



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0088556
(43) 공개일자 2019년07월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 21/02521 (2013.01)
H01L 21/02293 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-7019410
(22) 출원일자(국제) 2017년12월07일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2019년07월04일
(86) 국제출원번호 PCT/IB2017/057718
(87) 국제공개번호 WO 2018/104899
국제공개일자 2018년06월14일
(30) 우선권주장
16202663.7 2016년12월07일
유럽특허청(EPO)(EP)

(71) 출원인
빅토리아 링크 엘티디
뉴질랜드, 6012, 웰링턴, 켈빈, 켈빈 퍼레이드,
랭킨 브라운 빌딩, 알비905
(72) 발명자
나탈리, 프랑크
뉴질랜드, 포리루아 0522, 타히티 베이, 질레 스트리트 23
릭, 벤자민 존
뉴질랜드, 로어허트 0510, 와이웨투, 와이티 크레센트
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
황이남

전체 청구항 수 : 총 29 항

(54) 발명의 명칭 회도류 질화물 구조체와 소자 및 패시베이션 캐핑 제거방법

(57) 요약

본 발명은 회도류 질화물 재료, 및 회도류 질화물 재료를 패시베이션하기 위한 제거 가능한 캐핑을 포함하는 구조체 또는 소자에 관한 것이다.

대표도 - 도1a

1	Sm 캐핑층	5	7
	GdN-회도류 질화물 재료	3	
	AlN	11	
	실리콘 기판	9	

(52) CPC특허분류

H01L 21/02573 (2013.01)

H01L 21/02664 (2013.01)

(72) 발명자

트로달, 헤리 조셉

뉴질랜드, 웰링턴 6012, 칼로리 로드 107

펑 칭 찬, 제이 로즈

뉴질랜드, 웰링턴 6012, 칼로리, 선사인 예비뉴 24

명세서

청구범위

청구항 1

- 회토류 질화물 재료(3), 및

- 회토류 질화물 재료를 패시베이션하기 위한 제거 가능한 캐핑(5)을 포함하고,

제거 가능한 패시베이션 캐핑(5)은 사마륨, 유로퓸, 툴륨, 안티몬, 비스무트, 아연, 비소, 은, 스트론튬, 카드뮴, 칼슘, 납, 나트륨 또는 텔루륨을 포함하거나 이것으로 이루어지며; 또는 인듐 단독으로 이루어지는 구조체 또는 소자(1).

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 캐핑(5)은 에피택셜 캐핑층이며, 또는 상기 캐핑(5)은 다결정 또는 비정질 캐핑층인 구조체 또는 소자(1).

청구항 3

제 1항 또는 제 2항에 있어서, 상기 회토류 질화물 재료(3)는 질화 란탄(LaN), 질화 프라세오디뮴(PrN), 질화 네오디뮴(NdN), 질화 사마륨(SmN), 질화 유로퓸(EuN), 질화 가돌리늄(GdN), 질화 테르븀(TbN), 질화 디스프로슘(DyN), 질화 홀름(HoN), 질화 에르븀(ErN), 질화 툴륨(TmN), 질화 이테르븀(YbN), 및 질화 루테튬(LuN)의 군으로부터 선택된 회토류 질화물을 포함하거나 이것으로 이루어지고; 및/또는

상기 회토류 질화물 재료(3)는 질화 란탄(LaN), 질화 프라세오디뮴(PrN), 질화 네오디뮴(NdN), 질화 사마륨(SmN), 질화 유로퓸(EuN), 질화 가돌리늄(GdN), 질화 테르븀(TbN), 질화 디스프로슘(DyN), 질화 홀름(HoN), 질화 에르븀(ErN), 질화 툴륨(TmN), 질화 이테르븀(YbN), 및 질화 루테튬(LuN)의 군으로부터 선택된 회토류 질화물 중 임의의 2종 이상의 회토류 질화물 합금을 포함하거나 이것으로 이루어지는 구조체 또는 소자(1).

청구항 4

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 회토류 질화물 재료(3)는 베릴륨, 마그네슘, 칼슘, 스트론튬, 바륨 또는 라듐인 하나 이상의 원소로 도핑되는 구조체 또는 소자(1).

청구항 5

제 1항 내지 제 4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 회토류 질화물 재료(3)는 하나 이상의 층 또는 연속적인 다층(multiple successive layers)을 포함하고, 하나 이상의 층 또는 다층은 회토류 질화물 및/또는 회토류 질화물의 합금을 포함하거나 이것으로 이루어지는 구조체 또는 소자(1).

청구항 6

제 1항 내지 제 5항 중 어느 한 항에 있어서, 기판(9) 또는 템플레이트(7)를 더 포함하고, 상기 회토류 질화물 재료(3)는 기판(9) 또는 템플레이트(7) 상에 배치되거나, 기판 또는 템플레이트와 직접 접촉하는 구조체 또는 소자(1).

청구항 7

제 1항 내지 제 5항 중 어느 한 항에 있어서, 기판(9) 또는 템플레이트(7), 및 기판(9) 또는 템플레이트(7)와 회토류 질화물 재료(3) 사이에 배치되는 하나 이상의 추가 광 또는 전기 활성층을 더 포함하는 구조체 또는 소자(1).

청구항 8

제거 가능한 패시베이션 캐핑(5)을 포함하는 회토류 질화물 구조체(1) 또는 회토류 질화물 소자(1)를 제조하는 방법으로서,

- 희토류 질화물 재료(3)를 제공하는 단계; 및

- 희토류 질화물 재료(3)를 패시베이션하기 위한 제거 가능한 캐핑(5)을 증착하는 단계를 포함하고,

제거 가능한 패시베이션 캐핑(5)은 사마륨, 유로퓸, 툴륨, 안티몬, 비스무트, 아연, 비소, 은, 스트론튬, 카드뮴, 갈륨, 납, 나트륨 또는 텔루륨을 포함하거나 이것으로 이루어지며; 또는 인듐 단독으로 이루어지는 방법.

청구항 9

희토류 질화물 재료(3)를 패시베이션하기 위한 캐핑(5)을 제거하는 방법에 있어서,

- 희토류 질화물 재료(3) 및 희토류 질화물 재료(3)를 패시베이션하기 위한 제거 가능한 캐핑(5)을 포함하는 구조체 또는 소자(1)를 제공하는 단계; 및

- 진공 하에 증발 또는 승화에 의해서 캐핑(5)을 제거하는 단계를 포함하고,

제거 가능한 패시베이션 캐핑(5)은 사마륨, 유로퓸, 툴륨, 안티몬, 비스무트, 아연, 비소, 은, 스트론튬, 카드뮴, 갈륨, 납, 나트륨 또는 텔루륨을 포함하거나 이것으로 이루어지며; 또는 인듐 단독으로 이루어지는 방법.

청구항 10

제 9항의 방법에 의해 제조된 구조체.

청구항 11

제 10항의 구조체를 포함하는 소자.

청구항 12

- 희토류 질화물 재료(3), 및

- 희토류 질화물 재료를 패시베이션하기 위한 제거 가능한 캐핑(5)을 포함하고,

캐핑(5)은 1×10^{-4} Torr 또는 1.33×10^{-2} Pa의 압력 및 200°C 초과 600°C 미만의 온도에서 진공 하에 증발 또는 승화에 의해서 제거 가능한 금속계 캐핑인 구조체 또는 소자(1).

청구항 13

제 12항에 있어서, 캐핑(5)은 희토류 질화물 재료(3)의 전기적 및/또는 광학적 특성의 수정(modification) 없이 제거 가능한 구조체 또는 소자(1).

청구항 14

제 1항, 제 12항 또는 제 13항에 있어서, 캐핑(5)은 희토류 질화물 재료(3)의 벌크 구조 특성(bulk structural properties)의 수정 없이 제거 가능한 구조체 또는 소자(1).

청구항 15

제 1항 또는 제 12항 또는 제 13항에 있어서, 캐핑(5)은 희토류 질화물 재료(3)의 격자 상수에서 1% 미만, 0.5% 미만, 0.1% 미만 또는 0.05% 미만의 변화를 생성하도록 제거 가능한 구조체 또는 소자(1).

