(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년03월27일
(11) 등록번호 10-2514915
(24) 등록일자 2023년03월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C30B 15/04 (2006.01) *C30B 15/20* (2006.01)
C30B 29/06 (2006.01) *H01L 31/0288* (2006.01)
H01L 31/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C30B 15/04 (2013.01)
C30B 15/20 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-7010356
(22) 출원일자(국제) 2019년09월09일
심사청구일자 2022년09월05일
(85) 번역문제출일자 2021년04월07일
(65) 공개번호 10-2021-0072771
(43) 공개일자 2021년06월17일
(86) 국제출원번호 PCT/US2019/050140
(87) 국제공개번호 WO 2020/076448
국제공개일자 2020년04월16일
(30) 우선권주장
62/744,672 2018년10월12일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020050086586 A
KR1020180094102 A
KR1020180101358 A

(73) 특허권자
글로벌웨이퍼스 씨오., 엘티디.
중화민국, 타이완, 신주, 사이언스-베이스드 인더스트리얼 파크, 인더스트리얼 이스트 로드 2, 넘버 8
(72) 발명자
포리니, 마리아
미국 63376 미주리주 세인트 피터스 펄 드라이브 501
(74) 대리인
양영준, 임규빈, 백만기

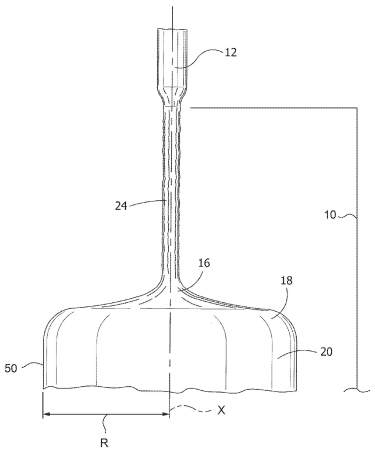
전체 청구항 수 : 총 30 항 심사관 : 류동언

(54) 발명의 명칭 **잉곳 품질을 향상시키기 위한 실리콘 용융물에서의 도펀트 농도 제어**

(57) 요 약

실리콘 용융물 내의 도펀트 농도가 제어되는 단결정 실리콘 잉곳들을 제조하기 위한 방법이 개시된다. 도펀트 농도의 제어는 단결정 실리콘 잉곳의 목, 크라운, 및 본체 부분 내의 전위들의 감소 또는 제거에 의해 잉곳 품질을 향상시킨다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C30B 29/06 (2013.01)
H01L 31/0288 (2013.01)
H01L 31/182 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

쵸크랄스키(Czochralski) 방법에 의해 단결정 실리콘 잉곳을 준비하는 방법으로서,

실리콘 시드 결정을 실리콘 용융물과 접촉시키는 단계 - 상기 실리콘 용융물은 도가니 내에 포함되고, 용융된 실리콘 및 n형 도펀트를 포함함 -;

상기 단결정 실리콘 잉곳의 목 부분을 형성하기 위해 상기 실리콘 용융물로부터 상기 실리콘 시드 결정을 회수하는(withdrawing) 단계 - 상기 목 부분은 5 밀리옴-㎝ 내지 12 밀리옴-㎝의 비저항을 갖고, 상기 실리콘 시드 결정은 3㎜/분 내지 5㎜/분의 인상 속도(pull rate)로 회수되고, 또한 상기 단결정 실리콘 잉곳의 목 부분은 지배적 간극 점 결함(dominant interstitial point defect)으로서 공공들(vacancies)을 포함하고, 또한 상기 목 부분 내의 n형 도펀트의 농도는 3.5×10^{18} 원자/㎤ 내지 1.3×10^{19} 원자/㎤임 -;

상기 단결정 실리콘 잉곳의 목 부분에 인접하여, 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔(outwardly flaring seed-cone)을 성장시키는 단계 - 상기 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔은 5 밀리옴-㎝ 내지 12 밀리옴-㎝의 비저항을 갖고, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔은 지배적 간극 점 결함으로서 공공들을 포함하고, 또한 상기 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔 내의 n형 도펀트의 농도는 3.5×10^{18} 원자/㎤ 내지 1.3×10^{19} 원자/㎤임 -;

상기 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔을 성장시키는 단계 후에 상기 용융물에 n형 도펀트를 첨가하여 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 비저항을 4 밀리옴-㎝ 미만의 비저항으로 낮추는 단계; 및

상기 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔에 인접하여, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체를 성장시키는 단계 - 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체는 4 밀리옴-㎝ 미만의 비저항을 가짐 -

를 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 단결정 실리콘 잉곳의 성장을 완료하는 단계;

보충 실리콘 용융물을 형성하기 위해, 실리콘 및 n형 도펀트를 상기 도가니에 첨가하는 단계;

제2 실리콘 시드 결정을, 용융된 실리콘 및 첨가된 n형 도펀트를 포함하는 상기 보충 실리콘 용융물과 접촉시키는 단계; 및

제2 단결정 실리콘 잉곳의 제2 목 부분을 형성하기 위해, 상기 제2 실리콘 시드 결정을 상기 실리콘 용융물로부터 회수하는 단계 - 상기 제2 목 부분은 5 밀리옴-㎝ 내지 12 밀리옴-㎝의 비저항을 가짐 -

를 더 포함하는, 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 실리콘 시드 결정은 8rpm 내지 15rpm의 속도로 회전되는, 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 도가니는 5rpm 내지 10rpm의 속도로 회전되는, 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 목 부분은 2.5㎜ 내지 6.5㎜의 직경을 갖는, 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 목 부분은 3㎜ 내지 6㎜의 직경을 갖는, 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 단결정 실리콘 잉곳은 n형 잉곳인, 방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 목 부분 및 상기 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔 내의 n형 도펀트의 농도는 상기 목 부분 및 상기 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔 내의 p형 도펀트의 농도를 초과하는, 방법.

청구항 9

제7항에 있어서, 상기 목 부분 내의 n형 도펀트의 농도는 4×10^{18} 원자/㎤ 내지 1×10^{19} 원자/㎤인, 방법.

청구항 10

제7항에 있어서, 상기 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔 내의 n형 도펀트의 농도는 4×10^{18} 원자/㎤ 내지 1×10^{19} 원자/㎤인, 방법.

청구항 11

제7항에 있어서, 상기 목 부분은 5 밀리옴-㎝ 내지 8 밀리옴-㎝의 비저항을 갖는, 방법.

청구항 12

제7항에 있어서, 상기 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔은 5 밀리옴-㎝ 내지 8 밀리옴-㎝의 비저항을 갖는, 방법.

청구항 13

제1항에 있어서, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체는 2 밀리옴-㎝ 미만의 비저항을 갖는, 방법.

청구항 14

제1항에 있어서, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체는 1.7 밀리옴-㎝ 미만의 비저항을 갖는, 방법.

청구항 15

제1항에 있어서, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체는 1.6 밀리옴-㎝ 미만의 비저항을 갖는, 방법.

청구항 16

제1항에 있어서, 상기 n형 도펀트는 비소, 인, 안티몬, 및 이들의 임의의 조합으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는, 방법.

청구항 17

제1항에 있어서, 상기 n형 도펀트는 비소인, 방법.

