

(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.
H01L 21/20 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2006-0043770
(43) 공개일자 2006년05월15일

(21) 출원번호 10-2005-0022331
(22) 출원일자 2005년03월17일

(30) 우선권주장 JP-P-2004-00075674 2004년03월17일 일본(JP)
JP-P-2004-00276337 2004년09월24일 일본(JP)

(71) 출원인 스미토모덴키고교가부시키가이샤
일본 오사카후 오사카시 쥬오쿠 기타하마 4쵸메 5반33고

(72) 발명자 가사이 히토시
일본 효고켄 이타미시 고야키타 1-1-1 스미토모 덴키 고교가부시키가
이샤 이타미 세이사쿠쇼 나이
모토키 겐사쿠
일본 효고켄 이타미시 고야키타 1-1-1 스미토모 덴키 고교가부시키가
이샤 이타미 세이사쿠쇼 나이

(74) 대리인 김진환
김두규

심사청구 : 없음

(54) GaN 단결정 기판의 제조 방법 및 GaN 단결정 기판

요약

본 발명은 (0001) 저스트가 아니고 (0001)로부터 벗어난 결정 방위를 갖는 오프각의 GaN 단결정 자립 기판을 보다 저비용으로 제작하는 것을 목적으로 한다.

오프각의(111) GaAs 웨이퍼를 기초 기판으로 하여, 그 위에 GaN을 기상 성장시키면 기초 기판과 동일한 오프각으로 동일한 방향으로 기울어져 있는 GaN 결정이 성장한다. 또한, 오프 각도를 갖는 (111) GaAs 기판을 기초 기판으로서 이용하여, 그 위에 복수의 창을 갖는 마스크를 형성하여, 그 위에서부터 GaN 단결정층을 성장시킨 후, 기초 기판을 제거하여 오프 각도를 갖는 GaN 자립 기판을 제작하더라도 좋다. 0.1°~ 25°의 오프각을 갖는 GaN 결정을 제조할 수 있다.

대표도

도 4

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명에서 GaAs 기판상에 ELO 마스크로서 형성하는 ELO 마스크 패턴의 도면. 패턴 A는 평행하게 신장하는 개 구부의 폭이 $2 \mu\text{m}$ 이고 차폐부의 폭이 $6 \mu\text{m}$ 이며 피치가 $8 \mu\text{m}$ 인 스트라이프 패턴이다. 패턴 B는 한변이 $4 \mu\text{m}$ 인 정삼각형을 깔아 채운 반복 정삼각형의 정점에 한변이 $2 \mu\text{m}$ 인 정방형의 창을 연 것이다.

도 2는 핫월형(hot-wall) 반응로의 상부에 Ga 저장소를, 하부에 기초 기판(웨이퍼)을 둔 서셉터를 설치하고, 주위에 있는 히터로 Ga 저장소와 기초 기판을 가열한 상태에서, 상측으로부터 수소 희석 HCl을 불어넣어 Ga와 반응시켜 GaCl을 생성하고 GaCl과 NH_3 을 반응시켜 기초 기판 위에 GaN을 성장시키는 HVPE법을 설명하는 도면.

도 3은 오프각 GaAs 기초 기판 위에 마스크를 형성하여 마스크를 통해서 GaN을 기상 성장시킨 후에 오프각 GaAs 기초 기판과 마스크를 제거함으로써 오프각 GaN 결정을 얻도록 한 실시예 1, 2의 제조 공정의 설명도와, 그렇게 하여 만든 오프각 GaN 결정을 기초 기판으로 하여 그 위에 GaN을 에피택셜 성장시켜 두꺼운 오프각 GaN 결정을 만들고 그것을 얇게 슬라이스하여 다수의 오프각 GaN을 만드는 실시예 4의 제조 공정의 설명도와, 오프각 GaAs 기초 기판에 저온 성장 GaN 베퍼층을 붙이고 추가로 마스크를 붙여 GaN을 두껍게 에피택셜 성장시킨 후에 오프각 GaAs 기초 기판과 마스크를 제거하여 오프각 GaN 결정 기판을 얻도록 한 실시예 3의 제조 공정의 설명도.

도 4는 오프각 (111) GaAs 기초 기판 위에 기상 성장에 의해서 오프각 GaN 결정을 두껍게 성장시킨 후, GaAs 기초 기판을 제거하여, 성장축선에 직각 방향으로 절단하여 낭비없이 오프각의 GaN 결정 웨이퍼를 얻도록 한 본 발명의 이점을 설명하기 위한 도면.

도 5는 GaN의 결정 구조를 도시하는 원자모형도.

도 6은 GaAs의 결정 구조를 도시하는 원자모형도.

<도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>

2 : 반응로

3 : Ga 보트

4 : 서셉터

5 : GaAs 기판

6 : 히터

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 3-5족 화합물 반도체로 이루어지는 발광 다이오드나 반도체 레이저 등의 발광 디바이스 등의 기판으로서 이용되는 질화갈륨(GaN) 단결정 기판의 제조 방법에 관한 것이다.

질화물 반도체를 이용한 발광 디바이스는 청색 LED를 시작으로, 이미 실용화가 이루어져 있다. 종래부터, 질화물 반도체를 이용한 발광 디바이스는 거의 예외없이 기판으로서 사파이어가 이용되어 왔다. 사파이어 기판 위에 질화갈륨 결정 박막이 양호하게 성장한다. 사파이어 기판은 견고하고 기계적 강도도 충분하다. 사파이어 기판상에 성장한 질화갈륨 박막은 결함이 많지만, 그럼에도 불구하고 발광한다. 결함이 증식하여 열화하는 일도 없다. 사파이어는 질화물 반도체 박막 성장을 위한 우수한 기판 재료이다.

그러나 사파이어 기판에는 문제도 있다. 사파이어에는 벽개성이 없다. 사파이어는 절연체이다. 질화갈륨과 격자 부정합으로 미스매치가 크다. 사파이어 기판을 이용한 질화물계 반도체 발광 소자에는 그와 같은 문제가 있다.

발광 다이오드의 경우는 다이싱 공정에서는 벽개성이 없기 때문에 수율이 오르지 않고 비용 상승을 초래하고 있었다. 반도체 레이저의 경우는 벽개에 의해서 양호한 공진기 반사면을 제작할 수 없어 레이저 특성 등 품질면에서 문제가 있었다.

사파이어는 절연체이기 때문에 통상의 LED와 같이 디바이스칩의 상하면에 전극을 설치할 수 없다. 사파이어 기판 위에 n 전극용의 n형 GaN층을 붙여 두고, 그 위에 GaN층, InGaN층 등을 에피택셜 성장시킨 후, 단부를 n형 GaN층까지 에칭하여 n형 GaN층을 노출시키고, 그 위에 n 전극을 형성하고 있었다. 그것은 공정수, 공정 시간을 증대시켜 비용 상승을 초래하고 있었다.

또한 동일면(표면측)에 2개의 전극을 나란히 설치할 필요가 있기 때문에 넓은 칩면적이 필요하게 된다. 그것도 비용을 끌어올린다.

사파이어와 질화갈륨은 격자 정수가 상당히 다르기 때문에 기판과 에피택셜층 사이의 격자 정수의 미스매치에 의해서, 에피택셜층 내에 많은 전위 등 결함이 도입된다고 하는 문제도 있었다.

실제로, 현재 시판되고 있는 사파이어 기판을 이용한 발광 디바이스의 질화갈륨 에피택셜층 내에는 $1 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ 정도의 고밀도 전위가 존재한다. 사파이어보다 격자의 미스매치가 적은 SiC 기판을 이용하여, 그 위에 질화갈륨을 성장시킨 경우도 그 정도의 전위 밀도가 있어, 그다지 개선이 되지 않는다.

그와 같은 고밀도 전위의 존재는 LED로서는 실용상 큰 장해가 되고 있지 않다. 전위로부터 결함이 증대, 증식을 한다고 하는 일은 없다. 그러나 반도체 레이저는 전류 밀도가 높기 때문에, 이들의 결함이 반도체 레이저의 장기 수명화를 저지하는 원인이라고 생각되고 있다. 즉 반도체 레이저의 경우는 보다 미스매치가 작은 기판이 요구된다. LED용의 기판으로서도 LED가 고출력화함으로써 보다 저전위의 에피택셜층이 요구될 것이라고 생각된다.

질화물계 반도체 박막을 성장시키기 위해 가장 이상적인 기판은 질화갈륨(GaN) 결정 기판이라고 생각된다. 만일 고품질의 질화갈륨 결정 기판을 얻을 수 있으면, 기판과 박막의 격자 정수의 미스매치의 문제는 해결할 수 있다. 질화갈륨 결정은 명확한 벽개성을 갖고 있어, 레이저 공진기의 반사경으로서 자연 벽개면을 사용할 수 있다. 또한 사파이어와 같이 절연체가 아니고 질화갈륨은 반도체이기 때문에 기판 저면에 전극을 붙일 수 있어 칩면적을 감축할 수 있다. 그와 같이 질화갈륨 결정 기판이 질화물계 반도체 박막 성장의 기초 기판으로서 최적이라고 생각된다.

그러나 그럼에도 불구하고, 현재에도 기초 기판으로서는 사파이어 기판이 거의 독점적으로 이용되고 있다. 그것은 한편으로는 고품질로 실용적인 크기를 갖은 질화갈륨 자립 결정 기판을 여간해서 제조할 수 없기 때문이다.

초고압 초고온으로 GaN을 용융할 수 있고 용액으로부터 결정 성장할 수 있지만, 그것은 소립의 결정립밖에 제조할 수 없고 대구경의 것을 만드는 것은 현재도 가능하지 않다.

GaN을 용융 상태로 하는 것이 어렵기 때문에 기체 원료를 기상으로 반응시키는 기상 성장법에 의해서 질화갈륨 결정을 만들고 있다. 이종 결정 기판 위에, 기상 합성에 의해서 질화갈륨 박막을 성장시킨다고 하는 원래의 박막 성장에 사용된 방법을 기판의 성장법에 전용하는 것이다.

GaN 박막의 기상 성장법으로서는 HVPE법, 승화법, MOC법, MOCVD법 등이 알려져 있다.

