



등록특허 10-2145647



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년08월19일
(11) 등록번호 10-2145647
(24) 등록일자 2020년08월11일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 33/50 (2010.01) *H01L 33/00* (2010.01)
H01L 33/02 (2010.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 33/502 (2013.01)
H01L 33/007 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7021999
- (22) 출원일자(국제) 2014년01월02일
심사청구일자 2018년12월28일
- (85) 번역문제출일자 2015년08월13일
- (65) 공개번호 10-2015-0110611
- (43) 공개일자 2015년10월02일
- (86) 국제출원번호 PCT/IB2014/058016
- (87) 국제공개번호 WO 2014/111822
국제공개일자 2014년07월24일
- (30) 우선권주장
61/753,175 2013년01월16일 미국(US)
61/831,244 2013년06월05일 미국(US)

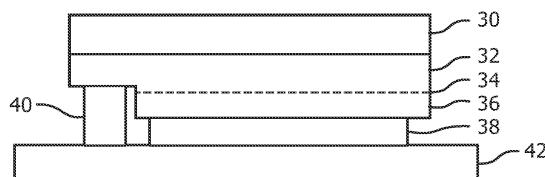
- (56) 선행기술조사문헌
Journal of Applied Physics, Vol.98, No.3
, p.033518-1 ~
033518-12(2005.8.8.)[Anisotropy of optical absorption and fluorescence in Al2O3:C,Mg crystals]
(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 15 항

심사관 : 이용배

(54) 발명의 명칭 **발광 사파이어를 하향-변환기로 사용하는 LED****(57) 요약**

LED 다이는 LED 반도체 층들에 부착된 발광 사파이어 층을 포함한다. 발광 사파이어는 주된 광의 일부를 흡수하고, 이차적인 광을 방출하도록 주된 광을 하향-변환한다. 인광체 층이 추가될 수 있다. 발광 사파이어는 LED 반도체 층들 위에 퇴적되는 혼합물을 형성하는 바인더 내의 발광 사파이어 입자들을 포함할 수 있다. 다르게는, 발광 사파이어는 LED 반도체 층들 상에 부착되는 미리-형성된 타일을 포함한다. 다르게는, 발광 사파이어는 그 위에 LED 반도체 층들이 에피택셜하게 성장되는 발광 사파이어 성장 기판을 포함한다. LED 다이가 형성된 후, 사파이어의 발광 특성들은 다이의 전체적인 방출을 튜닝하기 위하여 광학적 조정 및/또는 어닐링을 사용하여 조절될 수 있다.

대 표 도 - 도6

(52) CPC특허분류

H01L 33/0095 (2020.05)
H01L 33/025 (2013.01)
H01L 33/505 (2013.01)
H01L 2924/12041 (2013.01)
H01L 2933/0041 (2020.05)

(56) 선행기술조사문헌

WO2001037351 A1*
WO2010079779 A1*
JP2002335010 A*
JP2004363149 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

N-타입 층, 청색의 주된 광(primary light)을 방출하는 능동층(active layer), 및 P-타입 층을 포함하는 발광 다이오드(light emitting diode; LED) 반도체 층들; 및

상기 반도체 층들에 부착된(affixed) 발광 사파이어(luminescent sapphire)

를 포함하고,

상기 LED 반도체 층들 및 상기 발광 사파이어는 LED 다이(die)의 일부분이며, 상기 발광 사파이어는 정의된 광 흡수(optical absorption) 및 발광 방출 밴드들(luminescence emission bands)을 갖는 F-형 중심들을 초래하는 산소 공공들(oxygen vacancies)을 포함하고,

상기 발광 사파이어는 상기 F-형 중심들을 통하여, 상기 청색의 주된 광의 일부를 흡수하고 이차적인 광(secondary light)을 방출하도록 상기 청색의 주된 광을 하향-변환하여(down-converting), 상기 LED 다이로부터의 방출이 적어도 상기 청색의 주된 광 및 상기 이차적인 광의 조합을 포함하게 되는, 발광 디바이스(light emitting device).

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 발광 사파이어는 혼합물을 형성하도록 바인더(binder)와 조합된 발광 사파이어 입자들을 포함하고,

상기 혼합물은 상기 LED 반도체 층들의 발광 표면 위에 가로놓여(overlying) 위치하는, 발광 디바이스.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 혼합물은 상기 반도체 층들 상에서 라미네이팅되는(laminated), 발광 디바이스.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 혼합물은 상기 반도체 층들 상에서 몰딩되는(molded), 발광 디바이스.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 혼합물은 상기 LED 반도체 층들 중 하나의 바로 위에(directly on) 위치하는, 발광 디바이스.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 발광 사파이어는 상기 LED 반도체 층들의 발광 표면 상에 부착된 미리 형성된 타일(pre-formed tile)을 포함하는, 발광 디바이스.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 타일은 상기 발광 사파이어의 단일 결정(single crystal)을 포함하는, 발광 디바이스.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 타일은 바인더 내의 발광 사파이어 입자들을 포함하는, 발광 디바이스.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 타일은 접착층(adhesive layer)으로 상기 LED 반도체 층들 중 하나에 직접 부착되는(directly affixed), 발광 디바이스.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 발광 사파이어는 그 위에 상기 N-타입 층, 상기 능동층 및 상기 P-타입 층이 에피택셜하게 성장되는(epitaxially grown) 발광 사파이어 성장 기판을 포함하는, 발광 디바이스.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 LED 다이의 일부분으로서 상기 LED 반도체 층들 위에 가로놓이는 인광체층(phosphor layer)을 더 포함하여, 상기 LED 다이의 발광이 상기 청색의 주된 광, 상기 발광 사파이어로부터의 상기 이차적인 광, 및 상기 인광체층으로부터의 광을 포함하게 되는, 발광 디바이스.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 이차적인 광은 녹색 광 성분을 포함하고, 상기 인광체층으로부터의 상기 광은 적색 광 성분을 포함하는, 발광 디바이스.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 주된 광은 청색 광이고 상기 이차적인 광은 녹색 광 성분을 포함하는, 발광 디바이스.

청구항 14

주된 광을 생성하는 LED 반도체 층들, 상기 주된 광의 일부를 이차적인 광으로 하향-변환하는 발광 사파이어 층을 포함하여, 발광 다이오드(LED) 다이에 의해 방출된 광이 적어도 상기 주된 광 및 상기 이차적인 광의 조합을 포함하게 되는 상기 LED 다이를 제공하는 단계 - 상기 발광 사파이어는 정의된 광 흡수 및 발광 방출 밴드들을 갖는 F-형 중심들을 초래하는 산소 공공들을 포함함 -; 및

상기 LED 다이 내의 상기 발광 사파이어 층을, 상기 이차적인 광의 특징을 조절하도록(adjust) 레이저를 이용하여 조정하는(conditioning) 단계

를 포함하는 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 LED 다이가 형성된 후, 발광 특성을 증가시키도록 상기 LED 다이 내의 상기 발광 사파이어를 어닐링(annealing)함으로써 상기 발광 사파이어를 활성화하는 단계

를 더 포함하는 방법.

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001]

<관련 출원에 대한 상호 참조>

[0002]

본 출원은 본 발명자에 의해 2013년 1월 16일 출원되고 현재 양수인에게 양도되고 본원에 참조로서 포함된 미국 가출원 제61/753,175호에 관련되고 그 이익을 주장한다.

[0003]

<기술 분야>

[0004]

본 발명은 발광 다이오드들(light emitting diodes; LEDs)의 파장 변환에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 LED 다이(die)에 통합된 파장 변환 물질로 발광 사파이어를 사용하는 것에 관한 것이다.

