(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。Int. Cl.
H01L 21/322 (2006.01)

(45) 공고일자 2007년08월01일
(11) 등록번호 10-0745308
(24) 등록일자 2007년07월26일

(21) 출원번호 10-2004-7009764
(22) 출원일자 2004년06월19일
심사청구일자 2005년02월03일
번역문 제출일자 2004년06월19일
(86) 국제출원번호 PCT/US2002/041269
국제출원일자 2002년12월23일
(65) 공개번호 10-2004-0076872
(43) 공개일자 2004년09월03일
(87) 국제공개번호 WO 2003/060982
국제공개일자 2003년07월24일

(30) 우선권주장 60/345,178 2001년12월21일 미국(US)

(73) 특허권자
엠이엠씨 일렉트로닉 머티리얼즈 인코포레이티드
미국 미주리주 63376 세인트 피터즈 피 오 박스 8 펄 드라이브 501

(72) 발명자
루시아노,물레',스타그노
미국 63376 미주리주 세인트 피터즈 메일 존 엠제트 33 피. 오. 박스8 펄 드라이브 501 엠이엠씨 일렉트로닉 머티리얼즈 인코포레이티드내

리버트,제프리,엘.
미국 63376 미주리주 세인트 피터즈 메일 존 엠제트 33 피. 오. 박스8 펄 드라이브 501 엠이엠씨 일렉트로닉 머티리얼즈 인코포레이티드내

필립스,리차드,제이.
미국 63376 미주리주 세인트 피터즈 메일 존 엠제트 33 피. 오. 박스8 펄 드라이브 501 엠이엠씨 일렉트로닉 머티리얼즈 인코포레이티드내

쿨카르니,밀린드
미국 63376 미주리주 세인트 피터즈 메일 존 엠제트 33 피. 오. 박스8 펄 드라이브 501 엠이엠씨 일렉트로닉 머티리얼즈 인코포레이티드내

바난,모흐센
미국 63376 미주리주 세인트 피터즈 메일 존 엠제트 33 피. 오. 박스8 펄 드라이브 501 엠이엠씨 일렉트로닉 머티리얼즈 인코포레이티드내

브런크호르스트,스테판,제이.
미국 63376 미주리주 세인트 피터즈 메일 존 엠제트 33 피. 오. 박스8 펄 드라이브 501 엠이엠씨 일렉트로닉 머티리얼즈 인코포레이티드내

(74) 대리인
백만기
이중희
주성민

(56) 선행기술조사문헌
WO 98030348
EP 0942078 A
US 2001/030348 A1

심사관 : 김종희

전체 청구항 수 : 총 43 항

(54) 질소/탄소 안정화된 산소 침전물 핵형성 중심을 가진이상적인 산소 침전 실리콘 웨이퍼 및 그 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 전면으로부터 내측으로 연장하는 디누드 구역 및 고유의 게터링 목적을 위해 충분한 웨이퍼 벌크가 궁극적으로 형성되도록 산소 침전물 행동이 제어된 실리콘 웨이퍼를 제공한다. 구체적으로, 산소 침전물을 형성하기 전에, 웨이퍼 벌크는 도펀트 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심을 포함한다. 도펀트는 질소와 탄소를 포함하는 그룹으로부터 선택되고, 도펀트의 농도는 산소 침전물 핵 형성 중심이 임의의 성장된 핵 형성 중심을 용해하는 능력을 유지하면서 에피택셜 증착 처리와 같은 열적 처리를 견딜 수 있도록 충분한 값을 갖는다.

대표도

도 1

특허청구의 범위

청구항 1.

하나의 주요면이 웨이퍼의 전면이 되고 다른 하나의 주요면이 웨이퍼의 후면이 되는 대략 평행한 2개의 주요면과, 상기 전면과 후면 사이의 중앙면과, 상기 전면과 후면을 결합하는 주변 에지를 구비하는 단결정 실리콘 웨이퍼에 있어서,

질소와 탄소로 이루어진 그룹으로부터 선택된 도펀트-상기 도펀트의 농도는 웨이퍼가 제1 온도(T_1)로부터 제2 온도(T_2)로 소정의 속도(R)로 냉각될 때 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심의 형성을 촉진하기에 충분한 농도이고, 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심은 1150℃ 미만의 온도에서는 용해될 수 없지만 1150℃ 내지 1300℃ 사이의 온도에서는 용해될 수 있는 것이며, T_1은 1150℃ 내지 1300℃ 사이의 값을 갖고, T_2는 결정 격자 베이컨시가 실리콘 내에서 비교적 비이동적인 온도이며, R은 적어도 5℃/초임-와;

상기 전면과 이 전면으로부터 중앙면쪽으로 측정된 거리 D 사이의 웨이퍼의 영역을 포함한 표면층-이 표면층에는 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심이 없음-과;

상기 중앙면과 표면층 사이의 제2 웨이퍼 영역을 포함하는 벌크층-이 벌크층은 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심을 포함하는 것임-을 포함하는 단결정 실리콘 웨이퍼.

청구항 2.

제1항에 있어서, 상기 도펀트는 질소이고, 질소의 농도는 1×10^{12} 원자/㎤ 내지 5×10^{14} 원자/㎤ 의 값을 갖는 단결정 실리콘 웨이퍼.

청구항 3.

제1항에 있어서, 상기 도펀트는 질소이고, 웨이퍼에서 질소의 농도는 1×10^{12} 원자/㎤ 내지 1×10^{13} 원자/㎤ 의 값을 갖는 단결정 실리콘 웨이퍼.

청구항 4.

제1항에 있어서, 상기 도펀트는 탄소이고, 탄소의 농도는 1×10^{16} 원자/㎤ 내지 4×10^{17} 원자/㎤ 의 값을 갖는 단결정 실리콘 웨이퍼.

청구항 5.

제1항에 있어서, 상기 도펀트는 탄소이고, 웨이퍼에서 탄소의 농도는 1.5×10^{16} 원자/㎤ 내지 3×10^{17} 원자/㎤ 의 값을 갖는 단결정 실리콘 웨이퍼.

청구항 6.

제1항에 있어서, 상기 벌크층에서 상기 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심은 최고 밀도가 상기 중앙면 또는 그 부근에 있고 웨이퍼의 전면 방향으로 갈수록 대체로 감소하는 농도 프로파일을 갖는 단결정 실리콘 웨이퍼.

청구항 7.

제1항에 있어서, 상기 벌크층에서 상기 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심은 최고 밀도가 대략 상기 중앙면과 상기 표면층 사이의 소정 지점에 있는 농도 프로파일을 갖는 단결정 실리콘 웨이퍼.

청구항 8.

제1항에 있어서, D는 적어도 10 마이크로미터인 단결정 실리콘 웨이퍼.

청구항 9.

제1항에 있어서, D는 적어도 20 마이크로미터인 단결정 실리콘 웨이퍼.

청구항 10.

제1항에 있어서, D는 적어도 50 마이크로미터인 단결정 실리콘 웨이퍼.

청구항 11.

제1항에 있어서, D는 적어도 30 마이크로미터와 100 마이크로미터 사이인 단결정 실리콘 웨이퍼.

청구항 12.

제1항에 있어서, 상기 웨이퍼는 웨이퍼의 적어도 하나의 표면상에 에피택셜층을 포함하는 단결정 실리콘 웨이퍼.

청구항 13.

제1항에 있어서, T_1은 적어도 1150℃인 단결정 실리콘 웨이퍼.

청구항 14.

제1항에 있어서, T_1은 1200℃와 1300℃ 사이인 단결정 실리콘 웨이퍼.

청구항 15.

제1항에 있어서, R은 적어도 10℃/초인 단결정 실리콘 웨이퍼.

청구항 16.

제1항에 있어서, R은 적어도 20℃/초인 단결정 실리콘 웨이퍼.

청구항 17.

제1항에 있어서, R은 적어도 50℃/초인 단결정 실리콘 웨이퍼.

청구항 18.

삭제

청구항 19.

실리콘 온 인슐레이터 구조에 있어서,

하나의 주요면이 웨이퍼의 전면이 되고 다른 하나의 주요면이 웨이퍼의 후면이 되는 대략 평행한 2개의 주요면, 상기 전면과 후면 사이의 중앙면, 상기 전면과 후면을 결합하는 주변 에지, 질소와 탄소로 이루어진 그룹으로부터 선택된 도펀트 - 상기 도펀트의 농도는 상기 웨이퍼가 제1 온도(T_1)로부터 제2 온도(T_2)로 소정의 속도(R)로 냉각될 때 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심의 형성을 촉진하기에 충분한 농도를 갖고, 상기 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심은 1150℃ 미만의 온도에서는 용해될 수 없지만 1150℃ 내지 1300℃ 사이의 온도에서는 용해될 수 있으며, T_1은 1150℃ 내지 1300℃ 사이의 값을 갖고, T_2는 결정 격자 베이컨시가 실리콘 내에서 비교적 비이동적인 온도이며, R은 적어도 5℃/초임 - , 전면과 이 전면으로부터 중앙면쪽으로 측정된 거리 D 사이의 웨이퍼 영역을 포함한 표면층 - 이 표면층에는 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심이 없음 - , 및 중앙면과 표면층 사이의 제2 웨이퍼 영역을 포함한 벌크층 - 상기 벌크층은 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심을 포함함-을 포함하는 단결정 실리콘 핸들 웨이퍼와;

단결정 실리콘 소자층과;

핸들 웨이퍼와 소자층 사이의 절연층

을 포함하는 실리콘 온 인슐레이터 구조.

청구항 20.