(1) HVPE법(Hydride Vapor Phase Epitaxy)은 핫월형의 반응로의 상측에 Ga 금속을 넣은 용기를 설치하고 하측에는 서셉터를 설치하여 서셉터 위에 기초 기판을 두고, 반응로의 전체를 가열한 상태에서, 상측으로부터 수소로 희석된 HCl 가스를 Ga 용기에 불어넣어 $2\text{Ga} + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{GaCl} + \text{H}_2$ 의 반응에 의해서 GaCl의 기체를 합성하고, 그것이 서셉터의 가까이까지 하강했을 때에 수소로 희석한 NH₃ 가스를 불어넣어 $2\text{GaCl} + 2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{GaN} + 3\text{H}_2$ 의 반응을 일으켜 가열된 기초 기판 위에 GaN 결정을 적층하는 것이다.

(2) 승화법은 기초 기판을 반응로 위에 하향으로 고정하고, GaN 다결정을 반응로의 아래에 있어서 하측이 보다 고온이 되고 상측이 보다 저온이 되는 온도 구배를 반응로에 형성하여 다결정이 기화 상승하여 기초 기판 위에 조금씩 퇴적하여 단결정 박막이 생긴다.

(3) MOCVD(Metal-organic Chemical Vapor Deposition)법은 콜드월 형(cold-wall) 반응로의 하측에 서셉터를 설치하여, 그 위에 기초 기판을 두고, 서셉터를 가열해 둔 상태에서, 상측으로부터 수소 가스를 캐리어 가스로서 트리메틸갈륨(TMГ), 트리에틸갈륨(TEG)과 NH₃ 가스를 불어넣어 (CH₃)₃Ga + NH₃ → GaN + 3CH₄의 기상 반응을 일으켜, 기초 기판 위에 GaN 결정을 퇴적한다. 현재, 사파이어 기판 위에 질화물계 반도체 박막을 성장시키는 방법으로서 가장 보통으로 사용되고 있는 방법이다. 유기 금속을 원료로 하기 때문에, 이런 이름이 있다. 그러나, 이것은 탄소를 포함하는 재료를 NH₃과 직접 반응시키기 때문에 GaN에 탄소가 혼입하여 탄소 때문에 노랗게 물이 들거나 깊은 도너 준위가 생기거나 하여 그다지 좋지 않은 방법이라고 본 출원인은 생각한다.

(4) MOC(Metallorganic Chloride)법은 Ga의 원료로서 유기 금속을 사용하는 것이지만, 직접 NH₃과 반응시키지 않고 일단 HCl과 반응시켜 GaCl을 중간 생성물로서 합성하고, 그 후 NH₃과 반응시켜 GaN으로 하는 것이다. MOC법은 본 출원인의 독특한 수법으로서 다른 유례를 보지 않는다. MOCVD법보다 우수한 점은 중간 생성물로서 GaCl을 만들기 때문에 최종 생성물의 GaN에 탄소가 혼입하지 않는다고 하는 이점이 있다.

기초 기판으로서 이용되는 것은 사파이어(Al₂O₃)가 대부분이다. 사파이어는 GaN과의 격자 정수의 차이도 꽤 크고 박막의 전위 밀도는 많지만, 그래도 LED로 할 수 있고 그것은 수명이 길다. 그러나, GaAs, SiC 등을 기초 기판에 사용했다고 하는 보고도 있다. GaAs를 기초 기판으로 하여 GaN을 성장시킨다고 하는 것은 1960년대말에 시도되었지만, 잘 성장하지 않고 실패로 끝났다. 지금은 저온 성장시킨 얇은 버퍼층(20 nm~80 nm)을 기초 기판 위에 쌓고 나서 에pitaxial 성장시키도록 하고 있다.

이상의 수법은 GaN 박막 성장의 방법이다. 그대로는 후막을 만들 수는 없다. 박막의 경우는 얇기 때문에 기판과 박막 사이의 미스피트가 있더라도 박리하거나 하지 않지만 두껍게 GaN을 퇴적하면 내부 응력이 커져 박리하거나 물결처럼 굽이치거나 하여 두껍게 할 수 없다. 가령 잘 후막이 되었다고 해도 전위 밀도가 높아 저품질로서 쓸만한 것이 되지 않는다. 그래서 내부 응력을 감퇴시켜 전위 밀도를 줄이는 수법으로서 ELO법(Epitaxial Lateral Overgrowth)이 이용된다.

SiN, SiO₂막을 기초 기판 위에 형성하고 일면에 한면이 2 μm~4 μm 정도인 정삼각형 타일을 깔아 채웠다고 가정하여 정삼각형의 정점에 해당하는 부분에 직경이 1 μm~2 μm인 창을 연 마스크를 만들고, 그 위에서부터 GaN을 기상 성장시킨다. 처음은 창의 기초 기판에서부터 GaN 결정이 성장하여, 그것이 마스크 위에 기어올라 횡방향 성장한다. 인접 창에서부터 성장해 온 GaN 결정과 충돌하여, 그 이후는 균일한 상향 평탄면 성장이 된다(C면 성장). 마스크상에서 전위가 가로로 신장하여, 그것이 좌우로부터 충돌하기 때문에 마스크상에서 전위가 감소한다. 창 위의 높은 전위 밀도는 그대로이지만 마스크(피복부) 위는 보다 저전위가 된다. ELO의 문헌은 다수 있지만 PCT 국제 공개 PCT/WO99/23693은 GaAs 기초 기판 위의 ELO에 관해서 기술하고 있다.

ELO로 GaN 결정을 두껍게 성장시키고 GaAs 기판을 제거하여 자립 GaN 결정 기판을 얻을 수 있다. ELO에서보다 두꺼운 GaN 결정을 만들고 GaAs 기판을 제거하여 두꺼운 GaN 잉곳을 얻고, 그것을 얇은 웨이퍼에 슬라이스하여 복수의 GaN 자립 결정 기판을 얻을 수 있다. PCT 국제 공개 PCT/WO99/23693은 그와 같은 수법을 나타내고 있다.

이상으로 기술한 것은 GaN 결정의 성장에 관한 종래 기술이다. 여기서 이야기는 확 바꿔 오프 앵글의 결정에 관해서 기술한다. Si의 경우이든 GaAs의 경우이든 오프각의 기판이 요구되는 경우가 있었다. GaAs라면 (100)면 저스트의 기판이 보통이지만, 저스트의 기판에 박막을 성장시키면 박막의 표면이 물결처럼 굽이쳐 반드시 평활 평면이 되지 않는 경우가 있다. 그래서 기판을 (100) 저스트로부터 조금 기울인 것으로 하여, 그 위에 박막을 성장시켜 디바이스를 만든다는 것이다. 그와 같이 저면지수로부터 조금 면을 기울이는 것을 오프 앵글(오프각)이라고 하고, 그와 같은 기판을 오프 앵글 기판이라고 한다. 경사각을 오프 각도라고 한다.

항상 그렇다는 것이 아니라 목적에 따라서 오프 앵글의 기판이 적합한 경우가 있다. 너무 기울이면 벽개면이 틀어지기 때문에 약간 각도를 기울인 것을 만든다. 오프 앵글은 Si, GaAs, InP 등 기존의 반도체 기판에서는 자주 행해진 것이다. 오프 앵글의 최적 범위로 해도 제설이 있고 정설이라는 것은 없다. 일본 특허 공개 평2-239188, 일본 특허 공개 소64-32686, 일본 특허 공개 소64-22072, 일본 특허 공개 소64-15914, 일본 특허 공개 평1-270599, 특허 제3129112에 예를 든 것은 GaAs, InP 등의 오프 앵글 기판에 관한 것이다. 이들 이외에도 Si, GaAs, InP에 관한 다수의 오프 앵글의 문헌이 존재한다.

GaAs나, InP의 경우는 HB법이나 LEC법으로 길고 대형인 (100) 결정 잉곳을 얻을 수 있기 때문에 그것을 축과 사교(斜交)하는 방향으로 내주날 슬라이서, 외주날 슬라이서, 와이어 소우(wire saw) 등으로 경사지게 잘라 오프 앵글의 웨이퍼를 얻도록 하고 있다. 잉곳이 길기 때문에 경사 방향으로 절단하더라도 쓸데없는 것이 나오는 일은 없다.

GaN의 기판은 아직 대형이고 고품질인 것이 시판되었다고 하는 실적이 부족하기 때문에 오프 앵글 GaN 기판이라고 하는 것의 요망은 없다. 오프 앵글 GaN 기판이 존재하지 않고, 그 위에 GaN을 성장시켰다고 하는 문헌은 존재하지 않는다. 그러므로 오프 앵글 GaN쪽이 저스트 GaN 기판보다도 그 위에 박막을 성장시켰을 때의 표면 모폴로지가 좋은지 어떤지도 확실하지 않다. 단지 오프 앵글의 사파이어 기판 위에 GaN 박막을 성장시켰다고 하는 문헌은 있다.

일본 특허 공개 평7-201745는 p형의 GaN 박막을 성장시키는 것은 어렵지만, (0001)면으로부터 오프각을 갖는 사파이어 기판($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) 위에 GaN을 MOCVD법으로 성장시키면 p형의 GaN 결정 박막을 만들 수 있다고 기술하고 있다. 최종적으로 사파이어 위에 GaN 박막이 놓여 있을 뿐이다. p형 박막이 목적으로 두꺼운 결정은 목적이 아니며 GaN 박막이 오프각인지 아닌지에 관해서는 기술하고 있지 않다.

일본 특허 공개 평11-74562는 스텝형 오프 앵글의 사파이어 기판($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) 위에 GaN 박막을 MOCVD법으로 성장시킴으로써 활성층이 양자 도트, 양자 와이어와 같이 되어 캐리어, 빛이 유효하게 가워지기 때문에 출력이 증강되어 수명이 길어진다고 기술하고 있다. GaN은 얇은 것으로 기판을 만드는 것을 목표로 하고 있지 않다. GaN이 오프 앵글인지 아닌지 기술하고 있지 않다.

Takayuki Yuasa, Yoshihiro Ueta, Yuhzoh Tsuda, Atushi Ogawa, Mototaka Taneya and Katsutoshi Takao, "Effect of Slight Misorientation of Sapphire Substrate on Metalorganic Chemical Vapor Deposition Growth of GaN", Jpn. J. Appl. Phys. vol. 38(1999), pp. L703-L705, Part 2, No. 7A, 1 July 1999는 $0.03^\circ \sim 0.25^\circ$ 의 오프각을 갖는 (0001) 사파이어 기판($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) 위에 GaN을 얇게 ($4 \mu\text{m}$) 성장시킨 것은 표면 모폴로지가 개선되어(요철이 감소한다) EL(일렉트로 루미네센스)도 향상된다고 기술하고 있다. GaN의 후막을 만드는 것이 아니라 GaN 박막은 사파이어 기판에 붙인 그대로이다. GaN 박막의 방위에 관해서는 기술하고 있지 않다.

