为有可能的ESD事件。如果所述脉冲持续时间在CDM和其他ESD事件(HBM和MM)的典型时间间隔范围内,那么脉冲触发检测器。此检测方法不同于标准时域(相对于频域)信号分析。时域测量,诸如用高速、宽频带示波器进行的那些,典型地提取峰值电压电平。所述微型脉冲355更类似于频谱分析仪地工作,所述频谱分析仪提取ESD事件信号的功率。这种方法的主要优点是检测硬件的经济性。高速采样(如在时域方法中)的需要不是关键性的。跨所述信号频率的辐射脉冲功率提供了很好的信号功率一阶近似,使得能够在不同ESD事件幅值之间进行比较。

[0077] 4. 所述“微型脉冲”能量阈值控制灵敏度允许向下微调至非常小的采集区域。这是将所检测的ESD事件限制为仅对使用者而言具有关键重要性的那些和/或为使用者所关注的那些的重要方面。

[0078] 5. 天线配置。ESD事件检测中特定处理点的另一关键因素为天线382的形成和放置(图3b)。所述天线382的物理增益特性在控制ESD信号采集方面起着重要的作用。所述特别设计的天线(耦接至微型脉冲检测器355)的方向增益特征结构可用于针对使用者所关注的给定ESD事件校准微型脉冲检测器355。

[0079] 6. 天线性能和噪音不敏感性。MicroESD天线382(或者微型天线382)是特别设计用于静电放电(ESD)事件检测。所述工程化特性允许针对源位置方向性地检测ESD辐射能量,同时忽略不关注的其他附近事件。

[0080] 本发明的实施例相对于常规技术(美国专利6,563,316和专利申请US2009/0167313)的特定改善,以及其他可用的ESD事件监测产品:

[0081] 1. 解调对数放大器505(图5)从所检测的ESD信号提取多频放大电平。这允许“微型脉冲”355鉴别信号电平以更精确地进行阈值控制。因此,本发明的实施例提供解调对数放大器505,所述解调对数放大器505以测量模式操作并且产生与选择用于鉴别信号电平的阈值相匹配的输出信号。这种技术尚未被上市的其他检测器产品使用过。

[0082] 2. 经特别设计以与本产品(“MicroESD”天线382)一起使用的天线382使用工程化的增益特性进行特定范围内的最佳检测,同时排除非期望信号源。此天线的外形尺寸和构造已经针对静电放电(ESD)辐射脉冲瞬态信号进行了频宽优化。上市的其他检测器使用具有不必要的宽频带特性的标准多用途射频频天线。这种使用上市检测器的方法使得ESD脉冲瞬变事件和其他EMI信号源之间的信号分离很成问题。

[0083] 3. 进行原位ESD监测器校准以检测特定类型的ESD事件的方法目前是可能的。因此,本发明的实施例可被投入工具和应用(或者其他特定区域)中,以便检测特定脉冲事件和排除其他不关注的信号。相反,当前的ESD事件检测器被设计成一般性地检测ESD事件,不具有本发明的实施例的上述优点。

[0084] 图3c是根据本发明的另一实施例的系统(或者设备)388的简图。出于论述的清晰性目的,所述系统388以俯视图示出。如关于图3a中的系统350所类似论述的,系统388配置用于静电放电(ESD)事件监测并且并入有带电器件模型事件模拟器(CDMES)单元。

[0085] 在本发明的一个实施例中,系统388包括定位在处理区域389a中的至少一根天线382a,以及耦接至所述天线382a的ESD检测器355。因为天线382a配置用于从CDMES单元352接收辐射380,所以天线382a无线地耦接到CDMES单元352。所述ESD检测器355是针对由CDMES单元352产生的不同放电能量而校准的。

[0086] 处理区域 389a 可为例如工具处理区域或者工具处理区域外部的区域。

[0087] 在本发明的另一实施例中,处理区域(一般示出为区域 389)包括第一处理区域 389a 和第二处理区域 389b。所述第一天线 382a 定位在第一处理区域 382a 中,以及第二天线 382b 定位在第二处理区域 389b 中。

[0088] 在本发明的一个实施例中,第一天线 382a 耦接至 ESD 检测器 355,以及第二天线 382b 也耦接至 ESD 检测器 355。在本发明的另一实施例中,第二天线 382b 耦接至另一 ESD 检测器 356,并且不耦接至 ESD 检测器 355。

[0089] 一般地,所述第一处理区域 389a 从所述第二处理区域 389b 分隔一段距离 391,并且所述第一天线 382a 和第二天线 382b 形成多通道。距离 391 是可调节的。

[0090] 在一个实施例中,第一天线 382a 和第二天线 382b 可具有类似的天线响应灵敏度。在另一实施例中,第一天线 382a 和第二天线 382b 可具有不同的天线响应灵敏度。

[0091] 所述处理区域 389 的数目可从一或多个处理区域变化。因此,所述系统 388 中可包括两个以上的处理区域。

[0092] 处理区域 389 中的至少一者可包括配置用于接收半导体芯片 125(图 1a)的一个插座 373(图 3b),或者可包括配置用于接收多个半导体芯片的多个插座 373。

[0093] 所述处理区域 389 中的至少一者可包括镊子 392,所述镊子 392 配置用于接收如在另一实施例中通过参照物 396 最佳辨识的晶片 393。当然,所述镊子 392 可为另一种类型的晶片处理工具 392。

[0094] 所述处理区域 389(或者晶片 393)中的至少一者可包括导电迹线 394,导电迹线 394 可由在一实施例中如通过参照物 397 最佳辨识的测试探头 395 接触。处理区域 389 中的任一者可为另一合适类型的区域。

[0095] Micro ESD 天线

[0096] 用于检测 ESD 辐射脉冲瞬变的天线在传统上已经是具有非常高增益的标准天线。尽管这使得检测 ESD 事件相当容易,但是这已经使得实际上不可能确定事件起源。这种缺陷已经使得传统天线在监测关键工艺中几乎不使用。

[0097] 为了提供与天线相关行为相关的附加背景信息,还引用了如下的参考文献:

[0098] 1. T. J. Maloney, "Easy Access to Pulsed Hertzian Dipole Fields Through Pole-Zero Treatment", 封面文章,《2011 年夏季 IEEE EMC 学会通讯》(IEEE EMC Society Newsletter, Summer 2011), 第 34-42 页。

[0099] 2. T. J. Maloney, "Antenna Response to CDM E-fields", 2012 年 EOS/ESD 研讨会 (2012 EOS/ESD Symposium), 2012 年 9 月, 第 269-278 页。

[0100] 3. T. J. Maloney, "Pulsed Hertzian Dipole Radiation and Electrostatic discharge Events in Manufacturing", 《2013 年 IEEE 电磁兼容杂志》(2013 IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine), 第 2 卷, 第 3 期, 第 49-57 页。

[0101] 所述 "MicroESD" 天线 382(例如,在图 3b 中耦接至微型脉冲检测器 355 的天线 382)是仅出于检测紧靠其来源的 ESD 事件的目的而开发的。所述 MicroESD 天线 382 体现为各种版本的经设计的微带天线,如在图 4a 中所示的示例性天线 405、410、415、420 和 / 或 425,所述天线具有卓越的 ESD 近场辐射脉冲接收,同时由于工程化的方向性增益特性而拒绝其他近场和远场脉冲波形特征。这允许在其他天线无法鉴别所关注的局部化 ESD 事件的

情况中, MicroESD 天线良好地执行。

[0102] 此外, 这种天线的设计性能允许非常广的信号鉴别范围 (10V-3000V), 由于饱和效应所述范围不是在 ESD 检测中常用的一般天线所具有的情况。当与衰减器一起使用时, 可有效地捕获非常大的 ESD 事件。

[0103] ESD 事件应优选地被监测为实际上接近其所期望的来源。针对所述天线设施的典型监测距离在从例如大约 1" (2.54cm) 至大约 6" (15cm) 的范围内, 尽管也可提供其他距离。所述 Micro ESD 天线 382 有目的地随着距来源的距离变大而效率降低, 这是由于信号幅值减少和检测阈值设置。

[0104] 在图 4a 中, 公开了根据本发明的各个实施例的多天线配置。所述微型脉冲 355 可与多根并行天线一起使用, 来同时或者单独地检测不同位置中的 ESD 信号。使用相同的 ESD 信号采样方法, 唯一的区别是多天线馈点 430。所述馈点 430 可通信地耦接至微型脉冲检测器 355。由于线性传播 ESD 瞬变的本质和天线电缆的低欧姆损耗, 信号退化对于检测和幅值鉴别目的而言是无关紧要的。

[0105] 多根天线可被部署为几乎任何配置的偶极结构阵列。在图 4a 中, 示出了五根天线 405-425。然而, 在图 4a 中的偶极结构阵列可具有多于五根天线或者少于五根天线。

[0106] 图 4b 是根据本发明的一个实施例的示出微型 ESD (MicroESD) 天线组件 450 的简图。所述组件 450 包括 MicroESD 天线 455, MicroESD 天线 455 耦接至电气链路 460 (例如, 电缆 460), 所述电气链路 460 可移除地连接到 ESD 检测器 355 (图 3b)。

[0107] 微型脉冲电路说明:

[0108] 现参见图 5 的方块图和图 6 的电路图。图 5 是根据本发明的一个实施例的 ESD 检测器 500 (微型脉冲 500) 的方块图。图 6 是根据本发明的一个实施例的图 5 的 ESD 检测器 600 中的 ESD 监测器电路 600 的示意图。微型脉冲 500 还在图 3b 中示出为 (以及描述为) ESD 检测器 355。

[0109] 所述微型脉冲 500 通过分析时域中的 EMI 事件和阈值鉴别使用二维算法, 以检测某些电磁能量的脉冲静电放电。通过使用特定天线配置和相对于被监测对象的特定天线安置, 微型脉冲 500 可提供对于所关注的特定小区域或对于较广的区域范围的 ESD 事件检测。

[0110] ESD 事件信号 501 是用天线 502 检测的, 天线 502 连接到屏蔽电缆并且附接到输入连接器 (例如, 输入 SMA 连接器, J1)。信号 501 由输入滤波器 / 积分器 503 (例如, 6 阶高通滤波器) 处理, 所述滤波器 / 积分器 503 经调谐以传递真实 ESD 事件的典型畸变频率 (>100MHz) 并且排除该范围以外的信号。经滤波的信号 501 (来自滤波器 / 积分器 503) 随后被传递到对数放大器 505 (U2), 所述对数放大器 505 是非常迅速的六阶段解调对数放大器 (模拟装置 AD8310)。所述对数放大器的输出信号 506 (U2 的输出信号 506) 被反向, 这是因为静态电压 (无输入信号) 是大约 2.5V。经电路滤波的输入信号 506 由功率、持续时间和幅值鉴别。

[0111] 输入的 ESD 事件信号强度越强, 对数放大器的输出电压 506 (U2 的输出电压 506) 越低。典型地这种信号 506 将在大约 2.5 伏特和大约 1.0 伏特之间变化。随后使用超快比较器 508 (U3) (模拟装置 AD8561) 将输出电压 506 (U2 的输出电压 506) 与预置直流电压 507 (TP_Comp 507) 进行比较。

[0112] 因为输出电压 506 (U2 的输出电压 506) 被加压至约 1.5 伏特振幅, 分隔电路 (图

5 中的电平设置方块 510) 产生 TP_Comp 507, 从而提供易设定的警报电平。用 R12 电位计和 Q4NPN 电压源设置 -2.0 伏特的最大 TP_Comp 电压 507, 所述最大 TP_Comp 电压 507 可在 TP2 处复查。用电位计 R10 设置 -1.0 伏特的最小 TP_Comp 电压 507, 并且所述最小 TP_Comp 电压 507 可在 TP1 处复查。电位计 R13 可随后在其整个机械范围内经调节以产生在 -2.0 伏特和 -1.0 伏特之间的 TP_Comp 507, 所述 TP_Comp 507 与对数放大器 505 的输出范围匹配。

