



(43) 申请公布日 2010.12.29

权利要求书 3 页 说明书 20 页 附图 12 页

[illegible]

1. 一种用于向驱动电路中的驱动晶体管的栅极提供模拟驱动晶体管控制信号的装置, 其中, 所述驱动电路将电流施加到 EL 器件, 所述驱动电路包括电连接到所述驱动晶体管的第一供电电极的电压源, 并且所述 EL 器件电连接到所述驱动晶体管的第二供电电极, 所述装置包括:

a) 测量电路, 该测量电路用于在不同时刻测量通过所述第一供电电极和所述第二供电电极的电流, 以提供代表随时间推移由所述驱动晶体管和所述 EL 器件的操作所导致的所述驱动晶体管和所述 EL 器件的特征变化的老化信号;

b) 提供单元, 该提供单元用于提供线性码值;

c) 补偿器, 该补偿器用于响应于所述老化信号改变所述线性码值, 以补偿所述驱动晶体管和所述 EL 器件的所述特征变化; 以及

d) 线性源驱动器, 该线性源驱动器用于响应于改变后的线性码值产生所述模拟驱动晶体管控制信号, 来驱动所述驱动晶体管的所述栅极。

2. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中, 所述 EL 器件是 OLED 器件。

3. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中, 所述驱动晶体管是非晶硅晶体管。

4. 根据权利要求 1 所述的装置, 所述装置还包括开关, 该开关用于将所述测量电路选择性地电连接到流经所述第一供电电极和所述第二供电电极的所述电流。

5. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中, 所述测量电路包括: 第一电流镜, 该第一电流镜用于产生镜向电流, 该镜向电流是通过所述第一供电电极和所述第二供电电极的驱动电流的函数; 以及第二电流镜, 该第二电流镜用于将偏置电流施加于所述第一电流镜, 以减小所述第一电流镜中的电压变化。

6. 根据权利要求 5 所述的装置, 其中, 所述测量电路还包括: 电流-电压转换器, 该电流-电压转换器响应于所述镜向电流产生电压信号; 以及响应于所述电压信号向所述补偿器提供所述老化信号的单元。

7. 根据权利要求 1 所述的装置, 所述装置还包括: 接收单元, 该接收单元用于接收非线性输入信号; 以及转换单元, 该转换单元用于将所述非线性输入信号转换为所述线性码值。

8. 根据权利要求 7 所述的装置, 其中, 所述转换单元包括查找表。

9. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中, 所述补偿器包括效率补偿单元和电压补偿单元。

10. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中, 所述补偿器还包括用于存储基准老化信号测量值和最近老化信号测量值的存储器。

11. 一种用于向驱动电路中的驱动晶体管的栅极提供模拟驱动晶体管控制信号的方法, 其中, 所述驱动电路将电流施加到 EL 器件, 所述驱动电路包括电连接到所述驱动晶体管的第一供电电极的电压源, 并且所述 EL 器件电连接到所述驱动晶体管的第二供电电极, 该方法包括以下步骤:

a) 在不同时刻测量通过所述第一供电电极和所述第二供电电极的电流, 以提供代表随时间推移由所述驱动晶体管和所述 EL 器件的操作所导致的所述驱动晶体管和所述 EL 器件的特征变化的老化信号;

b) 提供线性码值;

c) 响应于所述老化信号改变所述线性码值, 以补偿所述驱动晶体管和所述 EL 器件的所述特征变化; 以及

d) 提供线性源驱动器,该线性源驱动器用于响应于改变后的线性码值,产生所述模拟驱动晶体管控制信号,以驱动所述驱动晶体管的所述栅极。

12. 根据权利要求 11 所述的方法,其中,所述 EL 器件是 OLED 器件。

13. 根据权利要求 11 所述的方法,其中,所述驱动晶体管是非晶硅晶体管。

14. 根据权利要求 11 所述的方法,其中,所述步骤 b 包括:接收步骤,其接收非线性输入信号;以及转换步骤,其将所述非线性输入信号转换为所述线性码值。

15. 根据权利要求 14 所述的方法,其中,所述转换步骤包括使用查找表。

16. 在用于向 EL 面板中的多个 EL 子像素中的驱动晶体管的栅极提供模拟驱动晶体管控制信号的装置中,所述装置包括第一电压源、第二电压源,以及所述 EL 面板中的多个 EL 子像素;驱动电路中的 EL 器件,该驱动电路向各个 EL 子像素中的所述 EL 器件施加电流;各驱动电路包括驱动晶体管,其中,所述驱动晶体管具有电连接到所述第一电压源的第一供电电极以及电连接到所述 EL 器件的第一电极的第二供电电极;并且各个 EL 器件包括电连接到所述第二电压源的第二电极,改进之处包括:

a) 测量电路,该测量电路用于在不同时刻测量通过所述第一电压源和所述第二电压源的电流,以为每个像素提供代表随时间推移由该子像素的所述驱动晶体管和所述 EL 器件的操作而导致的所述驱动晶体管和所述 EL 器件的特征变化的老化信号;

b) 提供单元,该提供单元用于为各个子像素提供线性码值;

c) 补偿器,该补偿器用于响应于所述老化信号来改变所述线性码值,以补偿各个子像素中的所述驱动晶体管和所述 EL 器件的所述特征变化;以及

d) 线性源驱动器,该线性源驱动器用于响应于改变后的线性码值产生所述模拟驱动晶体管控制信号,来驱动所述驱动晶体管的所述栅极。

17. 根据权利要求 16 所述的装置,其中,各个 EL 器件是 OLED 器件,并且各个驱动晶体管是非晶硅晶体管。

18. 根据权利要求 16 所述的装置,其中,所述测量电路包括:

a) 电流-电压转换器,该电流-电压转换器用于产生电压信号;以及

b) 相关双采样单元,该相关双采样单元响应于所述电压信号向所述补偿器提供所述老化信号。

19. 根据权利要求 16 所述的装置,所述装置还包括:接收单元,该接收单元用于接收非线性输入信号;以及转换单元,该转换单元用于将所述非线性输入信号转换为所述线性码值。

20. 根据权利要求 16 所述的装置,其中,所述补偿器还包括用于存储各个子像素的基准老化信号测量值和各个子像素的最近老化信号测量值的存储器。

21. 根据权利要求 16 所述的装置,其中,所述线性源驱动器包括一个或更多个微芯片。

22. 根据权利要求 1 所述的装置,其中,所述补偿器响应于所述老化信号以及所述线性码值来改变所述线性码值,以补偿所述驱动晶体管和所述 EL 器件的所述特征变化。

23. 根据权利要求 11 所述的方法,所述方法还包括响应于所述老化信号以及所述线性码值来改变所述线性码值,以补偿所述驱动晶体管和所述 EL 器件的所述特征变化。

24. 在根据权利要求 16 所述的装置中,所述改进之处还包括补偿器,该补偿器用于响应所述老化信号以及所述线性码值来改变所述线性码值,以补偿各个子像素中的所述驱动

晶体管 and 所述 EL 器件的所述特征变化。

具有用于激活驱动晶体管的补偿后的模拟信号的电致发光显示器

技术领域

[0001] 本发明涉及控制施加于用于提供通过电致发光器件的电流的驱动晶体管的模拟信号。

背景技术

[0002] 作为用于计算、娱乐以及通信的信息显示器，平板显示器吸引了人们的极大兴趣。诸如有机发光二极管 (OLED :Organic Light-emitting Diode) 技术的电致发光 (EL : Electroluminescent) 平板显示技术与诸如液晶显示器 (LCD :Liquid-Crystal Display) 和等离子显示面板 (PDP :Plasma Display Panel) 的其他技术相比，在色域、亮度以及功耗方面提供了优势。然而，EL 显示器的性能随时间而退化。为了在显示器的寿命内提供高质量图像，必须补偿该退化。

[0003] EL 显示器通常包括相同子像素的阵列。各个子像素包括驱动晶体管（通常为薄膜 TFT）以及 EL 器件（实际发光的有机二极管）。EL 器件的光输出大致与通过该器件的电流成比例，因此，驱动晶体管通常被配置为响应于栅源电压 V_{gs} 的压控电流源。与 LCD 显示器中所使用的源驱动器类似的源驱动器为驱动晶体管提供控制电压。源驱动器将所期望的码值步长 (step) 74 转换为模拟电压步长 75，以控制驱动晶体管。尽管具有高比特深度的线性源驱动器正在变得可得，但是码值和电压之间的关系通常是非线性的。尽管 OLED 的非线性的码值 - 电压关系的形状与典型的 LCD 的 S 形（例如，在美国专利 4,896,947 中所示）不同，但是这两种技术所需要的源驱动器电子器件非常相似。除了 LCD 和 EL 源驱动器之间的相似之外，LCD 显示器和 EL 显示器通常在相同的基板上制造：非晶硅 (a-Si)，例如，就像 Tanaka 等在美国专利 5,034,340 中所教导的一样。非晶硅不贵，并且容易处理成大显示器。

[0004] 退化模式

[0005] 然而，非晶硅是亚稳态的：随着时间推移，由于电压偏置施加在非晶硅 TFT 的栅极，其阈值电压 (V_{th}) 偏移，因此，其电流 - 电压曲线偏移 (Kagan 和 Andry 编辑，Thin-film Transistors, New York :Marcel Dekker, 2003 年，第 3.5 节，第 121-131 页)。在正向偏压下， V_{th} 通常随着时间推移而增加，从而，平均而言， V_{th} 偏移随着时间推移将导致显示器变暗。

[0006] 除了非晶硅 TFT 的不稳定性之外，现代 EL 器件本身具有不稳定性。例如，在 OLED 器件中，随着时间推移，由于电流流经 OLED 器件，其正向电压 (V_{oled}) 增加，并且其效率（通常以 cd/A 来衡量）降低 (Shinar 编辑，Organic Light-Emitting Devices :a survey, New York :Springer-Verlag, 2004 年，第 3.4 节，第 95-97 页)。即使用稳恒电流驱动，效率损失导致显示器平均而言随着时间推移变暗。此外，在通常的 OLED 显示器结构中，OLED 连接到驱动晶体管的源极。在此结构中， V_{oled} 的增加使晶体管的源极电压增加， V_{gs} 降低，进而通过 OLED 器件 (I_{oled}) 电流降低，从而导致随着时间推移而变暗。

[0007] 这三种效应 (V_{th} 偏移、OLED 效率损失以及 V_{oled} 升高) 导致各单个 OLED 子像素以

与通过该 OLED 器件的电流成正比的速率随着时间推移损失亮度。(V_{th} 偏移是主要效应, V_{oled} 偏移是第二效应, 而 OLED 效率损失是第三效应。) 因此, 由于显示器随着时间推移而变暗, 由更大电流驱动的那些子像素将更快褪色。这种有差别的老化导致在显示器上出现讨厌的可见的老化。例如, 随着越来越多的电视台将他们的台标在固定位置连续叠加在他们内容上, 现在有差别的老化是一个日渐增长的问题。通常, 台标比周围的内容更明亮, 因此, 台标中的像素比周围内容的像素老化更快, 导致当观看不含台标的内容时, 可以见到台标的阴片。由于台标通常包含高空间频率的内容 (例如, AT&T 的球), 一个子像素可能严重老化, 同时附近的子像素只是轻微老化。因此, 必须独立地对各个子像素的老化进行补偿, 以消除讨厌的可见老化。

[0008] 现有技术

[0009] 对这三种效应中的一种或多种进行补偿是已知的。考虑 V_{th} 偏移, 其为主要效应并且可以用所施加的偏压来进行逆转 (Mohan 等, “Stability issues in digital circuits in amorphous silicon technology” Electrical and Computer Engineering, 2001 年, 第 1 卷, 第 583-588 页), 补偿方案主要分为四种类型: 像素内补偿、像素内测量、面板内测量, 以及反向偏置。

[0010] 像素内 V_{th} 补偿方案给各个子像素增加额外的电路, 以在出现 V_{th} 偏移时对其进行补偿。例如, Lee 等在 SID 2004 Digest 第 264-274 页的“A New a-Si:H TFT Pixel Design Compensating Threshold Voltage Degradation of TFT and OLED”中教导了一种七个晶体管、一个电容器 (7T1C) 的子像素电路, 其通过在施加所期望的数据电压之前将各个子像素的 V_{th} 存储在该子像素的存储电容器上来补偿 V_{th} 偏移。诸如此类方法对 V_{th} 偏移进行补偿, 但是它们不能补偿 V_{oled} 升高或者 OLED 效率损失。与常规的 2T1C 电压驱动子像素电路相比, 这些方法要求增加子像素复杂度和增加子像素电子器件尺寸。增加子像素复杂度降低了产率, 因为, 所要求的特征图形越精细越容易受到制造错误的影响。具体地, 在典型的底发射结构中, 子像素电子器件总尺寸增加使功耗增加, 因为其降低了开口率, 即, 发光的各个子像素所占的百分比。在固定电流下, OLED 的光发射与面积成正比, 从而具有较小开口率的 OLED 器件需要较大的电流来产生与具有较大开口率的 OLED 相同的亮度。此外, 在较小区域中的较大电流增加了 OLED 器件中的电流密度, 加速了 V_{oled} 升高以及 OLED 效率损失。

[0011] 像素内测量 V_{th} 补偿方案为各个子像素增加额外的电路, 使得可以测量代表 V_{th} 偏移的值。然后, 面板外电路处理测量值, 并调整各个子像素的驱动以补偿 V_{th} 偏移。例如, Nathan 等在美国 2006/0273997 (A1) 中教导了一种四个晶体管的像素电路, 其使得将 TFT 退化数据测量为或者在给定电压条件下的电流或者在给定电流条件下的电压。Nara 等在美国专利 7, 199, 602 中教导了在显示器增加检查互连, 并为显示器的各个像素增加开关晶体管, 以将其连接到检查互连。Kimura 等在美国专利 6, 518, 962 中教导了为显示器的各个像素增加校正 TFT 以对 EL 退化进行补偿。这些方法都具有像素内 V_{th} 补偿方案中的缺点, 但是, 其中一些能够对 V_{oled} 偏移或者 OLED 效率损失进行额外补偿。