배경 기술

[0005]

인광체-변환 LED들(Phosphor-converted LEDs; pcLEDs)은 백색광 LED들, 황색 LED들 등과 같은 넓은 범위의 응용들에서 현재 사용된다. 인광체-변환 LED들은 주된 LED 광원(일반적으로 청색 광을 방출하는 III족 질화물 p-n 접합) 및 주된 광의 일부를 흡수하고 그것을 낮은 에너지의 이차적인 광으로 하향-변환하는 수동의(passive) 이차적인 광원(인광체)을 포함한다. 인광체 층을 통해 새어나오는 청색 광과 이차적인 광의 조합은 넓은 범위의 색들을 생성할 수 있다. 복수의 인광체는 상이한 파장들에 기여하도록 사용될 수 있다. 이차적인 광원은 꼭 인광체일 필요는 없고, 예를 들어 양자점 층(quantum dot layer)일 수 있으며, 따라서 우리는 그러한 LED들을 하향-변환 LED들(down-converted LEDs; dcLEDs)로서 더 일반적으로 설명할 수 있다.

[0006]

최초의 백색 LED들은 녹색 방출 인광체 코팅(coating)(Y₃A₁₅O₁₂:Ce; YAG)을 갖는 청색의 주된 광원(InGaN/GaN 접합 LED 다이)을 포함했다. YAG 인광체의 Ce 활성체(activator)는 청색 주된 광의 일부를 흡수하고 녹색에 중심을 둔 넓은 방출(broad emission)을 방출한다. 그러므로 그 결과의 LED의 방출 스펙트럼은 청색 및 녹색 광의 조합이고, 백색으로 보인다. 최신식의 LED들은 이제 넓은 범위의 방출 가능성들을 가진 복수의 인광체들의 조합을 사용한다. 일반적인 따뜻한 흰색 LED들은 적어도 하나의 녹색 및 하나의 적색 방출 인광체를 포함한다.

[0007]

인광체 층은 인광체 분말을 투명 바인더(transparent binder){예를 들어, 실리콘(silicone), 유리(glass), 에폭시(epoxy)} 내에서 혼합하고 혼합물을 청색 LED 다이의 상부에 퇴적시키거나, 미리-형성된 인광체 타일을 LED 다이에 투명 접착제(adhesive)(예를 들어, 실리콘)로 부착하거나, 전기영동(electrophoresis)을 사용하여 인광체를 LED 다이 상에 퇴적시키는 것과 같은, 여러 방식으로 형성될 수 있다. 미리-형성된 인광체 타일은 일반적으로 인광체 파우더를 압력하에서 소결(sintering)함으로써 만들어진다.

[0008]

발광 기판을 생성하도록 인광체를 고체 투명 매트릭스(solid transparent matrix)(예를 들어, 유리)에 끼워넣고(embed), 그다음에 시드 층(seed layer)을 기판 상에 퇴적시키고, 그다음에 시드 층 상에서 LED 층을 에피택셜하게(epitaxially) 성장시키는 것 또한 알려져 있다.

[0009]

위에 언급한 pcLED들의 몇몇 결점들은 이하를 포함한다.

[0010]

청색 LED 다이를 덮는(covering) 인광체 층은 주된 광의 산란(scattering)을 유발하고 그로 인하여 변환 효율을

감소시킨다.

[0011] 인광체 혼합물을 생성하기 위한 투명 바인더들, 및 인광체 타일을 LED 다이에 부착하기 위해 사용되는 접착제들은 III족 질화물들 및 인광체들보다 낮은 굴절률을 갖는데, 그것은 변환 효율을 감소시키며, 그들의 열 전도도가 낮은데 그것은 LED 효능(efficacy) 및 신뢰도를 감소시킨다는 것과 같은 주요한 단점을 갖는다.

[0012] 인광체가 주입된(infused) 기판들은 격자 불일치들(lattice mismatches) 및 상이한 열 평창 계수(coefficients of thermal expansion; CTE) 때문에 III족 질화물 접합의 에피택셜 성장에 부적합한 기판들이다. 이 기판들 상의 성장은 시드 층의 퇴적을 필요로 하는데, 그것은 접합 품질 및 성능을 감소시킬 수 있고, 비싸다. CTE 불일치는 여전히 남아있다.

[0013] 위에 언급한 이차적인 광원들의 강도들(intensities) 및 파장들은 LED들에 통합되고 나면 튜닝될(tuned) 수 없다. 이는 생산된 LED들 내에서 큰 색 퍼짐(large spread in color)을 초래할 수 있다. 타겟 색 기준을 만족시키지 않는 LED들은 낮은 생산 수율 및 전체적인 LED 비용의 증가를 초래한다.

발명의 내용

[0014] 본 발명에 따라, 발광 사파이어 물질이 LED 주된 광에 대한 유일한 하향-변환기로서 사용되거나 인광체 또는 양자 점들과 같은 다른 하향-변환 물질과 함께 사용된다. 발광 사파이어는 분말 형태이고 LED 다이 상에 퇴적될 수 있거나, LED 에피택셜 층들을 위한 성장 기판을 형성할 수 있다.

[0015] 발광 사파이어는 순수하게 투명이고 통과하는 광을 산란시키지 않는다. 그러므로 발광 사파이어에 의한 인광체의 전체의 또는 부분의 치환은 LED 성능을 향상시킨다.

[0016] 사파이어는 또한 III족 질화물 청색 LED들을 위해 사용되는 흔한 성장 기판 물질이다. 그러므로 에피택셜 성장 프로세스에 주요한 변경들 없이도 높은 효율의 p-n 접합이 발광 사파이어 성장 기판을 사용하여 성장될 수 있다. 일 실시예에서, 에피택셜 성장의 높은 온도가 사파이어의 원하는 발광 특성을 파괴하기 때문에, 낮은 온도에서의 후속 어닐링 단계가 사파이어의 발광 중심들(luminescence centers)을 재활성화하기 위하여 사용된다.

[0017] 발광 사파이어 상에 직접 성장된 p-n 접합을 갖는 것은 LED 다이의 상부 상에 인광체 층을 제공하기 위하여 관습적으로 사용되는 임의의 바인더들 또는 접착제들에 대한 필요성을 제거한다. 이는 감소된 비용, 더 높은 변환 효율, 및 더 높은 LED들의 신뢰도를 야기할 수 있다.

[0018] 일 실시예에서, LED는 주된 청색 광을 생성하는 플립 칩(flip chip)이고, 발광 사파이어 성장 기판은 녹색의 이차적인 광을 생성한다. 기판에 의해 녹색 광으로 변환되지 않은 청색 광은 투명 기판을 통과한다.

[0019] 발광 사파이어를 포함하는 LED의 전체적인 색은 심지어 LED 다이로의 발광 사파이어의 통합 후에도 튜닝될 수 있다. 이는 최종 LED가 요구되는 색 기준을 만족시키도록 레이저 및/또는 열을 이용하여 사파이어의 광학 특성을 수정함으로써 행해질 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 발광 사파이어 내의 다양한 가능한 F-중심들(F-centers)을 그들의 흡수 파장들(nm 단위) 및 그들의 방출 파장들과 함께 도시하는 표이다.

도 2는 600°C 초과의 어닐링 동안 발광 사파이어 내의 소정의 F-중심의 형광성(fluorescence)이 어떻게 감소되는지 도시하는 그래프이다.

도 3은 500°C에서의 어닐링 동안의 시간에 걸쳐서 발광 사파이어 내의 소정의 F-중심의 흡수(및 생성)가 어떻게 증가되는지 도시하는 그래프이다.

도 4는 파장들의 범위 상에서 발광 사파이어 내의 다양한 F-중심들의 흡수를 도시하는 그래프로서, 그래프는 300-700nm 사이의 파장들에 대하여 확대된다.

도 5는 본 발명의 제1 실시예에 따라 발광 사파이어로 dcLED를 형성하기 위한 다양한 단계들의 흐름도이다.

도 6은 본 발명의 제1 실시예에 따라, LED 다이의 상부 상에 발광 사파이어 혼합물의 코팅을 갖는 플립 칩 LED 다이의 단면도이다.

도 7은 LED의 방출을 타겟 색 영역으로 색 이동하도록 LED에 통합된 후 도 6의 발광 사파이어의 광학 특성들이 어떻게 변화될 수 있는지를 도시한다.

도 8은 본 발명의 제2 실시예에 따라, LED 다이의 상부 상에 부착된 미리-형성된 발광 사파이어 타일을 가진 플립 칩 LED 다이의 단면도이다.

도 9는 본 발명의 제2 실시예에 따른 발광 사파이어를 가진 dcLED를 형성하도록 사용되는 다양한 단계들의 흐름도이다.

