

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl. ⁷ H01L 33/00	(45) 공고일자 2000년 10월 16일
	(11) 등록번호 10-0268567
	(24) 등록일자 2000년 07월 13일
(21) 출원번호 10-1997-0702368	(65) 공개번호 특 1997-0706612
(22) 출원일자 1997년 04월 11일	(43) 공개일자 1997년 11월 03일
번역문제출일자 1997년 04월 11일	
(86) 국제출원번호 PCT/EP 94/03346	(87) 국제공개번호 WO 96/11498
(86) 국제출원일자 1994년 10월 11일	(87) 국제공개일자 1996년 04월 18일
(81) 지정국 EP 유럽특허 : 오스트리아 벨기에 스위스 리히텐슈타인 사이프러스 독 일 덴마크 스페인 핀란드 프랑스 영국 그리스 아일랜드 이탈리아 룩셈부르크 모나코 네덜란드 포르투갈 스웨덴 국내특허 : 일본 대한민국 미국	
(73) 특허권자 인터내셔널 비지네스 머신즈 코포레이션 미국 10504 뉴욕주 아몽크	포만 제프리 엘
(72) 발명자 스트라이트 사무엘 클라게트	
(74) 대리인 장수길, 주성민	스위스 CH-8802 킬크베르크 호른할덴 스트라체 1 프라우가티 내

심사관 : 김동업

(54) 다중 파장으로 광을 발생시키기 위한 발광 다이오드의 모놀리식 어레이 및 이를 사용한 멀티 컬러 디스플레이

요약

발광 다이오드의 모놀리식 멀티 컬러 어레이와 이를 멀티 컬러 디스플레이 응용에 사용하는 것이 개시되어 있다. 멀티 컬러 LED는 도전성 기판(35), 도전성 반도체층(36), 도전성 반도체층(36)의 상부의 보상된 반도체층, 및 개개의 LED를 바이어스하기 위한 접촉점들(37; 38.x, x=1,2,...)을 구비하고 있다. 보상된 반도체층은 광을 발생하기 위한 LED의 활성층의 역할을 한다. 활성층의 멀티 컬러 능력은 불순물 관련 전자 천이를 발광성 재결합 과정으로서 사용하고, 활성층의 도핑 조건의 측방 변동을 도입함으로써 달성되는데, 이 천이의 에너지는 도핑 조건에 따라 다르다. 이 측방 변동(서로 다른 도핑 조건은 서로 다른 심볼 Di i=1,2, ...)은 활성층에서 발생된 광의 색상의 측방 변동이 활성층으로의 캐리어 주입으로 인해 0일어나도록 조정된다. 활성층에 (Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}In_yN 등의 대역갭이 넓은 반도체를 사용함으로써 근적외선과 자외선 사이의 전 스펙트럼에 걸쳐 있는 서로 다른 방출선을 발생할 수 있는 모놀리식 멀티 컬러 LED 어레이를 제조할 수 있게 된다.

대표도

도3b

명세서

[발명의 명칭]

다중 파장으로 광을 발생시키기 위한 발광 다이오드의 모놀리식 어레이 및 이를 사용한 멀티 컬러 디스플레이

[기술분야]

본 발명은 다중 파장(multiple wavelength)으로 광을 발생하기 위한 발광 다이오드의 모놀리식 어레이(monolithic array) 및 이러한 어레이에 근거한 멀티 컬러 디스플레이(multicolor display)에 관한 것이다.

[배경기술]

우리의 기술 세계에서, 디스플레이는 추상적인 정보를 시각화(visualization)를 통해 이용가능하게 만들기 위한 사람과의 인터페이스(human interface)로서 중요한 기능을 갖는다. 과거에, 디스플레이에 대한 많은 응용들이 있음을 알고 이를 실현하였으며, 그 각각은 그 자신만의 특정 요건들을 가지고 있었다. 따라서, 여러 가지 디스플레이 기술들이 개발되었으며, 그들 각각은 특정 디스플레이 응용의 요건들에 대해서는 그들만의 장점과 약점을 가지고 있으며, 따라서 특정 디스플레이 기술은 특정 종류의 응용에 가장 적합하게 되어 있다.

추진 중에 있는 가장 중요한 디스플레이 응용들은 음극선관(CRT), 액정 디스플레이(LCD), 또는 진공 형광(vacuum fluorescent), 플라즈마, 발광 다이오드(LED), 전기 발광(electroluminescent), 및 전기 기계(electromechanic) 디스플레이들에 근거하고 있다. 적절한 디스플레이 기술을 판가름하는 가장 결정적인

기준들 중에는, 제조 단가, 전력 효율, 신뢰성, 중량, 스크린의 크기, 깊이(depth), 밝기, 그레이스케일 능력(gray scale capabilities), 다이내믹 레인지(dynamic range), 해상도(즉, 디스플레이상의 어드레스 가능한 화소의 최소 크기), 콘트라스트(contrast), 콘트라스트의 시야각(viewing angle)에 대한 의존성, 특정 픽셀(픽셀 요소)의 스위칭 속도, 태양광 가독성(sunlight readability), 컬러 범위, 색상 및 색상 콘트라스트(chrominance and chrominance contrast) 등이 있다. CRT는 낮은 가격과 멀티 컬러, 고해상도 및 그레이 스케일 능력 등으로 인해 디스플레이 시장에서 독보적인 위치를 차지하고 있다. 그러나, CRT는 저중량, 저전력, 작은 깊이(small depth) 및 태양광 가독성 등이 요망되는 경우, 예를 들어 배터리로 구동되는 휴대용 컴퓨터 등의 응용에서는 여러 가지 단점들이 있다.

CRT가 약점을 나타내는 영역에서, 특히 CRT의 중량, 깊이 및/또는 전력 소모가 절대로 허용할 수 없을 정도인 경우에, 상기한 다른 디스플레이 기술들이 제 역할을 하게 된다. 예를 들어, 손목 시계 또는 휴대용 컴퓨터 등의 응용-평판 패널 디스플레이의 중요 분야-에서, 또는 일반적으로 대형 및/또는 평판 디스플레이를 필요로 하는 응용에서는 다른 기술들을 선호하고 있다.

LCD는 그의 잇점들-저중량, 저전력 소모, 낮은 깊이-로 인해 평판 패널 디스플레이 기술을 선도하게 되었다. 액정 물질은 값싸고, 그 제조 공정은 상당한 비용이 소요되지만 축적 설계가 가능(scalable)하므로, 임의의 크기의 디스플레이를 제작할 수 있다. 그러나, 고해상도 그래픽 또는 완전 동화상 비디오 등의 많은 응용에서는 종종 고속의 픽셀 스위칭과 함께 고해상도를 필요로 한다. 이 경우에, LCD 기술은 여러 가지 단점들을 갖는다. LCD에서는, x-y 매트릭스 어드레싱 기술로 고해상도를 달성하며, 따라서 어드레스 라인의 수를 저감시킨다. 그러나, 액정 물질의 물리적 기본 특성과 함께 x-y 매트릭스 어드레싱으로 인해, 인접한 픽셀들간의 콘트라스트의 열화, 최대 시야각의 작아짐, 및 영상 품질을 떨어뜨리는 다른 요인들, 예를 들어 픽셀들간의 크로스 토크(cross talk)를 없애기 위해서만 고해상도가 얻어진다. 이들 결점들은 소위 "액티브" x-y 매트릭스 어드레싱(피.엠. 알트(P. M. Alt) 등의 "박막 트랜지스터/액정 디스플레이에 대한 그레이 스케일 어드레싱 기술", IBM Journal of Research and Development Vol. 36, No. 1, pp. 11-22, 1992) 이라는 것에 의해 부분적으로 극복될 수 있다. 하지만, 액티브 매트릭스 어드레싱은 디스플레이 자체와 같은 크기의 트랜지스터 회로망을 필요로 하고, 각 트랜지스터는 한 커패시터에 저장된 전하를 제어하며, 각 커패시터는 그의 전극 사이의 액정 분자의 배향에 영향을 미치고, 이렇게 하여 전체 디스플레이의 한 픽셀을 정의하게 된다. 오늘날에는, 액티브 매트릭스 어드레싱이 알맞는 해상도를 갖는 그래픽 또는 완전 동화상이 가능한 화려한 완전 컬러 디스플레이를 가능하게 해준다. 그러나, 액티브 매트릭스 어드레싱을 갖는 대형 평판 패널 LCD는 트랜지스터 매트릭스 어레이의 제조 단가로 인해 고가로 된다. 액티브 매트릭스 어드레싱으로 인한 개선에도 불구하고, 여전히 한정된 시야각 등의 바람직하지 않은 결점들이 남아 있게 되어, 해상도가 오늘날에도 100 μm x 100 μm 의 최소 픽셀 크기로 한정되어 있다. 또한, 픽셀 크기가 프로젝션 디스플레이(projection display), 즉 투영(projection) 이전의 원래의 영상의 해상도가 충분하다고 했을 때, 광학 촬상(optical imaging)에 의해 1차 디스플레이 소자로부터 2차 허상 또는 실상을 발생시켜 확대된 영상을 발생시킬 수 있게 해주는 디스플레이의 최대 배율(maximum magnification factor)을 결정짓게 된다.

대각선이 30인치 이상인 크기를 갖는 고해상도의 대형 LCD는 제조하기 어려우며 고가이다. 따라서, 고선명 TV (HDTV)나 공중 표시판(public information board)에 요망되는 대형 평판 디스플레이는, 그의 전력 효율이 나쁨에도 불구하고 진공 형광, 전기 발광 또는 플라즈마 디스플레이의 분야이다. 특히, 대형의 완전 컬러 평판 패널 플라즈마 디스플레이는 가까운 장래에 HDTV내의 음극선관을 대체할 잠재성이 매우 크다.

발광 다이오드(LED) 디스플레이는 평판이며 경량이고, 태양광 가시성(sunlight viewability)를 가지며, LCD에 비해 우수한 시야각과 LCD의 10-100ms에 비해 10-20ns 정도의 높은 응답 속도를 갖는다. 게다가, LED 디스플레이는 LCD 디스플레이보다 더 작은 픽셀 크기를 가질 수 있다. LED 디스플레이는 반도체 리소 그라피($\approx 1\mu\text{m}$ x $1\mu\text{m}$ 또는 그 이하)에 의해 정의되기 때문에 아주 작을 수 있는 단일 LED의 규모(dimensions)에 의해 판가름나는 픽셀 크기를 갖는다. LCD 디스플레이의 가장 작은 픽셀 크기는 액정의 물리적 특성(분자의 크기, 점도 등)에 의해 판가름난다(약 100 μm x 100 μm). LED 디스플레이의 빠른 변조 속도(modulation speed)로 그레이 스케일 능력을 향상시키기 위해 간단한 변조 기술, 예를 들어 온/오프 스위칭을 사용할 수 있게 된다. 예를 들어, n 그레이 레벨의 경우, 단일 사이클 내에 0-n 번 스위칭 온한다(switch on).

LED 디스플레이는 진공관 디스플레이에 대한 대체물로서 시장에 등장하였고 기기(instrument)상의 작은 지시기(indicator) 및 파지형 컴퓨터(hand-held computer) 내의 작은 영숫자 소자(alphanumeric device)로서 사용되었다. 그러나, LED 디스플레이는 그의 기관 및 제조 단가로 인해 가격면에서 불리하거나 또는 LED의 전력 소모가 경쟁력이 없는 어떤 영역에서는 LCD 기술에 시장 점유율을 빼앗겼다. 반면에, 이러한 LCD 기술을 옹호하는 주장들은 몇가지 이유로 그 의의를 잃어가고 있다. 첫째로, 재료 과학 및 기술의 진보로 LED 소자는 그의 전력 효율 측면에서 향상되었으며, 더욱더 진보될 수 있을 것이다. 게다가, LCD의 전력 잇점은 주로 LCD가 비방출 모드(in a nonemissive mode)로 사용되는, 즉 LCD가 주변광(ambient light)에 의해 조명되어 반사 또는 투과 공간 필터(reflective or transmissive spatial filter)로서만 작용하는 응용에서는 중요성을 갖는다. 이러한 경우에는, 개개의 픽셀을 어드레싱하고 스위칭하는 데에만 전력을 사용한다. 이 어드레싱 및 스위칭은 LED 등의 방출 소자(emissive device)를 구동하는 것에 비해 저전력 과정이다. 그러나, LCD를 비방출 모드로 사용할 수 없고 램프로 조명해야만 하는 응용들이 많이 있으며, 예를 들어 랩톱 컴퓨터용 고휘도 디스플레이(high-brightness displays for laptop computers)에서의 응용 등이 있다. 이러한 경우에, LCD의 전력 잇점은 의문시된다. 액티브 매트릭스 x-y 어드레싱을 사용해야만 할 때는 LCD를 옹호하는 가격 주장은 점점 설득력을 잃어간다. 그렇다면, 대부분의 비용은 어드레싱을 위한 트랜지스터 매트릭스의 제조로 인한 것이다.

따라서, 최대 시야각, 빠른 응답 속도, 및 최소 픽셀 크기 등의 유익한 특징들이 요망되는 LED 디스플레이의 응용 분야가 생기게 된다. 그러나, LED 디스플레이의 장래는 여러가지 문제, 예를 들면 컬러 능력(color capabilities), 모놀리식 칩상에 여러 가지 컬러의 어드레싱가능한 여러가지 LED-계열 광원의 집적, 및 이러한 모놀리식 칩의 최대 크기 등의 해결 여부에 달려 있다.

대각선이 10인치인 LCD가 액티브 매트릭스 어드레싱에서도 통상적이며 2배 크기의 시스템이 실험 단계에 있는 반면에, 모놀리식 LED 소자의 크기는 일반적으로 2 내지 25mm 사이에 있고, LED가 그 위에 제조되는 기판의 유효 크기(available size)에 의해 한정되며, LED는 통상 상기 기판상에 성장된 에피택셜 반도체 층들에서 형성된다. 더 큰 LED 계열 디스플레이가 개발되어 있지만, 모놀리식 형태는 아니다. 이는 단일 다이오드 또는 적은 수의 표시점(display point)을 갖는 모놀리식 모듈을 사용하여 조립된 것이다. 인치당 64라인의 해상도와, 4인치 x 4인치의 크기를 가지며, 각 어레이가 16x16 발광 접합부(light emitting junction)를 포함하고 있는 1/4인치 x 1/4인치 GaP LED 어레이들로 이루어진 49,000개의 발광 접합부를 갖는 디스플레이는, 케이. 티. 버네트(K. T. Burnette)의 "다중모드 매트릭스 평판 패널 LED 바랙터 개념 시연 디스플레이"(Multi-Mode Matrix Flat Panel LED Varactor Concept Demonstrator Display) Proceedings of the Society for Information Display, Vo1. 21/2, pp.113-126, 1980 에 개시되어 있다. 하이브리드 LED 디스플레이의 다른 예들은 다쓰히코 니이나(Tatsuhiko Niina) 등의 "문자와 TV 디스플레이 이용 고휘도 GaP 녹색 LED 평판-패널 소자"(A High-Brightness GaP Green LED Flat-Panel Device for Character and TV Display) IEEE Transactions on Electron Device, Vo1. ED-26, No. 8, pp. 1182-1186, 1979 에 주어져 있다.

현재로는, 대각이 10인치이고 픽셀 크기가 100 μm x 100 μm 인 완전 컬러(특히, 3 컬러)의 그레이-스케일 이 가능하고 매트릭스-어드레싱가능한 LCD가 최신 기술이다. 컬러 능력(color capability)은 디스플레이의 가장 작은 화소인 각 픽셀이 3개의 인접한 독립적인 서브픽셀로 세분되도록 3-컬러 필터 어레이를 통해 백색광에 의해 조명되는 평판 디스플레이를 제공함으로써 달성되는데, 각각의 서브픽셀은 가변 세기로 혼합될 수 있는 3가지 원색-청색, 녹색 및 적색-중 하나를 나타내며, 단일 픽셀은 영의 세기("검정"색을 정의함)와 소정의 최대값 사이의 어떤 그레이 레벨로 백색광 스펙트럼의 소정의 컬러를 방사하는 효과를 내도록 되어 있다.

