



등록특허 10-2447697



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년09월29일
(11) 등록번호 10-2447697
(24) 등록일자 2022년09월22일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 33/10 (2010.01)
(52) CPC특허분류
H01L 33/22 (2013.01)
H01L 33/10 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-7016829
(22) 출원일자(국제) 2015년11월23일
심사청구일자 2020년10월28일
(85) 번역문제출일자 2017년06월19일
(65) 공개번호 10-2017-0089888
(43) 공개일자 2017년08월04일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2015/077332
(87) 국제공개번호 WO 2016/083289
국제공개일자 2016년06월02일
(30) 우선권주장
1420860.7 2014년11월24일 영국(GB)
(56) 선행기술조사문헌
WO2013121051 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 18 항

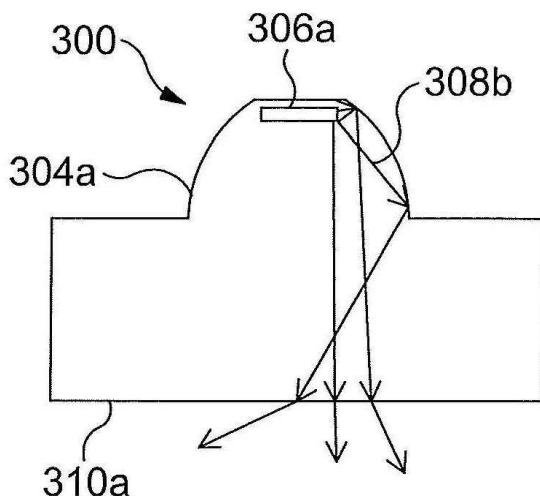
심사관 : 김동우

(54) 발명의 명칭 마이크로 LED 장치

(57) 요 약

실질적으로 파라볼릭인 메사 구조; 메사 구조 내의 발광 소스; 및 메사 구조의 상부에 대향하는 장치의 측면 상의 주 방출 표면을 포함하는 마이크로 LED(μ LED)로서, 메사 구조는 $(H_2*H_2)/Ac$ 로 정의되는, 0.5 미만의 종횡비를 가지고, μ LED는 발광 소스부터 주 방출 표면까지의 영역에 위치한 반사 표면을 더 포함하고, 반사 표면은 500nm 미만의 거칠기(Ra)를 가지는 μ LED.

대 표 도 - 도2a



(52) CPC특허분류

H01L 33/46 (2013.01)

(72) 발명자

휴스 페드래그

아일랜드 코크 완데스포드 케이 클라크스 브릿지
하우스 인피니엘아디 리미티드

푸어체트 알란

아일랜드 코크 완데스포드 케이 클라크스 브릿지
하우스 인피니엘아디 리미티드

오이어 셀린

아일랜드 코크 완데스포드 케이 클라크스 브릿지
하우스 인피니엘아디 리미티드

명세서

청구범위

청구항 1

마이크로 LED(μ LED)에 있어서,

파라볼릭인 메사 구조;

메사 구조 내의 발광 소스; 및

메사 구조의 상부에 대향하는 μ LED의 측면 상의 주 방출 표면을 포함하고,

메사 구조는 $(H_2*H_2)/Ac$ 로 정의되는, 0.5 미만의 종횡비를 가지고, μ LED는 발광 소스부터 주 방출 표면까지의 영역에 위치한 반사 표면을 더 포함하고, 반사 표면은 500nm 미만의 거칠기(Ra)를 가지고,

H_2 는 메사 구조의 베이스 위의 발광 소스의 높이이고, Ac 는 발광 소스의 레벨에서 메사 구조의 단면적인, μ LED.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

반사 표면은 주 방출 표면인 μ LED.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

반사 표면은 300nm 미만의 거칠기(Ra)를 가지는 μ LED.

청구항 4

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

반사 표면은 제1 굴절률을 가지는 제1 물질 및 제2 굴절률을 가지는 제2 물질 간의 계면인 μ LED.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

제1 물질은 에피레이어(epilayer)를 포함하고 제2 물질은 μ LED이 조립되는 기판을 포함하는 μ LED.

청구항 6

청구항 4에 있어서,

μ LED는 사파이어 기판 상의 GaN으로부터 형성되고, 두 물질 간의 계면은 GaN 및 사파이어 기판 간의 계면인 μ LED.

청구항 7

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

반사 표면은 메사 구조의 베이스의 단면적보다 크거나 같은 영역에서 500nm 미만의 거칠기(Ra)를 가지고, 메사 구조의 중심축과 정렬되는 μ LED.

청구항 8

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

종횡비는 0.3 미만인 μ LED.

청구항 9

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,
메사 구조는 절단된 상부를 포함하는 μ LED.

청구항 10

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,
발광 소스는 메사 구조의 중심축으로부터 오프셋되는 μ LED.

청구항 11

청구항 10에 있어서,
발광 소스는 주 방출 표면과 평행한 평면에 존재하는 수직축들 중 하나 또는 모두 상에 거리를 두고 오프셋되는 μ LED.

청구항 12

청구항 11에 있어서,
각 수직축의 오프셋 거리는 $1\text{ }\mu\text{m}$ 내지 $5\text{ }\mu\text{m}$ 사이의 범위인 μ LED.

청구항 13

청구항 11에 있어서,
각 수직축의 오프셋 거리는 각 수직축에서 메사의 중심축부터 에지까지의 총 거리의 10% 내지 50% 사이의 범위인 μ LED.

청구항 14

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,
발광 소스는 이방성으로 광을 방출하도록 구성되어, 발광 소스로부터 방출된 광은 μ LED로부터의 광의 방출 방향과 수직인 방향인 μ LED.

청구항 15

청구항 14에 있어서,
발광 소스로부터의 광의 방출은 하나 이상의 인덱스 가이딩 및 쌍극자 이방성을 사용하여 제어되는 μ LED.

청구항 16

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,
주 방출 표면에 적용된 첨가물 층을 더 포함하고,
첨가물 층은 주어진 각도로 및/또는 주어진 파장보다 크게 입사하는 광을 감쇠시키는 μ LED.

청구항 17

청구항 16에 있어서,
첨가물 층은 다층 유전체 필터인 μ LED.

청구항 18

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,
메사 구조의 발광층 내의 발광 소스의 소스 점유는 20% 내지 50%의 범위인 μ LED.

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 마이크로 LED(μ LED) 장치에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명은 향상된 광 출력 시준(collimation)을 가지는 μ LED에 관한 것이나, 이에 제한되지 않는다.

배경 기술

[0002]

일반 LED 장치와 비교할 때, μ LED는 증가된 추출 효율(EE) 및 "준-시준"된 광 출력, 즉 적어도 부분적으로 지향성인 광 출력의 장점을 제공할 수 있다. 이를 장점은 활성층 또는 발광층이 존재하는 μ LED에 파라볼릭 메사 구조의 도입에 의하여 달성될 수 있다. 발광층에서 방출되는 광은 메사의 내부 표면에서 반사되고 메사와 대향하는 방출 표면에서 μ LED의 밖으로 나간다. 이러한 μ LED는 US7518149에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003]

향상된 광의 시준을 제공하기 위하여 메사 구조를 포함하는 μ LED에 개선의 필요가 있다.

과제의 해결 수단

[0004]

본 발명의 제1 양태에 따르면, 실질적으로 파라볼릭인 메사 구조; 메사 구조 내의 발광 소스; 및 메사 구조의 상부에 대향하는 장치의 측면 상의 주 방출 표면을 포함하는 마이크로 LED(μ LED)로서, 메사 구조는 (H2*H2)/Ac로 정의되는, 0.5 미만의 종횡비를 가지고, μ LED는 발광 소스부터 주 방출 표면까지의 영역에 위치한 반사 표면을 더 포함하고, 반사 표면은 500nm 미만의 거칠기(Ra)를 가지는 μ LED가 제공된다.

[0005]

본 명세서에서 사용되는 방출 표면은 μ LED의 공기로의 표면을 포함하지만, 더 넓게는 두 매질 간의 계면도 포함할 수 있다. 예를 들어, 반사 표면은 방출 매질 및 다른 매질 간의 μ LED의 표면일 수 있다. 광은 그 입사각에 따라 부분적으로 또는 완전히 반사될 수 있다.

[0006]

주 방출 표면은 대부분의 광이 방출되는 μ LED의 표면이다. 일반적으로, 주 방출 표면은 에피레이어의 표면일 수 있다. 주 방출 표면은 연마되어 소정의 표면 거칠기를 달성할 수 있다. 에피레이어가 상이한 물질의 기판과 인접한 실시예에서 주 방출 표면과 기판의 표면 중 하나 또는 모두가 500nm 미만의 표면 거칠기(Ra)를 가질 수 있다. 나아가, 주 방출 표면과 기판의 표면 중 하나 또는 모두가 연마되어 소정의 표면 거칠기를 달성할 수 있다.

