



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년02월21일  
(11) 등록번호 10-1358966  
(24) 등록일자 2014년01월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 21/20 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2012-7009425(분할)  
(22) 출원일자(국제) 2006년02월28일  
심사청구일자 2012년04월12일  
(85) 번역문제출일자 2012년04월12일  
(65) 공개번호 10-2012-0054093  
(43) 공개일자 2012년05월29일  
(62) 원출원 특허 10-2007-7021605  
원출원일자(국제) 2006년02월28일  
심사청구일자 2011년02월15일  
(86) 국제출원번호 PCT/IB2006/000421  
(87) 국제공개번호 WO 2006/097804  
국제공개일자 2006년09월21일  
(30) 우선권주장  
60/657,208 2005년02월28일 미국(US)  
(56) 선행기술조사문헌  
JP2004288964 A\*  
WO1996022408 A2  
WO2001065590 A2  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
에피스피드 에스.에이.  
스위스 씨에이치-8005 취리히, 테크노파크스트라  
쎄 1  
(72) 발명자  
본 캐널 한스  
스위스 씨에이치-8046 취리히, 홀더바흐웨그 21에  
이  
(74) 대리인  
황의만

전체 청구항 수 : 총 5 항

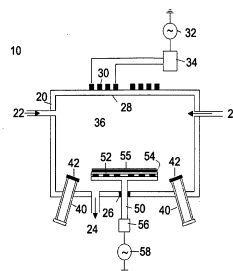
심사관 : 김중희

(54) 발명의 명칭 고밀도 저에너지의 플라즈마 인헨스드 기상 에피택시를 위한 시스템 및 공정

(57) 요약

화합물 반도체층들을 빠르게 에피택셜 증착하기 위한 장치 및 공정은 플라즈마 인헨스드 기상 에피택시를 위한 저 에너지 고밀도의 플라즈마 발생 장치를 포함한다. 상기 공정은, 일 단계에서, 증착 챔버 내에서 비 금속 원소들의 가스들과 하나 이상의 금속 증기들을 결합하는 것을 제공한다. 이후, 밀도 높은 저 에너지 플라즈마의 존재 하에서 가스들을 고도로 활성화시킨다. 금속 증기와 고도로 활성화된 가스들을 반응시킴과 동시에, 플라즈마 내에 액침된 지지부(support)와 통신하는 가열된 기관상에 반응 결과(reaction product)를 증착시킴으로써, 기관 위에 반도체층을 형성한다. 상기 공정은 탄소가 없으며, 큰 면적의 실리콘 기관들 상에서 1000℃ 미만의 기관 온도 및 최대 10nm/s의 성장 속도에서의 나이트라이드 반도체들의 에피택셜 성장에 특히 적합하다. 본 공정은 탄소 함유 가스도 요구하지 않고, 수소를 방출하는 가스들도 요구하지 않으며, 유독성 캐리어 또는 반응물 가스들이 없기 때문에, 환경 친화적이다.

대표도 - 도1



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

에피택셜 화합물 반도체층들의 에피택셜 증착 공정으로서,

- a. 하나 혹은 다수의 금속을 증착 챔버에서 증발시키는 단계로서, 상기 증착 챔버에서는 아크 방전 플라즈마가, 상기 플라즈마 내에서 확산하여 퍼지는 금속 입자들과 가스 입자들을 활성화시키는 밀도 및 압력에서 유지되고, 상기 압력은 에피택셜 증착 동안  $10^{-2}$  mbar 내지  $10^{-1}$  mbar 로 제어되는 증발시키는 단계; 및
- b. 자기장 발생기에 의하여 상기 증착 챔버 내의 플라즈마 밀도를 조절함으로써 성장률을 조절하면서, 활성화된 금속 증기와 비금속 원소들의 활성화된 가스를 반응시키고, 금속 증기의 증기 압력 및 활성화된 가스 흐름을 조절함으로써, 기설정된 성장률을 유지하는 것에 의하여, 상기 플라즈마와 직접적으로 접촉하고 있는 가열된 기관 위에 반도체층을 형성하는 단계를 포함하는 에피택셜 화합물 반도체층들의 에피택셜 증착 공정.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 증발시키는 단계에서는, 갈륨, 알루미늄, 및 인듐을 포함하는 금속들의 그룹으로부터 선택된 금속 증기와  $N_2$  가스로서의 질소를 상기 증착 챔버 내에서 혼합하여, 가스 입자와 금속 입자를 확산하여 퍼지게 하고,

상기 반도체층을 형성하는 단계에서는, 상기 금속 증기들 및  $N_2$  가스는 상기 증착 챔버 내에서 플라즈마에 노출되어, 금속 증기 및 질소 가스는 활성화되고, 상기 활성화된 금속 증기는 상기 활성화된 질소 가스와 상기 플라즈마 내에서 반응하고, 상기 플라즈마 내에 배치되는 반도체 지지 기관 상에 금속 나이트라이드층이 상기 플라즈마 내에서 형성 및 에피택시되게 하여, 단결정의 나이트라이드 반도체를 제공하는 것을 특징으로 하는 에피택셜 화합물 반도체층들의 에피택셜 증착 공정.

### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 에피택셜 화합물 반도체층들의 에피택셜 증착 공정은 플라즈마 인헨스드 기상 단결정 에피택시에 적합하고,

상기 증발시키는 단계에서는, 갈륨, 알루미늄, 및 인듐을 포함하는 금속들의 그룹으로부터 선택된 금속 증기와  $N_2$  가스로서의 질소를 상기 증착 챔버 내에서 혼합하여, 가스 입자와 금속 입자를 확산하여 퍼지게 하고,

상기 반도체층을 형성하는 단계에서는, 상기 금속 증기들 및  $N_2$  가스는 상기 증착 챔버 내에서 플라즈마에 노출되어, 상기 금속 입자들 및 질소 가스는 활성화되고, 상기 플라즈마 내에서는 상기 활성화된 금속 증기는 상기 활성화된 질소 가스와 반응하고, 상기 플라즈마 내에 배치되는 반도체 지지 기관 상에 금속 나이트라이드층이 상기 플라즈마 내에서 형성 및 에피택시되게 하여, 단결정의 나이트라이드 반도체를 제공하는 것을 특징으로 하는 에피택셜 화합물 반도체층들의 에피택셜 증착 공정.

### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 에피택셜 화합물 반도체층들의 에피택셜 증착 공정은 플라즈마 인헨스드 기상 단결정 에피택시에 적합하고,

상기 증발시키는 단계에서,

증기 갈륨 및  $N_2$  가스로서의 질소가 시스템의 증착 챔버 내에서 혼합되어, 가스 입자들 및 금속 입자들이 플라즈마 내에서 확산하여 퍼지며, 상기 갈륨 증기들 및  $N_2$  가스를 시스템의 상기 증착 챔버 내에서 플라즈마에 노출시키고, 상기 질소 가스를 활성화시키며; 그리고

상기 반도체층을 형성하는 단계에서는,

상기 반응성 증기 갈륨 및 반응성 질소가 상기 플라즈마 내에서 함께 반응함으로써, 상기 플라즈마 내에 배치되는 반도체 지지 기판 상에 갈륨 나이트라이드층이 상기 플라즈마 내에서 형성 및 에피택시되게 하여, 단결정의 GaN 반도체를 제공하는 것을 특징으로 하는 에피택셜 화합물 반도체층들의 에피택셜 증착 공정.

## 청구항 5

삭제

## 청구항 6

제 2 항의 공정에 의해 형성되는 에피택셜 금속 나이트라이드 헤테로구조로서,

상기 에피택셜 금속 나이트라이드 헤테로구조는 발광 다이오드들, 레이저들 및 고주파수 고전력 전자 디바이스들을 포함하는 디바이스들의 그룹으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 에피택셜 금속 나이트라이드 헤테로구조.

## 명세서

### 기술 분야

[0001] 관련 출원

[0002] 본 출원은 2006년 2월 28일 출원된 미국 가 특허 출원 US 60/657,208호의 우선권을 주장하며, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다.

