



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년12월23일
(11) 등록번호 10-0933552
(24) 등록일자 2009년12월15일

(51) Int. Cl.

H01L 21/20 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0112483

(22) 출원일자 2007년11월06일

심사청구일자 2007년11월06일

(65) 공개번호 10-2008-0041128

(43) 공개일자 2008년05월09일

(30) 우선권주장

JP-P-2006-00300644 2006년11월06일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문헌

JP16091221 A*

KR1020000057350 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

가부시킴가이샤 섬코

일본국 도쿄도 미나토구 시바우라 1초메 2-1

(72) 발명자

야스오 코이케

일본 도쿄 미나토구 시바우라 1초메 2-1

토시아키 오노

일본 도쿄 미나토구 시바우라 1초메 2-1

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

남승희

전체 청구항 수 : 총 7 항

심사관 : 심병로

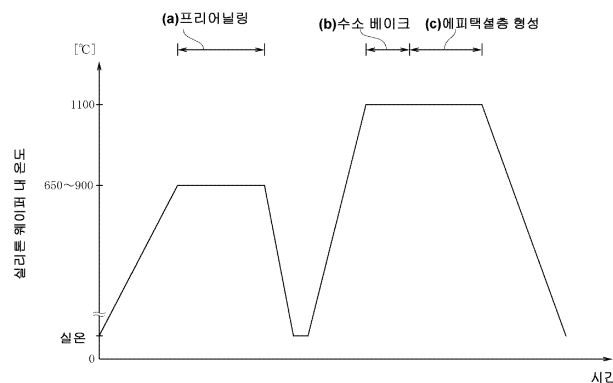
(54) 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법

(57) 요약

에피택셜 결함의 발생을 저감할 수 있고 IG 효과가 뛰어난 직경 300mm 이상의 에피택셜 웨이퍼를 얻는다.

보론이 첨가된 실리콘 용액(11)으로부터 단결정(12)을 챔버(21) 내에서 초크랄스키법에 의해 인상시키는 공정과, 단결정을 슬라이스하여 얻어진 실리콘 웨이퍼의 표면에 에피택셜층을 형성하는 공정을 포함하는 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법이다. 단결정은 챔버 내의 인상 도중의 800 내지 600℃의 온도 영역을 250 내지 180분에 걸쳐 통과시켜 육성된다. 단결정은 산소 농도 10×10^{17} 내지 12×10^{17} atoms/cm³ 및 저항률 0.03 내지 0.01Ωcm를 갖는다. 웨이퍼의 표면에 에피택셜층을 형성하기 전에 웨이퍼를 불활성 가스 분위기 하 650 내지 900℃의 온도 범위 내의 소정의 온도에서 10분 내지 4시간 유지하는 프리 어닐링을 행한다.

대표도



(72) 발명자

나오키 이케다

일본 도쿄 미나토구 시바우라 1쵸메 2-1

토모카즈 카타노

일본 도쿄 미나토구 시바우라 1쵸메 2-1

특허청구의 범위

청구항 1

보론이 첨가된 실리콘 용액으로부터 실리콘 단결정을 챔버 내에서 초크랄스키법에 의해 인상시키는 공정과, 상기 단결정을 슬라이스하여 얻어진 실리콘 웨이퍼의 표면에 에피택셜층을 형성하는 공정을 포함하는 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법에 있어서,

상기 단결정은 상기 챔버 내의 인상 도중의 800 내지 600℃의 온도 영역을 250분 이하 180분 이상(강온 속도: 200/180[℃/min] 이하 200/250[℃/min] 이상)에 걸쳐 통과시켜 육성되고,

상기 육성된 단결정은 10×10^{17} 내지 12×10^{17} atoms/cm³(ASTM F121-1979) 미만의 산소 농도 및 0.03 내지 0.01Ω cm의 저항률을 가지며,

상기 실리콘 웨이퍼의 표면에 에피택셜층을 형성하기 전에 상기 웨이퍼를 불활성 가스 분위기 하 650 내지 900℃의 온도 범위 내의 소정의 온도에서 10분 내지 4시간 유지하는 프리 어닐링을 행하는 것을 특징으로 하는 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 실온에서 프리 어닐링의 소정의 온도로 승온하는 승온 속도가 1 내지 8℃/분이고, 상기 소정의 온도에서 실온까지 냉각하는 강온 속도가 5 내지 2℃/분인 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 3

보론이 첨가된 실리콘 용액으로부터 실리콘 단결정을 챔버 내에서 강제 냉각하여 챔버 내에서 초크랄스키법에 의해 인상시키는 공정과, 상기 단결정을 슬라이스하여 얻어진 실리콘 웨이퍼의 표면에 에피택셜층을 형성하는 공정을 포함하는 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법에 있어서,

상기 단결정은 상기 챔버 내의 인상 도중의 800 내지 600℃의 온도 영역을 180분 미만 120분 이상(강온 속도: 200/180[℃/min] 초과 200/120[℃/min] 이하)에 걸쳐 통과시켜 육성되고,

상기 육성된 단결정은 10×10^{17} 내지 14×10^{17} atoms/cm³(ASTM F121-1979) 이하의 산소 농도 및 0.03 내지 0.01Ω cm의 저항률을 가지며,

상기 실리콘 웨이퍼의 표면에 에피택셜층을 형성하기 전에 상기 웨이퍼를 불활성 가스 분위기 하 650 내지 900℃의 온도 범위 내의 소정의 온도에서 10분 내지 4시간 유지하는 프리 어닐링을 행하는 것을 특징으로 하는 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 4

청구항 3에 있어서, 실온에서 프리 어닐링의 소정의 온도로 승온하는 승온 속도가 1 내지 8℃/분이고, 상기 소정의 온도에서 실온까지 냉각하는 강온 속도가 5 내지 2℃/분인 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 5

청구항 3 또는 청구항 4에 있어서, 강제 냉각은 챔버 내에 설치된 수냉식 냉각 장치에 의해 행해지는 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 6

800 내지 600℃의 온도 영역을 250분 이하 180분 이상(강온 속도: 200/180[℃/min] 이하 200/250[℃/min] 이상)에 걸쳐 통과시켜 육성된 단결정을 이용하여 제조되고, 웨이퍼의 에피택셜층 표면에서 0.09μm 이상의 크기의 에피택셜 결함이 3개/장 이하의 밀도를 가지며, 상기 에피택셜층을 제외한 상기 웨이퍼 내부에 형성되는 산소 석출물 밀도가 1×10^4 개/cm² 이상인 것을 특징으로 하는 에피택셜 웨이퍼.

청구항 7

800 내지 600℃의 온도 영역을 180분 미만 120분 이상(강온 속도: 200/180[℃/min] 초과 200/120[℃/min] 이하)에 걸쳐 통과시켜 육성된 단결정을 이용하여 제조되고, 웨이퍼의 에피택셜층 표면에서 0.09μm 이상의 크기의 에피택셜 결함이 3개/장 이하의 밀도를 가지며, 상기 에피택셜층을 제외한 상기 웨이퍼 내부에 형성되는 산소 석출물 밀도가 1×10^4 개/cm² 이상인 것을 특징으로 하는 에피택셜 웨이퍼.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 본 발명은 반도체용 고집적도 디바이스에 사용되는 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법의 개량에 관한 것이다. 더욱 상세하게는, 초크랄스키법(이하, CZ법이라고 함.)에 의해 육성된 실리콘 단결정을 슬라이스하여 얻어진 실리콘 웨이퍼 상에 에피택셜층을 형성하는 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 종래 고집적도 디바이스의 기관으로 사용되는 에피택셜 웨이퍼(epitaxial wafer)는 초크랄스키법(이하, CZ법이라고 함.)에 의해 육성된 실리콘 단결정을 슬라이스하여 얻어진 실리콘 웨이퍼 상에 에피택셜층을 형성함으로써 제조된다.
- <3> CZ법은 도가니의 내부에 충전한 실리콘 다결정을 히터로 가열 용융한 후, 이 용액의 표면에 시드 결정(종자 결정)을 담그고, 이것을 회전시키면서 성장시키고 상방으로 인상으로써 단결정을 육성시키는 방법이다. 이 CZ법으로 육성한 단결정으로부터 얻어진 실리콘 웨이퍼(이하, 에피 서브 웨이퍼라고 함.)의 표면에 전위나 산화 유기 적층 결함(oxygen-induced stacking faults, 이하, OSF라고 함.) 등의 결정 결함이 존재하면 에피 서브 웨이퍼 표면에 형성된 에피택셜층에는 이들 결함에 기인한 에피택셜 결함이 존재한다.
- <4> 이 에피택셜 결함은 디바이스의 고집적화가 진행되어 미세화된 회로 패턴을 형성하는 웨이퍼 상의 디바이스 활성 영역에서 누설 전류의 증가나 라이프 타임의 저하 원인이 되기 때문에, 그의 저감, 제거가 요구되고 있다.
- <5> 그러나, 에피택셜 결함이 적고 결정의 완전성이 높은 에피택셜 웨이퍼를 사용하여도 그 후의 디바이스 공정에서 금속 불순물로 인해 에피택셜층이 오염됨으로써 디바이스 특성이 악화되는 문제가 있다.
- <6> 이러한 금속계 원소의 불순물로 인한 에피택셜층의 오염은 디바이스의 집적이 고밀도화될수록 프로세스도 복잡해져 그 기회가 증가하여 영향도 커지게 된다. 금속 오염의 배제는 기본적으로는 프로세스 환경 및 사용 재료의 클린화에 있는데, 디바이스 프로세스에서 금속 오염을 완전히 없애기는 어려우며, 그 대처 수단으로서 에피 서브 웨이퍼에서의 게터링 기술의 개발이 중요해진다. 이 게터링 기술은 오염에 의해 에피택셜층으로 침입해 온 불순물 원소를 디바이스 활성 영역 이외의 장소(싱크)에 포획하고 디바이스 활성 영역에서 무해화하는 수단이다.
- <7> 게터링 기술로는 디바이스 프로세스의 열처리 중에 유기되는 산소에 기인한 미소한 산소 석출물(Bulk Micro Defect, 이하, BMD라고 함.)을 이용하여 불순물 원소를 포획하는 인트린식 게터링(intrinsic gettering, 이하, IG라고 함.)이라 불리는 것이 있다. 그러나, 에피택셜층 형성 공정의 1050 내지 1200℃의 고온 열처리가 실리콘 웨이퍼에 실시됨으로써 실리콘 단결정을 슬라이스하여 얻어진 웨이퍼에 내재하는 미소한 산소 석출 핵이 축소, 소멸되고, 그 후의 디바이스 프로세스에서 웨이퍼 내에 게터링원인 BMD를 충분히 유기하기가 어려워진다. 따라서, 이 게터링 기술을 적용하여도 프로세스 전체에 걸쳐 금속 불순물에 대하여 충분한 IG 효과를 바랄 수 없다는 문제가 생긴다.
- <8> 따라서, 에피택셜 결함의 발생을 저감하고 IG 효과가 뛰어난 에피택셜 웨이퍼를 얻기 위한 제조 방법이 제안된 바 있다(예컨대, 특허 문헌 1 참조.). 이 방법은 단결정 인상 중의 1100 내지 900℃의 온도 영역을 3.0℃/분 이상의 냉각 속도로 급속 냉각(이하, 급냉이라고 함.)하고, 산소 석출 핵의 크기를 미소화시킴으로써 에피택셜 결함의 발생을 현저하게 억제하는 것이다.
- <9> 구체적으로는, 이 방법은 보론이 첨가된 실리콘 용액이 들어간 도가니로부터 직경 200mm의 실리콘 단결정을 챔버 내에서 CZ법에 의해 육성할 때 단결정을 인상 속도 1.1mm/분으로 500mm의 길이까지 인상시켜 직동부를 형성

