



등록특허 10-2813966



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년05월29일
(11) 등록번호 10-2813966
(24) 등록일자 2025년05월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G09G 3/32 (2016.01) H05B 45/325 (2020.01)
(52) CPC특허분류
G09G 3/32 (2013.01)
H05B 45/325 (2022.01)
(21) 출원번호 10-2023-7036146
(22) 출원일자(국제) 2021년03월23일
심사청구일자 2023년10월20일
(85) 번역문제출일자 2023년10월20일
(65) 공개번호 10-2023-0156955
(43) 공개일자 2023년11월15일
(86) 국제출원번호 PCT/US2021/023601
(87) 국제공개번호 WO 2022/203655
국제공개일자 2022년09월29일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020130015609 A*
KR1020180011611 A*
KR1020000037902 A
CN110581206 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
구글 엘엘씨
미국 캘리포니아 마운틴 뷰 엠피시어터 파크웨이
1600 (우:94043)
(72) 발명자
데이비드 아우렐리앙 장 프랑수아
미국 캘리포니아 마운틴 뷰 엠피시어터 파크웨이
1600 (우:94043)
브링클리 패트릭 에프.
미국 캘리포니아 마운틴 뷰 엠피시어터 파크웨이
1600 (우:94043)
비에리 칼린
미국 캘리포니아 마운틴 뷰 엠피시어터 파크웨이
1600 (우:94043)
(74) 대리인
박장원

전체 청구항 수 : 총 33 항

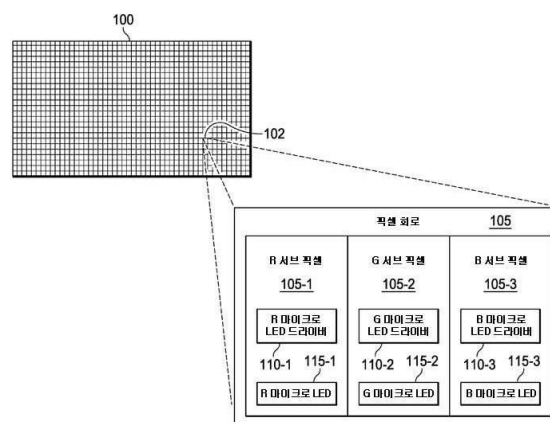
심사관 : 유하진

(54) 발명의 명칭 마이크로 LED 디스플레이용 기준 및 정형 펄스 구동

(57) 요약

마이크로 LED 드라이버는 발광 상태에서 마이크로 LED를 구동하기 위해 동작 구동 전원을 인가하는 것 외에도 공칭 오프(즉, 비발광) 상태에서 마이크로 LED를 사전 충전하기 위해 낮은 기준 전원(즉, 기준 전압 또는 전류)을 인가한다. 동작 구동 전원을 인가하기 전에 마이크로 LED를 사전 충전함으로써, 마이크로 LED 드라이버는 동작 구동 전원의 인가와 마이크로 LED로부터 광 방출 시작 사이의 시간을 크게 줄인다. 일부 실시예에서, 마이크로 LED 드라이버는 동작 구동 전원의 인가와 마이크로 LED로부터의 광 방출 시작 사이의 시간을 줄이기 위해 전류 밀도의 다중 위상을 갖는 동작 구동 전원을 인가한다.

대표도



(52) CPC특허분류

G09G 2230/00 (2013.01)

G09G 2330/021 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

방법으로서,

0보다 큰 제1 기준(baseline) 전원으로 20 μm 보다 작은 측면 치수를 갖는 제1 마이크로 발광 다이오드(LED)를 공칭 오프 상태로 구동하는 단계와; 그리고

제1 기준 전원보다 큰 전원으로 제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하는 단계를 포함하고, 상기 공칭 오프 상태에서 제1 마이크로 LED에 의해 방출되는 광량은 발광 상태에서 제1 마이크로 LED에 의해 방출되는 최소 광량의 사전 결정된 비율(percentage)보다 적도록 제한되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

제1 기준 전원으로 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계는,

제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하기 전에 제1 기준 전원을 인가하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

0보다 큰 제2 기준 전원으로 제2 마이크로 LED를 공칭 오프 상태로 구동하는 단계를 더 포함하고, 상기 제2 기준 전원은 제1 기준 전원과 다른 값으로 공급되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하는 단계는,

상대적으로 더 높은 전류 밀도를 갖는 제1 위상 및 상대적으로 더 낮은 전류 밀도를 갖는 제2 위상을 포함하는 전류 펄스로 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

공칭 오프 상태에서 마이크로 LED에 의해 방출되는 광량은 발광 상태에서 제1 마이크로 LED에 의해 방출되는 최소 광량의 0.1%미만이고, 그리고 발광 상태는 적어도 10%의 내부 양자 효율로 특징지어지는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

제1 마이크로 LED를 공칭 오프 상태로 구동하는 단계는 첫 번째 전원 경로를 통해 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계를 포함하고; 그리고

제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하는 단계는 첫 번째 전원 경로와 다른 두 번째 전원 경로를 통해 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

공칭 오프 상태와 발광 상태 사이의 전류 펄스의 턴온 시간은 500ns 미만인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

방법으로서,

마이크로 LED의 어레이를 포함하는 디스플레이의 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계와, 상기 어레이에 있는 각 마이크로 LED는 20 μm 보다 작은 측면 치수를 갖고, 상대적으로 더 높은 전류 밀도를 갖는 제1 위상과 상대적으로 더 낮은 전류 밀도를 갖는 제2 위상을 포함하는 전류 펄스를 갖는 발광 상태에 있으며,

전류 펄스는 1 마이크로초보다 짧은 지속 시간을 갖고, 그리고 발광 상태는 전류 펄스 지속 시간의 적어도 50% 동안 연장되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

제1 위상의 전류 밀도는 제2 위상의 전류 밀도의 적어도 두 배인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

0보다 큰 제1 기준 전원으로 제1 마이크로 LED를 공칭 오프 상태로 구동하는 단계와; 그리고

제1 기준 전원보다 큰 전원으로 제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하는 단계를 더 포함하고, 상기 공칭 오프 상태에서 마이크로 LED에 의해 방출되는 광량은 발광 상태에서 제1 마이크로 LED에 의해 방출되는 최소 광량의 사전 결정된 비율보다 적도록 제한되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

제1 기준 전원으로 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계는,

제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하기 전에 제1 기준 전원을 인가하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12

제10항에 있어서,

0보다 큰 제2 기준 전원으로 어레이의 제2 마이크로 LED를 공칭 오프 상태로 구동하는 단계를 더 포함하고,

제2 기준 전원은 제1 기준 전원과 다른 값으로 공급되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 13

제10항에 있어서,

제1 마이크로 LED를 공칭 오프 상태로 구동하는 단계는 첫 번째 전원 경로를 통해 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계를 포함하고; 그리고

제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하는 단계는 첫 번째 전원 경로와 다른 두 번째 전원 경로를 통해 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 14

제10항에 있어서,

공칭 오프 상태에서 마이크로 LED에 의해 방출되는 광량은 발광 상태에서 제1 마이크로 LED에 의해 방출되는 최소 광량의 0.1% 미만이고, 그리고 발광 상태는 적어도 10%의 내부 양자 효율로 특징지어지는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 15

디바이스로서,

측면 치수가 $20\mu\text{m}$ 보다 작은 제1 마이크로 LED); 및

드라이버를 포함하고, 상기 드라이버는,

0보다 큰 제1 기준 전원으로 제1 마이크로 LED를 공칭 오프 상태로 구동하고; 그리고

제1 기준 전원보다 큰 전원으로 제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하도록 구성되고, 공칭 오프 상태에서 마이크로 LED에 의해 방출되는 광량은 발광 상태에서 제1 마이크로 LED에 의해 방출되는 최소 광량의 사전 결정된 비율보다 적도록 제한되는 것을 특징으로 하는 디바이스.

청구항 16

제15항에 있어서,

드라이버는,

제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하기 전에 제1 마이크로 LED에 제1 기준 전원을 인가하도록 더 구성되는 것을 특징으로 하는 디바이스.

청구항 17

제15항에 있어서,

제2 마이크로 LED를 더 포함하고, 드라이버는,

0보다 큰 제2 기준 전원으로 제2 마이크로 LED를 공칭 오프 상태로 구동하도록 구성되며, 제2 기준 전원은 제1 기준 전원과 다른 값으로 공급되는 것을 특징으로 하는 디바이스.

청구항 18

제15항에 있어서,

드라이버는,

상대적으로 더 높은 전류 밀도를 갖는 제1 위상과 상대적으로 더 낮은 전류 밀도를 갖는 제2 위상을 포함하는 전류 펄스로 제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하도록 더 구성되는 것을 특징으로 하는 디바이스.

청구항 19

제15항에 있어서,

공칭 오프 상태에서 마이크로 LED에 의해 방출되는 광량은 발광 상태에서 제1 마이크로 LED에 의해 방출되는 최소 광량의 0.1% 미만이고, 그리고 발광 상태는 적어도 10%의 내부 양자 효율로 특징지어지는 것을 특징으로 하는 디바이스.

청구항 20

제15항에 있어서,

드라이버는,

제1 기준 전원으로 제1 마이크로 LED를 공칭 오프 상태로 구동하기 위한 첫 번째 전원 경로와; 그리고

제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하기 위한 첫 번째 전원 경로와 다른 두 번째 전원 경로를 포함하는 것을 특징으로 하는 디바이스.

청구항 21

장치로서,

측면 치수가 $20\mu\text{m}$ 보다 작은 마이크로 LED; 및

마이크로 LED가 광 펄스를 방출하도록 하기 위해 전류 펄스로 마이크로 LED를 구동하도록 구성된 드라이버 - 전류 펄스는 서로 다른 시간에 서로 다른 진폭을 갖는 펄스 프로파일을 포함함 - 를 포함하고, 상기 펄스 프로파일은 광 펄스의 500ns 미만의 턴온 시간을 트리거하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 22

제21항에 있어서,

펄스 프로파일은 높은 전류 밀도를 갖는 제1 위상과 낮은 전류 밀도를 갖는 제2 위상을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 23

제21항에 있어서,

광 펄스는 사전 결정된 값의 $\pm 10\%$ 이내의 광 출력을 갖는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 24

제21항에 있어서,

드라이버는 펄스 프로파일을 생성하는 복수의 전원 경로를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 25

장치로서,

측면 치수가 $20\mu\text{m}$ 보다 작은 마이크로 LED; 및

마이크로 LED가 턴온 시간과 턴오프 시간을 갖는 광 펄스를 방출하도록 하기 위해 전류 펄스로 마이크로 LED를 구동하도록 구성된 드라이버를 포함하고, 상기 광 펄스는 사전 결정된 값의 $\pm 20\%$ 이내의 광 출력을 갖는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 26

제25항에 있어서,

전류 펄스는 서로 다른 시간에 서로 다른 진폭을 갖는 펄스 프로파일을 가지며, 턴온 시간은 펄스 프로파일 내의 턴오프 시간과 매칭(match)하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 27

제25항에 있어서,

전류 펄스는 높은 전류 밀도를 갖는 제1 위상과 낮은 전류 밀도를 갖는 제2 위상을 포함하는 펄스 프로파일을 갖는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 28

삭제

청구항 29

제25항에 있어서,

전류 펄스는 방전 단계(step)를 포함하는 펄스 프로파일을 갖는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 30

장치로서,

측면 치수가 $20\mu\text{m}$ 보다 작은 마이크로 LED; 및

전원(power) 펄스로 마이크로 LED를 구동하여 마이크로 LED가 광 펄스를 방출하도록 구성된 드라이버 - 전원 펄

스는 서로 다른 시간에 서로 다른 진폭을 갖는 펄스 프로파일을 포함함 - 를 포함하고, 상기 펄스 프로파일은 광 펄스의 500ns 미만의 짧은 턴오프 시간을 트리거하는 방전 단계(step)를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 31

제30항에 있어서,

방전 단계는 방전 전압을 인가함으로써 마이크로 LED로부터 전하를 제거하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 32

방법으로서,

측면 치수가 20 μ m보다 작은 마이크로 LED를 전류 펄스로 구동하여 마이크로 LED가 광 펄스를 방출하게 하는 단계 - 전류 펄스는 서로 다른 시간에 서로 다른 진폭을 갖는 펄스 프로파일을 포함함 - 를 포함하고, 상기 펄스 프로파일은 광 펄스의 500ns 미만의 턴온 시간을 트리거하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 33

제32항에 있어서,

상기 광 펄스는 턴온 시간과 턴오프 시간을 갖는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 34

제32항에 있어서,

상기 펄스 프로파일은 광 펄스의 턴온 시간에 비해 짧은 턴오프 시간을 트리거하는 방전 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

발명의 설명

배 경 기 술

[0001] 디스플레이 패널은 행과 열로 배열된 픽셀 어레이를 포함하며 일반적으로 수천 또는 수만 개의 행과 열로 구성된다. 각 픽셀은 적색, 녹색, 청색(RGB) 서브 픽셀의 특정 배열과 같은 서브 픽셀의 매트릭스로 구현될 수 있으며, 각 서브 픽셀은 해당 휘도에서 해당 색상의 빛을 방출하도록 제어되며, 밝은 색상과 휘도의 조합으로 인해 픽셀 전체에 대해 의도된 밝기와 색상이 생성된다. 발광 다이오드(LED) 디스플레이에는 서브 픽셀을 형성하는 LED 어레이와 펄스 폭 변조(PWM)를 사용하여 LED를 오프 상태와 온 상태 사이에서 LED를 변조하여 kHz 범위의 변조 주파수를 갖는 이미지를 디스플레이하는 드라이버가 포함되어 있다. LED의 상승 및 하강 시간은 kHz 범위 주파수에 비례하여 PWM 주파수에서 이미지를 디스플레이하기 위한 적절한 응답 시간을 제공한다. 향후 디스플레이에는 측면 치수가 50 μ m보다 작은 픽셀을 갖춘 마이크로 LED가 포함될 것으로 예상된다. 마이크로 디스플레이는 발광 소자(즉, 마이크로 LED)와 발광 소자에 전류 펄스를 공급하는 드라이버를 포함할 것으로 예상된다.