[0003] 본 발명은 에피택시 성장 공정들 및 코팅 장치들의 분야에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명은 물질을 증기 상태(vapor state) 또는 가스 상태(gaseous state)로부터 직접 증착함으로써 단결정(single crystal)을 에피택시 형성하기 위한 장치들 및 공정들에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0004] III-V 화합물 반도체인 갈륨 나이트라이드(GaN) 및 그 알루미늄(Al) 및 인듐(In) 합금들은 고주파수 및 고전력 전자 응용들 모두에 대해 이상적인 물질들이다(예를 들어, Brown 등의, Solid-State El. 46, 1535(2002)를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다). 이러한 물질들은 또한 단파장의 발광 다이오드들 및 레이저들에 대해서도 이상적이다(예를 들어, Nakamura, Annu. Mater. Sci. 28, 125 (1998); Nakamura, Science 281, 956(1998); 및 Smith 등의 J. Appl. Phys. 95, 8247 (2004)를 참조하는바, 이들의 내용은 본원의 참조로서 인용된다).

[0005] 하지만, 이러한 물질들의 주요 단점들 중 하나는, 벌크 형태에서의 이들의 성장에 요구되는 높은 온도 및 압력의 과도한 조건들로 인한 커다란 단결정들의 결여이다. 상당한 크기의 GaN 웨이퍼들을 종합적으로 다루기 위한 유일한 방법은 헤테로에피택시(heteroepitaxy)로서, 이는 스스로 지탱(self-supporting)하는 두꺼운 GaN 층들이 사파이어 또는 실리콘 카바이드(SiC)와 같은 지지 기판상에 성장되게 하는 바, 이러한 기판은 이후 제거된다. 보다 얇은 헤테로에피택셜 III-V 나이트라이드층들은 기판을 제거하지 않으면서 디바이스 처리에 이용될 수 있다.

[0006] GaN의 헤테로에피택셜 성장에 이용되는 모든 기술들의 하나의 공통적인 문제는 성장하는 층들 내에 처음에 존재하는 높은 전위(dislocation) 밀도이다. 이러한 문제는 GaN과 이용가능한 기판 물질들(사파이어, 실리콘 카바이드 및 실리콘 등)의 서로 다른 격자 파라미터들로 인해 야기된다(예를 들어, Dadgar 등의 Phys. Stat. Sol. (c) 0, 1583 (2003)을 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다). 높은 부적합(misfit) 전위 밀도의 결과로서, 헤테로에피택셜 GaN 층들은 높은 밀도의 쓰레딩 전위(threading dislocation, TD)들을 포함하는 경향이 있

는바, 이것들은 임의의 활성층들 내로 투과될 때마다 디바이스의 성능을 저하시킨다. 다양한 형태의 버퍼층 성장, 또는 마스크들을 이용한 그리고 이용하지 않는 측면 과성장(lateral overgrowth)과 같은, 디바이스 제조에 받아들일 수 있는 가치(value)들에 대한 TD 밀도를 감소시키기 위한 많은 방법들이 고안되었다(예를 들어, Davis 등의 Proc. IEEE 90, 993 (2002)를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다).

[0007] 에피택셜 III-V 나이트라이드층들을 성장시키는 데에 이용되는 주요 방법들은 수소화물 기상 에피택시(HVPE), 금속-유기 화학 기상 증착(MOCVD) 및 분자 빔 에피택시(MBE)이다. HVPE에서는, 순수 금속들이 소스 물질들로서 이용되며, 이들은 가스 할라이드(halide)들로서 반응 구역으로 이송되어, 질소 함유 가스(대개,  $\text{NH}_3$ )와 반응함으로써, 전형적으로 1000°C 이상으로 가열되는 기관 위에 에피택셜층을 형성한다. HVPE는 최대 100 $\mu\text{m}/\text{h}$ 까지의 매우 높은 성장 속도의 장점을 갖는다(예를 들어, Nikolaev 등의 미국 특허 6,472,300호를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다). 높은 성장 속도 때문에, HVPE는 주로 수십 마이크로미터 두께의 층들을 성장시키는 데에 이용되며, 특히 이후의 MOCVD 또는 MBE 단계들에 대한 기관들과 같이 스스로 지탱하는 층들을 제조하는 데에 이용된다.

[0008] 하지만, 가파른 인터페이스들의 제어 및 낮은 속도는 HVPE에 의해 달성하기가 더욱 어려우며, 서로 다른 반응 구역들 간에 기관의 기계적인 이동을 요구한다(예를 들어, Tsvetkov 등의 미국 특허 6,706,119호를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다). 또한, 반응 구역 내에 수소 가스가 존재하게 되면, 특히 예를 들어 Mg 불순물들에 의한 높은 p-타입 도핑이 이루어져야 할 때, 비활성 가스 환경에서 기관을 어닐링시킬 것을 요구한다(예를 들어, Nikolaev 등의 미국 특허 6,472,300호를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다).

[0009] MOVCD(또는 "금속-유기 기상 에피택시"에 대해서는 MOVPE)는 금속-유기 전구체(precursor)들이 음이온 함유의 다른 반응성 가스들(나이트라이드 성장의 경우에는, 암모니아)과 함께 이용되는 CVD 기술이다. 단지 수  $\mu\text{m}/\text{h}$ 의 다소 낮은 성장 속도와 함께, 값비싼 전구체 가스들의 필요성은 MOCVD의 큰 단점이다. 또한, GaN 헤테로에피택시에 대해서는, 활성층 스택들이 1000°C 이상의 온도에서 증착되기 전에, 일반적으로 버퍼층이 보다 낮은 기관 온도에서 사파이어, SiC 또는 Si 상에 성장되어야 한다(예를 들어, Peczalski 등의 미국 특허 6,818,061호를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다). 하지만, MOCVD는 디바이스 제조에 적절한 활성층 구조들을 성장시키는 데에 가장 빈번하게 이용되는 기술이다(예를 들어, Wang 등의 Appl. Phys. Lett. 74, 3531 (1999) 및 Nakamura의 Science 281, 956 (1998)을 참조하는바, 그 내용들은 본원의 참조로서 인용된다).

[0010] 성장 동안의 높은 기관 온도와 함께, 공통의 기관들과 GaN 간의 열 팽창 계수의 큰 차이는 크랙이 없는(crack-free) 에피택셜층들을 달성하는 것을 크게 방해한다. 크랙을 피하기 위해서는, 다소 복잡한 인터레이어 방식(interlayer scheme)을 필요로 하는 것으로 여겨진다(예를 들어, Blasing 등의 Appl. Phys. Lett. 81, 2722 (2002)를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다). HVPE 및 MOCVD는 모두 대기압 또는 다소 감소된 압력에서 이루어지는 증착 기술들이다. 반응기의 기하구조(geometry) 및 가스 흐름이 층의 균일성을 대부분 결정한다.

[0011] 대조적으로, MBE에서, 압력은 고진공에서 초고진공의 범위에 있으며, 이에 따라 평균 자유 행로(mean-free path)는 반응기의 치수를 크게 넘는다. 금속들은 소위 이퓨전 셀(effusion cell)들에서 증발(evaporate)되는 바, 이러한 이퓨전 셀들로부터 분자빔 또는 원자빔은 가스 상태에서 산란되지 않으면서 가열된 기관 쪽으로 이동한다. 나이트라이드 성장에 대해서는, 활성화된 질소를 제공하는 질소 소스가 이용되어야 한다. 활성화는 대개 분자 질소의 플라즈마 여기에 의해 이루어진다. 질소 활성화를 위해 전자 사이클로트론 공진(ECR) 플라즈마 소스를 이용하여 갈륨 나이트라이드층들을 에피택셜 성장시키는 시스템은, 예를 들어 Moustakas 등의 미국 특허 5,633,192호에서 설명되는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다. 갈륨(Ga)은 대개 이퓨전 셀로부터 공급되기 때문에, MBE는 MOCVD에서는 일반적인 값비싼 금속-유기 전구체들을 요구하지 않는다. 또한, MBE는 층의 구성 및 인터페이스의 가파름을 우수하게 제어한다(예를 들어, Elsass 등의, Jpn. J. Appl. Phys. 39, L1023 (2000)을 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다). 하지만, 1 $\mu\text{m}/\text{h}$  정도의 낮은 성장 속도 및 복잡한 장비로 인해, MBE는 반도체 헤테로구조들의 큰 규모의 제조에 적절한 기술로서 여겨지지 않는다.