지금까지, 멀티 컬러 LED 평판 패널 디스플레이는 개별 LED(discrete LED)를 조립한 것이었다(예를 들면, 티. 니나(T. Nina) 등의 "멀티 컬러 GaP LED 평판 패널 디스플레이 소자"(A multicolor GaP LED flat panel display device) 1981 SID Int. Symp. Digest Tech. Papers 12, pp.140-11, 1981 참조). 최근의 반도체 집적 및 처리 기술을 이용함으로써 이러한 소자의 제조를 단순화하기 위하여, 다수의 LED를 제공하는 모놀리식 멀티 컬러 LED 계열 소자들이 요망되어짐에 따라, 개개의 LED가 일정 범위에 걸쳐 변화할 수 있는(tunable) 개별 컬러를 발생하거나, 또는 적어도 2개의 서로 다른 LED 그룹이 존재하는데, 각 그룹은 그의 LED의 공통 파장을 특징으로 하며, 서로 다른 그룹이 공통 파장은 서로 구별할 수 있다. 여기서 "서로 구별할 수 있다"는 말의 의미는 응용에 따라, 즉 관찰자에 따라 달라진다. 관찰자가 사람인 경우에는, 그 사람은 서로 다른 컬러를 구별할 수 있어야만 한다. 디스플레이가 색을 감지하는 기기에 의해 해석되는 경우에는, 이 기기의 색감도(color sensitivity)에 관련이 있다.

디스플레이가 색채 대비(chromatic contrast)를 포함한 임의의 영상 데이터를 나타내어야만 하는 경우에는, 집적된 멀티 컬러 LED를 갖는 모놀리식 소자의 특징을 이루는 특성들의 상기 리스트는 완전하지 못하다. 그래서, 등가적인 멀티 컬러 픽셀(픽셀은 평판 기판상에 분포되어 있음)의 2차원 어레이를 제공하는 모놀리식 소자가 요망되며, 그에 따라 각 픽셀은 전자 제어하에서 일정 범위내에서 변화할 수 있는 컬러를 발생하는 적어도 하나의 LED에 의해 표시되거나, 구별할 수 있는 2 이상의 파장들 중 하나를 발생할 수 있는 공간적으로 분리된 LED의 그룹에 의해 표시된다. 어떤 임의의 가시 색상의 자연적인 표시를 위해, 각 픽셀의 위치에서 3개의 파장을 발생시키는 것이 요망된다. 예를 들면, 한 파장은 청색에 속하고, 다른 하나는 녹색에 속하며, 세번째의 것은 가시 스펙트럼의 적색 부분에 속한다.

그러나, 기판상에 개별적으로 어드레싱가능한 광원의 1차원 또는 2차원 분포를 제공하고 2개 이상의 구별 가능한 색상을 제공하는 모놀리식 멀티 컬러 LED는 공지되어 있는 기술이 아니다. 특히, 미해결된 문제로는 가시광의 전 스펙트럼을 포함할 수 있는 LED를 집적시키는 일이다.

이하에서는, 특별히 동일 기판상에 여러 가지 컬러를 집적시키는 것에 강조점을 둔 가시 LED의 컬러 능력에 대해 공지된 기술을 간략하게 요약해 보았다. 가시광의 전 스펙트럼에 대한 단일의 단색 LED(single monochrome LED)를 제조하는 것은 반도체 기술들은 공지되어 있다. 이러한 기술들에 대한 개요는 엘. 이. 타나스(L. E. Tannas) 저 "평판 패널 디스플레이와 CRT"(Flat-Panel Displays and CRTs)(Van Nostrand Reinhold Company, Chapter 9, pp. 289-331, 1985) 등의 저서에 기술 되어 있다. 대부분의 응용에서, 광 발생을 위해서는 LED의 활성 영역을 형성하는 물질내에서 전자의 직접 대역간 천이(direct electronic band-to-band transitions) 또는 불순물-유도된 간접 대역간 천이(impurity-induced indirect band-to-band transitions)가 사용된다. 이들 경우에, LED의 활성 영역에 대해 선택된 물질의 에너지 갭(energy gap), 즉 LED내에서 광을 발생시키는 역할을 하는 전자 천이(electronic transition)가 일어나는 구역(zone)이 특정 LED의 색상을 결정한다. 특정 물질의 주광 천이(dominant optical transition)의 에너지와 그로 발생된 광의 파장을 이용하려는 또다른 공지 개념은 에너지 갭내에 깊은 트랩(deep trap)을 생기게 하는 불순물을 포함시키는 것이다. 이 경우에, 주광 천이는 주물질(host material)의 대역-상태(band-state)와 깊은 트랩의 에너지 레벨 사이에서 일어날 수 있다. 따라서, 불순물을 적당히 선택하면 주반도체(host semiconductor)의 에너지 갭 이하의 광자 에너지를 갖는 광 방출(optical radiation)을 일으킬 수 있다. 이 경우에, 활성층에 대해 선택된 불순물, 주반도체 및 정확한 합금 조성비는 특정 파장을 갖는 LED의 설계에 3의 자유도를 주게 되는데, 그 이유는 합금의 불순물 레벨에서의 대역갭유도 편이(bandgap induced shift)가 방출 색상(emission color)을 변화시키기 때문이다.

오늘날에는, LED의 방출 파장을 조정하고 LED의 활성 영역에 대해 III-V족 또는 II-VI족 화합물 반도체 또는 그들의 합금을 사용하는 이들 2가지 개념을 이용하여, 이산적인 방출선(discrete emission lines)을 갖는 근적외선과 청색 사이의 광학 스펙트럼을 포괄할 수 있다. 그러나, 고품질 반도체 층의 성장에 대한 제약때문에, 여러 가지 파장을 모놀리식 LED 어레이로부터 발생시킬 수 있도록 LED에 대한 물질, 도핑 조건 및 소자 개념을 결합시키는 것이 실험 가능한지 여부의 일반적인 문제가 발생한다.

대부분의 LED 기술에서는, 활성 영역은 한 층이 p-형으로 도핑되고 다른 층은 n-형으로 도핑된 반도체 피복층들(cladding layers)사이에 위치하며, 광 천이는 이 피복층들사이에 적절한 바이어스를 인가하여 전자와 호올을 활성층에 주입함으로써 야기된다. 이러한 방식의 중요하지만 때로는 제한적인 전제 조건은,

n-형으로 뿐만 아니라 p-형으로도 도핑될 수 있고 고품질의 활성 영역의 제조를 위한 기판으로 역할할 수 있는 적당한 피복 물질이 존재해야 한다는 것이다. p-n-형 LEP에서의 활성 영역에 대한 공통 물질과 그들이 가장 적합한 스펙트럼 영역의 일례가 이하에 요약되어 있으며, 그에 따라 스펙트럼 데이터는 일반적인 상온값으로 되어 있다. 주로 사용되는 물질들에는 GaAs, GaAlAs, GaP, GaAsP, GaInP, AlGaInP, GaN, AlGaIn, InAlGaIn 등의 III-V족 반도체와, ZnSe/CdZnSe CdZnSeS 또는 MgCdZnSes 등이 II-VI족 화합물, 및 IV-IV 화합물 SiC 등이 있다.

GaAs에서의 직접 대역간 천이(direct band-to-band transition)는 870nm 부근에서의 적외광을 발생하는데 사용된다. $Ga_xAl_{1-x}As$ 에서의 직접 대역간 천이를 이용하여, 867nm 부근과 652nm 부근 사이의 적외광/적색광 스펙트럼 범위는 몰분율(molar fraction) x 를 적절히 선택함으로써 커버할 수 있다. 물질계(material system) $GaAs_{1-x}P_x$ 는 직접 천이($x < 0.49$)를 이용할 때는 스펙트럼 범위 867nm - 610nm(즉,

적외광-적색광)에 적합하며, 질소 등의 등전자 불순물(isoelectronic impurities)로 도핑함으로써 불순물 유도 공정에 의해 가능하게 될 수 있는 간접 대역간 천이를 이용할 때는 610nm - 548nm(즉, 적색광-녹색광)에 적합하다.

청색광을 발생하는 LED인 경우에는, SiC, GaN, AlGaIn, InAlGaIn, ZnSe/CdZnSe 또는 CdZnSeS 등의 대역갭이 넓은 반도체가 그 후보가 된다. 최근까지, 이러한 대역갭이 넓은 물질들 대부분은 n-형 뿐만 아니라 p-형으로 도핑되어 성장 할 수 없었다. 따라서, 활성 영역으로의 캐리어 주입을 위하여 p-n 접합을 이용하는 종래의 개념에 근거한 LED는 실행할 수 없었다. 이러한 불편을 피하기 위해 MIS형 다이오드(즉, 금속-절연체-반도체 다이오드; metal-insulator-semiconductor diodes)을 적용하여 성공을 보았다. MIS형 LED에서는, 활성층이 절연되어 도전성 반도체층과 금속 접촉점 사이에 배치되어 있다. 금속과 도전성 반도체층 사이에 적절한 바이어스 V 를 인가함으로써, 전자들이 활성층내로 주입되며, 그에 따라 전자 방출기(electron emitter)가 부바이어스된(negatively biased) 금속층이 되거나, 또는 반도체층이 n-도핑되어 있는 경우에는 부바이어스된 반도체 층이 된다. 활성층에서는, 주입된 전자들이 대향 전극에 의해 리플레시(refresh)된 효율과 재결합되어 빛을 방출하게 되는데, 이 대향 전극은 정바이어스된(positively biased) 금속층이 되거나 또는 전자 방출기가 n-도핑된 반도체 층일 경우에는 n- 또는 p-도핑된 반도체 층이 된다. 이러한 구조는 문턱 전압이 있고 주입된 전류가 인가된 바이어스 V 의 함수로서 지수적으로 증가하는 등의 전형적인 다이오드와 같은 비선형 전류-전압 특성을 나타낸다. 최대 전력 효율은 보통 n-형 반도체 층으로부터 소자의 양극으로 기능하는 금속 전극으로 전자를 방출함으로써 달성된다. MIS-LED의 전체 성능, 특히 주입된 전류 I 와 인가된 바이어스 V 사이의 관계 및 발생된 광의 세기와 주입된 전류 I 의 관계는 캐리어 주입(예를 들면, 장벽에서의 터널링(tunneling), 열여기(thermal excitation)) 및 활성층에서의 캐리어 전송(carrier transport)(예를 들면, 깊은 불순물의 전계 이온화(field ionization of deep impurities), 깊은 불순물의 충격 이온화(impact ionization of deep impurities), 효율의 호핑 전송(hopping transport of holes), 공간 전하 전류 한계(space charge current limitations) 등)에 관련된 많은 물리적 과정들에 따라 다르다. 이들 물리적 과정에 대한 상세한 논의는 본 출원을 이해하는데 관련이 없는데, 그 이유는 MIS-LED의 성능의 최적화는 본 발명의 목적이 아니기 때문이다. 이와 관련하여, MIS-LED의 전력 효율에 대한 절연층의 두께의 관련성을 언급하는 것으로 충분하다. 절연층의 두께에 있어서는, 상호 절충(trade-off)이 있게 된다. 절연층이 너무 얇게 되면, 주입된 전자가 절연층을 지나 발광성 재결합없이 직접 소자의 양극으로 통과하는 분량이 점점 증가하게 되며, 따라서 전력 효율이 저하된다. 절연층이 너무 두꺼운 경우에는, 직렬 저항 및 문턱 전압이 증가하게 되며 또다시 전력 효율이 저하된다. GaN 계열 MIS-LED에 대한 절연층의 최적 두께의 대표적인 값은 20nm - 1 μ m의 범위내에 있다 (지. 야콥(G. Jacob) 등의 GaN 전기 발광 소자: 제조 및 연구(GaN electroluminescent devices: preparation and studies) Journal of Luminescence Vol. 17, pp. 263-282, 1978 참조).

청색 발광 MIS 다이오드는 GaN 계열에서 실현되었다. 이들의 일례들은 이하에 발표되었다:

- 에이치. 피. 마루스카 등의 "Mg-도핑된 GaN의 자외 발광"(Violet luminescence of Mg-doped GaN) Applied Physics Letters, Vol. 22, No. 6, pp. 303-305, 1973.
- 제이. 아이. 팡코프(J. I. Pankove)의 "전기 발광 GaN을 사용하는 청색-녹색 숫자 디스플레이"(Blue-Green Numeric Display Using Electroluminescent GaN) RCA Review, Vol. 34, pp. 336-343, 1973.
- 엠. 알. 에이치. 칸(M. R. H. Khan) 등의 "GaN의 전기적 특성: Zn MIS형 발광 다이오드"(Electric properties of GaN: Zn MIS-type light emitting diode) Physica B 185, pp. 480-484, 1993.
- 지. 야콥(G. Jacob) 등의 "GaN 전기 발광 소자: 제조 및 연구"(GaN electroluminescent devices: preparation and studies) Journal of Luminescence Vol. 17, pp. 263-282, 1978.
- EP-0-579 897 A1: "갈륨 질화물 화합물 반도체의 발광 소자"(Light-emitting device of gallium nitride compound semiconductor).

이들 연구에서, GaN에 대한 공통 기판, 즉 사파이어(sapphire)가 사용된다. 사파이어 기판상에는 n-형 GaN의 두꺼운(몇백 마이크로미터) 층이 성장되어 있는데, 종종은 뜻하지 않게 도핑된 GaN이다. n-GaN 층의 상부에는, 절연성 GaN의 활성층이 성장되어 있다. 절연 성질은 성장 동안에 진성 도너(intrinsic donor)를 보상함으로써 도전성을 저하시키는 Zn, Cd 또는 Mg 등의 억셉터를 포함시킴으로써 실현되었다. In, Ni, Ag 또는 Al 등의 금속들은 절연성 활성층에 대한 금속 접촉점으로써 역할한다. 사파이어 기판이 절연성이기 때문에, MIS-다이오드에 바이어스를 인가하기 위해서는 특별한 시도가 필요하다. n-GaN층에 접촉하기 위해서는, 기판의 모서리에 측면 접촉점(side contact)을 형성하거나 또는 절연성 GaN 활성층을 통과하는 접촉 구멍을 에칭함으로써 n-GaN 층을 상부로부터 접근 가능하게 만들어야 한다.

또한 상기한 문서들에서 Zn, Cd 또는 Mg 등의 불순물에 의한 절연 GaN 층의 보상으로 인해 주 반도체의 에너지 갭내에 여러 가지 불순물 레벨들이 공존하게 될 수 있으며, 그에 따라 불순물 상태의 밀도가 도핑 조건, 즉 불순물의 유형, 그의 농도, 및/또는 성장 조건에 따라 달라지게 된다는 것을 알게 되었다. 또한, 보상된 GaN층의 전기 발광에 기여하는 주 전자의 천이(dominant electronic transition)는 최저 전도 대역(conduction band)과 에너지 갭내의 불순물 상태(impurity state) 사이에서 일어난다는 것을 알았

다. 따라서, 전기 발광 과정에 관여된 불순물 상태의 에너지에 따라서, 불순물 상태의 결합 에너지(binding energy)에 의해 저장된 대역 갭의 광자 에너지를 갖는 광이 발생된다. 따라서, 불순물 상태의 분포를 적절히 조정(tailor)함으로써, 대역간 천이가 주천이(dominant)인 경우에 자외선내에 있는 GaN 전기 발광 스펙트럼의 피크는 불순물의 도입으로 적색 편이(red-shift)된다. 이러한 개념에 근거하여, GaN MIS-LED는 전 가시 스펙트럼에 걸쳐 있는 스펙트럼의 청색, 녹색, 황색, 오렌지색 및 적색 부분에서 피크 파장을 갖게 제조되었다. 이러한 소자들의 문턱 전압 뿐만 아니라 양자 효율은 그들의 방출 색상에 관계가 있다. 약 0.5% 및 0.1%의 양자 효율은 각각 가시 스펙트럼의 녹색-황색 및 청색 부분에 대해 나타난 것이다. 대표적인 문턱 전압은 청색에 대해서는 4V, 녹색에 대해서는 5V이고 황색에 대해서는 10V이다.

최근에는, GaN 및 InGaN과 AlGaIn 등의 관련 화합물을 p-도핑하기 위한 기술 개발이 진척됨에 따라, 제1의 p-n형 청색 GaN 계열 LED는 입증되었다. 최신 기술을 나타내는 한 예가 에스. 나카무라(S. Nakamura) 등의 "칸델라급 고휘도 InGaN/AlGaIn 이중-헤테로구조 청색 발광 다이오드"(Candela-class high-brightness InGaN/AlGaIn double-heterostructure blue-light-emitting diodes) Applied Physics Letters, Vol. 64, No. 13, p.1687-1689, 1994에 주어졌다. 이 논문에서 개시된 LED의 수직층 구조(vertical layer structure)는 사파이어 상에 성장된 GaN/AlGaIn/InGaIn 층들의 적층(stack)으로 구성되어 있다. 활성층은 p-도핑된 또한 n-도핑된 AlGaIn 층들 사이에 배치된 Zn 도핑된 InGaIn으로 이루어져 있으며, 이러한 형태가 이중-헤테로구조(double-heterostructure)를 이룬다. Zn 도핑에 의해 GaN에 대해 알려진 바(상기한 내용 참조)와 마찬가지로 Zn-관련 불순물 상태들의 에너지에 관련된 에너지를 갖는 광 천이(optical transition)가 일어나게 된다. 이 소자의 사파이어 기판은 도전성이 아니기 때문에, 그 아래의 n-GaN 층에 접근하기 위해 접촉 구멍이 활성층을 통과하게 에칭된다.