청구항 18

제1항에 있어서, 상기 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔을 성장시키는 단계 후에 상기 실리콘 용융물에 첨가되는 n형 도펀트의 농도는 200 그램의 n형 도펀트/60 킬로그램의 실리콘 내지 400 그램의 n형 도펀트/60 킬로그램의 실리콘인, 방법.

청구항 19

제1항에 있어서, 상기 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔을 성장시키는 단계 후에 상기 실리콘 용융물에 첨가되는 n형 도펀트의 농도는 300 그램의 n형 도펀트/60 킬로그램의 실리콘인, 방법.

청구항 20

제1항에 있어서, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 슬라이스는 400 전위/㎠ 미만을 포함하는, 방법.

청구항 21

제1항에 있어서, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 슬라이스는 100 전위/㎠ 미만을 포함하는, 방법.

청구항 22

제1항에 있어서, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 슬라이스는 10 전위/㎠ 미만을 포함하는, 방법.

청구항 23

제1항에 있어서, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 슬라이스는 1 전위/㎠ 미만을 포함하는, 방법.

청구항 24

제1항에 있어서, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 슬라이스는 제로 전위 웨이퍼인, 방법.

청구항 25

단결정 실리콘 잉곳으로서,

상기 단결정 실리콘 잉곳의 목 부분 - 상기 목 부분은 5 밀리옴-㎝ 내지 12 밀리옴-㎝의 비저항을 갖고, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 목 부분은 지배적 간극 점 결함(dominant interstitial point defect)으로서 공공들(vacancies)을 포함하고, 또한 상기 목 부분 내의 n형 도펀트의 농도는 3.5×10^{18} 원자/㎤ 내지 1.3×10^{19} 원자/㎤임 -;

상기 단결정 실리콘 잉곳의 목 부분에 인접하는, 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔 - 상기 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔은 5 밀리옴-㎝ 내지 12 밀리옴-㎝의 비저항을 갖고, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔은 지배적 간극 점 결함으로서 공공들을 포함하고, 또한 상기 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔 내의 n형 도펀트의 농도는 3.5×10^{18} 원자/㎤ 내지 1.3×10^{19} 원자/㎤임 -; 및

상기 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔에 인접하는, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체 - 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체는 4 밀리옴-㎝ 미만의 비저항을 가짐 -

를 포함하는, 단결정 실리콘 잉곳.

청구항 26

제25항에 있어서, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 슬라이스는 400 전위/㎠ 미만을 포함하는, 단결정 실리콘 잉곳.

청구항 27

제25항에 있어서, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 슬라이스는 100 전위/㎠ 미만을 포함하는, 단결정 실리콘 잉곳.

청구항 28

제25항에 있어서, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 슬라이스는 10 전위/㎠ 미만을 포함하는, 단결정 실리콘 잉곳.

청구항 29

제25항에 있어서, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 슬라이스는 제로 전위 웨이퍼인, 단결정 실리콘 잉곳.

청구항 30

제25항에 있어서, 상기 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 슬라이스는 1 전위/㎠ 미만을 포함하는, 단결정 실리콘 잉

곳.

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] **관련 출원(들)에 대한 상호 참조**

[0002] 본 출원은 2018년 10월 12일자로 출원된 미국 가출원 제62/744,672호의 우선권의 혜택을 주장하며, 그것의 개시 내용은 그 전체가 제시된 것처럼 참조에 의해 본 명세서에 포함된다.

[0003] **기술 분야**

[0004] 본 개시내용의 분야는 단결정 실리콘 잉곳들을 제조하기 위한 방법들에 관한 것으로, 특히 실리콘 용융물에서 도펀트 농도를 제어함으로써 향상된 품질의 단결정 실리콘 잉곳들을 제조하는 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0005] 반도체 전자 컴포넌트들의 제조를 위한 대부분의 프로세스들에서 출발 물질 인 단결정 실리콘은 통상적으로 쵸크랄스키(Czochralski)("Cz") 방법에 의해 준비된다. 이 방법에서, 다결정 실리콘("폴리실리콘")은 도가니에 장입되고 용융되며, 시드 결정이 용융된 실리콘과 접촉되고, 느린 추출에 의해 단결정이 성장된다. 목(neck)의 형성이 완료된 후, 결정의 직경은 예를 들어 요구되는 또는 목표 직경에 도달할 때까지 인상 속도(pulling rate) 및/또는 용융물 온도를 감소시킴으로써 확대된다. 다음으로, 대략 일정한 직경을 갖는 결정의 원통형 본체는 감소하는 용융물 레벨을 보상하면서 인상 속도와 용융물 온도를 제어함으로써 성장된다. 성장 프로세스가 거의 끝나가지만 도가니에서 용융된 실리콘이 비워지기 전에, 결정 직경은 전형적으로 점진적으로 감소되어, 말단 원뿔(end-cone) 형태의 꼬리 단부를 형성한다. 말단 원뿔은 통상적으로 도가니에 공급되는 결정 인상 속도와 열을 증가시킴으로써 형성된다. 직경이 충분히 작아지면, 결정은 용융물로부터 분리된다.

[0006] 결정 성장이 개시됨에 따라, 시드 결정이 용융물에 접촉하는 열 충격으로 인해 결정에 전위들(dislocations)이 생성된다. 이러한 전위들은 성장하는 결정 전체에 전파되고, 시드 결정과 결정의 본체 사이의 목 부분에서 제거되지 않는 한 증식된다.

[0007] 실리콘 단결정 내의 전위들을 제거하기 위한 종래의 방법들은 결정 본체의 성장을 개시하기 전에 전위들을 완전히 제거하기 위해 높은 결정 인상 속도(예를 들어, 최고 6㎜/분)에서 작은 직경(예를 들어, 2 내지 4㎜)을 갖는 목을 성장시키는 것을 수반하는 소위 "대시 목 방법(dash neck method)"을 포함한다. 일반적으로, 목의 대략 100 내지 약 125㎜가 성장된 후, 이러한 작은 직경의 목들에서 전위들이 제거될 수 있다. 전위들이 제거되고 나면, 결정의 직경이 확장되어 바깥쪽으로 벌어지는 "원뿔" 또는 "테이퍼" 부분을 형성한다. 목 부분에 인접한 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔의 원하는 직경에 도달하면, 원통형 본체는 대략 일정한 직경을 갖도록 성장된다.

[0008] 전위들을 제거하기 위한 종래의 방법들이 대부분 성공적이지만, 그러한 방법들은 잉곳의 일정한 직경 부분으로 전파되는 전위들을 포함하는 일부 목들을 초래할 수 있다. 이러한 잉곳들은 디바이스 제작에 적합하지 않으며 고비용으로 폐기된다.

[0009] 본 섹션은 아래에서 설명 및/또는 청구되는 본 개시내용의 다양한 양태들에 관련될 수 있는 기술의 다양한 양태들을 독자에게 소개하도록 의도되는 것이다. 이 논의는 본 개시내용의 다양한 양태들의 더 나은 이해를 용이하게 하기 위해 독자에게 배경 정보를 제공하는 데 도움이 될 것으로 여겨진다. 따라서, 이러한 진술은 종래 기술의 인정으로서가 아니라 이러한 관점에서 읽혀야 함을 이해해야 한다.

