



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2011년03월09일  
(11) 등록번호 10-1019941  
(24) 등록일자 2011년02월28일

(51) Int. Cl.  
H01L 21/20 (2006.01) H01L 33/00 (2010.01)  
B82Y 40/00 (2011.01)  
(21) 출원번호 10-2008-7021861  
(22) 출원일자(국제출원일자) 2007년03월09일  
심사청구일자 2008년11월13일  
(85) 번역문제출일자 2008년09월05일  
(65) 공개번호 10-2009-0008182  
(43) 공개일자 2009년01월21일  
(86) 국제출원번호 PCT/US2007/063673  
(87) 국제공개번호 WO 2008/048704  
국제공개일자 2008년04월24일  
(30) 우선권주장  
60/780,833 2006년03월10일 미국(US)  
(뒷면에 계속)  
(56) 선행기술조사문헌  
US6693021 A  
전체 청구항 수 : 총 23 항

(73) 특허권자  
에스티씨. 유엔엠  
미국 87106 뉴멕시코주 앨버커키 유니버시티 블러바드  
에스이 801 스위트 101  
(72) 발명자  
허시 스테펜 엠  
미국 87104 뉴멕시코주 앨버커키 노스웨스트 써클  
엔더블유 2425  
왕 신  
미국 87106 뉴멕시코주 앨버커키 제이205 부엔나  
비스타 에스이 949  
쑤 신위  
미국 87106 뉴멕시코주 앨버커키 제이205 부엔나  
비스타 에스이 949  
(74) 대리인  
특허법인코리아나

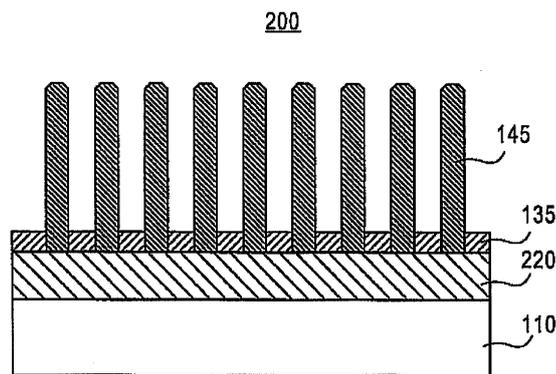
심사관 : 오창석

**(54) GAN 나노선의 펄스 성장 및 III 족 질화물 반도체 기판 물질과 디바이스에서의 어플리케이션**

**(57) 요약**

예시적인 실시형태는 고품질 (즉, 결함이 없는) III 족-N 나노선 및 균일한 나노선 어레이를 포함하는 반도체 디바이스뿐만 아니라 이를 제조하는 스케일러블 프로세스를 제공하고, 여기서, 각각의 나노선의 위치, 배향, 단면 형상, 길이 및 결정성은 정밀하게 제어될 수 있다. 펄스 성장 모드는 약 10 내지 1000nm 의 예시적인 직경을 포함하는 일정한 단면 형상을 가지는 약 10nm 내지 약 1000 마이크로미터의 균일한 길이를 제공하는 개시된 III 족-N 나노선 및/또는 나노선 어레이를 제조하는데 이용될 수 있다. 또한, 고품질 GaN 기판 구조는 복수의 GaN 나노선 및/또는 나노선 어레이를 합체시킴으로써 형성되어 가시 LED 및 레이저의 제조를 용이하게 할 수 있다. 또한, 코어-셸 나노선/MQW 활성 구조가 각각의 나노선의 무극성 측면에서 코어-셸 성장에 의해 형성될 수 있다.

**대표도 - 도2**



(30) 우선권주장

60/798,337 2006년05월08일 미국(US)

60/808,153 2006년05월25일 미국(US)

60/889,363 2007년02월12일 미국(US)

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

기판 위에 선택적 성장 마스크를 형성하는 단계로서, 상기 선택적 성장 마스크는 상기 기판의 복수의 부분들을 노출하는 복수의 패터닝된 개구 (aperture) 들을 포함하는, 상기 선택적 성장 마스크를 형성하는 단계;

선택적 비-펄스 성장 모드를 이용하여, 상기 패터닝된 개구들의 각각에서 노출된 상기 기판의 상기 복수의 부분들의 각각에 반도체 물질을 성장시키는 단계;

상기 비-펄스 성장 모드에서 펄스 성장 모드로 성장 모드 전환을 수행하는 단계; 및

상기 반도체 물질의 상기 펄스 성장 모드를 계속함으로써 복수의 반도체 나노선들을 형성하는 단계를 포함하는, 나노선 제조 방법.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 기판은 지지 기판 표면위에 버퍼층을 포함하고,

상기 반도체 물질은 상기 버퍼층 상의 상기 복수의 패터닝된 개구들을 통해서 선택적으로 성장되는, 나노선 제조 방법.

**청구항 3**

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 기판은 Si, SiC, 사파이어 (sapphire), GaN 및 GaAs 로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 물질들을 포함하는, 나노선 제조 방법.

**청구항 4**

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 반도체 물질의 상기 선택적 비-펄스 성장 이전에 하나 이상의 세정 프로세스들을 더 포함하는, 나노선 제조 방법.

**청구항 5**

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 복수의 패터닝된 개구들은 약 10nm 내지 약 1000nm 의 직경 및 약 50nm 내지 약 10 $\mu$ m 의 피치를 가지는 육각형 어레이를 형성하는, 나노선 제조 방법.

**청구항 6**

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 복수의 반도체 나노선들의 각각 및 상기 복수의 패터닝된 개구들의 각각의 단면 형상은 실질적으로 유사한, 나노선 제조 방법.

**청구항 7**

제 6 항에 있어서,

상기 단면 형상은 다각형, 직사각형, 정사각형, 타원형, 및 원형으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 모양인, 나노선 제조 방법.

**청구항 8**

제 6 항에 있어서,

상기 비-펄스 성장 모드에서 펄스 성장 모드로 성장 모드 전환을 수행하는 단계는, 상기 반도체 물질의 성장이

상기 선택적 성장 마스크의 상부 위로 돌출하기 전에 수행되는, 나노선 제조 방법.

**청구항 9**

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 복수의 반도체 나노선들에 대한 상기 반도체 물질은 GaN, AlN, InN, InGaN, AlInGaN 및 AlGaIn 으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 물질들을 포함하는, 나노선 제조 방법.

**청구항 10**

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 선택적 비-펄스 성장은 약 100 내지 약 500 의 범위의 III 족/V 족 비율을 가지는 III 족 및 V 족 전구체 가스들을 포함하는, 나노선 제조 방법.

**청구항 11**

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 펄스 성장은 하나 이상의 시퀀스 루프들을 통해서 상기 반도체 물질의 III 족 및 V 족 전구체 가스들을 교대로 성장 반응기에 도입하는 단계를 포함하고,

상기 전구체 가스들은 약 60 내지 약 300 의 범위의 III 족/V 족 비율을 포함하는, 나노선 제조 방법.

**청구항 12**

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 펄스 성장은 약 2 $\mu$ m/hr 이상의 수직 성장 속도를 포함하는, 나노선 제조 방법.

**청구항 13**

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 복수의 반도체 나노선들의 각각은 약 10nm 내지 약 100 $\mu$ m 의 길이를 가지는, 나노선 제조 방법.

**청구항 14**

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 비-펄스 성장 모드에서 펄스 성장 모드로 성장 모드 전환을 수행하는 단계는, 상기 반도체 물질의 성장이 상기 선택적 성장 마스크의 상부 위로 돌출하여 상기 선택적 성장 마스크의 표면상에 부분적으로 배치된 복수의 꼭대기를 잘라낸 피라미드-모양 나노구조들을 형성한 후에 수행되며;

상기 복수의 반도체 나노선들을 형성하는 단계는, 반도체 나노선의 단면 형상과 상기 복수의 꼭대기를 잘라낸 피라미드-모양 나노구조들의 각각의 상부 패시 (top facet) 이 실질적으로 유사하도록, 상기 반도체 물질의 상기 펄스 성장 모드를 계속함으로써 상기 복수의 꼭대기를 잘라낸 피라미드-모양 나노구조들의 각각 상에 상기 반도체 나노선을 형성하는 단계를 포함하는, 나노선 제조 방법.

**청구항 15**

제 14 항에 있어서,

상기 반도체 나노선은 상기 복수의 패터닝된 개구들의 각각의 단면 치수보다 더 작은 단면 치수를 포함하는, 나노선 제조 방법.

**청구항 16**

제 1 항 또는 제 2 항에 기재된 나노선 제조 방법에 의해 형성된 III 족-N 나노선 어레이로서,

복수의 선택된 표면 영역들을 포함하는 지지체; 및

상기 지지체의 상기 복수의 선택된 표면 영역들의 각각에 연결되고 상기 복수의 선택된 표면 영역들의 각각으로

부터 연장하는 III 족-N 나노선으로서, 상기 III 족-N 나노선은 단일 방향을 따라서 배향되고 상기 복수의 선택된 표면 영역들 중 하나의 단면 형상을 유지하는 상기 III 족-N 나노선을 포함하는, III 족-N 나노선 어레이.

**청구항 17**

제 16 항에 있어서,

(0001) 결정 방향을 따라서 배향된 GaN 나노선을 더 포함하는, III 족-N 나노선 어레이.

**청구항 18**

제 16 항에 있어서,

상기 III 족-N 나노선은 GaN, AlN, InN, InGaN, AlGaIn, 및 AlInGaIn 으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 물질들을 포함하는, III 족-N 나노선 어레이.

**청구항 19**

제 16 항에 있어서,

상기 III 족-N 나노선은 다각형, 직사각형, 정사각형, 타원형, 및 원형으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 단면 모양들을 포함하는, III 족-N 나노선 어레이.

**청구항 20**

제 16 항에 있어서,

상기 III 족-N 나노선은 약 100 이상의 종횡비 및 약 250nm 이하의 단면 치수를 포함하는, III 족-N 나노선 어레이.

**청구항 21**

제 16 항에 있어서,

상기 지지체는 기판상에 배치된 선택적 성장 마스크를 통해서 상기 기판의 복수의 부분들의 각각에 배치된 III 족-N 나노선 핵 (group III-N nanowire nucleus) 을 포함하고,

상기 III 족-N 나노선 핵의 표면은 상기 지지체의 상기 복수의 선택된 표면 영역들 중 하나를 포함하는, III 족-N 나노선 어레이.

**청구항 22**

제 21 항에 있어서,

상기 지지체는, 상기 III 족-N 나노선 핵으로부터 형성되고 상기 선택적 성장 마스크상에 부분적으로 배치된 피라미드-모양 III 족-N 나노구조를 더 포함하고,

상기 피라미드 모양 III 족-N 나노구조의 상부 패킷은 상기 지지체의 상기 복수의 선택된 표면 영역들 중 하나를 포함하는, III 족-N 나노선 어레이.

**청구항 23**

기판;

상기 기판 위에서, 상기 기판의 복수의 부분들을 노출하는 복수의 패터닝된 개구들을 포함하는 선택적 성장 마스크; 및

상기 기판의 상기 복수의 부분들의 각각에 연결되고 상기 복수의 부분들의 각각으로부터 연장하며, 단일 방향을 따라서 배향되고 복수의 선택된 표면 영역들 중 하나의 단면 형상을 유지하고, 상기 선택적 성장 마스크의 상부 위로 연장하는 III 족-N 나노선을 포함하는, III 족-N 나노선 어레이.

**청구항 24**

삭제

청구항 25

삭제

**명세서**

[0001] 정부 권리

[0002] 본 발명은, 미국 국방부 고등 연구 계획국/미국 육군 연구소 (the Defense Advanced Research Projects Agency/Army Research Office) 에 의해 수여된 협약 HR0011-05-1-0006, 및 미국 공군 과학연구소 (the Air Force Office of Scientific Research) 에 의해 수여된 협약 F49620-03-1-0013 및 협약 FA9550-06-1-0001 하에서 정부 지원에 의해 개발되었다. 정부는 본 발명의 일정한 권리를 가질 수도 있다.

[0003] 관련 출원

[0004] 본 출원은, 전체가 본 명세서에서 참조로서 포함된 2006년 3월 10일 출원된 미국 가출원 일련번호 제60/780,833호, 2006년 5월 8일 출원된 일련번호 제60/798,337호, 2006년 5월 25일 출원된 일련번호 제60/808,153호, 및 2007년 2월 12일 출원된 일련번호 제60/889,363호에 대해 우선권 주장한다.

[0005] 본 발명의 분야

[0006] 본 발명은 일반적으로 반도체 물질, 디바이스, 및 그 제조 방법에 관한 것이며, 더욱 상세하게는, 반도체 나노선 및 반도체 나노선 활성 디바이스에 관한 것이다.

[0007] 본 발명의 배경

[0008] III 족-N 합금 (예를 들어, GaN) 으로 구성된 나노선은 나노스케일 광전자 디바이스와 같은 새로운 반도체 디바이스 구성에 대한 잠재력을 제공한다. 예를 들어, GaN 나노선은, 부식 또는 고온 환경하에서 동작하는 디바이스에 유용한 화학적 안정성, 큰 띠틈간격 및 높은 녹는점을 제공할 수 있다. 또한, GaN 및 관련 합금의 더 큰 띠틈간격은 디스플레이 및 조명 용도에 유용한 가시 범위의 광원의 제조를 허용한다. 또한, 각각의 나노선의 고유한 기하학적 모양은 포토닉스 (photonics) 및 이송 디바이스에서 새로운 디바이스 패러다임을 경험할 잠재력을 제안한다. 이러한 잠재력을 완전하게 실현하기 위해, 각각의 나노선의 기하학적 모양, 위치 및 결정성의 정밀하고 균일한 제어를 통해 고품질 III 족-N 나노선 및/또는 나노선 어레이를 제조하기 위한 스케일러블 프로세스 (scalable process) 가 요구된다.

[0009] 종래의 나노선 제조는 VLS (vapor-liquid-solid) 성장법 (growth mechanism) 에 기초하고, Au, Ni, Fe, 또는 In 과 같은 촉매의 이용을 수반한다. 그러나, 이 종래의 촉매 프로세스들은 그 결과로 형성된 나노선의 위치와 균일성을 제어할 수 없기 때문에 문제를 발생시킨다. 종래의 촉매 프로세스가 가지는 추가적인 문제는, 이 촉매가 불가피하게 나노선으로 도입된다는 것이다. 이는, 그 결과로 형성된 나노구조의 결정 품질을 저하시키고, 그 응용을 제한한다.

[0010] 따라서, 종래의 이러한 문제 및 다른 문제들을 극복하고 그리고 고품질의 나노선 및/또는 나노선 어레이, 및 이들을 제조하는 스케일러블 방법을 제공하기 위한 필요성이 있다. 또한, 고품질 나노선 및/또는 나노선 어레이에 기초하여 나노선 광전자 디바이스 및 그 제조방법을 제공하는 것이 바람직하다.

[0011] **발명의 개요**

[0012] 다양한 실시형태에 따르면, 본 발명의 교시는 나노선을 제조하는 방법을 포함한다. 이 방법에서, 선택적 성장 마스크 (selective growth mask) 가 기판 위에 형성될 수 있다. 선택적 성장 마스크는, 기판의 복수의 부분을 노출하는 복수의 패터닝된 개구 (aperture) 를 포함할 수 있다. 그후, 반도체 물질은 선택적 비-펄스 성장 모드를 이용하여 패터닝된 개구들의 각각에 노출된 기판의 복수의 부분들 중 각각에서 성장될 수 있다. 이 성장 모드는 비-펄스 성장 모드에서 펄스 성장 모드로 전환될 수 있다. 반도체 물질의 펄스 성장 모드를 계속 실행시킴으로써, 복수의 반도체 나노선이 형성될 수 있다.