[0012] 나이트라이드 반도체들의 큰 규모의 제조에 잠재적으로 적절한 다른 방법(예를 들어, von Kanel 등의 미국 특허 6,454,855호를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다)은 저에너지의 플라즈마 인헨스드 화학 기상 증착(LEPECVD)이다. 원격 플라즈마 소스에서 질소 활성화가 일어나는 플라즈마 보조의 MBE와 대조적으로, LEPECVD에서는 밀도 높은 저에너지의 플라즈마가 기관의 표면과 직접 접촉한다. 저에너지의 플라즈마는 DC 아크 방전(arc discharge)에 의해 발생하는 바, 이러한 DC 아크 방전에 의해 금속 유기 전구체들 및 질소가 활성화된다(예를 들어, von Kanel 등의 미국 특허 6,918,352호를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다). 가

능하게는, LEPECVD는 성장 속도의 동적 범위를 최적으로 제어하면서, HVPE의 성장 속도(수십  $\mu\text{m/h}$ )에 필적하는 성장 속도를 이룰 수 있는바, 결과적으로 우수한 인터페이스 품질을 달성할 수 있게 된다. 또한, 반응성 전구체들의 활성화는 열적으로 이루어지는 것이 아니라 플라즈마에 의해 이루어지기 때문에, 공정은 보다 낮은 기판 온도들에서 동작할 것으로 기대된다. LEPECVD에 이용되는 DC 플라즈마 소스는 300mm 기판들에 대해 확장(scalable)될 수 있는 것으로 나타났다(예를 들어, von Kanel 등의 WO 2006/000846을 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다).

[0013] 비록 용어 "LEPECVD"가 DC 아크 방전과 관련하여 만들어지긴 하였지만(예를 들어, Rosenblad 등의 J. Vac. Sci. Technol. A 16, 2785 (1998)을 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다), 이러한 DC 아크 방전이 에피택시에 적절한 저에너지의 플라즈마를 발생시키는 유일한 방법은 아니다. 종래 기술에 따르면, 에피택설 설장에 적절한 충분히 낮은 에너지의 이온들은 전자 사이클로트론 공진(ECR) 플라즈마 소스들로부터도 비롯될 수 있다(예를 들어, Heung-Sik Tae 등의 Appl. Phys. Lett. 64, 1021 (1994)를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다). 큰 면적의 기판들 상에서의 플라즈마 인헨스드 CVD에 의한 에피택설 성장에 적절한 ECR 플라즈마 소스는, 예를 들어 Katsuya Watanabe 등의 미국 특허 5,580,420호에서 설명되는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다. 하지만, 산업적인 반도체 공정에 있어서, 커다란 ECR 소스들은 에피택시 보다는 식각에 이용된다. III-V 나이트라이드의 경우, 매우 높은 식각 속도를 달성할 수 있다(예를 들어, Vartuli 등의 Appl. Phys. Lett. 69, 1426 (1996)을 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다).

[0014] 고밀도 저에너지 플라즈마들의 또 다른 소스들은 유도 결합되는 플라즈마(ICP) 소스들이다. 이러한 소스들은 ECR 소스들에 비해, 큰 웨이퍼 치수들에 대한 보다 용이한 확장성 및 보다 낮은 비용과 같은 많은 장점들을 갖는다. 다른 종류의 ICP 소스들에 대해 살펴보기 위해서는, Hopwood의 Plasma Sources Sci. Technol. 1, 109 (1992)를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다. 플라즈마 처리에 이용되는 가장 일반적인 변형들로는, 플라즈마 용기 주위에 코일이 감겨지는 나선형 유도 커플러(helical inductive coupler)들(예를 들어, Steinberg 등의 미국 특허 4,368,092호를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다) 및 나선 형태의 평평한 코일들을 갖는 나선형(spiral) 유도 커플러들(예를 들어, Ogle의 미국 특허 4,948,458호를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다)이 있다. 나선형 커플러들에 기초하는 플라즈마 소스들은 플라즈마 균일성이 보다 높고, 큰 반도체 크기로의 확장이 용이하다는 장점을 갖는다(예를 들어, Collision 등의 J. Vac. Sci. Technol. A 16, 100 (1998)을 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다).

[0015] ICP 소스들이 보통 13.56MHz의 주파수에서 동작하기는 하지만, 보다 낮은 주파수에서 동작하게 되면, 용량성 커플링을 감소시킴으로써 훨씬 더 낮은 이온 에너지들을 야기하는 것으로 나타났다(예를 들어, Ma 등의 미국 특허 5,783,101호를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다).

[0016] 일반적으로, ECR 소스들과 ICP 소스들은 모두 식각에 이용된다. ICP 소스들을 이용해서도, GaN에 대해 매우 높은 식각 속도가 얻어졌다(예를 들어, Shul 등의 Appl. Phys. Lett. 69, 1119 (1996)을 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다). 하지만, 반도체 품질 물질들의 에피택설 성장에 이러한 소스들을 이용하는 것은 매우 드물다. 최근에는, 실리콘의 이온 도금(ion plating) 에피택설 증착에 전기적으로 차폐된 ICP 소스를 적용하는 것이 제안되었다. 이 방법은 증착 챔버의 내부에 금속 시준기(metallic collimator)를 필요로 한다는 명백한 단점을 갖는다(예를 들어, Johnson의 미국 특허 6,811,611호를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다).

[0017] ICP 소스들 역시, 원격 플라즈마 소스가 이용되는 것이 일반적인 열 CVD에 이용되는 챔버들과 같은 공정 챔버들의 효율적인 세정(cleaning)에 이용될 수 있다(예를 들어, Steger의 미국 특허 5,788,799호를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다). 챔버 세정은, 미립자 오염이 가능한 한 적게 유지되어야 하는 반도체 공정에 특히 중요하다. 물론, ICP 소스와 같은 플라즈마 소스를 갖추고 있는 공정 챔버들은 효율적인 세정을 위해 부가적인 원격 소스를 요구하지 않는다(예를 들어, Nemoto 등의 미국 특허 6,992,011호를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다).

[0018] 플라즈마 인헨스드 화학 기상 증착을 위해 저에너지의 플라즈마를 발생시키는 데에 어떠한 플라즈마 소스가 이용되든지 간에, III-V 화합물 반도체 성장에 적용될 때, 성장하고 있는 층들 내에 MOCVD에서 보다 훨씬 더 큰 정도로 탄소가 혼입(incorporation)되게 된다. 이러한 탄소의 혼입은 MOCVD에서의 그리고 LEPECVD에서 제안되는 유기 전구체들의 이용으로부터 비롯된다(예를 들어, von Kanel 등의 미국 특허 6,454,855호를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다). LEPECVD에서 전구체들을 크랙시키는 데에 이용되는 강한 플라즈마는 우연하게 탄소를 빨아들이는 것(uptake)을, 가능하게는 디바이스 응용들에 대해 수용할 수 없는 정도까지 크게 강화할



것으로 기대되는데, 이는 탄소가 도펀트로서 기능하기 때문이다(예를 들어, Green 등의 J. Appl. Phys. 95, 8456 (2004)를 참조하되, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다).

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0019] 본 발명의 목적은, 탄소 및 수소의 혼입, 높은 기판 온도 및 낮은 증착 속도와 같은 상기 설명한 종래 기술들의 단점들을 피하는 것이다. 종래 기술들의 부가적인 주요 한계는 비교적 작은 웨이퍼 크기(생산시 2인치, 사파이어 기판들에 대해서는 최대 6인치로 증명됨)이다. 300mm(또는 그 이상)까지 실리콘 웨이퍼들을 확장시키는 것은 본 발명의 목적들 중 하나이다.