도 10은 본 발명의 제3 실시예에 따라, 발광 사파이어 성장 기판 상에 그것의 에피택셜 층을 가진 플립 칩 LED 다이의 단면도이다.

도 11은 본 발명의 제3 실시예에 따라 발광 사파이어를 가진 dcLED를 형성하도록 사용되는 다양한 단계들의 흐름도이다.

동일하거나 비슷한 구성요소들은 동일한 번호로 표시된다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021]

발광 사파이어의 설명

[0022]

사파이어는 본원에서 단결정(single crystal)의 형태의 알루미늄 산화물 강옥(aluminium oxide corundum)을 말한다. 주 화학 조성은 Al_2O_3 이다. 사파이어는 다른 요소들을 도편트들(dopants) 및 불순물(impurities)로서 포함할 수 있지만 여전히 사파이어로 고려된다. 사파이어의 단결정들은 초크랄스키(Czochralski) 프로세스의 변형을 사용하여 일반적으로 성장된다.

[0023]

본원에서 사용될 때, 용어 발광 사파이어는 아래에 설명된, 적어도 그것의 F_2 -형 중심들(F_2 -like centers)에 상응하는 발광을 보이는 사파이어를 말한다.

[0024]

F -형 중심들은 발광 사파이어의 색 중심들(color centers)이다. F -형 중심들은 본원에서 사파이어의 격자(lattice) 내부의 산소의 단일한 공공(single vacancy)의 상이한 화학적 변화로 정의된다. 그러한 산소 공공들은 사파이어 결정 성장 또는 후속 어닐링 동안 높은 환원성 분위기(highly reductive atmosphere)를 사용함으로써 일반적으로 생성된다. 고농도의 F -형 중심들을 포함하는 사파이어들은 흔히 $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ 또는 TCR(열화학적으로 환원된) 사파이어로 불린다.

[0025]

F -형 중심들의 가장 흔한 변형들은 아래와 같다:

[0026]

- F 중심은 두 개의 전자를 포획하는 산소 공공이다.

[0027]

- F^+ 중심은 하나의 전자를 포획하는 산소 공공이다.

[0028]

- $\text{F}(\text{Mg})$ 중심은 그것을 둘러싼 하나 또는 몇몇의 Mg 양이온이 존재하는 F 중심이다.

[0029]

- $\text{F}^+(\text{Mg})$ 중심은 그것을 둘러싼 하나 또는 몇몇의 Mg 양이온이 존재하는 F^+ 중심이다.

[0030]

- F -형 중심들을 둘러싼 Mg 양이온들의 존재는 흡수 및 방출의 이동(shift)을 초래한다.

[0031]

위에 식별된 중심들은 도 1의 표에 보고된 바와 같이 주로 그들의 광 흡수 및 발광 방출 밴드들에 의해 식별된다. 도 1은 발광 사파이어 내의 알려진 F -형 및 F_2 -형 중심들의 광학적 특징들을 식별한다.

[0032]

우리는 F_2 -형 중심들을 두 집합된 F -형 중심들의 상이한 조합들로 정의한다. 잘 보고된 F_2 -형 중심들의 변형은 아래와 같다:

[0033]

- F_2 중심은 두 개의 F 중심의 클러스터(cluster)이다.

[0034]

- F_2^+ 중심은 하나의 F^+ 중심과 하나의 F 중심의 클러스터이다.

[0035]

- $\text{F}_2^+(2\text{Mg})$ 중심은 그것을 둘러싼 두 개의 Mg 양이온의 존재와 하나의 F_2^+ 중심의 클러스터이다.

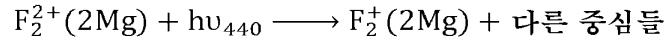
- [0036] - F_2^{2+} 중심은 두 개의 F^+ 중심의 클러스터이다.
- [0037] - $F_2^{2+}(2Mg)$ 중심은 그것을 둘러싼 두 개의 Mg 양이온의 존재와 하나의 F_2^+ 중심의 클러스터이다.
- [0038] F_2 -형 중심들의 일부는 (녹색을 포함한) 가시 스펙트럼에서 발광(luminesce){방출(emit)}하고 따라서 본 발명에 가장 관련된다.
- [0039] 서로에 대한 산소 공공들의 위치는 도 1에 도시된, 광 흡수 밴드의 이방성에 의해 식별된다. F_2 -형 중심들을 둘러싼 Mg 양이온의 존재는 흡수 및 방출의 이동을 초래한다. 게다가, 다양한 F_2 -형 중심들의 상이한 조합이 사파이어에 존재할 수 있고 사파이어의 약간 상이한 광학적 특징들을 생성할 것이다.
- [0040] 사파이어의 열처리는 발광 사파이어를 생성하기 위하여 사용된다. 이 열처리는 사파이어 활성화로 불린다. 이 열처리는 F_2 -형 중심들을 형성하여 본 발명에서 사용되는 발광 사파이어를 생성하기 위하여 F-형 중심들의 집합을 생성한다.
- [0041] 광학적 처리는 발광 사파이어의 방출을 튜닝하기 위하여 사용된다. 이것은 사파이어 조정(conditioning)으로 불린다. 이 처리는 상이한 F_2 -형 중심들의 농도를 수정한다.
- [0042] 따라서 발광 사파이어를 사용하는 아래 설명된 dcLED들의 다양한 실시예들은 적절한 사파이어 활성화 및 조정에 의해 매우 다양한 색을 방출하도록 튜닝될 수 있다.
- [0043] 사파이어에서 F_2 -형 중심의 생성과 파괴는 열적으로 활성화된다. 도 2는 650nm 레이저 자극(주된 광) 하에서의 발광 사파이어(이차적인 광)의 750nm 방출의 온도 안정성의 그래프이다. 도 2는 750nm(도 1에서 $F_2^+(2Mg)$ 중심이 750nm의 방출을 가진 부분 참조)에서 방출을 하는 F_2 -형 중심들의 형광(fluorescence)(발광 강도)이 약 600 °C 초과의 어닐링 후 빠르게 떨어짐을 도시한다. 도 2의 특정 형광 파장 및 자극 파장이 일반적으로 LED 실시 예들에서 사용되지 않지만, 도 2는 어떻게 높은 온도가 발광 사파이어의 광학적 특성들에 전반적으로 영향을 미치는지 도시한다.
- [0044] 도 3은 2.87eV 및 4.8eV 밴드들의 흡수 계수 대 773K(500°C)에서의 등온 어닐링 시간의 그래프이다. 2.87eV 및 4.8eV 밴드들은 일반적으로 LED들에서 사용되는 파장들보다 둘 다 짧다. 도 3은 500°C에서의 어닐링 동안의 F_2 -형 중심의 농도의 증가를 도시하는데, 그것은 F_2^{2+} 흡수 계수의 도시된 증가에 연관성이 있다. 도 3은 어닐링 시간에 따른 F^+ 흡수 계수 동시의 감소를 또한 도시한다.
- [0045] 도 2 및 3에 도시된 바와 같이, F_2 -형 중심들의 파괴는 대략 600°C에서 시작하는 한편 그들의 수(population)는 500°C에서의 사파이어의 연장된(prolonged) 어닐링에 의해 증가될 수 있다. 500°C에서의 어닐링 동안, F^+ 중심들은 F_2^{2+} 중심들을 형성하도록 집합한다. 어닐링 시간이 증가함에 따라, F_2^{2+} 중심의 흡수 계수가 증가하는 한편 F^+ 중심의 흡수 계수는 감소한다. 흡수 계수는 연관된 중심들의 수에 연관성이 있다. 그러한 (열을 이용한) 집합 단계는 본원에서 사파이어 활성화라고 불린다.
- [0046] 도 2 및 3은 논문들: Ramirez, R. et al., Photochromism of vacancy-related defects in thermochemically reduced alpha-Al₂O₃:Mg single crystals, Applied Physics Letters, AIP, 2005, 86, 081914; 및 Ramirez, R. et al., Optical properties of vacancies in thermochemically reduced Mg-doped sapphire single crystals, Journal of Applied Physics, AIP, 2007, 101, 123520로부터 획득되었고, 모두 본원에 참조로써 포함된다.
- [0047] Mg의 역할은 F_2 -형 중심들의 집합을 돋는 것으로 보고된다. 그러한 사파이어는 Al₂O₃:C,Mg로 또한 불린다. 알려진 방법들을 사용하여 Al₂O₃:C,Mg 조성을 갖도록 사파이어가 성장할 수 있다.
- [0048] 사파이어 내의 F_2 -형 중심들의 알려진 특성들 중 하나는 충분한 광자 방사 플럭스들(photon irradiance fluxes) 하에서의 포토크로미(photochromic) 변환이다. 440nm의 파장에서 하이 피크 파워 레이저에 의한 발광 사파이어

