



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년10월30일
(11) 등록번호 10-1913174
(24) 등록일자 2018년10월24일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/20 (2006.01) H01L 21/265 (2006.01)
H01L 21/762 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2013-7031564
(22) 출원일자(국제) 2012년04월27일
심사청구일자 2017년04월24일
(85) 번역문제출일자 2013년11월27일
(65) 공개번호 10-2014-0040725
(43) 공개일자 2014년04월03일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2012/057713
(87) 국제공개번호 WO 2012/150184
국제공개일자 2012년11월08일
(30) 우선권주장
11 53737 2011년05월02일 프랑스(FR)
- (56) 선행기술조사문헌
JP2007184581 A*
US6544862 B1
US20090061594 A1
US06544862 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌
- (73) 특허권자
폼미사리아 아 레네르지 아포미끄 에 오 에네르지
알페르나떠브스
프랑스, 파리 75015, 바띠맹 “르 포낭트 디”,
뤼 레블랑크 25
- (72) 발명자
토쟁 오렐리
프랑스 에프-38120 생 에그레브 플라스 살바도르
알랑드 10
마쟁 프레데릭
프랑스 에프-38100 그레노블 슈맹 드 리슬리 11
- (74) 대리인
리엔목특허법인

전체 청구항 수 : 총 14 항

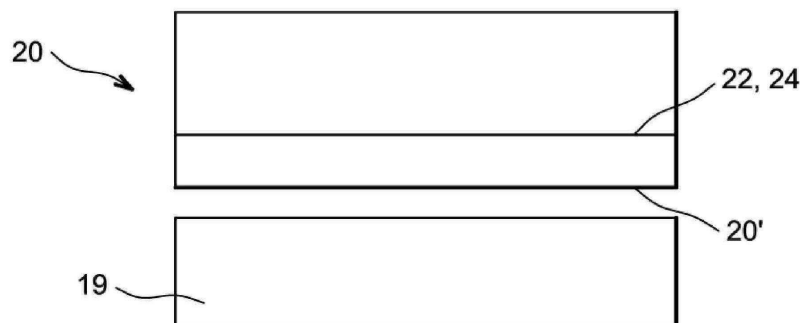
심사관 : 박부식

(54) 발명의 명칭 물질에서 크랙을 형성하는 방법

(57) 요약

본 발명은 도너 기관으로 불리는 동일한 반도체 물질로 만든 기관(20)을 사용하여 반도체 층(26)을 형성하는 방법에 관한 것이며, 본 방법은 상기 도너 기관에서 리튬 농도가 $5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 내지 $5 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 사이에 있는 높은 리튬 농도를 갖는 영역(22)의 형성; 다음으로, 높은 리튬 농도를 갖는 영역에서나 그 근접부에서의 도너 기관으로 수소(24)의 주입; 도너 기관에 캐리어(19)의 인가; 및 주입에 의해 한정된 층(34)을 분리하기 위한 열 처리량(thermal budget)의 인가를 포함한다.

대표도 - 도2e



명세서

청구범위

청구항 1

도너 기관(20)에서 5×10^{18} atoms/cm³ 및 5×10^{20} atoms/cm³ 사이의 농도로서 고농도 리튬 구역(22)의 형성;

그 다음에 상기 도너 기관(20)에서, 상기 고농도 리튬 구역에서나 그 근접부에서 수소 주입(18, 24);

보강재(19)와 주입된 상기 도너 기관(20)의 조립;

상기 주입에 의해 상기 도너 기관(20)에서 한정된 층(34)의 분리를 유발하기 위한 열 처리량의 인가;를 포함하고,

상기 고농도 리튬 구역(22)은 수소 트랩을 형성하고,

상기 도너 기관(20)은 상기 층(34)과 동일한 물질로 만들어지는 것을 특징으로 하는 도너 기관(20)으로부터 반도체 물질층(34)을 형성하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 열 처리량 온도는 150℃ 및 700℃ 사이에 있고,

상기 온도의 인가 시간은 1분 및 한달 사이인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

리튬은 이온 주입(14)에 의해서 도입되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

리튬은 1×10^{13} /cm² 보다 많거나, 10^{13} /cm² 과 5×10^{15} /cm² 사이인 주입량으로 도입되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서,

리튬은 전기분해 또는 확산에 의해서 도입되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

리튬은, 상기 도너 기관(20)의 표면에서 퇴적(deposition) 또는 증착(evaporation) 이후에 확산에 의해서 도입되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 확산은 상기 도너 기관(20)의 표면에 퇴적 또는 증착 이후에 어닐링(annealing)에 의해서 수행되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