[0020] 본 발명은 반도체 지지 기판상에 화합물 반도체층들을 빠르게 에피택셜 증착하기 위한 새로운 저에너지 고밀도의 플라즈마 장치 및 공정에 관한 것이다. 본 발명은 증착 공정 동안 구성 반응물(constituent reagent)들 그리고/또는 이들의 농도를 제어가능하게 변경함으로써 다양한 화합물층들의 증착을 제공한다. 공정의 제 1 단계에서, 하나 또는 복수의 금속들이 기화되며, 금속 증기들은 장치의 증착 챔버의 내부에 주입된다. 기화는, 예를 들어 증착 챔버의 내부와 통해 있는(즉, 통신하는) 이퓨전 셀들 또는 스퍼터 타겟들을 이용하여 이루어질 수 있다. 동시에, 챔버 내에 금속 증기(예를 들어, 갈륨)를 주입할 때, 비 금속의 그리고 대개는 비 반응성의 비 유독성 가스(예를 들어,  $N_2$ 로서의 질소)가 또한 챔버 내에 주입된다. 실질적으로 동시에 발생하는 제 2 단계에서는, (전자 사이클로트론 공진(ECR) 플라즈마, 유도 결합 플라즈마(ICP) 또는 DC 아크 방전 플라즈마와 같은) 복수의 플라즈마 발생 메커니즘들 중 임의의 메커니즘에 의해 밀도 높은 저에너지의 플라즈마가 발생되어 증착 챔버 내에 유지된다. 플라즈마 내에 완전히 액침(immerse)될 때, 비 금속 가스는 고도로 활성화되고, 금속 증기와 반응하여, 플라즈마 내에 지지되는 가열된 반도체 기판 위에 에피택셜 반도체층(예를 들어, GaN)을 형성한다. 본 발명은 유기 전구체 반응물들의 부재로 인해 탄소가 없는 공정을 제공하며, 큰 면적의 실리콘 기판 위에 반도체층들을 생성하기 위한 응용에 특히 적합하다. 또한, 어떠한 유독성 캐리어 또는 반응물 가스들도 없기 때문에, 공정은 상당히 환경 친화적이 된다.

### 도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 유도 결합된 플라즈마(ICP) 소스 및 이퓨전 셀들을 갖는 저에너지 플라즈마 인헨스드 기상 에피택시(LEPEVPE) 시스템의 개략적인 측면도이다.

도 2는 저에너지 플라즈마에 노출된 기판 위에 성장하고 있는 막의 개략도이다.

도 3은 자기장에 의해 한정되는 플라즈마의 개략도이다.

도 4는 유도 결합된 플라즈마(ICP) 소스 및 이퓨전 셀들과 함께, 아래로 향하고 있는 기판을 갖는 저에너지 플라즈마 인헨스드 기상 에피택시(LEPEVPE) 시스템의 변형의 개략적인 측면도이다.

도 5는 ICP 소스 및 스퍼터 소스들을 갖는 LEPEVPE 시스템의 개략적인 측면도이다.

도 6은 DC 플라즈마 소스 및 이퓨전 셀들을 갖는 본 발명의 LEPEVPE를 위한 시스템을 나타내는 개략도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 본 발명은 III-V 반도체들, 특히 GaN, GaAlN 및 GaInN과 같은 III-나이트라이드들의 에피택셜 성장을 위한 공정 및 장치를 포함하는 시스템이다. 이러한 장치는 반도체 지지 기판 위에서 반도체층들의 플라즈마 인헨스드 기상 에피택시를 위한 저에너지 고밀도의 플라즈마를 제공한다. 본 발명은 고주파수 전력 증폭기들, 바이올렛, 블루 및 화이트 LED들(발광), 및 블루와 울트라 바이올렛의 반도체 레이저들에 적절한 헤테로구조들을 경제적으로 제조할 수 있게 한다.

[0023] 도 1을 참조하면, 장치(10)는 배출 라인(24)에 부착된 터보 분자 펌프(turbomolecular pump)와 같은 진공 펌핑 시스템(미도시)과 통신하는 챔버 내부(21)를 갖는 진공 증착 챔버(20)를 포함한다. 증착 챔버(20) 및 펌핑 시스템은 반도체들의 완전 무균 공정에 적합하도록 선택된다. 예를 들어, 공정 가스들이 없을 때에 초고진공을 가능하게 하는 시스템이 적절한 것으로 밝혀졌다. 아르곤 및 질소와 같은 비활성의 그리고 비 반응성의 가스들 및 공정에 적절한 임의의 부가적인 가스들이 가스 입구(22)에 의해 증착 챔버(20)에 공급된다.  $N_2$  형태의 질소는 일반적으로 비반응성 가스이다. 하지만, 본 장치의 플라즈마 필드에 노출될 때,  $N_2$  질소는 자신의 원자 형태인 N

으로 변환되고, 고도로 활성화되며, 반응적이 된다. 증착 챔버(20)는 유전체 창(dielectric window)(28)을 구비하는바, 이를 통해 고주파(high frequency wave)들이 나선형 코일 어셈블리(30)에 의해 챔버 내부(21)에 결합된다. 나선형 코일 어셈블리(30)는 임피던스 매칭 네트워크(32) 및 무선 주파수 발생기(34)와 통신한다. 나선형 코일들로부터 나오는 무선 주파(radio frequency wave)들은 챔버(20)의 내부(21)에 있는 밀도 높은 저에너지 플라즈마를 여기시킨다. 예를 들어, 독일 부퍼탈(Wuppertal)에 있는 JE PlasmaConsult사로부터의 유도 결합 플라즈마 소스 ICP-P 200은,  $10^{-4}$  내지  $10^{-2}$ 의 압력 범위 및 최대 1kW의 전력에서 동작할 때, 20eV 미만의 아르곤 및 질소 이온 에너지를 발생시키는 것으로 나타났다.

[0024] 증착 어셈블리(50)는 절연기들(26)에 의해 증착 챔버(20)로부터 전기적으로 절연된다. 한개 또는 그 이상의 지지 기관(54)들은 저항성 히터 또는 램프 히터와 같은 가열 수단(52)에 의해 뒷면으로부터 가열된다. 지지 기관(54)은 유전체 창(28)과 가까운 최고 플라즈마 밀도 위치로부터 몇 표면 깊이(skin depth)(전형적으로, 5-20)만큼 이격된다. 스킨 깊이는 본 발명에 따라 이용되는 전형적인 동작 압력들에 대해 1cm 정도이다. 증착 어셈블리(50)는 접지되거나, 또는 전기적으로 플로팅된 상태로 남아있을 수 있다. 대안적으로, 증착 어셈블리(50)는 DC 바이어스 파워 서플라이에 연결되거나, 또는 임피던스 매칭 네트워크(56)를 통해 DC 자기-바이어스(DC self-bias)를 일으키는 RF 발생기(58)에 결합될 수 있다. 이러한 수단들은 플라즈마의 전기적인 전위에 대해 기관들(54)의 전기적인 전위를 제어하기 위해 취해지는 것이다. 이러한 방식으로, 기관들(54)의 표면에 수직하는 전기장 컴포넌트가 플라즈마(36)를 제어하는 파라미터들로부터 독립적으로 제어될 수 있게 된다. 이에 따라, 최적의 에피택셜 성장 조건들을 위해, 기관들 상에 충돌하는 이온들의 에너지를 조정할 수 있다.

[0025] 또한, 증착 챔버(20)는 하나 또는 그 이상의 금속 증기 발산기(metal vapor emitter)(예시되는 실시예에서는, 이퓨전 셀들)를 구비하는바, 이것들을 통해 Ga, In 및 Al과 같은 금속들이 기화되며, 이러한 증기들은 챔버 내부(21)에 주입된다. 이러한 금속들에 있어서, 분자 빔 에피택시(MBE)에 이용되는 표준 이퓨전 셀들의 온도는, 이를 테면 이러한 기술에서 통상적인 것들보다 훨씬 더 높은 증발 속도를 가능하게 하도록 용이하게 조정될 수 있다. 예를 들어, MBE에서 전형적인 1 monolayer/sec의 GaAs 성장 속도의 100배 증가를 위해서는, 갈륨 셀 온도의 200°C 증가가 적절한 것으로 나타났다. MBE와 유사하게, 고속 동작 셔터(fast-action shutter)(42)들은 증기 발산기들(40)로부터의 플럭스(flux)들을 완전히 막도록 제어가능하다.

[0026] 에피택셜 증착 동안, 유도 코일들(30)에 인가되는 무선 주파수 전력 및 챔버(20) 내에서의 가스 압력들은 가열된 기관들(54)이 저에너지 플라즈마에 완전히 노출되도록 선택된다. 전형적으로, 챔버(20) 내에서의 가스 압력들은  $10^{-4}$  mbar 내지 1.0mbar의 범위이며,  $10^{-2}$  내지  $10^{-1}$  mbar 범위의 압력들이 가장 전형적이다. 이러한 조건들 하에서, 이퓨전 셀들(40)로부터의 금속 증기와 활성화된 질소는 모두 플라즈마 내에서의 확산 이송에 의해 움직인다. 질소와 반응하는 금속 원자들은 뜨거운 기관들(54) 상에 에피택셜 나이트라이드층을 형성한다.