의 여기(excitation)는 청색-흡수/녹색-방출 F_2^{2+} (2Mg) 중심들의 농도를 감소시킬 수 있고 F_2^+ (2Mg) 중심을 증가 시킬 수 있음(아래 화학식 1)이 보고된다. 이는 그것의 형광 특성들을 더 튜닝하는 사파이어의 광학적 처리이다. 다른 중심들의 농도는 전하 균형이 지켜지게 유지되도록 동시에 변한다. F_2^{2+} (2Mg) 중심들의 농도가 330nm의 광장에서 하이 피크 파워 레이저로 발광 사파이어를 여기시킴(exciting)으로써 증가될 수 있음이 또한 보고된다(화학식 2).

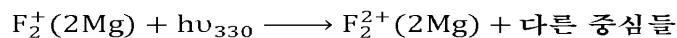
[0049]

광학적 처리에 의한 F_2 -형 중심들 농도의 그러한 튜닝은 본원에서 사파이어 조정으로 정의된다.

화학식 1



화학식 2



[0052]

사파이어의 포토크로미즘(photochromism) 특성들은 440nm 및 330nm 여기로 제한되지 않는다. 우선적으로 F_2 -형 중심들의 흡수 밴드들에서의 다른 광장들이 사용될 수 있다. 포토크로미즘 특성들을 제어하는 근본적인 "2-광자 흡수 프로세스"는 문헌에 잘 설명되어 있고 본원에 설명될 필요는 없다.

[0053]

일 실시예에서, 사파이어는 LED의 pn 접합에 의해 생성된 청색 주된 광의 일부를 흡수하고 녹색의 이차적인 광을 방출하도록 활성화(열) 및 조정(광)될 것이다. 정확한 활성화 및 조정은 주된 광의 피크 광장, 사파이어의 두께/밀도, 타겟 색 포인트, 및 다른 요소들에 의존한다. 타겟 색을 달성하기 위하여 요구되는 활성화 및 조정은 특정 응용에 대하여 경험적으로 결정될 수 있다. 그다음에 적색 인광체가 백색 광을 생성하도록 LED의 상부에 추가될 수 있다.

[0054]

도 4는 $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}, \text{Mg}$ 및 $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ 에 대한 F , F^+ , 및 $F_2^+(2\text{Mg})$ 중심들에 대한 흡수 대 광장의 그래프이다. 삼도는 광장 300-700nm에 대하여 확대된 도이다. 곡선(20)은 435nm 레이저 광으로 "표백된(bleached)"(사파이어 조정) 사파이어에 대한 것이고, 곡선(22)은 "성장된 그대로(as grown)" 또는 어닐링된 사파이어에 대한 것이다. 도 4는 이하의 논문들: Akselrod, M. S. et al., New aluminum oxide single crystals for volumetric optical data storage, Optical Data Storage 2003, Optical data storage, SPIE, 2003, 5069, 244-251; 및 Akselrod, M. S. et al., Fluorescent aluminum oxide crystals for volumetric optical data storage and imaging applications, J. Fluoresc., 2003, 13, 503-511에서 얻어졌으며, 둘 다 본원에 참조로써 포함된다.

[0055]

특히 관심가는 것은 약 450-650nm의 광장 범위인데, 그것은 청색에서 적색 범위를 전반적으로 포함한다.

[0056]

발광 사파이어의 특성들, 생성, 및 조절이 잘 알려졌지만, 발명자는 하향-변환을 위한 LED 다이에의 발광 사파이어의 어떠한 통합도 알고 있지 않다.

[0057]

변환 효율(Conversion efficiency; CE)은 주된 소스 광의 양 당 (하향-변환된 광을 포함하여) LED에 의해 방출된 광속(luminous flux; lm)이다. CE는 이차적인 소스(발광 물질)의 효율 및 그것의 LED들 내의 통합의 좋은 척도이다. 이하의 실시예들에서, 발광 사파이어를 하향-변환기로 사용하여, 결과의 LED의 CE는 pcLED의 CE와 비교하여 개선된다.

[0058]

실시예 1

[0059]

제1 실시예에서, 발광 사파이어는 인광 분말을 사용하는 것을 대신하여, 또는 그에 추가하여 분말 형태로 사용된다. 제1 실시예의 예가 도 5 및 도 6에 의해 나타난다.

[0060]

예비의 문제로, 대량의 발광 사파이어(관심있는 광장에 따라 $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}, \text{Mg}$ 또는 $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$)가 관습적인 기술을 사용하여 성장되고, 사파이어는 특정 응용(예를 들어, LED 다이 및 타겟 색)에 대하여 원하는 광 흡수 및 방출 특성

들을 갖도록 위에 설명된 바와 같이 그리고 알려진 기술들에 따라 활성화되고 조정된다. 경험에 의한 테스팅이 타겟 흡수 및 방출 특성들을 달성하도록 수행될 수 있다. 타겟 흡수 파장은 사용되는 실제의 pn 접합(능동층)의 피크 파장 방출일 것이고 일반적으로 가시적인 청색 파장 범위에 있을 것이다. 일 실시예에서, 청색 LED 광으로 에너자이징(energized) 경우 발광 사파이어의 방출은 녹색이다. 따라서, 적색 인광체 층을 추가하는 것은 따뜻한 백색광을 생성할 것이다.

[0061] 도 5의 단계(24)에서, 발광 사파이어 결정은 그라인딩 처리(grinding process)될 것이고 원하는 범위의 입자 크기로 체질된다(sieved). 입자 크기 분포 D50의 허용 가능한 범위는 10에서 50 μm 이다. 입자 크기 분포 D50은 입자 크기 분포의 중간값 직경(median diameter)으로 또한 알려져 있고 누적 분포의 50%에서의 입자 직경의 값이다.

[0062] 단계(26)에서, 발광 사파이어 분말은 적절하고 관습적인 첨가물과 함께 (실리콘과 같은) 투명 매트릭스에 주입되고, 균일하게 혼합된다. 선택된 첨가물은 응용에 따르며 인광체 분말들, 분산제들(dispersants) 등을 포함할 수 있다.

[0063] 단계(28)에서, 혼합물을 그것이 주된 광을 흡수하고 원하는 이차적인 광으로 하향-변환할 수 있도록 LED에 통합된다. 예를 들어, 혼합물은 라미네이션(lamination)(예를 들어, 미리-형성된 시트 또는 타일을 형성하고 그것을 LED 웨이퍼 또는 다이 상에 부착), 오버몰딩(예를 들어, 웨이퍼 상에 마운팅된 LED 다이들을 혼합물로 채워진 개별적인 몰드 인덴션들(indentions) 내에 위치시키고 혼합물을 경화(curing)}, 또는 혼합물을 LED 다이의 적어도 상부 표면 상에 스프레이-코팅함으로써 통합될 수 있다. 결과는 소정의 색 포인트로 특징되는 dcLED이다. dcLED는 혼합물 내에 또는 분리된 층으로 인광체를 포함하거나 포함하지 않을 수 있다.