[0013] 다양한 실시형태에 따르면, 본 발명의 교시는 또한 III 족-N 나노선 어레이를 포함하고, 이는, 기판위에 배치된 선택적 성장 마스크를 포함할 수 있다. 선택적 성장 마스크는, 기판의 복수의 부분을 노출하는 복수의 패터

닝된 개구를 포함할 수 있다. III 족-N 나노선은 기관의 복수의 노출된 부분에 연결되고 이 부분으로부터 연장하며 선택적 성장 마스크의 상부 위로 연장할 수 있다. III 족-N 나노선은 단일 방향을 따라서 배향될 수 있고, 복수의 선택된 표면 영역들 중 하나의 단면 형상 (cross-sectional feature) 을 유지할 수 있다.

[0014] 다양한 실시형태에 따르면, 본 발명의 교시는 GaN 기관 구조물을 더 포함한다. GaN 기관 구조물은 복수의 GaN 나노선으로부터 합체된, 결함이 없는 GaN 필름일 수 있다. GaN 필름은 약  $10^7 \text{ cm}^{-2}$  이하의 결함 밀도를 가질 수 있다.

[0015] 본 발명의 추가적인 목적 및 이점은 후술하는 상세한 설명의 부분에서 설명될 것이고, 이 부분은 상세한 설명으로부터 명확해질 것이며, 또는, 본 발명의 실시예에 의해 알 수도 있다. 본 발명의 목적 및 이점은 첨부된 청구항에서 특별히 나타내진 엘리먼트 및 조합의 수단에 의해 실현 및 획득될 것이다.

[0016] 전문적인 일반적인 설명 및 이하의 상세한 설명 모두는 청구된 바와 같이 단지 예시적이고 설명적이며 본 발명을 제한하지 않는다는 것을 이해해야만 한다.

[0017] **도면의 간단한 설명**

[0018] 본 명세서에 포함되고 그 일부를 구성하는 첨부된 도면은 본 발명의 몇몇 실시형태를 그 설명과 함께 도시하고, 본 발명의 원리를 설명하도록 기능한다.

[0019] 도 1a 내지 도 1c 는 본 교시에 따른 제조의 다양한 단계에서 예시적인 반도체 나노선 디바이스의 단면도를 도시한다.

[0020] 도 2 는 본 교시에 따른 제 2 예시적인 반도체 나노선 디바이스를 도시한다.

[0021] 도 3 은 본 교시에 따른 2-상 (two-phase) 성장 모드를 이용하여 복수의 나노선 및/또는 복수의 나노선 어레이를 형성하기 위한 예시적인 프로세스를 도시한다.

[0022] 도 4a 내지 도 4c 는 본 교시에 따른 제 3 예시적인 반도체 나노선 디바이스를 도시한다.

[0023] 도 5 는 본 교시에 따른 제 4 예시적인 반도체 나노선 디바이스를 도시한다.

[0024] 도 6 의 A 내지 D 는 본 교시에 따라서 촉매를 이용하지 않고 2-상 성장 모드에 의해 성장된 복수의 순서화된 GaN 나노선 어레이에 대한 예시적인 결과를 도시한다.

[0025] 도 7a 내지 도 7d 는 본 교시에 따라서 도 1 내지 도 6 에 도시된 복수의 나노선 및/또는 복수의 나노선 어레이로 형성된 GaN 기관 구조를 포함하는 반도체 디바이스의 4 개의 예시적인 변형물을 도시한다.

[0026] 도 8 은 본 교시에 따른 예시적인 코어-셸 나노선/MQW (multiple quantum well) 활성 구조 디바이스를 도시한다.

[0027] 도 9 는 본 교시에 따른 다른 예시적인 코어-셸 나노선/MQW 활성 구조 디바이스를 도시한다.

[0028] 도 10a 내지 도 10c 는 본 교시에 따라서 도 8 및 도 9 에 도시된 코어-셸 나노선/MQW 활성 구조를 이용하여 형성된 예시적인 나노선 LED 디바이스를 도시한다.

[0029] 도 11 은 본 교시에 따라서 도 8 및 도 9 에 도시된 코어-셸 나노선/MQW 활성 구조를 이용하는 예시적인 나노선 레이저 디바이스를 도시한다.

[0030] 도 12 는 본 교시에 따라서 도 8 및 도 9 에 도시된 코어-셸 나노선/MQW 활성 구조를 이용하는 다른 예시적인 나노선 레이저 디바이스를 도시한다.

[0031] **실시형태의 설명**

[0032] 이하, 본 발명의 예시적인 실시형태에 대해 참조가 상세하게 이루어질 것이며, 그 예가 첨부 도면에 도시된다.

동일한 참조 번호가 동일한 또는 유사한 부분에 대해 지칭하도록 도면 전체에 이용될 것이다. 이하의 설명에서, 본 발명이 실행될 수도 있는 특정 예시적인 실시형태가 설명의 방식으로 도시되는 첨부된 도면은 참조의 일부를 형성한다. 이들 실시형태들은 당업자들로 하여금 본 발명을 실행하도록 하기 위해 충분한 세부사항을 통해 설명되고, 다른 실시형태들이 활용될 수도 있으며 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 범위에서 그 변화가 이루어진다는 것을 이해해야만 한다. 따라서, 이하의 설명은 단지 예시적이다.

[0033] 본 발명이 하나 이상의 구현에 대해 설명되지만, 첨부된 특허청구범위의 취지 및 범위에서 벗어나지 않고 설명

된 예시에 대한 변형 및/또는 변경이 이루어질 수 있다. 또한, 본 발명의 특정 특징은 수개의 구현들 중 단지 하나에 대해서만 개시되었을 수도 있지만, 이러한 특징은 임의의 주어진 또는 특정 기능에 대해 바람직하거나 유리하도록 다른 구현들의 하나 이상의 다른 특징들과 결합될 수도 있다. 또한, 용어 "포함하는 (including)", "포함하다 (include)", "가지는 (having)", "가지다 (has)", "갖는 (with)", 또는 이들의 변형은 상세한 설명과 특허청구범위 둘 중 하나에 이용되고, 이러한 용어는 용어 "구비하는 (comprising)" 과 유사한 방식으로 포괄하는 것으로 의도된다. 용어 "중 적어도 하나 (at least one of)" 는, 열거된 항목들 중 하나 이상이 선택될 수 있는 것을 의미하도록 이용된다.

[0034] 본 발명의 광범위한 범위를 설명하는 수치적인 범위 및 파라미터는 근사값임에도 불구하고, 특정 예에서 설명된 수치값은 가능한 한 정밀하게 보고된다. 그러나, 임의의 수치값은 각각의 테스트 측정에서 발견된 표준 편차로부터 필수적으로 초래되는 소정 에러를 본질적으로 포함한다. 또한, 그 공개된 모든 범위는 그에 포함된 임의의 및 모든 서브-범위를 포함하는 것으로 이해된다. 예를 들어, "10 미만" 의 범위는 0 의 최소값과 10 의 최대값 사이 (및 그것을 포함하는 것) 의 임의의 그리고 모든 서브-범위, 즉, 0 과 동일하거나 0 보다 큰 최소값과 10 과 동일하거나 10 보다 작은 최대값을 가지는 임의의 그리고 모든 서브-범위, 예를 들어, 1 내지 5 를 포함할 수 있다.

[0035] 예시적인 실시형태는 고품질 (즉, 결함이 없는) III 족-N 나노선 및 균일한 III 족-N 나노선 어레이를 포함하는 반도체 디바이스 뿐만 아니라 그 스케일러블 제조 프로세스를 제공하고, 여기서, 각각의 나노선의 위치, 배향, 단면 형상, 길이 및/또는 결정성이 정밀하게 제어될 수 있다. 구체적으로, 복수의 나노선 및/또는 나노선 어레이는, 선택적 성장 모드에서 펄스 성장 모드로의 성장 모드-전환이 후속하는 선택적 성장 모드를 이용하여 형성될 수 있다. 선택적 성장 모드로부터 획득된 각각의 나노선의 단면 형상, 예를 들어, 단면 치수 (예를 들어, 직경 또는 폭), 및 단면 모양은 펄스 성장 모드를 이용하여 성장을 계속함으로써 유지될 수 있다. 이 방법에서, 높은 종횡비를 가지는 나노선이 형성될 수 있다. 일 예시적인 실시형태에서, 각각의 나노선의 길이는 예를 들어 약 10nm 내지 약 1000 마이크로미터, 예를 들어, 약 10nm 내지 약 100 마이크로미터일 수 있다.

[0036] 또한, 고품질 III 족-N 필름, 예를 들어, 고품질 GaN 필름은 복수의 나노선 및/또는 나노선 어레이를 종결시키고 합체시킴으로써 형성될 수 있다. 이러한 GaN 막은, 부상하는 (emerging) 고체상태 조명 및 UV 센서 산업을 위한 가시 LED 및 레이저와 같은 GaN-계 디바이스의 제조를 용이하게 하기 위해 GaN 기관 구조로서 이용될 수 있다.

[0037] 또한, 펄스-성장된 나노선 및/또는 나노선 어레이의 각각이 무극성 측벽 (nonpolar sidewall) 을 제공할 수 있기 때문에, 각각의 나노선의 측벽 상에 MQW 활성 웰 구조를 구축하기 위해 코어-웰 성장을 이용하는 것이 바람직하다. 이러한 코어-웰 나노선/MQW 활성 구조는 고효율성을 가지는 나노스케일 광전자 디바이스, 예를 들어, 나노선 LED 및/또는 나노선 레이저에 이용될 수 있다.

[0038] 본 명세서에 이용된 바와 같이, 용어 "나노선" 은 일반적으로 약 1000nm 이하의 적어도 하나의 부 (minor) 치수, 예를 들어, 폭 또는 직경과 같은 단면 치수 중 하나를 포함하는 임의의 기다란 도전성 또는 반도체성 물질을 지칭한다. 다양한 실시형태에서, 부 치수는 약 100nm 미만일 수 있다. 다양한 다른 실시형태에서, 부 치수는 약 10nm 미만일 수 있다. 나노선은 약 100 이상의 종횡비 (예를 들어, 길이:폭 및/또는 주 (major) 치수:부 치수) 를 가질 수 있다. 다양한 실시형태에서, 종횡비는 약 200 이상일 수 있다. 다양한 다른 실시형태에서, 종횡비는 약 2000 이상일 수 있다. 일 예시적인 실시형태에서, 단면의 일 방향에서는 치수가 1000nm 보다 훨씬 작을 수 있고, 수직 방향에서는 치수가 1000nm 보다 실질적으로 클 수 있도록, 나노선의 단면은 상당히 비대칭적일 수 있다.

[0039] 또한, 용어 "나노선" 은 나노샤프트 (nanoshaft), 나노필라 (nanopillar), 나노니들 (nanoneedle), 나노로드, 및 나노튜브 (예를 들어, 단일벽 나노튜브, 또는 다중벽 나노튜브) 를 포함하지만 이에 제한되지 않는 연장된 유사 치수의 다른 구조, 및 그것으로부터 다양하게 기능화되고 파생된 근모 (fibril) 형태, 예를 들어, 실 (thread), 단사 (yarn), 직물 (fabric) 형태의 나노섬유 (nanofiber) 를 포함하도록 의도된다.

[0040] 나노선은 다양한 단면 모양, 예를 들어, 직사각형, 다각형, 정사각형, 타원형, 또는 원형 모양을 가질 수 있다. 따라서, 나노선은 원통형 및/또는 콘형 3 차원 (3-D) 모양을 가질 수 있다. 다양한 실시형태에서, 복수의 나노선은 예를 들어 서로에 대해 실질적으로 병렬형 (parallel), 아치형 (arcuate), 정현형 (sinusoidal) 등일 수 있다.

[0041] 나노선은, 그 나노선이 연결되고 연장할 수 있는 (예를 들어, 성장될 수 있는) 선택된 표면 영역을 포함할 수

있는 지지체 상에/지지체로부터 형성될 수 있다. 나노선의 지지체는 Si, SiC, 사파이어 (sapphire), III-V 반도체 화합물, 예를 들어, GaN 또는 GaAs, 금속, 세라믹스 또는 유리를 포함하는 다양한 물질로부터 형성된 기관을 포함할 수 있다. 나노선의 지지체는 또한 기관상에 형성된 선택적 성장 마스크를 포함할 수 있다. 다양한 실시형태에서, 나노선의 지지체는 선택적 성장 마스크와 기관 사이에 개재된 버퍼층을 더 포함할 수 있다.

[0042] 다양한 실시형태에서, 나노선 활성 디바이스, 예를 들어, 나노선 LED 또는 나노선 레이저는 나노선 및/또는 나노선 어레이를 이용하여 형성될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 나노선 및/또는 나노선 어레이 그리고 나노선 활성 디바이스는 III-V 화합물 반도체 물질 시스템, 예를 들어, III 족-N 화합물 물질 시스템을 이용하여 형성될 수 있다. III 족 엘리먼트의 예는 예시적인 III 족 전구체, 예를 들어, 트리메틸갈륨 (TMGa) 또는 트리에틸갈륨 (TEGa), 트리메틸인듐 (TMIn) 또는 트리메틸알루미늄 (TMAI) 으로부터 형성될 수 있는 Ga, In, 또는 Al 을 포함할 수 있다. 예시적인 N 전구체는, 예를 들어, 암모니아 (NH<sub>3</sub>) 일 수 있다. 예를 들어, P 또는 As 와 같은, 다른 V 족 엘리먼트가 이용될 수 있으며, 예시적인 V 족 전구체는 TBP (tertiarybutylphoshine), 또는 AsH<sub>3</sub> (arsine) 와 같다.

[0043] 이하의 설명에서, III 족-N 반도체 합금 조성물은, 예를 들어, GaN, AlN, InN, InGaN, AlGaN, 또는 AlInGaN 과 같은 III 족-N 엘리먼트의 조합에 의해 설명될 수 있다. 일반적으로, 조성물에서의 엘리먼트는 다양한 물분율 (molar fraction) 로 조합될 수 있다. 예를 들어, 반도체 합금 조성물 InGaN 은 In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N 을 나타낼 수 있고, 여기서 물분율 x 는 1.00 미만의 임의의 수일 수 있다. 또한, 물분율 값에 기초하여 다양한 활성 디바이스가 유사한 조성물에 의해 제작될 수 있다. 예를 들어, In<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N (여기서 x 는 약 0.3 이다) 는 청색광 방출 동안의 LED 의 MQW 활성 범위에서 이용될 수 있고, In<sub>0.43</sub>Ga<sub>0.57</sub>N (여기서 x 는 약 0.43 이다) 은 녹색광 방출 동안 LED 의 MQW 활성 범위에서 이용될 수 있다.

[0044] 다양한 실시형태에서, 나노선, 나노선 어레이 및/또는 나노선 활성 디바이스는: 주기율표의 II 족, 예를 들어, Mg, Zn, Cd 및 Hg 로부터의 p-형 도펀트; 주기율표의 IV 족, 예를 들어, C 로부터의 p-형 도펀트; 또는 Si, Ge, Sn, S, Se 및 Te 로 이루어진 그룹으로부터 선택된 n-형 도펀트로 이루어진 그룹으로부터의 도펀트를 포함할 수 있다.