발명의 내용

[0010] 본 개시내용의 일 양태는 쵸크랄스키 방법에 의해 단결정 실리콘 잉곳을 준비하는 방법에 관한 것이다. 방법은 실리콘 시드 결정을 실리콘 용융물과 접촉시키는 단계 - 실리콘 용융물은 도가니 내에 포함되고, 용융된 실리콘 및 n형 도펀트를 포함함 -; 단결정 실리콘 잉곳의 목 부분을 형성하기 위해 실리콘 용융물로부터 실리콘 시드 결정을 회수하는 단계 - 목 부분은 5 밀리옴-㎝ 내지 약 12 밀리옴-㎝의 비저항을 가짐 -; 단결정 실리콘 잉곳의 목 부분에 인접하여 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔(outwardly flaring seed-cone)을 성장시키는 단계 - 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔은 5 밀리옴-㎝ 내지 약 12 밀리옴-㎝의 비저항을 가짐 -; 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 비저항을 4 밀리옴-㎝ 미만의 비저항으로 낮추기에 충분한 농도로 용융물에 n형 도펀트를 첨가하는 단계; 및 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔에 인접하여 단결정 실리콘 잉곳의 본체를 성장시키는 단계 - 단결정 실리콘 잉곳의 본체는 4 밀리옴-㎝ 미만의 비저항을 가짐 - 를 포함한다.

[0011] 본 개시내용의 위에서 언급된 양태들과 관련하여 언급된 특징들의 다양한 개선이 존재한다. 추가 특징들은 또한 본 개시내용의 위에서 언급된 양태들에 포함될 수 있다. 이러한 개선 및 추가 특징들은 개별적으로 또는 임의의 조합으로 존재할 수 있다. 예를 들어, 본 개시내용의 예시된 실시예들 중 임의의 것과 관련하여 아래에서 논의되는 다양한 특징들은 단독으로 또는 임의의 조합으로 본 개시내용의 임의의 전술한 양태들에 포함될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 쵸크랄스키 방법에 의해 성장된 단결정 실리콘 잉곳의 부분 정면도이다.

도 2는 잉곳의 목 부분 및 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔 부분의 비저항에 따라, 쵸크랄스키 방법에 의해 성장된 단결정 실리콘 잉곳의 제로 전위 또는 제로 전위 손실 성장을 나타내는 그래프이다.

대응하는 참조 기호들은 도면들 전체에서 대응하는 부분들을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 본 개시내용의 제공은 잉곳 품질이 향상된 단결정 실리콘 잉곳을 제조하기 위한 방법들에 관한 것이다. 쵸크랄스키 방법에 따라 고도로 도핑된 실리콘 용융물들로부터 제로 전위(zero dislocation)(ZD) 단결정 실리콘 잉곳을 성장시키는 것은 어렵다. 결정 성장 동안, 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔 또는 크라운은 특히 고농도로 도핑된 실리콘 용융물의 경우 구조를 잃을 수 있다. 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔 또는 크라운에서 제로 전위 손실(loss of zero dislocation)(LZD)의 한 가지 빈번한 이유는 목 부분의 성장 동안의 불완전한 전위 제거 때문이다. 하나의 전위가 살아남으면, 그것은 고체-액체 계면에 도달할 수 있고, 성장하는 계면과 함께 성장을 시작할 수 있다.

[0014] 크라운을 제조하기 위해 결정 직경이 증가되면, 열 응력이 상당히 증가하고, 전위가 증식하기 시작하여, 소성 변형에 의해 응력을 완화한다. 소정 시간 후, 전위들의 밀도는 성장 선들이 사라지고 구조 손실이 분명해질 정도로 충분히 높아진다. 따라서, 고농도로 도핑된 실리콘 용융물들로부터의 목 성장 동안 실리콘 결정에서의 불완전한 전위 제거를 해결하기 위한 방법이 필요하다.

[0015] 본 발명은 단결정 실리콘 잉곳의 목 부분, 그에 인접한 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔, 및 본체 중 하나 또는 그것들 전부에서의 전위들이 감소 또는 제거될 수 있는 확률을 최대화하는 방법을 제공한다. 낮은 전위 성장 또는 제로 전위 성장을 획득하는 것은 단결정 실리콘 잉곳의 성장 동안 실리콘 용융물 내의 도펀트 농도를 제어하는 것에 의한 것이다. 방법은 목을 시작하기 전에 용융물에 제어된 양의 도펀트를 첨가하는 것을 규정한다. 도펀트의 양은 예를 들어 결정 시드 끝에서 5 밀리옴-㎝ 내지 약 12 밀리옴-㎝, 예를 들어 5 밀리옴-㎝ 내지 약 8 밀리옴-㎝의 비저항을 얻기 위한 것이어야 한다. 이 비저항은 n형 도펀트를 이용한 도핑, 예를 들어 비소 도핑의 경우에서, 목 성장 동안의 결정의 공공(vacancy) 농도가 가장 큰 도펀트 농도 범위에 대응한다. 따라서, 일부 실시예들에서, 단결정 실리콘 잉곳의 목 부분은 지배적 고유 점 결함으로서 공공들을 포함한다. 일부 실시예들에서, 단결정 실리콘 잉곳의 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔은 지배적 고유 점 결함으로서 공공들을 포함

한다. 5 밀리옴-cm 내지 약 12 밀리옴-cm, 예를 들어 5 밀리옴-cm 내지 약 8 밀리옴-cm의 비저항 범위 내에서, 전위들은 결정/용융물 표면 계면, 즉 성장하는 잉곳의 가장자리까지 올라가고 제거된다. 이 방법은 연속 쵸크랄스키(Continuous Czochralski) 방법과 같이 본체 위상 동안 도핑에 의해 임의의 목표 비저항이 달성되는 결정 성장 방법들에 편리하게 적용될 수 있다. 이 경우, 실제로, 목의 전위 제거에 최적화된 용융물 농도로 프로세스를 시작하고 성공적인 제로 전위(ZD) 크라운을 달성하고 본체를 시작하는 것이 가능하다. 본체가 시작되면, 성장 동안 도핑에 의해 구조 손실을 초래하지 않고서(제로 전위 손실 또는 LZD), 훨씬 더 낮은 비저항, 예를 들어 약 4 밀리옴-cm 미만, 약 2 밀리옴-cm 미만, 약 1.7 밀리옴-cm 미만, 또는 심지어 약 1.6 밀리옴-cm 미만에 도달하는 것이 가능하다.

[0016] 본 개시내용의 실시예들에 따라, 그리고 일반적으로 쵸크랄스키 방법에 따라 제조된 단결정 실리콘 잉곳(10)이 도 1에 도시된다. 잉곳(10)은 실리콘 용융물과 원래 접촉한 시드 결정(12)의 부분, 시드 결정(12)에 인접한 목 부분(24), 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔 부분(16), 숄더(18) 및 일정한 직경의 본체(20)를 포함한다. 목(24)은 용융물과 접촉되고 회수되어 잉곳(10)을 형성하는 시드 결정(12)에 부착된다. 목(24)은 잉곳의 원뿔 부분(16)이 형성되기 시작하면 종료된다.