[0064] 도 6은 발광 사파이어 혼합물을 LED의 반도체 표면 상에 발광 사파이어 층(30)으로서 퇴적하고 경화한 한 타입의 LED(플립칩)의 단면도이다. 수직 LED들, 수평 LED들 등과 같은 다른 타입의 LED들이 사용될 수 있다. 예에서, N-타입 층(32)이 (레이저 리프트-오프에 의해 제거된) 사파이어 성장 기판 상에 에피택셜하게 성장하고, 능동층(34)이 N-타입 층(32) 상에 에피택셜하게 성장하고, P-타입 층(36)이 능동층(34) 상에 에피택셜하게 성장한다. 층들(34 및 36)은 N-타입 층(32)을 노출하도록 에칭되고, 금속 접촉부들(38 및 40)은 각각 P-타입 층(36) 및 N-타입 층(32)에 전기적으로 접촉하도록 퇴적된다. 그다음에 LED 다이는 서브마운트(submount)(42) 또는 다른 기판 상에 마운팅된다. 서브마운트(42)는 금속 접촉부들(38 및 40)에 직접 본딩되는 금속 패드들을 갖고, 패드들은 궁극적으로 전기적으로 전원에 연결된다.

[0065] N-타입 층(32)의 노출된 표면은 발광 사파이어 층(30)이 퇴적되기 전에 광 추출을 개선하도록 조면화될 수 있다.

[0066] 종래 기술에서 하향-변환을 위해 인광체만을 사용하는 LED들은, 타겟 색 포인트가 달성되지 않는 경우, LED는 불량품 처리되거나 낮은 품질의 LED로 다운그레이드 된다. 이는 LED 생산의 전체적인 비용을 증가시킨다.

[0067] 그러나, N-타입 층(32) 위에 놓여진 발광 사파이어 층(30)을 사용함으로써, dcLED의 색 포인트는 서브마운트(42)에 본딩된 동안 또는 웨이퍼 형태인 동안 dcLED가 에너자이징되고 테스팅된 후 조절될 수 있고, 조사될 (probed) 수 있다. 테스팅은 외부의 에너자이징 광원을 사용하여 또한 수행될 수 있다. 색 포인트 조절은 사파이어 조정(단계 46)에 의할 수 있고, 발광 사파이어 층(30)의 포토크로미 특성들은 하이 피크 파워 레이저를 사용하여 색 이동을 생성하도록 조절된다. 추가적인 세부 사항이 아래에 제공된다. 이 통합-후 조절은 dcLED들의 생산 수율을 증가시키고 (따라서 생산 비용을 감소시키며) 색 포인트 제어를 개선시킨다.

[0068] 최종적으로, 투명 돔 렌즈(도시되지 않음)와 같은 다른 추가적인 광학계가 dcLED의 광 추출을 개선하기 위하여 dcLED 상에 위치되거나 몰딩될 수 있다.

[0069] 위 프로세스가 웨이퍼 스케일(wafer scale)에서 수행되는 경우, LED 다이들/서브마운트들은 싱글레이팅된다 (singulated).

[0070] LED 반도체 층들과 발광 사파이어 층(30) 사이에 하나 이상의 다른 층이 있을 수 있다.

[0071] 실시예 1의 제의 예(Practical Example)

[0072] 청색-흡수/녹색-방출 F₂²⁺(2Mg) 중심들이 풍부한 발광 사파이어는 20에서 40 μm 의 범위의 입자 크기로 그라인딩되고 체질된다. 분말은 결과의 dcLED 색 포인트가 따뜻한 백색 3000K 색 온도가 되게 하는 비율로 실리콘 및 적색 인광체와 혼합된다. 사용되는 실리콘은 투명하고 우선적으로 1.50보다 큰 굴절률을 갖는다. 사용되는 적색

인광체는, 예를 들어, 인광체 군 (Ca, Sr) $\text{AlSiN}_3:\text{Eu}$ 또는 인광체 군 (Ba, Sr) $\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}$ 의 멤버이다. 슬러리(slurry) 실리콘 + 발광 사파이어 분말 + 적색 인광체는 하향-변환 혼합물(도 6의 층(30))을 형성하도록 균일하게 혼합된다. 원하는 따뜻한 백색 pcLED를 생성하기 위하여, 혼합물은 주된 청색 소스: 예를 들어, 440에서 460nm 사이의 피크 파장을 방출하는 예를 들어, 청색-방출 GaN-기반 LED 다이들과 통합된다. 이 다이들은 박막 플립 칩 기술에 기초할 수 있고 InGaN/GaN p-n 접합을 가질 수 있다. 다른 타입들의 LED들이 사용될 수 있다.

[0073] 혼합물의 잘-제어된 볼륨은 인광체 혼합물을 분배(dispensing)하기 위해 보통 사용되는, 임의의 관습적인 퇴적 프로세스를 사용하여 다이 상에 분배된다. 그다음에 혼합물은 열 또는 UV에 의해 경화된다. 이 단계에서, 몇몇 LED들의 색 포인트는 3000K LED에 대한 타겟 영역에서 벗어날 수 있다.

[0074] 예로써, 도 7에서, 원(50)은 최종 dcLED가 보여야 할 색 포인트들의 허용 가능한 범위(타겟 영역)를 나타낸다. u' 및 v' 축들은 CIE 1976 색 시스템의 좌표를 나타낸다. 점(52)은 도 5의 단계(28) 후의 테스팅 후 측정된 LED(들)의 색 포인트를 나타낸다. 그다음에 고출력 펄스 레이저(high power pulsed laser)가 도 5의 조정 단계(46) 동안 색 포인트를 원(50) 내의 점(54)으로 이동시키기 위하여 사용된다. 적절한 조절이 경험적으로 결정될 수 있다. 테스팅 및 조정은 색 방출을 타겟 영역 원(50) 내로 이동하기 위하여 필요한 조정에 대해 측정된 색 포인트를 상호-참조하는 루-업 테이블을 이용하여 자동적으로 수행될 수 있다. 그다음에 필요한 레이저 출력 및/또는 지속 기간이 (역시 루-업 테이블에 의하여) 결정되고 조정이 수행된다. 조정은 과보상(over-compensation)이 없음을 보장하기 위하여 각각의 증분 단계 후 테스팅과 함께 증분적으로(incrementally) 수행될 수 있다.

[0075] 너무 많은 이차적인 광이 발광 사파이어에 의해 생성된 경우, 필요한 조절은 발광 사파이어의 하향-변환 출력을 감소시킴으로써 획득될 수 있다. 이는 조정 단계 동안 발광 사파이어 내의 F_2^{2+} (2Mg) 중심들의 농도를 감소시킴으로써 수행될 수 있다. 이를 위하여, 발광 사파이어는 440nm의 파장에서 경험적으로 결정된 시간 동안 하이 피크 파워 레이저에 노출될 수 있다. 위의 화학식 1 및 2를 참고한다.

[0076] 다른 조절들은 LED들이 "버려지지(binned)" 않도록 정확한 색 방출을 생성하기 위하여 사용될 수 있다.

[0077] 실시예 2

[0078] 도 8 및 도 9에 도시된 제2 실시예에서, 발광 사파이어는 주된 광원의 상부 표면에 부착된 미리-형성된 단일 결정 타일로서 통합된다.

[0079] 도 8에서, 주된 광원 LED는 N-타입 층(32)이 사파이어 성장 기판 상에 에피택셜하게 성장되고, 능동층(34)이 N-타입 층(32) 상에 에피택셜하게 성장되며, P-타입 층(36)이 능동층(34) 상에 에피택셜하게 성장된 도 6의 주된 광원 LED와 비슷하다. 층들(34 및 36)은 N-타입 층(32)을 노출하도록 예칭되고, 금속 접촉부들(38 및 40)은 각각 P-타입 층(36) 및 N-타입 층(32)에 전기적으로 접촉하도록 퇴적된다. 사파이어 성장 기판은 레이저 리프트-오프(laser lift-off)에 의해 제거되고 그다음에 N-타입 층(32)의 노출된 표면이 조면화될 수 있다. 그다음에 LED 다이는 서브마운트(42) 또는 다른 기판 상에 마운팅된다. 서브마운트(42)는 금속 접촉부들(38 및 40)에 직접 본딩되는 금속 패드들을 갖고, 패드들은 최종적으로 전원에 전기적으로 연결된다.