[0012] 反向偏置 V_{th} 补偿方案使用一些形式的反向电压偏置, 以将 V_{th} 移回一些起始点。这些方法不能补偿 V_{oled} 升高或 OLED 效率损失。例如, Lo 等在美国专利 7, 116, 058 中教导了调制有源矩阵像素电路中的存储电容器的基准电压, 以在各帧之间使驱动晶体管反向偏

置。在帧内或者帧间施加反向偏置防止了可见的伪影,但是降低了占空比,从而降低了峰值亮度。相比像素内补偿方法,反向偏置方法能够在功耗增加更少的情况下补偿面板的平均 V_{th} 偏移,但是,它们要求更复杂的外部电源,能够要求额外的像素电路或者信号线,并且不可能补偿比其他子像素褪色更加严重的个别子像素。

[0013] 考虑到 V_{oled} 偏移以及 OLED 效率损失,Arnold 等的美国专利 6,995,519 是补偿 OLED 器件老化的方法的一种示例。此方法假设器件亮度的全部改变是由 OLED 发射体的变化导致的。然而,当由 a-Si 形成电路中的驱动晶体管时,此假设不正确,因为晶体管的阈值电压也随着使用而改变。因此,Arnold 的方法将不能为晶体管展现出老化效应的电路中的子像素老化提供完全补偿。此外,当使用诸如反向偏置的方法来减轻 a-Si 晶体管阈值电压偏移时,在缺乏对反向偏置效应的适当跟踪 / 预测、或者对 OLED 电压变化或晶体管阈值电压变化的直接测量的情况下,对 OLED 效率损失的补偿将变得不可靠。

[0014] 用于补偿的替代方法直接测量各个子像素的光输出,例如,Young 等在美国专利 6,489,631 中所教导的。这样的方法能够补偿所有三种老化因素中的变化,但是要求精度非常高的外部光传感器,或者各个子像素中集成的光传感器。外部光传感器增加了器件的费用和复杂度,而集成的光传感器增加了子像素的复杂度和电子器件的大小,并伴随着性能下降。

[0015] 已有的 V_{th} 补偿方案不是没有缺点,而且它们很少能够补偿 V_{oled} 升高以及 OLED 效率损失。而那些能够补偿每个子像素的 V_{th} 偏移的方案则是以面板复杂度和更低的产率作为代价。因此,对于补偿的改进有着持续的需要,以克服这些缺点,对 EL 面板退化进行补偿以及防止在 EL 显示板的整个寿命中出现讨厌的可见的老化。

发明内容

[0016] 根据本发明,提供了一种用于向驱动电路中的驱动晶体管的栅极提供模拟驱动晶体管控制信号的装置,其中,所述驱动电路将电流施加到 EL 器件,所述驱动电路包括电连接到所述驱动晶体管的第一供电电极的电压源,并且所述 EL 器件电连接到所述驱动晶体管的第二供电电极,该装置包括:

[0017] a) 测量电路,该测量电路用于在不同时刻测量通过所述第一供电电极和所述第二供电电极的电流,以提供代表随时间推移由所述驱动晶体管和所述 EL 器件的操作导致的所述驱动晶体管和所述 EL 器件的特征变化的老化信号;

[0018] b) 提供单元,该提供单元用于提供线性码值;

[0019] c) 补偿器,该补偿器用于响应于所述老化信号改变所述线性码值,以补偿所述驱动晶体管和所述 EL 器件的所述特征变化;以及

[0020] d) 线性源驱动器,该线性源驱动器用于响应于改变后的线性码值产生所述模拟驱动晶体管控制信号,来驱动所述驱动晶体管的所述栅极。

[0021] 还提供了一种用于向驱动电路中的驱动晶体管的栅极提供模拟驱动晶体管控制信号的方法,其中,所述驱动电路将电流施加到 EL 器件,所述驱动电路包括电连接到所述驱动晶体管的第一供电电极的电压源,并且所述 EL 器件电连接到所述驱动晶体管的第二供电电极,该方法包括以下步骤:

[0022] a) 在不同时刻测量通过所述第一供电电极和所述第二供电电极的电流,以提供代

表随时间推移由所述驱动晶体管和所述 EL 器件的操作所导致的所述驱动晶体管和所述 EL 器件的特征变化的老化信号；

[0023] b) 提供线性码值；

[0024] c) 响应于所述老化信号改变所述线性码值，以补偿所述驱动晶体管和所述 EL 器件的所述特征变化；以及

[0025] d) 提供线性源驱动器，该线性源驱动器用于响应于改变后的线性码值，产生所述模拟驱动晶体管控制信号，来驱动所述驱动晶体管的所述栅极。

[0026] 还提供了一种用于向 EL 面板中的多个 EL 子像素中的驱动晶体管的栅极提供模拟驱动晶体管控制信号的装置，所述装置包括第一电压源、第二电压源，以及所述 EL 面板中的多个 EL 子像素；驱动电路中的 EL 器件，该驱动电路向各个 EL 子像素中的所述 EL 器件施加电流；各驱动电路包括驱动晶体管，其中，所述驱动晶体管具有电连接到所述第一电压源的第一供电电极以及电连接到所述 EL 器件的第一电极的第二供电电极；并且各个 EL 器件包括电连接到所述第二电压源的第二电极，该改进包括：

[0027] a) 测量电路，该测量电路用于在不同时刻测量通过所述第一电压源和所述第二电压源的电流，以为每个像素提供代表随时间推移由该子像素的所述驱动晶体管和所述 EL 器件的操作而导致的所述驱动晶体管和所述 EL 器件的特征变化的老化信号；

[0028] b) 提供单元，该提供单元用于为各个子像素提供线性码值；

[0029] c) 补偿器，该补偿器用于响应于所述老化信号来改变所述线性码值，以补偿各个子像素中的所述驱动晶体管和所述 EL 器件的所述特征变化；以及

[0030] d) 线性源驱动器，该线性源驱动器用于响应于改变后的线性码值产生所述模拟驱动晶体管控制信号，来驱动所述驱动晶体管的所述栅极。

[0031] 优点

[0032] 本发明提供了一种提供模拟驱动晶体管控制信号的有效方法。该方法仅要求一次测量来执行补偿。该方法可应用于任何有源矩阵底板。利用查找表 (LUT) 将信号从非线性改变为线性，使得可以在线性电压域进行补偿，从而，简化了控制信号的补偿。不需要复杂的像素电路或者外部测量器件，该方法对 V_{th} 偏移、 V_{oled} 偏移以及 OLED 效率损失进行了补偿。该方法没有降低子像素的开口率。该方法对面板的正常工作没有影响。

附图说明

[0033] 结合如下描述和附图，本发明的上述以及其他目标、特征以及优势可以变得更加清楚，附图中尽可能使用同样的标记来表示附图中共用的相同的特征，并且，附图中：

[0034] 图 1 是实现本发明的控制系统的框图；

[0035] 图 2 是图 1 的框图的更详细的示意图；

[0036] 图 3 是典型 OLED 面板的图示；

[0037] 图 4A 是在理想条件下操作图 2 的测量电路的时序图；

[0038] 图 4B 是包含有由于子像素的自热所导致的误差的操作图 2 的测量电路的时序图；

[0039] 图 5A 是未老化和老化的子像素的、示出了 V_{th} 偏移的代表性 I-V 特性曲线；

[0040] 图 5B 是未老化和老化的子像素的、示出了 V_{th} 及 V_{oled} 偏移的代表性 I-V 特性曲线；

- [0041] 图 6A 是图 1 的补偿器的高级数据流图；
- [0042] 图 6B 是补偿器的详细数据流图（两个部分）中的第一部分；
- [0043] 图 6C 是补偿器的详细数据流图（两个部分）中的第二部分；
- [0044] 图 7 是域转换单元和补偿器的效果的 Jones 图示；
- [0045] 图 8 是示出了随着时间推移的补偿测量的频繁度的代表图；
- [0046] 图 9 是示出了作为百分比电流的函数的百分比效率的代表图；以及
- [0047] 图 10 是根据本发明的驱动电路的详细示意图。

具体实施方式

[0048] 本发明补偿有源矩阵 EL 显示面板上的驱动晶体管和 EL 器件中的退化。在一种实施方式中，该方法补偿有源矩阵 OLED 面板上的所有子像素的 V_{th} 偏移、 V_{oled} 偏移以及 OLED 效率损失。面板包括多个像素，每个像素包括一个或更多个子像素。例如，各个像素可能包括红色、绿色以及蓝色子像素。各个子像素包括发光的 EL 器件以及周围电子器件。子像素是面板的最小可寻址组件。该 EL 器件可以是 OLED 器件。

[0049] 接下来的讨论首先将系统作为一个整体进行考虑。然后，进行到子像素的电气细节，随后是测量一个子像素的电气细节以及用于测量多个子像素的定时。接着，探讨补偿器怎样使用测量值。最后，从工厂到使用寿命结束，描述在一种实施方式中（例如，在消费产品中）如何实现该系统。

[0050] 概要

[0051] 图 1 示出了本发明的整体系统 10 的框图。非线性输入信号 11 管控来自 EL 子像素中的 EL 器件的特定光强度，其中，该 EL 子像素是 EL 面板上的很多子像素之一。该信号 11 可以来自视频解码器、图像处理路径或者另一信号源，可以是数字的或模拟的，并且可以是非线性编码或者线性编码的。例如，非线性输入信号可以是 sRGB 码值步长 74 或 NTSC 亮度电压步长 75。无论源和格式怎样，信号可以优选地被转换器 12 转换成数字形式，并且转换到线性域，例如，线性电压，这将在以下的“跨域处理及比特深度”中进一步讨论。与 LCD 源驱动器类似的查找表或者功能可以执行该转换。转换结果将是线性码值，其代表预控的驱动电压 (commanded drive voltage)。

[0052] 补偿器 13 接受线性码值，该线性码值对应于来自 EL 子像素的预控的特定光强度。随时间推移由 EL 子像素中的驱动晶体管和 EL 器件的操作所导致的驱动晶体管和 EL 器件中的变化意味着：EL 子像素通常将不能响应于线性码值产生预控的光强度 (commanded)。补偿器 13 输出改变后的线性码值，该改变后的线性码值将使 EL 子像素产生预控的强度。在以下的“实现”中将进一步讨论补偿器的操作。

[0053] 来自补偿器 13 的改变后的线性码值传到线性源驱动器 14，该线性源驱动器 14 可以是数模转换器。线性源驱动器 14 响应于改变后的线性码值产生模拟驱动晶体管控制信号，该信号可以是电压。线性源驱动器 14 可以是被设计为线性的源驱动器，或者是常规 LCD 或 OLED 源驱动器，其中，其伽玛电压被设置为产生近似线性的输出。在后一种情况中，从线性的任何偏离将影响最终的质量。正如 Kawabe 在共同受让的 W02005/116971 A1 中所教导的，线性源驱动器 14 也可以是时分（数字驱动）源驱动器。在此情况下，来自源驱动器的模拟电压被设置在预定级别的预控 (commanding) 光输出达取决于来自补偿器的输出信号

的时间量。相反,常规的线性源驱动器提供取决于来自补偿器的输出信号的电平的模拟电压达固定量的时间(通常是整个帧)。线性源驱动器可以同时输出一个或更多个模拟驱动晶体管控制信号。在本发明的一个实施方式中,EL 面板可以具有包括一个或更多个微芯片的线性源驱动器,并且,各个微芯片可以输出一个或更多个模拟驱动晶体管控制信号,从而同时产生数量等于 EL 面板中的 EL 子像素的列数的模拟驱动晶体管控制信号。

[0054] 向 EL 驱动电路 15 提供由线性源驱动器 14 产生的模拟驱动晶体管控制信号,该 EL 驱动电路 15 可以是 EL 子像素。该电路包括驱动晶体管和 EL 器件,将在以下的“显示元件描述”中进行讨论。当向驱动晶体管的栅极提供模拟电压时,电流流经驱动晶体管和 EL 器件,使 EL 器件发光。流经 EL 器件的电流与输出器件的亮度之间通常存在线性关系,并且施加于驱动晶体管的电压与流经 EL 器件的电流之间通常存在非线性关系。因此,EL 器件在一帧期间的发光总量可以是来自线性源驱动器 14 的电压的非线性函数。

[0055] 如以下“数据收集”中将进一步讨论的一样,在特定的驱动条件下通过电流测量电路 16 测量流经 EL 驱动电路的电流。EL 子像素的测量电流为补偿器提供了其调整预控驱动信号所需要的信息。这将在以下的“算法”中进一步讨论。

[0056] 如以下“操作序列”中进一步讨论的一样,该系统可以在 EL 面板的工作寿命内对 EL 面板中的驱动晶体管和 EL 器件中的变化进行补偿。

[0057] 显示元件描述

[0058] 图 10 示出了驱动电路 15,该驱动电路 15 将电流施加于诸如 OLED 器件的 EL 器件。驱动电路 15 包括可以是非晶硅晶体管的驱动晶体管 201、EL 器件 202、可以为正的第一电压源 211 (“PVDD”)、以及可以为负的第二电压源 206 (“Vcom”)。EL 器件 202 具有第一电极 207 和第二电极 208。驱动晶体管具有栅极 203、可以是驱动晶体管的漏极的第一供电电极 204 以及可以是驱动晶体管的源极的第二供电电极 205。模拟驱动晶体管控制信号,可选地通过选择晶体管 36,提供到栅极 203。模拟驱动晶体管控制信号可以存储在存储电容器 1002 上。第一供电电极 204 电连接至第一电压源 211。第二供电电极电连接至 EL 器件 202 的第一电极 207。EL 器件的第二电极 208 电连接至第二电压源 206。驱动晶体管 201 和 EL 器件 202 与可选的选择晶体管 36 和存储电容器 1002 一起组成 EL 子像素,驱动电路的该部分通常存在于 EL 面板上。电源通常位于 EL 面板之外。电连接可以通过开关、总线、导通的晶体管 (conducting transistor),或者能够提供电流通路的其他器件或结构来实现。

[0059] 在本发明的一个实施方式中,第一供电电极 204 通过 PVDD 总线电连接到第一电压源 211,第二电极 208 通过片型阴极 1012 电连接到第二电压源 206,并且通过线性源驱动器 14 向栅极 203 提供模拟驱动晶体管控制信号。

