(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년08월24일
(11) 등록번호 10-0913636
(24) 등록일자 2009년08월17일

(51) Int. Cl.
C30B 15/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2007-0089455
(22) 출원일자 2007년09월04일
심사청구일자 2007년09월04일
(65) 공개번호 10-2008-0022056
(43) 공개일자 2008년03월10일
(30) 우선권주장
JP-P-2006-00240855 2006년09월05일 일본(JP)
JP-P-2007-00056130 2007년03월06일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
JP09255490 A*
JP17041740 A*
KR1020040101539 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
가부시키가이샤 섬코
일본국 도쿄도 미나토구 시바우라 1쵸메 2-1
(72) 발명자
이나미 슈이치
일본국 도쿄도 미나토구 시바우라 1쵸메 2-1 가부시키가이샤 섬코내
이노우에 구니하루
일본국 도쿄도 미나토구 시바우라 1쵸메 2-1 가부시키가이샤 섬코내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
한양특허법인

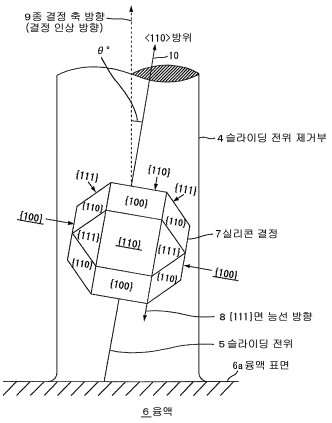
전체 청구항 수 : 총 6 항 심사관 : 김준규

(54) 실리콘 단결정의 제조 방법 및 실리콘 웨이퍼의 제조 방법

(57) 요 약

결정축 방위가 [110] 인 실리콘 웨이퍼를 얻을 수 있고, 더구나 전위가 충분히 제거된 저항율이 낮은 실리콘 단결정의 제조 방법 및 이 방법에 의해 얻어진 실리콘 단결정으로부터 결정축 방위가 [110] 인 저저항 실리콘 웨이퍼를 제조하는 방법을 제공한다. CZ법에 따른 실리콘 단결정의 제조 방법으로서, 불순물로서 붕소가 6.25×10^{17}~2.5×10^{20} atoms / ㎤의 농도가 되도록 첨가된 실리콘 용융액에, 중심축이 [110] 결정축에 대해서 0.6° ~10° 경사지고, 또한 상기 실리콘 용융액으로부터 육성되는 단결정에 형성되는 네크부의 붕소 농도와 대략 동일 농도인 실리콘 종결정을 침지시킴으로써, 중심축이 [110] 결정축에 대해서 0.6° ~10° 경사진 실리콘 단결정을 육성한다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

모로이시 마나부

일본국 도쿄도 미나토구 시바우라 1쵸메 2-1 가부시키가이샤 섬코내

후카가와 츠구야

일본국 도쿄도 미나토구 시바우라 1쵸메 2-1 가부시키가이샤 섬코내

구사바 노부히로

일본국 도쿄도 미나토구 시바우라 1쵸메 2-1 가부시키가이샤 섬코내

특허청구의 범위

청구항 1

쵸크랄스키법에 따른 실리콘 단결정의 제조 방법으로서, 불순물로서 붕소가 6.25×10^{17}~2.5×10^{20}atoms/㎤의 농도가 되도록 첨가된 실리콘 용융액에, 중심축이 [110] 결정축에 대해 0.6° ~10° 경사지고, 또한 상기 실리콘 용융액으로부터 육성되는 단결정에 형성되는 네크부의 붕소 농도에 대하여 10 ~ 1000%의 범위 내의 농도인 실리콘 종결정을 침지시킴으로써, 중심축이 [110] 결정축에 대해 0.6° ~10° 경사진 실리콘 단결정을 육성하고,

상기 실리콘 종결정의 중심축은 상기 [110] 결정축에 수직인 <100> 결정축을 회전축으로 하여 회전하는 방향으로 경사져 있는 것을 특징으로 하는 실리콘 단결정의 제조 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

쵸크랄스키법에 따른 실리콘 단결정의 제조 방법으로서, 불순물로서 붕소가 6.25×10^{17}~2.5×10^{20}atoms/㎤의 농도가 되도록 첨가된 실리콘 용융액에, 중심축이 [110] 결정축에 대해 0.6° ~10° 경사지고, 또한 상기 실리콘 용융액으로부터 육성되는 단결정에 형성되는 네크부의 붕소 농도에 대하여 10 ~ 1000%의 범위 내의 농도인 실리콘 종결정을 침지시킴으로써, 중심축이 [110] 결정축에 대해 0.6° ~10° 경사진 실리콘 단결정을 육성하고,

상기 종결정으로서, 실리콘 용융액과 접하는 종결정 하단부의 직경이 8㎜ 이하이고, 육성하는 네크부의 직경보다 큰 것을 사용하고, 직경 4~6㎜인 네크부를 형성하는 것을 특징으로 하는 실리콘 단결정의 제조 방법.

청구항 4

청구항 1에 기재된 방법에 의해 얻어진 실리콘 단결정으로부터 웨이퍼를 잘라낼 때에, 상기 종결정의 경사 각도에 대응하는 각도로 실리콘 단결정을 비스듬하게 절단하여, 표면이 (110)면을 갖는 실리콘 웨이퍼를 잘라내는 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 5

청구항 1에 기재된 방법에 의해 얻어진 실리콘 단결정으로부터 웨이퍼를 잘라낼 때에, 상기 실리콘 단결정의 직경 방향에 대해서 최대 경사 각도가 ±10° 이하(0° 는 포함하지 않음)가 되도록 단결정을 절단하는 것을 특징으로 하는 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 6

쵸크랄스키법에 따른 실리콘 단결정의 제조 방법으로서, 불순물로서 붕소가 6.25×10^{17}~2.5×10^{20}atoms/㎤의 농도가 되도록 첨가된 실리콘 용융액에, 중심축이 [110] 결정축에 대해 0.6° ~10° 경사지고, 또한 상기 실리콘 용융액으로부터 육성되는 단결정에 형성되는 네크부의 붕소 농도에 대하여 10 ~ 1000%의 범위 내의 농도인 실리콘 종결정을 침지시킴으로써, 중심축이 [110] 결정축에 대해 0.6° ~10° 경사진 실리콘 단결정을 육성하는 것을 특징으로 하는 방법에 의하여 실리콘 단결정을 제조하고,