[0080] 실리콘과 같은 접착층(58)은 노출된 N-타입 층(32) 상에 퇴적된다. 그다음에 발광 사파이어 타일(60)이 접착층(58) 상에 위치되고 프레싱된다(pressed). 그다음에 필터층 또는 텍스처링된(textured) 층과 같은 선택적인 광학적 피쳐 층(optical features layer)(62)이 광 추출을 개선하기 위하여 타일(60) 상에 위치되거나 물딩될 수 있다. 그다음에 선택적인 인광체 층(64)(예를 들어, 실리콘 바인더 내의 적색 인광체)이 추가의 색 포인트 조절을 위하여 퇴적될 수 있다. 타일(60)을 조정하기 위한 레이저 노광 단계는 층들(62 및 64)이 퇴적되기 전에 수행될 수 있다. 레이저 노광 단계는 타일(60)이 LED에 부착되기 전에 또는 부착된 후에 타일(60) 상에서 수행될 수 있다. 모든 단계들은 LED 다이들의 배열로 채워진(populated) 서브마운트 웨이퍼 상에서 웨이퍼 스케일에서 수행될 수 있다.

[0081] 다른 실시예에서, 발광 사파이어 타일(60)은 경화된 바인더(cured binder) 내의 발광 사파이어 입자들을 포함한다.

[0082] 도 9는 도 8의 디바이스를 제작하기 위한 다양한 단계들을 식별한다.

[0083] 평평한(flat) 발광 사파이어 결정 웨이퍼가 우선 형성되고(단계 68) 그다음에 일반적으로 주된 소스 LED에 상응하는 크기의 타일들로 (예를 들어, 1mm²) 잘려진다(단계 70). 그다음에 (일반적으로 싱글레이션 전의) 타일

(60)은 그것이 원하는 F₂-형 색 중심들의 타겟 농도를 나타내도록(위의 화학식 1 및 2 참조) 레이저를 이용하여 조정된다(단계 72).

[0084] 그다음에 타일(60)은 접착층을 사용하여 LED 다이에 부착된다(단계 74).

[0085] 이 단계에서, 상이한 선택들이 행해질 수 있다.

[0086] a. 다른 인광체가 디바이스에 추가되지 않고, 모든 하향-변환 방출이 발광 사파이어 타일(60)에 의해 수행된다. 조정 단계는 필요한 경우 색 포인트를 바로잡기 위하여 추가로 사용될 수 있다. 한 예에서, 녹색 방출은 F₂²⁺(2Mg) 중심들의 수를 증가시킴으로써 증가된다.

[0087] b. 다이크로익 필터(dichroic filter)와 같은 광학적 피쳐 층(62)이 방출을 제어하기 위하여{각도 및 스펙트럼(angular and spectral)} 타일(60) 상에 퇴적될 수 있다(단계 76).

[0088] c. 하나 이상의 인광체가 도 8의 인광체 층(64)을 형성하기 위하여 타일(60) 상에 배포될 수 있다(단계 78). 다이크로익 필터와 같은 광학적 피쳐 층(62)이 인광체 층(64) 및 타일(60) 사이에 선택적으로 퇴적될 수 있다. 조정 단계(80)는 인광체 기여(contribution)를 고려하면서 LED 색 포인트를 바로잡기 위하여 선택적으로 사용될 수 있다. 예를 들어, 3000K의 색 온도를 가진 따뜻한 백색 LED는 적색-방출 인광체 층(64)을 타일(60) 상에 통합함으로써 제작될 수 있다.

[0089] d. c와 동일하지만 LED 다이 상에 인광체 층의 통합을 먼저 하고 그다음에 인광체 층 상에 발광 사파이어 타일(60)을 접착한다. 광학적 피쳐 층 및/또는 조정 단계는 디바이스의 캡슐화(encapsulation) 이전에 추가로 적용될 수 있다.

[0090] 실시예 3

[0091] 제3 실시예에서, 발광 사파이어는 도 10 및 11에 도시된 바와 같이 LED 반도체 층들이 그 위에 에피택셜하게 성장되는 성장 기판으로 사용된다.

[0092] 먼저, 도 11에 도시된 바와 같이, 그것이 원하는 F-형 중심들을 포함하도록 사파이어 단결정이 선택된다(단계 84). 사파이어 단결정은 그것 위에서 에피택셜 성장을 가능하게 하도록 잘려지고 폴리싱됨(polished)으로써 성장 기판(86)(도 10)으로서 준비된다.

[0093] 단계(88)에서, III족 질화물 p-n 접합(총들 32, 34, 36)은 사파이어 기판(86)의 한 측면에서 성장된다. 이 단계 동안, 성장 반응로(growth reactor) 내부의 온도는 몇 시간 동안 환원성 분위기 하에서 700에서 1100°C 사이로 유지된다. 그러한 온도와 시간에서, 사파이어의 발광 F₂-형 중심들은 파괴된다(도 2 참조). 그러므로 중심들이 재활성화될 수 있지 않는 한 발광 사파이어를 성장 기판으로 사용하는 것은 무의미하다.

[0094] 에피택셜 성장 후, 웨이퍼들은 반응로부터 제거된다. 그다음에 III족 질화물 접합들의 P-타입 층(36) 내의 P-도편트들을 활성화하기 위하여 500에서 600°C의 범위 내에서 몇 분 동안의 어닐링이 수행된다(단계 90). 이 어닐링은 산소-포함 분위기(oxygen-containing atmosphere)에서 수행된다.

[0095] 추가로 프로세스의 이 단계에서, F-형 중심들을 포함하는 사파이어 기판(86)은 발광 사파이어를 생성하기 위하여 활성화된다(단계 92). 물리적으로, 사파이어 활성화는 F₂-형 중심들을 형성하기 위하여 F-형 중심들의 접합을 생성한다. 사파이어 기판(86)은 300-700°C(이하 에피택셜 성장 온도)의 범위 내의 온도에서 어닐링 또는 몇몇 어닐링들에 의하여 활성화될 수 있다. 예를 들어, 사파이어 기판(86)은 문서에 공개된 바와 같이 500°C의 온도에서 몇 시간동안 웨이퍼를 어닐링함으로써 활성화될 수 있다. F₂-형 중심들의 농도는 어닐링 시간 및 온도를 조절함으로써 제어될 수 있다. 또한, 사파이어 기판(86) 활성화는 많은 타입의 F₂-형 중심들의 생성을 야기 한다. 하향-변환에 대해 단 하나의 특정 종의 F₂-형 중심에 관심이 있을 경우, 원하는 F₂-형 중심 농도는 조정(레이저) 단계(94)를 사파이어 기판(86)에 적용함으로써 획득될 수 있다. 예를 들어, 청색-흡수/녹색-방출 F₂²⁺(2Mg) 중심들의 농도는 사파이어 기판(86)을 330nm의 파장에서 하이 피크 파워 레이저로 여기시킴으로써 증가될 수 있다. 그러한 조정의 품질은, 예를 들어, (예를 들어, 외부 소스에 의해, 또는 LED를 에너자이징함으로써) 450nm에서의 여기(excitation) 하에서 발광 사파이어의 F₂²⁺(2Mg) 중심들에 의해 생성된 형광 강도를 측정함으로써 제어될 수 있다.