[0002] 본 개시의 목적은 본 명세서에서 식별되었는지 여부에 관계없이 알려진 방법과 관련된 하나 이상의 문제를 제거하거나 완화하는 마이크로 LED를 구동하는 개선된 방법을 제공하는 것이다.

발명의 내용

[0003] 일반적인 양태에 따르면, 마이크로 LED 드라이버는 발광 상태에서 마이크로 LED를 구동하기 위해 동작 구동 전원을 인가하는 것 외에도 공칭(nominally) 오프(즉, 비발광) 상태에서 마이크로 LED를 사전 충전하기 위해 낮은 기준 전원(baseline power)(즉, 기준 전압 또는 전류)을 적용한다. 동작 구동 전원을 인가하기 전에 마이크로 LED를 발광 상태로 구동시키기는 단계를 포함한다. 동작 구동 전원을 인가하기 전에 마이크로 LED를 사전 충전함으로써, 마이크로 LED 드라이버는 동작 구동 전원의 인가와 마이크로 LED로부터의 광 방출 시작 사이의 시간을 크게 줄인다. 일부 실시예에서, 마이크로 LED 드라이버는 동작 구동 전원의 인가와 마이크로 LED로부터의 광 방출 시작 사이의 시간을 줄이기 위해 다중 위상의 전류 밀도를 갖는 동작 구동 전원을 인가한다.

[0004] 제1 양태에 따르면, 0보다 큰 제1 기준 전원으로 20 μ m보다 작은 측면 치수를 갖는 제1 마이크로 발광 다이오드(마이크로 LED)를 공칭(nominally) 오프 상태로 구동하는 단계를 포함하는 방법이 제공된다. 방법은 제1 기준 전원보다 더 큰 전원으로 제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하는 단계를 더 포함하고, 공칭 오프 상태에서

제1 마이크로 LED에 의해 방출되는 광량은 발광 상태에서 제1 마이크로 LED에 의해 방출되는 최소 광량에 비해 무시할 수 있다.

- [0005] 제1 기준 전원으로 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계는 제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하기 전에 제1 기준 전원을 인가하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0006] 제1 마이크로 LED를 공칭 오프 상태로 구동하는 단계는 제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하기 직전에 수행될 수 있다.
- [0007] 방법은 0보다 큰 제2 기준 전원으로 제2 마이크로-LED를 공칭 오프 상태로 구동하는 단계를 더 포함할 수 있다. 제2 기준 전원은 제1 기준 전원과 다를 수 있다. 방법은 제2 기준 전원보다 더 큰 전원으로 제2 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0008] 제1 마이크로 LED와 제2 마이크로 LED는 서로 다른 색상의 광을 방출할 수 있다.
- [0009] 발광 상태에서 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계는 상대적으로 더 높은 전류 밀도를 갖는 제1 위상(phase) 및 상대적으로 더 낮은 전류 밀도를 갖는 제2 위상을 포함하는 전류 펄스로 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계를 포함할 수 있다. 제1 위상은 제2 위상 바로 앞에 있을 수 있다. 제1 위상의 전류 밀도는 제2 위상의 전류 밀도의 적어도 2배일 수 있다.
- [0010] 방법은 제2 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하는 단계를 더 포함할 수 있다. 방법은 제2 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하는 단계는 상대적으로 더 높은 전류 밀도를 갖는 제2 마이크로 LED 제1 위상 및 상대적으로 더 낮은 전류 밀도를 갖는 제2 마이크로 LED 제2 위상을 포함하는 전류 펄스로 제2 마이크로 LED를 구동하는 단계를 포함할 수 있다. 제2 마이크로 LED 제1 위상은 제2 마이크로 LED 제2 위상 바로 앞에 있을 수 있다. 제2 마이크로 LED 제1 위상은 제2 마이크로 LED 제2 위상 전류 밀도의 적어도 2배의 전류 밀도를 가질 수 있다.
- [0011] 공칭 오프 상태에서 마이크로 LED에 의해 방출되는 광량은 발광 상태에서 제1 마이크로 LED에 의해 방출되는 최소 광량의 0.1% 미만일 수 있으며, 발광 상태는 적어도 10%의 내부 양자 효율로 특징지어진다.
- [0012] 제1 마이크로 LED를 공칭 오프 상태로 구동하는 단계는 제1 전원 경로를 통해 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계를 포함할 수 있다. 제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하는 단계는 제1 전원 경로와 다른 제2 전원 경로를 통해 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0013] 제1 전원 경로를 통해 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계는 제1 전원 경로를 통해 제1 마이크로 LED에 전원을 공급하는 단계를 포함할 수 있다. 제2 전원 경로를 통해 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계는 제2 전원 경로를 통해 제1 마이크로 LED에 전원을 공급하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0014] 제1 전원 경로는 트랜지스터 또는 저항 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0015] 공칭 오프 상태와 발광 상태 사이의 턴온 시간은 500ns 미만일 수 있다.
- [0016] 추가 양태에 따르면, 마이크로 LED의 어레이를 포함하는 디스플레이의 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계를 포함하는 방법이 제공되고, 어레이에 있는 각 마이크로 LED는 20 μm 보다 작은 측면 치수를 갖고, 상대적으로 더 높은 전류 밀도를 갖는 제1 위상과 상대적으로 더 낮은 전류 밀도를 갖는 제2 위상을 포함하는 전류 펄스를 갖는 발광 상태에 있으며, 전류 펄스는 1 마이크로초보다 짧은 지속 시간을 갖고, 그리고 발광 상태는 전류 펄스 지속 시간의 적어도 50% 동안 연장된다.
- [0017] 제1 위상은 제2 위상 바로 앞에 있을 수 있다.
- [0018] 제1 위상의 전류 밀도는 제2 위상의 전류 밀도의 적어도 두 배일 수 있다.
- [0019] 방법은 0보다 큰 제1 기준 전원으로 제1 마이크로 LED를 공칭 오프 상태로 구동하는 단계를 더 포함할 수 있다. 방법은 제1 기준 전원보다 큰 전원으로 제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하는 단계를 더 포함할 수 있으며, 공칭 오프 상태에서 마이크로 LED에 의해 방출되는 광량은 발광 상태에서 제1 마이크로 LED에 의해 방출되는 최소 광량에 비해 무시할 수 있다.
- [0020] 제1 기준 전원으로 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계는 제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하기 전에 제1 기준 전원을 인가하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0021] 제1 마이크로 LED를 공칭 오프 상태로 구동하는 단계는 제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하기 직전에 수행

될 수 있다.

- [0022] 방법은 0보다 큰 제2 기준 전원으로 어레이의 제2 마이크로 LED를 공칭 오프 상태로 구동하는 단계를 더 포함할 수 있으며, 제2 기준 전원은 제1 기준 전원과 상이하다. 방법은 제2 기준 전원보다 더 큰 전원으로 제2 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0023] 제1 마이크로 LED와 제2 마이크로 LED는 상이한 색상의 광을 방출할 수 있다.
- [0024] 제1 마이크로 LED를 공칭 오프 상태로 구동하는 단계는 제1 전원 경로를 통해 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계를 포함할 수 있다. 제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하는 단계는 제1 전원 경로와 다른 제2 전원 경로를 통해 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0025] 제1 전원 경로를 통해 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계는 제1 전원 경로를 통해 제1 마이크로 LED에 전원을 공급하는 단계를 포함할 수 있다. 제2 전원 경로를 통해 제1 마이크로 LED를 구동하는 단계는 제2 전원 경로를 통해 제1 마이크로 LED에 전원을 공급하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0026] 공칭 오프 상태에서 마이크로 LED에 의해 방출되는 광량은 발광 상태에서 제1 마이크로 LED에 의해 방출되는 최소 광량의 0.1% 미만일 수 있으며, 발광 상태는 적어도 10%의 내부 양자 효율로 특징지워진다.
- [0027] 추가 양태에 따르면, 측면 치수가 $20\mu\text{m}$ 보다 작은 제1 마이크로 발광 다이오드(마이크로 LED) 및 드라이버를 포함하는 디바이스가 제공된다. 드라이버는 0보다 큰 제1 기준 전원으로 제1 마이크로 LED를 공칭 오프 상태로 구동하고; 그리고 제1 기준 전원보다 큰 전원으로 제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하도록 구성되고, 상기 공칭 오프 상태에서 마이크로 LED에 의해 방출되는 광량은 발광 상태에서 제1 마이크로 LED에 의해 방출되는 최소 광량에 비해 무시할 수 있다.
- [0028] 드라이버는 제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하기 전에 제1 마이크로 LED에 제1 기준 전원을 인가하도록 추가로 구성될 수 있다.
- [0029] 드라이버는 제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하기 직전에 제1 마이크로 LED에 제1 기준 전원을 인가하도록 추가로 구성될 수 있다.
- [0030] 디바이스는 제2 마이크로 LED를 더 포함할 수 있다. 드라이버는 0보다 큰 제2 기준 전원으로 제2 마이크로 LED를 공칭 오프 상태로 구동하도록 구성될 수 있다. 제2 기준 전원은 제1 기준 전원과 다를 수 있다. 제1 마이크로 LED와 제2 마이크로 LED는 서로 다른 색상의 광을 방출할 수 있다. 방법은 제2 기준 전원보다 더 큰 전원으로 제2 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0031] 드라이버는 상대적으로 더 높은 전류 밀도를 갖는 제1 위상과 상대적으로 더 낮은 전류 밀도를 갖는 제2 위상을 포함하는 전류 펄스로 제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하도록 추가로 구성될 수 있다. 드라이버는 원하는 LED 밝기와 전류 펄스 지속 시간 사이에 비선형 변환을 적용함으로써 발광 상태로 마이크로 LED를 구동하도록 추가로 구성될 수 있다.
- [0032] 공칭 오프 상태에서 마이크로 LED에 의해 방출되는 광량은 발광 상태에서 제1 마이크로 LED에 의해 방출되는 최소 광량의 0.1% 미만일 수 있으며, 발광 상태는 적어도 10%의 내부 양자 효율로 특징지워진다.
- [0033] 드라이버는 제1 기준 전원으로 제1 마이크로 LED를 공칭 오프 상태로 구동하기 위한 제1 전원 경로와, 제1 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하기 위한 제1 전원 경로와 다른 제2 전원 경로를 포함할 수 있다.
- [0034] 본 개시의 일 양태의 맥락에서 설명된 특징은 본 개시의 다른 양태의 특징과 조합될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 예를 들어, 위에서 설명된 방법 중 하나의 맥락에서 설명된 특징은 위에서 설명된 다른 방법의 특징과 결합될 수 있다. 유사하게, 위에서 설명된 방법 중 하나의 맥락에서 설명된 특징은 위에서 설명된 디바이스의 특징과 결합될 수 있으며, 그 반대도 마찬가지이다.

도면의 간단한 설명

- [0035] 본 개시는 첨부된 도면을 참조함으로써 당업자에게 더 잘 이해될 수 있으며, 수많은 특징 및 장점이 명백해진다. 서로 다른 도면에서 동일한 참조 기호를 사용하는 것은 유사하거나 동일한 항목을 나타낸다.