이에 의하여 얻어진 실리콘 단결정으로부터 웨이퍼를 잘라낼 때에, 상기 종결정의 경사 각도에 대응하는 각도로 실리콘 단결정을 비스듬하게 절단하여, 표면이 (110)면을 갖는 실리콘 웨이퍼를 잘라내어 실리콘 웨이퍼를 제조하고,

이에 의해 얻어진 실리콘 웨이퍼의 표면에 에피텍셜층을 형성하는 것을 특징으로 하는 에피텍셜 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

쵸크랄스키법에 따른 실리콘 단결정의 제조 방법으로서, 불순물로서 붕소가 6.25×10^{17}~2.5×10^{20}atoms / ㎤의 농도가 되도록 첨가된 실리콘 용융액에, 중심축이 [110] 결정축에 대해 0.6°~10° 경사지고, 또한 상기 실리콘 용융액으로부터 육성되는 단결정에 형성되는 네크부의 붕소 농도에 대하여 10 ~ 1000%의 범위 내의 농도인 실리콘 종결정을 침지시킴으로써, 중심축이 [110] 결정축에 대해 0.6°~10° 경사진 실리콘 단결정을 육성하는 것을 특징으로 하는 방법에 의해 실리콘 단결정을 제조하고,

이에 의해 얻어진 실리콘 단결정으로부터 웨이퍼를 잘라낼 때에, 상기 실리콘 단결정의 직경 방향에 대해서 최대 경사 각도가 ±10° 이하(0° 는 포함하지 않음)가 되도록 단결정을 절단하여 실리콘 웨이퍼를 제조하고,

이에 의해 얻어진 실리콘 웨이퍼의 표면에 에피텍셜층을 형성하는 것을 특징으로 하는 에피텍셜 실리콘 웨이퍼의 제조 방법.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

<1> 본 발명은 쵸크랄스키법에 따른 실리콘 단결정의 제조 방법 및 이 방법으로 얻어진 실리콘 단결정을 이용하는 실리콘 웨이퍼의 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

<2> 실리콘 반도체의 집적 회로 소자(디바이스)의 고집적화는 급속히 진행되고 있고, 그에 수반하여 집적 회로는 미세화되고, 디바이스가 형성되는 실리콘 웨이퍼의 품질에 대한 요구는 더욱 더 어려워지고 있다. 그 때문에, 디바이스가 형성되는 이른바 디바이스 활성 영역에서는 전위(轉位) 등의 결정 결함 및 금속계 불순물의 존재가 엄격하게 제한된다. 이들은 리크 전류의 증대 및 캐리어의 라이프 타임 저하의 원인이 되기 때문이다.

<3> 한편, 최근 전원 컨트롤 등의 용도에 파워 반도체 디바이스가 이용되고 있다. 파워 반도체 디바이스용 기판으로서는 쵸크랄스키법(이하, CZ법이라고 함)에 의해 육성된 실리콘 단결정 잉곳을 취출하고, 얻어진 실리콘 웨이퍼의 표면에 결정 결함을 거의 완전하게 제거한 실리콘 에피텍셜층을 성장시킨 에피텍셜 실리콘 웨이퍼가 주로 이용되고 있다.

<4> 이 파워 반도체 디바이스용 기판으로서는 한층 더한 저소비 전력화에 적합하고, 저항율이 낮은 실리콘 웨이퍼의 제공이 요구되고 있다. 에피텍셜 웨이퍼에 저저항 실리콘 웨이퍼가 채용되는 것은 디바이스가 동작하는 경우에 생기는 부유 전하가 기생 트랜지스터를 동작시키는, 이른바 래치 업 현상을 저저항 실리콘 웨이퍼를 이용함으로써 방지할 수 있고, 디바이스의 설계가 용이해진다는 설계 상의 이유에 의한 것이다. 또한, 트렌치 구조의 커패시터를 이용하는 경우에, 트랜치 주변의 전압 인가 시의 공핍층 확대를 저저항 실리콘 웨이퍼를 이용함으로써 방지할 수 있다는 이점이 있는 것도 이유의 하나이다.

<5> 이 저저항 실리콘 웨이퍼에는 일반적으로, 불순물이 고농도로 도프되고 있다. p형의 실리콘 웨이퍼의 경우는 p형의 불순물인 붕소(B)가 고농도로 도프되고, n형 실리콘 웨이퍼의 경우는 n형의 불순물인 인(P), 비소(As), 안티몬(Sb) 등이 고농도로 도프된다.

<6> CZ법에 의해 실리콘 단결정을 육성할 때, 종결정을 실리콘 용융액과 접촉시킬 때의 히트 쇼크에 의해 종결정 내에 전위가 발생하지만, 종래부터 다용되고 있는 결정축 [100] 의 실리콘 단결정에서는 네킹 프로세스에 의해 발생한 전위를 소멸시킬 수 있다.

<7> 그러나, 결정축 방위가 [110] 인 실리콘 단결정에서는 결정 구조 상, 인상축 방향과 평행한 슬라이딩면인 {111} 면을 갖고 있으므로, 실리콘 용융액과의 접촉에 의해 발생한 전위는 네킹 프로세스에서는 종결정 밖으로 빠지기 어렵다. 그 때문에, 네크부를 통해서 전위가 성장 결정에 인계되어 무전위의 실리콘 단결정의 육성을 할 수 없다는 문제가 있다.

<8> 이에 더하여, 실리콘 단결정 잉곳의 대구경·대중량화에 수반하여 넥 직경을 굵게 할 필요가 있고, 이 관점에서

도 전위 제거가 더욱 어려워지고 있다.

<9> 즉, 직경 300㎜의 단결정 인상을 예로 들면, 종결정 그 자체의 내하중이 커지도록 직경 10㎜ 이상의 종결정을 사용하고, 직경 4㎜~6㎜ 정도의 네크부가 되도록 넥 직경을 줄이고 있었다. 그러나, 직경이 큰 종결정을 사용하면, 종결정의 중심부와 외주부의 온도 분포의 균일화가 어렵고, 온도의 불균형을 일으켜 전위가 발생하기 쉽다. 또한, 실리콘 용융액과의 접촉 면적이 커짐으로써도 종결정 내에서의 전위 발생량이 증가한다.