ZnSe, CdZnSe 또는 CdSSe 등의 II-VI족 반도체에 대한 도핑 기술 개발에 있어서의 최근의 진척으로 인해, 이들 물질이 p-n 접합 기반 청색 발광 LED나 레이저 다이오드의 제조에 이용될 수 있게 되었다. II-VI족 대역갭이 넓은 물질들의 성장의 최신 기술에 대해서는 지. 에프. 노이마크(G. F. Neumark) 등의 논문 "청색-녹색 다이오드 레이저"(Blue-green diode lasers), Physics Today 6, pp.1 26-32, 1994에서 알 수 있다.

요약하면, 여러 가지 반도체 물질, 그들의 합금 및 불순물이 포함된 것을 사용하여, 전 가시 스펙트럼(entire visible spectrum)에 걸쳐 있는 파장들에서 광을 방출하는 단일 LED를 제조하는데 LED의 활성층에 대한 여러 가지 물질들을 이용할 수 있다. 그러나, 단일 기판상에 멀티 컬러 능력을 갖는 여러 가지 LED-계열 광원을 집적시키는 개념은 거의 발전이 없었다.

바이어스의 함수로서 그들의 색상을 변화시키는 가변 색조 GaN MIS-LED에 대해서는, 지. 야콥(G. Jacob) 등의 "GaN 전기 발광 소자: 제조 및 연구"(GaN electroluminescent devices: preparation and studies) Journal of Luminescence Vol. 17, pp. 263-282, 1978로부터 알 수 있다. 이러한 LED의 파장 튜닝(wavelength tuning)은 여러 가지 불순물 레벨이 주 반도체의 에너지 갭에 공존하는 것과, 이들을 전자들이 차지하는 것이 바이어스에 따라 달라진다는 것에 근거한다. 낮은 바이어스에서는, 최저 에너지를 갖는 천이가 일어난다. 그러나, 바이어스가 증가함에 따라, 이 천이에 기인한 방출은 포화되는 반면에, 세기가 증가함에 따라 더 높은 에너지를 갖는 천이가 나타나 더욱 더 증가된 바이어스에서 전기 발광 스펙트럼을 지배(dominate)하기 시작한다. 상기한 논문은 증가하는 바이어스의 함수로서 청색광의 할당량이 증가하는 황색 및 청색광을 혼합하는 GaN MIS-LED의 일례를 나타낸 것으로서, 동일한 활성 영역에서 두가지 컬러 모두가 발생된다.

이전의 일례와 비슷한 가변 색조 LED는 이미 더블유. 로젠즈바이흐(W. Rosenzweig) 등의 논문 "가변 색조 GaP 다이오드"(Variable Hue GaP Diodes), Solid-State Electronics, Vol. 14, pp. 655-660, 1970에서 개시되었다. 이 경우에, GaP는 주물질(host material)이며, 질소와 ZnO는 2가지 파장, 적색과 녹색에서 전기 발광을 일으키는 여러 가지 불순물 상태를 발생하는 도펀트(dopant)로서 사용되며, 2가지 컬러 모두의 세기는 바이어스에 종속되어 상호 관련성이 있다.

여러 가지 색상을 갖는 서로 다른 LED-계열 광원을 집적시키는 다른 개념으로는 각각이 여러가지 방출선 중 특정의 것에 기여하는 여러가지 활성 영역을 수직으로 집적시키는 것이다. 이 방법에 따른 일례는 티.니이나(T.Niina)의 논문 "멀티 컬러 GaP LED 평판 패널 디스플레이 소자"(A Multi-Color GaP LED Flat Panel Display Device), 1981 DID Int. Symp. Digest Technical Papers 12, pp. 140-141, 1981에 주어졌다. 여기 개시된 소자는 n-, p-, p-와 n-형으로 제각기 도핑된 GaP 층들의 적층으로 이루어져 있으며, 서로 전기적으로 절연되어 있는 2개의 p-n 접합을 서로의 상부에 형성한다. 한 p-n 접합에서의 활성 영역은 불순물 유도된 간접 대역간 천이의 결과 녹색광의 방출이 일어나도록 도핑되어 있다(상기 내용 참조). 다른 p-n 접합은 대역갭내의 불순물 레벨로의 천이로 인해 GaP의 에너지 갭 이하의 광자 에너지를 갖는 적색광을 발생시킬 수 있는 ZnO 불순물을 함유하고 있다. 이 2개의 p-n 접합 모두를 독립적으로 바이어스시키기 위해, 3개의 전극이 필요하며, 그에 따라 복잡한 처리 단계들이 이들을 제조하기 위해 필요하다. 즉 전극의 전기적 절연을 위한 절연 트렌치의 에칭 단계 및 p-GaP 층들에 대한 전기적 접촉을 가능하게 하기 위하여 역셉터를 갖는 상부 n-GaP층을 국부적으로 과보상(local overcompensation)하는 단계가 필요하다. 각각의 p-n 접합을 독립적으로 바이어스할 수 있게 됨으로써 적색과 녹색 사이의 중간색을 발생시키는 것이 가능하게 되며, 그에 따라 관찰자에게는 광이 단일 광원으로부터 나오는 것처럼 보인다. 상기한 참고 문헌에 따르면, 이러한 2-컬러 LED의 단일 요소들이 제조되어 TV 응용을 위한 대형 평판 패널 디스플레이의 화소로서 사용된다.

지금까지, 단일 기판상에 다수의 멀티 컬러 LED-계열 광원을 제공하기 위해 이들 개념을 확장한 것은 아니다. 특히, 적색과 청색 사이의 소정의 색상을 가지며, 소정의 형상을 가지고 단일 기판상의 소정의 위치에 있는 다수의 LED-계열 광원을 어떻게 제공할 것인가의 문제에 대해서는 언급하지 않았다.

[발명의 요약]

본 발명의 목적은, 다중 파장으로 광을 발생시키기 위한 발광 다이오드의 모놀리식 어레이를 제공하는 데 있다.

본 발명의 또다른 목적은, 전 가시 스펙트럼에 걸치는 다중 파장으로 광을 발생시키기 위한 발광 다이오

드의 모놀리식 어레이를 제공하는 데 있다.

본 발명의 또다른 목적은, 단순하고 제조 단가가 저렴한 다중 파장으로 광을 발생시키기 위한 발광 다이오드의 모놀리식 어레이를 제안하고, LED와 기판에 적절한 물질을 제안하는 데 있다.

본 발명의 또다른 목적은, 그레이 스케일과 비디오 능력(gray scale and video capability)을 갖는 고해상도의 완전 컬러 디스플레이에 특히 주안점을 둔 디스플레이를 위한 모놀리식 멀티 컬러 LED의 응용 분야를 제공하는데 있으며, 그에 따라 완전 컬러라는 용어는 가시 스펙트럼의 어떤 컬러로 표시할 수 있음을 나타낸 것이다. LED는 임의의 형상 또는 크기의 광원을 나타낼 수 있으며, 따라서 디스플레이의 임의의 화소를 정의하게 된다.

청구된 본 발명은 이들 요건들을 충족시키기 위한 것이다. 본 발명은 다중 파장으로 광을 발생시키기 위한 발광 다이오드(LED)의 어레이를 제공하며, 이 LED는 하나의 기판상에 성장된 반도체 막의 적층 구조로 실현되는데, 상기 어레이는 상기 LED에 바이어스를 인가하기 위한 접촉 영역(contact area)을 구비하며, 상기 LED 중 적어도 2개의 특정 LED는 이하에 열거하는 이유로 여러가지 전기 발광 스펙트럼을 얻게 된다:

- 상기 특정 LED 중 제1의 것만이 그의 활성 영역을 형성하는 물질에서의 불순물 상태에 의해 결정되는 전기 발광 스펙트럼을 가지며, 상기 불순물 상태는 상기 활성 영역의 대역갭 에너지(bandgap energy) 이하의 에너지를 갖는 광 천이(optical transition)를 일으킨다.
- 상기 특정 LED 모두는 각각의 활성 영역을 형성하는 물질에서 적어도 하나의 불순물 상태를 가지며, 상기 불순물 상태는 국부적인 도핑 조건(local doping condition)이 서로 다름으로 인해 상기 LED 모두에 대해 서로 다르며, 상기 불순물 상태 각각은 상기 활성 영역의 대역갭 에너지 이하의 에너지를 갖는 광 천이를 일으키고, 상기 광 천이가 상기 특정 LED의 상기 전기 발광 스펙트럼에 기여한다.
- 상기 특정 LED 모두의 상기 전기 발광 스펙트럼은 서로 다른 방출 파장(emission wavelength)을 갖는 적어도 2개의 방출선(emission line)을 포함하는데, 상기 방출선 모두는 상기 LED의 활성 영역을 형성하는 물질에서의 불순물 상태에 관련되어 있고 상기 활성 영역의 대역갭 이하의 광자 에너지(photon energy)를 가지는 광 천이로 인한 것으로서, 상기 2개의 방출선은 상기 특정 LED에 대해 동일한 광자 에너지를 가지지만 상대 세기(relative intensity)는 서로 다르다.

본 발명의 기본적인 배경 사상은, 그의 전기 발광 스펙트럼이 반도체 물질의 여기된 전자의 상태(excited electronic state)로부터 에너지 갭(energy gap)내의 하나 이상의 도핑 유도된 불순물 상태(doping-induced impurity state)로의 전자의 천이(electronic transition)로 인하여 생기는 하나 이상의 방출선을 포함하도록 도핑함으로써 변경될 수 있는 반도체 물질을 선택하는 것으로서, 그에 따라 불순물 유도된 방출선의 파장은 도핑 조건, 예를 들면 도펀트의 종류, 여러가지 도펀트의 혼합, 도핑 농도, 또는 도핑 절차의 방법에 의해 영향을 받는 것으로 추정된다. 활성층 물질의 대역갭은 전기 발광에 의해 발생되는 가장 짧은 파장을 결정한다. 따라서, 대역갭이 $\approx 3eV$ 인 넓은 대역갭의 반도체는 방출 파장이 적외선과 자외선 사이의 전가시 스펙트럼(entire visible spectrum)에 걸쳐 있는 경우, LED의 활성 영역에 사용된다. 이러한 물질을 LED의 활성 영역에 사용하면, 본 발명에 따라 멀티 컬러 LED 어레이를 설계할 수 있는 방법들이 여러가지 있다.

한 접근 방법은 도핑 조건이 측방으로 변동이 있는 활성층에 근거한다. 따라서, 기판상의 서로 다른 위치에서 제조된 LED는 서로 다른 방출 파장을 갖는다.

임의의 형상과 임의의 컬러의 화소가 임의적으로 분포되어 있는 디스플레이를 제조하기 위해서는, 측방 도핑 프로파일(lateral doping profile)을 제어하기 위한 마스크 단계와 함께 기판상에 활성층을 성장시킨 후에 도펀트를 국부적으로 포함할 수 있는 도핑 방법이 이용된다. LED가 단지 하나의 방출 파장을 갖는 경우에는, 특정 LED의 방출 파장은 그에 인가되는 바이어스가 변할 때에도 안정 상태를 유지한다(온도 효과 등의 2차적인 효과를 무시한 경우). 여러가지 그레이 스케일은 바이어스를 변화시키거나 가변 속도 및/또는 진폭으로 LED를 빠르게 변조시킴으로써 실현된다.

제2 접근 방법은 2개 이상의 방출선이 전기 발광에 나타나도록 도핑되는 활성층에 근거한다. 이 경우에, 본 출원의 도입부에서 언급한 바와 같이, 이러한 활성층은 바이어스에 따라 컬러를 변화시키는 가변 색조 LED(variable hue LED)를 가져오며, 그에 따라 컬러는 실제로는 여러가지 기본 색상을 혼합한 것이 된다. 이와 같이, 기판상의 위치에 따른 바이어스의 측방 변동(lateral variation)은 활성층에서 발생한 색상의 측방 변동을 일으킨다. 이 사실은 도핑 조건이 전 활성 영역에서 균일(homogeneous)할 때에도 마찬가지이다. 이 방법에 따르면, 본 발명에 따른 모놀리식 멀티 컬러 LED 어레이는 적절한 기판상에 적절한 적층 구조의 반도체를 성장 시킴으로써 LED의 활성층으로서 작용하는 층이 상술한 기준에 따라 도핑되고, 상기 적층 구조상에 다수의 LED를 순차적으로 제조함으로써 LED가 독립적으로 바이어스될 수 있게 되어 실현된다.

본 발명에 따른 멀티 컬러 LED 어레이에 근거하여, 개별 LED를 어드레싱하여 적절한 바이어스를 그들에 인가하는 수단, 표시할 데이터를 처리하는 인터페이스, 시간-중속적인 영상 데이터를 처리하는 타이밍 시스템 및/또는 그레이 레벨을 처리 하는 그레이-스케일 처리기 등의 특징을 부가함으로써 신규한 멀티 컬러 디스플레이를 제조할 수 있다.

[도면의 간단한 설명]

본 발명은 이하의 개략적인 도면들을 참조하여 이하에 상세히 설명한다.

제1a도는 멀티 컬러 MIS형 LED 어레이를 제조하기 위한 평면 기판(planar substrate)의 상부에 있는 적층 구조의 반도체의 일례를 나타낸 도면.

제1b도는 p-n형 LED 어레이를 제조하기 위한 평면 기판의 상부에 있는 적층 구조의 반도체의 일례를 나타낸 도면.

제2도는 본 발명의 멀티 컬러 LED 어레이의 측방 도핑 프로파일 및 접촉 영역을 정의하기 위한 마스크에 대응하는 다수의 픽셀의 일례를 나타낸 도면.

제3a도는 비도전성 기판상의 MIS형 LED의 수직 프로파일의 일례를 나타낸 도면.

제3b도는 도전성 기판상의 MIS형 LED의 수직 프로파일의 일례를 나타낸 도면.

제4a도는 비도전성 기판상의 p-n형 LED의 수직 프로파일의 일례를 나타낸 도면.

제4b도는 도전성 기판상의 p-n형 LED의 수직 프로파일의 일례를 나타낸 도면.

제5도는 공통 전극으로서 사용되는 도전성 기판상의 고밀도 2차원 x-y 어드레싱가능한 LED 어레이의 일부를 도시한 도면으로, 전자 방출층 및 전자 수집층은 수직으로 배열되어 있다.

제6도는 전자 방출기와 전자 수집기가 측방으로 배열된 멀티 컬러 MIS-LED의 어레이의 일부를 도시한 도면으로, 이 어레이는 x-y 어드레싱에 적합하다.

제7도는 전자 방출기와 전자 수집기가 측방으로 배열된 멀티 컬러 MIS-LED의 어레이의 또다른 실시예의 일부를 도시한 도면으로, 이 어레이는 x-y 어드레싱에 적합하다.

[발명의 상세한 설명]

본 출원의 발명 사상을 설명하기 위하여, 물질계 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ ($0 \leq x, y \leq 1$)에 근거한 멀티 컬러 LED 어레이의 실시예들이 도시되어 있다. 물질계의 이러한 특정 선택의 이유는 2가지가 있다. 첫째, 이 물질 계열의 어떤 구성원에 대하여, 도핑 유도된 멀티 컬러 전기 발광이 도입부에서 언급한 바와 같이 입증되어 있다. 둘째로, 이 물질 계열은 대역 갭이 넓은 반도체를 포함하며, 따라서 근적외선(near-infrared)과 근 자외선(near-ultraviolet)사이의 전 광학 스펙트럼을 커버하는 완전 컬러 디스플레이에 대한 후보 물질들이다.

한편, 도핑 유도된 멀티 컬러 전기 발광은 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ 에 한정되는 것은 아니며, 반도체에 대한 일반적인 개념으로서 간주될 수 있다. 예를 들면, N으로 도핑된 GaP는 녹색 전기 발광을 일으키며, ZnO로 도핑된 GaP는 적색 전기 발광을 일으킨다(도입부 참조). 이와 같이, 물질계 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ 를 특별히 선택한다는 것은 반도체 물질의 멀티 컬러 능력에 관하여 일반성을 상실한다는 것을 의미하는 것은 아니다. 그러나, 더 좁은 에너지 갭을 가지는 물질에 비해 극도의 스펙트럼폭을 갖는 멀티 컬러 능력을 제공한다. II-VI족 화합물 등의 다른 대역갭이 넓은 반도체는 동일 목적에 사용된다.