하고, 그 후 인상 속도를 1.8mm/분으로 상승시켜 550mm의 길이까지 인상시킨다. 계속하여 다시 인상 속도를 1.1mm/분으로 되돌리고, 그대로 단결정을 1000mm의 길이까지 인상시킨다. 이와 같이 인상 속도를 변화시킴으로써 인상 중의 1100 내지 900℃의 온도 영역을 3℃/분 이상의 냉각 속도로 단결정을 급냉시킬 수 있다. 이 단결정을 슬라이스하여 얻어진 실리콘 웨이퍼를 산소와 불활성(비활성) 가스의 혼합 분위기 중에서 850℃에서 2시간 열처리를 행한다. 이 열처리에 의해 실리콘 웨이퍼의 결정 중의 산소 석출 핵의 열적 안정성이 증가하기 때문에 에피택셜층 형성 공정의 고온 열처리에 의해서도 BMD가 축소 또는 소멸되지 않는다. 그리고, 이 열처리 후의 실리콘 웨이퍼에 경면 연마를 실시한 후, 에피택셜 장치에 실리콘 웨이퍼를 수용하고, 1150℃ 1분간의 수소 베이킹 처리에 이어 장치 내 온도를 1075℃로 하여 소정 시간 유지하면서 원료 가스를 공급함으로써 웨이퍼 표면에 5μm의 두께의 에피택셜층을 형성하여 에피택셜 웨이퍼를 얻을 수 있다.

<10> [특허 문헌 1] 일본 특허 공개 2004-91221호 공보(청구항 5, 청구항 7, 명세서 [0013] 내지 [0017], [0023], [0024], [0026], [0027], 도 1)

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<11> 그러나, 실리콘 단결정 인상 공정에서 그 중심부는 잘 냉각되지 않고 외주부는 냉각되기 쉽다는 구조상의 이유로 인해, 단결정의 냉각 속도는 중심부와 외주부에서 서로 다른 경향이 있다. 이 경향은 직경 300mm 이상의 단결정에서 보다 현저해지며, 단결정 중심부에서 냉각 속도 3℃/분 이상의 급냉 조건을 달성하기는 어려워진다. 만일 냉각체 설치에 의해 냉각 속도 3℃/분 이상의 급냉 조건을 달성할 수 있었다고 해도, 단결정에 전위가 발생한 경우 과도한 급냉으로 인한 잔류 응력에 의해 단결정 내에 크랙이 발생할 수 있다. 이 경우에는 단결정을 인상시킬 수 없게 될 우려가 있다. 따라서, 상기 특허 문헌 1에 개시된 제조 방법에 기재된 급냉 조건을 직경 300mm 이상의 단결정 육성에 그대로 적용하기는 어려웠다.

<12> 본 발명의 목적은 에피택셜 결함의 발생을 저감하고 IG 효과가 뛰어난 직경 300mm 이상의 에피택셜 웨이퍼를 얻기 위한 제조 방법을 제공하는 데 있다. 본 발명의 다른 목적은 프로세스 마진이 넓고 생산성을 향상시킬 수 있는 에피택셜 웨이퍼를 얻기 위한 제조 방법을 제공하는 데 있다.

과제 해결수단

<13> 도 2에 도시한 바와 같이, 청구항 1에 따른 발명은, 보론이 첨가된 실리콘 용액(11)으로부터 실리콘 단결정(12)을 챔버(21) 내에서 CZ법에 의해 인상시키는 공정과, 단결정(12)을 슬라이스하여 얻어진 실리콘 웨이퍼의 표면에 에피택셜층을 형성하는 공정을 포함하는 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법의 개량이다.

<14> 그 특징 있는 구성은, 단결정(12)은 챔버(21) 내의 인상 도중의 800 내지 600℃의 온도 영역을 250분 이하 180분 이상에 걸쳐 통과시켜 육성되며, 육성된 단결정(12)은 10 내지 $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ (ASTM F121-1979)의 산소 농도 및 0.03 내지 0.01Ωcm의 저항률을 가지며, 실리콘 웨이퍼의 표면에 에피택셜층을 형성하기 전에 웨이퍼를 불활성 가스 분위기 하 650 내지 900℃의 온도 범위 내의 소정의 온도에서 10분 내지 4시간 유지하는 프리 어닐링을 행하는 데 있다.

<15> 이 청구항 1에 기재된 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법에서는 실리콘 단결정 인상 공정에서 인상 도중의 800 내지 600℃의 온도 영역을 250분 이하 180분 이상에 걸쳐 통과시켜 단결정(12)을 서서히 냉각(이하, 서냉이라고 함.)시킴으로써 단결정(12) 내부에 형성한 산소 석출 핵의 밀도를 증가시킨다. 밀도가 증가된 산소 석출 핵을 프리 어닐링함으로써 산소 석출물(BMD)로 성장시킨다. 성장한 BMD는 에피택셜층 형성 공정의 고온 열처리에 의해 BMD가 재용해 또는 소멸되지 않는 크기를 갖는다. 이 웨이퍼 표면에 에피택셜층을 형성하면 BMD 밀도가 충분히 있어 IG 효과가 뛰어난 에피택셜 웨이퍼를 얻을 수 있다.

<16> 또한, 산소 농도가 $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 를 초과하는 경우에는 프리 어닐링 처리를 행하여도 에피택셜층 형성 공정의 고온 열처리에서 웨이퍼 표면에서의 BMD가 완전히 소멸되지 않으며, 이 BMD를 기점으로 하여 에피택셜 결함이 발생한다. 그러나, 본 발명에서는 육성된 단결정의 산소 농도를 10×10^{17} 내지 $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 로 낮춤으로써 단결정에 보론이 고농도로 첨가되어 있어도 에피택셜 결함의 발생을 방지할 수 있다.

<17> 청구항 2에 따른 발명은 청구항 1에 따른 발명으로서, 실온에서 프리 어닐링의 소정 온도 범위까지 승온하는 승온 속도가 1 내지 8℃/분이고, 소정의 온도에서 실온까지 냉각하는 강온 속도가 5 내지 2℃/분인 것을 특징으로

한다. 이 청구항 2에 기재된 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법에서는 프리 어닐링 공정에서 상기 승온 및 강온 속도로 설정함으로써 BMD를 확실하게 원하는 밀도로 할 수 있다. 프리 어닐링의 온도가 높을수록 실리콘 웨이퍼를 유지하는 시간은 단시간이면 되기 때문에 생산성을 올릴 수 있다.

<18> 도 3에 도시한 바와 같이, 청구항 3에 따른 발명은 보론이 첨가된 실리콘 용액(11)으로부터 실리콘 단결정(12)을 챔버(21) 내에서 강제 냉각하여 챔버(21) 내에서 CZ법에 의해 인상시키는 공정과, 단결정(2)을 슬라이스하여 얻어진 실리콘 웨이퍼의 표면에 에피택셜층을 형성하는 공정을 포함하는 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법의 개량이다.