수소 이온들은 10^{16} atoms/cm² 및 $5 \cdot 10^{17}$ atoms/cm² 사이의 주입량으로 주입(18)되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 도너 기관(20)에서 수소의 평균 주입 깊이(24)는 200 nm보다 작은 값만큼 리튬의 평균 깊이(22)와 다른 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

보강재(19)와 상기 주입된 도너 기관(20)의 조립은 분자 또는 직접 접합(assembly)이나 본딩(bonding) 형태로 이루어지는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 도너 기관(20)은 실리콘으로 만들어진 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 도너 기관(20)은 상기 도너 기관(20)의 표면에서 산화되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 보강재(19)는 사파이어로 만들어진 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 도너 기관(20) 및 상기 보강재는, 차이가 절대값으로 $3 \cdot 10^{-6}$ K⁻¹보다 큰 열 팽창 계수들을 가지는 것을 특징으로 하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 반도체 기관들과 같은 기관들에서 균열들(fractures)을 생성하는 방법들에 관한 것이다.

[0002] 본 발명은 특히 마이크로 전자공학을 위한 박형 층들의 제조에 적용한다.

배경 기술

[0003] 다음의 단계들에 따라 박막을 분리하고 보강재로 이송하는데 적합한 “Smart Cut”TM 방법이 공지되어 있고, 도 1a 내지 1d를 참조하여 기술될 것이다.

[0004] 제1 단계에서(도 1a), 하나의(또는 복수의) 기체 종들(예컨대, 수소, 헬륨 등)의 이온 주입이 도너(donor) 기관(2)에서 도너 기관(2)의 표면(2')을 통해서 수행된다. 상기 주입은 주입 구역(6)을 형성하고, 그 이온 농도는 마이크로캐비티(microcavity)들의 층을 생성하기에 충분하다(도 1b). 상기 주입은 일반적으로 10 내지 210keV의 에너지에서 그리고 약 10^{16} 내지 10^{17} /cm²의 주입량(dose)으로 수소나 헬륨을 주입하는 것이다.

[0005] 도너 기관(2)의 표면(2')은 그 다음에, 수용 기관(8)과 긴밀하게 접촉하면서 위치한다(도 1c).

- [0006] 열처리 및/또는 분리 압박(strain)을 가함으로써, 균열은 그 다음에, 마이크로캐비티 구역(6)에서 형성된다. 열 처리의 경우, 상기 처리는 실질적으로 300℃ 및 700℃ 사이의 범위에 있는 온도를 가함으로써 수행된다. 분리 압박을 가하기 위하여, 블레이드(blade)는 2개의 기관들(2, 8) 사이, 그리고/또는 인장(tensile) 및/또는 절곡(bending) 및/또는 전단(shearing) 부하(load)들 사이에 삽입될 수 있고, 그리고/또는 초음파나 극초단파들이 인가될 수도 있다.
- [0007] 도 1d에 도해된 바와 같이, 도너 기관(2)으로부터 물질층(4)과 함께 균열이 획득되고, 수용 기관(8)에 장착된다.
- [0008] 도너 기관(2)의 남은 부분(2₁)은 그 다음에, 재활용되고 특히 동일한 사이클을 반복하기 위해 재사용될 수 있다.
- [0009] 균열 형성을 위해 요구되는 주입량(4)을 감소시키기 위하여 또는 균열 형성 처리 온도를 낮추기 위하여, 본 방법의 다양한 대체적인 실시예들이 제안되었다.
- [0010] 이러한 방식으로, C. Lagahe-Blanchard등에 의한 문헌(Proceedings on the Semiconductor Wafer Bonding VII: Science, Technology, and Applications, Paris, France, 27 April-2 May 2003 Electrochemical Society, Pennington, NJ, 2003, Vol. PV2003-19, p. 346)에서 기술된 바와 같이, He-H 공동-주입은 균열 형성을 얻기 위해 요구되는 보다 낮은 균열 형성 온도 및/또는 보다 적은 주입량을 가능하게 한다.
- [0011] 상기 He-H 공동-주입은 균열 형성을 위해 요구되는 총 주입량을 감소시키거나 균열 형성 어닐링(annealing) 온도를 감소시키거나, 균열 형성 이후 층들의 조도(roughness)를 감소시키는데 효과적이다.
- [0012] 그러나, 상기 기술은 주입 변수들에 고도로 민감하다. 특히, 수소 및 헬륨 주입 구역들이나 피크들 사이의 상대적 거리 각각, 주입들이 수행되는 순서, 또는 심지어 He/H 주입량 비율은 총 주입량, 균열 어닐링 온도, 균열 형성으로부터 초래되는 막의 특징들, 또는 심지어 균열 그 자체를 획득하는데 강한 영향을 줄 수 있다.
- [0013] 최적의 주입 조건들은 현재까지 발견되지 않았다. 상기 문헌은 이러한 조건들과 관련하여, 반드시 서로 일치하지는 않는 다양한 징후(indication)들을 포함한다.
- [0014] 더욱이, He-H 공동-주입의 메커니즘들은 본 기술의 사용을 곤란하게 하는 복잡한 것으로 여겨진다.
- [0015] 문헌(Appl. Phys. Lett., Vol. 72, p.49, 1998) 또는 문헌(US 5877077)로부터의 추가적인 방법에 따라, 보론 및 수소 공동-주입이 균열 형성 온도를 200℃까지 낮출 수 있게 하는 점이 공지되었다. 보론 주입은 많은 장점들을 가지고, 특히 상기 원소는 마이크로전자공학들에서 일상적으로 사용되며, 산업적 방법을 위하여 그것의 집적을 가능하게 한다.
- [0016] 그러나, 보론 원자는 수소나 헬륨 원자보다 무겁다. 따라서, 보론 원자가 주입될 때 기관의 물질에 보다 큰 손상이 일어나고, 이는 층들의 품질에 역효과를 가져올 수 있다. 더욱이, 주어진 주입 에너지에 대하여, 이온 질량이 증가할 때 주입 깊이는 감소한다. 이에 따라, (에너지가 한정된) 종래의 주입기(implanter)로서 (통상적으로 100nm 보다 큰) 깊이에 보론을 주입하는 것은 가능하지 않다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0017] 따라서, 과제는 상기 제한요소들과 무관한 신규의 방법을 찾는 것에 발생한다.
- [0018] 상기 과제는 균열 형성에 사용되는 주입량 및/또는 열 처리량(thermal budget)을 감소시키기 위한 신규의 방법을 찾는 것에도 발생한다.

