



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0003893
(43) 공개일자 2021년01월12일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G09G 3/20 (2006.01) G09G 3/32 (2016.01)
G09G 3/34 (2006.01) H01L 27/15 (2006.01)
H01L 33/06 (2010.01) H01L 33/08 (2010.01)
H01L 33/14 (2010.01) H01L 33/46 (2010.01)
H01L 33/58 (2010.01) H04N 9/31 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G09G 3/2003 (2013.01)
G09G 3/32 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2020-7034254
(22) 출원일자(국제) 2019년04월29일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2020년11월27일
(86) 국제출원번호 PCT/US2019/029741
(87) 국제공개번호 WO 2019/212994
국제공개일자 2019년11월07일
- (30) 우선권주장
62/664,714 2018년04월30일 미국(US)
- (71) 출원인
오스텐도 테크놀로지스 인코포레이티드
미국 캘리포니아 92011 칼스배드 스위트 200 파
세오 델 노르트 6185
- (72) 발명자
엘-고로우리 후세인 에스
미국 캘리포니아 92011 칼스배드 스위트 200 파
세오 델 노르트 6185
- (74) 대리인
신성특허법인(유한)

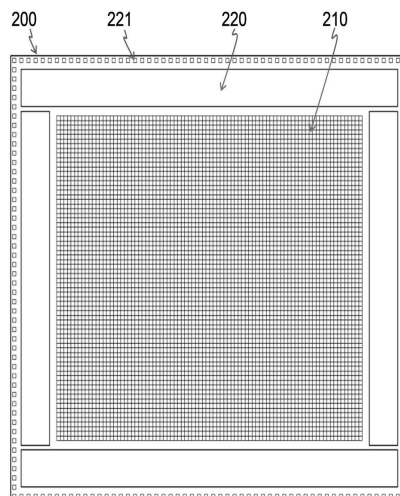
전체 청구항 수 : 총 34 항

(54) 발명의 명칭 컬러-조정 가능 고체 상태 발광 마이크로 픽셀을 포함하는 양자 포토닉 이미지

(57) 요약

방출 양자 포토닉 이미지는 디지털적으로 어드레스 가능한 멀티컬러 마이크로 픽셀들의 공간 어레이로 구성된다. 각 픽셀은 모놀리식 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드를 구비한 방출 마이크로 광학 캐비티이다. 각 컬러-조정 가능 픽셀 다이오드의 의해 생성되는 광은, 픽셀 다이오드로부터 생성된 광을 추출하고 시준하는 다수의 수직 도파관들을 통해 또는 이미지의 평면에 곧바로 수직하게 방출된다. 각 픽셀 다이오드는, 각 컬러마다 임의 온/오프 듀티 사이클로, 모놀리식 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드와 관련된 임의 컬러를 방출하기 위해 픽셀을 인에이블하도록 개별적으로 어드레스 가능하다. 개별적인 픽셀들은, 각자의 컬러-조정 가능 다이오드들의 온/오프 듀티 사이클 및/또는 구동 전류를 제어함에 의해 그들의 요구된 컬러들 및 밝기 값들을 변조한다. 픽셀-레벨 마이크로 광학은 마이크로 픽셀들로부터 방출된 광을 시준하고 방향성 변조한다.

대표도 - 도2a



(52) CPC특허분류

G09G 3/3413 (2013.01)

H01L 27/156 (2013.01)

H01L 33/06 (2013.01)

H01L 33/08 (2013.01)

H01L 33/145 (2013.01)

H01L 33/46 (2013.01)

H01L 33/58 (2013.01)

H04N 9/3182 (2013.01)

G09G 2340/06 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

고체 상태 이미저로서,

디지털적으로 어드레스 가능한 멀티컬러 마이크로 픽셀들을 구비하되,

각 픽셀 구조는, 단일 포토닉 층을 구비한 방출 모놀리식 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드 또는 구조를 구비하고,

마이크로 픽셀의 각 컬러 및 밝기 값들은, 각 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드 또는 구조의 전하 캐리어 주입 구동 전류 레벨 및/또는 온/오프 듀티 사이클을 제어함에 의해, 변조되며,

각 마이크로 픽셀은, 픽셀이, 방출된 컬러에 대한 사용자 정의 밝기 또는 사전 결정된 온/오프 듀티 사이클로, 각자의 모놀리식 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드 또는 구조와 연관된 사용자 정의 세트의 컬러들을 방출할 수 있도록, 개별적으로 어드레스 가능하고,

마이크로 픽셀의 다이오드 또는 구조들의 각각은 고유하게 어드레스 가능한 전기적 콘택트 및 공통 금속 콘택트를 구비하며, 공통 금속 콘택트는 다수의 픽셀 어레이 또는 픽셀 어레이 모두에 의해 공유되는

고체 상태 이미저.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

각 마이크로 픽셀 구조는, 픽셀의 모놀리식 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드 또는 구조를 구성하는 마이크로 광학 캐비티를 구비하고,

마이크로 픽셀들에 의해 생성된 광은 고체 상태 이미저의 평면에 수직하게 방출되며,

마이크로 픽셀들에 의해 생성된 광은, 픽셀로부터 생성된 광을 추출 및 시준하도록 구성된 다수의 수직 도파관들을 통해 이미저의 평면에 수직하게 방출되며,

마이크로 픽셀 구조는 마이크로 픽셀들로부터 방출된 광을 추가로 시준하고 방향성 변조하도록 구성된 픽셀-레벨 마이크로 광학 소자를 더 구비하는

고체 상태 이미저.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

픽셀의 모놀리식 컬러-조정 가능 발광 다이오드들 또는 구조들은 절연 반도체 물질 및 반사 금속 클래딩(cladding)으로 구성된 측벽들에 의해 광학적 및 전기적으로 이격되며,

픽셀의 금속 콘택트는 반사형으로서, 상기 픽셀의 반사 측벽들과 함께, 픽셀의 광학 마이크로 캐비티를 정의하고,

픽셀 측벽들의 반사 금속 클래딩은 픽셀의 모놀리식 컬러-조정 가능 발광 다이오드들 또는 구조들로 구동 전류를 라우팅하는 전기적 상호 접속으로서 이용되는

고체 상태 이미저.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 이미저는, 픽셀의 모놀리식 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드 또는 구조의 광 방출을 독립적으로 제어하는 전기적 신호들을 라우팅 및 생성하는 제어 구동 로직 회로에 전기적으로 결합되고,

제어 구동 로직 회로는 청구항 제1항의 픽셀들의 어레이에 접착된 제어 구동 로직 어레이를 정의하는 다수의 제어 구동 로직들로 구성되며,

픽셀 어레이 및 그들의 연관된 제어 구동 로직 어레이는 이미저의 광학 개구 에지내에 있고,

이미저의 제어 구동 로직 회로의 외부 전기적 인터페이스는 제어 구동 로직 회로의 배면에 TSV(through-silicon via) 어레이로서 생성되는

고체 상태 이미저.

청구항 5

제 2 항에 있어서,

방출 모놀리식 컬러-조정 가능 픽셀들의 어레이는 픽셀들의 상부 표면으로부터 실질적 램버시안 광을 직접 방출하거나 다수의 도파관으로부터 준-램버시안 광을 방출하도록 구성되고,

픽셀의 준-램버시안 광 방출 파라메타들은, 픽셀의 방출 개구에 걸쳐있는 픽셀의 다수의 도파관들의 깊이, 직경 및 패턴을 선택함에 의해 제시되고,

픽셀의 방출 개구에 걸쳐 있는 픽셀의 다수의 도파관들의 깊이, 직경 및 패턴은 픽셀들로부터의 광 방출을 시준하도록 선택되는

고체 상태 이미저.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

픽셀들로부터의 광 방출을 추가로 시준하거나 방향성 변조하도록 구성된 개구 마이크로 광학 소자 또는 렌즈를 더 구비하고,

마이크로 픽셀의 개구 마이크로 광학 소자들 또는 렌즈의 방향성 변조는, 픽셀 어레이의 광 방출을 텔레센트릭(telecentric) 또는 비-텔레센트릭(non-telecentric) 광 방출 패턴으로 추가 구성하도록 선택되는

고체 상태 이미저.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

포토닉 발광 반도체 구조 및 디지털 반도체 구조를 더 구비하고,

포토닉 발광 반도체 구조는 다수의 방출 컬러-조정 가능 반도체 발광 마이크로 픽셀들로 구성되고, 디지털 반도체 구조는 포토닉 반도체 구조의 다수의 마이크로 픽셀들에게 전력 및 제어 신호들을 제공하도록 구성된 디지털 구동 로직 회로들로 구성되며, 디지털 반도체 구조는, 픽셀 어레이의 개별적 픽셀들에게 전기적 구동 신호들을 결합시키는 상부측 콘택트 층과, 고체 상태 이미저에게 외부 전기적 구동 신호들을 결합시키는 후방 콘택트 층을 구비하는

고체 상태 이미지.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

포토닉 발광 반도체 층과 디지털 반도체 구조는 접착층에 의해 함께 접착되며, 이미저의 방출 상부측은 이미저에 접착된 투명 커버층으로 캡슐화되는

고체 상태 이미지.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

디지털 반도체 구조의 표면 영역은 방출 픽셀 어레이 영역의 표면 영역보다 더 큰

고체 상태 이미지.

청구항 10

제 7 항에 있어서,

포토닉 발광 반도체 층은 디지털 반도체 구조의 표면 영역과 실질적으로 동일한 표면 영역을 가지며, 이미저에 외부 전기적 신호들을 결합시키기 위해 이미저의 후방 표면상에 배치된 마이크로 볼 그리드 어레이를 구비하는

고체 상태 이미지.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

포토닉 발광 반도체 층은 디지털 반도체 구조의 표면 영역과 실질적으로 동일한 표면 영역을 가지며, 마이크로 볼 그리드 어레이에서 디지털 반도체 구조의 TSV(through silicon via)의 어레이로 이미저의 외부 전기적 구동 신호를 결합시키기 위해 TSV의 어레이를 구비하는

고체 상태 이미지.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

픽셀의 피치는 5 미크론 이상인

고체 상태 이미지.

청구항 13

고체 상태 이미지를 제조하는 방법으로서,

디지털적으로 어드레스 가능한 멀티컬러 마이크로 픽셀들을 구비한 제 1 웨이퍼를 제조하는 단계와;

별도의 제 2 웨이퍼상에 적어도 하나의 디지털 구동 로직 회로를 구비한 디지털 반도체 구조를 제조하는 단계; 및

디지털 구동 로직 회로에 컬러 조정 가능 반도체 발광 다이오드 또는 구조를 전기적으로 결합시키기 위해 제 2 웨이퍼에 제 1 웨이퍼를 접착시키는 단계를 구비하되,

각 픽셀은 단일 포토닉 층을 구비한 모놀리식 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드 또는 구조를 구비한 방출 마이크로 광학 캐비티를 구비하고,

픽셀의 각 컬러 및 밝기 값들은 각각의 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드 또는 구조의 전하 캐리어 주입 구동 전류 레벨 및/또는 온/오프 듀티 사이클을 제어함에 의해 변조되는

고체 상태 이미저 제조 방법.

청구항 14

제 1 항에 있어서,

모놀리식 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드는, 2개의 반대로 도핑된 주변 영역들 사이에 배치된 광학적 활성 영역을 구비한 단일 접합 다이오드를 형성하기 위하여 에피택셜하게 성장한 다수의 층들을 구비하는 III-V족 물질 구조로 구성되고,

모놀리식 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드의 광학적 활성 영역은 다수의 광학적 활성 서브 영역들로 더 구성되며,

다수의 광학적 활성 서브 영역들의 각각은 2개의 장벽층들 사이에 배치된 양자 감금층을 구비한 적어도 하나의 양자 감금 구조를 구비하고,

모놀리식 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드의 광학적 활성 영역은 다수의 전하 캐리어들의 중간 차단층들을 더 구비하고,

다수의 전하 캐리어들의 중간 차단층들은 광학적 활성 서브 영역들 사이에 배치되는

고체 상태 이미저.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

중간 차단층들의 각각은 다이오드 접합 도핑된 주변 영역들의 대역 갭 뿐만이 아니라 활성 영역의 진성 대역 갭 보다 적어도 더 큰 대역 갭 에너지를 가진

고체 상태 이미저.

청구항 16

제 14 항에 있어서,

중간 차단층들의 각각은, 광학적 활성 영역내의 위치에 의거하여 값들이 서로 다른 그들의 물질 합성물에 의해 영향받는 대역 갭을 가지는

고체 상태 이미저.

청구항 17

제 14 항에 있어서,

중간 차단층들의 각각은, 도핑 레벨 및 도핑 극성에 의해 영향받는 광학적 활성 영역의 진성 대역 갭에 대한 대역 갭 오프셋을 가지며,

중간 차단층들은 P-도핑되거나, 도핑되지 않거나, N-도핑되며,

중간 차단층의 대역 갭의 각각은, 그들의 선택된 도핑 레벨 및 도핑 극성에 비례하여 전도 대역 또는 밸런스 대역을 향해 광학적 활성 영역의 진성 대역 갭에 대해 오프셋되며,

중간 차단층들의 대역 갭들과 대역 갭 오프셋 레벨은, 다수의 활성 서브 영역들중의 특정 전하 캐리어 주입 분포 프로파일에 영향을 주기 위해 다수의 중간 차단층들 중에서 별도로 선택되는

고체 상태 이미지.

청구항 18

제 14 항에 있어서,

중간 차단층들은, 다수의 활성 서브 영역들 중의 특정된 전류 의존적인(선택적) 전하 캐리어 주입 분포 프로파일과, 그에 따른, 다수의 광학적 활성 서브 영역들로부터의 대응적으로 특정된 전류 의존적 광 방출 세기 분포 프로파일을 인에이블하도록 사용자 선택된 대역 갭 에너지 및 대역 갭 오프셋 레벨을 가지는

고체 상태 이미지.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

중간 차단층들의 사용자 선택된 대역 갭 에너지 및 대역 갭 오프셋 레벨은, 후속적으로, 다수의 활성 서브 영역들의 광 방출 세기의 가중 합인, 광학적 활성 영역으로부터의 사용자 선택된 전류 의존적 광 방출 세기를 인에이블하고,

각 가중 계수는 전체 광학적 활성 영역의 전체 광 방출 세기에 대한, 각각의 광학적 활성 서브 영역들의 광 방출 세기의 비율을 나타내고

가중 계수들의 각각의 값은, 중간 차단층의 대역 갭 및 대역 갭 오프셋 레벨들을 특정하게 선택하는 동작에 의해, 광학적 활성 영역으로부터 전류 의존적 광 방출 세기를 생성하기 위해 다수의 전류 의존적인 가중 계수를 인에이블하도록, 전류 의존적인

고체 상태 이미지.

청구항 20

제 19 항에 있어서,

각각의 광학적 활성 서브 영역의 양자 감금층들의 대역 갭들은 동일하지만, 다수의 활성 서브 영역들의 각각은, 활성 영역이 다수의 활성 서브 영역의 각각으로부터 다른 광 방출 파장을 인에이블하도록 다른 대역 갭 값을 가지며,

다수의 활성 서브 영역의 광 방출 세기의 전류 의존적인 가중 합의 작용에 의해, 다수의 활성 서브 영역들로부터의 다른 파장 광 방출의 비례적 전류 의존적인 가중합은 활성 영역 광 방출로부터의 광 방출의 대응적으로 전류 의존적인 색도(컬러)를 생성하는

고체 상태 이미지.

청구항 21

제 19 항 또는 제 20 항에 있어서,

중간 차단층의 대역 갭들의 값 및 대역 갭 오프셋 값의 사용자 선택된 작용에 의해 인에이블되는 전류 의존적

광 방출 세기는 모놀리식 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드로부터 대응하는 전류 의존적 광 방출 스펙트럼 궤적을 생성하고,

낮은 전류 주입 레벨에서는, 다이오드의 P-도핑 측에 인접한 광학적 활성 서브 영역에 대응하는 전류 의존적인 가중 계수들에 대응하는 광 세기 및 색도가 다이오드 광 방출을 주도하며,

높은 전류 주입 레벨에서는, 다이오드의 N-도핑 측에 인접한 광학적 활성 서브 영역에 대응하는 전류 의존적인 가중 계수들에 대응하는 광 세기 및 색도가 다이오드 광 방출을 주도하고,

중간 범위의 전류 주입 레벨에서는, 다이오드의 중간 활성 영역의 광학적 활성 서브 영역에 대응하는 전류 의존적인 가중 계수들에 대응하는 광 세기 및 색도가 다이오드 광 방출을 주도하며,

낮은 레벨에서 높은 레벨까지의 범위에 걸쳐있는 전류 주입 레벨은, 모놀리식 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드의 광학적 활성 영역의 광 방출의 스펙트럼 궤적에 걸쳐있는 광 방출 세기 및 색도를 인에이블하기 위해 다수의 활성 서브 영역들의 각각의 전류 의존적인 가중 계수들에 시스템적으로 대응하는

고체 상태 이미지.

청구항 22

제 21 항에 있어서,

컬러 좌표 정점들을 가로질러 연장되는 스펙트럼 색역에 걸쳐있는(커버하는) 다이오드의 전류 의존적인 스펙트럼 궤적 광 방출을 인에이블하는 모놀리식 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드의 광학적 활성 영역의 전류 의존적인 스펙트럼 궤적 광 방출은 그의 각각의 활성 서브 영역들의 방출 파장에 대응하고,

사용자 지정 전류 의존적 광 방출 색역의 전체 커버리지(full coverage)는 다이오드 활성 영역의 활성 서브 영역들의 각각내에 고안에 의해 포함된 양자 감금 구조들의 개수를 선택함에 의해 인에이블되는

고체 상태 이미지.

청구항 23

제 14 항에 있어서,

모놀리식 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드의 물질 시스템은 가시광 스펙트럼내의 색역 스펙트럼 커버리지를 가진 사용자 지정 전류 의존적 광 방출을 인에이블하도록 선택되고,

물질 시스템은 InGaAlN이고,

가시광 스펙트럼 광 방출 색역은 NTSC HD-TV 또는 확장된 색역 디스플레이들을 포함하는 디스플레이 시스템들에 이용되는

고체 상태 이미지.

청구항 24

제 14 항에 있어서,

각 픽셀 구조는 모놀리식 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드를 구비하며, 각 픽셀은 특정된 컬러 및 밝기 변조 주기내에 주기적으로 각 픽셀에 컬러 및 밝기 전기 제어 신호들을 제공하는 디지털 구동 로직 회로들에 접속되고,

컬러 및 밝기 전기 제어 신호들은 변조 주기내에 각 픽셀에 CW(continuous waveform) 신호로서 제공되며,

컬러 및 밝기 전기 제어 신호들은 변조 주기내에 각 픽셀에 PW(pulsed waveform) 신호들의 시퀀스로서 제공되고,

연속하는 시간 또는 펄스 시간(continuous or pulsed time)이던 간에, 컬러 및 밝기 제어 신호는, 변조 주기 동안 픽셀의 다이오드 스펙트럼 궤적을 따르는 선택된 컬러 및 밝기의 픽셀 광 방출에 영향을 주도록 픽셀이 변조 주기동안 구동되는 전압(또는 등가적으로 전류) 레벨을 특정하는

고체 상태 이미지.

청구항 25

제 24 항에 있어서,

특정된 밝기에서의 멀티컬러 픽셀의 픽셀 스펙트럼 궤적에 의해 정의된 색역 내부내의 컬러 포인트들의 변조는, 픽셀 변조 주기내에 다수의 펄스형 신호들을 이용하여 디지털적으로 어드레스 가능한 멀티컬러 픽셀을 구동함에 의해 인에이블되고,

픽셀 변조 주기내의 다수의 펄스형 신호들의 각각은, 각각이 픽셀 스펙트럼 궤적 위치들의 특정된 세트에 대응하는 다수의 전압(등가적으로 전류) 레벨들을 이용하여 변조되는

고체 상태 이미지.

청구항 26

제 25 항에 있어서,

픽셀 변조 주기내에 펄스형 신호들을 구동하는데 이용되는 다수의 전압 레벨들은, 픽셀의 다이오드의 각자의 광학적 활성 서브 영역의 방출 파장에 의해 정의된 픽셀 색역 좌표 정점들의 픽셀 스펙트럼 궤적 위치들에 대응하는

고체 상태 이미지.

청구항 27

제 26 항에 있어서,

픽셀 변조 주기내에 펄스형 신호들을 구동하는데 이용되는 다수의 전압 레벨들의 선택은, 픽셀의 각자의 광학적 활성 서브 영역들의 방출 파장들 중 적어도 하나의 파장에 대응하는

고체 상태 이미지.

청구항 28

제 25 항에 있어서,

픽셀 변조 주기내에 펄스형 신호들을 구동하는데 이용되는 다수의 전압 레벨들은 픽셀의 색역에 걸쳐서 스펙트럼 코드를 정의하는 픽셀 스펙트럼 궤적 위치들 중 적어도 2개의 위치에 대응하는

고체 상태 이미지.

청구항 29

제 25 항, 제 26 항, 제 27 항 또는 제 28항에 있어서,

다수의 펄스형 신호들은, 특정 전압 레벨에 대응하는 픽셀 스펙트럼 궤적 위치에 의해 정의되는 색도에서 변조 주기내에 픽셀의 특정된 밝기 레벨의 변조를 인에이블하기 위해, 픽셀 변조 주기내의 특정 듀티 사이클에서 여러번, 특정된 픽셀 스펙트럼 궤적 위치에 대응하는 특정된 전압 레벨로, 변조되는

고체 상태 이미지.

청구항 30

제 29 항에 있어서,

다수의 펄스형 신호들의 각각은, 변조 기간내의 픽셀의 광 방출의 특정된 밝기 레벨에서 특정된 디스플레이 백색 포인트 색도의 변조를 인에이블하기 위해, 픽셀 변조 주기내의 특정 듀티 사이클에서 여러번, 특정된 픽셀의 스펙트럼 궤적 위치들에 대응하는 특정된 전압 레벨로 변조되는

고체 상태 이미지.

청구항 31

제 30 항에 있어서,

디스플레이 백색 포인트 듀티 사이클은, 변조 기간내에 특정된 디스플레이 백색 포인트 색도 및 밝기 레벨에 비례한 픽셀의 특정된 색도 및 밝기의 변조를 인에이블하기 위해 변조 듀티 사이클에 대한 스케일 계수로서 이용되는

고체 상태 이미지.

청구항 32

제 31 항에 있어서,

디스플레이 백색 포인트 스케일링된 픽셀의 변조 듀티 계수들의 각각은, 픽셀의 변조 기간내에 특정된 디스플레이 백색 포인트 색도 및 밝기 레벨에 비례한 픽셀의 특정된 색도 및 밝기의 변조를 인에이블하는데 이용되는

고체 상태 이미지.

청구항 33

제 32 항에 있어서,

특정된 색도 좌표들이 픽셀의 스펙트럼 궤적에 의해 형성되는 색역 내부내에 위치한 목표 픽셀의 특정된 색도는, 그들의 디스플레이 백색 포인트 스케일링된 변조 듀티 계수 값들로 픽셀 변조 기간내에 다수의 펄스형 전압 신호들을 시 다중화함에 의해 변조되고, 그들의 듀티 계수들은 목표 픽셀 특정 색도 좌표들로부터의 그들의 색도 거리들의 상대적 비율에 의해 스케일링되는

고체 상태 이미지.