도 1은 픽셀 어레이로 구성된 디스플레이를 도시하는 도면이다.

도 2는 일부 실시예에 따른 마이크로 LED에 기준 전원 및 구동 전원 펄스를 공급하는 마이크로 LED 드라이버를

포함하는 마이크로 LED 디스플레이 소자를 도시하는 블록도이다.

도 3은 일부 실시예에 따른 마이크로 LED 드라이버가 기준 전압으로 마이크로 LED를 사전 충전하는 타이밍 방식을 도시한다.

도 4는 일부 실시예에 따른 기준 전압을 사용한 사전 충전 없는 마이크로 LED로부터의 정규화된 광 출력과 기준 전압을 사용한 사전 충전을 이용함 마이크로 LED로부터의 정규화된 광 출력을 비교한 도면이다.

도 5는 일부 실시예에 따른 마이크로 LED를 조명하기 위해 펄스 폭 변조를 적용하는 제1 전원 경로와 마이크로 LED에 기준 전류 또는 전압을 인가하는 제2 전원 경로를 갖는 마이크로 LED 드라이버의 도면이다.

도 6은 일부 실시예에 따른 바이어스 전압을 마이크로 LED의 기준 전류로 변환하기 위한 저항을 포함하는 제2 전원 경로를 갖는 마이크로 LED 드라이버의 도면이다.

도 7은 일부 실시예에 따른 마이크로 LED에 기준 전류를 인가하기 위한 트랜지스터를 포함하는 제2 전원 경로를 갖는 마이크로 LED 드라이버의 도면이다.

도 8은 일부 실시예에 따른 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하기 위한 전류 펄스의 다중 위상을 도시하는 도면이다.

도 9는 일부 실시예에 따른 다중 위상의 전류 펄스에 의해 구동되는 마이크로 LED로부터 정규화된 광 출력을 도시하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0036] 다음 설명은 마이크로 발광 다이오드(마이크로 LED)를 활용하는 디스플레이 시스템과 관련된 다수의 특정 실시예 및 세부 사항을 제공함으로써 본 개시의 전반적인 이해를 전달하기 위한 것이다. 그러나, 본 개시는 단지 예일 뿐으로 이러한 특정 실시예 및 세부 사항에 제한되지 않으며, 따라서 본 개시의 범위는 다음 청구 범위 및 그 등가물에 의해서만 제한되도록 의도된다는 것이 이해된다. 공지된 시스템 및 방법에 비추어 당업자는 특정 설계 및 기타 필요에 따라 임의의 수의 대안적 실시예에서 의도된 목적 및 이점을 위해 개시 내용을 사용할 수 있음을 추가로 이해할 것이다.
- [0037] 픽셀에 대한 픽셀 아키텍처가 증강 현실/가상 현실(AR/VR) 시스템, 프로젝터, 휴대폰, 태블릿, 노트북, TV, 및 플라즈마 디스플레이와 같이 마이크로 LED로 구현되는 일부 디스플레이 애플리케이션에서, 기존 LED 드라이버의 킬로헤르츠 범위보다 빠른 변조 속도가 필요하다. 일부 경우, 만족스러운 사용자 경험을 위한 사양을 충족하기 위해 $1\mu\text{s}$ 보다 짧거나 심지어 100ns 보다 짧은 펄스가 필요하다. 마이크로 LED는 크기가 작아 커패시턴스도 작지만, 고품질 마이크로 LED가 완전 오프(full off) 상태에서 마이크로 LED가 광을 방출하는 온 상태로 전환되는 상승 시간은 기존 구동 기술을 사용할 경우 수십 또는 수백 나노초 정도로 실질적으로 100ns 보다 길 수 있다.
- [0038] 도 1 내지 도 9는 마이크로 LED의 응답 시간을 줄이기 위해 $20\mu\text{m}$ 보다 작은 측면 치수를 갖는 마이크로 LED를 구동하는 기술을 도시한다. 일부 실시예에서, 마이크로 LED 드라이버는 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하기 위해 동작 구동 전원을 인가하는 것 외에도 낮은 기준 전원(즉, 기준 전압 또는 전류)을 적용하여 공칭 오프(즉, 비발광) 상태의 마이크로 LED를 사전 충전한다. 동작 구동 전원을 인가하기 전에 낮은 기준 전원을 인가하여 마이크로 LED를 사전 충전함으로써, 마이크로 LED 드라이버는 작동 구동 전원의 인가와 마이크로 LED로부터의 광 방출 시작 사이의 시간을 크게 줄인다.
- [0039] 마이크로 LED 드라이버는 일부 실시예에서는 항상 낮은 기준 전원을 인가하고, 다른 실시예에서는 디스플레이가 특정 동작 모드에 있을 때 디스플레이의 나머지 영역이 꺼져 있는 동안 계속 켜져 있는 아이콘을 표시하는 디스플레이 상단의 배너와 같은 디스플레이의 특정 영역에만 항상 낮은 기준 전원을 인가함으로써 전원을 절약한다. 일부 실시예에서, 마이크로 LED 드라이버는 픽셀 세트가 활성화되기 전에 짧은 시간 동안 픽셀 세트에 낮은 기준 전원을 인가하는 타이밍 회로를 포함한다. 마이크로 LED 드라이버는 일부 실시예에서 활성 픽셀(즉, 어둡지 않은 픽셀)에만 낮은 기준 전원을 인가한다. 일부 실시예에서, 마이크로 LED 드라이버는 마이크로 LED를 발광 상태로 구동하기 위한 동작 구동 전원을 공급하는 주(primary) 전원 경로와 동작 구동 전원을 인가하기 전에 마이크로 LED를 사전 충전하기 위한 기준 전원을 공급하는 보조(secnd) 전원 경로를 사용한다.
- [0040] 일부 실시예에서, 마이크로 LED 드라이버는 동작 구동 전원의 인가와 마이크로 LED로부터의 광 방출 시작 사이의 시간을 줄이기 위해 전류 밀도의 다중 위상을 갖는 동작 구동 전원(이하 "정형 펄스"라 칭함)을 인가한다. 예를 들어, 상대적으로 높은 전류 밀도를 갖는 초기 위상을 인가한 후 더 낮은 전류 밀도를 갖는 제2 위상을 적

용함으로써, 마이크로 LED 드라이버는 마이크로 LED의 커패시턴스 충전 시간을 줄인다. 마이크로 LED 드라이버는 일부 실시예에서 마이크로 LED의 낮은 기준 전원 사전 충전 대신 또는 그에 추가하여 정형 펄스를 인가한다.

[0041] 다양한 실시예에서, 본 명세서에 설명된 기술은 LED, 특히 마이크로 LED 디스플레이를 포함하는 광전자 방출기의 시간-의존적 구동에 적용된다. 펄스 및 전원 펄스라는 용어는 광이 방출되는 동안 상대적으로 낮은 입력 전원(즉, 오프 또는 거의 오프)과 상대적으로 높은 입력 전원을 교대로 사용하는 시간-의존적 구동 방식을 일반적으로 설명하기 위해 본 발명에서 사용된다. 펄스는 전류 펄스, 전압 또는 전원 펄스일 수 있다. 본 명세서에 개시된 예는 III-질화물 LED를 고려한다. 그러나, 일부 기술은 반도체 LED(예를 들어, GaAs, AlInGaP, AlInGaAsP, III-V 및 II-VI 화합물), 유기 LED, 페로브스카이트(perovskites) 및 당업계에 알려진 기타 재료를 포함하는 다른 광전자 디바이스에 적용 가능하다.

[0042] 도 1은 픽셀(102)과 같은 픽셀의 어레이로 구성된 디스플레이(100)의 도면이다. 각 픽셀은 3개의 서브픽셀 즉 적색(R) 서브픽셀(105-1), 녹색(G) 서브픽셀(105-2), 청색(B) 서브픽셀(105-3)을 포함하는 픽셀 회로(105)와 같은 픽셀 회로를 포함한다. 각 서브 픽셀에는 마이크로 LED 드라이버와 그 마이크로 LED 드라이버가 마이크로 LED에 전원을 공급할 때 빛을 방출하는 마이크로 LED가 포함되어 있다. 따라서, R 서브 픽셀(105-1)은 R 마이크로 LED(115-1)에 전원을 인가하여 R 마이크로 LED(115-1)가 빛을 방출하게 하는 R 마이크로 LED 드라이버(110-1)를 포함한다. 마찬가지로, G 서브 픽셀(105-2)은 G 마이크로 LED(115-2)에 전원을 인가하는 G 마이크로 LED 드라이버(110-2)를 포함하고, B 서브 픽셀(105-3)은 B 마이크로 LED(115-3)에 전원을 인가하는 B 마이크로 LED 드라이버(110-3)를 포함한다. 일부 실시예에서, 디스플레이(100)는 평면 패널 디스플레이, 모바일 디바이스 디스플레이, 머리 장착형 디스플레이, 또는 기타 디스플레이 포맷으로 사용된다. 일부 실시예에서, 디스플레이(100)는 수천 개의 픽셀 회로를 포함한다. 일부 실시예에서, 마이크로 LED 드라이버(110-1, 110-2, 110-3)는 마이크로 LED가 공칭 오프 상태에 있을 때 해당 마이크로 LED를 기준 전원으로 구동함으로써 마이크로 LED(115-1, 115-2, 115-3)의 응답 시간을 개선하고, 여기서 기준 전원은 제로 전원 레벨보다 크거나, 또는 정형화된(shaped) 전류 밀도를 갖는 전원 펄스를 마이크로 LED에 인가함으로써 가능하다. 이것은 도 2를 참조하면 더 잘 이해될 수 있다.

[0043] 도 2는 일부 실시예에 따른 마이크로 LED(도 1의 115-1, 115-2, 115-3) 중 하나에 대응하는 마이크로 LED(210)에 기준 전원(230) 및 구동 전원 펄스(235)를 공급하는 마이크로 LED 드라이버(도 1의 110-1, 110-2, 110-3) 중 하나에 대응하는 마이크로 LED 드라이버(205)를 포함하는 서브 픽셀(도 1의 105-1, 105-2, 105-3) 중 하나에 대응하는 마이크로 LED 디스플레이 소자(200)를 도시하는 블록도이다. 마이크로 LED(210)는 측면 치수가 $20\mu\text{m}$ 보다 작으며, n형 접점(contact)(212) 및 p형 접점(224), n형 층(214) 및 p형 층(222), 코어 영역(216), 양자 우물(218) 및 전자 차단층(220)을 포함하는 활성(발광) 영역(225)을 포함한다. 마이크로 LED 드라이버(205)는 구동 전원 펄스(235)를 마이크로 LED(210)에 인가하여 마이크로 LED(210)가 구동 전원 펄스(235)의 진폭에 상응하는 세기를 갖는 광을 방출하게 한다. 면적당 커패시턴스로 특징지어지는 활성 영역(225)을 충전함으로써 구동 전원 펄스(235)의 일부 전류가 소모된다. 구동 전원 펄스(235)의 나머지 전류는 코어 영역(216)에 자유 캐리어로서 주입되며, 여기서 캐리어는 활성 영역(225)의 발광층에 의해 포획될 수 있다. 일단 발광층에 들어가면, 캐리어는 재결합에 의해 소모된다.

[0044] 그러나, 마이크로 LED(210)의 응답은 전압이나 전류가 인가되지 않은 오프 상태에서 시작하여 마이크로 LED(210)의 커패시턴스를 충전하는데 걸리는 시간에 의해 제한되며, 이로 인해 발광이 지연된다. 또한, 마이크로 LED(210)의 재결합 수명은 특히 턴온될 때 느려질 수 있어 광 출력의 상승(rise) 시간이 제한된다. 마이크로 LED(210)는 턴온 시간(τ_{on})으로 특징지어지는데, 이 시간은 마이크로 LED(210)가 구동 전원 펄스(235)의 시작(onset, 개시)부터 마이크로 LED(210)가 구동 전원 펄스(235)에 대한 광 출력 안정기(plateau) 수준의 90%에 도달할 때까지 걸리는 시간으로 정의된다. 마이크로 LED(210)는 턴오프 시간(τ_{off})으로 특징지어지는데, 이 시간은 마이크로 LED(210)가 구동 전원 펄스(235)의 종료(즉, 구동 전원 펄스(235)의 하강 에지의 시작) 후 마이크로 LED(210)의 광 출력 안정기 수준의 10%에 도달하는데 걸리는 시간으로 정의된다.

