



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0054615  
(43) 공개일자 2018년05월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
**C30B 15/20** (2006.01) **C30B 29/06** (2006.01)  
**C30B 30/04** (2006.01) **H01F 6/06** (2006.01)

(52) CPC특허분류  
**C30B 15/20** (2013.01)  
**C30B 29/06** (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-7007462

(22) 출원일자(국제) 2016년08월23일  
심사청구일자 없음

(85) 번역문제출일자 2018년03월15일

(86) 국제출원번호 PCT/JP2016/003827

(87) 국제공개번호 WO 2017/047008  
국제공개일자 2017년03월23일

(30) 우선권주장  
JP-P-2015-185654 2015년09월18일 일본(JP)

(71) 출원인  
신에쓰 한도타이 가부시키가이샤  
일본 도쿄도 치요다구 오테마치 2쵸메 2-1

(72) 발명자  
타카노, 키요타카  
일본, 후쿠시마 9618061, 니시시라카와-군, 니시고-무라, 오아자 오다쿠라, 아자 오히라, 150, 신에쓰 한도타이 가부시키가이샤, 시라카와 연구개발 센터내

(74) 대리인  
특허법인씨엔에스

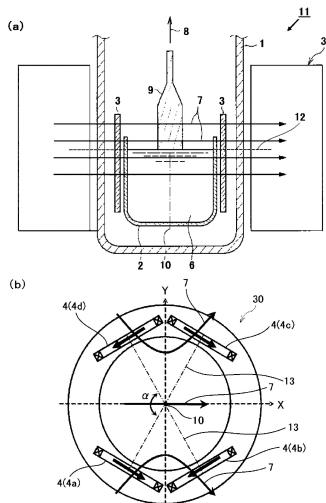
전체 청구항 수 : 총 3 항

(54) 발명의 명칭 단결정 인상장치 및 단결정 인상방법

### (57) 요 약

본 발명은, 용융한 단결정재료가 수용되는 도가니가 배치되고 중심축을 갖는 인상로와, 인상로의 주위에 마련되고 초전도코일을 갖는 자장발생장치를 구비한 단결정 인상장치로서, 자장발생장치는, 초전도코일의 코일축을 포함하는 수평면내의 중심축에 있어서의 자력선방향을 X축으로 했을 때에 X축상의 자속밀도분포가 위로 볼록한 분포이며, 수평면내의 중심축에 있어서의 자속밀도를 자속밀도설정값으로 한 경우, X축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 80% 이하가 됨과 동시에, 수평면내에 있어서 X축과 직교하고 중심축을 통과하는 Y축상의 자속밀도분포가 아래로 볼록한 분포이며, Y축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 140% 이상이 되도록, 자장분포를 발생시키는 것을 특징으로 하는 단결정 인상장치이다. 이에 따라, 육성하는 단결정중의 산소농도를 저감할 수 있음과 함께, 육성하는 단결정중의 성장률을 억제할 수 있는 단결정 인상장치가 제공된다.

### 대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류

*C30B 30/04* (2013.01)

*H01F 6/06* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

가열히터 및 용융한 단결정재료가 수용되는 도가니가 배치되고 중심축을 갖는 인상로와, 상기 인상로의 주위에 마련되고 초전도코일을 갖는 자장발생장치를 구비하고, 상기 초전도코일로의 통전에 의해 상기 용융한 단결정재료에 수평자장을 인가하여, 상기 용융한 단결정재료의 상기 도가니내에서의 대류를 억제하는 단결정 인상장치로서,

상기 자장발생장치는, 상기 초전도코일의 코일축을 포함하는 수평면내의 상기 중심축에 있어서의 자력선방향을 X축으로 했을 때에 상기 X축상의 자속밀도분포가 위로 불록한 분포이며, 상기 수평면내의 상기 중심축에 있어서의 자속밀도를 자속밀도설정값으로 한 경우, 상기 X축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 상기 자속밀도설정값의 80% 이하가 됨과 동시에, 상기 수평면내에 있어서 상기 X축과 직교하고 상기 중심축을 통과하는 Y축상의 자속밀도분포가 아래로 불록한 분포이며, 상기 Y축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 상기 자속밀도설정값의 140% 이상이 되도록, 자장분포를 발생시키는 것을 특징으로 하는,

단결정 인상장치.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 자장발생장치에 있어서, 각각 대향배치된 초전도코일의 쌍을 각각의 코일축이 동일한 수평면내에 포함되도록 2쌍 마련함과 함께, 상기 코일축간의 상기 X축을 끼우는 중심각도  $\alpha$ 를 90도 이상 120도 이하로 한 것을 특징으로 하는,

단결정 인상장치.

#### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 기재된 단결정 인상장치를 이용하여, 반도체단결정을 인상하는 것을 특징으로 하는,

단결정 인상방법.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001]

본 발명은, 단결정 인상장치, 및 이것을 이용한 단결정 인상방법에 관한 것이다.

#### 배경기술

[0002]

실리콘이나 갈륨비소 등의 반도체는 단결정으로 구성되고, 소형에서부터 대형까지의 컴퓨터의 메모리 등에 이용되고 있으며, 기억장치의 대용량화, 저비용화, 고품질화가 요구되고 있다.

[0003]

종래, 이들 반도체의 요구를 만족시키는 단결정을 제조하기 위한 단결정 인상방법 중 하나로서, 도가니내에 수용되어 있는 용융상태의 반도체재료에 자장을 인가시키고, 이에 따라, 용융액에 발생하는 열대류를 억지하여, 대구경이고 고품질의 반도체를 제조하는 방법(일반적으로 자장인가 쇼크랄스키(MCZ)법이라고 칭하고 있음)이 알려져 있다.