청구항 16

제 12항 내지 제 15항 중 어느 한 항에 있어서, 캐핑(5)은 500°C 미만 또는 600°C 미만의 증발/승화 온도를 갖는 금속계 캐핑인 구조체 또는 소자(1).

청구항 17

제 12항 내지 제 16항 중 어느 한 항에 있어서, 제거 가능한 패시베이션 캐핑(5)은 사마륨, 유로퓸, 툴륨, 안티몬, 비스무트, 아연, 비소, 은, 스트론튬, 카드뮴, 갈륨, 납, 나트륨 또는 텔루륨을 포함하거나 이것으로 이루어지며; 또는 인듐 단독으로 이루어지는 구조체 또는 소자(1).

청구항 18

제 12항 내지 제 17항 중 어느 한 항에 있어서, 캐핑(5)은 에피택셜 캐핑층이거나, 또는 캐핑(5)은 다결정 또는 비정질 캐핑층인 구조체 또는 소자(1).

청구항 19

제 12항 내지 제 18항 중 어느 한 항에 있어서, 희토류 질화물 재료(3)는 질화 란탄(LaN), 질화 프라세오디뮴(PrN), 질화 네오디뮴(NdN), 질화 사마륨(SmN), 질화 유로퓸(EuN), 질화 가돌리늄(GdN), 질화 테르븀(TbN), 질화 디스프로슘(DyN), 질화 홀름(HoN), 질화 에르븀(ErN), 질화 툴륨(TmN), 질화 이테르븀(YbN), 및 질화 루테튬(LuN)의 군으로부터 선택된 희토류 질화물을 포함하거나 이것으로 이루어지고; 및/또는

희토류 질화물 재료(3)는 질화 란탄(LaN), 질화 프라세오디뮴(PrN), 질화 네오디뮴(NdN), 질화 사마륨(SmN), 질화 유로퓸(EuN), 질화 가돌리늄(GdN), 질화 테르븀(TbN), 질화 디스프로슘(DyN), 질화 홀름(HoN), 질화 에르븀(ErN), 질화 툴륨(TmN), 질화 이테르븀(YbN), 및 질화 루테튬(LuN)의 군으로부터 선택된 희토류 질화물 중 임의의 2종 이상의 희토류 질화물 합금을 포함하거나 이것으로 이루어지는 구조체 또는 소자(1).

청구항 20

제 12항 내지 제 19항 중 어느 한 항에 있어서, 희토류 질화물 재료(3)는 베릴륨, 마그네슘, 칼슘, 스트론튬, 바륨 또는 라듐인 하나 이상의 원소로 도핑되는 구조체 또는 소자(1).

청구항 21

제 12항 내지 제 20항 중 어느 한 항에 있어서, 희토류 질화물 재료(3)는 하나 이상의 층 또는 연속적인 다층을 포함하고, 하나 이상의 층 또는 다층은 희토류 질화물 및/또는 희토류 질화물의 합금을 포함하거나 이것으로 이루어지는 구조체 또는 소자(1).

청구항 22

제 12항 내지 제 21항 중 어느 한 항에 있어서, 기관(9) 또는 템플레이트(7)를 더 포함하고, 희토류 질화물 재료(3)는 기관(9) 또는 템플레이트(7) 상에 배치되거나, 기관 또는 템플레이트와 직접 접촉하는 구조체 또는 소자(1).

청구항 23

제 12항 내지 제 20항 중 어느 한 항에 있어서, 기관(9) 또는 템플레이트(7), 및 기관(9) 또는 템플레이트(7)와 희토류 질화물 재료(3) 사이에 배치되는 하나 이상의 추가 광 또는 전기 활성층을 더 포함하는 구조체 또는 소자(1).

청구항 24

제거 가능한 패시베이션 캐핑(5)을 포함하는 희토류 질화물 구조체(1) 또는 희토류 질화물 소자(1)를 제조하는 방법에 있어서,

- 희토류 질화물 재료(3)를 제공하는 단계; 및
- 희토류 질화물 재료(3)를 패시베이션하기 위한 제거 가능한 캐핑(5)을 증착하는 단계를 포함하고,

캐핑(5)은 희토류 질화물 재료(3)의 전기적 및/또는 광학적 특성의 수정 없이 제거 가능하며; 또는 캐핑(5)은 희토류 질화물 재료(3)의 격자 상수에서 1% 미만, 0.5% 미만, 0.1% 미만 또는 0.05% 미만의 변화를 생성하도록 제거 가능한 방법.

청구항 25

제 24항에 있어서, 제거 가능한 패시베이션 캐핑(5)은 사마륨, 유로퓸, 툴륨, 안티몬, 비스무트, 아연, 비소, 은, 스트론튬, 카드뮴, 칼슘, 납, 나트륨 또는 텔루륨을 포함하거나 이것으로 이루어지며; 또는 인듐 단독으로 이루어지는 방법.

청구항 26

희토류 질화물 재료(3)를 패시베이션하기 위한 캐핑(5)을 제거하는 방법에 있어서,

- 희토류 질화물 재료(3) 및 희토류 질화물 재료(3)를 패시베이션하기 위한 제거 가능한 캐핑(5)을 포함하는 구조체 또는 소자(1)를 제공하는 단계로; 캐핑(5)은 희토류 질화물 재료(3)의 전기적 및/또는 광학적 특성의 수정 없이 제거 가능하며; 또는 캐핑(5)은 희토류 질화물 재료(3)의 격자 상수에서 1% 미만, 0.5% 미만, 0.1% 미만 또는 0.05% 미만의 변화를 생성하도록 제거 가능한 단계, 및
- 진공 하에 증발 또는 승화에 의해서 캐핑(5)을 제거하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 27

제 26항에 있어서, 제거 가능한 패시베이션 캐핑(5)은 사마륨, 유로퓸, 툴륨, 안티몬, 비스무트, 아연, 비소, 은, 스트론튬, 카드뮴, 칼슘, 납, 나트륨 또는 텔루륨을 포함하거나 이것으로 이루어지며; 또는 인듐 단독으로 이루어지는 방법.

청구항 28

제 26항 또는 제 27항의 방법에 의해 제조된 구조체.

청구항 29

제 28항의 구조체를 포함하는 소자.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은 2016년 12월 7일자 출원한 유럽 특허 출원 제 16202663.7호의 우선권을 주장하며, 그의 전체 내용을 참고로 본원에서 인용한다.

[0003] 본 발명은 희토류 질화물 구조체 및 소자, 희토류 질화물 구조체 또는 제거 가능한 패시베이션 캐핑을 포함하는 희토류 질화물 소자를 제조하는 방법, 희토류 질화물 재료를 패시베이션하기 위한 캐핑을 제거하는 방법 뿐만 아니라, 이들 방법에 의해 제조된 구조체 및 그러한 구조체를 포함하는 소자 분야에 관한 것이다.

배경 기술

[0004] 희토류는 57 (La) 내지 71 (Lu)의 원자 번호를 가지며, 4f 궤도가 채워지는 원소, 즉 란탄(La), 세륨(Ce), 프라세오디뮴(Pr), 네오디뮴(Nd), 프로메튬(Pm), 사마륨(Sm), 유로퓸(Eu), 가돌리늄(Gd), 테르븀(Tb), 디스프로슘(Dy), 홀뮴(Ho), 에르븀(Er), 툴륨(Tm), 이테르븀(Yb), 및 루테튬(Lu)을 포함한다.

[0005] 희토류는 원자 구성 $[Xe]6s^2 4f^n$ 을 가지며, n은 Ce의 경우 1 (La의 경우는 0)부터 Lu의 경우 14까지 변하고, 대부분의 계열은 추가 5d 전자를 갖는다. 희토류의 가장 일반적인 이온 전하 상태는 페르미 에너지를 스페닝하는 4f 레벨을 가지며, 3+이다.

[0006] 희토류는 조금 채워진 f-셸 전자 궤도 보다 더 안정된 유일한 원소이며, 결과적으로, 이들은 가장 큰 스핀과 궤도 모멘트를 갖는 원소이다.

[0007] 정돈된 고체에서, 희토류는 강자성 재료에 가장 강하게 기여하며, 강한 영구 자석을 필요로 하는 기술에서 그들의 보장된 유용성을 갖는다.