[0045] 일부 실시예는 턴오프 시간과 턴온 시간이 실질적으로 다른 비대칭 시간 응답을 특징으로 한다. 일부 실시예에서, 마이크로 LED는 전원 펄스에 의해 구동되고, 턴온 및 턴오프 시간으로 특징지어지며, $\tau_{\text{on}}/\tau_{\text{off}}$ 비율은 1.5(또는 2, 5, 10)보다 높거나 1/1.5(또는 1/2, 1/5, 1/10)보다 낮다. 이러한 비대칭 동작은 일부 실시예의 시간 응답을 기존의 광전자 디바이스의 시간 응답과 구별할 수 있다.

[0046] 일부 실시예는 상승 및 하강 시간을 본 명세서에 개시된 접근법과 일치(match)시킴으로써 시간 응답의 비대칭성을 최소화한다. 다른 실시예는 실질적으로 비대칭인 응답을 사용한다. 게다가, 구동 전원 펄스(235)의 전류 밀

도를 정형(shaping)함으로써, 마이크로 LED 드라이버(205)는 마이크로 LED(210)의 응답 시간을 더욱 단축하고 턴오프 시간(τ_{off})을 제어한다.

[0047] 마이크로 LED(210)에 기준 전원(230)을 공급함으로써, 마이크로 LED 드라이버(205)는 턴온 시간(τ_{on})을 감소시킨다. 기준 전원(230)은 마이크로 LED(210)가 광을 방출할 것으로 예상되지 않는 공칭 오프 상태에 있을 때 인가되는 0보다 높은 전류 및/또는 전압이다. 일부 실시예에서, 기준 전원(230)의 진폭은 공칭 오프(기준) 상태에서 마이크로 LED(210)에 의해 방출되는 광량이 온(발광) 상태에서 마이크로 LED(210)에 의해 방출되는 광량에 비해 무시할 수 있을 만큼 작도록 선택된다. 예를 들어, 일부 실시예에서 공칭 오프 상태에서 방출되는 광량은 발광 상태에서 방출되는 광량의 10% 이하이다. 다른 실시예에서, 공칭 오프 상태에서 방출되는 광량은 발광 상태에서 방출되는 광량의 1% 이하이다. 또 다른 실시예에서, 공칭 오프 상태에서 방출되는 광량은 발광 상태에서 방출되는 광량의 0.1% 이하이다. 발광 상태에서 방출되는 광량은 크게 달라질 수 있다. 예를 들어, 마이크로 LED 픽셀로부터의 광 방출 범위는 최대 1000cd/m^2 에서 최소 0.1cd/m^2 일 수 있다. 일부 실시예에서, 기준 상태에서 방출되는 광량은 최소 방출량의 약 10%이다(예를 들어, 0.1cd/m^2 가 발광 상태에서 방출되는 최소 광인 경우, 기준 상태에서 마이크로 LED는 0.01cd/m^2 이하로 방출하도록 제한된다).

[0048] 일부 실시예에서, 마이크로 LED(210)의 구조는 커패시턴스 및/또는 재결합 시간과 관련된 시간 응답을 포함하여 시간 응답을 개선하도록 구성된다. 일부 실시예에서, LED는 면적당 커패시턴스를 사전 결정된 값 아래로 유지함으로써 원하는 면적당 커패시턴스(정전용량)를 달성하도록 구성된다. 일부 실시예에서, 마이크로 LED(210)의 코어 영역(216)은 두께(d)(공핍 두께(d)라고도 지칭됨)를 갖고, 단위 면적당 공간-전하(space-charge) 커패시턴스는 대략 $C_{sc} = \epsilon_{ps}/d$ 로 주어지며, 여기서 ϵ_{ps} 는 물질의 유전 상수이다. 예를 들어, GaN의 경우, ϵ_{ps} 는 제로 바이어스에서 $\epsilon_{ps} = 10 \times \epsilon_{ps0}$ 이며(여기서, ϵ_{ps0} 는 진공 유전율), 순방향 바이어스 하의 값은 예를 들어 $C = C_{sc} * (1 - V/V_{oc})^{-1/2}$ 와 같이 대략 2배 정도 증가한다(여기서 V_{oc} 는 개방 회로 전압이다).

[0049] 일부 실시예에서, d의 값은 p 영역과 n 영역 사이의 도핑되지 않은 영역의 두께(즉, $d \sim t_c$)와 대략 동일하다.

[0050] 활성 영역(예를 들어, 양자 우물(QW), 장벽, 간격 층)의 구조를 선택함으로써 실시예는 t_c 가 활성 영역 두께(t_w)와 별도로 선택되는 것을 용이하게 한다. 이는 공핍 두께의 상당 부분에 걸쳐 재결합이 발생하는 동종접합(homojunction) LED의 실시예와 대조된다. t_c 의 값이 크면 커패시턴스가 낮아지는 반면, t_w 의 값은 적절한 효율을 달성하기 위해 선택될 수 있다. 일부 실시예에서, 공핍 영역의 두께는 발광층 두께의 적어도 2배(또는 5배, 10배, 20배)이다.

[0051] 예를 들어, 일부 실시예는 소수의 얇은 QW와 얇은 장벽만을 포함하지만 C_{sc} 를 줄이기에 충분한 d 값을 갖는다. 이러한 효과를 위해, 일부 실시예에서는 주입 효율에 부정적인 영향을 주지 않고 d를 증가시키기 위해 더미 QW(즉, 캐리어 이송을 촉진하지만 빛을 방출하지 않아 캐리어가 발광 QW에 도달하도록 보장하는 발광 QW보다 낮은 조성(composition)의 QW)을 사용한다. 더미 QW는 발광 QW의 p형, n형 또는 양측에 배치되거나 산재될 수 있다. 일부 실시예는 발광 QW 및 장벽의 두께에 관계없이 원하는 커패시턴스를 달성하도록 에피택셜 층(미도시)을 구성한다. 일부 실시예에서는 이중 헤테로 구조, 다양한 조성의 층(계단형 또는 등급형) 및/또는 AlGaN, InGaN, AlInN, AlInGaN 합금을 포함하는 다른 활성 영역 설계를 사용한다.

[0052] 일부 실시예에서, d의 값은 C_{sc} 의 값을 감소시키기 위해 선택된다. 예를 들어, C_{sc} 는 $1\text{E-}7 \text{ F.cm}^{-2}$ (또는 $5\text{E-}8$, $2\text{E-}8$, $1\text{E-}8$, $5\text{E-}9$, $1\text{E-}9 \text{ F.cm}^{-2}$) 미만일 수 있다. 일부 실시예에서, d의 값과 LED의 면적(A)은 순 LED 커패시턴스($C_{sc} * A$)의 값을 감소시키기 위해 선택된다. 예를 들어, 순 LED 커패시턴스는 $1\text{E-}13\text{F}$ (또는 $5\text{E-}14$, $1\text{E-}14$, $5\text{E-}15$, $1\text{E-}15$, $5\text{E-}16$, $1\text{E-}16\text{F}$)보다 작다. 일부 실시예에서, 마이크로 LED 픽셀 또는 서브픽셀은 $10\mu\text{m}$ (또는 $5\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$, $2\mu\text{m}$, $1\mu\text{m}$) 미만의 측면 치수를 갖는다.

[0053] 일부 실시예에서, 커패시턴스 충전과 관련된 상승 시간은 $\tau_{charge} = V * C_{sc} / J$ 이며, 여기서 V는 일반적인 동작 전압(일반적인 가시 LED의 경우 약 2.5-3V)이고 J는 전류 밀도이다. 따라서, 일부 실시예에서, LED 구성 및 동작 전류 밀도의 선택을 통해 충분히 빠른 상승 시간을 얻을 수 있다. 일부 실시예에서, C_{sc}/J 비율은 $1\text{E-}8 \text{ F/A}$ (또는 $5\text{E-}9$, $1\text{E-}9$, $5\text{E-}10$, $1\text{E-}10 \text{ F/A}$) 미만이다. 일부 실시예에서, τ_{charge} 는 100ns (또는 50ns , 10ns , 5ns , 1ns) 미만이다. 일부 실시예에서, τ_{charge} 는 펄스의 기간(T)보다 짧다(또는 $0.5 * T$ 또는 $0.2 * T$ 또는 $0.1 * T$ 보다 짧음).

[0054] 일부 실시예에서, 공핍 폭을 제어하기 위해 마이크로 LED(210)의 p-도핑 영역 및 n-도핑 영역(214, 222)의 도핑

레벨이 선택된다. 일부 실시예에서, 도핑되지 않은 층에서 도핑된 층으로의 급격한 전환(transition)이 형성된다. 일부 실시예에는 n-도핑된 층(214)(적어도 $1E18 \text{ cm}^{-3}$ 또는 $1E19 \text{ cm}^{-3}$ 의 도핑 레벨을 가짐)이 있고 그 뒤에는 발광층을 포함하는 공칭 미도핑 영역($1E17 \text{ cm}^{-3}$ 미만의 도핑 레벨을 가짐)이 있고, 그 뒤에는 p-도핑된 활성 영역(222)(적어도 $1E18 \text{ cm}^{-3}$ 또는 $1E19 \text{ cm}^{-3}$ 의 도핑 레벨을 가짐)이 있다. 이러한 도핑 레벨은 다른 LED 특성(예를 들어, 도핑되지 않은 영역의 폭)과 결합되어 원하는 캐패시턴스 값을 얻을 수 있다.

[0055] 일부 실시예에서, 마이크로 LED(210)는 시간 응답의 추가 지연을 초래할 수 있는 동적 저항과 기생 캐패시턴스의 상호 작용을 방지하기 위해 사전 결정된 동적 저항($\rho=dV/dI$)을 달성하도록 구성된다. 일부 실시예에서, 면적당 동적 저항은 예를 들어 공칭 오프 상태의 마이크로 LED(210)에 기준 저전류를 인가함으로써 공칭 오프 상태에서 원하는 값 아래로 유지된다. 일부 실시예에서, 공칭 오프 상태에서의 동적 저항은 100ohm.cm^2 (또는 10, 1, 0.1ohm.cm^2) 미만이다.

[0056] 일부 경우에는, 재료 품질과 응답 시간 사이에 절충 관계(trade-off)가 있을 수 있다. 예를 들어, 결합이 있는 LED는 내부 양자 효율(IQE)이 낮아 작동이 비효율적이지만, SRH 재결합 또는 또는 변조 속도를 향상시키는 다른 종류의 결합 관련 재결합(예를 들어, 결합으로 인한 누출 또는 터널링)으로 인해 비방사(non-radiative) 재결합 시간이 더 빠르다. 일부 실시예에서, 결합 수준은 주어진 속도에서 작동을 용이하게 하도록 선택된다. 예를 들어, 원하는 변조 속도가 선택되고 이러한 속도를 촉진하기 위해 LED의 결합 수준이 제어된다.

[0057] 일부 실시예는 온 상태가 적어도 1%(또는 5% 또는 10%)의 IQE로 특징지워지고 및/또는 기준 상태가 0.1%(또는 0.01%) 미만의 IQE로 특징지워지도록 최소 IQE(또는 외부 양자 효율(EQE) 또는 벽-플러그(wall-plug) 효율(WPE)과 같은 기타 관련 효율 메트릭)을 달성하도록 설계되었다. 따라서, 실시예는 최소 IQE를 달성하기 위해 충분히 낮은 결합 밀도로 구성된다. 이는 활성 영역의 최소 상승/하강 시간으로 이어진다. 따라서, 실시예는 이 최소 상승/하강 시간보다 긴 펄스로 구동된다. 구체적으로, 일부 실시예에서, 마이크로 LED(210)는 (쇼클리-리드 홀(SRH) 수명과 같은) 낮은 전류 밀도에서 비방사 수명(t_{low})을 가지며, 길이가 τ_{low} 의 절반 이상(또는 τ_{low} 의 1, 2, 5, 10배)인 펄스에 의해 구동된다.

[0058] 일부 실시예에서, 턴온 시간(t_{on})은 500ns(또는 200ns, 100ns, 50ns, 20ns, 10ns) 미만이다. 일부 실시예에서, (활성 영역을 특징짓는) SRH 수명(t_{SRH})은 100ns를 초과하고 t_{on} 은 50ns 미만이다. 일부 실시예에서, t_{on} 은 t_{SRH} 를 2(또는 3, 5, 10)로 나눈 것보다 작다. 일부 실시예에서, 충전 시간(t_{charge})은 10ns를 초과하고 t_{on} 은 10ns 미만이다. 일부 실시예에서, t_{on} 은 t_{charge} 를 2(또는 3, 5, 10)로 나눈 것보다 작다. 일부 실시예에서, t_{on} 은 $t_{\text{charge}} + t_{\text{SRH}}$ 를 2(또는 3, 5, 10)로 나눈 것보다 작다. 일부 실시예에서, SRH 수명은 본 명세서에 개시된 바와 같이, 충분한 IQE 값과 연결된다. 일부 실시예에서, IQE는 적어도 10%이고, t_{on} 은 500ns(또는 200ns, 100ns, 50ns, 20ns, 10ns) 미만이다.