<10> 이 문제에 대해서, 일본 공개특허공보 2003-313089호에, <110> 결정 방위가 종결정의 축방향에 대해서 경사된 상태로 해당 종결정을 인상함으로써 네킹 공정에서 슬라이딩 전위가 제거된 실리콘 단결정을 인상하는 단결정 실리콘의 제조 방법이 제안되고 있다. 그리고, 상기 경사시키는 방향이, 이 <110> 결정 방위에 대해서 수직인 위치 관계에 있는 다른 <110> 결정 방위를 회전축으로 하여 회전하는 방향이면, 인상한 단결정의 결정 방위를 검출할 때에 X선의 회절면으로서 사용하는 {220} 면({110} 면과 평행)은 다른 <100> 축결정이나 <111> 축결정에서의 {220} 면과 평행이 되므로, X선 회절 장치나, 검출된 방위에 의거하여 오리엔테이션 플랫이나 노치의 가공 등을 행하는 가공 장치를, 인상한 단결정의 결정 방위와 관계없이 공용할 수 있으므로 바람직하다고 하고 있다.

<11> 도 1은, 일본 공개특허공보 2003-313089호의 도 2에 기재되어 있는 도면으로, 실리콘 결정의 결정 방위와 종결정의 축방향의 관계를 설명하는 도면이다. 이 도면에는, 종결정을 실리콘 융액(6)에 침지하여 인상할 때의 네크부(도 1에서는, 슬라이딩 전위 제거부(4)로 표시)에 실리콘 결정(7)의 구조를 나타내는 도면이 중합되어 나타나고 있다. 상기 「종결정의 축방향에 대해서 경사시키는 방향」이란, 이 도 1에 있어서, <110> 방위(10)에 대해서 수직인 위치 관계에 있는 다른 <110> 결정 방위, 즉 도 1에 굵은 밑줄을 그어 나타낸 {110} 면의 방위를 회전축으로 하여 회전하는 방향이며, 그 방향으로 회전시킨 결과, 실리콘 결정(7)의 <110> 방위(10)가 종결정의 축방향(결정 인상 방향 : 9)에 대해서 Θ° 경사진 상태로 되어 있다.

<12> 한편, 붕소 등의 불순물이 고농도로 첨가된 100mΩcm 이하의 p형 저저항 실리콘 단결정의 육성에 있어서는, 종결정과 실리콘 용융액의 불순물 농도가 상이하면, 격자 정수의 차이에 의해 종결정과 용융액의 접촉 시에 종결정 내에 미스피트 전위가 발생하기 쉽다는 문제가 있다.

<13> 이것에 대해서는, 예를 들어, 일본 공개특허공보 평9-255490호에서는, 실리콘 용융액 중의 붕소 농도와 동일 레벨의 붕소 농도를 갖는 종결정을 사용하여 격자 정수의 차이에 의한 전위 발생을 회피하는 기술이 제안되고 있다.

<14> 또한, 일본 공개특허공보 2001-240493호에는 종결정으로서 무전위 단결정을 이용하여 종결정과 성장 결정 사이의 붕소 농도의 차이를 소정값 이하로 하는 무전위 실리콘 단결정의 제조 방법이 기재되어 있다. 그러나, 결정축 방위가 [110] 인 실리콘 단결정의 육성에 있어서는, 이 단결정이 전술한 인상축 방향과 동일 방향의 슬라이딩면({111} 면)을 갖고 있기 때문에 전위 제거 효과는 충분하지 않다.

<15> 또한, 웨이퍼 표면이 (110)면의 실리콘 웨이퍼를 이용하여 에피택셜 성장 처리를 행한 경우, 에피텍셜층 표면의 헤이즈가 악화된다는 문제도 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<16> 본 발명은 전술한 문제를 해결하여 결정축 방위가 [110] 인 실리콘 웨이퍼를 얻을 수 있고, 게다가 전위가 충분히 제거된 실리콘 단결정의 제조 방법과 그에 이용하는 실리콘 종결정 및 이 방법에 의해 얻어진 실리콘 단결정으로부터 결정축 방위가 [110] 이고 저항율이 낮은 실리콘 웨이퍼를 제조하는 방법을 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

과제 해결수단

<17> 본 발명자들은 상기의 과제를 해결하기 위해서, 파워 반도체 디바이스용 기판으로서 주로 이용되고 있는 저저항의 에피텍셜 실리콘 웨이퍼로의 적용도 고려하여, 붕소를 불순물로서 첨가하고, 중심축이 [110] 결정축에 대해 소정 각도 경사진 무전위의 실리콘 단결정의 CZ법에 따르는 제조, 및 이 실리콘 단결정을 이용한 결정축 방위가 [110] 인 실리콘 웨이퍼의 제조에 대해 검토하여 본 발명을 이루기에 이르렀다.

효 과

<18> 본 발명의 요지는, 하기 (1)의 실리콘 단결정의 제조 방법, (2) 또는 (3)의 실리콘 웨이퍼의 제조 방법, (4)의 실리콘 종결정에 있다.

<19> (1) CZ법에 따르는 실리콘 단결정의 제조 방법으로서, 불순물로서 붕소가 6.25×10^{17}~2.5×10^{20}atoms / ㎤의 농도가 되도록 첨가된 실리콘 용융액에, 중심축이 [110] 결정축에 대해 0.6° ~10° 경사지고, 또한 상기 실리콘 용융액으로부터 육성되는 단결정에 형성되는 네크부의 붕소 농도와 대략 동일 농도인 실리콘 종결정을 침지시킴으로써, 중심축이 [110] 결정축에 대해 0.6° ~10° 경사진 실리콘 단결정을 육성하는 것을 특징으로 하는 실리콘 단결정의 제조 방법이다.

<20> 상기 (1)의 실리콘 단결정의 제조 방법에 있어서, 실리콘 종결정의 중심축이 상기 [110] 결정축에 수직인 <100> 결정축을 회전축으로 하여 회전하는 방향으로 경사져 있으면, 다른 방향으로 경사져 있는 경우에 비해 네크부의 길이가 짧아도 네킹 사이에 전위를 제거할 수 있으므로 바람직하다.

<21> 또한, 상기 (1)의 실리콘 단결정의 제조 방법에 있어서, 종결정으로서 실리콘 용융액과 접하는 종결정 하단부의 직경이 적어도 8㎜ 이하인 것을 사용하고, 직경 4~6㎜인 네크부를 형성하는 것이 바람직하다.