과제의 해결 수단

- [0019] 수소 주입이 뒤따르는 고농도 리튬 구역의 형성과 관련된 신규의 방법이 기술된다.
- [0020] 이에 따라, 실리콘 기관이나 도너 기관으로부터 실리콘 층을 형성하는 방법을 수행하는 것이 가능하고, 상기 방법은, 상기 도너 기관에서 5×10^{18} atoms/cm³ 및 5×10^{20} atoms/cm³ 사이의 농도를 갖는 고농도 리튬 구역의 형성, 그 다음에 도너 기관에서 고농도 리튬 구역 또는 그 근접부에서 수소 주입, 도너 기관으로 보강제의 인가, 및

주입으로 인해 한정된 층의 분리를 야기하는 적어도 하나의 열 처리량의 인가를 포함한다.

- [0021] 고농도 리튬 구역의 형성은 수소, 리튬 및 특히 강한 화학적 친화도를 갖는 수소를 위한 효과적인 트랩(trap)들을 형성하는 것을 가능하게 한다.
- [0022] 리튬 주입 구역의 형성은, 예컨대 $1 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ 보다 큰(또는 10^{13} 및 $5 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 사이) 주입량으로, 리튬 이온들로서 제1 주입에 의해 획득될 수 있다. 이 경우, 주입 에너지들은 양호하게는, Li 및 H 피크들이 상호간에 동일한 깊이에 있거나 서로에 관하여 작은 거리에 위치하도록 선택되고, 상기 거리는 실질적으로 200nm 또는 150nm 이하이다.
- [0023] 주입 깊이에서의 차이는 수년간 주입 분야에서 통상적으로 사용된 시뮬레이터를 사용하여 평가될 수 있다. 인터넷에서 구할 수 있는 시뮬레이션 소프트웨어 SRIM을 예로 들 수 있다. 본 차이는 (두문자 SIMS로 알려진) 2차 이온화 질량 분광분석(Secondary Ionisation Mass Spectrometry)에 의해서 측정될 수도 있다.
- [0024] 주입량들은, 리튬 주입량이 $5 \cdot 10^{15} \text{ Li} / \text{cm}^2$ 보다 작고, Si 기판의 무정형화(amorphisation)를 방지하며 (최대 Li 농도는 그렇다면 근사적으로 $4 \cdot 10^{19} / \text{cm}^3$ 이고, 무정형화 한계는 $4 \cdot 10^{21} / \text{cm}^3$ 이다), 수소 주입량이 $4 \cdot 10^{16}$ 및 $10^{17} / \text{cm}^2$ 사이에 있도록 선택된다.
- [0025] 이와 달리, 리튬은, 예컨대 기판의 표면에서 리튬의 퇴적(deposition)이나 증착(evaporation) 이후, 전기분해 또는 확산에 의하여 도너 기판으로 도입될 수 있다.
- [0026] 수소 주입은 그 다음에 양호하게는, 수소 피크(최대 수소 농도 위치)가 Si 기판에서의 리튬 농도가 $4 \cdot 10^{19} / \text{cm}^3$, 또는 $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 와 $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 사이의 범위에 있는 깊이에 위치하도록 수행된다. 여기서 다시, 전술한 도구들(SRIM 또는 SIMS)을 사용하여 요구된 농도가 획득된 깊이를 예측하는 것이 가능하다.
- [0027] 본 대체적 실시예의 한가지 장점은 전기분해 또는 확산에 의하여, 저비용 단계에 의해 선행되는, 단지 한번의 주입이 요구된다는 점이다.
- [0028] 이 경우, 리튬 주입 프로파일은 표면으로부터 최대 주입 깊이까지 실질적으로 일정하고, 목표는 도너 기판에서 평균 수소 주입 깊이가 본 구역 내에 있도록 하는 것이다.
- [0029] 확산은, 기판의 표면에서의 퇴적 또는 증착 이후, 예컨대 열처리에 의하여 수행된다.
- [0030] 일반적 규칙으로서, 수소 주입은 $10^{16} \text{ atoms} / \text{cm}^2$ and $5 \cdot 10^{17} \text{ atoms} / \text{cm}^2$ 사이의 주입량으로 수행될 수 있다.
- [0031] 열 처리량이 감소함에 따라, 단일 주입의 경우와 관련하여, 도너 기판 및 보장재는 그 차이가 절대값으로 $3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 보다 큰 열팽창 계수들을 가질 수 있다.