[0045] 다양한 실시형태에서, 나노선 및/또는 나노선 어레이뿐만 아니라 나노선 활성 디바이스는 고품질의 혼성 구조를 가질 수 있고, (유기금속 기상 에피택시 (OMVPE) 로서 또한 공지된) 금속-유기 화학 기상 증착 (MOCVD), 분자-빔 에피택시 (MBE), 가스 소스 MBE (GSMBE), 금속-유기 MBE (MOMBE), 원자층 에피택시 (ALE), 또는 수소화물 기상 에피택시 (HVPE) 를 포함하지만 이에 한정하지 않는 다양한 결정 성장 기술에 의해 형성될 수 있다.

[0046] 다양한 실시형태에서, 다중-상 성장 모드, 예를 들어, 2-상 성장 모드는 나노선 및/또는 나노선 어레이뿐만 아니라 나노선 활성 디바이스의 고품질 결정 성장에 이용될 수 있다. 예를 들어, 나노선 및/또는 나노선 어레이의 성장 선택도 및 결정핵생성 (nucleation) 을 위한 조건을 제공하기 위해 선택적 성장 모드와 같은 제 1 상 성장 모드가 이용될 수 있다. 선택적 성장 모드에서, 표준 결정 성장 방법, 예를 들어, 표준 MOCVD 는 예를 들어, 약 10nm 이상의 원하는 두께를 가지는 나노선의 성장의 결정핵을 생성하도록 이용될 수 있다.

[0047] 제 2 상 성장 모드는 각각의 나노선의 성장을 계속하고, 제 1 성장 모드로부터 단면 형상을 유지시키는 프로세스를 생성할 수 있으며, 또한, 임의의 원하는 길이를 제공할 수 있다. 제 2 상 성장 모드는, 제 1 상 성장 모드를 종결할 수 있는 성장 모드-전환에 의해 제공될 수 있다. 제 2 상 성장 모드에서, 펄스 성장 모드, 예를 들어, 펄스 MOCVD 성장이 이용될 수 있다.

[0048] 본 명세서에 이용된 바와 같이, 용어 "펄스 성장 모드" 는, III 족 및 V 족 전구체 가스가 설계 시퀀스로 결정 성장 반응기에 교대로 도입되는 프로세스를 지칭한다. 예를 들어, TMGa 및 NH<sub>3</sub> 는 GaN 나노선 및/또는 나노선 어레이 및/또는 GaN 나노선 활성 디바이스의 예시적인 형태에 대한 전구체로서 이용될 수 있다. 펄스 성장 모드에서, 일정한 시간 주기 (예를 들어, 약 20 초) 동안 지정 유속 (예를 들어, 약 10sccm) 으로 TMGa 를 도입하고, 그후, 시간 주기 (예를 들어, 약 30 초) 동안 지정 유속 (예를 들어, 약 1500sccm) 으로 NH<sub>3</sub> 를 도입하는 시퀀스로 TMGa 및 NH<sub>3</sub> 가 교대로 도입될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 하나 이상의 시퀀스 루프가 각각의 나노선의 설계 길이에 대해 수행될 수 있다 (예를 들어, 반복될 수 있다). 다양한 실시형태에서, 각각의 나노선의 성장 속도는 배향 종속적일 수 있다.

- [0049] 다양한 실시형태에서, 개시된 나노선, 나노선 어레이, 및/또는 나노선 활성 디바이스의 형성에 유전체 물질이 수반될 수 있다. 예를 들어, 선택적 성장 마스크는 복수의 나노선 및/또는 나노선 어레이의 형성 도중에 유전체 물질로 이루어질 수 있다. 다른 예에서, 유전체 물질은 나노선 LED 및/또는 나노선 레이저와 같은 활성 디바이스용 전기 절연에 이용될 수 있다. 여기 이용된 바와 같이, 유전체 물질은, 실리콘 이산화물 (SiO<sub>2</sub>), 실리콘 질화물 (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), 실리콘 산질화물 (SiON), 불소화된 실리콘 이산화물 (SiOF), 실리콘 옥시카바이드 (SiOC), hafnium 산화물 (HfO<sub>2</sub>), hafnium-실리케이트 (HfSiO), 나이트라이드 hafnium-실리케이트 (HfSiON), 지르코늄 산화물 (ZrO<sub>2</sub>), 알루미늄 산화물 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 바륨 스트론튬 티타네이트 (BST), 리드 지르코네이트 티타네이트 (PZT), 지르코늄 실리케이트 (ZrSiO<sub>2</sub>), 탄탈 산화물 (TaO<sub>2</sub>) 또는 다른 절연 물질을 포함할 수 있지만 이에 한정하지 않는다. 다양한 다른 실시형태에 따라서, 예를 들어, 텅스텐과 같은 도전성 금속 성장 마스크는 개시된 나노선의 선택적 성장에 이용될 수 있다.
- [0050] 나노선 및/또는 나노선 어레이의 반도체 디바이스 및 그 스케일러블 성장 프로세스에 대한 예시적인 실시형태가 도 1a 내지 도 1c, 도 2 내지 도 3, 도 4a 내지 도 4c, 도 5, 및 도 6의 A 내지 D에 도시된다.
- [0051] 도 1a 내지 도 1c는 본 교시에 따른 제조의 여러 단계에서 예시적인 반도체 나노선 디바이스 (100)의 단면도를 도시한다. 도 1a 내지 도 1c에 도시된 나노선 디바이스 (100)는 일반적인 간략화된 도면을 나타내고, 다른 층/나노선이 첨가될 수도 있고 또는 기존의 층/나노선이 제거되거나 변형될 수도 있다는 것이 당업자에게는 명백하다.
- [0052] 도 1a에 도시된 바와 같이, 나노선 디바이스 (100)는 기판 (110), 선택적 성장 마스크 (135), 및 복수의 패터닝된 개구 (138)를 포함할 수 있다. 선택적 성장 마스크 (135) 및 복수의 패터닝된 개구 (138)는 기판 (110) 상에 배치될 수 있고, 여기서 복수의 패터닝된 개구 (138)는 선택적 성장 마스크 (135)의 사이사이에 산재될 수 있다.
- [0053] 기판 (110)은, III족-N 물질이 성장될 수 있는 임의의 기판일 수 있다. 다양한 실시형태에서, 기판 (110)은 사파이어, 실리콘 카바이드, 실리콘, 실리콘-온-유전체 (SOI), GaN 또는 GaAs와 같은 III-V 반도체 화합물, 금속, 세라믹 또는 글래스를 포함할 수 있지만 이에 한정되지 않는다.
- [0054] 선택적 성장 마스크 (135)는 기판 (110) 위에 형성된 유전체층 (미도시)을 패터닝하고 에칭함으로써 형성될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 유전체층은 임의의 유전체 물질로 형성될 수 있고, 당업자에게 알려진 기술을 이용하여 형성될 수 있다. 다음으로, 유전체층은 침지 간섭 리소그래피 및 비선형 간섭 리소그래피를 포함하는 간섭 리소그래피 (IL; interferometric lithography), 나노임프린트 리소그래피 (NL), 및 e-빔 리소그래피 중 하나 이상을 이용하여 패터닝될 수 있고, 넓은 거시적인 면적에 걸쳐 나노구조 또는 나노구조의 패턴을 생성할 수 있다. 패터닝 이후에, 에칭 프로세스, 예를 들어, 반응성 이온 에칭이 복수의 패터닝된 개구 (138)를 형성하기 위해 이용될 수 있다. 에칭 프로세스는 하부층, 즉, 기판 (110)의 표면에서 종료되어 기판 (110)의 복수의 표면 부분 (139)을 노출시킬 수 있다. 다양한 실시형태에서, 선택적 성장 마스크 (135)는, 펄스 나노선 성장에 대해 요구되는 선택적 성장을 제공하기 위한 예를 들어, 텅스텐으로 이루어진 도전성 금속 성장 마스크일 수 있다.
- [0055] 복수의 패터닝된 개구 (138)는 선택적 성장 마스크 (135)와 동일한 두께, 예를 들어, 약 30nm 이하의 두께, 및 약 10nm 내지 약 1000nm의 직경과 같은 단면 치수를 가질 수 있다. 추가적인 예로서, 직경은 약 10nm 내지 약 100nm일 수 있다. 예시적인 실시형태에서, 복수의 패터닝된 개구 (138)는 약 50nm 내지 약 10 $\mu$ m의 범위의 피치 (즉, 임의의 2개의 인접하는 패터닝된 개구들 사이에서 이격된 중심-대-중심)를 가지는 육각형 어레이를 가질 수 있다. 다양한 실시형태에서, 복수의 패터닝된 개구 (138)의 어레이가 형성될 수 있다. 이후, 복수의 패터닝된 개구 (138)의 나노스케일 형상은 나노선 및/또는 나노선 어레이의 형성을 위해 후속 프로세스로 이동될 수 있다.
- [0056] 다양한 실시형태에서, 나노선 및/또는 나노선 어레이의 후속 성장 이전에 도 1a에 도시된 디바이스 (100)에서 다양한 세정 절차가 수행될 수 있다. 예를 들어, 세정 프로세스는 엑스-시츄 (ex-situ) 세정 (즉, 성장 반응기 외부에서 수행되는 세정) 이후에 인-시츄 (in-situ) 세정 (즉, 성장 반응기 내부에서 수행되는 세정)을 후속하여 포함할 수 있다. 선택적 성장 마스크 (135)에 이용된 물질에 기초하여, 다양한 세정 방법이 이용될 수 있다. 예시적인 실시형태에서, 실리콘 질화물 선택적 성장 마스크는, 표준 엑스-시츄 세정에 후속하여 디바이스 (100)를 예시적인 MOVCD 반응기로 로딩하고 흐르는 수소하에서 대략 3분 동안 약 950°C로 그 디바이스 (100)를 가열함으로써의 인-시츄 세정에 의해 세정될 수 있다. 이 수소-감소-대기는 디바이스

(100)의 표면상에서 바람직하지 않은 자연 산화물을 제거할 수 있다. 기판 (110) 및 선택적인 성장 마스크 (135)의 물질 조합에 기초하여, 다른 세정 절차가 이용될 수 있다는 것을 당업자는 이해할 것이다.

[0057] 도 1b에서, 복수의 나노구조 핵 (140)이, 복수의 패터닝된 개구 (138)의 각각을 충전시키기 위해 기판 (110)의 노출된 복수의 표면 부분 (139)으로부터 선택적으로 성장될 수 있고, 이는, 선택적 성장 마스크 (135)에 의해 정의될 수 있다. 선택적 성장 마스크 (135)는 선택적인 성장 물드로서 기능하여 복수의 패터닝된 개구 (138)에서 복수의 나노구조 핵 (140)으로 그 나노패턴들을 음각으로 복제할 수 있다. 이 방법에서, 복수의 나노구조 핵 (140) 각각의 위치 및 단면 형상, 예를 들어, 모양 및 치수는 복수의 패터닝된 개구 (138)의 각각의 패터닝된 개구의 각각의 위치 및 단면 형상에 의해 결정될 수 있다. 예를 들어, 복수의 패터닝된 개구 (138)는 약 250nm의 치수를 가지는 육각형의 어레이를 포함할 수 있다. 다음으로, 육각형 어레이는 약 250nm 이하와 유사한 또는 그보다 작은 치수를 가지는 복수의 나노구조 핵 (140)의 성장으로 전환될 수 있다.

다른 예에서, 복수의 패터닝된 개구 (138)의 하나 이상의 개구가 약 100nm의 예시적인 직경을 가지는 대략적인 원형인 경우, 복수의 나노구조 핵 (140)의 하나 이상의 핵은 약 100nm 이하의 유사 직경을 가지는 원형 개구로 성장될 수 있다. 따라서, 복수의 나노구조 핵 (140)은 명확한 위치로 포지셔닝되고 선택적 성장 마스크 (135)로 정의된 복수의 패터닝된 개구 (138)에 상응하여 모양화된다. 다양한 실시형태에서, 복수의 나노구조 핵 (140)은, 예를 들어, 표준 MOCVD 프로세스에 의해 형성될 수 있다.

[0058] 이 방법에서, 도 1b에 도시된 디바이스 (100)는 나노선 및/또는 나노선 어레이용 지지체로서 이용될 수 있고, 이는 복수의 선택된 표면 영역(즉, 복수의 나노구조 핵 (140)의 각 표면)을 포함할 수 있다. 복수의 나노선 및/또는 나노선 어레이는 복수의 선택된 표면 영역으로부터 성장할 수 있다. 다양한 실시형태에서, 선택적 성장 마스크 (135)는 적절한 에칭 프로세스에 의해 제거되어 복수의 나노선의 형성 이후에 복수의 나노구조 핵 (140)을 노출시킬 수 있다.

[0059] 도 1c에서, 복수의 나노선 (145)은, 복수의 나노구조 핵 (140)이 선택적 성장 마스크 (135)의 상부로부터 돌출하기 전에, 예를 들어, 선택적 성장 모드를 종료하고 펄스 성장 모드를 적용함으로써 복수의 나노구조 핵 (140)의 성장을 계속적으로 실행함으로써 형성될 수 있다. 복수의 나노선 (145)은 동일한 물질의 나노구조 핵 (140), 예를 들어, GaN, AlN, InN, InGaN, AlInGaN, 또는 AlGaIn으로 형성될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 복수의 나노선 (145)의 각각으로부터 헤테로구조가 형성될 수 있다. 다양한 실시형태에서, n-형 및/또는 p-형 도펀트가 원하는 용도에 따라 복수의 나노선 (145)으로 통합될 수 있다.

[0060] 선택적 성장 마스크 (135)의 상부로부터 복수의 나노구조 핵 (140)의 성장이 돌출하기 전에 펄스 성장 모드로 전환시킴으로써, 복수의 나노선 (145) 각각의 단면 모양 및 치수와 같은 형상이 원하는 길이에 도달할 때까지 보존될 수 있다. 즉, 나노선 (145)의 단면 형상, 예를 들어, 모양 및/또는 치수는 실질적으로 일정하게, 개구 (138)의 형상과 동일하거나 또는 유사하게 유지할 수 있다. 다양한 실시형태에서, 각각의 나노선의 길이는 마이크로미터의 정도로, 예를 들어, 약 20 $\mu$ m 이상일 수 있다.

[0061] 다양한 실시형태에서, 나노선 디바이스에 버퍼층이 형성될 수 있다. 도 2는 본 교시에 따라서 버퍼층을 포함하는 제 2 예시적인 반도체 나노선 디바이스 (200)를 도시한다. 도시된 바와 같이, 나노선 디바이스 (200)는 기판 (110)과 같은 기판과 선택적 성장 마스크 (135)(도 1a 내지 도 1c 참조)와 같은 선택적 성장 마스크 사이에 개재된 버퍼층 (220)을 포함할 수 있다. 다양한 실시형태에서, 버퍼층 (220)은 표준 MOCVD에 의해, 예를 들어, GaN, AlN, InN, InGaN, AlInGaN 또는 AlGaIn으로 형성된 평면 반도체 막일 수 있다. 다양한 실시형태에서, 버퍼층 (220)의 두께는, 예를 들어, 약 100nm 내지 10 $\mu$ m 일 수 있다. 다양한 실시형태에서, 버퍼층 (220)은 복수의 나노선 (145)의 각각의 나노선의 하부 말단에 전기적 접촉을 제공하기 위해 n-형 또는 p-형 도펀트 중 임의의 하나로 도핑될 수 있다. 당업자에게 알려진 다양한 도펀트가 이용될 수 있다.