[0008] 그들의 이름에도 불구하고, 희토류는 안정한 핵 동위 원소를 갖지 않는 프로메튬을 제외하고 결코 드물지 않다.

[0009] 희토류 질화물은 1960년대에 처음 연구가 이루어졌으며, 기술의 발전으로, 란탄 계열의 화학적으로 유사한 원소를 분리할 때 직면하는 문제를 극복하였다. 희토류 질화물은 거의 모두, 성장 조건에 크게 좌우되어 직권 및 보자력 계자(series and coercive fields)에 따라 크게 변하는 자기 상태를 지닌 강자성체이다.

[0010] 희토류 질화물은 거의 모두, 전형적으로 1eV 정도의 광 밴드갭을 갖는 반도체이다. 희토류 질화물은 거의 모두,

강자성 반도체이다.

- [0011] 희토류 질화물은 스핀트로닉스, 적외선(infrared, IR) 검출기 및 III-족 질화물 반도체 화합물에 대한 콘택 같은 다양한 응용 분야에서 장래성이 있다. 예를 들어, 희토류 질화물은 스핀-필터 조셉슨(spin-filter Josephson) 접합, 자기 터널 접합 및 전계 효과 트랜지스터 구조체의 제조에 사용되고 있다.
- [0012] 그러나, 희토류 질화물은 분해되어 산화되는 성향을 갖고 있다. 이를 극복하기 위해, 기판 상에서 희토류 질화물의 박막은 일반적으로, 실질적인 캐핑층으로 패시베이션되어 주위 대기와의 반응을 피한다.
- [0013] W, Cr, Cu, TaN, NbN 등의 금속층 및 이트리아 안정화 지르코니아 (yttria stabilized zirconia, YSZ), GaN, AlN 및 MgF 등의 절연체 막을 포함해서, 일련의 다결정 또는 비정질 캐핑층이 과거에 성공적으로 시도되었으며, 문헌 ("Rare earth mononitrides", Prog. Mater. Sci., vol. 58, no. 8, pp. 1316-1360, 2013)에 보고되었다.
- [0014] 다결정 AlN 및 GaN은 광 측정을 가능케 하는 이들의 투명성, 이들의 성장 용이성 및 시간 경과에 따른 우수한 화학적 안정성에 기여할 수 있는 가장 일반적으로 사용되는 캐핑층이다.
- [0015] WO 2015/152736, WO 2015/152737 및 US2016/181093에는 주위 대기와의 반응을 피하기 위한 희토류 질화물 박막용 캐핑층이 개시되어 있다.
- [0016] 그러나, 예를 들어 전자 구조체에 대한 싱크로트론 기반 측정 및 형태학적 특성화를 위한 표면 과학 기술을 포함해서, 다양한 기본 특성화 기술을 위해, 진공에서 제거할 수 있는 캐핑층에 대한 요구가 있다.
- [0017] 또한, 고객 또는 사용자가 희토류 질화물 박막 또는 구조체의 후속 사용을 통해 그들 자신의 스핀트로닉 또는 광전자 소자를 형성하고자 하는 요구도 있다. 이것은, 예를 들어 후속 희토류 질화물 박막, III-족 질화물 박막, 위상 절연체층의 성장, 및 나노제작 측면 (패터닝, 에칭, 접촉 증착)을 포함한다.
- [0018] 그러나, WO 2015/152736, WO 2015/152737 및 US2016/181093에 언급된 것을 포함해서, 전술한 캐핑층의 제거는 기본적인 희토류 질화물 재료의 주요 바람직하지 않은 구조적 및 표면적 수정(modification) 또는 기본적인 희토류 질화물 재료의 전기적 및/또는 광학적 특성의 수정을 생성한다.
- [0019] 결과적으로, 근본적인 특성화는 종종 매우 제한적인 관심의 대상이다. 이는 추가로, 희토류 질화물 박막 또는 구조체의 후속 사용을 크게 제한한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0020] 따라서, 본 발명의 일 측면은 상기 문제점을 극복하는 구조체 또는 소자를 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

- [0021] 구조체 또는 소자는, 바람직하게는 희토류 질화물 재료 및 희토류 질화물 재료를 패시베이션하기 위한 제거 가능한 캐핑을 포함한다. 제거 가능한 패시베이션 캐핑은 사마륨, 유로퓸, 툴륨, 안티몬, 비스무트, 아연, 비소, 은, 스트론튬, 카드뮴, 칼슘, 납, 나트륨 또는 텔루륨을 포함하거나 이것으로 이루어지며; 또는 인듐 단독으로 이루어진다.
- [0022] 구조체 또는 소자는, 바람직하게는 희토류 질화물 재료 및 희토류 질화물 재료를 패시베이션하기 위한 제거 가능한 캐핑을 포함한다. 캐핑은 희토류 질화물 재료의 전기 및/또는 광학적 특성의 수정 없이 제거할 수 있는 제거 가능한 캐핑이다.
- [0023] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 구조체 또는 소자는, 바람직하게는 희토류 질화물 재료 및 희토류 질화물 재료를 패시베이션하기 위한 제거 가능한 캐핑을 포함한다. 캐핑은 1×10^{-4} Torr 또는 1.33×10^{-2} Pa의 압력 및 200 °C 초과 600 °C 미만의 온도에서 진공 하에, 또는 1×10^{-8} Torr 또는 1.33×10^{-6} Pa의 압력에서 100 °C 초과 500 °C 미만의 온도에서 진공 하에 증발 또는 승화에 의해서 제거 가능한 금속계 캐핑이다.
- [0024] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 구조체 또는 소자는, 바람직하게는 희토류 질화물 재료 및 희토류 질화물 재료를 패시베이션하기 위한 제거 가능한 캐핑을 포함한다. 캐핑은 희토류 질화물 재료의 벌크 구조 특성(bulk structural properties) 또는 벌크 특성의 수정 없이 제거 가능하다.