- [0007] 아래에 보이는 바와 같이, 낮은 종횡비는 반사 표면의 낮은 거칠기와 같이 이 분야의 개시에 반직관적이다. 이들 특징의 조합은 방출 소스로부터 방출되는 기생 광선이 내부적으로 반사되고, 이로써 μ LED의 반각을 감소(및 시준을 증가)시킬 수 있다.
- [0008] 이전의 μ LED는 높은 종횡비 및/또는 거칠거나 형성된 반사 및/또는 방출 표면을 선택하여 추출 효율을 향상시켰다. 본 명세서에 개시되는 예시적인 μ LED에서, 낮은 거칠기의 반사 표면과 낮은 종횡비의 유사 파라볼릭 메사가 조합된다. 개별적으로 취해진 이들 두 파라미터는 추출 효율을 낮추지만, 조합될 때, 광 시준의 향상의 놀라운 효과를 제공함이 본 명세서에 보여진다.
- [0009] 선택적으로, 반사 표면은 주 방출 표면이다.
- [0010] 선택적으로, 방출 표면은 300nm 미만의 거칠기(Ra)를 가진다.
- [0011] 선택적으로, 반사 표면은 제1 굴절률을 가지는 제1 물질 및 제2 굴절률을 가지는 제2 물질 간의 계면이다.
- [0012] 선택적으로, 제1 물질은 에피레이어(epilayer)를 포함하고 제2 물질은 μ LED이 조립되는 기판을 포함한다.
- [0013] 선택적으로, μ LED는 사파이어 기판 상의 GaN으로부터 형성되고, 두 물질 간의 계면은 GaN 및 사파이어 기판 간의 계면이다.
- [0014] 선택적으로, 반사 표면은 메사의 베이스의 단면적보다 크거나 같은 영역에서 500nm 미만(그리고, 예시적인 장치에서, 300nm 미만)의 거칠기(Ra)를 가지고, 메사의 중심축과 정렬된다. 영역은 메사의 베이스의 단면적과 실질적으로 동일 내지 메사의 베이스의 단면적의 1.5배의 범위일 수 있다.
- [0015] 선택적으로, 종횡비는 0.3 미만이다.
- [0016] 선택적으로, 메사 구조는 절단된 상부를 포함한다.
- [0017] 선택적으로, 발광 소스는 메사 구조의 중심축으로부터 오프셋된다.
- [0018] 선택적으로, 발광 소스는 주 방출 표면과 평행한 평면에 존재하는 수직축들 중 하나 또는 모두 상에 거리를 두고 오프셋된다.
- [0019] 선택적으로, 각 수직축의 오프셋 거리는 $1\text{ }\mu\text{m}$ 내지 $5\text{ }\mu\text{m}$ 사이의 범위이다.
- [0020] 선택적으로, 각 수직축의 오프셋 거리는 각 수직축에서 메사의 중심축부터 예지까지의 총 거리의 10% 내지 50% 사이의 범위이다.
- [0021] 선택적으로, 발광 소스는 이방성으로 광을 방출하도록 구성되어, 발광 소스로부터 방출된 광은 실질적으로 μ LED로부터의 광의 방출 방향과 수직인 방향이다.
- [0022] 선택적으로, 발광 소스로부터의 광의 방출은 인덱스 가이딩 및/또는 쌍극자 이방성을 사용하여 제어된다.
- [0023] 선택적으로, μ LED는 주 방출 표면에 적용된 첨가물 층을 더 포함하고, 첨가물 층은 주어진 각도로 및/또는 주어진 파장보다 크게 입사하는 광을 감쇠시킨다.
- [0024] 선택적으로, 첨가물 층은 다층 유전체 필터이다.
- [0025] 선택적으로, 메사 구조의 발광층 내의 발광 소스의 소스 점유는 20% 내지 50%의 범위이다.
- [0026] 본 발명의 제2 양태에 따르면, 실질적으로 파라볼릭인 메사 구조; 메사 구조 내의 발광 소스; 및 메사 구조의 상부에 대향하는 장치의 측면 상의 주 방출 표면을 포함하는 마이크로 LED(μ LED)로서, 메사 구조는 (H2*H2)/Ac로 정의되는, 0.3 미만의 종횡비를 가지는 μ LED가 제공된다.
- [0027] 본 발명의 제3 양태에 따르면, 실질적으로 파라볼릭인 메사 구조; 메사 구조 내의 발광 소스; 및 메사 구조의 상부에 대향하는 장치의 측면 상의 주 방출 표면을 포함하는 마이크로 LED(μ LED)로서, 발광 소스는 메사 구조의 중심축으로부터 오프셋되는 μ LED가 제공된다.
- [0028] 본 발명의 제4 양태에 따르면, 실질적으로 파라볼릭인 메사 구조; 메사 구조 내의 발광 소스; 및 메사 구조의 상부에 대향하는 장치의 측면 상의 주 방출 표면을 포함하는 마이크로 LED(μ LED)로서, 발광 소스는 이방성으로 광을 방출하도록 구성되어, 발광 소스로부터 방출된 광은 실질적으로 μ LED로부터의 광의 방출 방향과 수직인 방향인 μ LED가 제공된다.

- [0029] 본 발명의 제5 양태에 따르면, 임의의 상술한 것에 따른 복수의 μ LED를 포함하고 일반 기판 상에 형성된 마이크로 LED(μ LED)가 제공된다.
- [0030] 본 발명의 제6 양태에 따르면, 임의의 상술한 것에 따른 복수의 μ LED를 포함하는 디스플레이 장치가 제공된다.
- [0031] 본 발명의 추가 양태에 따르면, 실질적으로 파라볼릭인 메사 구조; 메사 구조 내의 발광 소스; 및 메사 구조의 상부에 대향하는 장치의 측면 상의 주 방출 표면을 포함하는 마이크로 LED(μ LED)로서, 발광 소스에서 방출된 광은 이방성인 μ LED가 제공된다.
- [0032] 발광 소스에서 방출되는 광의 이방성 성질은 주 발광 표면과 실질적으로 평행하거나, μ LED의 방출의 주 방향과 실질적으로 수직하거나, 실질적으로 발광 소스면 내의 방향일 수 있다. 발광 소스에 의해 방출되는 광은 주 방출면과 실질적으로 평행하거나, μ LED의 방출의 주 방향과 실질적으로 수직하거나, 실질적으로 발광 소스면 내의 방향으로 메사 구조 내로 유도 및/또는 촉진될 수 있다.
- [0033] 발광 소스는 실질적으로 평면일 수 있다. 나아가, μ LED의 방출의 주 방향은 발광 소스의 중앙으로부터의, 주 방출면에 수직한 방향으로 취해질 수 있다.
- [0034] 발광 소스는 발광면에 실질적으로 평행하거나, μ LED의 방출의 주 방향에 실질적으로 수직하거나, 실질적으로 발광 소스면 내의 방향을 향해 가중된 광을 방출하도록 구성될 수 있다. 가중치는 발광의 적어도 50%가 주 발광면에 실질적으로 평행하거나, μ LED의 방출의 주 방향과 실질적으로 수직하거나, 실질적으로 방출광의 면 내의 방향의 어느 한 측면에서 30도, 25도, 20도, 15도 또는 10도의 범위로 방출되는 결과가 될 수 있다.
- [0035] 가중치는 발광의 적어도 40%, 50%, 60% 또는 70%가 메사 구조의 내부 측벽에 직접 입사되는 결과가 될 수 있다.
- [0036] 이방성 발광 소스는 유도의 일부를 형성하거나 유도를 도울 수 있다. 즉, 유도는 적어도 부분적으로, 발광 소스로부터 이방성 발광에 의하여 제공될 수 있거나, 유도는 메사 내의 물질의 구성에 의해 제공되고 발광 소스로부터의 이방성 발광에 의해 도움 받을 수 있다.

발명의 효과

- [0037] 본 발명의 내용 중에 포함되어 있다.

도면의 간단한 설명

- [0038] 본 발명의 실시예의 예시가 첨부되는 도면을 참조하여 본 명세서에 서술될 것이다.
- 도 1은 μ LED의 단면도이다.
- 도 2a 및 2b는 상이한 종횡비를 가지는 메사 구조를 가지는 μ LED의 단면도이다.
- 도 3a 및 3b는 반각 및 추출 효율에 대한 종횡비 변화의 영향을 나타낸다.
- 도 4a 및 4b는 연마되지 않은(거친) 주 방출면 및 연마된(상대적으로 둘 거친) 주 방출면을 가지는 μ LED의 단면도이다.
- 도 5는 μ LED의 반사면의 거칠기 감소로 인한 μ LED에 의해 방출되는 광의 반각의 감소를 도시한다.
- 도 6a 및 6b는 중앙 정렬된 방출 소스 및 오프셋 방출 소스를 가지는 μ LED의 단면도이다.
- 도 7a 및 7b는 중앙 정렬된 방출 소스 및 오프셋 방출 소스를 가지는 μ LED의 평면도이다.
- 도 8은 μ LED의 EE에 P 접점의 오정렬의 효과를 도시한다.
- 도 9는 30%, 30%만큼 메사 구조의 중심축으로부터 발광 소스 오프셋을 가지는 모델링된 μ LED의 극성 플롯을 도시한다.
- 도 10a 및 10b는 등방성 및 이방성 발광 소스를 가지는 μ LED를 도시한다.
- 도 11은 20°의 발광 반각을 가지는 μ LED 및 램버트 프로필(lambertian profile)을 가지는 일반 평면 LED에 첨가물 충으로 적용된 다층 유전 필터를 통한 투과 플롯을 도시한다.
- 도 12는 처리된 μ LED에 대한 전력 대 전류 특성에 대한 영향을 도시한다.
- 도 13은 다양한 소스 점유를 가지는 μ LED의 EE를 도시한다.

도 14는 방출 반각에 대한 메사 종횡비 및 소스 점유의 영향을 도시한다.