발명의 효과

- [0032] 전술한 방법은 균열 형성 열처리 및/또는 총 주입량을 현저하게 감소시키는데 적합하다.
- [0033] 전술한 본 방법의 구현은, 실제로 리튬이 처음으로 도입되는 것 및 Li와 H 종들이 서로 가깝게 있는 것이 단순히 필요한 점에서, He-H 공동-주입보다 용이하다. 더욱이, 리튬은 보론보다 가벼운 원소이고, 이송된 층들은 보다 우월한 결정 품질의 리튬이며, 보통의 주입기로서 보론보다 (주입에 대하여 1 마이크론까지 용이하게, 그리고 심지어 확산에 대하여 그보다 더) 두꺼운 층들을 이송하는 것이 가능하다.

도면의 간단한 설명

- [0034] 도 1a 내지 1d는 공지된 방법으로부터의 단계들을 나타낸다.
- 도 2a 내지 2f는 신규의 주입 방법으로부터의 단계들을 나타낸다.
- 도 3a 내지 3d는 수소 주입 단일에 의한 또는 10분간 450°C에서의 어닐링이 이어지는 리튬 및 수소 공동-주입에 의한 버블(bubble) 형성에 대한 비교들을 도시하는 도면들이다.
- 도 4a 및 4b는 실리콘에서 Li 깊이 및 용해도(solubility)의 함수로서 확산된 리튬 농도를 각각 제시하는 도면