M. H. Xie, L. X. Zheng, S. H. Cheung, Y. F. Ng, Huasheng Wu, S. Y. Tong, and N. Ohtani, "Reduction of threading defects in GaN grown on vicinal SiC(0001) by molecular-beamepitaxy", Applied Physics Letters Vol. 77, No. 8, p1105-1107, 21 August 2000은 3.5° 오프 앵글의 (0001) 4H-SiC 기판 위에 MOCVD법으로 GaN 박막을 성장시키면, (0001) 저스트의 SiC 기판상에 성장시킨 것보다 표면 모폴로지가 좋아지고, PL(포토 루미네센스)이 증가한다고 기술하고 있다. 그러나 GaN은 얇아 기판 결정이 되지 않는다. SiC 기판에 붙인 그대로이다. GaN의 결정 방위는 기술하고 있지 않다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

오프 앵글의 GaN 기판이 요구되고 있는 것은 아니지만, GaAs나 InP 기판의 경우와 동일하게 오프 앵글의 기판이 요구될 것으로 예상된다. 오프 앵글의 GaN 기판 위에 성장시킨 GaN 박막쪽이 저스트의 GaN 기판 위에 성장시킨 GaN 박막보다 고품질일지도 모른다. 그것은 아직 모르는 일이지만, 오프 앵글의 GaN 기판이 어떤 계기로 요망되는 일도 있을 것이다.

그 경우에, GaAs나 InP와 같이 액상으로부터의 단결정 성장(HB법이라든가 LEC법)이 가능하여 길고 큰 직경의 단결정 잉곳이 생기는 것이면, 그것을 경사각을 주어 절단하면 좋은 것이다. 간단히 오프 앵글의 웨이퍼가 생긴다. 그러나 GaN 결정의 경우는 액상으로부터 긴 단결정 잉곳을 성장시킬 수 없다. 이종 재료의 단결정의 기초 기판 위에 GaN을 성장시켜, 얼마간의 두께를 가진 GaN 결정을 얻고 기판을 제거하여 GaN 잉곳으로 하고, 그것을 비스듬히 절단하여 오프 앵글의 GaN 웨이퍼라고 하게 되는 것이다.

그러나, 그것은 쓸데없이 잃게 되는 부분이 많아지기 때문에 바람직하지 않다. 예를 들면 5° 의 오프각을 갖는 2인치 직경 (51 mm)으로 $500 \mu\text{m}$ 두께의 GaN 웨이퍼를 만들고 싶다고 하자. $51 \sin 5^\circ = 4.4$ 이므로, 절단 손실로 4.9 mm의 높이를 갖는 GaN 잉곳을 만들고 5° 의 경사각으로 절단하여 1장의 오프 앵글 웨이퍼를 얻게 된다. 4.9 mm 높이의 잉곳으로부터 저스트의 $500 \mu\text{m}$ 두께 기판이면 9장 얻어지기 때문에, 8장분이 낭비가 되어 버린다. 그와 같은 결점은 오프각이 클수록 현저해진다. 현재, 기상 성장법으로 만들 수 있는 GaN은 얇은 것이기 때문에 그와 같은 결점은 중대하다.

더 두껍고 높이가 30 mm인 GaN 단결정 잉곳이 생기면 $1^\circ \sim 3^\circ$ 정도의 오프 앵글 웨이퍼를 얻는다고 해도 손실은 적지만, 현재 시점에서, 그만큼 두꺼운 GaN 결정을 만들 수는 없다. 두께 1 mm 정도의 것을 겨우 만들 수 있는 정도이며 상당히 시간을 들여, 겨우 10 mm 두께의 것을 만들 수 있는 정도이다.

현재 시점에서 GaN 단결정은 면적은 넓지만 얇은 결정밖에 만들 수 없기 때문에 (0001) 저스트의 GaN을 비스듬히 절단하면 손실이 크다. 그리고 또 하나의 문제가 있다. GaN은 기상 성장으로 천천히 성장시키지만, 성장과 동시에 전위 밀도 등이 변하게 된다. 성장의 처음에는 전위 밀도가 높지만 성장과 동시에 전위 밀도가 저하한다고 하는 GaN 결정의 경우, 그것을 비스듬히 절단하면 전위 밀도가 면내에서 현저히 불균일해진다.

발명의 구성 및 작용

본 발명은 오프 앵글의 (111) GaAs 결정 기판을 이용하여, 그 위에 GaN을 두껍게 기상 성장시키고 GaAs 기판을 제거한다. 그렇게 하면 오프 앵글의 GaN 결정 기판을 얻을 수 있다. 본 발명은 또한 오프 앵글의 (111) GaAs 결정 기판을 이용하여, 그 위에 GaN을 복수매분에 해당하는 막 두께 정도로 두껍게 기상 성장시키고 GaAs 기판을 제거하여 GaN 잉곳을 얻고, 그것을 성장축선에 직교하는 오프 앵글면에서 슬라이스하여 복수매의 오프 앵글 GaN 기판 결정을 일거에 제조할 수 있다.

혹은 ELO법을 이용하여 오프 앵글 (111) GaAs 기판에 다수의 주기적($1 \mu\text{m} \sim 4 \mu\text{m}$ 주기)으로 배열한 창을 갖는 마스크를 붙여 그 위에서부터 GaN을 기상 성장시킨다.

혹은, 더 큰 주기($30 \mu\text{m} \sim 400 \mu\text{m}$)의 스트라이프 마스크나 도트형의 마스크를 붙여 패짓(facet)을 생성 유지하면서 성장시키는 패짓 성장법도 본 발명에 적용할 수 있다.

더욱 구체적으로 본 발명을 기술한다.

질화갈륨의 결정 성장에는 이미 기술한 바와 같이 HVPE법, MOC법, MOCVD법, 승화법 등 기상 성장법이 있다. 어떤 방법이라도 본 발명을 실시할 수 있다. 여기서는 HVPE법을 이용한다(도 2에 개략을 도시한다). 여기서 이용한 HVPE법이라고 하는 것은 다음과 같은 수법이다.

석영 보트에 Ga 금속을 넣은 것을 핫월형의 로의 상부에 설치하고, 로의 하측에는 서셉터에 의해서 기초 기판을 유지하여 가열해 둔 상태에서, 로의 상측으로부터 수소로 희석된 HCl를 흘려, 800°C 이상의 고온에서 $\text{Ga} + \text{HCl} \rightarrow \text{GaCl}$ 의 반응을 일으키고, GaCl 가스를 하측으로 흘려, 하측에서 수소 가스로 운반된 NH_3 가스와 GaCl에 의해서 $\text{GaCl} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{GaN}$ 의 반응을 일으켜, GaN을 생성하여 가열된 기판 위에 GaN을 퇴적시킨다. HVPE법은 성장 속도가 빠르고 탄소 오염이 적고 설비도 비교적 간이하여 좋다고 하는 이점이 있다. GaN의 벌크 결정을 만들기 위해서는 최적의 수법이다.

그러나 본 발명은 MOCVD법이나 MOC법, 승화법 등의 기상 성장법을 사용할 수도 있다.

본 발명의 기본은 오프 각도를 가진 GaAs 기판을 기초 기판으로서 이용하여, GaAs 기초 기판 위에 GaN 단결정을 기상 성장시키고, GaAs 기초 기판을 제거하여, 오프 각도를 가진 GaN 자립 결정 기판을 제작한다는 것이다.

본 발명자는 오프 앵글의 GaAs 단결정을 기초 기판으로 하여 GaN을 기상 성장시키면 오프 앵글의 GaN 단결정이 생긴다는 것을 발견했다. 이것은 전혀 새로운 지견이다. 이 원리를 이용하여, 본 발명은 오프 앵글 GaAs 기판을 기초 기판으로 하여, 그 위에 GaN을 기상 성장시킴으로써, 오프 앵글의 GaN 기판을 제작한다. 더구나 중요한 것은 GaN의 오프 앵글의 방향, 경사각을 기초 기판의 GaAs 기판의 방위, 경사각에 의해서 완전히 지정할 수 있다는 것이다. 그러므로 본 발명은 임의의 방위, 임의의 경사각의 GaN 결정 기판을 제조할 수 있다.

오프 앵글 GaN 결정을 직접 오프 앵글 GaAs (111) 기판 위에 성장시켜 제조하는 것도 물론 가능하다. 그 외에도 여러 가지의 수법을 사용하여 오프 앵글 GaN을 오프 앵글 GaAs 기판으로부터 제조할 수 있다.

오프각을 갖는 (111) GaAs 기판 위에 다수의 주기적으로 분포된 작은 창을 갖는 마스크(SiO₂, SiN)를 붙여 그 위에서부터 GaN을 기상 성장시켜 전위가 가로 방향으로 신장하도록 하고 마스크의 위의 부분은 전위 밀도가 낮아지도록 하는 고안을 할 수도 있다. 그것은 이미 설명한 ELO법을 오프 앵글 기판에 적용할 수 있다는 것이다. 마스크를 사용한 ELO법에서도 오프 앵글 (111) GaAs 기판 위에는 오프 앵글의 GaN이 성장한다. 더구나 오프각이나 오프 앵글의 방위도 결정된다.

ELO법을 행하기 위해서는 오프각 (111) GaAs 기판 위에 GaN 벼파층(20 nm~80 nm)을 얇게 성장시키고 나서 마스크를 붙이더라도 좋다. 그 경우라도 오프 앵글의 GaN 결정을 성장시킬 수 있다. 적당한 두께의 GaN 결정이 성장하면 기판과 마스크를 제거한다. 그렇게 하면 오프각을 가진 GaN 자립 결정이 생긴다. ELO를 이용하기 때문에 보다 전위가 적은 것을 얻을 수 있다.

또한, 기초 기판에 큰 SiO₂, SiN의 패턴(스트라이프, 도트형)을 붙여 패싯을 유지하면서 결정 성장시키고, 피복부로부터 성장하는 부분에 전위를 쓸어모아 전위의 집합 장소로 하고 나머지의 마스크 개구부의 상측 부분을 저전위로 하는 패싯 성장 법을 이용하더라도 좋다.

