



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2008년07월07일  
(11) 등록번호 10-0844260  
(24) 등록일자 2008년06월30일

(51) Int. Cl.

C30B 29/06 (2006.01) C30B 15/20 (2006.01)

- (21) 출원번호 10-2007-7004906
- (22) 출원일자 2007년02월28일  
심사청구일자 2007년02월28일  
번역문제출일자 2007년02월28일
- (65) 공개번호 10-2007-0040822
- (43) 공개일자 2007년04월17일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2005/015346  
국제출원일자 2005년08월24일
- (87) 국제공개번호 WO 2006/022296  
국제공개일자 2006년03월02일
- (30) 우선권주장 JP-P-2004-00246017 2004년08월25일 일본(JP)  
(뒷면에 계속)
- (56) 선행기술조사문헌 JP13151597 A\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

가부시키가이샤 섬코

일본국 도쿄도 미나토구 시바우라 1초메 2-1

(72) 발명자

호우라이 마사타카

일본국 도쿄도 미나토구 시바우라 1초메 2-1 가부  
시키가이샤 섬코내

스기무라 와타루

일본국 도쿄도 미나토구 시바우라 1초메 2-1 가부  
시키가이샤 섬코내

오노 토시아키

일본국 도쿄도 미나토구 시바우라 1초메 2-1 가부  
시키가이샤 섬코내

(74) 대리인

한양특허법인

전체 청구항 수 : 총 6 항

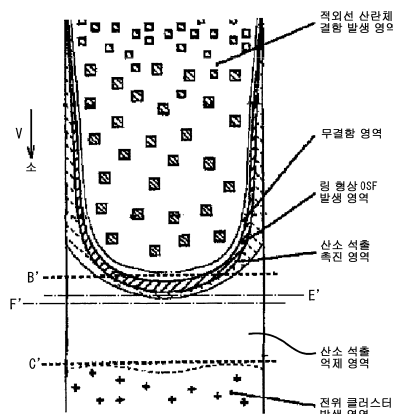
심사관 : 김준규

**(54) 실리콘 웨이퍼 및 그 제조 방법, 및 실리콘 단결정 육성방법**

**(57) 요약**

이 실리콘 웨이퍼는, 수소를 포함하는 불활성 분위기 중에서 CZ법에 의해 육성되어, 웨이퍼 두께 방향 전역에서 결정 직경 방향의 전역에 COP 및 전위 클러스터를 포함하지 않는 완전 Grown-in 결합 프리 웨이퍼로 되고, 또한, 웨이퍼 전역이 격자간 실리콘 우세 영역으로 이루어진다. 이 실리콘 단결정 육성 방법은, 수소를 포함하는 불활성 분위기 중에서 실리콘 단결정을 인상함으로써, PI 영역 인상 속도의 범위를 확대하고, 이 PI 영역 인상 속도 범위에서 인상함으로써, 단결정 몸통부를 격자간 실리콘 우세 영역으로 한다.

대표도 - 도4



(30) 우선권주장

JP-P-2005-00163152 2005년06월02일 일본(JP)

JP-P-2005-00239529 2005년08월22일 일본(JP)

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

삭제

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

수소를 포함하는 불활성 분위기 중에서 CZ법에 의해 실리콘 단결정을 인상함으로써,

결정 직경 방향 전역에 COP 및 전위 클러스터를 포함하지 않고, 또한, 격자간 실리콘 우세 영역의 단결정을 인상 가능한 PI 영역 인상 속도의 범위를 확대하고,

이 확대된 PI 영역 인상 속도 범위의 인상 속도로 인상함으로써, 단결정 몸통부를 격자간 실리콘 우세 영역으로 하여, 격자간 실리콘 우세 영역으로 이루어지는 Grown-in 결합 프리 실리콘 단결정을 육성하는 것을 특징으로 하는 실리콘 단결정 육성 방법.

**청구항 4**

청구항 3에 있어서, 상기 PI 영역 인상 속도의 범위를, 수소를 포함하지 않는 불활성 분위기 중에 비해, 수소를 포함하는 불활성 분위기 중에서 2배 이상 7배 이하로 넓히는 것을 특징으로 하는 실리콘 단결정 육성 방법.

**청구항 5**

청구항 3에 있어서, 상기 PI 영역 인상 속도 범위로 된 인상 속도에 의해, 복수의 단결정을 인상하는 것을 특징으로 하는 실리콘 단결정 육성 방법.

**청구항 6**

청구항 3에 있어서, 상기 수소 농도 VH(체적%)와, 대기 VAir(체적%)와, 아르곤 VAr(체적%)이, 첨부 도면 도 12에 각 점(VH, VAr, VAir)으로 나타내는 바와 같이,

점 A(100, 0, 0), 점 B(0, 100, 0), 점 C(0, 0, 100), 점 D(4, 0, 96), 점 E(4, 84, 12), 점 F(75, 0, 25)로 둘러싸인 불연소 범위 내의 값으로, 상기 수소를 포함하는 불활성 분위기의 조성을 설정하는 것을 특징으로 하는 실리콘 단결정 육성 방법.

**청구항 7**

청구항 3에 기재된 실리콘 단결정 육성 방법에 의해 육성된 단결정으로부터 웨이퍼를 슬라이스하는 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

**청구항 8**

청구항 7에 있어서, 어닐링 처리를 실시하는 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

**명세서**

**기술분야**

<1> 본 발명은, 반도체 디바이스의 소재인 실리콘 웨이퍼 및 그 제조 방법, 및 실리콘 웨이퍼의 소재인 실리콘 단결정의 육성 방법에 관한 것으로, 특히 결합이 없는 이른바 Grown-in 결합 프리 웨이퍼의 제조에 이용하기에 적합한 기술에 관한 것이다.

<2> 본원은, 2004년 8월 25일에 출원된 일본국 특허 출원 제2004-246017호, 2005년 6월 2일에 출원된 일본국 특허 출원 제2005-163152호, 2005년 8월 22일에 출원된 일본국 특허 출원 제2005-239529호에 대해서 우선권을 주장하고, 그 내용을 여기에 원용한다.

**배경 기술**

- <3> 실리콘 웨이퍼의 소재인 실리콘 단결정의 제조 방법으로서 대표적인 것은, CZ법이라고 불리는 회전 인상법이다. CZ법에 의한 실리콘 단결정의 제조에서는, 주지와 같이, 석영 도가니 내에 형성한 실리콘 용액에 종결정을 침지하고, 도가니 및 종결정을 회전시키면서 종결정을 인상함으로써, 종결정의 아래쪽에 실리콘 단결정을 육성한다.
- <4> 이렇게 해서 제조되는 실리콘 단결정에는, 디바이스 형성 공정에서 문제가 되는 다양한 종류의 Grown-in 결함이 생기는 것이 알려져 있다. 대표적인 Grown-in 결함은, 격자간 실리콘 우세 영역에 발생하는 전위 클러스터 및 공공(空孔, vacancy) 우세 영역에 발생하는 COP 또는 보이드의 2개이고, 양 영역의 사이는 링 OSF 발생 영역이 된다. 또한 공공형 및 격자간 실리콘형의 Grown-in 결함 프리 영역이 있다. 결정 직경 방향에 있어서의 전형적인 결함 분포를 도 1에 의해 설명하면, 이하와 같다.
- <5> 결정 직경 방향의 중간 위치에 링(형상) OSF 발생 영역이 링 형상으로 존재하고 있다. 링 OSF 발생 영역의 내측은 무결함 영역을 사이에 두고 COP 또는 보이드 발생 영역이 되고 있다. 한편, 링 OSF 발생 영역의 외측은 산소 석출 촉진 영역, 및 산소 석출 억제 영역(Pi 영역)을 사이에 두고 전위 클러스터 발생 영역이 되고 있다. 산소 석출 촉진 영역은 공공형의 Grown-in 결함 프리 영역(PV 영역)이고, 산소 석출 억제 영역은 격자간 실리콘형의 Grown-in 결함 프리 영역(PI 영역)이다.
- <6> 이러한 결함 분포는, 다음의 2개의 인자에 의해 제어되는 것이 알려져 있다. 하나는 결정 인상 속도이고, 또 하나는 응고 직후의 결정 내 온도 분포이다. 결정 인상 속도의 영향을 도 2에 의해 설명하면, 이하와 같다.
- <7> 도 2는, 인상 속도를 서서히 저하시키면서 성장시킨 단결정의 종단면에 있어서의 결함 분포를 나타내고 있다. 인상 속도가 빠른 단계에서는, 링 OSF 발생 영역은 결정 외주부에 위치한다. 따라서, 고속 인상 조건에서 육성한 단결정에서 채취된 웨이퍼는, 결정 직경 방향의 거의 전역에 COP를 발생한다. 인상 속도의 저하에 따라 링 OSF 발생 영역은 결정 중심부로 서서히 이동하여, 최종적으로는 결정 중심부에서 소멸한다. 따라서, 저속 인상 조건에서 육성한 단결정에서 채취된 웨이퍼는, 결정 직경 방향의 거의 전역에 전위 클러스터를 발생한다. 덧붙여서 말하면, 도 1의 결정 횡단면은, 도 2 중의 A 위치에서의 단면도에 상당하고 있다.
- <8> 전위 클러스터도 COP도 모두 디바이스 특성을 악화시키는 유해한 Grown-in 결함이지만, 유해도는 COP의 쪽이 작고, 생산성에 대한 요구도 있어, 종래는 오로지 도 2 중에 D 위치 이상에서 나타나는 OSF 발생 영역을 결정 외주부에 위치시키거나 결정 외로 배제하는 고속 인상 조건에서의 육성이 행해지고 있었다.
- <9> 그러나, 최근에 있어서의 집적 회로의 현저한 미세화에 따라, COP의 유해성조차도 지적되기 시작하여, 전위 클러스터와 함께 COP의 발생을 방지하는 필요성이 생겼다. 이 요구에 응할 수 있는 기술의 하나가, 특허 문헌 1 및 특허 문헌 2에 기재되어 있는 점결함 분포 제어에 의한 결함 프리 결정의 육성이다.
- <10> 특허 문헌 1 및 특허 문헌 2에 기재되어 있는 육성 결정에 있어서의 Grown-in 결함 프리화는, 전술한 응고 직후의 결정 내 온도 분포에 의해 결함 분포가 제어되는 현상을 이용한 것이다.
- <11> 즉, 통상의 CZ 인상에서는, 응고 직후의 결정은 외주면에서 방열된다. 이 때문에, 응고 직후의 결정 내의 축방향 온도 구배는, 중심부에서의 온도 구배 Gc보다 외주부에서의 온도 구배 Ge가 커지는 경향을 나타낸다. 그 결과, 인상 속도를 서서히 저하시키면서 성장시킨 단결정의 종단면에 있어서의 결함 분포, 특히 링 OSF 발생 영역은, 아래쪽으로 블록하고 또한 끝이 뾰족한 V자형 형상이 된다. 그 결과, 링 OSF 발생 영역이 결정 중심부에 소멸하는 임계 속도 근방의 인상 조건을 채용해도, Grown-in 결함 프리의 영역은 결정 중심부에 한정적으로 생길 뿐이고, 결정 직경 방향의 전역을 결함 프리화할 수는 없다.
- <12> 덧붙여서 말하면, 전위 클러스터 및 COP는, 링 OSF 발생 영역 내측의 무결함 영역에 발생하지 않는 것은 물론, 링 OSF 발생 영역 자체, 또한 그 외측의 산소 석출 촉진 영역 및 산소 석출 억제 영역에도 생기지 않는다. 즉, 이들 4개의 영역이 Grown-in 결함 프리 영역이다.
- <13> 이에 대해, 결정 인상로(引上爐)에 있어서의 핫 존 구조의 고안에 의해, 응고 직후의 결정을 외면측에서 적극적으로 보온하도록 하면, 중심부에서의 온도 구배 Gc를 외주부에서의 온도 구배 Ge와 동일하거나 이것보다 크게 하는 것이 가능해진다. 그렇게 하면, 인상 속도를 서서히 저하시키면서 성장시킨 단결정의 종단면에 있어서의 링(형상) OSF 발생 영역의 형상은, 도 3에 도시하는 바와 같이, 아래쪽으로 블록한 경향인 채로 끝이 플랫폼화하여 U자 형상이 된다. 그리고 이 상태로, 링 OSF 발생 영역이 결정 중심부에 소멸하는 임계 속도 근방의 인상 조건을 채용함으로써, 결정 직경 방향의 전역을 결함 프리화하는 것이 가능해진다. 덧붙여서 말하면 도 3에서

는, 이 인상 속도 조건은 B-C의 범위 내로 된다.