[0113] 如果 U3, 即比较器 (AD8561) 508, 检测到低于 TP_Comp 507 (为“+”或者正输入) 的信号 (为“-”或者负输入), 那么瞬间在比较器 508 的输出端上产生负的真实条件。此脉冲随后被传递至一对单触发多谐振荡器 U4a 和 U4b。U4a 将被定时接通并且 Q = 真实 (假定 J 输入是真实的)。当 U4a 单触发重置 (由于 R11*C13 超时, 大约为 250 纳秒) 时, 第二单触发 U4b 将仅当 U3 的输出已返回为高时被设置为 Q = 真实的, 这是因为 U3 的输出是单一的、足够迅速的脉冲。如果脉冲持续时间较长, 例如 >500 纳秒, 则指示其不是所关注的 ESD 事件, 随后该脉冲被忽略。

[0114] 因此, 仅因为脉冲已经被确定为是所关注的 ESD 事件, 所以 U4b 被设置为 Q = 真实的。警报条件是用例如可听音、可见的红色 LED, 以及被触发为“开启”的集电极开路输出指示的。

[0115] 微型脉冲 500 的以下方块图和示意图 (图 5) 示出其基本操作构件。可直接附接, 或者经由同轴电缆或者三同轴电缆附接的天线 502 检测 EMI 信号 (例如, 信号 501)。天线 502 是例如与天线 382 (图 3b) 相同的类型。处理 EMI 信号以仅检测在所关注的频率范围内的那些 EMI 信号。因为期望的信号具有非常大的动态范围, 对数放大器 505 放大以产生可使用信号 506。信号 506 随后被传送到高速比较器 508, 在高速比较器 508 中将所述信号 506 与预定阈值电压电平 507 比较。超过此阈值 507 的信号随后被传送到鉴别器 512, 鉴别器 512 忽略除了满足所关注的 EMI 脉冲的时间定义的那些信号以外的所有信号。此鉴别器 / 发生器 512 通过复查 EMI 脉冲的斜率来确定 EMI 脉冲是否为有效的事件。当被触发时, 电路 512 产生脉冲 514, 所述脉冲 514 被用于可听、可见地指示 EMI 事件 (例如, 经由声音和 / 或视觉指示器 515), 以及远程地经由集电极开路输出驱动器晶体管 516 指示 EMI 事件。警报输出驱动器 516 发送输出的事件发生信号至工具或者计算机, 以指示已发生了在预定阈值电压电平上的事件。

[0116] 图 7 示出本发明的一个实施例中从外部看到的微型脉冲 ESD 检测器 355 的概略图。然而, 所述 ESD 检测器 355 可具有与图 7 不同的另一类型的配置。

[0117] 图 8 是根据本发明的一个实施例的用于 ESD 检测器的校准方法 800 和实施方式的流程图。应注意的是该方法 800 中的步骤顺序可变化, 并且还可同时执行一些特定步骤。在校准方法 800 中的步骤 801 处, 对随机采样的候选器件执行传统的实验室器件 CDM 测试。在 802 处, 确定用于监测 ESD 事件的存在的关键制造处理点 (实例: 测试器、处理器)。在 803 处, 用 CDM 事件模拟器 (CDMES) 进行原位 ESD 事件校准处理。原位 ESD 事件校准处理的实例已经在上文参考图 3b 中的设备 350 进行了描述。在 804 处, 可用微型脉冲 ESD 检测器实行连续的 ESD 监测协议, 以保证品质依从性。

[0118] 当微型脉冲 ESD 检测器 355 被针对特定的器件耐电压阈值校准时, 此电压阈值将典型地被设置为处于小于器件的实际电压故障电平的电压电平处。例如, 如果器件具有大

约 200 伏特的实际电压故障电平,那么电压阈值将被设置为低于 200 伏特,诸如例如,所述电压故障电平的大约 50%或者大约 100 伏特。这种方法阻止器件中实际损害的发生。因此,在 805 处,针对各种待测试的器件类型确定可容许的外加电压阈值。

[0119] 在 808 处,施加最小的统计采样以用于各个位置的合格 / 不合格 ESD 事件检测验证。例如,施加约 20 或者 30 次触发,或者其他数目的触发来获得精确校准。

[0120] 在 806 处,ESD 检测器 355(例如,微型脉冲检测器)是针对特定的器件耐电压阈值校准的。应注意的是,在执行方块 803、805 和 / 或 808 中的程序之后,随后可执行方块 806 中的程序。

[0121] 在 807 处,可通过利用示波器来确认校准 CDMES 电流脉冲波形,以证实校准触发的准确性。然而,在校准处理中的这个步骤期间也可省略示波器的使用。

[0122] 以下论述提供了在本发明的一个实施例中关于校准处理的顺序的补充细节:

[0123] 1. 将微型脉冲监测器 (ESD 检测器 355) 的 MicroESD 天线 382 放置在所述工具中的处理点的实际上最接近处,在所述处理点处将放置敏感的 IC 器件。

[0124] 2. 将所述 MicroESD 天线电缆连接至充能的微型脉冲监测器 355。

[0125] 3. 将 CDMES 的直流电源电压设置到所需的阈电压电平(典型地为 IC 器件故障阈值的大约 50%)。

[0126] 4. 将 CDMES 定位在选择用于敏感 IC 器件监测应用的指定处理点处。

[0127] 5. 触发 CDMES,同时调节微型脉冲检测阈值控制,直到达到微型脉冲 355 所需的 ESD 事件检测阈值。

[0128] 6. 产生处于 IC 器件指定阈电压处的 CDMES 放电的最小统计群组(例如,12-24),以验证微型脉冲检测器性能。

[0129] 7. 记录 CDMES 直流电压电平形式的成功校准数据、在统计采样分组期间成功微型脉冲检测的次数以及用数字式万用表经由前面板测试点进行的微型脉冲阈值设置。

[0130] 还应理解的是,根据本发明的一个实施例的其他系统可具有其他形式并且可具有以其他方式或者在其他方向中设置的其他不同部件。

[0131] 按照本文论述的教导,上述实施例和方法的其他变型和改进是有可能的。

[0132] 对本发明的所示出实施例的上述说明,包括在说明书摘要中描述的内容,并非旨在为穷举的或者将本发明限制为所公开的精确形式。虽然出于说明性目的在本文描述了本发明的特定实施例和实例,但是在本发明的范围内的各种等效修改也是有可能的,如那些相关领域的技术人员将认识到的。