[0060] 本发明向驱动晶体管的栅极提供模拟驱动晶体管控制信号。为了提供控制信号,其中,该控制信号补偿随时间推移由驱动晶体管和 EL 器件的操作所导致的驱动晶体管和 EL 器件的特征变化,必须知道该变化。通过在不同时刻测量通过驱动晶体管的第一供电电极和第二供电电极的电流来确定该变化,以提供表示该变化的老化信号。将在以下的“算法”中对此进行详细描述。老化信号可以是数字的或模拟的。其可以是电压或电流的表示。

[0061] 图 2 示出了在如图 1 所示的整个系统的环境中的驱动电路 15,该系统包括非线性输入信号 11、转换器 12、补偿器 13 以及线性源驱动器 14。如上所述,驱动晶体管 201 具有栅极 203、第一供电电极 204 和第二供电电极 205。EL 器件 202 具有第一电极 207 和第二电

极 208。该系统具有电压源 211 和 206。注意到,为了使以下对电流镜单元 210 的讨论更清晰,在驱动电路 15 外部示出了第一电压源 211。

[0062] 通常是 FET 的驱动晶体管 201 以及 EL 器件 202 的性能使得,基本上相同的电流从第一电压源 211 通过第一供电电极 204 和第二电压源 205,通过 EL 器件电极 207 和 208 流到第二电压源 206。因此,可以在该链上的任意点处测量电流。可以在 EL 面外之外第一电压源 211 处测量电流,以降低 EL 子像素的复杂度。在一个实施方式中,本发明使用电流镜单元 210、相关双采样单元 220 以及模数转换器 230。这些将在以下的“数据收集”中详细描述。

[0063] 图 2 所示的驱动电路 15 是 N 沟道驱动晶体管和非倒置 EL 结构。在此情况下,EL 器件 202 连接到驱动晶体管 201 的源极 205,栅极 203 上的电压越高预控的光输出越高,并且电压源 211 比第二电压源 206 更正,从而电流从 211 流至 206。然而,本发明适用于 P 沟道或 N 沟道驱动晶体管以及非倒置或倒置 EL 器件的任意组合。本发明还适用于 LTPS 或 a-Si 驱动晶体管。

[0064] 数据收集

[0065] 硬件

[0066] 仍然参照图 2,为了在不依赖面板上的任何特殊电子器件的情况下测量各个 EL 子像素的电流,本发明采用了测量电路 16,该测量电路 16 包括电流镜单元 210、相关双采样(CDS:Correlated double-sampling)单元 220、以及模数转换器(ADC:Analog-to Digital Converter)230。

[0067] 尽管电流镜单元 210 可以附于电源 211、电源 206,或者经过 EL 器件和驱动晶体管的第一供电电极和第二供电电极的电流路径上的其他任何地点,但是电流镜单元 210 附于电压源 211。这是使 EL 器件发光的驱动电流的路径。第一电流镜 212 通过开关 200 向 EL 驱动电路 15 提供驱动电流,并在其输出 213 上产生镜向电流。镜向电流可以等于驱动电流。通常,镜向电流可以是驱动电流的函数。例如,镜向电流可以是驱动电流的倍数,以提供附加的测量系统增益。第二电流镜 214 和偏置电源 215 向第一电流镜 212 提供偏置电流,以减小第一电流镜中的电压变化,使得测量不受电路中的寄生阻抗的影响。该电路还减小了由于测量电路的电流消耗所导致的电流镜中的电压变化所引起的正在测量的通过 EL 子像素的电流的变化。与诸如简单的感应电阻等其他电流测量选择相比,这有利地改进了信号噪声比,其中,简单的感应电阻能够根据电流改变驱动晶体管端子处的电压。最后,电流-电压(I-V)转换器 216 将来自第一电流镜的镜向电流转换为电压信号,以便进一步处理。I-V 转换器 216 可包括互阻抗放大器或低通滤波器。对于单个 EL 子像素,I-V 转换器的输出可以是该子像素的老化信号。如以下讨论,为了测量多个子像素,测量电路可以包括响应电压信号以产生老化信号的进一步电路。如上所述,因为驱动晶体管和 EL 器件的特征由于驱动晶体管和 EL 器件的操作随时间推移而发生变化,所以 V_{th} 和 V_{oled} 将改变。于是,测得的电流,进而老化信号,将响应于这些变化而改变。这将在以下的“算法”中进一步讨论。

[0068] 在一个实施方式中,第一电压源 211 可以具有 +15VDC 的电势,第二电源 206 可以具有 -5VDC 的电势,并且偏置电压 215 可以具有 -16VDC 的电势。可以基于第一电压源 211 的电势选择偏置电压 215 的电势,以便在所有测量电流级处提供稳定的偏置电流。

[0069] 当 EL 子像素没有被测量时,可以通过开关 200 将电流镜从面板电断开,开关 200

可以是继电器或 FET。开关可以选择性地将测量电路电连接到流经驱动晶体管 201 的第一电极和第二电极的驱动电流。在测量期间,开关 200 可以将第一电压源 211 电连接到第一电流镜 212,以允许进行测量。在正常工作期间,开关 200 可以将第一电压源 211 直接电连接到第一供电电极 204 而不是第一电流镜 212,从而从驱动电流去除测量电路。这使得测量电路对于面板的正常工作没有影响。还有利地仅针对测量电流而不针对工作电流来确定诸如电流镜 212 和 214 中的晶体管的测量电路组件的尺寸。由于正常工作通常比测量消耗更多电流,这样显著降低了测量电路的尺寸和成本。

[0070] 采样

[0071] 电流镜单元 210 使得可以测量一个 EL 子像素的电流。为了测量多个子像素的电流,在本发明的一个实施方式中,使用相关双采样,其中,定时方案可以与标准 OLED 源驱动器一起使用。

[0072] 参照图 3,本发明中使用的 EL 面板 30 具有三个主要组件:驱动列线 32a、32b、32c 的源驱动器 31、驱动行线 34a、34b、34c 的选通驱动器 33、以及子像素矩阵 35。在本发明的一个实施方式中,源驱动器 31 可以是线性源驱动器 14。注意到,源驱动器和选通驱动器可包括一个或更多个微芯片。还注意到,术语“行”和“列”不暗示 EL 面板的任何特定朝向。子像素矩阵包括通常相同的多个 EL 子像素,EL 子像素通常以行和列的阵列方式排列。各个 EL 子像素包括驱动电路 15,驱动电路 15 包括 EL 器件 202。各个驱动电路将电流施加于它的 EL 器件,并且各个驱动电路包括选择晶体管 36 和驱动晶体管 201。起开关作用的选择晶体管 36 将行线和列线电连接到驱动晶体管 201。选择晶体管的栅极电连接到适当的行线 34,并且,选择晶体管的源极和漏极二者中的一个电连接到适当的列线 32,另一个连接到驱动晶体管的栅极。不论源极是连接到列线还是驱动晶体管的栅极,都不会影响选择晶体管的工作。在本发明的一个实施方式中,子像素矩阵 35 中的各个 EL 器件 202 可以是 OLED 器件,并且子像素矩阵 35 中的各个驱动晶体管 201 可以是非晶硅晶体管。

[0073] EL 面板还可以包括第一电压源 211 和第二电压源 206。参照图 10,可以通过例如 1011 的 PVDD 总线向驱动晶体管 201 提供电流,其中,该 PVDD 总线将驱动晶体管的第一供电电极 204 与第一电压源 211 电连接。把 EL 器件 202 的第二电极 208 与第二电压源 206 电连接的片型阴极 1012 能够完成电流通路。回来参照图 3,为清晰起见,在图 3 上示出了电压源 211 和 206,其中它们连接到各个子像素,本发明采用各种将电源连接到子像素的方案。各个驱动晶体管的第二供电电极 205 可以电连接到其对应的 EL 器件的第一电极 207。

[0074] 如图 2 所示,EL 面板可以包括电连接到第一电压源 211 的测量电路 16。该电路测量通过第一电压源和第二电压源的电流,根据基尔霍夫电流定律,它们是相同的。

[0075] 在该面板的典型操作中,源驱动器 31 在列线 32 上驱动合适的模拟驱动晶体管控制信号。然后,选通驱动器 33 激活第一行线 34a,使得适当的控制信号通过选择晶体管 36 到达适当的驱动晶体管 201 的栅极,使得那些晶体管将电流施加于它们所连接的 EL 器件 202。然后,选通驱动器释放第一行线 34a,防止其他行的控制信号破坏已通过选择晶体管的值。源驱动器在列线上驱动用于下一行的控制信号,并且选通驱动器激活下一行 34b。对于所有行重复该处理。这样,面板上的所有子像素一次一行地接收合适的控制信号。行时间是激活一行(例如,34a)和激活下一行(例如,34b)之间的时间。该时间通常对于所有行是不变的。

[0076] 根据本发明,有利地使用该行步进 (stepping) 以一次仅激活一个子像素,沿着列进行下去。参照图 3,假设仅驱动列 32a,从所有子像素都是关闭的开始。列线 32a 将具有诸如高电压的模拟驱动晶体管控制信号,使得连接到列线 32a 的子像素发光;所有其他列线 32b、32c 将具有诸如低电压的控制信号,使得连接到所有其他列线 32b、32c 的子像素不发光。由于所有子像素都关闭,面板不能消耗电流(但是,参见以下的“噪声源”)。从顶行开始,在由时间轴上的标记所指的点处激活行。由于行被激活,连接到列 32a 的子像素被开启,从而面板消耗的总电流增加。现在参照图 4A,在时刻 1,子像素被激活(例如,用行线 34a),并利用测量电路 16 测量其电流 41。具体地,测量的是来自电流测量电路的电压信号,如以上所讨论的,其代表通过第一和第二电压源的电流;为清楚起见,测量代表电流的电压信号被称为“测量电流”。在时刻 2,激活下一个子像素(例如,用行线 34b),并测量电流 42。电流 42 是来自第一子像素的电流与来自第二子像素的电流之和。第二测量值 42 与第一测量值 41 之间的差是第二子像素消耗的电流 43。这样,处理沿着第一列继续,测量各个子像素的电流。然后,测量第二列,接着是第三列,对于面板的其余部分也如此进行。注意到,在激活子像素之后,尽可能早地进行每次测量(例如,41、42)。在理想的情况下,可以在激活下一个子像素之前的任何时刻进行每次测量,但是,如以下将讨论的,在激活子像素后立即进行测量能够帮助去除由于自热效应导致的误差。此方法使得与子像素的设置时间所允许得那样快地进行测量。

[0077] 相关双采样单元 220 对所测量的电流采样,以产生老化信号。在硬件中,电流是通过将来自电流镜单元 210 的相应电压信号锁存到图 2 的采样及保持单元 221 和 222 来测量的。电压信号可以是由 I-V 转换器 216 产生的那些电压。差分放大器 223 取连续子像素测量之间的差。采样及保持单元 221 的输出电连接到差分放大器 223 的正极端,而单元 222 的输出电连接到放大器 223 的负极端。例如,当测量电流 41 时,将测量值锁存到采样及保持单元 221。然后,在测量电流 42 之前(锁存在单元 221 中),将单元 221 的输出锁存到第二采样及保持单元 222 中。然后,测量电流 42。这样将电流 41 留在单元 222 中,将电流 42 留在单元 221 中。因此,差分放大器的输出值,即,单元 221 中的值减去单元 222 中的值是电流 42(代表电流的电压信号)减去电流 41(代表电流的电压信号),或者是差 43。各个电流差,例如 43,可以是相应子像素的老化信号。例如,电流差 43 可以是连接到行线 34b 和列线 32a 的子像素的老化信号。这样,沿着行、跨越列步进,可以对每个子像素进行测量,并且为每个子像素提供老化信号。

[0078] 噪声源

[0079] 实际上,电流波形可以不是清晰的阶跃(clean step),因此,可以在等待波形建立后才进行测量。也可以每个子像素进行多次测量,然后一起求平均。这样的测量可以在前进到下一个子像素之前连续地进行。也可以在单独的测量过程中进行这样的测量,其中,每遍测量面板上的各个子像素。电压源 206 和 211 之间的电容可以加到建立时间上。该电容可以是面板固有的,或者也可以由外部电容器提供,就像在正常操作中常见的一样。有利地,可以提供开关用于在进行测量时电断开外部电容器。这将减少建立时间。

[0080] 所有电源应该尽可能地保持干净。任何电源上的噪声都将影响电流测量。例如,选通驱动器用于释放行的电源(常常称为 VGL 或者 Voff,通常为 -8VDC) 上的噪声可以跨过选择晶体管电容性地耦合到驱动晶体管,并影响电流,从而使得电流测量存在噪声。如果面

板具有多个电源区域,例如分离的电源面,则可以并行地测量这些区域。这种测量可以隔离区域间的噪声并且减小测量时间。

[0081] 噪声的一个主要源可以是源驱动器本身。无论何时源驱动器开关,其噪声暂态可以耦合到电源面和各个子像素中,造成测量噪声。为了降低噪声,当沿着列步进时,来自源驱动器的控制信号可以保持恒定。例如,当测量 RGB 条形面板上的红色子像素列时,该列的施加于源驱动器的红色码值可以对整列保持恒定。这将消除源驱动器的暂态噪声。

[0082] 由于源驱动器必须从激活当前列(例如,32a)变为激活下一列(例如,32b),所以源驱动器的暂态在列的开始和结束处能够是不可避免的。于是,对任何列中开始和最后的一个或更多个子像素的测量会经受由于暂态而引起的噪声。在一个实施方式中,EL 面板可以具有在可见行上面或下面的、用户不可见的额外的行。可以有足以使得源驱动器暂态仅在那些额外行中出现的额外行,这样,可见子像素的测量不受影响。在另一个实施方式中,可以在列开始的源驱动器暂态和该列中首行的测量之间,以及在该列中尾行的测量和在列结束的源驱动器暂态之间插入延时。

[0083] 即使所有子像素都关闭,面板也会消耗一些电流。该“暗电流”可能是由于关断状态下的驱动晶体管泄漏所导致的。暗电流将 DC 偏置噪声加到所测量的电流上。可以通过在激活第一子像素之前(如图 4A 上的点 49 所示)在所有子像素都关闭的情况下进行测量,来去除暗电流。在该情况下,子像素 1 消耗的电流将是测量值 41 减去测量值 49,而不是仅测量值 41。