제어된 산소 침전 양태를 갖는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법에 있어서,

초크랄스키법으로 성장된 단결정 실리콘 잉곳으로부터 슬라이스되고, 전면, 후면, 전면과 후면 사이의 중앙면, 전면과 상기 전면으로부터 중앙면쪽으로 측정된 거리 D 사이의 웨이퍼 영역을 포함하는 전면층, 중앙면과 상기 전면층 사이에 웨이퍼 영역을 포함하는 벌크층, 및 질소와 탄소로 이루어진 그룹으로부터 선택된 도펀트- 상기 도펀트의 농도는 웨이퍼가 제1 온도(T_1)로부터 제2 온도(T_2)로 소정의 속도(R)로 냉각될 때 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심의 형성을 촉진하기에 충분한 농도를 가지며, 상기 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심은 1150℃ 미만의 온도에서는 용해될 수 없지만 1150℃ 내지 1300℃ 사이의 온도에서는 용해될 수 있고, T_1은 1150℃ 내지 1300℃ 사이의 값을 갖고, T_2는 결정 격자 베이컨시가 실리콘 내에서 비교적 비이동적인 온도이며, R은 적어도 5℃/초임-를 포함하는 웨이퍼를 선택하는 단계와;

상기 전면층과 상기 벌크층에 결정 격자 베이컨시를 형성하기 위해 적어도 1150℃의 온도로 상기 웨이퍼를 가열하는 단계와;

상기 웨이퍼에 베이컨시 농도 프로파일을 형성하기 위하여 상기 가열된 웨이퍼를 소정의 속도로 냉각시키는 단계 - 상기 베이컨시 농도 프로파일에서 상기 베이컨시의 최고 밀도는 상기 벌크층 내에 존재하고, 상기 농도는 최고 밀도의 위치로부터 상기 웨이퍼의 전면 방향으로 갈수록 대체로 감소하며, 상기 전면층과 상기 벌크층 내의 베이컨시 농도의 차이는 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심이 상기 전면층에는 형성되지 않고 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심이 상기 벌크층에서는 형성되는 정도의 크기를 가짐 - 와;

상기 웨이퍼가 냉각될 때 상기 벌크층에 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심을 형성하는 단계 - 상기 벌크층에서 상기 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심의 농도는 주로 베이컨시의 농도에 의존함-

를 포함하는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 21.

제20항에 있어서, 상기 도펀트는 질소이고, 상기 웨이퍼에서 질소의 농도는 1×10^{12} 원자/㎤ 내지 5×10^{14} 원자/㎤ 의 값을 갖는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 22.

제20항에 있어서, 상기 도펀트는 질소이고, 상기 웨이퍼에서 질소의 농도는 1×10^{12} 원자/㎤ 내지 1×10^{13} 원자/㎤ 의 값을 갖는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 23.

제20항에 있어서, 상기 도펀트는 탄소이고, 상기 웨이퍼에서 탄소의 농도는 1×10^{16} 원자/㎤ 내지 4×10^{17} 원자/㎤ 의 값을 갖는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 24.

제20항에 있어서, 상기 도펀트는 탄소이고, 상기 웨이퍼에서 탄소의 농도는 1.5×10^{16} 원자/㎤ 내지 3×10^{17} 원자/㎤ 의 값을 갖는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 25.

제20항에 있어서, 상기 웨이퍼는 적어도 1175℃의 온도로 가열되는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 26.

제20항에 있어서, 상기 웨이퍼는 적어도 1200℃의 온도로 가열되는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 27.

제20항에 있어서, 상기 웨이퍼는 1200℃와 1275℃ 사이의 온도로 가열되는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 28.

제20항에 있어서, 상기 웨이퍼는 가열되는 동안 분위기에 노출되는데, 상기 분위기는 아르곤, 헬륨, 네온, 이산화탄소, 및 질소 또는 질소 함유 가스로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 가스를 포함하는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 29.

제28항에 있어서, 상기 분위기는 아르곤을 포함하는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 30.

제28항에 있어서, 상기 분위기는 질소 또는 질소 함유 가스를 포함하는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 31.

제28항에 있어서, 상기 분위기는 아르곤과 질소 또는 질소 함유 가스를 포함하는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 32.

제28항에 있어서, 상기 분위기는 0.01 atm 이하의 산소 부분압을 포함하는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 33.

제28항에 있어서, 상기 분위기는 0.005 atm 이하의 산소 부분압을 포함하는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 34.

제28항에 있어서, 상기 분위기는 0.002 atm 이하의 산소 부분압을 포함하는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 35.

제28항에 있어서, 상기 분위기는 0.001 atm 이하의 산소 부분압을 포함하는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 36.

제28항에 있어서, 상기 분위기는 0.0001 atm과 0.01 atm 사이의 산소 부분압을 포함하는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 37.

제28항에 있어서, 상기 분위기는 0.0002 atm과 0.001 atm 사이의 산소 부분압을 포함하는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 38.

제20항에 있어서, 상기 웨이퍼의 상기 전면은 가열되는 동안 제1 분위기에 노출되는데, 상기 제1 분위기는 아르곤, 헬륨, 네온, 이산화탄소, 및 질소 또는 질소 함유 가스로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 가스를 포함하고, 상기 웨이퍼의 상기 후면은 가열되는 동안 제2 분위기에 노출되는데, 상기 제2 분위기는 아르곤, 헬륨, 네온, 이산화탄소, 및 질소 또는 질소 함유 가스로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 가스를 포함하며, 상기 제1 분위기와 상기 제2 분위기는 공통되지 않는 적어도 하나의 가스를 갖는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 39.

제20항에 있어서, 결정 격자 베이컨시를 형성하기 위해 열처리를 행하기 전에, 상기 웨이퍼는 결정 격자 베이컨시에 대한 싱크(sink)로서 기능할 수 있는 피상 이산화 실리콘층을 형성하기 위해 산소 함유 분위기에서 적어도 700℃의 온도로 가열되는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 40.

제20항에 있어서, 상기 냉각 속도는 결정 격자 베이컨시가 실리콘에서 비교적 이동적인 온도 범위에서 적어도 5℃/초인 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 41.

제20항에 있어서, 상기 냉각 속도는 결정 격자 베이컨시가 실리콘에서 비교적 이동적인 온도 범위에서 적어도 20℃/초인 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 42.

제20항에 있어서, 상기 냉각 속도는 결정 격자 베이컨시가 실리콘에서 비교적 이동적인 온도 범위에서 적어도 50℃/초인 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 43.

제20항에 있어서, 상기 냉각 속도는 결정 격자 베이컨시가 실리콘에서 비교적 이동적인 온도 범위에서 적어도 100℃/초인 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 44.

제20항에 있어서, 상기 벌크층에 상기 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심이 형성된 후에, 상기 웨이퍼의 적어도 하나의 표면상에 에피택셜층을 증착하는 단계를 더 포함하는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 45.

삭제

명세서

기술분야

본 발명은 일반적으로 전자 부품의 제조시에 사용되는 반도체 재료 기판, 특히 실리콘 웨이퍼의 제조에 관한 것이다. 더 구체적으로, 본 발명은 본질적으로 임의의 전자 소자 제조 방법의 열처리 사이클 중에, 웨이퍼에 이상적이고 깊이 분포가 균일하지 않은 산소 침전물을 형성할 수 있게 하는 실리콘 웨이퍼의 처리 방법에 관한 것이다.

배경기술

반도체 전자 부품의 대부분의 제조 과정에서 출발 물질인 단결정 실리콘은 단결정 시드를 용융 실리콘에 담근 다음 저속 추출에 의해 성장시키는 소위 초크랄스키법(Czochralski precess)에 의해 통상적으로 제조된다. 용융 실리콘이 석영 도가니(quartz crucible)에 담겨 있을 때, 그 용융 실리콘은 각종 불순물(주로 산소)에 의해 오염된다. 용융된 실리콘 덩어리의 온도에서, 산소는, 용융 덩어리의 온도에서의 실리콘 내의 산소 용해도 및 고화된 실리콘에서의 산소의 실제 분리 계수(segregation coefficient)에 의해 결정된 농도에 도달할 때까지, 결정 격자로 유입된다. 이 농도는 전자 소자 제조 과정의 전형적인 온도에서의 고체 실리콘 내의 산소 용해도보다 더 크다. 그러므로, 결정이 용융 덩어리로부터 성장하고 냉각될 때, 그 내부에서의 산소 용해도는 급속하게 감소하고, 그 결과 슬라이스 또는 웨이퍼 내에 산소는 과포화 농도로 존재한다.

전자 소자의 제조시에 전형적으로 사용되는 열처리 사이클은 산소가 과포화된 실리콘 웨이퍼에서 산소의 침전(precipitation)을 야기할 수 있다. 웨이퍼 내에서 침전물은 그들의 위치에 따라 유해할 수도, 유익할 수도 있다. 웨이퍼의 능동 소자 영역에 위치한 산소 침전물은 소자의 동작을 나쁘게 할 수 있다. 그러나, 웨이퍼의 벌크(bulk)에 위치된 산소 침전물은 웨이퍼와 접촉할 수 있는 바람직하지 않은 금속 불순물을 트래핑할 수 있다. 웨이퍼의 벌크에 위치된 산소 침전물을 사용하여 금속을 트래핑하는 것을 일반적으로 내부(internal) 또는 고유 게터링(intrinsic gettering; "IG")이라고 부른다.

역사적으로, 전자 소자 제조 방법은 웨이퍼의 표면 부근에 산소 침전물이 없는 구역 또는 영역(일반적으로 "디누드 구역"(denuded zone) 또는 "무침전 구역"이라고 부름)을 가지며 웨이퍼의 나머지, 즉 웨이퍼 벌크는 IG 목적으로 충분한 수의 산소 침전물을 함유하는 실리콘을 생성하도록 설계된 일련의 단계들을 포함하였다. 디누드 구역은, 예를 들면, (a) 적어도 약 4시간 동안 불활성 분위기에서 고온(1100℃ 이상)으로 산소 외부 확산(out-diffusion) 열처리를 행하고, (b) 저온(600-750℃)에서 산소 침전물 핵 형성을 행하고, (c) 고온(1000-1150℃)에서 산소(SiO_2) 침전물의 성장을 행하는 것과 같이, 고온-저온-고온의 가열 순서로 형성될 수 있다. 이것에 대해서는 예를 들면, 미국 캘리포니아 샌디에고에 소재하는 아카데믹 프레스 인코포레이티드의 F. Shimura의 Semiconductor Silicon Crystal Technology(1989)의 361-367 페이지 및 이 문서에서 인용하고 있는 참조 문헌들을 참고할 수 있다.

그러나, 더욱 최근에는, DRAM 제조 공정과 같은 진보된 전자 소자 제조 공정이 고온 처리 단계들의 사용을 최소화하기 시작하였다. 비록, 이러한 공정들의 일부는 디누드 구역 및 충분한 벌크 침전물 농도를 생성하기 위해 충분한 고온 처리 단계

들을 유지하고 있지만, 물질의 허용도(tolerance)는 너무 엄격하여 상업적으로 의미있는 제품을 제공할 수 없다. 현재 고도로 진보된 다른 전자 소자 제조 공정은 외부 확산 단계를 전혀 포함하지 않는다. 그러므로, 능동 소자 영역에서 산소 침전물과 관련된 문제점들 때문에, 이러한 전자 소자 제조자들은 그들의 처리 조건하에서 웨이퍼의 어디에서도 산소 침전물을 형성할 수 없는 실리콘 웨이퍼를 사용해야 한다. 그 결과, 모든 IG 잠재성이 없어진다.