[0004]

도 10을 이용하여 종래의 CZ법에 의한 단결정 인상장치의 일례를 설명한다. 도 10의 단결정 인상장치(100)는, 상면이 개폐가능한 인상로(101)를 구비하고, 이 인상로(101)내에 도가니(102)를 내장한 구조으로 되어 있다. 그리고, 인상로(101)의 내측에는 도가니(102)내의 반도체재료를 가열용융하기 위한 히터(103)가 도가니(102)의

주위에 마련되고, 인상로(101)의 외측에는, 1쌍의 초전도코일(104(104a, 104b))을 원통형 용기로서의 냉매용기(이하, 원통형 냉매용기라고 칭함)(105)에 내장한 초전도자석(130)이 배치되어 있다.

[0005] 단결정의 제조에 있어서는, 도가니(102)내에 반도체재료(106)를 넣고 히터(103)에 의해 가열하고, 반도체재료(106)를 용융시킨다. 이 용융액 중에 도시하지 않은 종결정을 예를 들어 도가니(102)의 중앙부 상방으로부터 하강삽입하고, 도시하지 않은 인상기구에 의해 종결정을 소정의 속도로 인상방향(108)의 방향으로 인상해간다. 이에 따라, 고체·액체경계층에 결정이 성장하고, 단결정이 생성된다. 이때, 히터(103)의 가열에 의해 유기된 용융액의 유체운동, 즉 열대류가 발생하면, 인상되는 단결정이 유전위화되기 쉬워, 단결정 생성의 수율이 저하된다.

[0006] 이에, 이 대책으로서, 초전도자석(130)의 초전도코일(104)을 사용한다. 즉, 용융액의 반도체재료(106)는, 초전도코일(104)으로의 통전에 의해 발생하는 자력선(107)에 의해 동작역지력을 받고, 도가니(102)내에서 대류하는 일없이, 종결정의 인상에 수반하여 성장단결정이 천천히 상방을 향하여 인상되고, 고체의 단결정(109)으로서 제조되게 된다. 한편, 인상로(101)의 상방에는, 도시하지 않으나, 단결정(109)을 도가니중심축(110)을 따라 인상하기 위한 인상기구가 마련되어 있다.

[0007] 이어서, 도 11에 의해, 도 10에 나타낸 단결정 인상장치(100)에 이용되는 초전도자석(130)의 일례에 대하여 설명한다. 이 초전도자석(130)은, 원통형 진공용기(119)에 초전도코일(104)(104a, 104b)을 원통형의 냉매용기를 개재하여 수납한 구성으로 되어 있다. 이 초전도자석(130)에 있어서는, 진공용기(119)내의 중심부를 개재하여 서로 마주하는 1쌍의 초전도코일(104a, 104b)이 수납되어 있다. 이들 1쌍의 초전도코일(104a, 104b)은 횡방향의 동일방향을 따른 자장을 발생하고 있는 헬륨홀츠형 자장코일이며, 도 10에 나타낸 바와 같이, 인상로(101) 및 진공용기(119)의 중심축(110)에 대하여 축대칭의 자력선(107)을 발생하고 있다(이 중심축(110)의 위치를 자장중심이라 칭하고 있다).

[0008] 한편, 이 초전도자석(130)은, 도 10, 11에 나타낸 바와 같이 2개의 초전도코일(104a, 104b)에 전류를 도입하는 전류리드(111), 원통형 냉매용기(105)의 내부에 수납된 제1 복사실드(117) 및 제2 복사실드(118)를 냉각하기 위한 소형헬륨냉동기(112), 원통형 냉매용기(105)내의 헬륨가스를 방출하는 가스방출관(113) 및 액체헬륨을 보급하는 보급구를 갖는 서비스포트(114) 등을 구비하고 있다. 이러한 초전도자석(130)의 보어(115)내에, 도 10에 나타낸 인상로(101)가 배설된다.

[0009] 도 12는, 상기 서술한 종래의 초전도자석(130)의 자장분포를 나타내고 있다. 도 11에 나타낸 바와 같이, 종래의 초전도자석(130)에 있어서는, 서로 마주보는 1쌍의 초전도코일(104a, 104b)이 배치되어 있는 점에서, 각 코일배치방향(도 12의 X방향)에서는 양측을 향하여 자장이 점차 커지고, 이것과 직교하는 방향(도 12의 Y방향)에서는 상하방향을 향하여 점차 자장이 작아진다. 이러한 종래의 구성에서는 도 12에 나타낸 바와 같이 보어(115)내의 범위의 자장구배가 지나치게 커지므로, 용융한 단결정재료에 발생하는 열대류억제가 불균형이 되어 있고, 또한 자장효율이 나쁘다. 즉, 도 12에 동일한 자속밀도의 영역을 사선으로 나타낸 바와 같이, 중심자장근방부근의 영역에서는, 자장균일성이 좋지 않으므로(즉, 도 12에 있어서, 상하, 좌우로 길고 가는 크로스상으로 되어 있으므로), 열대류의 억제효과가 낮고, 고품질의 단결정을 인상할 수 없다는 문제점이 있었다.

[0010] 특허문헌 1에는, 상기의 문제점을 해결하기 위해, 도 13(a), 도 13(b)에 나타낸 바와 같이, 초전도코일(104)의 수를 4 이상(예를 들어, 104a, 104b, 104c, 104d의 4개)으로 하고, 인상로의 주위에 동축적으로 마련한 통형용기내의 평면상에 배치함과 함께, 그 배치된 각 초전도코일을 통형용기의 축심을 개재하여 대향하는 방향으로 설정하고, 또한 초전도코일의 상호에 인접하는 1쌍씩인 것끼리가 상기 통형용기의 내측을 향하는 배설각도 $\theta$ (도 13(b) 참조)를 100도~130도의 범위(즉, X축을 개재하여 인접하는 코일축간의 중심각도 $a$ (도 13(b) 참조)는 50도~80도)로 설정하는 것이 개시되어 있다. 이에 따라, 보어(115) 내부에 자장구배가 적은 균일성이 좋은 횡자장을 발생할 수 있고, 또한, 평면상에 동심원상 혹은 정방형상의 자장분포를 발생할 수 있어, 불균형 전자력을 대폭 억제할 수 있는 것으로 여겨지고, 또한, 그 결과, 인상방향의 균일자장영역이 형성됨과 함께, 횡자장방향의 자장이 거의 수평이 되고, 불균형 전자력의 억제에 의해, 고품질의 단결정의 제조를 실현할 수 있으며, 나아가, 이 단결정인상방법에 따르면, 고품질의 단결정체를 수율좋게 인상할 수 있는 것도 개시되어 있다.