[0084] 电流稳定性

[0085] 目前的讨论假设一旦子像素开启并且建立在某个电流,则该列的剩余部分都保持在该电流。两种影响将破坏这个假设,即,存储电容器泄漏和像素内影响。

[0086] 如本领域中已知的,存储电容器可以是任何子像素的一部分,并且可以电连接在驱动晶体管栅极和基准电压之间。子像素中的选择晶体管的泄漏电流可以逐渐地对存储电容器放电,改变驱动晶体管的栅电压,从而消耗电流。此外,如果连接到子像素的列线随着时间推移正改变值,其具有 AC 分量,因此可以通过选择晶体管的寄生电容耦合到存储电容器上,来改变存储电容器的值,进而改变子像素所消耗的电流。

[0087] 即使存储电容器的值稳定,子像素内影响也可以破坏测量。常见的子像素内影响是子像素的自热,随着时间推移该自热改变子像素所消耗的电流。 $a\text{-Si}$ TFT 的漂移迁移率是温度的函数;温度增加迁移率增加(Kagan 和 Andry,同上,第 2.2.2 节,第 42-43 页)。随着电流流过驱动晶体管,驱动晶体管中以及 EL 器件中的功率耗散将加热子像素,增加晶体管的温度,进而其迁移率。此外,热使 V_{oled} 降低;在 OLED 所连接到的驱动晶体管的源端的情况下,这样可以增加驱动晶体管的 V_{gs} 。这些影响增加了流经晶体管的电流量。在正常工作时,自热可以是次要影响,因为面板可以基于其正在显示的图像的平均内容稳定在平均温度。然而,当测量子像素电流时,自热可以破坏测量。参照图 4B,在激活子像素 1 之后尽可能早地进行测量 41。这样,子像素 1 的自热将不会影响测量。然而,在测量 41 和测量 42 之间的时间内,子像素 1 将自加热,电流增加了量 421。因此,计算出的表示子像素 2 的电流的差 43 将出现误差;它变大了量 421。量 421 是每个孩子每行时间的电流升高。

[0088] 为了校正自热的影响以及产生类似噪声特征的任何其他子像素内影响,可以对自热进行特征化,减去各个子像素的已知的自热分量。在各行时间内,各个子像素通常将电流

增加相同的量,这样,利用各个随后的子像素,可以减去所有已激活子像素的自热。例如,为了得到子像素 3 的电流 424,可以将测量值 423 减去自热分量 422,其中,自热分量 422 是分量 421 的两倍;每个子像素的分量 421 乘以已经激活的两个子像素。可以通过开启一个子像素达数十数百次行时间并且在该像素开启时周期性地测量该像素的电流。电流相对于时间的平均斜率可以乘以一个行时间,以计算每个子像素每行时间的升高 421。

[0089] 通过选择低的测量基准栅电压(图 5A,510),可以降低由于功率耗散及自热导致的误差,但是高的电压提高了信噪比。可以为各种面板设计选择测量基准栅电压,以平衡这些因素。

[0090] 算法

[0091] 参照图 5A,I-V 曲线 501 是在老化前测得的子像素特征。I-V 曲线 502 是该子像素老化之后的测量特征。曲线 501 和 502 按照基本水平的平移分开,如在不同电流水平上的相同的电压差 503、504、505 和 506 所示。即,老化的主要影响是在栅电压轴上将 I-V 曲线平移一个常量。这与 MOSFET 饱和区驱动晶体管方程 $I_d = K(V_{gs}V_{th})^2$ (Lurch, N 的 Fundamentals of electronics,第 2 版,NewYork:Jonh Wiley&Sons,1971 年,第 110 页)一致:驱动晶体管工作, V_{th} 升高;并且,随着 V_{th} 升高, V_{gs} 必然相应地升高,以保持 I_d 恒定。因此,恒定的 V_{gs} 导致 I_d 随着 V_{th} 升高而降低。

[0092] 在图 5A 的示例中,在测量基准栅电压 510 处,未老化的子像素产生了点 511 所表示的电流。该电流是那个子像素的老化信号。然而,老化的子像素在该栅电压处产生在点 512a 所表示的较低的电流。点 511 和 512a 可以是同一子像素在不同时间进行的两次测量。例如,点 511 可以是制造时进行的测量,而点 512a 可以是用户某些使用之后进行的测量。点 512a 处表示的电流可能由用电压 513 驱动的未老化子像素来产生(点 512b),这样,电压偏移 ΔV_{th} 514 被计算为电压 510 和 513 之间的电压差。因此,电压偏移 514 是将老化后的曲线恢复成未老化的曲线所需要的偏移。在该示例中, ΔV_{th} 514 刚好在两伏特以下。然后,为了补偿 V_{th} 偏移,并将老化的子像素驱动至与未老化的子像素所具有的电流相同的电流,电压差 514 被加到每个预控驱动电压(线性码值)上。为了进一步处理,百分比电流还被计算为电流 512a 除以电流 511。因此,未老化的子像素将具有 100% 的电流。在根据本发明的几种算法使用百分比电流。任何负的电流读数 511,诸如可能由极端环境噪声所导致的,可以被箝位为 0,或者不予考虑。注意到,总是计算在测量基准栅电压 510 处的百分比电流。

[0093] 通常,老化子像素的电流可以比未老化子像素的电流更高或更低。例如,温度越高使越多电流流过,从而热环境中的轻微老化的子像素比冷环境中的未老化的子像素消耗更多电流。本发明的补偿算法可以处理任何一种情况; ΔV_{th} 514 可为正也可为负(或者,对于未老化像素,为零)。类似地,百分比电流可以大于或小于 100%(或者,对于未老化像素,正好为 100%)。

[0094] 由于 V_{th} 偏移所导致的电压差在所有电流上都相同,所以可以测量 I-V 曲线上的任何单个点,以确定该差。在一个实施方式中,可以在高栅电压处进行测量,有利地增加测量的信噪比,但是,可以使用曲线上的任何栅电压。

[0095] V_{oled} 偏移是次要的老化效应。当 EL 器件被操作时, V_{oled} 偏移,导致老化的 I-V 曲线不再是未老化曲线的简单偏移。这是因为 V_{oled} 随着电流非线性地升高,从而, V_{oled} 偏移对高

电流的影响与对低电流的影响不同。该影响使 I-V 曲线水平展宽同时偏移。为了补偿 V_{oled} 偏移,可以在不同驱动电平上进行两次测量,以确定曲线已展宽到什么程度,或者,可以对 OLED 在负载下的典型 V_{oled} 偏移进行特征化,使得以开环方式估计 V_{oled} 贡献。这两者都可以产生可接受的结果。参照图 5B,半对数坐标的 I-V 曲线,分量 550 是由 V_{th} 偏移所导致的,而分量 552 是由 V_{oled} 偏移所导致的。通过利用典型的输入信号驱动被测 OLED 子像素达长的时间段并周期性测量 V_{th} 和 V_{oled} 可以对 V_{oled} 偏移进行特征化。可以通过在 OLED 和晶体管之间的被测子像素上提供探测点,来分别进行这两次测量。利用此特征,百分比电流可以被映射到合适的 ΔV_{th} 和 ΔV_{oled} ,而不仅是 V_{th} 偏移。

[0096] OLED 效率损失是第三老化效应。随着 OLED 老化, OLED 效率下降,同样的电流量不再产生同样的光量。为了不需要光学传感器或附加的电子器件就对此进行补偿,可以将 OLED 效率损失特征化为 V_{th} 偏移的函数,使得可以估计将光输出返回至之前水平所需要的额外的电流量。可以通过用典型输入信号驱动被测 OLED 子像素达长的时间段,并且在各种驱动电平处周期性地测量 V_{th} 、 V_{oled} 以及 I_{oled} ,来对 OLED 效率损失进行特征化。效率可以被计算为 I_{oled}/V_{oled} ,并且该计算可以与 V_{th} 或者百分比电流相关。注意到,由于 V_{th} 偏移容易逆转,而 OLED 效率损失不是,所以,当 V_{th} 偏移总是向前时,此特征实现了最有效的结果。如果 V_{th} 偏移被逆转,那么将 OLED 效率损失与 V_{th} 偏移相关联可能变得复杂。为了进一步处理,可以通过将老化效率除以新效率来计算百分比效率,这与上述百分比电流的计算类似。

[0097] 参照图 9,示出了作为各种驱动电平处的百分比电流的函数的百分比效率的实验图以及对实验数据的线性拟合,例如 90。如图所示,在任何给定的驱动电平上,效率与百分比电流线性相关。该线性模型允许有效的开环效率补偿。Parker 等人在 1999 年的 J. App. Phys (85. 4) 第 2441-2447 页的“Lifetime and degradation effects in polymer light-emitting diodes”中报告了类似结果,具体如第 2445 页的图 12 所示。Parker 等还提出对效率损失(亮度降低)和 V_{oled} 升高(电压升高)二者负有责任的单个机制。

[0098] 驱动晶体管和 EL 器件的特征(包括 V_{th} 和 V_{oled})由于随时间推移所进行的驱动晶体管和 EL 器件的操作导致随时间推移发生变化。百分比电流可以用作表示这些变化并且能够补偿这些的老化电流。

[0099] 尽管在 OLED 器件的情景中描述了该算法,但是,对于本领域普通技术人员而言,显然也可以通过应用这些分析来对其他 EL 器件进行补偿。

[0100] 实现

[0101] 参照图 6A,示出了补偿器的实现,其中,线性码值是预控驱动电压,而改变后的线性码值是补偿后的电压。补偿器一次在一个子像素上进行操作;可以串行地处理多个子像素。例如,由于各个子像素的线性码值以常规的从左到右、从上到下的扫描顺序从信号源到达,所以可以对各个子像素进行补偿。通过并行补偿电路的多个副本或者通过使补偿器流水线化,可以同时多个像素执行补偿;这些技术对于本领域普通技术人员而言是很清楚的。

[0102] 补偿器 60 的输入是子像素的位置 601 以及可以代表预控驱动电压的子像素的线性码值 602。补偿器改变线性码值,为线性源驱动器产生改变后的线性码值,例如,其可以是补偿后的电压输出 603。补偿器可以包括四个主要块:确定子像素的使用时间 61、可选地对 OLED 效率的补偿 62、基于使用时间确定补偿 63、以及补偿 64。块 61 和 62 主要与 OLED 效

率补偿有关,而块 63 和 64 主要与电压补偿(尤其是 V_{th}/V_{oled} 补偿)有关。

[0103] 图 6B 是块 61 和 62 的展开图。子像素的位置 601 用于检索所存储的在制造时得到的基准老化信号测量值 i_0 611、以及最近存储的老化信号测量值 i_1 612。老化信号测量值可以是由以上“数据收集”中描述的测量电路输出的老化信号。该测量值可以是在不同时间在位置 601 处子像素的老化信号的测量值。这些测量值可以被存储在存储器 619 中,该存储器 619 可以包括诸如闪存的非易失性 RAM,以及诸如 EEPROM 的 ROM。 i_0 测量值可以存储在 NVRAM 或 ROM 中; i_1 测量值可以存储在 NVRAM 中。测量值 612 可以是单次测量值、多次测量值的平均值、测量值随时间的指数加权移动平均值、或者对于本领域技术人员显而易见的其他平滑方法的结果。

[0104] 如上所述,可以通过 i_1/i_0 来计算百分比电流 613,百分比电流 613 可为 0(死像素)、1(没变化)、小于 1(电流损失)或者大于 1(电流增益)。通常,百分比电流 613 在 0 和 1 之间,因为,最近的老化信号测量值将低于制造时的测量值。百分比电流本身可以是老化信号,因为百分比电流和单个测量值 i_0 和 i_1 一样,代表着电流的变化,在这种情况下,百分比电流可以直接存储在存储器 619 中。

[0105] 百分比电流 613 被发送到下一个处理级 63,还被输入到模型 695,以确定百分比的 OLED 效率 614。模型 695 输出效率 614,效率 614 是在最近测量时针对给定的电流而发出的光量除以在制造时针对该电流发出的光量。任何大于 1 的百分比电流都能产生为 1 的效率或者没有损失,因为对于具有增益后的电流的像素可能很难计算效率损失。在 OLED 效率取决于预控电流的情况下,模型 695 还可以是线性码值 602 的函数,如虚线箭头所示。可以利用面板设计中的寿命试验以及建模,来确定是否包含线性码值 602 作为模型 695 的输入。

[0106] 并行地,补偿器接收线性码值,例如,预控电压输入 602。该线性码值通过制造时所测量的面板初始 I-V 曲线 691,以确定所期望的电流 621。在运算 628 中,将该期望的电流 621 除以百分比效率 614,以将期望电流的光输出恢复到制造时的值。然后,提升后的电流通过曲线 692(即曲线 691 的逆),以确定在存在效率损失的情况下哪个预控电压将产生所希望的光量。曲线 692 的值作为效率调整后的电压 622 传送到下一级。

[0107] 如果不希望进行效率补偿,则输入电压 602 被不作改变地发送到下一级作为效率调整后的电压 622,如通过可选的旁路路径 626 所示。在该情况下,仍然应当计算百分比电流 613,但是不需要计算百分比效率 614。

[0108] 图 6C 是图 6A 中块 63 和 64 的展开图。其从上一级接收百分比电流 613 和效率调整电压 622。块 63(即“获取补偿”)包括通过 I-V 曲线的逆 692 映射电流损失 623,并从测量基准栅电压(510)中减去该结果(513),以找到 V_{th} 偏移 ΔV_{th} 631。块“64”(即“补偿”)包括运算 633,该运算 633 计算补偿后的电压输出 603,如式 1 中所给出的:

$$V_{out} = V_{in} + \Delta V_{th}(1 + \alpha(V_{g,ref} - V_{in})) \quad (\text{式 1})$$

[0110] 其中, V_{out} 是 603, ΔV_{th} 是 631, α 是阿尔法值 632, $V_{g,ref}$ 是测量基准栅电压 510,而 V_{in} 是效率调整后的电压 622。补偿后的电压输出可以表示为用于线性源驱动器的改变后的线性码值,并且补偿驱动晶体管和 EL 器件的特征变化。