- <14> 또한, 육성 결정에 있어서의 결함 프리화 외의 기술로서는, 예를 들면 특허 문헌 3 및 특허 문헌 4에 나타나는 결정 인상시의 수소 분위기에서의 인상이 있다. 이것은 인상로 내에 도입하는 불활성 가스 중에 미량의 수소 가스를 혼입하는 것으로, 실리콘 용액으로의 질소 도핑과 동일하게 공공 결함의 형성을 억제할 수 있다.
- <15> 특허 문헌 1 및 특허 문헌 2에 기재되어 있는 결함 분포 제어에 의한 Grown-in 결함 프리 결정의 육성 기술에서는, 인상 조건으로서 OSF 발생 영역이 결정 중심부에 소멸하는 임계 속도 근방의 저속 인상 조건을 선택할 필요가 있다. 이 때문에, 생산성의 저하를 피할 수 없다.
- <16> 또한, Grown-in 결함 프리화를 위한 인상 속도 범위(마진 : 도 3 중의 B-C의 범위)가 좁고, Grown-in 결함 프리 결정의 안정한 육성이 어렵다. 그 결과, Grown-in 결함 프리 결정을 결정 전체에 걸쳐 얻는 것이 곤란하고, Grown-in 결함 프리 결정의 제조 수율이 낮아진다. 이 때문에, Grown-in 결함 프리 결정의 제조 비용의 삭감이 곤란해지는 문제가 있었다. 특히, 결정 직경이 200mm, 300mm로 커짐에 따라,  $Ge \leq Gc$ 의 관계를 만족하는 것이 곤란해져, 결함 프리화를 위한 인상 속도 범위 B-C는 더 좁아지는 경향이 있어서, 이것을 타개하는 기술이 요망되고 있었다.
- <17> 또한, Grown-in 결함 프리 단결정을 위한 인상 속도 범위 중, 종래의 Grown-in 결함 프리 결정을 제조하기 위한 속도 범위(마진 : 도 3 중의 E-C의 범위)가 좁기 때문에, 인상한 종래의 Grown-in 결함 프리 결정에 있어서, 공공형의 Grown-in 결함 프리 영역(PV 영역)인 산소 석출 촉진 영역과, 격자간 실리콘형의 Grown-in 결함 프리 영역(PI 영역)인 산소 석출 억제 영역(및,  $12 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>3</sup> 이하의 저산소 결정의 경우에는 링 OSF 영역)이 혼재해 버려, 웨이퍼면 내에 있어서의 산소 석출물의 밀도 및 사이즈, 및 DZ폭 등의 산소 석출 특성이 균일하지 않게 될 가능성이 있다는 문제가 있었다.
- <18> 요컨대, PV 영역과 PI 영역이, 웨이퍼 내에 혼재함으로써, 디바이스 프로세스에서의 산소 석출물의 분포가 불균일해져, 케터링능이 강한 부분과 약한 부분이 혼재하게 된다. 또, 디바이스의 표층 근방의 활성 영역은, COP나 진위 클러스터뿐만 아니라, 산소 석출물이나 그 2차 결함을 OSF나 편치 아웃 진위 등이 프리일 필요가 있지만, 이러한 결함이 존재하지 않는 영역의 폭, 즉 DZ폭이 웨이퍼면 내에서 불균일해진다. 이러한 IG능과 DZ폭의 불균일 분포에 의해, 디바이스 특성에 편차가 생겨, 수율의 저하를 초래한다. 이러한 불균일성을 회피하기 위해서는, PV 영역, 또는, PI 영역만으로 이루어지는 Grown-in 결함 프리 결정을 제조할 수 있으면 된다. 그러나, 가령, PV 영역만으로 이루어지는 Grown-in 결함 프리 결정을 제조할 수 있었다고 해도, 대단히 산소를 석출하기 쉽기 때문에, 디바이스 활성 영역에서, 산소 석출물 및 그 2차 결함을 발생시키지 않도록 할 필요가 있고, 이 때문에, 허용되는 산소 농도의 범위가 저산소 영역(예를 들면,  $[O_i] \leq 12 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>3</sup>)으로 제한되어, 고산소 영역을 사용할 수 없다는 문제가 생기고 있었다.
- <19> 이 때문에, 고산소 영역이라도 디바이스 활성 영역에서 산소 석출물 및 그 2차 결함을 발생시키지 않는 PI 영역만으로 이루어지는 Grown-in 결함 프리 결정을 생산성 좋게 안정하게 육성할 수 있는 것이 요망되고 있었지만, 종래, PI 영역만으로 이루어지는 Grown-in 결함 프리 결정을 얻기 위한 인상 속도 마진폭은 대단히 좁아, PI 영역만으로 이루어지는 웨이퍼는 제조할 수 없었다.
- <20> 특허 문헌 1 : 일본 공개특허공보 2001-220289호 공보
- <21> 특허 문헌 2 : 일본 공개특허공보 2002-187794호 공보
- <22> 특허 문헌 3 : 일본 공개특허공보 2000-281491호 공보
- <23> 특허 문헌 4 : 일본 공개특허공보 2001-335396호 공보

**발명의 상세한 설명**

- <24> 본 발명의 목적은, Grown-in 결함 프리 결정 중, PI 영역으로 이루어지는 Grown-in 결함 프리 결정을 생산성 좋게 안정하게 육성할 수 있는 실리콘 단결정의 육성 방법을 제공하는 것에 있다. 본 발명의 다른 목적은, 그러한 실리콘 단결정 육성 방법에 의해 제조된 고품질로 저비용인 경면 연마 실리콘 웨이퍼 및 그 제조 방법을 제공하는 것에 있다.
- <25> [과제를 해결하기 위한 수단]
- <26> 결함 분포 제어에 의한 Grown-in 결함 프리 결정의 육성 기술에서 문제가 되는 생산성·수율의 낮음을 개선하는

것을 목적으로 하여, 본 발명자들은 수소 함유 분위기에서의 인상 기술에 주목하여, 검토를 행한 결과, 이하의 2개의 결론에 도달하였다.

- <27> 첫 번째로, 결정 중심부에서의 온도 구배  $G_c$ 를 결정 외주부에서의 온도 구배  $G_e$ 와 동일하거나 이것보다 크게 하도록 고안된 핫 존 구조를 이용하여, 인상 속도를 서서히 저하시키면서 단결정을 성장시켰을 때의 결정 종단면에 있어서의 OSF 발생 영역을 U자형화하는 경우에, 인상로 내에 도입하는 불활성 가스 중에 미량의 수소 가스를 혼입하면, 그 결정 종단면에 있어서의 결함 분포는, 도 4에 도시하는 바와 같이, 결함 프리화를 위한 인상 속도 범위 B'-C'가, 수소를 포함하지 않은 상태일 때의 도 3 중의 B-C에 비해 결정축 방향으로 확대된다.
- <28> 두 번째로, 이 인상 속도 범위의 확대는, OSF 링 발생 영역이 결정 중심부에 소멸하는 임계 속도  $V_0$ 가 상승하는 것과, 전위 클러스터가 발생하는 임계 속도  $V_d$ 가 저하함으로써 실현된다. 요컨대, 결함 프리화를 위한 인상 속도 범위 B'-C'는, 수소 분위기가 아닌 경우일 때의 도 3 중의 B-C에 비해 고속측, 즉 도 3 중의 위쪽, 및 저속측, 즉 도 3 중의 아래쪽으로 확대된다. 이 현상을 도 5에 의해 설명하면, 이하와 같다.
- <29> 도 5는 인상 속도와 OSF 링 직경의 관계에 미치는 결함 분포의 영향도를 도시하고 있다. 도면 중, 파선은 결정 중심부에서의 온도 구배  $G_c$ 가 결정 외주부에서의 온도 구배  $G_e$ 보다 작은 경우, 즉, 인상 속도를 서서히 저하시키면서 성장시킨 단결정의 종단면에 있어서의 OSF 발생 영역의 형상이 아래로 볼록한 V자형의 경우이다. 이 경우는, 인상 속도가 저하함에 따라 OSF 링 직경이 서서히 축소하여, 임계 속도  $V_0$ 에서 0에 수렴한다.
- <30> 실선(가는 선)은, 결정 중심부에서의 온도 구배  $G_c$ 를 결정 외주부에서의 온도 구배  $G_e$ 와 동일하거나 이것보다 크게 한 경우, 즉, 인상 속도를 서서히 저하시키면서 성장시킨 단결정의 종단면에 있어서의 OSF 발생 영역의 형상을 U자형화한 경우이고, 또한 수소 분위기가 아닌 경우이다. 이 경우는, OSF 링 직경이 축소를 개시하는 인상 속도가 저하하고, 그 개시 속도보다 급격히 축소가 일어나, 파선의 경우와 거의 같은 임계 속도  $V_0$ 에서 0에 수렴한다. 즉, 임계 속도  $V_0$ 가 일정한 채로 링 직경의 감소 구배가 급격해진다. 이에 따라, 임계 속도  $V_0$ 의 근방에서, 결정 직경 방향 전역에서 전위 클러스터 및 COP가 존재하지 않는 결함 프리의 단결정이 육성되지만, 임계 속도  $V_0$ 가 상승하는 것이 아니기 때문에, 저속 인상을 강요당한다.
- <31> 이에 대해, 실선(굵은 선)은, 결정 중심부에서의 온도 구배  $G_c$ 를 결정 외주부에서의 온도 구배  $G_e$ 와 동일하거나 이것보다 크게 한 경우, 즉, 인상 속도를 서서히 저하시키면서 성장시킨 단결정의 종단면에 있어서의 OSF 발생 영역의 형상을 U자형상으로 한 경우이고, 또한 수소 분위기인 경우이다. 이 경우는, 실선(가는 선)과 비교하여, 링 직경의 감소 구배가 급구배인 채로 임계 속도가  $V_0$ 에서  $V_0'$ 로 상승한다. 실선(가는 선)이 고속측으로 평행 이동한 것이 실선(굵은 선)이다.
- <32> 이와 같이, Grown-in 프리 결함 결정의 육성에 수소 분위기에서의 인상을 조합함으로써, 링 OSF 영역이 결정 중심부에서 소멸하는 임계 속도가 상승하고, 이에 따라, as grown으로 결정 직경 방향 전역에서 전위 클러스터 및 COP가 존재하지 않는 Grown-in 결함 프리의 단결정이, 종래보다 고속의 인상에 의해 육성 가능해진다. 또한, 수소 분위기에서의 인상에 의해, 전위 클러스터가 발생하는 하한의 인상 속도  $V_d$ 가  $V_d'$ 로 저하함으로써, 결함 프리화를 위한 인상 속도 범위가 B-C에서 B'-C'로 넓어지는 결과, 무결함 결정이 안정하게 육성 가능해져, Grown-in 결함 프리 결정의 제조 수율이 현저하게 향상한다.
- <33> 수소 분위기에서의 인상을 조합함으로써 Grown-in 결함 프리화를 위한 인상 속도 범위가 확대되는 이유, 즉 링 OSF의 임계 속도  $V_0$ 가 증대하여, 전위 클러스터가 발생하는 임계 속도  $V_d$ 가 저하하는 이유는 이하와 같이 생각된다.
- <34> 1300~1390℃의 고온 수소 중에서 실리콘 웨이퍼를 열 처리하여 급랭한 경우, 공공 또는 격자간 실리콘과 수소가 반응하여 공공-수소 또는 격자간 실리콘-수소 복합체가 형성된다(문헌 1 : 스에자와 마사시 1999년 6월 3일 응용 물리학회 결정 공학 분과회 제1100회 연구회 텍스트 P11). 따라서, 수소를 포함하는 불활성 분위기 중에서 CZ 결정을 육성한 경우, 결정 냉각 과정의 COP(약 1100℃) 또는 전위 클러스터(약 1000℃) 등의 Grown-in 결함이 형성되는 온도보다도 고온부에 있어서, 실리콘 결정 중에서 과잉으로 존재하는 공공 또는 격자간 실리콘과 수소가 반응하여, 공공-수소 또는 격자간 실리콘-수소 등의 복합체가 형성되기 때문에, 공공 및 격자간 실리콘의 농도가 저하하게 된다. 이 때문에, 공공이나 격자간 실리콘의 응집은 억제되고, COP 및 전위 클러스터가 없거나, 또는 사이즈가 작은 CZ 결정을 육성할 수 있게 된다.
- <35> 그러나, 수소를 포함하는 불활성 분위기 중에서 V/G가 충분히 큰 공공 우세 조건 하에서 CZ 결정을 육성할 때, 수소 농도가 높아지면 수소 결함이라고 불리는 크기 수  $\mu\text{m}$ ~수  $10\mu\text{m}$ 의 거대 공동(공공의 응집체라고 생각된다)이 생기고(문헌 2 : E.Iino, K.Takano, M.Kimura, H.Yamagishi : Material Science and Engineering

B36(1996) 146-149 및 문헌 3 : T.H.Wang, T.F.Ciszk, and T.Schuyler : J. Cryst. Growth 109(1991)155-161), 또 V/G가 충분히 작은 격자간 실리콘 우세 조건 하에서는, 격자간 실리콘형의 수소 결합(격자간 실리콘의 응집체라고 생각되는 전위쌍)이 생기는 것이 알려져 있다(문헌 4 : Y.Sugit : Jpn. J. Appl. Phys 4(1965)p962).