[0027] 도 2는 저에너지 플라즈마(36)에 노출된 기관(54) 위에 성장하고 있는 막(55)을 상세히 나타낸다. 유전 창(28)으로부터 기관(54)으로의 플라즈마의 이온 밀도는 멱지수적(exponential)으로(즉, 기하급수적으로) 감소한다. 예를 들어, 플라즈마 소스 "ICP-P 200"에 있어서, 10sccm의 가스 흐름에서의  $10^{-1}$  mbar의 질소 압력 및 1000W의 rf-전력이 이용될 때, 질소 플라즈마 내에서의 이온 밀도는 유전 창(28)의 약 10cm 아래에 위치하는 기관에서 여전히  $10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 를 넘게 된다. 이온 밀도를 낮게 유지하기 위해서는, 실질적으로  $10^{-1}$  mbar 미만의 질소 부분 압력이 이용될 때, 가스 입구(22)를 통한 Ar의 제어된 흐름이 질소 가스와 함께 진공 챔버(20)에 들어갈 수 있게 함으로써, 총 가스 압력을, 예를 들어  $10^{-1}$  mbar로 고정되게 유지하는 것이 유익하다.

[0028] 밀도 높은 플라즈마(36) 내에서의 반응 종(species)의 효율적인 활성화 및 저에너지 이온들에 의한 기관(54) 표면의 강한 충격의 결과로서, 기관 온도는 MOCVD에 대해 전형적인 1000°C 및 그 이상의 기관 온도에 비해 상당히 낮아질 수 있게 된다. 이에 따라, 전형적인 기관들(사파이어, 실리콘 카바이드 및 실리콘)의 서로 다른 열 팽창 계수들로 인한 층 크래킹(cracking) 문제가 크게 감소될 것으로 기대된다.

[0029] 도 3은 진공 챔버(20)의 일부를 상세히 나타내는데, 여기에서는 플라즈마(36)를 한정하고, 그 밀도 및 균일성을 증가시키기 위해, 챔버는 코일들 또는 영구 자석들(70)을 선택적으로 구비한다. 이러한 코일들 또는 영구 자석들에 의해 발생하는 자기장은 플라즈마를 형상화(shaping)하는 것을 돕는다.  $10^{-3}$  내지  $10^{-2}$  Tesla 정도의 약한 필드 만으로도 유익한 효과를 갖기에 충분한 것으로 고려된다.

[0030] 본 발명의 바람직한 실시예에서는, 에피택셜 나이트라이드 반도체 성장에 어떠한 반응 가스도 이용되지 않는다. 부가적인 셀들(40a)은 Mg, Zn 및 액셉터 불순물들의 역할을 하는 유사한 금속들과 같은, 원소 형태로 이용되는

것이 바람직한 도핑 종을 포함할 수 있다. 유사하게, 실리콘과 같은, 도너들의 역할을 하는 도펀트들이 부가적인 셀들(40a)에 의해 제공될 수 있다. 이러한 발산기들(이퓨전 셀들)(40a)은 또한 도펀트 증기들의 고속의 완전한 중단을 가능하게 하는 고속 동작 셔터들(42)을 구비한다. 300mm 웨이퍼들 및 가능하게는 그 이상으로의 확장을 가능하게 하기 위해, 바람직한 지지 기관(54)은 실리콘으로 선택된다. 하지만, 최신의 기술들에서 이용되는 다른 기관들의 이용도 본 발명에 따른 새로운 기술에서 동등하게 가능하다.

[0031] 에피택셜 층 증착에 적절한 밀도 높은 저에너지 플라즈마와 금속 증발을 위한 이퓨전 셀들의 결합은 지금까지 제안되지 않았다. 우리는 새로운 공정인 저에너지 플라즈마 인헨스드 기상 에피택시(LEPEVPE)를 명명(call)하였다. LEPEVPE는, DC 플라즈마 방전 및 반응성의 가스 상태 전구체들이 이용되는 LEPECVD를 포함한 기존의 다른 모든 공정들에 대해 완전히 다른 조건들 하에서 동작하는 공정이다.

[0032] 본 발명의 일 실시예에서, 증기 발산기들(300)의 영역은 내부의 뜨거운 금속들과의 열 반응들 및 증착 챔버로의 연결 튜브에서의 확산 이송을 허용하지 않기 위해 차별적으로 펌핑된다(도 6의 320). 본 발명의 바람직한 실시예에서는, 한개 이상의 증기 발산기(이퓨전 셀)(40 및 40a)가 증발되는 금속마다 이용된다. 각 셀은 서로 다른 온도에서 동작할 수 있으며, 이에 의해 한 셀로부터 다른 셀로의 스위칭에 의해 도핑 밀도 또는 증착 속도의 고속의 변경을 가능하게 한다.

[0033] 본 발명의 다른 실시예에서는, 부가적인 가스 라인들(23)을 이용하여, 가스 형태로 가해지는 것이 바람직한 도핑 원소들(elements)에 대해 증착 챔버 내에 도핑 가스들을 삽입한다. n-타입 도핑을 위한 실란(silane)과 같은 도핑 가스들은 아르곤과 같은 비 반응성 가스 내에서 희석되는 것이 바람직하다. 도핑 가스마다 하나 이상의 가스 라인을 이용함으로써, 도핑의 동적 범위를 증가시킬 수 있다. 단지 고체 소스 타입의 증기 발산기들(40a)만이 도핑에 이용되는 바람직한 실시예에서, 공정은 수소가 없이 동작한다. 이러한 실시예는 p-도핑된 GaN에 대해 특히 바람직한데, 그 이유는 수소가 없는 공정은 열 어닐링에 의한 어떠한 도펀트 활성화도 필요로 하지 않기 때문이다. 본 발명의 공정은 어떠한 탄소 함유 전구체 가스도 요구하지 않기 때문에, 탄소가 없는 공정이다.

[0034] 도 1에 나타난 본 발명의 바람직한 실시예에서, 지지 기관(54)의 어셈블리는 위를 향하고 있다. 반도체 공정에서 통상적으로 이용되는 이러한 구성은 웨이퍼 취급 및 증착 어셈블리 또는 기관 홀더(50)의 설계를 용이하게 한다. 본 발명에 따르면, LEPEVPE는 지지 기관(54)의 표면과 직접 접촉하는 고밀도 저에너지의 플라즈마에 의해 특징화된다. 이에 따라, 지지 기관(54)의 표면은 저에너지 이온들의 강한 충격을 받게 되는데, 그 에너지는 기관 바이어스의 적절한 선택에 의해 조정될 수 있다. 이것은, 원격 플라즈마 소스들을 이용하는 플라즈마 처리 방법들과 현저하게 차이가 나는데, 이러한 플라즈마 처리 방법들은 전형적으로 래디컬(radical)만을 전달하고, 기관 표면에서의 이온 밀도는 무시할 정도로 낮다. 저에너지 이온들에 의한 격렬한 기관 충격은, 500℃로 낮은 기관 온도에서 5nm/s 이상의 극도로 높은 성장 속도로 디바이스 품질의 반도체 층들의 에피택셜 성장시키는 데에 유익한 것으로 나타났다(예를 들어, von Kanel 등의 Appl. Phys. Lett. 80, 2922 (2002)를 참조하되, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다). 이에 따라, 본 발명에 따르면, 최신의 웨이퍼 취급 툴들(미도시)과 LEPEVPE를 결합시킴으로써 매우 높은 쓰루풋이 기대된다.

[0035] 본 발명에 따르면, 장치(10)는 특별히 처리된 단결정 기관들(54) 상에 III-V 반도체들, 특히 III-나이트라이드들을 에피택셜 증착시키는 데에 이용될 수 있다. 기관들(54)의 가능한 표면 처리는 최신의 화학적인 프리-세정, 인사이츄(in situ) 열 세정 또는 플라즈마 세정을 수반하며, 이후 후속의 에피택셜 나이트라이드 반도체 성장에 적절한 산화물, 카바이드 또는 저온 나이트라이드와 같은 에피택셜 템플릿(template)들이 인사이츄 형성된다.