청구항 34

제 33 항에 있어서,

목표 픽셀의 특정된 밝기는, 디스플레이 백색 포인트 듀티 계수들의 대응하는 밝기 값에 대한, 목표 픽셀의 특정된 밝기 값의 비율로, 픽셀 변조 주기내에 시 다중화된 다수의 펄스형 전압 신호들의 듀티 계수들을 추가로 스케일링함에 의해 변조되는

고체 상태 이미지.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 출원은 2018년 4월 30일자 출원된 미국 가출원번호 제62/664,714호의 이익을 주장하며, 그의 개시는 본 명세서에 참조로서 수록된다.
- [0002] 본 개시는 디지털 디스플레이 시스템에 있어서 이미지 소스로서 이용될 수 있는 모놀리식 반도체 멀티컬러 고체 상태 광 마이크로 픽셀 방출기들(monolithic semiconductor multicolor solid state light micro pixel emitters)의 어레이를 구비한 방출 광 변조기 디바이스에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 이동 디지털 매체의 출현은 이동 디바이스와 그의 사용자간의 주 인터페이스(primary interface)를 제공하는 디지털 디스플레이에 대한 상당한 수요를 생성하고 있다. 이동 스마트 폰과 같은 이동 디바이스에 이용되는 직시형 디스플레이(direct view display)에 대한 유틸리티 의존성은 증가된 디스플레이 밝기, 감소된 전력 소비 및 보다 높은 디스플레이 해상도에 대한 수요를 생성하고 있다. 스마트 시계 및 AR/VR(near-eye augmented and virtual reality) 디바이스들과 같은 최근의 착용 가능 이동 디바이스들은 감소된 전력 소비와 조합된 개선된 디스플레이 해상도에 대해 더욱 증가되는 수요를 생성하고 있다.
- [0004] LTPS-LCD(low temperature poly-silicon liquid crystal displays), OLED(organic light emitting diodes), LBS(laser beam scanning), QDD(quantum dots) 및 MLED(micro LEDs)를 포함하는 상술한 수요를 처리하기 위해 여러 디스플레이 기술들이 시도되고 있다. 그러나, 이들 기술들의 각각은, 그들이 최신의 이동 디지털 매체 디바이스들의 긴박하면서, 때로는 상충되는 수요를 충족시키는 최적의 디스플레이로 되지 못하게 하는 특정 제한들을 가진다.
- [0005] 예를 들어, (1) LTPS-LCD는 현재의 LCD 디스플레이들보다 높은 해상도를 제공하지만, 이 기술은 여전히 낮은 밝기 및 높은 전력 소비를 겪고 있으며; (2) OLED는 보다 높은 디스플레이 해상도를 제공하기 위한 잠재력을 가지고 있지만, 특히, 주간 애플리케이션의 경우에는 그의 밝기가 충분하지 못하고; (3) LBS는, 그의 피크/평균 밝기가 레이저 안전 한도를 초과할 경우, 시력 안전 문제를 가지며; (4) QDD는, 그것이 단지 대응 컬러 필터 기술에 불과하기 때문에, LCD와 동일한 한계를 가지며; (5) MLED는 그의 해상도를 제한하는 공간 컬러 다중화 문제를 겪는다.
- [0006] 본 개시의 분야에 있어서 특히 관심있는 것은, "양자 포토닉 이미저(quantum photonic imager)" 디스플레이라고 지칭되는 디스플레이이다("QPI[®] 이미저", QPI는 Ostendo Technologies, Inc.의 등록 상표로서, 미국특허번호 제7,623,560호, 제7,767,479호 및 제7,829,902호 참조). QPI 이미저의 마이크로-스케일 픽셀들 및 전력 효율과 함께, 그것은 최신의 디지털 이동 매체 디바이스와 연관된 높은 해상도 및 낮은 전력 소비를 처리할 수 있다. QPI 이미저의 시장 잠재력을 보장하기 위하여, QPI 제조 비용을 줄이는 것이 유익하다. 현재 QPI 이미저를 제조하는데 이용되는 고체 상태 발광(포토닉) 물질의 비용이 과거 5년 동안 상당히 떨어졌지만, 그러한 포토닉 물질 비용은 현재의 QPI 이미저의 전체 제조 BOM(bill of materials)의 주요 부분을 구성하고 있어서, 그러한 비용이 추가적으로 감소될 수 있다면, QPI 이미저의 장래의 시장 잠재력이 보다 확실해 질 것이다.
- [0007] 미국특허출원공개번호 2016/0359300호, "Growth of Monolithic Full-Color GaN-based LED with Intermediate Carrier Blocking Layers", H. S. El-Ghoroury et al., AIP Advances 6, 075316 (2016), 및 "The World First Monolithic Full-Color LED", J-C Chin et al. Compound Semiconductors, vol. 22, Issue 8, Nov-Dec 2016에는 광 방출 컬러를 가진 종래 기술의 멀티-컬러 고체 상태 발광 모놀리식 III-V 물질 및 구조가 전하 캐리어 주입 전류 레벨에 의해 제어될 수 있다고 설명되어 있다. 이러한 유형의 멀티-컬러 고체 상태 발광 모놀리식 III-V 물질을 QPI 이미저에 대한 포토닉 물질로서 이용하면 QPI 이미저 포토닉 물질 및 제조 비용을 줄이기 위한 기회가 제공된다. 그러한 비용 감소는 현재의 QPI 이미저에서 이용되는 다른 컬러를 각각 방출하는 3개의 개별적인 접착된 포토닉 층들 대신에, 멀티-컬러 고체 상태 발광 모놀리식 III-V 물질의 단일 포토닉 층만을 요구하기 때문에 가능하다.
- [0008] 추가적으로, QPI 이미저에 있어서의 각 픽셀의 제어를 위해 요구되는 전기적 콘택트들의 개수를 줄임으로써, 포토닉 물질로서 이러한 유형의 멀티-컬러 고체 상태 발광 모놀리식 III-V 물질을 이용하면, QPI 이미저 픽셀 크기를 추가로 줄일 수 있는 기회가 제공되며, 그에 따라 그의 해상도를 증가시킨다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 그러므로 본 개시의 측면은, 조정 가능한 멀티-컬러 고체 상태 발광 모놀리식 III-V 물질을 이용하여 그 물질이 할 수 있는 많은 장점을 활용하는 QPI 이미저의 디바이스 및 그의 동작, 제조 및 애플리케이션 방법을 개시하는 것이다. 본 개시의 추가적인 측면은 첨부된 도면을 참조하여 진행되는 그의 다양한 실시 예들의 이하의 상세한 설명으로부터 명백해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0010] 본 개시는 유사한 참조 번호가 유사한 소자들을 지칭하는 첨부 도면들에 있어서의 도면에 의해 예시적이지만 비제한적으로 설명된다.

도 1은 마이크로 픽셀 원색들(primary colors)을 생성하기 위하여 각 픽셀에 3개의 개별적인 발광층들을 이용하는 종래 기술의 양자 포토닉 이미저 디바이스를 도시한 도면이다.

도 2a는 마이크로 픽셀 어드레스 가능 컬러들을 생성하기 위해 단일 컬러-조정 가능 발광층을 이용하는 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 평면도이다.

도 2b는 마이크로 픽셀 어레이가 디바이스의 측면 예시에 이르는 본 개시의 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 등거리도(isometric view)이다.

도 2c는 본 개시의 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스를 구비하는 컬러-조정 가능 픽셀의 단면 층들(cross-sectional layers)과 컬러-조정 가능 멀티 컬러 픽셀들의 컷어웨이 등거리도(cutaway isometric view)이다.

도 2d는 마이크로 픽셀 광 방출의 시준을 위한 다수의 도파관들이 합체된 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 단일 마이크로 픽셀의 방출 표면의 평면도이다.

도 2e는 마이크로 픽셀로부터의 실질적 램버시안 광 방출(substantially Lambertian light emission)을 가진 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 단일 마이크로 픽셀의 평면도이다.

도 2f는 마이크로 픽셀로부터의 준-램버시안 광 방출(quasi-Lambertian light emission)을 가진 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 단일 마이크로 픽셀의 단면도이다.

도 2g는 마이크로 픽셀 광 방출의 시준 및 방향성 변조를 위한 픽셀-레벨 마이크로 광학 소자가 합체된 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스를 구비한 마이크로 픽셀의 단면도이다.

도 3a는 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 포토닉 구조를 구비한 헤테로-접합 멀티-층 양자 감금 기반 발광 다이오드 구조(hetero-junction multi-layer quantum confinement-based light-emitting diode structure)를 예시한 에너지 대역 프로파일을 도시한 도면이다.

도 3b는 청색광 방출 영역에 있어서의 전류 주입-제어형 광학 방출 전력(optical emission power)과, 그와 연관된 색역 스펙트럼 궤적(color gamut spectral locus)간의 균형을 유지시키는 수단이 합체된, 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 포토닉 구조를 구비한 헤테로-접합 멀티-층 양자 감금 기반 발광 다이오드 구조를 예시한 에너지 대역 프로파일을 도시한 도면이다.

도 3c는 적색광 방출 영역에 있어서의 전류 주입-제어형 광학 방출 전력(optical emission power)과, 그와 연관된 색역 스펙트럼 궤적(color gamut spectral locus)간의 균형을 유지시키는 수단이 합체된, 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 포토닉 구조를 구비한 헤테로-접합 멀티-층 양자 감금 기반 발광 다이오드 구조를 예시한 에너지 대역 프로파일을 도시한 도면이다.

도 3d는 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 픽셀들을 형성하는 반도체 포토닉 구조의 단면도이다.

도 3e는 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 픽셀들을 형성하는 반도체 포토닉 구조의 활성층들의 관련된 광학 방출 전력을 도시한 도면이다.

도 3f는 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 픽셀들을 형성하는 반도체 포토닉 구조의 예시적인 에피택셜 고안(epitaxial design)의 CIE 색역을 도시한 도면이다.

도 3g는 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 픽셀들을 형성하는 반도체 포토닉 구조의 예시적인 에피택셜 고안의 측정된 EL(electroluminescence) 스펙트럼들을 도시한 도면이다.

도 3h는, 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 픽셀들을 형성하는 반도체 포토닉 구조의 예시적인 에피택셜 고안의 측정된 PL(photoluminescence) 스펙트럼들을 도시한 도면이다.

도 4a는 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 디지털 반도체 구조의 단면도이다.

도 4b는, 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 디지털 반도체 구조의 기능 블록도이다.

도 4c는 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 전체적인 맥락내에서의 프로세싱 로직(processing logic)의 기능 블록도이다.

도 4d는 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 제 1 픽셀 구동기의 제 1 실시 예의 기능 블록도이다.

도 4e는 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 픽셀 구동기의 제 2 실시 예의 기능 블록도이다.

도 4f는 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 픽셀 구동기의 제 3 실시 예의 기능 블록도이다.

도 4g는 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 픽셀 구동기의 실시 예들에 의해 인에이블되는 픽셀 변조 신호를 도시한 도면이다.

도 4h는 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 픽셀 구동기의 실시 예들에 의해 인에이블되는 픽셀 변조 신호를 도시한 도면이다.

도 4i는 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 픽셀 변조 구동 회로를 도시한 도면이다.

도 4j는 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 픽셀 구동기의 실시 예들에 의해 인에이블되는 픽셀 변조 신호를 도시한 도면이다.

도 5는, 디지털 구조의 어레이의 레이아웃 영역(layout area)이 픽셀 어레이 영역과 매칭되는 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 실시 예를 도시한 도면이다.

도 6a는 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 픽셀들의 컬러 프라이머리들(color primaries)의 변조를 위해 이용되는 픽셀 스펙트럼 궤적을 따르는 다수의 후보 컬러 포인트들(candidate color points)의 예시를 도시한 도면이다.

도 6b는 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 픽셀들의 구동 전압과 연관된 밝기를 도시한 도면이다.

도 6c는 픽셀의 스펙트럼 색역 RGB 코너(spectral gamut RGB corner)들의 색도 좌표(chromaticity coordinate)들에 연관된 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 픽셀들의 색역 내부내의 임의 컬러 포인트를 변조하는 실시 예를 도시한 도면이다.

도 6d는 픽셀의 스펙트럼 색역 RGB 코너들의 색도 좌표들에 연관된 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 픽셀들의 색역 내부내의 임의 컬러 포인트를 변조하는 대안적인 실시 예를 도시한 도면이다.

도 6e는 픽셀의 스펙트럼 색역 RGB 코너들의 색도 좌표들에 연관된 본 개시의 컬러-조정 가능 모놀리식 양자 포토닉 이미저 디바이스의 픽셀들의 색역 내부내의 임의 컬러 포인트를 변조하는 추가적으로 대안적인 실시 예를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

본 개시의 이하의 상세한 설명에 있어서 "일 실시 예" 또는 "실시 예"란 언급은, 그 실시 예와 관련하여 설명되는 특징의 특징, 구조 또는 특성들이 본 개시의 적어도 하나의 실시 예에 포함됨을 의미한다. 본 상세한 설명내

[0011]

의 여러 곳에 있는 용어 "일 실시 예에 있어서"는 그 모두가 반드시 동일한 실시 예를 지칭하는 것은 아니다.

- [0012] 도 1은 픽셀들(100)로부터 마이크로 픽셀 원색들(primary colors)을 생성하기 위하여 각 픽셀(100)에 3개의 개별적이고 접착된 발광층들을 이용하는 종래 기술의 양자 포토닉 이미지 디바이스를 도시한 도면이다.
- [0013] 모놀리식 멀티컬러 방출 이미저가 본 명세서에 개시된다. 이하의 설명에서는, 설명을 위해, 본 개시의 이해를 제공하도록 많은 특징의 세부 설명이 설명된다. 그러나, 반도체 분야의 숙련자라면, 본 개시가 다른 특징의 세부 설명과 함께 실시될 수 있음을 알 것이다. 다른 예시들에 있어서, 본 개시의 모호성을 피하기 위하여 구조들 및 디바이스들이 블록도 형식으로 도시된다.
- [0014] *모놀리식 QPI 이미저 아키텍처*
- [0015] 본 명세서에 설명된 도 2a 및 도 2b의 개시된 방출 멀티컬러 디지털 이미저는, 본 명세서에서 픽셀들 또는 마이크로 픽셀들(210)로 지칭되는 모놀리식 컬러-조정 가능 고체 상태 발광 포토닉 구조들의 어레이를 구비한 반도체 디바이스로서, "모놀리식 양자 포토닉 이미저" 디바이스 또는 약칭으로 "M-QPI" 이미저(200)로 지칭되기도 한다. 본 개시의 M-QPI 이미저(200)는 다수의 방출 마이크로 픽셀들(210)로 구성되며, 각 픽셀(210)은 전기적으로 컬러-조정 가능한 고체 상태 발광 다이오드를 구비한다. 방출 픽셀 2-D 어레이의 방출 컬러-조정 가능 마이크로 픽셀들(210)에 의해 정의된 표면 영역은 M-QPI 이미저(200)의 방출 광학 개구(emissive optical aperture)를 구성한다.
- [0016] 이하에서 보다 자세하게 설명하겠지만, M-QPI 이미저(200)의 픽셀들(210)은 전형적으로 의도된 애플리케이션에 의해 요구된 5 미크론 (또는 이용된 반도체 접착 기술에 따라 그보다 더 적은) 이상의 범위의 치수 픽셀 피치(dimensional pixel pitch)를 가진 마이크로 스케일 멀티컬러 고체 상태 발광기들(micro scale multicolor solid state light emitters)이다. 다수의 픽셀들(210)의 컬러-조정 가능 고체 상태 발광 다이오드들의 각각은 절연 반도체 물질 및 반사 금속 클래딩(cladding)으로 구성된 측벽들에 의해 광학적 및 전기적으로 이격된다. 다수의 픽셀들(210)의 컬러-조정 가능 고체 상태 발광 다이오드들의 각각은 고유하게 어드레스 가능한 콘택트 및 공통 금속 콘택트를 가지며, 공통 금속 콘택트는 픽셀들(210)의 다수의 어레이 또는 모든 어레이간에 공유된다. 바람직하게, 2개의 금속 콘택트들은 광학적으로 반사형이다. 픽셀 측벽들의 반사 금속 클래딩은, 픽셀 반사 콘택트들과 함께, 각각의 M-QPI 이미저(200)의 마이크로 픽셀들(210)의 광학 캐비티(cavity)들을 형성한다.
- [0017] 픽셀들(210) 각각의 멀티컬러 광은 광학 개구 표면을 통해 직접 또는 픽셀(210)의 광학 캐비티에 광학적으로 결합된 다수의 수직 도파관을 통해 M-QPI 이미저(200)의 광학 개구의 표면에 수직하게 방출된다. M-QPI 이미저(200)의 픽셀 측벽들의 광학적 및 전기적 이격 기능에 추가하여, 측벽들의 금속 클래딩은 각 픽셀(210)의 구성 성분인 전기적-조정 가능 멀티컬러 고체 상태 발광 다이오드에 전류를 라우팅(routing)하는 전기적 상호 접속 (또는 비아)으로서 이용된다.
- [0018] M-QPI 이미저(200)를 구비하는 다수의 픽셀들(210)의 각각은, 그의 각자의 멀티컬러 고체 상태 발광 다이오드의 컬러 방출을 독립적으로 제어하는 전류 신호를 라우팅하는 제어 로직 회로에 전기적으로 결합된다. M-QPI 이미저의 다수의 픽셀들(210)과 연관된 구동 로직 회로는, 집적 구동 회로와, 컬러-조정 픽셀들의 모놀리식 어레이를 형성하기 위하여 멀티 컬러 고체 상태 발광 픽셀 어레이에 접착되는 구동 로직 어레이를 형성한다.
- [0019] 도 2a 내지 2g에는 본 개시의 M-QPI 이미저(200)의 다양한 실시 예들이 도시된다. 도 2a는 마이크로 픽셀의 어드레스 가능 컬러들을 생성하기 위해 단일 컬러-조정 가능 발광층을 이용하는 본 개시의 M-QPI 이미저(200)의 평면도이다.
- [0020] 도 2b는 마이크로 픽셀 어레이가 이미저의 광학 개구 에지에 이르는 본 개시의 M-QPI 이미저(200)의 대안적인 구성의 등거리도(isometric view)이다. 도 2b의 M-QPI 이미저(200)의 최소 에지 구성은 다수의 M-QPI 이미저들(200)이 그들의 방출 마이크로 픽셀 어레이들간에 최소 겹으로 타일링(tiling)되게 한다. 그러한 기능은, 다수의 M-QPI 이미저들(200)을 이용하여 전체적인 픽셀들의 총개수를 늘려서 의도된 애플리케이션과 매칭되도록, 마이크로 픽셀 어레이 크기를 확장시킨다.
- [0021] 도 2c는 M-QPI 이미저(200)의 구성 픽셀들(230)의 컷어웨이 등거리도이고, 픽셀들(230)의 구성 층들 및 측벽(235)의 단면을 나타낸다.
- [0022] 도 2d는 다수의 광학 도파관 개구들(240)로 구성된 픽셀들(230)의 방출 개구를 도시한 평면도이다.
- [0023] 도 2e는 픽셀의 상부측 콘택트 금속 영역들을 배제한, 픽셀들(230)의 실질적인 전체 상부측 또는 표면 영역인 픽셀들(230)의 방출 개구를 도시한 평면도이다. 픽셀들(230)의 방출 개구가 실질적으로 도 2e에 도시된 바와 같

이 픽셀들의 상부측 전체인 경우, 픽셀(230)의 광 방출은 실질적으로 램버시안(Lambertian) 방출이다.

- [0024] 도 2f는 마이크로 픽셀로부터의 준-램버시안 광 방출(quasi-Lambertian light emission)을 생성하기 위해, 픽셀들(230)의 개구에 걸쳐있는 깊이, 직경 및 패턴을 가진 픽셀의 상부측 도파관들(240)을 통해 픽셀(230)의 광 방출이 이루어지는 컬러-조정 가능 M-QPI 이미저(200)의 단일 마이크로 픽셀의 단면도이다.
- [0025] 도 2f를 참조하면, 픽셀들(230)의 개구에 걸쳐있는, 픽셀(230)의 상부측 도파관들(240)의 깊이, 직경 및 패턴은, 약 15° 내지 약 45° 범위 내에서 픽셀들(230)의 광 방출 각도 폭을 조정하도록 선택될 수 있다. 그 경우, 픽셀들(230)의 상부측 도파관들(240)의 고안 파라메타는 픽셀들(230)로부터 방출된 광을 시준하도록 선택될 수 있다.
- [0026] 픽셀들(230)의 고안 파라메타인, 픽셀들(230)의 광 방출 각도 폭 또는 시준 각도는, 예를 들어, (통상적으로 근안 디스플레이(near-eye display)에서와 같이) 외부 도파관 광학에 결합시킬 때 또는 프로젝션 광학(projection optics)과의 효율적인 광학 결합을 위할 때와 같이 이미저의 광 방출의 시준 각도가 중요한, M-QPI 이미저(200)의 많은 애플리케이션을 가능하게 한다. 그러한 방출된 광 시준 기능이 없으면, 전형적인 램버시안 이미저로부터 방출된 광이 도파관 광학 또는 프로젝션 광학과 결합될 때 낭비되어 비네팅(vignetting)된다. 개시된 바와 같이, M-QPI 이미저(200)의 방출 광 시준 기능은 광학적으로 효율적인 컬러-조정 가능 디스플레이를 달성한다.
- [0027] 도 2g는 매칭된 개구의 마이크로 광학 소자 또는 렌즈(206)의 광학 개구내로 결합되고 있는, 픽셀들(230)로부터 생성된 광을 충분히 시준하도록, 픽셀들(230)의 상부측 도파관을 통해 픽셀(230)의 광 방출이 결합되는, 컬러-조정 가능 M-QPI 이미저(200)의 단일 마이크로 픽셀의 단면도이다. 픽셀-레벨 마이크로 광학 소자(206)는 마이크로 픽셀(230) 광 방출을 추가로 시준하거나 방향성 변조하도록 고안된다(미국특허출원공개번호 제 2017/0184776호). 픽셀(230)의 상부측 도파관들(240)과 픽셀-레벨 마이크로 광학 소자(206)의 결합은, 특히 근안 및 직시(direct view) 광 필드 디스플레이 애플리케이션을 위한 광 필드 디스플레이에서와 같이, 이미저의 광 방출의 시준 각도 및 방향성이 중요한 M-QPI 이미저(200)의 많은 애플리케이션들을 가능하게 한다.
- [0028] 도 2c를 참조하면, M-QPI 이미저(200)는 2개의 주요 반도체 구조들, 즉, 포토닉 발광 반도체 구조(210)와 디지털 반도체 구조(220)로 구성된다. 포토닉 발광 반도체 구조(210)는 다수의 방출 컬러-조정 가능 반도체 발광 마이크로 픽셀들로 구성된다. 디지털 반도체 구조(220)는 포토닉 반도체 구조(210)의 픽셀들(230)의 어레이에 전력 및 제어 신호들을 제공하는 디지털 구동 로직 회로들로 구성된다. 반도체 구조(210)는 M-QPI 이미저(200)의 픽셀 어레이의 개별적인 픽셀들(230)에 전기적 구동 신호들을 결합시키는 상부 콘택트 층(205)과 후방 콘택트 층(215)을 가진다.
- [0029] 반도체 구조들(210, 220)은 다이-레벨 접착(die-level bonding), 웨이퍼-레벨 접착(wafer-level bonding) 등을 이용하여 접착층(225)에 의해 함께 접착된다. M-QPI 이미저(200)의 방출 상부측은 다이-레벨 접착 또는 웨이퍼-레벨 접착을 이용하여 이미저 상부측에 접착되는 투명 커버층(204)으로 캡슐화된다. M-QPI 이미저(200)를 구성하는 2개의 반도체 구조들(210, 220)의 각각은 다수의 반도체 층들로 추가로 구성된다. 도 2a에 도시된 바와 같이, 일 실시 예의 M-QPI 이미저(200)의 디지털 반도체 구조(220)는 방출 픽셀 어레이보다 표면 영역이 더 크며, 그에 따라, 와이어 접착등을 이용하여 이미저의 상부측에서 외부 인터페이스 접속에 액세스할 수 있도록 디지털 구조(220)의 에지 콘택트 패드들(221)의 배치가 가능하게 되고, 그를 통해 전력 및 이미지 데이터 신호들이 M-QPI 이미저에 제공된다.
- [0030] 도 2b의 등거리도에 도시된, 본 개시의 M-QPI 이미저(200)의 다른 실시 예에 있어서, 디지털 구조(220)의 영역은 방출 픽셀들(230)의 어레이의 영역과 대략 동일하며, 방출 픽셀 어레이 영역의 광학 개구를 벗어나는 측면 돌출(lateral protrusion)은 최소이거나 아예 없다. 본 실시 예에 있어서, 디지털 제어 구조(220)의 트랜지스터/회로 기하학적 구조는, 전체 디지털 구조(220)의 레이아웃 영역이 방출 픽셀들(230)의 어레이의 영역보다 크지 않도록, 선택된다. 이 경우, 이미저 콘택트들(222)은 이미저의 후방 또는 배면 표면(backside or rear surface)상에 배치되고 TSV(through-silicon via)들을 이용하여 디지털 제어 구조(220)에 접속되는 MBGA(micro ball grid array)로서 실현될 수 있다. 본 실시 예는 방출 픽셀 어레이 광학 개구를 벗어나는 M-QPI 이미저 전체 영역의 돌출부를 최소화하거나 제거한다.
- [0031] 본 실시 예에 의해 실현되는 장점은, 적어도 (1) M-QPI 이미저를 용적적으로 민감한 이동 디바이스들에 내장할 때 특히 중요한, 디스플레이 시스템의 다른 소자들과 집적화할 경우에 M-QPI 이미저(200)의 전체 용적 측면을 최소화하고, (2) 다수의 M-QPI 이미저들을 함께 타일링할 수 있게 되어, 보다 큰 방출 마이크로 픽셀 어레이를 형성할 수 있다는 것이다. 본 실시 예의 M-QPI 이미저 구성을, 본 명세서에서는 "제로-에지(Zero-Edge)" M-QPI

이미저 구성이라 지칭한다. 도 2b에 도시된 바와 같이, 컬러-조정 가능 픽셀들(230)의 제로-에지 M-QPI 방출 2차원 어레이는 M-QPI 디바이스의 전체 상부 또는 하부 표면 영역을 실질적으로 커버(cover)하여, M-QPI 이미저(200)의 광학 개구 또는 방출 표면을 형성한다.