<22> (2) 상기 (1)에 기재된 방법에 의해 얻어진 실리콘 단결정으로부터 웨이퍼를 취출할 때에, 상기 종결정의 경사각도에 대응하는 각도로 실리콘 단결정을 비스듬하게 절단하여 표면이 (110)면을 갖는 실리콘 웨이퍼를 잘라내는 실리콘 웨이퍼의 제조 방법이다.

<23> (3) 상기 (1)에 기재된 방법에 의해 얻어진 실리콘 단결정으로부터 웨이퍼를 취출할 때에, 상기 실리콘 단결정의 직경 방향에 대해서 최대 경사 각도가 ±10° 이하가 되도록 실리콘 단결정을 절단하는 실리콘 웨이퍼의 제조 방법이다.

<24> 상기 (2) 또는 (3)에 기재된 방법에 의해 얻어진 실리콘 웨이퍼의 표면에 에피텍셜층을 형성하는 것으로 하면, 헤이즈의 발생이 억제된 에피텍셜 실리콘 웨이퍼를 제조할 수 있다.

<25> (4) 붕소 농도가 5×10^{17}~2×10^{20}atoms / ㎤이며, 또한 중심축이 [110] 결정축에 대해 0.6° ~10° 경사져 있는 실리콘 종결정이다. 즉, 상기 실리콘 용융액의 붕소 농도로 육성되는 단결정에 형성되는 네크부의 붕소 농도를 붕소의 편석 계수로부터 상정하고, 이것과 대략 동일 농도의 실리콘 종결정을 이용하는 것이 바람직하다.

<26> 상기 (4)의 실리콘 종결정의 중심축이 상기 [110] 결정축에 수직인 <100> 결정축을 회전축으로 하여 회전하는 방향으로 경사져 있으면, 이 종결정을 이용하여 실리콘 단결정의 인상을 행할 때에 있어서 전위를 제거할 수 있는 네크부의 길이를 짧게 할 수 있다.

<27> 본 발명의 실리콘 단결정의 제조 방법에 의하면, 미스피트 전위의 발생을 억제함과 함께 네킹 프로세스에 있어서 빠지기 어려운 전위가 충분히 제거된, 중심축이 [110] 결정축에 대해 0.6° ~10° 경사져 있는 실리콘 단결정을 제조할 수 있다. 이 방법의 실시예는 본 발명의 실리콘 종결정을 이용하는 것이 특히 매우 적합하다.

<28> 또한, 본 발명의 실리콘 웨이퍼의 제조 방법에 의하면, 결정축 방위가 [110] 이고 무전위인 저저항 실리콘 웨이퍼를 제조할 수 있다. 웨이퍼 표면에 형성된 에피텍셜층 표면에서의 헤이즈 발생이 억제된 웨이퍼의 제조도 가능하다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<29> 이하에, 상기 (1)~(4)에 기재된 본 발명의 실리콘 단결정의 제조 방법과 그 제조에 이용하는 실리콘 종결정 및 실리콘 웨이퍼의 제조 방법에 대해 설명한다.

<30> 상기 (1)에 기재된 실리콘 단결정의 제조 방법은, CZ법에 따르는 실리콘 단결정의 제조 방법으로서, 불순물로서 붕소가 6.25×10^{17}~2.5×10^{20}atoms / ㎤의 농도가 되도록 첨가된 실리콘 용융액에, 중심축이 [110] 결정축에 대해 0.6° ~10° 경사진 실리콘 종결정을 침지시켜 실리콘 단결정을 육성하는 방법이다.

<31> 즉, 슬라이딩면({111} 면)을 성장 방향(즉, 인상축 방향)으로부터 기울여 인상하므로, 종결정의 외주부에 도입된 열 쇼크 전위가 슬라이딩 면 상에 오르고, 네킹의 사이에 넥 측면으로부터 개방된다. 그 결과, 전위가 충분히 제거된, 무전위의 실리콘 단결정을 제조할 수 있다. 이 실리콘 단결정의 중심축은 [110] 결정축에 대해 0.6° ~10° 경사하고 있다.

<32> 종결정의 경사 각도의 범위를 상기와 같이 설정하는 것은, 이하의 이유에 의하는 것이다.

<33> 우선, 네킹의 사이에서의 네크부의 직경을 6㎜라 가정하고, 슬라이딩 면 상의 전위가 넥 측면으로부터 개방되기 위해서 필요한 네크부의 길이(L)를 구하면, 표 1과 같이 된다.

표 1

θ(°)	0.4	0.5	0.6	0.7	1	1.5	2	3	10	20	45	90
L(mm)	1052	842	701	601	420	281	210	140	41.9	20.6	8.48	4.24
tanφ	5.70×10^{-3}	7.13×10^{-3}	8.55×10^{-3}	9.88×10^{-3}	1.43×10^{-2}	2.14×10^{-2}	2.85×10^{-2}	4.28×10^{-2}	1.43×10^{-1}	2.91×10^{-1}	7.07×10^{-1}	1.41
φ(°)	0.33	0.41	0.49	0.57	0.82	1.22	1.63	2.45	8.15	16.20	35.26	54.70

<34>

<35> 여기서, Θ는, [110] 결정축에 수직인 <100>(보다 구체적으로는 [001] 또는 [00-1])을 중심으로 하여 회전한 경우에, [110] 결정축과 종결정의 중심축이 이루는 각(이하, 「종결정의 경사 각도」또는 단순히 「경사 각도」라고 함)이며, Φ는 {111} 슬라이딩면(구체적으로는, (-111), (1-11), (1-1-1), (-11-1)의 4면임)이 종결정의 중심축과 이루는 각이다. Θ와 Φ 사이에는 하기 (a) 식으로 표시되는 관계가 있다.

$$\tan \phi = \frac{\sin \theta \sin 54.74}{\sqrt{\cos^2 54.74 + \sin^2 54.74 \cos^2 \theta}} \quad \cdots (a)$$

<36>

<37> 이렇게 하여 육성한 실리콘 단결정을 후술하는 바와 같이 표면이 (110)면을 갖는 웨이퍼로 취출하기 위해서는 실리콘 단결정의 중심축을 와이어 소에 대해서 기울여 설치할 필요가 있다. 취출된 웨이퍼는 완전한 원이 아니고 타원이 된다. 타원의 짧은 축은 완전한 원으로 하기 위해서 여분의 부분을 연삭하여 둥글린 후의 직경이 된다. 긴 축은 종결정의 경사 각도에 의해 변화한다.