[0036] 도 4는 본 시스템의 장치(10)를 도시하는데, 여기서 성장 물질들이 증착되는 지지 기관(54)은 내부 챔버(21)의 기관 홀더(50)의 테이블 상에 장착되며, 아래를 향하고 있다. 이러한 구성은, 보다 복잡한 웨이퍼 취급 시스템 및 기관 홀더(50)의 설계를 희생으로 하여, 미립자 오염에 의한 문제가 보다 적다는 것이 특징이다. 상기 주목한 바와 같이, 증착 챔버(20)는 플라즈마를 형상화하는 것을 돕는 선택적인 코일들 또는 영구 자석들을 구비할 수 있으며, 유사하게 이퓨전 셀들(40) 등을 구비한다.

[0037] 도 5는 챔버(20) 내의 증착 어셈블리(50) 상에 장착되는 지지 기관(54)이 아래를 향하고 있는 본 발명의 다른 실시예를 나타낸다. 증착 챔버(20)는 플라즈마를 형상화하는 것을 돕는 선택적인 코일들 또는 영구 자석들(도 3 참조)을 구비할 수 있다.

[0038] 이러한 실시예에서, 원소 금속 증기(element metal vapor)들은 스퍼터 타겟들(62)을 홀딩하고 있는 물 냉각(water cooled) 스퍼터 소스들(60)에 의해 플라즈마에 공급된다. 스퍼터 타겟들(62)은 ICP 소스의 유전 창(28) 주위에 동심 링들 또는 링 세그먼트들의 형태로 배열하는 것이 적절하다. 이러한 스퍼터 타겟들은 임피던스 매



치 박스(64)를 통해 RF 파워 서플라이(66)에 연결되며, 이에 의해 파워 서플라이(66)는 바람직하게는 ICP 코일들(30)에 전력을 공급하기 위해 발생기(34)에 의해 이용되는 주파수와 실질적으로 다른 주파수로 교류 전압을 제공한다. 이에 의해, 두 종류의 전력 소스들(34 및 66) 간의 바람직하지 않은 간섭을 감소시킨다. 본 발명의 다른 실시예에서, 스퍼터 소스들(60)은 DC 파워 서플라이에 의해 전력이 공급된다.  $0.2 \times 10^{-2}$  mbar m 정도의 전형적인 압력-거리의 곱에 있어서, 기관에 도달하는 스퍼터 입자들의 열중성자화(thermalization)는 거의 완전하며, 이에 따라 전자 등급(electronic-grade)의 반도체 물질이 스퍼터 소스들을 이용함으로써 성장될 수 있는 것으로 나타났다(예를 들어, Sutter 등의 Appl. Phys. Lett. 67, 3594 (1995)를 참조하는바, 그 내용은 본원의 참조로서 인용된다).

[0039] 에피택셜 층 증착 이전에 스퍼터 소스들(60)의 세정을 가능하게 하기 위해, 챔버(20)는 이동가능한 셔터 어셈블리(82)를 선택적으로 구비함으로써, 셔터 블레이드(shutter blade)(80)가 기관들(54)에 인접하게 그리고 그 아래에 위치될 수 있게 되며, 이에 따라 프리 스퍼터링 동안, 어떠한 스퍼터 입자도 기관에 도달하지 못하게 한다.

[0040] 본 발명의 바람직한 실시예에서는, 에피택셜 나이트라이드 반도체 성장에 어떠한 반응 가스도 이용되지 않는다. 부가적인 스퍼터 타겟들(40a)은 Mg, Zn 및 액셉터 불순물들의 역할을 하는 유사한 금속들과 같은, 원소 형태로 이용되는 것이 바람직한 도핑 종을 포함할 수 있다. 유사하게, 실리콘과 같은, 도너들의 역할을 하는 도펀트들이 부가적인 스퍼터 타겟들(60a)에 의해 제공될 수 있다. 본 발명의 다른 실시예에서, 각 스퍼터 건(sputter gun)(62)은 개별적인 타겟들(60) 간의 교차 오염(cross-contamination)을 피하기 위해 선택적인 셔터들(미도시)을 구비할 수 있다.

[0041] 에피택셜 증착 동안, 유도 코일들(30)에 인가되는 무선 주파수 전력 및 챔버(20) 내에서의 가스 압력들은 가열된 기관들(54)이 저에너지 플라스마에 완전히 노출되도록 선택된다. 전형적으로, 챔버(20) 내에서의 가스 압력들은  $10^{-3}$  mbar 내지  $10^{-1}$  mbar의 범위이며,  $10^{-2}$  내지  $10^{-1}$  범위의 압력이 가장 전형적이다. 이러한 조건들 하에서, 스퍼터 건들(62)로부터의 금속 증기와 활성화된 질소는 모두 플라스마 내에서의 확산 이송에 의해 이동하며, 공정은 상기 설명한 바와 같이 진행된다.

[0042] 본 발명의 다른 실시예에서, 스퍼터 건들(62)은 이퓨전 셀들(40)과 결합될 수 있으며, 이에 의해 양쪽 소스들은 유전 창(28) 주위에 대칭적으로 배열되는 것이 바람직하다. 에피택셜 층 증착에 적절한 밀도 높은 저에너지 플라스마에 의해 원자 형태로 반응체(reactant)들 및 도펀트들을 증발시키기 위해 스퍼터 건들과 이퓨전 셀들을 결합하는 것은 지금까지 제안되지 않았다. 본 발명의 바람직한 실시예에서는, 한 개 이상이 스퍼터 건(62) 및 이퓨전 셀(40)이 증발되는 금속마다 이용된다. 각 소스는 금속 증기들의 서로 다른 플럭스를 전달하는 방식으로 동작할 수 있으며, 이에 의해 한 소스로부터 다른 소스로 스위칭함으로써 도핑 밀도 또는 성장 속도에 있어서의 급속한 변경을 쉽게 가능하게 한다. 또 다른 실시예에서, 이퓨전 셀들(40) 및 스퍼터 건들(62)은 전자 빔 증발기들에 의해 대체 또는 보충될 수 있다. 전자 빔 증발기들은 낮은 증기 압력으로 원소들을 증발시키는 데에 특히 적절한 바, 여기에서는 이퓨전 셀들(40)에 의해 상당한 플럭스들을 달성하기가 어렵다.

[0043] 도 6은 본 발명의 다른 실시예를 나타내는바, 여기서 장치(10)는 통합된 또는 개별적인 애노드(110), 비활성 가스 입구(120) 및 열이온 캐소드들(thermionic cathode)(130)의 어셈블리와 함께 넓은 면적의 플라스마 소스(broad-area plasma source)(100)를 포함한다. 바람직하게는, 캐소드들(130)과 애노드(110) 간의 전압차는 30V 미만이며, 이에 따라 기관을 치는 이온들은 약 20V 미만의 에너지를 갖는다. 아크 플라스마(140)가 발화(ignite)될 수 있는 플라스마 소스(100)는 증착 챔버(200)에 부착된다. 적재 로크(220)를 구비하는 증착 챔버는, 예를 들어 밸브(205)에 의해 챔버(200)와 통신하는 터보 분자 펌프(210)에 의해 펌핑되며, 기관 가열기 어셈블리(230)를 포함한다. 질소와 같은 비활성 가스 및 수소와 같은 부가 가스들을 주입하기 위한 가스 라인들(240)이 증착 챔버에 연결된다. 플라스마 밀도는 코일들(250)에 의해 생성되는 한정 자기장을 변경시킴으로써 빠르게 변경될 수 있다.

[0044] 또한, 이러한 챔버는 이퓨전 셀들(300)을 구비하는바, 이것들로부터 Ga, In 및 Al과 같은 금속들이 기화될 수 있다. 부가적인 셀들(300)은 Mg, Zn 및 액셉터 불순물들의 역할을 하는 유사한 금속들과 같은, 원소 형태로 이용되는 것이 바람직한 도핑 종을 포함할 수 있다. 이퓨전 셀들은 금속 증기의 완전한 차단(interruption)을 가능하게 하는 셔터들(310)을 구비한다.