발명의 효과

본 발명은 도 4에 도시한 바와 같이 오프 앵글의 (111) GaAs 기초 기판 위에 GaN 단결정을 성장시켜 성장축선에 직각으로 단결정을 절단하여 원하는 오프 앵글을 갖는 GaN 웨이퍼를 얻는다. 축선에 대하여 경사가 아니라 성장축선에 직각으로 슬라이스하면 좋기 때문에 낭비가 적다. 얇은 결정밖에 생기지 않는 경우가 많기 때문에 그 효과는 크다. 예를 들면 400 μm 두께의 웨이퍼를 얻기 위해서 2인치 직경의 (0001) 저스트의 1000 μm 두께의 GaN 결정을 만들었다고 하자.

저스트의 웨이퍼이면 자르는 절단 손실에도 2장 얻을 수 있다. 1°의 오프각의 400 μm 두께의 웨이퍼는 1장밖에 얻을 수 없다. 2° 오프각의 400 μm 두께의 GaN 웨이퍼라면 1장도 얻을 수 없다. 그런데 본 발명에서는 2° 오프각의 웨이퍼를 원하는 경우는 처음부터 2° 오프 앵글의 GaAs 기초 기판 위에 2° 오프 앵글의 GaN을 성장시키기 때문에, 1000 μm의 두께의 결정으로부터 400 μm의 두께의 2° 오프 앵글의 웨이퍼를 2장 얻을 수 있다. GaN 웨이퍼는 매우 비싼 것이기 때문에 그 효과는 크다.

또한 GaN 결정은 성장의 처음과 중간과 끝에서 전위 밀도 등이 크게 다른 경우가 있기 때문에 비스듬히 절단하면 웨이퍼의 부위에 따라서 전위 밀도가 크게 변화하는 경우도 있지만 본 발명은 성장축선에 직각으로 절단하기 때문에 웨이퍼면내에서 성장의 시기가 동일하기 때문에 전위 밀도 등의 변동은 적고 품질은 일정하다.

그와 같은 효과가 있지만, 본 발명의 가치는 그것보다도 기초 기판의 오프각과 방향에 의해서 GaN 결정의 오프각과 오프각의 방향을 미리 지정할 수 있다고 하는 예전 가능성의 발견이라는 것에 있다.

본 발명이 기초 기판으로서 이용하는 GaAs 기판은 양산이 가능하게 되고 나서, 이미 20년에 가까운 실적이 있어 염가로 용이하게 입수 가능하기 때문에 본 발명은 실시하기 쉬운 상황에 있다. 판매되고 있는 것은 (100) 저스트의 GaAs 기판이 대부분의 것이지만, 긴 (100) GaAs 단결정 잉곳이 LEC법이나 VB법, HB법으로 제조 가능하기 때문에 그것을 비스듬히 절단하여 오프각 웨이퍼를 제조하는 것은 가능하다.

본 발명의 골자는 (111) 오프 앵글 GaAs 기판의 오프각 α와 그 위에 성장한 GaN의 오프각 β가 같은 것($\beta=\alpha$), GaAs의 경사의 방위에 의해서 일률적으로 GaN의 경사각의 방향이 결정되는 것에 있다. 실시예에 있어서 분명히 하겠지만, (111) GaAs 기판의 법선([111] 방향과 α의 각을 이룬다 : α가 오프각)이 [111]에 직교하는 [11-2], [1-10]의 2방향에 대하여, 어떻게 기울어져 있는지로 경사각의 방향을 표현할 수 있다.

GaN 결정은 (0001)면이 GaAs의 (111)면 위에 겹쳐지도록 성장한다. GaN의 법선 방향([0001]과 β의 각도를 이룬다)이 [0001]에 직교하는 [1-100], [11-20]에 대하여, 어떻게 기울어져 있는지로 경사각의 방향을 표현할 수 있다. 그리고 본 발명자는 GaAs 기판 법선이 [11-2]방향으로 기울어져 있을 때, GaN 결정의 법선은 [1-100]으로 기울어지고, GaAs 기판 법선이 [1-10] 방향으로 기울어져 있을 때, GaN 결정의 법선은 [11-20] 방향으로 기울어진다는 것을 발견했다. 결국 GaAs의 [11-2] 방향에 GaN의 [1-100] 방향이 일치하고, GaAs의 [1-10] 방향에 GaN의 [11-20] 방향이 일치한다는 것이다. 그리고 GaAs [111]축이 GaN의 [0001]에 일치한다.

그와 같은 대응 관계가 어떻게 성립하는 것인가? 그 이유를 추측하여 보았다.

도 5는 GaN의 결정 구조를 표현하는 사시도이다. 이것은 몇 개의 셀을 포함하지만 육방정계의 대칭성을 알기 때문에 복수의 셀을 나타내고 있다. 크고 흰 동그라미가 질소 원자이고, 작은 동그라미가 Ga 원자이다. 저면에서 중심에 Ga가 있고, 그것을 중심으로 하는 정육각형의 정점에도 Ga 원자가 존재한다. 저면의 중심 Ga로부터 주변의 6개의 Ga를 연결하는 방향이 반시계 회전으로, [2-1-10], [11-20], [-12-10], [-2110], [-1-120], [1-210]이다. 이것이 GaN에서의 Ga-Ga 결합의 방향이다. 갈륨 원자가 존재하지 않는 방향이 [1-100] 등이다.

도 6은 GaAs의 결정 구조를 도시하는 사시도이다. 입방정계이고 센아연광형이다. 검은 동그라미가 Ga이고, 흰 동그라미가 As이다. Ga 원자는 상하 좌우에 있는 둘레의 최근접(Nearest Neighbor)의 4개의 As와 결합하고 있다. 4개의 결합 방향은 [111], [1-1-1], [-11-1], [1-1-1]이다. 이 도면에서 3개의 Ga를 포함하는 기울어진 면이 (111)면이다. Ga 원자는 차근접(Second Nearest Neighbor)으로 6개의 Ga 원자에 대응하고 있지만(결합이 아니다), 그 방향은, [-110], [01-1], [10-1], [1-1 O], [O-11], [-101]이다. 이것이 (111) GaAs의 표면에서의 Ga-Ga 결합의 방향이다.

GaAs의 (111)면의 Ga 원자를 둘러싸는 정육각형의 정점에 있는 6개의 Ga와 중심의 Ga를 연결하는 방향이 상기한 [-110], [01-1], [10-1], [1-10], [O-11], [-101]이며, GaN의 (0001)면의 Ga 원자를 둘러싸는 정육각형의 정점에 있는 6개의 Ga와 중심의 Ga를 연결하는 방향이 상기한 [2-1-10], [11-20], [-12-10], [-2110], [-1-120], [1-210]이다. GaAs와 GaN에서는 Ga를 공통으로 한다.

(111) 오프 앵글 GaAs에서도 Ga가 표면에 거의 규칙적으로 늘어서 있기 때문에 GaAs의 Ga-Ga 방향과, GaN의 Ga-Ga 방향은 공통이어야 한다. 즉, GaAs/GaN의 경계에서 GaAs의 [-110], [01-1], [10-1], [1-10], [O-11], [-101]이 GaN의 [2-1-10], [11-20], [-12-10], [-2110], [-1-120], [1-210]과 같다는 것이다. 그와 같은 이유로, GaAs의 법선의 [-110]에 대한 기울기와, GaN의 [2-1-10]에 대한 기울기가 완전히 대응하는 것이라고 추측되는 것이다.

[실시예 1]

[오프각을 갖는 GaAs 기판상에 ELO 마스크를 붙이거나 혹은 붙이지 않고 GaN 결정을 성장시켜 오프각 GaN 기판을 제조하는 방법]

다음과 같은 순서로 오프 앵글 GaAs 기초 기판 위에 GaN 결정을 만들어 자립막으로 하여 연삭, 연마하여 오프 앵글과 결정성을 조사했다.

기초 기판으로서 오프 앵글의 GaAs (111) A면을 이용했다. GaAs는 센아연광(Zincblende: ZnS)형이고 입방정계의 결정이다. GaAs (111)면은 삼회 회전 대칭성이 있는 면이다. GaAs (111)면은 Ga 원자만이 표면에 나와 있는 면과, As 원자만이 표면에 나와 있는 면이 있다. 전자를 (111) Ga면 혹은 (111) A면이라고 한다. 후자를 (111) As면 혹은 (111)B면이라고 한다. 여기서는 GaAs (111) 결정으로 Ga 면을 위로 하여 사용한다.

(111) Ga면은 삼회 대칭성이 있기 때문에, 그 위에 육방정계의 결정을 성장시킬 수 있다. 그러나 엄밀히 (111) Ga면이 아니고 오프 앵글로 하고 있다. (111)면상에 존재할 수 있는 결정 방향 $\langle hkm \rangle$ 은 $h+k+m=0$ 을 만족하는 것이다. 이들 중 저지수의 결정 방향에서 서로 직교하는 방향은 $\langle 11-2\rangle$ 와 $\langle 1-10 \rangle$ 이다. 여기서 $\langle \dots \rangle$ 는 방향의 집합 표현, $[\dots]$ 은 방향의 개별 표현이다. 그것에 대하여 (...)는 면의 개별 표현이며, {\dots}는 면의 집합 표현이다. 집합 표현이라고 하는 것은 그 결정이 갖는 대칭 조작에 의해서 서로 변환되는 모든 면 혹은 방향의 집합을 말한다. GaAs의 (hkm) 이라는 면은 그 최소면이 a축, b축, c축의 절편의 길이가 a/h , b/k , c/m 라고 하는 것이다. 지수 h , k , m 은 절편의 역수이며 정수이다. $[hkm]$ 이라는 방향은 (hkm) 면의 법선 방향을 의미한다.

육방정계의 경우는 c축 방향이 조금 다르고, 이전의 3가지의 지수는 c면으로 정의되는 120° 를 이루는 축(a, b, d)을 절단하는 절편의 길이가 a/h , b/k , d/m 일 때 이전의 3가지의 지수를 hkm 으로 한다. 항상 $h+k+m=0$ 이라는 규칙이 성립한다. 4번째의 지수 n 은 그 면이 c축을 절단하는 절편이 c/n 라고 하는 것이다. 그래서 $(hkmn)$ 이라는 4가지의 지수로 육방정계의 면을 지정할 수 있다. 방향 $[hkmn]$ 은 면($hkmn$)의 법선으로서 정의된다. 그것은 입방정계의 경우와 마찬가지다.

기초 기판의 오프 앵글(오프각)로서는 다음 14 종류의 것을 채용했다.