[0011] 즉, 도 13의 초전도코일(104a, 104b, 104c, 104d)의 배설각도 $\theta$ 를, 각각, 100도, 110도, 115도, 120도, 130도(즉, 코일축간의 중심각도 $a$ 는 각각 80도, 70도, 65도, 60도, 50도)로 한 경우의 자장분포를 나타내는 도 14~도 18에 나타낸 자장분포에 있어서, 중심자장이 충분히 넓은 영역에 걸쳐 균일하게 배치된다. 한편으로, 도 19에 나타낸 바와 같이, 배설각도 $\theta$ 가 90도(코일축간의 중심각도 $a$ 는 90도)로 작은 경우에는, 중심자장의 Y방향의 폭이 극단적으로 좁아지고, 도 20에 나타낸 바와 같이, 배설각도 $\theta$ 가 140도(코일축간의 중심각도 $a$ 는 40도)로 큰

경우에는, 중심자장의 X방향의 폭이 극단적으로 좁아져 있다.

[0012] 따라서, 도 13의 초전도자석(130)에 있어서, 배설각도 $\theta$ 를 100도~130도의 범위로 설정함으로써, 보어(115)내부에 동심원상 혹은 정방경사상의 등분포자장을 얻을 수 있는 것으로 되어 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0013] (특허문헌 0001) 일본특허공개 2004-051475호 공개

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0014] 그러나, 본 발명자가 검토한 결과, 도 14~도 18에 나타낸 바와 같이 균일한 자장분포여도, 중심축(110)에 있어서의 자력선이 X축방향을 향하는 횡자장에 있어서는, X축과 평행한 단면내와 X축에 수직인 단면내에서는 열대류에 차이가 있는 것이, 3차원의 융액대류를 포함하는 종합전열해석에 의해 명백해졌다.

[0015] 도 8은, 도 10, 11에 나타내는 2코일을 이용한 종래기술에서 단결정인상을 행하고 있는 상태를 해석한 결과이며, 도면중 좌측은 중심축(110)에 있어서의 자력선방향(즉, X축)으로 평행한 단면내의 유속분포를 나타내고 있고, 또한 우측은 X축에 수직인 단면(즉, Y축에 평행한 단면)내의 유속분포를 나타낸 것이다. 이와 같이 용융한 반도체재료에 자장을 인가함으로써 대류는 억제되고, 특히 용융한 반도체재료의 하반부에서는 거의 흐름이 없어져 있으나, 상반부에는 유동장(流れ場)이 남아 있다. 자장중에서 도전성 유체가 운동하는 경우, 자력선 그리고 자력선에 수직인 속도성분과 직교하는 방향으로 유기전류가 발생하는데, 전기적으로 절연성을 갖는 석영도가니를 이용한 경우는, 도가니벽과 용융한 반도체재료의 자유표면이 절연벽이 되므로, 이들에 직교하는 방향의 유기전류는 흐르지 않게 된다. 이 때문에, 용융한 반도체재료의 상부에 있어서는 전자력에 의한 대류억제력이 약해져 있으며, 또한, 도 8의 좌측(X축에 평행한 단면내)과 우측(X축과 수직인 단면내)을 비교하면, X축과 수직인 단면내(자력선에 수직인 단면내)가, X축에 평행한 단면내(자력선에 평행한 단면내)보다 대류가 강해져 있는 것을 알 수 있다.

[0016] 한편, 도 13에 나타낸 4코일에 의해 균일한 자장분포를 형성한 특허문헌 1에 개시되어 있는 기술(단, 코일축간의 중심각도 $\alpha$ 는  $60^\circ$ )로 단결정인상을 행하고 있는 상태를 해석한 결과를 나타내는 도 9에서는, 도 8과 비교하면, 좌측(X축에 평행한 단면내)과 우측(X축과 수직인 단면내)의 유속차가 약간 줄어 있으나, 그럼에도 도가니의 둘레방향으로 불균일한 유속분포가 되어 있다.

[0017] 여기서, 도 8, 9에 나타낸 해석결과는, 해석소프트로서 FEMAG-TMF를 사용하고, 이하에 나타낸 단결정인상조건을 이용하여 인상을 행하고 있는 상태를 시뮬레이션 해석한 것이다.

[0018] 사용도가니: 직경 800mm

[0019] 단결정재료의 차지량: 400kg

[0020] 육성하는 단결정: 직경 306mm

[0021] 단결정의 직동부의 길이: 40cm

[0022] 자속밀도: 코일축을 포함하는 수평면내의 중심축(110)에 있어서 3000G가 되도록 조정

[0023] 단결정회전속도: 6rpm

[0024] 도가니회전속도: 0.03rpm

[0025] 한편, 도 8, 9에 있어서 표시되어 있는 속도는, 단면내의 속도이며, 주방향속도는 제외되어 있다.