[0059] 일부 실시예에서, 온 상태에서 LED를 구동하는 전기 펄스는 5us(또는 2us, 1us, 500ns, 200ns, 100ns, 50ns, 10ns) 미만의 지속 시간(duration)을 갖는다. 일부 실시예에서, 온 상태에서의 발광은 전기 펄스 지속 시간의 적어도 90%(또는 80%, 50%, 20%, 10%)인 지속 시간 동안 발생한다.

[0060] 도 3은 일부 실시예에 따른 마이크로 LED 드라이버(205)가 기준 전압(V_{BASELINE})(305)으로 표현되는 기준 전원(230)으로 마이크로 LED(210)를 사전 충전하는 타이밍 방식을 도시한다. 도 2의 구동 전원 펄스(235)는 펄스 폭 변조(PWM) 전압(V_{PWM})(310)으로 표현된다. 도 3은 기준 전압(V_{BASELINE})(305), 마이크로 LED(210)의 광 출력을 구동하는 신호인 펄스 폭 변조(PWM) 전압(V_{PWM})(310) 및 방전 전압($V_{\text{DISCHARGE}}$)(315)의 예에 대응하는 시간 추적을 도시한다. 시간 추적은 명확성을 위해 수직으로 서로 오프셋되어 있다.

[0061] 시간(T1)(320)에서, 마이크로 LED 드라이버(205)는 t_{charge} (340) 기간 동안 마이크로 LED(210)에 기준 전압(V_{BASELINE})(305)을 인가한다. 시간(T2)(325)에서, 마이크로 LED 드라이버(205)는 기준 전압(V_{BASELINE})(305)을 끊고 PWM 전압(V_{PWM})(310)을 인가한다. 마이크로 LED 드라이버(205)는 기준 전압(V_{BASELINE})(305)의 인가로 마이크로 LED(210)를 충전하기 시작하고, 마이크로 LED 드라이버(205)가 PWM 전압(V_{PWM})(310)을 인가한 후 캐패시턴스 충전 시간을 줄임으로써 PWM 전압(V_{PWM})(310)의 인가와 마이크로 LED(210)로부터의 광 방출의 시작 사이의 시간이 감소된다. 시간(T3)(330)에서, 마이크로 LED 드라이버(205)는 PWM 전압(V_{PWM})(310)의 인가를 중단하고 마이크로 LED(210)로부터 전하를 제거하기 위해 시간(T4)(335)까지 $t_{\text{discharge}}$ (345) 기간 동안 방전 전압($V_{\text{DISCHARGE}}$)(315)을 인가한다.

- [0062] 도 4는 일부 실시예에 따른 기준 전압을 사용한 사전 충전 없이 마이크로 LED로부터 정규화된 광 출력과 기준 전압을 사용한 사전 충전으로 마이크로 LED로부터 정규화된 광 출력과의 비교를 나타내는 도면이다. 곡선(410)은 시간(0ns)에서 구동 PWM 전압에 대응하는 구동 PWM 전류 밀도를 인가 전에 기준 전압에 대응하는 기준 전류 밀도로 사전 충전된 마이크로 LED(210)로부터의 정규화된 광 출력을 나타낸다. 곡선(420)은 기준 전류 밀도로 사전 충전되지 않았고, 시간(0ns)에서 시작하는 구동 PWM 전압에 대응하는 구동 PWM 전류 밀도에 의해 구동된 마이크로 LED(210)로부터의 정규화된 광 출력을 나타낸다. 도시된 바와 같이, 기준 전류 밀도 및 기준 전압을 인가함으로써 발광의 시작(onset)은 곡선(420)의 약 32ns로부터 곡선(410)의 약 3ns로 감소된다. 도시된 예에서, 기준 전류 밀도는 약 2.5V의 기준 전압에 해당하는 0.01A/cm²이고, PWM 전류밀도는 2.7V의 구동 PWM 전압에 해당하는 10A/cm²이다. 기준(공칭 오프) 상태에서, 방출된 광의 강도는 무시할 수 있으며(예를 들어, 온 상태에서 방출된 광의 강도의 10% 미만 또는 일부 경우에 전류 비율과 IQE 비율을 곱하여 계산하면 온 상태에서 광 강도의 약 3E-5배), 소비되는 전원은 매우 작다(전류의 비율로 계산하면 온 상태에서 전원의 약 1E-4배). 일부 실시예에서, 기준 상태의 IQE는 온 상태의 IQE를 10(또는 20, 50, 100)으로 나눈 값보다 작다.
- [0063] 일부 실시예에서, 매우 작은 전류를 제어하는 것보다 전압을 제어하는 것이 더 쉬울 수 있기 때문에 마이크로 LED 드라이버(205)는 마이크로 LED(210)에 인가되는 전압을 제어함으로써 공칭 오프 상태를 달성하고, 마이크로 LED 드라이버(205)는 마이크로 LED(210)에 공급되는 전류를 제어하여 온 상태를 달성한다. 마이크로 LED 드라이버(205)는 전계 효과 트랜지스터와 같은 트랜지스터 또는 일부 실시예에서는 저항을 사용하여 마이크로 LED(210)에 대한 기준 전압을 제어한다. 일부 실시예에서, 마이크로 LED 드라이버(205)는 2V보다 높은 전압 및/또는 구동 PWM 동작 전압보다 1V 미만 낮은 전압에서 공칭 오프 상태로 기준 전압을 유지한다.
- [0064] 도 5는 일부 실시예에 따라 마이크로 LED를 조명하기 위해 구동 펄스 폭 변조를 인가하기 위해 마이크로 LED에 전원을 공급하기 위한 제1 전원 경로(505)(제1 전원 경로(505)라고 지칭됨) 및 마이크로 LED에 기준 전류 또는 전압을 인가하기 위한 제2 전원 경로(510)를 갖는 마이크로 LED 드라이버(500)의 도면이다. 일부 실시예에서, 드라이버는 CMOS, TFT 백본, 또는 기타 아키텍처이다. 제1 전원 경로(505)는 디스플레이를 위한 열(column) 전압(V_{DD})과 커패시터(515)의 전압을 설정하기 위한 디지털 게이트 제어 전압(행 선택)(V_G)을 마이크로 LED에 공급한다. 커패시터(515)는 트랜지스터(520)를 턴온시키는 아날로그 전압을 저장하고, 일부 실시예에서 마이크로 LED로 흐르는 시간 의존형 파형을 갖는 전류(I_{ON})를 제공하여, 마이크로 LED가 온 상태에 있을 때 상당한 광 방출을 유발하며, 이 동안에는 제2 전원 경로(510)를 통해 전원이 흐르지 않는다. 공칭 오프 모드에서는, 제1 전원 경로(505)를 통해 전원이 흐르지 않지만, 기준 전류($I_{baseline}$) 또는 기준 전압($V_{baseline}$)으로 구성된 기준 전원이 제2 전원 경로(510)를 통해 마이크로 LED에 인가된다.
- [0065] 일부 실시예에서, 마이크로 LED 드라이버(500)는 제2 전원 경로(510)를 포함하지 않고, 대신에 항상 낮은 기준 전원(전압 또는 전류)으로 공칭 오프 상태에서 마이크로 LED(픽셀)를 구동한다. 전원을 절약하기 위해, 디스플레이의 특정 영역(즉, 어레이 내의 마이크로 LED의 서브세트)만이 주어진 동작 모드에서 사용되는 경우, 일부 실시예에서, 마이크로 LED 드라이버(500)는 사용 중인 디스플레이의 특정 영역에 해당하는 마이크로 LED의 서브세트에만 항상 기준 전원을 인가한다. 예를 들어, 일부 동작 모드에서는, 디스플레이 상단의 배너는 아이콘을 표시하는데 사용되며 디스플레이의 나머지 부분은 꺼져 있다. 이러한 작동 모드의 경우, 마이크로 LED 드라이버(500)는 배너를 형성하는 디스플레이 상단의 마이크로 LED의 서브세트에만 항상 기준 전원을 인가한다.
- [0066] 일부 실시예에서, 마이크로 LED 드라이버(500)는 공칭 오프 픽셀이 다음 디스플레이 프레임에서 턴온될 경우에만 기준 전원으로 하나의 디스플레이 프레임에서 공칭 오프 마이크로 LED(픽셀)를 구동한다. 따라서, 디스플레이 시스템은 현재 프레임에 대한 구동 조건을 선택할 때 다음 프레임을 고려한다: 픽셀들이 현재 프레임에서 공칭 오프(즉, 어두운) 상태이지만 다음 프레임에서는 온 상태가 되는 경우, 마이크로 LED 드라이버(500)는 다음 프레임의 응답 시간을 개선하기 위해 현재 프레임에 기준 전원을 인가한다. 현재 프레임이 디스플레이되기 전에 다음 프레임 정보가 필요하기 때문에 다음 프레임을 고려하면 대기 시간(latency)이 늘어날 수 있다. 따라서 일부 실시예에서 디스플레이 시스템은 대기 시간을 줄이기 위해 높은 리프레시 속도(예를 들어, 90Hz 또는 120Hz 또는 그 이상)를 적용한다.
- [0067] 도 6은 일부 실시예에 따른 마이크로 LED에 공급하기 위해 기준 전압(V_{bias})을 기준 전류($I_{baseline}$)로 변환하는 저항(615)을 포함하는 제2 전원 경로(610)를 갖는 마이크로 LED 드라이버(600)의 도면이다. 도 5와 유사하게, 제1 전원 경로(605)는 마이크로 LED가 온 상태에 있을 때 마이크로 LED에 전압(V_{DD})을 공급하며, 이 동안에는 제2 전원 경로(610)를 통해 전원이 거의 흐르지 않거나(예를 들어, 마이크로 LED가 온 상태일 때 V_{bias} 가 0으로 바뀌지

않는 경우) 흐르지 않으며, 일부 실시예에서 시간 의존형 파형을 갖는 전류(I_{ON})가 마이크로 LED로 흘러 상당한 광 방출을 유발한다. 공칭 오프 모드에서는, 제1 전원 경로(605)를 통해 전원이 흐르지 않지만, 저항이 바이어스 전압(V_{bias})을 기준 전류($I_{baseline}$)로 변환하고 이는 제2 전원 경로(610)를 통해 마이크로 LED에 인가된다. 일부 실시예에서, V_{bias} 는 V_{DD} 와 같고, 다른 실시예에서 V_{bias} 는 V_{DD} 와 다르다.

[0068] 도 7은 일부 실시예에 따른 기준 전류($I_{baseline}$)를 마이크로 LED에 인가하기 위한 트랜지스터(715)를 포함하는 제2 전원 경로(710)를 갖는 마이크로 LED 드라이버(700)의 도면이다. 도시된 예에서, 트랜지스터(715)는 병렬 구동 트랜지스터이다. 도 5 및 도 6에서와 같이, 제1 전원 경로(705)는 마이크로 LED가 온 상태에 있을 때 전압(V_{DD})을 공급하며, 이 동안에는 제2 전원 경로(710)를 통해 전원이 흐르지 않으며, 일부 실시예에서 시간 의존형 파형을 갖는 전류(I_{ON})가 마이크로 LED로 흘러 상당한 광 방출을 유발한다. 공칭 오프 모드에서는, 제1 전원 경로(705)를 통해 전원이 흐르지 않으며, V_{bias} 에 의해 설정된 전류값을 갖는 베이스라인 전류($I_{baseline}$)가 트랜지스터(715)에 의해 생성된다. 일부 실시예에서, V_{DD2} 는 V_{DD} 와 동일하고, 다른 실시예에서 V_{DD2} 는 V_{DD} 와 다르다. V_{bias} 는 일부 실시예에서는 직류(DC) 전압이고, 다른 실시예에서는 시간 의존형 전압이다.

[0069] 일부 실시예에서, 트랜지스터(715)는 또한 광 생성 전류(I_{on})가 턴오프되면 마이크로 LED로부터 전하(charge)를 제거하기 위한 방전 트랜지스터로서 사용된다. 다른 실시예에서, 제2 전원 경로(710)의 트랜지스터(715)는 충전 트랜지스터로만 사용되고, 마이크로 LED 드라이버(700)는 방전 트랜지스터로 사용되는 별도의 트랜지스터(미도시)를 포함하는 제3 전원 경로(미도시)를 포함한다.