[0032] 본 개시의 제로-에지 M-QPI 이미저(200)의 일 실시 예의 픽셀들(230)의 전형적인 크기는 5×5 미크론 범위내이다. 이러한 픽셀 크기에서, M-QPI 이미저(200)의 상부 표면을 구성하는 방출 개구의 치수는 약 23mm^2 인 약 $6.4 \times 3.6\text{mm}$ 로서, 1280×720 픽셀들에서 HD 해상도를 제공한다. 제로-에지 M-QPI 이미저의 작은 크기 및 높은 해상도는, AR/VR 디스플레이와 같은 착용 가능 디스플레이 애플리케이션이 매우 효율적으로 되게 한다. 특히, 그의 작은 치수는, 전체 제로-에지 M-QPI가, 돌출부 없이 그러한 디스플레이의 광학 어셈블리들내에 집적화될 수 있게 함으로써, 외관이 유선형으로 된 진정한 착용 가능 디스플레이가 되도록 한다.

[0033] 도 2c는 본 개시의 이전에 설명된 2개의 실시 예들 중 하나의 M-QPI 이미저(200)를 구비한 픽셀들(230)의 그룹을 도시한 컷어웨이 등거리도이다. 도 2c에는 M-QPI 이미저(200)의 픽셀들의 어레이를 구성하는 픽셀들(230) 중 하나의 단면도가 도시된다. 도 2c에 도시된 바와 같이, 픽셀들(230)의 각각은 인접 픽셀들간에 광학적 및 전기적 이격을 제공하는 측벽(235)을 가진다. 포토닉 반도체 발광 구조(210)의 상부 콘택트 층(205)에 전력 신호들을 제공하는데 요구되는 전기적 상호 접속들은 픽셀 측벽들(235)내에 내장된다. M-QPI 이미저(200)를 구성하는 픽셀들(230)의 각각으로부터의 광은, 각각이 픽셀(230)의 광학 캐비티에 광학적으로 결합되는 다수의 수직 도파관들(240)을 통해 또는 픽셀 광학 개구의 상부 표면을 통해 직접, 본 명세서에서 수직 방향이라고 지칭되는, 이미저 상부 표면의 평면에 수직한 방향으로 방출된다.

[0034] 도 2d에는 각각이 대응하는 픽셀(230) 광학 캐비티에 결합되는 광학 도파관들(240)의 사용자 정의 패턴화된 어레이(user-defined patterned array)를 통해 픽셀들(230)의 각각으로부터의 광이 방출되는 M-QPI 이미저(200)의 예시적인 실시 예가 도시된다. 도파관들(240)은 픽셀들(230)의 상부 콘택트 금속층(205)을 통해 식각된다. 각 도파관들(240)과 그들의 특정 어레이 패턴(240)의 직경과, 도파관들(240)이 식각되는 픽셀들(230)의 상부 콘택트 금속층(205)의 두께(즉, 도파관들(240)의 깊이)는 M-QPI 이미저(200)의 픽셀들(230)로부터 방출되는 광의 시준 정도를 결정한다. 그러므로, 도파관들(240)의 직경, 깊이 및 패턴의 고안 선택은, 특정 애플리케이션에 의해 좌우되는 $\pm 45^\circ$ 의 준-램버시안 광 방출에서부터 $\pm 15^\circ$ 의 좁은 시준 각도까지, M-QPI 이미저(200)의 픽셀들(230)로부터 방출되는 광을 원하는대로 시준할 수 있게 한다. 시준된 광을 방출하기 위한 M-QPI 이미저(200)의 고유한 기능 때문에, 부피를 추가하고 디스플레이 뷰어(display viewer)에 결합되는 광의 상실 및 과도한 비네팅을 유발하는 추가적인 시준 광학에 대한 필요없이, 착용 가능 디스플레이 애플리케이션에 있어서 가장 일반적인 TIR(total internal reflection) 도파관 광학에 직접 사용하는 데에 적합하게 된다.

[0035] 도 2e에는 M-QPI 이미저(200)의 상부 콘택트 금속층(205)의 고안이 실질적인 램버시안 광 방출을 가능하게 하는 실시 예가 도시된다. 도 2e에 도시된 바와 같이, M-QPI 이미저(200)의 상부 콘택트 금속층(205)은, 최대 크기의 픽셀 광 방출 개구를 허용하면서 픽셀 포토닉 구조(210)의 상부층에 대한 효율적인 콘택트가 이루어질 수 있게 한다. M-QPI 이미저(200)의 픽셀들의 광 방출이 실질적인 램버시안인더라도, 본 실시 예의 M-QPI 이미저(200) 구성은 M-QPI 이미저(200)의 방출 개구로부터 최대의 광 조사(light irradiance)가 결합될 수 있게 한다. 그러한 높은 밝기의 램버시안 광 방출 M-QPI 이미저(200)는 프로젝션 디스플레이와 같이 매우 높은 밝기를 요구하는 애플리케이션에 유용하다. 본 실시 예의 M-QPI 이미저(200)의 작은 크기로 인해 내장형 이동 애플리케이션들에 적합한 소형 프로젝터가 가능하게 된다.

[0036] M-QPI 이미저(200)의 또 다른 실시 예에 있어서, 도 2g에 도시된 바와 같이, 시준되는 광 방출은, 마이크로 광학층(206)이 투명 커버층(204)의 바로 아래에서 M-QPI 이미저(200) 구조에 추가될 수 있게 한다(미국특허출원공개번호 제2017/0184776호). M-QPI 이미저(200)의 픽셀들(230)의 마이크로 광학 소자층(206)은, 픽셀들(230)의 각각으로부터 방출되는 광을 추가로 시준하는데 이용되는 M-QPI 이미저(200)로부터의 비-텔레센트릭 광 방출(nontelecentric light emission)이 이루어질 수 있게 한다. 대안적으로, 본 실시 예는 AR 디스플레이들에 전형적으로 이용되는 TIR 도파관 광학에 직접 결합하거나 광 필드 디스플레이들의 멀티-뷰(multi-view)들을 변조하는 것과 같이 많은 애플리케이션에 그 이미저가 적합하게 되도록 픽셀들(230)로부터 방출되는 광의 방향을 변조하는데 이용될 수 있다(미국특허번호 제7,767,479호).

[0037] 본 개시의 신규한 측면들 중 하나는, 픽셀 구조를 통하는 전기적 상호 접속을 최소화하고, 전체 M-QPI 이미저의 픽셀 어레이에 이용되는 공통 콘택트에 추가하여 픽셀당 어드레스 가능 콘택트들의 개수를 단일 콘택트로 감소시키는 픽셀들(230)의 멀티-컬러 발광 다이오드 구조(210)를 형성하기 위하여 컬러-조정 가능 고체 상태 발광 다이오드 III-질화물 물질을 이용하는 것이다. M-QPI 이미저(200) 픽셀들(230)의 멀티-컬러 광 방출이 가능하고

록 단일 포토닉 반도체 층(210)을 이용하면, M-QPI 이미저의 픽셀들이 단지 하나의 고유한 어드레스 가능 콘택트만을 필요로 한다는 사실로 인해, 5μ 미만까지 픽셀 피치를 감소시키는 것과 함께, M-QPI 이미저 제조 프로세스를 단순화할 수 있게 된다.

[0038] M-QPI 이미저 컬러-조정 가능 반도체 구조

[0039] 도 3a에는 M-QPI 이미저(200)의 포토닉 구조(210)를 구성하는 도 3d의 헤테로-접합 멀티-층 양자 감금 기반 발광 다이오드 구조(hetero-junction multi-layer quantum confinement-based light-emitting diode structure)(300)를 예시한 에너지 대역 프로파일이 도시된다. 도 3d에는 본 개시의 M-QPI 이미저(200) 픽셀들(230)의 멀티-컬러 발광 다이오드를 형성하는 반도체 포토닉 구조(210)의 단면도가 도시된다. 동일 소자들에 대해서는 동일 참조 번호들이 이용되지만, 픽셀들(230)의 형성 전의 포토닉 구조(210)의 컬러-조정 가능 발광 층들을 본 명세서에서는 멀티층 반도체 발광 다이오드 구조(300)라 지칭한다.

[0040] 본 개시의 M-QPI 이미저(200)의 제조 방법의 일 실시 예에 따르면, 멀티층 발광 다이오드 에피택셜 구조(300)는, 도 2c에 도시된 바와 같이, 적당한 에피택셜 성장 반도체 프로세스를 이용하여 반도체 웨이퍼로서 별도로 제조되고, 픽셀들의 측벽들(235)와 금속 콘택트 층(205, 215)이 합체된 웨이퍼-크기 멀티층 포토닉 반도체 구조를 생성하도록 후처리된다. 디지털 반도체 구조(220)는, 실리콘-기반 CMOS와 같이 적당한 반도체 프로세스들을 이용하여 반도체 웨이퍼로서 별도로 제조되고, 그 다음 도 2a 또는 도 2b에 도시된 M-QPI 이미저(200)를 생성하도록 멀티층 스택(stack) 포토닉 반도체 구조(210)와 웨이퍼-레벨 또는 다이-레벨 접착된다.

[0041] 이하의 문단에서는 멀티층 발광 다이오드 구조(300)와 디지털 반도체 구조(220)의 고안 사양이 설명되고, 본 개시의 M-QPI 이미저(200)를 생성하는데 이용될 수 있는 웨이퍼의 후처리 및 제조 흐름의 고안 사양이 설명된다.

[0042] 도 3a에는 헤테로-접합 멀티-층 양자 감금 기반 발광 다이오드 구조(300)를 예시한 활성 영역 에너지 대역 프로파일이 도시된다. 각각의 합성물들에 의해 정의된 최적의 사용자 정의 대역-갭들을 가지며, 도핑 레벨(doping level)들에 의해 영향을 받은, 광학적 활성 영역(330)에 있어서의 구조들에 대한 사용자 정의 대역 오프셋(user-defined band offset)을 가진 특정하게 고안된 IBL(intermediate carrier blocking layer)들(333)은 광학적 활성 영역(330)내에 직접 합체됨으로써, 활성 서브-영역들(331)간의 캐리어 운송을 선택적으로 제어하고 활성 서브-영역들(331)의 캐리어 포착 속도들의 균형을 유지시키는 수단을 제공한다. 도 3a의 발광 다이오드 구조의 다수의 층들은, 발광 다이오드 구조(300)의 목표 또는 원하는 방출 파장 범위에 따라, GaAsP, AlGaAs, AlGaInP 또는 AlGaInN과 같은 III-V족 합성물 반도체 합금들로 구성될 수 있다. 도 3a의 다이오드 구조에 의해 예시된 바와 같이 본 명세서에서 설명된 방법들은 양자 우물들, 양자 와이어들 또는 양자 도트(quantum dot)들과 같은 양자 감금 수단이 합체된 광학적 활성층들을 가진 극성(polar), 반극성(semi-polar) 또는 무극성(non-polar) 결정 구조를 가진 고체 상태 발광 다이오드 구조에 적용될 수 있다.

[0043] 디스플레이 애플리케이션에 있어서의 특정 관심사는 헤테로-접합 멀티-층 양자 감금-기반 발광 다이오드 구조(300)의 에피택셜 성장을 위해 III-질화물(AlGaInN) 물질을 이용하는 것인데, 이는 III-질화물(AlGaInN) 물질의 대역 갭 범위가 전체 가시광 스펙트럼을 커버하기 때문이다. 상술한 개시의 범주에 대한 제한없이, 본 개시의 여러 측면들의 도시된 예시들에 III-질화물 물질이 이용되지만, 본 개시의 M-QPI 이미저(200)에 의해 커버되도록, 원하는 멀티컬러 방출 스펙트럼 파장 범위에 의거하여 다른 III-V물질이 이용될 수 있다.

[0044] 도 3d에는 멀티층 발광 다이오드 에피택셜 구조(300)가 도시된다. 도 3d는 본 개시에 따른, 모놀리식 멀티컬러 헤테로-접합 멀티-층 양자 감금 III-질화물 기반 발광 다이오드 에피택셜 구조(300)의 예시적인 실시 예지만, 이에 국한되지 않은 단순화된 개략 단면도이다. MOCVD(metal organic chemical vapor deposition)와 같은 알려진 에피택셜 증착 기술을 이용하여 형성될 수 있는 멀티층 에피택셜 구조(300)는 상부에 핵형성/버퍼 층(312)이 형성되는, 예를 들어, GaN, Si, 사파이어(Al_2O_3), 또는 실리콘 탄화물(SiC) 웨이퍼와 같은 적당한 기판(311)상에서 에피택셜하게 성장하며, 헤테로-접합 구조(300)의 상위(overlying) N-도핑층(310)은 예를 들어 N형 도펀트로 Si를 구비한다. N-도핑층(310)의 위에 놓인 것은, 예를 들어, GaN, InGaN, AlGaN 및 AlInGaN 층들의 조합으로 구성된 멀티층으로 된 광학적 활성 영역(330)이다. 활성 영역(330)의 위에는, 둘 모두가 P형 도펀트로서 Mg를 구비하는, 무겁게 P-도핑된 AlGaN 및 그 다음의 P-도핑층(320)으로 구성된 선택적 EBL(electron blocking layer)(340)이 놓인다.

[0045] 도 3d에 자세하게 도시된 바와 같이, 멀티층(MQW) 활성 영역(330)은 청색(331B), 녹색(331G) 및 적색(331R) 광 방출을 위해, 그들 각자의 양자 장벽층(332)들을 가진 다수의 양자 우물-기반 광학적 활성 서브-영역들을 구비한다. 광학적 활성 서브-영역들(331B, 331G, 331R)의 각각은 각자의 파장 방출을 달성하도록 선택된 대역 갭을

가진 적어도 하나의 QW 층을 구비한다. 장벽층들(332)의 각각의 두께는 약 5-10nm 두께이고, 주로 GaN으로 구성된다. 광학적 활성 서브-영역들(331B, 331G 및 331R)의 양자 우물들은 각각 약 2-3nm 두께이고, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 으로 구성된다. 서브-영역들(331B, 331G 및 331R)에 있어서의 인듐 x의 비율은 이들 서브 영역의 양자 감금 층들과 연관된 대역갭 및 그들의 방출 파장을 결정한다.

[0046] 또한, 멀티층 활성 영역(330)은 가변되는 양의 알루미늄과 도핑을 포함한 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 의 특정하게 고안된 다수의 IBL(intermediate carrier blocking layer)들(333)을 구비함으로써, 이들 각각의 대역 갭들과 대역 오프셋을 조정한다. 본 문맥에서, 용어 대역 오프셋은 활성 영역(330)의 진성 대역 갭에 대한 IBL들(333)의 대역 갭들의 에너지 오프셋을 지칭한다. IBL들(333)은, 자발 광 방출(spontaneous light emission)을 개선하기 위하여 활성 영역(330)의 각 MQW 들에 주입되는 캐리어의 개체수(population)를 선택적으로 제어하도록 기능한다. 전형적으로, IBL의 대역갭은 그들의 연관된 양자 우물층의 대역갭보다 더 클것이며, IBL 두께는 IBL내의 양자 감금을 피하기 위해 과도한 두께보다는 10nm 범위에서 선택되며, 그럼으로써, 성능 열화를 이끌 수 있는 과도한 발열 및 높은 순방향 전압을 회피할 수 있다. 도 3a에 도시된 바와 같이, 물질 합성물과 도핑 유형 및 레벨에 의해 결정되는 IBL들의 대역 갭 및 대역 오프셋은 활성 영역(330)내의 그들의 위치에 의거하여 선택될 수 있으며, 활성 영역(330)으로의 캐리어들의 주입 레벨에 의거하여, 이들 각각의 서브-영역들(331B, 331G, 331R)내로의 전하 캐리어들의 흐름을 특정하게 제어하도록 선택된다. 도 3a에 도시된 바와 같이, 전형적으로 IBL(333)들의 전도대역(CB) 에지들은 그 구조의 P-도핑층(320)을 향해 갈수록 점점 더 높아지며, 그들의 밸런스 대역(valence band, VB) 에지는 그 구조의 N-도핑 층(31)을 향해 갈수록 점점 더 낮아진다.

[0047] IBL들(333)은 광학적 활성 서브-영역들(331B, 331G, 331R)의 양자 우물들로의 주입 전류 레벨-기반 선택적 캐리어 주입을 가능하게 하는데 있어서 중요한 역할을 한다. 도 3a에 도시된 바와 같이, 331R 및 331G 서브 영역들 사이에 배치된 IBL2(333-1)와, 331G 및 331B 물질 합성물 및 도핑 사이에 배치된 IBL2(333-2)는, (1) IBL1(333-1)과 IBL2(333-2)의 전도 대역(CB) 에지가 QW 장벽층들(332)의 CB 에지보다 더 높아지고, (2) IBL1(333-1)과 IBL2(333-2)의 밸런스 대역(VB) 에지가 QW 장벽층들(332)의 VB 에지보다 더 낮아지고, (3) IBL1(333-1)의 전도 대역(CB) 에지가 IBL2(333-2)의 CB 에지보다 더 높아지고, (4) IBL2(333-2)의 밸런스 대역(VB) 에지가 IBL1(333-1)의 VB 에지보다 더 낮아지도록, 선택된다.

[0048] 적절하게 고안된 IBL들(333)의 합성물 및 도핑 레벨들(미국특허출원공개 제2016/0359300호)과 함께, 멀티층 발광 다이오드 에피택셜 구조(300)의 광 방출은, 낮은 전류 주입 영역에서는 331R 활성 서브 영역이 주도하고, 중간 전류 주입 영역에서는 331G 활성층이 주도하며, 높은 전류 주입 영역에서는 331B 활성 서브 영역이 주도한다. 이러한 효과는, 관련된 광 방출 전력 $\alpha_n = L_n / \sum L_n$ 을 도시한 도 3e에 도시되며, 여기에서, 인덱스 n은 전체 주입 전류 영역에 걸쳐서의 활성층들(331B, 331G, 331R)을 나타낸다. 도 3e에 도시된 바와 같이, 적색 활성 서브 영역(331R)은 낮은 전류 주입 범위에서 방출을 주도하는데, 이는 주입된 캐리어들중의 대다수가 선택적으로 적색 활성 서브 영역(331R)으로 이주중임을 나타낸다.

[0049] 전류 주입이 증가하면, 녹색 활성 서브 영역(331G)은, 주입된 캐리어들 중의 대다수가 높은 전류에서 선택적으로 녹색 활성 서브 영역(331G)으로 이주중임을 나타내는 방출을 주도한다. 전류 주입이 더욱 증가하면, 청색 활성 서브 영역(331B)는, 캐리어들중의 대다수가 보다 높은 전류에서 선택적으로 청색 활성 서브 영역(331B)으로 이주중임을 나타내는 방출을 주도한다.

[0050] 상술한 선택적 캐리어 주입 효과는, 캐리어 차단 작용의 직접적인 결과로서, 다른 전류 주입 레벨에서의 IBL들(333-1, 333-2)의 댐핑(damping) 또는 억제 작용을 일으킨다:

[0051] (1) 낮은 전류 주입 범위에서, 적색/녹색 IBL1(333-1)의 홀 차단 작용으로 인해, 홀-혼잡 적색 활성층(hole-congested Red active layer, 331R)의 분극 필드에 의해 끌어당겨진 전자들이 적색 활성층(331R)으로 대부분 이주함에 따라, 주입된 홀들이 적색 활성층(331R)으로 대부분 이주하게 되고, 그에 의해 도 3e에 도시된 바와 같이 적색 활성층(331R)이 그 방출을 주도하게 된다.

[0052] (2) 전류 주입 레벨이 증가하면, 적색/녹색 IBL1(333-1)의 전자 차단 작용으로 인해, 전자-혼잡 녹색 활성층(electron-congested Green active layer, 331G)의 분극 필드에 의해 끌어당겨진 홀들이 적색/녹색 IBL1(333-1)을 벗어나서 대부분 녹색 활성층(331G)으로 이주함에 따라, 주입된 전자들은 녹색 활성층(331G)으로 대부분 이주하게 되고, 그에 의해 도 3e에 도시된 바와 같이 녹색 활성 서브 영역(331G)이 그 방출을 주도하게 된다.

[0053] (3) 전류 주입 레벨이 더욱 증가하면, 청색/녹색 IBL2(333-2)의 전자 차단 작용으로 인해, 전자-혼잡 청색 활성

서브 영역(331B)의 분극 필드에 의해 끌어 당겨진 홀들이 녹색/청색 IBL2(333-2)를 벗어나서 청색 활성 서브 영역(331B)으로 대부분 이주함에 따라, 주입된 전자들은 청색 활성층(331B)으로 대부분 이주하게 되고, 그에 의해, 도 3e에 도시된 바와 같이 청색 활성 서브 영역(331B)이 그 방출을 주도하게 된다.

[0054] 그러므로, 상술한 IBL들(333-1, 333-2)의 주입 전류 의존적인 캐리어 차단 작용들은 3개의 활성 서브 영역들(331R, 331G 및 331B)로의 주입 전류 의존적인 선택적 주입을 유발함으로써, 멀티층 발광 다이오드 에피택셜 구조(300)의, 도 3에 도시된 주입 전류 의존적인 멀티컬러-조정 가능 성질을 실현한다.