[0111] 在直接 V_{th} 偏移的情况中, α 将为零,运算 633 将减少,以将 V_{th} 偏移量加到效率调整后的电压 622 上。对于任何特定的子像素,增加量是恒定的,直到进行新的测量。因此,在该情况中,可以在测量后预先计算运算 633 中增加的电压,使得块 63 和 64 瓦解,以查找

所存储的值,并加上该值。这样能够节省大量逻辑。

[0112] 跨域处理及比特深度

[0113] 本领域中已知的图像处理路径通常产生非线性码值 (NLCV),即,与亮度呈非线性关系的数字值 (Giorgianni 和 Madden, Digital Color Management: encoding solutions. Reading, Mass: Addison-Wesley, 1998 年,第 13 章,第 283-295 页)。利用非线性输出匹配典型源驱动器的输入域,并将码值精确范围匹配到人眼精确范围。然而, V_{th} 偏移是电压域的运算,因此,在线性电压空间中最容易实现。可以使用线性源驱动器,并在源驱动器之前执行域转换,以有效地将非线性域图像处理路径与线性域补偿器集成。注意到,尽管该讨论是关于数字处理的,但是,在模拟或数字/模拟混合系统中,也可以执行模拟处理。还注意到,补偿器可以在除电压之外的线性空间中工作。例如,补偿器可以在线性电流空间中工作。

[0114] 参照图 7,示出了域转换单元 12 和补偿器 13 的效果的琼斯 (Jones) 图示。该图示出了这些单元的数学效果,而不是它们是怎么实现的。这些单元的实现可以是模拟的或数字的。象限 I 表示域转换单元 12 的操作:通过变换 711 映射轴 701 上的、可以是非线性码值 (NLCV) 的非线性输入信号以形成轴 702 上的线性码值 (LCV),从而对该非线性输入信号进行转换。象限 II 表示补偿器 13 的操作:通过诸如 721 和 722 的变换来映射轴 702 上的 LCV,以形成轴 703 上的改变后的线性码值 (CLCV)。

[0115] 参照象限 I,域转换单元 12 接收非线性输入信号,例如, NLCV,并将它们转换为 LCV。应当以足够的分辨率执行该转换,以避免讨厌的可见伪影,诸如轮廓线和碎黑点。在数字系统中, NLCV 轴 701 可以被量化,如图 7 所示。在该情况中, LCV 轴 702 应该具有足够的分辨率,以表示两个相邻 NLCV 之间的变换 711 中的最小变化。这被示为 NLCV 步长 712 和对应的 LCV 步长 713。由于 LCV 根据定义是线性的,所以整个 LCV 轴 702 的分辨率应当足以表示步长 713。于是,为了避免图像信息损失,可以用比 NLCV 更细的分辨率来定义 LCV。类比于奈奎斯特采样定理,该分辨率可以是步长 713 的分辨率的两倍。

[0116] 变换 711 是用于未老化子像素的理想变换。其与任何子像素或者作为整体的面板的老化没有关系。具体地,变换 711 不会由于 V_{th} 、 V_{oled} 或者 OLED 效率的任何改变而被修改。可以是对于所有颜色都是一种变换,或者,每种颜色一种变换。通过变换 711,域转换单元有利地将图像处理路径从补偿器中分离出来,使这两者一起操作而无需共享信息。这简化了两者的实现。

[0117] 参照象限 II,补偿器 13 基于每个子像素将 LCV 改变成改变后的线性码值 (CLCV)。图 7 示出了简单的情况,不失一般性,针对直接 V_{th} 偏移进行校正。可以通过从 LCV 至 CLCV 的直接电压偏移来校正直接 V_{th} 偏移。可以和以上“实现”中所述的一样地处理其他老化效应。

[0118] 曲线 721 代表补偿器对于未老化子像素的特征。在该情况中,CLCV 可以与 LCV 相同。曲线 722 代表补偿器对于老化子像素的特征。在该情况中,CLCV 可以是 LCV 加上代表所考虑的子像素的 V_{th} 偏移的偏移量。于是,为了给补偿提供净空,CLCV 通常将需要比 LCV 更大的范围。例如,如果当子像素是新子像素时,需要 256 个 LCV 并且它的寿命内的最大偏移是 128 个 LCV,则 CLCV 将需要能够表示多达 $384 = 256+128$ 个值,以避免箝位对严重老化的子像素的补偿。

[0119] 图 7 示出了域转换单元和补偿器的效果的完整示例。跟随图 7 上的点划线箭头,

为 3 的 NLCV 被域转换单元 12 通过变换 711 变换成为 9 的 LCV,如象限 I 所示。对于未老化子像素,补偿器 13 通过曲线 721 将为 9 的 LCV 转换成为 9 的 CLCV,如象限 II 所示。对于具有类似于 12 个 CLCV 的 V_{th} 偏移的老化子像素,通过曲线 722 将为 9 的 LCV 转换成为 $9+12=21$ 的 CLCV。

[0120] 实际上,NLCV 可以是来自图像处理路径的码值,可以具有八比特以上。对于每帧,可以存在针对面板上的每个子像素的 NLCV。LCV 可以是表示由源驱动器要驱动的电压的线性值,并且如上所述,为了具有足够的分辨率,LCV 可以具有比 NLCV 更多的比特。CLCV 也可以是表示由源驱动器要驱动的电压的线性值。同样如上所述,为了给补偿提供净空,CLCV 可以具有比 LCV 更多的比特。针对每个子像素可以存在 LCV 和 CLCV,如本文所述,LCV 和 CLCV 各根据输入的 NLCV 产生。

[0121] 在一种实施方式中,来自图像处理路径的码值 (NLCV) 或者非线性输入信号是九比特宽。可以表示电压的线性码值可以是 11 比特宽。可以通过 LUT 或函数执行从非线性输入信号到线性码值的变换。补偿器可以接收表示所希望的电压的 11 比特线性码值,并产生 12 比特的改变后的线性码值,以发送给线性源驱动器 14。然后,线性源驱动器响应于改变后的线性码值,可以驱动所连接的 EL 子像素的驱动晶体管的栅极。补偿器在输出端可以具有比输入端更大的比特深度,以为补偿提供净空,即,将电压范围 78 扩展为电压范围 79,同时在整个新的、扩展后的范围上保持相同的分辨率,正如最小线性码值步长 74 所要求的一样。补偿器输出范围可以扩展为低于曲线 71 的范围或者高于曲线 71 的范围。

[0122] 可以将各个面板设计进行特征化,以确定在面板的设计寿命内最大 V_{th} 偏移 73、 V_{oled} 升高以及效率损失将是多少,并且补偿器和源驱动器可以具有足够范围来进行补偿。该特征可以从所需要的电流经由标准晶体管饱和区 I_{ds} 方程到所需要的栅偏压和晶体管尺寸,然后经由本领域中已知的各种模型到与随时间推移的 α -Si 退化有关的、随时间推移的 V_{th} 偏移。

[0123] 操作序列

[0124] 面板设计的特征化

[0125] 该部分是在大规模生产特定 OLED 面板设计的情况下撰写的。在开始大规模生产之前,可以对该设计进行特征化:可以执行加速寿命试验,对于老化到各种级别的各种采样面板上的各颜色的各子像素测量 I-V 曲线。所要求的测量次数和测量类型以及老化级别取决于特定面板的特征。利用这些测量,可以计算值阿尔法 (α),并且可以选择测量基准栅电压。阿尔法 (图 6C, 标号 634) 是表示随时间推移相对于直接偏移的偏离量的值。 α 值为 0 表示所有老化都是电压轴上的直接偏移,例如,这是单独的 V_{th} 偏移的情况。测量基准栅电压 (图 5A 310) 是进行老化信号测量以用于补偿时的电压,并且,可以选择该电压以提供好的 S/N 比,同时保持功率耗散低。

[0126] 可以通过优化来计算 α 值。表 1 中给出了示例。可以在一些老化条件下,在一些栅电压测量 ΔV_{th} 。然后,计算在各个 ΔV_{th} 和测量基准栅电压 310 处的 ΔV_{th} 之间的 ΔV_{th} 差。计算在各个栅电压和测量基准栅电压 310 之间的 V_g 差。然后,使用在测量基准栅电压 310 处的适当 ΔV_{th} 作为式中的 ΔV_{th} ,并使用适当的计算出的栅电压差作为 $(V_{g,ref}-V_{in})$,可以对每次测量计算式 1 的内部项 $\Delta V_{th} \cdot \alpha (V_{g,ref}-V_{in})$,以得出预测的 ΔV_{th} 差。然后,可以迭代地选择 α 值,以减小所预测的 ΔV_{th} 差与所计算出的 ΔV_{th} 差之间的误差,并且优选地

数学上最小化所预测的 ΔV_{th} 差与所计算出的 ΔV_{th} 差之间的误差。误差可以表示为最大差值或者 RMS 差值。也可以使用本领域中已知的其他方法,诸如 ΔV_{th} 差的最小二乘法拟合来作为 V_g 差的函数。

[0127]

V_g	预测的								
	ΔV_{th}		V_g 差	ΔV_{th} 差		ΔV_{th} 差		误差	
	第 1 天	第 8 天		第 1 天	第 8 天	第 1 天	第 8 天	第 1 天	第 8 天
ref=13.35	0.96	2.07	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
12.54	1.05	2.17	0.81	0.09	0.1	0.04	0.08	0.05	0.02
11.72	1.1	2.23	1.63	0.14	0.16	0.08	0.17	0.06	-0.01
10.06	1.2	2.32	3.29	0.24	0.25	0.16	0.33	0.08	-0.08
			$V_{g,ref}-V_{in}$			$\alpha=0.0491$		max=0.08	

[0128] 表 1 : α 计算不例

[0129] 除了 α 和测量基准栅电压之外,如上该,特征化还可以确定作为 V_{th} 偏移的函数的 V_{oled} 偏移、作为 V_{th} 偏移的函数的效率损失、每个子像素的自热分量、最大 V_{th} 偏移、 V_{oled} 偏移和效率损失、以及非线性至线性变换中补偿器中所需要的分辨率。还可以结合面板校准处理对所需要的分辨率进行特征化,诸如 Alessi 等 2007 年 4 月 13 日提交的共同待审、共同受让的 USSN 11/734,934 “Calibrating RGBW Displays”,在此通过引用并入。如以下“在现场”中将描述的,特征化还确定用于在现场中进行特征化测量的条件。本领域技术人员可以进行所有这些确定。

[0130] 大规模生产

[0131] 一旦已经对设计进行了特征化,就可以开始大规模生产了。在制造时,为生产的每个面板测量一个或更多个 I-V 曲线。这些面板曲线可以是多个子像素曲线的平均。不同的颜色或者面板的不同区域可以有各自的曲线。可以在足够的驱动电压处测量电流,以得到理想的 I-V 曲线;I-V 曲线中的任何误差都能够影响结果。并且,在制造时,可以为面板上的每个子像素测量基准电流,即,在测量基准栅电压下的电流。关于该面板,存储 I-V 曲线和基准电流,并且被发送到现场中。

[0132] 在现场

[0133] 当在现场中,面板上的子像素根据被驱动强度以不同的速度老化。一定时间之后,一个或更多个像素已经偏移得足以需要对它们进行补偿那么远;以下考虑怎样确定该时间。

[0134] 为了进行补偿,进行并应用补偿测量。补偿测量值是各个子像素在测量基准栅电压下的电流。如以上的“算法”中描述的那样进行测量。存储测量值,使得无论何时驱动子像素都能够应用这些测量值,直到进行了下一次测量。当进行补偿测量时,可以测量整个面板或其任意子集;当驱动任何子像素时,可以在补偿中使用该子像素的最近测量值。这也意味着,可以在一个时刻测量子像素的第一子集,而在另一个时刻测量第二子集,这样,即使在最近一轮中并非每一个子像素都得到测量,也能在整个面板上进行补偿。还可以测量比一个子像素更大的块,将同样的补偿施加于该块中的每个子像素,但是,这样做时需要注意避免引入块边缘伪影。此外,测量大于一个子像素的块引起了高空间-频率图案的可见老化 (burn-in) 的弱点;这样的图案可以具有比块尺寸更小的特征。通过与测量单个子像素

相比测量多个子像素块所需要的时间下降可以折衷该弱点。

[0135] 根据需要可以频繁或者不频繁地进行补偿测量；典型的范围可以是八小时一次到四周一次。图 8 示出了作为面板工作时间的函数的多久可能必须进行一次补偿测量的示例。此曲线仅是示例；实际上，可以通过任意特定面板设计的加速寿命试验来为该设计确定此曲线。可以基于驱动晶体管和 EL 器件随时间推移的特征变化速度来选择测量频率；当面板是新面板时，两种偏移都更快，从而面板新的时候比面板旧的时候更频繁地进行补偿测量。确定什么时候进行补偿测量的方式可以有多种。例如，可以测量在一些给定驱动电压下整个面板所消耗的总电流，并与相同测量的之前结果进行比较。在另一种示例中，可以测量诸如温度以及周围光照度等影响面板的环境因素，并且，例如，如果周围温度变化超过一定阈值，则进行补偿测量。或者，可以测量在面板的图像区域中或面板的图像区域之外的单个子像素的电流。如果在面板的图像区域外部，则该子像素可以是测量而提供的基准子像素。希望该子像素可以暴露在任何周围条件部分。例如，子像素可以被不透明材料覆盖，使得它们对周围温度作出响应而不对周围光照度作出响应。

[0136] 构造上述实施方式，其中，驱动电路中的晶体管是 n 沟道晶体管。本领域技术人员可以理解在本发明中对电路进行了适当的公知修改的实施方式（在该实施方式中晶体管是 p 沟道晶体管或者是 n 沟道和 p 沟道的组合）也是有用的。此外，该实施方式示出了非倒置（共阴极）结构中的 OLED；此发明还可应用于倒置（共阳极）结构。还可以构造上述实施方式，其中，驱动电路中的晶体管是 a-Si 晶体管。上述实施方式可以应用于作为时间的函数而并不稳定的任何有源矩阵底板。例如，已经知道由有机半导体材料和锌氧化物制成的晶体管是作为时间的函数而变化，因此，相同的方法可以应用于这些晶体管。此外，由于本发明能够对独立于晶体管的老化地补偿 EL 器件的老化，因此，本发明还可以应用于晶体管没有老化的有源矩阵底板，诸如 LTPS TFT。本发明还可应用于 OLED 之外的其他 EL 器件。尽管其他 EL 器件类型的退化模式不同于本文所描述的退化模式，但是，仍然可以应用本发明的测量、建模以及补偿技术。