발명의 상세한 설명

그러므로, 본 발명의 목적들 중에는, 본질적으로 임의의 전자 소자 제조 공정의 열처리 사이클 중에, 이상적인 불균일한 깊이 분포의 산소 침전물을 형성하는 단결정 실리콘 웨이퍼를 제공하는 것; 충분한 깊이의 디누드 구역 및 웨이퍼 벌크에 충분한 밀도의 산소 침전물을 최적으로 그리고 재현가능하게 형성하는 단결정 실리콘 웨이퍼를 제공하는 것; 디누드 구역의 형성 및 웨이퍼 벌크에서의 산소 침전물의 형성이 웨이퍼의 이들 영역에서의 산소 농도차에 의존하지 않는 단결정 실리콘 웨이퍼를 제공하는 것; 결과적인 디누드 구역의 두께가 집적회로 제조 공정 순서의 상세와 본질적으로 무관한 단결정 실리콘 웨이퍼를 제공하는 것; 디누드 구역의 형성 및 웨이퍼 벌크에서의 산소 침전물의 형성이 실리콘 웨이퍼가 슬라이스되는 초크랄스키법으로 성장된 단결정 실리콘 잉곳(ingot)의 열이력(thermal history) 및 산소 농도에 의해 영향을 받지 않는 단결정 실리콘 웨이퍼를 제공하는 것; 디누드 구역의 형성이 산소의 외부 확산에 의존하지 않는 공정을 제공하는 것; 및 디누드 구역의 형성을 방해하지 않고 후속되는 급속한 열처리를 견딜 수 있도록 산소 침전물 핵 형성 중심(oxygen precipitate necleation center)을 안정화시키기 위하여 실리콘이 질소 및/또는 탄소로 충분한 농도로 도핑되는 공정을 제공하는 것이 있다.

그러므로, 간단하게, 본 발명은 하나의 주요면(major surface)이 웨이퍼의 전면이 되고 다른 하나의 주요면이 웨이퍼의 후면이 되는 대략 평행한 2개의 주요면과, 상기 전면과 후면 사이의 중앙면과, 상기 전면과 후면을 결합하는 주변 에지를 구비하는 단결정 실리콘 웨이퍼에 관한 것이다. 웨이퍼는 질소와 탄소로 이루어진 그룹으로부터 선택된 도펀트를 또한 포함하는데, 상기 도펀트의 농도는, 웨이퍼가 제1 온도(T_1)로부터 제2 온도(T_2)로 소정의 속도(R)로 냉각될 때, 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심의 형성을 촉진하기에 충분하다. 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심은 약 1150℃ 미만의 온도에서는 용해될 수 없지만 약 1150℃ 내지 약 1300℃ 사이의 온도에서는 용해될 수 있다. T_1은 약 1150℃ 내지 약 1300℃ 사이의 값을 갖는다. T_2는 결정 격자 베이컨시(vacancy)가 실리콘 내에서 비교적 비이동적인 온도이다. R은 적어도 약 5℃/초이다. 웨이퍼는, 전면과 이 전면으로부터 중앙면쪽으로 측정된 거리 D 사이의 웨이퍼의 영역을 포함하는 표면층을 또한 포함하는데, 이 표면층에는 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심이 없다. 또한, 웨이퍼는 중앙면과 표면층 사이의 제2 웨이퍼 영역을 포함하는 벌크층을 포함하는데, 이 벌크층은 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심을 포함한다.

본 발명은 또한, 하나의 주요면이 웨이퍼의 전면이 되고 다른 하나의 주요면이 웨이퍼의 후면이 되는 대략 평행한 2개의 주요면과, 상기 전면과 후면 사이의 중앙면과, 상기 전면과 후면을 결합하는 주변 에지를 구비하는 단결정 실리콘 웨이퍼에 관한 것이다. 웨이퍼는 질소와 탄소로 이루어진 그룹으로부터 선택된 도펀트를 포함한다. 질소가 도펀트일 때, 질소의 농도는 약 1×10^{12} 원자/㎤ 내지 약 5×10^{14} 원자/㎤ 의 값을 갖는다. 탄소가 도펀트일 때, 탄소의 농도는 약 1×10^{16} 원자/㎤ 내지 약 4×10^{17} 원자/㎤ 의 값을 갖는다. 웨이퍼는 전면과 이 전면으로부터 중앙면쪽으로 측정된 거리 D 사이의 웨이퍼의 영역을 포함한 표면층을 또한 포함하는데, 이 표면층에는 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심이 없다. 추가적으로, 웨이퍼는 중앙면과 표면층 사이의 제2 웨이퍼 영역을 포함하는 벌크층을 포함하는데, 이 벌크층은 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심을 포함한다.

다른 실시예에서, 본 발명은 단결정 핸들 웨이퍼, 단결정 실리콘 소자층, 및 상기 핸들 웨이퍼와 소자층 사이의 절연층을 포함하는 실리콘 온 인슐레이터(silicon on insulator; SOI) 구조에 대한 것이다. 단결정 실리콘 핸들 웨이퍼는 하나의 주요면이 웨이퍼의 전면이 되고 다른 하나의 주요면이 웨이퍼의 후면이 되는 대략 평행한 2개의 주요면과, 상기 전면과 후면 사이의 중앙면과, 상기 전면과 후면을 결합하는 주변 에지를 포함한다. 핸들 웨이퍼는 질소와 탄소로 이루어진 그룹으로부터 선택된 도펀트를 또한 포함하는데, 상기 도펀트의 농도는, 웨이퍼가 제1 온도(T_1)로부터 제2 온도(T_2)로 소정의 속도(R)로 냉각될 때, 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심의 형성을 촉진하기에 충분한 농도를 갖는다. 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심은 약 1150℃ 미만의 온도에서는 용해될 수 없지만 약 1150℃ 내지 약 1300℃ 사이의 온도에서는 용해될 수 있다. T_1은 약 1150℃ 내지 약 1300℃ 사이의 값을 갖는다. T_2는 결정 격자 베이컨시가 실리콘 내에서 비교적 비이동적인 정도의 온도이다. R은 적어도 약 5℃/초이다. 핸들 웨이퍼는 전면과 이 전면으로부터 중앙면쪽으로 측정된 거리 D 사이의 웨이퍼의 영역을 포함한 표면층을 또한 포함하는데, 이 표면층에는 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심이 없다. 또한, 핸들 웨이퍼는 중앙면과 표면층 사이의 제2 웨이퍼 영역을 포함하는 벌크층을 포함하는데, 이 벌크층은 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심을 포함한다.

본 발명은 또한 제어된 산소 침전 양태를 가진 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법에 대한 것이다. 이 방법은, 초크랄스키법으로 성장된 단결정 실리콘 잉곳으로부터 슬라이스되고, 전면, 후면, 전면과 후면 사이의 중앙면, 전면과 이 전면으로부터 중앙면쪽으로 측정된 거리 D 사이의 웨이퍼 영역을 포함하는 전면층, 및 중앙면과 상기 전면층 사이의 웨이퍼 영역을 포함하는 벌크층을 포함하는 웨이퍼를 선택하는 단계를 포함한다. 웨이퍼는 질소와 탄소로 이루어진 그룹으로부터 선택된 도펀트를 또한 포함하는데, 상기 도펀트의 농도는, 웨이퍼가 제1 온도(T_1)로부터 제2 온도(T_2)로 소정의 속도(R)로 냉각될 때, 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심의 형성을 촉진하기에 충분하다. 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심은 약 1150℃ 미만의 온도에서는 용해될 수 없지만 약 1150℃ 내지 약 1300℃ 사이의 온도에서는 용해될 수 있다. T_1은 약 1150℃ 내지 약 1300℃ 사이의 값을 갖는다. T_2는 결정 격자 베이컨시가 실리콘 내에서 비교적 비이동적인 온도이다. R은 적어도 약 5℃/초이다. 상기 방법은 전면층과 벌크층에 결정 격자 베이컨시를 형성하기 위해 적어도 약 1150℃의 온도로 웨이퍼를 가열하는 단계와, 웨이퍼에서 베이컨시 농도 프로파일을 형성하기 위하여 상기 가열된 웨이퍼를 소정의 속도로 냉각시키는 단계를 포함하는데, 상기 베이컨시의 최고 밀도는 벌크층 내에 존재하고, 최고 밀도의 위치로부터 웨이퍼의 전면 방향으로 갈수록 농도는 대체로 감소하며, 전면층과 벌크층 내의 베이컨시 농도의 차이는 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심이 전면층에서는 형성되지 않고 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심이 벌크층에서는 형성되는 정도이다. 또한, 상기 방법은 웨이퍼가 냉각될 때 벌크층에 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심을 형성하는 단계를 포함하는데, 벌크층에서 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심의 농도는 주로 베이컨시의 농도에 의존한다.

또다른 실시예에서, 본 발명은 제어된 산소 침전 양태를 갖는 단결정 실리콘 웨이퍼의 제조 방법에 대한 것이다. 이 방법은, 초크랄스키법으로 성장된 단결정 실리콘 잉곳으로부터 슬라이스되고, 전면, 후면, 전면과 후면 사이의 중앙면, 전면과 이 전면으로부터 중앙면쪽으로 측정된 거리 D 사이의 웨이퍼 영역을 포함하는 전면층, 및 중앙면과 상기 전면층 사이의 웨이퍼 영역을 포함한 벌크층을 포함하는 웨이퍼를 선택하는 단계를 포함한다. 웨이퍼는 질소와 탄소로 이루어진 그룹으로부터 선택된 도펀트를 또한 포함한다. 질소가 도펀트일 때, 질소의 농도는 약 1×10^{12} 원자/㎤ 내지 약 5×10^{14} 원자/㎤ 의 값을 갖는다. 탄소가 도펀트일 때, 탄소의 농도는 약 1×10^{16} 원자/㎤ 내지 약 4×10^{17} 원자/㎤ 의 값을 갖는다. 상기 방법은 전면층과 벌크층에 결정 격자 베이컨시를 형성하기 위해 웨이퍼를 열처리하는 단계를 포함한다. 열처리된 웨이퍼는 웨이퍼에 베이컨시 농도 프로파일 - 상기 베이컨시의 최고 밀도는 벌크층 내에 존재하고, 그 농도는 최고 밀도의 위치로부터 웨이퍼의 전면 방향으로 갈수록 대체로 감소하며, 전면층과 벌크층 내의 베이컨시 농도 차이는 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심이 전면층에는 형성되지 않고 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심이 벌크층에는 형성되는 정도임 - 을 형성하는 속도로 냉각된다. 추가적으로, 상기 열처리된 웨이퍼가 냉각될 때, 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심이 벌크층에 형성되고, 벌크층에서 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심의 농도는 주로 베이컨시의 농도에 의존한다.