[0017] 일반적으로, 잉곳(10)이 인발되는(drawn) 용융물은 다결정 실리콘을 도가니에 장입하여 실리콘 충전물을 형성함으로써 형성된다. 예를 들어, 유동화된 베드 반응기에서 실란 또는 할로실란의 열 분해에 의해 생성되는 입상 다결정 실리콘, 또는 지멘스(Siemens) 반응기에서 생성되는 다결정 실리콘을 포함하여, 다양한 다결정 실리콘 공급원들이 사용될 수 있다. 도가니에 첨가되는 고체 폴리실리콘은 전형적으로 입상 폴리실리콘이지만, 청크 폴리실리콘이 사용될 수 있으며, 그것은 입상 폴리실리콘과 함께 사용하도록 최적화된 폴리실리콘 공급기를 사용하여 도가니에 공급된다. 청크 폴리실리콘은 전형적으로 3 내지 45 밀리미터(예를 들어, 최대 치수)의 크기를 갖고, 입상 폴리실리콘은 전형적으로 400 내지 1400 미크론의 크기를 갖는다. 입상 폴리실리콘은 더 작은 크기로 인해, 공급 속도의 쉽고 정확한 제어를 제공하는 것을 포함하여 몇 가지 장점을 갖는다. 그러나, 입상 폴리실리콘의 비용은 전형적으로 화학 기상 증착 프로세스, 또는 그것의 생산에서 사용되는 다른 제조 방법들로 인해, 청크 폴리실리콘의 비용보다 높다. 청크 폴리실리콘은 그것의 더 큰 크기를 고려하여, 더 저렴하고 더 높은 공급 속도가 가능하다는 장점을 갖는다. 가열 유닛들의 위치, 냉각 재킷 및 전력 제어의 작동은 다결정 실리콘 공급기를 수용하도록 조절된다. 특히, 배치 프로세스(batch process)에 대해, 장입된 실리콘 충전물의 질량은 단결정 실리콘 잉곳의 크기에 따라 적어도 약 25kg 내지 약 2000kg, 예를 들어 적어도 약 50kg 내지 약 2000kg, 적어도 약 50kg 내지 약 1800kg, 예를 들어 약 50kg 내지 약 1500kg로 달라질 수 있다.

[0018] 충전물을 형성하기 위해 다결정 실리콘이 도가니에 첨가되고 나면, 충전물은 대략 실리콘의 용융 온도(예를 들어, 약 1412℃)보다 높은 온도로 가열되어 충전물을 용융시키고, 이에 의해, 용융된 실리콘을 포함하는 실리콘 용융물을 형성한다. 일부 실시예들에서, 실리콘 용융물을 포함하는 도가니는 적어도 약 1425℃, 적어도 약 1450℃, 또는 심지어 적어도 약 1500℃의 온도로 가열된다.

[0019] 일부 실시예들에서, 본 발명의 프로세스는 n형 단결정 실리콘 잉곳들에 사용된다. 본 명세서에서 사용될 때, 용어 "n형"은 비소, 인, 안티몬 또는 이들의 조합과 같은, 주기율표의 5족 원소를 함유하는 실리콘을 지칭한다. 일부 실시예들에서, 실리콘은 n형 도펀트로서 비소를 포함한다. n형 잉곳들은 쵸크랄스키 성장 동안 실리콘 용융물에 n형 도펀트들의 공급원들, 예를 들어 허용가능한 순도의 비소, 인, 및/또는 안티몬의 고체 원소 공급원들을 첨가함으로써 획득된다. 일부 실시예들에서, 실리콘 용융물에 첨가되는 n형 도펀트의 농도는 약 200 그램의 n형 도펀트/60 킬로그램의 실리콘 내지 약 400 그램의 n형 도펀트/60 킬로그램의 실리콘, 예를 들어 약 300 그램의 n형 도펀트/60 킬로그램의 실리콘이다. 도펀트의 불완전한 혼입, 실리콘 용융물과 잉곳 내의 응고된 실리콘 사이의 도펀트 분리 계수, 및 용융물로부터의 도펀트의 증발과 같은 인자들로 인해, 도핑 효율은 일반적으로 100% 미만이다. 따라서, 실리콘 용융물에 첨가되는 n형 도펀트의 양은 일반적으로 용융물 자체에 실질적으로 통합되는 양의 약 2배이다.

[0020] 충전물이 액화되어, 용융된 실리콘 및 n형 도펀트를 포함하는 실리콘 용융물을 형성하고 나면, 실리콘 시드 결정(그것의 일부는 도 1에서 12로 표시됨)이 하강하여 용융물과 접촉한다. 다음으로, 실리콘 시드 결정은 실리콘이 부착된(즉, 목(24)이 형성된) 용융물로부터 회수되고, 그에 의해 용융물의 표면 근처에 또는 표면에 용융물-고체 계면을 형성한다. 일부 실시예들에서, 실리콘 시드 결정은 약 1.5㎜/분 내지 약 6㎜/분, 예컨대 약 3㎜/분 내지 약 5㎜/분의 인상 속도로 회수된다. 일부 실시예들에서, 실리콘 시드 결정은 약 5rpm 내지 약 30rpm, 또는 약 5rpm 내지 약 20rpm, 또는 약 8rpm 내지 약 20rpm, 또는 약 10rpm 내지 약 20rpm의 속도로 회전된다. 일부 실시예들에서, 실리콘 시드 결정은 약 8rpm 내지 약 15rpm, 예를 들어 약 11rpm의 속도로 회전된다. 일부 실시예들에서, 도가니는 약 0.5rpm 내지 약 10rpm, 또는 약 1rpm 내지 약 10rpm, 또는 약 4rpm 내지

약 10rpm, 또는 약 5rpm 내지 약 10rpm, 예를 들어 약 8rpm의 속도로 회전된다. 일부 실시예들에서, 시드 결정은 도가니보다 더 빠른 속도로 회전된다. 일부 실시예들에서, 시드 결정은 도가니의 회전 속도보다 적어도 1rpm 더 높은 속도, 예를 들어 적어도 약 3rpm 더 높은 속도 또는 적어도 약 5rpm 더 높은 속도로 회전된다. 통상적으로, 결정 내 도펀트 농도의 양호한 반경반향 균일성을 장려하기 위해, 결정 회전 속도는 도가니 회전 속도보다 높다. 일부 실시예들에서, 실리콘 시드 결정 및 도가니는 반대 방향들로, 즉 역회전으로 회전된다.

[0021] 일반적으로, 목 부분은 약 10 밀리미터 내지 약 700 밀리미터, 약 30 밀리미터 내지 약 700 밀리미터, 약 100 밀리미터 내지 약 700 밀리미터, 약 200 밀리미터 내지 약 700 밀리미터, 또는 약 300 밀리미터 내지 약 700 밀리미터의 길이를 갖는다. 일부 실시예들에서, 목 부분은 약 10 밀리미터 내지 약 100 밀리미터, 예를 들어 약 20 내지 약 50 밀리미터의 길이를 갖는다. 일부 실시예들에서, 목 부분은 약 350 밀리미터 내지 약 550 밀리미터의 길이를 갖는다. 일부 실시예들에서, 목 부분은 약 450 밀리미터 내지 약 550 밀리미터의 길이를 갖는다. 그러나, 목 부분의 길이는 이 범위들 밖에서 달라질 수 있다. 일부 실시예들에서, 목 부분은 약 1㎜ 내지 약 10㎜, 약 2.5㎜ 내지 약 6.5㎜, 예를 들어 약 3㎜ 내지 약 6㎜의 직경을 갖는다. 목 직경의 하한은 결정 잉곳의 본체가 크기가 성장함에 따라 결정 무게를 지탱할 수 있는 충분한 기계적 강도를 가질 필요에 의해 결정된다. 상한은 직경이 증가함에 따라 전위 제거가 더 어려워진다는 사실에 의해 결정되는데, 즉 직경이 더 크면, 전위가 이동해야 하는 표면까지의 거리가 더 멀어진다는 것에 더하여, 결정 중심과 결정 표면 사이의 더 높은 열 기울기에 의해 유도되는 더 높은 열 응력으로 인해 전위 증식이 만들어질 위험이 있다는 사실에 의해 결정된다. 일부 실시예들에서, n형 단결정 실리콘 잉곳의 성장 동안 형성된 목 부분은 5 밀리옴-㎝ 내지 약 12 밀리옴-㎝, 예를 들어 5 밀리옴-㎝ 내지 약 8 밀리옴-㎝의 비저항을 갖는다. 이러한 비저항들을 달성하기 위해 목 부분에 혼입되는 n형 도펀트, 특히 비소의 적절한 농도는 약 3.5×10^{18} 원자/㎤ 내지 약 1.3×10^{19} 원자/㎤, 예를 들어 약 4×10^{18} 원자/㎤ 내지 1×10^{19} 원자/㎤일 수 있다.