[0133] 可以根据上述详细描述对本发明进行这些修改。在以下权利要求中使用的术语不应被解释为将本发明限制于在说明书和权利要求中所公开的特定实施例。事实上,本发明的范围是完全由以下权利要求来确定的,所述权利要求将依照权利要求解释的确立教示来进行解释。

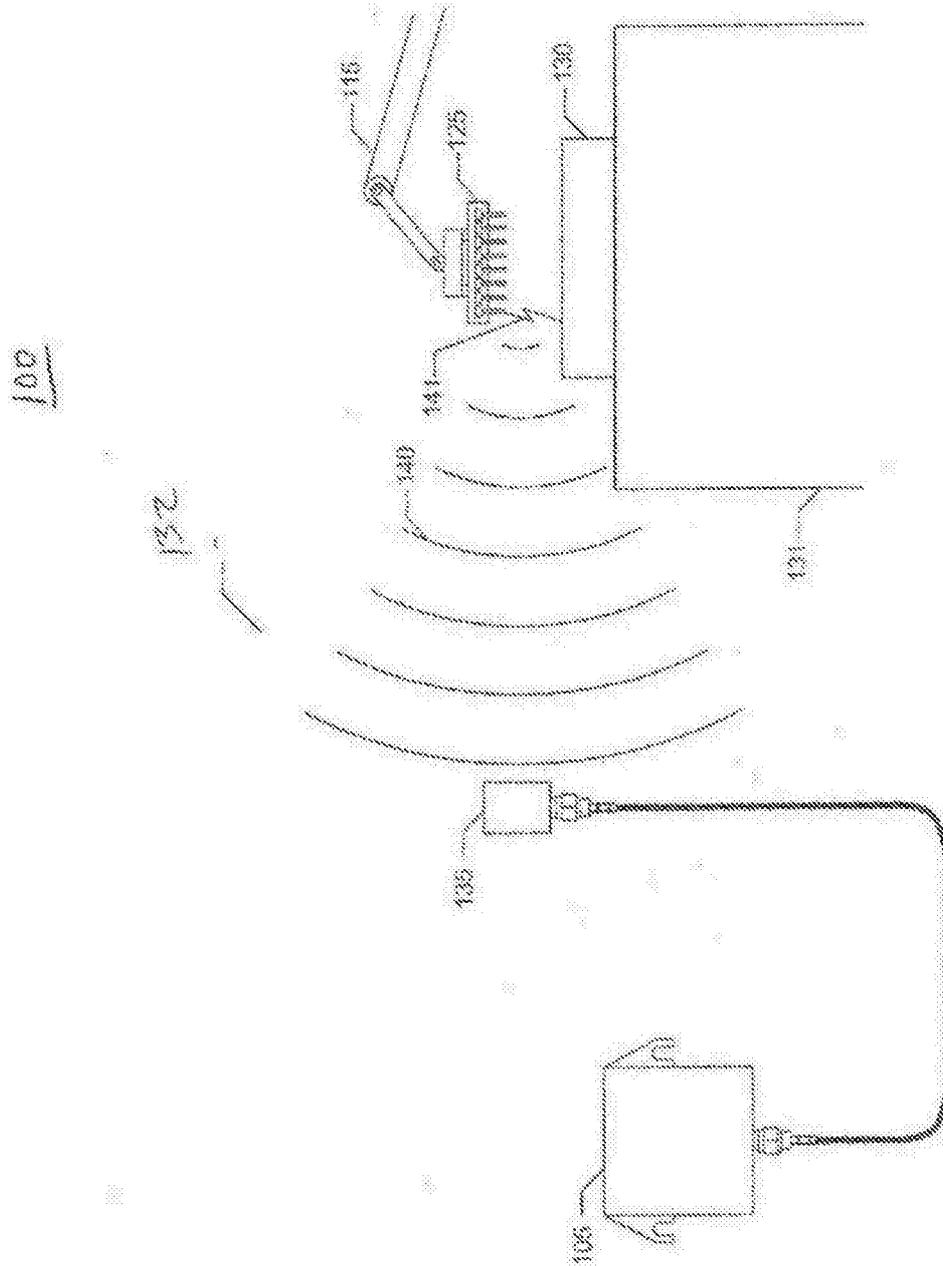


图 1a

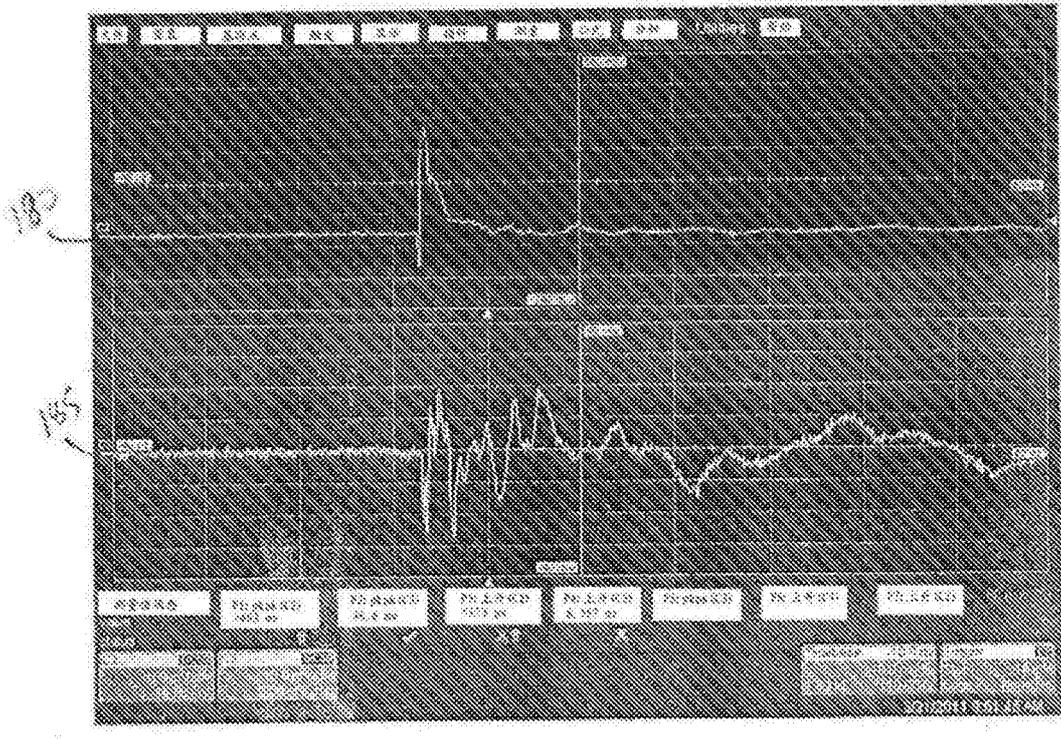


图 1b

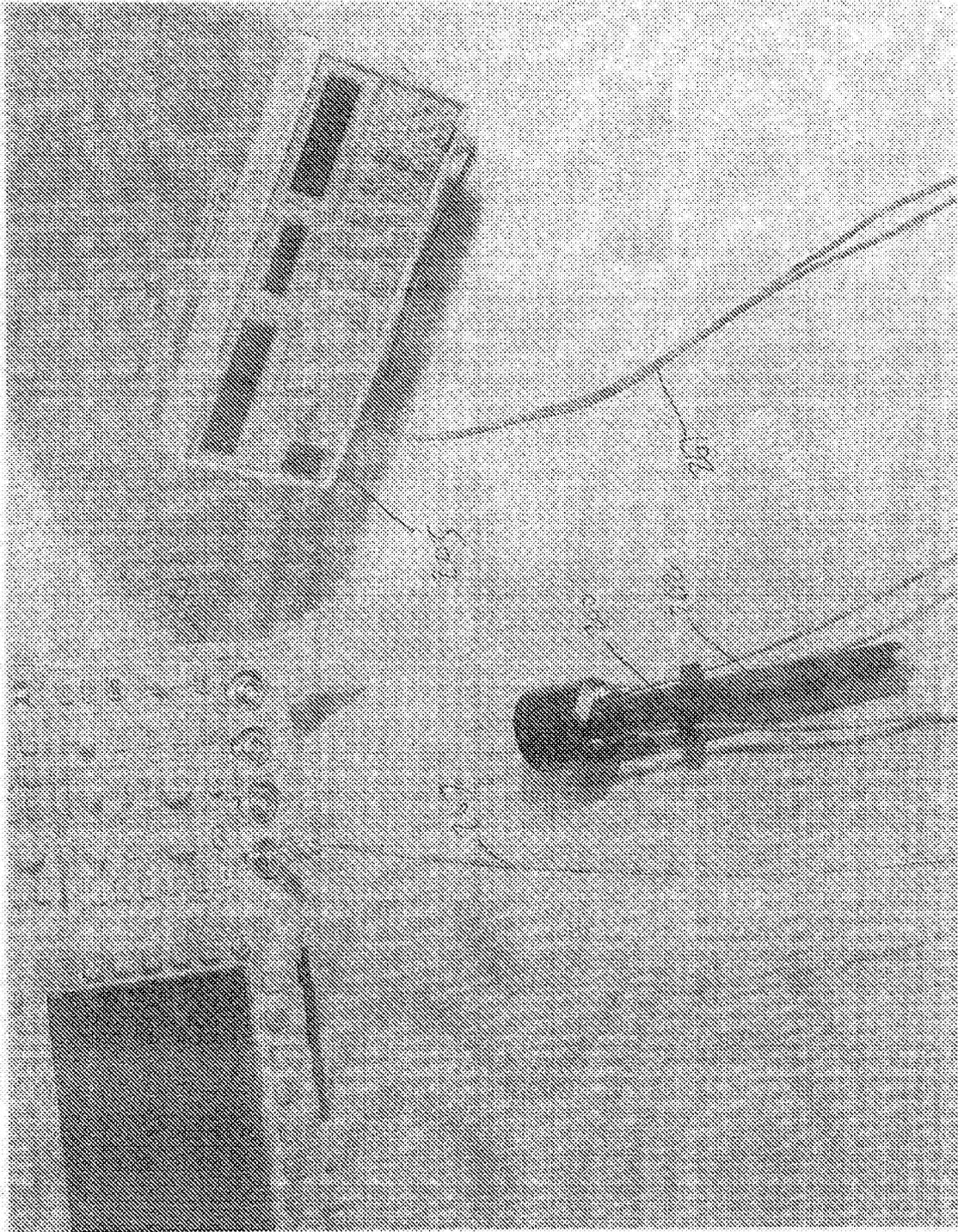


图 2