- [0096] 원하는 F_2 -형 중심들의 타겟 높도가 획득되면, 웨이퍼는 LED들에 대한 보통의 제작 프로세스로 돌아갈 수 있고 관습적인 웨이퍼 제작(fab) 단계들(단계 96으로 그룹핑됨)부터 다이 제작 단계들(단계 98로 그룹핑됨)로 인광체 통합(단계 100)으로 진행한다. 이 차후의 단계들 동안, 온도는 600°C 미만으로 유지되고 따라서 사파이어 기판(86)의 활성화는 보존된다.
- [0097] 선택적으로, 추가의 조정 단계들(102 및 104)이 발광 사파이어의 포토크로믹 특성들의 이점을 누리기 위하여 프로세스 동안 추가될 수 있다. 조정 단계(102)는 실제의 주된 광원 효율 및 파장에 대한 원하는 F_2 -형 중심들의 높도를 조절하고 생산된 LED 수의 v' 확산(dispersion)을 감소시키기 위하여, 성글레이팅된 다이가 서브마운트 웨이퍼에 부착된 후 수행될 수 있다. 다른 조정 단계(104)는 실시예 1에 설명된 바와 같이 색 포인트를 튜닝하기 위하여 인광체 통합 단계(100) 후 착수될 수 있다.
- [0098] 광학적 피처들(단계 106) 또한 LED 다이에 추가될 수 있다.
- [0099] 도 10은 백색 광을 생성하기 위한 적색 인광체 층 및 다이크로익 필터층과 같은 인광체 층(110) 및 광학적 피처 층(108)을 도시한다. 필터층은 인광체 층(110)으로부터의 적색 광을 반사할 수 있지만, LED에 의한 적색 광의 흡수를 피하기 위하여 더 짧은 파장의 광의 통과를 허용할 수 있다.
- [0100] 위에 설명된 다양한 이점들에 더하여, 발광 사파이어에 의해 모든 하향-변환을 수행하고 인광체를 사용하지 않음으로써, LED는 자동차 헤드램프에서와 같이 수년 동안 가혹한 환경에서 사용될 수 있다. 인광체는 습도에 매우 민감하고 헤드램프 환경에서 결국 질이 떨어질 수 있다.
- [0101] 이하의 참조들은 최신 기술의 발광 사파이어를 식별하고 본 기술분야에 숙련된 자가 알고 있는 것을 예시한다. 그러한 참조들은 본 기술분야에 숙련된 자가 본 발명을 읽은 후 발광 사파이어를 제조하고 요구되는 활성화 및 dcLED의 타겟 색 포인트를 달성하기 위한 조정을 수행할 수 있음을 설명한다. 그러한 참조들은 본원에 참조로써 포함된다.
- [0102] 1. Akselrod, M. S. et al., New aluminum oxide single crystals for volumetric optical data storage, Optical Data Storage 2003, Optical data storage, SPIE, 2003, 5069, 244-251
- [0103] 2. Akselrod, M. S. et al., Fluorescent aluminum oxide crystals for volumetric optical data storage and imaging applications, J. Fluoresc., 2003, 13, 503-511
- [0104] 3. Akselrod, M. S. & Akselrod, A. E, New $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C},\text{Mg}$ crystals for radiophotoluminescent dosimetry and optical imaging, Radiat. Prot. Dosimetry, 2006, 119, 218-221
- [0105] 4. Ramirez, R. et al., Electroluminescence in magnesium-doped Al_2O_3 crystals, Radiation Effects and Defects in Solids, 2001, 154, 295-299
- [0106] 5. Ramirez, R. et al., Photochromism of vacancy-related defects in thermochemically reduced alpha- $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Mg}$ single crystals, Applied Physics Letters, AIP, 2005, 86, 081914
- [0107] 6. Ramirez, R. et al., Optical properties of vacancies in thermochemically reduced Mg-doped sapphire single crystals, Journal of Applied Physics, AIP, 2007, 101, 123520
- [0108] 7. Sykora, G. et al., Novel $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C},\text{Mg}$ fluorescent nuclear track detectors for passive neutron dosimetry, Radiation Protection Dosimetry, 2007, 126, 1-4
- [0109] 8. Sykora, G. et al., Spectroscopic properties of novel fluorescent nuclear track detectors for high and low LET charged particles, Radiation Measurements, 2008, 43, 422 - 426
- [0110] 9. Sykora, G. et al., Properties of novel fluorescent nuclear track detectors for use in passive neutron dosimetry, Radiation Measurements, 2008, 43, 1017 - 1023
- [0111] 10. Sykora, G. J. & Akselrod, M. S., Photoluminescence study of photochromically and radiochromically transformed $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C},\text{Mg}$ crystals used for fluorescent nuclear track detectors, Radiation Measurements, 2010, 45, 631 - 634
- [0112] 11. Tardio, M. et al, High temperature semiconducting characteristics of magnesium-doped alpha-

Al_2O_3 single crystals, Applied Physics Letters, AIP, 2001, 79, 206-208

- [0113] 12. Tardio, M. et al, Electrical conductivity in magnesium-doped Al_2O_3 crystals at moderate temperatures, Radiation Effects and Defects in Solids, 2001, 155, 409-413
- [0114] 13. Tardio, M. et al, Photochromic effect in magnesium-doped alpha- Al_2O_3 single crystals, Applied Physics Letters, AIP, 2003, 83, 881-883
- [0115] 14. Tardio, M. et al, Enhancement of electrical conductivity in alpha- Al_2O_3 crystals doped with magnesium, Journal of Applied Physics, AIP, 2001, 90, 3942-3951
- [0116] 15. Tardio, M. et al, Electrical conductivity in undoped alpha- Al_2O_3 crystals implanted with Mg ions, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 2008, 266, 2932 - 2935
- [0117] 본 발명의 특정 실시예가 도시되고 설명되었지만, 변경들 및 수정들이 본 발명의 더 넓은 태양들로부터 벗어나지 않고 만들어질 수 있음이 본 기술분야에 숙련된 자들에게 분명할 것이고, 따라서, 첨부된 청구항들은 그러한 변경들 및 수정들을 본 발명의 참된 사상 및 범위 내에 포함할 것이다.

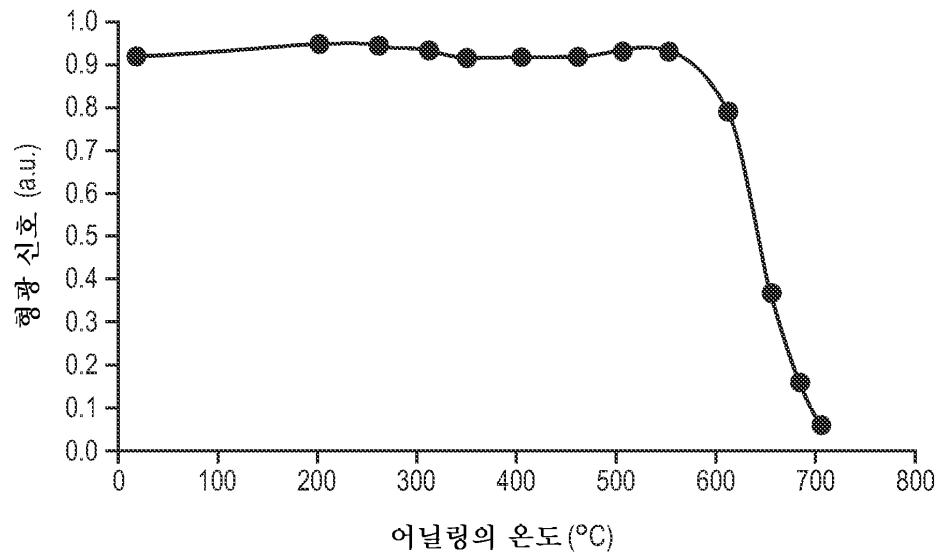
도면

도면1

| 중심 | 흡수 | 방출 | 이방성 |
|------------------------------------|-----------------|-----|-------|
| F | 205 | 420 | |
| F(Mg) | | | |
| F ⁺ | 230 / 255 | 330 | |
| F ⁺ (Mg) | | | |
| F ₂ | 358 | 380 | |
| F ₂ ⁺ | 302 | 515 | |
| F ₂ ⁺ (2Mg) | 260 / 335 / 620 | 750 | 2.4 |
| F ₂ ²⁺ | | | (3.3) |
| F ₂ ²⁺ (2Mg) | 435 | 520 | 3.4 |

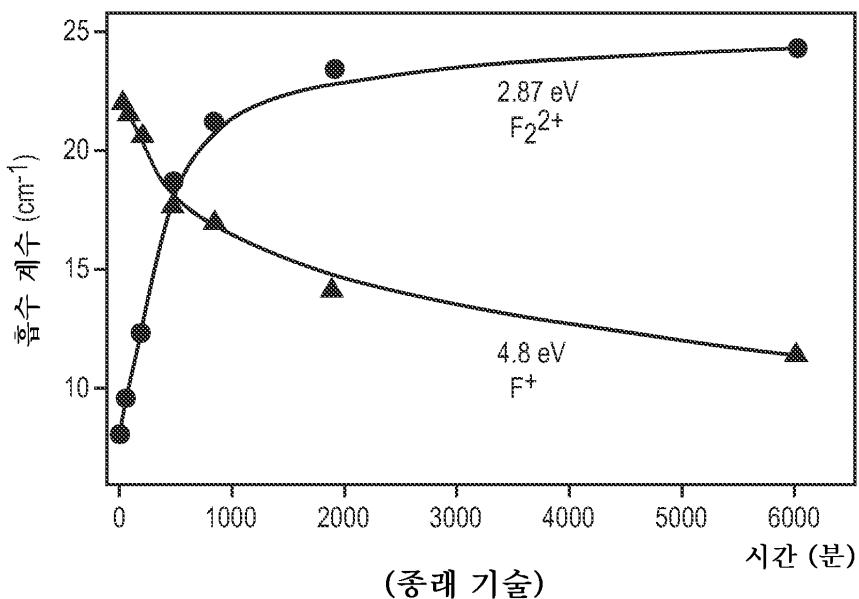
(종래 기술)