[0045] 기관들(400)의 가열된 어셈블리는, 플라스마 소스 내에서의 아크 방전에 의해 발생되어 침투성 애노드(110)를 통해 증착 챔버 내에 퍼져있는 저에너지 플라스마에 완전히 노출된다. 아크 방전은 플라스마 챔버(200) 내의 열

이온 캐소드들(130)에 의해 유지되며, 증착 챔버 내에서  $10^{-4}$  mbar로부터 적어도  $10^{-1}$  mbar까지의 넓은 압력 범위에서 동작할 수 있으며,  $10^{-2}$  mbar의 압력이 가장 전형적이다. 증착 챔버를 통해 흐르는 플라즈마 활성화된 질소는 금속 증기와 반응하여, 기판(400) 위에 에피택셜 나이트라이드막을 형성한다.

[0046] 대개, 이퓨전 셀들은, 예를 들어 분자 빔 에피택시 시스템에서, 초고진공에서 금속들을 증발시키는 데에 이용된다. 여기서, 이들은 약  $10^{-2}$  mbar의 전형적인 압력(이 압력에서 이송이 확산적이 된다)에서 발생하는 고밀도 저에너지의 플라즈마 내에 금속 증기를 도입시키는 역할을 한다. 이에 따라, LEPEVPE는 다른 공정들과 완전히 다른 조건들 하에서 동작하는 공정이다. 본 발명의 일 실시예에서, 이퓨전 셀들(300)의 영역은 차별적으로 펌핑되어(320), 내부의 뜨거운 금속들과의 열 반응 및 증착 챔버에 대한 연결 튜브 내에서의 확산 이송을 허용하지 않는다.

[0047] 본 발명의 바람직한 실시예에서는, 증발되는 금속마다 한 개 이상의 이퓨전 셀(300)이 이용된다. 각 셀은 서로 다른 온도에서 동작함으로써, 한 셀로부터 다른 셀로 스위칭함으로써 성장 속도 또는 도핑 밀도에 있어서의 신속한 변경을 쉽게 가능하게 한다. 또한, 코일들(250)에 의해 생성되는 자기장을 변경함으로써 야기되는 플라즈마 밀도의 변경은 성장 속도의 동적 범위를 더욱 늘릴 수 있다.

[0048] 본 발명의 다른 실시예들에서는, 부가적인 가스 라인들(240a)을 이용하여, 가스 형태로 가해지는 것이 바람직한 도핑 원소들을 위해 증착 챔버 내에 도핑 가스들을 삽입한다. n-타입 도핑을 위한 실란과 같은 도핑 가스들은 아르곤과 같은 비 반응성 가스 내에서 희석되는 것이 바람직하다. 도핑 가스마다 하나 이상의 가스 라인을 이용함으로써, 도핑의 동적 범위를 증가시킬 수 있다.

[0049] 본 발명의 공정은 어떠한 탄소 함유 전구체 가스도 요구하지 않기 때문에, 탄소가 없는 공정이다. 바람직한 실시예에서는, 본 발명의 공정은 수소가 없이도 동작한다. 이러한 실시예는 p-도핑된 GaN 층들에 특히 바람직한데, 그 이유는 수소가 없는 공정은 열 어닐링에 의한 어떠한 도펀트 활성화도 필요로 하지 않기 때문이다.

[0050] LEPEVPE는 플라즈마에 의해 활성화되는 공정이기 때문에, 에피층(epilayer)과 기판의 서로 다른 열 팽창 계수들에 의해 야기되는 인장 변형력이 종종 성장 온도로부터의 냉각 동안 바람직하지 않은 크랙을 야기하는 경쟁 기술들보다 낮은 기판 온도들에서 동작할 수 있다.

[0051] ANNEX A - 하기의 문서들이 본 출원의 참조로서 인용되며, 본 출원은 이러한 문서들에 의존한다.

US patent documents

6,472,300	10/2002	Nikolaev et al.
6,706,119	3/2004	Tsvetkov et al.
6,818,061	11/2004	Peczalski et al.
5,633,192	5/1997	Moustakas et al.
6,454,855	9/2002	von Känel et al.
6,918,352	7/2005	von Känel et al.
5,580,420	12/1996	Watanabe et al.
4,368,092	1/1983	Steinberg et al.
4,948,458	8/1990	Ogle
6,811,611	11/2004	Johnson
5,788,799	8/1998	Steger et al.

Other patent documents

WO 2006/000846	1/2006	von Känel et al.
----------------	--------	------------------

Additional publications

J.D. Brown *et al.*, "AlGaIn/GaN HFETs fabricated on 100-mm GaN on silicon(111) substrates", Solid-State Electronics, Vol. 46, No. 10 (October 2002) pp. 1535-1539.

S. Nakamura, "InGaIn-based laser diodes", Annual Reviews on Material Science, Vol. 28 (1998) pp. 125-152.

S. Nakamura, "The roles of structural imperfections in InGaIn-based blue light-emitting diodes and laser diodes", Science, Vol. 281 (14 August 1998) pp. 956-961.

G.A. Smith *et al.*, "341 nm emission from hydride vapor-phase epitaxy ultraviolet light-emitting diodes", Journal of Applied Physics, Vol. 95, No. 12 (15 June 2004) pp. 8247-8251.

R. F. Davis *et al.*, "Gallium nitride materials - progress, status, and potential roadblocks",

[0052]

Proceedings of the IEEE, Vol. 90, No. 6 (June 2002) pp. 993-1004.

A. Dadgar *et al.*, "Metalorganic chemical vapor phase epitaxy of gallium-nitride on silicon", *physica status solidi (c)*, Vol. 0, No. 6 (September 2003) pp. 1583-1606.

T. Wang *et al.*, "Electron mobility exceeding  $10^4$  cm<sup>2</sup>/Vs in an AlGa<sub>0.2</sub>N-GaN heterostructure grown on a sapphire substrate", *Applied Physics Letters*, Volume 74, No. 23 (7 June 1999) pp. 3531-3533.

J. Bläsing *et al.*, "The origin of stress reduction by low-temperature AlN interlayers", *Applied Physics Letters*, Vol. 81, No. 15 (7 October 2002) pp. 2722-2724.

C.R. Elsass, "Electron transport in AlGa<sub>0.2</sub>N/GaN heterostructures grown by plasma-assisted molecular beam epitaxy", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 39, Part 2, No. 10B (15 October 2000) pp. L1023-L 1025.

C. Rosenblad *et al.*, "Silicon epitaxy by low-energy plasma enhanced chemical vapor deposition", *Journal of Vacuum Science and Technology A*, Vol. 16, No. 5 (Sept/Oct 1998), pp. 2785-2790.

Heung-Sik Tae *et al.*, "Low-temperature silicon homoepitaxy by ultrahigh vacuum electron cyclotron resonance chemical vapor deposition", *Applied Physics Letters*, Vol. 64, No. 8 (21 February 1994) pp. 1021-1023.

C.B. Vartuli *et al.*, "ICl/Ar electron cyclotron resonance plasma etching of III-V nitrides", *Applied Physics Letters*, Vol. 69, No. 10 (2 September 1996), pp. 1426-1428.

W.Z. Collison *et al.*, "Studies of the low-pressure inductively-coupled plasma etching for a larger wafer using plasma modeling and Langmuir probe", *Jornal of Vacuum Science and Technology A*, Vol. 16, No. 1 (Jan/Feb 1998), pp. 100-107.

R. J. Shul *et al.*, "Inductively coupled plasma etching of GaN", *Applied Physics Letters*, Vol. 69, No. 8 (19 August 1996), pp. 1119-1121.

J. Hopwood, "Review of inductively coupled plasmas for plasma processing", *Plasma Source Science and Technology*, Vol. 1, No. 2 (May 1992) pp. 109-116.

D.S. Green *et al.*, "Carbon doping of GaN with CBr<sub>4</sub> in radio-frequency plasma-assisted molecular beam epitaxy", *Journal of Applied Physics*, Vol. 95, No. 12 (15 June 2004) pp. 8456-8462.

H. von Känel, "Very high hole mobilities in modulation-doped Ge quantum wells grown by low-energy plasma enhanced chemical vapor deposition", *Applied Physics Letters*, Vol. 80, No. 16 (22 April 2002), pp. 2922-2924.

P. Sutter *et al.*, "Quantum transport in sputtered, epitaxial Si/Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> heterostructures", *Applied Physics Letters*, Vol. 67, No. 26 (25 December 1995), pp. 3954-3956.