[0062] 다양한 실시형태에서, 복수의 나노구조 핵 (140)의 배향은 단일 방향을 따라서 제어될 수 있고, 이는, 단일 결정 방향을 따라서 복수의 패터닝된 개구 (138)를 의도적으로 배향시킴으로써 차례로 제어될 수 있다. 도 2에 도시된 바와 같이, 예를 들어, 복수의 패터닝된 개구 (138)가 버퍼층 (220)의 단일 방향을 따라서 의도적으로 배향될 수 있다. 예시적인 실시형태에서, IL 패터닝 도중에, 선택적 성장 마스크 (135)내의 기판들은 GaN 버퍼층의 <110> 방향을 따라서 의도적으로 배향될 수 있다. GaN 버퍼층이 사파이어 기판상에 성장될 때의 다른 예시적인 실시형태에서, GaN 버퍼층과 사파이어 유닛 셀 사이의 c 축 주위에서 30° 회전이 있을 수 있다.

[0063] 도 3은 본 교시에 따라서 2-상 성장 모드를 이용하여 복수의 나노선 및/또는 나노선 어레이를 형성하기 위한

예시적인 프로세스를 도시한다. 구체적으로, 도 3 은, 예를 들어, 도 1 및 도 2 에 도시된 복수의 나노선 (145) 의 형성을 위한 선택적 성장 (310) 및 후속 펄스 성장 (320) 동안의 (제 1 가스 흐름 커브 (302) 및 제 2 가스 흐름 커브 (306) 를 포함하는) 전구체 가스 흐름 커브를 도시한다. 도시된 바와 같이, 전환 시간  $t_1$  에서 펄스 성장 (320) 을 시작함으로써 선택적 성장 (310) 이 종료될 수 있다 (즉, 성장 모드-전환). 펄스 성장 (320) 은 많은 펄스 시퀀스, 예를 들어, 제 1 시퀀스 루프 (324), 제 2 시퀀스 루프 (328) 및/또는 추가적인 시퀀스 루프들을 더 포함할 수 있다. 다양한 실시형태에서, 제 1 시퀀스 루프 (324) 는 제 2 시퀀스 루프 (328) 로서 반복될 수 있다.

[0064] GaN 나노선 및/또는 나노선 어레이의 형성을 위한 예시적인 실시형태에서, 제 1 가스 흐름 커브 (302) 는 트리메틸갈륨 (TMGa) 과 같은 제 1 전구체 가스에 대해 플로팅 (plot) 될 수 있고, 제 2 가스 흐름 커브 (306) 는 암모니아 ( $NH_3$ ) 와 같은 제 2 전구체 가스에 대해 플로팅될 수 있다. 선택적 성장 (310) 도중에, 약 10sccm 의 일정한 유속을 가지는 제 1 전구체 가스 TMGa, 및 약 1500sccm 의 일정한 유속을 가지는 제 2 전구체 가스  $NH_3$  를 포함하는 MOCVD 반응기에서 예시적인 GaN 나노선 및/또는 나노선 어레이가 형성될 수 있다. 이는, 선택적 성장 (310) 도중에, 전구체 가스 (즉, TMGa 및  $NH_3$ ) 가 연속적으로 흐를 수 있고, 펄스화되지 않을 수 있다는 것을 의미한다 (즉, III족 및 V족 전구체 가스 모두가 연속적인, 비-펄스 성장 모드에서 함께 기판에 제공된다). 또한, V족 전구체 가스 (예를 들어, TMGa) 및 III 족 전구체 가스 (예를 들어,  $NH_3$ ) 가 동시에 도입될 수 있고, V족/III 족 비율은, 예를 들어, 약 100 내지 약 500 으로 유지될 수 있다. 예시적인 실시형태에서, V족/III족 비율은 약 150 으로 유지될 수 있다. 또한, 선택적 성장 (310) 을 위한 다른 반응기 조건은, 예를 들어, 약 1015°C 내지 약 1060°C 의 초기 반응 온도, 약 100Torr 의 반응기 압력, 및 약 4000sccm 의 층류 (laminar flow) 를 가지는 수소/질소 캐리어 가스 혼합물을 포함할 수 있다. 기판이 증착 도중에 고속으로 회전되는 Veeco TurboDisk model P75 MOCVD 반응기와 같은, 임의의 적절한 MOCVD 반응기가 이용될 수도 있다.

[0065] 펄스 성장 (320) 도중에, TMGa 와 같은 제 1 전구체 가스 및  $NH_3$  와 같은 제 2 전구체 가스는, 예를 들어, 제 1 시퀀스 루프 (324) 로 도시된 설계 시퀀스로 성장 반응기로 교대로 도입될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 펄스 시퀀스내에서의 각각의 교대 단계 기간은 나노선 및/또는 나노선 어레이의 성장에 영향을 줄 수 있고, 이는, 특정 반응기 기하학적 모양에 대해 더 최적화될 수 있다. 예를 들어, 제 1 펄스 시퀀스 루프 (324) 에서, 약 20 초와 같은 일정한 시간의 주기 동안 약 10sccm 의 유속으로 도입된 후 (미도시), 어떠한 전구체 가스도 도입되지 않는 동안 예를 들어 10 초 캐리어-가스 퍼지 (예를 들어, 수소/질소의 혼합물) 가 도입되고, 후속하여, 약 30 초와 같은 시간 주기 동안 약 1500sccm 의 유속으로  $NH_3$  를 도입한 후 (미도시) 어떠한 전구체 가스도 수반하지 않고 예를 들어 10 초 캐리어-가스 퍼지 (예를 들어, 수소/질소의 혼합물) 를 도입할 수 있다. 예를 들어, III 족 반응물에 대해 15초 내지 40초, V족 반응물에 대해 15초 내지 40초 그리고 각각의 반응물 도입 단계 사이의 퍼지 가스에 대해 5초 내지 15초와 같이, 다른 펄스 지속기간이 반응기 구성에 기초하여 이용될 수도 있다. 다양한 실시형태에서, 제 1 시퀀스 루프 (324) 와 같은 펄스 시퀀스는 소정 길이의 GaN 나노선이 도달할 때까지 반복될 수 있다. 예를 들어, 시퀀스 루프 (324) 는 제 2 시퀀스 루프 (328), 제 3 시퀀스 루프 (미도시) 등으로서 반복될 수 있다. 각각의 시퀀스 루프에서, V 족 전구체 가스 (예를 들어, TMGa) 및 III 족 전구체 가스 (예를 들어,  $NH_3$ ) 는, 예를 들어, 약 60 내지 약 300 의 범위의 효율적인 V/III 비율을 가질 수 있다. 다양한 실시형태에서, 펄스 성장 (320) 에 대한 온도, 반응기 압력, 및 캐리어 가스 흐름은 선택적 성장 (310) 에 대해서와 동일한 설정으로 유지될 수 있다. 당업자는, 개시된 성장 파라미터가 예시적이고 이용되는 특정 반응기에 따라 변화할 수 있다는 것을 이해한다.

[0066] 다양한 실시형태에서, 전환 시간 ( $t_1$ ) 은 선택적 성장 (310) 의 지속기간에 의해 결정될 수 있다. 전환 시간 ( $t_1$ ) 은 각각의 기판, 예를 들어, 도 1 내지 도 2 에 도시된 복수의 패터닝된 개구 (138) 의 각각의 내부에서의 성장 속도에 기초할 수 있다. 각 개구 내에서의 성장 속도는 각각의 전구체 가스의 (예를 들어, 가스 흐름 커브 (302 및 304) 로서 도시된) 가스 흐름 및 복수의 패터닝된 개구 (138) 의 각각의 개구의 기하학적 모양에 차례로 기초할 수 있다. 이 기하학적 모양에 대한 의존성은, 예를 들어, TMGa 및/또는  $NH_3$  로부터의 성장 영양물 (growth nutrient) 이 선택적 성장 마스크 상부 및 개방 기판 내부 둘 다에서 증착될 수 있기 때문에 발생할 수 있다. 선택적 성장 (310) 도중에, 선택적 성장 마스크상에 증착하는 그 영양물은 높은 표면 이동성을 가질 수 있고, 마스크 표면에서 박리되거나, 또는 개방 개구에 충분히 가까운 경우 그 개구로 확산하여 그 기판 내의 성장 속도에 기여할 수 있다. 따라서, 추가적인 성장 속도 기여는 기판들 사이의 거리 및

기관들의 크기에 기초하여 변화할 수 있다. 복수의 GaN 나노선 및/또는 나노선 어레이를 형성하기 위한 예시적인 실시형태에서, 성장 모드-전환은 선택적 성장의 1 분 지속기간 (즉,  $t_1=1$  분) 이후에 발생할 수 있고, 패터닝된 개구 내부에서 GaN 성장 속도에 의해 실험적으로 결정될 수 있다. 예를 들어, GaN 성장 속도는 약  $0.6\mu\text{m/hr}$  일 수 있고, 패터닝된 개구는 약 200nm 의 직경 및 약  $1\mu\text{m}$  의 피치를 가지는 육각형 어레이의 형태일 수 있다.

[0067] 다양한 실시형태에서, 복수의 나노선 및/또는 나노선 어레이의 성장은, 성장 모드-전환이 가해질 때 영향을 받을 수 있다. 예를 들어, 성장 모드-전환은, 복수의 나노구조 핵 (140) 의 성장이 (도 1 및 도 2 에서 관찰된 135 과 같은) 선택적 성장 마스크의 상부 위로 돌출한 후에 이루어질 수 있다. 다양한 실시형태에서, 나노선 핵이 선택적 성장 마스크의 상부 위로 돌출하도록 성장되기 "전" (예를 들어, 도 1 내지 도 2 에 도시된 바와 같이) 에 성장 모드-전환이 이루어지는지 또는 그 "후" 에 성장 모드-전환이 이루어지는지의 여부에 기초하여, 나노선 및/또는 나노선 어레이에 대한 상이한 구성/치수가 획득될 수 있다.

[0068] 도 4a 내지 도 4c 는, 나노선 핵이 선택적 성장 마스크의 상부 위로 돌출하도록 성장된 "후" 에 성장 모드-전환을 행함으로써 형성된 제 3 예시적인 반도체 나노선 디바이스 (400) 를 도시한다. 도 4a 내지 도 4c 에 도시된 나노선 디바이스 (400) 는 일반화된 간략한 도면을 나타낸다는 것이 당업자에게는 명백하고, 다른 층/나노선이 추가될 수 있고 또는 기존의 층/나노선이 제거되거나 또는 변형될 수 있다는 것이 당업자에게는 명백하다.

[0069] 도 4a 에서, 디바이스 (400) 는 디바이스 (100) 에 대해 도 1c 에 도시된 것과 유사한 구조를 포함할 수 있고 유사한 제조 프로세스에 의해 형성될 수 있다. 도시된 바와 같이, 디바이스 (400) 는 기관 (410), 선택적 성장 마스크 (435) 및 복수의 나노구조 핵 (440) 을 포함할 수 있다. 선택적 성장 마스크 (435) 및 복수의 나노구조 핵 (440) 은 기관 (410) 상에 형성될 수 있고, 여기서, 복수의 나노구조 핵 (440) 은 선택적 성장 마스크 (435) 사이사이에 산재될 수 있다.

[0070] 기관 (410) 은, III 족-N 물질이 성장될 수 있는 디바이스 (100) 의 기관 (110) 과 유사한 임의의 기관일 수 있다. 기관 (410) 은, 예를 들어, 사파이어, 실리콘 카바이드, 또는 실리콘일 수 있다. 마찬가지로, 복수의 나노구조 핵 (440) 은 도 1b 에 도시된 디바이스 (100) 의 복수의 나노구조 핵 (140) 과 유사하게 형성될 수 있다. 예를 들어, 복수의 나노구조 핵 (440) 은 기관 (410) 상의 선택적 성장 마스크 (435) 에 의해 정의된 복수의 패터닝된 개구 (미도시) 를 먼저 형성함으로써 형성될 수 있다. 그 후, 복수의 패터닝된 개구 각각이, 예를 들어, 표준 MOCVD 를 이용하여 그 내부에 반도체 물질 (예를 들어, GaN) 을 성장시킴으로써 충전될 수 있다. 복수의 나노구조 핵 (440) 은, 예를 들어, 약 30nm 의 선택적 성장 마스크 (435) 의 두께, 및, 예를 들어, 약 10nm 내지 약 200nm 의 폭 또는 직경과 같은 단면 치수를 가질 수 있다. 추가적인 예로서, 단면 치수의 폭 또는 직경은 약 10nm 내지 약 100nm 일 수 있다.

[0071] 도 4b 에서, 복수의 나노구조 핵 (440) 이 선택적 성장 마스크 (435) 의 상부 위로 돌출된 "후" 에 성장 모드-전환이 발생하는 경우, 디바이스 (400) 는 복수의 나노구조 핵 (440) 으로부터 횡방향뿐만 아니라 수직으로 성장된 복수의 나노구조 (442) 를 포함할 수 있다. 예를 들어, 복수의 나노구조 (442) 각각은 횡방향으로 성장하여 선택적 성장 마스크 (435) 의 표면에 부분적으로 옆으로 성장될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 복수의 나노구조 (442) 는 상부 결정 패킷 (top crystal facet) 을 제공하는 피라미드-모양 구조를 포함할 수 있다. 예를 들어, 복수의 GaN 피라미드-모양 나노구조는 (0001) 상부 패킷을 포함할 수 있고, 이 상부 패킷의 치수는 각각의 나노구조의 성장의 정도에 따라 제어될 수 있다. 구체적으로, 앞선 단계의 성장에서, 복수의 나노구조 (442) 가 횡방향으로 성장하여 선택적 성장 마스크 (435) 의 표면에 부분적으로 성장될 때, 상부 패킷 치수는 증가될 수 있고 복수의 나노구조 핵 (440) 의 단면 치수보다 넓게 될 수 있다. 성장이 계속되는 경우, 상부 패킷 치수는, 상부 패킷 치수의 포인트가 복수의 나노구조 핵 (440) 의 포인트보다 작게 되도록 감소될 수 있다. 따라서, 각각의 피라미드 상부 패킷의 치수는, 예를 들어, 선택적 성장 모드를 종결함으로써 (즉, 성장 모드-전환을 제공하여) 제어되어 복수의 피라미드-모양 나노구조의 성장을 종료할 수 있다. 다양한 실시형태에서, 예시적인 피라미드-모양 상부 패킷은 꼭대기가 잘라질 수 있고, 그 후 각각의 꼭대기가 잘라진 상부 패킷의 치수는 펄스 성장 모드를 이용한 나노선 및/또는 나노선 어레이의 후속 성장을 위해 유지될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 복수의 나노구조 (442) 각각의 꼭대기가 잘라진 상부 패킷 직경은 나노구조 핵 (440) 의 각각의 직경보다 작게 되도록 제어될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 복수의 나노구조 (442) 각각의 상부 패킷은, 예를 들어, 정사각형, 다각형, 직사각형, 타원형, 및 원형의 예시적인 단면 모양을 가질 수 있다.

[0072] 도 4b 에 도시된 디바이스 (400) 는 나노선 및/또는 나노선 어레이의 지지체로서 이용될 수 있고, 이 지지체는

복수의 선택된 표면 영역 (즉, 복수의 나노구조 (442)의 각각의 상부 패킷의 표면)을 포함할 수 있다. 그 후, 복수의 나노선 및/또는 나노선 어레이는 복수의 선택된 표면 영역으로부터 성장될 수 있고, 복수의 선택된 표면 영역 각각의 단면 형상 (예를 들어, 치수 및 모양)를 유지할 수 있다.