[0026] 도 8, 9에서 보이는 바와 같이, 종래기술 및 특허문헌 1에 개시된 기술에 있어서는, X축에 수직인 단면내에 도가니벽으로부터 성장계면으로의 유동장이 잔존함으로써, 석영도가니로부터 용출하는 산소가 결정에 도달하므로, 수평자장인가에 의한 산소농도저하효과에는 한계가 있고, 최근 수요가 많아지고 있는 파워디바이스나 이미지센서용 반도체결정에 있어서의 극저농도의 산소농도요구에 부응하는 것이 어려워지고 있다는 문제점이 있다. 또

한, 도가니의 둘레방향으로 불균일한 유동장이 존재하는 것은, 단결정을 회전시키면서 인상하는 단결정에 있어서는 성장줄(成長縞)의 원인이 되고, 성장방향으로 평행한 단면내를 평가하면, 결정회전주기의 저항률·산소농도변동이 관찰되므로, 성장방향으로 수직으로 슬라이스한 웨이퍼면내에서는 링상의 분포가 된다는 문제점도 있다.

[0027] 본 발명은, 상기 문제점을 감안하여 이루어진 것으로, 육성하는 단결정 중의 산소농도를 저감할 수 있음과 함께, 육성하는 단결정 중의 성장줄을 억제할 수 있는 단결정 인상장치, 및 단결정 인상방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

### 과제의 해결 수단

[0028] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은, 가열히터 및 용융한 단결정재료가 수용되는 도가니가 배치되고 중심축을 갖는 인상로와, 상기 인상로의 주위에 마련되고 초전도코일을 갖는 자장발생장치를 구비하고, 상기 초전도코일로의 통전에 의해 상기 용융한 단결정재료에 수평자장을 인가하여, 상기 용융한 단결정재료의 상기 도가니내에서의 대류를 억제하는 단결정 인상장치로서,

[0029] 상기 자장발생장치는, 상기 초전도코일의 코일축을 포함하는 수평면내의 상기 중심축에 있어서의 자력선방향을 X축으로 했을 때에 상기 X축상의 자속밀도분포가 위로 볼록한 분포이며, 상기 수평면내의 상기 중심축에 있어서의 자속밀도를 자속밀도설정값으로 한 경우, 상기 X축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 상기 자속밀도설정값의 80% 이하가 됨과 동시에, 상기 수평면내에 있어서 상기 X축과 직교하고 상기 중심축을 통과하는 Y축상의 자속밀도분포가 아래로 볼록한 분포이며, 상기 Y축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 상기 자속밀도설정값의 140% 이상이 되도록, 자장분포를 발생시키는 것을 특징으로 하는 단결정 인상장치를 제공한다.

[0030] 단결정 인상장치의 자장발생장치가, 상기와 같은 자장분포를 발생시키는 것이면, 전자력에 의한 대류억제력이 불충분했던 X축과 수직인 단면내에 있어서도, 용융한 단결정재료의 유속을 저감할 수 있음과 함께, 용융한 단결정재료의 X축에 평행한 단면에 있어서의 유속과, 용융한 단결정재료의 X축에 수직인 단면에 있어서의 유속을 밸런스시킬 수 있다. X축과 수직인 단면내에 있어서도, 용융한 단결정재료의 유속을 저감함으로써, 도가니벽으로부터 용출한 산소가 단결정에 도달할 때까지의 시간이 길어지고, 용융한 단결정재료의 자유표면으로부터의 산소증발량이 증가함으로써, 단결정에 취입되는 산소농도를 대폭 저감시킬 수 있는 단결정 인상장치로 할 수 있다. 또한, 용융한 단결정재료의 X축에 평행한 단면에 있어서의 유속과, 용융한 단결정재료의 X축에 수직인 단면에 있어서의 유속을 밸런스시킴으로써, 육성하는 단결정 중의 성장줄을 억제할 수 있는 단결정 인상장치로 할 수 있다.

[0031] 이때, 상기 자장발생장치에 있어서, 각각 대향배치된 초전도코일의 쌍을 각각의 코일축이 동일한 수평면내에 포함되도록 2쌍 마련함과 함께, 상기 코일축간의 상기 X축을 끼우는 중심각도  $\alpha$ 를 90도 이상 120도 이하로 할 수 있다.

[0032] 자장발생장치의 초전도코일을 이와 같이 배치함으로써, 상기와 같은 자장분포를 확실히 발생시킬 수 있다.

[0033] 또한, 본 발명은, 상기의 단결정 인상장치를 이용하여, 반도체단결정을 인상하는 것을 특징으로 하는 단결정 인상방법을 제공한다.

[0034] 이러한 단결정 인상방법이면, 취입되는 산소농도가 대폭 저감됨과 함께 성장줄이 억제된 반도체단결정을 육성할 수 있다.

### 발명의 효과

[0035] 이상과 같이, 본 발명의 단결정 인상장치이면, 단결정에 취입되는 산소농도를 대폭 저감시킬 수 있음과 함께 육성하는 단결정 중의 성장줄을 억제할 수 있는 단결정 인상장치로 할 수 있다. 또한, 본 발명의 단결정 인상방법에 따르면, 취입되는 산소농도가 대폭 저감됨과 함께 성장줄이 억제된 단결정을 육성할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0036] 도 1은 본 발명의 단결정 인상장치의 일례를 나타낸 도면이다.

도 2는 실시예 1의 코일배치(위에서 본 도면)를 나타낸 도면이다.

도 3은 비교예 1의 코일배치(위에서 본 도면)를 나타낸 도면이다.

도 4는 실시예 1, 실시예 3, 비교예 1, 비교예 3에 있어서의 자속밀도부분을 나타낸 도면이다.

도 5는 코일축을 포함하는 평면내의 자속밀도분포를 나타낸 도면이다.

도 6은 실시예 1, 실시예 3, 비교예 1, 비교예 3에 있어서의 융액단면내의 유속분포를 나타낸 도면이다.

도 7은 코일축간의 중심각도  $\alpha$  와 단결정중 산소농도의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 8은 종래기술의 초전도자석(2코일)을 이용한 경우의 융액단면에 있어서의 유속분포를 나타낸 도면이다.