- [0025] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 구조체 또는 소자는, 바람직하게는 희토류 질화물 재료 및 희토류 질화물 재료를 패시베이션하기 위한 제거 가능한 캐핑을 포함한다. 캐핑은 희토류 질화물 재료의 격자 상수에서 1% 미만, 0.5% 미만, 0.1% 미만 또는 0.05% 미만의 변화를 생성하도록 제거 가능하다.
- [0026] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 캐핑은 희토류 질화물 재료의 벌크 구조 특성의 수정 없이 제거 가능하다.
- [0027] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 제거 가능한 패시베이션 캐핑은 사마륨, 유로퓸, 툴륨, 안티몬, 비스무트, 아연, 비소, 은, 스트론튬, 카드뮴, 갈륨, 납, 나트륨 또는 텔루륨을 포함하거나 이것으로 이루어지며; 또는 인 덩 단독으로 이루어진다.
- [0028] 일 실시예에서, 캐핑은 에피택셜 캐핑층(epitaxial capping layer)이다.
- [0029] 또 다른 실시예에서, 캐핑은 다결정 또는 비정질 캐핑층이다.
- [0030] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 희토류 질화물 재료는 질화 란탄(LaN), 질화 프라세오디뮴(PrN), 질화 네오디뮴(NdN), 질화 사마륨(SmN), 질화 유로퓸(EuN), 질화 가돌리늄(GdN), 질화 테르븀(TbN), 질화 디스프로슘(DyN), 질화 홀름(HoN), 질화 에르븀(ErN), 질화 툴륨(TmN), 질화 이테르븀(YbN), 및 질화 루테튬(LuN)의 군으로부터 선택된 희토류 질화물을 포함하거나 이것으로 이루어지고; 및/또는
- [0031] 희토류 질화물 재료는 질화 란탄(LaN), 질화 프라세오디뮴(PrN), 질화 네오디뮴(NdN), 질화 사마륨(SmN), 질화 유로퓸(EuN), 질화 가돌리늄(GdN), 질화 테르븀(TbN), 질화 디스프로슘(DyN), 질화 홀름(HoN), 질화 에르븀(ErN), 질화 툴륨(TmN), 질화 이테르븀(YbN), 및 질화 루테튬(LuN)의 군으로부터 선택된 희토류 질화물 중 임의의 2종 이상의 희토류 질화물 합금을 포함하거나 이것으로 이루어진다.
- [0032] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 희토류 질화물 재료는 베릴륨, 마그네슘, 갈륨, 스트론튬, 바륨 또는 라듐인 하나 이상의 원소로 도핑된다.
- [0033] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 희토류 질화물 재료는 하나 이상의 층 또는 연속적인 다층을 포함하고, 하나 이상의 층 또는 다층은 희토류 질화물 및/또는 희토류 질화물의 합금을 포함하거나 이것으로 이루어진다.
- [0034] 일 실시예에서, 구조체 또는 소자는 기판 또는 템플레이트를 포함하고, 희토류 질화물 재료는 기판 또는 템플레이트 상에 배치되거나, 기판 또는 템플레이트와 직접 접촉한다.
- [0035] 또 다른 실시예에서, 구조체 또는 소자는 기판 또는 템플레이트, 및 기판 또는 템플레이트와 희토류 질화물 재료 사이에 배치되는 하나 이상의 추가 광 또는 전기 활성층을 포함한다.
- [0036] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 제거 가능한 패시베이션 캐핑을 포함하는 희토류 질화물 구조체 또는 희토류 질화물 소자를 제조하는 방법이 제공된다. 이 방법은:
- [0037] - 희토류 질화물 재료를 제공하는 단계; 및
- [0038] - 희토류 질화물 재료를 패시베이션하기 위한 제거 가능한 캐핑을 증착하는 단계를 포함하고,
- [0039] 캐핑은 희토류 질화물 재료의 전기적 및/또는 광학적 특성의 수정 없이 제거 가능하다.
- [0040] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 희토류 질화물 재료를 패시베이션하기 위한 캐핑을 제거하는 방법이 제공된다. 이 방법은:
- [0041] - 희토류 질화물 재료 및 희토류 질화물 재료를 패시베이션하기 위한 제거 가능한 캐핑을 포함하는 구조체 또는 소자를 제공하는 단계로; 캐핑은 희토류 질화물 재료의 전기적 및/또는 광학적 특성의 수정 없이 제거 가능한 단계; 및
- [0042] - 진공 하에 증발 또는 승화에 의해서 캐핑을 제거하는 단계를 포함한다.
- [0043] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 본 발명은 상기 방법에 의해 제조된 구조체 및 이러한 구조체를 포함하는 소자에 관한 것이다.
- [0044] 본 발명의 상기 및 그 밖의 목적, 특징과 이점 및 이들을 실현하는 방식은 본 발명의 바람직한 일부 실시예를 나타내는 첨부 도면을 참조하여 이루어지는 다음의 설명을 연구함으로써, 보다 명백해지고, 본 발명 자체를 가장 잘 이해할 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0045] 도 1a는 본 발명의 일 측면에 따르는 예시적인 구조체 또는 소자를 개략적으로 도시한다.
- 도 1b는 본 발명의 다른 예시적인 측면에 따른 또 다른 예시적인 구조체 또는 소자를 개략적으로 도시한다.
- 도 2는 Sm <1-210> 방향 (a), 및 Sm <1-100> 방향 (b)를 따라 RHEED 패턴을 도시한다.
- 도 3은 각각 AlN 및 GdN 층의 (10-12) 및 (002) 반사와 함께 (10-12) Sm 반사의 비대칭 파이-스캔을 도시한다.
- 도 4는 본 발명의 일 측면에 따르는 예시적인 구조체 또는 소자를 개략적으로 도시한다.
- 도 5는 Sm/GdN/AlN/Si(111) (하부 곡선)을 포함하는 준성장 구조체(as-grown structure), 및 Sm 캐핑층이 제거되고 구조체가 GaN 캐핑층(상부 곡선)으로 다시 캐핑된, Sm/GdN/AlN/Si(111)를 포함하는 초기 구조체로 형성된 구조체의 오메가-2세타 스캔을 도시한다.
- 도 6(a)는 Sm/GdN/AlN/Si(111)(실선 곡선)을 포함하는 준성장 구조체, 및 Sm 캐핑층이 제거되고 구조체가 GaN 캐핑층(점선 곡선)으로 다시 캐핑된, Sm/GdN/AlN/Si(111)를 포함하는 초기 구조체로 형성된 구조체의 250 Oe의 인가 전계 하에서 면내 전계 냉각식 자화(in-plane field-cooled (FC) magnetization)를 도시한다.
- 도 6(b)는 Sm/GdN/AlN/Si(111)를 포함하는 준성장 구조체, 및 Sm 캐핑층이 제거되고 구조체가 GaN 캐핑층으로 다시 캐핑된, Sm/GdN/AlN/Si(111)를 포함하는 초기 구조체로 형성된 구조체의 5K에서의 전계 의존 자화를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0046] 본원에서는 도면에 걸쳐 공통인 동일한 요소를 나타내기 위해, 가능한 한 동일한 참조 번호를 사용한다.
- [0047] 도 1a는 일 실시예에 따른 예시적인 구조체 또는 소자(1)를 개략적으로 도시한다. 구조체 또는 소자(1)는 희토류 질화물(rare earth nitride, REN) 재료(3) 및 희토류 질화물 재료(3)를 패시베이션하기 위한 제거 가능한 캐핑(5)을 포함한다. 도 1a에서, 희토류 질화물(REN) 재료(3)는, 예를 들어 GdN이고, 제거 가능한 캐핑(5)은 Sm 캐핑이다.
- [0048] 예시적인 구조체(1)는 기판(9) 및 증착층(11)을 포함하는 템플레이트(7)를 더 포함한다. 희토류 질화물 재료(3)는 템플레이트(7)의 증착층(11) 상에 배치되며, 템플레이트(7)의 증착층(11)과 직접 접촉한다.
- [0049] 템플레이트(7)는 기판(9)으로 대체할 수 있다. 따라서, 희토류 질화물 재료(3)는 기판(9) 상에 교대로 배치되거나 증착되며, 기판(9)과 직접 접촉한다.
- [0050] 캐핑(5)은 희토류 질화물 재료(3)의 전기적 및/또는 광학적 특성의 (실질적인) 변화 또는 수정 없이 희토류 질화물 재료(3)로부터 제거할 수 있다.
- [0051] 또한, 캐핑(5)은 희토류 질화물 재료(3)의 구조적인 변화 또는 수정 없이, 즉 희토류 질화물 재료(3)의 벌크 특성 또는 벌크 구조 특성의 (실질적인) 변화 또는 수정 없이, 희토류 질화물 재료(3)로부터 제거할 수 있다.
- [0052] 예를 들어, 캐핑층 또는 재료(5)의 제거 전에 희토류 질화물 재료 또는 층(3)에 대한 격자 상수(가령, 면외 격자 상수(out-of-plane lattice constant))는, 캐핑층 또는 재료(5)의 제거 후에 희토류 질화물 재료 또는 층(3)에 대한 격자 상수와 비교할 때, 1% 미만, 또는 0.5% 미만, 또는 0.1% 미만 또는 0.05% 미만의 변화를 겪는다.
- [0053] 제거 후에 격자 상수는, 예를 들어 본 발명에 따른 캐핑 재료 또는 층(5)이 일단 제거되면 희토류 질화물 재료 또는 층(3)을 주위 대기에 노출시키지 않고 측정한다.
- [0054] 격자 상수는, 예를 들어 본 발명에 따른 캐핑 재료(5) 또는 층을 제거한 후, 새로운 캐핑층 또는 재료 (또는 노출된 희토류 질화물 재료 또는 층(3) 상에 제공되어 주위 대기로부터의 보호를 제공하는 임의의 재료 또는 층)가 노출된 희토류 질화물 재료 또는 층(3) 상에 다시 제공된 후에 측정한다. 대체용 캐핑층 또는 재료는 희토류 질화물 재료 또는 층(3)에 적합한 임의의 캐핑층 또는 재료일 수 있다. 격자 상수는, 예를 들어, 새로 캐핑된 희토류 질화물 재료 또는 층(3)을 주위 대기에 노출시킨 후에 측정할 수 있다.
- [0055] 격자 상수(가령, 면외 격자 상수)는, 예를 들어 오메가-2세타 스캔을 이용한 x-선 회절에 의해 측정한다.
- [0056] 희토류 질화물 재료(3)로부터 캐핑(5)이 제거된 경우에도, 희토류 질화물 재료(3)의 벌크 특성은 변화되지 않는다.