- <36> 이 때문에, 인상 속도를 링 OSF 영역의 발생하는 임계 속도 이하로 저하시키지 않아도, 수소를 충분히 포함하는 분위기 중에서 CZ법에 인상한 경우, COP의 생성을 억제할 수 있지만, 거대 공동이 발생하기 때문에 반도체용의 웨이퍼로서 사용할 수 없게 된다. 또, 저속 인상의 경우에도, 전위 클러스터의 생성은 억제되지만, 전위쌍(dislocation pairs)의 발생에 의해 반도체용의 웨이퍼로서 사용할 수 없게 된다.
- <37> 도 6은, CZ 결정 육성시의 결정 중심부에 있어서의 1100℃ 이상의 온도에서의, 공공 및 격자간 실리콘의 농도  $C_v$  및  $C_i$ 와 인상 속도  $V$ 와 고액 계면 근방에서의 결정층의 온도 구배  $G$ 와의 비  $V/G$ 의 관계이고, 수소가 결정 중에 존재하는 경우의 COP 및 전위 클러스터의 생성 억제 효과를 나타내고 있다. 이 도면을 이용하여, COP 및 전위 클러스터의 생성이 억제되는 이유를 설명한다. 여기에서,  $V_o$ ,  $V_c$  및  $V_d$ 는 각각 링 OSF 영역, COP 및 전위 클러스터가 결정 중심부 또는 직경 방향의 일부에 생성되기 시작하는 임계 속도이고,  $C_v$ -OSF,  $C_v$ -COP 및  $C_i$ -disl은, 각각 OSF 링 영역, COP 및 전위 클러스터가 생성되는 임계 점결함 농도를 나타낸다.
- <38> Grown-in 결합 프리 결정을 육성할 수 있도록 결정 직경 방향으로  $V/G$ 가,  $G_c \geq G_e$ 의 관계를 만족하도록 설계된 핫 존으로 이루어지는 CZ로(爐)를 이용하여, 결정을 육성하는 경우, 인상 속도를  $V_o$ 보다 크게 한 경우(도 6의 [H2] = 0의 경우), 공공이 우세한 점결함종인 COP가 통상 발생한다. 그러나, 수소를 포함하는 분위기 중에서 CZ 결정을 육성하는 경우(도 6의 H1, H2의 경우)에는, 공공과 수소가 복합체를 형성하기 때문에, 자유로운 공공의 농도는 저하한다. 이 자유 공공의 농도의 저하는 결정 중의 수소 농도에 의존하고, 수소 농도가 증대할수록 공공 농도의 저하는 커진다. 이 때문에, 수소가 존재하는 경우, OSF 링이 생성되기 위한 인상 속도  $V_o$ 는  $V_o'$ ,  $V_o''$ 와 같이 고속측으로 시프트하고, COP가 생성되기 위한 인상 속도  $V_c$ 도  $V_c'$ ,  $V_c''$ 와 같이 고속측으로 시프트하게 된다.
- <39> 한편, 인상 속도를  $V_d$ 보다도 작게 한 경우(도 6의 [H2] = 0의 경우)에는, 격자간 실리콘이 우세한 점결함종이 되고, 격자간 실리콘의 농도는  $C_i > C_i$ -disl이 되며, 격자간 실리콘의 2차 결합으로서 전위 클러스터가 통상 발생한다. 그러나, 수소를 포함하는 분위기 중에서 육성하는 경우(도 6의 [H2] = H1 또는 H2 경우)에는, 격자간 실리콘과 수소가 복합체를 형성하기 때문에, 자유로운 격자간 실리콘의 농도가 저하한다. 따라서, 전위 클러스터를 생성하기 위한 인상 속도  $V_d$ 는, 임계 농도  $C_i$ -disl과 일치하도록, 보다 저속측의  $V_d'$  또는  $V_d''$ 로 시프트하게 된다.
- <40> 도 6의 [H2] = H1, H2와 같이 수소 농도가 상대적으로 낮은 경우,  $V/G$ 가 충분히 커지면, 공공 농도가 COP를 생성하기 위한 임계 농도  $C_v$ -COP보다도 높아지기 때문에, COP의 생성은 완전하게는 억제되지 않지만, 수소가 존재하지 않는 경우보다도 공공 농도가 저하하기 때문에, COP의 사이즈는 작아진다.
- <41> OSF 링 발생의 임계 속도  $V_o'$  또는  $V_o''$  이하, 및 전위 클러스터 발생의 임계 속도  $V_d'$  또는  $V_d''$  이상의 인상 속도의 범위에서는, 공공 및 격자간 실리콘의 농도는 충분히 낮기 때문에, COP 및 전위 클러스터는 발생하지 않고, 또한 거대 공동인 공공형의 수소 결합, 또는 전위쌍인 격자간 실리콘형의 수소 결합도 발생하는 일은 없다. 또, 수소 분위기에서의 인상을 하지 않는 경우보다도, Grown-in 결합 프리가 되는 인상 속도의 범위(마진)가 현저하게 확대되기 때문에, 무결함 결정을 보다 안정하게 고수율로 육성할 수 있다.
- <42> 또 OSF 링이 닫히는 임계  $V/G$  조건보다도  $V/G$ 가 크지만 비교적 가까운 경우에는, 링 OSF는 결정 중심부에서 닫히지 않고 COP가 그 내측 영역에 발생하는데, 그 사이즈는 수소 분위기에서의 인상에 의해 공공 농도가 저하하기 때문에 작아진다. 또, 이 경우에도, 공공 농도가 충분히 낮기 때문에 거대 공동을 발생하는 일은 없다.
- <43> 본 발명은 이러한 지견을 기초로 하여 완성된 것으로, 그 실리콘 웨이퍼는, 수소를 포함하는 불활성 분위기 중에서 CZ법에 의해 육성된 실리콘 단결정의 웨이퍼이고, as grown 상태, 즉 인상한 채로의 열 처리를 받지 않는 상태로, 웨이퍼 두께 방향 전역에서 결정 직경 방향의 전역에 COP를 포함하지 않는 완전 Grown-in 결합 프리 웨이퍼에 관한 것이다.
- <44> 본 발명의 실리콘 웨이퍼는, 수소를 포함하는 불활성 분위기 중에서 CZ법에 의해 육성된 실리콘 단결정의 웨이퍼로서,
- <45> 웨이퍼 두께 방향 전역에서 결정 직경 방향의 전역에 COP 및 전위 클러스터를 포함하지 않는 완전 Grown-in 결합 프리 웨이퍼로 되고, 또한, 웨이퍼 전역이 격자간 실리콘 우세 영역(격자간 실리콘형의 Grown-in 결합 프리

영역)으로 이루어짐으로써 상기 과제를 해결하였다.

- <46> 본 발명에 있어서, 상기 웨이퍼가 열 처리된 경우에, 상기 웨이퍼의 면내 방향에 있어서의 산소 석출물의 밀도와 사이즈 및 DZ폭의 분포가 균일하게 되어 이루어지는 것이 보다 바람직하다.
- <47> 본 발명의 실리콘 단결정 육성 방법은, CZ법에 의해 격자간 실리콘 우세 영역으로 이루어지는 Grown-in 결함 프리 단결정을 육성하는 방법으로서,
- <48> 수소를 포함하는 불활성 분위기 중에서 실리콘 단결정을 인상함으로써,
- <49> 결정 직경 방향 전역에 COP 및 전위 클러스터를 포함하지 않고, 또한, 격자간 실리콘 우세 영역(격자간 실리콘 형의 Grown-in 결함 프리 영역)의 단결정을 인상 가능한 PI 영역 인상 속도의 범위를 확대하고,
- <50> 이 확대된 PI 영역 인상 속도 범위의 인상 속도로 인상함으로써, 단결정 몸통부를 격자간 실리콘 우세 영역(PI 영역)으로 함으로써 상기 과제를 해결하였다.
- <51> 상기 실리콘 단결정을 육성할 때의 분위기를, 불활성 가스 중에 수소 함유 물질이 포함되어 이루어지는 수소 함유 분위기로 하고, 상기 수소 함유 분위기 중의 수소 함유 물질의 농도를, 수소 가스 환산 농도로 후술하는 소정의 농도의 범위로 할 수 있다.
- <52> 상기 수소 함유 물질이 수소 가스이고, 상기 수소 함유 분위기 중에 있어서의 수소 가스 농도를 소정의 농도 범위로 할 수 있다.
- <53> 여기에서, 수소 함유 물질이란, 수소 원자를 그 분자 중에 포함하는 물질로서, 실리콘 용액 중에 용해되었을 때에 열 분해되며, 실리콘 용액 중에 수소 원자를 공급할 수 있는 물질이다. 이 수소 함유 물질에는 수소 가스 자체도 포함된다. 이 수소 함유 물질을 불활성 가스에 혼합하여 실리콘 단결정 육성시의 분위기 중에 도입함으로써, 실리콘 용액 중에 수소 원자를 용해시킬 수 있다. 수소 함유 물질의 구체예로서는, 수소 가스, H<sub>2</sub>O, HCl 등의 수소 원자를 포함하는 무기 화합물이나, 실란 가스, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 등의 탄화수소, 알코올, 카르보산 등의 수소 원자를 포함하는 유기 화합물을 예시할 수 있지만, 특히 수소 가스를 이용하는 것이 바람직하다. 또, 불활성 가스로서는, 염가의 Ar 가스가 바람직하고, 그 이외에도 He, Ne, Kr, Xe 등의 각종 희가스 단체, 또는 이들의 혼합 가스를 이용할 수 있다.
- <54> 또 본 발명에서는, 수소 함유 분위기 중에 있어서의 수소 함유 물질의 농도를, 수소 가스 환산 농도로 소정의 농도의 범위로 하고 있다. 여기에서, 수소 가스 환산 농도로 한 것은, 수소 함유 물질이 실리콘 용액 중에서 열 분해하여 얻어지는 수소 원자의 양이, 수소 함유 물질에 원래 포함되는 수소 원자의 수량 등에 의해 좌우되기 때문이다. 예를 들면, H<sub>2</sub>O의 1몰에는 1몰분의 H<sub>2</sub>가 포함되지만, HCl의 1몰에는 0.5몰분의 H<sub>2</sub>밖에 포함되지 않는다. 따라서 본 발명에 있어서는, 수소 가스가 소정의 농도로 불활성 가스 중에 도입되어 이루어지는 수소 함유 분위기를 기준으로 하여, 이 기준이 되는 분위기와 동등한 분위기가 얻어지도록, 수소 함유 물질의 농도를 결정하는 것이 바람직하고, 이 때의 바람직한 수소 함유 물질의 농도를 수소 가스 환산 농도로서 규정한 것이다.
- <55> 즉, 본 발명에 있어서는, 수소 함유 물질이 실리콘 용액에 용해되어 고온의 실리콘 용액 중에서 열 분해하여 수소 가스가 된다고 가정할 다음, 변환 후의 분위기 중의 수소 가스 환산 농도가 소정의 농도 범위가 되도록 수소 함유 물질의 첨가량을 조정하면 된다.
- <56> 본 발명의 단결정의 제조 방법에 의하면, 수소 가스 환산 농도로 소정의 농도의 수소 함유 물질이 불활성 가스 중에 포함되어 이루어지는 수소 함유 분위기에 있어서 실리콘 단결정을 육성함으로써, 수소 함유 물질에 유래하는 수소 원자가 실리콘 용액에 용해되고, 또한 이 수소 원자가, 실리콘이 응고할 때에 실리콘의 격자간에 취입된다.
- <57> 또, 본 발명에 있어서, 상기 PI 영역 인상 속도의 범위를, 수소를 포함하지 않는 불활성 분위기 중에 비해, 수소를 포함하는 불활성 분위기 중에서 2배 이상으로 확장시키는 수단을 채용할 수도 있다.
- <58> 또, 상기 불활성 분위기 중에 있어서의 수소 농도가 노(爐) 내 압력 4.0~9.33kPa(30~70torr)에 대해서 3% 이상 20% 이하의 범위로 설정되어 이루어질 수 있다.
- <59> 또, 본 발명에 있어서의 상기의 육성 방법에 있어서,
- <60> 상기 수소 농도 VH(체적%)와, 대기 VAir(체적%)와, 아르곤 VAr(체적%)이, 첨부 도면 도 12에 각 점(VH, VAr,