발광을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0039] 본 명세서에 개시되는 μ LED의 예시는 μ LED에 의해 생성되는 장치에서 주변 매질로 추출되는 광의 시준을 향상시키기 위한 특징을 설명한다. 이것은 메사 구조에서 μ LED의 주 방출면까지의 영역에서 반사면과 조합되는 낮은 종횡비 메시를 사용함으로써 기판 내부로 기생광선의 반사를 허용함으로써 이루어질 수 있다. 예를 들어, 반사면은 연마된 주 방출면 또는 메사 구조에서 주 방출면까지의 영역의 물질 간의 경계의 반사면일 수 있다.
- [0040] 본 명세서에서 용어 "광"은 광학 시스템에서 단순히 가시광뿐만 아니라, 가시 범위 밖의 파장을 가지는 전자기 방사선도 의미하는 방식으로 사용된다. 나아가, 용어 "기생 광선"은 μ LED 내의 메사 구조의 초점으로부터 떨어진 지점에서 발광 소스에서 방출되는 광선을 지칭할 수 있다. 이러한 기생 광선은 광이 초점으로부터 방출되는 경우 예상되는 시준된 출력으로부터 이들을 편향시키는 방식으로 메사의 내부 표면에서 반사될 수 있다. 또한, 용어 "낮은 종횡비"는 0.5보다 낮은, 특정 예시적인 μ LED에서 0.3보다 낮은 메사 종횡비를 포함한다. 이것은 아래에 자세히 설명된다.
- [0041] μ LED도 광 다이오드로서 동작될 수 있음을 유의하여야 한다. 그러므로 본 명세서에서 μ LED의 지칭은 광 다이오드도 포함한다.
- [0042] 선행 기술은 최고의 성능을 가지기 위하여, μ LED는 높은 종횡비의 메사 구조와 광이 통과하거나 주위 매질로 추출되는 거칠거나 형성된 표면을 가져야 한다. 이것은 높은 EE가 μ LED의 가장 바람직한 특징이라는 견해에 의해 지배된다. 본 명세서에 서술되는 바와 같이, 낮은 종횡비의 메사 구조와 상대적으로 높은 반사율(예컨대, 연마된)의 방출면을 가지는 μ LED는 만족스러운 EE를 유지하는 한편 향상된 시준을 가진다. 후술되는 바와 같이, 향상된 시준은 미광 및 광경로 관리가 필요한 전자 광학 시스템 또는 디스플레이를 포함하나, 이에 제한되지 않는 다양한 응용에서 μ LED의 가장 바람직한 특징일 수 있다.
- [0043] 도 1은 발광층이 존재하는 파라볼릭 메사 구조를 가지는 μ LED(100)를 도시한다. 도 1은 본 명세서에 서술되는 μ LED의 설명을 돋기 위하여 메사 구조의 파라미터를 정의한다. 도 1을 참조하면, μ LED(100)는 기판(101) 및 반도체층(102) 상에, 메사(103), 발광층(104) 및 전기 접촉부(106)를 포함한다. 도 1의 예시적인 μ LED(100)에서, μ LED(100)의 방출 표면(108)이 기판(101) 및 반도체(102) 사이에 도시된다. 하지만, 방출 표면(108)은 대안적으로 발광층 및 기판의 성질에 따라 μ LED(100) 및 주변 매질(110) 사이로 정의될 수 있다. 나아가, μ LED(100)는 다음 특징 및 속성을 포함한다.
- [0044] H1: 메사의 바닥 위의 포물면 초점면의 높이
 - [0045] H2: 메사의 바닥 위의 발광층의 높이
 - [0046] H3: 메사의 바닥 위의 절단된 상단의 높이
 - [0047] H4: 메사의 바닥 위의 포물면 상단의 높이
 - [0048] D1: 상부 전기적 접촉 직경
 - [0049] D2: 발광 소스 직경
 - [0050] D3: 절단된 반도체 메사 직경의 상부
 - [0051] D4: 발광층 직경
 - [0052] D5: 포물면의 초점면의 직경(초점면은 초점과 교차하는 수평 평면임)
 - [0053] D6: 반도체 메사 직경의 바닥
 - [0054] 나아가, μ LED의 추가 속성은 다음과 같이 정의될 수 있다.
 - [0055] Ac: 발광층 내의 발광 소스의 레벨에서 메사의 단면적
 - [0056] 메사 구조는 절단된 상부를 가지거나 가지지 않을 수 있다. 절단된 상부를 가지는 메사 구조에서, H3은 H4와 동일하다. 절단된 상부를 가지지 않는 메사에서, D3은 0과 동일하다. 나아가, H1은 H2보다 작거나 동일하거나 클 수 있는데, 각각 초점이 LEL 위에, 내에 또는 아래에 있는 경우를 정의한다. 다른 예시적인 메사 구조에서, D1은 물질의 전류 확산 또는 전류 밀폐에 따라 D2보다 작거나, 동일하거나 클 수 있다.

- [0057] 도 1의 특징과 속성의 크기 및 치수는 예시적인 것이고 설명의 목적을 위한 것이며 본 명세서에 개시된 μ LED(100)의 특징과 속성을 나타낼 필요가 없다는 것을 유의하여야 한다.
- [0058] 유사 파라볼릭 메사의 종횡비는 $(H2*H2)/Ac$ 로 정의될 수 있다. 종횡비는 또한 메사 구조의 상부가 절단된 경우 $(H3*H3)/Ac$ 로 정의될 수 있다. 실제적으로, $(H2*H2)/Ac$ 로 결정된 종횡비와 $(H3*H3)/Ac$ 로 결정된 종횡비 간의 차이는 많은 경우 무시할 수 있고 $(H3*H3)/Ac$ 가 더 정확한 $(H2*H2)/Ac$ 대신 사용될 수 있다.
- [0059] 나아가, 종횡비의 결정은 원형 단면을 가지는 메사 구조를 필요로 하지 않는다는 것을 유의하여야 한다. 종횡비는 불규칙한 메사 구조, 예컨대 약간 변형되거나 연장된 메사 구조에도 결정될 수 있다. 메사 구조가 원형 단면을 가지는 경우, Ac 는 $\pi*(D4/2)*(D4/2)$ 로 결정된다.
- [0060] 도 2a 및 2b는 상이한 종횡비를 가지는 유사 파라볼릭 메사 구조를 가지는 μ LED를 도시한다. 도 2a는 상대적으로 높은 종횡비를 가지는 메사 구조를 가지는 μ LED(300)를 도시하고, 도 2b는 상대적으로 낮은 종횡비를 가지는 메사 구조를 가지는 μ LED(302)를 도시한다. 예시적인 경우, μ LED(300)는 0.5보다 크거나 같은 종횡비를 가질 수 있고 μ LED(302)는 0.5보다 낮은 종횡비를 가질 수 있고, 특히 예시적인 경우, 종횡비는 0.3보다 낮거나 같을 수 있다.
- [0061] 도 2a 및 2b에서, μ LED(300, 302)는 발광 소스(306a, 306b)를 캡슐화하는 유사 파라볼릭 메사 구조(304a, 304b)를 가진다. 파라볼릭 메사 구조는 포물선의 상부가 발광 소스의 레벨 위로 평탄화된 절단된 상부를 가지거나 가지지 않을 수 있다. 공지된 장치에서, μ LED(300, 302)의 발광 소스에서 방출되는 광은 점 광원에서 발생되는 것으로 간주된다. 하지만, 본 발명자들은 광이 발광 소스(306a, 306b)로부터 방출되는 방식의 진정한 반영이 아니라는 것을 인식하였다. 오히려, 광은 발광 소스(306a, 306b)의 전체 영역에 걸쳐 방출되고 이것은 연장된 소스, 또는 복수의 점 광원으로 모델링되어야 한다. 도 2a 및 2b에 도시된 바와 같이, 방출된 광이 이 방식으로 모델링될 때 낮은 거칠기 추출 표면과 조합된 낮은 종횡비 유사 파라볼릭 메사 구조의 장점으로 이어지는 놀라운 효과가 있다.
- [0062] μ LED로부터의 광 출력의 시준은 포물선의 고유 특성을 사용하여 서술될 수 있는데, 포물선의 초점의 점 광원으로부터 발생된 광은 평행 빔으로 시준된다. 이것과 μ LED를 점 광원으로부터의 발광으로 분석한 것에 기반하여, 공지된 장치에서 메사 구조는 완벽하고 무한한 포물선에 가까워짐에 따라 높은 종횡비를 사용하는 것은 더 나은 시준을 가능하게 하는 것으로 가정되어 왔다.
- [0063] 하지만, 도 2b에 도시된 바와 같이, 특정 영역을 가지는 소스인 비-점 광원으로부터 방출되는 광을 포함하여 전체 μ LED를 고려하면, 반직관적인 행동이 관측된다. 기생 발광 광선(308b)은 장치(302)로부터 방출되도록 메사 구조(304b)의 내부 표면에서 반사된 광만을 남기고 주 방출 표면(310b)의 내부 표면으로부터 내부적으로 반사될 수 있다. 이 효과는 주 방출 표면(310b)이 연마된다면 증가한다. 이 효과의 결과로, 장치(302)에서 방출된 추출된 빔은 유사 파라볼릭 메사 구조 종횡비가 감소할 때 더 시준된다. 본 발명자들은 소스가 단일 점 광원으로 간주될 수 없다는 사실로 인한 이 반직관적 행동 및 이것은 낮은 종횡비 메사 구조와 반사성(낮은 거칠기) 표면의 조합으로써 광 시준 출력의 향상이 가능하게 한다는 것을 인식하였다.
- [0064] 반면, 도 2a의 μ LED(300)는 μ LED(302)에 비해 높은 종횡비를 가지는 유사 파라볼릭 메사 구조를 가진다. μ LED(300)의 종횡비는 0.5 이상일 수 있다. 도 2a에 도시된 바와 같이, μ LED(302)에서 기생으로 간주되는 발광 층(306a)으로부터 방출된 광선은 메사 구조(304a)의 내부 표면으로부터 반사되고, 따라서 내부적으로 반사되는 대신 주 방출 표면(310a)으로부터 방출된다. 이것은 추출 효율을 향상시키지만 많은 응용에서 중요한 파라미터인 출력광의 시준을 감소시킨다.
- [0065] 종횡비를 감소시키고 상대적으로 높은 반사성(예컨대, 연마된) 방출 표면을 사용하여 더 나은 시준을 가지는 것은 통상의 기술자에게 반직관적이다. 나아가, 향상된 시준은 EE의 감소로 인해 상쇄되지만 여전히 만족스럽다. 이것은 당 업계에서 바람직하지 않은 것으로 여겨지지만 실제로는 광범위한 적용 범위를 가진다.
- [0066] 예시적인 μ LED(302)에서, 종횡비는 0.5보다 작을 수 있다. 다른 예시적인 μ LED(302)에서, 종횡비는 0.3보다 작을 수 있다. 다른 예시적인 μ LED(302)에서, 종횡비는 0.2보다 작을 수 있다. 다른 예시적인 μ LED(302)에서, 종횡비는 0.1보다 작을 수 있다. 다른 예시적인 μ LED(302)에서, 종횡비는 0.1 내지 0.25의 범위 또는 0.01 내지 0.25의 범위일 수 있다.
- [0067] 상기에 따르면, μ LED의 빔 시준은 메사 구조가 0.5보다 작은 종횡비를 가지고 및/또는 주 방출면을 연마하여 표면 거칠기가 감소하고 반사 특성이 증가하도록 디자인하고 처리함으로써 증가할 수 있다. 발광층은 유사 파라