(갑군) 기판 표면의 법선 벡터에 대하여 결정 방위 $[111]$ 이 $\langle 1-10 \rangle$ 의 방향으로 0.1° , 0.3° , 1° , 5° , 10° , 20° , 25° 기울어져 있는 것 7 종류

(을군) 기판 표면의 법선 벡터에 대하여 결정 방위 [111]이 <11-2>의 방향으로 0.1°, 0.3°, 1°, 5°, 10°, 20°, 25° 기울어져 있는 것 7 종류 전부 오프 앵글의 GaAs 기판이다.

그리고, 이들 오프 앵글 GaAs 기판의 어떤 것에 이하와 같은 패턴 A, 패턴 B의 마스크를 붙인 에피택셜 래터럴 오버그로스법(ELO법: epitaxial lateral overgrowth)으로 GaN을 성장시키고, 어떤 것은 ELO법을 이용하지 않았다.

패턴 A = 도 1 좌측에 도시한 바와 같은 피치가 8 μm로 개구부의 폭이 2 μm이고 피복부의 폭이 6 μm인 평행 스트라이프형의 마스크

패턴 B = 도 1 우측에 도시한 바와 같은 한변이 2μm인 정방형 개구부를 한변이 4 μm인 정삼각형을 깔아 채운 패턴에 있어서 유효 대칭성이 있는 정삼각형의 정점에 설치한 것

(가류) 패턴 A의 ELO 마스크를 GaAs 기판면에 형성한 것

가류에서 갑군의 <1-10> 방향으로 0.1°, 0.3°, 1°, 5°, 10°, 20°, 25° 기울어져 있는 것을 기판 1~7로 한다. 가류에서 을군의 <11-2> 방향으로 0.1°, 0.3°, 1°, 5°, 10°, 20°, 25° 기울어져 있는 것을 기판 8~14로 한다.

(나류) 패턴 B의 ELO 마스크를 GaAs 기판면에 형성한 것

나류에서 갑군의 <1-10> 방향으로 0.1°, 0.3°, 1°, 5°, 10°, 20°, 25° 기울어져 있는 것을 기판 15~21로 한다. 나류에서 을군의 <11-2> 방향으로 0.1°, 0.3°, 1°, 5°, 10°, 20°, 25° 기울어져 있는 것을 기판 22~28로 한다.

(다류) 어느쪽의 패턴도 갖지 않는 것, 비ELO법에 의한 것

다류에서 갑군의 <1-10> 방향으로 0.1°, 0.3°, 1°, 5°, 10°, 20°, 25° 기울어져 있는 것을 기판 29~35로 한다. 다류에서 을군의 <11-2> 방향으로 0.1°, 0.3°, 1°, 5°, 10°, 20°, 25° 기울어져 있는 것을 기판 36~42로 한다.

[표 1]

오프 앵글 (°)		0. 1	0. 3	1	5	10	20	25
가류 패턴 A	갑 <1-10>	1	2	3	4	5	6	7
	을 <11-2>	8	9	10	11	12	13	14
나류 패턴 B	갑 <1-10>	15	16	17	18	19	20	21
	을 <11-2>	22	23	24	25	26	27	28
다류 비ELO	갑 <1-10>	29	30	31	32	33	34	35
	을 <11-2>	36	37	38	39	40	41	42

실시예 1의 42 종류의 기판·시료의 조건표

이들 기판 1~42의 오프 앵글 GaAs 기판상에 HVPE법에 의해서 GaN의 결정층을 성장시켰다. 도 2에 HVPE 장치를 도시한다. 반응관(로)(2)의 상측에 Ga 금속을 갖는 Ga 보트(3)를 설치하고, 하측의 서셉터(4)에 의해서 GaAs 기판(5)을 유지한다. 반응관(2)의 주위에는 히터(6)가 있어 반응관(2)의 전체를 가열하여 Ga 보트(3), 서셉터(4)를 원하는 온도로 유지한다. 상측의 제1 가스 공급구(7)로부터 H₂+HCl 가스를 Ga 보우트에 불어넣어 GaCl 가스를 생성하고, 상측의 제2 가스 공급구(8)로부터 H₂+NH₃ 가스를 GaAs 기판(5)에 불어넣어 GaCl과 NH₃으로부터 GaN을 합성하여 GaAs 기판 위에 성장시킨다.

GaAs 기판상에의 GaN 결정의 성장은 처음에 저온에서 얇은 벼퍼층을 성장시키고 벼퍼층 위에 고온에서 두꺼운 GaN에 에피택셜막을 성장시킨다. 벼퍼층은 20 nm~80 nm의 두께로 한다. 마스크를 붙이는 경우는 기판 위에 붙이더라도 좋고, 벼

퍼층 위에 붙이더라도 좋다. 또한, 베퍼층 위에 에피택셜층을 $0.4 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$ 정도 쌓고 나서 마스크층을 두더라도 좋다. 이 경우, 베퍼층과 에피택셜층을 합쳐서 $0.5 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$ 적층하고 나서 마스크를 형성하게 된다. 베퍼층, 에피택셜층의 생성 조건은 다음과 같다.

[베퍼층의 생성 조건]

성장 방법 : HVPE법

NH_3 분압 : 0.1 atm(10000Pa)

HCl 분압 : 1×10^{-3} atm(100Pa)

성장 온도 : 500°C

성장 시간 : 60분

성장막 두께 : 60 nm

[후막의 에피택셜층의 생성 조건]

성장 방법 : HVPE법

NH_3 분압 : 0.2 atm(20000Pa)

HCl 분압 : 3×10^{-2} atm(3000Pa)

성장 온도 : 1010°C

성장 시간 : 10시간

성장막 두께 : 1.0 mm

도 3의 좌측에 도시한 바와 같이, GaAs 기판 1~42를 기초 기판으로 하여 상기한 조건에서 GaN 후막을 성장시켰다. 그 후 GaAs 기판을 에칭에 의해서 제거했다. 그것에 의하여 1 mm 두께의 자립 GaN 결정 기판을 얻을 수 있었다. 기판 1~42에 의해서 만들어진 GaN 결정을 시료 1~42라고 부른다. 시료 1~42의 어느 것에 있어서도 GaN 결정은 단결정이었다. 어느 것의 시료에 있어서도 GaN 기판 표면은 (O001)면(C면)과 패싯이 혼재하는 요철이 있는 면이었다. 시료 1~42의 어느 것도 이면은 평탄면이었다.

중요한 것은 시료 1~42의 전부에 있어서 기초의 오프 앵글 GaAs 기판의 방위 [111]과, 성장한 GaN 후막의 방위 [0001]이 평행하게 되도록 GaN이 성장했다는 것이다. GaN [0001] 방위는 GaN 기판 표면에 세운 법선에 대하여 GaAs 기판의 오프 앵글 α 과 같은 각도 기울기였다. GaN 기판 [0001] 방위가 표면에 세운 법선에 대하여 이루는 각도를 GaN의 오프 앵글 β 로 한다. 이 실험의 결과에서는 시료 1~42의 전부에 있어서 $\beta=\alpha$ 로 되고 있다.

더구나 GaN [O0O1](c축)이 기초 기판의 GaAs [111]에 평행이라고 하는 것뿐만 아니라 축 둘레의 방위에도 염밀한 대응 관계가 유지되고 있었다. 이것은 중요한 지견이다.

GaAs 기초 기판의 방향 [111]이 GaAs <1-10> 방향으로 기울어져 있었던 것, 즉 갑군의 기판 1~7, 15~21, 29~35 위에 GaN을 성장시킨 시료는 GaN 단결정의 [0001](c축)이 <-1-120> 방향으로 동일한 각도만큼 기울어져 있었다. 그것은 상기한 축의 기울기가 동일하다고 하는 $\beta=\alpha$ 를 전제 조건(필요 조건)으로 하지만, $\beta=\alpha$ 의 한정을 넘는 것이다. 그러므로 GaAs의 <1-10> 방향 = GaN의 <-1-120> 방향이라는 것을 의미한다. 즉 축 둘레에 있어서도 방향이 결정이 된다는 것이다. 여기서 방향에 대해서 등호(=)를 사용하여 표현하고 있는 것은 그것이 평행이라는 것이다. 방향 벡터에는 길이가 정의되지 않기 때문에 평행하다는 것을 등호로 강조하여 나타내고 있는 것이다.

GaAs 기초 기판의 방향 [111]이 GaAs <11-2> 방향으로 기울어져 있었던 것, 즉 을군의 기판 8~14, 22~28, 36~42 위에 GaN을 성장시킨 시료는 GaN 단결정의 [0001](c축)이 <1-100> 방향으로 동일한 각도만큼 기울어져 있었다. 그것은 GaAs <11-2> = GaN <1-100>이라고 하는 것과 같은 정합한 결정 성장이 이루어진다는 것이다. 그것은 상기한 축의 기울기가 동일하다고 하는 $\beta=\alpha$ 라는 전제 조건(필요 조건)과 상기한 GaAs <1-10> = GaN <-1-120>으로부터 당연히 귀결되는 것이다.

그러므로 오프 앵글 GaAs 위에 GaN을 성장시킨 경우, 축방향도 축 둘레의 방위도 GaAs 방위에 의해서 일률적으로 결정된다는 것이다. 간단히 쓰면

$$\text{GaAs } [111] = \text{GaN } [0001]$$

$$\text{GaAs } <1-10> = \text{GaN } <-1-120>$$

$$\text{GaAs } <11-2> = \text{GaN } <1-100>$$

이라는 것과 같은 오프 앵글의 관계가 있었다는 것을 본 발명자의 실험에 의해서 알 수 있었다.

이들의 면, 방향의 대응 관계는 X-선 회절법에 의해서 GaN 결정 (0001)면의 오프 각도, 오프 각도의 방향을 측정하여 발견한 것이다. 기판·시료 1~42의 전부에 관해서 그와 같은 대응이 있는 것이기 때문에, 그것은 별씨 확실한 재현성을 가지고 그와 같아질 수 있다.

이들 시료 1~42의 GaN 결정 기판의 휘어짐의 곡율 반경이 5 m 이상이었다. 캐리어 농도는 $n = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 이었다. 전자 이동도는 $100 \sim 200 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 였다. 그와 같은 전기적 특성은 종래의 GaAs(111) 저스트의 기판 위에 기상 성장시켜 만든 GaN 자립 기판과 거의 동일하고, 그것에 비교하여 손색이 없는 것이다.