- [0057] 캐핑(5)은, 예를 들어 초고도 진공(ultra-high vacuum)을 포함한 진공 하에 증발 또는 승화에 의해서 제거할 수 있다.
- [0058] 제거 가능한 패시베이션 캐핑 또는 캐핑층(5)은 사마륨, 유로퓸, 툴륨, 안티몬, 비스무트, 아연, 비소, 은, 스트론튬, 카드뮴, 갈륨, 납, 나트륨, 또는 텔루륨을 포함하거나 이중 하나로 구성되며, 또는 인듐 단독으로 이루어진다.
- [0059] 따라서, 제거 가능한 패시베이션 캐핑(5)은 사마륨 캐핑, 유로퓸 캐핑, 툴륨 캐핑, 인듐 단독 캐핑, 안티몬 캐핑, 비스무트 캐핑, 아연 캐핑, 비소 캐핑, 은 캐핑, 스트론튬 캐핑, 카드뮴 캐핑, 갈륨 캐핑, 납 캐핑, 나트륨 캐핑, 또는 텔루륨 캐핑이다.
- [0060] 예를 들어, 캐핑 또는 캐핑층(5)은, 바람직하게는 낮은 증발/승화 온도(증발/승화의 개시가 시작되는 온도를 의미함)를 갖는 금속계 캐핑 또는 캐핑층(ZnO 또는 GaN 등의 2원계나 3원계 합금이 아님)이다. 이는, 예를 들어 (약) 1×10^{-4} Torr 또는 1.33×10^{-2} Pa의 캐핑 상에 가해지는 압력에서 200℃ 초과 600℃ 미만, 또는 (약) 1×10^{-8} Torr 또는 1.33×10^{-6} Pa의 압력에서 100℃ 초과 500℃ 미만의 온도이다.
- [0061] 캐핑층(5)은 도핑된 회토류 질화물 재료 또는 회토류 질화물 재료를 갖는 에피택셜일 수 있다. 캐핑층(5)은 도핑된 회토류 질화물 재료 또는 회토류 질화물 재료를 갖는 다결정 또는 비정질일 수 있다.
- [0062] 따라서, 캐핑(5)은 에피택셜 캐핑층이나, 다결정 또는 비정질 캐핑층일 수 있다.
- [0063] 캐핑 또는 캐핑층의 두께는, 바람직하게는 약 1 내지 200nm, 예를 들어, 120 내지 150nm 또는 약 40 내지 50nm이다. 가능한 한 얇은 것이 바람직하지만, 200nm보다 큰 두께도 기술적으로 효과가 있다.
- [0064] 회토류 질화물은, 예를 들어, 질화 란탄(LaN), 질화 프라세오디뮴(PrN), 질화 네오디뮴(NdN), 질화 사마륨(SmN), 질화 유로퓸(EuN), 질화 가돌리늄(GdN), 질화 테르븀(TbN), 질화 디스프로슘(DyN), 질화 홀름(HoN), 질화 에르븀(ErN), 질화 툴륨(TmN), 질화 이테르븀(YbN), 또는 질화 루테튬(LuN), 및 그의 둘 이상의 합금으로 이루어진 군으로부터 선택된다.
- [0065] 회토류 질화물 재료(3)는 질화 란탄(LaN), 질화 프라세오디뮴(PrN), 질화 네오디뮴(NdN), 질화 사마륨(SmN), 질화 유로퓸(EuN), 질화 가돌리늄(GdN), 질화 테르븀(TbN), 질화 디스프로슘(DyN), 질화 홀름(HoN), 질화 에르븀(ErN), 질화 툴륨(TmN), 질화 이테르븀(YbN), 및 질화 루테튬(LuN)의 군으로부터 선택된 회토류 질화물을 포함하거나 단독으로 이것으로 이루어질 수 있다.
- [0066] 회토류 질화물 재료(3)는 질화 란탄(LaN), 질화 프라세오디뮴(PrN), 질화 네오디뮴(NdN), 질화 사마륨(SmN), 질화 유로퓸(EuN), 질화 가돌리늄(GdN), 질화 테르븀(TbN), 질화 디스프로슘(DyN), 질화 홀름(HoN), 질화 에르븀(ErN), 질화 툴륨(TmN), 질화 이테르븀(YbN), 또는 질화 루테튬(LuN)을 포함하거나 단독으로 이것으로 이루어질 수 있다.
- [0067] 회토류 질화물 재료(3)는 질화 란탄(LaN), 질화 프라세오디뮴(PrN), 질화 네오디뮴(NdN), 질화 사마륨(SmN), 질화 유로퓸(EuN), 질화 가돌리늄(GdN), 질화 테르븀(TbN), 질화 디스프로슘(DyN), 질화 홀름(HoN), 질화 에르븀(ErN), 질화 툴륨(TmN), 질화 이테르븀(YbN), 및 질화 루테튬(LuN)의 군으로부터 선택된 회토류 질화물 중 임의의 2종 이상의 회토류 질화물 합금을 추가로 포함할 수 있다.
- [0068] 회토류 질화물 재료(3)는 질화 란탄(LaN), 질화 프라세오디뮴(PrN), 질화 네오디뮴(NdN), 질화 사마륨(SmN), 질화 유로퓸(EuN), 질화 가돌리늄(GdN), 질화 테르븀(TbN), 질화 디스프로슘(DyN), 질화 홀름(HoN), 질화 에르븀(ErN), 질화 툴륨(TmN), 질화 이테르븀(YbN), 및 질화 루테튬(LuN)의 군으로부터 선택된 회토류 질화물 중 임의의 2종 이상의 회토류 질화물 합금을 포함하거나 단독으로 이것으로 이루어질 수 있다.
- [0069] 회토류 질화물 재료(3)는 질화 란탄(LaN), 질화 프라세오디뮴(PrN), 질화 네오디뮴(NdN), 질화 사마륨(SmN), 질화 유로퓸(EuN), 질화 가돌리늄(GdN), 질화 테르븀(TbN), 질화 디스프로슘(DyN), 질화 홀름(HoN), 질화 에르븀(ErN), 질화 툴륨(TmN), 질화 이테르븀(YbN), 및 질화 루테튬(LuN)의 회토류 질화물 중 임의의 2종 이상의 회토류 질화물 합금을 추가로 포함할 수 있다.
- [0070] 회토류 질화물 재료(3)는 질화 란탄(LaN), 질화 프라세오디뮴(PrN), 질화 네오디뮴(NdN), 질화 사마륨(SmN), 질화 유로퓸(EuN), 질화 가돌리늄(GdN), 질화 테르븀(TbN), 질화 디스프로슘(DyN), 질화 홀름(HoN), 질화 에르븀(ErN), 질화 툴륨(TmN), 질화 이테르븀(YbN), 또는 질화 루테튬(LuN)의 회토류 질화물 중 임의의 2종 이상의 회

회토류 질화물 합금을 추가로 포함하거나 단독으로 이것으로 이루어질 수 있다.