볼릭 메사 구조에 캡슐화될 수 있다. 상술한 바와 같이, 파라볼릭 메사 구조가 변형되거나 연장될 수 있지만, 유사 파라볼릭 구조는 활성층의 주위의 실질적 부분을 따라 각도 $\alpha=45^\circ \pm 20^\circ$ 로 μ LED의 발광층과 교차하는 측벽의 접선을 가지는 메사로 정의될 수 있다.

[0068] 발광층은 발광 소스와 같지 않을 수 있음을 유의하여야 한다. 예시적인 μ LED에서, 발광층은 발광 소스가 있는 메사 구조 내에 층을 정의한다. 발광층은 그 레벨의 메사 구조를 통한 단면의 영역과 동일한 영역을 덮을 수 있다. 발광 소스는 실제로 광을 방출하는 발광층의 영역일 수 있다. 예시적인 μ LED에서, 발광 소스는 발광층보다 작을 수 있다.

[0069] 메사 구조는 낮은 종횡비(일반적으로 $HxH/Ac < 0.5$)를 가질 수 있는데, H는 메사의 높이이고 Ac는 발광층의 영역이다. 주 방출 표면은 완전히 또는 부분적으로 연마될 수 있거나 각이 있는 광선의 내부 반사를 가능하게 하도록 처리될 수 있다.

[0070] 연마된 표면과 낮은 메사 종횡비의 조합은 일부 원하지 않는 기생 광선의 내부 반사를 가능하게 하는데, 주 방출 표면 및/또는 발광층의 수직에서 큰 각도를 가진다. 만약 주 방출 표면이 형성되면(예컨대, 렌즈 또는 다른 구조로) 주 방출 표면의 수직은 쉽게 정의될 수 없다. 이들 경우에 수직은 발광층에 수직 또는 추출된 빔의 대칭축으로 정의될 수 있다. 이것은 방출된 빔 시준의 향상을 가능하게 한다.

[0071] 사실, 발광 소스 영역은 메사 초점의 평면 근처 또는 내부의 다수의 소스 또는 확장된 소스로 모델링된다. 이 평면은 발광층과 일치할 수 있다.

[0072] 메사 구조의 초점 근처이지만 정확히 초점은 아닌 곳에서 임의의 방향으로 방출된 광선은 평행 빔으로 반사되어 추출된 빔(기생 광선)의 반각을 증가시키지 않을 수 있다. 동일하게 메사 구조(절단된 상부)의 상부 표면을 향한 발광 소스로부터 방출된 광에 적용될 수 있다. 복수의 또는 확장된 소스로 발광 소스를 고려하면, 기생광이 방출되고 μ LED의 광 시준을 감소시킨다.

[0073] 메사의 종횡비를 감소시킴으로써, 기생 광선의 비율은 메사 구조에 의해 반사되지 않고, 따라서 μ LED를 통해 직접 주 방출 표면으로 전파되어 내부적으로 반사된다. 이들 기생 광선은 또한 물질 내부의 계면, 예컨대 다중 물질 기판의 경우 GaN/사파이어 계면에 의하여 또는 기판과 주변 매질 사이의 반사성 코팅층에 의하여, 또는 임의의 다른 반사 구조에 의하여 반사될 수 있다.

[0074] 도 3a 및 3b는 HxH/Ac (종횡비)의 반각에 걸친 변화의 영향을 제시하는데, 특정 유사 메사 구조와 소스 영역에 대해 시준(도 3a) 및 추출 효율(도 3b)을 수량화할 수 있게 한다. 도 3a는 0.5보다 낮은 종횡비가 방출된 빔의 반각에서 예기치 않은 감소를 나타내고, 따라서 광 시준의 향상을 나타냄을 도시한다. 상이한 메사 구조 및/또는 발광 소스 영역에 대하여, 이들 결과는 약간 변화할 수 있다.

[0075] 공자의 μ LED는 0.5 이상으로 메사 구조의 종횡비를 증가시킴으로써 EE의 향상에 관련된다. 하지만, 많은 응용에서, 추출 효율뿐만 아니라 광 시준도 향상이 필요하다. 일부 경우에, EE는 더 나은 시준을 위해 어느 정도 희생될 수 있다.

[0076] μ LED에 의해 생성되고 장치로부터 주변 매질로 추출된 광의 시준의 향상은 주 방출 표면을 연마함으로써 획득될 수 있다.

[0077] 종래에 시준을 희생하면서 추출 효율을 최대화하기 위하여 거칠거나 형성된 방출 표면이 LED 산업에 사용되었다. 거친 주 방출 표면은 광의 내부 반사를 감소시킨다. 예시적인 μ LED에서, 주 방출 표면의 연마는 기생광의 내부 감소를 가능하게 하고, 향상된 시준으로 이어진다. 예시적인 μ LED에서, Ra로 정의되는 주 방출 표면의 거칠기는 500nm 이하, 150nm 이하, 100nm 이하 또는 50nm 이하일 수 있다.

[0078] 도 4a 및 4b는 연마되지 않은(거친) 주 방출 표면(510a) 및 연마된(상대적으로 덜 거친) 주 방출 표면(510b)을 가지는 μ LED(500, 502)를 도시한다. 도 4a에 도시된 바와 같이, 주 방출 표면(510a)이 연마되지 않았을 때, 메사 구조(504a)의 내부 표면에서 반사되지 않은 광선(508a)은 주 방출 표면(510a)과 상호작용하고, 거칠기 때문에, 광선(508a)이 주 방출 표면(510a)으로 입사되는 각도는 광이 장치(500)로부터 방출되도록 할 수 있다. 이것은 EE를 증가시킬 수 있지만, 또한 출력광의 반각을 증가시키고 따라서 시준을 감소시킨다. 반면, 도 4b의 μ LED(502)의 주 방출 표면(510b)이 연마된 주 방출 표면(510b)을 가지는데, 주 방출 표면(510a)보다 덜 거친다. 그러므로, 장치(500)에서 방출된 동일한 광선(508b)은 내부적으로 반사된다. 이것은 장치의 EE를 감소시키지만 출력광의 반각을 감소시키고 따라서 시준을 향상시킨다.

[0079] 몇몇 μ LED의 반각은 거칠기 Ra=47nm를 가지는 예시적인 연마된 주 방출 표면으로 측정되었다. μ LED의 주 방출

표면은 $R_a=566\text{nm}$ 으로 거칠게 처리되었다. 동일한 마이크로 LED의 반각은 다시 측정되었다. 결과는 도 5에 도시된다. 도 5를 참조하면, 범 시준의 주된 향상은 주 방출 표면이 연마될 때 관측된다. 범 시준에서의 20-40% 향상은 25도 미만의 반각에 대해 관찰되고 5-20% 향상은 25도 이상의 반각에 대해 관찰된다. 이 결과는 연마의 효과는 자연스럽게 좋은 시준을 가지는 LED(즉, μLED)에 대해 더 두드러진다는 것을 강조한다.

[0080] 주 방출 표면으로부터의 내부 반사는 주 방출 표면을 형성하는 물질 및 주 방출 표면의 외측 상의 물질에 따라 다수의 상이한 각도에서 발생할 수 있다. 즉, 표면의 계면은 광이 내부적으로 반사되는 임계각을 결정한다. 예시적인 μLED 에서, 반사 표면은 주 방출 표면일 수 있지만, 다른 예시적인 μLED 에서 반사 표면은 두 물질 간의 계면 표면일 수 있다. 다른 예시적인 μLED 에서, 계면은 가변 굴절률을 가지는 단일 물질에 의해 제공될 수 있다. 이러한 μLED 에서 물질의 굴절률은 계면 영역에 걸쳐 계속적으로 변화할 수 있다. 방출된 광의 파장도 임계각에 영향을 줄 수 있다.