[0055] *에피택셜하게 성장한 고안 예시*

[0056] 도 3f에는, 각각 625nm, 525nm 및 465nm의 광 방출 파장을 달성하기 위하여 $x=0.12$, $x=0.27$ 및 $x=0.34$ 로 선택된 광학적 활성 서브 영역들(331b, 331G 및 331R)의 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 합성물의 QW를 가진 멀티층 발광 다이오드 에피택셜 구조(300)의 예시적인 고안의 CIE 색역이 도시된다. IBL들(333-1 및 333-2)의 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 합성물 및 도핑은, 각각 $y=0.2$ 로 선택되어 15×10^{17} Mg 도핑되고, $y=0.07$ 로 선택되어 5×10^{17} Mg 도핑된다. 도 3f는, 본 개시에 따라 에피택셜하게 성장한 멀티층 발광 다이오드 구조(300)가 고화질(high definition, HD) 색역의 거의 전체 커버리지(nearly full coverage)를 달성함을 보여준다. 본 개시에 따라 에피택셜하게 성장한 멀티층 발광 다이오드 구조(300)에 의해 달성되는, 도 3f에 도시된 방출 스펙트럼 궤적을 따르는 임의 컬러 포인트(color point)는, 이하에서 설명하겠지만, 그 구조(300)의 캐리어 주입 속도(또는 전류 구동 레벨)를 제어함에 의해 선택될 수 있다는 것을 아는 것이 중요하다.

[0057] 도 3g 및 도 3h의 방출은, 멀티층 발광 다이오드 에피택셜 구조(300)의 예시적인 고안의, 각각의 측정된 EL(electroluminescence) 및 PL(photoluminescence) 스펙트럼들을 보여준다. 도 3g에는, 낮은(적색 라인) 주입 전류 밀도, 중간(녹색 라인) 주입 전류 밀도 및 높은(청색 라인) 주입 전류 밀도로 실내 온도에서 측정된 정규화된 EL 스펙트럼들이 도시된다.

[0058] 약 $0.5\text{A}/\text{cm}^2$ 의 낮은 전류 밀도(하위 서브플롯(lower subplot))의 경우, 대략 50nm의 FWHM(full width at half maximum)을 가진 625nm 적색 컬러에서 대부분 광 방출이 이루어진다. 약 $10\text{A}/\text{cm}^2$ 의 중간 전류 밀도의 경우, 대략 45nm의 FWHM을 가진 525nm 녹색 컬러에서 대부분 광 방출이 이루어진다. 약 $50\text{A}/\text{cm}^2$ 의 전류 밀도의 경우, 대략 35nm의 FWHM을 가진 465nm 청색 컬러에서 대부분 광 방출이 이루어진다.

[0059] 도 3f 및 도 3g로부터 알 수 있는 바와 같이, 멀티층 발광 다이오드 에피택셜 구조(300)의 멀티컬러 광 방출은 그의 고안된 동작 범위에 걸쳐 그의 주입 전류를 제어함에 의해 적색 주도 컬러 방출에서부터, 녹색 주도 컬러 방출 및 그 다음의 청색 주도 컬러 방출까지의 HD 색역에 걸쳐 조정 가능하다. 이하에서는, 멀티컬러 발광 다이오드 에피택셜 구조(300)를 "멀티컬러-조정 가능 발광 다이오드 에피택셜 구조(300)"라 지칭한다.

[0060] 상기에서 설명되고 도 3f에 도시된 바와 같이, 멀티컬러-조정 가능 발광 다이오드 구조(300)의 전류 주입이 그의 낮은 동작 내지 높은 동작 범위에 걸쳐 가변됨에 따라, QW 기반 광학적 활성층들(331B, 331G 및 331R)의 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 합성물 및 그에 따른 대역 갭들은 색역 코너의 컬러 좌표를 결정하고, IBL들(333-1 및 331-2)의 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 합성물 및 도핑은 이들 색역 코너들간에 스펙트럼 궤적을 형성하는 방출 컬러 궤도를 결정한다. 광학적 활성 서브 영역들(331B, 331G 및 331R)의 각각에 있어서의 양자 우물(QW)들의 개수는 멀티컬러-조정 가능 발광 다이오드 구조(300)의 고안 파라메타이다. 관련된 광학 방출 전력 또는 광속(luminous flux)인 $\alpha_n = L_n / \sum L_n$ 은 광학적 활성층들(331B, 331G 및 331R)의 각각에 있어서의 QW들의 개수를 적절하게 선택함에 의해 균형이 유지될 수 있으며, 여기에서 인덱스 n은 각각 광학적 활성층들(331B, 331G 및 331R)을 나타낸다. 예를 들어, 높은 전류 주입에서 발생하는 청색 색역 코너를 달성하는 것은 청색 활성층(331B)에 있어서 둘 이상의 QW들을 포함할 것을 필요로 한다. 또한, 적색 색역 코너와 연관된 요구된 루미너스 방출 전력(luminous emission power)을 달성하는 것은 적색 활성층(331R)에 있어서 2 이상의 QW들을 포함할 것을 필요로 한다.

[0061] 관련된 광학 방출 전력 $\alpha_n = L_n / \sum L_n$ 의 균형을 유지시키면 멀티컬러-조정 가능 발광 다이오드 구조(300)의 컬러 조정 동작 범위의 효과적인 이용이 보장된다. 멀티컬러-조정 가능 발광 다이오드 구조(300)의 전체 광학 방출 전력 또는 광속(luminous flux)인 $\sum L_n$ 은 광학적 활성 서브 영역들(331B, 331G 및 331R)의 광학 방출 전력의 가중합으로서 전류 주입 i에 의존적이다.

[0062]

$$\Sigma L_n = L(i) = \alpha_R(i) L_R + \alpha_G(i) L_G + \alpha_B(i) L_B$$

[0063]

$$\alpha_R(i) + \alpha_G(i) + \alpha_B(i) = 1$$

[0064]

여기에서, $\alpha_R(i)$, $\alpha_G(i)$ 및 $\alpha_B(i)$ 은 전류 주입 레벨 i 에서의, 멀티컬러-조정 가능 발광 다이오드 구조(300)의 광학적 활성층들(331B, 331G 및 331R) 각각의 (상대적) 광학 방출 전력 기여를 나타낸다. 파라메타 $\alpha_R(i)$, $\alpha_G(i)$ 및 $\alpha_B(i)$ 은 전류 주입 레벨 i 에서 결국 광학적 활성층들(331B, 331G 및 331R)에 이주하게 되는 전체 주입 캐리어들의 비율에 비례한다. 멀티컬러-조정 가능 발광 다이오드 구조(300)의 전류 주입 i 동작 범위에 걸쳐서의 파라메타 $\alpha_R(i)$, $\alpha_G(i)$ 및 $\alpha_B(i)$ 의 값들은 그의 색역의 스펙트럼 궤적을 결정한다.

[0065]

도 3b에 도시된 또 다른 실시 예에 있어서, 전류 주입 제어 광학 방출 전력과 그에 연관된 색역 스펙트럼 궤적의 추가적인 균형은 멀티컬러-조정 가능 발광 다이오드 구조(300)의 N-층에 있는 N-도핑층(310)과 MQW 활성 영역(330) 사이에 N-도핑 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 캐리어 차단층(315)을 추가함으로써 달성될 수 있다. 차단층(315)은 높은 전류 주입 레벨에서의 높은 전자-혼잡의 청색 활성 서브 영역(333B)에 의해 유발되는 강한 분극 필드에 응답하여 청색 활성 서브 영역(333B) 밖으로 홀들이 운송될 가능성을 줄인다. 캐리어 차단층(315)의 추가는 낮은 주입 전류 레벨에서 청색 활성 서브 영역(333B)으로부터의 광학 방출 전력이 높아지게 하며, 그에 따라 청색 활성 서브 영역(333B)으로부터의 방출이 그 서브 영역에 있어서의 보다 소수의 QW들을 이용하여 색역의 청색 코너에 도달할 수 있게 한다.

[0066]

도 3c에 도시된 또 다른 실시 예에 있어서, 전류 주입 제어 광학 방출 전력과 그에 연관된 색역 스펙트럼 궤적의 추가적인 균형은 멀티컬러-조정 가능 발광 다이오드 구조(300)의 활성 영역(330)의 적색 서브 영역(331R)의 2개의 QW 사이에 P-도핑 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 캐리어 차단층(311b)을 추가함으로써 달성될 수 있다. 차단층(331b)은, 차단층(331a)과 함께, 적색 서브 영역(331R)의 전류 주입 범위를 확장시키는 작용을 한다. 적색 서브 영역(331R)과 함께 추가적인 QW 및 그와 연관된 캐리어 차단층(331b)을 추가하면, 멀티컬러-조정 가능 발광 다이오드 구조(300)의 적색 파장 스펙트럼 방출 범위내에서 광학 방출 전력을 보다 높일 수 있게 된다.

[0067]

전류 주입 제어 광학 방출 전력과 그에 연관된 색역 스펙트럼 궤적의 균형을 유지시키는 그들의 역할에 추가하여, IBL들(333-1 및 333-2) 및 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 층(315)은 멀티컬러-조정 가능 발광 다이오드 에피택셜 구조(300)내의 에피택셜 스트레인 완화층(epitaxial strain relief layer)들로서 작용한다. 알루미늄 함유층들(315, 331-1 및 331-2)의 이러한 추가된 기능은 광학적 활성 서브 영역들(331B, 331G 및 331R)로부터 멀티컬러 광 방출을 달성하는데 요구되는 성공적인 보다 높은 인듐(In) 유입 비율을 달성하는데 있어서 중요한 특징이다.

[0068]

M-QPI 이미지 제어 반도체 구조

[0069]

도 4a에는 M-QPI 이미지(200)의 디지털 반도체 구조(220)의 단면도가 도시된다. 디지털 반도체 구조(220)는 통상적인 Si 기반 CMOS 기술을 이용하여 제조될 수 있으며, SiO_2 와 같은 절연 반도체 물질의 얇은 층들에 의해 이격된 다수의 금속층들(420, 422, 223 및 424)과, 픽셀의 구동기 어레이(450)과 프로세싱 로직(460) 및 인터페이스 로직(464)을 구비한 제어 로직(425)으로 구성될 수 있고, 통상적인 CMOS 반도체 기술을 이용하여 Si-기판(227)상에 증착될 수 있다. 금속층(420)의 상부상에는, 제어 로직(425)에 대한 외부적 인터페이스 접속을 제공하는 공정 땀납 콘택트 볼들(eutectic solder contact balls, 222)과 제어 로직(425) 사이에 접속을 제공하는 TSV(through-silicon-via)들(431)과 픽셀들의 콘택트 비아들(421)이 증착된다.

[0070]

도 4b에는 M-QPI 이미지(200)의 디지털 반도체 구조(220)의 기능 블록도가 도시된다. 명확성을 위해, 방출 멀티컬러 픽셀들(230)의 어레이(250)는, 제어 로직(425)과 방출 멀티컬러 픽셀들(230)의 어레이(250)간에 인터페이스를 제공하는 픽셀들의 구동기(455)들의 어레이(450)에 접속된 것으로 도시된다. 픽셀 구동기들(455)의 각각은 내부 인터페이스(430)를 통해 제어 로직(425)으로부터 수신하는 전기적 제어 신호를, 멀티컬러 픽셀들(230)의 고유 콘택트들(440)의 각각으로의 적당한 전기적 신호(전압) 레벨로 변환한다. 방출 멀티컬러 픽셀들(230)의 어레이(250)의 공통 콘택트 금속층(205)(도 2c, 2d 및 2e)은 픽셀 어레이(250)의 에지 픽셀들의 측벽들을 통해 제어 로직(425)에 접속된다. 공정 콘택트 볼들(222)에 접속된, 제어 로직(425)의 인터페이스 블록(465)은 전체 디지털 반도체 구조(220)에 전력 및 접지 신호들을 접속시키고 수신된 디지털 이미지 데이터를 프로세싱 로직(460)으로 릴레이(relay)한다.

- [0071] 도 4c에는 M-QPI 이미저(200)의 전체 맥락내에서의 프로세싱 로직(460)의 기능 블록도가 도시된다. 프로세싱 로직(460)은 매칭되는 프로세싱 기능들과 수율을 가지도록 고안된 내장형 디지털 신호 프로세싱 코어상에서 실행되는 소프트웨어 또는 전용 디지털 로직으로서 실현될 수 있다.
- [0072] 도 4c에 도시된 바와 같이, 인터페이스 블록(425)에 의해 디지털 반도체 구조(220)에 결합되는 입력 이미지 데이터는, 우선적으로, 수신된 이미지 데이터를, 입력 컬러 스페이스(input color space)에서, 프로세싱 로직(460)을 구성하는 이미지 프로세싱 단계들의 전반에 계속적으로 이용되는 RGB 컬러 스페이스로 변환하는 컬러 스페이스 변환 프로세싱 블록(color space conversion processing block, 461)에 의해 프로세싱된다. 컬러 스페이스 변환된 이미지 데이터는 디-감마 블록(de-gamma block, 462)에 의해 선형화되고, 그 다음 픽셀 어레이(250)에 걸쳐서의 픽셀(230)의 컬러와 밝기의 불균일성을 보상하도록 사전 보정된다. 픽셀(230)의 균일성 사전 보정은 M-QPI 이미저(200) 제조 프로세스의 종료시에 측정된 픽셀 어레이(250)의 캘리브레이션 LUT(look up table, 464)를 이용하여 이루어진다. 사전 보정된 이미지 데이터는 픽셀들의 컬러 변조 블록(465)에 의해 픽셀-지정 변조값(pixel-specific modulation value)들로 변환되고, 픽셀들의 컬러 변조 데이터는 픽셀들 구동기들(455)에 입력으로서 제공되며, 픽셀 구동기는 컬러 변조 데이터를 픽셀 어레이(250)의 개별적인 픽셀들(230)에 대한 전기적 구동 신호로 변환한다.
- [0073] 도 4d에는 픽셀 구동기들(455)의 제 1 실시 예의 기능 블록도가 도시된다. 픽셀들(230)의 반도체 발광 다이오드 구동 전류가 전형적으로 쇼클리 다이오드 수학적식에 의해 그의 구동 전압과 연관되기 때문에 (다이오드 전류 i 는 쇼클리(i, v) 다이오드 수학적식
$$i = I_s \left(e^{\frac{v}{nV_T}} - 1 \right)$$
에 의해 다이오드 전압 v 와 연관되며, I_s 는 다이오드 포화 전류 이고, V_T 는 열적 전압 $\left(\frac{kT}{q} \right)$ 이고, n 은 다이오드 이상 계수(diode ideality factor)임), 본 실시 예에 있어서 및 다른 후속하는 실시 예에 있어서, 픽셀들(230)의 전류 주입 레벨을 제어함으로써 픽셀들(230)의 멀티컬러 방출을 제어하는 것은, 일반성을 잃지 않고서, 픽셀들(230)의 전압 구동 레벨을 제어함으로써 이루어질 수 있다. 본 실시 예에 있어서, 픽셀 구동기(455)는 선택된 전압 레벨들(453)을 픽셀(230) 고유의 콘택트(440)로 라우팅하도록, 도 4c의 픽셀 컬러 변조 블록(465)에 의해 생성되는 픽셀 변조 신호(452)에 의해 제어되는 전압 레벨 스위칭 블록(451)로 구성된다. 본 실시 예에 있어서, 픽셀 변조 신호(452)는, 선택된 전압 레벨(453)을 구비한 다수의 전압 레벨들(도 4d의 예시에 3개의 전압 레벨들이 도시되어 있음) 중 하나가 특정 정시 주기(specified on-time period) 동안에 픽셀(230) 고유의 콘택트(440)로 라우팅될 수 있게 하며, 그러한 시간 주기는 이미지 비디오 프레임 기간의 일부이다. 예를 들어, 공통 60Hz 비디오 프레임 속도의 경우, 이미지 비디오 프레임 기간은 16.67ms이다.
- [0074] 본 명세서에서는, 특정 픽셀 컬러 방출의 정시 주기를 "컬러 변조 주기 T_m "이라 지칭한다. 일 실시 예에 있어서, 선택된 전압 레벨(453)은, 픽셀(230)의 연속시간 변조(continuous time modulation)가 가능하도록 CW(continuous waveform) 신호로서, 특정 정시 주기 동안에 픽셀(230)의 고유 콘택트(440)에 제공된다. 또 다른 실시 예에 있어서, 선택된 전압 레벨(453)은, 픽셀(230)의 펄스 변조가 가능하도록, 선택된 전압 레벨(453)에서 PW(pulsed waveform) 신호들의 시퀀스로서 특정 정시 주기동안에 픽셀(230)의 고유 콘택트(440)에 제공된다. 이들 두 경우에 있어서, 픽셀 변조 신호(452)는 전압 레벨(453) 및 정시의 기간을 선택할 수 있게 한다. 본 실시 예의 픽셀 구동기들(455)은 CW 변조 모드 또는 PW 변조 모드에서 픽셀(230)의 단일-다수의 전압 레벨 변조를 할 수 있게 한다.
- [0075] 픽셀 구동기(455)의 제 1 실시 예에 있어서, 픽셀(230)의 컬러 방출의 제어는 다수의 방법들 중 한 방법을 이용하여 달성될 수 있다. CW 변조의 경우에 있어서, 다수의 전압 레벨들(453)의 각각이 픽셀(230)의 광 방출 스펙트럼 범위들 중 하나에 대응하도록, 다수의 전압 레벨들(453)이 선택된다. 예를 들어, 픽셀 구동기(455)가 3개의 전압 레벨들(453)을 가진 경우에 있어서, 가장 낮은 전압 레벨은 적색 스펙트럼 범위에서 픽셀(230)의 광 방출을 달성하는데 요구되는 전압에 상응하며, 중간 전압 레벨은 녹색 스펙트럼 범위에서 픽셀(230)의 광 방출을 달성하는데 요구되는 전압에 상응하고, 가장 높은 전압 레벨은 청색 스펙트럼 범위에서 픽셀(230)의 광 방출을 달성하는데 요구되는 전압에 상응한다. 본 방법에 있어서 픽셀(230)의 컬러를 제어하는 것은 픽셀(230)에 대한 원하는 컬러 방출 범위를 특정하는 픽셀 변조 신호(452)에 의해 달성되고, 그에 응답하여, 픽셀 구동기(455)는 픽셀(230)의 콘택트로 대응하는 전압 레벨을 라우팅한다.
- [0076] 픽셀 구동기(455)의 제 1 실시 예의 PW 변조의 경우는 단일의 전압 레벨(453) 또는 다수의 전압 레벨(453)로 구현될 수 있다. 단일 전압 레벨의 PW 변조가 이용되는 본 실시 예의 방법에 있어서, 픽셀(230)의 멀티컬러 방출

은, 픽셀(230)의 멀티컬러 방출의 컬러 변조 주기 T_m 의 기간내에 캐리어 주입 속도를 제어함에 의해 그 전체 스펙트럼 범위에 걸쳐 제어된다. 본 실시 예의 방법에 있어서, 연관된 변조 주기내에서 가장 높은 값의 전압 레벨을 필요로 하는 스펙트럼 범위(이 경우에는 변조 주기 T_m 내의 청색 스펙트럼 범위)내에서의 픽셀(230)의 광 방출이 이루어질 수 있게 하는데 있어서 PW 변조에 이용되는 단일 전압이 필요하다.

[0077] 녹색 및 적색 스펙트럼 범위에 있어서의 픽셀들(230)의 광 방출의 경우, 각각 녹색 및 적색 컬러 방출 영역들에 있어서 원하는 컬러 방출을 달성하기 위해 $T_{mB} < T_{mG} < T_{mR}$ 가 되도록 변조 주기를 증가시킴으로써 그에 비례하여 PW 변조 속도 및 그에 따른 관련 캐리어 주입 속도가 감소된다. 다수의 전압 레벨들을 가진 PW 변조가 이용되는 본 실시 예의 방법에 있어서, 픽셀(230)의 멀티컬러 방출은, 각 전압 레벨로 캐리어 주입 속도를 제어함에 의해, 전체 스펙트럼 범위의 영역들에 걸쳐 제어되며, 예를 들어, 픽셀(230)의 멀티컬러 방출의 전체 스펙트럼 범위는 적색-녹색 방출 영역 및 녹색-청색 방출 영역(얼마간의 오버랩이 있음)의 2 영역들로 분할된다. 적색-녹색 방출 영역에 있어서, PW 변조를 위해 이용되는 2개의 전압 레벨 중 보다 낮은 전압 레벨은 변조 주기(T_{mG})내의 녹색 스펙트럼 범위에서의 픽셀들(230)의 광 방출을 인에이블하는데 적합하며, 적색-녹색 스펙트럼 범위에 걸쳐서의 컬러 방출은 $T_{mG} < T_{mR}$ 가 되도록 비례적으로 증가되는 변조 주기에 이루어진다.

[0078] 녹색-청색 방출 범위에 있어서, PW 변조를 위해 이용되는 2개의 전압 레벨 중 보다 높은 전압 레벨은, 변조 기간(T_{mB})내에 녹색-청색 스펙트럼 범위에서의 픽셀들(230)의 광 방출을 인에이블하는데 적합하며, 녹색-청색 스펙트럼 범위에 걸쳐서의 광 방출은 $T_{mB} < T_{mG}$ 가 되도록 비례적으로 증가되는 변조 주기에 이루어진다. 유사하게, 픽셀(230)의 전체 스펙트럼 방출은 3개의 영역들, 예를 들어, 적색, 녹색 및 청색 방출 영역들로 분할될 수 있다. 이 경우, 원하는 스펙트럼 영역에 적합한 전압 레벨을 선택하고, 선택된 스펙트럼 영역내의 원하는 방출 컬러에 적합한 변조 주기(T_m)의 기간을 선택함에 의해, 전체 스펙트럼 범위에 걸쳐 픽셀(230)의 광 멀티컬러 방출이 제어된다. 이것은 픽셀 구동기(455)의 제 1 실시 예의 PW 변조 방법의 픽셀(230)의 컬러 변조를 위한 신규한 해법으로서, 그의 색역 스펙트럼 궤적의 전체 범위에 걸쳐서 픽셀(230) 컬러 방출의 직접 변조를 할 수 있게 한다.

[0079] 도 4e에는 픽셀 구동기들(455)의 제 2 실시 예의 기능 블록도가 도시된다. 본 실시 예에 있어서, 픽셀 구동기(455)는 도 4c의 픽셀 컬러 변조 블록(465)에 의해 생성되는, 픽셀(230)의 변조 신호(452)에 의해 제어되는 충전 속도를 가진 커패시터-기반 에너지 저장 소자(454)로 구성된다. 본 실시 예에 있어서, 커패시터-기반 에너지 저장 소자(454)를 충전하기 위해 단일 전압 레벨이 이용되며, 픽셀 변조 신호(452)는 그러한 저장된 에너지가 픽셀(230)의 고유 콘택트(440)로 라우팅되는 변조 주기(T_m)의 기간 및 커패시터-기반 소자(454)로 충전되는 에너지의 양을 제어한다.

[0080] 본 실시 예에 있어서, 픽셀들(230)의 멀티컬러 방출은 커패시터-기반 소자(454)에 저장되는 여기 에너지(excitation energy)가 픽셀(230)로 전달되는 속도를 제어함에 의해 제어된다. 예를 들어, 청색 컬러 범위에 있어서 픽셀(230)로부터의 광 방출의 여기는, 커패시터-기반 에너지 저장 소자(454)를 그의 가장 높은 가능한 에너지 저장 레벨까지 충전하고, 변조 주기(T_{mB})내의 청색 컬러 스펙트럼 범위에서의 픽셀(230) 광 방출을 달성하는데 요구되는 전압 레벨에 맞는 전압 레벨로, 저장된 에너지를 방전함에 의해, 달성된다.

[0081] 일반적으로, 전체 스펙트럼 범위내의 임의 원하는 컬러로의 픽셀(230)로부터의 광 방출의 여기는, 에너지 저장 소자(454)를, 요구된 컬러 방출에 대응하는 값으로 충전하고, 그 다음, 저장된 에너지를, 전체 스펙트럼 범위내의 원하는 컬러로 픽셀(230) 광을 방출하기에 적합한 변조 주기(T_m)내에 및 소정 전압 레벨로 방전시키는 것을 필요로 한다. 제 1 실시 예와 유사하게, 픽셀 구동기(455)의 이러한 제 2 실시 예는 그의 색역 스펙트럼 궤적의 전체 범위에 걸쳐 픽셀(230) 컬러 방출의 직접 변조의 새로운 방식을 할 수 있게 한다.