[0022] 목 형성 후, 목(24)에 인접한 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔 부분(16)이 성장된다. 일반적으로, 인상 속도는 목 부분 인상 속도로부터 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔 부분(16)을 성장시키는 데 적합한 속도로 감소된다. 예를 들어, 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔(16)의 성장 동안의 시드 원뿔 인상 속도는 약 0.5㎜/분 내지 약 2.0㎜/분, 예컨대 약 1.0㎜/분이다. 일부 실시예들에서, 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔(16)은 약 100 밀리미터 내지 약 400 밀리미터, 예를 들어 약 150 밀리미터 내지 약 250 밀리미터의 길이를 갖는다. 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔(16)의 길이는 이러한 범위들 밖에서 달라질 수 있다. 일부 실시예들에서, 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔(16)은 약 150㎜, 적어도 약 150㎜, 약 200㎜, 적어도 약 200㎜, 약 300㎜, 적어도 약 300㎜, 약 450㎜, 또는 심지어 적어도 약 450㎜의 말단 직경으로 성장된다. 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔(16)의 말단 직경은 일반적으로 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 일정한 직경의 직경과 등가이다. 일부 실시예들에서, n형 단결정 실리콘 잉곳의 성장 동안 형성된 목 부분에 인접한 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔은 5 밀리옴-㎝ 내지 약 12 밀리옴-㎝, 예컨대 5 밀리옴-㎝ 내지 약 8 밀리옴-㎝의 비저항을 갖는다. 이러한 비저항들을 달성하기 위해 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔에 혼입되는 n형 도펀트, 특히 비소의 적절한 농도는 약 3.5×10^{18} 원자/㎤ 내지 약 1.3×10^{19} 원자/㎤, 예를 들어 약 4×10^{18} 원자/㎤ 내지 1×10^{19} 원자/㎤일 수 있다.

[0023] 일부 실시예들에서, 목 부분 및 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔 및 본체 내의 n형 도펀트의 농도는 목 부분 및 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔 내의 p형 도펀트, 예컨대 붕소, 알루미늄 또는 갈륨의 농도를 초과한다. n형 도펀트는 목 및 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔 내의 지배적 고유 점 결함으로서의 공공들 및 원하는 비저항을 달성하기 위한 지배적인 도펀트이다. 바람직하게는, n형 도펀트의 농도는 p형 도펀트의 농도를 크게 초과한다. P형 도펀트 농도는 실리콘 용융물 및 성장하는 결정에 의도적으로 첨가되든 오염 물질로서 첨가되든 간에, 바람직하게는 약 1×10^{16} 원자/㎤ 미만, 바람직하게는 1×10^{15} 원자/㎤ 미만, 및 훨씬 더 바람직하게는 1×10^{14} 원자/㎤ 미만이다.

[0024] 목(24), 및 목 부분(24)에 인접한 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔(18)의 형성 후에, 다음으로, 원뿔 부분(16)에 인접한 일정한 직경을 갖는 주 잉곳 본체(20)가 성장된다. 본체(20)의 일정한 직경 부분은 원주 가장자리(50), 원주 가장자리에 평행한 중심 축(X), 및 중심 축으로부터 원주 가장자리로 연장되는 반경(R)을 갖는다. 중심 축(X)은 또한 원뿔 부분(16) 및 목(24)을 통과한다. 주 잉곳 본체(20)의 직경은 달라질 수 있고, 일부 실시예들에서, 직경은 약 150㎜, 약 200㎜, 약 300㎜, 약 300㎜ 초과, 약 450㎜, 또는 심지어는 약 450㎜ 초과일 수 있다. 일부 실시예들에서, 단결정 실리콘 잉곳의 본체는 결국 적어도 약 1000㎜ 길이, 예컨대 적어도 1100㎜ 길이, 예컨대 적어도 1200㎜ 길이, 예컨대 적어도 1400㎜ 길이, 예컨대 적어도 1500㎜ 길이, 예컨대 적어도

1700㎜ 길이, 또는 적어도 1900㎜ 길이, 또는 적어도 2000㎜ 길이, 또는 적어도 2200㎜ 길이, 또는 적어도 약 3000㎜ 길이, 또는 적어도 약 4000㎜ 길이로 성장된다.

[0025] 본 발명의 방법에 따르면, 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 비저항은 목 부분 및/또는 목 부분에 인접한 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔의 비저항보다 낮을 수 있다. 이것은 목 부분에 인접한 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔이 형성된 후 실리콘 용융물에 추가의 n형 도펀트, 예를 들어 비소를 첨가함으로써 달성될 수 있다. 일부 실시예들에서, 단결정 실리콘 잉곳의 본체는 4 밀리옴-㎝ 미만, 예컨대 2 밀리옴-㎝ 미만, 1.7 밀리옴-㎝ 미만, 또는 심지어는 약 1.6 밀리옴-㎝ 미만의 비저항을 갖는, 예를 들어 비소로 도핑된 n형 잉곳이다. 이러한 비저항들에서, 잉곳의 본체는 목 및 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔에서와 같이, 공공 지배적 재료로부터, 지배적 고유 점 결함으로서의 간극들로 이동할 수 있다. 그러나, 목 및 크라운에서 전위들이 제거되고 나면, 성장하는 단결정 실리콘 잉곳의 전위가 없는 특성(dislocation-free character)을 유지하기 위해, 본체 위상이 공공 풍부(vacancy-rich)일 필요는 없다.

[0026] 추가로, 본 발명의 프로세스에 따르면, 실리콘 용융물을 포함하는 도가니에 자기장이 인가될 수 있다. 적절한 결정/용융물 계면, 즉 메니스커스의 형상 및 높이를 설정하기 위해, 첨두 또는 수평 자기장이 인가될 수 있다. 자기장은 주로 원하는 결정/용융물 계면 형상 및 높이를 고정하기 위해 사용되며, 산소 함량 Oi의 제어는 부차적인 목적이다.

[0027] 용융물 흐름 및 용융물/고체 계면의 형상의 제어, 및 그에 따른 잉곳의 품질은 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 성장 동안 실리콘 용융물에 자기장을 인가함으로써 향상될 수 있다. 일부 실시예들에서, 인가된 자기장은 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 성장의 적어도 약 70% 동안, 또는 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 성장의 약 70% 내지 약 90% 동안 실질적으로 일정한 용융물/고체 계면 프로파일을 유지한다. 자기장은 전자기력을 인가하고, 이는 실리콘 용융물 흐름에 영향을 미치므로, 용융물 내의 열 전달이 영향을 받는다. 그것은 완벽한 실리콘의 핵심 제어 매개변수인 결정/용융물 계면의 프로파일 및 성장 결정의 온도를 변경한다.