시료 1~42의 자립 GaN 결정을 이면의 평탄부를 기준면으로 하여 표면을 연삭 가공하여, 요철을 제거하여 평활화했다. 추가로 연마 가공하여, 오프각이 있는 연마가 끝난 GaN 기판을 제작할 수 있었다.

이들 42 종류의 연마 웨이퍼를 X선 면검 장치에 의해서 [0001] 방향의 기울기를 조사했다. 그것에 의하면 기판 기울기의 크기와 방위는 이전의 자립막 GaN으로 했을 때에 X선 회절로 조사한 것과 거의 동일했다.

즉, 갑군의 평탄화 GaN 시료 1~7, 15~21, 29~35는 <-1-120> 방향으로 $0.1^\circ, 0.3^\circ, 1^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ 기울어진 오프 앵글 GaN 결정 기판이었다.

을군의 평탄화 GaN 시료 8~14, 22~28, 36~42는 <1-100> 방향으로 $0.1^\circ, 0.3^\circ, 1^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ 기울어진 오프 앵글 GaN 결정 기판이었다.

또한 결정성은 면내에서 균일했다.

구체적인 예에 의해서 설명한다.

시료 18: <1-10> 방향 5° 경사 GaAs (111) A면 위에 패턴 B(정삼각형 반복)를 만들고, 그 위에 GaN을 성장시킨 GaN 기판

이 GaN 시료 18을 측정한 바, GaN [0001] 방향이 <-1-120> 방향으로 $4^\circ 25 \text{ min}$, <1-100> 방향으로 $0^\circ 07 \text{ min}$ 기울어져 있었다. 이전의 설명이라면, 시료 18은 <-1-120> 방향으로 5° , <1-100> 방향으로 0° 가 기울어진 것이지만, 조금 다르다. 그것은 GaN 후막 결정에 휘어짐이 있는 것과 측정상의 문제에 의해서 발생한 불일치이다. 그러나, 그 차이는 미소하며, 오히려 처음의 기초 기판의 오프 앵글 GaAs에 의해서 GaN의 오프 앵글을 정확히 결정할 수 있다는 것이 놀라운 일이다.

오프 앵글의 범위에 관해서는 GaAs 기판의 [111] 방향이 법선으로부터 <1-10> 방향(갑군), <11-2> 방향(을군)에 각각 0.1° , 0.3° , 1° , 5° , 10° , 20° , 25° 경사진 것을 기초 기판으로 하여, 상기한 3 종류(패턴 A, 패턴 B, 패턴 없음)의 제조 방법으로 GaN 시료를 만들었다. 기울기 방향이 갑군, 을군의 어느쪽이나 오프 앵글 25° 까지 성장이 가능하다는 것을 확인했다. 그러므로 $0\sim25^\circ$ 까지의 오프 앵글의 GaN 결정의 제조가 가능하다는 것이 확인되었다.

25° 를 넘으면 오프 앵글의 GaN 결정을 제조할 수 없는 것인가라고 한다면 그렇지 않다. (111) GaAs에서 25° 를 넘는 오프 앵글의 기판을 입수할 수 없었기 때문에, 25° 를 넘는 GaAs 기판에 대해서 본 발명자는 아직 GaN 성장 실험을 하지 않은 것이다. 그래서 25° 를 넘는 오프 앵글에 대해서도 본 발명이 가능한지 어떤지 알 수 없다. 가능할지도 모르고, 그렇지 않을지도 모른다.

[실시예 2]

[오프각을 갖는 GaAs 기판상에 GaN을 얇게 성장시켜 ELO 패턴을 설치하거나 혹은 설치하지 않고 그 위에 GaN 결정을 성장시켜 오프각 GaN 기판을 제조하는 방법]

실시예 1은 오프각 GaAs 기초 기판 위에 직접 ELO 마스크를 설치하고(혹은 설치하지 않고) 그 위에 GaN을 에피택셜 성장시켰다. 실시예 2는 오프각 GaAs 기판 위에 얇게 GaN 에피택셜층을 붙여, 그 위에 ELO 마스크를 설치하고(혹은 설치하지 않고) 그 위에 GaN을 에피택셜 성장시키는 것으로 했다. 결국 GaN의 성장이 2단계가 되어 중간에서 ELO 성장하도록 한다. 그와 같이 하여 만든 오프 앵글 GaN 결정을 연삭 연마하여 평활 평탄 웨이퍼를 만들어 오프 앵글, 결정성을 조사했다.

실시예 1과 같이, 갑군으로서 GaAs [111] 방향이 <1-10> 방향으로 0.1° , 0.3° , 1° , 5° , 10° , 20° , 25° 기울어진 오프 앵글의 GaAs 기판을 준비했다.

을군으로서 GaAs [111] 방향이 <11-2> 방향으로 0.1° , 0.3° , 1° , 5° , 10° , 20° , 25° 기울어진 오프 앵글의 GaAs 기판을 준비했다. 그와 같은 오프 앵글 GaAs (111) 기초 기판에 동일한 로내에서 GaN 베퍼층·에피택셜층을 다음 조건에서 쌓아 약 $10\ \mu\text{m}$ 의 막 두께의 GaN 결정층을 제조했다. $10\ \mu\text{m}$ 와 같이 얇은 것은 에피택셜층 표면의 평탄성을 확보하기 위해서이다.

[베퍼층의 생성 조건]

성장 방법 : HVPE법

NH₃ 분압 : 0.1 atm(10000Pa)

HCl 분압 : 1×10^{-3} atm(100Pa)

성장 온도 : 500°C

성장 시간 : 60분

성장막 두께 : 60 nm

[에피택셜층의 생성 조건]

성장 방법 : HVPE법

NH₃ 분압 : 0.2 atm(20000Pa)

HCl 분압 : 2×10^{-3} atm(200Pa)

성장 온도 : 1010°C

성장 시간 : 30분

성장막 두께 : 10 μm

오프 앵글 GaN/GaAs 결정에 실시예 1과 마찬가지인 ELO 마스크(패턴 A, B)를 형성하거나, 혹은 마스크 형성하지 않았다.

패턴 A = 도 1 좌측에 도시한 바와 같은 피치가 8 μm로 개구부의 폭이 2 μm이고 피복부의 폭이 6 μm인 평행 스트라이프형의 마스크

패턴 B = 도 1 우측에 도시한 바와 같은 4 μm의 정삼각형을 깔아 채운 패턴에 있어서 육회 대칭성이 있는 정삼각형의 정점에 한변이 2 μm인 정방형 개구부를 설치한 것

상기한 갑군, 을군에 덧붙여

(가류) 패턴 A의 ELO를 GaN막 위에 형성한 것

(나류) 패턴 B의 ELO를 GaN막 위에 형성한 것

(다류) ELO 마스크 없음

이것에 의해서 42 종류의 마스크/GaN/GaAs의 조합이 생긴다. 실시예 1과 같이 표 2의 조합으로 기판 43~기판 84를 정의한다.

[표 2]

오프 앵글 (°)		0. 1	0. 3	1	5	10	20	25
가류 패턴 A	갑<1-10>	4 3	4 4	4 5	4 6	4 7	4 8	4 9
	을<11-2>	5 0	5 1	5 2	5 3	5 4	5 5	5 6
나류 패턴 B	갑<1-10>	5 7	5 8	5 9	6 0	6 1	6 2	6 3
	을<11-2>	6 4	6 5	6 6	6 7	6 8	6 9	7 0
다류 마스크 없음	갑<1-10>	7 1	7 2	7 3	7 4	7 5	7 6	7 7
	을<11-2>	7 8	7 9	8 0	8 1	8 2	8 3	8 4

실시예 2의 42 종류의 기판·시료의 조건표

이들의 42 종류의 마스크/GaN/GaAs의 복합 기판 위에, 고온으로 두꺼운 GaN 에피택셜 성장막을 형성했다.

[에피택셜층의 생성 조건]

성장 방법 : HVPE법

NH₃ 분압 : 0.2 atm(20000Pa)

HCl 분압 : 3×10^{-2} atm(3000Pa)

성장 온도 : 1010°C

성장 시간 : 10시간

성장막 두께 : 1.0 mm

이렇게 해서 제작한 42 종류(시료 43~84)의 GaN/마스크/GaN/GaAs 복합 기판으로부터 GaAs 기판과 마스크를 예칭에 위해서 제거했다. 그렇게 하여 1.0 mm 두께의 자립한 GaN 결정 기판을 얻었다.

GaN 기판의 이면은 평탄했다. GaN 기판의 표면은 (0001)면과 패싯이 혼재한 요철이 있는 면이었다.

시료 43~84의 GaN도 오프 앵글 β 가 GaAs 기판의 오프 앵글 α 와 같았다($\beta=\alpha$). 더구나 GaAs의 <1-10> 방향과 GaN의 <-1-120> 방향이 합치하고, GaAs <11-2> 방향과 GaN <1-100> 방향이 일치하고 있었다.

GaN 후막 결정의 이면의 평탄부를 기준면으로 하여, 표면을 연삭 가공하여 요철을 제거하여 평활화했다. 추가로 GaN 후막 결정을 연마 가공하여 평탄 평활한 표면을 갖는 오프 앵글의 GaN 연마 기판을 제작했다(도 3 참조).

이 평탄 평활 GaN 기판을 X선 면검 장치에 의해서 [0001] 방향의 기울기를 조사했다. 실시예 1과 같이 GaN의 표면은 GaAs의 오프 앵글과 동일한 오프각($\beta=\alpha$)으로 의도한 방향으로 기울어져 있는 것을 알았다. 시료 43~84의 결정성은 면내에서 균일했다.

[실시예 3]

[오프각을 갖는 GaAs 기판상에 GaN을 두껍게 성장시키고 GaN 결정을 절단하여 복수매의 GaN 웨이퍼를 제작하는 방법]

실시예 1과 같이, 2개의 방향으로 기울어진 7 종류의 다른 오프 앵글의 GaAs 기판 위에 패턴 A, B의 ELO 마스크를 형성하거나 혹은 형성하지 않은 것을 기초 기판으로 하여 처음에 얇은 베피층, 나중에 두꺼운 (10 mm) 에피택셜층을 성장시키고 성장면에 평행하게 절단하여 오프 앵글의 복수매의 GaN 웨이퍼를 제작하여, 그 특성을 조사했다.