[0082] 도 4f에는 픽셀 구동기(455)의 제 3 실시 예의 기능 블록도가 도시된다. 본 실시 예에 있어서, 픽셀 구동기(455)는, 입력으로서, N-비트들로 구성된 디지털 신호로서 표현된 픽셀 변조 신호(452)를 가진 디지털-아날로그(D/A) 변환기(456)로 구성된다. 이 경우, 픽셀 변조 신호(452)는 D/A 변환기(456)에 의해, 픽셀 변조 신호(452)의 N-비트 값에 비례하는 D/A 기준 전압(V_{ref})의 스케일링 값(scaled value)인 픽셀(230) 전압 레벨로 변환된다. 일 실시 예에 있어서, D/A 변환기(456)의 기준 전압(V_{ref})은, 연관된 변조 주기내에서, 가장 높은 전압 레벨 값을 요구하는 스펙트럼 범위(이 경우, 변조 주기(T_{mB})내의 청색 스펙트럼 범위)내에서의 픽셀들(230)의 광 방

출을 인에이블하는데 필요한 전압값이 되도록 선택될 수 있다. 청색 스펙트럼 범위에 있어서 픽셀(230)의 컬러 방출을 구동하는 것은, 변조 주기(T_{mB})내에서 N-비트 픽셀 변조 신호(452)가 최대값으로 될 것을 요구한다. 녹색 및 적색 스펙트럼에 있어서 픽셀(230)의 광 방출을 구동하는 것은, 각각, 녹색 및 적색 컬러 방출 영역에서 원하는 컬러 방출을 달성하기 위하여 $T_{mB} < T_{mG} < T_{mR}$ 가 되도록 변조 주기에 있어서의 적합한 증가와 함께 N-비트 픽셀 변조 신호(452)의 비례적으로 감소되는 값을 필요로 한다. 이전 실시 예들과 유사하게, 본 실시 예의 픽셀 구동기(455)는 픽셀들(230)에 대한 구동 신호를, 특정 변조 주기(T_m)에 대한 전압 레벨 변조 CW로서 변조한다.

[0083] 다른 실시 예에 있어서, D/A 변환기(456)의 기준 전압(V_{ref})은 요구된 스펙트럼 범위내에서의 픽셀(230) 광 방출을 인에이블하는데 필요한 전압값으로 되도록 선택된다. 예를 들어, 청색, 녹색 또는 적색 스펙트럼 방출 범위 및 N-비트 픽셀 변조 신호(452)는 변조 주기(T_{mc})의 적당한 선택과 함께 각 스펙트럼 범위내의 특정 컬러를 제어하는데 이용된다. 본 실시 예에 있어서, D/A 기준 전압(V_{ref})의 조정은 픽셀(230)의 컬러 스펙트럼 방출 범위를 정의하는 반면, N-비트 픽셀 변조 신호(452)워드(word)는 그 범위내의 특정 컬러 포인트를 정의한다. 예를 들어, 청색, 녹색 또는 적색 스펙트럼 방출 범위들을 정의하는 D/A 기준 전압(V_{ref})의 이산 값들이 선택되면, 픽셀(230)의 컬러 스펙트럼 방출을 제어하기 위한 동적 범위는 3×2^N 이다. 그러므로, 효과에 있어서, 픽셀 변조 신호(452)의 워드-길이(word-length)와 함께 D/A 기준 전압(V_{ref})의 이산 값들의 개수는 픽셀(230) 컬러를 선택하는데 있어서 해상도를 제어하도록 선택된다.

[0084] 픽셀 구동기(455)의 이전 실시 예들의 설명된 방법에 의해 인에이블되는 픽셀(230) 변조 신호(452)는 도 4g, 4h, 4i 및 4j에 도시된다.

[0085] 도 4g에는 멀티컬러 광 방출을 변조하기 위해 픽셀(230) 고유 콘택트(440)에 제공되는 구동 신호(452)가 대응적으로 변조되는 이산 멀티레벨 전압 신호이고, 각 이산 전압 레벨(V_m)이 변조 주기(T_m) 동안에 변조되는, 픽셀(230) 구동 방법이 도시된다. 이러한 픽셀(230) 구동 방법에 있어서, 선택된 전압 레벨(V_m) 및 그에 대응하는 변조 주기(T_m)는, 각각 픽셀(230)로부터 방출되는 컬러 및 그에 대응하는 루미넌스(luminance)를 결정한다. 이러한 픽셀(230) 구동 방법에 있어서, 픽셀(230)의 "컬러" 및 "루미넌스"는 픽셀 변조 신호(452)를 통해 픽셀 구동기(455)에 의해 인에이블되는 선택된 전압 레벨(V_m) 및 변조 주기(T_m)에 의해 변조된다. 도시된 예시로서, 도 4g에는 집합적으로 대응하는 변조 주기(T_m)들이 전체 비디오 프레임 기간(T_F)에 걸쳐 있는(60Hz 비디오 프레임 속도의 경우, 예를 들어, 16.7ms) 3개의 이산 전압 레벨들(V_m)이 도시된다. 본 예시에 있어서, 3개의 이산 전압 레벨들(V_m)과 변조 주기들(T_m)은 비디오 프레임 기간(T_F) 동안에 특정 (컬러, 루미넌스)의 픽셀(230) 광 방출을 인에이블하기 위하여 각 컬러마다 특정된 루미넌스로, 적색, 녹색 및 청색 컬러 스펙트럼 영역에서 픽셀(230) 광을 방출하는 것에 대응한다. 예를 들어, 픽셀(230)이 디스플레이 백색(컬러) 포인트에서 광을 방출하기 위한 것이라면, 비디오 프레임 기간(T_F) 동안 백색(컬러) 방출을 달성하기 위해 적당한 루미넌스 밸런스(luminance balance)로 픽셀(230)로부터 적색, 녹색 및 청색 컬러 방출을 인에이블하도록 픽셀 변조 신호(452)에 의해 전압 레벨(V_m) 및 변조 주기(T_m)가 선택된다.

[0086] 대안적으로, 도 4h에 도시된 바와 같이, 전체 비디오 프레임 기간(T_F)은 서브 프레임 기간들(T_{sf})로 분할되고, 그 서브 프레임 기간들의 각각에 대해 그에 비례하는 변조 서브 기간(T_{sm})에 대해 전압 레벨들(V_m)이 선택된다. 유사하게, 이 경우에, 전압 레벨(V_m) 및 변조 주기(T_m)는, 비디오 프레임 기간(T_F)동안 및 그에 후속하여 전체 비디오 프레임 기간(T_F)동안에 백색(컬러) 방출을 달성하기 위해 적당한 루미넌스 밸런스로 픽셀(230)로부터의 적색, 녹색 및 청색 컬러 방출을 인에이블하도록 픽셀 변조 신호(452)에 의해 선택된다. 상기에서 설명한 픽셀(230) 구동 방법은, 상술한 픽셀(230) 멀티컬러 방출 스펙트럼 궤적에 걸쳐 있는 보다 많은 컬러 포인트들로 픽셀(230) 컬러 및 루미넌스를 인에이블하기 위해 이전 예시에서 이용된 것보다 많은 개수의 이산 전압 레벨들을 이용하여 실현될 수 있음을 알아야 한다. 다시 말해, 픽셀(230) 구동 방법은, 본 구동 방법에 대한 이산 전압 레벨들(V_m)로서 대응하는 전압 레벨들을 선택함에 의해 픽셀(230)의 광 방출 스펙트럼 궤적을 따라 정의된 임의

개수의 원색들(필요한 경우 3개 이상)과 함께 이용될 수 있다. 본 문단에 설명된 픽셀(230) 구동 방법은 픽셀 구동기(455)의 상술한 제 1 실시 예, 제 2 실시 예 또는 제 3 실시 예 중 하나를 이용하여 실현될 수 있으며, 각각의 경우에 픽셀 구동기(455)에 대한 픽셀 변조 입력 신호(452)는 전압 레벨(V_m) 및 변조 주기(T_m) 값을 선택할 수 있도록 적당하게 고안된다.

[0087] 도 4i에는 이전 방법의 이산 연속 전압 레벨들의 세트와 대조적으로 멀티컬러 광 방출을 변조하기 위해 픽셀(230) 고유 콘택트(440)로 공급되는 구동 신호가 연속적으로 변조되는 가변 전압 레벨 신호인 또 다른 픽셀(230) 구동 방법이 도시된다. 픽셀 구동기(455)의 상술한 실시 예에 의해 가능하게 되는 이 픽셀(230) 구동 방법에 있어서, 변조 주기(T_m)내에 변조되는 전압 레벨(V_m)은 전압 범위 (V_{min}, V_{max})의 임의 값일 수 있으며, V_{min} 과 V_{max} 의 값은, 예를 들어, 적색 스펙트럼 방출 영역과 청색 스펙트럼 방출 영역과 같이, 픽셀(230) 스펙트럼 방출 궤적의 가장 긴 파장(λ_{max})과 가장 짧은 파장(λ_{min})에서 픽셀(230) 광 방출을 달성하는데 요구되는 전압 레벨들이다.

[0088] 이러한 구동 방법은 대응하는 전압 레벨(V_m) 및 이전의 경우와 유사하게 변조된 전압 레벨(V_m)이 유지되는 변조 주기(T_m)를 선택함에 의해 픽셀 스펙트럼 방출 궤적을 따르는 임의 컬러를 직접 방출하도록 픽셀(230)을 구동할 수 있게 한다는 점을 아는 것이 중요하다. 이것은, 전체 비디오 프레임 기간에 비례하여, 픽셀(230)로부터 방출되는 컬러의 루미넌스 레벨을 결정한다. 본 문단에서 설명되는 픽셀(230) 구동 방법은 픽셀 구동기(455)의 설명된 제 2 실시 예 및 제 3 실시 예 중 어느 하나를 이용하여 실현되며, 그 실시 예의 각각의 경우에, 픽셀 구동기(455)로의 픽셀 변조 신호(452)의 입력들은, 픽셀(230)의 스펙트럼 방출 궤적 ($\lambda_{max}, \lambda_{min}$)을 따라 임의의 원하는 픽셀(230)의 광 방출 컬러를 달성하기 위해 전압 범위(V_{min}, V_{max})내의 임의 값으로 변조 전압 레벨(V_m)을 선택하고, 픽셀(230)로부터 방출되는 컬러에서 원하는 루미넌스를 달성하도록 선택된 전압값이 유지되는 대응하는 변조 주기(T_m)를 선택할 수 있도록 적당하게 고안된다. 픽셀(230)의 스펙트럼 궤적을 따르는 임의 컬러 포인트를 변조하기 위한 이러한 구동 방법의 기능 외에도, 이러한 구동 방법은, 비디오 프레임 기간(T_F) 동안 픽셀(230)의 스펙트럼 궤적을 따르는 컬러 포인트들의 이산 세트를 변조하는데 이용될 수 있으며, 변조된 컬러 포인트들의 각각과 연관된 관련된 루미넌스는 컬러 포인트에 대응하는 전압 레벨(V_m)이 비디오 프레임 기간(T_F)동안에 유지되는 변조 주기(T_m)를 선택함에 의해 변조된다.

[0089] 도 4j에는 멀티컬러 광 방출을 변조하기 위해 픽셀(230)의 고유 콘택트(440)에 공급되는 구동 신호가 하나 이상의 전압 레벨들(V_m)의 펄스 파형(PW)을 이용하여 변조되는 펄스들의 시퀀스이고, 각 전압 레벨이 변조 주기(T_m) 동안에 변조되는 또 다른 픽셀(230)의 구동 방법이 도시된다.

[0090] 본 방법에서는, 주어진 시간 폭(T_P)의 N개의 PW 전압 펄스들이 변조 주기(T_m) 동안 주어진 전압 레벨(V_m)을 이용하여 변조된다. 선택된 전압 레벨(V_m)에 의해 생산되는 변조 듀티 사이클(modulation duty cycle)은 평균 픽셀 변조 전압, $V_{avg} = (NT_P/T_m)V_m$ 을 결정하며, 이때, $NT_P \leq T_m$ 이다. 픽셀(230)의 반도체 발광 다이오드 구동 전류가 전반적으로 그의 구동 전압에 지수적으로 비례하기 때문에, 평균 픽셀 변조 전압(V_{avg})은 픽셀(230)로의 평균 전류 또는 평균 캐리어 주입 속도와 등가이다. 따라서, 이러한 픽셀(230) 구동 방법은 그들의 목표 루미넌스에서 픽셀(230)의 스펙트럼 궤적을 따르는 목표 컬러 포인트들에 대응하는 평균 픽셀 변조 전압(V_{avg})을 생성하는, 선택된 전압 레벨(V_m)에서의 전압 펄스 변조 듀티 사이클, $D = NT_P/T_m$ 의 값들을 선택함에 의해, 픽셀들(230)의 스펙트럼 궤적을 따르는 광 방출 컬러 포인트들 중 임의 포인트를 변조할 수 있게 한다. 이러한 픽셀(230) 구동 방법이 단일 전압 레벨과 함께 이용되면, 스펙트럼 궤적의 픽셀(230)의 청색 영역에서의 광 방출을 달성하는데 요구되는 전압 레벨은, 바람직하게, 선택된 단일 전압 레벨로 된다. 즉, $V_m = V_{mc}$ 이다.

[0091] 이러한 픽셀(230) 구동 방법은, 픽셀(230)의 전체 스펙트럼 궤적을 대응하는 스펙트럼 방출 영역들로 분할하는 다수의 전압 레벨들과 함께 이용될 수 있다. 예를 들어, 2개의 전압 레벨들을 이용하는데 있어서, 보다 낮은 전

압 레벨은, 스펙트럼 궤적의 픽셀(230)의 녹색 영역에 있어서의 광 방출을 달성하는 전압 레벨로서 선택될 수 있으며, 즉, $V_m = V_{mG}$ 이고, 보다 높은 전압 레벨은 스펙트럼 궤적의 픽셀(230)의 청색 영역에서의 광 방출을 달성하는 전압 레벨로서 선택될 수 있다. 즉, $V_m = V_{mB}$ 이다. 2개의 전압 레벨들의 이러한 선택과 함께, 보다 낮은 전압 레벨(V_{mG})에서의 전압 펄스 변조 듀티 사이클, $D = N_G T_P / T_{mG}$ 를 선택하면, 적색에서부터 녹색까지의 픽셀(230)의 스펙트럼 궤적의 일부를 따라 광 방출을 달성하는 평균 픽셀 변조 전압(V_{Gavg})이 생성된다. 보다 높은 전압 레벨(V_{mB})에서의 전압 펄스 변조 듀티 사이클, $D = N_B T_P / T_{mB}$ 을 선택하면, 녹색에서 청색까지의 픽셀(230)의 스펙트럼 궤적의 일부를 따라 광 방출을 달성하는 평균 픽셀 변조 전압(V_{Bavg})이 생성된다. 유사하게, 픽셀(230)의 스펙트럼 방출을, 이전 예시들에서 선택된 보다 많은 개수의 영역들로 분할하기 위해서는, 보다 많은 개수의 전압 레벨들(V_m), 예를 들어, 고안에 따라 3개 이상의 전압 레벨들(V_m)이 이용될 수 있다. 본 문단에서 설명된 픽셀(230) 구동 방법은 픽셀 구동기(455)의 설명된 제 2 또는 제 3 실시 예들 중 어느 하나를 이용하여 실현될 수 있으며, 제 2 실시 예 및 제 3 실시 예의 각각의 경우에 있어서, 픽셀 구동기(455)에 대한 픽셀 변조 신호(452)의 입력들은 변조 주기(T_m)내에서 전압 레벨(V_m)과 전압 펄스 변조 듀티 사이클(D) 값을 선택할 수 있도록 적당하게 고안된다. 이전 픽셀(230) 구동 방법과 유사하게, 이러한 방법은 픽셀(230) 스펙트럼 궤적을 따르는 임의 컬러 포인트에서의 픽셀(230) 방출의 변조를 할 수 있게 하며, 전압 펄스 변조 듀티 사이클(D)이 픽셀(230) 스펙트럼 궤적을 따르는 변조된 컬러 포인트를 정의하고 그들의 연관된 변조 주기(T_m)의 기간이 변조된 컬러 포인트들에서의 달성된 루미넌스를 정의한다.

[0092] 본 개시의 이하의 문단들에서 설명하겠지만, 픽셀(230) 스펙트럼 방출 궤적을 따르는 임의 컬러 및 루미넌스를 변조할 수 있도록 하는 픽셀(230) 구동 방법들의 설명된 고유한 기능은, 신규한 방법들이, 정의된 기준 백색 포인트 루미넌스에 대한 임의 원하는 루미넌스 레벨로 픽셀(230) 스펙트럼 궤적에 의해 정의된 색역내의 임의 컬러 포인트를 변조할 수 있게 한다. 그러한 기능들은, 픽셀(230) 스펙트럼 궤적을 따르는 2개, 3개 또는 그 이상의 기준 컬러 포인트들(컬러 프라이머리들)을 이용하여 변조될 멀티컬러 픽셀들의 색역내의 임의 컬러 포인트를 변조할 수 있게 하며, 그에 따라 기준 컬러 포인트의 가장 효과적인 루미넌스 밸런스로 색역내의 원하는 컬러 포인트를 변조하는 기능을 제공한다. 이것은, 효과에 있어서, 픽셀(230) 멀티컬러 조정 기능을 효율적으로 이용할 수 있게 하는데 이용될 수 있는 프로그램 가능 색역 컬러 프라이머리들(기준 컬러 포인트들)의 세트를 생성하며, 다른 장점들은 이하의 문단에서 설명된다.

[0093] 이전 문단은 그들의 반도체(칩 레벨) 물리적 레이아웃 영역이 다를 수 있는 픽셀 구동기들(455)을 구현하는 다양한 방법들을 설명하였다. 추가적으로, 픽셀 구동기(455)들의 어레이를 포함하는 디지털 구조(220)의 물리적 레이아웃 영역은 픽셀(230) 어레이 영역(즉, M-QPI 이미저(200)의 광 방출 개구)내로 제한됨이 바람직하다.

[0094] 도 5에는 픽셀 구동기들(455)의 어레이를 포함하는, 디지털 구조(220)의 어레이의 레이아웃 영역이 주어진 CMOS 기하학을 이용하여 픽셀(230)의 어레이(150)와 매칭되게 제조되어 M-QPI 이미저(200)의 디지털 구조(220)를 구현하는 실시 예가 도시된다. 본 실시 예에 있어서, 픽셀(230)의 어레이(250)는, 본 명세서에서 변조 그룹(252)이라고 지칭하는, 픽셀들(230)의 다수의 서브 어레이들(252)로 분할되며, 변조 그룹(252)을 구비한 그 픽셀들(230)은 단일 구동기(455)에 의해 시간 순차적으로 구동된다. 이러한 방식에 의해, 필요한 픽셀 구동기(455)의 전체 개수는, 픽셀 어레이를 구비한 픽셀들(230)의 전체 개수를 변조 그룹(252)을 구비한 픽셀들(230)의 전체 개수로 제한한 값과 동일한 개수로 감소하게 된다.

[0095] 도 5에 도시된 바와 같이, 변조 그룹들(252)의 어레이는 다수의 접속 소자들(472)로 구성된 접속 매트릭스(470)를 통해 픽셀 구동기들(455)의 어레이(450)에 접속된다. 접속 매트릭스(470)를 구성하는 접속 소자들(472)의 각각은, 그것이 제어 로직(460)으로부터 수신하는 픽셀 변조값이, 대응하는 변조 그룹(252)을 구성하는 픽셀들(230) 중 한 픽셀의 고유 콘택트(440)로 라우팅되도록, 제어 로직(460)에 의해 제어된다. 전체 접속 매트릭스(470)는, 디스플레이 프레임 기간(T_F)내에 전체 픽셀 어레이(250)의 특정의 순차적 변조 스캔 패턴(specified sequential modulation scan pattern)을 생성하기 위하여 다수의 픽셀 변조 그룹들(252)내의 지정된 픽셀들(230)의 세트로 픽셀 변조값을 시간 순차적으로 라우팅하도록 제어 로직(460)에 의해 제어된다. 예를 들어, 접속 매트릭스(470)는, 전체 픽셀 어레이(250)를 변조하기 위하여, 동시에 픽셀(230)들의 특정 개수의 로우(row)들(예를 들어, 8, 16, 32, 64 로우...)을 변조하고, 그 다음, 동일한 개수의 로우들을 변조하도록 고안될 수 있다. 본 예시에 있어서, 동시에 변조되는 픽셀들(230)의 로우들의 개수는 필요한 픽셀 구동기(455)들의 개수를

결정하고, 이러한 개수의 픽셀 구동기(455)들의 레이아웃 영역과 그들의 연관된 접속 매트릭스(470)의 레이아웃 영역의 조합된 합산은 픽셀들(230)의 어레이(250) 구동 전용의 전체 레이아웃 영역을 결정한다. 제어 로직(460)과 인터페이스 블록(425)에 필요한 레이아웃 영역과 픽셀들(230)의 어레이(250)를 구동하기 위한 레이아웃 영역의 합산 값은, 디지털 구조(220)의 전체 레이아웃 영역이 픽셀(230)들의 어레이의 영역과 매칭되게 하는데 필요한 CMOS 기하학을 결정한다.

[0096] 제어 로직(460)과 인터페이스 블록(425) 및 어레이(250)를 구동하는 데 필요한 레이아웃 영역을 포함하는 M-QPI 이미저(200)의 디지털 반도체 구조(220)는 적당한 CMOS 기하학 기술을 이용하여 모놀리식 Si-CMOS 웨이퍼로서 제조될 수 있으며, 각각의 그러한 웨이퍼는 다수의 M-QPI 이미저(200) 다이를 포함한다. 상기에서 설명한 바와 같이, 디지털 반도체 구조(220) 웨이퍼는 도 2a 및 도 2b에 도시된 개별적인 M-QPI 이미저(200)로 쪼개지는(다이(die)형으로 절단되는) 집적 멀티(3D) 웨이퍼 구조를 형성하도록 웨이퍼-레벨 직접 융합(fusion) 접착 기술등을 이용하여 포토닉 반도체 구조(204-205-210-215)에 접착된다. 대안적으로, 디지털 반도체 구조(220) 웨이퍼 또는 포토닉 반도체 구조(204-205-210-215)는, 도 2a 및 도 2b에 도시된 개별적인 M-QPI 이미저(200) 다이들로 쪼개지는(다이형으로 절단되는) 다수의 M-QPI 이미저(200)를 포함하는 웨이퍼를 형성하도록 다이-웨이퍼 직접 접착(die to wafer direct bonding) 또는 공정 접착 기술등을 이용하여 반대측 웨이퍼에 개별적으로 다이-레벨 접착되는 다이로 쪼개질 수 있다(다이형으로 절단될 수 있다).

[0097] *M-QPI 이미저 동작-픽셀 컬러 및 밝기 변조*

[0098] 상기에서 설명한 바와 같이, 전류 주입 레벨 i 또는 증가적으로 그의 콘택트 양단에 인가되는 전압의 함수로서의 픽셀(230) 광 방출의 광속($L(i)$)은 픽셀(230)의 구성 포토닉층(331R, 331G 및 331B)들의 각각으로부터 방출된 광속(L_R, L_G, L_B)의 가중합이다:

$$[0099] \quad L(i) = \alpha_R(i) L_R + \alpha_G(i) L_G + \alpha_B(i) L_B$$

$$[0100] \quad \alpha_R(i) + \alpha_G(i) + \alpha_B(i) = 1$$

[0101] 가중 계수 $\alpha_R(i)$, $\alpha_G(i)$ 및 $\alpha_B(i)$ 들의 값들은 전류 의존적 또는 증가적으로 전압 의존적이며, 픽셀(230) 구성 포토닉층들(331R, 331G 및 331B)의 각각의 관련된 기여를 제어하기 때문에, 픽셀(230)내로 주입되는 전류의 값 또는 증가적으로 그의 콘택트들 양단의 전압값은 픽셀(230)의 스펙트럼 방출 궤적을 따르는 컬러 포인트 및 광속을 제어한다. 적색 내지 청색 스펙트럼 영역으로부터의 픽셀(230) 광 방출의 광속이 픽셀(230) 전류 주입 레벨 또는 증가적으로 전압 레벨에 비해 시스템적으로 더 높기 때문에, 변조된 컬러 포인트에서의 픽셀(230)의 측광 루미넌스(photometric luminance)(인지되는 밝기)는 변조된 컬러 포인트의 관련된 지속 시간(또는 관련된 변조 시간(T_m/T_F); T_F 는 디스플레이 프레임 기간임)을 이용하여 제어된다. 이것이 의미하는 것은, 픽셀(230)의 컬러 및 밝기 모두가 픽셀(230)의 전류 주입 레벨 또는 증가적으로 전압 레벨에 의해 제어된다는 것이다.