<19> 그 특징 있는 구성은, 단결정(12)은 챔버(21) 내의 인상 도중의 800 내지 600℃의 온도 영역을 180분 미만 120분 이상에 걸쳐 통과시켜 육성되며, 육성된 단결정(12)은 10×10^{17} atoms/cm³ 이상 14×10^{17} atoms/cm³ (ASTM F121-1979) 이하의 산소 농도 및 0.03 내지 0.01Ωcm의 저항률을 가지며, 실리콘 웨이퍼의 표면에 에피택셜층을 형성하기 전에 웨이퍼를 불활성 가스 분위기 하 650 내지 900℃의 온도 범위 내의 소정의 온도에서 10분 내지 4시간 유지하는 프리 어닐링을 행하는 데 있다.

<20> 이 청구항 3에 기재된 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법에서는 실리콘 단결정 인상 공정에서 인상 도중의 800 내지 600℃의 온도 영역을 180분 미만 120분 이상에 걸쳐 통과시켜 얻어진 단결정(12)으로서, 프리 어닐링함으로써 에피택셜층 형성 공정의 고온 열처리에 의해 BMD가 재용해 또는 소멸되지 않는 크기를 갖는다. 이 웨이퍼 표면에 에피택셜층을 형성하면 BMD 밀도가 충분히 있어 IG 효과가 뛰어난 에피택셜 웨이퍼를 얻을 수 있다.

<21> 또한, 육성된 단결정은 보론이 고농도로 첨가되어도, 그리고 산소 농도가 10×10^{17} 내지 14×10^{17} atoms/cm³로 높아도 전술한 BMD를 기점으로 하여 발생하는 에피택셜 결함의 발생을 방지할 수 있다. 이는 인상 도중의 800 내지 600℃의 온도 영역을 180분 미만 120분 이상에 걸쳐 통과시킴으로써 과잉의 산소 석출 핵의 형성을 억제하는 작용에 따른 것으로서, 이 결과 산소 농도의 프로세스 마진을 10×10^{17} 내지 14×10^{17} atoms/cm³로 크게 할 수 있다. 여기서, 프로세스 마진이란 에피택셜 결함을 발생시키지 않고 원하는 BMD 밀도를 확보할 수 있는 제조 시의 산소 농도 범위, 비저항 범위 등을 말한다. 프로세스 마진을 크게 함으로써 실리콘 단결정(12)을 공업적 생산할 때 산소 농도, 비저항 등의 프로세스 특성이 다소 변동되어도 불량품의 발생률을 저감할 수 있다. 더욱이 통과 시간이 180분 미만 120분 이상으로 짧은 시간이기 때문에 그 생산성을 향상시킬 수 있다.

<22> 청구항 4에 따른 발명은 청구항 3에 따른 발명으로서, 실온에서 프리 어닐링의 소정 온도 범위까지 승온하는 승온 속도가 1 내지 8℃/분이고, 소정의 온도에서 실온까지 냉각하는 강온 속도가 5 내지 2℃/분인 것을 특징으로 한다. 이 청구항 4에 기재된 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법에서는 프리 어닐링 공정에서 상기 승온 및 강온 속도로 설정함으로써 BMD를 확실하게 성장시킬 수 있다. 프리 어닐링의 온도가 높을수록 실리콘 웨이퍼를 유지하는 시간은 단시간이면 되기 때문에 생산성을 올릴 수 있다.

<23> 청구항 5에 따른 발명은 청구항 3 또는 4에 따른 발명으로서, 강제 냉각은 챔버(21) 내에 설치된 수냉식 냉각 장치(36)에 의해 행해지는 것을 특징으로 한다. 이 청구항 5에 기재된 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법에서는 냉각 장치(36)를 수냉식으로 함으로써 실리콘 단결정(12)을 확실하게 냉각시킬 수 있다.

<24> 청구항 6에 따른 발명은 웨이퍼의 에피택셜층 표면에서 0.09μm 이상의 크기의 에피택셜 결함이 3개/장 이하의 밀도를 가지며, 에피택셜층을 제외한 웨이퍼 내부에 형성되는 산소 석출물 밀도가 1×10^4 개/cm² 이상 5×10^6 개/cm² 이하인 것을 특징으로 한다. 이 청구항 6에 기재된 에피택셜 웨이퍼는 누설 전류가 감소하고 라이프 타임이 향상되며 IG 효과가 뛰어나다.

효과

<25> 본 발명의 에피택셜 실리콘 웨이퍼의 제조 방법에 따르면, 웨이퍼가 되기 전의 실리콘 단결정의 육성 시에 이 단결정을 챔버 내에서의 인상 도중의 800 내지 600℃의 온도 영역을 250분 이하 180분 이상에 걸쳐 통과시켜 육성하고, 또한 실리콘 웨이퍼의 표면에 에피택셜층을 형성하기 전에 웨이퍼를 불활성 가스 분위기 하 650 내지 900℃의 온도 범위 내의 소정의 온도에서 10분 내지 4시간 유지하는 프리 어닐링을 행함으로써 게터링원인 BMD로 성장시킴으로써 IG 효과를 향상시킬 수 있다.

<26> 또한 육성된 단결정은 보론이 고농도로 첨가되어 있어도 그 산소 농도가 10 내지 12×10^{17} atoms/cm³로 저농도이기 때문에 에피택셜 결함의 발생이 적은 고품질의 에피택셜 웨이퍼를 제공할 수 있다. 더욱이, 냉각 장치를 설

치한 챔버 내에서 단결정을 인상 도중의 800 내지 600℃의 온도 영역을 180분 미만 120분 이상에 걸쳐 통과시켜 육성할 수도 있다. 이 경우에는 산소 농도를 높게 할 수 있으며, 프로세스 마진이 넓고, 그 생산성을 향상시킬 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<27> <제1 실시 형태>

<28> 다음, 본 발명을 실시하기 위한 제1 실시 형태를 설명한다. 본 발명의 에피택셜 실리콘 웨이퍼의 제조 방법은, 도 2에 도시한 바와 같이, CZ법에 의해 보론이 첨가된 실리콘 용액(11)으로부터 실리콘 단결정(12)을 챔버(21) 내에서 CZ법에 의해 인상시키는 공정과, 도하지 않은 이 단결정을 슬라이스하여 얻어진 실리콘 웨이퍼의 표면에 에피택셜층을 형성하는 공정을 포함한다. 이 에피택셜 웨이퍼의 제조 방법에서는 단결정(12)을 챔버(21) 내의 인상 도중 800 내지 600℃의 온도 영역을 250분 이하 180분 이상에 걸쳐 통과시켜 육성하고, 육성한 단결정(12)이 산소 농도 10×10^{17} 내지 $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 및 저항률 0.03 내지 0.01Ωcm를 가지며, 단결정으로부터 슬라이스하여 얻어진 실리콘 웨이퍼의 표면에 에피택셜층을 형성하기 전에 실리콘 웨이퍼를 불활성 가스 분위기 하 650 내지 900℃의 온도 범위 내의 소정의 온도에서 10분 내지 4시간 유지하는 프리 어닐링을 행하는 것을 특징으로 하고 있다. 실리콘 단결정(12)은 직경 300mm 이상인 것이 바람직하며, 직경 300 내지 450mm인 것이 더욱 바람직하다.

<29> 본 발명에 따른 P형 불순물의 보론을 고농도로 실리콘 용액(11)에 첨가하여 육성한 단결정(2) 및 에피택셜 웨이퍼의 서브 웨이퍼로 사용하는 실리콘 웨이퍼의 저항률을 0.03 내지 0.01Ωcm의 p^+ 웨이퍼로 설정한 것은, 첫째, 디바이스 설계 상의 이유로서 디바이스가 동작하는 경우에 발생하는 부유 전하가 의도하지 않은 기생 트랜지스터를 동작시키게 된다는 소위 래치 업 현상을 p^+ 웨이퍼를 사용함으로써 방지할 수 있고, 디바이스의 설계를 용이하게 하는 효과가 있기 때문이다. 둘째, 트렌치 구조의 커패시터를 사용하는 경우에 트렌치 주변의 전압 인가 시의 결핍층의 확대를 p^+ 웨이퍼를 사용함으로써 방지할 수 있기 때문이다.

<30> 일반적으로 저항률 0.03 내지 0.01Ωcm를 갖는 실리콘 단결정에는 결정 중의 보론 농도가 높으므로 산소 석출이 일어나기 쉬운 경향이 있다. 에피택셜 결함의 발생 원인인 링형의 OSF(이하, R-OSF라고 함.)를 단결정 중심부에서 소멸시키는 방법으로 단결정을 저속으로 인상시키는 방법이 알려져 있다. 그러나, 이러한 단결정을 고속으로 인상시킨 경우에는 단결정면 내에 R-OSF가 형성되게 된다. 이 때 산소 농도가 높으면 실리콘 웨이퍼 표면의 R-OSF에 대응하는 에피택셜층의 위치에 에피택셜 결함이 발생하게 된다. 통상, 실리콘 웨이퍼의 산소 농도는 산소 석출을 촉진시키기 때문에 10×10^{17} 내지 $14 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$, 바람직하게는 12×10^{17} 내지 $14 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 로 높게 설정되어 있는데, 제1 실시 형태의 발명에서는 산소 농도를 10×10^{17} 내지 $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$, 바람직하게는 $10 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 이상 $11 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 미만으로 낮게 설정함으로써 R-OSF에 기인하는 에피택셜 결함의 발생을 억제할 수 있다. 또한, 프리 어닐링 처리를 실시한 경우에도 산소 석출물에 기인하는 에피택셜 결함의 발생을 저감할 수 있다. 산소 농도의 범위를 10×10^{17} 내지 $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 로 설정한 것은, 산소 농도가 $10 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 미만에서는 에피택셜층 형성 공정 시의 열처리에 의해 BMD가 소실되어 버려 IG 효과가 저하하기 때문이다. 또한, 산소 농도가 $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 를 초과하면, 단결정으로부터 얻어진 에피 서브 웨이퍼의 표면에 R-OSF가 성장하여 에피 서브 웨이퍼 표면에 형성된 에피택셜층에 R-OSF에 기인한 에피택셜 결함을 발생시킬 우려나, 석출 과다에 의한 BMD에 기인하는 에피택셜 결함을 발생시킬 우려가 있기 때문이다.