[0137] 部件列表

[0138] 10 整体系统

[0139] 11 非线性输入信号

[0140] 12 到电压域的转换器

[0141] 13 补偿器

[0142] 14 线性源驱动器

[0143] 15 OLED 驱动电路

[0144] 16 电流测量电路

[0145] 30 OLED 面板

[0146] 31 源驱动器

[0147] 32a 列线

[0148] 32b 列线

[0149] 32c 列线

[0150] 33 选通驱动器

[0151] 34a 行线

[0152]	34b	行线
[0153]	34c	行线
[0154]	35	子像素矩阵
[0155]	36	选择晶体管
[0156]	41	测量值
[0157]	42	测量值
[0158]	43	差
[0159]	49	测量值
[0160]	60	补偿器
[0161]	61	块
[0162]	62	块
[0163]	63	块
[0164]	64	块
[0165]	71	I-V 曲线
[0166]	73	电压偏移
[0167]	74	码值步长
[0168]	75	电压步长
[0169]	76	电压步长
[0170]	78	电压范围
[0171]	79	电压范围
[0172]	90	线性拟合
[0173]	200	开关
[0174]	201	驱动晶体管
[0175]	202	OLED 器件
[0176]	203	栅极
[0177]	204	第一供电电极
[0178]	205	第二供电电极
[0179]	206	电压源
[0180]	207	第一电极
[0181]	208	第二电极
[0182]	210	电流镜单元
[0183]	211	电压源
[0184]	212	第一电流镜
[0185]	213	第一电流镜输出
[0186]	214	第二电流镜
[0187]	215	偏置电源
[0188]	216	电流 - 电压转换器
[0189]	220	相关双采样单元
[0190]	221	采样及保持单元

[0191]	222	采样及保持单元
[0192]	223	差分放大器
[0193]	230	模数转换器
[0194]	421	自热量
[0195]	422	自热量
[0196]	423	测量值
[0197]	424	差
[0198]	501	未老化 I-V 曲线
[0199]	502	老化 I-V 曲线
[0200]	503	电压差
[0201]	504	电压差
[0202]	505	电压差
[0203]	506	电压差
[0204]	510	测量基准栅电压
[0205]	511	电流
[0206]	512a	电流
[0207]	512b	电流
[0208]	513	电压
[0209]	514	电压偏移
[0210]	550	电压偏移
[0211]	552	电压偏移
[0212]	601	子像素位置
[0213]	602	受控电压
[0214]	603	补偿后的电压
[0215]	611	电流
[0216]	612	电流
[0217]	613	百分比电流
[0218]	614	百分比效率
[0219]	619	存储器
[0220]	621	电流
[0221]	622	电压
[0222]	626	块
[0223]	628	操作
[0224]	631	电压偏移
[0225]	632	阿尔法值
[0226]	633	操作
[0227]	691	I-V 曲线
[0228]	692	I-V 曲线的逆
[0229]	695	模型

-
- [0230] 701 轴
 - [0231] 702 轴
 - [0232] 703 轴
 - [0233] 711 变换中的最小变化
 - [0234] 712 步长
 - [0235] 713 步长
 - [0236] 721 变换
 - [0237] 722 变换
 - [0238] 1002 存储电容器
 - [0239] 1011 总线
 - [0240] 1012 片型阴极