도 9는 특허문헌 1의 초전도자석(4코일)을 이용한 경우의 융액단면에 있어서의 유속분포를 나타낸 도면이다.

도 10은 종래의 단결정 인상장치의 일례를 나타낸 개략단면도이다.

도 11은 초전도자석의 일례를 나타낸 개략사시도이다.

도 12는 종래의 자속밀도분포를 나타낸 도면이다.

도 13은 특허문헌 1의 초전도자석을 나타낸 개략사시도 및 개략횡단면도이다.

도 14는 도 13에서 배설각도  $\theta=100$ 도일 때의 자속밀도분포를 나타낸 도면이다.

도 15는 도 13에서 배설각도  $\theta=110$ 도일 때의 자속밀도분포를 나타낸 도면이다.

도 16은 도 13에서 배설각도  $\theta=115$ 도일 때의 자속밀도분포를 나타낸 도면이다.

도 17은 도 13에서 배설각도  $\theta=120$ 도일 때의 자속밀도분포를 나타낸 도면이다.

도 18은 도 13에서 배설각도  $\theta=130$ 도일 때의 자속밀도분포를 나타낸 도면이다.

도 19는 도 13에서 배설각도  $\theta=90$ 도일 때의 자속밀도분포를 나타낸 도면이다.

도 20은 도 13에서 배설각도  $\theta=140$ 도일 때의 자속밀도분포를 나타낸 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0037]

이하, 본 발명에 대하여, 실시태양의 일례로서, 도면을 참조하면서 상세히 설명하나, 본 발명은 이것으로 한정되는 것은 아니다.

[0038]

상기 서술한 바와 같이, 특허문헌 1에서는, 배설각도  $\theta$ 를 100도~130도(즉, 코일축간의 중심각도  $\alpha$ 는, 50도~80도)의 범위로 설정함으로써, 보어내부에 동심원상 혹은 정방경사상의 등분포자장을 얻는 것을 가능하게 하고 있다. 그러나, 이러한 균일한 자장분포여도, 중심축(110)에 있어서의 자력선이 X축방향을 향하는 횡자장에 있어서는, X축과 평행한 단면내와 X축에 수직인 단면내에서는 열대류에 차이가 있는 것이, 본 발명자가 행한 3차원의 융액대류를 포함하는 종합전열해석에 의해 명백해졌다. X축에 수직인 단면내에 도가니벽으로부터 성장계면으로의 유동장이 잔존함으로써, 석영도가니로부터 용출하는 산소가 결정에 도달하므로, 수평자장인가에 의한 산소농도저하효과에는 한계가 있으며, 파워디바이스나 이미지센서용 반도체단결정에 있어서의 극저농도의 산소농도요구에 부응하는 것이 어려워진다는 문제점이 있다. 또한, 도가니의 둘레방향으로 불균일한 유동장이 존재하는 것은, 단결정을 회전시키면서 인상하는 단결정에 있어서는 성장줄의 원인이 되고, 성장방향으로 평행한 단면내를 평가하면, 결정회전주기의 저항율·산소농도변동이 관찰되므로, 성장방향으로 수직으로 슬라이스한 웨이퍼면내에서는 링상의 분포가 된다는 문제점도 있다.

[0039]

이에, 본 발명자는, 육성하는 단결정중의 산소농도를 저감할 수 있음과 함께, 육성하는 단결정중의 성장줄을 억제할 수 있는 단결정 인상장치에 대하여 예의검토를 거듭하였다.

[0040]

그 결과, 초전도코일의 코일축을 포함하는 수평면내의 중심축에 있어서의 자력선방향을 X축으로 했을 때에 X축상의 자속밀도분포가 위로 볼록한 분포이며, 수평면내의 중심축에 있어서의 자속밀도를 자속밀도설정값으로 한 경우, X축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 상기 자속밀도설정값의 80% 이하가 됨과 동시에, 수평면내에 있어서 X축과 직교하고 상기 중심축을 통과하는 Y축상의 자속밀도분포가 위로 볼록한 분포이며, Y축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 140% 이상이 되도록, 자장분포를 발생시키는 것으로 하였다. 이로 인해, 전자력에 의한 대류억제력이 불충분했던 X축과 수직인 단면내에 있어서도, 용융한 단결정재료의 유속을 저감할 수 있음과 함께, 용융한 단결정재료의 X축에 평행한 단면에 있어서의 유속과, 용융한 단결정재료의 X축에 수직인 단면에 있어서의 유속을 밸런스시킬 수 있고, 이에 따라, 도가니벽으로부터 용출한 산소가 단결정에 도달할 때

까지의 시간이 길어지고, 용융한 단결정재료의 자유표면으로부터의 산소증발량이 증가함으로써, 육성하는 단결정중의 산소농도를 저감할 수 있음과 함께, 육성하는 단결정중의 성장률을 억제할 수 있는 단결정 인상장치로 할 수 있는 것을 발견하고, 본 발명을 이루기에 이르렀다.

[0041] 우선, 도 1을 참조하면서, 본 발명의 단결정 인상장치의 실시태양의 일례를 설명한다.

[0042] 도 1의 단결정 인상장치(11)는, 가열히터(3)와, 용융한 단결정재료(이하, 용액이라 칭함)(6)가 수용되는 도가니(2)가 배치되고 중심축(10)을 갖는 인상로(1)와, 인상로(1)의 주위에 마련되고 초전도코일을 갖는 자장발생장치(30)를 구비하고 있으며, 초전도코일로의 통전에 의해 용액(6)에 수평자장을 인가하여, 용액(6)의 도가니(2)내에서의 대류를 억제하면서, 단결정(9)을 인상방향(8)으로 인상하는 구성이 되어 있다.