[0028] 자기장은 잉곳 내의 산소 함량 및 균일성에 영향을 미친다. 잉곳의 산소 공급원은 석영 도가니 벽의 용해, 용융물이 없는 표면에서의 SiOx(g)의 증발(용융물 흐름 역학에 의해 제어됨), 및 성장 결정 정면에의 혼입으로부터 오는 것이다. 자기장은 산소 증발 및 혼입에 영향을 줄 수 있는 성장 동안의 대류성 용융물 흐름에 영향을 미친다. 시간 증분에 의한 단결정 실리콘 잉곳으로의 산소 혼입의 변동은 이하의 수학식에 따라 용융물 내의 산소의 확산 및 대류에 의해 제어된다:

[0029] $$\frac{\partial C}{\partial t} = \nabla C - v\rho + SOURCE$$

[0030] C는 응고되는 실리콘 내의 산소의 농도이고, t는 시간이고, v는 대류 속도(용융물 흐름 속도), ρ(rho)는 실리콘 용융물의 밀도이고, ∇는 기울기(d/dx)이다. 인가되는 자기장은 용융물 속도(v), 및 용융물 내 산소 농도의 기울기($dC/dx = \nabla C$)에 영향을 준다. 자기장이 정상 상태의 용융물 흐름을 야기하므로, 잉곳 내로의 산소의 혼입 Oi은 시간에 따라 일정하며, 이는 반경반향 및 축방향 산소 농도 균일성을 향상시킨다. SOURCE 항은 2개의 매개변수, 즉 산소의 생성인 석영(SiO_2) 도가니의 용해(Si(l)+SiO_2(s)→SiOx(g)), 및 용융물로부터의 산소(SiOx(g))의 제거(소실)인 증발이다. 배치 Cz 프로세스에서, 이 SOURCE 항은 상수가 아니다. 대신에, 결정이 성장함에 따라 용융물 질량이 감소하기 때문에, 이것은 결정 길이에 따라 달라진다. 잉곳이 그것의 본체 길이의 상당 부분을 성장시킨 때, 남은 용융물 체적은 적고, 그에 의해 도가니와 접촉하는 실리콘 용융물의 양이 감소되므로, 이는 도가니로부터 용융물 내로 혼입되는 산소 농도를 낮춘다. 따라서, 다른 항들(확산, 대류, 증발)이 일정한 경우, 응고 실리콘 결정에 혼입된 산소가 감소된다. 용융물이 없는 표면(용융물과 기체 사이의 접촉면) 면적은 SiOx(g)의 증발 속도에 영향을 준다. 배치 Cz 프로세스에서의 작은 용융물 질량은 도 1c에 도시된 바와 같이 도가니의 형상으로 인해 비교적 작은 표면적을 갖는다. SiOx(g)의 증발이 적다는 것은 응고 실리콘 결정에 더 많은 산소가 혼입됨을 의미한다. 본 발명의 방법에 따르면, 결정 잉곳이 성장함에 따라 폴리실리콘이 첨가되기 때문에 용융물 질량은 일정하게 유지된다. 따라서, 모든 source 항(SiO_2 도가니가 용융물 내로 용해되는 것에 의한 산소의 발생, 및 용융물이 없는 표면을 통한 SiO_x(g) 기체의 증발)은 상수이다. 따라서, 확산 및 대류 항은 응고 실리콘 결정의 산소에 영향을 미친다. 인가되는 자기장은 용융물 흐름을 더 안정적으로 만들고(즉, 용융물 흐름은 시간에 독립적인 정상 상태처럼 일정함), 따라서 혼입 산소는 잉곳의 전체 길이의 성장 동안 축방향 및 반경반향에서 균일하고 안정적이다. 일부 실시예들에서, 간극 산소(interstitial oxygen)는 약 4 PPMA 내지 약 18 PPMA의 농도로 잉곳에 혼입될 수 있다. 일부 실시예들에서,

간극 산소는 약 10 PPMA 내지 약 35 PPMA의 농도로 잉곳에 혼입될 수 있다. 일부 실시예들에서, 잉곳은 약 15 PPMA 이하 또는 약 10 PPMA 이하의 농도로 산소를 포함한다. 간극 산소는 SEMI MF 1188-1105에 따라 측정될 수 있다.

[0031] 일부 실시예들에서, 수평 자기장은 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 성장 동안 실리콘 용융물에 인가된다. 수평 자기장이 있는 상태에서의 결정 성장은 실리콘 용융물을 보유하는 도가니를 기존 전자석들의 극들 사이에 배치함으로써 달성된다. 일부 실시예들에서, 수평 자기장은 용융물 영역에서 약 0.2 테슬라 내지 약 0.4 테슬라의 자속 밀도를 가질 수 있다. 용융물 내에서의 자기장 변동은 주어진 강도에서 +/- 약 0.03 테슬라 미만이다. 수평 자기장의 인가는 용융물 대류를 유도하는 힘들에 반대로, 유체 운동과 반대 방향으로 축 방향을 따르는 로렌츠 힘을 발생시킨다. 따라서, 용융물 내의 대류가 억제되고, 계면 근처의 결정에서 축 방향 온도 기울기가 증가한다. 그러면, 용융물-결정 계면은 계면 근처의 결정에서 증가된 축 방향 온도 기울기를 수용하기 위해 결정 측으로 위를 향해 이동하고, 도가니 내의 용융물 대류로 인한 기여도는 감소한다.

[0032] 일부 실시예들에서, 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 성장 동안 첨두 자기장이 실리콘 용융물에 인가된다. 첨두 자기장은 2가지 제어 매개 변수, 즉 자속 밀도 및 자기장 형상을 갖는다. 첨두 자기장은 잉곳 축 근처의 용융물 내의 더 깊은 수직(축방향) 자기장과 결합하여, 용융물의 가장 가까운 표면에 수평(반경반향) 자기장 성분을 인가한다. 첨두 자기장은 반대 방향으로 전류를 운반하는 한 쌍의 헬름홀츠 코일을 사용하여 생성된다. 결과적으로, 잉곳 축을 따라 수직으로, 두 가지 자기장 사이의 중간 위치에서 자기장은 서로 상쇄되어 수직 자기장 성분을 0으로, 또는 0에 가깝게 만든다. 예를 들어, 첨두 자속 밀도는 전형적으로 축 방향에서 약 0 내지 약 0.2 테슬라이다. 반경반향의 자속 밀도는 일반적으로 수직 방향의 자속 밀도보다 높다. 예를 들어, 첨두 자속 밀도는 전형적으로 반경반향 위치에서 약 0 내지 약 0.6T, 예를 들어 반경반향 위치에 따라 약 0.2 내지 약 0.5T이다. 반경방향 첨두 자기장은 용융물의 흐름을 억제하여 용융물을 안정화시킨다. 즉, 반경방향 첨두 자기장의 인가는 결정 성장이 일어나는 고체-액체 계면에 인접한 부분에서 대류를 유도하고, 용융물의 나머지 부분들에서 대류를 억제하여, 균일한 산소 분포를 실현하기 위한 효과적인 방법으로 작용한다. 열 용융물 대류는 용융물이 없는 표면 및 용융물 도가니 계면에서 첨두 자기장에 의해 동시에 국부적으로 독립적으로 제어될 수 있다. 이는 결정 회전 속도에 관계없이 자속 밀도만으로 성장 결정의 산소 농도를 제어하는 것을 가능하게 한다. 축방향 또는 반경방향 자기장이 있는 경우, 결정 회전 속도의 제어를 통해 산소 농도의 제어가 달성된다. 첨두 자기장의 인가는 약 15 PPMA 이하 또는 약 10 PPMA 이하와 같이 인가된 자기장 없이 성장된 잉곳보다 적은 산소 함량을 포함하는 잉곳에서의 성장을 가능하게 할 수 있다. 간극 산소는 SEMI MF 1188-1105에 따라 측정될 수 있다.