VAir)으로 나타내는 바와 같이,

- <61> 점 A(100, 0, 0), 점 B(0, 100, 0), 점 C(0, 0, 100), 점 D(4, 0, 96), 점 E(4, 84, 12), 점 F(75, 0, 25)로 둘러싸인 수소의 불연소의 범위 내의 값으로 설정될 수 있다.
- <62> 여기에서, 상기의 소정의 농도 범위는, 도 12에 있어서의 삼각형 ABC로부터 삼각형 DEF를 제외한 범위로 되어 있다.
- <63> 여기에서, 상기의 범위로 한 것은, 연소 범위의 회색 한계점이 점 E(4, 84, 12)로 되어 있기 때문이다.
- <64> 수소 분위기에서 육성한 CZ 단결정에 있어서, Grown-in 결함이 없는 결정 영역이 얻어지는 인상 속도의 범위(마진)는, 수소 농도가 높을수록 커진다. 이 때문에, 품질 및 생산성(수율)의 관점에서는, 수소 농도에 상한은 없고 100%여도 된다. 한편, 안전성의 관점에서는, 하기와 같이 수소 농도의 범위에 상한이 생긴다.
- <65> (1) 수소 농도가 도 12의 점 A, F, L, J로 둘러싸인 범위의 경우
- <66> 감압 하에 있는 CZ로(爐)에 있어서, 도 12의 점 A, F, L, J로 둘러싸인 범위 내의 임의의 점 Ma의 농도로 조업 중에, 어떠한 원인으로 대기 리크(air leak)가 발생한 경우, 점 Ma에서 대기 100%의 점 C(0, 0, 100)를 향해 노 내의 분위기 조성이 변화하고, 반드시 점 G(18, 0, 82), 점 H(18, 50, 32), 점 I(59, 0, 41)로 둘러싸인 범위에 포함되는 폭굉역(detonation zone) 내를 통과하게 된다. 그러나, CZ로가 대기 리크하지 않는 구조이면, 수소 농도는 100%여도 된다. 이러한, 대기가 리크하지 않는 구조를 갖는 CZ로이면, 수소 농도에 상한은 없고 100%여도 안전하게 조업이 가능하다.
- <67> 여기에서, 점 J는, 대기 100%의 점 C(0, 0, 100)와 폭굉의 회색 한계의 점 H(18, 50, 32)를 연결하는 직선이 축 AB와 교차하는 점이다. 또, 점 L은, 대기 100%의 점 C(0, 0, 100)와 폭굉의 회색 한계의 점 H(18, 50, 32)를 연결하는 직선이, 연소 상한계의 경계선 EF와 교차하는 점이다.
- <68> (2) 수소 농도가, 도 12의 점 J, L, E, K로 둘러싸인 범위의 경우
- <69> 감압 하에 있는 CZ로에 있어서, 도 12의 점 J, L, E, K로 둘러싸인 범위의 임의의 점 Mb의 농도로 조업 중에, 어떠한 원인으로 대기 리크가 발생한 경우, 점 Mb에서 대기 100%의 점 C(0, 0, 100)를 향해 노 내의 분위기 조성은 변화하고, 반드시 점 DEF로 둘러싸인 연소역을 통과한다. 이 경우, 대기 리크하지 않는 구조이면, 물론 안전하게 조업하는 것은 가능하다. 또, 대기 리크할 가능성이 있는 구조여도, 연소에 의한 압력 증가가 대기압을 넘지 않으면, 안전하게 조업 가능하다. 또, 연소에 의한 압력 변동이 대기압을 넘는 경우여도, 그 압력을 해제하는 구조이면, 압력 변동을 안전하게 감소시키는 것이 가능하다. 이러한, 안전 대책을 위한 구조를 갖는 CZ로이면, 수소 농도의 상한을 도 12의 점 J로 표시되는 값으로 설정해도, 안전하게 조업이 가능하다. 여기에서, 점 K는, 대기 100%의 점 C(0, 0, 100)와 연소의 회색 한계의 점 E(4, 84, 12)를 연결하는 직선이 축 AB와 교차하는 점이다.
- <70> (3) 수소 농도가 도 12의 점 K, E, D, C, B로 둘러싸인 범위의 경우
- <71> 감압 하에 있는 CZ로에 있어서, 도 12의 점 K, E, D, C, B로 둘러싸인 범위 내의 임의의 점 Mc의 농도로 조업 중에, 어떠한 원인으로 대기 리크가 발생한 경우, 점 Mc에서 대기 100%의 점 C(0, 0, 100)를 향해 노 내의 분위기 조성이 변화하지만, 이 경우에는 연소역도 폭굉역도 통과하는 일은 없다. 따라서, 노 내의 수소 농도를 제어하는 기구가 설치되어 있으면, 안전하게 조업이 가능해지지만, 그러나, 노 내에서의 수소 농도를 제어하는 기구가, 올바르게 기능하지 않는 경우나, 정밀도가 낮은 경우에는, 실제보다도 낮은 수소 농도를 지시할 우려가 있고, 점 K의 상한을 넘어 수소가 공급될 가능성이 있는데, 이 경우에는, 상기 (2)와 동일한 상태가 되기 때문에, 동일한 안전 대책이 이루어지면, 안전하게 조업이 가능해진다.
- <72> 노 내 압력은, 10torr 이상, 바람직하게는 30torr~200torr, 더 바람직하게는, 30torr~70torr가 바람직하다. 노 내 압력의 하한은, 수소의 분압이 낮아지면, 용액 및 결정 중의 수소 농도가 낮아지기 때문에, 이것을 방지하기 위해서 상기의 하한의 압력을 규정하였다. 노 내 압력의 상한은, 노 내의 압력이 증대하면 Ar 등의 불활성 가스의 용액 상에서의 가스 유속이 저하함으로써, 카본 히터나 카본 부재로부터 탈가스한 탄소나, 용액에서 증발한 SiO 등의 반응물 가스가 배기되기 어려워짐으로써, 결정 중의 탄소 농도가 높아지고, 또, SiO가 노 내의 용액 상부의 1100℃ 정도 또는 보다 저온의 부분에 응집함으로써, 더스트를 발생시켜 용액에 낙하함으로써 결정의 유전위화를 일으키기 때문에, 이것들을 방지하기 위해 상기의 상한의 압력을 규정하였다.
- <73> 본 발명에 있어서는, 상기의 육성 방법에 있어서의 PI 영역 인상 속도 범위로 된 인상 속도에 의해, 복수의 단

결정을 인상하는 것이 바람직하다.

- <74> 또한, 본 발명의 실리콘 웨이퍼의 제조 방법은, 상기의 실리콘 단결정 육성 방법에 의해 육성된 단결정으로부터 웨이퍼를 슬라이스하는 것이 가능하다.
- <75> 또, 어닐링(annealing) 처리를 실시하는 경우가 있다.
- <76> 수소를 포함하는 불활성 분위기 중에서 육성시의 실리콘 단결정 중의 수소 농도는, 분위기 중의 수소 분압에 의해 제어할 수 있다. 이 수소 분압은 수소 농도와 노 내 압력에 의해 제어할 수 있다. 수소의 결정으로의 도입은, 분위기 중의 수소가 실리콘 용액에 용해되어 정상(평형) 상태가 되고, 또한, 결정으로는 응고시에 농도 편석에 의해 액상과 고상 중의 농도가 분배된다.
- <77> 용액 중의 수소 농도는, 헨리의 법칙으로부터 기상 중의 수소 분압에 의존하여 결정되고,
- <78>  $P_{H_2}=kC_{LH_2}$ 로 표시된다. 여기에서,  $P_{H_2}$ 는 분위기 중의 수소 분압,  $C_{LH_2}$ 는 실리콘 용액 중의 수소 농도,  $k$ 는 양자 사이의 계수이다.
- <79> 한편, 결정 중의 농도는 용액 중 농도와 편석의 관계로 결정되고,
- <80>  $C_{SH_2}=k'C_{LH_2}=(k'/k)P_{H_2}$ 로 표시된다. 여기에서,  $C_{SH_2}$ 는 결정 중의 수소 농도,  $k'$ 는 수소의 실리콘 용액-결정간의 편석 계수이다.
- <81> 이상으로부터, 응고 직후의 결정 중 수소 농도는 분위기 중의 수소 분압을 제어함으로써 결정의 축 방향으로 일정하게 원하는 농도로 제어할 수 있다.
- <82> 본 발명의 실리콘 웨이퍼는, PW(Polished Wafer, 경면 웨이퍼)로 사용할 수 있다.
- <83> 본 발명의 실리콘 웨이퍼는, 수소를 포함하는 불활성 분위기 중에서 육성되어 웨이퍼 전역이 격자간 실리콘 우세 영역(PI 영역)만으로 이루어짐으로써, PV 영역을 포함하지 않기 때문에, 웨이퍼에 있어서의 균일성을 유지하는 것이 가능해진다.
- <84> 여기에서, 웨이퍼의 균일성은, 산소 농도와 열 처리시의 온도와 시간 등을 파라미터로 하고, 각각, 산소 농도는  $10\sim 20\times 10^{17}$  atoms/cm<sup>3</sup>(01d ASTM F121-1979) 보다 바람직하게는  $12\sim 18\times 10^{17}$  atoms/cm<sup>3</sup>, 열 처리 온도 : 450℃~1400℃, 보다 바람직하게는 1100℃~1250℃, 시간 : 0초 이상의 범위가 되도록 설정함으로써 유지할 수 있다. 이에 따라, 산소 석출물의 밀도와 사이즈 및 DZ폭이 웨이퍼의 면 내에서 현저하게 균일해진다는 우수한 웨이퍼로 할 수 있다.
- <85> 또, 이 때, 단결정 중에 있어서의 산소 농도[O<sub>i</sub>]를  $10\sim 20\times 10^{17}$  atoms/cm<sup>3</sup>의 높은 범위로 설정하고, RTA 처리를 행함으로써, DZ층 형성에 있어서의 산소 외측 확산을 위한 고온으로 장시간의 열 처리를 행하지 않고, 게터링능을 충분히 확보할 수 있는 산소 석출물의 밀도, 사이즈, 및, 디바이스 활성 영역을 완전히 무결함으로 할 수 있는 충분한 DZ폭을 균일하게 확보할 수 있다는 우수한 웨이퍼로 할 수 있다.
- <86> 또, 이 때, 단결정 중에 있어서의 산소 농도[O<sub>i</sub>]를  $10\times 10^{17}$  atoms/cm<sup>3</sup> 이하의 낮은 범위로 설정함으로써, 디바이스에서의 열 처리를 행해도 디바이스 활성 영역에서의 산소 석출물의 발생을 억제하고 이것을 저감 또는 소멸시키는 것이 가능해져, 디바이스의 특성이 열화하지 않는다는 우수한 웨이퍼로 할 수 있다.
- <87> 본 발명의 실리콘 단결정 육성 방법은, 수소를 포함하는 불활성 분위기 중에서 실리콘 단결정을 인상함으로써, 결정 직경 방향 전역에 COP 및 전위 클러스터를 포함하지 않고, 또한, 격자간 실리콘 우세 영역(PI 영역)의 단결정을 인상 가능한 PI 영역 인상 속도의 범위를 확대하여 인상하고, 단결정 몸통부를 전위 클러스터를 포함하지 않는 격자간 실리콘 우세 영역(PI 영역)으로 함으로써, 종래, Grown-in 결함 프리 단결정을 인상할 때에는, 대단히 좁은 범위로 설정하지 않으면 안 되었던 PI 영역 인상 속도를 넓혀, 대단히 용이하게, 또한 종래보다도 빠른 인상 속도로 Grown-in 결함 프리 단결정을 육성하는 것이 가능해진다.
- <88> 또한, 여기에서, PI 영역 인상 속도 범위는 수소 분위기 중과 수소가 없는 불활성 분위기 중에서 비교할 때에, 상술한 응고 직후의 결정 내의 축 방향 온도 구배 G의 값이 일정하게 변화하지 않는 상태로 비교하는 것으로 한다.
- <89> 구체적으로는, 격자간 실리콘형의 Grown-in 결함 프리 영역(PI 영역)으로 이루어지는 Grown-in 결함 프리 단결