<38> 표 2에, 실리콘 단결정의 직경이 300㎜인 경우에서의 종결정의 경사 각도(Θ)와 긴 축(b)의 관계를 나타낸다.

표 2

θ(°)	0.4	0.5	0.6	0.7	1	10	20
b(mm)	300.007	300.011	300.016	300.022	300.046	304.628	319.253

<39>

<40> 취출된 웨이퍼의 평평해진 부분은 취출(이하, 「슬라이스」라고도 함) 후에 완전한 원으로 하기 위한 연삭으로 가공 로스가 되는 부분이다.

<41> 또한, 실리콘 단결정의 중심축을 기울여 와이어 소에 세트하기 위해서 생기는 흔들림 폭은 블록 길이(단결정 잉곳을 후술하는 바와 같이 적당한 길이로 절단하여 얻어지는 블록의 길이로, 실리콘 단결정의 직경에 상당함)가 300㎜인 경우, 표 3과 같이 된다. 또한, 상기의 흔들림 폭이란 블록을 기울여 세트함으로써 취출에 필요한 가공 길이가 약간 증가하는데, 그 증가분을 말한다.

<42> 표 3에, 실리콘 단결정의 직경이 300㎜인 경우에서의 종결정의 경사 각도(Θ)와 흔들림 폭(D)의 관계를 나타낸다.

표 3

θ(°)	0.4	0.5	0.6	0.7	1	10	20
D(mm)	2.09	2.62	3.67	3.67	5.24	52.09	102.6

<43>

<44> 직경 300㎜의 실리콘 단결정을 슬라이스하기 위해서는, 적어도 300㎜에 표 3에 나타내는 흔들림 폭(D)을 더한 「D+300㎜」의 폭의 결정을 슬라이스할 수 있는 가공 능력이 필요해진다.

<45> 이상의 표 1~표 3에 나타낸 네크부의 길이(L), 타원을 완전한 원으로 둥글리기 위한 가공 로스 및 흔들림 폭(D)을 종합적으로 감안하여, 종결정의 경사 각도를 0.6° ~10° 로 하였다. 보다 바람직하게는 1° ~10° 이다. 경사 각도가 이보다 작은 경우는, 전위를 제거하기 위한 네크부의 길이가 너무 길어져 충분한 전위 제거 효과도 얻을 수 없다. 또한, 종결정의 경사 각도가 이것보다 큰 경우는 슬라이스 후의 편평 정도가 크고, 가공 로스가 되는 부분이 증가하며, 필요해지는 와이어 소의 가공 능력도 너무 커지기 때문이다.

<46> 본 발명에 있어서는, 종결정을 기울이는 방향은 {111} 슬라이딩면이 인상 축에 대해서 경사하는 방향이면 좋다. 예를 들어, 종결정의 중심축을 [110] 결정축에 대해서 기울일 때에, [110] 결정축에 수직인 <111> 결정축(보다 상세하게는, [-11-1] , [1-11] , 「1-1-1」, [-111] 결정축) 방향(정확하게는, <111> 결정축을 중심으로 하여 회전하는 방향)과는 상이한 방향으로 기울여도 좋다. 또한, [110] 결정축에 수직인 <100> 결정축(보다 상세하게는 [001] , [00-1] 결정축) 방향, 즉, 상기 표 1에 나타낸 결과를 얻은 경우와 같이, <100> 결정축을 중심으로 하여 회전하는 방향으로 기울여도 좋다.

<47> 실리콘 종결정의 중심축이 상기 [110] 결정축에 수직인 <100> 결정축을 회전축으로 하여 회전하는 방향으로 경사하고 있으면, 네킹 사이에 전위를 제거할 수 있는 네크부의 길이(L)를 이하에 설명하는 바와 같이 짧게 할 수 있고, 단결정 인상 시의 제약을 완화할 수 있으므로 바람직하다.

<48> 상기의 「 [110] 결정축에 수직인 <100> 결정축을 회전축으로 하여 회전하는 방향」이란, 상기 도 1에 있어서, 굵은 밑줄을 친 {100} 면의 방위를 회전축으로 하여 회전하는 방향이다. 즉, Θ° 이 0° 인 상태에 있어서 상기 {100} 면의 방위를 회전축으로 하여 도 1의 지면에 대해 앞쪽 방향으로, 또는 그 반대 방향으로 회전하는 방향이다.

<49> 상기 표 1에 나타낸 네크부의 길이(L)는, 종결정의 중심축의 [110] 결정축에 대한 경사 방향을, [110] 결정축에 수직인 <100> 결정축을 회전축으로 하여 회전하는 방향으로 한 경우이지만, 예를 들어 전술의 일본 공개특허 공보 2003-313089호에 기재되는 바와 같이, <110> 결정 방위에 대해서 수직인 위치 관계에 있는 다른 <110> 결정 방위를 회전축으로 하여 회전하는 방향으로 기울인 경우에는, α와 φ 사이에 하기 (b) 식으로 표시되는 관계가 성립된다. 여기서, α는 종결정의 경사 각도로 상기 (a)식에서의 Θ에 대응한다. 또한, φ는 {111} 슬라이딩면이 종결정의 중심축과 이루는 각이다.

<50>
$$\tan\phi = \frac{\sin\alpha \sin 35.26}{\sqrt{\cos^2 35.26 + \sin^2 35.26 \cos^2\alpha}} \quad \cdots (b)$$

<51> 이 (b)식을 이용하여 상기 표 1의 경우와 동일하게 네크부의 길이(L)를 산출하면, 표 4와 같이 된다.