[0043] 자장발생장치(30)는, 초전도코일의 코일축을 포함하는 수평면(12)내의 중심축(10)에 있어서의 자력선(7)방향을 X축으로 했을 때에 X축상의 자속밀도분포가 위로 불록한 분포이며, 수평면(12)내의 중심축(10)에 있어서의 자속밀도를 자속밀도설정값으로 한 경우, X축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 80% 이하가 됨과 동시에, 수평면내에 있어서 X축과 직교하고 중심축(10)을 통과하는 Y축상의 자속밀도분포가 아래로 불록한 분포이며, Y축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 140% 이상이 되도록, 자장분포를 발생시키는 것이다.

[0044] 단결정 인상장치(11)의 자장발생장치(30)가, 상기와 같은 자장분포를 발생시키는 것이면, 전자력에 의한 대류억제력이 불충분했던 X축과 수직인 단면내에 있어서도, 용액(6)의 유속을 저감할 수 있음과 함께, 용액(6)의 X축에 평행한 단면에 있어서의 유속과, 용액(6)의 X축에 수직인 단면에 있어서의 유속을 밸런스시킬 수 있다. X축과 수직인 단면내에 있어서도, 용융한 단결정재료의 유속을 저감함으로써, 도가니벽으로부터 용출한 산소가 단결정에 도달할 때까지의 시간이 길어지고, 용액(6)의 자유표면으로부터의 산소증발량이 증가함으로써, 단결정에 취입되는 산소농도를 대폭 저감시킬 수 있는 단결정 인상장치로 할 수 있다. 또한, 용액(6)의 X축에 평행한 단면에 있어서의 유속과, 용액(6)의 X축에 수직인 단면에 있어서의 유속을 밸런스시킴으로써, 육성하는 단결정(9)중의 성장률을 억제할 수 있는 단결정 인상장치로 할 수 있다.

[0045] 상기와 같은 자장분포를 발생시키는 자장발생장치(30)는, 예를 들어, 자장발생장치(30)를 위에서 본 도면인 도1(b)에 나타낸 바와 같이, 각각 대향배치된 초전도코일(4)의 쌍을 각각의 코일축(13)이 동일한 수평면(12)(도 1(a) 참조)내에 포함되도록 2쌍(즉, 4(a), 4(c)의 쌍, 및, 4(b), 4(d)의 쌍) 마련함과 함께, 코일축(13)간의 X축을 끼우는 중심각도  $\alpha$ 를 90도 이상 120도 이하로 하는 코일배치를 갖는 구성으로 할 수 있다.

[0046] 중심각도  $\alpha$ 를 90도 이상으로 함으로써 상기의 자장분포를 확실히 발생시킬 수 있고, 중심각도  $\alpha$ 를 120도 이하로 함으로써, 코일직경을 작게 하지 않아도, 인접하는 초전도코일끼리가 부딪히는 일 없이 초전도코일을 배치할 수 있다.

[0047] 물론, 코일은 상기 자장분포를 발생하는 것이면, 2쌍인 경우로는 한정되지 않고, 1쌍이어도, 혹은 3쌍 이상이어도 된다.

[0048] 이어서, 도 1을 참조하면서, 본 발명의 단결정 인상방법의 실시태양의 일례를 설명한다.

[0049] 본 발명의 단결정 인상방법은, 상기에서 설명한 도 1의 단결정 인상장치(11)를 이용하여, 반도체단결정(9)을 인상하는 것이다.

[0050] 구체적으로는, 이하와 같이 하여 반도체단결정(9)을 인상한다.

[0051] 우선, 단결정 인상장치(11)에 있어서, 도가니(2)내에 반도체재료를 넣고 가열히터(3)에 의해 가열하고, 반도체재료를 용융시킨다(도 1(a) 참조).

[0052] 이어서, 초전도코일로의 통전에 의해, 용융한 단결정재료(즉, 용액)(6)에 자장발생장치(30)에 의해 발생시킨 수평자장을 인가하여, 용액(6)의 도가니(2)내에서의 대류를 억제한다(도 1(a) 참조). 이때, 자장발생장치(30)에 의해, 초전도코일의 코일축을 포함하는 수평면(12)내의 중심축(10)에 있어서의 자력선(7)방향을 X축으로 했을 때에 X축상의 자속밀도분포가 위로 불록한 분포이며, 수평면(12)내의 중심축(10)에 있어서의 자속밀도를 자속밀도설정값으로 한 경우, X축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 80% 이하가 됨과 동시에, 수평면내에 있어서 X축과 직교하고 중심축(10)을 통과하는 Y축상의 자속밀도분포가 아래로 불록한 분포이며, Y축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 140% 이상이 되도록, 자장분포를 발생시킨다(도 1(a) 참조). 상기와 같은 자장분포를 발생시키는 자장발생장치(30)로서, 예를 들어, 도 1(b)에 나타낸 바와 같이, 각각 대향배치된 초전도코일(4)의 쌍을 각각의 코일축(13)이 동일한 수평면내에 포함되도록 2쌍 마련함과 함께, 코일축(13)간의 X축을 끼우는 중심각도  $\alpha$ 를 90도 이상 120도 이하로 하는 코일배치를 갖는 자장발생장치를 이용할 수 있

다.

[0053] 이 경우, X축상의 도가니벽에 있어서의 자속밀도의 하한값, 및, Y축상의 도가니벽에 있어서의 자속밀도의 상한값은 특별히 한정되지 않으나, 장치의 형편상, 일반적으로 X축상의 도가니벽에 있어서의 자속밀도는 자속밀도설정값의 30% 이상이 되고, Y축상의 도가니벽에 있어서의 자속밀도는 자속밀도설정값의 250% 이하가 된다.