[0073] 도 4c는 복수의 나노선 (445)은 펄스 성장 모드를 이용하여 디바이스 (400)의 복수의 선택된 표면 영역으로부터 (즉, 복수의 나노구조 (442)의 각각의 상부 패킷으로부터) 반도체 물질 (예를 들어, GaN)의 성장을 계속적으로 실행함으로써 형성될 수 있다. 그 결과, 복수의 나노선 (445)은 규칙적으로 이격될 수 있고, 약 20 내지 약 500nm의 범위의 예시적인 직경을 가질 수 있으며, 예시적인 단면 모양, 예를 들어, 정사각형, 다각형, 직사각형, 타원형, 및 원형을 가질 수 있다.

[0074] 반도체 물질이 선택적 성장 마스크 (435)의 상부 위로 돌출하도록 성장된 "후"에 펄스 성장 모드를 이용함으로써, 복수의 나노선 (445)은 복수의 나노구조 (442)의 예시적인 피라미드-모양 구조의 상부 패킷상에 형성될 수 있다. 복수의 나노선 (445) 각각의 단면 모양 및 치수와 같은 형상은 원하는 길이에 도달될 때까지 꼭대기가 잘라진 상부 패킷의 형상으로 일정하게 유지될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 각각의 나노선 길이는, 마이크로미터 정도로, 예를 들어, 약 20 $\mu$ m 이상으로 제어될 수 있다.

[0075] 도 5는 본 교시에 따른 버퍼층을 포함하는 다른 예시적인 반도체 나노선 디바이스 (500)를 도시한다. 도시된 바와 같이, 나노선 디바이스 (500)는 기판, 예를 들어, 기판 (410)과 선택적 성장 마스크, 예를 들어, 선택적 성장 마스크 (435) 사이에 개재된 버퍼층 (520)을 포함할 수 있다. 버퍼층 (520)은 도 2에 도시된 버퍼층 (220)과 유사한 층일 수 있다. 버퍼층 (520)은, 표준 MOCVD를 이용하여, 예를 들어, GaN, AlN, InN 또는 AlGaIn로 형성된 평면 막일 수 있다. 다양한 실시형태에서, 버퍼층 (520)의 두께는 약 100 nm 내지 약 10 $\mu$ m 일 수 있다. 다양한 실시형태에서, 버퍼층 (520)은 각각의 나노선의 하부 말단에 전기적 접촉을 제공하기 위해 n-형 또는 p-형 도펀트 중 임의의 하나로 도핑될 수 있다.

[0076] 도 6의 A 내지 D는 본 교시에 따라서 촉매를 이용하지 않고 다중-상 성장 모드에 의해 성장된 복수의 순서화된 GaN 나노선 및/또는 나노선 어레이에 대한 예시적인 결과 (나노구조 핵 (140, 440), 및 나노선 (145, 445) 모두는 기판상에 증착된 금속 촉매를 이용하지 않고 성장된다)를 도시한다. 도 6의 A 내지 D에 도시된 바와 같이, 복수의 GaN 나노선 (610)은 위치, 배향, 길이, 단면 형상 (예를 들어, 치수 및/또는 모양), 및 결정성의 큰 스케일 균일성을 가지고 성장할 수 있다. 본 명세서에 개시된 바와 같이, 몇몇 실시형태에서, 각각의 나노선의 위치 및 치수는 도 1 내지 도 2에 도시된 복수의 패터닝된 개구 (138)의 각각의 기판에 대한 위치 및 치수에 해당할 수 있다. 다른 실시형태에서, 각각의 나노선의 위치 및 치수는 도 4 내지 도 5에 도시된 복수의 나노구조 (442)의 각각의 상부 패킷에 대한 위치 및 치수에 해당할 수 있다.

[0077] 도 6의 A는 예시적인 GaN 나노선 (610)에 대한 클로즈-업 주사 전자 현미경 (SEM) 결과를 도시하고, 도 6의 B는 GaN 나노선 (610)에 대한 넓은 영역 오더 (long-range order)를 통해 SEM 결과를 나타낸다. 다양한 실시형태에서, 각각의 GaN 나노선은 단일 결정 특성을 가질 수 있다.

[0078] 도 6의 C는, GaN 나노선 (610)의 배향이 단일 결정 방향, 예를 들어, 예시적인 GaN 나노선 (610)의 (0001) 결정 방향을 따를 수도 있다는 것을 나타낸다. 추가적으로, 각각의 나노선의 작은 중심 (0001) 상부 패킷은 각각의 나노선 상부에 경사진 {1102} 패킷에 의해 바운딩될 수 있다.

[0079] 도 6의 D는 각각의 GaN 나노선의 측면 패킷의 육각형 대칭을 나타내는 예시적인 GaN 나노선 (610)의 평면도이다. 측면 패킷은 {1100} 패킷의 측면 패킷을 가지는 선택적인 성장 마스크 (620)의 방향에 대해 수직할 수 있다. 다양한 실시형태에서, 예시적인 GaN 나노선 (610)의 직경은 약 1000nm 이하일 수 있다.

[0080] 도 6의 A 내지 D에 도시된 측면 나노선 기하학적 모양 (예를 들어, 단면 형상)의 불변성은 수직 방향, 즉, (0001) 및 {1102} 상부 패킷에서 GaN 성장 속도만이 발생할 수 있다는 것을 나타낸다. 예를 들어, 펄스 성장의 복수의 GaN 나노선 (610)에 대한 수직 성장 속도는, 예를 들어, 약 2 $\mu$ m/hr 이상일 수 있다. 한편, {1100} 측면 패킷 (즉, 측면 방향) 상에서의 GaN 성장 속도는 훨씬 큰 면적에도 본질적으로 사소할 수 있다. 예시적인 실시형태에서, 30nm 선택적 성장 마스크가 이용되는 경우, GaN 나노선 (610)은 약 20 $\mu$ m 이상의 균일한 길이를 가지고 성장되고, 약 250nm 이하의 균일한 직경을 유지할 수 있다. 다양한 실시형태에서, 캐리어 가스 혼합물에서의 수소의 존재는 나노선 기하학적 모양을 제어하는데 이용될 수 있다.

[0081] 또한, 도 6의 A 내지 D에 도시된 예시적인 균일한 GaN 나노선 (610)은 고품질, 즉, 필수적으로 어떠한 스레딩 전위 (threading dislocation)도 가지지 않을 수 있다. 예를 들어, 스레딩 전위가 선택적 성장 마스크 (135 및/또는 435) 하부에 놓인 GaN 버퍼층 (220 및/또는 520)에서 관찰된다고 할지라도, 이러한 전위는 나노

선으로부터 구부러지고, 성장 마스크 아래의 표면에서 종료된다고 믿어지기 때문에, 도 2 및 도 5에 도시된 GaN 나노선 (145 및/또는 445)에서 관찰된 어떠한 스테딩 전위도 있을 수 없다. 또한, 결합이 없는 GaN 나노선 (610)이 다양한 기판, 예를 들어, 사파이어, 6H-SiC와 같은 실리콘 카바이드, 또는 Si (111)과 같은 실리콘상에 성장될 수 있다.

[0082] 다양한 실시형태에서, 균일하고 고품질의 GaN 나노선 및/또는 나노선 어레이가 고품질의 GaN 기판 구조의 제조에 이용될 수 있다. GaN 기판은 부상하는 고체상 조명 및 UV 센서 산업을 위한 가시 LED 및 레이저의 제조를 매우 용이하게 할 수 있기 때문에, 시판중인 GaN 기판이 바람직하다. 또한, GaN 기판은 다른 관련 어플리케이션, 예를 들어, 하이-파워 (hi-power) RF 회로 및 디바이스에 이용될 수 있다.

[0083] 다양한 실시형태에서, GaN 기판 구조는, 나노헤테로에피택시 (nanoheteroepitaxy)와 같은 기술을 이용하여, 예를 들어, 도 1 내지 도 6에 설명된 것과 같은 복수의 GaN 나노선을 종결시키고 합체함으로써 형성될 수 있다. 도 7a 내지 도 7d는 디바이스 (100) (도 1c 참조), 디바이스 (200) (도 2 참조), 디바이스 (400) (도 4c 참조), 및 디바이스 (500) (도 5 참조)의 복수의 GaN 나노선으로 형성된 GaN 기판 구조 (712, 714, 715, 및 717)를 포함하는 4개의 예시적인 반도체 디바이스를 각각 도시한다.

[0084] 예를 들어, 복수의 나노선들이 적절한 높이로 성장된 후, GaN 성장 조건은 형성된 복수의 나노선 (예를 들어, 145 또는 445)의 합체를 허용하고 그 후 GaN 기판 구조 (예를 들어, 기판 (712, 714, 715 또는 717))의 형성을 허용하도록 변경될 수 있다. GaN 기판 구조는 연속적이고, 에피택셜하며, 완전하게 합체된 평면 막일 수 있다. "적절한 높이"는 각각의 나노선 (예를 들어, GaN) 및 기판 (예를 들어, SiC 또는 Si) 결합체에 대해 결정될 수 있고, 상부의 합체된 GaN 막 (예를 들어, GaN 기판 구조)의 결합 밀도에서의 현저한 감소를 허용하게 하는 높이일 수 있다. 또한, "적절한 높이"는, 예를 들어, 도 7a 내지 도 7d에 도시된 것과 같이, 그 결과로 형성된 반도체 디바이스에 대한 기계적으로-튼튼한 구조를 유지할 수 있는 높이일 수 있다. 다양한 실시형태에서, 스테딩 결합이 복수의 GaN 나노선 (예를 들어, 145 또는 445)에 존재하지 않기 때문에, 이러한 복수의 나노선의 상부에서 GaN 기판 구조의 합체 (예를 들어, 기판 (712, 714, 715 또는 717))가 발생할 수 있고 극히 낮은 결합 밀도, 예를 들어, 약  $10^7 \text{ cm}^{-2}$  이하를 포함하는 GaN 기판 구조를 제공할 수 있다.

[0085] 나노선 형성 프로세스의 다양한 실시형태에 따르면, 프로세스 단계 (예를 들어, 증착, 선택적 성장 마스크의 패터닝 및 에칭, 나노선 핵의 선택적 성장, 나노선의 펄스 성장, 및 예시적인 GaN 기판 구조의 형성)가 큰 기판 면적에 대해 스케일러블일 수 있다. 이들은 자동 웨이퍼 처리를 포함하는 제조 요건으로 용이하게 확대될 수 있고, 가시 및 근자외선 LED로부터의 광자 추출에 대한 광 결정의 유효성을 확립하기 위한 더 큰 사이즈의 웨이퍼로 확대될 수 있다.

[0086] 도 8 내지 도 12는 나노선 LED 및 나노선 레이저를 포함하는 나노선 활성 디바이스, 및 그 스케일러블 제조 프로세스를 위한 예시적인 실시형태를 도시한다. 다양한 실시형태에서, 개시된 III-족-N 나노선 및 나노선 어레이, 예를 들어, GaN 나노선 및/또는 나노선 어레이는 고유한 특성을 가지는 활성 디바이스를 제공할 수 있다. 이는, 각각의 펄스-성장된 GaN 나노선이 {1100} 패밀리의 측면을 가질 수 있고, 이러한 사이드 평면들의 각각에 대한 법선이 III-족-N 물질에 대한 무극성 방향일 수 있기 때문이다. 따라서, 고품질 양자의 III-족-N 뿐만 아니라 양자의 InGaN/GaN 웰, 양자의 AlGaIn/GaN 웰 또는 다른 양자의 III-N 웰이 각각의 GaN 나노선의 이들 사이드 패킷에서 형성될 수 있다.

[0087] 예를 들어, 트리메틸알루미늄 (Al) 또는 트리메틸인듐 (In)과 같은 다른 전구체 가스들이 펄스 성장 모드 도중에 예시적인 MOCVD 기상에 첨가될 때, 나노선 성장 거동이 현저하게 변화될 수 있다. 이 경우, GaN 나노선 및/또는 나노선 어레이에 첨가된 작은 물분율 (예를 들어, 약 1%)의 Al 또는 In 조차도 각각의 GaN 나노선으로 하여금 시간이 지남에 따라서 증가하는 단면 치수 (예를 들어, 폭 또는 직경)로 측면으로 성장하게 하는 결과를 초래할 수 있다. 측면 성장 거동은 코어-셸 헤테로구조의 생성을 허용할 수 있고, 즉, InGaIn 및 AlGaIn 합금과 같은 예시적인 물질을 포함하는 양자 웰이 각각의 GaN 나노선 코어를 감쌀 수 있고 그 상부에서 성장할 수 있다. 그 결과, 코어-셸 성장은 발광 디바이스용 코어-셸 나노선/MQW 활성 구조를 생성할 수 있다.

[0088] 다양한 실시형태에서, GaN 나노선이 개시된 2-상 성장 모드를 이용하여 성장된 후, 예시적인 InGaIn 및 AlGaIn 합금의 코어-셸을 성장시키기 위한 추가적인 제 3 성장 조건이 확립될 수 있다. 제 3 성장 모드는, 예를 들어, 도 3의 310에 도시된 바와 같이, 선택적 성장 모드에 이용되는 것과 유사한 연속적인 성장일 수 있다. 다양한 다른 실시형태에서, 펄스 성장 모드가 제 3 성장 조건에 이용될 수 있다.

[0089] 다양한 실시형태에서, 코어-셸 나노선/MQW 활성 구조가 이용되어 고효율성의 나노스케일 광전자 디바이스, 예를

들어, 나노선 LED 및/또는 나노선 레이저를 제공할 수 있다. 예를 들어, 그 결과로 형성된 (즉, 각각의 나노선 코어의 측면상에 MQW 활성 웰을 가지는) 코어-셸 나노선/MQW 활성 구조는, 압전 전계 (piezoelectric field)로부터 자유롭고, 각각의 나노선 코어가 무극성 측벽을 가지기 때문에 관련 양자-한정 스타크 효과 (QCSE; quantum-confined Stark effect)로부터 자유로울 수 있다. QCSE의 제거는 활성 영역에서 방사 재결합 효율을 증가시켜 LED 및 레이저의 성능을 개선시킬 수 있다. 또한, QCSE의 부재는 이용될 더 넓은 양자 웰을 허용할 수 있고, 이는, 나노선 기반 레이저의 중첩 적분 (overlap integral) 및 캐비티 이득을 개선시킬 수 있다. 코어-셸 나노선/MQW 활성 구조를 이용하는 것의 또 다른 예시적 효율적인 이점은, 활성 영역 면적이 고유한 코어-셸 구조로 인해 현저하게 증가될 수 있다는 것이다.

[0090] 도 8은 본 교시에 따라서 예시적인 코어-셸 나노선/MQW 활성 구조 디바이스 (800)의 단면 적층 구조를 도시한다. 도 8에 도시된 디바이스 (800)가 일반적인 간략화된 도면을 나타내며, 다른 물질/층/셸이 추가될 수 있고, 또는, 기존의 물질/층/셸이 제거되거나 변형될 수도 있다는 것이 당업자에게는 명백하다.

[0091] 도시된 바와 같이, 디바이스 (800)는 기판 (810), 도핑된 버퍼층 (820), 선택적 성장 마스크 (825), 도핑된 나노선 코어 (830), 그리고, 제 1 도핑된 셸 (840), MQW 셸 구조 (850), 제 2 도핑된 셸 (860), 및 제 3 도핑된 셸 (870)을 포함하는 셸 구조 (835)를 포함할 수 있다.