들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0035] 신규의 이중-주입 형성 방법이 도 2a 내지 2d를 이용하여 기술된다.
- [0036] 제1 단계(도 2a)에서, 열 산화물(SiO_2)의 표면층이 선택적으로 구비된 실리콘 기판(20)이 선택된다.
- [0037] 본 산화물(도면들에 구체적으로 도시 되지 않음)은 약 수십 또는 수백 nm, 예컨대 50nm 또는 100nm의 두께를 가질 수 있다.
- [0038] 본 기판에서, 리튬 주입은 기판의 표면(20')을 통해서 방향이 취해진 리튬 이온 빔(14)를 사용하여 수행된다. 이는 리튬-주입 구역(22)의 형성을 하게 된다(도 2b). 실제로, 참조번호 22는 리튬 주입 피크, 또는 210keV의 주입 에너지에 대하여 주입 표면 아래로 960nm에 위치한 최대 농도 구역을 표시한다.
- [0039] 수소 이온 주입(18)이 그 다음에, 리튬 주입이 수행되었던 것과 같은 기판(20)의 표면(20')을 통해서 수행된다(도 2c). 이는 수소-주입 구역의 형성을 하게 되고, 주입 피크는 도 2c에서 참조번호 24에 의해 확인되고(도 2d), 리튬 주입 피크와 같은 깊이에서 실질적으로 위치한다.
- [0040] 기판(20)의 주입 표면(20')은 그 다음에, 예컨대 사파이어로 만든 보강재(19)와 긴밀하게 접촉하면서 위치한다(도 2e).
- [0041] 균열 형성은 그 다음에, 열처리 및/또는 분리 압박을 가함으로써 마이크로캐비티 층에서 수행될 수 있다(도 2e).
- [0042] 열처리의 경우에서, 온도는 실질적으로 150℃ 및 700℃ 사이, 그리고 통상적으로는 200℃ 및 400℃ 사이의 범위 내에서 인가된다.
- [0043] 분리 압박을 인가하기 위하여, 블레이드가 기판(20)의 주입된 영역(22, 24)에 삽입될 수 있고, 그리고/또는 인장 및/또는 절곡 및/또는 전단 부하들이 기판(20)에 인가될 수 있으며, 그리고/또는 10 내지 100kHz의 범위 내, 예컨대 10 및 50kHz 사이, 예컨대 40kHz의 전력 및 주파수를 갖는 초음파나 극초단파들이 추가로 인가된다.
- [0044] 균열은, 도 2f에 도해된 바와 같이, 실리콘(20)으로 만든 그리고 산화물 층으로 선택적으로 만든 박형 층(34), 및 그 다음에 재활용되고 특히 동일한 사이클을 반복하는데 재사용될 수 있는 기판(20)의 남은 부분(20₁)의 형성과 함께, 주입된 구역(22, 24)를 따라서 획득된다.
- [0045] 이와 달리, 고농도 리튬 구역(22)이 전기분해나 확산에 의하여, 리튬을 도입하기 위한 단계에 의해 생산될 수 있다. 도 2a에서의 단계는 이에 따라 본 전기분해 또는 확산 단계로 교체된다. 주입 프로파일은 그렇다면 표면으로부터 아래로 수 마이크로(10 마이크로) 또는 심지어 약 수십 마이크로(100 micron)까지 일정하다.
- [0046] 전기분해에 의한 리튬 도입의 경우, A.M.Mousa에 의한 문헌("Profiling of lithium and potassium into silicon", J Phys, 30, 2006, 15-20)에 기술된 과정이 사용될 수 있다. 즉, 실리콘 기판이 캐소드(cathode)로서 사용되고, 전해액(electrolysis)으로 사용된 리튬 염(예컨대, LiBr)의 용기로 애노드(anode)와 함께 담긴다. 전기분해는 1mA 및 수십 mA 사이, 예컨대 30mA의 전류로서, 예컨대 5 분 및 30 분 사이의 시간 동안 수행된다. 기판에서 기판의 깊이에 따른 리튬의 분포는 4-점(point) 방법을 사용하여 저항을 측정함으로써 평가될 수 있다. 이러한 측정들은 SEM(scanning electron microscopy) 관찰들에 의해 사전-교정될 수 있다.
- [0047] 확산에 의한 리튬 도입의 경우, A.Keffous 등에 의한 문헌("Lithium diffusion profile onto highly resistive p-type silicon", Vacuum, 81, 2006, 417-421)에서 기술된 과정이 사용될 수 있다. 리튬은 진공 열 증착(vacuum thermal evaporation)에 의해, 예컨대 약 10^{-6} Torr에서 실리콘 기판으로 미리 퇴적된다. 확산 그 자체는 진공 어닐링에 의해 수백 도, 예컨대 300℃ 및 800℃ 사이에서 수 분 및 수십 분, 예컨대 5 분 및 30분 사이 시간 동안 발생한다. 여기서 다시, 기판에서 그 깊이에 따른 리튬의 분포는 4-점 방법을 사용하여 저항을 측정함으로써 평가될 수 있다. 여기서 다시, 이러한 측정들은 사전-교정될 수 있다.
- [0048] 도 2c에서와 같이 이러한 기술들 중 어느 하나에 대한 구현은, 도 2d에서와 같이 수소-리튬 이중 주입의 형성을 하게 하도록 수소 이온 주입(18)이 이어지고, 보강재(19)와 긴밀한 접촉이 이어지고(도 2e), 마침내 마이크로캐비티 층에서 균열 형성이 이어지고, 열처리 및/또는 분리 압박을 가하는 단계가 이어진다(도 2f).
- [0049] 실험 결과들이 도 3a 내지 3d를 이용하여 도해될 것을 통해 나타날 것이다.