<31> 이러한 실리콘 웨이퍼를 얻기 위한 실리콘 단결정(12)의 인상 순서를 개시한다. 먼저, CZ로(10)의 메인 챔버(21) 내의 핫 존에 있는 도가니(22)에 채워진 실리콘 용액(11)에 육성된 실리콘 단결정(12)이 저항률 0.03 내지 0.01Ωcm를 갖도록 보론을 첨가하고, 0.7 내지 1.1mm/분의 속도로 실리콘 단결정(12)을 인상시킨다.

<32> 실리콘 단결정(12) 내의 온도는 실리콘 용액(11) 계면 부근의 실리콘 단결정(12)에서 실리콘 단결정(12)의 정상부로 갈수록 낮아진다. 용액 계면에서는 약 1400℃의 온도가 풀 챔버(인상 챔버, 27) 내의 하부에 접어들 때 단결정의 온도는 800℃가 되고, 풀 챔버(27)의 하부보다 조금 상부에 단결정이 도달할 때에는 약 600℃가 되도록 전체의 CZ로는 구성된다. 이 800 내지 600℃의 온도 영역에서 실리콘 단결정(12)을 250 이하 180분 이상의 시간에 걸쳐 통과시켜 실리콘 단결정(12)을 서냉시킨다. 이 경우의 강온 속도는 0.80 내지 1.66℃/분으로서,

이에 따라 단결정 내에서 산소 석출 핵의 형성이 일어난다. 단결정이 이 온도 영역 내에 장시간 체류함으로써 단결정 내의 산소 석출 핵 밀도를 증가시킬 수 있고, 산소 농도가 낮은 것이 원인으로 일어나는 에피택셜층에서의 BMD 밀도의 부족을 해소할 수 있다. 통과 시간을 250분 이하 180분 이상으로 설정한 것은, 180분 이상으로 함으로써 챔버(21) 내에 냉각 장치를 설치하지 않고 BMD 밀도를 증가시킬 수 있고, 250분 이내로 함으로써 생산성을 저하시키지 않고도 BMD 밀도를 증가시킬 수 있기 때문이다.

<33> 육성된 실리콘 단결정(12)은 통상의 방법을 따라 실리콘 웨이퍼로 가공된다. 예컨대 외주 연삭, 오리엔테이션 플랫 가공 후 내주날 소(saw)나 와이어 소에 의해 슬라이스되며, 모따기, 래핑에 이어 가공 변질층을 제거하기 위하여 화학 식각이 실시된다.

<34> 서냉시킨 실리콘 단결정(12)을 슬라이스하여 얻어진 실리콘 웨이퍼 내에 형성된 산소 석출 핵을 에피택셜층 형성 공정 전에 실리콘 웨이퍼에 대하여 프리 어닐링 공정을 행함으로써 에피택셜층 형성 공정의 고온 열처리에 의해서도 재용해 또는 소멸되지 않는 크기의 BMD로 성장시킨다. 이에 따라 에피택셜 웨이퍼에서 문제가 되는 BMD 밀도 부족을 해소하고 IG 효과를 향상시킬 수 있다.

<35> 이와 같이 산소 석출 핵을 BMD로 성장시키기 위한 실리콘 웨이퍼의 프리 어닐링 공정의 순서를 개시한다. 도 1에 도시한 바와 같이, 프리 어닐링 공정에서는 식각이 실시된 후의 실온 하에 놓인 실리콘 웨이퍼를 로내 온도 600 내지 700℃의 저항 가열식 중형 로에 수용하고, 승온 속도 1 내지 8℃/분, 바람직하게는 4 내지 6℃/분으로 650 내지 900℃의 온도 범위 내의 소정의 온도까지 승온하고, 소정의 온도에서 10분 내지 4시간, 바람직하게는 30 내지 60분 유지하고, 강온 속도 5 내지 2℃/분, 바람직하게는 4 내지 3℃/분으로 실온까지 냉각한다. 로내 분위기는 질소(N₂) 가스, 아르곤 가스 또는 이들의 혼합 가스의 불활성 가스 분위기이다.

<36> 프리 어닐링 공정이 끝난 실리콘 웨이퍼를 연마에 의해 광학적인 광택을 가진 경면 웨이퍼로 마감한다. 이와 같이 경면 연마에 의해 마감된 실리콘 웨이퍼의 표면 상에 에피택셜층을 성장시킨다. 예컨대, 실리콘 웨이퍼를 매엽식 에피택셜 장치에 수용하고, 장치 내 온도를 1000 내지 1150℃로 하고, 1분간의 수소 베이크를 행하고, 계속하여 트라이클로로실레인(trichlorosilane) 가스를 장치 내에 유입시켜 온도 1000 내지 1150℃에서 30 내지 180초간, 바람직하게는 60 내지 120초간 실리콘 웨이퍼를 유지함으로써 실리콘 웨이퍼 표면에 두께 4μm의 에피택셜층을 형성한다. 이에 따라 에피택셜층 표면에서 0.09μm 이상의 크기의 에피택셜 결함이 3개/장 이하인 밀도를 가지며, 에피택셜층을 제외한 웨이퍼 내부에 형성되는 BMD 밀도가 1×10^4 개/cm² 내지 5×10^6 개/cm² 이하인 에피택셜 웨이퍼를 얻을 수 있다.

<37> <제2 실시 형태>

<38> 다음, 본 발명을 실시하기 위한 제2 실시 형태를 설명한다. 본 발명의 에피택셜 실리콘 웨이퍼의 제조 방법은 CZ법에 의해 보론이 첨가된 실리콘 용액(11)으로부터 직경 300mm의 실리콘 단결정(12)을 챔버(21) 내에서 강제 냉각하여 챔버(21) 내에서 CZ법에 의해 인상시키는 공정과, 이 단결정을 슬라이스하여 얻어진 실리콘 웨이퍼의 표면에 에피택셜층을 형성하는 공정을 포함한다. 즉, 이 제2 실시 형태에서는 도 3에 도시한 바와 같이, 강제 냉각은 챔버(21) 내에 설치된 수냉식 냉각 장치(36)에 의해 행해진다. 그리고, 실리콘 단결정(12)은 인상 도중의 800 내지 600℃의 온도 영역을 냉각 장치(36)의 내부에 설치된 냉각용 통체(37)의 내부를 180분 미만 120분 이상으로 통과하여 육성된다. 그 육성된 실리콘 단결정(12)은 산소 농도 10×10^{17} 내지 14×10^{17} atoms/cm³ 및 저항률 0.03 내지 0.01Ωcm를 갖는다. 실리콘 단결정(12)은 직경 300mm 이상인 것이 바람직하며, 직경 300 내지 450mm인 것이 더욱 바람직하다. 이 단결정으로부터 슬라이스하여 얻어진 실리콘 웨이퍼의 표면에 에피택셜층을 형성하기 전에 실리콘 웨이퍼를 불활성 가스 분위기 하 650 내지 900℃의 온도 범위 내의 소정의 온도에서 10분 내지 4시간 유지하는 프리 어닐링이 행해진다. 프리 어닐링에 있어서, 실온에서부터의 승온 속도 및 실온까지의 강온 속도는 제1 실시 형태와 동일하다.

<39> 본 발명에 있어서, 인상 도중의 800 내지 600℃의 온도 영역의 통과 시간을 180분 미만 120분 이상으로 설정한 것은, 120분 이상으로 함으로써 단결정(2) 내부에 형성되는 BMD 밀도를 증가시킬 수 있기 때문이다. 또한, 챔버(21) 내에 냉각 장치를 설치함으로써 단결정(2)의 통과 시간을 180분 미만 120분 이상으로 할 수 있다. 또한, 통과 시간이 180분 미만 120분 이상으로 더욱 단시간에 냉각시킴으로써 제1 실시 형태에 비하여 그 생산성이 보다 높아진다.

<40> 나아가, 산소 농도의 프로세스 마진을 10×10^{17} 내지 14×10^{17} atoms/cm³로 크게 설정한 것은, 인상 도중의 800 내지 600℃의 온도 영역을 180분 미만 120분 이상에 걸쳐 통과시킴으로써 과잉의 산소 석출 핵의 형성을 억제하기

때문이다. 이에 따라, 고농도의 보론이 첨가된 저항률 0.03 내지 0.01Ωcm를 갖는 실리콘 단결정(12)이라도, 그리고 산소 농도가 높아도 산소 석출 과다로 인한 BMD에 기인하는 에피택셜 결함이 발생하는 것을 방지할 수 있다. 또한, 산소 농도의 프로세스 마진을 크게 함으로써 실리콘 단결정(12)을 양산함에 있어서 산소 농도, 비저항 등의 프로세스 특성이 다소 흔들려도 불량품의 발생률을 저감할 수 있다.