[0081] 다수의 임계각이 각 물질 및 파장에 대해 아래에 주어져 있다.

표 1

제1 물질	제2 물질	파장	임계각(도)
GaN	사파이어	440nm	44
GaN	물	440nm	32
GaN	공기	440nm	23
GaN	공기	550nm	24.5
GaP	공기	650nm	17.6

[0083] 메사 형상의 μLED 를 반사성 표면 및 최적화된 광원 형상 또는 위치와 조합하여 추출된 광의 시준을 최적화하는 것도 가능하다.

[0084] 예시적인 μLED 는 메사에서 발광 소스의 위치를 최적화하고 기판으로 반사된(주변 매질로 추출되지 않은) 기생 광선의 장점을 취함으로써 마이크로 LED 장치에 의해 생성되고 장치로부터 주변 매질로 추출된 광의 시준을 향상시킬 수 있다. 즉, 예시적인 μLED 는 유사 파라볼릭 메사 구조의 중심축에서 오프셋된 발광 소스를 가질 수 있다.

[0085] 발광 소스의 오정렬은 메사의 일측에서 방출된 기생광의 더 많은 내부 반사를 유도한다. 이것은 μLED 로부터 방출된 범의 비대칭 프로필로 이어질 수 있다. 도 6a 및 6b는 원리를 도시한다. 도 6a는 상이하게 위치된 발광 소스(706a, 706b)를 가지는 μLED (700, 702)를 도시한다. 도 6a에서, 발광 소스(706a)는 메사 구조(704a)를 통해 수직으로 뻗어있는 중심축에 대해 중앙화되어 있다. 예시적인 μLED 에서 발광 소스(706a)는 원형일 수 있다. 다른 예시적인 μLED 에서, 발광 소스(706a)는 비대칭일 수 있다. 다른 예시적인 μLED 에서, 광원은 중심에서 방출이 없는(초점면에서 방출이 없는) 중심 주위의 링일 수 있다.

[0086] 발광 소스(706a)에서 생성된 광은 메사 구조(704a)의 내부 벽에서 반사되고 주 방출 표면(710a)을 통해 장치(700)에서 방출된다. 발광 소스(706a)의 주변부에서 생성되고 및/또는 메사 구조(704a)의 하부 모서리와 접촉하는 708a와 같은 광선은 장치(700)로부터 방출되고 범의 반각의 한계를 제공한다. 반면, 도 6b를 참조하면, 장치(702)의 발광 소스(706b)는 메사 구조(704b)의 중심축에서 오프셋된다. 이러한 구성에서, 메사 구조(704b)의 하부 모서리와 접촉하는 광선(708b)은 입사각이 감소됨에 따라 주 방출 표면(710b)에서 내부적으로 반사된다. 그 결과, 장치(702)에서 방출된 범은 꼬이지만(skewed) 더 큰 시준과 감소된 반각을 가진다.

[0087] 도 7a 및 7b는 μLED (700, 702)의 평면도를 도시한다. 발광 소스(706b)의 오정렬은 도 7b에 도시된다. 도 7a는 발광 소스(706a)를 도시하는데, 메사 구조(704a)의 중심축과 정렬된다. 예시적인 x 오프셋은 1 내지 $5\mu\text{m}$ 의 범위 또는 발광층의 반경의 0% 내지 (D4-D2)/D4%의 범위일 수 있다. 예시적인 y 오프셋은 1 내지 $5\mu\text{m}$ 의 범위 또는 발광층의 반경의 0% 내지 (D4-D2)/D4%의 범위일 수 있다. 이들 범위 내의 x 및 y 오프셋의 임의의 조합도 가능하다. x 및 y 오프셋은 발광층의 반경의 10% 내지 50%의 범위일 수 있다.

[0088] 발광 소스(706b)이 메사 구조(704b)의 중심이 아닌 경우의 모델이 구축되었다. 상이한 오정렬 값이 10%, 10%; 20%, 20%; 30%, 30%; 및 50%/50%의 x, y 오프셋으로 모델링되었다. 이를 오정렬 파라미터는 도 8에 도시된 바와 같이 합리적인 추출 효율을 유지하면서 비대칭 범 형상을 낳는다. 도 9는 30%, 30%만큼 메사 구조의 중심축으로부터 발광 소스 오프셋을 가지는 모델링된 μLED 의 극성 플롯을 도시한다.

- [0089] μ LED로부터 방출된 시준도 이방성 발광 소스를 가짐으로써 개선될 수 있다. 즉, 오직 선택된 방향으로만 광을 방출하는 발광 소스이다. 이방성 소스는 유사 파라볼릭 메사 구조 표면에서 입사하는 이를 빔 경로를 주로 생성함으로써 μ LED의 시준 및 추출 효율을 향상시킬 수 있다.
- [0090] 예시적인 μ LED에서, 소스 방출은 장치 방출 방향에 수직 또는 주로 수직으로, 즉 μ LED의 활성층의 평면 내에서 유도 또는 촉진될 수 있다. 일부 예시적인 μ LED에서, 소스 방출은 μ LED의 주 방출 표면에 실질적으로 평행하게 유도될 수 있다. 일반적으로 광은 방출 표면을 향해 유도될 것이므로, 의도적으로 발광 소스로부터의 광 방출을 장치 방출 방향에 수직인 면으로 유도하는 것은 반직관적이다. μ LED 메사 구조와 결합된 장치 방출 방향에 수직 또는 실질적으로 수직인 소스 방출은 추출된 빔 시준 및 추출 효율 향상을 가능하게 한다. 만약 소스가 등방성이면 방사된 광의 작은 비율만이 즉시 메사 내부 반사 표면으로 입사될 것이다.
- [0091] 도 10a 및 10b는 μ LED(1100, 1102)를 도시하는데, 각각 등방성 및 이방성 발광 소스를 가진다. 도 10a는 발광 소스(1106a)로부터 모든 방향으로 방출되는 광을 도시한다. 발광 소스(1106a)로부터 방출되는 8개의 예시적인 광선 중, 오직 광선(8 및 4)만이 즉시 메사 구조 내부 반사 표면으로 입사한다. 나머지 광선은 대부분 내부 산란 및 손실에 기여하여, 추출 효율을 감소시키거나, 메사에 의해 유도되지 않고 표면을 탈출하여, 시준된 방출된 빔을 넓힌다. 8 및 4 외의 광선은 일반적으로 메사(1104a)의 평면 상부 표면으로부터 반사되거나(광선(1 및 3)), 메사에 의해 반사되지 않고 기판으로 전파되거나(광선(5 및 7)), 직접(광선(6)) 또는 평면 반사 후(광선(2)) 시준된 빔에 일치하게 기여한다(하지만 넓힌다).
- [0092] 예시적인 μ LED에서, 발광 소스로부터 방출된 광의 50% 이상이 방출 방향에 실질적으로 수직인데, 이는 발광층에 수직으로 정의될 수 있다. 다른 예시적인 μ LED에서, 발광 소스로부터 방출된 광의 80% 이상이 방출 방향에 실질적으로 수직이다. 다른 예시적인 μ LED에서, 발광 소스로부터 방출된 광의 90% 이상이 방출 방향에 실질적으로 수직이다.
- [0093] 메사 구조의 종횡비가 감소함에 따라 내부 산란에 기여하는 광선의 비율이 증가할 수 있고 μ LED(1100)의 추출 효율에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 그러므로 추출 효율을 향상시키기 위하여 소스 이방성에 의해 기생 광선(1, 3, 5 및 7)을 제거하는 것이 유리하다.
- [0094] 도 10b에 도시된 이방성 발광 소스(1106b)는 발광 소스(1106b)의 양자 우물의 평면에서 대부분 방출한다. 생성된 광의 더 큰 비율이 메사 구조(1104b)의 내부 반사 표면에 입사되고 생성된 광의 더 작은 비율이 μ LED의 내부 산란 및 손실에 기여한다.
- [0095] 이방성 소스는 다양한 방법으로 생성될 수 있으며, 아래에 제시된 예시에 제한되지 않는다.
- [0096] 인덱스 가이딩: 에피택셜 구조가 낮은 굴절률 물질에 매립된 발광 소스(1106b)의 양자 우물로 변조되고 외부 클래딩 영역은 굴절률이 더 높다. 이것은 양자 우물의 평면으로 생성된 광을 다시 유도(밴딩)하는 효과를 가진다. 그러므로 양자 우물 방출은 이방성이지만 클래딩의 인덱스 가이딩이 발광 소스(1106b)에서 방출된 광을 손실 경로, 예컨대 μ LED(1102)의 방출 방향에 수직에서 멀어지도록 유도한다.
- [0097] 쌍극자 이방성: 일부 반도체 물질은 전자와 정공의 공간적 분리를 나타내는데, 이러한 쌍극자 효과는 특정 평면에서 명백하다. GaN은 극성, 반극성 및 비극성 평면을 가진다. 이 공간적 분리는 전파 방향과 관련된 특정 편광에서 재결합 확률에 영향을 미친다. 이것은 특정 평면에서 향상된 광자 방출과 다른 평면에서 억제된 광자 방출로 이어질 수 있고, 광자는 연관된 분극 효과를 나타낸다. 이 효과는 μ LED(1102)의 광이 방출 방향에 수직인 방향에서 발광 소스로부터 방출되도록 촉진하는데 사용될 수 있다.
- [0098] 예시적인 μ LED는 굴절률 인덱스 가이딩 또는 결정 이방성 효과를 사용하여 양자 우물의 평면에서 광의 전파를 촉진할 수 있다.
- [0099] 예시적인 μ LED에서, 발광 소스에서의 광의 이방성 방출은 발광 소스에서 주 방출 표면까지의 범위에 반사 영역 또는 낮은 거칠기 표면을 가질 필요 없이 μ LED로부터 방출되는 광의 추출 효율 및/또는 시준을 증가시킬 수 있다.
- [0100] μ LED에 의해 생성되고 μ LED로부터 주변 매질로 추출되는 광의 시준도 주 방출 표면 상에 첨가물 층의 응용에 의해 감소될 수 있다.
- [0101] 주 방출 표면에 적용되는 첨가물 층은 각도 의존성을 나타낼 수 있는데, 즉 광의 입사각에 기반하여 입사하는 광을 감쇠, 반사 또는 전파시킬 수 있다. μ LED에 적용될 때 이 효과는 시준을, 예컨대 첨가물 층에 주 방출 표면의 법선에 대해 더 큰 각도로 입사하는 광을 감쇠시킴으로써 향상시킬 수 있다. 반대로 적용된 층의 투과는

공지된 각도 의존성과 일치하는 시준된 소스에의 적용에 의하여 향상될 수 있다.