[0033] 제1 단결정 실리콘 잉곳이 완성되면, 결정 인상기는 제2 목의 성장 전에 안정화 기간을 거쳐, 척 및 시드가 충분히 예열되는 것을 허용할 수 있다. 따라서, 일부 실시예들에서, 제1 단결정 실리콘 잉곳의 성장이 완료되고, 이어서 실리콘 및 n형 도펀트를 첨가하여 실리콘 용융물을 보충한다. 다음으로, 제2 목은 보충 실리콘 용융물과 접촉하고; 제2 실리콘 시드 결정은 제2 단결정 실리콘 잉곳의 제2 목 부분을 형성하기 위해 회수된다. 일부 실시예들에서, 제2 목 부분은 5 밀리옴-cm 내지 약 12 밀리옴-cm, 예컨대 5 밀리옴-cm 내지 약 8 밀리옴-cm의 비저항을 갖는다. 추가적으로, 제2의 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔이 성장되는데, 이 시드 원뿔은 5 밀리옴-cm 내지 약 12 밀리옴-cm, 예를 들어 5 밀리옴-cm 내지와 약 8 밀리옴-cm의 비저항을 갖는다. 그 후, 추가 n형 도펀트가 용융물에 첨가되어 제2 결정의 본체의 더 낮은 비저항을 달성한다. 따라서, 제2 단결정 실리콘 잉곳의 본체는 4 밀리옴-cm 미만, 예컨대 2 밀리옴-cm 미만, 1.7 밀리옴-cm 미만, 또는 심지어 약 1.6 밀리옴-cm 미만의 비저항을 갖는다.

[0034] 프로세스는 이러한 비저항 속성들을 갖는 추가 잉곳들을 성장시키기 위해 여러 번 반복될 수 있다.

[0035] 본 발명의 방법에 따르면, 목 부분과 목 부분에 인접한 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔에서의 5 밀리옴-cm 내지 약 12 밀리옴-cm, 예컨대 5 밀리옴-cm 내지 약 8 밀리옴-cm의 비저항을 달성하기에 충분한 농도 내에서 n형 도펀트를 첨가하는 것은 성장하는 단결정 실리콘 잉곳에서 매우 높은 공공 농도를 촉진한다. 일부 실시예들에서, 공공들은 목 부분의 지배적 고유 점 결함이다. 일부 실시예들에서, 공공들은 목 부분에 인접한 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔에서 지배적 고유 점 결함이다. 일부 실시예들에서, 공공들은 목 부분 및 목 부분에 인접한 바깥쪽으로 벌어지는 시드 원뿔의 지배적 고유 점 결함이다. 지배적 고유 점 결함으로서의 공공들은 높은 인상 속도를 채택하지 않고도 결정 표면을 향해 상승함으로써 기존 전위들의 제거를 장려한다. 저농도로 도핑된 재료에서, 높은 인상 속도와 작은 직경의 목의 조합이 종종 채택된다. 얇은 목은 열 응력을 최소화하고, 기존 전위들이 그들이 소멸될 결정 표면까지 이동하는 거리를 최소화하는 데 도움이 된다. 높은 인상 속도는 많은 공공들을 혼입하고, 결정 표면을 향한 전위 이동을 장려하는 데에 유용하다. 그러나, 고농도로 도핑된 결정들의

경우, 이 방법은 두 가지 이유로 유용하지 않다. 첫번째로, 공공 농도는 오로지 도펀트 농도의 함수가 되며, 인상 속도(또는 더 정확하게는 인상 속도와 축방향 열 기울기 사이의 V/G 비율)에 크게 의존하지 않는다. 두번째로, 높은 인상 속도는 고농도로 도핑된 용융물의 경우 본질적인 과냉각 문제의 시작을 장려하므로, 고농도로 도핑된 용융물에 대해, 인상 속도는 저농도로 도핑된 용융물과 같이 광범위한 값들에서 선택될 수 없다. 본 해법은 도펀트 농도를 통해 공공 농도를 제어하면서 목에서의 본질적인 과냉각 상태를 피하기 위해 최적화된 인상 속도 값의 선택을 허용한다. 이러한 방식으로 두 가지 문제가 분리된다.

[0036] 본 발명의 방법은 전위들이 감소되거나 제거된 단결정 실리콘 잉곳들의 형성을 가능하게 한다. 일부 실시예들에서, 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 슬라이스는 약 400 전위/㎠ 미만, 예컨대 약 100 전위/㎠ 미만, 또는 약 10 전위/㎠ 미만, 또는 심지어 1 전위/㎠ 미만을 포함한다. 일부 실시예들에서, 단결정 실리콘 잉곳의 본체의 슬라이스는 제로 전위 웨이퍼이다. 전위들은 예를 들어 잉곳으로부터 슬라이스를 제거하고 전위들을 묘사하기 위해 우선적인 에칭을 수행함으로써, 본 기술분야의 통상적인 수단에 의해 결정될 수 있다.

[0037] 예들

[0038] 본 개시내용의 프로세스는 이하의 실시예들에 의해 추가로 예시된다. 이러한 예들은 제한적인 의미로 볼 수 없다.

[0039] 복수의 단결정 실리콘 잉곳이 성장되었다. 잉곳들은 n형이었고 비소로 도핑되었다. 결정들은 5.5㎜의 목 직경 및 40㎜의 목 길이로 성장했다. 결정 회전 속도는 11rpm이었고, 도가니 회전 속도는 8rpm이었다. 용융물 질량은 60㎏이었다. 목 부분들 및 크라운들의 비저항은 5 밀리옴-㎝ 미만 및 초과의 값들로 다양했다. 그런 다음, 본체 부분의 전위들이 측정되었다. 결과들은 도 4에 도시되어 있다. 비저항이 4.5mΩ·㎝ 미만인 모든 시도는 크라운 제로 전위 손실(LZD)과 잉곳 본체 내의 전위들을 초래한 반면, 비저항이 5.5mΩ·㎝ 이상인 시도들은 단결정 실리콘 잉곳의 크라운 및 본체에서 제로 전위 성장을 달성하는 데 성공했다.