GaAs (111) A면

경사각 : 0.1°, 0.3°, 1°, 5°, 10°, 20°, 25°

갑군 : GaAs [111] 방향이 <1-10> 방향으로 기울어져 있다

을군 : GaAs [111] 방향이 <11-2> 방향으로 기울어져 있다

(가류) 패턴 A의 ELO를 GaN막 위에 형성한 것

(나류) 패턴 B의 ELO를 GaN막 위에 형성한 것

(다류) ELO 마스크 없음

패턴 A = 도 1 좌측에 도시한 바와 같은 피치가 8 μm 로 개구부의 폭이 2 μm 이고 피복부의 폭이 6 μm 인 평행 스트라이프형의 마스크

패턴 B = 도 1 우측에 도시한 바와 같은 한변이 2 μm 인 정방형 개구부를 한변이 4 μm 인 정삼각형을 깔아 채운 패턴에 있어서 육회 대칭성이 있는 정삼각형의 정점에 설치한 것

[표 3]

오프 앵글 (°)		0. 1	0. 3	1	5	10	20	25
가류 패턴 A	갑<1-10>	85	86	87	88	89	90	91
	을<11-2>	92	93	94	95	96	97	98
나류 패턴 B	갑<1-10>	99	100	101	102	103	104	105
	을<11-2>	106	107	108	109	110	111	112
다류 마스크 없음	갑<1-10>	113	114	115	116	117	118	119
	을<11-2>	120	121	122	123	124	125	126

실시예 3의 42 종류의 기판·시료의 조건표

위의 표와 같이, 기판의 종류는 42 종류가 있다. 이것을 기판 85~126으로 한다. 그 기판에 의해서 만들어진 GaN 결정을 시료 85~126으로 한다. 처음에 저온에서 얇은 베퍼층을 형성하고 이어서 고온에서 두꺼운 에피택셜층을 형성한다.

[베퍼층의 생성 조건]

성장 방법 : HVPE법

NH₃ 분압 : 0.1 atm(10000Pa)

HCl 분압 : 1×10^{-3} atm(100Pa)

성장 온도 : 500°C

성장 시간 : 60분

성장막 두께 60 nm

[에피택셜층의 생성 조건]

성장 방법 : HVPE법

NH₃ 분압 : 0.2 atm(20000Pa)

HCl 분압 : 3×10^{-3} atm(300Pa)

성장 온도 : 1010°C

성장 시간 : 100시간

성장막 두께 : 10 mm

이렇게 해서 GaN/GaAs의 10 mm 이상의 높이를 갖는 복합 기판을 얻었다. 모든 시료에 있어서, GaN의 오프 앵글 β와 GaAs의 오프 앵글 α는 같다($\beta=\alpha$). 기울기의 방향도 동일하며, GaAs <1-10> 방향이 GaN <-1-120> 방향과 같고, GaAs <11-2> 방향이 GaN <1-100> 방향과 같았다.

GaAs와 마스크를 에칭에 의해서 제거했다. 10 mm 두께의 GaN의 자립 결정을 얻었다. GaN 결정의 이면은 평坦했다. GaN 결정의 표면은 (0001)면과 패싯이 혼재하는 요철이 있는 면이었다.

이들 GaN 잉곳의 이면의 평탄부를 기준면으로 하여, 표면을 연삭 가공하여 요철을 제거하여 평활화했다. 원주형의 GaN 잉곳이 되었다. 이면의 평탄면을 기준면으로 하여, 와이어 소우에 의해서 이면 법선에 수직인 방향으로 잉곳을 절단했다. 400 μm 두께의 GaN 웨이퍼를 10장 추출할 수 있었다.

이들 슬라이스한 웨이퍼를 연마하여, 오프 각도를 갖는 GaN 웨이퍼를 제작할 수 있었다. 웨이퍼를 X선 면검 장치에 의해서 [0001] 방향의 기울기를 조사했다. 모든 시료에 있어서 의도한 방위로 각도만큼 기울어진 오프 앵글 웨이퍼인 것을 확인했다.

또한 결정성은 면내에서 균일했다.

이와 같이 오프 앵글 GaAs 기판상에 GaN을 후막 성장시키면 평행하게 추출하는 수법에 의하면, 보다 많은 오프 앵글의 GaN 웨이퍼를 얻을 수 있다.

예를 들면, 10 mm 두께의 잉곳(실질 사용 가능 영역 7 mm)으로부터 5° 오프각, 400 μm 두께의 2인치 직경 GaN 웨이퍼를 본 발명에서는 10장 추출할 수 있었다.

그러나, 그것이 오프각이 없는 10 mm 두께의 2인치 직경 GaN 자립 결정으로부터 5° 오프 앵글의 400 μm 두께의 웨이퍼를 추출하고자 한다면 절단면과 결정 이면이 평행이 아니라 5° 기울어지게 된다. 그 때문에 5° 오프각 웨이퍼는 5장밖에 추출할 수 없다. 처음부터 오프 앵글의 잉곳을 만드는 본 발명은 그 점에서도 매우 유용하다. 오프 앵글 GaN 웨이퍼의 비용 삭감에 효과적이다.

[실시예 4]

[오프각 GaN 기판상에 GaN을 성장시켜 오프각 GaN 기판을 제조하는 방법]

이상으로 기술한 것은 오프 앵글의 GaAs 기초 기판 위에 GaN을 성장시키는 것이었다. 실시예 4에서는 오프각을 갖는 GaN 기판을 기초 기판으로서 이용한다. 실시예 1에서 제조한 오프각이 있는 GaN 기판이 있기 때문에, 이것을 종결정으로서 이용한다. 즉 기초 기판은 지금까지 오프 앵글 GaAs이지만, 여기서는 오프 앵글 GaN을 기초 기판으로 한다. 그러므로, 이것은 헤테로 에피택셜 성장이 아니고, 호모 에피택셜 성장이다.

갑군 : GaN [0001] (c축)이 <-1-120> 방향으로 기울어져 있는 것

을군 : GaN [0001] (c축)이 <1-100> 방향으로 기울어져 있는 것

경사각: 0.1°, 0.3°, 1°, 5°, 10°, 20°, 25°

그러므로 기판은 14 종류가 있다. 갑군의 7개의 오프각의 것을 기판 127~133, 을군의 7개의 오프각의 것을 기판 134~140으로 한다.

[표 4]

오프 앵글 (°)		0. 1	0. 3	1	5	10	20	25
마스크 없음	갑 <-1-120>	1 2 7	1 2 8	1 2 9	1 3 0	1 3 1	1 3 2	1 3 3
	을 <1-100>	1 3 4	1 3 5	1 3 6	1 3 7	1 3 8	1 3 9	1 4 0

실시예 4의 14 종류의 기판·시료의 조건표

GaN이 종결정이 되기 때문에 ELO는 사용하지 않는다. GaN 기판을 클리닝했다.

(클리닝 조건)

클리닝 온도 : 1000°C

CNH₃ 분압 : 0.4 atm(40000Pa)

클리닝 시간 : 10분

이 조건으로 기판 표면의 클리닝을 행했다. 저온 베퍼총을 끼우지 않고서, 직접 고온에서 GaN의 후막 성장했다.

[에피택셜 성장의 조건]

성장 방법 : HVPE법

NH₃ 분압 : 0.2 atm(20000Pa)

HCl 분압 : 3×10^{-3} atm(300Pa)

성장 온도 : 1010°C

성장 시간 : 100시간

성장막 두께 : 10 mm

이러한 에피택셜 성장에 의해서 두께 10 mm인 프리스탠딩(Free Standing)(자립)의 GaN 잉곳을 만들 수 있었다.

이 GaN 잉곳은 호모 에피택셜 성장이며, 기초 기판의 GaN 기판의 결정 방위를 그대로 이어받아 성장하고 있었다. 그러므로 성장 부분의 GaN의 오프 앵글 β 는 기초 GaN의 오프 앵글 α 와 같다. 또한 c축이 <-1-120> 방향으로 기울어져 있는 갑군의 GaN 기초 기판(기판 127~133)으로부터는 역시 c축이 <-1-120> 방향으로 기울어진 오프각의 GaN이 생겼다. 을 군(기판 134~140)에 관해서도 동일했다.

이면은 평탄하지만, 표면은 요철이 있고 (0001)면과 패싯의 혼합면으로 되어 있었다. 표면을 연삭 가공하여 요철을 제거했다. 이면의 평탄면을 기준면으로 하여 와이어 소우로 이면을 평행하게 절단했다. 400 μm 두께의 웨이퍼를 10장 추출할 수 있었다. 이들 웨이퍼를 연마 가공하여 오프각이 있는 GaN 연마 기판을 얻을 수 있었다.

그와 같은 웨이퍼를 X선 면검 장치에 의해서 [0001] 방향의 기울기를 조사했다. 종결정의 GaN과 동일한 결정 방위, 오프 앵글을 갖는 것을 알았다.

[실시예 5]

[오프각 GaN 기판상에 GaN막 에피택셜 성장, LED의 제작]

실시예 1에서 제조한 1°의 오프각이 있는 GaN 기판 위에 MOCVD법으로 GaN 에피택셜층을 성장시켰다. 오프각을 갖지 않는 C면 저스트 기판 위에 에피택셜 성장시킨 것은 표면에 요철이 생겼지만, 본 발명의 오프각 GaN 기판 위에 성장시킨 GaN 에피택셜층은 모폴로지가 개선되어 평탄하게 되어 있다. 오프 앵글 기판의 장점이다. 그 에피택셜층 위에 InGaN을 발광층으로 하는 청색 LED를 제작했다. 저스트 기판 위에 만든 LED보다도 오프 앵글 기판 위에 만든 LED쪽이 휘도가 높았다. 그것은 에피택셜층의 모폴로지가 좋기 때문이며, 그것은 오프 앵글에 기인한다. 오프 앵글 GaN 기판은 C면 저스트의 기판보다 고휘도의 LED의 제조를 가능하게 한다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

오프 각도를 갖는 (111) GaAs 기판을 기초 기판으로서 이용하여, 그 위에 GaN 단결정층을 성장시킨 후, 기초 기판을 제거하여, 오프 각도를 갖는 GaN 자립 기판을 제작하는 것을 특징으로 하는 GaN 단결정 기판의 제조 방법.

청구항 2.

오프 각도를 갖는 (111) GaAs 기판을 기초 기판으로서 이용하여, 그 위에 복수의 창을 갖는 마스크를 형성하고, 그 위에서부터 GaN 단결정층을 성장시킨 후, 기초 기판을 제거하여, 오프 각도를 갖는 GaN 자립 기판을 제작하는 것을 특징으로 하는 GaN 단결정 기판의 제조 방법.