- [0071] 회토류 질화물 재료(3)는 베릴륨, 마그네슘, 칼슘, 스트론튬, 바륨 및 라듐으로 이루어진 주기율표에서 칼륨/II-족 으로부터의 화학 원소로 도핑될 수 있다.
- [0072] 회토류 질화물 재료(3)는, 예를 들어 회토류 질화물 층 또는 합금의 연속적인 하나 이상의 층으로 만들어질 수 있다.
- [0073] 회토류 질화물 재료 또는 도핑된 회토류 질화물 재료는 박막이다. 막의 두께는 전형적으로 약 1 내지 2000nm이다.
- [0074] 회토류 질화물 재료(3)는 하나 이상의 층 또는 연속적인 다층을 포함하거나 이것으로 이루어질 수 있다.
- [0075] 하나 이상의 층 또는 다층은 회토류 질화물 및/또는 회토류 질화물의 합금을 포함하거나 이것으로 이루어지며, 따라서, 회토류 질화물 층은 임의로 도핑된 회토류 질화물 층일 수 있다.
- [0076] 회토류 질화물 재료(3)는, 예를 들어 캐핑층(5)이 그 위에 증착되거나 배치되는 초격자일 수 있다.
- [0077] 도핑된 또는 도핑되지 않은 회토류 질화물 재료(3)는 에피택셜층일 수 있다. 대안적으로, 도핑되거나 도핑되지 않은 회토류 질화물 재료(3)는 다결정 또는 비정질층일 수 있다.
- [0078] 구조체 또는 소자(1)는 에피택셜 구조체 또는 소자, 다결정 구조체 또는 소자, 또는 비정질 구조체 또는 소자일 수 있다. 구조체 또는 소자(1)는 다층 구조체 또는 다층 소자일 수 있으며, 에피택셜 다층 구조체 또는 다층 소자, 다결정 다층 구조체 또는 다층 소자, 또는 비정질 다층 구조체 또는 다층 소자일 수 있다.
- [0079] 그러나, 구조체(1)는 도 1에 도시된 실시예로 한정되지 않으며, 예를 들어 상부층이 캐핑층(5)을 필요로 하는 회토류 질화물 재료(3)인 헤테로 구조체 같은 여러 종류의 상이한 재료로 만들어지거나, 이를 더 포함할 수 있다. 예를 들어, 회토류 질화물을 포함하거나 포함하지 않을 수 있는 상이한 재료의 하나 이상의 층 또는 재료가 템플레이트(7) 또는 기판(9)과 회토류 질화물 층 또는 회토류 질화물 재료(3) 사이에 존재한다.
- [0080] 예를 들어, 구조체 또는 소자(1)는 스핀-발광 다이오드(spin-light emitting diode(LED))일 수 있으며, 여기서 LED 활성 부분 또는 영역은 GaN계일 수 있고, 스핀 주입 영역(3)은 질화 가돌리늄 층(3)으로 만들어지거나, 질화 가돌리늄을 포함할 수 있다. (하나 이상의 층을 포함할 수 있는) LED 활성 부분 또는 영역은, 예를 들어 템플레이트(7) 또는 기판(9)과 스핀 주입 영역(3) 사이에 존재한다. 캐핑층(5)은 스핀 주입 영역(3)을 덮거나, 층 또는 재료(3)와 직접 접촉한다.
- [0081] 따라서, 구조체 또는 소자(1)는 기판 또는 템플레이트와 회토류 질화물 재료(3) 사이에 배치된 하나 이상의 추가 광 또는 전기 활성층(들) 또는 영역을 포함할 수 있다.
- [0082] 대안적으로, 구조체 또는 소자(1)는 도 1b에 도시된 바와 같이, REN 재료 또는 층(들)(3)/비-REN 재료 또는 층(들)(15)/REN 재료 또는 층(들)(17)을 포함하거나 이것으로 이루어지는 삼층 초격자일 수 있다. 삼층 초격자 형태는, 예를 들어 조셉슨 접합 또는 자기 터널 접합일 수 있다.
- [0083] 또한, 캐핑(5)은 회토류 질화물 재료 층 상에 증착된 캐핑층일 수도 있다.
- [0084] 상기 예는 비제한적인 예이며, 본 발명은 캐핑층(5)이 증착 또는 형성되는 회토류 질화물 재료(3)를 포함하거나 이것으로 이루어지는 임의의 구조체 또는 소자(1)에 관한 것이다.
- [0085] 제거 가능한 패시베이션 캐핑(5)을 포함하는 회토류 질화물 구조체(1) 또는 회토류 질화물 소자(1)의 제조 방법은 회토류 질화물 재료(3)를 제공하는 단계, 및 회토류 질화물 재료(3)를 패시베이션하기 위한 제거 가능한 캐핑(5)을 증착하는 단계를 포함한다.
- [0086] 예시적인 일 실시예에 따르면, 에피택셜 사마륨(Sm) 막(5)으로 캐핑된 에피택셜 가돌리늄 질화물(GdN) 막(3)은 종래의 Gd 및 Sm 증발 셀(evaporation cell)을 구비한 분자 빔 에피택시 시스템에서 성장하였다.
- [0087] 준수용(as-received) Gd 및 Sm 고체 충전물의 순도는 3N이었다. GdN의 성장을 위해 사용한 질소 전구체는 순수 분자 질소(N₂) 가스였다. N₂의 순도는 4N 이상이였다. 에피택셜 GdN 막(3)의 성장 및 에피택셜 Sm 막(5)에 의한 캐핑은, (111) 평면을 따라 배향된 탈산 실리콘 기판(9) 상에 성장한 100nm 내지 200nm 두께의 AlN 버퍼층(11) 상에서 수행하였다.
- [0088] GdN 막(3)은 650 내지 700℃의 기판 온도로 1×10^{-4} Torr의 질소 분압 하에서 약 60nm/시간의 성장 속도로 성장

하였다. GdN 막(3)의 두께는 약 30nm이었다. GdN 막(3)은 공기 중에서 분해를 방지하기 위해 80nm 두께의 에피택셜(epitaxial) Sm 층으로 캐핑하였다. Sm 층(5)은 실온에서, 전형적으로 약 30℃의 온도에서 약 150nm/시간의 증착 속도로 성장하였다. 성장 동안 압력은 1×10^{-7} Torr로 측정되었다. 층의 두께는 주사 전자 현미경 및 X-선 반사율을 포함하는 조합형 현장의 측정(ex-situ measurements)에 의해서 결정하였다.