표 4

<52>

α(°)	0.4	0.5	0.6	0.7	1	1.5	2	3	10
L(mm)	1488	1190	994	850	596	396	299	199	59.6
tanφ	4.03 x10^{-3}	5.04 x10^{-3}	6.05 x10^{-3}	7.05 x10^{-3}	1.01 x10^{-2}	1.51 x10^{-2}	2.02 x10^{-2}	3.02 x10^{-2}	1.01 x10^{-1}
φ(°)	0.231	0.289	0.346	0.404	0.577	0.866	1.15	1.73	5.75

<53> 표 1 및 표 4에 있어서, 네크부의 길이(L)를 비교하면, 표 1에서의 네크부의 길이(L) 쪽이 현격히 짧고, 종결정의 중심축의 [110] 결정축에 대한 경사 방향을, [110] 결정축에 수직인 <100> 결정축을 중심으로 하여 회전하는 방향으로 한 경우, 전위를 제거할 수 있는 네크부의 길이(L)를 짧게 할 수 있다.

<54> 이 결과에 의거하여, 실제로 경사 각도를 6° 또는 10° 로 하여 비교한 바, 종결정의 경사 방향을 [110] 결정축에 수직인 <100> 결정축을 회전축으로 하여 회전하는 방향으로 한 경우, 전위를 제거할 수 있는 네크부의 길이(L)가 짧아지는 것을 확인할 수 있었다.

<55> 본 발명의 실리콘 단결정의 제조 방법에서는, 불순물로서 붕소가 6.25×10^{17}~2.5×10^{20}atoms / ㎤의 농도가 되도록 첨가된 실리콘 용융액에, 상기 실리콘 용융액으로부터 육성되는 단결정에 형성되는 네크부의 붕소 농도와 대략 동일 농도의 실리콘 종결정을 침지시킨다.

<56> p형 저저항 실리콘 단결정의 육성에 있어서는, 종결정과 실리콘 용융액의 불순물 농도가 상이한 것에 따른 격자 정수의 차이로부터, 종결정 내에 미스피트 전위가 발생하기 쉽지만, 종결정과 실리콘 용융액의 육성 결정의 네크부의 붕소 농도를 대략 동일하게 함으로써, 저저항 실리콘 단결정의 육성으로 문제가 되는 미스피트 전위의 발생을 억제할 수 있다.

<57> 상기의 대략 동일 농도란, 종결정과 실리콘 용융액의 육성 결정의 네크부 중 한 쪽의 붕소 농도가 다른 쪽의 붕소 농도에 대해서 10~1000%(즉, 0.1~10배)의 범위 내의 농도로 하는 것이 바람직하다. 이 범위 내의 농도차이면, 미스피트 전위발생의 억제 효과가 발견된다.

<58> 실리콘 용융액의 육성 결정의 네크부와 종결정의 붕소 농도를 상기와 같이 규정한 것은, 후술하는 실시예의 결과에 의거한다.

<59> 본 발명에 적용하는 실리콘 종결정은 붕소 농도가 5×10^{17}~2×10^{20}atoms/㎤이며, 또한 중심축이 [110] 결정축에 대해 0.6°~10° 경사져 있는 종결정이다.

<60> 본 발명의 실리콘 단결정의 제조 방법에 있어서는, 실리콘 종결정으로서 실리콘 용융액의 육성 결정의 네크부의 붕소 농도와 대략 동일 농도의 종결정을 이용하지만, 실질적으로 동일 농도의 종결정을 이용하는 것으로 하면, 성장 결정과의 격자 정수의 차이를 없애 미스피트 전위 발생의 억제 효과를 보다 높일 수 있다.

<61> 즉, 붕소의 편석 계수를 고려하여 상기 실리콘 용융액의 붕소 농도로 육성되는 단결정에 형성되는 네크부의 붕소 농도를 붕소의 편석 계수로부터 상정하고, 이것과 대략 동일 농도가 되는, 5×10^{17}~2×10^{20}atoms/㎤인 실리콘 종결정을 이용하는 것이 바람직하다.

<62> 본 발명의 실리콘 단결정의 제조 방법에서는, 종결정으로서 실리콘 용융액과 접하는 종결정 하단부의 직경이 적어도 8㎜ 이하인 것을 사용하고, 직경 4~6㎜인 네크부를 형성하는 것으로 하면, 용융액과 접촉하는 접촉 면적이 작고, 예열에 의해서 종결정 온도를 충분히 균일화할 수 있으므로, 전위의 발생량을 더욱 저감시키는 것이 가능해지므로 바람직하다.

<63> 상기 (2)에 기재된 실리콘 웨이퍼의 제조 방법은, 본 발명의 제조 방법에 의해 얻어진 저항율이 낮은 실리콘 단결정으로부터 웨이퍼를 취출할 때에, 상기 종결정의 경사 각도에 대응하는 각도로 실리콘 단결정을 비스듬하게 절단하여 표면이 (110)면을 갖는 실리콘 웨이퍼를 잘라내는 실리콘 웨이퍼의 제조 방법이다.

<64> 종결정의 경사 각도에 대응하는 각도로 실리콘 단결정을 비스듬하게 절단하고, 그 절단면이 (110)면을 갖는 실리콘 웨이퍼를 취출하므로, 결정축 방위가 [110] 이고 무전위인 저저항 실리콘 웨이퍼를 제조할 수 있다.

<65> 또한, 상기 (3)에 기재된 실리콘 웨이퍼의 제조 방법은, 동일하게 본 발명의 제조 방법에 의해 얻어진 실리콘 단결정으로부터 웨이퍼를 취출할 때에, 상기 실리콘 단결정의 직경 방향(단결정의 단면에 수평인 방향)에 대해서 최대 경사 각도가±10° 이하가 되도록 실리콘 단결정을 절단하는 실리콘 웨이퍼의 제조 방법이다.

<66> 실리콘 단결정을 이렇게 단결정을 절단함으로써 [110] 결정축에 대해 결정축이 경사한 무전위의 저저항 실리콘 웨이퍼를 제조할 수 있다. 이 실리콘 웨이퍼 표면은 (110)면은 아니기 때문에, 에피택셜 성장 처리 시에 문제가 되는 에피텍셜층 표면의 헤이즈 발생을 억제할 수 있다.

<67> 본 발명의 실리콘 단결정의 제조 방법에 의해, 실리콘 웨이퍼를 제조하는 가공 플로우의 개략은 이하와 같다.

<68> 우선 처음에, 인상된 실리콘 단결정(잉곳)에 외주 연삭을 실시한다. 잉곳은 품질 상의 요구나, 인상 중의 외란에 의해 직경 변동이 발생하는 것을 고려하여, 목적으로 하는 웨이퍼 직경보다도 수% 큰 직경의 잉곳으로서 인상되므로 이 잉곳을 외주 연삭에 의해 목적으로 하는 직경까지 연삭한다.