- [0050] 도 3a는 $4.5 \cdot 10^{16}$ H/cm²의 주입량으로 100 keV에서 단독으로 수소 주입 이후에 주입된 기관의 표면에 대한 모습이고, 도 3b는 $4.5 \cdot 10^{16}$ H/cm²의 주입량으로 110 keV에서 단독으로 수소 주입 이후에 주입된 기관의 표면에 대한 모습이고, 도 3c는 이중 주입, 즉 10^{15} H/cm²의 주입량으로 210 keV에서 제1 리튬 주입에 이어 $4.5 \cdot 10^{16}$ H/cm²의 주입량으로 100 keV에서 제2 수소 주입 이후에 주입된 기관의 표면에 대한 모습이고, 도 3d는 이중 주입, 즉 10^{15} H/cm²의 주입량으로 210 keV에서 제1 리튬 주입에 이어 $4.5 \cdot 10^{16}$ H/cm²의 주입량으로 110 keV에서 제2 수소 주입 이후에 주입된 기관의 표면에 대한 모습이다.
- [0051] 기관이 지지 기관에 부착되지 않은 때 주입된 Si 기관의 표면들에 형성된 버블들의 밀도가 본 명세서에서 검토된다.
- [0052] 실제로, 이러한 버블들은 밀에 있는 미세균열(microfracture)들의 존재에 대한 징후이며, 기체 압력(수소 주입의 경우 H₂)은 표면 변형을 발생시키고, 미세균열들은 이에 따라 수소로서 단독으로 주입한 경우인 도 1c 내지 1d에서와 같이 또는 리튬-수소 공동-주입의 경우인 도 2e-2f에서와 같이, 장착하는 기관과의 조립체를 생산하고 균열을 형성하는 때 형성된 미세균열들과 직접적으로 연관된다. 도 3a 및 3b에서의 모습들은 수소 주입 단독으로는 기관의 표면에 버블들의 형성을 가능하게 할 수 없다는 점을 입증한다.
- [0053] 한편(도 3c 및 3d), 수소 주입에 앞서 주입에 의한 Li의 도입은, 이전과 동일한 어닐링 조건들 하에서 고도로 발전된 버블들이나 평평한 박리된 영역들을 획득하는 것을 가능하게 한다.
- [0054] 따라서, 이는 본 발명에 따른 이중 주입의 유리한 영향을 입증한다. 실제로, 만족스러운 방식으로 기능하는 균열 형성 방법을 위하여, 캐비티(cavity)들에서 충분한 압력이 요구된다. 낮은 주입 깊이들에 대하여, (본딩되거나 퇴적된) 보강재가 미세균열들의 측방향 확장을 촉진시키고 균열 형성을 획득하는 것을 도와준다. 만약 상기 보강재가 존재하지 않는 경우(본 명세서에 제시된 결과들에서의 경우), 캐비티들에서의 압력 상승은 표면이나 평평한 박리된(exfoliated) 구역들에 버블들의 모양(이러한 버블들은 국소적으로 터진다)을 발생시킨다. 만약 보강재 없이 버블들이 충분한 밀도에서 표면들에 나타나는 경우, 막 이송을 획득하기 위해 보강재를 추가하는 것이 단순히 필요할 것이다.
- [0055] 따라서, 이송 메커니즘에 대한 검토를 가능하게 하기 위하여, 본 명세서는 보강재가 없을 때의 버블 형성을 검토한다.
- [0056] Li-H 공동-주입은 이에 따라, 균열 형성을 획득하기 위해 요구되는 열 처리량 및/또는 수소 주입량을 감소시키기 위한 매우 효과적인 수단이다.
- [0057] 따라서, Li-H 공동-주입은 특히, 제1 기관(20)의 열 팽창 계수(thermal expansion coefficient; TEC)와 상당히 또는 매우 다른 열 팽창 계수를 갖는 기관(19)으로 이송하는 것을 가능하게 한다. 예를 들면, 이러한 차이는, 한편으로는 Si 기관 및 다른 한편으로는 사파이어 기관의 경우에서 특히 발견되는 적어도 $2 \cdot 10^{-6}$ /K 또는 $3 \cdot 10^{-6}$ /K이다(TEC(Si) = $2.31 \cdot 10^{-6}$ /K 및 TEC(사파이어) = $6.35 \cdot 10^{-6}$ /K).
- [0058] 실시예들의 예시들이 지금부터 제시된다.
- [0059] 예시 1:
- [0060] 실리콘(100)으로 만든 기관(20)이 100 nm의 두꺼운 열 산화물(SiO₂)층을 구비한다.
- [0061] 기관(20)은 다음의 조건들 하에서 주입되고, 단계들은 도 2a 내지 2f에서의 것들이다.
- [0062] - 제1 리튬 주입이 10^{15} /cm² 주입량으로 210keV의 에너지에서 수행된다.
- [0063] - 제2 수소 주입이 그 다음에, $4.5 \cdot 10^{16}$ /cm²의 주입량으로 100keV의 에너지에서 수행된다.
- [0064] 주입된 기관은 그 다음에, 직접 또는 분자 레벨의 본딩 또는 접합(assembly)에 의해서 사파이어 기관(19) 상으로 본딩된다(도 2e).
- [0065] Si/사파이어 이중접합구조(heterostructure)는 본딩 이후에 획득된다. Si 및 사파이어의 열 팽창 계수(TEC)들은 매우 다르기 때문에(TEC Si = $2.31 \cdot 10^{-6}$ /K 및 TEC sapphire = $6.35 \cdot 10^{-6}$ /K), Si/사파이어 결합은 ~350℃보다 높