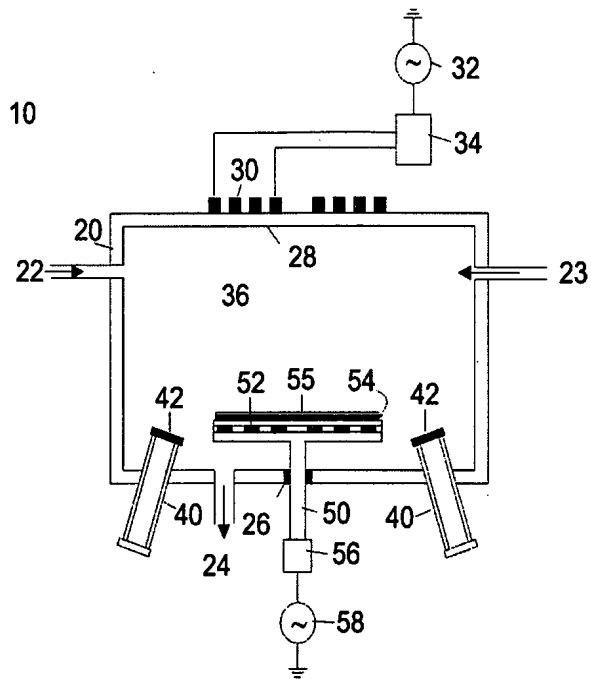
[0053]

[0054]

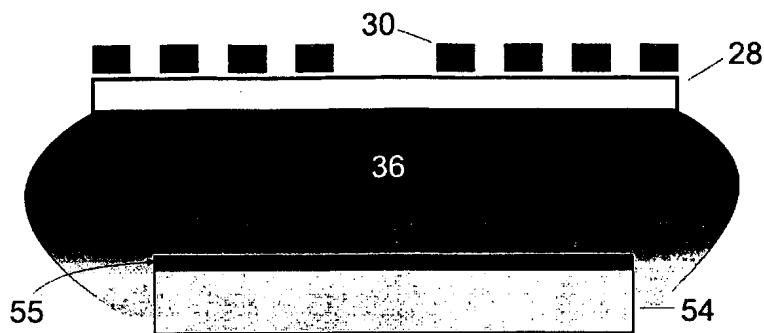


도면

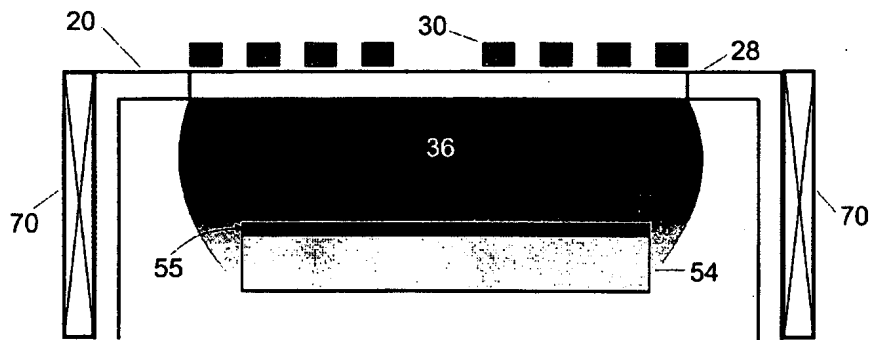
도면1



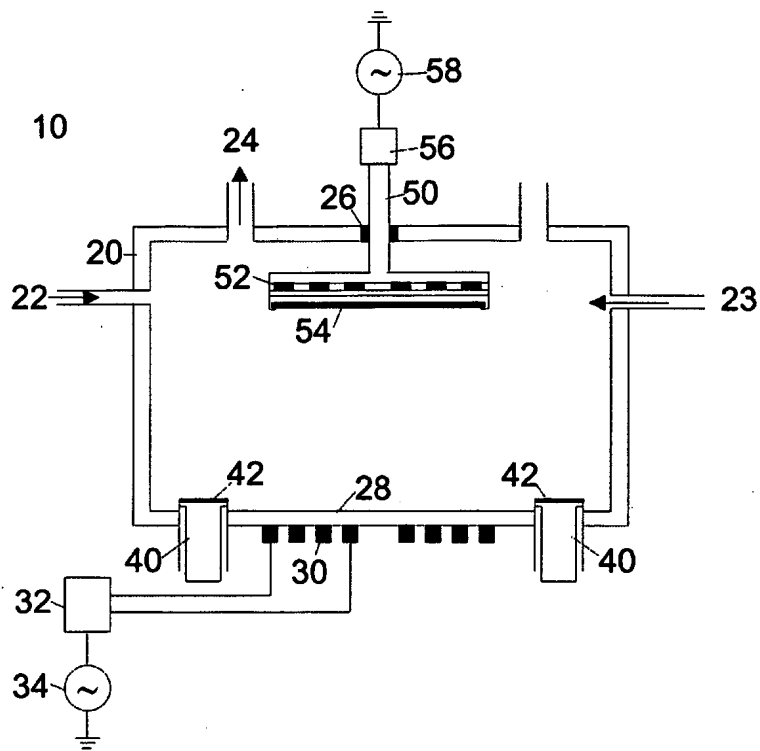
도면2



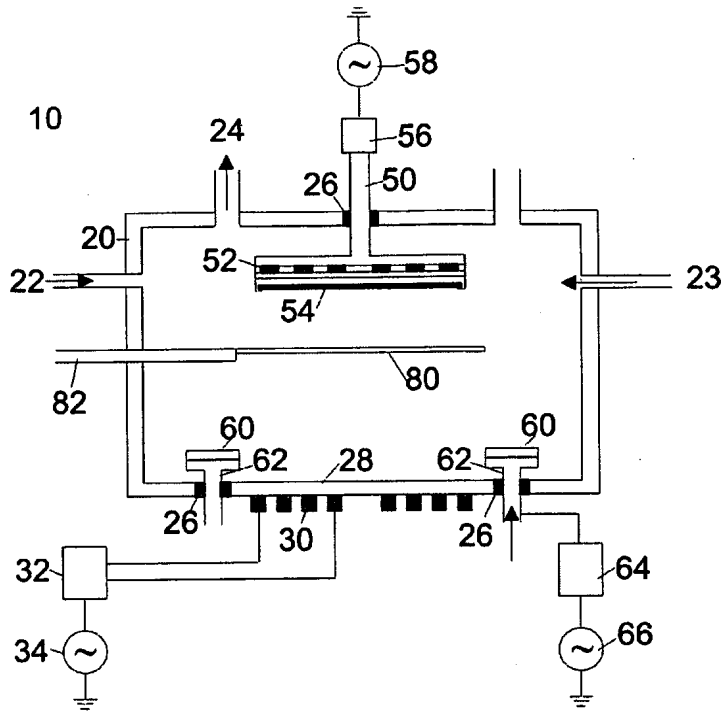
도면3



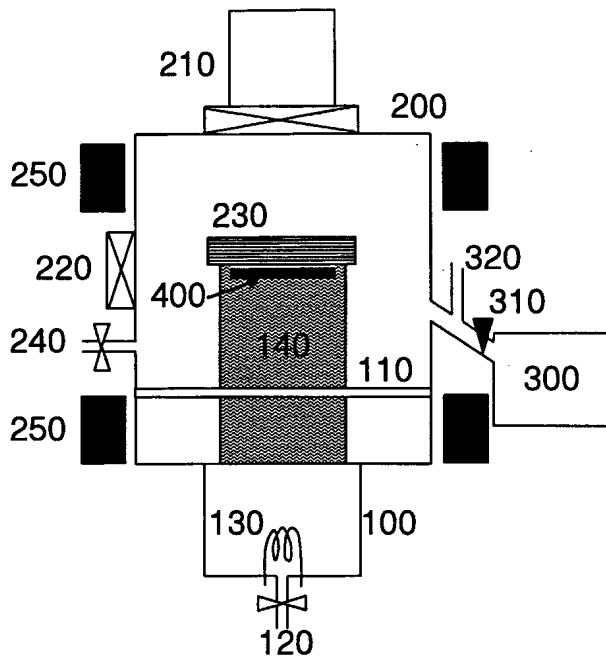
도면4



도면5



도면6



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 제4항

【변경전】

상기 시스템

【변경후】

시스템