<69> 다음에, 잉곳의 숄더부나 테일부를 절단하고, 다시 적당한 길이의 블록으로 절단한다.

<70> 계속해서, 블록을 카본의 토대에 접착하고, 블록의 중심축을 기울여 와이어 소에 세트한다. 이 때 X선 회절 장치에 의해 결정의 방위를 측정하고, 슬라이스 후의 표면이 (110)면이 되도록, 또는 실리콘 단결정의 직경 방향에 대해서 최대 경사 각도가 ±10° 이하가 되도록 세트하고 와이어 소에 의해 절단한다.

<71> 슬라이스된 웨이퍼는 편평한 타원 형상을 이루고 있으므로, 여분의 부분을 연삭에 의해 갈아 없애 완전한 원으로 한다. 그 후, 폴리싱에 의해 표면을 경면으로 한다.

<72> (실시예 1)

<73> 이하에 나타내는 결정 육성 조건으로 실리콘 단결정을 육성하고, 단결정의 유전위화의 유무를 조사하였다. 또한, 실리콘 결정 중의 붕소 농도 및 종결정의 경사 각도에서의 어느 수준에 대해서도 실리콘 단결정의 인상 갯수는 3개로 하였다.

<74> 실리콘 종결정의 붕소 농도에 대해서는, 편의적으로 사용되고 있는 표기를 이용하였다. P에 붙인 「+」또는 「++」은 불순물 농도(여기에서는, 붕소 농도)가 높고, 결정의 저항율이 낮은 것을, 「-」는 그 반대인 것을 나타낸다. 불순물 농도나 저항율에 대해서 명확한 정의는 없기 때문에, 여기에서는 특히 불순물 농도를 높인 P+, P++에 대해서 이하와 같이 정의한다.

<75> p+ : 붕소 농도 5×10^{17}~7×10^{18}atoms / ㎤

<76> 저항율 100~20mΩcm

<77> p++ : 붕소 농도 7×10^{18}~2×10^{20}atoms / ㎤

<78> 저항율 20~0.8mΩcm

<79> 또한, P+나 P++의 단결정을 육성하기 위해서는, 편석 현상을 고려하여 융액 중의 불순물 농도는 1/편석 계수배(1/0.8=1.25배 : 붕소의 경우)의 농도로 할 필요가 있다.

<80> <결정 육성 조건>

<81> 결정축 방위 : <110>

<82> 단결정 직경 : 300㎜

<83> 육성 결정의 붕소 농도 : p-, p, p+, p++

<84> 종결정의 붕소 농도 : p

<85> 종결정의 경사 각도 : 0°, 0.7°, 1°, 5°, 10°

<86> 넥 부 길이 : 300㎜

<87> 조사 결과를 표 5에 나타낸다. 표 5에 있어서, 3개 모든 실리콘 단결정을 무전위로 육성할 수 있던 경우를 ○로 하고, 일부의 실리콘 단결정이 유전위화한 경우를 △로 하며, 모든 단결정이 유전위화한 경우를 ×로서 평가하였다. 실시예 2~실시예 4에 있어서도 동일하다.

표 5

<88>

	종 결정의 경사 각도 (°)	육성 결정의 붕소농도		
		P-	P+	P++
조건 1	0	△	×	×
조건 2	0.7	○	×	×
조건 3	1.0	○	×	×
조건 4	5.0	○	△	×
조건 5	10.0	○	△	×

<89> 표 5로부터 알 수 있듯이, 종결정의 중심축을 기울이지 않고(경사 각도 : 0°) 육성한 조건 1에서는, p-결정 등, 붕소 농도가 낮은 실리콘 용융액을 이용하여 육성한 비교적 고저항의 실리콘 단결정의 경우에는, 3개 중의 일부의 실리콘 단결정을 무전위로 육성할 수도 있었지만, p+, p++의 실리콘 단결정(저저항 결정)의 육성에서는 모두 유전위화하였다.

<90> 종결정을 기울여 인상한 조건 2~5에서는, 무전위 단결정의 수율이 전체적으로 향상했지만, p++의 결정 육성에서는 모두 유전위화하였다. 이것은 종결정의 중심축을 [110] 결정축에 대해 경사시킨 인상만으로는 미스피트 전위를 제거하는 효과가 작기 때문이라고 생각된다.

<91> (실시예 2)

<92> 넥 길이를 400㎜로 변경한 것 이외에는 실시예 1과 동일한 조건으로 실리콘 단결정을 육성하였다. 실리콘 단결정의 유전위화의 유무의 조사 결과를 표 6에 나타낸다.

표 6

	종 결정의 경사 각도 (°)	육성 결정의 붕소농도		
		P-	P+	P++
조건 1	0	△	×	×
조건 2	0.7	○	×	×
조건 3	1.0	○	△	×
조건 4	5.0	○	○	×
조건 5	10.0	○	○	×

<93>

<94> 표 6에 나타내는 바와 같이, 넥 길이를 길게 함으로써 넥 길이 300㎜에서는 무전위화가 되어 있지 않던 조건에서도 무전위화할 수 있었다.

<95> (실시예 3)

<96> 넥 길이를 600㎜로 변경한 것 이외에는 실시예 1과 동일한 조건으로 실리콘 단결정을 육성하였다. 조사 결과를 표 7에 나타낸다.

표 7

	종 결정의 경사 각도 (°)	육성 결정의 붕소농도		
		P-	P+	P++
조건 1	0	△	×	×
조건 2	0.7	○	△	×
조건 3	1.0	○	○	×
조건 4	5.0	○	○	×
조건 5	10.0	○	○	×

<97>

<98> 표 7에서 알 수 있듯이, 넥 길이를 길게 함으로써 실시예 1, 2에서 무전위화가 되어 있지 않던 조건에서도 무전위화할 수 있게 되었다. 실시예 2, 3에서 특징적인 것은 p+결정의 육성에 대해서는 넥 길이를 길게 함으로써 무전위의 성공율의 향상을 볼 수 있음에 대해, p++ 결정의 육성에서는 넥 길이를 길게 해도 무전위의 성공율에 향상을 볼 수 없는 것이다. 실리콘 용융액의 불순물 농도가 높은 것을 종결정의 경사 각도의 조정에 의한 개선 효과가 작은 것을 알 수 있다.