<41> 다음, 본 발명의 실시예를 비교예와 함께 설명한다.

<42> <실시예 1>

<43> 실리콘 단결정을 육성하는 CZ로(10)를 도 2에 도시하였다. 구체적으로는, 메인 챔버(21) 내의 중심 위치에 실리콘 용액(11)을 저장하는 도가니(22)가 설치된다. 도가니(22)는 석영으로 이루어지는 용기(22a)와 이 외측에 배치된 흑연으로 이루어지는 용기(22b)로 구성되며, 지축(23)을 통하여 도가니(22)를 회전시키고 승강시키는 도가니 구동 수단(24)에 접속된다. 도가니(22)의 외주부에는 가열 히터(25)와 보온통(26)이 동심원상으로 배치된다. 도가니(22) 내에는 실리콘 단결정이 가열 히터(25)에 의해 용해된 실리콘 용액(11)이 수용된다.

<44> 메인 챔버(21)의 상단에는 원통형의 폴 챔버(27)가 접속되며, 이 폴 챔버(27)의 상단에는 시드 인상 수단(도시 생략)이 설치되고, 와이어 케이블(28)이 시드 결정(29)을 장착하여 회전 및 승강 가능하게 설치되어 있다. 이 시드 결정(29)의 하단으로부터 단결정(12)을 성장시키는 것이 가능하고, 더욱이 와이어 케이블(28)이 상승함과 아울러 육성되는 단결정(12)을 둘러싸도록 열 차폐 부재(30)가 배치된다. 열 차폐 부재(30)는 하방을 향함에 따라 지름이 작아지는 콘부(30a)와, 콘부에 연속되어 설치되며 외방으로 튀어나오는 플랜지부(30b)와, 플랜지부(30b)를 보온통(26) 상에 올려놓기 위한 링판(30c)으로 구성되어 있다.

<45> 또한, 폴 챔버(27) 및 메인 챔버(21) 내에는 아르곤 가스 등의 불활성 가스가 공급 가스 유량 조정 밸브(31)를 갖는 가스 공급 파이프(32)와 배출 가스 유량 조절 밸브(33)를 갖는 가스 배출 파이프(34)를 지남으로써 유통되도록 구성된다. 더욱이, 메인 챔버(21)의 외측의 좌우에는 자계 인가 장치(35)가 배치되며, 실리콘 용액(11)의 대류를 제어한다.

<46> 이 CZ로(10)를 이용하여 보론이 첨가된 실리콘 용액(11)으로부터 실리콘 단결정(12)을 불활성 가스를 캐리어 가스로 하여 챔버(21) 내에 흘리면서 0.95mm/분의 속도로 인상시키고, 그 인상 도중의 800 내지 600℃의 온도 영역을 182분에 걸쳐 통과시켜 그 단결정을 육성하였다. 도가니(22)의 회전 속도와 MCZ(Magnetic field applied CZ)법의 자계 인가 장치(35)에 의해 자기장 강도를 조정하고, 아르곤 가스의 유속과 CZ로(10) 내의 압력을 조정함으로써 실리콘 단결정(12)에 포함되는 산소 농도를 제어하였다. 이 단결정을 슬라이스하여 얻어진 실리콘 웨이퍼의 저항률 및 산소 농도를 4탐침법 및 이차 이온 질량 분석법(SIMS)을 이용하여 각각 측정하였더니, 실리콘 단결정(12)의 저항률은 0.03 내지 0.01Ωcm, 산소 농도가 $10.05 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 이었다.

<47> 화학 식각하여 얻어진 상기 실리콘 웨이퍼를 650℃로 가열한 중형 로에 수용하였다. 질소 가스 분위기 하에서, 이 중형 로의 로내 온도를 650℃에서부터 승온 속도 5℃/분으로 850℃까지 승온하고, 이 온도에서 실리콘 웨이퍼를 1시간 유지하고, 강온 속도 3℃/분으로 실온까지 냉각하는 프리 어닐링 처리를 실시하였다. 이 실리콘 웨이퍼에 경면 연마를 실시한 후, 매엽식 에피택셜 장치에 수용하고, 장치 내 온도를 1100℃, 1분간의 수소 베이킹 처리를 실리콘 웨이퍼에 행하고, 계속하여 트라이클로로실레인 가스를 장치 내에 유입시키고 장치 내 온도 1100℃, 120초간 유지함으로써 실리콘 웨이퍼 표면에 두께 4μm의 에피택셜층을 형성하였다. 이에 따라 에피택셜 웨이퍼를 얻었다. 얻어진 에피택셜 웨이퍼를 실시예 1로 하였다.

<48> <실시예 2 내지 6>

<49> 실리콘 단결정의 육성에 있어서 실리콘 단결정(12)의 800 내지 600℃의 온도 영역을 통과하는 시간을, 인상 속도를 0.85 내지 0.95mm/분으로 바꿈으로써 표 1에 나타난 바와 같이 250분 이하 180분 이상의 범위 내로 변경하였다. 또한, 도가니(22)의 회전 속도와 자계 인가 장치(35)에 의해 자계 강도를 변경하고, 아르곤 가스의 유속과 CZ로(10) 내의 압력을 조정함으로써 실리콘 단결정(12)에 포함되는 산소 농도를 표 1에 나타난 바와 같이 10×10^{17} 내지 $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 의 범위 내에서 변경하였다. 상기 변경을 제외하고 실시예 1과 동일한 방법으로 각각 에피택셜 웨이퍼를 얻었다. 얻어진 에피택셜 웨이퍼를 각각 실시예 2 내지 6으로 하였다.

<50> <비교예 1 내지 6>

<51> 실리콘 단결정의 육성에 있어서 실리콘 단결정(12)의 800 내지 600℃의 온도 영역을 통과하는 시간을, 인상 속도를 0.85 내지 0.95mm/분으로 바꿈으로써 표 1에 나타난 바와 같이 250분 이하 180분 이상의 범위 내로 변경하

였다. 또한, 도가니(22)의 회전 속도와 자계 인가 장치(35)에 의해 자계 강도를 변경하고, 아르곤 가스의 유속과 CZ로(10) 내의 압력을 조정함으로써 실리콘 단결정(12)에 포함되는 산소 농도를 표 1에 나타낸 바와 같이 10×10^{17} 내지 12×10^{17} atoms/cm³의 범위 밖에서 변경하였다. 상기 변경을 제외하고 실시예 1과 동일한 방법으로 각각 에피택셜 웨이퍼를 얻었다. 얻어진 에피택셜 웨이퍼를 각각 비교예 1 내지 6으로 하였다.

<52> <비교예 7 내지 10>

<53> 실리콘 단결정의 육성에 있어서 실리콘 단결정(12)의 800 내지 600℃의 온도 영역을 통과하는 시간을, 인상 속도를 0.75/분으로 바꿈으로써 표 1에 나타낸 바와 같이 250분 이하 180분 이상의 범위 밖으로 변경하였다. 또한, 도가니(22)의 회전 속도와 자계 인가 장치(35)에 의해 자계 강도를 변경하고, 아르곤 가스의 유속과 CZ로(10) 내의 압력을 조정함으로써 실리콘 단결정(12)에 포함되는 산소 농도를 표 1에 나타낸 바와 같이 변경하였다. 상기 변경을 제외하고 실시예 1과 동일한 방법으로 각각 에피택셜 웨이퍼를 얻었다. 얻어진 에피택셜 웨이퍼를 각각 비교예 7 내지 10으로 하였다.

<54> <비교예 11 내지 22>

<55> 실리콘 단결정의 육성에 있어서 실리콘 단결정(12)의 800 내지 600℃의 온도 영역을 통과하는 시간을, 인상 속도를 0.85 내지 0.95mm/분으로 바꿈으로써 표 2에 나타낸 바와 같이 250분 이하 180분 이상의 범위 내로 변경하였다. 또한, 도가니(22)의 회전 속도와 자계 인가 장치(35)에 의해 자계 강도를 변경하고, 아르곤 가스의 유속과 CZ로(10) 내의 압력을 조정함으로써 실리콘 단결정(12)에 포함되는 산소 농도를 표 2에 나타낸 바와 같이 변경하였다. 더욱이 프리 어닐링 공정을 행하지 않고 에피택셜층을 형성하였다. 상기 변경을 제외하고 실시예 1과 동일한 방법으로 각각 에피택셜 웨이퍼를 얻었다. 얻어진 에피택셜 웨이퍼를 각각 비교예 11 내지 22로 하였다.

<56> <비교예 23 내지 26>

<57> 실리콘 단결정의 육성에 있어서 실리콘 단결정(12)의 800 내지 600℃의 온도 영역을 통과하는 시간을, 인상 속도를 0.75 내지 1.05mm/분으로 바꿈으로써 표 2에 나타낸 바와 같이 250분 이하 180분 이상의 범위 밖으로 변경하였다. 또한, 도가니(22)의 회전 속도와 자계 인가 장치(35)에 의해 자계 강도를 변경하고, 아르곤 가스의 유속과 CZ로(10) 내의 압력을 조정함으로써 실리콘 단결정(12)에 포함되는 산소 농도를 표 2에 나타낸 바와 같이 변경하였다. 더욱이 프리 어닐링 공정을 행하지 않고 에피택셜층을 형성하였다. 상기 변경을 제외하고 실시예 1과 동일한 방법으로 각각 에피택셜 웨이퍼를 얻었다. 얻어진 에피택셜 웨이퍼를 각각 비교예 23 내지 26으로 하였다.