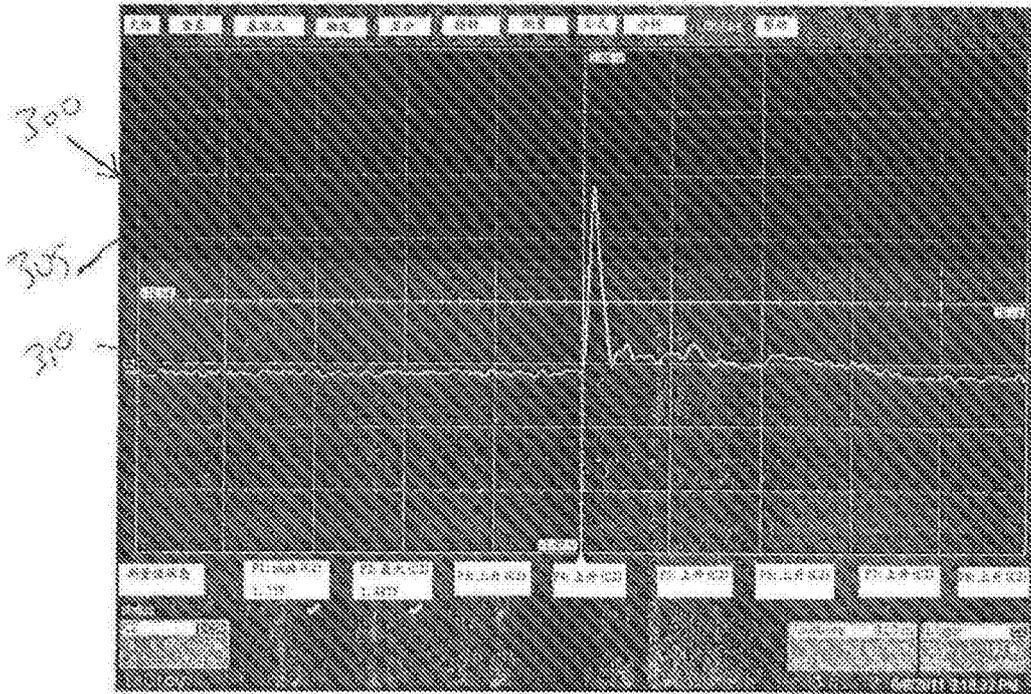


图 3a

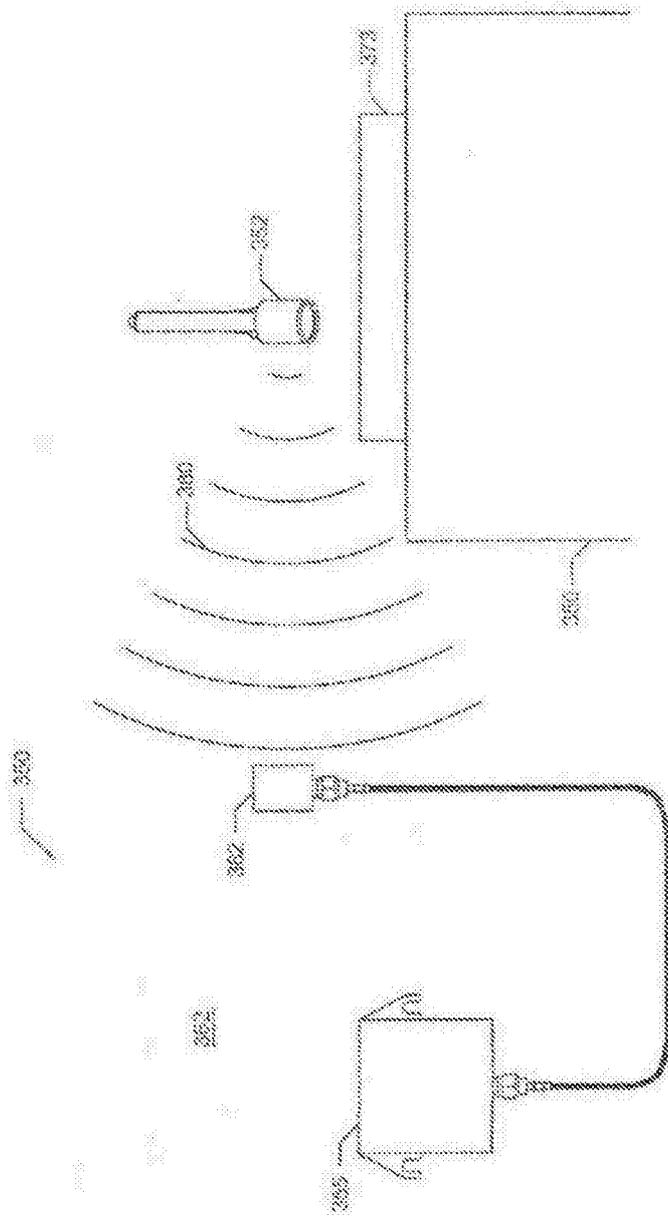


图 3b

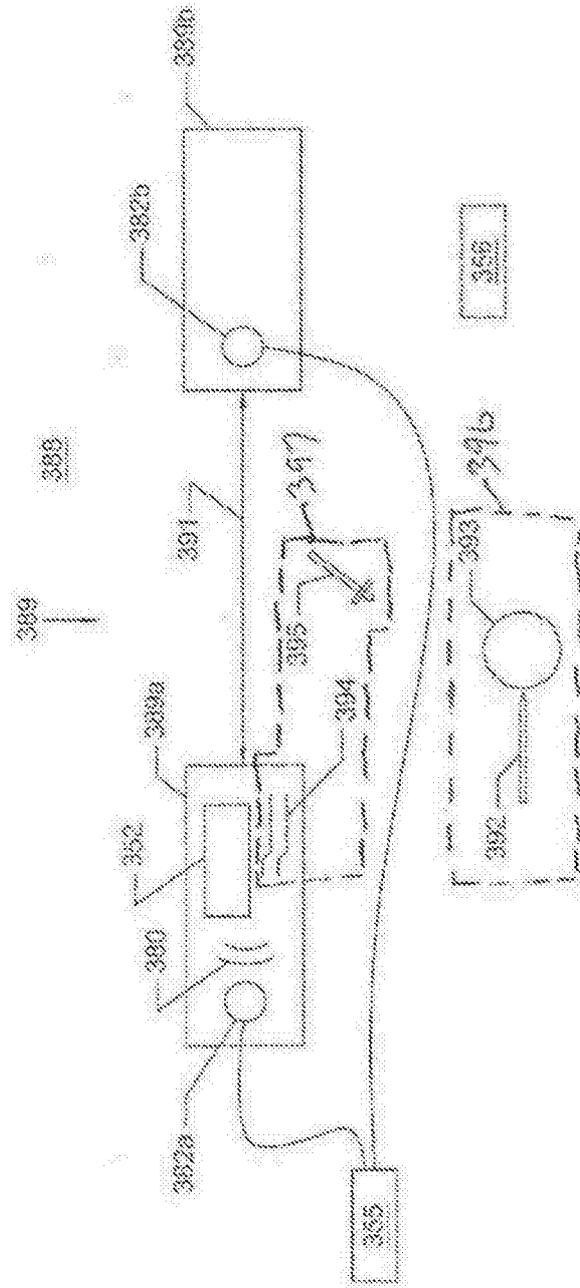


图 3C