<99> (실시예 4)

<100> 종결정의 붕소 농도를 육성 결정의 붕소 농도에 맞춘 것 이외에는, 모두 실시예 1과 동일 조건으로 실리콘 단결정을 인상하였다. 조사 결과를 표 8에 나타낸다.

표 8

	종 결정의 경사 각도 (°)	육성 결정의 붕소농도		
		P-	P+	P++
조건 1	0	△	△	△
조건 2	0.7	○	○	○
조건 3	1.0	○	○	○
조건 4	5.0	○	○	○
조건 5	10.0	○	○	○

<101>

<102> 표 8에서 알 수 있듯이, 조건 1~5의 모두에 있어서 무전위로 단결정 육성을 행할 수 있었다.

<103> (실시예 5)

<104> 종결정의 경사 각도를 5° 로 하고, 실시예 1과 동일한 조건으로 붕소 농도가 p++인 종결정을 이용하여 p++인 실리콘 단결정을 육성하고, (110)면에 대한 경사 각도를 여러 가지 변경하여 실리콘 웨이퍼를 취출하였다.

각 웨이퍼에 대해서 에피택셜 성장 처리를 실시하여 웨이퍼 표면에 에피택셜층을 형성한 후, 에피택셜층 표면의 표면 조도를 측정하였다.

<105> 에피택셜 성장 조건은 원료 소스 가스로서 트리클로로실란(TCS)을 이용하여 1130℃의 온도에서, 저항율 p, 두께 3㎛의 에피택셜층을 웨이퍼 표면에 형성하였다. 그 결과를 표 9에 나타낸다. 표 9에 있어서, 「표면 조도 RMS」란, 하기 (c)식으로 정의되는 웨이퍼 표면의 미시적 러프니스(마이크로러프니스)로, AFM(Atomic Force Microscopy)에 의해 측정, 평가하였다.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N}\cdot\sum_{i=1}^{N} zi^2} \quad \cdots \ (c)$$

단, N : 측정점
zi : 측정점 i에 있어서의 표면 높이

<106>

표 9

<107>

	(1 1 0)면에 대한 경사 각도(°)	경사 방향	표면 조도 (RMS)
조건 1	0	—	0.106
조건 2	0.46	[0 0 -1]	0.084
조건 3	0.48	[0 0 -1]+20°	0.075
조건 4	0.44	[-1 1 -1]	0.162
조건 5	0.42	[-1 0 0]	0.264

<108> 표 9에서, 웨이퍼 표면이 (110)면인 경우(표 9의 조건 1)의 표면 조도와 비교하여 표면 조도가 작았다. 즉, (110)면에 대한 경사 각도를 변경한 경우에는, 헤이즈 발생이 억제된 것이라고 추측된다.

<109> 본 발명의 실리콘 단결정의 제조 방법은 실리콘 용융액과 거기에 침지시키는 종결정의 붕소 농도 및 종결정의 [110] 결정축에 대한 경사 각도를 규정하는 방법으로, 전위가 충분히 제거된, 중심축이 [110] 결정축에 대해 0.6°~10° 경사져 있는 실리콘 단결정을 제조할 수 있다. 이 방법의 실시에는, 본 발명의 실리콘 종결정을 이용하는 것이 매우 적합하다. 이 실리콘 단결정을 이용하는 본 발명의 실리콘 웨이퍼의 제조 방법에 의하면, 결정축 방위가 [110]에서 무전위의 저저항 실리콘 웨이퍼를 제조할 수 있다. 웨이퍼 표면에 헤이즈 발생이 억제된 에피택셜층을 형성시키는 것도 가능하다.

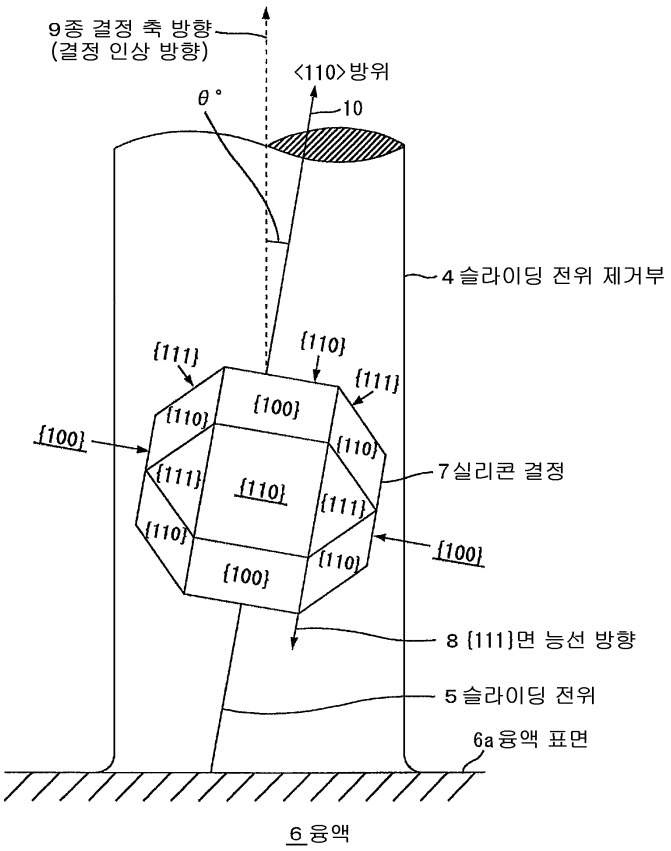
<110> 따라서, 본 발명의 실리콘 단결정의 제조 방법과 거기에 이용하는 실리콘 종결정 및 실리콘 웨이퍼의 제조 방법은, 실리콘 반도체 재료 및 디바이스의 제조에 매우 적합하게 이용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

<111> 도 1은 실리콘 결정의 결정 방위와 종결정의 축방향의 관계를 설명하는 도면이다.

도면

도면1


9종 결정 축 방향
(결정 인상 방향)
<110>방위
θ°
10
4 슬라이딩 전위 제거부
{111}
{110}
{111}
{100}
{110}
{100}
{110}
{111}
{110}
{111}
7 실리콘 결정
{110}
{100}
{110}
{100}
8 {111}면 능선 방향
5 슬라이딩 전위
6a 융액 표면
6 융액