<58> <비교 시험 1>

<59> 실시예 1 내지 6, 및 비교예 1 내지 26의 에피택셜 실리콘 웨이퍼를 표면 결함 검사 장치(KLA-Tencor사 제품; SP-1)를 이용하여 에피택셜층의 표면에서 검출되는 0.09 μm 이상의 크기의 표면 결함(에피택셜 결함)의 수를 측정하였다. 다음, 이들 에피택셜 웨이퍼에 대하여 건조 산소 분위기 중 1000℃에서 16시간 유지하여 BMD 성장 열처리를 실시한 후, 에피택셜 웨이퍼를 벽개하여 벽개 단면을 라이트 식각액으로 2 μm의 선택 식각을 행하고, 이 벽개 단면을 광학 현미경을 이용하여 식각 피트(에치 피트) 밀도를 측정하고, 실리콘 웨이퍼 중에 형성된 산소 석출물(BMD) 밀도를 구하였다. 이들 측정 결과를 표 1 및 표 2에 나타내었다.

표 1

	인상 속도 (mm/분)	통과 시간 (분)	산소 농도 ($\times 10^{17}$ atoms/cm ³)	냉각 장 치의 유무	프리 어닐링의 여부	에피택셜 결합의 발생 (개/장)	BMD 밀도 (개/cm ²)
실시예 1	0.95	182	10.05	없음	있음	≤ 3	4.68×10^4
실시예 2	0.95	182	11.92	없음	있음	≤ 3	1.12×10^6
실시예 3	0.9	214	10.17	없음	있음	≤ 3	7.20×10^4
실시예 4	0.9	214	11.85	없음	있음	≤ 3	1.76×10^6
실시예 5	0.85	245	10.22	없음	있음	≤ 3	1.20×10^5
실시예 6	0.85	245	11.81	없음	있음	≤ 3	2.26×10^6
비교예 1	0.95	182	9.74	없음	있음	≤ 3	7.80×10^3
비교예 2	0.95	182	12.67	없음	있음	≥ 100	3.44×10^6
비교예 3	0.9	214	9.86	없음	있음	≤ 3	6.50×10^3
비교예 4	0.9	214	12.36	없음	있음	≥ 100	2.49×10^6
비교예 5	0.85	245	9.57	없음	있음	≤ 3	8.22×10^3
비교예 6	0.85	245	12.73	없음	있음	≥ 100	2.76×10^6
비교예 7	0.75	265	9.64	없음	있음	≥ 50	5.60×10^4
비교예 8	0.75	265	10.35	없음	있음	≥ 50	3.20×10^5
비교예 9	0.75	265	11.71	없음	있음	≥ 100	5.80×10^6
비교예 10	0.75	265	12.49	없음	있음	≥ 100	8.20×10^6

<60>

<61>

표 2

	인상 속도 (mm/분)	통과 시간 (분)	산소 농도 ($\times 10^{17}$ atoms/cm ³)	냉각 장치의 유무	프리 어닐링의 유무	에피택셜 결함의 발생 (개/장)	BMD 밀도 (개/cm ²)
비교예 11	0.95	182	9.74	없음	없음	≤ 3	1.3×10^3
비교예 12	0.95	182	10.05	없음	없음	≤ 3	1.3×10^3
비교예 13	0.95	182	11.92	없음	없음	≤ 3	3.9×10^3
비교예 14	0.95	182	12.67	없음	없음	≤ 3	6.5×10^3
비교예 15	0.9	214	9.86	없음	없음	≤ 3	1.3×10^3
비교예 16	0.9	214	10.17	없음	없음	≤ 3	1.3×10^3
비교예 17	0.9	214	11.85	없음	없음	≤ 3	5.2×10^3
비교예 18	0.9	214	12.36	없음	없음	≤ 3	7.8×10^3
비교예 19	0.85	245	9.57	없음	없음	≤ 3	1.3×10^3
비교예 20	0.85	245	10.22	없음	없음	≤ 3	1.3×10^3
비교예 21	0.85	245	11.81	없음	없음	≤ 3	4.6×10^3
비교예 22	0.85	245	12.73	없음	없음	≤ 3	8.2×10^3
비교예 23	0.75	265	9.64	없음	없음	≤ 3	2.6×10^3
비교예 24	0.75	265	10.35	없음	없음	≤ 3	3.9×10^3
비교예 25	0.75	265	11.71	없음	없음	≤ 3	9.0×10^3
비교예 26	0.75	265	12.49	없음	없음	≥ 50	4.2×10^4

<62>

<63>

<평가 1>

<64>

표 1 및 표 2의 웨이퍼 1장 당 에피택셜 결함의 개수는 3000장의 에피택셜 웨이퍼를 측정된 평균값을 나타내고 있다. 표 1 및 표 2에서 알 수 있는 바와 같이, 웨이퍼 1장 당 에피택셜 결함 개수의 평균값은 실시예 1 내지 6 및 비교예 1, 비교예 3, 비교예 5, 비교예 11 내지 25에서는 3개 이하로 낮은 수치를 나타내었고, 비교예 7 내지 8, 비교예 26에서는 50개 이상, 비교예 2, 비교예 4, 비교예 6, 비교예 9 내지 10에서는 100개 이상으로 높은 수치를 나타내었다.

<65>

또한 BMD 밀도는 실시예 1 내지 6 및 비교예 2, 비교예 4, 비교예 6 내지 10, 비교예 26에서는 1×10^4 개/cm² 이상으로 높은 수치를 나타내었고, 비교예 1, 비교예 3, 비교예 5, 비교예 11 내지 25에서는 1×10^4 개/cm² 미만으로 낮은 수치를 나타내었다.

<66>

이상으로부터, 에피택셜 결함의 개수의 평균값에 대해서는, 산소 농도가 12×10^{17} atoms/cm³를 초과하는 높은 농도 그리고 프리 어닐링 처리를 실시함으로써 증가하기 때문에 산소 농도의 상한을 12×10^{17} atoms/cm³ 이하로 하는 것이 좋을 수 있었다. BMD 밀도에 대해서는, 프리 어닐링 처리를 실시한 예가 프리 어닐링 처리를 실시하지 않은 예보다 밀도가 높아졌기 때문에 프리 어닐링 처리를 하는 것이 좋을 수 있었다. 또한, 통과 시간이 180 내지 250분의 범위에 들어가 있음에도 불구하고 BMD 밀도가 1×10^4 개/cm² 미만으로 되어 버리는 비교

예 1, 비교예 3, 비교예 5가 있어, 이것을 피하기 위하여 산소 농도의 하한값을 $10 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 이상으로 하는 것이 좋을 수 있었다.

<67> 상기 실시예 1 내지 6 및 비교예 1 내지 26의 결과로부터, 800 내지 600℃의 온도 영역을 250 내지 180분에 걸쳐 통과시켜 육성되고, 산소 농도 10 내지 $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 를 갖는 실리콘 단결정(12)으로부터 얻어진 실리콘 웨이퍼에 에피택셜층 형성 전에 프리 어닐링 처리를 함으로써 게터링에 유효한 BMD 밀도가 $1 \times 10^4 \text{ 개/cm}^2$ 이상으로 높고 에피택셜 결합 개수가 1장 당 3개 이하로 적은 에피택셜 웨이퍼를 제조할 수 있음을 알 수 있었다.

<68> <실시예 7>

<69> 실리콘 단결정을 육성하는 CZ로(20)를 도 3에 도시하였다. 도 3에서 도 2와 동일 부호는 동일 구성 요소를 나타내며, 제1 실시 형태와 대략 동일하므로 반복 설명을 생략한다. 메인 챔버(21) 내에는 냉각 장치(36)가 육성되는 단결정(12)을 둘러싸도록 설치된다. 냉각 장치(36)의 내부에는 냉각 수로(37a)를 갖는 냉각용 통체(37)와, 냉각 수로(37a)에 연통 접속되며 챔버(21) 바깥에서 냉각 수로(37a)로 냉각수를 소정의 압력으로 공급하는 공급관(38)과, 냉각 수로(37a)에 연통 접속되며 챔버(21) 바깥으로 냉각 수로(37a)의 냉각수를 배출하는 배출관(39)을 구비한다.

<70> 이 CZ로(20)를 이용하여 보론이 첨가된 실리콘 용액(11)으로부터 실리콘 단결정(12)을 불활성 가스를 캐리어 가스로 하여 챔버(21) 내에 흘리면서 1.3mm/분의 속도로 인상시키고, 그 인상 도중의 800 내지 600℃의 온도 영역을 120분에 걸쳐 통과시켜 그 단결정을 육성하였다. 도가니(22)의 회전 속도와 자계 인가 장치(35)에 의해 자계 강도를 조정하고, 아르곤 가스의 유속과 CZ로(20) 내의 압력을 조정함으로써 실리콘 단결정(12)에 포함되는 산소 농도를 제어하였다. 이 단결정을 슬라이스하여 얻어진 실리콘 웨이퍼의 저항률 및 산소 농도를 4탐침법 및 이차 이온 질량 분석법(SIMS)을 이용하여 각각 측정하였더니, 실리콘 단결정(12)의 저항률은 0.03 내지 0.01 Ωcm, 산소 농도가 $10.22 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 이었다.