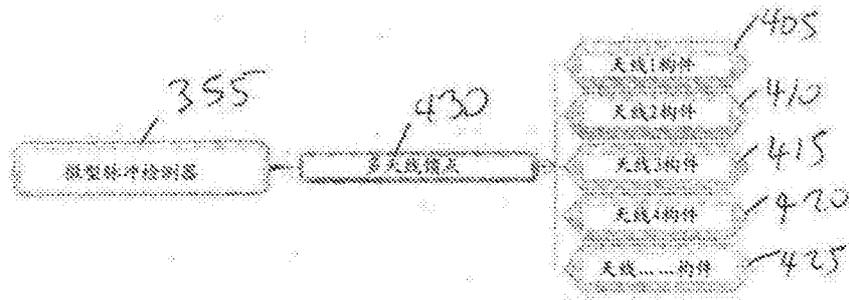


图 4a

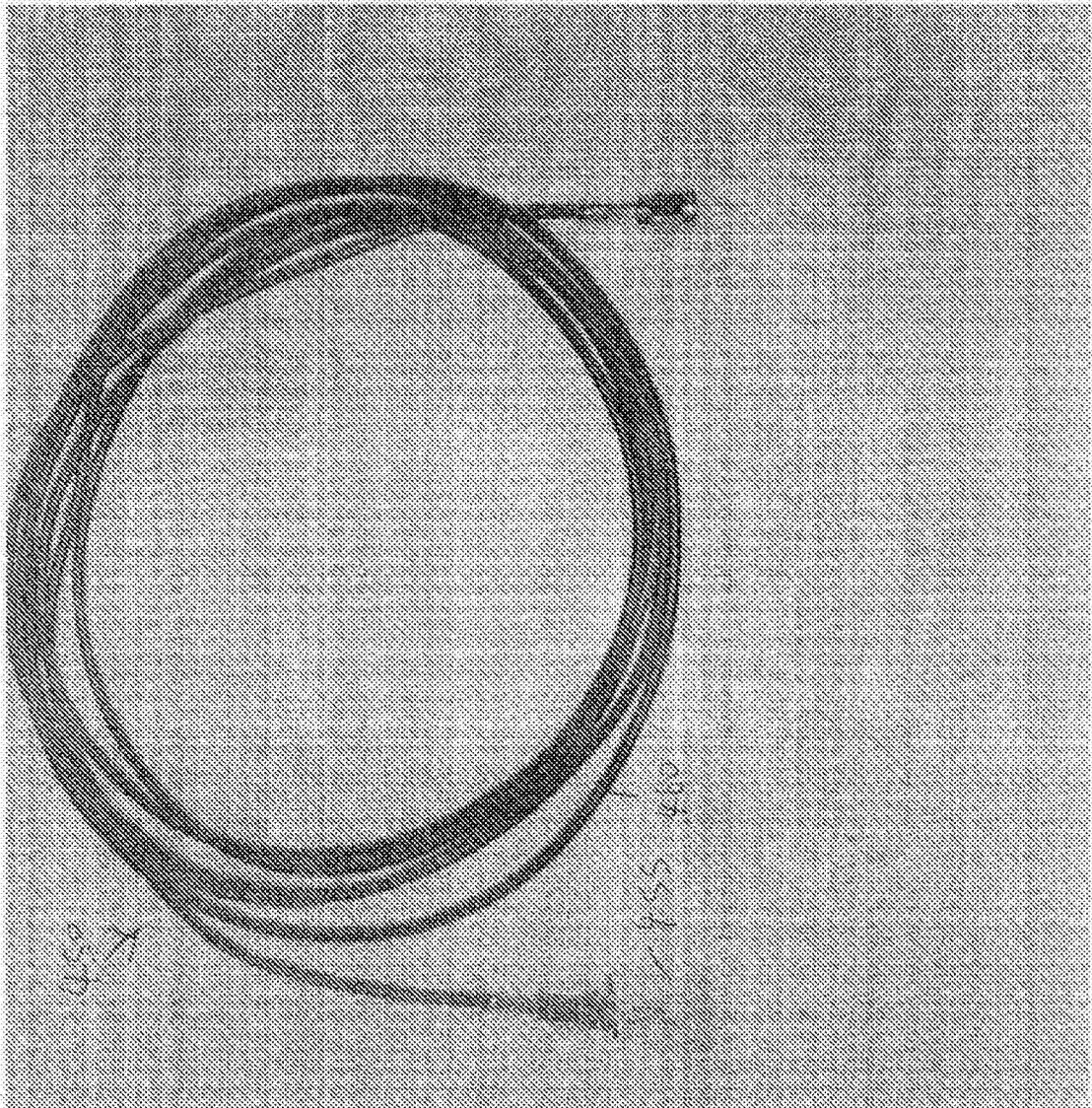


图 4b

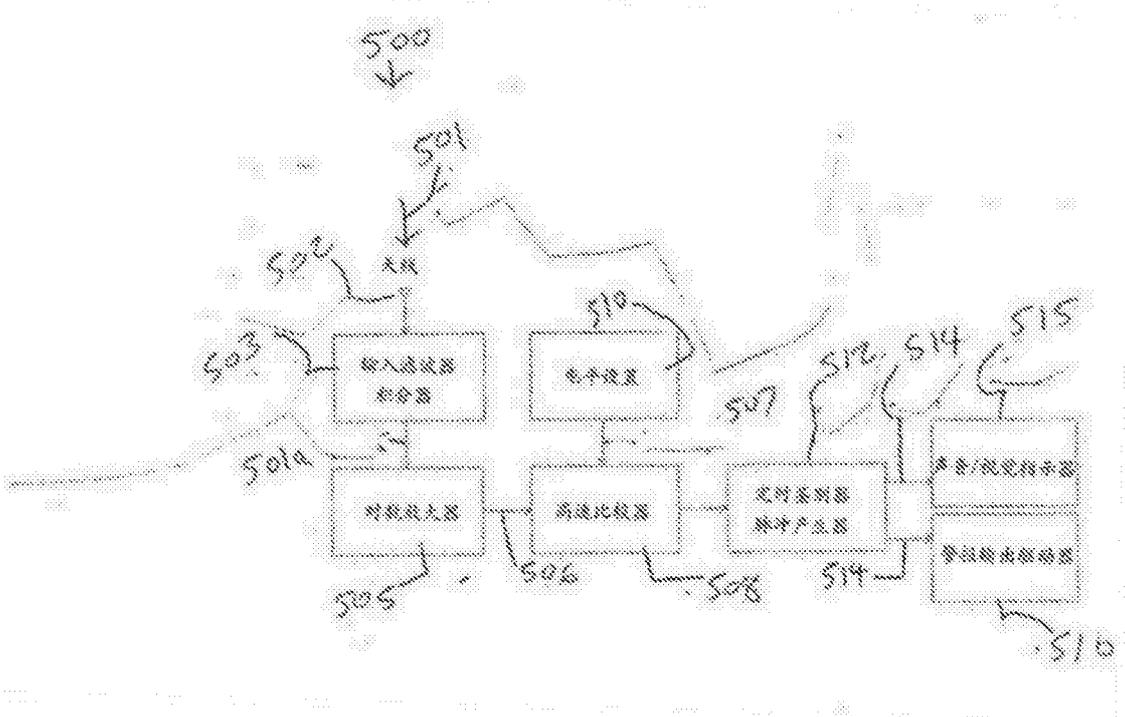


图 5