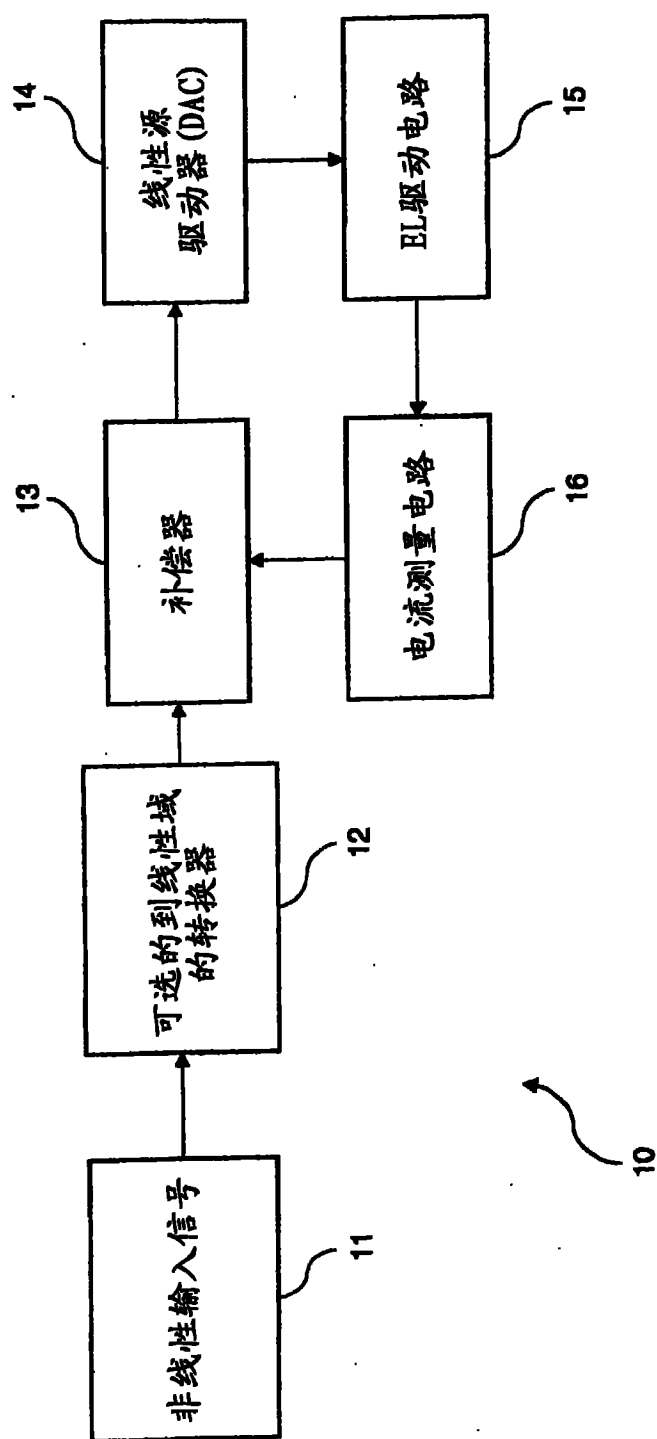


图 1

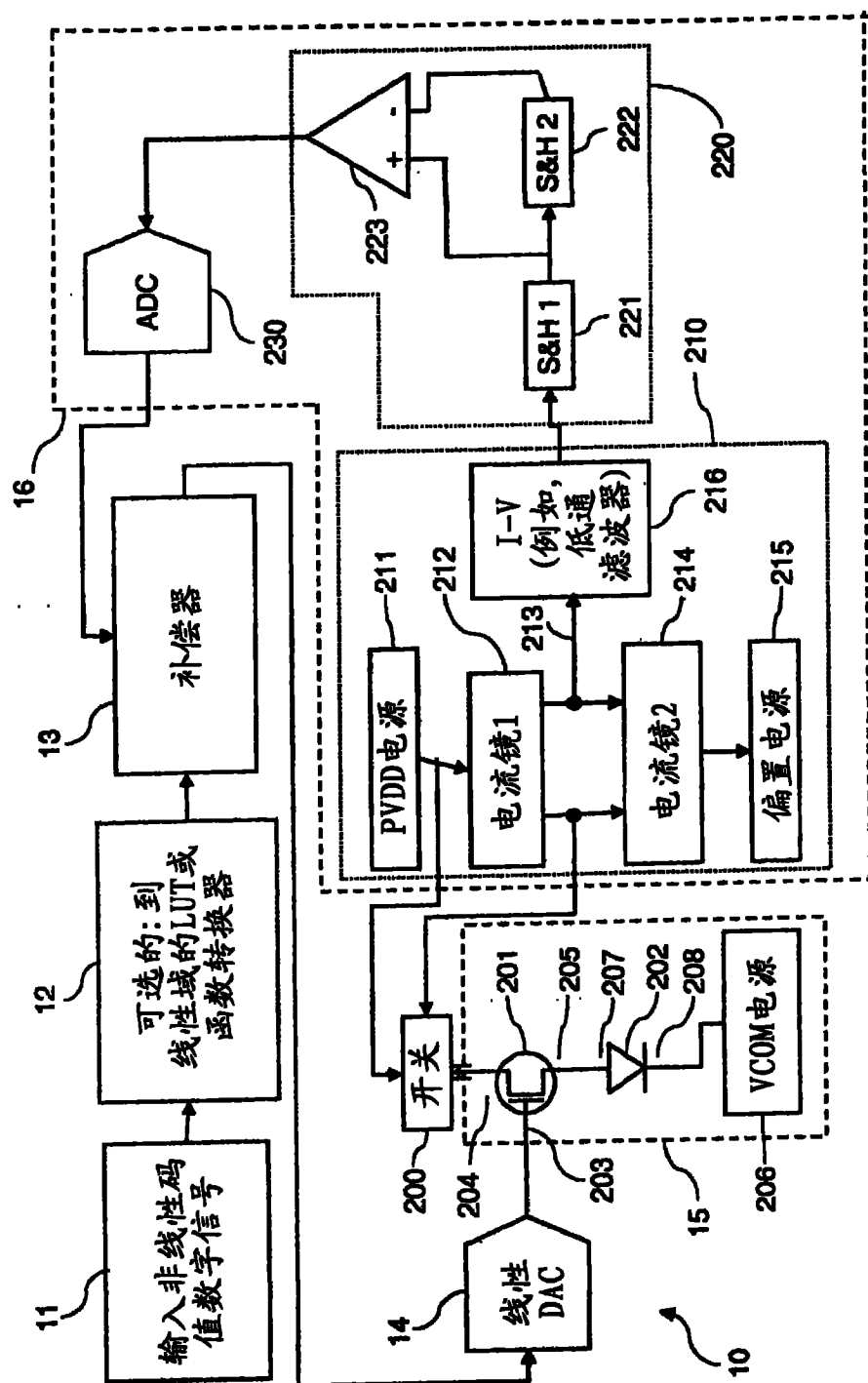


图 2

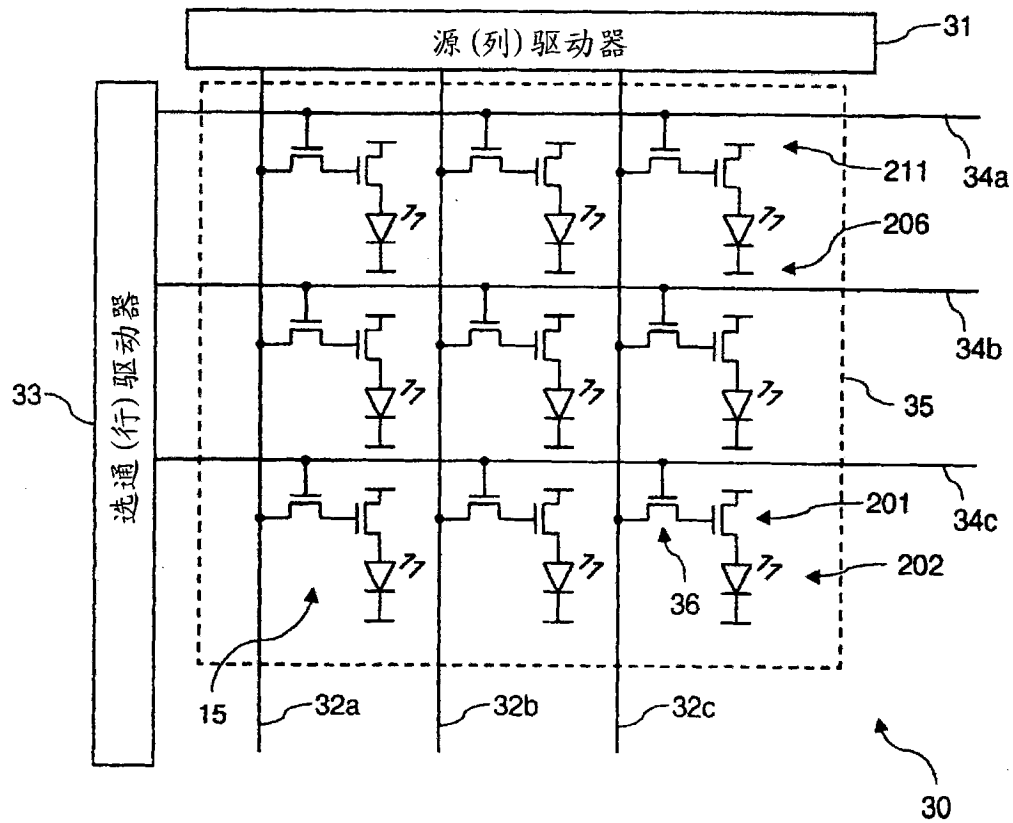


图 3

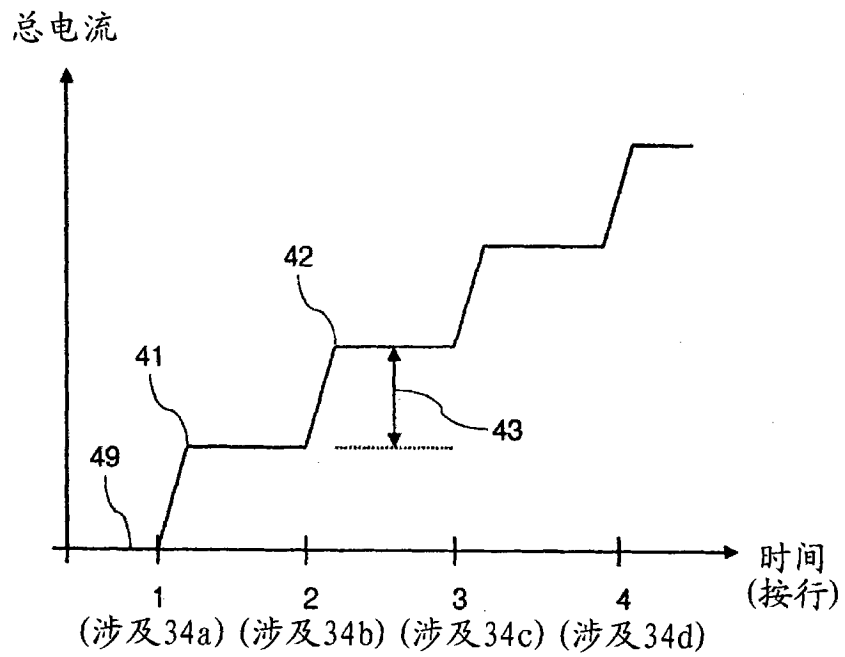


图 4A

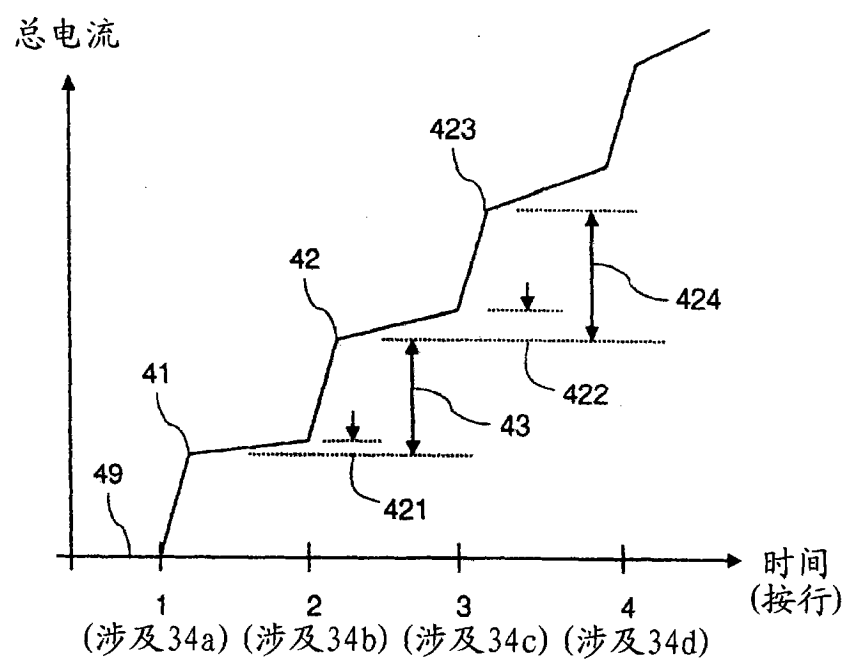


图 4B

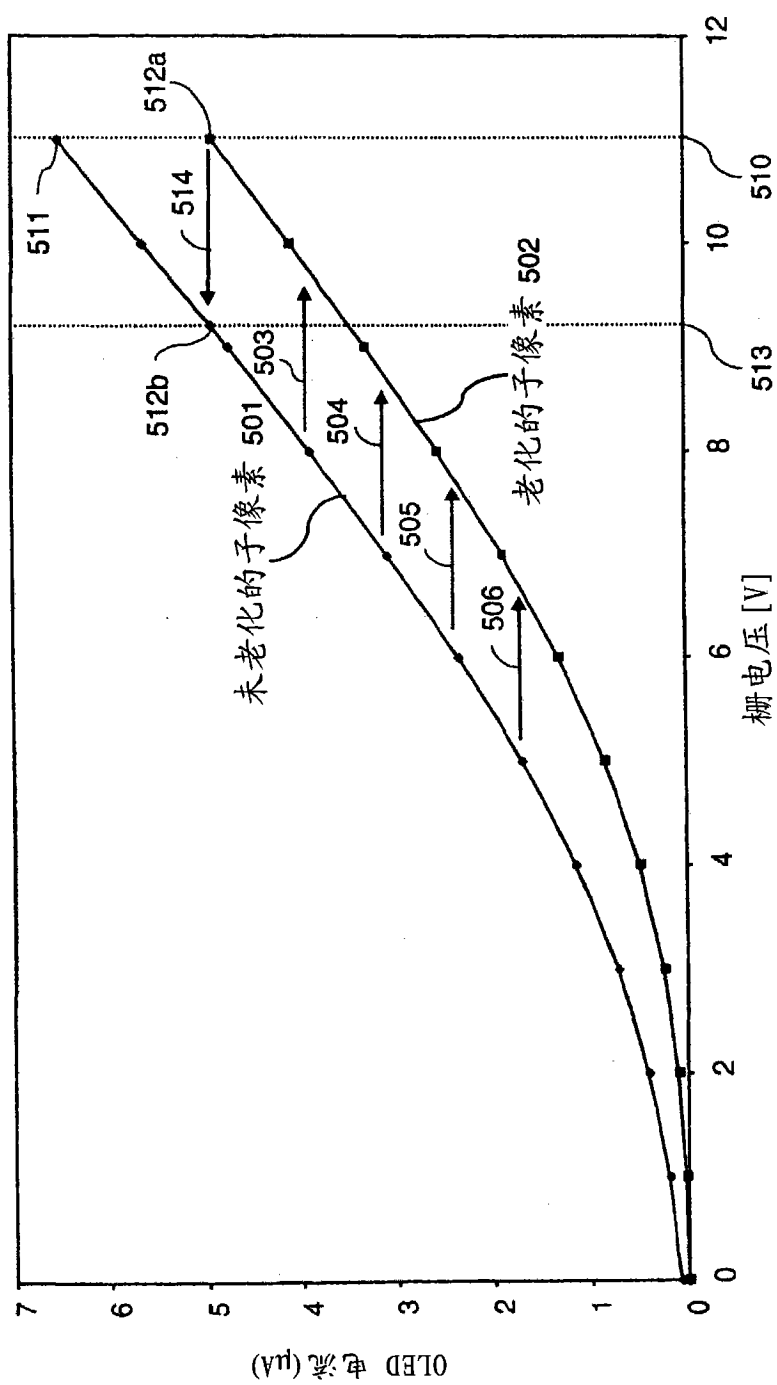


图 5A

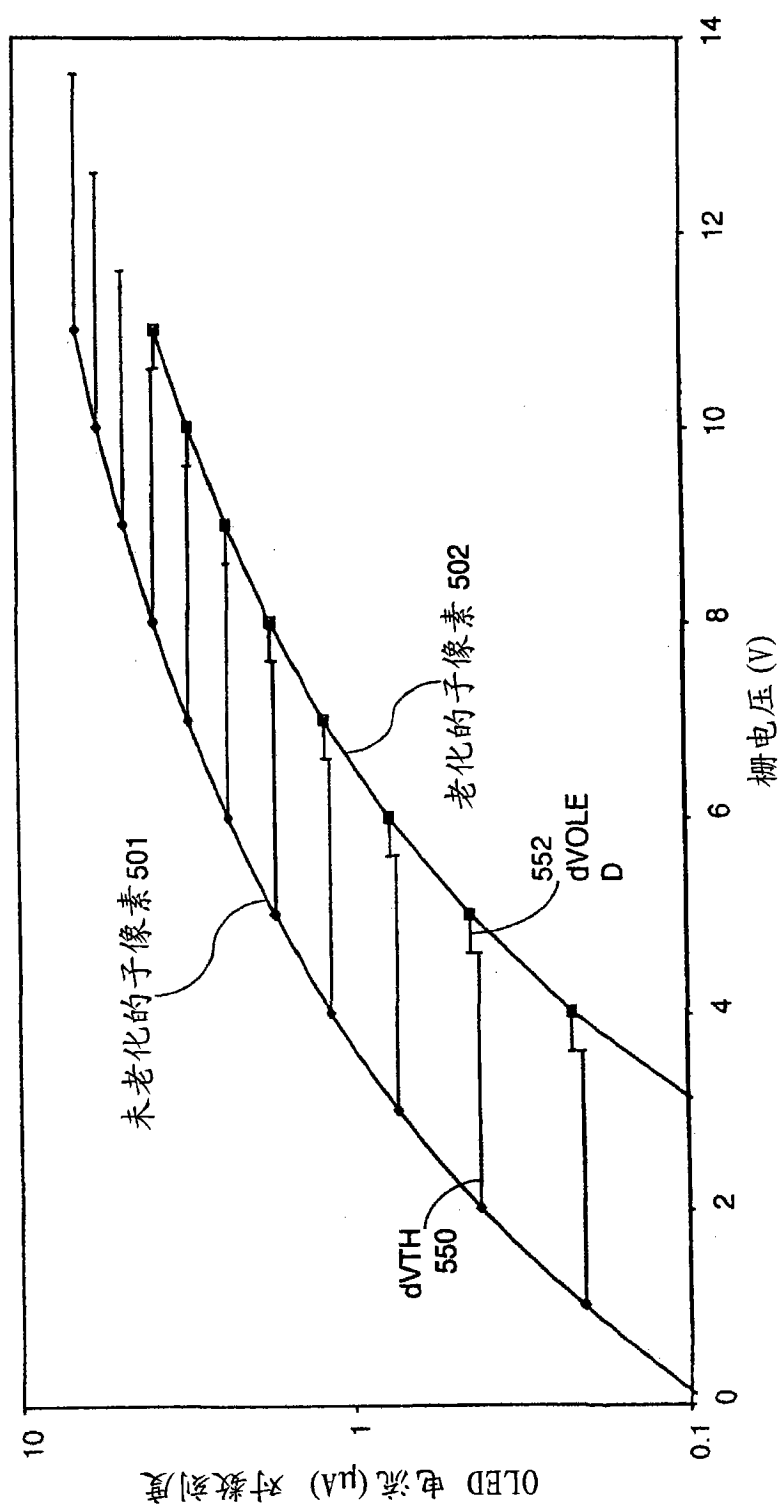


图 5B