도면2



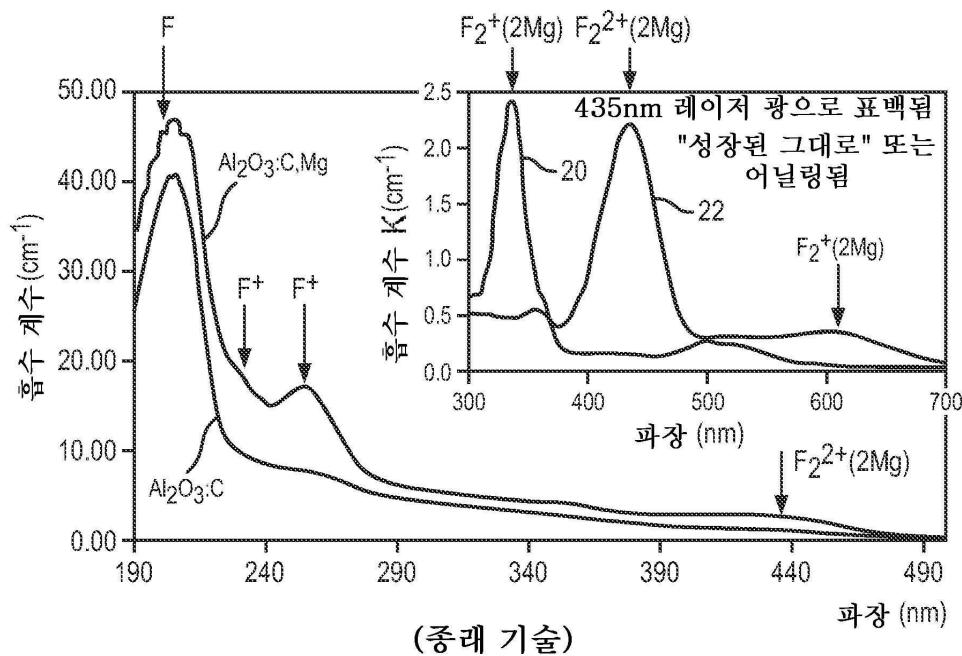
(종래 기술)

도면3

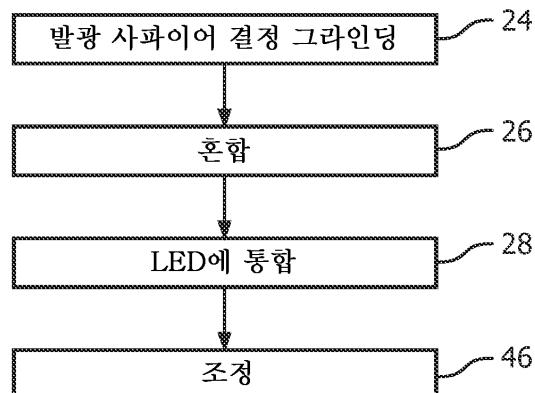


(종래 기술)

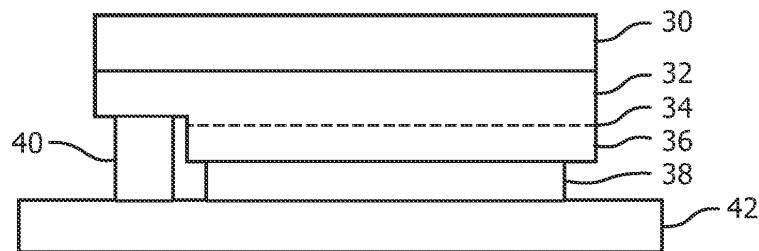
도면4



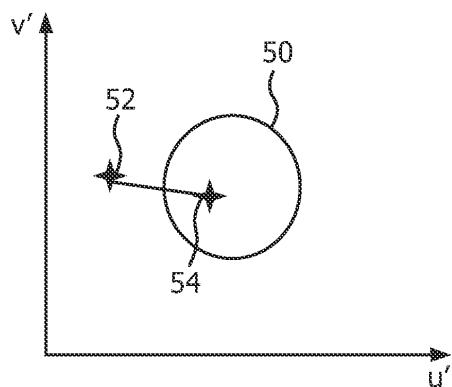
도면5



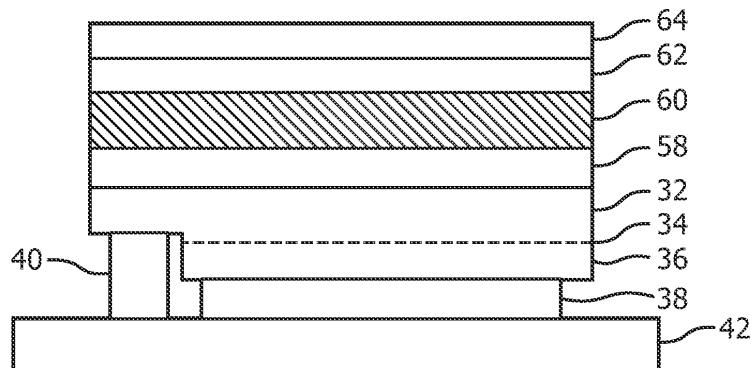
도면6



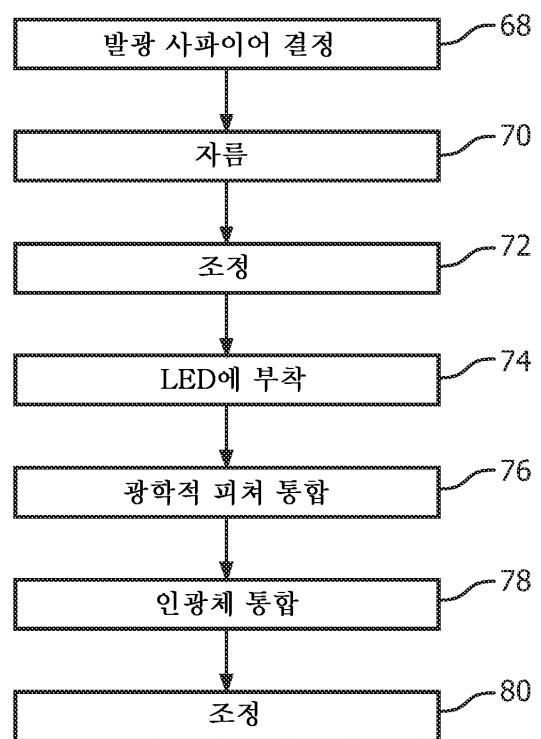
도면7



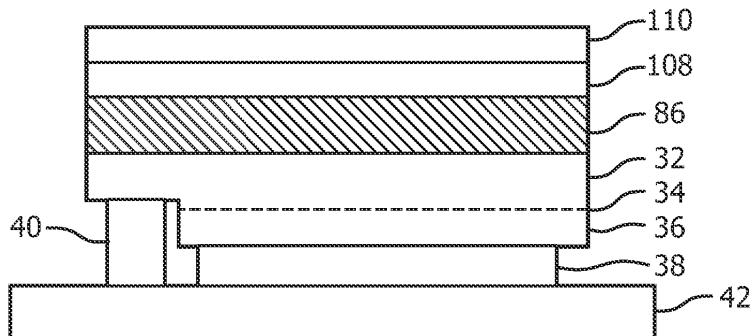
도면8



도면9



도면10



도면11