본 출원의 발명 사상의 구현은 2가지 서로 다른 기하학적 배열을 가져오며, 첫번째 것은 활성 영역으로서 캐리어의 수직적 주입을 특징으로 하는 반면, 두번째의 것은 측방 주입(기판에 대해)에 근거한 것이다. 먼저, 수직 배열에 대해서 논한다.

도 1a 및 도 1b는 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ 에 근거한 반도체 적층 구조를 나타낸 것이다. 이들 적층 구조는 본 발명의 양호한 실시예의 제조를 위한 시작점으로 간주 된다. 그들은 가능한 한 단순하게 되어 있다, 즉 단지 하나의 층만이 멀티 컬러 LED 어레이 전체에 대해 활성 영역으로서 역할한다. 도 1에 도시된 적층 구조는 이하에서 2가지 주된 LED 기술, 즉 MIS형과 p-n형 소자에 대한 본 출원의 발명 사상을 설명하는데 사용된다.

우선, 결정성 물질(crystalline material)에 근거한 소자만을 논한다. 그러나, 이하에 요약하는 기본적인 개념들은 고체 물질들의 다른 상태, 예를 들면 다결정(polycrystalline) 또는 비정질(amorphous) 물질로 확장될 수 있다.

도 1A는 멀티 컬러 MIS형 LED 어레이의 제조를 위한 평면 기판의 상부의 적층 구조의 반도체의 일례를 도시한 것이다. 몇가지 기판들이 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ 에 근거한 소자들에 적합한데, 예를 들면 사파이어, SiC, ZnO, 또는 AlGaInN 등이 있다. 절연성이 있는 사파이어는 종래에 사용되던 기판 물질이다. 적합한 기판으로서 SiC, ZnO 및 AlGaInN을 적용하는 것도 공지되어 있었지만 널리 사용되지는 않았다. 이하에서는, SiC와 AlGaInN의 양호한 도전성을 이용할 수 있다는 것을 설명 하는데, 이 특성으로 인해 바이어스를 LED 어레이내의 특정 LED에 인가하는 수단이 단순화될 수 있기 때문이며, 이러한 단순화가 본 발명의 한 목적이이다. 사파이어와 SiC 기판 모두는 가시광에 투명하다. 이러한 기판에서는, 이하에 논의할 LED를 특정 LED에 의해 발생된 광이 양호하게는 기판을 통해 기판 아래의 반공간(halfspace)으로 방출되도록 설계할 수 있다(그에 따라, 용어 "아래"는 기판의 배면에 대응한다, 즉 측면은 반도체의 층들의 증착에는 사용되지 않는다). 이 경우에, 방출 파장에 대해 최적화된 반사 방지 코팅물(antireflection coating)이 LED의 외부 전력 효율을 최적화하고 특정 LED로부터 오는 광의 다중 반사(multiple reflection)를 피하기 위해 기판의 배면상에 증착되어 있다. 다중 반사는 단일 광원이 여러번 나타나게 하고, 따라서 인접한 LED들의 광학적 크로스토크(optical crosstalk)를 일으키기 때문에, 즉 관찰자에 대해 특정 LED로부터 오는 것 같은 광이 이웃에 있는 다른 LED의 반사로 인해 나타날 수 있기 때문에 바람직하지 않다/ 이러한 크로스토크는 특히 작은 픽셀 크기, 따라서 고밀도의 LED를 필요로 하는 고해상도 디스플레이 응용에서 바람직하지 않다. 물론, 도 1의 구조에 근거한 LED 어레이는 기판상의 반공간으로 향하는 전기 발광의 광을 사용하도록 설계될 수 있다. 이 경우에, 기판의 배면 및 구조의 상부면에서의 다수의 반사가 광학적 크로스토크를 피하기 위해 억압되어야만 한다.

$(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ 의 고품질 결정상 층들은 금속 유기물 기상 에피택시(metal organic vapor phase epitaxy; MOVPE) 또는 분자 비임 에피택시(molecular beam epitaxy; MBE) 등의 에피택시 방법들에 의해 성장될 수 있다. 대표적인 성장 조건들에 대해서는 예를 들면, 이하의 문헌들에 기술되어 있다:

- EP-0-579 897 A1

- EP-0-551 721 A2

- 에스. 스트라이트(S. Strite) 등의 "GaN, AlN 및 InN: 고찰" Journal of Vacuum Science and Technology, Vol. B 10, pp. 1237-1266, 1992.

이들 참고 문헌들로부터, 에칭 공정, 결정 성장 동안 및 그 후에 여러가지 도펀트들(예를 들면, Zn, Cd, Si, 및 Mg)로 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ p-형 및 n-형 도핑, 및 쇼트키 장벽(Schottky barrier) 내지 옴 접촉(ohmic contact)으로 되는 금속 코팅물의 형성 등의 표준 디바이스 처리 단계들에 대한 설명을 할 수 있다. 이러한 제조 단계들은 공지된 것으로 간주하며, 본 발명의 실시예들과 관련하여 이하에서 이들을 언급할 때 상세히 설명하지는 않는다.

도 1A에 도시된 적층 구조는 이 구조에 실현되어지는 기판(10)의 상부에 도전성 n- $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ 층(11), 및 LED의 활성층의 역할을 하는 또하나의 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ 층(12)를 포함한다. 먼저 성장된 n- $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ 층(11)은 도핑 되어 있지 않아 그의 n-형 도전성이 질소 중공(nitrogen vacancy)(즉, 뜻하지 않게 n-도핑됨)에 달려 있거나 또는 그의 도전성이 n-도핑에 의해, 예를 들면 그의 성장 동안에 Si 또는 질소 중공 등의 도너(donor)를 부가함으로써 더욱 증가되거나 한다.

도 1A의 적층 구조에 근거한 MIS형 LED의 제조를 위해, 상부층(12)는 진성 도너를 보상(compensate)함으로써 절연성으로 만들어져야만 한다. 본 발명에 따르면, 특정 응용에 따라 적당한 여러가지 도핑 절차들이 있다. 이 도핑은 활성층의 성장 동안 또는 그 후에 실행될 수 있다. 보상을 위해서는, 활성층의 멀티 컬러 능력을 야기 하는 동일한 불순물을 사용할 수 있다.

본 발명의 디바이스의 멀티 컬러 능력이 적어도 2개의 서로 다른 불순물 유도된 광학 천이를 함께 여기하여 여러가지 기본 컬러를 혼합함으로써 달성되는 경우, 활성층의 보상은 활성층의 성장 동안에 또는 그의 성장 후에 이온 주입의 확산 등의 방법을 이용함으로써 수행될 수 있으며, 그 결과 활성층(12)에서 거의 균일한 도펀트 분포를 얻게 된다. 이 경우에, Cd와 함께 Zn 등의 적어도 2개의 서로 다른 불순물 또는 적어도 2개의 서로 다른 불순물 상태(도입부 참조)를 일으키는 Zn 등의 고농도의 한 도펀트를 사용할 수 있다.

그러나, 본 발명의 LED 어레이의 멀티 컬러 능력이 활성층에서의 도핑 조건의 측방 변동에 달려있는 경우에는, 활성층의 성장 이후에 도핑을 수행하는 것이 바람직하다. 이렇게 하는 것은, 도핑 조건이 신규한 LED 어레이를 가시 스펙트럼의 넓은 범위를 커버하도록 설계할 경우에 필요한 것처럼 넓은 범위에 걸쳐 공간적으로 변동되어야만 하는 경우에 바람직하다. 이 경우에 필요한 도핑 조건의 측방 변동이 큰 것은 현재의 기술로는 활성층의 성장 동안에 쉽게 제어될 수 없다. 본 발명에 따라 활성층의 성장 이후에 도핑 조건의 측방의 큰 변동을 실현하는 방법에 대해서는 도 2와 관련하여 이후에 설명하기로 한다.

도 1a에서, 기판(10)상에 성장된 제1 반도체층(11)은 n-형인 것을 특징으로 한다. 그러나, 도입부에서 언급한 바와 같이, 이후에 논의하게 될 MIS-LED는 동작 바이어스의 부호가 반전된 경우에는 p-도핑된 제1의 반도체층과 같이 기능한다. 두 구조사이의 주된 차이점은 p-층의 저항이 더 크다는 것이며, 그 결과 p-층 계열 MIS-LED의 전력 효율이 약간 저하된다.

도 1a의 절연층(12)의 두께에 있어서는 상호 절충이 존재하며 최적값을 이끌어낸다. 도입부에서의 설명에 따르면, 20nm - 1 μm 범위내의 활성층의 두께가 알맞다.

도 1b는 본 발명의 제2 실시예, 즉 p-n형 LED의 멀티 컬러 어레이에 대한 주요 구성 블록이 되는 제2의 적층 구조를 나타낸 것이다. 선택된 층 시퀀스(15 - 18)은 어떤 점에서는 에스. 나카무라(S. Nakamura) 등의 "칸델라급 고회도 InGaN/AlGaIn 이중-헤테로구조 청색 발광 다이오드"(Candela-class, high-brightness InGaN/AlGaIn double-heterostructure blue-light-emitting diodes) Applied Physics Letters, Vol. 64, No. 13, p.1687-1689, 1994에 인용된 공지 구조와 유사하다. 이 참조 문헌은 이미 도입부에서 상세히 살펴보았다. 우리는 이하에서 하나는 p-도핑되고 다른 하나는 n-도핑된 2개의 $(Al_uGa_{1-u})_vIn_{1-v}N$ 피복층(16, 18)의 사이에 들어 있는 활성층(17) $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ 을 구성하는 이중-헤테로 구조를 사용 하는 생각을 채택한다. 물분율 x, y, u, v는 헤테로장벽(heterobarrier)이 활성층과 피복층 사이의 계면에서 발생하도록 선택된다(예를 들면, X=0, Y=0.5, V=1, U=0.5) 피복층의 n-도핑 및 p-도핑에는 각각 Si와 Mg를 도펀트로서 사용할 수 있다. 상기 한 논문에는, 밝기 및 활성층에서의 불순물 관련 천이로부터의 파장 적색 편이에 있어서는 잊어서는 안되는 단일 청색 발광 LED가 개시되어 있으며, 그에 따라 불순물 Zn이 성장 동안에 도입되어 활성층의 균일한 도핑을 야기한다. 그러나, 본 발명의 구성에서는, 도핑은 다른 역할을 한다, 즉 멀티 컬러 능력을 가져와야만 한다. 또다시, 도 1A와 관련하여 논의한 2가지 도핑 방법 모두를 적용할 수 있는데, 적어도 2가지 서로 다른 불순물 상태를 야기하는 도핑(이 종류의 도핑은 활성층(17)의 성장 동안 또는 그 이후에 수행됨)이던가 또는 도핑 조건의 측방 변동이 큰 도핑 방법(이 도핑 절차는 활성층(17)의 성장 이후에 수행됨)이 있다.

다음 단계에서 도 1에 도시된 것과 같은 구조가 어떻게 측방 변동이 큰 도핑 조건으로 도핑될 수 있는지를 보여준다. 이 도핑은 멀티 컬러 능력을 부가하기 위해서 뿐만 아니라 반도체 층의 도전성을 측방향으로 변경시키기 위하여도 사용된다. 이 후자의 응용은 어레이내의 인접 소자들의 전기적 절연에 관련된 것이다. 도핑 조건의 측방 변동을 제어하는 것을 포함한 반도체 층들의 성장 후에 도핑시키는 작업은 마스크 단계와 그에 후속하는 도핑 단계로 나누어지며, 그에 따라 이러한 종류의 몇가지 단계들이 순차적으로 실행될 수 있다. 마스크 단계 중에는, 도핑에 의해 변경될 반도체 구조의 표면이 표면 상부에 있는 일정 아일랜드(island)만이 도펀트에 접근가능하도록 마스크로 덮여진다. 후속하는 도핑 단계 동안에, 마스크된 반도체 구조는 도펀트에 노출된다. 도핑에는, 이 구조의 표면을 통해 반도체 구조의 규정된 체적내로 도펀트의 내포를 제어할 수 있는 방법들은 모두다 적합하다. 이러한 도핑 방법의 일례로는 이온 주입 또는 기상 증착(vapor deposition)이 있다. 부가적인 어닐링(annealing)은 샘플내에서의 확산에 의한 도펀트의 재분포 및/또는 결함의 어닐링을 일으킨다. 이 어닐링은 이온 주입에서는 필요에 따라 행하는데, 그 이유는 이 경우에는 그의 기능이 주로 도펀트를 재분포시키기 보다는 도펀트를 활성화시키는 것이기 때문이다. 그러나, 증착 후에는, 어닐링은 도펀트를 반도체 구조내로 내포시키기 위해 필수적이다. 소위 "도핑 조건"은 도핑 공정을 가능한 한 완전하게 특징지우는 파라메타의 세트에 의해 기술될 수

있다. 가장 중요한 것은 내포된 도펀트의 종류 및 3차원 도핑 프로필에 의해 묘사되는 그들의 국부적인 농도이다. 일반적으로, n 개의 서로 다른 도핑 조건들이 반도체층의 서로 다른 위치에서 실현되어야만 하는 경우에, n 개의 서로 다른 마스크 단계와 함께 후속하는 도핑 단계를 수행하여야만 한다.

GaN 계열 LED의 경우에는, 반도체 구조의 상부에 SiO_2 층을 성장시킨 다음에 SiO_2 상부층(over layer)을 통해 소정의 구멍을 에칭하여 도펀트에 접근 가능한 영역을 정의함으로써 제조되는 SiO_2 마스크를 사용할 수 있다. 이들 구멍을 통해, 활성층을 도핑할 수 있다. 이 종류의 마스크 제조는 GaN 계열 소자들에 통상적이다. 그와 관련된 처리 단계들은 상기한 참고 문헌 EP-0-579 897 -A1으로부터 알 수 있다.

상기한 도핑 절차들로 달성될 수 있고 n -형 GaN의 보상을 할 수 있으며 전가시 스펙트럼의 여러 부분들에서 GaN의 전기 발광을 일으키는 도핑 조건들의 일례들은 이하 논문으로부터 공지되어 있다.

- 제이. 아이. 판코프(J. I. Pankove)의 "이온 주입된 GaN의 광루미네스스(photoluminescence)" Journal of Applied Physics, Vol. 47, No. 12, pp. 5387-5390, 1976. 및 GaN 계열 MIS-LED와 관련하여 상기한 다른 참조 문헌들. 계열 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{N}$ 의 다른 구성원에 대한 등가적인 데이터는 x 와 y 의 연속 함수인 것으로 간주될 수 있다.

이하에서는, 도 1A와 도 1B에 도시된 구조에 근거한 LED의 제조에 대해서 논한다. 가변 색조 LED에 대해서는 어떤 특별한 관심도 기울여지지 않았다. 이들 구조는 기본적으로는 도핑 조건의 측방 변동이 있는 LED 어레이의 구조와 동일하다. 게다가, 이 두가지 유형의 LED 어레이는 활성층의 성장 이후에 동일한 처리 단계를 이용하여 제조될 수 있다. 활성층의 도핑 조건의 선택만이 2가지 유형의 LED 어레이에 대해 다를 뿐이다. 따라서, 이 2가지 유형의 LED를 포함하는 단일 모놀리식 LED 어레이는 단층 반도체 구조에 적합한 도펀트 패턴을 형성함으로써 제조될 수 있다. 편의상, 도핑 조건의 측방 변동이 있는 LED 어레이만을 이하에서 다룬다.

다음 단계에서, 상기한 마스크 단계와 도핑 절차들이 멀티 컬러 LED의 제조에 어떻게 사용되는지를 상세히 보여준다. 몇가지 예를 들기 위해, 도 1에 도시된 구조를 시작점으로 사용한다.

도 2는 각각이 3가지 기본 색상 청색, 녹색 및 적색층 하나를 나타내는 픽셀1-3의 2차원 분포의 일례를 나타낸 것이다. 이하의 예들에서, 이러한 픽셀 분포를 만들어내는 여러가지 LED 어레이에 대한 제조 단계들에 대해 설명한다. 분명한 것은 이 예는 다양하게 변경될 수 있다는 것이다. 컬러, 다른 컬러의 수, 크기, 형상 및 픽셀의 배열은 임의적이다. 그러나, 이것은 본 발명의 특징을 관련 특징들을 설명하기 위한 극단적인 일례이다. 이러한 픽셀의 특정 배열은 컬러 영상을 표시하기 위한 완전 컬러 디스플레이에 적합한데, 그 이유는 이 배열을 2차원에서 똑같이 평행 이동시킴으로써 3개의 서브픽셀, 청색, 녹색 및 적색의 서브픽셀들로부터 발생된 정규 패턴으로 해석될 수 있기 때문이다.