은 온도까지 가열될 수 없고, 그 이상의 온도에서 상기 구조의 체계적인(systematic) 분리가 관찰된다.

[0066] 균열 형성 처리는, 예컨대 250℃에서 1시간 동안 어닐링하는 단계를 그 다음에 포함한다.

[0067] 균열 형성 이후, 사파이어 기판에 장착된 Si 막이 획득된다.

[0068] 비교를 통해서, 수소 주입 단독으로는 균열 형성 어닐링을 위하여, Si 및 사파이어 기판들의 분리를 유발했을 보다 높은 온도, 또는 산업적으로 수용할 수 없는 보다 긴 어닐링 시간을 필요로 했을 것이다.

[0069] 예시 2:

[0070] P-형 Si 기판(111)은 다음의 조건들 하에서 확산에 의한 리튬 도입 반응을 거친다.

[0071] - 리튬 층이 가장 먼저 주위 온도에서 ($2 \cdot 10^{-6}$ Torr 에서) 진공 증착에 의해 Si 표면에 퇴적된다.

[0072] - Li는 그 다음에, 800℃에서 10 분 동안 ($1 \cdot 10^{-5}$ Torr에서) 진공 어닐링에 의해 Si에서 확산된다.

[0073] Si 기판의 표면에서 잉여 Li는 메탄올에서 웨이퍼를 행금으로써 제거된다.

[0074] 본 예시는, 상기에서 인용된 A.Keffous 등의 문헌으로부터 취해진, 그러나 보다 높은 Li 농도 수준들을 갖는, 도 4a에 도시된 것과 유사한 통상적인 확산 프로파일을 제시한다(본 도면에서, * 표시들은 425℃의 확산 온도 및 4 분의 확산 시간을 갖는 실험 값들에 대응하고, 검은색 원형 점들은 동일한 조건들 하에서 PCID 시뮬레이션 결과들에 대응한다). 실제로, 기판의 표면에서(또는 도 4a에서 깊이가 0인 지점에서) Li 농도는 Si에서 Li의 용해도에 대응하고, 곡선이 도 4b에서 나타나며, C.S.Fuller에 의한 문헌(the division of inorganic chemistry at the 134th meeting of the American Chemical Society, Chicago, Illinois, 1958 이전에 발표된 논문인 제목 "Interactions between solutes in Germanium and silicon")으로부터 취해진다. 800℃에서, Si 기판에서의 Li 농도는 표면으로부터 표면 아래로 수 마이크론의 깊이까지 $\sim 4 \cdot 10^{19} / \text{cm}^{-3}$ 이다. 도 4b에서, 실리콘과 관련된 실험결과들은 게르마늄에 대응하는 곡선 II와 함께 곡선 I로서 제시된다.

[0075] 수소 주입은 그 다음에, 다음의 조건들 하에서 수행된다.

[0076] - 수소 에너지: 210keV

[0077] - 주입량: $4 \cdot 10^{16} \text{ H/cm}^2$

[0078] 주입된 기판은 그 다음에, 표면에 400nm의 두꺼운 산화물층(SiO_2)를 포함하는 Si 웨이퍼(19)에 본딩된다.

[0079] 균열 형성은 500℃ 범위에서 어닐링을 가함으로써 열에 의해서 유도된다.

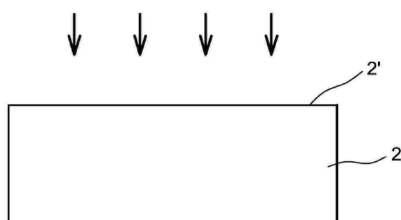
[0080] 단독 수소 주입의 경우에서(210keV의 에너지 및 $4 \cdot 10^{16} \text{ H/cm}^2$ 의 주입량에서), 주입량이 매우 낮기 때문에, 500℃에서 열적 균열 형성을 획득하는 것은 불가능하다.

[0081] 진술한 예시는, (확산에 의해서, 즉 저비용 공정에 의해서 유입되고 있는 Li로서) 단지 단일 주입을 구현하면서도 균열 형성을 위해 요구되는 보다 낮은 수소 주입량이 가능한 점을 명백하게 실증한다.