본 발명의 다른 목적 및 특징들은 이하에서 부분적으로는 명백하게 되고 부분적으로는 제시될 것이다.

실시예

본 발명에 따라서, 본질적으로 임의의 전자 소자 제조 공정 중에, IG 목적으로 충분한 깊이의 디누드 구역 및 충분한 밀도의 산소 침전물을 포함한 웨이퍼 벌크를 형성하는 이상적인 침전 웨이퍼가 발견되었다. 유익하게도, 이 이상적인 침전 웨이퍼는 반도체 실리콘 제조 산업에서 통상적으로 사용되는 도구(tool)들을 이용하여 수 분 내에 제조될 수 있다. 이 공정은 산소가 궁극적으로 침전하는 방식을 결정 또는 "프린트"하는 "템플릿"을 실리콘에 생성한다. 본 발명에 따라, 이 템플릿은 중간의 열적 안정화 어닐링 단계 없이도 후속되는 급속 열처리(즉, 에피택셜 증착 및/또는 산소 주입)에 견딜수 있도록 안정화된다.

A. 출발 물질

본 발명의 이상적인 침전 웨이퍼의 출발 물질은 도펀트로서 질소 및/또는 탄소를 포함한 단결정 실리콘 웨이퍼이다. 도펀트의 농도는 다음의 2가지의 바람직한 특성을 갖도록 선택된다: i) 산소가 이상적인 템플릿에 따라 궁극적으로 침전하도록 출발 웨이퍼에서 임의의 산소 침전 핵 형성 중심을 용해하는 능력(즉, 디누드 구역은 산소 침전물이 없고, 웨이퍼 벌크의 고유 게터링 영역은 산소 침전물을 포함한다), 및 ii) 핵 형성 중심이 에피택셜 증착과 같은 후속되는 급속 열처리 동안에 용해하지 않고, 이미 설치된 침전 템플릿을 소거하지 않도록 본 발명의 공정 중에 충분히 크고 안정적인 산소 침전물 핵 형성 중심을 성장시키는 능력을 제공하도록 선택된다. 디누드 구역을 형성하는 능력을 유지하면서 안정화의 잇점을 실현하기 위해, 실리콘에서 도펀트의 농도는 전형적으로 약 1×10^{12} 원자/㎤(약 0.00002 ppma) 내지 약 1×10^{15} 원자/㎤(약 0.002 ppma) 사이의 값을 갖는다. 본 발명의 다른 실시예에서, 질소의 농도는 약 1×10^{12} 원자/㎤ 내지 약 1×10^{13} 원자/

㎤(약 0.0002 ppma) 사이의 값을 갖는다. 질소의 농도가 너무 낮으면, 예컨대 약 1×10^{12} 원자/㎤(약 0.00002 ppma) 미만이면, 안정화 효과가 실현되지 못할 것이다(즉, 약 1150℃ 미만의 온도에서 핵 형성 중심이 용해될 수 있다). 반면에, 만일 질소 농도가 너무 높으면, 예컨대 약 1×10^{15} 원자/㎤(약 0.002 ppma)를 초과하면, 결정 성장 중에 형성된 산소 침전 핵 형성 중심은 본 발명의 공정인 급속 열 처리 어닐링 단계 중에 용해되지 않을 것이다.

추가적으로, 실리콘 결정이 너무 많은 질소를 함유하면, 웨이퍼의 품질 및 그 위에 증착된 임의의 에피택셜 층에 부정적인 영향을 주는 산화 유도 적층 결함(oxidation induced stacking faults; OISF)이 웨이퍼 전체에 결쳐서 형성되는 경향이 있다(일본 특허 공개번호 제1999-189493호 참조). 구체적으로, 실리콘 웨이퍼 표면상의 OISF는 다른 베이컨시 타입의 결함과는 달리, 에피택셜 실리콘층의 증착에 의해 덮혀지지 않는다. OISF는 에피택셜 층을 통한 성장을 계속하고, 통상적으로 에피택셜 적층 결함이라고 부르는 그로운-인 결함(grown-in defects)을 야기한다. 에피택셜 적층 결함은 약 0.1 ㎛인 레이저 기반 자동 검사 장치의 현행 검출 한계로부터 약 10 ㎛까지 최대 횡단면폭을 갖는다.

본 발명에 따르면, 웨이퍼는 산소 침전물 핵 형성 중심을 안정화시키기 위해 질소 대신에, 또는 질소와 함께, 탄소를 포함할 수 있다. 일 실시예에 있어서, 실리콘에서 탄소의 농도는 약 1×10^{16} 원자/㎤(0.2 ppma) 내지 약 4×10^{17} 원자/㎤(8 ppma)의 값을 갖는다. 다른 실시예에서 탄소의 농도는 약 1.5×10^{16} 원자/㎤(0.3 ppma) 내지 약 3×10^{17} 원자/㎤(6 ppma)의 값을 갖는다.

초크랄스키법으로 성장된 실리콘은 전형적으로, 약 5×10^{17} 원자/㎤ 내지 약 9×10^{17} 원자/㎤ 범위의 인터스티셜 산소 농도(interstitial oxygen concentration)를 갖는다. 웨이퍼의 산소 침전의 양태는 이상적인 침전 웨이퍼 내의 산소 농도로부터 본질적으로 분리(decouple)되기 때문에, 출발 웨이퍼는 초크랄스키법에 의해 유지가능한 범위 내의 또는 어떤 경우에는 그 범위 밖에 있는 산소 농도를 가질 수 있다.

질소 및/또는 탄소의 전형적인 불순물 레벨 이하를 가진 단결정 실리콘 잉곳의 성장 중에, 실리콘은 그 용융 온도(약 1410℃)로부터 냉각되고, 실리콘이 약 700℃를 통과하여 약 350℃의 온도까지 냉각됨에 따라, 베이컨시와 산소가 상호 작용하여 잉곳 내에 산소 침전물 핵 형성 중심을 형성한다. 특정 이론에 구애됨이 없이, 질소/탄소 도펀트 원자는 단결정 실리콘 내에서 베이컨시의 확산을 저지함으로써 산소 침전물 핵 형성 중심의 형성을 촉진하는 것으로 현재 믿어진다. 구체적으로 말해서, 질소 및/또는 탄소의 농도가 불순물 레벨 이상으로 증가할 때, 주어진 온도에서 베이컨시의 농도가 또한 증가하고, 이로써 베이컨시 및 산소의 임계 과포화가 발생하는 온도를 높인다. 그 결과, 본 발명의 범위 내에서 질소 및/또는 탄소의 농도를 가진 실리콘의 임계 과포화 온도는 약 800℃와 약 1050℃ 사이로 이동된다. 더 높은 임계 과포화 온도에서, 베이컨시의 농도는 더 높지고, 산소 원자들은 이동성이 더 강해져서 베이컨시와 산소의 상호 작용이 증가되며, 따라서 더 크고 더 안정적인 산소 침전물 핵 형성 중심이 형성될 수 있게 된다.

본 발명에 따르면, 핵 형성 중심은 약 1150℃ 내지 1300℃의 온도에서 실리콘의 열처리에 의해 용해될 수 있기 때문에, 출발 물질에 핵 형성 중심이 있는지 여부는 중요하지 않다. 비록 산소 침전물 핵 형성 중심의 존재(또는 밀도)가 현재 이용가능한 기술을 이용하여 직접 측정될 수는 없지만, 그들의 존재는 웨이퍼를 800℃의 온도에서 4시간동안 어닐링한 후 1000℃에서 16시간 동안 어닐링하는 것과 같은 산소 침전 열처리를 행함으로써 검출될 수 있다. 산소 침전물의 검출 한계는 현재 약 5×10^{6} 침전물/㎤이다.

웨이퍼는 종래의 초크랄스키 결정 성장 방법에 따라 성장된 잉곳으로부터 슬라이스된다. 잉곳의 성장 중에, 질소 및/또는 탄소는, 예를 들면, 기상 질소/탄소를 성장실에 투입하고 및/또는 고체 질소/탄소를 다결정 실리콘 용융물에 첨가하는 것을 포함한 몇가지 방법으로 잉곳 내에 도입될 수 있다. 성장 결정에 첨가되는 도펀트의 양은 고체 도펀트를 다결정 실리콘 용융물에 첨가함으로써 더 정확하게 제어될 수 있기 때문에, 전형적으로 이 방법이 사용되고 있다. 예를 들어, 결정에 첨가되는 질소/탄소의 양은 예컨대 실리콘 용융물을 형성하기 전에 다결정 실리콘과 함께 도가니(crucible)에 도입되는 공지의 직경의 실리콘 웨이퍼상에 공지 두께의 질화 규소(Si_3N_4) 또는 탄화 규소(SiC)의 층을 증착함으로써 쉽게 결정된다(Si_3N_4와 SiC의 밀도는 각각 약 3.18 g/㎤ 및 약 3.21 g/㎤이다).

표준 실리콘 슬라이싱, 래핑(lapping), 에칭 및 연마 기술 뿐만 아니라 표준 초크랄스키 성장 방법은, 예를 들면, F. Shimura, Semiconductor Silicon Crystal Technology, Academic Press, 1989, 및 Silicon Chemical Etching, (J. Grabmaier ed.) Springer-Verlag, 뉴욕, 1982에 개시되어 있다(상기 문헌은 인용에 의해 이 명세서에 포함된다). 본 발명의 공정을 위한 출발 물질은 연마된 실리콘 웨이퍼일 수도 있고, 또는 대안으로서, 래핑 및 에칭되었지만 연마되지는 않은 실리콘 웨이퍼일 수 있다. 또한, 웨이퍼는 지배적인 고유 점 결함으로서 베이컨시 또는 셀프 인터스티셜(self-interstitial)

점 결합을 가질 수 있다. 예를 들어, 웨이퍼는 중앙으로부터 에지까지 베이컨시가 지배적일 수도 있고, 중앙으로부터 에지까지 셀프 인터스티셜이 지배적일 수도 있으며, 또는 웨이퍼는 축방향을 따라 대칭인 셀프 인터스티셜 지배 물질의 링에 의해 둘러싸인 베이컨시 지배 물질의 중심 코어를 포함할 수 있다.