[0092] 선택적 성장 마스크 (825)는 기판 (810)상의 도핑된 버퍼층 (820)위에 형성될 수 있다. 도핑된 나노선 코어 (830)는 선택적 성장 마스크 (825)를 통해서 도핑된 버퍼층 (820)에 접촉되고 도핑된 버퍼층 (820)으로부터 연장할 수 있으며, 도핑된 나노선 코어 (830)는 선택적 성장 마스크 (825)에 의해 고립될 수 있다. 셸 구조 (835)는 코어-셸 활성 구조를 가지는 도핑된 나노선 코어 (830)를 "셸화"하도록 형성될 수 있고, 또한 셸 구조 (835)는 선택적 성장 마스크 (825)상에 위치될 수 있다. 또한, 셸 구조 (835)는 제 1 도핑된 셸 (840)위의 MQW 셸 구조 (850)위에 형성될 수 있는 제 2 도핑된 셸 (860)위의 제 3 도핑된 셸 (870)을 증착함으로써 형성될 수 있다.

[0093] 기판 (810)은 사파이어, 실리콘 카바이드, 실리콘 및 GaAs 또는 GaN과 같은 III-V족 기판을 포함하지만 이에 제한하지 않는 기판 (110 및 410)과 유사한 기판일 수 있다 (도 1 내지 도 2 및 도 4 내지 도 5 참조).

[0094] 도핑된 버퍼층 (820)은 기판 (810)상에 형성될 수 있다. 도핑된 버퍼층 (820)은 버퍼층 (220 및/또는 520) (도 2 및 도 5 참조)과 유사할 수도 있다. 도핑된 버퍼층 (820)은 당업자에게 알려진 다양한 결정 성장 방법에 의해, 예를 들어, GaN, AlN, InN, AlGaIn, InGaIn 또는 AlInGaIn으로 형성될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 도핑된 버퍼층 (820)은 도핑된 나노선 코어 (830)와 유사한 도전형으로 도핑될 수도 있다. 몇몇 실시형태에서, 도핑된 버퍼층 (820)은 디바이스 (800)에서 제거될 수 있다.

[0095] 선택적 성장 마스크 (825)는 버퍼층 (820)상에 형성된 선택적 성장 마스크 (135 및/또는 435) (도 1 내지 도 2 및 도 4 내지 도 5 참조)와 유사한 선택적 성장 마스크일 수 있다. 다양한 실시형태에서, 선택적 성장 마스크 (825)는 기판 (810)상에 직접적으로 형성될 수 있다. 선택적 성장 마스크 (825)는 복수의 나노선 및/또는 나노선 어레이의 선택적인 성장을 정의할 수 있다. 선택적 성장 마스크 (825)는 임의의 유전체 물질, 또는 당업자에게 알려진 다른 성장 마스크 물질로 형성될 수 있다.

[0096] 도핑된 나노선 코어 (830)는 2-상 성장 모드를 이용하여 형성된 도 1 내지 도 2 및 도 4 내지 도 7에 도시된 복수의 나노선 중 임의의 나노선을 이용할 수 있다. 도핑된 나노선 코어 (830)는 다양한 불순물, 예를 들어, 실리콘, 게르마늄, 셀레늄, 황 및 텔루르로 도핑시킴으로써 n-형을 이룰 수 있는, 예를 들어, GaN, AlN, InN, AlGaIn, InGaIn 또는 AlInGaIn으로 형성될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 도핑된 나노선 코어 (830)는 베릴륨, 스트론튬, 바륨, 아연, 또는 마그네슘을 도입함으로써 p-형을 이룰 수 있다. 당업자에게 알려진 다른 도펀트가 이용될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 도핑된 나노선 코어 (830)의 높이는 활성 구조 디바이스 (800)의 적절한 높이를 정의할 수 있다. 예를 들어, 도핑된 나노선 코어 (830)는 약 1 $\mu$ m 내지 약 1000 $\mu$ m의 높이를 가질 수 있다.

[0097] 도핑된 나노선 코어 (830)는, 물질 GaN이 도핑된 나노선 코어 (830)에 이용될 경우, {1100} 패밀리를 (즉, "m"-평면 패킷)의 무극성 측벽 패킷을 가질 수 있다. MQW 셸 구조 (850)를 포함하는 셸 구조 (835)는 이들 패킷상에서 코어-셸 성장에 의해 성장될 수 있고, 따라서, 디바이스 (800)는 압전 전계로부터 자유로울 수 있고, 관련 양자-한정 스타크 효과 (QCSE)로부터 자유로울 수 있다.

[0098] 제 1 도핑된 셸 (840)은, 펄스 성장 모드가 이용될 경우, 예시적인 코어-셸 성장에 의해 도핑된 나노선 코어 (830)의 무극성 측벽 패킷으로부터 형성되고 그 위에 코팅될 수 있다. 예를 들어, 제 1 도핑된 셸 (840)

은 코어-셸 헤테로구조를 형성하는 도핑된 나노선 코어 (830) 의 펄스 성장 동안 소량의 Al 을 첨가함으로써 형성될 수 있다. 제 1 도핑된 셸 (840) 의 도전형 및 도핑된 나노선 코어 (830) 의 도전형은, 예를 들어, n-형과 같이 유사하게 이루어질 수 있다. 다양한 실시형태에서, 제 1 도핑된 셸 (840) 은  $Al_xGa_{1-x}N$  의 물질을 포함할 수 있고, 여기서 x 는 0.05 또는 0.10 과 같이 1.00 미만의 임의의 수일 수 있다.

[0099] MQW 셸 구조 (850) 는, 펄스 성장 모드가 이용될 경우, 예시적인 코어-셸 성장에 의해 제 1 도핑된 셸 (840) 상에 형성될 수 있다. 구체적으로, MQW 셸 구조 (850) 는 제 1 도핑된 셸 (840) 의 펄스 성장 도중에 소량의 Al 및/또는 In 을 첨가함으로써 형성되어 코어-셸 헤테로구조의 형성을 계속 실행할 수 있다. 다양한 실시형태에서, MQW 셸 구조 (850) 는, 예를 들어,  $Al_xGa_{1-x}N$  및 GaN 의 교대층을 포함할 수 있고, 여기서 x 는, 예를 들어, 0.05 또는 1.00 미만의 임의의 다른 수일 수 있다. MQW 셸 구조 (850) 는, 예를 들어,  $In_xGa_{1-x}N$  및 GaN 의 교대층을 포함할 수 있고, 여기서 x 는 1.00 미만의 임의의 수, 예를 들어, 약 0.20 내지 약 0.45 의 범위에 있는 임의의 수일 수 있다.

[0100] 제 2 도핑된 셸 (860) 은 MQW 셸 구조 (850) 상에 형성될 수 있다. 제 2 도핑된 셸 (860) 은 충분한 두께, 예를 들어, 약 500nm 내지 약 2000nm 를 가지는 MQW 셸 구조 (850) 에 대한 배리어 층으로서 이용될 수 있다. 제 2 도핑된 셸 (860) 은, 예를 들어,  $Al_xGa_{1-x}N$  로 형성될 수 있고, 여기서 x 는 1.00 미만의 임의의 수, 예를 들어, 0.20 또는 0.30 일 수 있다. 제 2 도핑된 셸 (860) 은 제 3 도핑된 셸 (870) 과 유사한 도전형으로 도핑될 수 있다.

[0101] 제 3 도핑된 셸 (870) 은 활성 구조 디바이스 (800) 를 캡 (cap) 하기 위해 제 2 도핑된 셸 (860) 로부터 코어-셸 성장을 계속 실행함으로써 형성될 수 있다. 제 3 도핑된 셸 (870) 은, 예를 들어, GaN 으로 형성될 수 있고, n-형 또는 p-형이 되도록 도핑될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 제 1 도핑된 셸 (830) 이 n-형 셸인 경우, 제 2 도핑된 셸 (860) 및/또는 제 3 도핑된 셸 (870) 은 p-형 셸일 수 있고 그 반대일 수 있다. 다양한 실시형태에서, 제 3 도핑된 셸 (870) 은 약 50 내지 약 500nm 의 두께를 가질 수 있다.

[0102] 다양한 실시형태에서, 도 8 에 도시된 코어-셸 활성 구조 디바이스 (800) 는, 디바이스 (800) 의 수가 큰 영역, 예를 들어, 웨이퍼에 포함되는 경우, 서로에 대해 전기적으로 절연될 수 있다. 도 9 는 본 교시에 따라서 도 8 에 도시된 각각의 코어-셸 나노선/MQW 활성 구조를 절연시키도록 증착된 유전체 물질 (910) 을 포함하는 활성 구조 디바이스 (900) 를 도시한다.

[0103] 도 9 에 도시된 바와 같이, 유전체 물질 (910) 은 선택적 성장 마스크 (825) 상에 증착될 수 있고, 셸 구조의 측면, 보다 구체적으로는, 제 3 도핑된 셸 (870) 의 측면과 측면으로 접촉될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 유전체 물질 (910) 은 전기 절연을 위한 임의의 유전체 물질, 예를 들어, 실리콘 이산화물 ( $SiO_2$ ), 실리콘 질화물 ( $Si_3N_4$ ), 실리콘 산질화물 ( $SiON$ ), 또는 다른 절연 물질일 수 있다. 몇몇 실시형태에서, 유전체 물질 (910) 은 경화성 유전체일 수 있다. 유전체 물질 (910) 은 원하는 높이 또는 두께로, 예를 들어, 화학적 기상 증착 (CVD) 또는 스피ن-온 기술에 의해 형성될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 유전체 물질 (910) 의 높이/두께는, 예를 들어, 당업자에게 알려진 에칭 또는 리프트-오프 절차를 이용하여 증착된 유전체 물질의 상부로부터 유전체 물질의 일부를 제거함으로써 더 조절될 수 있다. 유전체 물질 (910) 의 두께는, 코어-셸 나노선/MQW 활성 구조가 이용되는 특정 어플리케이션에 기초하여 조절될 수 있다.

[0104] 다양한 실시형태에서, 다양한 나노선 LED 및 나노선 레이저가, MQW 활성 셸 구조가 펄스-성장 나노선의 무극성 측면 상에서 생성될 수 있기 때문에, 도 8 내지 도 9 에 도시된 코어-셸 성장에 의해 형성될 수 있다. 예를 들어, 나노선이  $\lambda/2$  와 동일한 피치를 가지는 육각형 어레이로 배열되는 경우, 나노선의 어레이는 발광 작용을 자극하도록 광학적 피드백을 제공할 수 있으며, 여기서  $\lambda$  는 예시적인 LED 또는 레이저의 방출 파장이다. 도 10 내지 도 12 는 본 교시에 따라서 도 8 및 도 9 에 도시된 구조에 기초하여 형성된 예시적인 나노스케일 활성 디바이스를 도시한다.

[0105] 도 10a 내지 도 10c 는 본 교시에 따라서 도 8 내지 도 9 에 도시된 코어-셸 나노선/MQW 활성 구조를 이용하는 예시적인 나노선 LED 디바이스 (1000) 를 도시한다.

[0106] 다양한 실시형태에서, 나노선 LED 디바이스 (1000) 는, 예를 들어, 디바이스 (900) 상에 형성된 전기적 콘택트를 포함하여 제조될 수 있다. 전기적 콘택트는, 당업자에게 알려진 기술을 이용하여, 다수의 다층 결합체, 예를 들어, Al/Ti/Pt/Au, Ni/Au, Ti/Al, Ti/Au, Ti/Al/Ti/Au, Ti/Al/Au, Al 또는 Au 에서, 예를 들어, 티타늄 (Ti), 알루미늄 (Al), 백금 (Pt), 니켈 (Ni) 또는 금 (Au) 과 같은 금속으로부터 형성된 도전성 구조를 포함할

수 있다.

- [0107] 도 10a 에서, 디바이스 (1000) 는 디바이스 (900) 의 표면, 즉, 셸 구조 (835) 의 제 3 도핑된 셸 (870) 및 유전체 물질 (910) 의 각각의 표면에 형성된 도전성 구조 (1040) 를 포함할 수 있다. 도전성 구조 (1040) 는 순차적으로 제조된 LED 디바이스 (1000) 의 p-전극에 이용된 투명층일 수 있다. 예시적인 실시형태에서, 도전성 구조 (1040) (또는, p-전극) 는, 예를 들어, Ti/Au 의 적층된 금속 결합체일 수 있다.
- [0108] 다양한 실시형태에서, 디바이스 (1000) 는 조절된 두께 (또는 높이) 를 가지는 유전체층 (1010) 을 더 포함할 수 있다. 유전체층 (1010) 의 두께를 조절함으로써, 셸 구조 (835) 의 측면상에 그리고 측면에 따라서 형성된 도전성 구조 (1040) (또는 p-전극) 의 범위 (예를 들어, 두께 또는 높이) 는 나노선 활성 디바이스의 소정의 어플리케이션에 따라서 조절될 수 있다. 예를 들어, 유전체층 (1010) 의 두꺼운 층은 예를 들어, 나노선 LED 및/또는 나노선 레이저에 대해, 도전성 구조 (1040) (또는 p-전극) 를 코어-셸 구조 활성 디바이스의 상부에 한정할 수 있다. 또한, 조절된 얇은 절연층 (1010) 은 도전성 구조 (1040) (또는 p-전극) 로 하여금 더 큰 두께 또는 높이 (즉, 증가된 범위) 를 가지게 하고, 이는, 활성 디바이스의 저항성을 감소시킬 수 있다. 그러나, 다양한 실시형태에서, 도전성 구조 (1040) (또는 p-전극) 의 더 큰 두께는 레이저 캐비티와 같은 활성 디바이스에 대한 손실에 기여하도록 기대될 수 있다. 당업자에게 알려진 바와 같이, 도전성 구조 (1040) (또는 p-전극) 의 최적의 성능은 활성 디바이스의 저항성의 감소를 예상 캐비티 손실로 균형을 맞추으로써 달성될 수 있다.
- [0109] 다양한 실시형태에서, 예시적인 LED 디바이스 (1000) 의 셸 구조 (835) 의 측면에 따른 도전성 구조 (1040) (또는 p-전극) 의 두께는 고효율 성능을 위해 약 1 $\mu$ m 내지 약 9 $\mu$ m 의 범위에 있을 수 있다. 다양한 실시형태에서, LED 디바이스 (1000) 는, 예를 들어, 약 10 $\mu$ m 의 전체 높이를 가질 수 있다.
- [0110] 도 10b 에서, 디바이스 (1000) 는, p-전극 (1045), 유전체 (1015), 및 선택적 성장 마스크 (825) (도 10a 참조) 로 에칭된 트렌치 (1035) 를 가지는 선택적 콘택트 마스크 (1025) 를 더 포함할 수 있다.
- [0111] p-전극 (1045) 및 하부 유전체 (1015) 는 도전성 구조 (1040) 및 유전체층 (1010) (도 10a 참조) 을 패터닝하고 에칭함으로써 형성될 수 있다. 그 결과, 선택적 성장 마스크 (825) 의 표면 부분 (미도시) 이 노출될 수 있고 각각의 코어-셸 구조의 양 측면상에 유전체 (1015) 에 의해 분리될 수 있다. 패터닝 및 에칭 프로세스 이후에, 선택적 콘택트 마스크 (1025) 는 선택적 성장 마스크 (825) 의 표면의 노출된 부분을 통해서 트렌치 (1035) 를 형성함으로써 형성될 수 있고, 여기서, 코어-셸 활성 구조의 각각의 측면은 적어도 하나의 트렌치 (1035) 를 포함할 수 있다. 그 결과, 하부 버퍼층 (820) 의 표면 부분은 트렌치 (1035) 의 바닥으로서 이용될 수 있다.
- [0112] 다양한 실시형태에서, 선택적 콘택트 마스크 (1025) 의 두께는 LED 디바이스 (1000) 의 성능에 대해 아주 중요할 수 있다. 예를 들어, 30nm 의 두께를 가지는 실리콘 질화물 선택적 성장 마스크는 LED 디바이스 (1000) 의 브레이크 다운 이전에 약 20 볼트 이상의 전압을 지원하도록 충분히 두꺼울 수 있다. 다양한 실시형태에서, 선택적 콘택트 마스크 (1025) 는 약 30 이하의 두께를 가질 수 있다. 그러나, 더 두꺼운 선택적 성장 마스크는 나노선 및 나노선 활성 디바이스 프로세스에 용이하게 수용될 수 있다는 것을 당업자는 이해할 것이다.
- [0113] 도 10c 에서, 디바이스 (1000) 는, n-측 콘택트와 도핑된 버퍼층 (820) 및 나노선 코어 (830) 를 포함하는 중심 도전성 영역 사이에서 도전성을 확보하기 위해 형성된 n-전극 (1080) 을 포함할 수 있다. 중심 도전성 영역은, 예를 들어, 고농도 도핑된 n<sup>+</sup> GaN 영역일 수 있다. 다양한 실시형태에서, n-전극 (1080) 은 선택적 콘택트 마스크 (1025) 의 각각의 표면과 트렌치 (1035) 의 바닥으로 전극 물질을 증착함으로써 형성된 도전성 구조를 포함할 수 있다. 예시적인 실시형태에서, n-전극 (1080) 은, 예를 들어, Al/Ti/Pt/Au 와 같은 적층된 금속 결합체로 형성될 수 있다.
- [0114] 1099 에서, 도 10c 의 나노선 LED 디바이스 (1000) 의 생성된 광이 녹색 및 청색 파장에서 투명할 수 있는 기판 (820) 을 통해서 추출될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 나노선 LED 디바이스 (1000) 가 충분한 회절을 위해 충분히 작을 수 있기 때문에, 더 많은 확산 광 출력이 디바이스 (1000) 의 상부 측면에서 발생할 수 있다. 이 확산 광 출력은 몇몇 고체-상 조명 어플리케이션에서 유리할 수 있다.
- [0115] 이 방법으로, 개시된 나노선 LED 디바이스 (1000) 는 통상적인 LED 디바이스와 비교하여 고유한 특성을 제공할 수 있다. 첫째, 이는, 예를 들어, 종래의 평면 LED 구조와 비교하여 대략 10 배의 인수만큼 코어-셸 성장 활성 영역 면적 (즉, MQW 활성 셸 면적) 이 증가될 수 있기 때문에, 더 높은 휘도를 가질 수 있다. 둘째,