- [0089] 이 실시예에서 캐핑층은 주위 온도에서 증착되지만, 대안적으로 고온에서 증착될 수도 있다. 상승 온도의 값은 재료에 따라 다르다.
- [0090] 상기 예에서 REN 층(3)은 에피택셜이지만, 이러한 성장 공정을 이용하여 층(3)을 다결정 또는 비정질로 만들 수도 있다.
- [0091] 다결정 또는 비정질 REN 층은, 예를 들어 실온 또는 약 400℃보다 낮은 온도에서 증착할 경우 얻을 수 있다. 다결정 또는 비정질 REN 층은, 예를 들어 다결정 또는 비정질 기판이나 템플레이트 상에 증착할 경우 얻을 수 있다. 이어지는 캐핑층의 성장은 비정질 또는 다결정 캐핑층을 결과로 생성한다.
- [0092] 바람직하게는, 캐핑층(5)은 금속계 층이다. 다음에, 에피택셜 성장은 금속 흡착 원자의 높은 표면 확산으로 인해 실온에서 수행된다.
- [0093] 상기 예는 Sm 캐핑에 관한 것이다. 전술한 다른 캐핑층 재료는 당업자에게 공지된 진공 및 초고진공 기술에 이용하여 증착할 수 있다. 적절한 기술은, 한정되지 않으나, 펄스 레이저 증착 (pulsed laser deposition, PLD) 및 DC/RF 마그네트론 스퍼터링, 열증발 (thermal evaporation) 및 분자 빔 에피택시 (molecular beam epitaxy, MBE)를 비롯한 물리적 기상 증착(physical vapour deposition, PVD)을 포함한다. 한정되지 않으나, 금속유기 화학 기상 증착(metalorganic chemical vapour deposition, MOCVD)을 포함한 그 밖의 기술도 이용할 수 있다. 캐핑층 소스는 성장 표면에서 기체 원자 또는 분자를 제공할 수 있는 물질이다. 성장 속도는 전형적으로 약 1μm/시간 이하이다.
- [0094] 도 1a는 실리콘(9) 상에 증착된 AlN 버퍼층(11)을 포함하는, 기판 또는 템플레이트 상의 GdN(3)의 에피택셜 층 상에 증착된 사마륨 에피택셜 층(5)의 구조를 도시하는 개략적인 단면도이다.
- [0095] Sm 층(5)의 에피택셜 문자 순서/품질은 반사 고에너지 회절(reflection high energy diffraction, RHEED) 및 X-선 회절 비대칭 파이-스캔에 의해 평가한다. 도 2는 Sm <1-210> 방향 (a), 및 Sm <1-100> 방향 (b)을 따라 RHEED 패턴을 도시하고, 도 3은 각각 AlN 및 GdN 층의 (10-12) 및 (002) 반사와 함께 (10-12) Sm 반사의 비대칭 파이-스캔을 도시한다. 측정은 주위 온도에서 수행한다. 이들 측정값으로부터 추론한 에피택셜 관계는 Sm (0001) || GdN (111) || AlN (0001) 및 Sm1-210> || AlN <1-210>이다.
- [0096] X-레이 회절 비대칭 파이-스캔은 분자 빔 에피택시 시스템으로부터 샘플을 제거한 후, 현장외에서 수행하였다. 다음에, 캐핑층(5)을 제거하기 위해 샘플의 일부를 분자 빔 에피택시 시스템에 다시 도입하였다.
- [0097] 희토류 질화물 재료(3)를 패시베이션하기 위한 캐핑(5)을 제거하는 방법은 희토류 질화물 재료 및 희토류 질화물 재료를 패시베이션하기 위한 제거 가능한 캐핑(5)을 포함하는 구조체 또는 소자를 제공하는 단계, 및 예를 들어 초고 진공을 포함한 진공 하에 증발 또는 승화에 의해서 캐핑(5)을 제거하는 단계를 포함한다.
- [0098] 예시적인 일 실시예에 따르면, Sm 에피택셜 캐핑층(5)은 초고 진공 환경 내에서 샘플을 가열함으로써 제거된다. 샘플은 균일하게 가열한다. 진공 시스템 또는 챔버 내의 압력은 전형적으로 약 5×10^{-8} Torr이었다. 샘플은 500-550℃의 온도에서 약 45분 동안 가열하였다.
- [0099] 이 특정 예에서 진공 시스템 내의 압력은 전형적으로 약 5×10^{-8} Torr이었다. 진공 시스템 내의 압력은, 바람직하게는 약 10^{-3} Torr 이하, 보다 바람직하게는 10^{-5} Torr 이하이다. 샘플은 실온까지 냉각하여, 대체 질화 갈륨(GaN) 캐핑층(5b)을 베어(bare)/잔여 GdN 층(3) 상에 증착하였다. 다결정 GaN 캐핑층(5b)은 40nm의 두께를 갖는다. 새로운 구조체(1b)가 도 4에 개략적으로 도시되어 있다.
- [0100] 예시적인 실시예에서 캐핑층(5)은 공기에 노출된 후에 제거된다. 그러나, 이는 진공 또는 불활성 가스의 분위기 하에 유지된 구조체(1) 상에서 수행할 수 있다.
- [0101] 캐핑층(5)은 고온에서 제거된다. 온도는 고려한 재료의 증발/승화 온도 또는 그보다 높은 온도에 해당한다. 선택한 증발/승화 값의 온도는 챔버 내의 압력의 함수임을 주목해야 한다.

- [0102] 캐핑층은 진공 또는 초고 진공 시스템에서 일어나는 증발 또는 승화에 의해서 제거된다. 진공 시스템 내의 압력은 전형적으로 약 10^{-3} Torr 이하이다.
- [0103] 제거 공정은, 유리하게는 하부 회토류 질화물 재료 또는 층(3)의 구조, 전기 또는 광 특성을 수정하지 않는다.
- [0104] 상기 예는 Sm 캐핑의 제거에 관한 것이다. 전술한 다른 금속계 캐핑의 제거 역시 증발/승화 공정에 의해서 수행한다. 캐핑층은 구조체를 가열함으로써 제거된다.
- [0105] (Sm을 포함한) 모든 경우에, 구조체의 가열은, 예를 들어 (약) 1×10^{-4} Torr 또는 1.33×10^{-2} Torr의 캐핑 상에 가해지는 압력에서 200°C 초과 600°C 미만의 온도, 또는 (약) 1×10^{-8} Torr 또는 1.33×10^{-6} Pa의 압력에서 100°C 초과 500°C 미만의 온도에서 수행한다.
- [0106] 또한, 본 발명은 상기 제거방법에 의해 제조된 캐핑리스 구조체(capping-less structure) 및, 이 캐핑리스 구조체 상에 추가로 층을 증착시킴으로써 제조된 구조체 또는 소자에 관한 것이다.
- [0107] 도 5는 Sm/GdN/AlN/Si(111) (하부 곡선), 및 Sm 캐핑층(5)이 제거되고 GaN 캐핑층 (상부 곡선)으로 다시 캐핑된 Sm/GdN/AlN/Si(111)를 포함하는 초기 구조체로 형성된 구조체를 포함하는 준성장 구조체(1)의 오메가-2세타 스캔을 도시한다. Sm이 제거된 구조체의 오메가-2세타 스캔은 사마륨과 관련된 어떤 피크와 반사도 보이지 않는다. 또한, (111) GdN 반사의 최대값의 반에서의 최대 폭(full width at half maximum, FWHM)과 각위치 (angle position)는 증발 공정 전후에 비교 가능하다.
- [0108] 회토류 질화물 재료(GdN)와 초기 Sm 캐핑층(5) 및 이어서 GaN 캐핑층의 면외 격자 상수(층의 표면에 수직인 방향을 따르는 격자 상수)는 브래그-브렌타노(Bragg-Brentano) 조건 내에서 종래의 오메가-2세타 스캔을 사용하여 얻은 도 5의 X선 회절 데이터를 이용하여 결정하였다. Sm 캐핑층을 제거하기 전에, GdN에 대해 결정되거나 추출된 격자 상수는 $c = 0.498560\text{nm}$ 이고, 다시 캐핑된 GaN 캐핑층으로 제거한 후에는 $c = 0.498377\text{nm}$ 이며, 또는 -0.04%만큼 낮은 변화로, 이는 제거 공정이 회토류 질화물 재료(GdN)의 구조 파라미터를 (크게) 변화시키지 않았음을 강조하는 것이다.
- [0109] 오메가-2세타 스캔은, 예를 들어 (2세타에서 회절된 x선이 검출되는 각도가 대칭 브래그-브렌타노 기하학에서 입사각(오메가) 비율의 2배로 변화함으로써, (산란 벡터가 항상 샘플 표면에 수직으로 향하는) 프로세스로서 설명할 수 있다. 오메가-2세타 또는 2세타-오메가는 데이터가 어떤 각도로 그려지는지를 특정한다. 도 5는 2세타-오메가로 그려져 있다.
- [0110] 데이터를 얻는데 사용한 장비는 45kV의 작동 전압과, 40mA의 전류를 갖는 Cu Ka 방사를 사용하는 PANalytical Xpert Pro 회절계이다.
- [0111] 측정값은 상온, 예를 들어 (약) 20°C에서 얻어진다.
- [0112] 회절 피크의 각위치는 브래그의 법칙을 이용하여 결정학적 구조체 내에서 평행한 평면 사이의 거리, 따라서 격자 상수를 결정할 수 있게 한다. 이 결정에 대한 세부 사항은 William H. Zachariasen, Dover Publications, 1995에 의한 Theory of X-Ray Diffraction in Crystals (결정내 X선 회절 이론)에서 찾아 볼 수 있다.
- [0113] 예를 들어, 피크 중심은 가령, 의사-포이트 함수(pseudo-voigt function) 같은 피크 모델로 데이터를 적합화(fitting)시킴으로써 얻어지는 격자 상수를 결정하는데 사용한다.
- [0114] 도 6a 및 도 6b에 도시된 자화 곡선은, Sm/GdN/AlN/Si(111)를 포함하는 준성장 구조체(1)에서 GdN 층(3)의 자기 특성이, Sm 캐핑층(5)이 제거되고 GaN 캐핑층으로 다시 캐핑된 Sm/GdN/AlN/Si(111)를 포함하는 초기 구조체로 형성된 구조체의 자기 특성과 실질적으로 동일함을 보여준다.
- [0115] 도 6(a)는 Sm/GdN/AlN/Si(111) (실선 곡선)을 포함하는 준성장 구조체, 및 Sm 캐핑층이 제거되고 GaN 캐핑층(점선 곡선)으로 다시 캐핑된, Sm/GdN/AlN/Si(111)를 포함하는 초기 구조체로 형성된 구조체의 250 Oe의 인가 전계 하에서 면내 전계 냉각식 자화(in-plane field-cooled(FC) magnetization)를 도시한다. 큐리 온도는 GdN 박막 당 약 70K이다.
- [0116] 도 6(b)는 Sm/GdN/AlN/Si(111)를 포함하는 준성장 구조체, 및 Sm 캐핑층이 제거되고 GaN 캐핑층으로 다시 캐핑된, Sm/GdN/AlN/Si(111)를 포함하는 초기 구조체로 형성된 구조체의 5K에서의 전계 의존 자화를 도시한다. 자기 모멘트는 가돌리늄 이온 당 약 6.5 보어 마그네톤, 및 GdN막 당 약 250 Oe의 보자력 제자이다.