이제, 도 1을 보면, 본 발명의 이상적인 침전 웨이퍼의 출발 물질인 단결정 실리콘 웨이퍼(1)는 전면(3), 후면(5), 및 전면과 후면 사이의 가상의 중앙면(7)을 구비한다. 이 명세서에서 사용하는 용어 "전"(front)과 "후"(back)는 웨이퍼의 대략 평평한 2개의 주요면을 구별하기 위해 사용된다. 여기에서 사용하는 용어인 웨이퍼의 전면은 반드시 나중에 전자 소자가 제조되는 표면일 필요는 없고, 또한 여기에서 사용하는 용어인 웨이퍼의 후면은 전자 소자가 제조되는 표면에 반대되는 웨이퍼의 주요면일 필요는 없다. 더 나아가서, 실리콘 웨이퍼는 전형적으로 임의의 총 두께 변화(total thickness variation; TTV), 비틀림(warp) 및 휨(bow)을 갖기 때문에, 전면의 각 지점과 후면의 각 지점 사이의 중간점은 평면 내에 정확하게 위치하지 않을 수 있다. 그러나, 실용적인 문제로서, TTV, 비틀림 및 휨은 전형적으로 매우 경미하기 때문에 근사치적인 관점에서 상기 중간점은 전면과 후면 사이에서 대략 등거리인 가상 중앙면내에 위치한다고 말할 수 있다.

B. 도핑된 실리콘 웨이퍼에서의 베이컨시 형성

본 발명에 따라, 웨이퍼는 열처리 단계(S_2)(선택적 단계 S_1은 뒤에서 상세하게 설명한다)에 놓여지고, 이 단계에서 웨이퍼는 이 웨이퍼(1)에서 결정 격자 베이컨시(13)를 형성하고 그 개수 밀도(number density)를 증가시키기 위해 고온으로 열처리된다. 바람직하게, 이 열처리 단계는, 웨이퍼가 급속하게 목표 온도(T1)로 가열되고 그 온도에서 비교적 짧은 시간동안 어닐링되는 급속 열 어닐링 처리기(rapid thermal annealer; RTA)에서 실행된다(예를 들면, 급속 열 어닐링 처리기는 웨이퍼를 실온에서 1200℃까지 수 초 내에 가열할 수 있다). 이러한 상업적으로 이용가능한 RTA로(RTA furnace)의 한가지는 STEAG AST Electronic GmbH(독일, 도른스타트)에서 시판하는 모델 2800 로이다. 일반적으로, 웨이퍼는 1150℃ 내지 약 1300℃ 미만의 온도에서 열처리된다. 전형적으로, 웨이퍼는 약 1200℃ 내지 약 1275℃ 사이의 온도로 가열되고, 더욱 전형적으로는 약 1225℃ 내지 1250℃ 사이의 온도로 가열된다.

고유 점 결함(베이컨시 및 실리콘 셀프 인터스티셜)은 온도 의존성이 있는 확산 속도로 단결정 실리콘을 통하여 확산할 수 있다. 그러므로, 고유 점 결함의 농도 프로파일은 온도의 함수인 고유 점 결함의 확산도(diffusivity) 및 재결합 속도의 함수이다. 예를 들어서, 고유 점 결함은 웨이퍼가 급속 열 어닐링 단계에서 어닐링되는 온도 부근의 온도에서 비교적 이동성이 크지만, 약 700℃의 온도에서는 모든 상업적으로 유의미한 시간 동안은 본질적으로 비이동적이다. 현재까지 얻어진 실험적 증거에 따르면 베이컨시의 유효 확산 속도가 약 700℃ 미만의 온도 및 아마도 800℃, 900℃ 또는 심지어 1000℃의 온도에서도 상당히 느리고; 더 낮은 온도에서는, 베이컨시가 임의의 상업적으로 유의미한 시간동안 비이동적으로 생각될 수 있다고 제시한다.

결정 격자 베이컨시를 형성하는 것 이외에도, 급속 열 어닐링 단계는 실리콘 출발 물질에 존재하는 기존의 산소 침전물 핵 형성 중심의 용해를 일으킨다. 이러한 핵 형성 중심은 예를 들면 웨이퍼가 슬라이스되는 단결정 실리콘 잉곳의 성장 중에 형성될 수 있고, 또는 웨이퍼 또는 웨이퍼가 슬라이스되는 잉곳의 이전 열이력(thermal history)에서의 몇몇 다른 이벤트의 결과로서 형성될 수 있다. 따라서, 만일 핵 형성 중심이 급속 열 어닐링 단계 중에 용해될 수 있다면, 출발 물질에 핵 형성 중심이 존재하거나 부존재하는 것은 중요하지 않다.

열처리 중에, 웨이퍼는 일 실시예에서 비교적 균일하고 다른 실시예에서 불균일한 베이컨시 농도 프로파일을 형성하도록 선택된 가스 또는 가스들을 포함하는 분위기에 노출된다.

1. 비질화 및 비산화 분위기의 실시예

일 실시예에서, 웨이퍼(1)는 비질화 분위기 및 비산화 분위기(즉, 불활성 분위기)에서 열처리된다. 질소 및 산소를 함유하지 않는 가스가 급속 열 어닐링 단계 및 냉각 단계에서의 분위기로서 사용될 때, 웨이퍼 전체에서 베이컨시 농도의 증가는, 비록 즉시는 아니다 할지라도, 거의 어닐링 온도에 도달할 때 달성된다. 열처리 중에 웨이퍼에 형성된 결과적인 베이컨시 농도(개수 밀도) 프로파일은 웨이퍼의 전면에서부터 웨이퍼의 후면까지 비교적 일정하다. 일반적으로, 웨이퍼는 적어도 1초 동안, 전형적으로는 적어도 수 초(예를 들면, 적어도 3초) 동안, 바람직하게는 수십 초(예를 들면, 20초, 30초, 40초 또는 50초) 동안, 및 소망하는 웨이퍼의 특성에 의존하여 최대 약 60초(이것은 상업적으로 이용가능한 급속 열 어닐링 처리기의 한계 부근이다) 내의 기간동안 이 온도에서 유지된다. 웨이퍼를 어닐링하는 동안에 확립된 온도에서 추가의 시간 동안 더 유지하는 것은, 현재까지 얻어진 실험적 증거에 따르면, 더 이상 베이컨시 농도를 증가시키지 않는 것으로 나타났다. 적당한 가스는 아르곤, 헬륨, 네온, 이산화탄소, 및 기타 불활성 단원소 가스 및 불활성 화합물 가스, 또는 상기 가스들의 혼합물을 포함한다.

현재까지 얻어진 실험적 증거에 의하면, 비질화/비산화 분위기는 바람직하게 비교적 작은 부분압의 산소, 수증기 및 다른 산화 가스를 갖는다. 즉, 분위기는 산화 가스가 전혀 없거나 또는 그러한 가스를 베이컨시 농도의 상승을 억제하기에 충분한 양의 실리콘 셀프 인터스티셜 원자들을 주입하기에는 불충분한 부분압으로 포함한다. 산화 가스 농도의 하한은 정확하게 결정되지 않았지만, 0.01 atm 또는 10000 ppma(parts per million atomic)의 산소 부분압에 대하여 베이컨시 농도의 증가 및 다른 어떤 효과도 발견되지 않은 것이 증명되었다. 따라서, 분위기는 0.01 atm(10000 ppma) 미만의 산소 및 다른 산화 가스의 부분압을 갖는 것이 바람직하다. 더 바람직하게는 분위기에서 이들 가스의 부분압이 약 0.005 atm(5000 ppma) 이하, 그보다 더 바람직하게는 0.002 atm(2000 ppma) 이하, 가장 바람직하게는 0.001 atm(1000 ppma) 이하로 되는 것이다.

2. 피상 산화물층/질화 분위기의 실시예

본 발명에 따른 방법의 다른 실시예에서, 웨이퍼(1)는, 단계 S_1에서, 산소 함유 분위기에서 열처리되어 단계 S_2 이전에 웨이퍼(1)를 감싸는 피상 산화물층(superficial oxide layer)을 성장시킨다. 일반적으로, 산화물층은 실리콘상에 형성되는 자연 산화물층(약 15 옹스트롱)보다 더 큰 두께를 갖는다. 이 제2 실시예에서, 산화물층의 두께는 전형적으로 적어도 약 20 옹스트롱이다. 일부 예에서, 웨이퍼는 두께가 적어도 약 25 또는 30 옹스트롱인 산화물층을 가질 것이다. 그러나, 현재까지 얻어진 실험적 증거에 의하면, 약 30 옹스트롱 이상의 두께를 가진 산화물층은 비록 원하는 효과를 방해하지는 않지만 추가적인 잇점을 전혀 또는 거의 제공하지 않는 것으로 나타났다.

산화물층을 형성한 후에, 급속 열 어닐링 단계는 전형적으로 질화 분위기, 즉 노출된 실리콘 표면을 질화할 수 있는 질소 가스(N_2) 또는 암모니아와 같은 질소 - 함유 화합물 가스를 포함하는 분위기의 존재하에 실행된다. 대안으로 또는 추가적으로, 분위기는 아르곤과 같이 비산화, 비질화 가스를 포함할 수 있다. 웨이퍼 전체에 걸친 베이컨시 농도의 증가는, 비록 즉시는 아닐지라도, 거의 어닐링 온도에 도달할 때에 달성되고, 웨이퍼의 베이컨시 농도 프로파일은 비교적 균일하다.