[0070] 도 5-도 7에 도시된 드라이버 아키텍처는 마이크로 LED(210)에 기준 전원을 공급하는데 사용될 수 있는 아키텍처의 예이다. 당업자는 방전 트랜지스터를 포함하는 제3 전원 경로와 결합된 도 6에 도시된 바와 같은 저항을 포함하는 제2 전원 경로와 같은 다른 아키텍처가 사용될 수 있음을 이해할 것이다. 일부 실시예에서, 본 명세서에 설명된 드라이버 아키텍처는 마이크로 LED 어레이로 형성된 디스플레이의 픽셀에 관한 것이다. 각 서브 픽셀은 마이크로 LED 및 마이크로 LED 드라이버에 해당한다. 기준 전류 또는 전압은 일부 실시예에서 패넬별, 픽셀 영역별, 픽셀별 또는 서브픽셀별로 다양하다.

[0071] 예를 들어, 다양한 색상(예를 들어, R, G, B)의 LED의 시간 응답은 (i) 접합 커패시턴스는 색상에 따라 다를 수 있는 에피(epi) 구조의 세부 사항에 따라 달라지고 그리고 (ii) 재결합 수명은 색상에 따라 달라지기 때문에(적어도 결합 수준이 다르고 방사 수명이 다르기 때문에) 다를 수 있다. 한 색상의 커패시턴스 충전 시간은 다른 색상의 커패시턴스 충전 시간의 최소 2배일 수 있다. 마찬가지로, 한 색상의 저전류 재결합 수명은 다른 색상의 저전류 재결합 수명의 두 배 이상일 수 있다. 따라서, 서로 다른 색상은 동일한 펄스 모양에 반응하여 서로 다른 동작을 가질 수 있다. 따라서, 일부 실시예에서, 기준 전류 또는 전압은 서로 다른 색상(R, G, B)의 서브픽셀에 대해 다르다. 일부 실시예에서, 기준 전류 또는 전압은 각 서브픽셀의 광자 전압(광자 전압은 전자 볼트로 측정된 광자 에너지와 동일한 것으로 정의됨)보다 낮거나 다른 임계 전압보다 낮다. 일부 실시예에서, 각 색상의 시간 응답을 개별적으로 개선하기 위해 서로 다른 색상에 대해 서로 다른 모양의 펄스가 사용된다. 일부 실시예에서, 디스플레이에는 적어도 두 가지 색상이 있고, 디스플레이는 두 색상에 대한 턴온 시간이 서로의 2배 이내가 되도록 구성된다.

[0072] 마이크로 LED 드라이버는 다양한 V_{bias} 값을 사용하거나 다양한 전자 소자(예를 들어, 저항 및 트랜지스터)로 변환된 공유 V_{bias} 값을 사용함으로써 다양한 기준 전원을 달성할 수 있다. 일부 실시예에서, 마이크로 LED 드라이버는 기준 전원을 인가하여 Mura 보상을 용이하게 하여 디스플레이 패널의 불균일성을 줄인다. 일부 실시예에서, 각 픽셀 또는 픽셀 그룹은 서로 다른 기본 조건을 가지며, 이는 작동 시 균일한 광 출력을 제공한다.

[0073] 예를 들어, 일부 실시예에서, 제2 전원 경로에는 전류 누출을 촉진하는 저항성 디바이스가 포함된다. 예를 들어, 어레이에는 재료 품질이 낮은 다른 마이크로 LED보다 낮은 전류에서 광을 방출하기 시작하여 낮은 전류에서 불균일한 밝기를 유발하는 더 나은 재료 품질의 하나 이상의 마이크로 LED가 포함될 수 있다. 모든 픽셀에 작은 누설 경로를 추가함으로써 어레이의 마이크로 LED가 저전류에서 턴온되는 것을 방지한다. 저항은 마이크로 LED의 공칭 온 전류에 비해 낮은 누설 전류를 유발하도록 선택되어 디스플레이의 밝기 및/또는 응답 시간을 균일화하는데 도움이 된다. 일부 실시예에서, 디스플레이에는 (예를 들어 결합 수준이 마이크로 LED 간에 다르기 때문에) 저전류 비방사성 수명이 실질적으로 다른 복수의 마이크로 LED가 있다. 비방사성 재결합이 더 많은 마

이므로 LED는 더 많은 광을 방출하고 낮은 전류에서 더 빠르게 반응하여 불균일성을 초래할 수 있다. 따라서, 일부 실시예는 저전류에서 응답 시간 및/또는 밝기를 지배하여 불균일성을 감소시키는 누설 경로를 포함한다.

[0074] 일부 실시예에서, 마이크로 LED 드라이버는 항상 기준 전원(전압 또는 전류)을 인가하지는 않는다. 대신에, 마이크로 LED 드라이버는 픽셀들이 턴온되기 전 적절한 시간 동안만 기준 전원을 인가한다. 예를 들어, 마이크로 LED를 완전 오프 상태에서 기준 상태로 구동하는데 시간($\tau_{baseline}$)이 걸리는 경우, 마이크로 LED 드라이버는 픽셀(마이크로 LED)이 턴온되어야 할 때 마이크로 LED가 기준 상태에 있도록 적어도 $\tau_{baseline}$ 의 시간 동안 기준 전원을 인가한다. $\tau_{baseline}$ 시간 동안만 기준 전원을 인가함으로써, 마이크로 LED 드라이버는 기준 조건과 관련된 전원 소비를 줄인다.

[0075] 구동(PWM) 전원 펄스(235)를 인가하기 전에 기준 전원(230)으로 마이크로 LED(210)를 사전 충전하는 것 외에 또는 대신에, 마이크로 LED 드라이버(205)는 다양한 세기, 즉 전류 밀도를 가지도록 정형된 구동 전원 펄스(235)를 인가함으로써 마이크로 LED(210)의 응답 시간(즉, 발광이 시작될 때까지의 시간)을 줄일 수 있다. 일부 실시예에서, 마이크로 LED 드라이버(205)는 복잡한 파형(즉, 단순한 사각형 모양보다 더 복잡한)으로 특징지어진 구동 펄스를 인가한다. 예를 들어, 전류 또는 전압 펄스에는 피크나 리플이 있을 수 있다.

[0076] 도 8은 일부 실시예에 따른 발광 상태에서 마이크로 LED를 구동하기 위한 전류 펄스의 다양한 예를 도시하는 도면(800)이다. 상이한 전류 펄스는 중첩되어 이들 간의 차이점을 보여준다. 각 펄스의 총 지속 시간은 100ns이다. 전류 펄스(805)는 전류 밀도가 $J=10A/cm^2$ 이고 지속 시간이 약 10 ns인 정사각형 프로파일을 갖는 제1 위상과 전류 밀도가 $J=10A/cm^2$ 이고 지속 시간이 약 90ns인 정사각형 프로파일을 갖는 제2 위상을 포함한다. 이와 같이, 전류 펄스(810)의 총 지속 시간은 약 100ns이다. 전류 펄스(815)는 전류 밀도가 $J=60A/cm^2$ 이고 지속 시간이 약 10ns인 정사각형 프로파일을 갖는 제1 위상과 전류 밀도가 $J=10A/cm^2$ 이고 지속 시간이 약 90ns인 정사각형 프로파일을 갖는 제2 위상을 갖는다. 이와 같이, 전류 펄스(815)의 총 지속 시간은 약 100ns이다. 각각의 전류 펄스(810, 815)에서, 제1 위상은 제2 위상 바로 앞에 온다.

[0077] 도 9는 일부 실시예에 따른 도 8에 도시된 상이한 전류 펄스(805, 810, 815)에 의해 구동되는 마이크로 LED의 정규화된 광 출력을 도시하는 도면(900)이다. 각각의 상이한 전류 펄스로부터 발생하는 정규화된 광 출력은 중첩되어 이들 간의 차이를 보여준다. 전류 펄스(805)의 경우, 정규화된 광 출력은 곡선(905)으로 도시된다. 전류 펄스(810)의 경우, 정규화된 광 출력은 곡선(910)으로 도시되고, 전류 펄스(815)의 경우, 정규화된 광 출력은 곡선(915)으로 도시된다. 도시된 바와 같이, 펄스(810 및 815)의 제1 위상에서 제공되는 더 높은 전류 피크(전류 밀도)는 각각 곡선(910 및 915)으로 도시된 바와 같이, 마이크로 LED 커패시턴스의 더 빠른 충전 및 활성 영역에서의 캐리어의 더 빠른 축적을 이어진다.

[0078] 전류 피크(즉, 제1 위상)의 길이와 크기에 따라, 정규화된 광 출력은 피크를 디스플레이할 수 있는데, 그 이유는 제3 펄스(815)에 대응하는 곡선(915)에 대해 도시한 바와 같이 마이크로 LED의 캐리어 밀도가 일시적으로 자신의 안정기 값을 오버슈트(초과)하기 때문이다. 일부 실시예에서, 마이크로 LED 드라이버는 이러한 오버슈트 피크를 피하거나 제한하기 위해 펄스 모양(shape)을 구성한다. 이러한 피크를 피하거나 제한하면 드라이버 및/또는 마이크로 LED가 손상될 가능성을 줄일 수 있다. 일부 실시예에서, 하나의 펄스 동안, 전류 펄스는 피크(즉, 제1 위상)와 안정기(즉, 제2 위상)를 가지며, 마이크로 LED 광 출력에는 해당 피크와 안정기가 있으므로 정규화된 광 출력 피크는 광 출력 안정기 값의 2배(2x)(또는 1.5x, 1.1x) 미만이다. 일부 실시예에서, 마이크로 LED 드라이버는 복잡한 모양을 갖는 펄스를 구성하여 LED 응답 시간을 향상시킨다. 일부 실시예에서, 전류 펄스는 1 마이크로초보다 짧은 지속 시간을 갖고, 발광 상태는 전류 펄스 지속 시간의 적어도 50% 동안 연장된다. 위에 설명한 예시적인 파형은 단지 예로만 제공된다.

[0079] 일부 실시예에서, 상이한 색상을 공급하는 펄스들의 모양은 서로 다르다. 예를 들어, 일부 실시예에서 청색 픽셀(마이크로 LED)은 제1 피크 전류 및 지속 시간을 갖는 제1 파형을 갖고, 녹색 픽셀(마이크로 LED)은 제2 피크 전류 및 지속 시간을 갖는 제2 파형을 갖고, 적색 픽셀(마이크로 LED)은 제3 피크 전류 및 지속 시간을 갖는 제3 파형을 가지며, 피크 전류 및 지속 시간은 턴온 지연을 유사한 값으로 줄이기 위해 선택된다. 일부 실시예에서, 제1 색상을 갖는 제1 마이크로 LED는 충전 시간(τ_{charge_1})을 갖고, 제1 피크 값 및 제1 특성 지속 시간을 갖는 제1 펄스에 의해 구동되고, 제2 색상을 갖는 제2 마이크로 LED는 충전 시간(τ_{charge_2})을 갖고, 제2 피크 강도 및 제2 특성 지속 시간을 갖는 제2 펄스에 의해 구동되고; τ_{charge_2} 는 τ_{charge_1} 의 2(또는 5, 10)배 이상이며, 곱(피크 강도 * 지속 시간)은 발광 전 제2 마이크로 LED의 시간 지연이 제1 마이크로

LED의 2배(또는 1.5, 1.2, 3, 5, 10) 미만이라도 제2 마이크로 LED의 경우 더 높다. 마이크로 LED 드라이버는 LED로부터의 광 출력을 유발하는 전원 펄스, 사전 충전 기준 펄스, 및 방전 펄스 중 하나 이상에 펄스 정형(pulse shaping)을 적용한다.

[0080] 일부 실시예에서, 마이크로 LED 드라이버용 컨트롤러(미도시)는 원하는 LED 밝기와 펄스 모양(길이 및/또는 강도 및/또는 펄스 모양의 다른 양태 포함) 사이의 비선형 변환을 사용하여 시간 응답으로 인한 비선형성을 수정한다. 예를 들어, 일부 실시예에서 비선형 변환은 주어진 양의 발광을 달성하기 위해 주어진 펄스 폭을 규정하는 룩업 테이블이다.

[0081] 표 1은 그 예를 나타낸다. 이 표는 도 2의 마이크로 LED에 적용되며, 전류 밀도가 $10\text{A}/\text{cm}^2$ 인 단순한 사각형 펄스가 구동 전원 펄스(235)로서 인가되는 것으로 가정한다. 비트 심도(depth)는 8이며 이는 최대 256개의 그레이(계조) 레벨에 해당한다. 비선형 보정이 없으면 가장 짧은 펄스는 100ns 동안 지속된다.