[0102] 주 방출 표면 상의 μ LED의 처리는 파장 밴드패스, 하이패스, 로우패스, 반사 또는 반사 방지 필터를 포함하나, 이에 제한되지 않는 몇몇 대안적 기능을 가지는 층의 추가를 포함할 수 있다. 이러한 첨가물 층은 필터가 넓은 방출각 소스로 작용하는 비-시준된 장치에 적용될 때 일반적으로 손실 메커니즘으로 나타나는 AOI(angle of incidence) 의존성을 가지는 것으로 알려져 있다. 이들 필터의 주 기능은 빔 프로필에 영향을 주지 않지만, AOI 의존성은 2차 효과로서 시준을 향상시키고, 산란된 광을 억제하고, 장치의 어레이에서 크로스토크를 감소시킴으로써 μ LED의 기능을 향상시키는 빔 형성 속성을 가질 수 있음을 의미한다. 나아가, μ LED에 적용될 때 더 높은 각도에서 연관된 전력 손실이 크게 감소되기 때문에 이들 층의 성능은 비-시준된 소스에 비해 향상될 수 있다.

[0103] 도 11은 20° 의 발광 반각을 가지는 μ LED 및 램버트 프로필을 가지는 일반 평면 LED에 첨가물 층으로 적용된 밴드 패스 필터를 통한 투과 플롯을 도시한다. 밴드 패스 필터는 30° 이상의 각도에서 입사광을 크게 감쇠시킨다. 플롯은 필터를 통한 μ LED 투과와 평면 LED 투과의 비율도 도시한다. 작은 입사광에서 μ LED는 최대 4배의 전력을 전달하고, 전체 반구에 걸쳐 μ LED가 평면 장치의 2배의 전력을 전달함을 알 수 있다.

[0104] 통과하는 광의 AOI의 의존성을 가지는 밴드패스 필터를 가지는 주 방출 표면에 대한 첨가물 층으로 처리된 μ LED 장치에서 방출된 광의 시준의 향상이 관측된다. 비-시준된 LED 장치에 대해, 이것은 출력력을 감쇠시키는 효과를 가진다. 하지만 μ LED 장치에 대하여, 주 방출 표면의 법선에 대하여 더 큰 각도를 가지는 부분적으로 시준된 빔이 더 작은 각도를 가지는 것보다 감쇠되는 것이 밝혀졌다. 그러므로 μ LED로부터 방출된 광의 시준이 증가된다. 예시에서, 필터의 적용이 44° 내지 26° 의 평균 반폭반치(=반각)를 향상시킨다.

[0105] 마이크로 LED에 필터 적용이 더 효율적인 시스템을 만들어내기 때문에 필터를 통한 투과 손실은 평면 LED를 사용할 때보다 μ LED에 대해 적다.

[0106] 예시적인 μ LED에서 다층 유전체 필터가 사용될 수 있다. 필터는 10nm 내지 30nm(특정 예시에서, 20nm)의 패스 밴드와 400 내지 700nm의 가시 영역의 임의의 곳에서 공칭 투과 과장을 가질 수 있다. 다른 고유의 필터가 깊은 UV에서 광학적 과장을 거쳐 적외선 과장까지 적용될 수 있는데 로우패스 밴드 패스 또는 하이패스 속성은 모든 디스플레이에서 각도 의존성이 μ LED 시준의 향상을 낳는다. 발광층의 법선에서 $>10^\circ$ 의 각도에서 광은 감쇠 효과를 겪고 30° 이상의 방출의 대부분은 투과되지 않는다. 보다 일반적인 타입의 첨가물 층은 유전체 막의 다층으로 형성되고, 각 층은 일반적으로 $\lambda/4$ 두께의 차수이다.

[0107] 본 명세서에 서술된 예시적인 μ LED는 연마된 주 방출 표면 반사 속성에 관해 발광 소스 영역을 디자인함으로써 향상된 월 플러그 효율을 가질 수 있다. 그 영역, 즉 S_{area} 에 의해 정의된 발광 소스는 절단된 상부를 가질 수 있는 유사 파라볼릭 메사 구조에 캡슐화된다. 유사 파라볼릭 메사 구조는 활성층의 주변부의 실질적인 부분을 따라 각도 $\alpha=45^\circ(+/-20^\circ)$ 로 활성층과 교차하는 측벽의 접선을 가지는 메사로 정의될 수 있다. LEL(light emitting layer)로도 불리는 활성층은 그 영역 LEL_{area} 로 정의된다. 소스 점유율은 소스 영역 분의 발광층 영역: S_{area}/LEL_{area} 로 정의된다. 원형 메사의 경우, 소스 점유율을 정의하는 다른 방식은 $D2*D2/(D4*D4)$ 이다. 메사는 낮은 중횡비 ($H2xH2/Ac < 0.5$)를 가질 수 있다. 주 방출 표면은 연마될 수 있다(또는 각이 있는 광선의 내부 반사가 가능하도록 처리될 수 있다). 월 플러그 효율은 소스 영역을 확대하면서 최적화된다.

[0108] 종래 기술에서 유사 파라볼릭 형상을 가지는 μ LED 구조는 작은 소스 점유로 더 나은 추출 효율을 가짐이 일반적으로 인정된다. 예를 들어, US 7518149호는 접촉이 상부가 절단된 메사 표면 영역의 16% 미만을 점유하는 경우 특히 높은 효율을 개시한다. 이 설명은 소스 점유가 감소할 때, 즉 월 플러그 효율이 더 높을 때 더 많은 광이 μ LED 장치로부터 추출됨을 나타내는 경향이 있다. 그럼에도 불구하고, 소스 점유가 감소되면, 접촉이 감소되고 따라서 전류 밀도가 증가한다. 따라서, 동일한 입력 전력(IxV)의 경우, 물질의 IV 특성에 따라, 더 많은 전자가 큰 접촉을 통해 주입될 수 있고, 따라서 더 많은 광자가 생성될 수 있다.

[0109] 물질에서 광자 생성과 광자 추출 간의 절충안이 있다. 동일한 입력 전력에서, 큰 소스는 더 많은 광자를 생성하지만 이들 광자의 더 작은 비율이 물질에서 추출될 것이다. 본 명세서에 개시되는 예시적인 μ LED는 소스 점유를 확대함으로써 μ LED의 월 플러그 효율을 최적화하는 것이 가능함을 보여준다.

[0110] 도 12는 처리된 μ LED(NiAu 접촉이 있는 GaN)의 전력 대 전류 특성을 도시한다.

[0111] 예시적인 μ LED에서, 0.5mW 입력 전력에 대하여: 90 μ A가 10%의 소스 점유에 대해 주입될 수 있고; 98 μ A가 30%의 소스 점유에 대해 주입될 수 있다. 큰 소스에 대한 시준 손실 때문에 추출 효율은 두 디자인 간에 달라질 수 있다. 모델링된 특정 메사 구조에 대하여, 추출 효율은 10%의 소스 점유에 대해 48.2%부터 30%의 소스 점유에

대해 45.9%까지 달라질 수 있다. 도 13은 특정 메사 디자인에 대해 다양한 소스 점유를 가지는 μ LED의 EE(extraction efficiency)를 도시한다. 다른 디자인(메사 종횡비, 기하학적 계수, ...)이 약간 다른 결과를 가져올 수 있다.

[0112] 큰 소스(예컨대, 30%)에 대하여, 생성되는 광자의 수는 9.2%만큼 증가할 수 있는데, 추출 효율의 감소로 인한 손실을 고려하면, 여전히 거의 4%의 월 플러그 효율의 전체 증가를 가능하게 한다.

[0113] 기생 광선을 반사하기 위한 낮은 거칠기의 연마된 표면을 가지는 낮은 종횡비(예컨대, 0.5 이하)의 메사 구조는 높은 종횡비의 메사 구조와 비교할 때 방출된 광의 반각의 향상을 가능하게 한다. 소스 점유 확대는 반각을 증가시킨다. 따라서, 동일한 시준 요구사항에 대하여, 소스 점유가 확대된 낮은 종횡비 메사는 도 14에 도시된 바와 같이 사용될 수 있다. 동일한 반각 요구사항(예컨대, 10도)에 대하여, 메사 구조는 높은 종횡비(예컨대, 0.5 이상)와 낮은 소스 점유(예컨대, 10% 이하) 또는 낮은 종횡비(예컨대, 0.5 이하)와 큰 소스 점유(예컨대, 50% 이상)으로 디자인될 수 있다.