정을 인상 가능한 PI 영역 인상 속도 범위를, 수소 분위기로 함으로써, 수소가 없을 때에 비해 2배 이상, 또한, 도 10에 도시하는 바와 같이, 4.5배의 마진으로 확대하여 인상을 행할 수 있다.

- <90> 이 때, OSF 링의 발생 영역을 작게 할 수도 있다. 또한, PV 영역(공공형의 Grown-in 결합 프리 영역)의 크기는 수소 분위기에서의 인상에 따라 변화하지 않는다.
- <91> 또, 본 발명에 있어서는, 상기 불활성 분위기 중에 있어서의 수소 농도를 노 내압 10Torr 이상, 또는 30~200Torr, 보다 바람직하게는 30~70torr에 대해서 3% 이상 10% 이하, 또는, 도 12의 점 A(100, 0, 0), 점 B(0, 100, 0), 점 C(0, 0, 100), 점 D(4, 0, 96), 점 E(4, 84, 12), 점 F(75, 0, 25)로 둘러싸인 수소의 불연소 범위 내의 값으로 설정함으로써, 상기의 범위로 인상 속도를 확대하여 Grown-in 결합 프리 실리콘 단결정을 인상하는 것이 가능해진다.
- <92> 또한, 도 12에 도시한 삼각 조성도는 편의상, 상온, 대기압 하의 것이지만, 감압된 조업로(操業爐) 내에서는 연소역, 폭굉역은 억제되는 경향으로 되기 때문에, 실조업에서의 노 내의 고온 분위기를 고려해도, 실조업시에 있어서는, 도면에 도시한 삼각도 중에서 폭굉역, 연소역에 들어가지 않도록 회피하는 것이 가능하다. 따라서, 노 내 조업 조건을 고려해도, 도면에 기재한 범위를 적용함으로써, 실조업에서의 폭굉, 연소를 회피하는 것이 가능하다.
- <93> 본 발명에 있어서는, 상기의 육성 방법에 있어서의 PI 영역 인상 속도 범위와 같이, Grown-in 결합 프리 실리콘 단결정을 인상하는 데에 필요한 PI 영역 인상 속도 범위를 크게 할 수 있기 때문에, 복수의 단결정의 인상시에 동일한 인상 조건으로서 인상할 수 있고, 인상 속도의 설정을 보다 용이하게 행하여 Grown-in 결합 프리 단결정을 인상하는 것이 가능해진다. 즉, 동일 실기(實機)로 복수회, 또는, 동시에 복수의 실기로 Grown-in 결합 프리 단결정을 인상할 때에, 종래보다도 인상 조건 설정을 간략화하여 설정을 행해도 Grown-in 결합 프리 단결정의 인상 가능한 인상 속도 범위로 할 수 있고, 원하는 품질을 갖는 단결정의 인상을 행할 수 있으며, 작업 효율을 향상하여, 실리콘 단결정, 혹은 이 실리콘 단결정으로 제조하는 실리콘 웨이퍼의 제조 비용을 대폭으로 삭감하는 것이 가능해진다.
- <94> 수소 가스 첨가량에 대해서는, 부족하면 임계 속도를 올리는 효과가 불충분해진다. 이 때문에 하한에 대해서는 0.1체적% 이상이 바람직하고, 3체적% 이상이 특히 바람직하다. 0.1% 이하에서는 수소의 효과가 거의 없고, 또 3% 미만이고 0.1% 이상에서는 수소의 효과는 어느 정도 있지만, 충분하지 않다. 상한에 대해서는, 대기 리크를 방지하는 노의 구조 및 수소 농도의 제어 기구 등의 안전 대책이 실시된 CZ로를 이용하면, 수소 농도가 100%에서도 안전한 조업이 가능하다.
- <95> 또, 본 발명의 실리콘 웨이퍼 제조 방법은, 본 발명의 실리콘 단결정 제조 방법에 의해 제조된 고품질로 경제적인 단결정으로부터 실리콘 웨이퍼를 슬라이스하여 채취하는 것으로, 실리콘 웨이퍼의 품질 및 경제성을 높은 차원에서 양립시킬 수 있다.
- <96> 또한, 결정 중심부에서의 온도 구배 Gc가 외주부에서의 온도 구배 Ge보다 작고, 인상 속도를 서서히 저하시키면서 성장시킨 단결정의 종단면에 있어서의 링 OSF 발생 영역이, 아래쪽으로 뾰족한 V자 형상이 되는 통상의 핫 존 구조를 이용하여, 임계 속도 근방에서 인상을 행하는 경우에, 수소 분위기에서의 인상을 조합하면, 이하와 같이 되어, 본 발명이 노리는 효과를 얻는 것은 어렵다.
- <97> Ge>Gc의 경우에도, 수소의 효과에 의해, 링 OSF 발생 영역 및 COP가 결정 중심부에서 발생하기 시작하는 임계 속도 Vo, Vc는 증대하고, 전위 클러스터가 결정의 일부에 발생하기 시작하는 임계 속도 Vd는 저하한다. 따라서, Ge>Gc여도 양자가 비교적 가까운 경우에는, COP나 전위 클러스터가 없는 완전 Grown-in 결합 프리 결정이 얻어지는 경우도 있지만, 인상 속도의 마진은, Ge≤Gc를 만족하는 경우에 비교하면, 안정하게 Grown-in 결합 프리의 결정을 제조할 수 없다. 또, Ge>Gc이고 Ge와 Gc의 차가 큰 경우에는, 비록 수소를 첨가해도 Grown-in 결합 프리가 되는 속도 마진은 얻어지지 않는다.
- <98> 본 발명의 실리콘 웨이퍼의 제조 방법에 있어서는, 어닐링 처리를 실시하는 경우가 있다
- <99> 여기에서, 어닐링 처리로서는, 예를 들면 RTA(Rapid Thermal Annealing)로 될 수 있고, 1100℃에서 1350℃로, 0초 이상, Ar 또는 He, 또는 NH<sub>3</sub>를 포함하는 Ar 또는 He 분위기 증과 같은 레시피를 이용하여 행할 수 있으며, 이 때, DZ층 형성에 있어서의 산소 외측 확산을 위한 고온으로 장시간의 열 처리를 행하지 않고, 게터링능을 충분히 확보할 수 있는 산소 석출물의 밀도, 사이즈, 및, 디바이스 활성 영역을 완전히 무결함으로 할 수 있는 충분한 DZ폭을 균일하게 확보할 수 있다는 특성을 갖는 웨이퍼를 얻을 수 있다.

<100> 이 때, 종래의 PV 및 PI, 또는 링 OSF 영역이 혼재한 종래의 Grown-in 결함 프리 웨이퍼로, 상기와 동일한 RTA 처리를 행하면, 결정 육성시에 공공 우세한 PV 영역 및 링 OSF 영역에서는, 산소 석출물의 밀도와 사이즈가 PI 영역과 비교하여 커지고, 또, DZ폭이 좁아지며, 또한, 디바이스에서의 산화 처리에 의해, 링 OSF 영역에서 OSF가 발생하는 것과 같은 결함 분포의 불균일한 발생의 문제가 있었지만, 본 발명에 의한 Pi 영역만의 웨이퍼면 내에서 균일한 Grown-in 결함 프리 웨이퍼에서는, 이러한 문제가 해소된다.

<101> [발명의 효과]

<102> 본 발명에 의하면, 수소를 포함하는 불활성 분위기 중에서 실리콘 단결정을 인상함으로써, 전위 클러스터를 포함하지 않는 격자간 실리콘 우세 영역 인상 속도의 범위를 확대하여, 결정 직경 방향 전역에 COP 및 전위 클러스터를 포함하지 않는 격자간 실리콘 우세 영역의 단결정을 인상 가능하게 한다. 이에 따라, 종래, 이른바 Grown-in 결함 프리 단결정을 인상할 때에는, 인상 속도를 대단히 좁은 범위로 설정하지 않으면 안 되었지만, 이 인상 속도를 넓혀, 대단히 용이하게, 또한 종래보다도 빠른 인상 속도로 Grown-in 결함 프리 단결정을 육성하는 것이 가능해진다는 효과를 발휘할 수 있다.

**실시예**

<121> 이하, 본 발명에 따른 한 실시 형태를, 도면에 의거하여 설명한다.

<122> 도 7은, 본 실시 형태에 있어서의 실리콘 단결정 제조 방법을 실시하는 데에 적합한 CZ로의 종단면도이다.

<123> 우선, CZ로의 구조에 관해 설명한다.

<124> CZ로는, 챔버 내의 중심부에 배치된 도가니(1)와, 도가니(1)의 외측에 배치된 히터(2)를 구비하고 있다. 도가니(1)는, 내측에 원료 용액(3)을 수용하는 석영 도가니(1a)를 외측의 흑연 도가니(1b)로 유지하는 2중 구조이고, 페디스탈(pedestal)이라고 불리는 지지축에 의해 회전 및 승강 구동된다. 도가니(1)의 위쪽에는, 원통형상의 열 차폐체(7)가 설치되어 있다. 열 차폐체(7)는, 흑연으로 외각을 만들고, 내부에 흑연 펠트를 충전한 구조이다. 열 차폐체(7)의 내면은, 상단부에서 하단부에 걸쳐 내경이 점감하는 테이퍼면으로 되어 있다. 열 차폐체(7)의 상부 외면은 내면에 대응하는 테이퍼면이고, 하부 외면은 열 차폐체(7)의 두께를 아래쪽을 향해 점증시키도록 거의 스트레이트면으로 형성되어 있다.

<125> 이 CZ로는, 예를 들면, 목표 직경이 210mm, 보디 길이가 예를 들면 1200mm인 200mm의 단결정 육성이 가능한 것으로 된다. 그리고, 열 차폐체(7)에 의해, 결정 중심부에서의 온도 구배 Gc가 결정 외주부에서의 온도 구배 Ge와 동일하거나 이것보다 커지는 핫 존 구조가 구성된다.