[0054] 이어서, 용액(6)중에 종결정(도시하지 않음)을 예를 들어 도가니(2)의 중앙부 상방으로부터 하강삽입하고, 인상기구(도시하지 않음)에 의해 종결정을 소정의 속도로 인상방향(8)의 방향으로 회전시키면서 인상되어 간다(도 1(a) 참조). 이에 따라, 고체·액체경계층에 결정이 성장하고, 반도체단결정(9)이 생성된다.

[0055] 이러한 단결정 인상방법이면, 취입되는 산소농도가 대폭 저감됨과 함께 성장줄이 억제된 반도체단결정을 육성할 수 있다.

[0056] [실시예]

[0057] 이하, 실시예 및 비교예를 나타내어 본 발명을 보다 구체적으로 설명하나, 본 발명은 이것들로 한정되는 것은 아니다.

[0058] (실시예 1)

[0059] 도 1(a)의 단결정 인상장치(11)에 있어서, 자장발생장치(30)로서, 도 2에 나타낸 코일배치(즉, 코일축간의 중심각도  $\alpha$ 는 120도)를 갖는 자장발생장치를 이용하는 구성으로 하였다.

[0060] 이러한 단결정 인상장치를 이용하여, 이하에 나타낸 인상조건으로, 반도체단결정의 인상을 행하였다.

[0061] 사용도가니: 직경 800mm

[0062] 단결정재료의 차지량: 400kg

[0063] 육성하는 단결정: 직경 306mm

[0064] 자속밀도: 코일축을 포함하는 수평면내의 중심축(10)에 있어서 3000G(자속밀도설정값)가 되도록 조정

[0065] 단결정회전속도: 6rpm

[0066] 도가니회전속도: 0.03rpm

[0067] 이때의 코일축을 포함하는 수평면내의 자속밀도분포를 측정하였다. 그 결과를 도 4(d), 도 5, 표 1에 나타낸다. 여기서, 도 5(a)는 X축상의 자속밀도분포를 나타내고 있으며, 도 5(b)는 Y축상의 자속밀도분포를 나타내고 있다. 실시예 1에 있어서는, X축상의 자속밀도분포는 위로 볼록한 분포이며(도 5(a) 참조), X축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 80% 이하(44%)가 되어 있다(표 1 참조). 또한, 실시예 1에 있어서는, Y축상의 자속밀도분포는 아래로 볼록한 분포이며(도 5(b) 참조), Y축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 140% 이상(203%)이 되어 있다(표 1 참조).

[0068] 또한, 해석소프트로서 FEMAG-TMF를 사용하고, 상기에 나타낸 인상조건을 이용하여 단결정의 인상을 행한 경우의 단결정의 직동부의 길이가 40cm가 된 상태일 때의 용액(6)의 단면(X축상의 단면 및 Y축상의 단면)에 있어서의 유속분포를 시뮬레이션 해석하였다. 그 해석결과를 도 6(d)에 나타낸다.

[0069] 이와 같이 하여 육성한 반도체단결정에 대하여, 산소농도를 조사하였다. 그 결과를 도 7에 나타낸다. 여기서, 도 7에 있어서, 각 반도체단결정내의 산소농도의 최대값 및 최소값이 나타나 있으며, 이에 따라 반도체단결정내의 산소농도격차가 나타나 있다.

[0070] (실시예 2)

[0071] 코일축간의 중심각도  $\alpha$ 를 110도로 한 것 이외는, 실시예 1과 동일한 구성의 단결정 인상장치로 하였다.

[0072] 이러한 단결정 인상장치를 이용하여, 실시예 1과 동일한 방법으로, 반도체단결정의 인상을 행하였다.

[0073] 이때의 코일축을 포함하는 수평면내의 자속밀도분포를 측정하였다. 그 결과를 도 5, 표 1에 나타낸다. 실시예 2에 있어서는, X축상의 자속밀도분포가 위로 볼록한 분포이며(도 5(a) 참조), X축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 80% 이하(52%)가 되어 있다(표 1 참조). 또한, 실시예 2에 있어서는, Y축상의 자속밀도분포가 아래로 볼록한 분포이며(도 5(b) 참조), Y축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 140% 이상(183%)이 되어 있다(표 1 참조).

[0074] 이와 같이 하여 육성한 반도체단결정에 대하여, 산소농도를 조사하였다. 그 결과를 도 7에 나타낸다.

[0075] (실시예 3)

[0076] 코일축간의 중심각도  $\alpha$ 를 100도로 한 것 이외는, 실시예 1과 동일한 구성의 단결정 인상장치로 하였다.

[0077] 이러한 단결정 인상장치를 이용하여, 실시예 1과 동일한 방법으로, 반도체단결정의 인상을 행하였다.

[0078] 이때의 코일축을 포함하는 수평면내의 자속밀도분포를 측정하였다. 그 결과를 도 4(c), 도 5, 표 1에 나타낸다. 실시예 3에 있어서는, X축상의 자속밀도분포가 위로 불록한 분포이며(도 5(a) 참조), X축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 80% 이하(63%)가 되어 있다(표 1 참조). 또한, 실시예 3에 있어서는, Y축상의 자속밀도분포가 아래로 불록한 분포이며(도 5(b) 참조), Y축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 140% 이상(164%)이 되어 있다(표 1참조).

[0079] 나아가, 실시예 1과 동일한 방법으로 응액(6)의 단면에 있어서의 유속분포를 해석하였다. 그 해석결과를 도 6(c)에 나타낸다.

[0080] 이와 같이 하여 육성한 반도체단결정에 대하여, 산소농도를 조사하였다. 그 결과를 도 7에 나타낸다.

[0081] (실시예 4)

[0082] 코일축간의 중심각도  $\alpha$ 를 90도로 한 것 이외는, 실시예 1과 동일한 구성의 단결정 인상장치로 하였다.

[0083] 이러한 단결정 인상장치를 이용하여, 실시예 1과 동일한 방법으로, 반도체단결정의 인상을 행하였다.