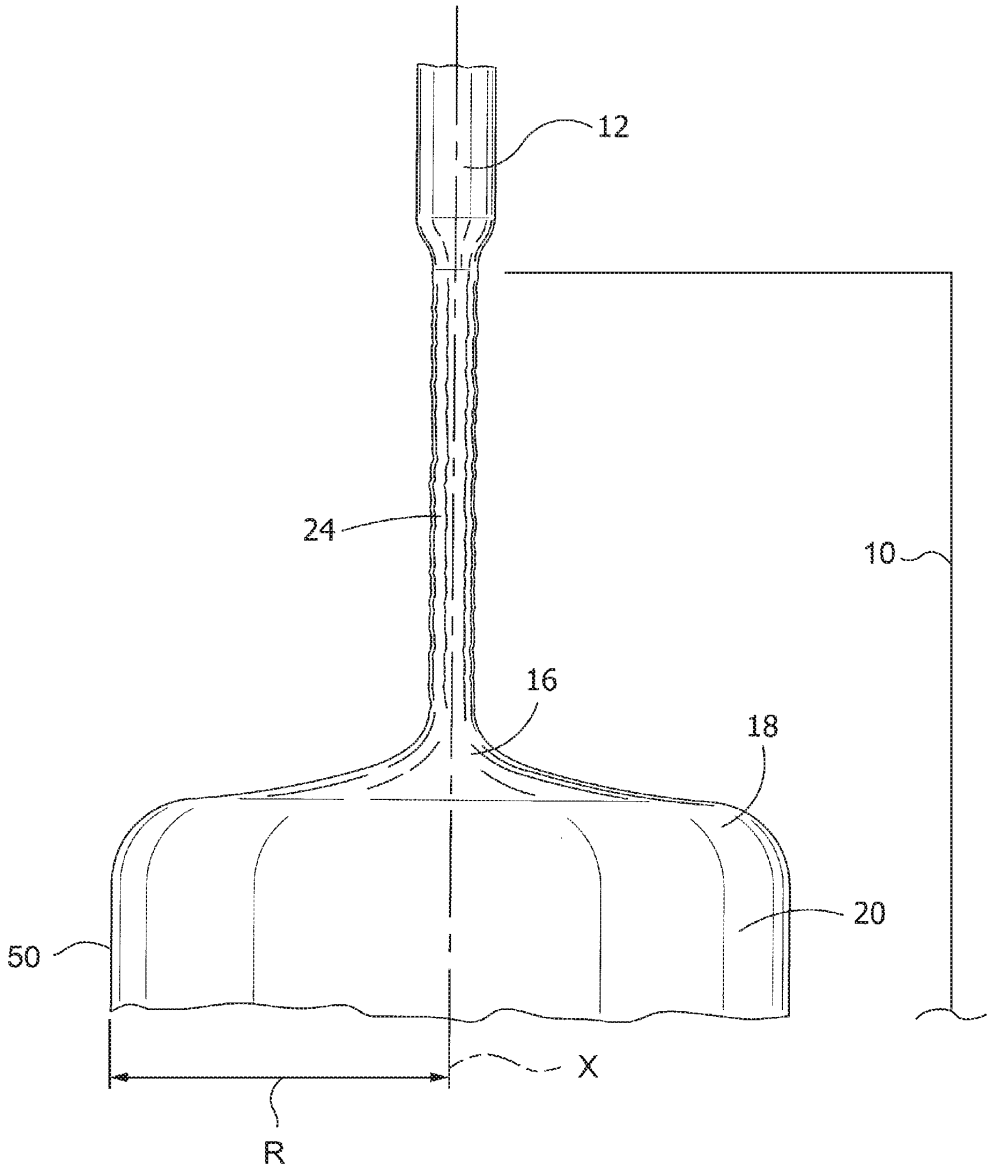
[0040] 본 명세서에 사용될 때, 용어 "약", "실질적으로", "본질적으로" 및 "대략"은 치수들, 농도들, 온도들, 또는 다른 물리적 또는 화학적 속성들 또는 특성들의 범위들과 함께 사용될 때, 예를 들어 반올림, 측정 방법론, 또는 다른 통계적 변동에 기인하는 변동들을 포함하여 속성들 또는 특성들의 범위의 상한 및/또는 하한에 존재할 수 있는 변동들을 포함하도록 의도된다.

[0041] 본 개시내용 및 그 실시예(들)의 요소들을 소개할 때, 단수 표현(관사 "a", "an", "the" 및 "상기(said)")은 하나 이상의 그러한 요소가 존재함을 의미하는 것으로 의도된다. 용어 "포함하는(comprising, including)", "함유하는" 및 "갖는"은 포괄적인 것으로 의도되고, 나열된 요소들 이외의 추가 요소들이 존재할 수 있음을 의미한다. 특정 배향(예를 들어, "위쪽", "아래쪽", "측면" 등)을 나타내는 용어들의 사용은 설명의 편의를 위한 것이며, 설명된 항목의 임의의 특정 배향을 요구하지 않는다.

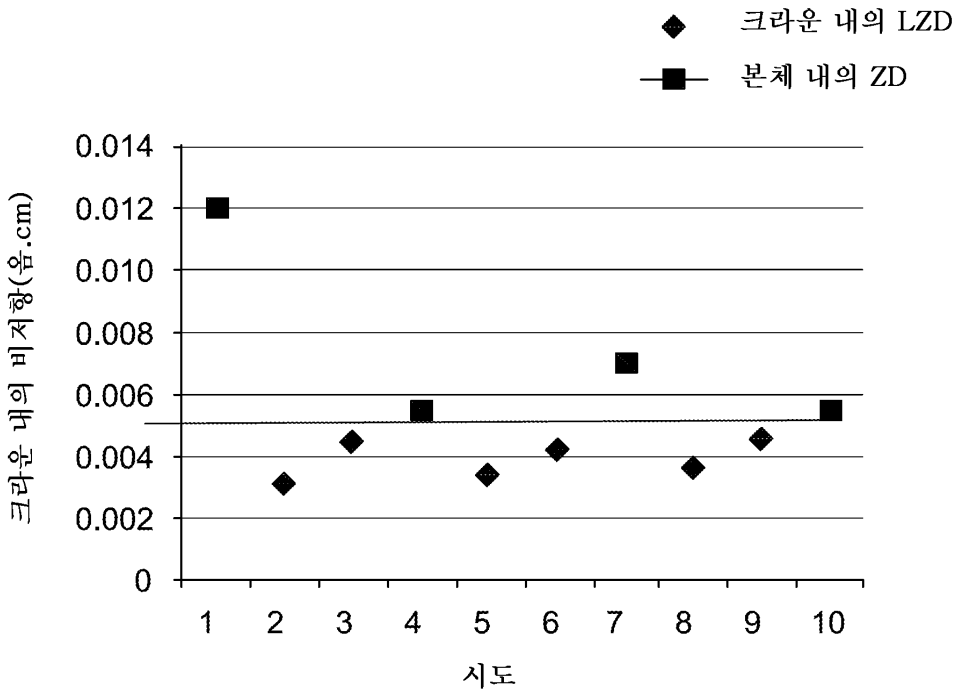
[0042] 본 개시내용의 범위를 벗어나지 않고서 상기 구성들 및 방법들에서 다양한 변경이 이루어질 수 있으므로, 상기 설명에 포함되고 첨부된 도면(들)에 도시된 모든 사항은 제한적인 의미가 아니라 예시적인 것으로 해석되어야 한다.

도면

도면1



도면2


크라운 내의 LZD
본체 내의 ZD
크라운 내의 비저항(옴.cm)
0.014
0.012
0.010
0.008
0.006
0.004
0.002
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
시도