[0102] *컬러 프라이머리들*

[0103] 이전 실시 예들에서 설명된 픽셀(230) 구동 방법들 중 하나를 이용하면, M-QPI 이미저(200) 픽셀(230)의 색도(컬러) 및 밝기(또는 크로마(chroma) 및 루마(luma))는 다수의 이산 CW 또는 PW 전압 레벨들 또는 단일 CW 또는 PW 가변 전압을 이용하는, 본 명세서에서 설명된 다수의 픽셀 변조 방법들 중 하나를 이용하여 변조될 수 있다. 선택된 이산 또는 가변 전압 레벨들은 픽셀(230) 스펙트럼 방출 궤적을 따르는 다수의 원색 포인트들을 합성하도록 시 다중화되며, 본 명세서에서는 이들 합성된 컬러 포인트들을 간단히 "컬러 프라이머리들"이라고 지칭하는데, 그들은 후속적으로 디스플레이(비디오) 프레임 기간(T_F)동안 픽셀(230) 광 방출 컬러 및 밝기를 변조하는데 이용된다. 픽셀(230) 광 방출 스펙트럼 궤적을 따르는 임의 포인트에서의 픽셀(230) 광 방출이 픽셀(230) 스펙트럼 색역 R, G 및 B 코너들로부터의 광 방출의 가중합이기 때문에, 이들 포인트들을 선택하는 것은, 그와 연관된, 픽셀(230) 스펙트럼 색역 RGB 코너들로부터의 광 방출의 가중합을 선택하는 것과 효과적으로 동일하다.

[0104] 픽셀(230) 방출 스펙트럼 궤적을 따르는 임의 컬러 포인트가 픽셀 구동기(455)들에 의해 픽셀(230)로 제공될 대응하는 구동 전압 레벨을 적당하게 선택함에 의해 선택될 수 있기 때문에, 스펙트럼 색역 RGB 코너들을 포함하는, 픽셀(230) 스펙트럼 궤적을 따르는 컬러 포인트들(c)의 임의 적당하게 선택된 세트가 변조 컬러 프라이머리들로서 선택될 수 있으며, 그에 따라 픽셀 구동기들(455)에 의해 픽셀들(230)에 제공될 그들의 대응하는 구동

전압 레벨을 선택하고, 그 다음 디스플레이(비디오) 프레임 기간(T_F) 동안 적당한 비율, 즉 $\tau_c = T_{mc}/T_F$ 이 들 선택된 전압 레벨을 시간 다중화함으로써 픽셀(230)의 광 방출의 원하는 컬러 및 밝기를 변조할 수 있게 된다.

[0105] 디스플레이 백색 포인트

[0106] 픽셀(230) 밝기의 변조는 디스플레이 백색 포인트의 선택된 밝기 레벨과 관련된다. 픽셀(230) 스펙트럼 색역 RGB 코너들이 컬러 프라이어머리들로서 선택되는 실시 예에 있어서, RGB 컬러 프라이어머리들의 디스플레이 최대 밝기 레벨은 원하는 백색 포인트 밝기를 달성하는데 요구되는 컬러 프라이어머리들의 밝기 값이다. 본 실시 예에 있어서, 선택된 컬러 프라이어머리들이 픽셀(230) 스펙트럼 색역 RGB 코너들이기 때문에, 그들의 컬러 및 밝기는 픽셀(230)의 발광층(331)들의 각각으로부터의 주도적인 스펙트럼 방출에 대응한다. 따라서, 디스플레이 백색 포인트(W)의 밝기(L_W)와 색도 좌표(W_x, W_y) 들은, 아래의 수학적 식 2-1 및 2-2에 나타난 바와 같이 M-QPI 이미지 픽셀(230)의 RGB 발광층들(331R, 331G 및 331B)의, 밝기(L_R, L_G, L_B) 및 색도 좌표($(R_x, R_y), (G_x, G_y)$ 및 (B_x, B_y))에 의해 결정된다.

[0107] 백색 포인트 W의 밝기: $L_W = \alpha_W L_R + \beta_W L_G + \gamma_W L_B$ 수학적 식 2-1

[0108]
$$\alpha_W + \beta_W + \gamma_W = 1$$

[0109] 컬러 포인트 W의 색도 좌표들: $W_x = \alpha_W R_x + \beta_W G_x + \gamma_W B_x$ 수학적 식 2-2

[0110]
$$W_y = \alpha_W R_y + \beta_W G_y + \gamma_W B_y$$

[0111] 추가적인 실시 예에 있어서, 픽셀(230) 스펙트럼 궤적을 따르는 적당히 선택된 컬러 포인트들의 세트는 픽셀(230)의 컬러 및 밝기의 변조를 위한 컬러 프라이어머리들로서 이용된다. 본 실시 예에 있어서, 그러한 컬러 포인트가 변조 컬러 프라이어머리로서 이용될 경우의 픽셀(230) 스펙트럼 궤적을 따르는 임의 컬러 포인트(c)의 최대 밝기 레벨은, 원하는 디스플레이 백색 포인트 밝기를 달성하는데 요구되는 컬러 포인트의 밝기 값이다.

[0112] 도 6a에는 픽셀 변조 컬러 프라이어머리들로서 이용되는 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 따르는 다수의 후보 컬러 포인트들(c)의 예시가 도시된다. 본 예시에 있어서, 도 6a에 도시된 예시에 의해, 원하는 디스플레이 백색 포인트(W)는 D65로 되도록 선택되는데, 이는 6500° K 디스플레이 백색 포인트 온도에 대응한다. 도 6a에 도시된 예시적인 후보 컬러 포인트들을 포함하는, 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 따르는 임의 컬러 포인트들(c)의 색도 좌표(c_x, c_y) 및 밝기(L_c)는, 아래의 수학적 식 2-3, 2-4 및 2-5에 의해 나타난 바와 같이 M-QPI 이미지 픽셀(230) RGB 발광층(331R, 331G 및 331B)의 색도 좌표($(R_x, R_y), (G_x, G_y)$ 및 (B_x, B_y))와 밝기 (L_R, L_G, L_B)에 의해 결정된다.

[0113] 컬러 포인트(c)의 밝기: $L_c = \alpha_c L_R + \beta_c L_G + \gamma_c L_B$ 수학적 식 2-3

[0114]
$$\alpha_c + \beta_c + \gamma_c = 1$$

[0115] 컬러 포인트(c)의 색도(x,y) 좌표들: $c_x = \alpha_c R_x + \beta_c G_x + \gamma_c B_x$ 수학적 식 2-4

[0116]
$$c_y = \alpha_c R_y + \beta_c G_y + \gamma_c B_y$$

[0117] R 층이 기여한 컬러 포인트(c)의 밝기의 비율:

[0118]
$$\alpha_c = \left(\frac{L_R}{L_R + L_G + L_B} \right)_c$$
 수학적 식 2-5

[0119] G층이 기여한 컬러 포인트(c)의 밝기의 비율:

[0120]
$$\beta_c = \left(\frac{L_G}{L_R + L_G + L_B} \right)_c$$

[0121] B층이 기여한 컬러 포인트(c)의 밝기의 비율:

$$[0122] \gamma_c = \left(\frac{L_B}{L_R + L_G + L_B} \right)_c$$

[0123] 상술한 바와 같이, 픽셀(230) 스펙트럼 궤적을 따르는 각 컬러 포인트(c)에서의 M-QPI 이미저(200) 픽셀(230) 발광 RGB층들(331R, 331G 및 331B)의 동시 방출 컬러 비율 $(\alpha_c, \beta_c, \gamma_c)$ 은 픽셀(230)의 주입 전류 레벨(i_c) 또는, 등가적으로, 상술한 바와 같이, 그의 대응하는 구동 전압값(v_c)에 의존한다. 그 다음 상기 수학적 2-5에 있어서의 컬러 포인트(c) 색인 밝기 값들 $(L_R, L_G, L_B)_c$ 은 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 따르는 컬러 포인트(c)에 대응하는 구동 전압값(v_c)에서의, M-QPI 이미저(200) 픽셀(230) 발광 RGB층(331R, 331G 및 331B)의 밝기 (L_R, L_G, L_B) 를 나타낸다.

[0124] 전형적으로, M-QPI 이미저 픽셀(230)을 구비한 것과 유사한 반도체 발광 헤테로-접합 다이오드의 밝기는 다이오드 접합에 걸쳐서의 주입 전류 레벨에 정비례하며, 이는 또한 다이오드 (i, v) 수학적식에 의해 다이오드 전압 구동 레벨과 연관된다.

[0125] 도 6b에는 구동 전압과 연관된 M-QPI 이미저 픽셀(230)의 밝기(또는 루미넌스)가 도시된다. 도 6b의 곡선(620)은 대응하는 전체 듀티-사이클 전압 구동 레벨(v_c)에서 M-QPI 이미저 픽셀(230) 스펙트럼 궤적을 따르는 예시적인 컬러 포인트들(c)의 세트와 연관된 수학적 2-3에 의해 나타난 바와 같은 밝기(또는 루미넌스)(L_c)를 도시한다.

[0126] M-QPI 이미저 픽셀(230) 스펙트럼 궤적을 따르는 컬러 포인트(c)들 중 중간 포인트의 밝기 뿐만이 아니라, 스펙트럼 색역 RGB 코너들에서의 M-QPI 이미저 픽셀(230)의 대응하는 밝기는, 도 6b의 곡선(620)상에 문자 R, G 및 B로 마킹된다(표시된다). 상술한 바와 같이, 스펙트럼 궤적(610)을 따르는 M-QPI 이미저 픽셀(230) 광 방출 및 도 6a에 도시된 스펙트럼 궤적을 따르는 색도의 궤도는, 다이오드 (i, v) 수학적식에 의해 다이오드 전압 구동 레벨과 연관되는, 다이오드 접합 양단의 다이오드 전압 구동 주입 전류 레벨에 직접 연관된다(또는 그 전류 레벨에 의해 제어될 수 있다). 따라서, 도 6a의 곡선(610)과 도 6b의 곡선(620)에 의해 도시된 바와 같이, 수학적 2-4에 나타난 바와 같이 픽셀(230) 전압 구동 레벨(v_c)과 관련하여 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 따라 R→G→B로 가변하는 색도를 가지는 것에 추가하여, M-QPI 이미저(200)의 픽셀(230)로부터의 광 방출은 수학적 2-3에 나타난 바와 같이 픽셀(230) 스펙트럼 궤적을 따라 픽셀(230) 전압 구동 레벨(v_c)에 정비례하여 증가하는 밝기를 가진다. 그러므로, 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 따라 적절하게 선택된 임의 컬러 포인트들(c)의 세트가 픽셀(230) 컬러 및 밝기의 변조를 위해 컬러 프라이머리들로서 이용될 때 디스플레이 백색 포인트 색도 및 밝기를 설정하기 위하여, 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 따르는 각 컬러 포인트(c)와 연관된 시 다중화 비율 $\tau_c = T_{mc}/T_F$ 은, 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 따르는 최대 밝기에 대한 컬러 포인트들(c)과 연관된 밝기를 정규화하는, 계수 $\epsilon_c = L_{max}/L_c = L_B/L_c$ 에 의해 먼저 스케일링된다. 이것은, 도 6b에 도시된 바와 같이, B 컬러 프라이머리 포인트와 연관된 밝기이며, 수학적 2-1에 나타난 바와 같이 디스플레이 백색 포인트 L_W 의 원하는 밝기에 대해 추가로 스케일링된다.

[0127] 도 6b의 곡선(630)에 나타난 결과하는 시 다중화 비율 $\tau_c = T_{mc}/T_F$ 은, 컬러 포인트(c)가 도 6b의 스펙트럼 궤적(610)과 함께 포함된 색역 내부내의 임의 포인트의 밝기 및 컬러를 변조하기 위한 컬러 프라이머리로서 이용되는 경우, 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 따르는 대응하는 컬러 포인트(c)의 최대 밝기 값을 설정한다. 도 6b의 곡선(630)상에 마킹된(표시된) 스펙트럼 색역 RGB 코너들에 대응하는 결과하는 시 다중화 비율 τ_R, τ_G 및 τ_B 은 도 6b의 곡선(630)으로 도시된 예시에 있어서 D-65로서 선택되는, 디스플레이를 위한 목표 백색 포인트로서 이용되는 원하는 백색 포인트 밝기를 생성하는데 이용되는 시 다중화 비율들이다.

[0128] 목표 디스플레이 백색 포인트 밝기를 생성하기 위한 스펙트럼 색역 RGB 코너들에 대응하는 시 다중화 비율들 τ_R, τ_G 및 τ_B 을 이용하는 것 외에, 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 따르는 임의 적당하게 선택된 컬러 포인트들(c)의 세트의, 도 6b의 곡선(630)으로 도시된 시간 다중화 비율 $\tau_c = T_{mc}/T_F$ 은, 목표 디스플레이 백색 포인

트 밝기를 생성하는데 이용될 수 있다. 일 실시 예에 있어서, 목표 디스플레이 백색 포인트 밝기를 생성하기 위해 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 따르는 컬러 포인트들(c)의 세트를 선택하기 위한 기준은, 선택된 스펙트럼 색역 RGB 코너에서 목표 백색 포인트 및 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)으로 연장되는 크로스 색역 라인(cross gamut line)의 교차점에 놓여 있는, 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 따르는 컬러 포인트들(c)과 스펙트럼 색역 RGB 코너들 중 단지 하나만을 선택하는 것이다. 예를 들어, 도 6a를 참조하면, 청색(B) 색역 코너는, 청색(B) 색역 코너에서 목표 디스플레이 백색 포인트 W로 연장되는 도 6a에 있어서의 라인(640)의 교차점에 있는 컬러 포인트 Y와 함께, 목표 디스플레이 백색 포인트 밝기를 생성하기 위해, 도 6b의 곡선(630)상에 표시된 그들의 대응하는 시 다중화 비율 $\tau_c = T_{mc}/T_F$ 에 이용될 수 있다.

[0129] 또 다른 실시 예에 있어서, 목표 디스플레이 백색 포인트 밝기를 생성하기 위해 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 따르는 컬러 포인트들(c)의 세트를 선택하는 기준은, 목표 디스플레이 백색 포인트와 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 포함하는 임의 색역 코드(gamut chord)의 교차점에 있는 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 따르는 임의 컬러 포인트 페어(color point pair)(c_1, c_2)를 선택하는 것이다. 예를 들어 도 6a를 참조하면, 목표 디스플레이 백색 포인트 W를 통과하는 색역 코드가 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)과 교차하는 곳의 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 따르는 2개의 컬러 포인트들의 페어(c_1, c_2)는, 목표 디스플레이 백색 포인트 밝기를 생성하기 위해 도 6b의 곡선(630)에 의해 정의된 그들의 대응하는 시 다중화 비율 $\tau_c = T_{mc}/T_F$ 에 이용될 수 있다.

[0130] 요구된 밝기로 목표 디스플레이 백색 포인트 W를 합성하기 위해 색역 RGB 코너들이 이용되는 실시 예에서는, 3개의 픽셀 구동 전압 레벨이 도 6b의 곡선(630)에 의해 정의된 다중화 비율들 τ_R, τ_G 및 τ_B 로 시 다중화되도록 요구되는 반면, 나중의 2개의 실시 예들에서는, 요구된 밝기로 목표 디스플레이 백색 포인트 W를 합성하기 위해 단지 2개의 픽셀 구동 전압 레벨들만이 그들의 대응하는 다중화 비율 τ_c 로 시 다중화되도록 요구된다.

[0131] 디스플레이 컬러 포인트

[0132] M-QPI 이미지 픽셀(230)에 의해 변조될 컬러(또는 색도)가 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 따르는 임의 포인트에 있을 경우, 그 컬러는 픽셀(230)을 구동하기 위해 그의 대응하는 전압 레벨을 선택함으로써 변조될 수 있다. M-QPI 이미지 픽셀(230)에 대해 변조되도록 요구된 밝기는, 도 6b의 곡선(630)에 의해 정의된 컬러 포인트의 목표 백색 포인트 시 다중화 비율 $\tau_c = T_{mc}/T_F$ 에 대한 대응하는 시 다중화 비율을 스케일링함에 의해 변조된다. 예를 들어, 그 컬러 포인트에서의 최대 밝기가 M-QPI 이미지 픽셀(230)에 의해 변조되도록 요구되면, M-QPI 이미지 픽셀(230)의 밝기를 변조하기 위해 도 6b의 곡선(630)에 의해 정의된 그의 대응하는 백색 포인트 시 다중화 비율 $\tau_c = T_{mc}/T_F$ 의 최대 값이 이용된다. 유사하게, 예를 들어, 그 컬러 포인트에서의 0.75, 0.5 또는 0.25 밝기가 M-QPI 이미지 픽셀(230)에 의해 변조되도록 요구되면, M-QPI 이미지 픽셀(230)의 밝기를 변조하기 위해, 각각 0.75, 0.5 또는 0.25의 계수에 의해 도 6b의 곡선(630)에 의해 정의된 그에 대응하는 백색 포인트 시 다중화 비율 $\tau_c = T_{mc}/T_F$ 이 스케일링된다.

[0133] M-QPI 이미지 픽셀(230)에 의해 변조될 컬러(또는 색도)가 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)의 내부 색역내의 임의 포인트 P에 있을 경우, 그 컬러는, 도 6b에 도시된 바와 같이, 그들의 대응하는 시 다중화 비율 (τ_R, τ_G, τ_B)과 스펙트럼 색역 RGB 코너들의 픽셀(230) 구동 전압 레벨들 (v_R, v_G, v_B)을 선택함에 의해 변조될 수 있으며, 이들 시 다중화 비율들은 도 6c에 도시된 바와 같이 픽셀(230) 스펙트럼 색역 RGB 코너들의 색도 좌표에 대한 변조될 픽셀 컬러 P의 정규화된 색도 거리에 의해 스케일링된다.

[0134] 본 경우에 있어서 M-QPI 이미지 픽셀(230)에 대해 변조되도록 요구되는 밝기는 목표 백색 포인트에 대한 대응하는 밝기 값에 대한 변조될 밝기 값의 비율에 의해, 스펙트럼 색역 RGB 코너들의 결과하는 시 다중화 비율을 추가로 스케일링함에 의해 변조된다. 그 컬러 포인트 P에서의 최대 밝기가 M-QPI 이미지 픽셀(230)에 의해 변조되도록 요구되면, 스펙트럼 색역 RGB 코너들의 결과하는 시 다중화 비율들의 최대 값들은 변조된 색도에서 M-QPI 이미지 픽셀(230)의 밝기를 변조하는데 이용된다. 유사하게, 예를 들어, 변조된 색도에서의 0.75, 0.5 또는 0.25 밝기가 M-QPI 이미지 픽셀(230)에 의해 변조되도록 요구되면, 스펙트럼 색역 RGB 코너들의 결과하는 시 다중화 비율들의 최대 값은 변조된 색도에서 M-QPI 이미지 픽셀(230)의 밝기를 변조하기 위해, 각각, 0.75, 0.5 또는 0.25의 계수에 의해 추가로 스케일링된다.

[0135] 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)의 내부 색역내의 임의 포인트 P에 있는 M-QPI 이미지 픽셀(230)의 컬러를 변조하

는 대안적인 실시 예에 있어서, 그 컬러는, 색역 코드(650)와의 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)의 교차점을 따르는, 도 6d에 도시된 컬러 포인트 페어(c_1, c_2)에 대응하는 픽셀(230) 구동 전압 레벨들 (v_{c1}, v_{c2})을, 도 6b에 도시된 바와 같은 컬러 포인트 페어 (c_1, c_2)에 대응하는 시 다중화 비율들 (τ_{c1}, τ_{c2})로 선택함에 의해 변조될 수 있으며, 시 다중화 비율은 도 6d에 도시된 바와 같이 2개의 컬러 포인트들 (c_1, c_2)의 색도 좌표에 대한 변조될 픽셀 컬러 P의 정규화된 색도 거리에 의해 스케일링된다. 이 경우에 있어서 M-QPI 이미지 픽셀(230)에 대해 변조되도록 요구된 밝기는, 도 6b의 곡선(630)에 의해 도시된 목표 백색 포인트에 대한 그들의 밝기 값들에 대한 변조될 밝기 값의 비율에 의해 2개의 컬러 포인트들(c_1, c_2)의 결과하는 시 다중화 비율들을 추가로 스케일링함에 의해 변조된다.

[0136] 예를 들어, 컬러 포인트 P에서 최대 밝기가 M-QPI 이미지 픽셀(230)에 의해 변조되도록 요구되면, 2개의 컬러 포인트들 (c_1, c_2)의 결과하는 시 다중화 비율의 최대 값이, 변조된 색도에서 M-QPI 이미지 픽셀의 밝기를 변조하는데 이용된다. 유사하게, 변조된 색도에서 0.75, 0.5 또는 0.25 밝기가 M-QPI 이미지 픽셀(230)에 의해 변조되도록 요구되면, 2개의 컬러 포인트들(c_1, c_2)의 결과하는 시 다중화 비율의 최대값들은 변조된 색도에서 M-QPI 이미지 픽셀(230)의 밝기를 변조하기 위해, 각각, 0.75, 0.5 또는 0.25의 계수에 의해 추가로 스케일링된다.

[0137] 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)의 내부 색역내의 임의 포인트 P에서의 M-QPI 이미지 픽셀(230)의 컬러(또는 색도)를 변조하는 대안적인 실시 예에 있어서, 그 컬러는, 색역 최소 폭 코드(gamut minimum width chord)(655)와의 픽셀(250) 스펙트럼 궤적(610) 교차점을 따르는, 도 6e에 도시된, 컬러 포인트 페어 (c'_1, c'_2)에 대응하는 픽셀(230) 구동 전압 레벨 ($v_{c'1}, v_{c'2}$)을, 도 6b에 도시된 바와 같이 컬러 포인트 페어 (c'_1, c'_2)에 대응하는 시 다중화 비율 ($\tau_{c'1}, \tau_{c'2}$)로 선택함에 의해, 변조될 수 있으며, 이들 시 다중화 비율들의 각각은 도 6d에 도시된 바와 같이 2개의 컬러 포인트들 (c'_1, c'_2)의 색도 좌표에 대한 변조될 픽셀 컬러 P의 정규화된 색도 거리에 의해 스케일링된다.

[0138] 본 경우에 있어서 M-QPI 이미지 픽셀(230)에 대해 변조되도록 요구된 밝기는 도 6-2의 곡선(630)에 도시된 목표 백색 포인트에 대한 그들의 대응하는 밝기 값들에 대한 변조될 밝기 값의 비율에 의해 2개의 컬러 포인트들 (c'_1, c'_2)의 결과하는 시 다중화 비율을 추가로 스케일링함에 의해 변조된다. 예를 들어, 컬러 포인트 P에서의 최대 밝기가 M-QPI 이미지 픽셀(230)에 의해 변조되도록 요구되면, 컬러 포인트 페어 (c'_1, c'_2)의 결과하는 시 다중화 비율들의 최대 값이 변조된 색도에서 M-QPI 이미지 픽셀(230)의 밝기를 변조하는데 이용된다. 유사하게, 예를 들어, 변조된 색도에서 0.75, 0.5 또는 0.25 밝기가 M-QPI 이미지 픽셀(230)에 의해 변조되도록 요구되면, 컬러 포인트 페어 (c'_1, c'_2)의 결과하는 시 다중화 비율들의 최대 값은, 변조된 색도에서 M-QPI 이미지 픽셀(230)의 밝기를 변조하기 위해, 각각, 0.75, 0.5 또는 0.25의 계수에 의해 추가로 스케일링된다.