<71> 화학 식각하여 얻어진 상기 실리콘 웨이퍼를 650℃로 가열한 종형 로에 수용하였다. 질소 가스 분위기 하에서, 이 종형 로의 로내 온도를 650℃에서부터 승온 속도 5℃/분으로 850℃까지 승온하고, 이 온도에서 실리콘 웨이퍼를 1시간 유지하고, 강온 속도 3℃/분으로 실온까지 냉각하는 프리 어닐링 처리를 실시하였다. 이 실리콘 웨이퍼에 경면 연마를 실시한 후, 매엽식 에피택셜 장치에 수용하고, 장치 내 온도를 1100℃, 1분간의 수소 베이킹 처리를 실리콘 웨이퍼에 행하고, 계속하여 트라이클로로실레인 가스를 장치 내에 유입시켜 장치 내 온도 1100℃, 120초간 유지함으로써 실리콘 웨이퍼 표면에 두께 4 μm의 에피택셜층을 형성하였다. 이에 따라 에피택셜 웨이퍼를 얻었다. 얻어진 에피택셜 웨이퍼를 실시예 7로 하였다.

<72> <실시예 8 내지 12>

<73> 실리콘 단결정의 육성에 있어서 실리콘 단결정(12)의 800 내지 600℃의 온도 영역을 통과하는 시간을, 인상 속도를 1.3 내지 1.0mm/분으로 바꿈으로써 표 3에 나타낸 바와 같이 180분 미만 120분 이상의 범위 내로 변경하였다. 또한, 도가니(22)의 회전 속도와 자계 인가 장치(35)에 의해 자계 강도를 변경하고, 아르곤 가스의 유속과 CZ로(20) 내의 압력을 조정함으로써 실리콘 단결정(12)에 포함되는 산소 농도를 표 3에 나타낸 바와 같이 변경하였다. 상기 변경을 제외하고 실시예 7과 동일한 방법으로 각각 에피택셜 웨이퍼를 얻었다. 얻어진 에피택셜 웨이퍼를 각각 실시예 8 내지 12로 하였다.

<74> <비교예 27 내지 32>

<75> 실리콘 단결정의 육성에 있어서 실리콘 단결정(12)의 800 내지 600℃의 온도 영역을 통과하는 시간을, 인상 속도를 1.3 내지 1.0mm/분으로 바꿈으로써 표 3에 나타낸 바와 같이 180분 미만 120분 이상의 범위 내로 변경하였다. 또한, 도가니(22)의 회전 속도와 자계 인가 장치(35)에 의해 자계 강도를 변경하고, 아르곤 가스의 유속과 CZ로(20) 내의 압력을 조정함으로써 실리콘 단결정(12)에 포함되는 산소 농도를 표 3에 나타낸 바와 같이 변경하였다. 상기 변경을 제외하고 실시예 7과 동일한 방법으로 각각 에피택셜 웨이퍼를 얻었다. 얻어진 에피택셜 웨이퍼를 각각 비교예 27 내지 32로 하였다.

<76> <비교예 33 내지 36>

<77> 실리콘 단결정의 육성에 있어서 실리콘 단결정(12)의 800 내지 600℃의 온도 영역을 통과하는 시간을, 인상 속도를 1.4mm/분으로 바꿈으로써 표 3에 나타낸 바와 같이 180분 미만 120분 이상의 범위 밖으로 변경하였다. 또한, 도가니(22)의 회전 속도와 자계 인가 장치(35)에 의해 자계 강도를 변경하고, 아르곤 가스의 유속과 CZ로

(20) 내의 압력을 조정함으로써 실리콘 단결정(12)에 포함되는 산소 농도를 표 3에 나타낸 바와 같이 변경하였다. 상기 변경을 제외하고 실시예 7과 동일한 방법으로 각각 에피택셜 웨이퍼를 얻었다. 얻어진 에피택셜 웨이퍼를 각각 비교예 33 내지 36으로 하였다.

<78> <비교예 37 내지 42>

<79> 실리콘 단결정의 육성에 있어서 실리콘 단결정(12)의 800 내지 600℃의 온도 영역을 통과하는 시간을, 인상 속도를 1.3 내지 1.0mm/분으로 바꿈으로써 표 4에 나타낸 바와 같이 180분 미만 120분 이상의 범위 내로 변경하였다. 또한, 도가니(22)의 회전 속도와 자계 인가 장치(35)에 의해 자계 강도를 변경하고, 아르곤 가스의 유속과 CZ로(20) 내의 압력을 조정함으로써 실리콘 단결정(12)에 포함되는 산소 농도를 표 4에 나타낸 바와 같이 변경하였다. 더욱이 프리 어닐링 공정을 행하지 않고 에피택셜층을 형성하였다. 상기 변경을 제외하고 실시예 7과 동일한 방법으로 각각 에피택셜 웨이퍼를 얻었다. 얻어진 에피택셜 웨이퍼를 각각 비교예 37 내지 42로 하였다.

<80> <비교예 43 내지 48>

<81> 실리콘 단결정의 육성에 있어서 실리콘 단결정(12)의 800 내지 600℃의 온도 영역을 통과하는 시간을, 인상 속도를 1.3 내지 1.0mm/분으로 바꿈으로써 표 4에 나타낸 바와 같이 180분 미만 120분 이상의 범위 내로 변경하였다. 또한, 도가니(22)의 회전 속도와 자계 인가 장치(35)에 의해 자계 강도를 변경하고, 아르곤 가스의 유속과 CZ로(20) 내의 압력을 조정함으로써 실리콘 단결정(12)에 포함되는 산소 농도를 표 4에 나타낸 바와 같이 변경하였다. 더욱이 프리 어닐링 공정을 행하지 않고 에피택셜층을 형성하였다. 상기 변경을 제외하고 실시예 7과 동일한 방법으로 각각 에피택셜 웨이퍼를 얻었다. 얻어진 에피택셜 웨이퍼를 각각 비교예 43 내지 48로 하였다.

<82> <비교예 49 내지 52>

<83> 실리콘 단결정의 육성에 있어서 실리콘 단결정(12)의 800 내지 600℃의 온도 영역을 통과하는 시간을, 인상 속도를 1.4mm/분으로 바꿈으로써 표 4에 나타낸 바와 같이 180분 미만 120분 이상의 범위 밖으로 변경하였다. 또한, 도가니(22)의 회전 속도와 자계 인가 장치(35)에 의해 자계 강도를 변경하고, 아르곤 가스의 유속과 CZ로(20) 내의 압력을 조정함으로써 실리콘 단결정(12)에 포함되는 산소 농도를 표 4에 나타낸 바와 같이 변경하였다. 더욱이 프리 어닐링 공정을 행하지 않고 에피택셜층을 형성하였다. 상기 변경을 제외하고 실시예 7과 동일한 방법으로 각각 에피택셜 웨이퍼를 얻었다. 얻어진 에피택셜 웨이퍼를 각각 비교예 49 내지 52로 하였다.

표 3

	인상 속도 (mm/분)	통과 시간 (분)	산소 농도 ($\times 10^{17}$ atoms/cm ³)	냉각 장치의 유무	프리 어닐링의 유무	에피택셜 결함의 발생 (개/장)	BMD 밀도 (개/cm ²)
실시예 7	1.3	120	10.22	있음	있음	≤ 3	6.24×10^4
실시예 8	1.3	120	13.87	있음	있음	≤ 3	2.45×10^6
실시예 9	1.1	150	10.14	있음	있음	≤ 3	8.52×10^4
실시예 10	1.1	150	13.92	있음	있음	≤ 3	3.67×10^6
실시예 11	1.0	170	10.07	있음	있음	≤ 3	4.82×10^4
실시예 12	1.0	170	13.89	있음	있음	≤ 3	3.89×10^6
비교예 27	1.3	120	8.86	있음	있음	≤ 3	8.53×10^3
비교예 28	1.3	120	14.62	있음	있음	≥ 50	5.25×10^6
비교예 29	1.1	150	9.24	있음	있음	≤ 3	7.26×10^3
비교예 30	1.1	150	15.02	있음	있음	≥ 50	5.41×10^6
비교예 31	1.0	170	9.61	있음	있음	≤ 3	7.05×10^3
비교예 32	1.0	170	14.36	있음	있음	≥ 100	7.24×10^6
비교예 33	1.4	100	8.72	있음	있음	≤ 3	3.46×10^3
비교예 34	1.4	100	10.48	있음	있음	≤ 3	3.87×10^3
비교예 35	1.4	100	14.12	있음	있음	≤ 3	2.47×10^6
비교예 36	1.4	100	15.27	있음	있음	≤ 3	3.54×10^6