광 추출이 개선되어 LED의 출력 효율을 증가시킬 수 있다. 이는, LED 디바이스의 기하학적 모양이 웨이퍼 표면, 즉, 기판 표면에 대해 법선으로 배향된 활성 영역 면적의 대부분을 이룰 수 있기 때문이다. MQW 활성 영역의 양측의 한정 영역은 수직 방향으로 LED 광을 유도하는 경향이 있을 수 있다. 셋째, 복수의 나노선 및/또는 나노선 어레이의 각각의 위치 및 직경의 고정밀도로 인해, LED 디바이스(1000)의 생성된 어레이는 광자 결정으로서 구성될 수 있어, 광 출력 커플링 효율성을 더 개선시킬 수 있다. 넷째, 나노선 LED 저항은, 예를 들어, p-전극(1045)의 콘택트 면적과 같은 전기적 콘택트 면적의 증가로 인해 현저하게 감소될 수 있다.

마지막으로, LED 디바이스(1000)는 보다 높은 휘도를 가지는 특정 광 전력을 제공할 수 있기 때문에, 더 많은 디바이스가 소정의 웨이퍼상에서 처리될 수 있어서, 제조 비용을 저감시킬 수 있으며 또한 제조 효율성을 증대시킬 수 있다. 예를 들어, 금속 콘택트를 허용하기 위해, LED 디바이스(1000)는, 예를 들어, 약 100  $\mu\text{m}$ 의 피치 공간(즉, 임의의 2개의 인접한 나노선 디바이스들 사이에 이격되는 중심-대-중심)을 포함할 수 있다. 따라서, 4인치 웨이퍼는, 동시에 제조될 수 있는, 수많은 나노선 LED 디바이스(1000), 예를 들어, 약 780000개 이상의 디바이스를 포함할 수 있다. 다양한 실시형태에서, 피치 공간은 단일 4인치 웨이퍼로 하여금, 예를 들어, 100만개 초과 LED 디바이스(1000)를 포함하게 하도록 더 감소될 수 있다.

[0116] 도 11 내지 도 12는 본 교시에 따라서 도 8 내지 도 10에 도시된 코어-셸 성장 나노선/MQW 활성 구조를 이용하는 예시적인 나노선 레이저 디바이스를 도시한다. 나노선 및/또는 나노선 어레이의 측면 패시지가 원자 단층의 스케일상에 평평함을 가지는 정확한 {1100} 패시지가기 때문에, 레이저 디바이스에 대한 고품질 MQW 활성 영역이 외평면(superior flat) "측벽 기판"에 형성될 수 있다. 또한, 측면 패시지의 수직 배향, 및 나노선의 균일한 주기성 및 길이는 패시지들을 에칭하거나 또는 클리빙(cleaving)하는 높은 출력량의 방법을 제공하여 광학 캐비티를 형성할 수 있다. 고유한 주기성은 직선으로 확립되는 광결정 광학 캐비티를 허용할 수 있다.

[0117] 도 11에 도시된 바와 같이, 나노선 레이저 디바이스(1100)는 레이저 활성 구조로서 코어-셸 성장 나노선/MQW 활성 구조를 이용하여 도 8 내지 도 10에 설명된 프로세스로부터 제조될 수 있다. 나노선 레이저 디바이스(1100)는 연마된 셸 구조(1135), 연마된 p-전극(1145), 및 패시베이션 층(1195)을 포함할 수 있고, 패시베이션 층은 연마된 셸 구조(1135) 및 연마된 p-전극(1145)의 각각의 표면에 형성되어 레이저 활성 구조를 캡(cap)할 수 있다.

[0118] 연마된 셸 구조(1135) 및 연마된 p-전극(1145)은 도 10c에 도시된 바와 같이 코어-셸 나노선/MQW 활성 구조(즉, 레이저 활성 구조)의 (바닥 말단으로서 기판(810)에 대해) 상부 말단 상에서 연마함으로써(즉, 제거함으로써) 형성될 수 있다. 다양한 연마 프로세스, 기계적 지지체로서 에칭된 유전체(1015)를 이용하는 예를 들어, 화학적-기계적 연마가 이용될 수 있다.

[0119] 연마 단계는 나노선 레이저 디바이스(1100)의 제조력을 축소시키지 않고 동시에 수많은 레이저 패시지를 연마하도록 이용될 수 있다. 예를 들어, 약 780000개 이상의 수많은 나노선 레이저 디바이스(1100)는 높은 제조 효율성으로 4인치 웨이퍼상에 형성될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 피치 공간은 단일 4인치 웨이퍼로 하여금, 예를 들어, 100만개 초과 레이저 디바이스(1100)를 포함하도록 더 허용하도록 감소될 수 있다.

[0120] 다양한 실시형태에서, 연마된 셸 구조(1135)의 측면을 따라서 형성된 연마된 p-전극(1145)의 범위(예를 들어, 두께 또는 높이)는 레이저 디바이스(1100)에 대한 최적의 성능으로 하부 에칭된 유전체(1015)의 두께를 조절함으로써 조절될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 도 11에 도시된 연마된 셸 구조(1135)의 측면을 따라서 연마된 p-전극(1145)의 두께는, 전반적인 높이가 약 10  $\mu\text{m}$ 인 경우, 약 1  $\mu\text{m}$  내지 약 5  $\mu\text{m}$ 의 범위일 수 있다.

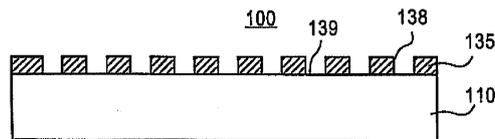
[0121] 패시베이션 층(1195)은, 각각의 레이저 활성 구조의 연마된 상부 말단에서, 즉, 연마된 p-전극(1145) 및 연마된 셸 구조(1135)의 각각의 표면에 형성될 수 있다. 패시베이션 층(1195)은 나노선 레이저 디바이스(1000)의 불필요한 비방사선 재결합 또는 접합 누설을 회피하도록 구성될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 패시베이션 층(1195)은, 예를 들어, 약 10 내지 약 100nm의 두께를 가지는 당업자에게 알려진 임의의 유전체 물질로 형성될 수 있다.

[0122] 몇몇 실시형태에서, 나노선 캐비티(즉, 나노선 코어(830))를 둘러싸는 연마된 셸 구조(1135)에 이용된 물질의 조성률 및 굴절률은 1199에서 광학 레이징 프로세스(optical lasing process)에 영향을 줄 수 있다. 예를 들어, 나노선이 약 200nm의 예시적인 직경을 가지는 경우, 몇몇 광학 레이징 모드는 캐비티의 외부에서 존재할 수 있다. 따라서, 이 레이저는, 캐비티를 둘러싸는 물질, 즉, 연마된 셸 구조(1135)의 각각의 층에 이용된 물질의 조성률 및 굴절률에 대해 더욱 민감할 수 있다.

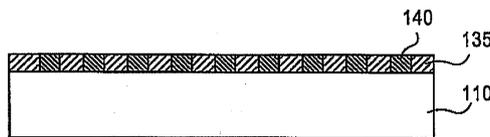
- [0123] 다른 실시형태에서, 레이저 광학 캐비티 (즉, 나노선 코어 (830)) 상의 어떠한 물리적으로 낮은 패킷도 존재하지 않기 때문에, 선택적 성장 마스크 (1025) 의 주변에 효율적인 굴절률의 변화가 있을 수 있다. 이 굴절률 변화는, 광학 레이징 모드가 캐비티의 외부에서 존재할 수 있다는 사실에 의해 도움을 받을 수 있다 (즉, 더 크게 될 수 있다). 예시적인 실시형태에서, 나노선 레이저 디바이스 (1100) (도 11 참조) 는 최대 반사율에 대한 선택적 콘택트 마스크 (1025) 의 두께를 조절함으로써 적절하게 조절될 수 있다. 예를 들어, 레이저 디바이스 (1100) 에 대한 선택적 콘택트 마스크 (1025) 의 광 두께는, 디바이스가 450nm 에서 청색 광을 방출하기 때문에, 약 220nm 내지 약 230nm 의 범위에 있을 수 있다.
- [0124] 도 12 는 다른 예시적인 레이저 디바이스 (1200) 를 도시하고, 여기서, DBR (distributed Bragg reflector) 미러 스택 (1220) 은 기판 (810) 과 선택적 성장 마스크 (1025) 의 층들 사이에 배치될 수 있고, 이와는 반대로, 도핑된 버퍼층 (820) 은 도 11 에 도시된 레이저 디바이스 (1100) 의 이 2 개의 층들 사이에 배치된다.
- [0125] DBR 미러 스택 (1220) 은 에피택셜 DBR 미러 스택일 수 있다. DBR 미러 스택 (1220) 은, 예를 들어, GaN 및 AlGaIn 의 1/4 파장 교대층을 포함할 수 있다. 다양한 실시형태에서, DBR 미러 스택 (1220) 은 반사율을 개선시키고 레이저 (1299) 의 캐비티 Q 를 증가시키도록 조율될 수 있다.
- [0126] 다양한 실시형태에서, 도 10 내지 도 12 에 도시된 모든 나노선 활성 디바이스는, 헤테로구조의 더 큰 저항성 p-전극 (예를 들어, p-전극 (1045 및/또는 1145)) 이 각각의 코어-셸 나노선/MQW 활성 구조의 외부 주변인 더 넓은 면적에 위치될 수 있기 때문에, 낮은 디바이스 저항을 제공할 수 있다. 예를 들어, (도 10 에 도시된) LED 디바이스 (1000) 에 대해, p-전극 (1045) 은 디바이스 저항을 더욱 감소시키기 위해 디바이스 (1000) 의 상부를 완전하게 커버할 수 있도록 패터닝될 수 있다.
- [0127] 단일 나노선이 설명의 목적으로 도 8 내지 도 12 에 도시되지만, 나노스케일 활성 디바이스에 대한 (예를 들어, 도 1 내지 도 6 에 도시된) 복수의 나노선 및/또는 나노선 어레이의 각각의 나노선에 코어-셸 성장 프로세스가 넓은 면적 (예를 들어, 전체 웨이퍼) 에서 동시에 수행될 수 있다는 것을 당업자는 이해할 것이다.
- [0128] 본 발명의 다른 실시형태는 본 명세서에 개시된 본 발명의 상세한 설명 및 실행을 고려하는 경우 당업자에게 명백하다. 이하의 청구범위에 나타난 본 발명의 진정한 범위 및 취지를 통해서, 상세한 설명 및 예시는 단지 예시적으로서 고찰되도록 의도된다.