[0139] 요구된 밝기로 디스플레이 포인트 P를 변조하기 위해 색역 RGB 코너들이 이용되는 실시 예에서는, 3개의 픽셀 구동 전압 레벨들이 도 6b의 곡선(630)에 의해 정의된 다중화 비율 τ_R, τ_G 및 τ_B 로 시 다중화되도록 요구되는 반면, 후자의 2개의 실시 예들에서는, 요구된 밝기로 디스플레이 포인트 P를 변조하기 위해 단지 2개의 픽셀 구동 전압 레벨만이 그들의 대응하는 다중화 비율들 τ_c 로 시 다중화되도록 요구된다.

[0140] 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)과의 최소 폭 색역 코드(655)의 교차에 의해 정의되는 컬러 포인트들 (c'_1, c'_2)의 페어가 요구된 밝기로 디스플레이 포인트 P를 변조하는데 이용되는 실시 예에 있어서, 최소 폭 색역 코드(655)의 위치는 컬러 포인트들 (c'_1, c'_2)의 색도 좌표를 고유하게 정의(식별)한다. 그러므로, 디스플레이 포인트 P의 색도를 특정하는데 있어서는, 코드 폭(chord width)에 대한 코드 단부 컬러 포인트들 (c'_1, c'_2)까지의 디스플레이 포인트 P의 정규화된 색도 거리와 디스플레이 포인트 P를 포함하는 컬러 색역(610)내의 최소 폭 색역 코드(655)의 위치만을 특정하는 것으로 충분하다.

[0141] 정규화된 코드 색도 거리는 컬러 포인트 페어(c'_1, c'_2)에 대한 색역 코드 폭내의 디스플레이 포인트 P의 위치를 특정하지만, 컬러 색역(610)내의 최소 폭 색역 코드(655)의 위치는 컬러 포인트 페어 (c'_1, c'_2)를 식별한다. 따

라서, 정규화된 코드 색도 거리에 의해 스케일링될 때 그들의 대응하는 픽셀(2300 구동 전압 레벨들 (v_{cl_1}, v_{cl_2})) 및 그들의 대응하는 시 다중화 비율들 $(\tau_{cl_1}, \tau_{cl_2})$ 은 디스플레이 포인트 P의 특정된 색도를 생성한다. 디스플레이 포인트 P의 특정된 밝기는, 도 6b의 곡선(630)에 도시된 목표 백색 포인트에 대한, 그들의 대응하는 밝기 값에 대한 변조될 밝기 값의 비율에 의해 결과하는 시 다중화 비율 $(\tau_{cl_1}, \tau_{cl_2})$ 의 추가 스케일링에 의해 변조된다.

[0142] 입력 데이터 전환

[0143] 이전 실시 예에 있어서, 디스플레이 컬러 포인트 P의 컬러 및 밝기의 변조는 2개의 색도 관련 값들과 밝기 관련 값의 특정을 요구한다. 제 1 색도 값은 최소 폭 코드(655)내의 컬러 포인트 P의 위치인 반면, 제 2 색도 값은 픽셀(230) 컬러 색역(61)내의 최소 폭 색역 코드(655)의 위치이다. 밝기 관련 값은, 디스플레이 백색 포인트 W의 밝기에 대한 디스플레이 포인트 P의 밝기를 특정한다. 색도 및 밝기 관련 값들은, 전형적으로, 예를 들어 CIExyY 컬러 공간 표준의 경우에서 처럼, 2개의 색도 좌표 값들(x, y)과 밝기 Y의 견지에서 디스플레이 컬러 포인트 P에 대해 특정되는 디스플레이 입력 데이터로부터 추출된다. 픽셀(230) 컬러 색역(610)내의 최소 폭 색역 코드(655)의 위치는 색역의 R 정점에서부터 B 정점 및 G 정점까지 연장되는, 주 색역 코드의 색도 거리에 대한 그의 위치의 견지에서 특정된다.

[0144] 대안적으로, 디스플레이 컬러 포인트 P의 색도 좌표는 2개의 축에 대해 정의되는데, 한 축은 색역의 R 정점에서 B 정점으로 연장되는 주 색역 코드이고, 다른 축은 색역의 G 정점에서 연장되어 디스플레이 백색 포인트 W를 통과하여 주 색역 코드 축과 교차하는 라인이다. 예를 들어, CIExyY 컬러 공간 또는 RGB 표준일 수 있는, 입력 데이터 포맷의 변환은, 세트 변환 매트릭스에 기초하여 입력 데이터를 본 실시 예의 컬러 공간들 중 한 공간으로 변환하는, 컬러 공간 전환 동작(도 4c의 처리 블록(461))을 통해 이루어진다.

[0145] 색역 제어

[0146] M-QPI 이미지 픽셀(230)의 디스플레이 색역은, NTSC 또는 HDTV 색역과 같은 표준 디스플레이 색역과 매칭되도록 조정될 수 있으며, 또는 비디오 프레임 입력의 디스플레이 색역에 동적으로 적응적으로 되도록 조정될 수 있다 (미국 특허 번호 제8,098,265호 및 제9,524,682호). 어느 경우든, 특정된 시 다중화 비율로 디스플레이 백색 포인트 W를 변조하는데 기여하는 디스플레이 픽셀(230) 변조 프레임에 추가적인 타임 슬롯이 추가된다. 백색 포인트 W의 시 다중화는, 변조되는 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 따르는 컬러 포인트(c)의 색도를, 추가된 백색 포인트 W의 시 다중화 비율과 동일한 비율만큼, 백색 포인트 W로 시프트시킨다.

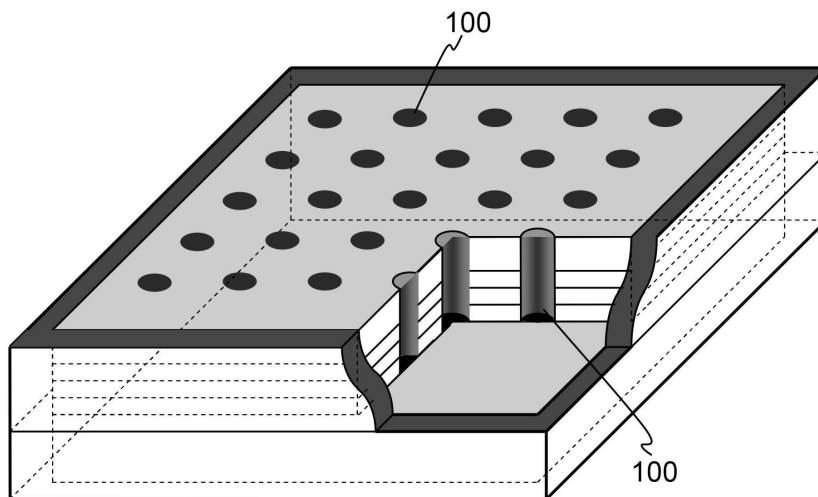
[0147] 요구된 비율로 디스플레이 백색 포인트 W를 추가하는 것은, 적당한 시 다중화 비율로 컬러 포인트(c)의 상호 색역 컬러 포인트(reciprocal gamut color point, c')를 변조함에 의해 달성된다. 이것은, 색역 컬러 포인트(c')의 추가된 비율이, 컬러 포인트(c)의 시 다중화 비율의 일부와 조합되어, 컬러 포인트(c)의 색도를 요구된 양만큼 백색 포인트 W로 시프트시키는데 필요한 백색 포인트 W의 비율을 생성하도록, 실행된다. 그 다음, 이것은 그 스펙트럼 색역 컬러 포인트(c)와 그의 상호 색역 컬러 포인트(c')의 주어진 시간 합성 비율(temporal mixing ratio)로 구성되는 각 컬러 포인트 변조 주기를 유발하며, 2개의 컬러 포인트들(c, c')의 시간 합성 비율에 비례한 양만큼, 백색 포인트 W를 향해 변조된 컬러 포인트(c)가 조정될 수 있게 한다.

[0148] 픽셀(230)에 대한 2개의 대응하는 전압 구동 레벨들($v_c, v_{c'}$)을 요구하는 이러한 컬러 변조 방법은, 픽셀(230)의 2개의 대응하는 전압 구동 레벨들 ($v_c, v_{c'}$)의 시 다중화 비율에 비례한 비율만큼, 백색 포인트 W를 향해, 변조되는 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)을 따르는 컬러 포인트(c)의 색도를 조정할 수 있게 한다. 이러한 색도 조정 방법은, 예를 들어, NTSC 또는 HDTV 색역과 같은 표준 디스플레이 색역과 매칭되도록, 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)에 의해 정의된 색역을 조정할 수 있게 한다. 유사하게, 이러한 색도 조정 방법을 이용하면, 픽셀(230) 스펙트럼 궤적(610)에 의해 정의된 색역이, 입력 비디오 프레임 색역과 매칭되도록 비디오의 각 프레임에 기초하여 동적으로 조정될 수 있게 된다. 후자의 방법은, 변조된 디스플레이 픽셀(230)의 색도 값을 나타내기 위해 보다 짧은 워드 길이를 이용하는 압축된 입력 비디오 포맷을 이용하기 위한 기능 및 디스플레이 밝기를 증가시킨다. 예를 들어 상술한 실시 예의 설명에 서술된, 예를 들어, 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드 구조(300)의 컬러 및 밝기를 제어하는 방법들은, 발광 다이오드 구조로부터 방출되는 광의 컬러가 그의 주입 전류의 함수인 임의의 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드 구조에 적용될 수 있다.

- [0149] 그러한 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드 구조는, 전형적으로, 다수의, 즉 적어도 2개의 활성 서브 영역들을 포함할 수 있으며, 컬러-조정 가능 반도체 발광 다이오드 구조로부터 방출되는 광의 광속 및 색도가, 구조의 활성 서브 영역들 각각으로부터 방출된 광의 광속 및 색도의 주입 전류 의존형 가중 합으로 되도록, 각각의 활성 서브 영역으로의 캐리어 주입은 캐리어 주입 레벨의 함수이다.
- [0150] 상술한 상세한 설명에 있어서, 본 개시는 그의 특정 실시 예들을 참조하여 설명되었다. 그러나, 본 개시의 보다 넓은 사상 및 범주를 벗어나지 않고도 여러 수정 및 변경이 이루어질 수 있음을 알 것이다. 따라서, 고안의 세부 사항 및 도면들은 제한이 아닌 예시적인 것으로 간주된다. 본 기술 분야의 숙련자라면 본 개시의 일부분들이 실시 예에서 상술한 구현과는 다르게 구현될 수 있음을 알 것이다.
- [0151] 예를 들어, 본 기술 분야의 숙련자라면, 본 개시의 M-QPI 이미저(200) 픽셀들(230)이 포토닉 반도체 구조(210)를 구성하는 활성 서브 영역층(330)의 개수, 멀티층 컬러-조정 가능 발광 다이오드 구조(300)의 고안 세부 사항, 픽셀(230)의 특정 고안 세부 사항, M-QPI 이미저(200)의 반도체 제조 절차의 특정 세부 사항 및 M-QPI 이미저(200)에 이미지 데이터 입력을 결합시키는데 필요한 디지털 제어 및 처리의 특정 고안 세부 사항에 대한 많은 변형으로 구현될 수 있음을 알 것이다. 본 기술 분야의 숙련자라면, 기본적인 원리 및 그의 교시로부터 벗어나지 않고도 본 개시의 상술한 실시 예들의 세부 사항에 대해 많은 변경이 이루어질 수 있음을 알 것이다. 그러므로, 본 개시의 범주는 이하의 청구범위에 의해서만 결정되어야 한다.

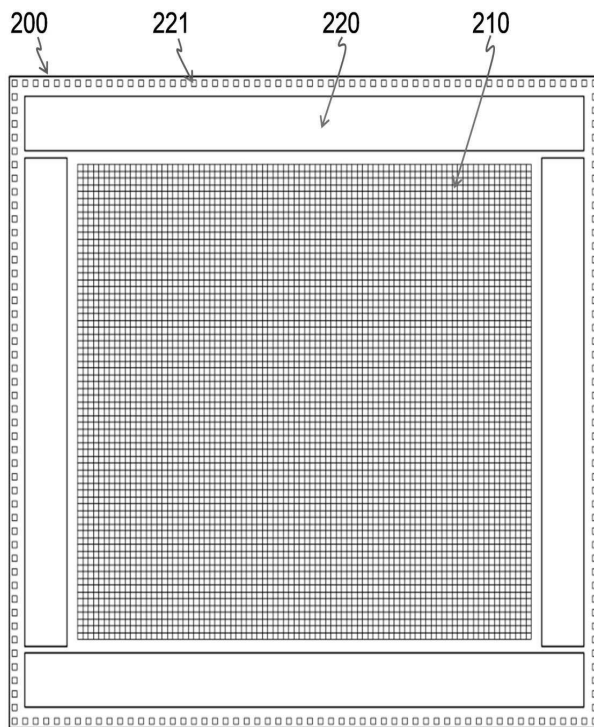
도면

도면1

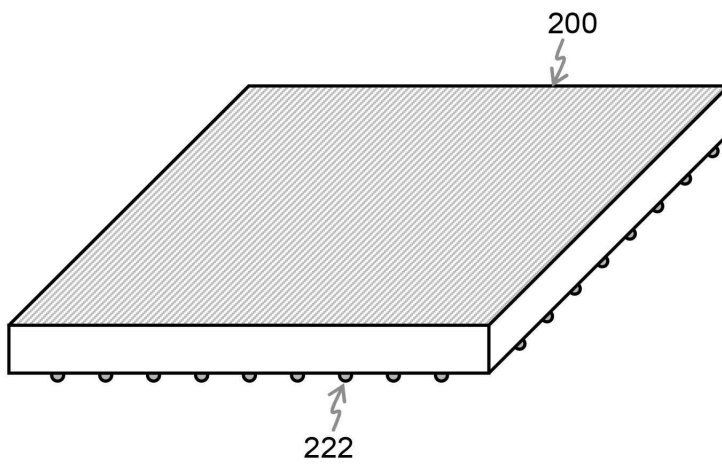


(종래 기술)

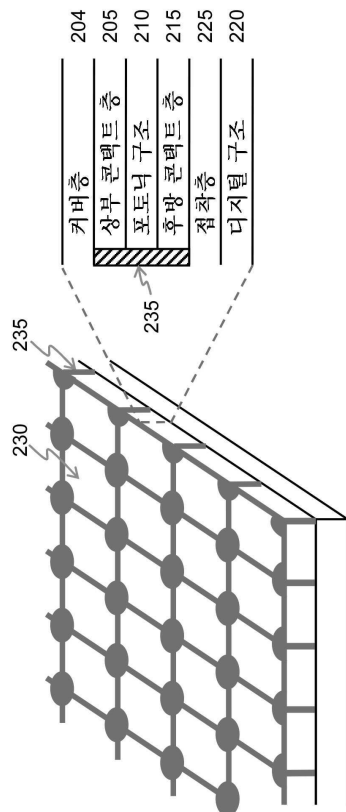
도면2a



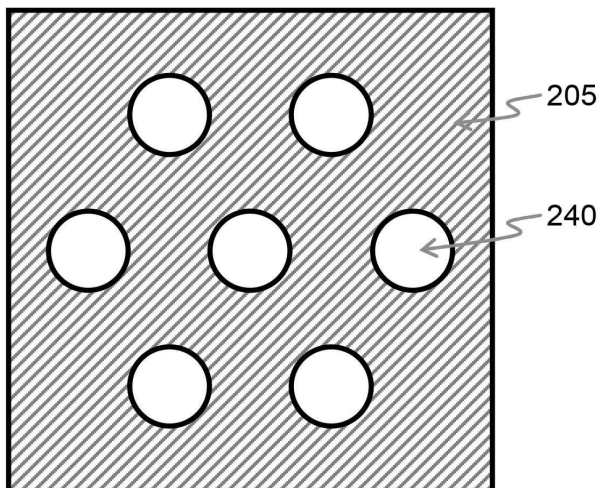
도면2b



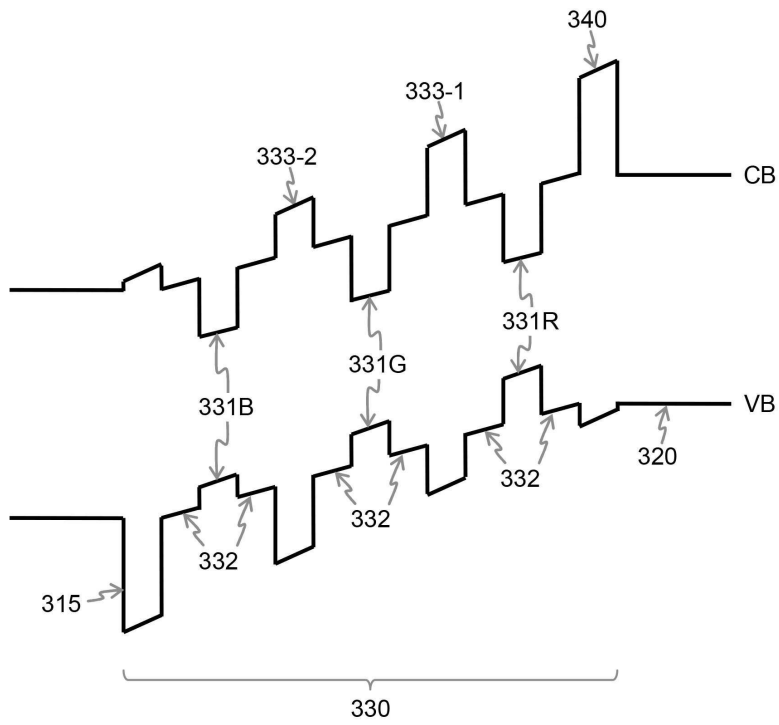
도면2c



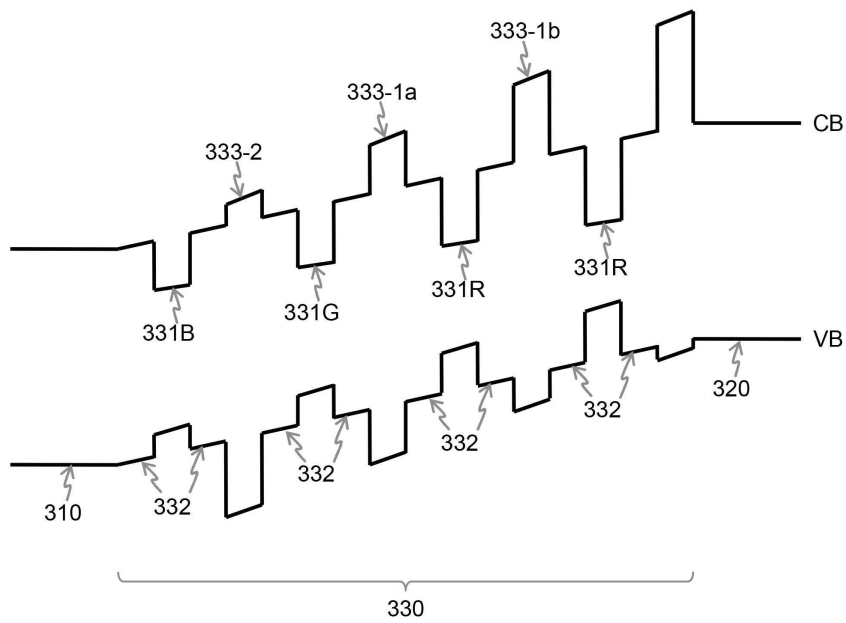
도면2d



도면3b



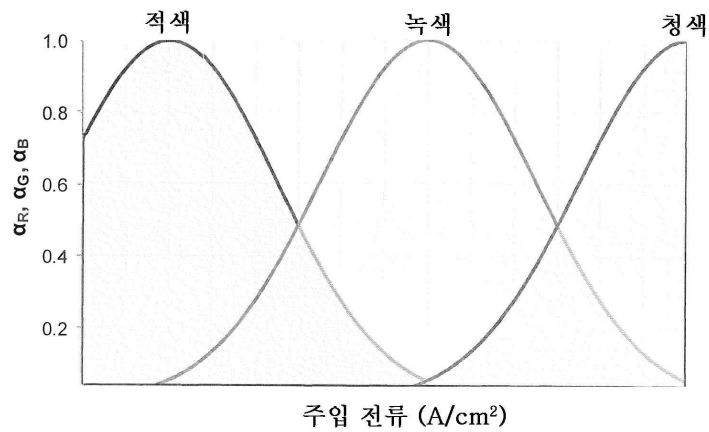
도면3c



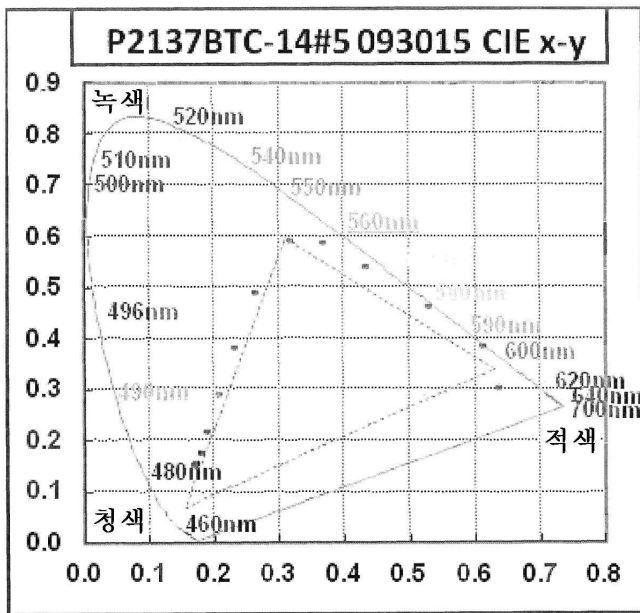
도면3d

332	장벽층	P-도핑층	320
331R	적색 방출 서브 영역	EBL	340
332	장벽층		
333-1	중간 차단층	MQW 활성 영역들	330
332	장벽층		
331G	녹색 방출 서브 영역		
332	장벽층	N-도핑층	310
333-2	중간 차단층	버퍼층	312
332	장벽층	기판	311
331B	청색 방출 서브 영역		
332	장벽층		