<126> 그 때의, 열 차폐체(7)의 사양예를 들면 다음과 같다. 도가니에 들어가는 부분의 외경은 예를 들면 470mm, 최하단에 있어서의 최소 내경 S는 예를 들면 270mm, 반경 방향의 폭 W는 예를 들면 100mm, 역 원추대면인 내면의 수직 방향에 대한 기울기는 예를 들면 21°로 한다. 또, 도가니(1)의 내경은 예를 들면 550mm이고, 열 차폐체(7)의 하단의 용액면으로부터의 높이 H는 예를 들면 60mm이다.

<127> 상기 단면 구조의 단결정 육성 장치를 이용하여 인상을 행하는 경우, 용점에서 1370℃까지의 축 방향 온도 구배는, 단결정 중심부(Gc)에서 3.0~3.2℃/mm이고, 주변부(Ge)에서는 2.3~2.5℃/mm이며, Gc/Ge는 약 1.3이 된다. 이 상태는, 인상 속도를 변화시켜도 거의 변하지 않는다.

<128> 다음에, Grown-in 결함 프리 결정을 육성하기 위한 조업 조건의 설정 방법에 관해 설명한다.

<129> 우선 수소 농도와 무결함 결정이 얻어지는 인상 속도의 허용 범위를 파악하기 위해, 수소 농도를 예를 들면 0, 0.1, 3, 5, 8, 10체적%의 혼합 비율로 하고, 각각의 조건으로 목표 직경, 예를 들면 210mm의 단결정을 육성한다.

<130> 즉, 도가니 내에 고순도 실리콘의 다결정을 예를 들면 130kg 넣고, 단결정의 전기 저항률을 원하는 값, 예를 들면 10Ωcm가 되도록 p형(B, Al, Ga 등) 또는 n형(P, As, Sb 등)의 도판트를 첨가한다. 장치 내를 아르곤 분위기에서, 감압의 1.33~26.7kPa(10~200torr)로 하고, 수소를 아르곤에 대해서 10체적% 이하의 상기의 소정 혼합 비율이 되도록 설정하여 노 내에 유입시킨다.

<131> 다음에 히터(2)에 의해 가열하여 실리콘을 용융시켜 용액(3)으로 한다. 다음에, 시드 칩(5)에 부착한 종결정을 용액(3)에 침지하여, 도가니(1) 및 인상축(4)을 회전시키면서 결정 인상을 행한다. 결정 방위는 {100}, {111} 또는 {110} 중 어느 하나로 하고, 결정 무전위화를 위한 시드 넥킹 다운(necking down)을 행한 후, 슬더부를 형

성시키고, 그것을 변화시켜 목표 보다 직경으로 한다.

- <132> 보다 길이가 예를 들면 300mm에 도달한 시점에서, 인상 속도를 임계 속도보다도 충분히 큰, 예를 들면 1.0mm/min로 조정한다. 그 후 인상 길이에 따라 거의 직선적으로 인상 속도를 저하시켜, 보다 길이가 예를 들면 600mm에 도달했을 때에 임계 속도보다도 작은 예를 들면 0.3mm/min가 되도록 한다. 그 후는 이 인상 속도로 예를 들면 1200mm까지 보디부를 육성하여, 통상 조건으로 테일링(tailing)을 행한 후, 결정 성장을 종료한다.
- <133> 이와 같이 해서 다른 수소 농도로 육성된 단결정을 인상축을 따라 세로로 나누어, 인상축 근방을 포함하는 판형상 시험편을 제작하고, Grown-in 결함의 분포를 관찰하기 위해, Cu 데코레이션을 행한다. 우선, 각각의 시험편을 황산구리 수용액에 침지한 후 자연 건조하여, 질소 분위기 중에서 900℃로, 20분 정도의 열 처리를 실시한다. 그 후, 시험편 표층의 Cu 실리사이드층을 제거하기 위해, HF/HNO<sub>3</sub> 혼합 용액 중에 침지하여, 표층 수십 마이크로를 에칭 제거한다. 그 후, X선 토포그래피(topography)법에 의해 OSF 링의 위치나 각 결함 영역의 분포를 조사한다. 또, 이 슬라이스편의 COP의 밀도를, 예를 들면 OPP법, 전위 클러스터의 밀도를 예를 들면 Secco 에칭법으로 각각 조사한다.
- <134> 이 Ge/Gc≥1을 만족하는 단결정 인상 장치를 이용하여 육성된 결정의 결함 분포는, 도 3에 도시하는 바와 같이 링형상 OSF가 U자의 상태로 발생하고, 수소 농도가 커지면 무결함이 되는 부위가 도 4의 B'-C'와 같이 확대하여, 무결함 결정이 되는 인상 속도의 범위(마진)의 확대가 일어난다.
- <135> 요컨대, 도 4의 E'-C'로 나타내는 바와 같이, 공공형의 Grown-in 결함 프리 영역(PV 영역)인 산소 석출 촉진 영역과, 격자간 실리콘형의 Grown-in 결함 프리 영역(PI 영역)으로 이루어지는 Grown-in 결함 프리 단결정 중, 본 실시 형태에서는, 도 4의 F'-C'로 나타내는 PI 영역만으로 이루어지는 Grown-in 결함 프리 단결정을 인상하기 위한 격자간 실리콘 우세 영역 인상 속도 범위를 확대한다. 구체적으로는, 도 10에 도시하는 바와 같이 수소 없음의 경우에 비해, 4.5배 이상 PI 영역의 마진은 확대한다.
- <136> 상기와 같은 인상 실험에 의해, COP 영역, OSF 링 영역, V형 Grown-in 결함 프리 영역(PV 영역) 및 I형 Grown-in 결함 프리 영역(PI 영역), 전위 클러스터 영역 등의 각 결함 영역의 V/G와 수소 농도의 관계(도 8)가 얻어진다.
- <137> 또, 인상 속도를 변화시키는 위치를, 300mm에서 600mm, 500mm에서 800mm 및 700mm에서 1000mm와 같이 다른 부위에서 수개소 실시함으로써, Grown-in 결함 프리화를 위한 인상 속도 범위(마진)와 결정축 방향 위치의 관계(도 9)가 구해진다. 이 도 9로부터, Grown-in 결함 프리 단결정을 얻기 위한 조업 조건의 설정이 가능해진다.
- <138> 다음에, 각종 웨이퍼의 제조 방법에 관해 설명한다.
- <139> 도 9 중의 실선으로 나타내는 속도 범위 내에서 인상 속도를 대응하는 결정 위치에서 설정함으로써, 정상에서 바닥까지 일체 모두가 Grown-in 결함 프리의 결정의 육성이 가능해진다.
- <140> 그리고, 수소 분위기에서의 인상에 의해 Grown-in 결함 프리가 된다. 인상 속도의 범위(마진)가 도 9에 도시하는 바와 같이, 종래의 수소 분위기 없음의 점선의 범위에서 실선으로 나타내는 바와 같이 현저하게 확대됨으로써, Grown-in 결함 프리 결정의 제조 수율은 비약적으로 증대한다.
- <141> 또, 도 9의 실선으로 나타낸 상한값 이상으로 상한값의 1.7배 정도 이내의 속도로 인상 속도를 설정한 경우, Grown-in 결함은 완전하게는 프리가 되지 않지만, 사이즈가 0.1 $\mu$ m 이하의 COP가 포함되는 결정의 육성이 가능해진다. 이러한 결정을 이용하면, 수소 또는 아르곤 등의 분위기 중에서의 어닐링에 의해, 적어도 1 $\mu$ m 이상의 깊이의 표층 근방 영역을 Grown-in 결함 프리로 하는 것이 가능해진다. 또한, 결함의 사이즈가 0.1 $\mu$ m 이하이기 때문에, 1110℃/2hr 정도의 어닐링 표층에서부터 1 $\mu$ m 정도의 깊이의 영역에서 완전히 COP를 소멸시키는 것이 가능해진다. 이러한 웨이퍼는 이대로 통상의 PW(폴리시 웨이퍼, 경면 웨이퍼)로서 디바이스 제조에 이용할 수 있고, SOI용의 기관으로서도 유용하다.
- <142> 본 발명에 있어서 초크랄스키(Czochralski)법에 의해 수소를 분위기에서의 인상한 실리콘 단결정을 육성하는 경우, 용액에 자장이 인가되고 있는지의 여부는 불문하는 것이고, 이른바 자장을 인가하는 MCZ법도 포함된다.
- <143> CZ법에 의해 원하는 농도의 수소와 산소를 함유하는, 실리콘 단결정봉이 얻어지면, 이것을 통상의 가공 방법에 따라, ID 소(saw) 또는 와이어 소 등의 절단 장치로 슬라이스한 후, 먼따기, 래핑, 에칭, 연마 등의 공정을 거쳐 실리콘 단결정 웨이퍼로 가공한다. 또한, 이러한 공정 외에도 세정 등 여러 가지의 공정이 있고, 공정순의 변경, 생략 등 목적에 따라 적당한 공정은 변경 사용된다.

<144> 본 실시 형태에 있어서는, 수소를 포함하는 불활성 분위기 중에서 실리콘 단결정을 인상함으로써, 결정 직경 방향 전역에 COP 및 전위 클러스터를 포함하지 않고, 또한, 격자간 실리콘 우세 영역(PI 영역)의 단결정을 인상 가능한 PI 영역 인상 속도의 범위를 2배 이상 더 바람직하게는 4배 이상으로 확대한다. 이 조건으로 실리콘 단결정을 인상하여, 단결정 몸통부를 모두 격자간 실리콘 우세 영역(PI 영역)으로 한다. 이에 따라, 종래, 이른바 Grown-in 결함 프리 단결정을 인상할 때에는 PI 영역 인상 속도를 대단히 좁은 범위로 설정하지 않으면 안 되었지만, 이 PI 영역 인상 속도를 넓혀, 대단히 용이하게, 또한 종래보다도 빠른 인상 속도로 Grown-in 결함 프리 단결정을 육성하는 것이 가능해진다.

<145> [실시예]

<146> 본 발명을 검증하기 위해 6인치 결정을 육성할 수 있는 16인치 석영 도가니를 이용한 실리콘 단결정 인상 장치에 의해, 인상 속도를 V자 형상으로 변화시킨 결정 인상을 행하여, Grown-in 결함 분포의 평가를 행하였다.

<147> 인상 속도를 최대 인상 속도의 0.7→0.35→0.7의 비가 되도록 변화시키고, 이 때, 인상시의 수소 농도와 노 내 압력을 각각, (a) 0%, 4.0kPa(30torr), (b) 6%, 4.0kPa(30torr), (c) 6%, 9.3kPa(70torr)로 하여, 각각을 인상하여, 결정축 방향으로 결정을 세로로 나누어, 그 단면에서 결함 분포를 관찰하였다.

<148> 그 결과를 도 11에 도시한다. 여기에서, 절단 표면에는, 이하의 처리를 실시한 것이다.

<149> 이와 같이 해서, 다른 수소 농도로 육성된 단결정을 인상축을 따라 세로로 나누어, 인상축 근방을 포함하는 판형상 시험편을 제작하였다. 그리고 Grown-in 결함의 분포를 관찰하기 위해, Cu 테코레이션을 행하였다. 우선, 각각의 시험편을 황산구리 수용액에 침지한 후 자연 건조하여, 질소 분위기 중에서 900℃로, 20분 정도의 열 처리를 실시한다. 그 후, 시험편 표층의 Cu 실리사이드층을 제거하기 위해, HF/HNO<sub>3</sub> 혼합 용액 중에 침지하여, 표층 수심 미크론을 에칭 제거하였다. 그 후, X선 토포그래피법에 의해 OSF 링의 위치나 각 결함 영역의 분포를 조사하였다.

<150> 또, 이 때의, 도 8에 대응하는 각 영역과 인상 속도가 수소 분위기에서의 인상에 의해, 어느 정도 변화하였는지의 결과를 도 10 및 표 1에 나타낸다. 또한, 표 1의 각 결함 영역에 있어서의 인상 속도 마진은, 결정 중심부에서의 결정축 방향으로 본 각 결함 영역의 폭을 측정하여 산출하였다.