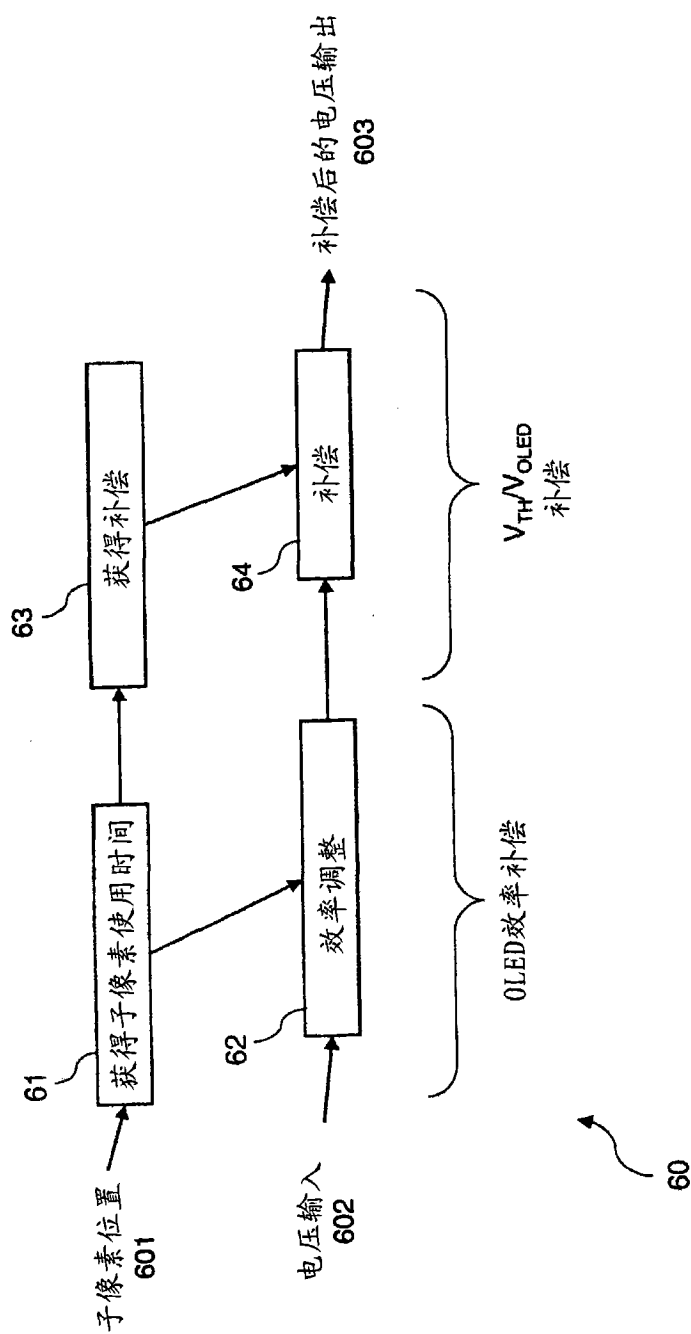


图 6A

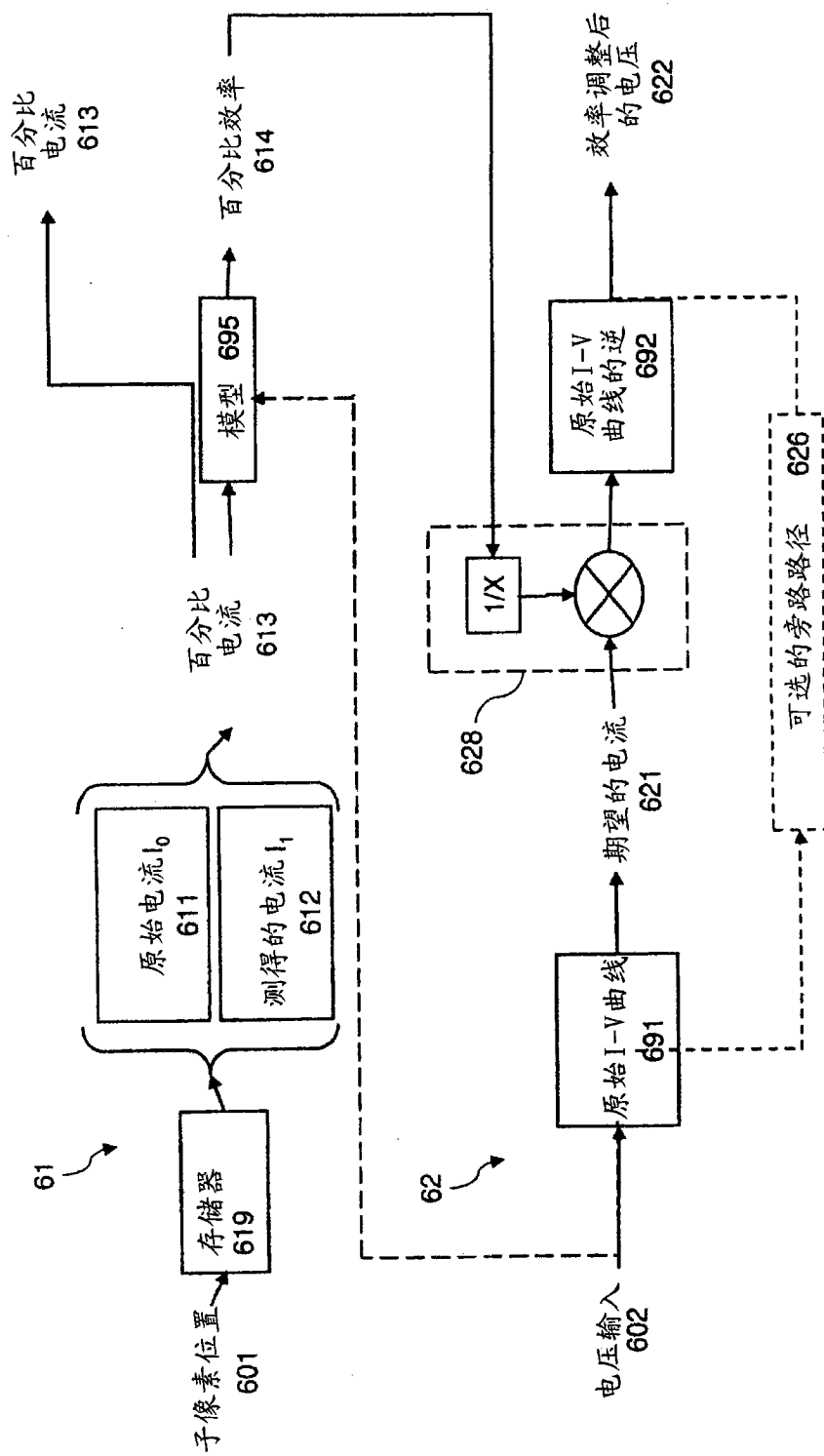


图 6B

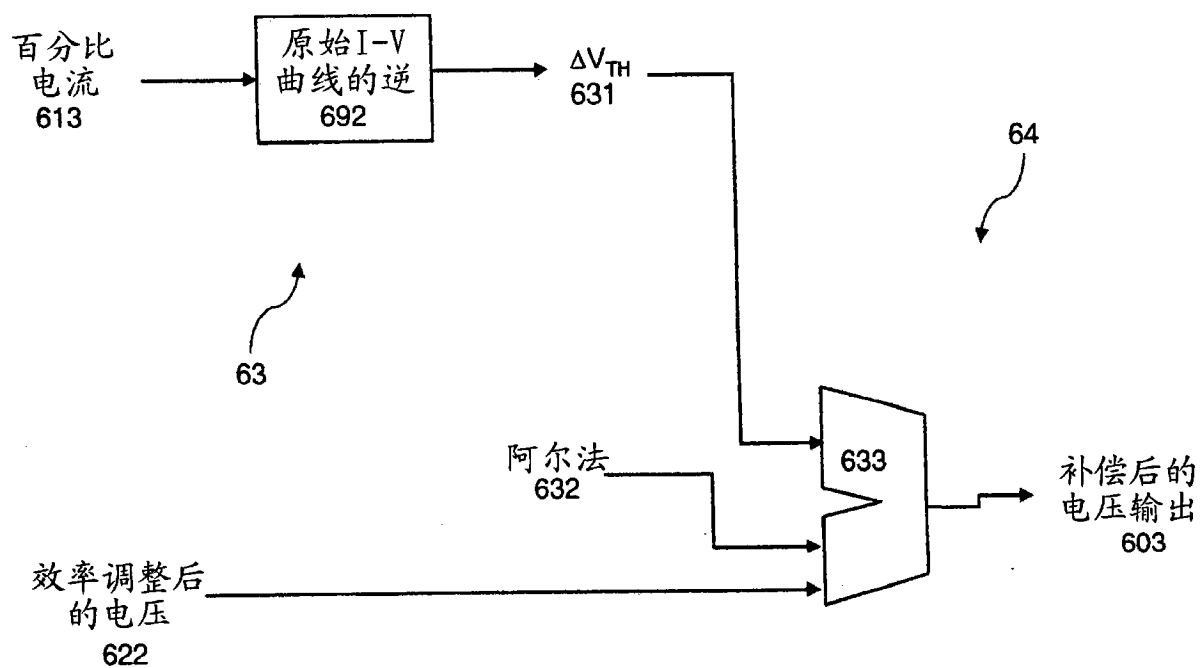


图 6C

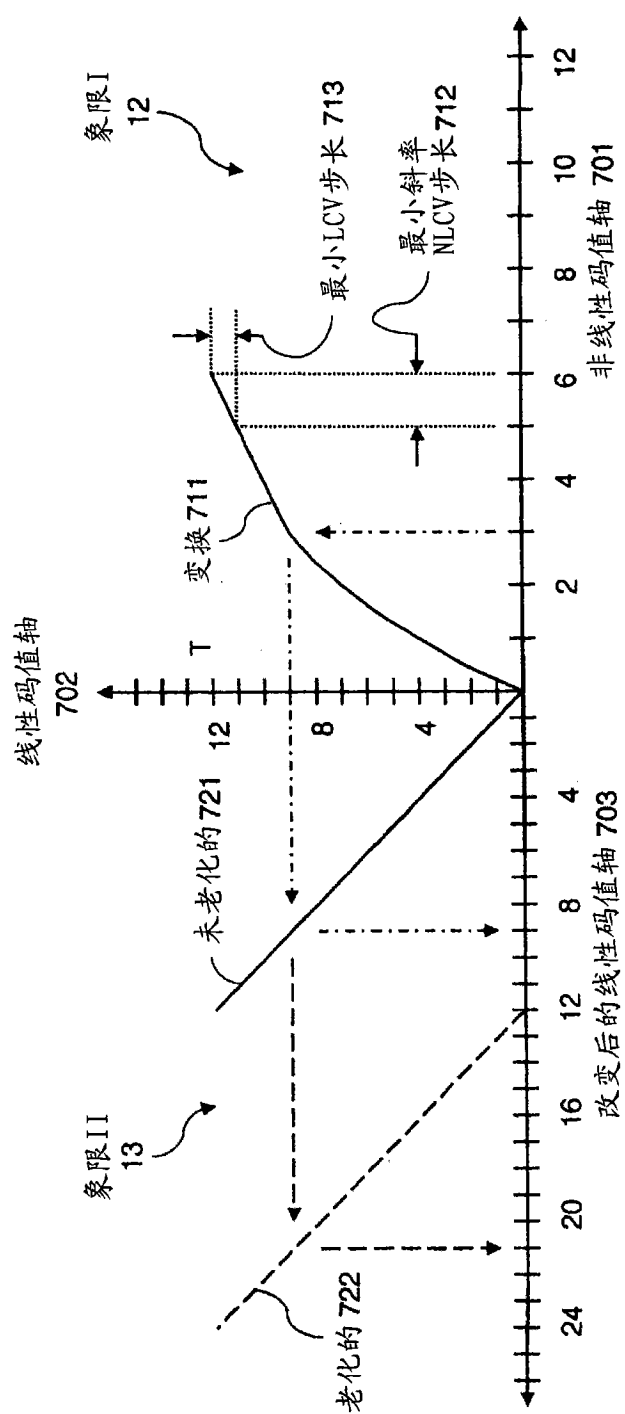


图 7

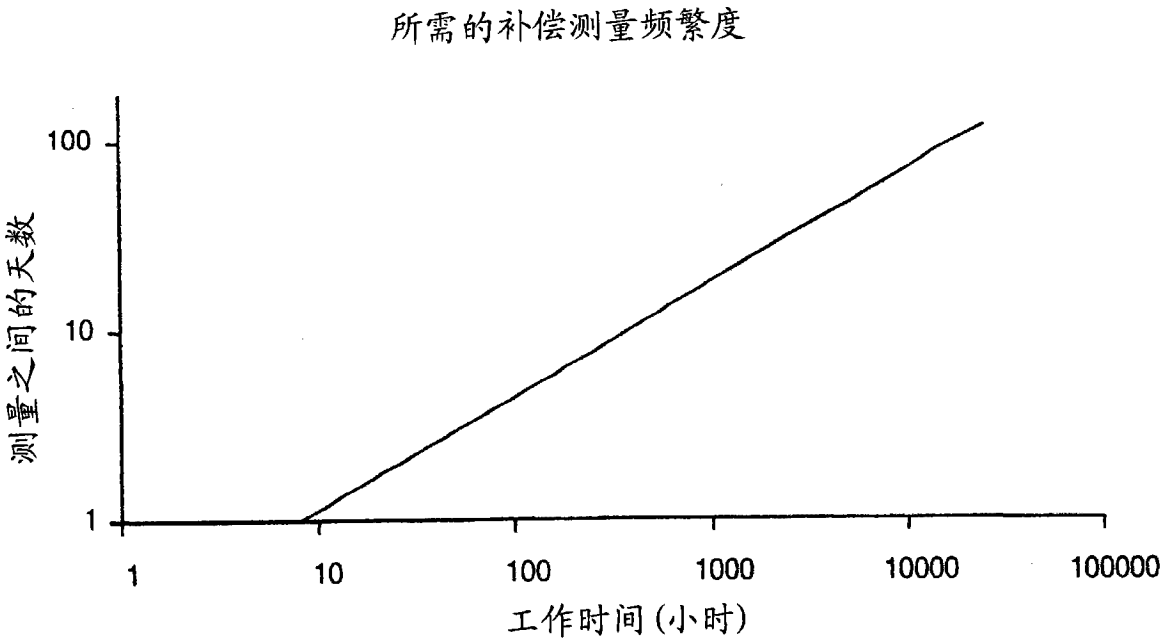


图 8

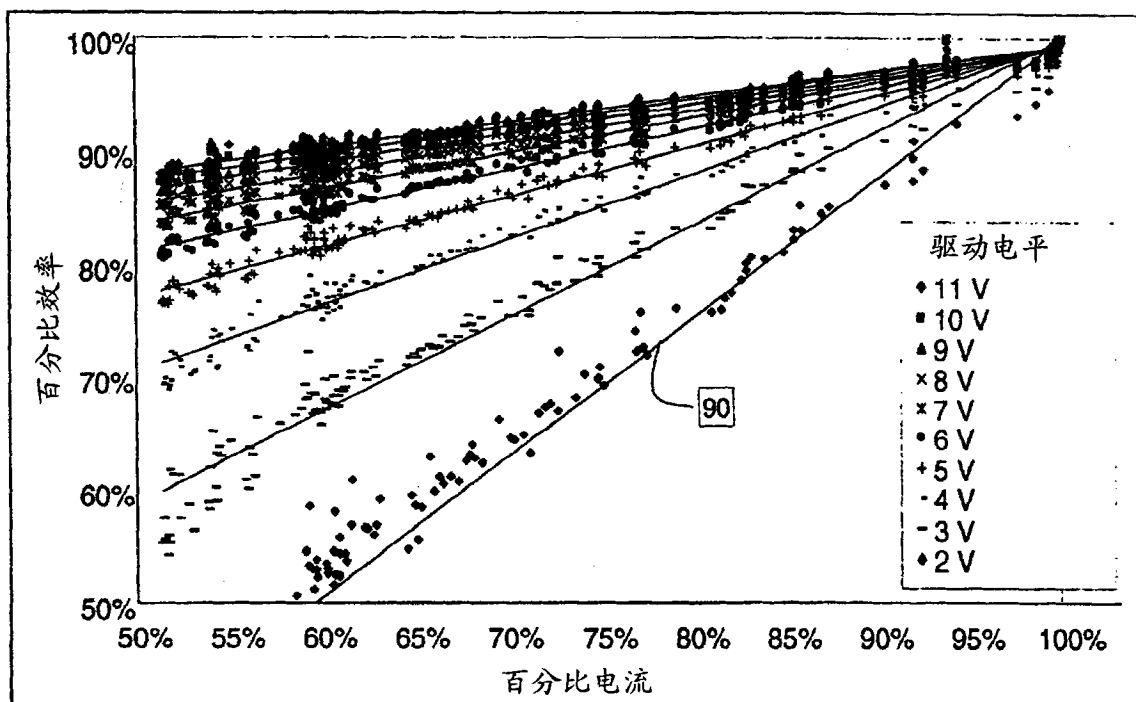


图 9

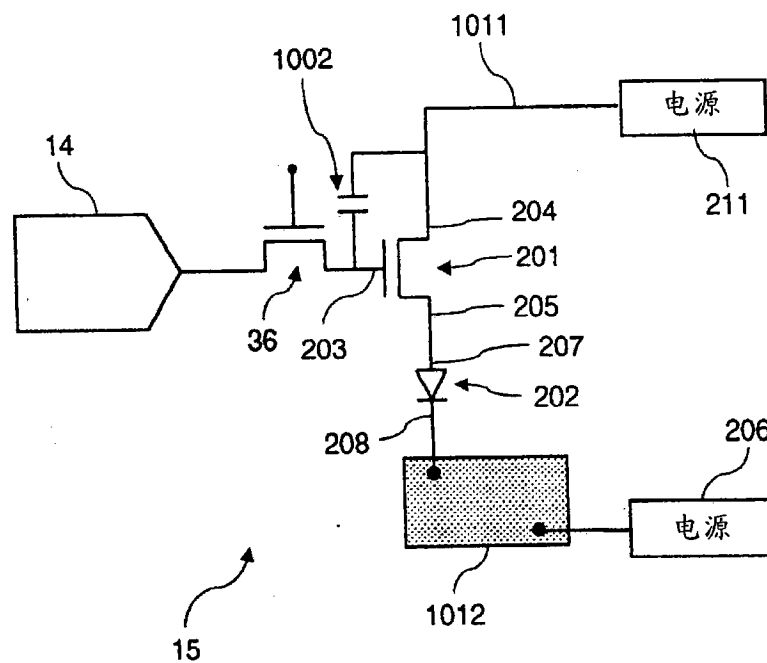


图 10