표 1

[0082]

목표 그레이 레벨	공칭 펄스 길이 [ns]	보정되지 않은 광량	추가 펄스 길이 [ns]	보정된 광량
2 ¹	100	0.65	35	1
2 ²	200	1.65	35	2
2 ³	400	3.65	35	4
2 ⁴	800	7.65	35	8
2 ⁵	1,600	15.65	35	16
2 ⁶	3,200	32.65	35	32
2 ⁷	6,400	63.65	35	64
2 ⁸	12,800	127.65	35	128

[0083] 이 예에서는 35ns의 추가 펄스 길이(또는 시간 오프셋)가 모든 그레이 레벨에 적용된다. 이 추가 펄스 길이는 방출된 광의 총량을 수정하고 이를 목표 그레이 레벨에 비례하게 만든다. 이러한 비선형 보정이 없으면, 그레이 레벨은 원하는 값과 실질적으로 다를 수 있으며, 특히 낮은 그레이 레벨의 경우 더욱 그렇다. 즉, 모든 펄스의 길이를 35ns만큼 확장하면(위에서 설명한 예에서), 광 방출이 시작되기까지(또는 전체 값의 90% 도달) 걸리는 시간을 보상하는 것이 가능하다.

[0084] 시간 오프셋이 디스플레이 시스템의 기본 클록 시간에 비례하지 않는 경우 임의의 시간 오프셋을 펄스에 적용하는 것이 어려울 수 있다. 따라서, 일부 실시예는 필요한 시간 오프셋이 클록 시간에 가깝도록 구성된다. 예를 들어, 위의 예에서, 33.333ns의 클록 시간은 표 1의 값에 매우 가까운 시간 오프셋을 생성할 수 있다(예를 들어, 가장 짧은 펄스는 3클럭 대신 4클럭 주기 동안 지속된다). 일부 실시예에서, 지연 라인과 같은 다른 하드웨어는 클록 주기에 의해 길이가 결정되지 않는 지연을 추가하는데 사용된다.

[0085] 이 예에서 추가 펄스 길이는 모든 그레이 레벨에 대해 일정하며 전체 룩업 테이블은 불필요하다. 그러나, 다른 구성표에서는 그레이 레벨에 따라 수정이 필요할 수 있다. 이는 예를 들어 펄스 구동 전류가 그레이 레벨에 따라 달라지거나 히스테리시스 효과(즉, 관심 펄스 이전의 픽셀 상태)를 고려하는 경우 발생할 수 있다.

[0086] 룩업 테이블은 다소 세분화될 수 있으며, 더 많거나 더 적은 그레이 레벨에 대한 비선형 보정 값을 제공한다. 룩업 테이블 레벨 사이에 있는 그레이 레벨의 경우, 추가 펄스 길이가 보간될 수 있다. 이러한 룩업 테이블의 값은 디스플레이의 요소(예를 들어, 서로 다른 영역, 서로 다른 픽셀, 서로 다른 서브 픽셀, 서로 다른 LED 색상)에 따라 달라질 수 있다. 추가 비트(예를 들어, 12비트(표시용 8비트, 수정용 4비트))가 개별 요소의 값을 설정하는데 사용될 수 있다.

[0087] 일부 실시예에서, 컨트롤러는 비선형 보정을 자체적으로 적용하거나 본 개시 의 다른 교시와 결합하여 적용한다. 예를 들어, 마이크로 LED 및/또는 마이크로 LED 드라이버는 대략적인 최소 원하는 펄스 길이(예를 들어, 10ns 또는 50ns 또는 100ns 또는 500ns 또는 1μs 정도)를 허용하도록 구성될 수 있으며, 비선형 보정이 조명 수준을 추가로 제어하고 잔여 시간 응답 효과를 정정하기 위해 적용될 수 있다. 위의 예에서, 마이크로 LED와 마이크로 LED 드라이버는 약 100ns의 가장 짧은 펄스를 허용하도록 구성되었으며, 비선형 보정이 그레이 레벨을 정밀하게 제어하기 위해 적용되었다. 펄스의 전류 밀도는 룩업 테이블을 통해 구성될 수도 있다.

[0088] 표 1은 원하는 광량이 비트 심도에 엄격하게 비례한다고 가정한다. 그러나, 감마 보정이 추가로 적용될 수도 있

다. 감마 보정 후에 원하는 그레이 레벨을 달성하도록 비선형 보정이 구성될 수 있다. 특정 테이블은 예를 들어 펄스 지속 시간이나 펄스의 전류 밀도를 수정하는 방법을 결정하기 위해 다양한 지속 시간에 대한 광 값을 측정하는, 디스플레이에 캘리브레이션 프로세스를 적용함으로써 결정되는 값으로 채워질 수 있다.

[0089] 실시예는 원하는 광량을 달성하기 위해 본 명세서에 개시된 바와 같은 구동 방식을 구성하는 방법을 포함한다. 방법은 원하는 출력(예를 들어 비트 심도에 해당하는 공칭 밝기 레벨)을 결정하는 단계와; 원하는 출력의 사전 결정된 범위(예를 들어, $\pm 10\%$ 또는 20% 또는 5% 또는 1%) 내에 있는 실제 출력을 달성하기 위해 적절한 구동 방식(예를 들어, 펄스 모양 및 지속 시간)으로 디스플레이를 작동하는 단계를 포함할 수 있다.

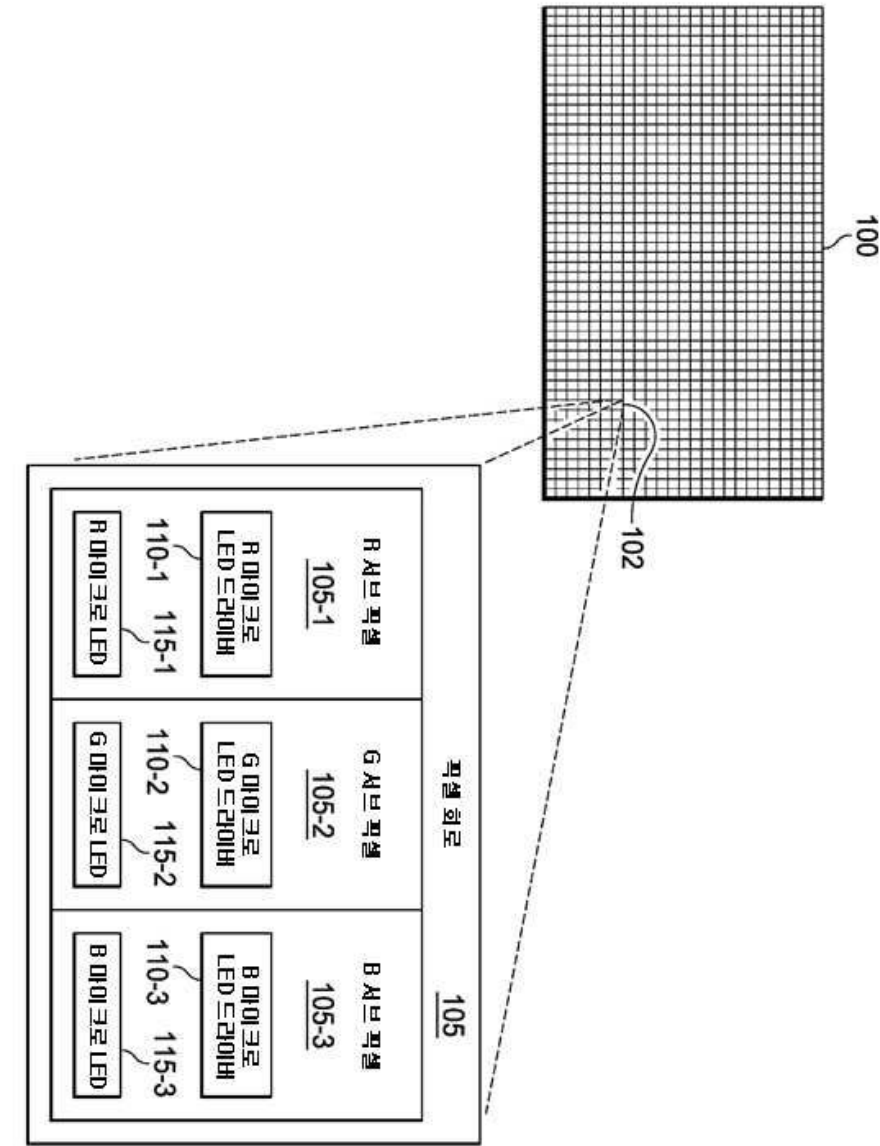
[0090] 일부 실시예에서, 위에 설명된 기술의 특정 양태는 소프트웨어를 실행하는 처리 시스템의 하나 이상의 프로세서에 의해 구현될 수 있다. 소프트웨어는 비-일시적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체에 저장되거나 또는 유형으로 구현된 하나 이상의 실행 가능한 명령 세트를 포함한다. 소프트웨어는 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때 위에서 설명된 기술의 하나 이상의 양태를 수행하기 위해 하나 이상의 프로세서를 조작하는 명령과 특정 데이터를 포함할 수 있다. 비-일시적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체는 예를 들어 자기 또는 광학 디스크 저장 디바이스, 고체 상태 저장 디바이스(예를 들어, 플래시 메모리, 캐시, RAM) 또는 기타 비휘발성 메모리 디바이스 또는 디바이스들을 포함할 수 있다. 비-일시적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체에 저장된 실행 가능 명령은 소스 코드, 어셈블리 언어 코드, 목적 코드, 또는 하나 이상의 프로세서에 의해 해석되거나 실행 가능한 다른 명령 형식일 수 있다.

[0091] 일반적인 설명에서 위의 모든 활동이나 요소가 필요한 것은 아니며, 특정 활동이나 디바이스의 일부가 필요하지 않을 수도 있고, 설명된 것 외에 하나 이상의 추가 활동이 수행되거나 요소가 포함될 수도 있다. 또한 활동이나 열된 순서가 반드시 수행되는 순서와 일치하지는 않는다. 또한, 개념들은 구체적인 실시예를 참조하여 설명되었다. 그러나, 당업자는 아래 청구범위에 기재된 본 개시의 범위를 벗어나지 않고 다양한 수정 및 변경이 이루어질 수 있음을 인식한다. 따라서, 명세서 및 도면은 제한적인 의미가 아닌 예시적인 의미로 간주되어야 하며, 이러한 모든 변형은 본 개시의 범위 내에 포함되도록 의도된다.

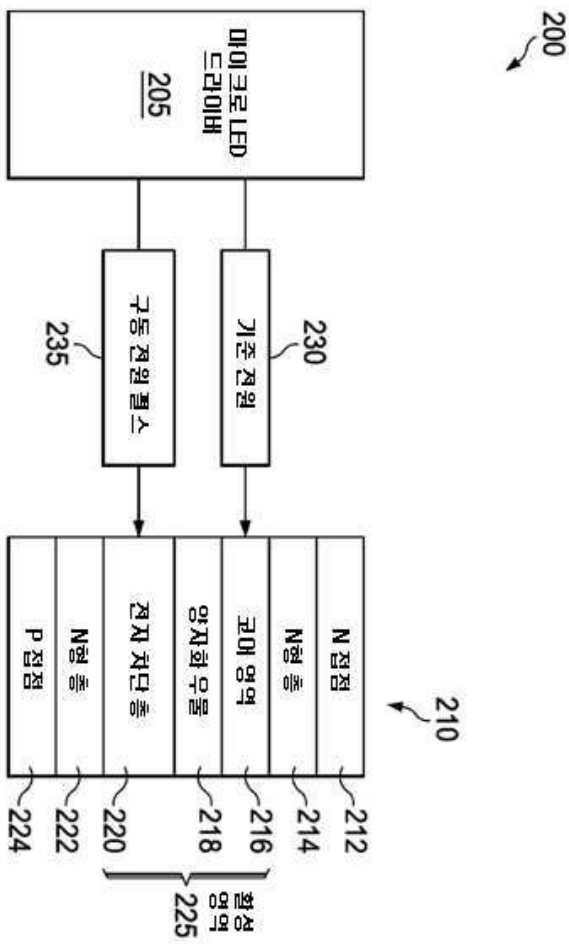
[0092] 이점, 다른 장점 및 문제에 대한 솔루션이 특정 실시예와 관련하여 위에서 설명되었다. 그러나, 문제에 대한 이점, 장점, 솔루션 및 그 이점, 장점 또는 솔루션이 발생하거나 더욱 두드러지게 될 수 있는 임의의 특징(들)은 청구범위의 일부 또는 전부에 대한 중요하거나 요구되거나 필수적인 특징으로 해석되어서는 안된다. 더욱이, 위에 개시된 특정 실시예는 단지 예시일 뿐이며, 개시된 주제는 본 명세서의 교시의 이점을 갖는 당업자에게 명백하지만 상이하나 동등한 방식으로 수정되고 실시될 수 있다. 아래 청구범위에 설명된 것 외에 본 명세서에 표시된 구성 또는 설계의 세부 사항에는 제한이 없다. 따라서 위에 개시된 특정 실시예는 변경되거나 수정될 수 있으며 이러한 모든 변형은 개시된 주제의 범위 내에서 고려된다는 것이 명백하다. 따라서, 본 명세서에서 추구하는 보호는 아래 청구범위에 기술된 바와 같다.