이하에서는, LED의 한 라인을 따라 LED 어레이를 통한 단면을 보여주고, 이 특정 어레이의 주된 제조 단계들에 대해 설명한다. 다른 방향에서의 단면들도 단일 LED의 부분들에 관한 한 정성적으로 등가이다(qualitatively equivalent). 차이는 다른 단일 소자들간의 전기적 절연, 예를 들면 x - y 라인-어드레싱 가능한 LED 어레이에서 LED의 절연과 관련하여 나타날 수 있다. 후자의 경우에 있어서, x - y 어드레싱은 x -방향과 y -방향에 대해 서로 다른 절연 방법이 될 수 있다. 이러한 차이는 이후에 고밀도 픽셀을 갖는 2차원 어레이를 다룰 때 논의된다.

본 발명의 제1 실시예가 도 3a에 도시되어 있다. 이것은 도 1a의 반도체 적층 구조로부터 제조되는 MIS-LED에 근거한 멀티 컬러 LED 어레이이다. 다음 사항을 가정하기로 한다:

- 기판(30)(도 1a에서 층(10)에 등가임)은 도전성이 아님, 예를 들면 사파이어임;
- LED는 기판(30)에 수직인 방향에서 보았을 때의 형상이 도 2의 픽셀 분포와 일치하는 광원을 나타낸다;
- 각 LED는 활성층(34)의 상부의 개개의 금속 접촉점 $33.x(x=1, 2, \dots)$ 를 통해 바이어스될 수 있으며, 이 접촉점은 다른 LED와 공유되지 않으며, 다른 접촉점 $32.x(x=1, 2, \dots)$ 은 다른 LED와 공유될 수 있다;
- LED의 활성층(34)를 통한 전기 전류는 주로 기판(30)에 수직인데, 그 이유는 활성층이 얇고 그 저항율이 인접층에 비해 높기 때문이다.

이 사양은 도 1A의 반도체 적층 구조로부터 시작할 때 도 3a에 도시된 소자 구조에 도달하기 위해 이하의 단계들을 필요로 한다. 층(12)는 도 3a에 도시된 LED의 활성층(34)으로 되는 것이다. 따라서, 이는 제조될 광원의 특정 컬러에 따라 상기한 바와 같이 불순물로 보상되어야만 한다. 3개의 서로 다른 컬러를 갖는 개개의 픽셀들이 요망되기 때문에, 3가지 서로 다른 마스크 단계와 후속하는 도핑 단계가 필요하며, 각 단계는 등가 LED의 전체 세트의 활성 영역에 대한 도핑 조건을 정의한다. 도 3에서 빗금친 부분은 상기한 도핑 단계중 하나로 도핑된 영역을 가리킨다. 이들 영역은 다른 도핑 조건을 갖는 영역들간을 구별하기 위해 심볼 D_i ($i=1, 2, \text{ 및 } 3$)으로 표시되어 있다. 일정한 도핑 조건을 특징으로 하는 특정 아일랜드 D_i 의 형상은 제조될 광원의 형상과 동일해서는 안된다. 활성층의 두께가 통상 약 $1 \mu\text{m}$ 이하이기 때문에, 소망의 픽셀 크기는 통상 활성층(34)의 두께보다 더 크다(그러나, 그래서는 안된다). 활성층으로의 전류 주입이 주로 기판(30)에 수직인 것으로 간주되고, 광원의 형상이 기본적으로 활성층(34)를 통한 전기 전류의 분포를 반영하고 있기 때문에, 특정 광원의 형상을 결정하는 것은 주로 활성층 상부의 개개의 금속 접촉점의 형상이다. 따라서, LED에서의 누설 전류를 피하기 위해서는, 일정하게 도핑된 아일랜드 D_i 가 접촉점 $33.x$ 보다 더 작아서는 안된다. 이들의 형상에 대한 한정은 주로 여러가지 소자들에 대한 공간 요건에 의해 주어진다. 금속 접촉점의 형상이 LED에 의해 방출되는 광 패턴을 규정짓기 때문에, 금속 접촉점 쪽으로부터 광을 수집하는 것이 요망되는 경우에는 투과성 금속(예를 들면, ITO 층, 인듐 주석 산화물)이 금속 접촉점으로서 사용될 수 있다. 대부분의 금속은 가시광을 흡수한다. 이러한 비투과성 금속을 금속 접촉점으로 사용하는 경우에는, LED의 광이 기판을 통해 방출될 수 있다.

일정한 도핑 조건을 갖는 아일랜드를 정의한 후에, 각각의 특정 LED에 바이어스를 인가하기 위한 접촉점들이 형성된다. LED의 도전성 반도체층(31)은 소자절연이 요망되어 절연 트렌치의 에칭 등의 전기적 절연

을 위한 적절한 수단이 동원 되지 않는한 모든 LED에 대해 공통 전극의 역할을 한다. 그러나, 이 특정 예에서는, 각 LED는 보상된 영역 D_i 상부의 개개의 접촉점에 의해 개별적으로 어드레싱가능한 것으로 가정한다. 결과적으로, 도전층(31)은 공통 전극으로 사용될 수 있다. 기판을 비도전성인 것으로 가정하고 있기 때문에, 도전층(31)로의 물리적 접촉을 실현해야 한다. 이것은 상부층(34)를 통해 접촉 구멍을 에칭하거나 측면 접촉을 사용 함으로써 행해질 수 있다. 그러나, LED 어레이가 큰 경우에는, 도핑된 층의 도전성은 도전층(31)로의 이러한 접촉점에 대해 불충분할 수도 있다. 그다음에, 다수의 접촉 구멍 또는 트렌치가 활성층을 통해 에칭될 수 있으며, 도전성 물질 32.x의 적절한 와이어링이 모든 LED에 대해 낮은 직렬 저항을 제공하도록 설치될 수 있다. 특정 LED를 바이어스하기 위해, 활성층(34)(또는 D_i)의 상부의 각 LED에 대해 접촉 영역이 정의되고, 픽셀의 소망의 형상에 대응하는 적절한 형상의 금속 접촉점 33.x가 실현되며, 그에 따라 야금학(상기한 참고 문헌 참조) 및 포토리소그래피 단계 또는 프린팅 등의 패턴 정의에 대해 공지된 절차를 사용할 수 있다. 이들 처리 단계들의 적용은 도 3a에 도시한 구조를 가져온다.

각 LED를 독립적으로 어드레싱하기 위해, 여러가지 기능 요소들을 추가할 수 있다. 접촉점 32.x 및 33.x는 도 3a에 도시한 구조의 상부의 독립적인 어드레싱라인에 접속되어 각 개별 LED에 전기적 외부 접속을 제공할 수 있다. 이것은 LED를 바이어스하는데 필요한 구동 회로에 접속시키기 위해 도움이 될 수 있다. 그러나, 마이크로전자공학 패키징에서 공지된 다른 방법들도 적용될 수 있는데, 예를 들면 LED상의 접촉 영역은 그를 통해 접촉 영역으로의 외부 바이어스를 인가할 수 있는 제2 모듈 상의 와이어링과 전기적으로 접속될 수 있다.

도 3a에 도시된 멀티 컬러 어레이는 기판이 도전성(예를 들면, SiC, InGaN)인 경우에는 단순화될 수 있다. 이 경우에는, 도핑된 반도체층(11)은 기판(10)과 함께 단일 공통 전극으로서 역할하게 되며, 도핑된 반도체층에 접근하기 위한 특수한 접촉 구멍을 회피할 수 있다. 이렇게 단순화한 것이 도 3b에 도시되어 있다. 단순화된 구조는 도 3a의 구조와 등가이다. 층(36)은 층(31)에 대응한다. 도전성 반도체층으로서의 상부 접촉점(32.x)만이 이 특정 예에서 하부 접촉점(37)로서 실현되는 기판(35)로의 접촉점으로 교체되며, 따라서 제조의 단순화를 가져온다. 보상된 영역 D_i 로의 상부 접촉점 38.x는 개개의 MIS-LED를 정의한다. 도전성 기판(35)로 인해 32.x가 필요없게 되어 표면적의 더 많은 부분이 컬러 픽셀에 전용될 수 있으며 픽셀 밀도가 증가되고 밝기가 더 강해질 수 있게 된다.

도 4a 및 도 4b는 본 발명의 제3 및 제4 실시예를 나타낸 것이다. 이들은 본 발명 사상을 p-n 접합을 갖는 LED에 적용한 것을 설명한 것이다. 일례로서, 이전의 실시예들과 관련하여 논의된 동일한 픽셀 패턴이 도 1b에 도시된 반도체 적층 구조로 전사(transfer)되었다고 가정하자. MIS형 소자에 비해 주된 차이점은 다음과 같다:

- 반도체층의 성장 이후에 도핑에 의해 활성층에 멀티 컬러 능력을 제공하기 위해, 차후에 내포된 도펀트의 수직 프로필을 정확히 이용하는 것이 중요한데, 그 이유는 얇은 활성층(17 또는 43)이 p-n 접합에 위치하고 따라서 반도체 적층 구조의 표면에 직접 접촉하고 있지 않기 때문이다. 충분한 수의 도펀트가 구조의 상부층(44)를 통과하여 활성층(43)에 도달하도록 주의해야 한다. 따라서, 상부층-도 1의 예에서는 p-층-은 가능한 한 얇게 예를 들면 100nm - 1 μ m로 제조된다. 게다가, 제안된 도핑 절차가 활성층(43)의 상부의 층(44)의 도핑을 변화시킨다는 것을 고려 해야만 하며, 도펀트의 침투 깊이가 너무 깊은 경우에는, 하부의 층(42)의 도핑도 또한 변화시킨다는 것을 고려해야만 한다. 그러므로, 제안된 도핑 절차로 인한 p-n 접합의 이동을 피하기 위해, 피복층(42, 44)의 어느 부분도 활성층(43)내로의 도펀트(일반적으로 액셉터)의 내포 동안에 완전히 보상되지 않도록 주의해야 한다. 이것은 수직 도핑 프로필을 주의 깊게 제어하고 제안된 도핑 절차로 인해 부분적으로 보상되어 있는 그 층의 초기 도핑 농도를 충분히 높게 설정함으로써 행해진다. 적당한 도핑 절차로는 이온 주입이 있는데, 주입된 이온의 분포는 기본적으로 그 특성, 즉 이온 세례를 받은 표면에 대해 그 폭 및 그 중심 위치가, 이온 에너지와, 그 이온의 성질에 의해 결정되는 또다른 파라메타, 및 어닐링 등의 선택적인 추가 처리 단계들의 조건에 따라 달라지는 피크 함수(peaked function)이기 때문이다. 그러므로, 이온 주입 공정의 적절한 파라메타, 활성층(43)에서의 도펀트의 농도를 선택하는 것은 도 4에 도시된 소자의 제조 요건에 따라 달성될 수 있다. 대등한 결과를 가져오는 또다른 방법은 활성층(43)의 성장 이후에 반도체 적층 구조의 성장을 방해하는것, 상기한 도핑 절차를 적용함으로써 개개의 픽셀을 차후에 정의하는 것, 및 상부 피복층(44)의 성장을 계속시키는 것이다.

- 도 4b에 도시된 구조의 상부층(44)는 도전성이 있다. 따라서, LED는 서로 전기적으로 절연되어야만 한다. 이것은 대표적인 방법을 이용하여, 즉 최상 피복층(44)와 활성층(43)을 통해 절연 트렌치를 에칭하거나 최상 피복층(44)의 적당한 부분을 예를 들면 보상에 의해 절연시킴으로써 행해질 수 있다. 후자의 것은 하나 이상의 마스크 단계와 차후의 도핑 단계를 함께 이용함으로써 달성될 수 있다. 또 다시, 누설 전류 및 인접한 LED의 전기적 결함을 회피하기 위하여 수직 도핑 프로필의 제어에 주의를 기울여야 한다. 이들 효과는 서로 다른 LED간의 영역내의 상부 피복층(44)의 보상이 완전하지 않은 경우에 나타난다.

- p-n형 LED의 경우, 상부 접촉점의 형상은 특정 LED에 관련된 광 스폿(light spot)의 형상에 대해 덜 중요한데, 그 이유는 전류 확산이 그의 전도성으로 인해 피복층에서 일어나기 때문이다. 멀티 컬러 광원의 형상은 2가지로 정의될 수 있는데, 그 하나는 특정 LED내의 측방 전류 프로필을 이용하는 것(예를 들면, 전기적 절연에 의하는 것, 상기 참조)이고, 다른 하나는 활성층에서의 발광 전이를 일으키는 도펀트의 측방 프로필을 정형화(shape)하는 것이다.

- p-n형 LED에 관련된 내용을 고려하면, 상기한 단계들은 도 1b에 도시된 적층 구조에 적용되며, 2개의 신규한 멀티 컬러 p-n형 LED 어레이가 형성된다. 이들 예는 도 4a 및 도 4b에 도시되어 있다. 이 두 예는 도 3의 MIS형 LED의 등가 유사물이다. 특히, 도 4a의 경우에, 기판(41)은 절연체이다. 도 4b의 경우에는, 기판(47)은 도전성이 있다. 또다시, 이전의 예에성과 같이, 일정한 도핑 조건을 갖는 영역들은 빗금이 쳐져 있고, 심볼 D_i ($i=1, 2, \dots$)이 서로 다른 도핑 조건들, 따라서 관련된 광원들의 서로 다른 색상들을 구별하기 위해 사용된다. 인접한 LED간의 전기적 절연으로서, 최상 피복층과 활성층의 일부분을 에칭 제거하는 것이 선택된다. 개개의 LED를 바이어스하기 위한 접촉점을 형성하는 방법에 대해서는, MIS 소자와 관련하여 이상에서 언급한 내용이 그대로 적용된다. 특히, 각 LED가 최상 피복층 상부의 개별 접촉점

을 통해 바이어스될 수 있는 경우에는, 하위 피복층(42)을 모든 LED에 대한 공통 전극으로 사용할 수 있다. 게다가, 기판이 도전성이 있는 경우에는, 대형 기판에 대해서도 바이어스를 위해 그 기판에 대한 한 공통 접촉점(48)과 각 LED에 대한 하나의 개별 상부 접촉점 45.x를 사용하는 것으로 충분한 반면, 절연성 기판인 경우에는, 하부 피복층에 대한 다양한 접촉점 46.x가 모든 LED에 대한 직렬 저항을 최소화하기 위해 대형 기판에 대해 필요할 수도 있다.

이하에서는, 특히 고밀도의 (MIS형 또는 p-n형)LED를 갖는 2차원 어레이에 대해 살펴본다. $0.1 \mu\text{m} \times 0.1 \mu\text{m}$ 정도로 작은 방사 영역(radiative area; 기판에 평행인 평면)을 갖는 LED는 현재의 반도체 처리 기술에 근거하여 실시가능하며, 따라서 장차 cm^2 당 100,000,000 픽셀을 초과하는 해상도를 갖는 멀티 컬러 디스플레이를 실현할 수 있게 될 것이다. 이와 관련하여, 개별 픽셀을 어떻게 어드레싱할 것인가 라는 문제에 초점이 맞춰져야 한다. 픽셀 밀도가 cm^2 당 100,000,000 픽셀 정도로 높은 경우에는, 각 LED를 바이어스를 위한 개개의 어드레스 라인 하나씩과, 또는 모든 LED에 공통인 접촉점을 이용할 수 없는 경우에는 개개의 어드레스 라인 두개씩과 접속하는 것이 불가능하게 된다.

이러한 어드레싱 문제에 대한 전통적인 해결책은 상기한 x-y라인 어드레싱이다, 즉 어드레싱할 각 소자가 2 단자 사이에 적절한 바이어스를 인가함으로써 활성화되는 2단자 소자이고, 모든 소자들은 특정 소자가 어레이의 특정 행(x-행)과 특정 열(y-열)에 의해 식별될 수 있도록 2차원 정규 어레이로 배열되어 있다고 가정한다. 등가적인 소자의 밀집된 2차원 어레이의 어드레싱은 독립적인 어드레스 라인, 즉 x-행 라인과 y-열 라인의 2개의 직교 세트를 제공함으로써 달성되며, 각 행-라인은 어레이의 특정 행에 속하고, 각 열-라인은 어레이의 특정 열에 속한다. x-y라인 어드레싱에서, 모든 소자들에 대해 기능적으로는 등가인 각 특정 소자들의 한 단자는 그 소자에 속하는 행-라인에 접속되어 있고, 각각의 특정 소자의 다른 단자는 그 소자에 속하는 열 라인에 접속되어 있으며, 특정 소자는 적절한 행-라인 및 열-라인에 바이어스를 동시에 인가함으로써 활성화된다.