<151> [표 1]

	수소 농도	노 내 압력	각 영역의 인상 속도 마진 (mm/min)		
			PI 영역	PV영역	R-OSF영역
도핑 없음	-	30 torr	0.009	0.005	0.024
수소 분위기	6%	30 torr	0.040	0.006	0.018
	6%	70 torr	0.063	0.006	0.020

<152>

<153> 도 10과 표 1에 나타내는 결과로부터, 수소 분위기에서의 인상을 행함으로써, PV 영역 및 링 OSF 영역의 인상 속도 마진은 크게 변화하지 않았지만, PI 영역의 인상 속도 마진은, 노 내압이 30torr인 경우에는 수소 분위기에서의 인상을 하지 않은 경우에 비해 약 4.4배로, 또 70torr인 경우에는 약 7배로 확대되고 있다. 이 때문에, 수소 분압에 의존하여 PI 영역의 폭이 현저하게 확대되는 것을 알 수 있다.

**산업상 이용 가능성**

<154> 본 발명에 의하면, Grown-in 결함 프리 단결정을 인상하기 위한 인상 속도를 넓힐 수 있고, 그 결과, 대단히 용이하게, 또한 종래보다도 빠른 인상 속도로 Grown-in 결함 프리 단결정을 육성할 수 있다. 이 때문에, 특히 Grown-in 결함 프리 웨이퍼의 제조 공정에 적합하게 적용할 수 있다.

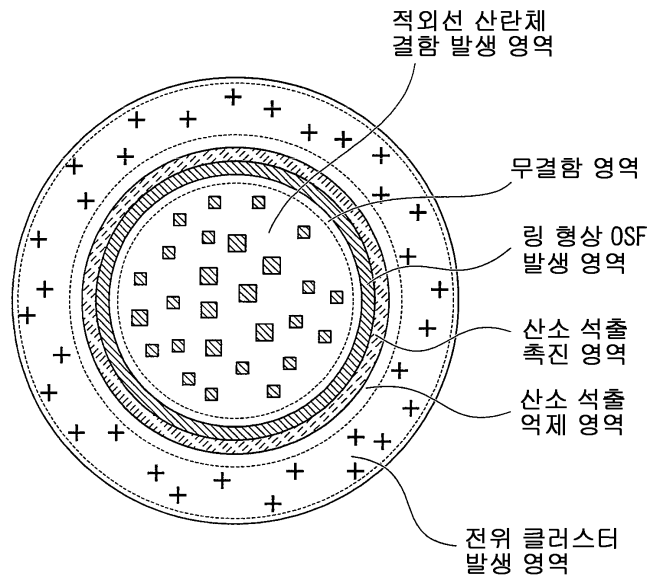
**도면의 간단한 설명**

<103> 도 1은 결정 직경 방향에 있어서의 결함 분포도이다.

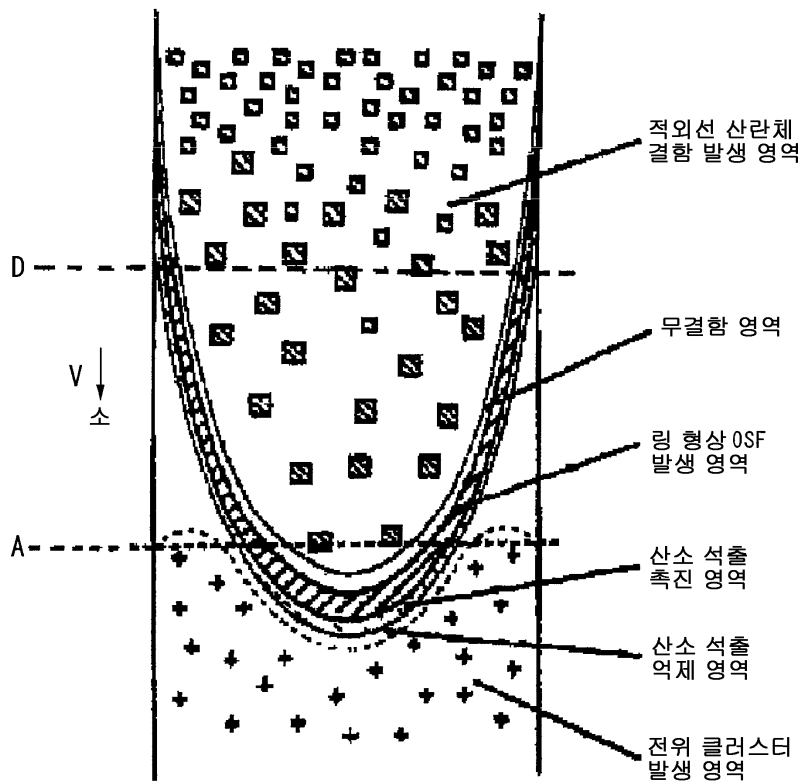
- <104> 도 2는 인상 속도를 서서히 저하시키면서 성장시킨 단결정의 종단면에 있어서의 결함 분포도이고, 결정 중심부에서의 온도 구배  $G_c$ 가 결정 외주부에서의 온도 구배  $G_e$ 보다 작은 경우를 도시하고 있다.
- <105> 도 3은 인상 속도를 서서히 저하시키면서 성장시킨 단결정의 종단면에 있어서의 결함 분포도이고, 결정 중심부에서의 온도 구배  $G_c$ 가 결정 외주부에서의 온도 구배  $G_e$ 와 동일하거나 이것보다 큰 경우를 도시하고 있다.
- <106> 도 4는 인상 속도를 서서히 저하시키면서 성장시킨 단결정의 종단면에 있어서의 결함 분포도이고, 결정 중심부에서의 온도 구배  $G_c$ 가 결정 외주부에서의 온도 구배  $G_e$ 와 동일하거나 이것보다 큰 경우이며, 또한 수소 분위기에서의 인상의 경우를 도시하고 있다.
- <107> 도 5는 인상 속도와 OSF 링 직径의 관계에 미치는 결함 분포의 영향도를 도시하는 도표이다.
- <108> 도 6은 점결함 농도 및 각종 결함 영역의 발생 조건에 미치는 V/G의 영향을 도시하는 도표로서, 수소 분위기에서의 인상에 의한 결함 발생을 위한 임계 V/G의 시프트를 나타낸다.
- <109> 도 7은 본 발명의 실리콘 단결정 제조 방법을 실시하는 데에 적합한 CZ 인상로의 종단면도이다.
- <110> 도 8은 각종 결함의 발생 영역을 V/G와 수소 농도의 관계에 의해 도시하는 도표로서, 수소 분위기에서의 인상에 의한 결함 발생을 위한 V/G 영역의 확대를 나타낸다.
- <111> 도 9는 결정 위치와 Grown-in 결함 프리 영역의 얻어지는 인상 속도 범위(마진)의 관계를 도시하는 도표이다.
- <112> 도 10은 수소 분위기에서의 인상에 의한 인상 속도 영역의 변화를 도시하는 모식도이다.
- <113> 도 11은 수소 분위기에서의 인상에 의한 각 결정 영역의 변화를 검증하기 위한 V자 인상 평가의 결정 단면 사진이다.
- <114> 도 12는 수소 농도  $VH$ (체적%)와, 대기  $VAir$ (체적%)와, 아르곤  $VAr$ (체적%)의 3성분계에 있어서의 연소와 폭평의 농도 범위를 도시하는 삼각 조성도이다.
- <115> <부호의 설명>
- <116> 1...도가니 1a...석영 도가니
- <117> 1b...흑연 도가니 2...히터
- <118> 3...원료 용액 4...인상축
- <119> 5...시드 척 6...단결정
- <120> 7...열 차폐체