도면

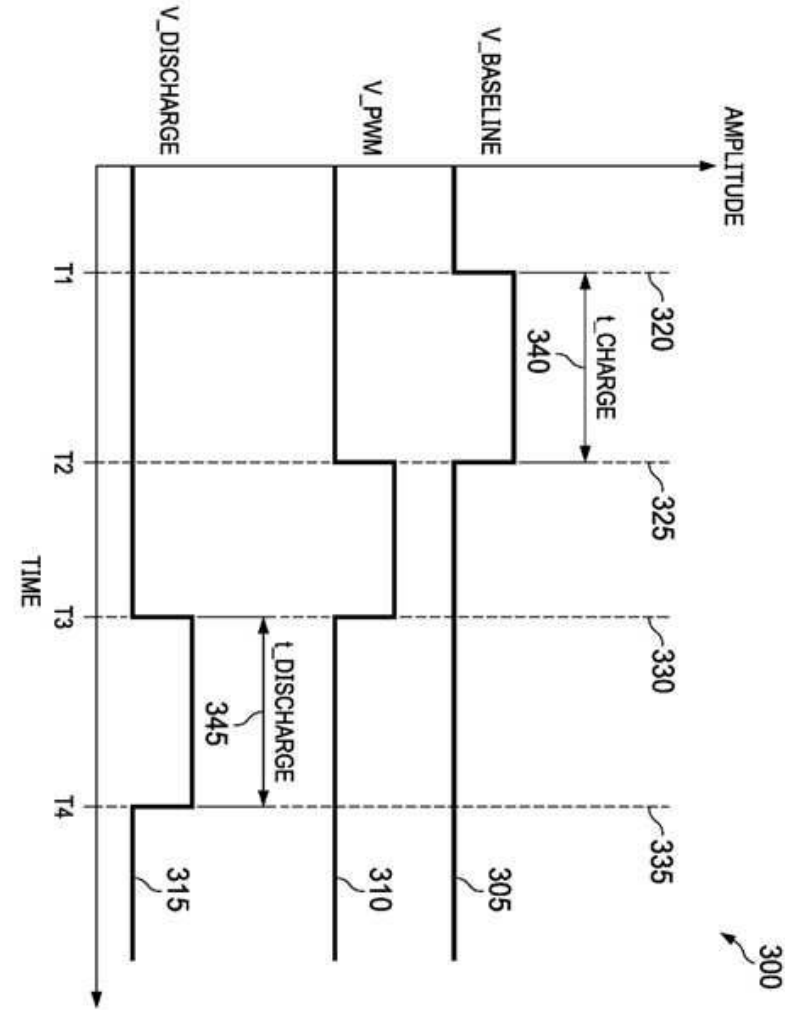
도면1



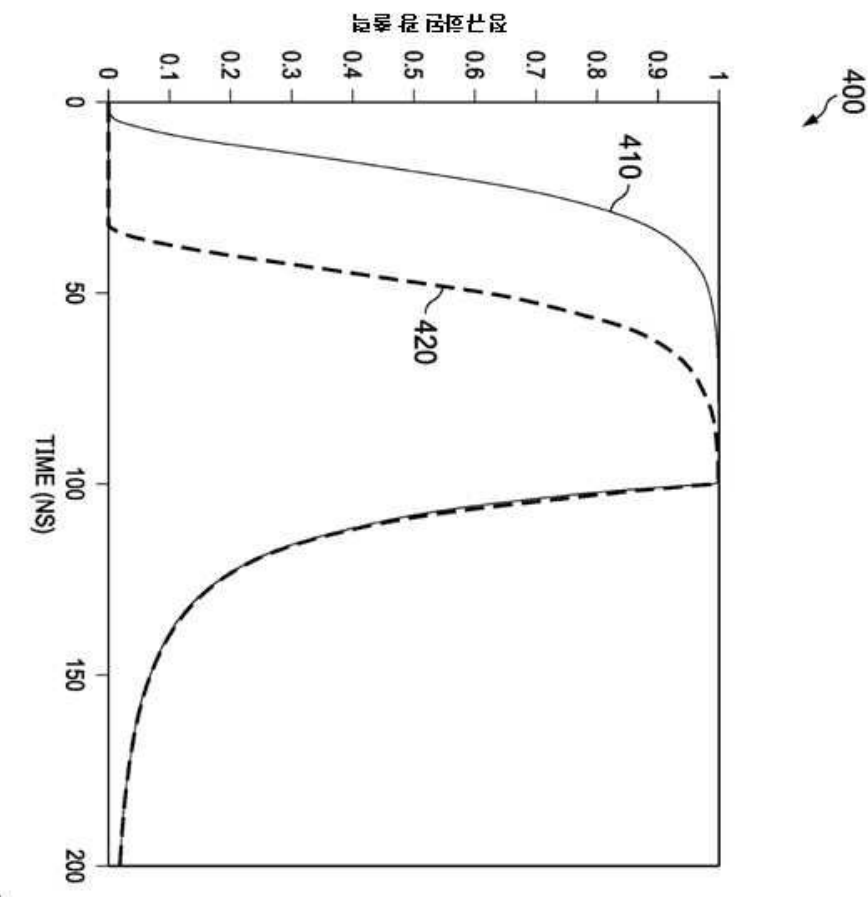
도면2



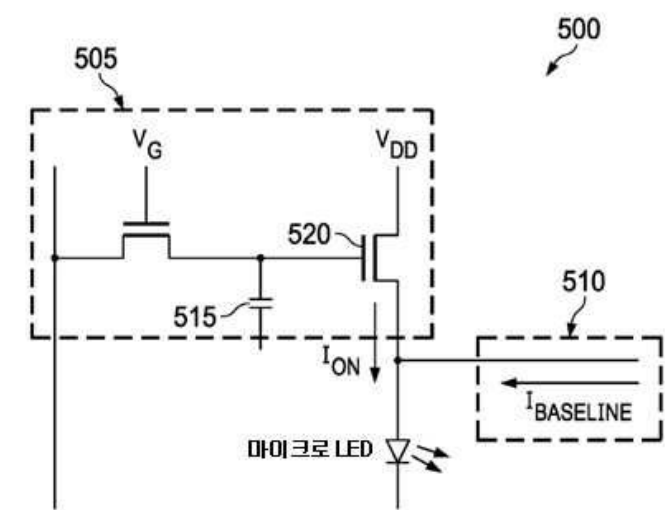
도면3



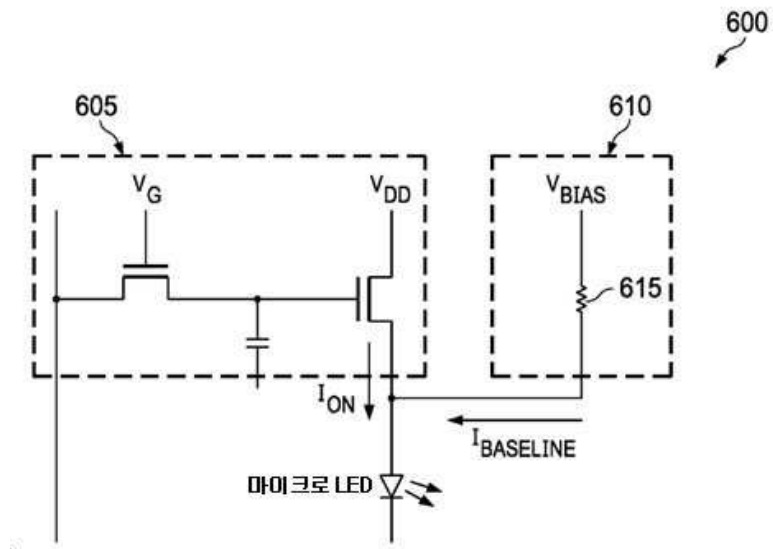
도면4



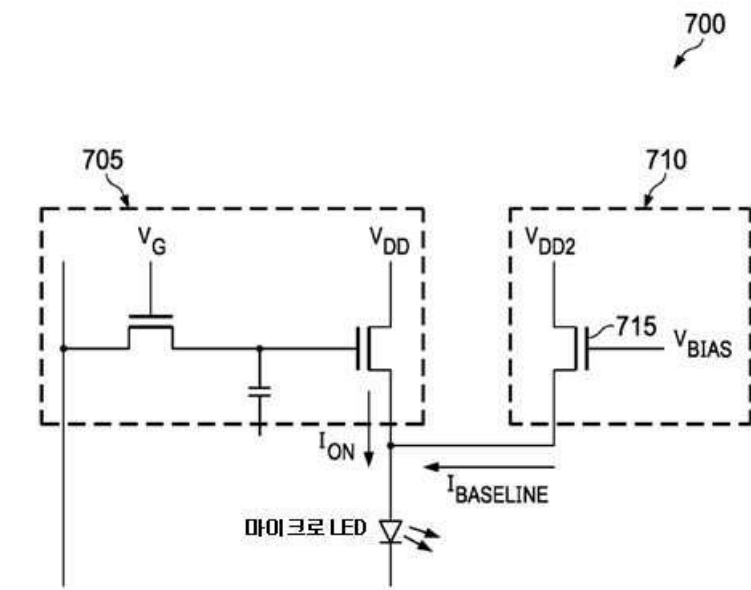
도면5



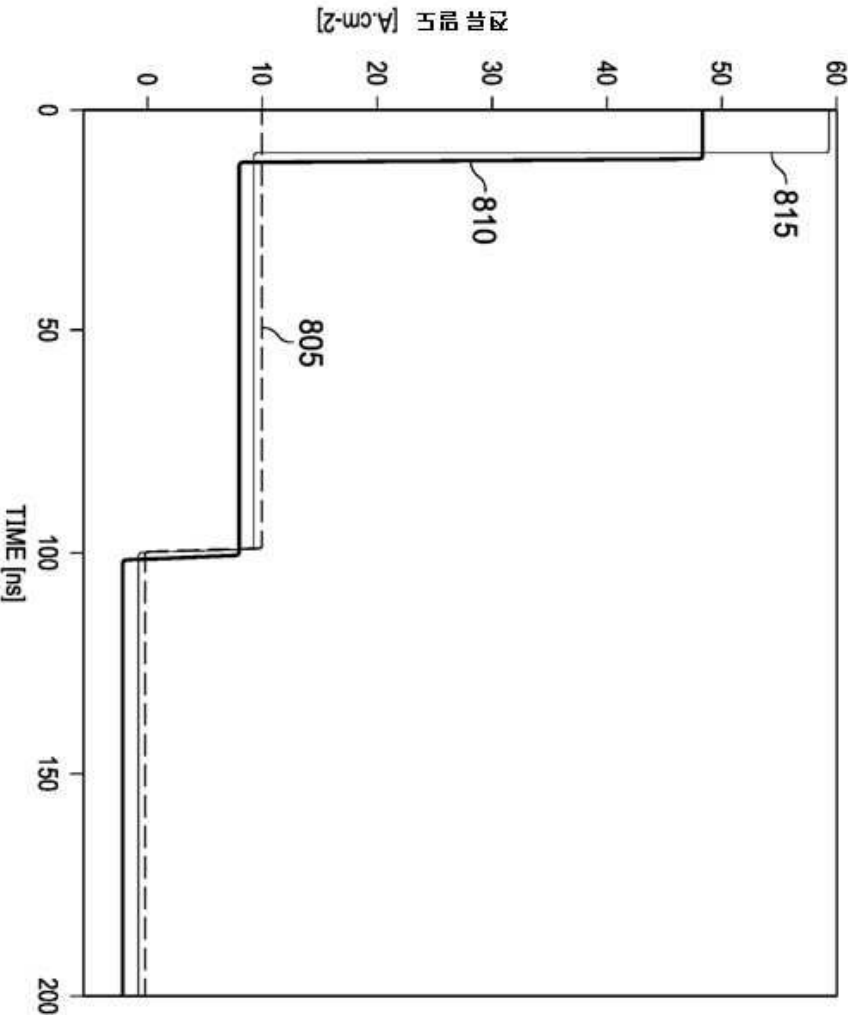
도면6



도면7



도면8



도면9