지금까지, 모든 소자 또는 다수의 소자들에 공통인 도전성 반도체층 또는 기판과 접촉시킴으로써 또는 모든 소자들에 접속된 도전성 기판을 사용함으로써, 다수의 소자들 사이에 공유되는 단자들을 특징으로 하는 본 발명의 실시예들에 대해서 논의하였다. 이와 같이 설계함으로써 공간 LED 밀도가 높은 LED 어레이를 제조할 수 있게 되는데, 그 이유는 단자를 공유함으로써 공간이 절약되기 때문이다. 그러나, 이렇게 설계하는 데는 개별 어드레스 라인을 통해 각 LED를 바이어스하는 일이 필요하게 된다. 따라서, 이러한 설계에 근거한 2차원 어레이는 제어 소자가 각 LED에 부가되지 않는 한 x-y 라인 어드레싱에 부적합하며, 상기 소자는 특정 LED의 한 독립적인 단자로의 바이어스를 제어하며 x-y 라인 어드레싱을 통해 제어된다.

이하에서는, 지금까지 논의한 신규한 구조에 x-y 라인 어드레싱을 적용할 수 있는 제어 소자의 일례를 소개한다. 적절한 제어 소자는 트랜지스터 등의 3단자 소자일 수 있는데, 2개의 단자는 x-행 라인과 y-열 라인에 접속되어 있고, 양 단자는 함께 제3 단자를 통해 흐르는 전기 전류를 제어한다. 이 제어가능한 전류원의 제3 단자는 소정의 전기 전위에 있는 제2 단자를 갖는 한 LED를 바이어스하는데 사용될 수 있다. 이와 같이, x-y 어드레싱가능한 2차원 LED 어레이는 한 단자를 공통으로 갖는 2차원 LED 어레이, x-y 어드레스 라인의 어레이, 및 트랜지스터의 어레이의 조합으로써 실현될 수 있으며, 각 트랜지스터는 x-y 어드레스 라인의 노드에 위치하고 있으며 상기한 바와 같이 어드레스 라인과 LED에 접속되어 있다. 이 방법은 모놀리식 집적(monolithic integration)에 적합한 데, 그 이유는 LCD 디스플레이에 대해 개발되어 왔던 기술들, 특히 박막 트랜지스터 기술(도입부 참조)를 채용할 수 있기 때문이다. 박막 트랜지스터에 있어서, 비정질 실리콘(a-Si), 다결정 실리콘(poly-Si), CdSe, CdS, 비정질 Ge 등의 반도체 물질이 이용되었다. a-Si와 poly-Si가 가장 널리 사용된다. 박막 트랜지스터 기술의 잇점은 화학적 기상 증착(chemical vapor deposition; CVD) 또는 플라즈마-여기 기상 증착(plasma-enhanced vapor deposition; PECVD) 등의 제조 방법들을 사용함으로써 대면적에 걸쳐 균일하고 재생가능한 막 품질을 제공할 수 있다는 것, 따라서 트랜지스터 회로를 크게 스케일링할 수 있다는 것과, 결정성 반도체, 금속, 유전체, 글라스, 폴리머 등 기판으로 쓰일 수 있는 여러 종류의 물질들과의 융화성(compatibility)이다. 이들 특징에 따르면, 공지된 박막 트랜지스터 기술은 고려중에 있는 신규의 LED 어레이와 결합될 수 있다.

이러한 결합의 일례가 도 5에 도시되어 있다. 도 5는 기본적으로는 도 3b에 도시된 x-y 어드레싱가능한 LED 어레이의 일부를 도시한 것으로서, 각 LED는 LED 어레이의 상부의 트랜지스터 어레이의 한 트랜지스터(54)에 접속되어 있으며, 각 트랜지스터는 2개의 단자(57, 58)를 통해 x-y 어드레스 라인의 회로망의 x-행 라인(60)과 y-열 라인(61)에 접속되어 있다. 도 5에, 특정 LED가 도시되어 있으며, 이 LED는 도 3에 도시된 층들(35,36)과 보상된 구역 D_1 중 하나에 각각 대응하는 3개의 층(50, 51, 52)의 적층(stack)의 상부에 금속 접촉점(55)을 구비하고 있다. 이 LED는 상호 접속 요소(56)를 통해 트랜지스터(54)의 제3 단자에 접속되어 있으며, 이 단자는 적절한 바이어스를 LED에 제공하게 되고 이 바이어스의 제어하에서 트랜지스터의 나머지 2개의 단자(57, 58)에 접속된다. 어레이의 모든 독립적이고 전기적으로 활성인 부분을 절연시키기 위해, 트랜지스터의 단자(56-58) 및 LED의 상부 접촉점(55)가 절연층(53)에, 예를 들면 폴리이미드층에 매몰되어 있다. 게다가, x-y 어드레스 라인(60, 61)은 서로에 대해 절연되어 있다. 마찬가지로, 본 발명의 다른 실시예들도 x-y 어드레싱에 대해 준비될 수 있다.

상기한 예에서, 박막 트랜지스터는 2개의 입력 신호, 즉 x-어드레스 라인과 y-어드레스 라인상의 신호들을 독립적인 한 단자 및 다른 LED와 공통인 한 단자만을 가지는 LED를 바이어스하는데 사용되는 한 신호로 변환하는 비선형 회로로서 도입되었다. 이와 같이, 이 경우에 트랜지스터 매트릭스의 기능은 활성 매트릭스 LCD 디스플레이의 경우에서와 박막 트랜지스터 회로의 역할과는 다르며, 여기에서 트랜지스터는 특정 픽셀을 활성화시키는 데는 필요하지 않지만-픽셀은 트랜지스터없이도 동작한다-, 액정의 본질적인 물리적 특성과 전계에 대한 액정의 반응으로 인한 것으로서 콘트라스트의 저하, 시야각의 감소, 인접 픽셀들간의 크로스토크 등의 영상 열화를 야기하는 어떤 한계를 개선하는데 도움을 준다(본 명세서의 도입부 참조). 그러나 이러한 열화는 2개의 단자가 x-y 어드레스 라인에 직접 접속되어 있는 LED로 이루어진 2차원 LED 어레이에서는 나타나지 않는다. LED 디스플레이에서 이러한 열화가 없다는 것은 LED의 몇가지 특성, 즉 그들의 빠른 응답 속도 및 특정 LED의 세기는 LED로의 바이어스의 강한 비선형 함수이라는 사실에 기인한 것이다. 따라서, LED와 x-y 어드레스 라인간의 접속 요소로서 트랜지스터 매트릭스가 없이 동작할 수 있는 LED 어레이가 요망된다.

이하에서는, 본 발명에 따라 LED와 x-y 어드레스 라인간의 접속 요소로서 트랜지스터 매트릭스가 없이 동작하는 멀티 컬러 2차원 x-y 어드레싱가능한 LED어레이의 일례가 주어진다. 이들 예에서는, 각 LED의 2개의 독립적인 단자는 적절한 반도체 적층 구조의 상부측으로부터 접근가능하며, 이 구조의 상부의 x-y 어드레스 라인의 어레이에 접속되어 있다. 이들 예에서는, 2개의 독립적인 단자 모두가 평탄한 표면에 위치하고 있으며 LED의 활성 영역으로 주입되는 전류의 대부분은 이 기판에 평행한 축방향으로 흐른다.

도 6은 MIS형 LED에 근거한 멀티 컬러 2차원 x-y 어드레싱가능한 LED 어레이의 일례를 나타낸 것이다. 이 특정 구조의 제조는 도핑되어 있지 않거나(뜻하지 않게 도핑되어 있지 않음) 또는 n-도핑되어 있는 n-형 단일층(71)으로부터 시작된다. 이 층에서, MIS형 LED는 축방 배열로 형성된다. 이것은 절연 영역을 상기한 도핑 기술에 의해 발생함으로써 행해지며, 그에 따라 도핑 조건은 LED의 활성 영역으로 쓰이는 절연 영역이 소정의 컬러를 갖는 방사를 발생시킬 수 있도록 선택된다. 서로 다른 도핑 조건을 갖는 영역들은 도 6에서 서로 다른 심볼 $D_i(i=1, 2, \dots)$ 로 표기되어 있다. 절연 영역과 그의 n-도핑된 환경 사이에 바이어스를 인가하기 위한 접촉점(72, 73, 74, 75)는 특정의 LED를 완성하게 되는데, 그에 따라 이전의 실시예들과는 대조적으로 전자들은 주로 축방으로 활성 영역내로 주입되어 그곳에서 불순물 관련 호몰들과 발광성 재결합(radiatively recombine)을 하게 된다. 서로 다른 LED들간의 누설 전류, 따라서 서로 다른 LED들간의 크로스토크를 억압하기 위해, 인접한 LED들간의 전기적 절연(76)을 도입할 수 있다. 예를 들면 깊은 절연 트렌치를 에칭하거나 또는 p-n 접합 또는 보상된(즉, 절연성) 영역 등의 전류 차단 영역을 도입하기 위해 도핑하는 것등의 공지된 절연 방법들이 본 발명의 LED 어레이에 충분하다. 후자의 방법은 분명히 상기한 도핑 기술을 적용하는 것이다. 전기전류의 대부분이 반도체층(71)의 상부 표면에 근접하여 흐르기 때문에, 상기 절연성 영역의 깊이는 누설 전류를 최소화하기 위한 중요한 최적화 파라메타이다. 완전한 절연은 절연성 기판(70)을 사용하여 상기 절연성 영역의 깊이가 반도체층(71)의 두께와 같도록 함으로써 서로 다른 LED들간의 축방 전류를 완전히 억압함으로써 달성될 수 있다. 절연 수단(77, 78), 예를 들면 얇은 유전층들은 어드레스 라인(72-75)가 LED의 적절한 단자들에만 접속되고 개개의 LED가 광을 발생시키기 위해 어드레싱되어 작동될 수 있도록 해준다.

도 6에 도시된 구조는 캐리어를 MIS-LED의 절연성 영역으로 축방 주입하는 동일 개념안에서 여러 가지로 변경될 수 있다. 이들 축방 실현의 배경이 되는 기본적인 사상은 기판상에 성장된 반도체의 단일층에 제조될 수 있다는 것이다. MIS-LED의 어레이 제조의 시작점이 되는 이 반도체 층은 (n 또는 p) 도핑된 영역이거나 MIS-LED의 절연성 영역이 되도록 되어 있으며, 그에 따라 MIS-LED의 각각의 대응부는 상기한 도핑 기술을 상기 반도체층의 표면상의 어떤 영역들에 적용하여 금속 접촉점들을 제공함으로써 형성된다. 게다가, 이전의 예에서와 같이, 인접한 LED들의 절연을 위한 수단은 선택적이다.

이 일반적인 개념을 진척시켜 실현한 것이 도 7에 도시되어 있다. 이 경우에는, 기판(80)상에 성장된 반도체층은 보상에 의해 절연성으로 만들어져 있으며, 그에 따라 상기한 도핑 기술들이 최종의 LED 어레이에 의해 발생될 소정의 컬러 패턴에 따라 도핑 조건들을 서로 달리 보상함으로써 일정 패턴의 영역 $D_i(i=1, 2, \dots)$ 를 도입하는데 사용된다. 일정한 도핑 조건을 특징으로 하는 이들 부분을 각각에서, 하나 이상의 도전성 아일랜드(85-88)은 상기한 도핑 기술들을 적용함으로써 형성된다. 누설 전류를 줄이기 위하여는, 도전성 아일랜드의 깊이를 절연부의 깊이 이하로 하는 것이 바람직하다. 절연부의 금속 접촉점(81, 82)와 도전성 아일랜드(83, 84)로의 접촉점들이 최종적으로 MIS-LED 어레이를 완성한다. 또다시, 인접한 LED의 절연을 위한 수단(89)는 선택적이다. 절연을 위한 수단(90, 91), 예를 들면 얇은 유전층은 어드레스 라인(81-84)이 LED의 적절한 단자에만 접속되도록 하고 개개의 LED들이 광을 발생시키기 위해 어드레싱되어 작동될 수 있도록 해준다.

지금까지는, LED가 결정성 반도체층에서 실현되는 것으로 가정하였다. 이와 같이 함으로써 가능한 최고의 전력 효율을 제공하게 된다. 그러나, 고품질의 에피택셜 층들을 성장시키기에 적합한 오늘날의 기판들의 크기가 한정되어 있기 때문에, 결정성 층들에 근거한 LCD 어레이의 최대 크기도 또한 글라스 상에 제조되는 최신 기술의 LED 디스플레이의 크기 이하로 제한된다. 따라서, 결정성 반도체 LED에 근거한 디스플레이는 프로덕션 응용에 가장 적합하다. 고려 중의 신규 소자에 대한 크기 제한을 극복하기 위하여, 모든 에피택셜 층들은 동일한 물질의 적절한 얇은 비정질 또는 다결정질 막으로 교체될 수 있다. 이러한 얇은 막을 글라스 또는 대형 액티브 매트릭스 LCD 디스플레이용 박막 트랜지스터 어레이에 사용되는 어떤 기판 등의 대형(도전성 또는 절연성이 있는) 기판상에 균일하게 증착시키는 기술을 이용할 수 있게 되어 얇은 비정질 또는 다결정성 반도체막으로 실현될 때 고려중의 신규 소자가 -LCD 디스플레이와 같이- 어떤 크기라도 스케일링될 수 있다.

본 발명에 따른 멀티 컬러 LED 어레이에 근거하여, 신규한 방출성 멀티 컬러 디스플레이는 특정의 디스플레이 응용에 따라 달라지는 또다른 특징을 부가함으로써 제조될 수 있으며, 통상의 기술들에 근거하여 설계될 수 있다. 지금까지, 개개의 LED를 어드레싱하여 그들에 적절한 바이어스를 인가하는 수단을 포함하는 멀티컬러 능력을 갖는 여러가지 신규한 모놀리식 LED 어레이에 대하여 기술하였으며, 따라서 "어드레싱하는 수단"이라는 용어는 모놀리식 어레이상의 하나 이상의 접촉점들의 이용가능성을 뜻하는 것으로서, 상기 접촉점들은 전원에 의해 소정의 어떤 LED도 바이어싱할 수 있게 된다. 이들 신규한 LED 어레이는 어느 것이나 소정의 데이터를 시청자가 볼 수 있도록 해주는 디스플레이의 가시화 구성 요소로서 택할 수 있으며, 그에 따라 각각의 LED는 디스플레이의 화소를 나타내며 각각의 LED의 기하학적 모양 및 컬러 능력은 그에 맞추어 설계된다. 도 8에 도시된 유형의 개시된 LED 어레이로부터 완전한 디스플레이를 만들기 위하여, 부가될 추가의 선택적인 기능 요소들은 이하의 리스트로부터 가져올 수 있다:

- 개개의 LED에 속하는 개개의 광원을 볼 수 있도록 LED 어레이를 지지하기 위한 기계적 마운트(mechanical mount)(94);
- 상기 LED의 바이어스, 따라서 그들의 광 세기를 제어하기 위한 것으로서, 표시될 영상 데이터를 수신하기 위한 인터페이스(95)를 더 구비하고 있는 제어 회로(93);
- 디스플레이의 광원을 투사하기 위한 광학 촬상 시스템(96);
- 시간 종속적인 영상 데이터, 예를 들어 비디오 신호를 처리하기 위한 타이밍 시스템(97);

· 개개의 서브픽셀의 그레이 레벨을 처리하기 위한 그레이 스케일 프로세서(98);

· LED를 펄스 모드로 바이어스하기 위한 펄스 발생기(99); 이러한 펄스 모드는 개개의 픽셀이 순차적으로 어드레싱되는 x-y 어드레싱과, 펄스 길이, 펄스 높이 및/또는 인가된 펄스의 반복 레이트를 채택함에 의한 그레이 스케일 처리, 및 열발생을 줄여 LED의 내부 효율을 향상시킴으로써 LED의 전력 효율을 최적화 하는데 유용하다.

LED 어레이는 높은 픽셀 밀도를 갖는 디스플레이를 실현하게 될 가능성을 제공하는데, 그에 따라 픽셀 크기 $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ 또는 그 이하도 실시가능하게 된다. 이 특징은 프로젝션 디스플레이의 잇점으로 생각할 수도 있다. 프로젝션 디스플레이에서는, 주 디스플레이(primary display)의 실상 또는 허상을 발생하기 위해 종래의 광학을 사용한다. 높은 픽셀 밀도 및 LED의 고휘도는 100을 넘는 고배율을 갖는 영상 공학을 적용할 수 있도록 해준다. 이와 같이 평판 스크린에 투영되어 10픽셀/mm의 충분한 해상도로 볼 수 있는 m 크기의 영상을 발생하기 위해 cm 크기의 LED 어레이를 사용할 수 있게 된다. 본 명세서에 개시된 신규한 소자는 완전 컬러의 LED 기반 프로젝션 디스플레이를 가능하게 해준다. 이러한 디스플레이는 오늘날의 결정성 기판과 융합될 수 있다.