도면3e

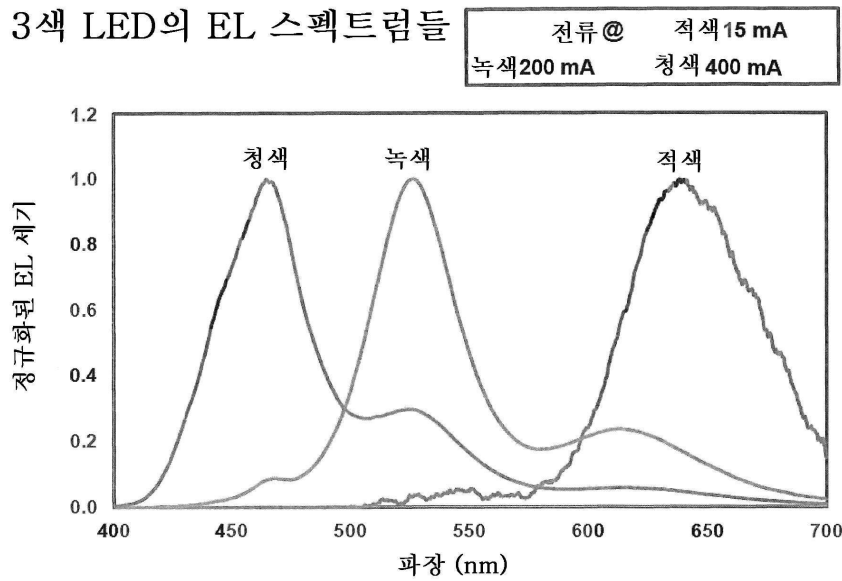


도면3f

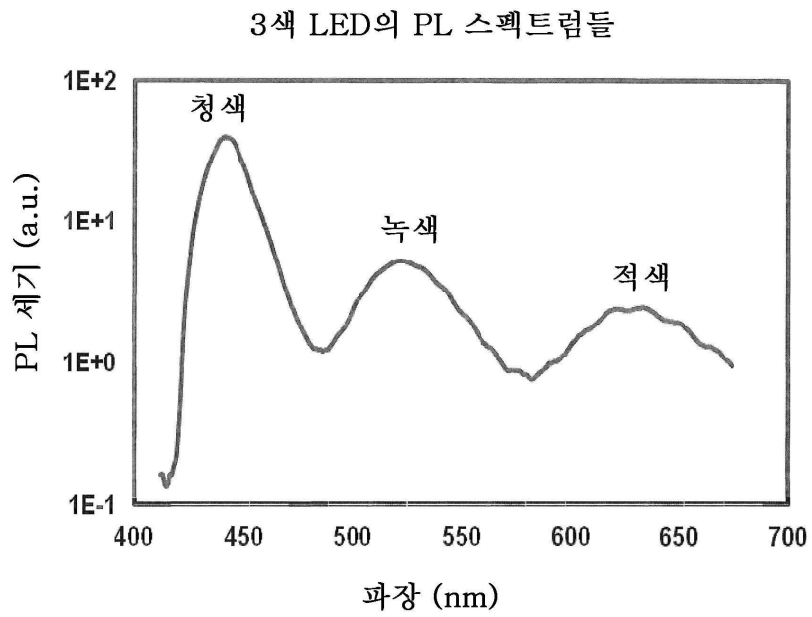


도면3g

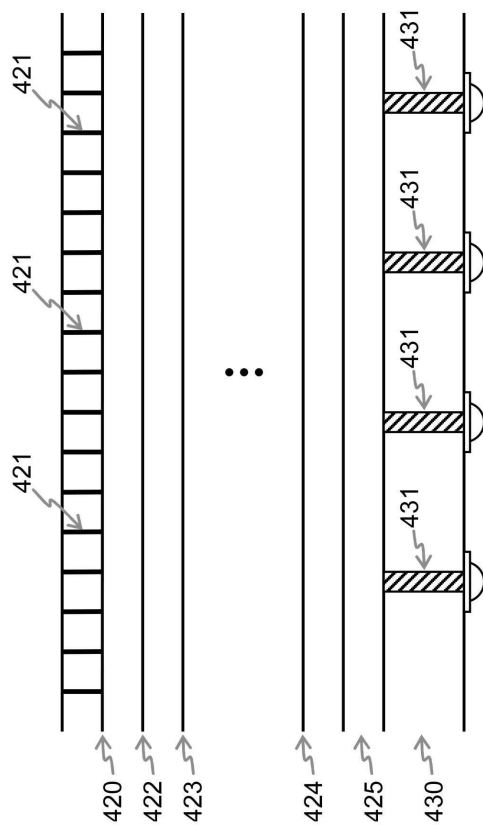
3색 LED의 EL 스펙트럼들



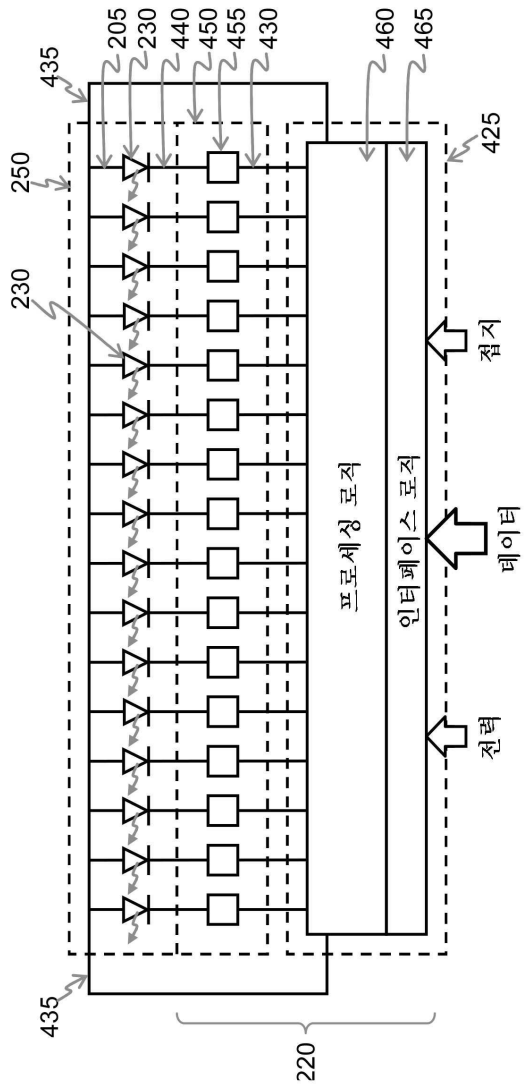
도면3h



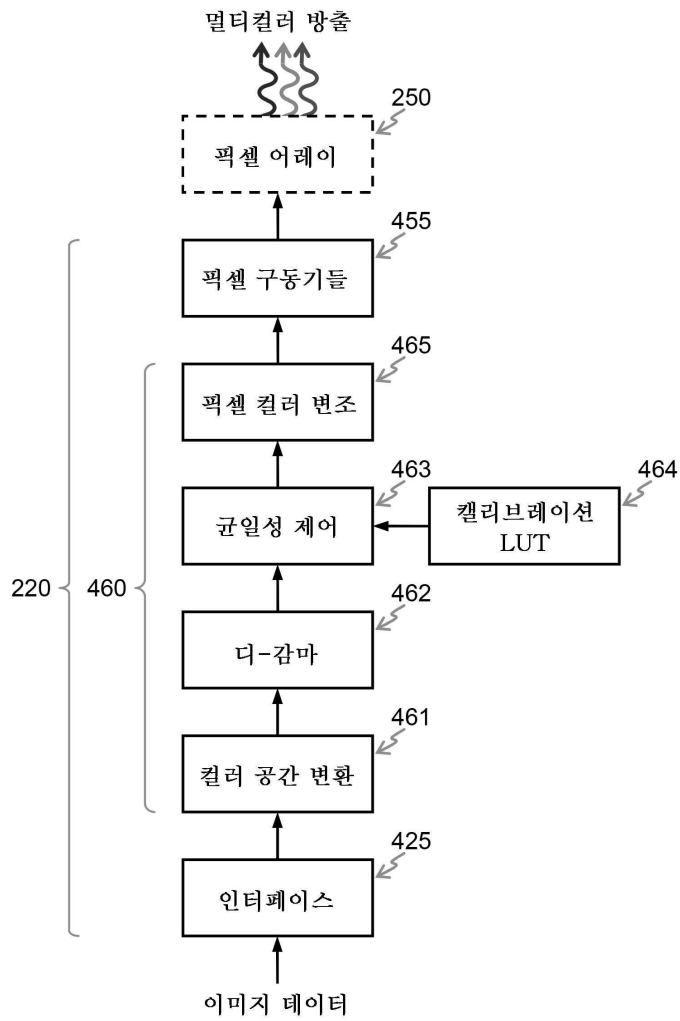
도면4a



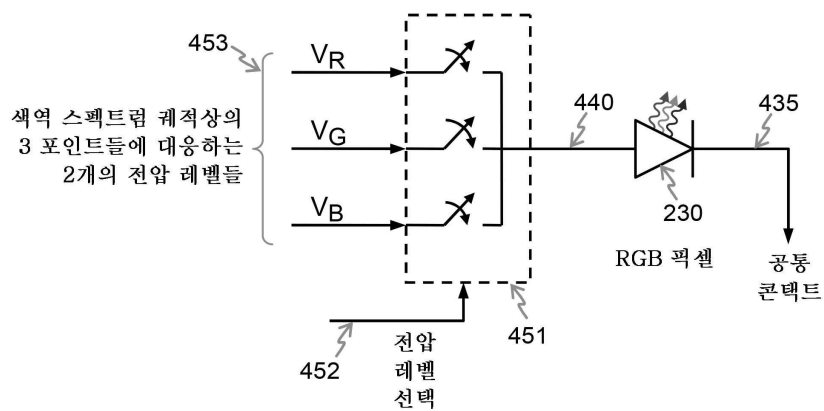
도면4b



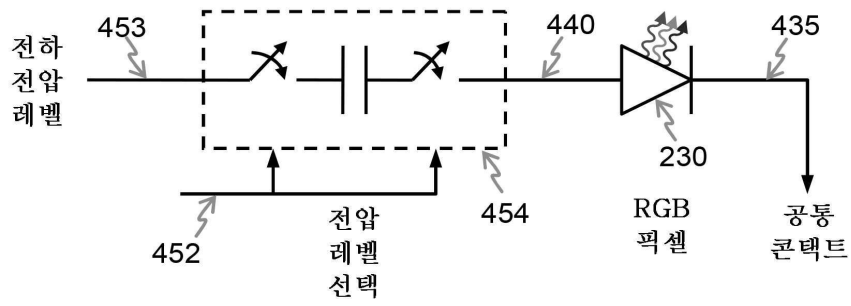
도면4c



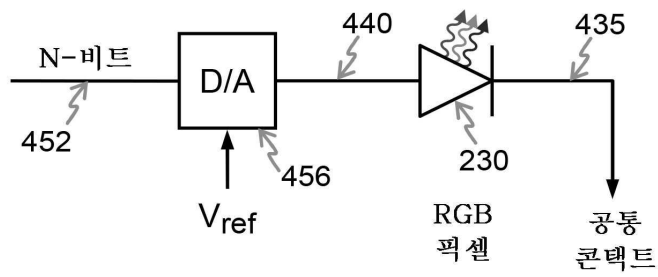
도면4d



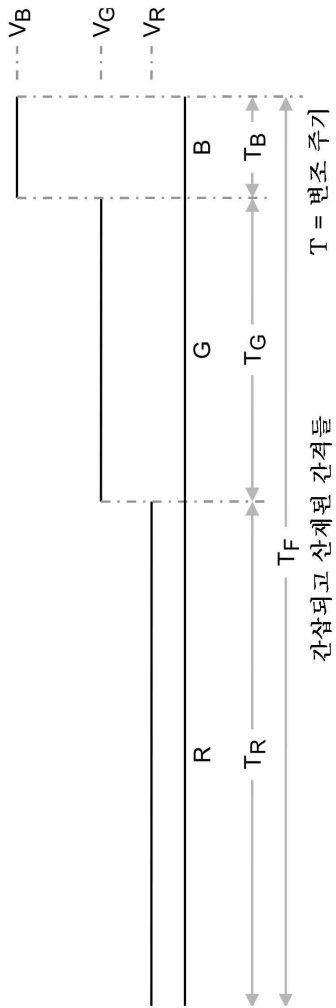
도면4e



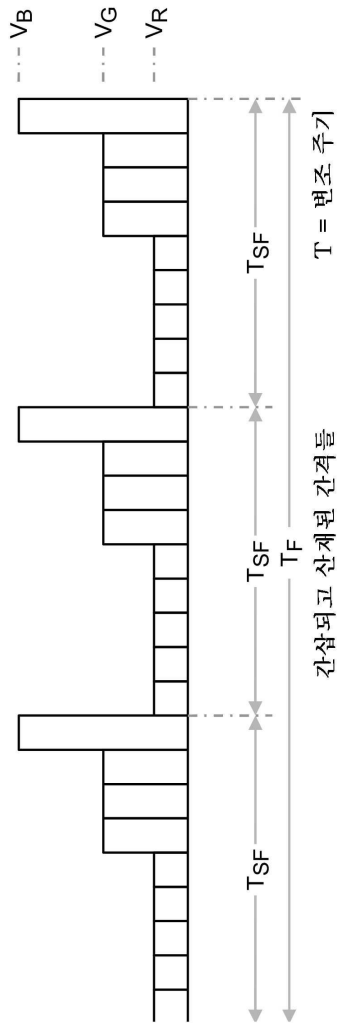
도면4f



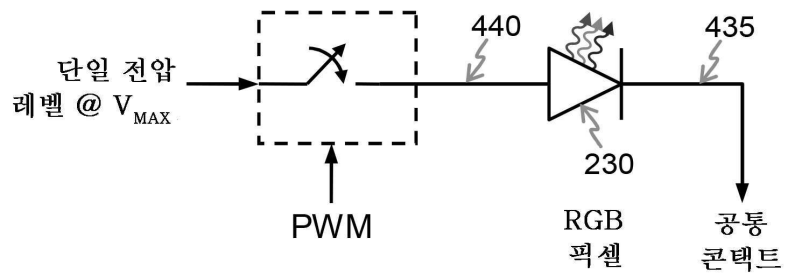
도면4g



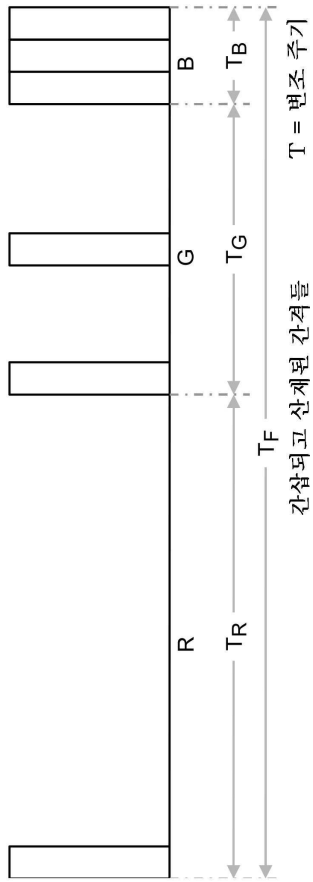
도면4h



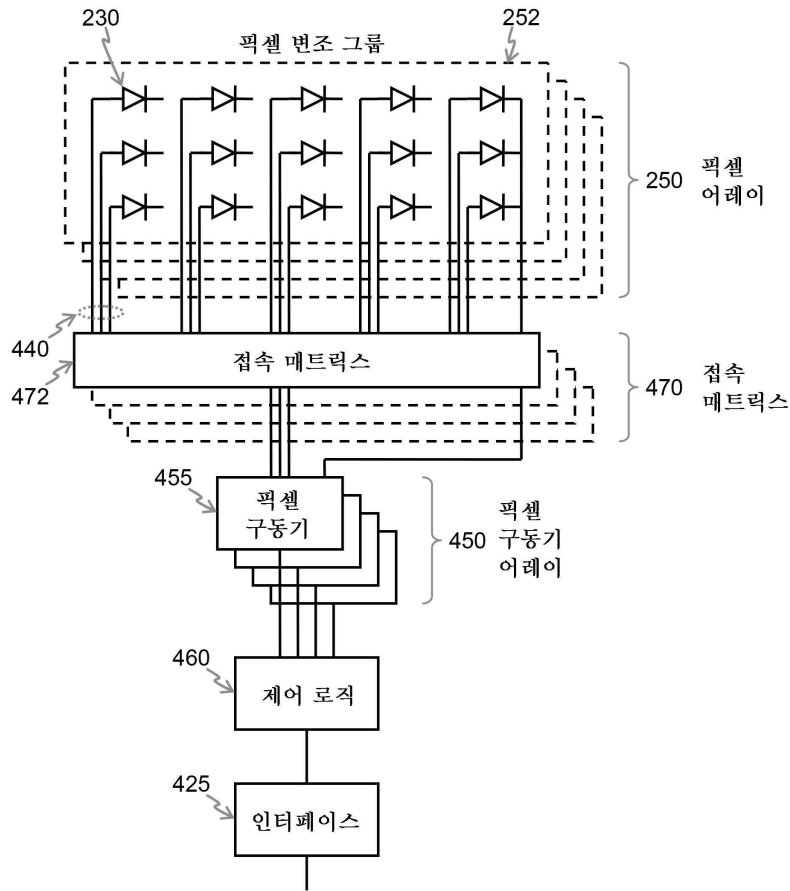
도면4i



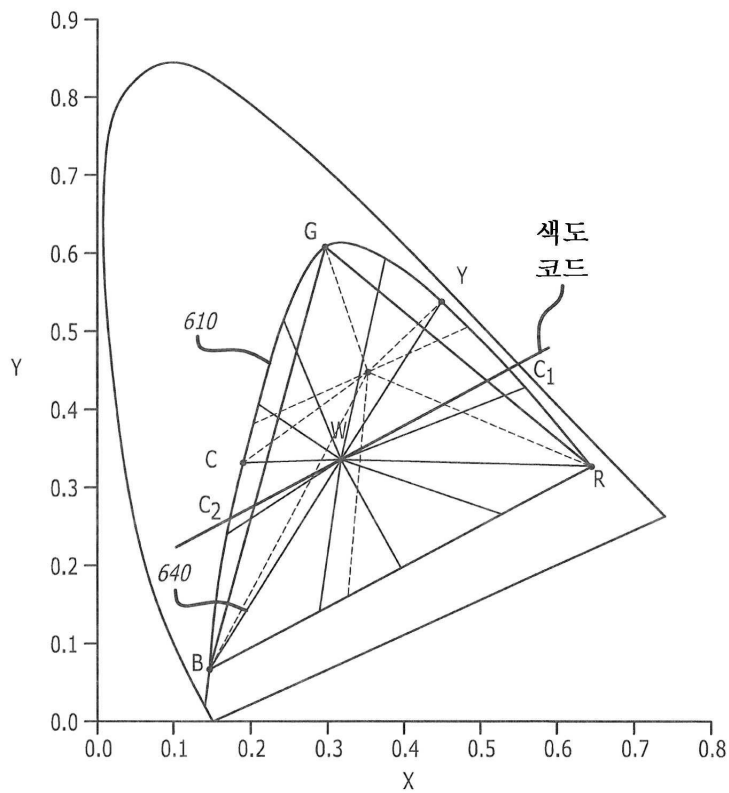
도면4j



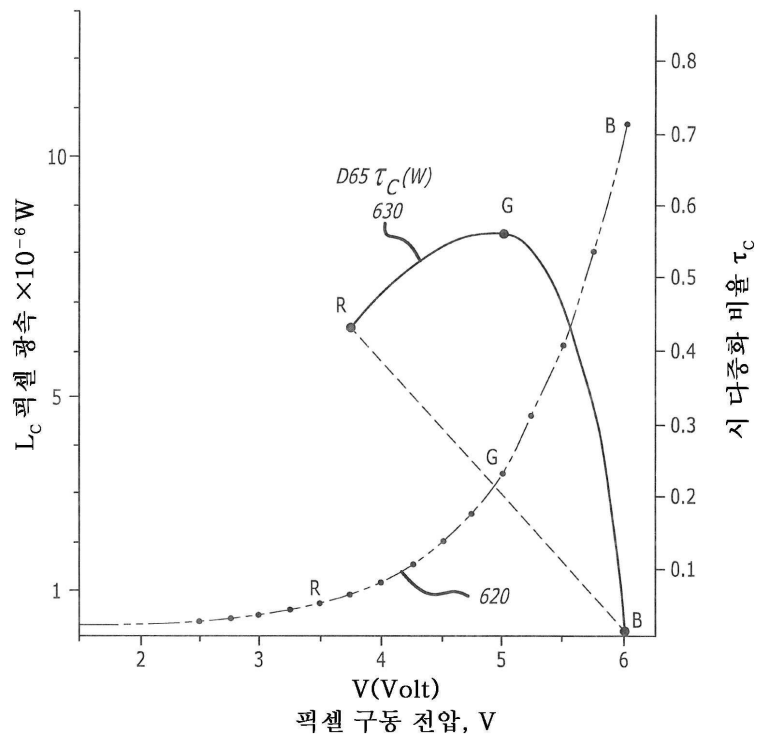
도면5



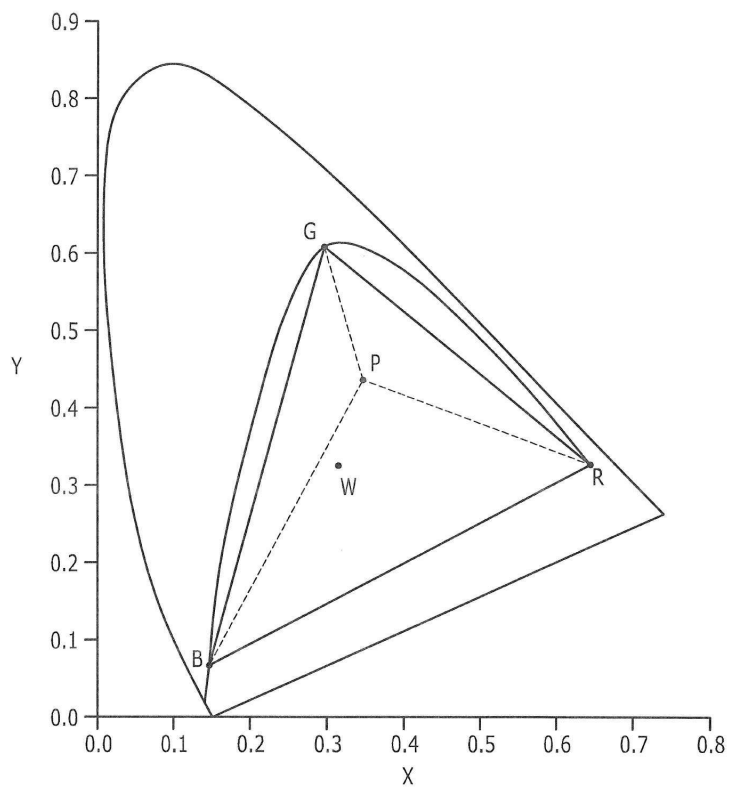
도면6a



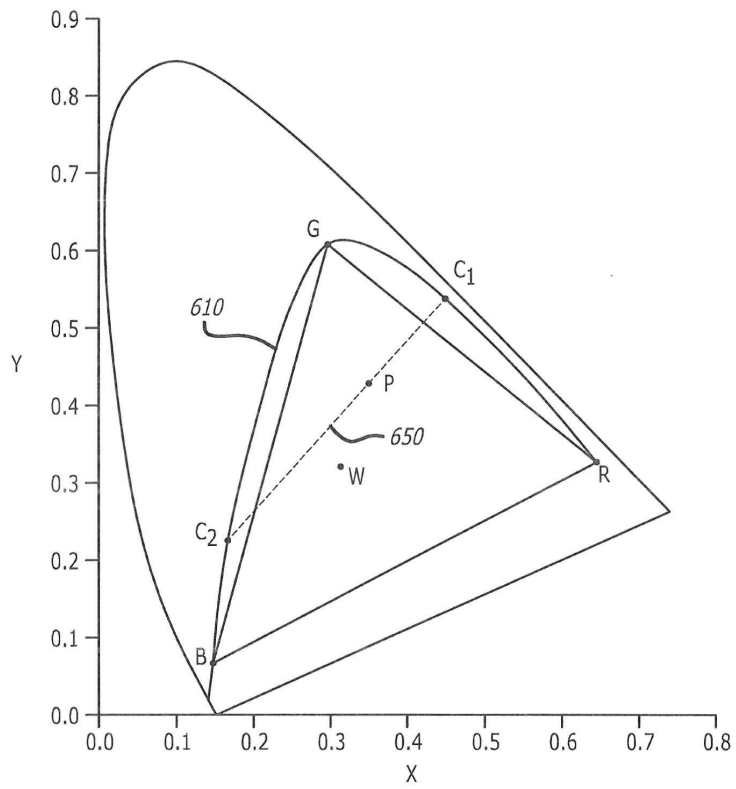
도면6b



도면6c



도면 6d



도면 6e