청구항 3.

오프 각도를 갖는 (111) GaAs 기판을 기초 기판으로서 이용하여, 그 위에 GaN 에피택셜층을 $0.5 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$ 의 두께로 형성하고, 그 위에 복수의 창을 갖는 마스크층을 형성하며, 그 위에서부터 추가로 GaN 단결정층을 성장시킨 후, 기초 기판을 제거하여, 오프 각도를 갖는 GaN 자립 기판을 제작하는 것을 특징으로 하는 GaN 단결정 기판의 제조 방법.

청구항 4.

오프 각도를 갖는 (111) GaAs 기판을 기초 기판으로서 이용하여, 그 위에 복수의 창을 갖는 마스크층을 형성하고, 그 위에서부터 충분한 두께를 갖는 GaN 단결정층을 성장시킨 후, 두께 방향으로 슬라이스 가공을 하여, 복수매의 오프 각도를 갖는 GaN 자립 기판을 제작하는 것을 특징으로 하는 GaN 단결정 기판의 제조 방법.

청구항 5.

오프 각도를 갖는 GaN 자립 기판을 기초 기판으로서 이용하여, 그 위에 충분한 두께를 갖는 GaN 단결정층을 성장시킨 후, 두께 방향으로 슬라이스 가공하여, 복수매의 오프 각도를 갖는 GaN 자립 기판을 제작하는 것을 특징으로 하는 GaN 단결정 기판의 제조 방법.

청구항 6.

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 기초 기판인 GaAs 기판의 오프 각도는 $0.3^\circ \sim 20^\circ$ 인 것을 특징으로 하는 GaN 단결정 기판의 제조 방법.

청구항 7.

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 기초 기판인 GaAs 기판의 오프 각도는 $0.1^\circ \sim 25^\circ$ 인 것을 특징으로 하는 GaN 단결정 기판의 제조 방법.

청구항 8.

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 기초 기판인 GaAs 기판은 (111)면 기판이며, 오프의 방향은 기판 표면의 법선 벡터에 대하여, 면방위 [111]이 <1-10> 방향으로 경사져 있는 것을 특징으로 하는 GaN 단결정 기판의 제조 방법.

청구항 9.

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 기초 기판인 GaAs 기판은 (111)면 기판이며, 오프의 방향은 면방위 [111]이 <11-2> 방향으로 경사져 있는 것을 특징으로 하는 GaN 단결정 기판의 제조 방법.

청구항 10.

오프 각도를 갖는 (111) GaAs 기판을 기초 기판으로서 이용하여, 그 위에 GaN 단결정층을 성장시킨 후, 기초 기판을 제거하여, 오프 각도를 갖는 GaN 자립 기판을 제작한 것을 특징으로 하는 GaN 단결정 기판.

청구항 11.

오프 각도를 갖는 (111) GaAs 기판을 기초 기판으로서 이용하여, 그 위에 복수의 창을 갖는 마스크를 형성하고, 그 위에서부터 GaN 단결정층을 성장시킨 후, 기초 기판을 제거하여, 오프 각도를 갖는 GaN 자립 기판을 제작한 것을 특징으로 하는 GaN 단결정 기판.

청구항 12.

오프 각도를 갖는 (111) GaAs 기판을 기초 기판으로서 이용하여, 그 위에 GaN 에피택셜층을 $0.5 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$ 의 두께로 형성하고, 그 위에 복수의 창을 갖는 마스크층을 형성하며, 그 위에서부터 추가로 GaN 단결정층을 성장시킨 후, 기초 기판을 제거하여, 오프 각도를 갖는 GaN 자립 기판을 제작한 것을 특징으로 하는 GaN 단결정 기판.

청구항 13.

오프 각도를 갖는 (111) GaAs 기판을 기초 기판으로서 이용하여, 그 위에 복수의 창을 갖는 마스크층을 형성하고, 그 위에서부터 충분한 두께를 갖는 GaN 단결정층을 성장시킨 후, 두께 방향으로 슬라이스 가공을 하여, 복수매의 오프 각도를 갖는 GaN 자립 기판을 제작한 것을 특징으로 하는 GaN 단결정 기판.

청구항 14.

오프 각도를 갖는 GaN 자립 기판을 기초 기판으로서 이용하여, 그 위에 충분한 두께를 갖는 GaN 단결정층을 성장시킨 후, 두께 방향으로 슬라이스 가공하여, 복수매의 오프 각도를 갖는 GaN 자립 기판을 제작한 것을 특징으로 하는 GaN 단결정 기판.

청구항 15.

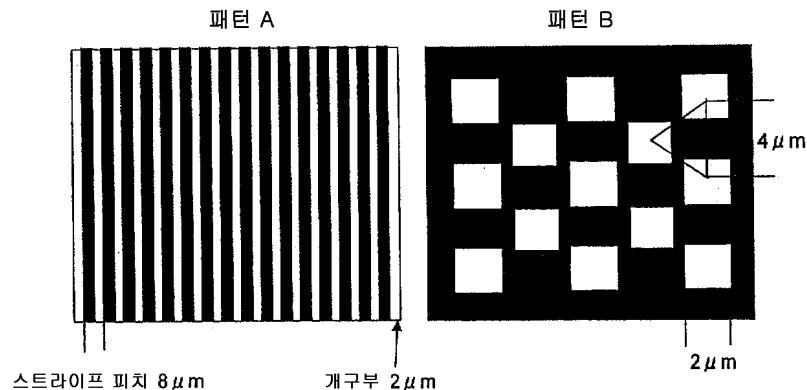
GaN 자립 기판의 오프 각도는 $0.3^\circ \sim 20^\circ$ 인 것을 특징으로 하는 GaN 단결정 기판.

청구항 16.

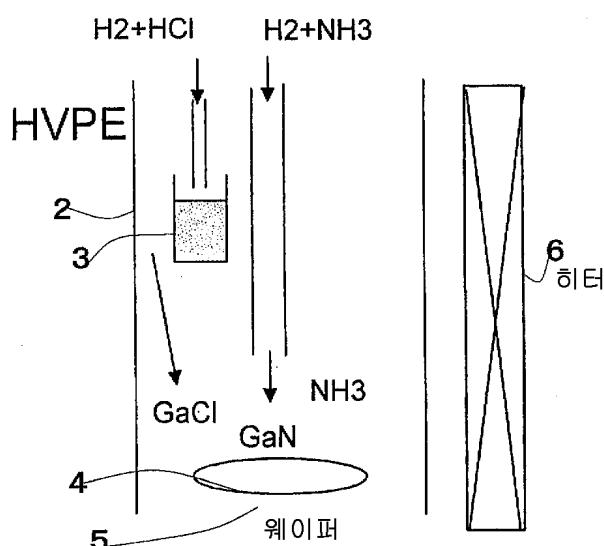
GaN 자립 기판의 오프 각도는 $0.1^\circ \sim 25^\circ$ 인 것을 특징으로 하는 GaN 단결정 기판.

도면

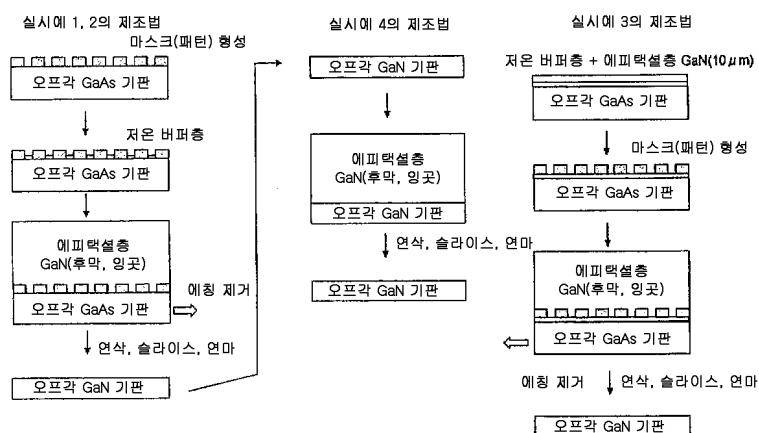
도면1



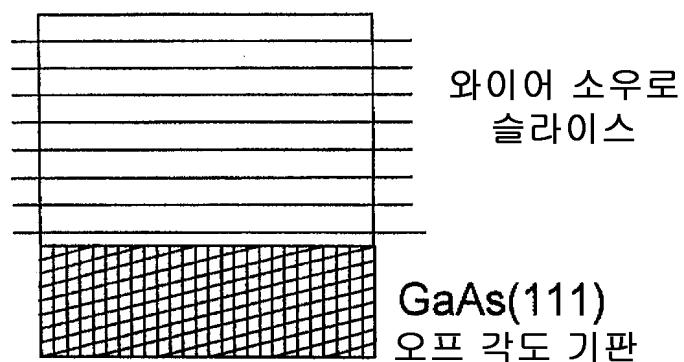
도면2



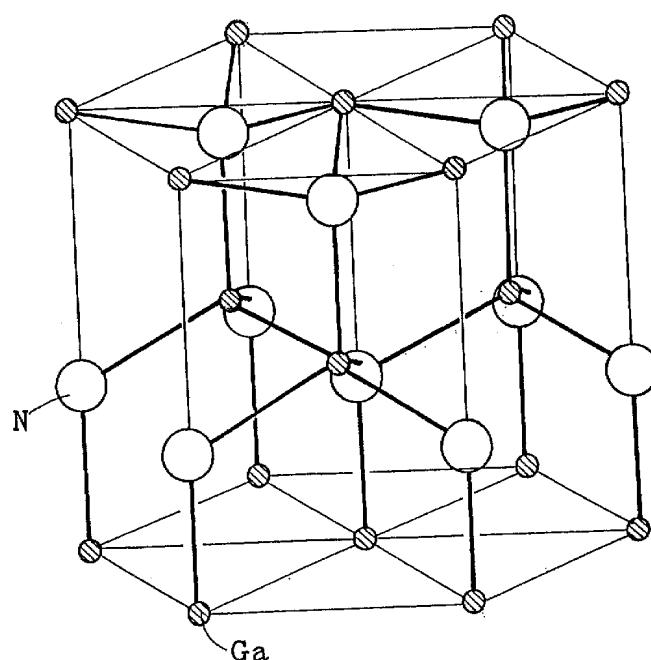
도면3



도면4



도면5



도면6