3. 자연 산화물층/질화 분위기의 실시예

제3 실시예에서, 출발 웨이퍼는 단지 자연 산화물층(native oxide layer)만을 갖는다. 이러한 웨이퍼가 질화 분위기에서 어닐링될 때, 그 효과는 제2 실시예에서 관측된 것과 다르다. 특히, 증가된 산화물층을 가진 웨이퍼가 질소 분위기에서 어닐링될 때, 비록 즉시는 아닐지라도, 거의 어닐링 온도에 도달할 때에 웨이퍼 전반에 걸쳐서 실질적으로 균일한 베이컨시 농도의 증가가 달성된다. 더욱이, 베이컨시 농도는 주어진 어닐링 온도에서 어닐링 시간에 따라 크게 증가하는 것으로 나타나지 않는다. 만일 웨이퍼가 자연 산화물층 외의 아무것도 없다면, 그리고 웨이퍼의 전면과 후면이 질소에서 어닐링된다면, 그 결과 웨이퍼는 웨이퍼의 횡단면에 대하여 대략 "U자형"의 베이컨시 농도 프로파일(개수 밀도)을 가질 것이다. 즉, 베이컨시의 최대 농도는 전면과 후면으로부터 수 마이크로미터 떨어진 지점 또는 그 사이에서 발생할 것이고, 비교적 일정하고 더 낮은 농도가 웨이퍼 벌크 전반에 걸쳐 나타날 것이며, 초기에 웨이퍼 벌크에서의 최소 농도는 증가된 산화물층을 가진 웨이퍼에서 얻어진 농도와 대략 동일하다. 더욱이, 어닐링 시간의 증가는 자연 산화물층 외의 아무것도 없는 웨이퍼에서 베이컨시 농도의 증가를 가져올 것이다.

따라서, 도 1을 다시 참조하면, 자연 산화물층만을 가진 세그멘트는 질화 분위기 하에서 본 발명의 방법에 따라 어닐링되고, 그 결과로서 생성된 베이컨시의 최고 농도 또는 최대 농도는 초기에 일반적으로 영역들(15 및 15') 내에 위치할 것이고, 실리콘 세그멘트의 벌크(17)는 비교적 더 낮은 농도의 베이컨시 및 핵 형성 중심을 포함할 것이다. 전형적으로, 이들 최고 농도의 영역은 실리콘 세그멘트 표면으로부터 수 미크론(즉, 약 5 또는 10 미크론), 또는 수십 미크론(즉, 약 20 또는 30 미크론), 최대 약 40 내지 60 미크론 내에 위치될 것이다.

4. 산소 함유 분위기

급속 열 어닐링 단계 및 냉각 단계에서의 분위기가 산소를 포함할 때, 또는 더 구체적으로, 질소 함유 가스, 불활성 가스 또는 이들 양자와 함께 산소 가스(O_2) 또는 산소 함유 가스(예를 들면, 발열성 스팀(pyrogenic steam))를 포함할 때, 표면 근방의 영역에서의 베이컨시 농도 프로파일은 영향을 받는다. 지금까지의 실험적 증거에 의하면, 표면 근방의 영역의 베이컨시 농도 프로파일은 분위기의 산소 농도와 역의 관계(inverse relationship)를 갖는 것으로 나타났다. 임의의 특정 이론에 구애됨이 없이, 일반적으로, 충분한 농도에서, 산소의 어닐링은 실리콘 표면의 산화를 야기하고, 그 결과 실리콘 셀프 인터스티셜의 내향 유동(inward flux)을 생성하도록 작용하는 것으로 믿어진다. 실리콘 셀프 인터스티셜의 유동은 산화 속도에 의해 제어되고, 상기 산화 속도는 분위기 내의 산소 부분압에 의해 제어될 수 있다. 셀프 인터스티셜의 이러한 내향 유동은 재결합을 야기시켜 베이컨시 농도 프로파일을 점차적으로 변화시키는데, 표면에서 시작하여 내측으로 이동하고, 상

기 내향 이동의 속도는 증가하는 산소 부분압의 함수로서 증가한다. 열처리(S_1 및/또는 S_2) 동안에 분위기 내의 질소 함유 가스와 함께 산소가 사용될 때, "M자형" 베이컨시 프로파일이 얻어질 수 있고, 최대 또는 최고 베이컨시 농도는 중앙면과 표면층 사이의 웨이퍼 벌크 내에 존재한다(상기 농도는 어느 한 쪽 방향으로 대체로 감소한다). 분위기 내에 산소가 존재하는 결과로서, 임의 깊이의 낮은 베이컨시 농도의 영역이 생성될 수 있다.

또한, 실험적 증거에 의하면, 단지 자연 산화물층만을 갖는 웨이퍼의 행동과 증가된 산화물층을 갖는 웨이퍼의 행동의 차이는 분위기 내에 산소 분자 또는 다른 산화 가스를 포함시킴으로써 회피될 수 있다. 달리 표현하면, 오직 자연 산화물만을 갖는 웨이퍼가 작은 부분압의 산소를 함유하는 질소 분위기에서 어닐링될 때, 웨이퍼는 증가된 산화물층을 가진 웨이퍼와 동일하게 행동한다(즉, 비교적 균일한 농도 파일이 열처리된 웨이퍼 내에 형성된다). 임의의 이론에 구애됨이 없이, 두께가 자연 산화물층보다 더 큰 피상 산화물층은 실리콘의 질화를 방지하는 차폐물로서 작용한다. 따라서, 이 산화물층은 출발 웨이퍼상에 존재할 수도 있고, 또는 어닐링 단계 중에 인 시츄(in situ)로 증가된 산화물층을 성장시킴으로써 형성될 수도 있다. 만일 이것이 바람직하다면, 급속 열 어닐링 단계 중의 분위기는 바람직하게 적어도 약 0.0001 atm(100 ppma)의 부분압, 더 바람직하게 적어도 약 0.0002 atm(200 ppma)의 부분압을 포함한다. 그러나, 앞에서 설명한 이유 때문에, 산소의 부분압은 바람직하게 0.01 atm(10000 ppma)을 초과하지 않고, 더 바람직하게는 0.002 atm(2000 ppma) 미만, 가장 바람직하게는 0.001 atm(1000 ppma) 미만이다.

그러므로, 제4 실시예에서, 급속 열 어닐링 단계 중의 분위기는 전형적으로 약 30 미크론 미만의 디누드 구역 깊이를 얻기에 충분한 산소 부분압을 함유한다. 전형적으로, 디누드 구역 깊이는 약 5 미크론 이상으로부터 약 30 미크론 미만까지의 범위이고, 약 10 미크론으로부터 약 25 미크론까지, 또는 약 15 미크론으로부터 약 20 미크론까지의 범위일 수 있다. 더 구체적으로, 열처리는 질소 함유 가스(예를 들면, N_2), 비산소, 비질소 함유 가스(예를 들면, 아르곤, 헬륨 등), 또는 이들의 혼합물, 및 산소 함유 가스(예를 들면, O_2 또는 발열성 스팀)를 포함하는 분위기, 및 셀프 인터스티셜의 내향 유동을 생성하기에 충분하지만(예를 들면, 적어도 약 1 ppma, 5 ppma, 10 ppma 또는 그 이상) 약 500 ppma 미만, 바람직하게는 약 400 ppma, 300 ppma, 200 ppma, 150 ppma 또는 100 ppma 미만, 또 어떤 실시예에서는 바람직하게 약 50, 40, 30, 20 또는 10 ppma 미만인 산소 부분압을 가진 분위기에서 실행될 수 있다. 질소 함유 가스와 비질소, 비산소 함유 가스의 혼합물이 산화 가스와 함께 사용될 때, 상기 두 가스의 각 비율(예 : 질소 함유 가스 대 불활성 가스의 비율)은 약 1:10 내지 약 10:1, 약 1:5 내지 약 5:1, 약 1:4 내지 약 4:1, 약 1:3 내지 약 3:1, 약 1:2 내지 약 2:1의 범위이고, 약 1:5, 1:4, 1:3, 1:2 또는 1:1의 질소 함유 가스 대 불활성 가스의 비율은 몇몇 실시예에서 바람직하다. 달리 표현하면, 만일 상기와 같은 기상 혼합물이 어닐링 단계 및 냉각 단계용의 분위기로서 사용될 때, 질소 함유 가스의 농도는 약 1%로부터 약 100% 미만까지, 약 10%로부터 약 90% 까지, 약 20%로부터 약 80% 까지, 약 40%로부터 약 60% 까지의 범위일 수 있다.

5. 다른 분위기에 대한 동시 노출

본 발명의 다른 실시예에서, 웨이퍼의 전면과 후면은 하나 이상의 질화 또는 비질화 가스를 각각 함유하는 다른 분위기에 노출될 수 있다. 예를 들면, 웨이퍼의 전면이 비질화 분위기에 노출될 때 웨이퍼의 후면은 질화 분위기에 노출될 수 있다. 다른 분위기에서 열처리를 받은 웨이퍼는 각 표면의 조건 및 웨이퍼가 노출되는 분위기에 따라서 비대칭의 베이컨시 농도 프로파일을 가질 수 있다. 예를 들면, 전면이 자연 산화물층 이외에 다른 아무것도 없고 후면이 증가된 산화물층을 가지며 웨이퍼가 질화 분위기에서 열적으로 처리되면, 자연적으로 웨이퍼 전반부의 베이컨시 농도는 "U자형" 프로파일과 유사한 편이 되고 웨이퍼의 후반부는 균일한 편이 될 것이다. 다른 방식으로, 다수의 웨이퍼(예를 들면, 2개, 3개 또는 그 이상의 웨이퍼)가 면 대 면(face-to-face) 구성으로 적층되어 동시에 어닐링될 수 있고, 이러한 방식으로 어닐링될 때, 면 대 면 접촉 상태에 있는 면들은 어닐링 동안에 분위기로부터 기계적으로 차폐된다. 다른 방식으로, 그리고 급속 열 어닐링 단계에서 사용되는 분위기 및 웨이퍼의 소망하는 산소 침전 프로파일에 따라, 산화물층은 웨이퍼의 하나의 표면(예를 들면, 전면(3))상에만 형성될 수 있다.