요약하면, 다중 파장의 발광 다이오드의 모놀리식 어레이를 제조하고 이를 멀티 컬러 디스플레이에 사용하는 개념이 제공된다. 이러한 멀티 컬러 디스플레이는 많은 데이터 발생 시스템, 예를 들면 컴퓨터와 결합되면 그 진가가 나타난다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

다중 파장으로 광을 발생시키는 발광 다이오드(LED)의 모놀리식 어레이(monolithic array)에 있어서, 기판; 상기 기판 상에 형성되어, 상기 기판에서 가장 멀리 떨어진 상부층을 포함하는 반도체 막들의 적층 구조(layered structure); 및 상기 적층 구조에 형성되는 다수의 LED를 포함하되, 상기 LED 중 적어도 하나는 상기 상부층에 둘다 형성되는 절연부, 및 도전부를 포함하는 금속-절연체-반도체(MS) 다이오드이고, 상기 절연부 및 상기 도전부중 적어도 하나는 상기 상부층의 도핑 조건의 측방향 변동에 의해 형성되는 발광 다이오드의 모놀리식 어레이.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 LED 중 적어도 하나는 활성 영역(active region), 및 상기 활성 영역을 형성하는 물질에서의 불순물 상태(impurity state)에 의해 결정되는 전기 발광 스펙트럼(electroluminescence spectrum)을 가지며, 상기 불순물 상태는 상기 활성 영역의 대역갭 에너지(bandgap energy) 이하의 에너지로 광 천이(optical transition)를 일으키는 발광 다이오드의 모놀리식 어레이.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 LED 중 적어도 하나의 전기 발광 스펙트럼은 서로 다른 2개의 발광 파장(emission wavelength)을 포함하여, 상기 LED에 인가된 바이어스의 변화로 인해 상기 LED의 상기 발광 파장에서의 전기 발광의 상대적 강도가 변화되게 하는 발광 다이오드의 모놀리식 어레이.

청구항 4

제2항에 있어서, 상기 LED 중 적어도 하나의 전기 발광 스펙트럼은 한 파장에서 단지 하나의 발광선을 포함하는 발광 다이오드의 모놀리식 어레이.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 도핑 조건은 도펀트(dopant) 유형, 국부적 농도, 및 도핑 공정 중 적어도 하나에 따르는 발광 다이오드의 모놀리식 어레이.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 LED로부터의 광은 상기 기판 상부의 반공간(halfspace) 및 상기 기판 하부의 반공간 중 적어도 하나로 부분적으로 방사(radiate)되는 발광 다이오드의 모놀리식 어레이.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 기판은 생성된 광에 대해 투명(transparent)하며, 상기 생성된 광의 일부는 상기 기판을 통해 방사되는 발광 다이오드의 모놀리식 어레이.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 LED 중 하나 이상이 금속-절연체-반도체(MIS) 구조에 기초하는 발광 다이오드의 모놀리식 어레이.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 LED중 적어도 하나는 상기 도전부에 매몰되어 상기 절연부를 가지며, 상기 LED중 적어도 하나는 상기 절연부에 매몰된 상기 도전부를 가지는 발광 다이오드의 모놀리식 어레이.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 LED중 적어도 하나는 활성 영역을 갖는 p-n 접합계 소자(p-n-junction based device)이고, 상기 LED와 관련된 방출 파장용 도펀트는 상기 활성 영역에 포함되는 발광 다이오드의 모

리식 어레이.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 반도체 막들의 적층 구조는 $(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_{1-y}\text{In}_y\text{N}$ 재료계(material system)에 기초하는 발광 다이오드의 모놀리식 어레이.

청구항 12

제1항에 있어서, 특정 LED에 바이어스를 인가하기 위한 접촉 영역들(contact areas)은 상기 기판의 동일 측면상에 있는 발광 다이오드의 모놀리식 어레이.

청구항 13

제1항에 있어서, 상기 기판은 도전성이고 적어도 2개의 LED의 공통 전극으로서의 역할을 하는 발광 다이오드의 모놀리식 어레이.

청구항 14

제1항에 있어서, $n(n \geq 2)$ 개의 서로 다른 파장이 발생되고, $n \times m$ LED가 $m(m \geq 1)$ 개의 등가 픽셀(equivalent pixel)로 기하학적으로 배열되어 있으며, 상기 픽셀 각각은 n 개의 인접한 서브픽셀(subpixel)을 포함하고, 상기 n 개의 서브픽셀 각각은 상기 n 개의 서로 다른 파장 중 하나를 발생시키기 위한 하나의 LED로 정의되는 발광 다이오드의 모놀리식 어레이.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 반도체막의 물질 조성(material composition)은 기본 흡수단(fundamental absorption edge)이 청색 또는 자외선 스펙트럼 범위 내에 있도록 선택되고, 상기 LED용 상기 활성 영역에서의 도핑 조건은 적어도 하나의 서브픽셀이 자외선과 청록색(bluegreen) 사이의 스펙트럼 범위 내의 광을 발생시키는데 기여하고, 적어도 하나의 서브픽셀이 청록색과 황색(yellow) 사이의 스펙트럼 범위 내의 광을 발생시키는데 기여하며, 적어도 하나의 서브픽셀이 황색과 적외선 사이의 스펙트럼 범위 내의 광을 발생시키는데 기여하도록 선택되는 발광 다이오드의 모놀리식 어레이.

청구항 16

멀티 컬러 디스플레이에 있어서, 상기 기판 상에 형성되어, 상기 기판에서 가장 멀리 떨어진 상부층을 포함하는 반도체 막들의 적층 구조(layered structure); 상기 적층 구조에 형성되는 다수의 LED를 포함하는 LED 어레이 - 상기 LED 중 적어도 하나는 상기 상부층에 둘다 형성되는 절연부 및 도전부를 포함하는 금속-절연체-반도체(MIS) 다이오드이고, 상기 절연부 및 상기 도전부 중 적어도 하나는 상기 상부층의 도핑 조건의 측방향 변동에 의해 형성됨 - ; 상기 LED 어레이내의 개별 LED를 어드레싱하며 이에 바이어스를 인가하기 위한 수단; 및 상기 LED에 인가되는 개개의 광원들을 볼 수 있도록 상기 LED 어레이를 지지하는 기계적 마운트(mechanical mount)를 포함하는 멀티 컬러 디스플레이.

청구항 17

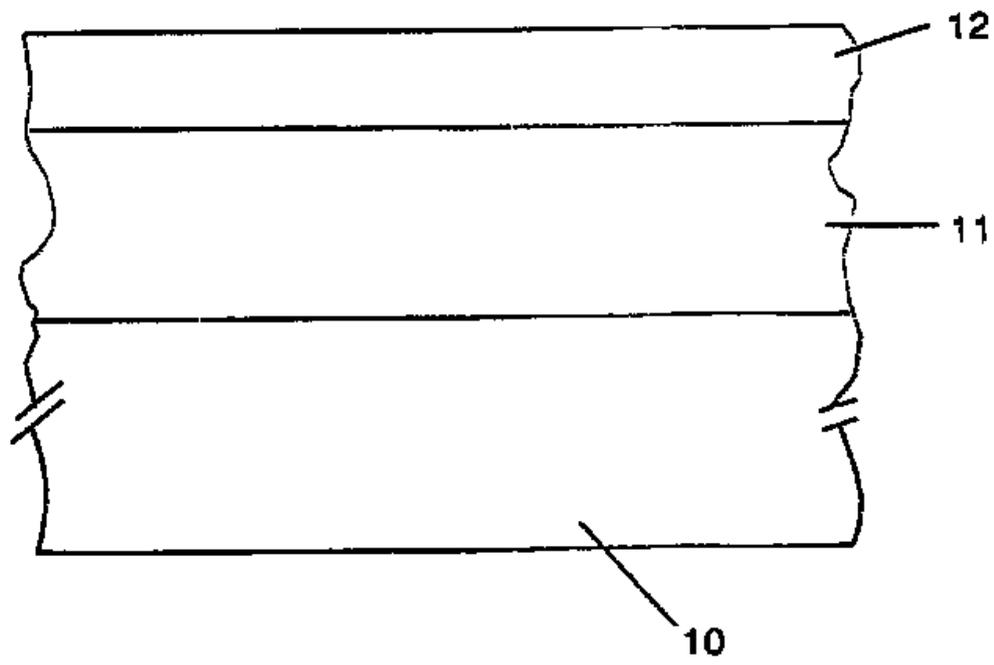
멀티 컬러 프로젝션 디스플레이에 있어서, 상기 기판 상에 형성되어, 상기 기판에서 가장 멀리 떨어진 상부층을 포함하는 반도체 막들의 적층 구조(layered structure); 상기 적층 구조에 형성되는 다수의 LED를 포함하는 LED 어레이 - 상기 LED 중 적어도 하나는 상기 상부층에 둘다 형성되는 절연부 및 도전부를 포함하는 금속-절연체-반도체(MIS) 다이오드이고, 상기 절연부 및 상기 도전부 중 적어도 하나는 상기 상부층의 도핑 조건의 측방향 변동에 의해 형성됨 - ; 상기 LED 어레이내의 개별 LED를 어드레싱하며 이에 바이어스를 인가하기 위한 수단; 및 상기 LED에 인가되는 개개의 광원들을 볼 수 있도록 상기 LED 어레이를 지지하는 기계적 마운트(mechanical mount); 및 멀티 컬러 디스플레이의 광원들을 투사(projection)하기 위한 광학 촬상 시스템(optical imaging system)을 포함하는 멀티 컬러 프로젝션 디스플레이.

청구항 18

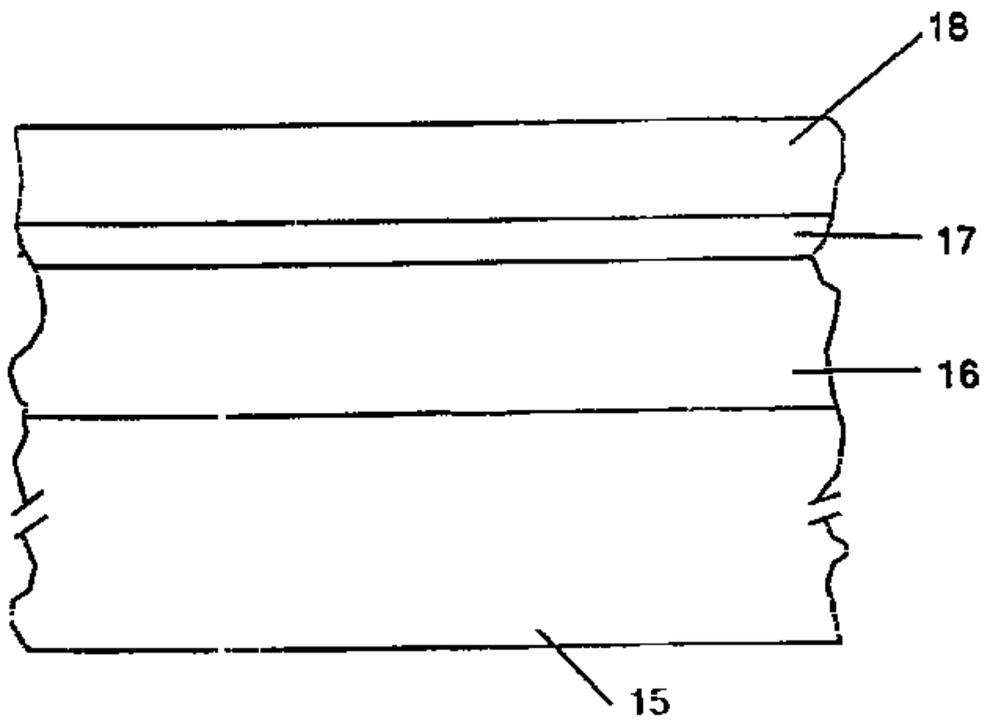
멀티 컬러 디스플레이를 포함하는 컴퓨터에 있어서 상기 멀티 컬러 디스플레이는, 상기 기판 상에 형성되어, 상기 기판에서 가장 멀리 떨어진 상부층을 포함하는 반도체 막들의 적층 구조(layered structure); 상기 적층 구조에 형성되는 다수의 LED를 포함하는 LED 어레이 - 상기 LED 중 적어도 하나는 상기 상부층에 둘다 형성되는 절연부 및 도전부를 포함하는 금속-절연체-반도체(MIS) 다이오드이고, 상기 절연부 및 상기 도전부 중 적어도 하나는 상기 상부층의 도핑 조건의 측방향 변동에 의해 형성됨 - ; 상기 LED 어레이내의 개별 LED를 어드레싱하며 이에 바이어스를 인가하기 위한 수단; 및 상기 LED에 인가되는 개개의 광원들(individual light sources attributed to the LED)을 볼 수 있도록 상기 어레이를 지지하는 기계적 마운트(mechanical mount)를 포함하는 컴퓨터.