[0114] 100%까지 확대된 소스 점유는 실제 μ LED 응용에 사용되고 낮은 종횡비 메사 구조와 조합될 때 허용 가능한 수준의 시준을 달성할 수 있다. 큰 소스 점유를 가지는 높은 종횡비 디자인은 허용 불가능한 시준을 낳을 수 있다. 이것은 순방향 전압, 제조 가능성 등의 인자와 시준의 트레이드 오프를 가능하게 한다.

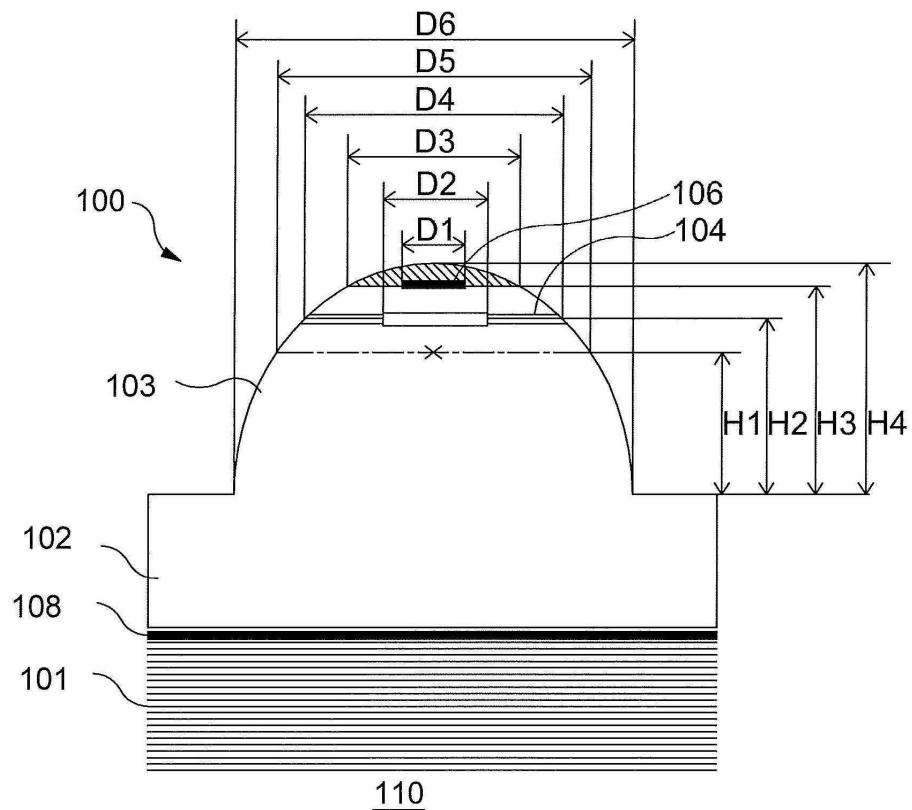
[0115] 본 명세서에 개시되는 예시적인 μ LED는 전자 광학 시스템을 위한 미광 및 광 경로 관리에 이점을 제공한다. 예시적인 μ LED는 벌크 광학을 제거함으로써 광학 시스템과 패키징을 단순화한다. 나아가, 예시적인 μ LED는 배경 잡음을 제거하고, 전력 요구 사항을 감소시키고 및/또는 요소간 크로스토크를 감소시킬 수 있다.

[0116] 직접 디스플레이에서: 디스플레이 또는 사생활 디스플레이의 시야각을 좁히고; 디스플레이 콘트라스트 향상을 위한 후방 산란 제거; 및/또는 픽셀 블러를 감소시키기 위하여 픽셀간 크로스토크의 감소와 같이 디스플레이 응용에도 보완적인 이점이 있을 수 있다. 또한, 디스플레이 백라이트 응용에서, 예시적인 μ LED는 라이트 가이드 백플레인과 연결하는 광을 최적화하고; 외부 손실을 감소시키고; 및/또는 상이한 전력 절감 백라이트 구조를 가능하게 할 수 있다.

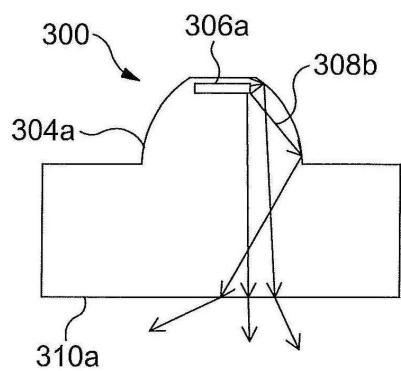
[0117] 상술한 임의의 특징은 μ LED에 단독으로 또는 조합되어 적용될 수 있다. 나아가, 통상의 기술자는 첨부되는 청구항에 따라 본 발명의 다른 실시예를 예상할 수 있을 것이다.