[0117]

본원에서 설명한 소자, 방법 및 기술의 다양한 측면은 단독으로, 조합하여, 또는 이전의 설명에서 서술한 실시예에서 구체적으로 논의하지 않은 다양한 배열로 사용할 수 있으며, 따라서, 그의 응용이 이전의 설명 또는 도면에 도시된 구성요소의 세부 사항 및 배열로 제한되지 않는다. 예를 들어, 일 실시예에서 설명한 측면은 다른 실시예들에서 설명한 측면과 임의의 방식으로 조합될 수 있다. 특정의 바람직한 실시예를 참조하여 본 발명을 개시하였지만, 본 발명의 영역 및 범위를 벗어남이 없이 설명한 실시예 및 그의 균등물에 대한 다수의 수정, 변경 및 변화가 가능하다. 특히, 임의의 일 실시예의 특징은 임의의 다른 실시예의 특징과 조합할 수 있다. 따라서, 본 발명은 설명한 실시예들로 한정되지 않으며, 첨부한 청구범위의 언어에 따라 가장 넓고 합리적으로 해석해야 한다.

도면

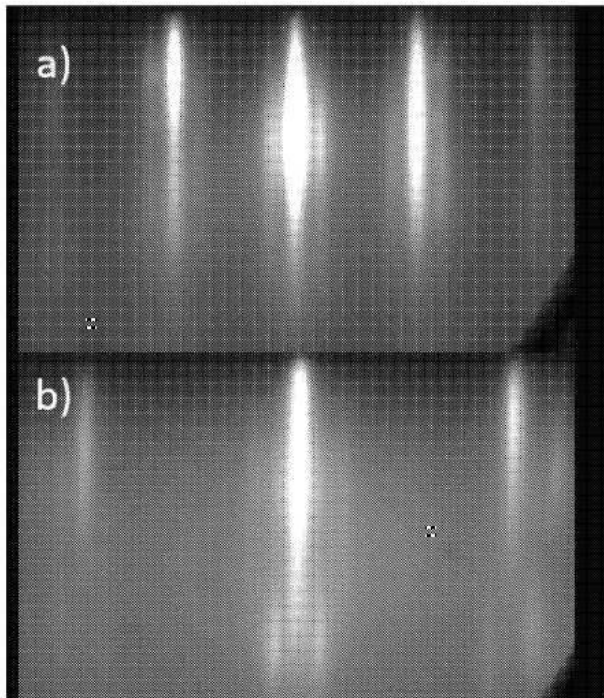
도면1a

1	Sm 캐핑층	5	7
	GdN-희토류 질화물 재료	3	
	AlN	11	
	실리콘 기판	9	

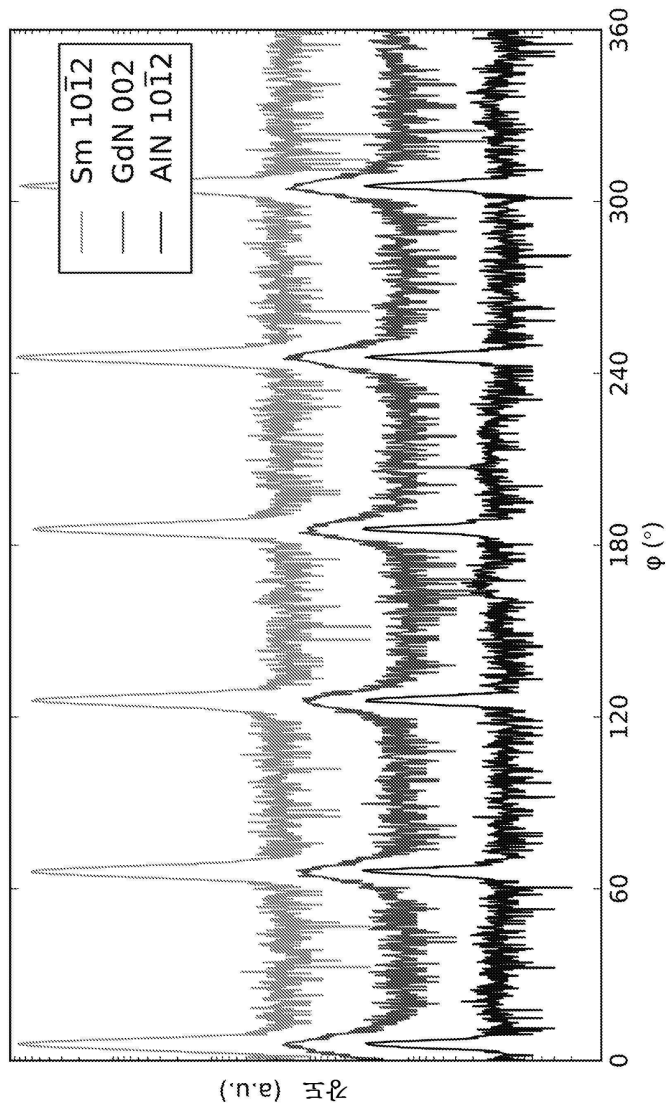
도면1b

1	캐핑층	5
	희토류 질화물 재료	3
	비-희토류 질화물 재료	15
	희토류 질화물 재료	17
	9 or 7	

도면2



도면3

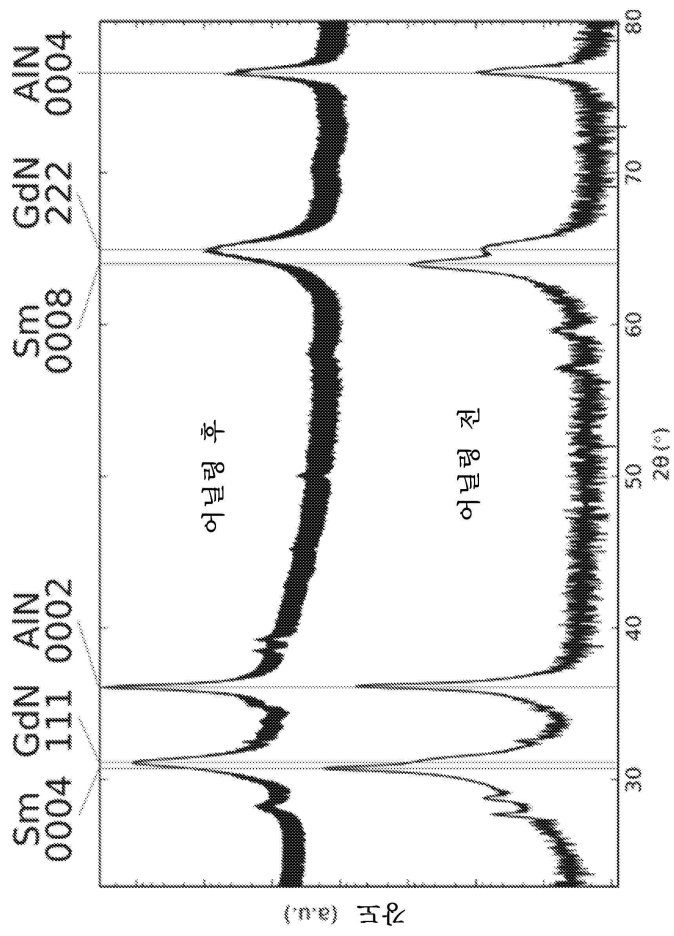


도면4

1b	GaN 캐핑층	5b
	GdN-희토류 질화물 재료	3
	AlN	11
	실리콘 기판	9

7

도면5



도면6