도면

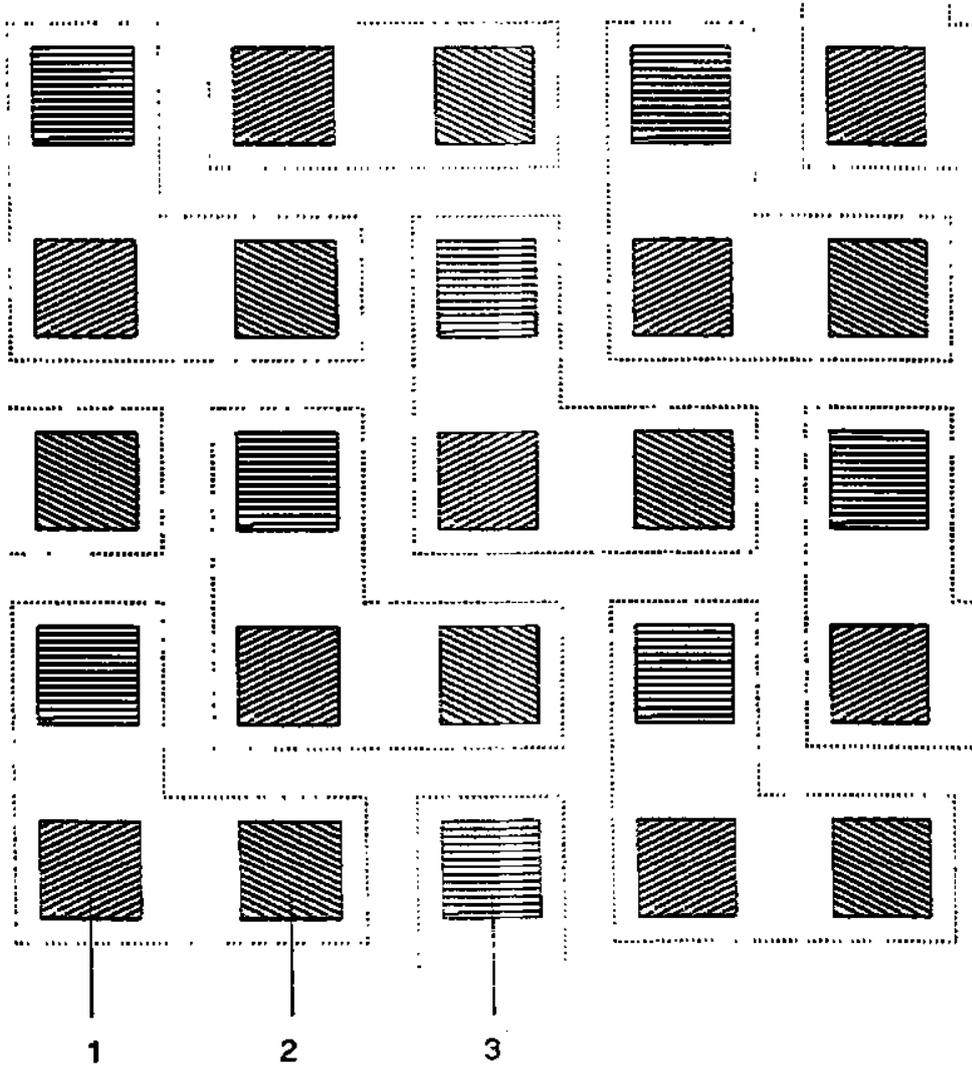
도면 1a



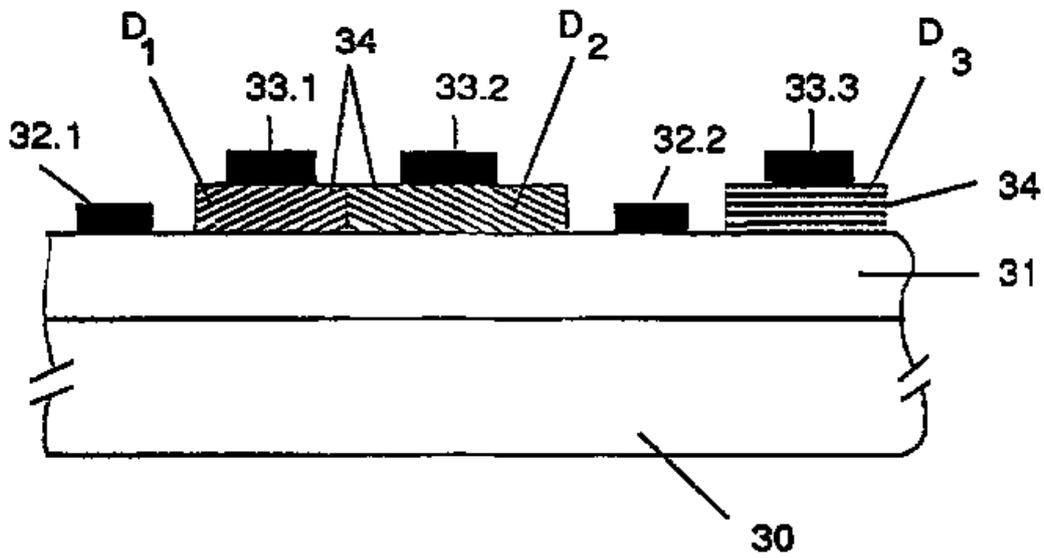
도면 1b



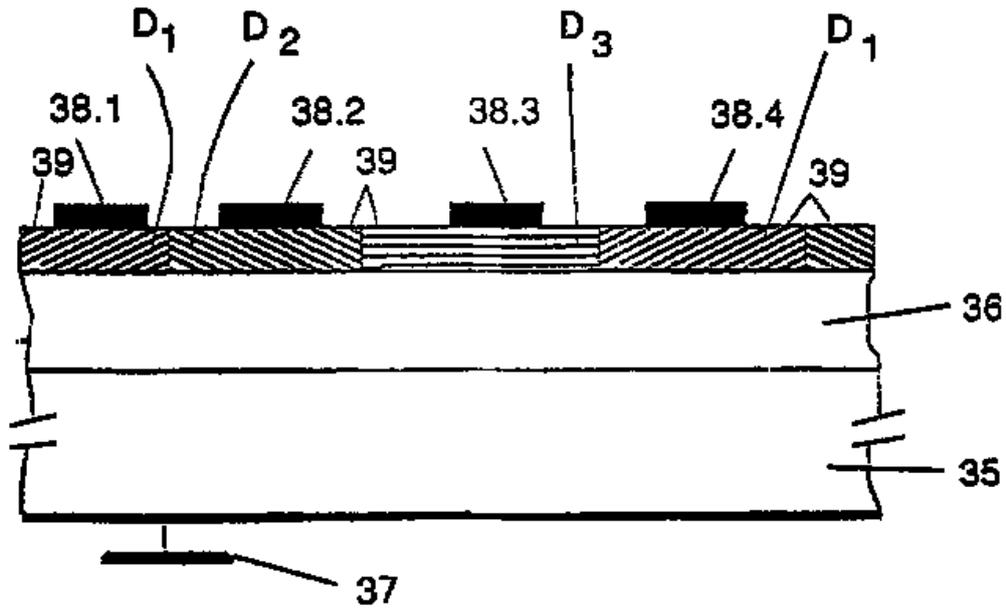
도면2



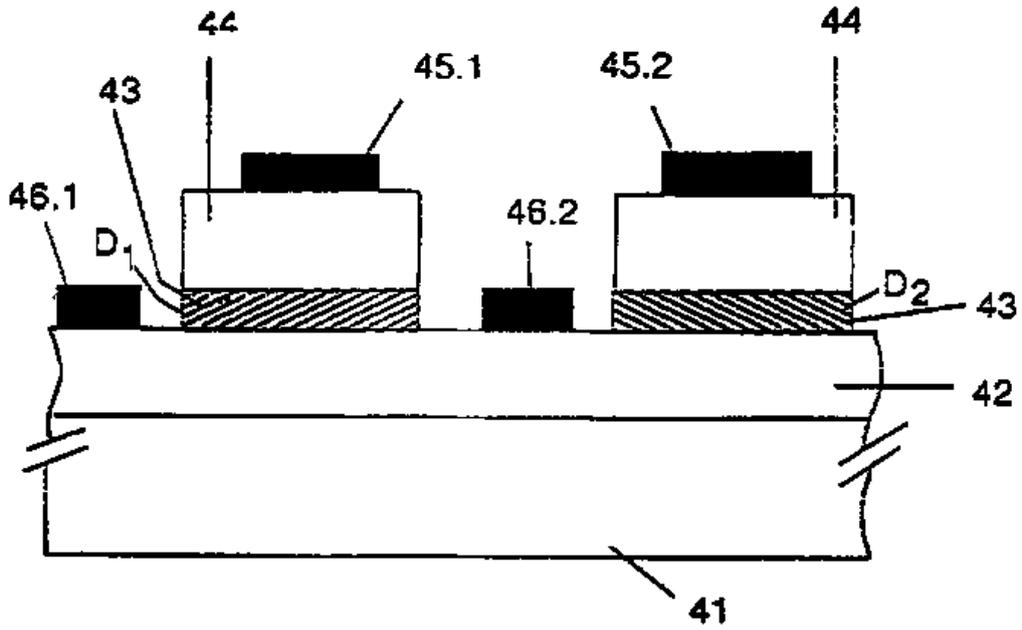
도면3a



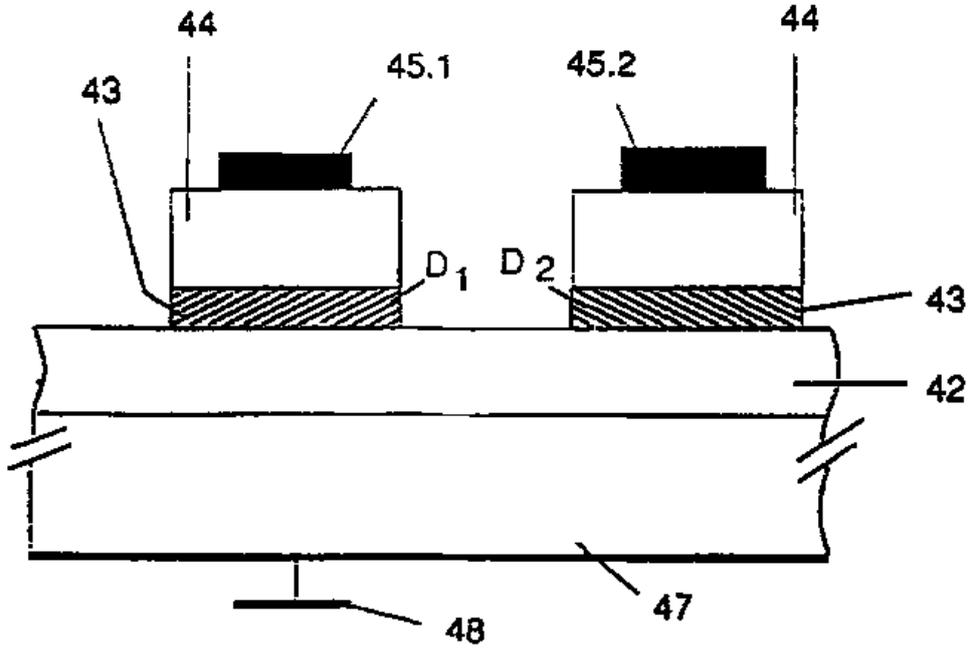
도면3b



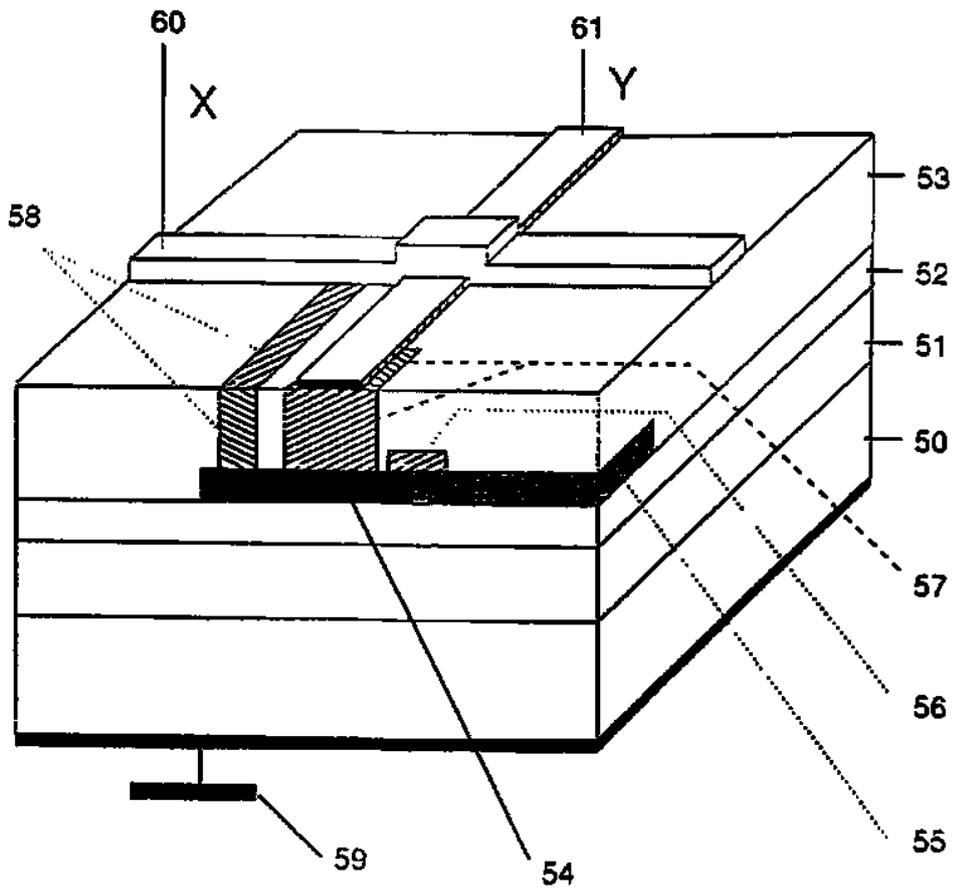
도면4a



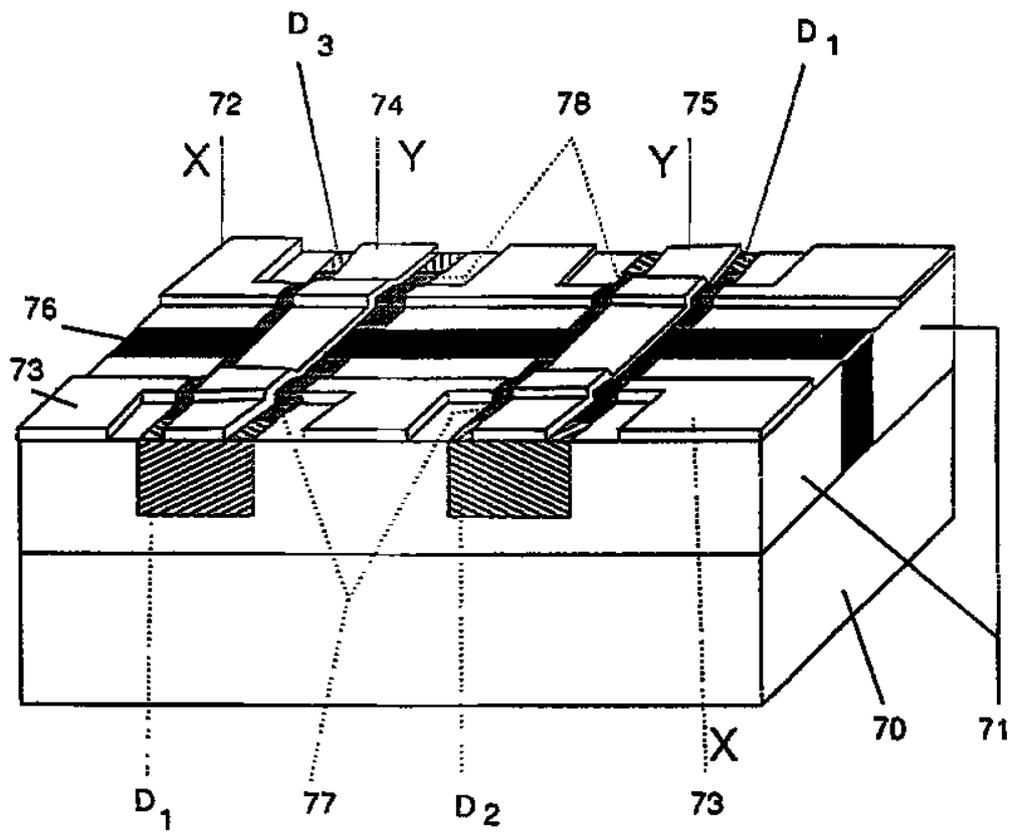
도면4b



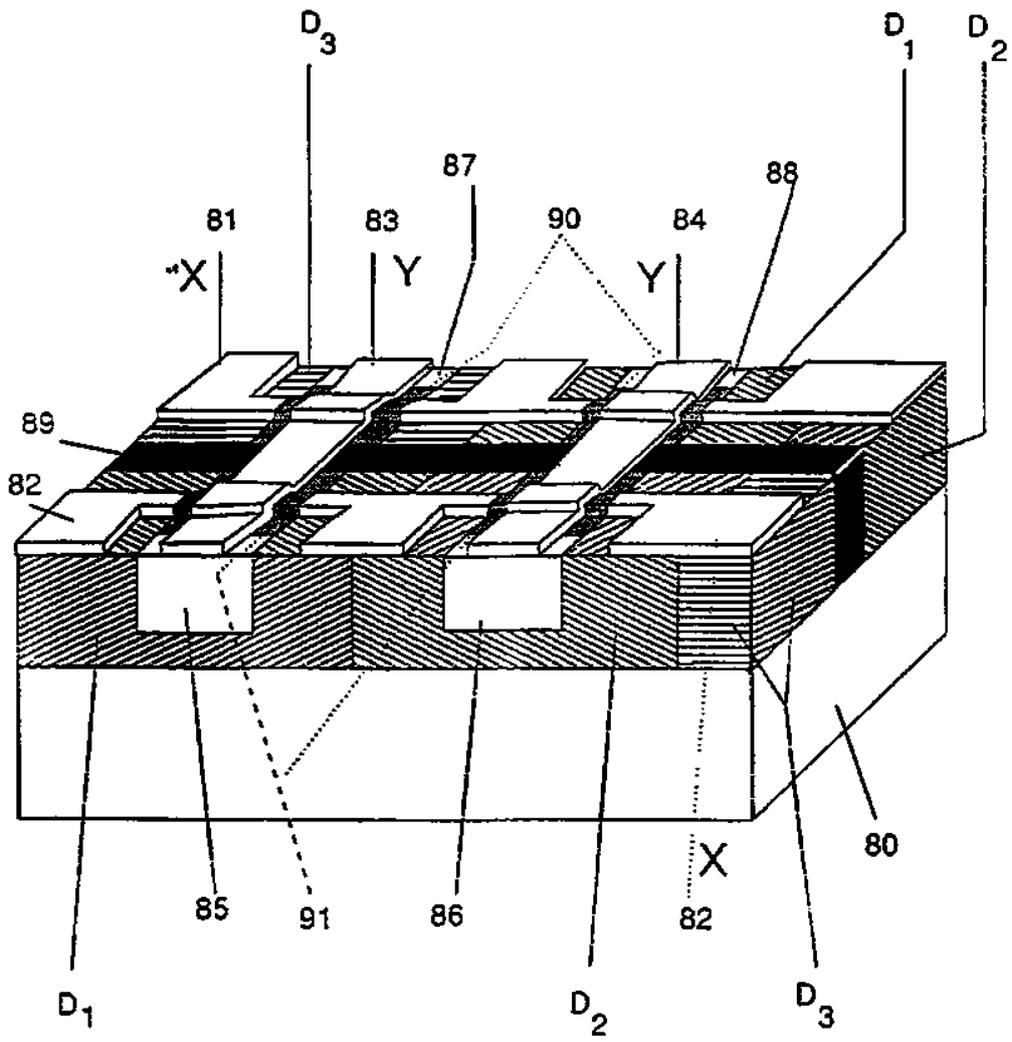
도면5



도면6



도면7



도면8