도면

도면1

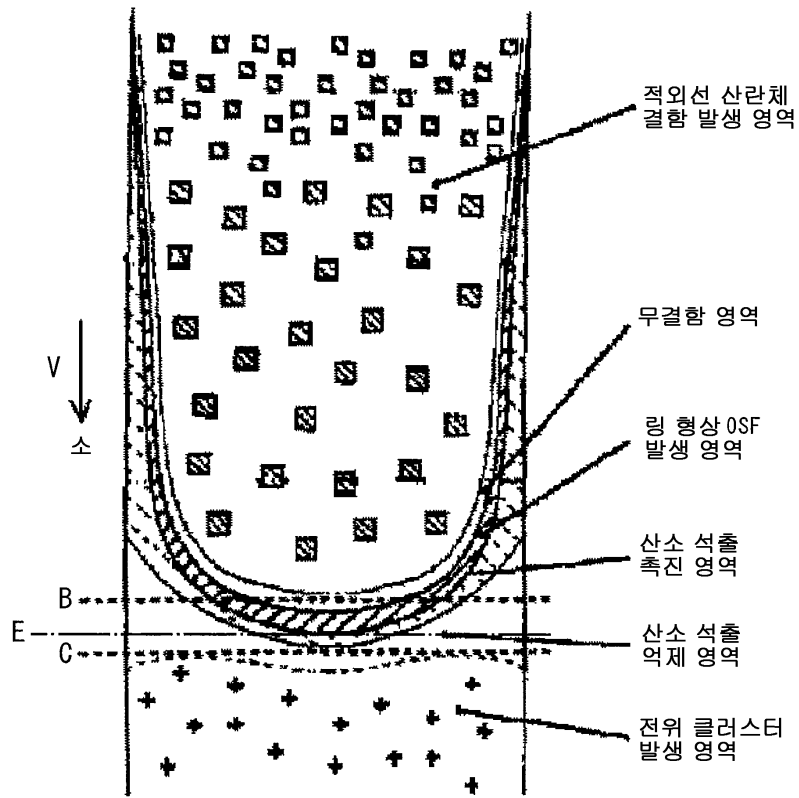


도면2

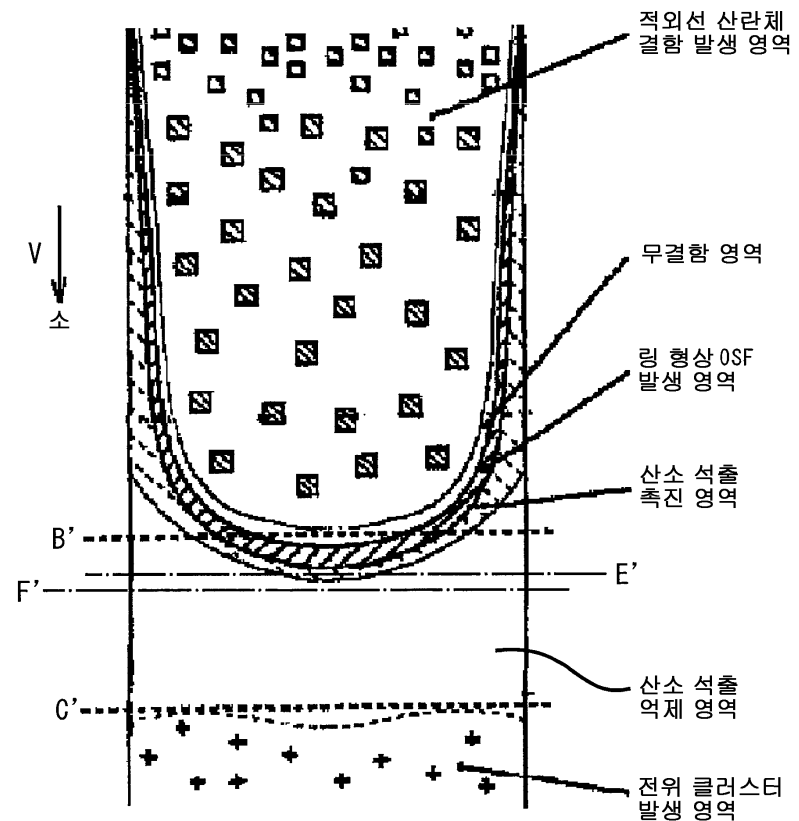




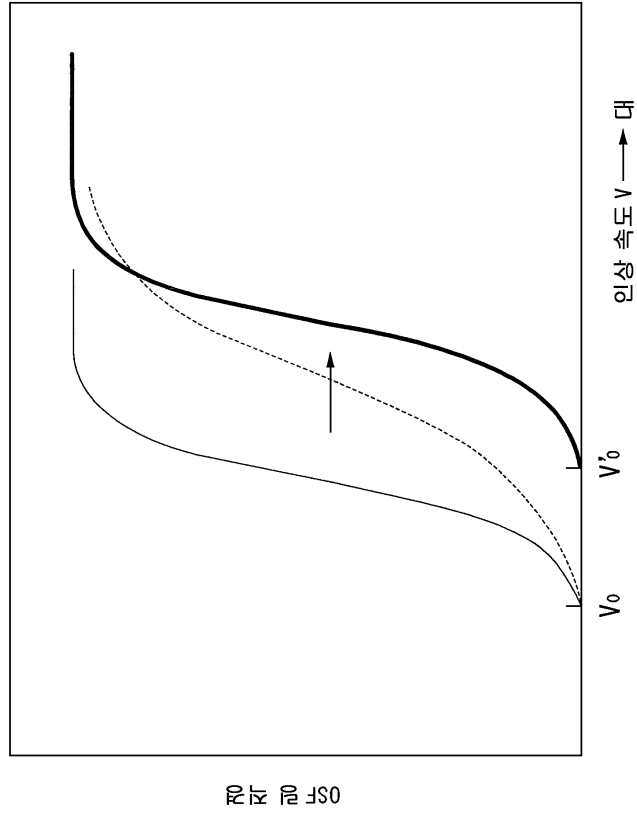
도면3



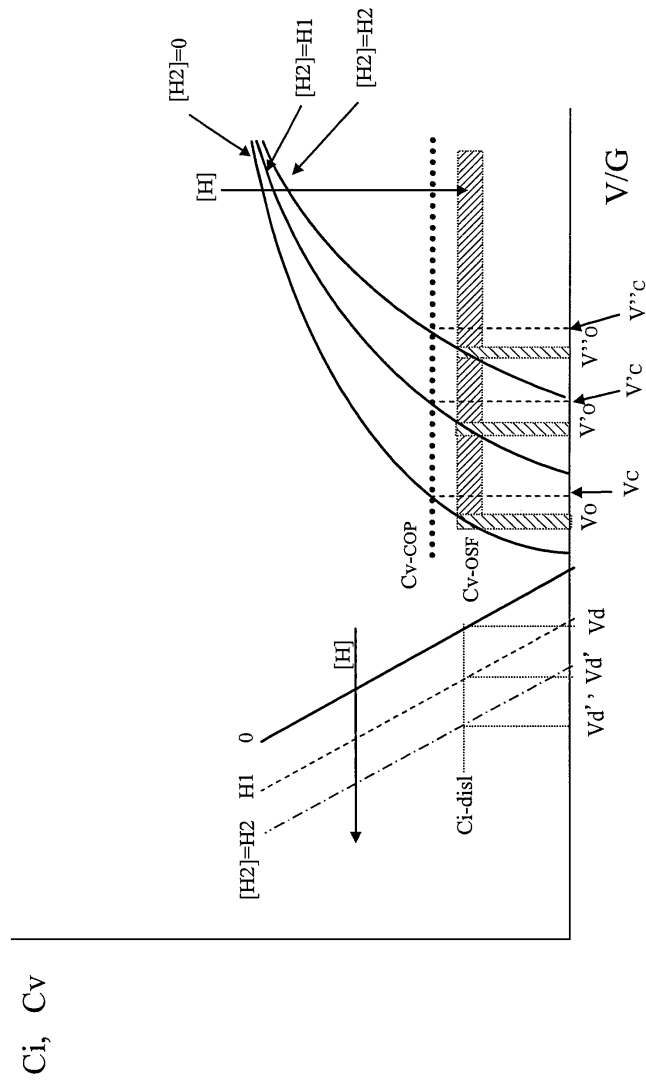
도면4



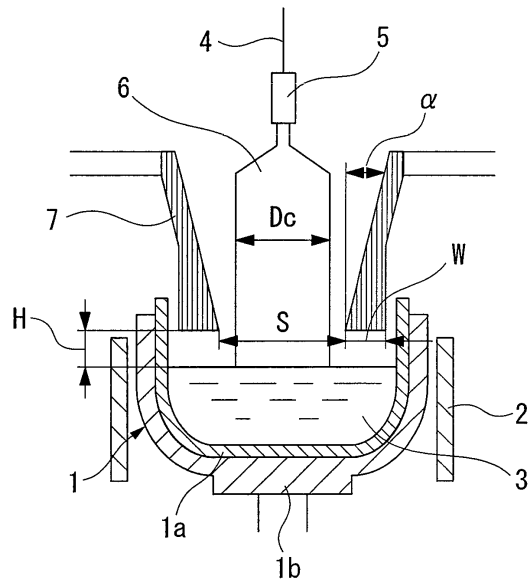
도면5



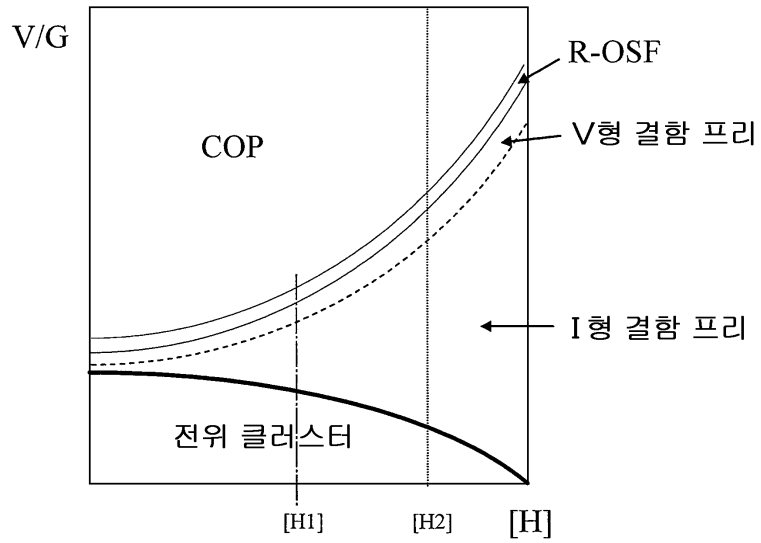
도면6



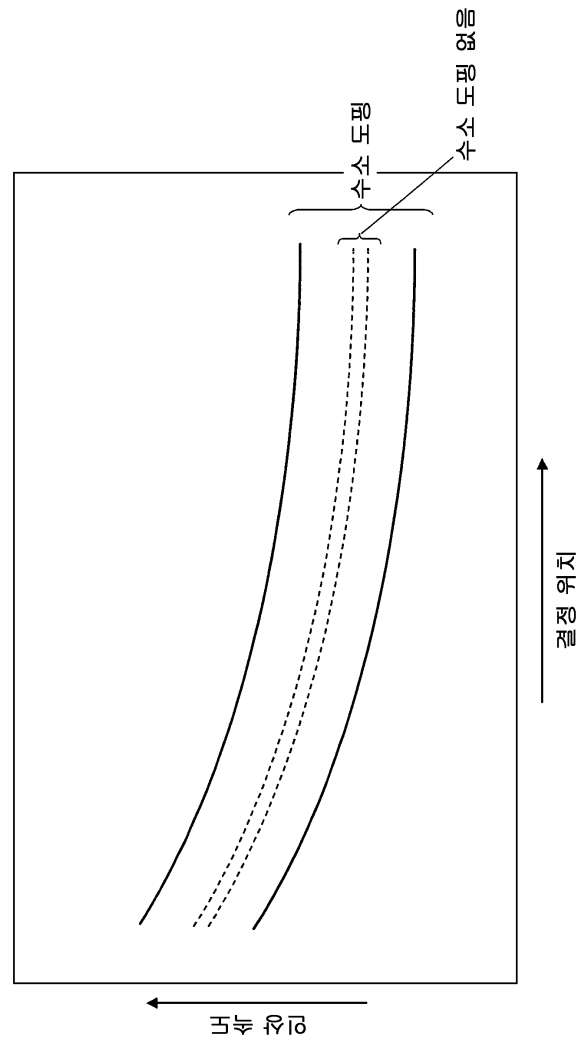
도면7



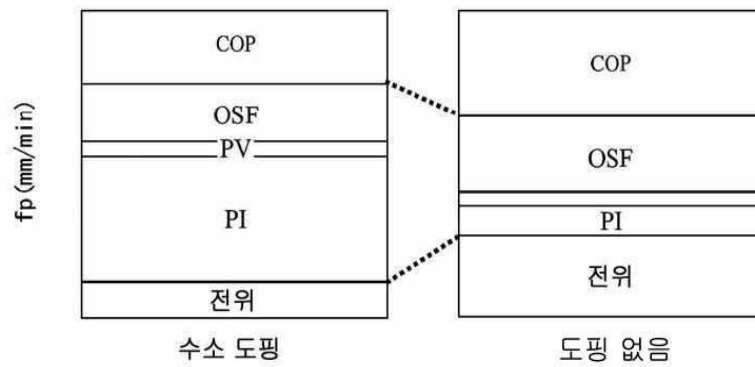
도면8



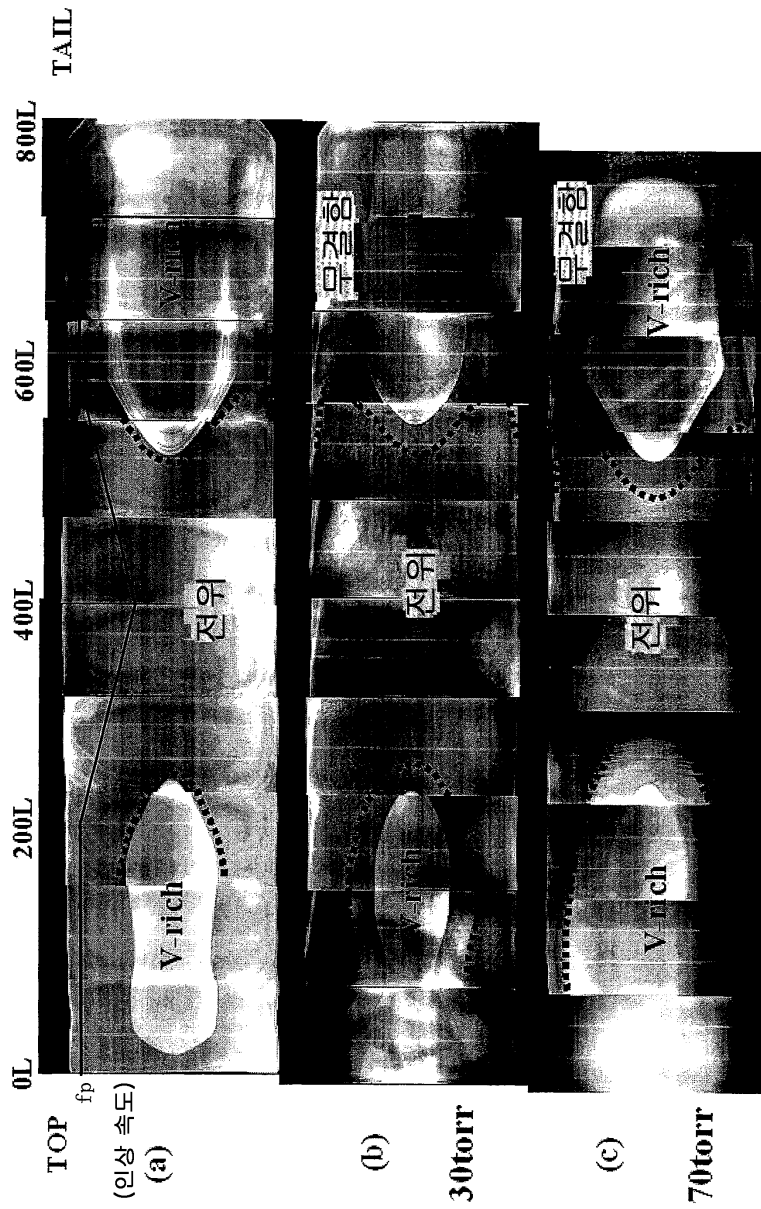
도면9



도면10



도면11



도면12