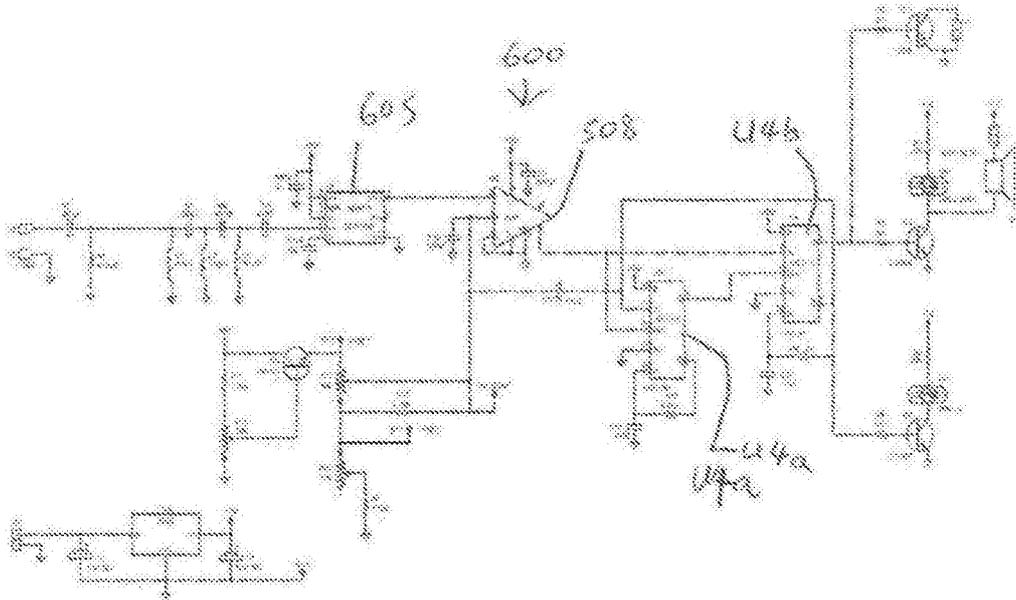


图 6

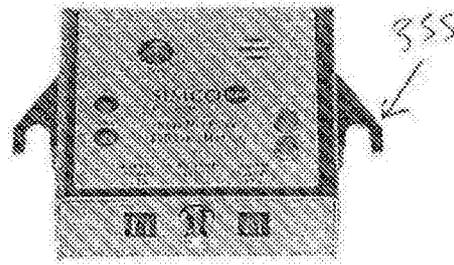


图 7

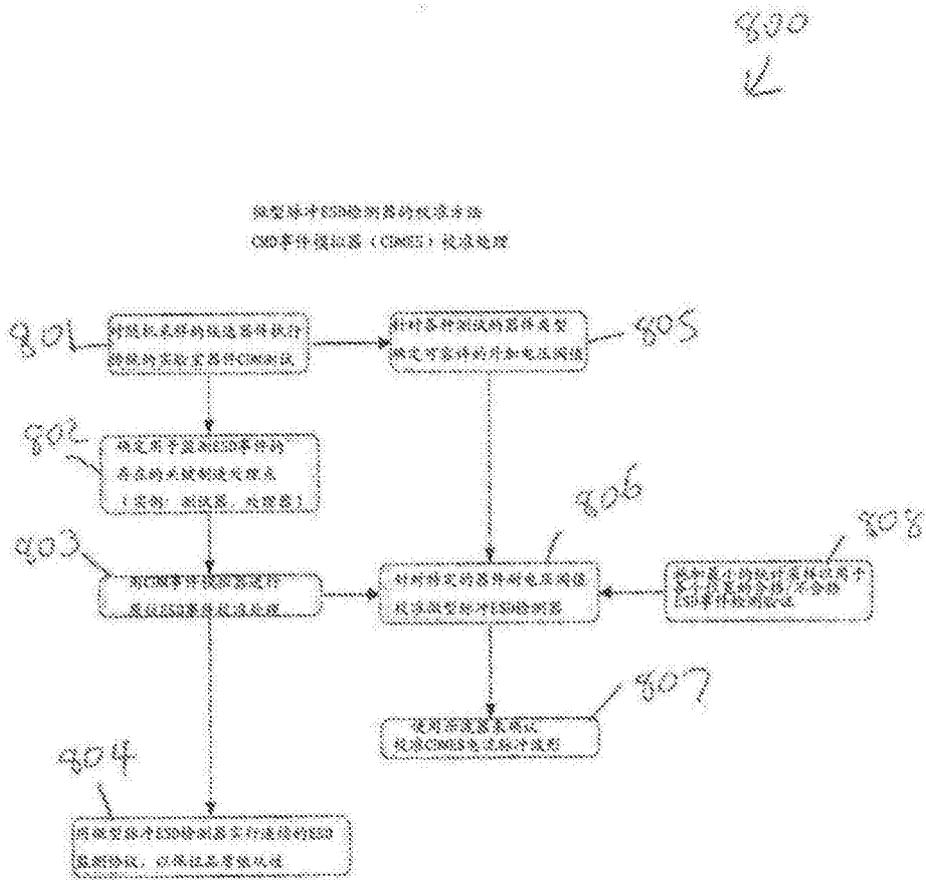


图 8