**도면**

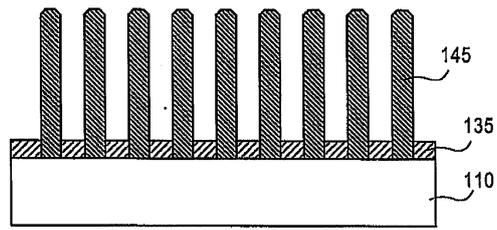
**도면1a**



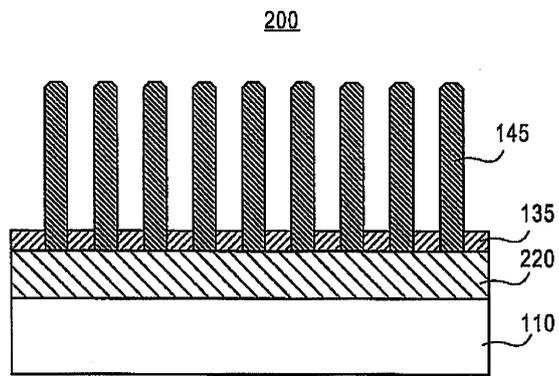
**도면1b**



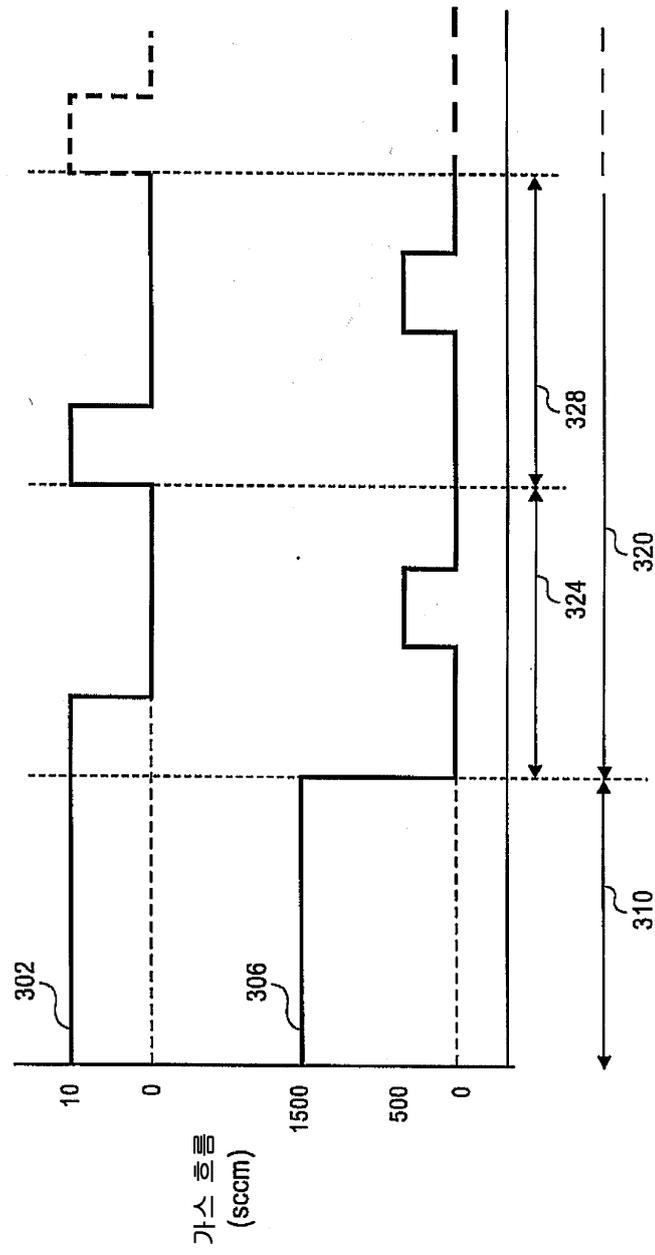
도면1c



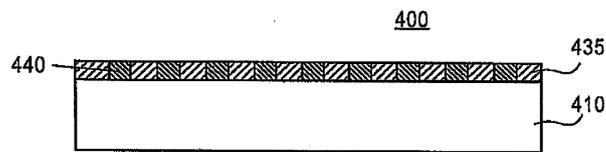
도면2



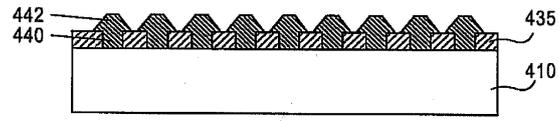
도면3



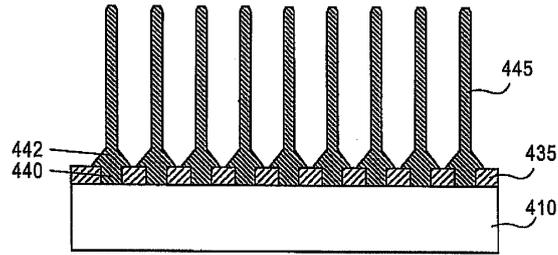
도면4a



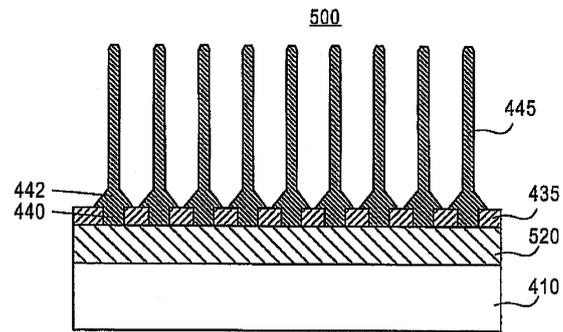
도면4b



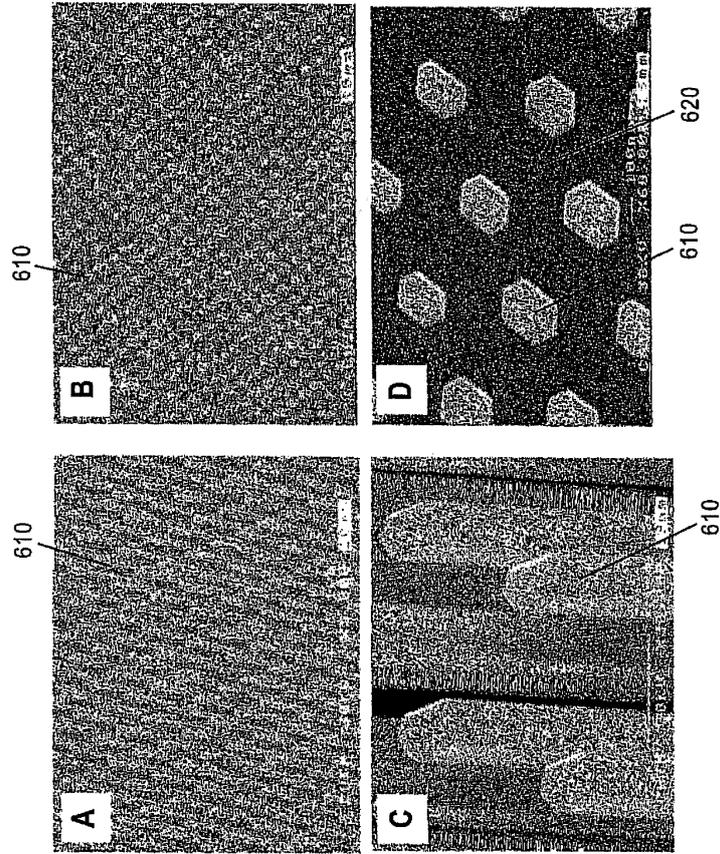
도면4c



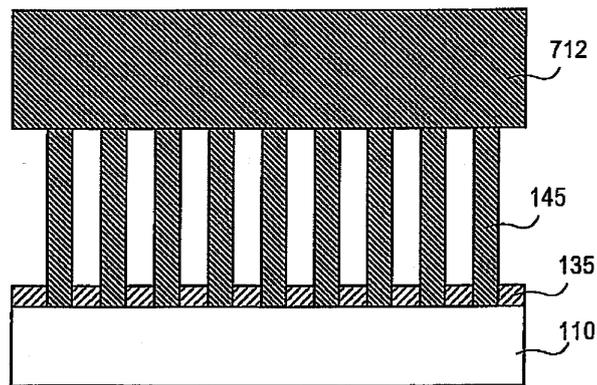
도면5



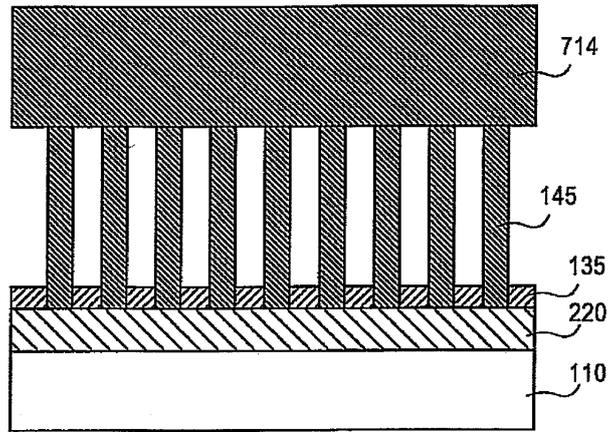
도면6



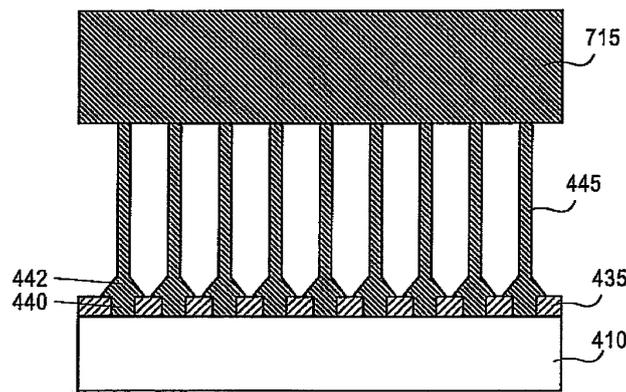
도면7a



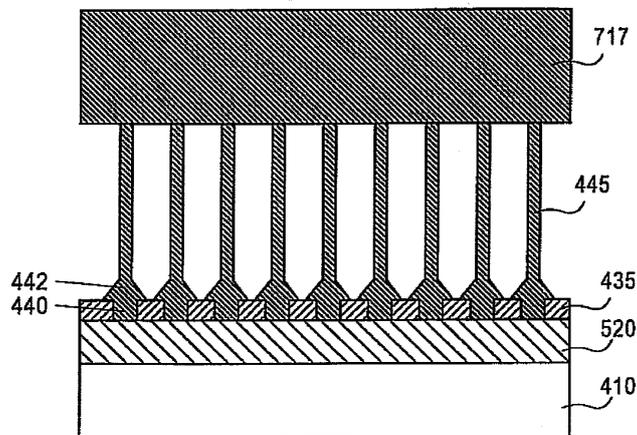
도면7b



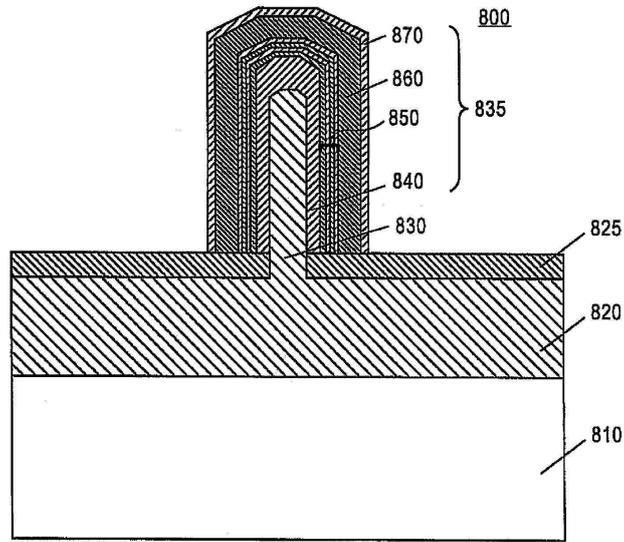
도면7c



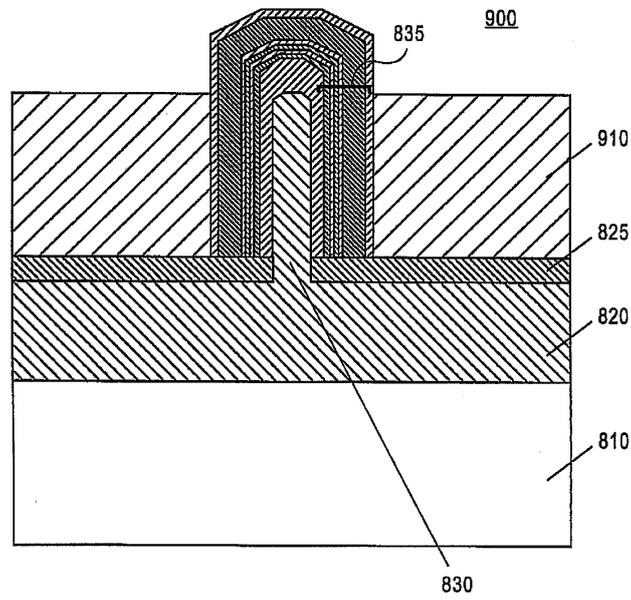
도면7d



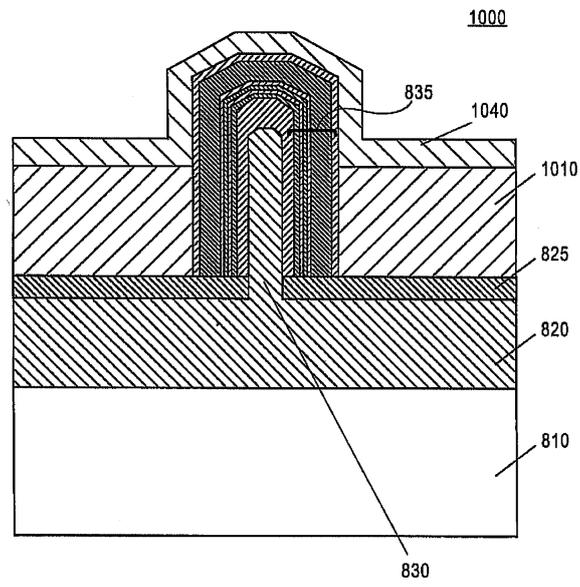
도면8



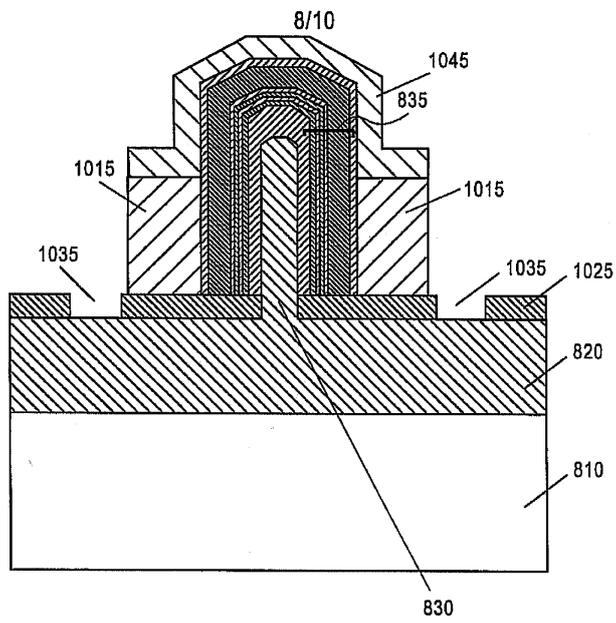
도면9



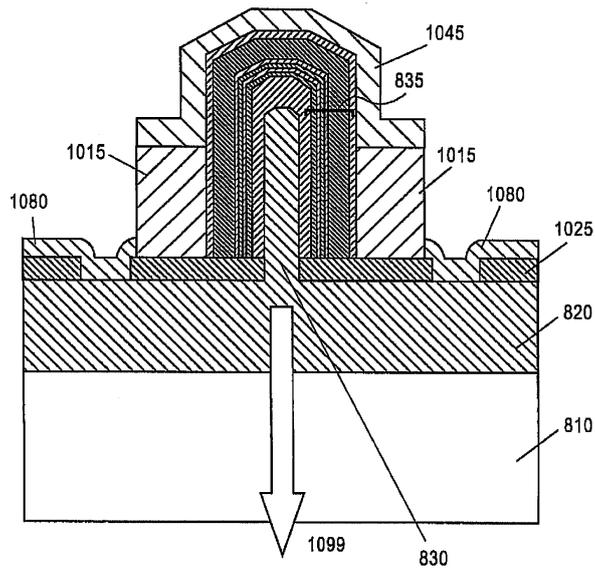
도면10a



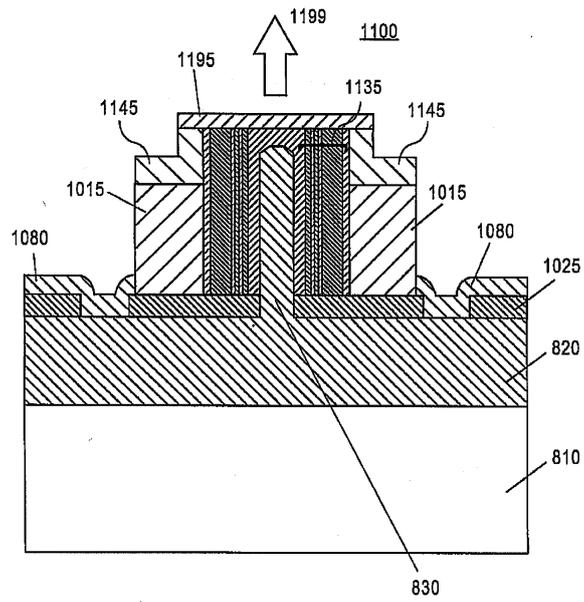
도면10b



도면10c



도면11



도면12