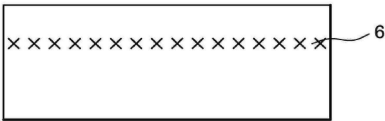
[0082] 상기 대체적인 실시예는 이송 공정의 전반적인 비용을 감소시키는데 특히 유리하다.

도면

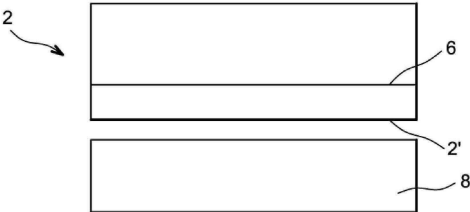
도면1a



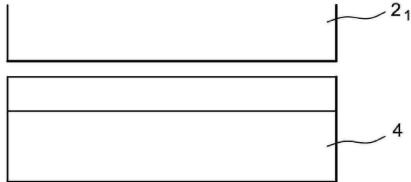
도면1b



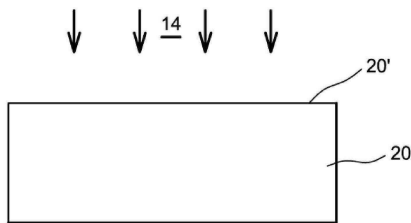
도면1c



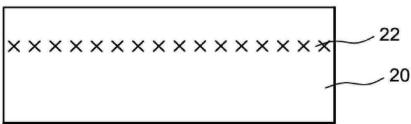
도면1d



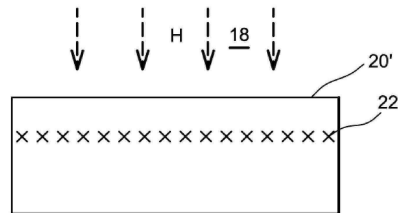
도면2a



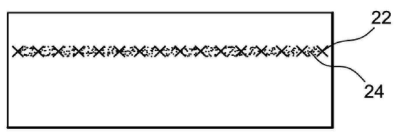
도면2b



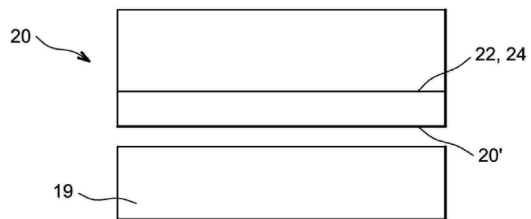
도면2c



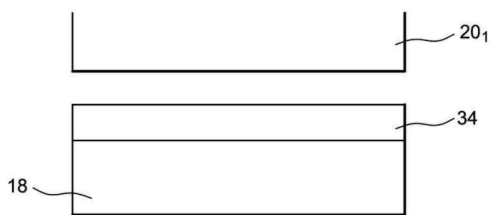
도면2d



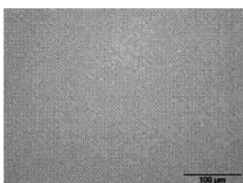
도면2e



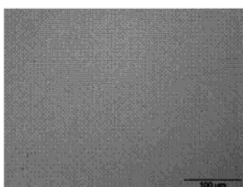
도면2f



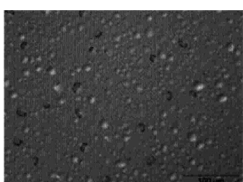
도면3a



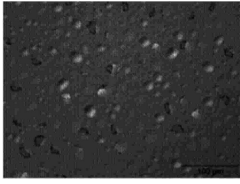
도면3b



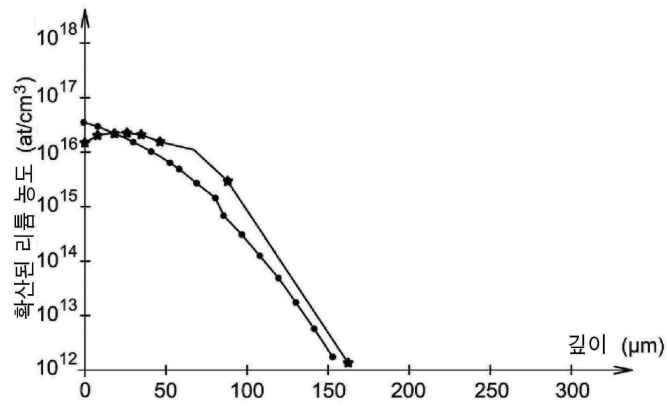
도면3c



도면3d



도면4a



도면4b