C. 열처리되고 도핑된 실리콘 웨이퍼의 급속 냉각

단계 S_2를 완료하였을 때, 웨이퍼는 결정 격자 베이컨시가 단결정 실리콘 내에서 비교적 이동적인 온도 범위를 통과하여 적어도 결정 격자 베이컨시가 실리콘 내에서 비교적 비이동적으로 되는 온도(T_2)까지 단계 S_3에서 급속하게 냉각된다. 웨이퍼의 온도가 이 범위의 온도를 통과 하여 감소될 때, 베이컨시들은 웨이퍼의 표면 및/또는 웨이퍼 표면상의 자연 산화물층으로 확산하여 소멸되고, 따라서 베이컨시 농도 프로파일을 변화하는데, 그 변화의 정도는 웨이퍼가 상기 온도 범위 내에서 유지되는 시간 길이에 따라 좌우된다. 만일 웨이퍼가 무한대의 기간 동안 상기 온도 범위에서 유지된다면, 베이컨시 농도 프로파일은 다시 한번 단계 S_2에서의 초기 프로파일과 유사하게 되지만(예를 들면, 균일하거나 "U자형"으로 되거나 비대칭으로 된다), 농도의 평형 상태(equilibrium)는 열처리 단계가 완료된 직후의 농도보다 더 작게 될 것이다. 그러나, 웨

이퍼를 급속히 냉각시킴으로써, 표면 부근 영역에서 결정 격자 베이컨시의 분포는 크게 감소하여 베이컨시 농도 프로파일을 변형시킨다. 예를 들면, 초기에 균일한 프로파일을 갖는 웨이퍼를 급속 냉각시키면 불균일한 프로파일을 발생하게 되고, 여기에서 최대 베이컨시 농도는 중앙면(7)에 또는 그 부근에 존재하고, 그 베이컨시 농도는 웨이퍼의 전면(3) 및 후면(5)의 방향으로 갈수록 감소한다. 만일 냉각 전의 베이컨시 농도 프로파일이 "U자형"이면, 웨이퍼를 급속 냉각한 후의 최종 농도 프로파일은 "M자형"으로 될 것이다. 즉, 베이컨시 농도 프로파일은 중앙면 부근에서 웨이퍼를 급속 냉각하기 전의 U자형 프로파일과 유사한 하나의 국부적 최소 농도와, 표면 영역에서 베이컨시들을 억제함으로써 발생되는 2개의 국부적 최대 농도, 즉 중앙면과 전면 사이의 하나의 국부적 최대 농도 및 중앙면과 후면 사이의 하나의 국부적 최대 농도를 가질 것이다. 마지막으로, 만일 냉각 전의 베이컨시 농도 프로파일이 비대칭이면, 최종 농도는 하나의 표면과 중앙면 사이에서 "M"자형 프로파일과 유사한 하나의 국부적 최대 프로파일을 가질 것이고, 균일한 농도 프로파일을 냉각한 후에 형성되는 프로파일과 유사하게 중앙면으로부터 다른 표면까지는 대체로 농도가 감소할 것이다.

일반적으로, 이 온도 범위 내에서 평균 냉각 속도(R)는 적어도 약 5℃/초, 바람직하게는 적어도 약 20℃/초이다. 디누드 구역의 소망하는 깊이에 따라서, 평균 냉각 속도는 바람직하게 적어도 약 50℃/초, 더 바람직하게는 100℃/초일 수 있고, 현재 몇몇 응용에 있어서는 약 100℃/초 내지 약 200℃/초 범위의 냉각 속도가 바람직하다. 결정 격자 베이컨시가 단결정 실리콘 내에서 비교적 이동적인 온도 범위 보다 낮은 온도로 웨이퍼가 일단 냉각되면, 냉각 속도는 웨이퍼의 침전 특성에 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타나고, 따라서, 크게 중요한 것으로 생각되지 않는다. 위에서 설명한 것처럼, 지금까지 얻어진 실험적 증거에 의하면, 베이컨시의 유효 확산 속도는 전형적으로 약 700℃ 미만의 온도에서 상당히 늦어지고, 더 낮은 온도에서, 베이컨시들은 임의의 상업적으로 실용적인 시간동안 비이동적인 것으로 생각된다. 편리하게, 냉각 단계는 가열 단계가 실행되는 것과 동일한 분위기에서 실행될 수 있다.

단계 S_3 중에, 웨이퍼에서 베이컨시들과 인터스티셜 산소(interstitial oxygen)가 상호 작용하여 산소 침전물 핵 형성 중심을 형성한다. 산소 침전물 핵 형성 중심의 농도는 주로 베이컨시 농도에 의존하고, 그래서 산소 침전물 핵 형성 중심의 프로파일은 베이컨시의 프로파일과 대응한다. 구체적으로, 높은 베이컨시 영역(웨이퍼 벌크)에서는 산소 침전물 핵 형성 중심이 형성되고, 낮은 베이컨시 영역(웨이퍼 표면 부근)에서는 산소 침전물 핵 형성 중심이 형성되지 않는다. 따라서, 웨이퍼를 베이컨시 농도의 각종 구역으로 분할함으로써 산소 침전물 핵 형성 중심의 템플릿이 생성된다. 추가적으로, 웨이퍼 벌크에서 산소 침전물 핵 형성 중심의 분포는 베이컨시의 분포에 대응한다. 즉, 그 분포는 불균일하고, 예를 들면 중앙면에서 또는 그 부근에서 최대 농도를 갖고 웨이퍼의 전면과 후면으로 갈수록 감소하는, "M자형" 또는 비대칭이 특징인 프로파일을 가질 수 있다.

본 발명에 따라서, 웨이퍼 벌크에 형성된 산소 침전물 핵 형성 중심은 급속 열 어닐링의 완료시에 "안정화"된다. 즉, 에피택셜 증착과 같은 급속 열처리를 견딜 수 있는 크기로 핵 형성 중심을 성장시키기 위한 후속의 장시간(예를 들면, 수 시간)의 열처리가 필요없게 된다. 위에서 설명한 바와 같이, 현재로서 질소 및/또는 탄소 도펀트 원자들은 베이컨시의 임계 과포화가 발생하는 온도를 증가시키는 실리콘에서 베이컨시의 확산을 저지하여 궁극적으로 안정된 산소 침전물 핵 형성 중심을 형성하는 것으로 믿어진다(즉, 이들은 약 1150℃ 미만의 온도에서 용해될 수 없다).

단계 S_3 후에, 웨이퍼는 전면과 이 전면으로부터 중앙면쪽으로 측정된 거리 D 사이의 웨이퍼의 제1 영역을 포함하고 산소 침전물 핵 형성 중심이 없는 표면층과, 중앙면과 제1 영역 사이에 있고 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심을 포함하는 벌크층을 구비한다. 웨이퍼에서 도펀트의 농도는 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심이 약 1150℃ 내지 1300℃ 범위의 온도에서 용해되게 한다. 그래서, 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심은 단계 S_2 동안에 성장된 산소 침전물 핵 형성 중심의 용해를 방해하지 않고 에피택셜 증착과 같은 후속 열처리를 견딜 수 있다.

D. 산소 침전물 성장

단계 S_4에서, 웨이퍼는 산소 침전물 내에 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심을 성장시키기 위해 산소 침전물 성장 열처리를 받는다. 예를 들면, 웨이퍼는 800-1000℃의 온도에서 16 시간동안 어닐링될 수 있다. 다른 방식으로 및 바람직하게, 웨이퍼는 전자 소자 제조 공정의 제1 단계로서 800-1000℃인 로에 로드된다. 온도가 800℃ 또는 더 높은 온도로 증가할 때, 산소 침전물 핵 형성 클러스터는 베이컨시 및 인터스티셜 산소를 소비함으로써 침전물 내에서 계속하여 성장되고, 한편 표면 부근의 영역에서는 산소 침전물 핵 형성 중심이 형성되지 않고 아무런 현상도 일어나지 않는다.

도 1에 도시된 바와 같이, 웨이퍼에서 산소 침전물의 결과적인 깊이 분포는 전면(3) 및 후면(5)으로부터 깊이 t와 t'까지 각각 연장하는 산소 침전물 비함유 물질로된 클리어 영역(디누드 구역)에 특징이 있다. 산소 침전물 비함유 영역(15, 15')들 사이에는, 위에서 설명한 것처럼 베이컨시의 프로파일에 의존하는 프로파일을 가진 불균일한 산소 침전물의 농도 프로파일을 포함한 영역(17)이 존재한다.

그 영역(17)에서 산소 침전물의 농도는 일차적으로 가열 단계의 함수이고, 이차적으로 냉각 속도의 함수이다. 일반적으로, 산소 침전물의 농도는 가열 단계에서 온도의 증가 및 어닐링 시간의 증가에 따라 증가하고, 약 1×10^{7} 내지 약 5×10^{10} 침전물/㎤ 범위의 침전물 밀도가 루틴하게 얻어진다.

산소 침전물 비함유 물질(디누드 구역)(15, 15')의 전면 및 후면으로부터의 각각의 깊이는 일차적으로 결정 격자 베이컨시가 실리콘에서 비교적 이동적인 온도 범위에서의 냉각 속도의 함수이다. 일반적으로, 깊이(t, t')는 냉각 속도의 감소에 따라 증가하고, 적어도 약 10, 20, 30, 40, 50, 70 또는 100 마이크로미터의 디누드 구역 깊이가 얻어질 수 있다. 특히, 디누드 구역의 깊이는 전자 소자 제조 방법의 상세와는 본질적으로 무관하고, 또한 전통적으로 사용되어 왔던 산소의 외부 확산에 의존하지 않는다. 그러나, 실용적인 문제로서, 얕은 디누드 구역 깊이를 얻기 위하여 필요한 냉각 속도는 다소 극단적이고, 열충격(thermal shock)은 웨이퍼 파괴의 위험이 있다. 그러므로, 다른 방식으로, 디누드 구역의 두께는, 덜 극단적인 속도로 웨이퍼를 냉각시키면서 웨이퍼가 어닐링되는(supra 참조) 분위기의 선택에 의해 제어될 수 있다. 달리 표현하면, 주어진 냉각 속도에 대하여, 깊은 디누드 구역(예를 들면, 50 미크론 이상)의, 중간 깊이의 디누드 구역(예를 들면, 30-50 미크론)의, 얕은 디누드 구역(예를 들면 약 30 미크론 미만)의, 또는 디누드 구역이 없는 템플릿을 생성하는 분위기가 선택될 수 있다. 어닐링 및 냉각 단계에 대한 이러한 정밀한 조건과 관련하여, 본 발명의 범위를 벗어남이 없이 여기에서 설명하는 것과 다른 조건이 또한 가능하다는 것을 알아야 한다. 또한, 이러한 조건은, 예를 들면, t 및/또는 t'의 바람직한 깊이를 최적화하기 위하여 온도와 어닐링 기간 및 분위기 조건(즉, 산소의 부분압뿐만 아니라 분위기의 성분)을 조정함으로써 실험적으로 결정될 수 있다.