<84>

표 4

	인상 속도 (mm/분)	통과 시간 (분)	산소 농도 ($\times 10^{17}$ atoms/cm ³)	냉각 장치의 유무	프리 어닐링의 유무	에피택셜 결합의 발생 (개/장)	BMD 밀도 (개/cm ²)
비교예 37	1.3	120	10.35	있음	없음	≤ 3	1.54×10^3
비교예 38	1.3	120	13.72	있음	없음	≤ 3	8.59×10^3
비교예 39	1.1	150	10.01	있음	없음	≤ 3	2.46×10^3
비교예 40	1.1	150	13.94	있음	없음	≤ 3	7.55×10^3
비교예 41	1.0	170	10.29	있음	없음	≤ 3	1.26×10^3
비교예 42	1.0	170	13.74	있음	없음	≤ 3	6.68×10^3
비교예 43	1.3	120	8.71	있음	없음	≤ 3	1.12×10^3
비교예 44	1.3	120	15.36	있음	없음	≥ 50	8.17×10^3
비교예 45	1.1	150	8.54	있음	없음	≤ 3	1.63×10^3
비교예 46	1.1	150	15.49	있음	없음	≥ 50	7.64×10^3
비교예 47	1.0	170	8.63	있음	없음	≤ 3	1.57×10^3
비교예 48	1.0	170	15.28	있음	없음	≤ 50	8.05×10^3
비교예 49	1.4	100	8.73	있음	없음	≤ 3	1.81×10^3
비교예 50	1.4	100	10.54	있음	없음	≤ 3	1.88×10^3
비교예 51	1.4	100	14.37	있음	없음	≤ 3	6.57×10^3
비교예 52	1.4	100	15.54	있음	없음	≤ 3	3.28×10^4

<85>

<86>

<평가 2>

<87>

표 3 및 표4의 웨이퍼 1장 당 에피택셜 결합의 개수는 3000장의 에피택셜 웨이퍼를 측정 한 평균값을 나타내고 있다. 표 3 및 표4에서 알 수 있는 바와 같이, 웨이퍼 1장 당 에피택셜 결합 개수의 평균값은 실시예 7 내지 12에서는 3개 이하로 낮은 값을 나타내었고, BMD 밀도도 1×10^4 개/cm² 이상의 높은 수치를 나타내었다.

<88>

이상으로부터, 에피택셜 결합의 개수의 평균값에 대해서는, 냉각 장치를 설치한 경우에도 산소 농도가 14×10^{17} atoms/cm³를 초과하는 높은 농도의 경우 프리 어닐링에 의해 증가하기 때문에 산소 농도의 상한을 14×10^{17} atoms/cm³ 이하로 하는 것이 좋을 수 있었다. BMD 밀도에 대해서는, 산소 농도가 10×10^{17} atoms/cm³ 미만인 경우 1×10^4 개/cm² 미만이 되어 프리 어닐링 처리를 실시한 예가 프리 어닐링 처리를 실시하지 않은 예보다 밀도가 높아졌기 때문에, 프리 어닐링 처리를 하는 것이 좋을 수 있었다. 또한, 통과 시간이 120 내지 180분의 범위에 들어가 있음에도 불구하고 BMD 밀도가 1×10^4 개/cm² 미만으로 되어 버리는 비교예 27, 29, 31이 있어, 이것을 피하기 위하여 산소 농도의 하한값을 10×10^{17} atoms/cm³ 이상으로 하는 것이 좋을 수 있었다.

<89>

상기 실시예 7 내지 12 및 비교예 27 내지 52의 결과로부터, 챔버(21) 내에 냉각 장치(36)를 설치하고, 냉각 장치(36)의 내부에 설치된 냉각용 통체(37)를 통하여 챔버(21) 내의 인상 도중의 800 내지 600℃의 온도 영역을

180 내지 120분에 걸쳐 통과시켜 육성되고, 산소 농도 10 내지 $14 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 를 갖는 실리콘 단결정(12)으로부터 얻어진 실리콘 웨이퍼에 에피택셜층 형성 전에 프리 어닐링 처리를 실시함으로써 게터링에 유효한 BMD 밀도가 $1 \times 10^4 \text{ 개/cm}^2$ 이상으로 높고, 에피택셜 결함 개수가 1장 당 3개 이하로 적은 에피택셜 웨이퍼를 제조할 수 있음을 알 수 있었다.

<90> 또한, 통과 시간이 250분 이하 180분 이상인 실시예 1 내지 6에 비하여 통과 시간이 180분 미만 120분 이상인 실시예 7 내지 12는 IG 효과에 차이가 없으며, 통과 시간이 짧기 때문에 더욱 생산성을 향상시킬 수 있다. 또한, 800 내지 600℃의 온도 영역을 120분 이하로 통과시키는 조건에서는 비교예 35, 36, 51, 52에서 실시예와 동등한 품질이 얻어짐을 알 수 있었다. 그러나, 너무 빠른 속도로 단결정의 인상을 행하면 결정의 축 굵김, 갈라짐의 문제가 발생하게 되어 생산 효율이 나빠지므로 120분 이하의 적용은 행하지 않도록 하였다.

도면의 간단한 설명

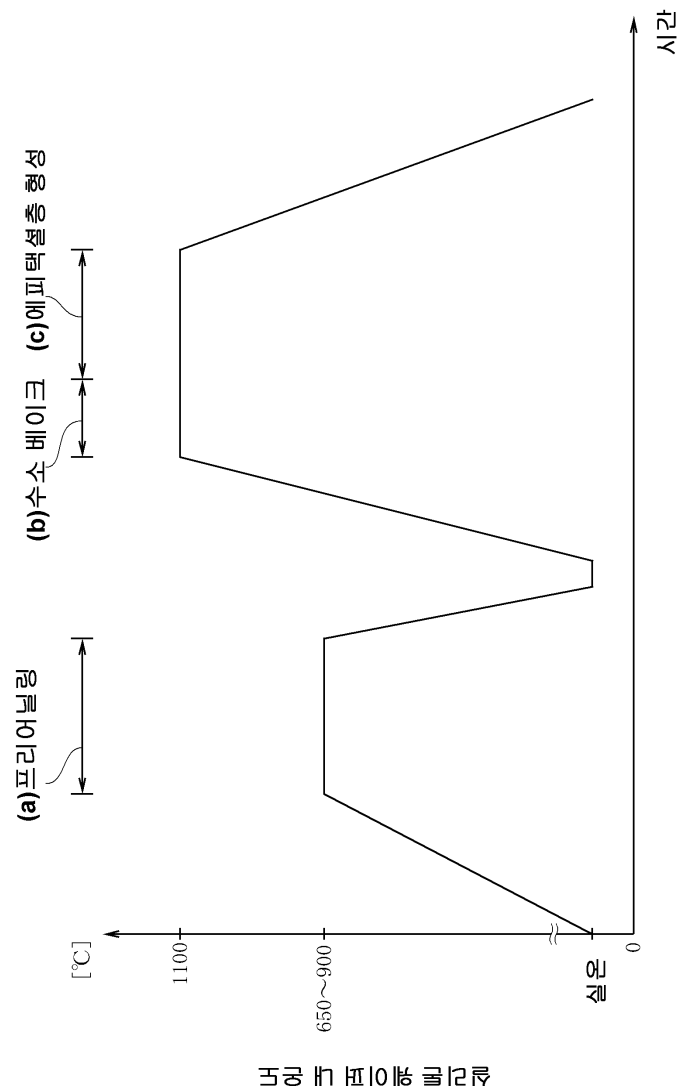
<91> 도 1은 본 발명 실리콘 웨이퍼의 열처리 시간과 온도 프로파일과의 관계를 보인 그래프이다.

<92> 도 2는 본 발명의 제1 실시 형태의 CZ로를 도시한 종단면 구성도이다.

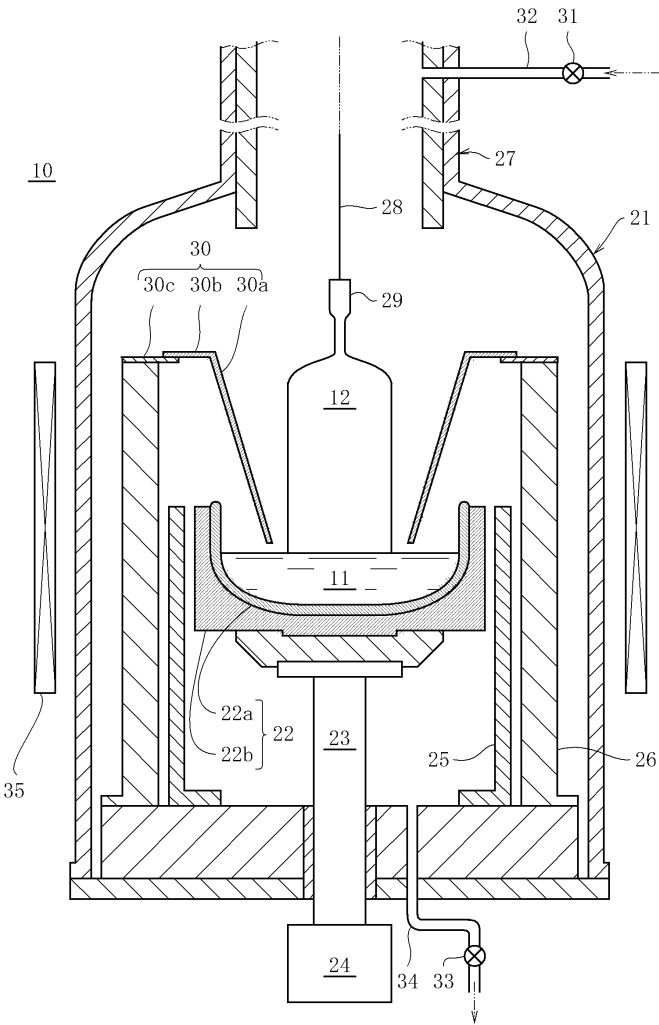
<93> 도 3은 본 발명의 제2 실시 형태의 CZ로를 도시한 종단면 구성도이다.

도면

도면1



도면2



도면3