도면

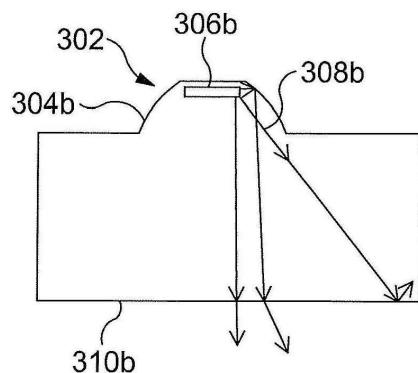
도면1



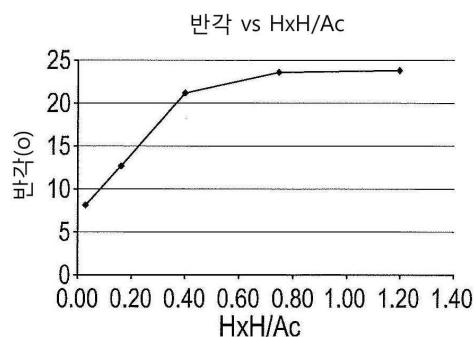
도면2a



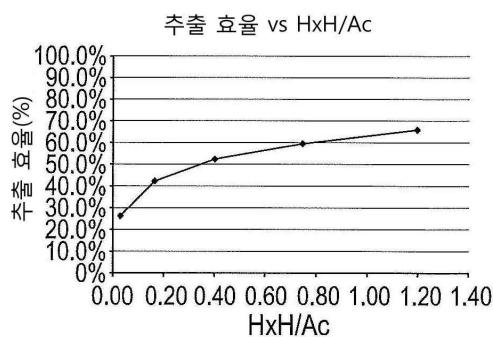
도면2b



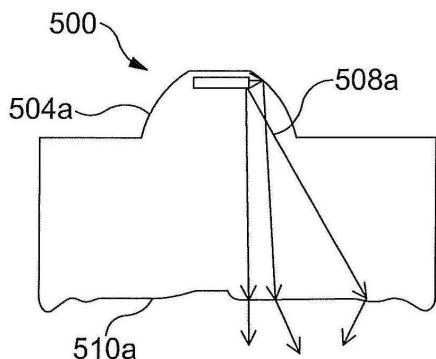
도면3a



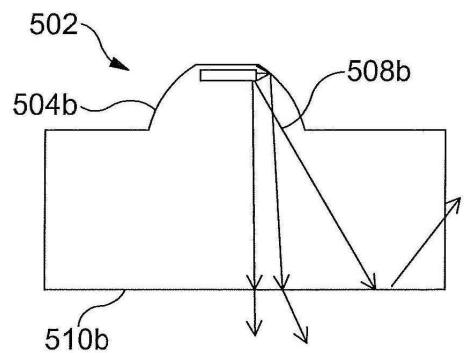
도면3b



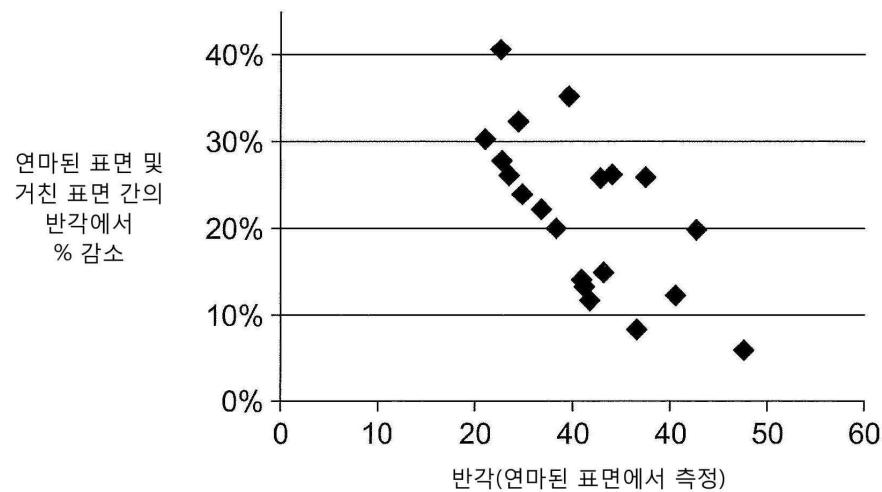
도면4a



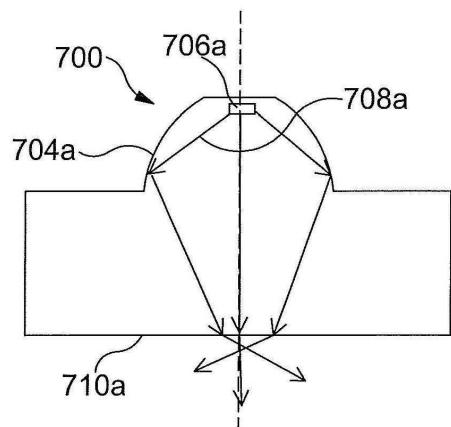
도면4b



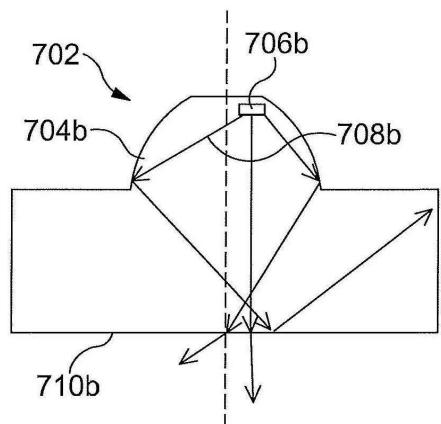
도면5



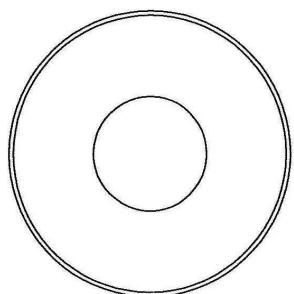
도면6a



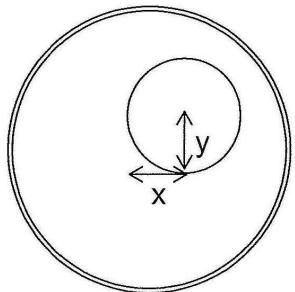
도면6b



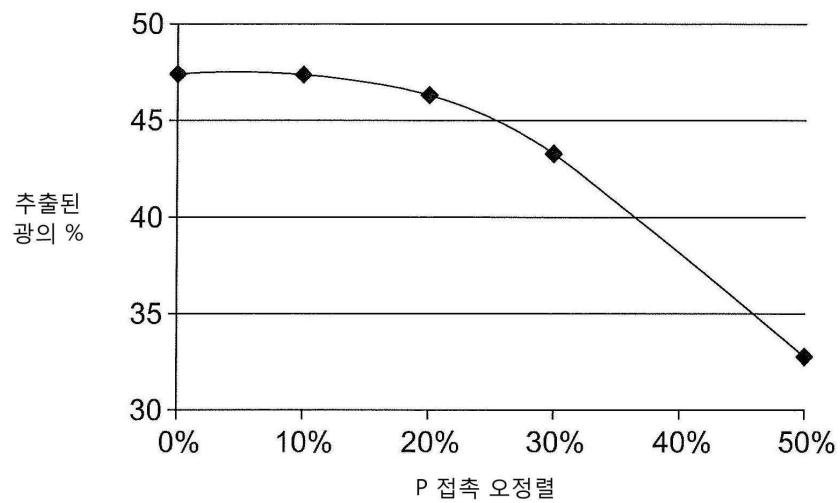
도면7a



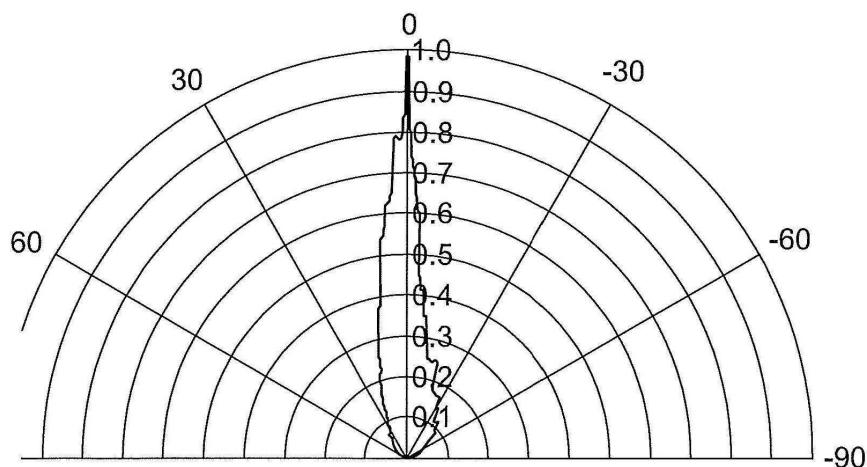
도면7b



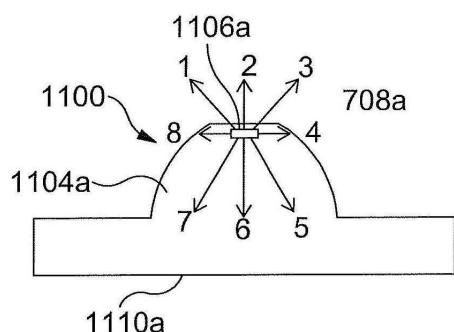
도면8



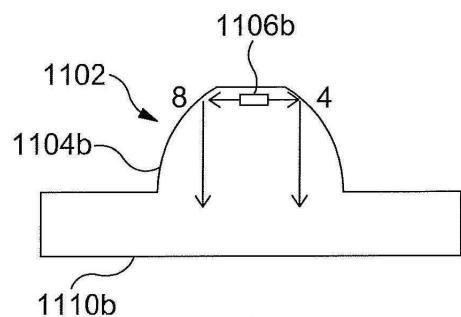
도면9



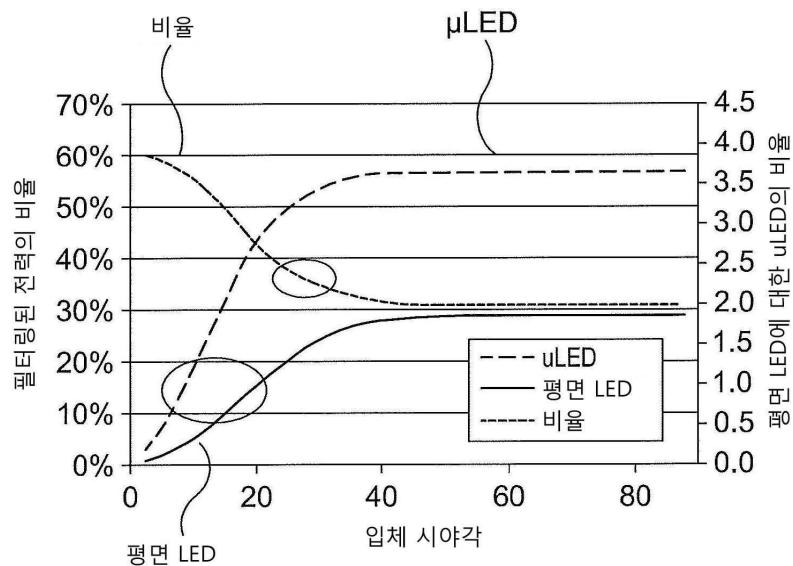
도면10a



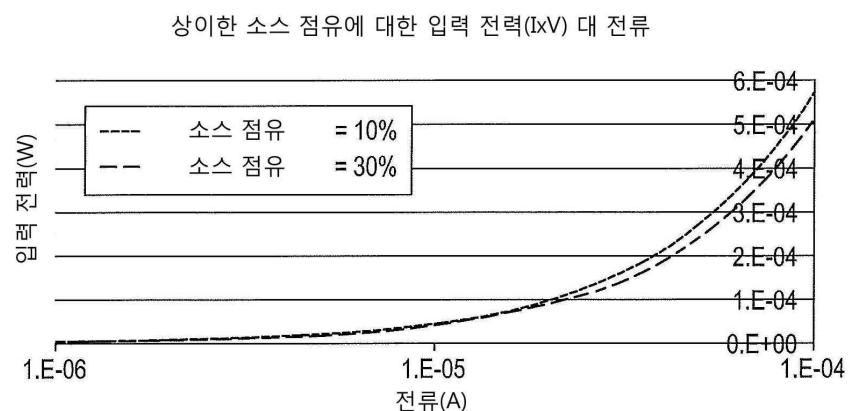
도면10b



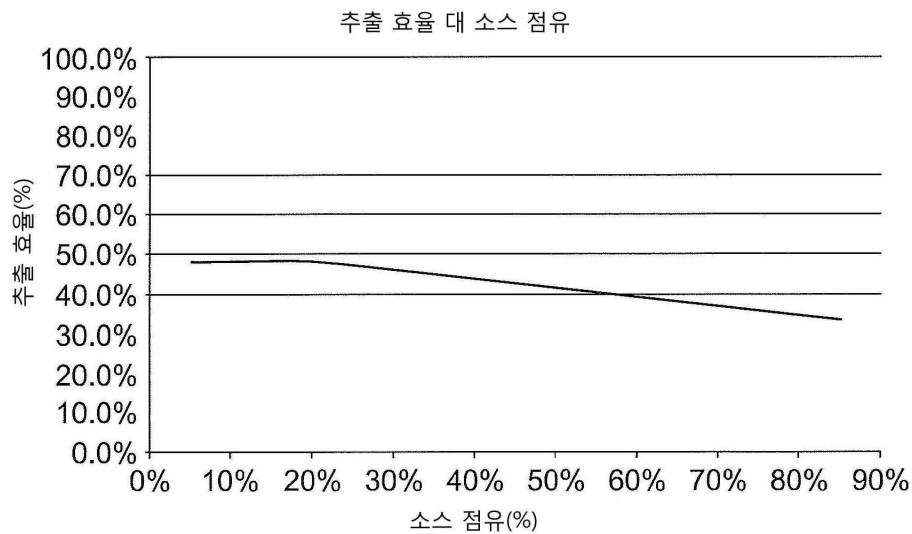
도면11



도면12



도면13



도면14