이러한 본 발명의 방법에서 사용하는 급속 열처리가 웨이퍼의 전면과 후면의 표면으로부터 소량의 산소의 외부 확산을 야기할 수 있지만, 그 외부 확산의 양은 디누드 구역의 형성을 위한 종래의 방법에서 관측된 것보다 훨씬 더 적다. 그 결과, 본 발명의 이상적인 침전 웨이퍼는 실리콘 표면으로부터의 거리의 함수로서 실질적으로 균일한 인터스티셜 산소 침전을 갖는다. 예를 들면, 산소 침전 열처리 이전에, 웨이퍼는 웨이퍼의 중앙으로부터 실리콘 표면에서 약 15 미크론 이내의 웨이퍼 영역까지, 바람직하게는 실리콘의 중앙으로부터 실리콘 표면에서 약 10 미크론 이내의 웨이퍼 영역까지, 더 바람직하게는 실리콘의 중앙으로부터 실리콘 표면에서 약 5 미크론 이내의 웨이퍼의 영역까지, 가장 바람직하게는 실리콘의 중앙으로부터 실리콘 표면에서 약 3 미크론 이내의 웨이퍼의 영역까지 실질적으로 균일한 인터스티셜 산소 농도를 가질 것이다. 이 명세서에서, 실질적으로 균일한 산소 농도란 약 50% 이하, 바람직하게는 약 20% 이하, 가장 바람직하게는 약 10% 이하의 산소 농도 변화를 의미한다.

전형적으로, 산소 침전 열처리는 열처리된 웨이퍼로부터 많은 양의 산소 외부 확산을 야기하지 않는다. 그 결과, 웨이퍼 표면으로부터 수 미크론 이상의 거리에서 디누드 구역의 인터스티셜 산소의 농도는 침전 열처리의 결과로서 크게 변화하지 않을 것이다. 예를 들면, 웨이퍼의 디누드 구역이 실리콘의 전면과 전면으로부터 중앙면쪽으로 측정한 거리 D(이것은 적어도 약 10 마이크로미터이다) 사이의 웨이퍼 영역으로 구성되면, D/2와 동일한 실리콘 표면으로부터의 거리에 있는 디누드 구역 내의 위치에서의 산소 농도는, 전형적으로, 디누드 구역의 어디에서든 인터스티셜 산소 농도의 최고 농도의 적어도 약 75%로 될 것이다. 어떤 산소 침전 열처리에 있어서, 이 위치에서의 인터스티셜 산소 농도는 디누드 구역의 어디에서든 최대 산소 농도의 적어도 85%, 90% 또는 95%까지 더 크게 될 것이다.

E. 에피택셜 층

본 발명의 일 실시예에 있어서, 에피택셜층은 이상적인 침전 웨이퍼의 표면상에 증착될 수 있다. 본 발명의 전술한 산소 침전물 핵 형성 및 안정화 방법은 에피택셜 증착 전에 또는 후에 실행될 수 있다. 유익하게도, 안정화된 산소 침전물 핵 형성 중심의 형성은 형성된 침전물 프로파일을 용해함이 없이 에피택셜 증착 공정이 실행될 수 있게 한다.

에피택셜층은 기체 상태의 실리콘 함유 혼합물의 분해와 같이 이 기술 분야에서 공지되고 사용되는 수단에 의해 형성될 것이다. 본 발명의 양호한 실시예에 있어서, 웨이퍼의 표면은 실리콘을 포함한 휘발성 가스(예를 들면, $SiCl_4$, $SiHCl_3$, SiH_2Cl_2, SiH_3Cl 또는 SiH_4)를 포함하는 분위기에 노출된다. 분위기는 또한 캐리어 가스(바람직하게는 H_2)를 포함하는 것이 좋다. 일 실시예에서, 에피택셜 증착 중의 실리콘의 소스는 SiH_2Cl_2 또는 SiH_4이다. 만일 SiH_2Cl_2 가 사용되면, 증착 중

의 반응기 진공 압력은 약 500 내지 760 토르가 바람직하다. 반면에, 만일 SiH_4 가 사용되면, 반응기 압력은 100 토르가 바람직하다. 가장 바람직한 것은 증착 중의 실리콘의 소스가 $SiHCl_3$인 경우이다. 이것은 다른 소스보다 가격이 훨씬 더 저렴하다. 또한, $SiHCl_3$를 이용하는 에피택셜 증착은 분위기압에서 실행될 수 있다. 이것은 진공 펌프가 필요없고 반응기 챔버가 파괴 방지를 위하여 견고한 것으로 하지 않아도 되기 때문에 유리하다. 더욱이, 안전 위험도가 더 작고 공기 또는 다른 가스가 반응기 내로 유입될 확률이 더 적어진다.

에피택셜 증착 중에, 웨이퍼 표면은 실리콘을 포함하는 분위기가 다결정 실리콘을 표면상에 증착시키는 것을 방지하기에 충분한 온도, 즉 적어도 약 800℃, 더 바람직하게는 900℃, 가장 바람직하게는 1100℃에서 유지되는 것이 바람직하다. 에피택셜 증착의 성장 속도는 약 0.5 내지 약 7.0 ㎛/분이 바람직하다. 약 3.5 내지 4.0 ㎛/분의 속도는, 예를 들면, 본질적으로 약 1150℃의 온도 및 약 1 기압의 압력에서 약 2.5 몰%의 $SiHCl_3$ 및 약 97.5 몰%의 H_2로 이루어진 분위기를 이용함으로써 달성될 수 있다.

만일 필요하다면, 에피택셜층은 p형 또는 n형 도펀트를 추가로 포함할 수 있다. 예를 들면, 에피택셜층이 붕소를 포함하는 것이 종종 바람직하다. 이러한 층은, 예를 들면, 증착 중의 분위기에 B_2H_6를 포함시킴으로써 마련될 수 있다. 원하는 특성(예를 들면, 저항성)을 얻기 위하여 사용되는 분위기에서 B_2H_6의 몰분수(mole fraction)는 몇가지 인자, 예를 들면, 에피택셜 증착 중에 특정 기판으로부터 붕소 외부 확산의 양, 불순물로서 반응기 및 기판에 존재하는 p형 도편트 및 n형 도펀트의 양, 및 반응기 압력과 온도에 의존한다. 고저항성 응용을 위하여, 에피택셜층에서의 도펀트 농도는 실용적으로 가능한 한 낮아야 한다.

F. 실리콘 온 인슐레이터 구조의 준비

본 발명에 따라 질소/탄소 도핑에 의한 산소 침전 핵의 안정화는 미국 특허 제6,236,104호에 개시된 바와 같이 실리콘 온 인슐레이터(silicon on insulator; SOI) 구조를 준비하기 위해 또한 사용될 수 있으며, 상기 특허의 내용은 인용에 의해 본 명세서에 포함된다. SOI 구조는 베이스 또는 핸들 웨이퍼(handle wafer)에 이 기술 분야에서 표준인 이온 주입 공정을 행함으로써 생성될 수 있다(예를 들면, 미국 특허 제5,436,175호 참조). 바람직하게, 이상적인 웨이퍼 침전 공정은 이온 주입 이전에 핸들 웨이퍼에서 수행되고, 이것에 의해 산화물층이 디누드 구역 내에 위치된다.

다른 방식으로, SOI 구조는 장치층 웨이퍼(device layer wafer)를 질소/탄소가 도핑된 안정화 핸들 웨이퍼에 접착하고, 그 다음에, 역시 이 기술 분야에서 통상적으로 사용되는 웨이퍼 세선화 기술(wafer thinning technique)을 이용하여 장치층 웨이퍼의 일부분을 에칭으로 제거함으로써 생성될 수 있다(예를 들면, 미국 특허 제5,024,723호 참조). 바람직하게, 장치층 웨이퍼는 질소/탄소가 도핑된 핸들 웨이퍼가 이상적인 침전 웨이퍼 처리를 받은 후에 핸들 웨이퍼에 결속(bound)될 것이다. 그러나, 다른 방식으로, 장치층 웨이퍼를 먼저 질소/탄소 도핑된 핸들 웨이퍼에 결속한 다음, 그 전체 SOI 구조에 대하여 이상적인 침전 웨이퍼 처리를 행할 수 있다.

질소/탄소 안정화에 추가하여, 산소 침전물 행 형성 중심의 안정화는 2001년 6월 22일에 출원한 미국 특허 출원 제60/300,208호에 개시된 열적 안정화 방법에 의해 더욱 증가될 수 있으며, 상기 특허 출원의 내용은 인용함으로써 본 명세서에 포함된다.

G. 결정 격자 베이컨시의 측정

단결정 실리콘에서 결정 격자 베이컨시의 측정은 백금 확산 분석에 의해 실행될 수 있다. 일반적으로, 백금은 샘플 위에 증착되고, 프랭크-턴불(Frank-Turnbull) 메카니즘이 백금 확산을 지배하지만 백금 원자에 의해 정상 상태의 베이컨시 데코레이션이 이루어지기에는 충분하도록 선택된 확산 시간 및 온도로 수평면에서 확산된다. 본 발명에서 전형적인 베이컨시 농도를 가진 웨이퍼에 대하여 20분의 확산 시간 및 730℃의 온도가 사용될 수 있지만, 더 정확한 트래킹이 더 낮은 온도, 예를 들면 약 680℃에서 달성될 수 있다. 또한, 실리사이드화 처리에 의한 가능한 영향을 최소화하기 위하여, 백금 증착 방법은 바람직하게 하나의 단분자층(monolayer) 미만의 표면 농도를 야기한다. 백금 확산 기술은, 예를 들면, Jacob 등에 의한 J.Appl. Phys., 제82권, 182 페이지(1997년); Zimmermann과 Ryssel에 의한 "The Modeling of Platinum Diffusion In Silicon Under Non-Equilibrium Conditions," J. Electrochemical Society, 제139권, 256 페이지(1992년); Zimmermann, Goesele, Seilenthal 및 Eichiner에 의한 "Vacancy Concentration Wafer Mapping In Silicon," Journal of Crystal Growth, 제129권, 582 페이지(1993년); Zimmermann과 Falster에 의한 "Investigation Of The Nucleation of Oxygen Precipitates in Czochralski Silicon At An Early Stage," Appl. Phys. Lett., 제60권, 3250 페이지(1992년); 및 Zimmermann과 Ryssel에 의한 Appl.Phys. A, 제55권, 121 페이지(1992년)에 개시되어 있다.

상기의 설명은 단지 예시를 위한 것일 뿐 한정적인 것이 아니라는 것을 알아야 한다. 당업자라면, 상기 설명을 읽음으로써 다른 많은 실시예를 생각해 낼 수 있을 것이다. 그러므로, 본 발명의 범위는 상기 설명에 의해서만 결정되는 것이 아니라 청구범위 및 청구범위가 갖는 균등 범위에 의해 결정되어야 한다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 방법을 설명하는 개략도.

도면

도면1