[0084] 이때의 코일축을 포함하는 수평면내의 자속밀도분포를 측정하였다. 그 결과를 도 5, 표 1에 나타낸다. 실시예 4에 있어서는, X축상의 자속밀도분포가 위로 불록한 분포이며(도 5(a)참조), X축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 80% 이하(76%)가 되어 있다(표 1참조). 또한, 실시예 4에 있어서는, Y축상의 자속밀도분포가 아래로 불록한 분포이며(도 5(b) 참조), Y축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 140% 이상(145%)이 되어 있다(표 1참조).

[0085] 이와 같이 하여 육성한 반도체단결정에 대하여, 산소농도를 조사하였다. 그 결과를 도 7에 나타낸다.

[0086] (비교예 1)

[0087] 도 1(a)의 단결정 인상장치(11)에 있어서, 자장발생장치(30)로서, 도 3에 나타낸 코일배치(즉, 코일축간의 중심각도  $\alpha$ 는 60도)를 갖는 자장발생장치를 이용하는 구성으로 하였다.

[0088] 이러한 단결정 인상장치를 이용하여, 실시예 1과 동일한 방법으로, 반도체단결정의 인상을 행하였다.

[0089] 이때의 코일축을 포함하는 수평면내의 자속밀도분포를 측정하였다. 그 결과를 도 4(a), 도 5, 표 1에 나타낸다. 비교예 1에 있어서는, X축상의 자속밀도분포가 아래로 불록한 분포이며(도 5(a)참조), X축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 80%보다 커져(121%) 있다(표 1 참조). 또한, 비교예 1에 있어서는, Y축상의 자속밀도분포가 거의 일정하며(도 5(b) 참조), Y축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 140% 미만(102%)이 되어 있다(표 1참조).

[0090] 또한, 실시예 1과 동일한 방법으로 응액(6)의 단면에 있어서의 유속분포를 해석하였다. 그 해석결과를 도 6(a)에 나타낸다.

[0091] 이와 같이 하여 육성한 반도체단결정에 대하여, 산소농도를 조사하였다. 그 결과를 도 7에 나타낸다.

[0092] (비교예 2)

[0093] 코일축간의 중심각도  $\alpha$ 를 70도로 한 것 이외는, 비교예 1과 동일한 구성의 단결정 인상장치로 하였다.

[0094] 이러한 단결정 인상장치를 이용하여, 실시예 1과 동일한 방법으로, 반도체단결정의 인상을 행하였다.

[0095] 이때의 코일축을 포함하는 수평면내의 자속밀도분포를 측정하였다. 그 결과를 도 5, 표 1에 나타낸다. 비교예 2에 있어서는, X축상의 자속밀도분포가 아래로 불록한 분포이며(도 5(a)참조), X축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 80%보다 커져(105%) 있다(표 1 참조). 또한, 비교예 2에 있어서는, Y축상의 자속밀도분포가 아래로 불록한 분포이며(도 5(b) 참조), Y축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 140% 미만(114%)이 되어 있다(표 1 참조).

[0096] 이와 같이 하여 육성한 반도체단결정에 대하여, 산소농도를 조사하였다. 그 결과를 도 7에 나타낸다.

[0097] (비)교예 3)

[0098] 코일축간의 중심각도  $\alpha$ 를 80도로 한 것 이외는, 비교예 1과 동일한 구성의 단결정 인상장치로 하였다.

[0099] 이러한 단결정 인상장치를 이용하여, 실시예 1과 동일한 방법으로, 반도체단결정의 인상을 행하였다.

[0100] 이때의 코일축을 포함하는 수평면내의 자속밀도분포를 측정하였다. 그 결과를 도 4(b), 도 5, 표 1에 나타낸다. 비교예 3에 있어서는, X축상의 자속밀도분포가 위로 불록한 분포이며(도 5(a) 참조), X축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 80%보다 커져(90%) 있다(표 1 참조). 또한, 비교예 3에 있어서는, Y축상의 자속밀도분포가 아래로 불록한 분포이며(도 5(b) 참조), Y축상의 자속밀도는 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 140% 미만(129%)이 되어 있다(표 1 참조).

[0101] 또한, 실시예 1과 동일한 방법으로 용액(6)의 단면에 있어서의 유속분포를 해석하였다. 그 해석결과를 도 6(b)에 나타낸다.

[0102] 이와 같이 하여 육성한 반도체단결정에 대하여, 산소농도를 조사하였다. 그 결과를 도 7에 나타낸다.

[0103] [표 1]

	코일축간의 중심각도 [도]	X축상의 도가니벽에서의 값 [G]	설정값에 대한 비율 [%]	Y축상의 도가니벽에서의 값 [G]	설정값에 대한 비율 [%]
비교예 1	60	3630	121	3080	102
비교예 2	70	3160	105	3430	114
비교예 3	80	2700	90	3870	129
실시예 1	120	1330	44	6090	203
실시예 2	110	1580	52	5510	183
실시예 3	100	1900	63	4920	164
실시예 4	90	2280	76	4370	145

※ 설정값은 3000G

[0104] [0105] 도 6에서 알 수 있는 바와 같이, X축상의 자속밀도분포가 위로 불록한 분포이며, X축상의 자속밀도가 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 80% 이하임과 동시에, Y축상의 자속밀도분포가 아래로 불록한 분포이며, Y축상의 자속밀도가 도가니벽에서는 자속밀도설정값의 140% 이상인 실시예 1, 3에 있어서는, 상기의 자속밀도분포조건을 만족시키지 않는 비교예 1, 3에 비해, 용액의 Y축상의 단면에 있어서의 유속이 저감되어 있음과 함께, 용액의 X축상의 단면에 있어서의 유속과 용액의 Y축상의 단면에 있어서의 유속의 차이가 저감되어 있다.

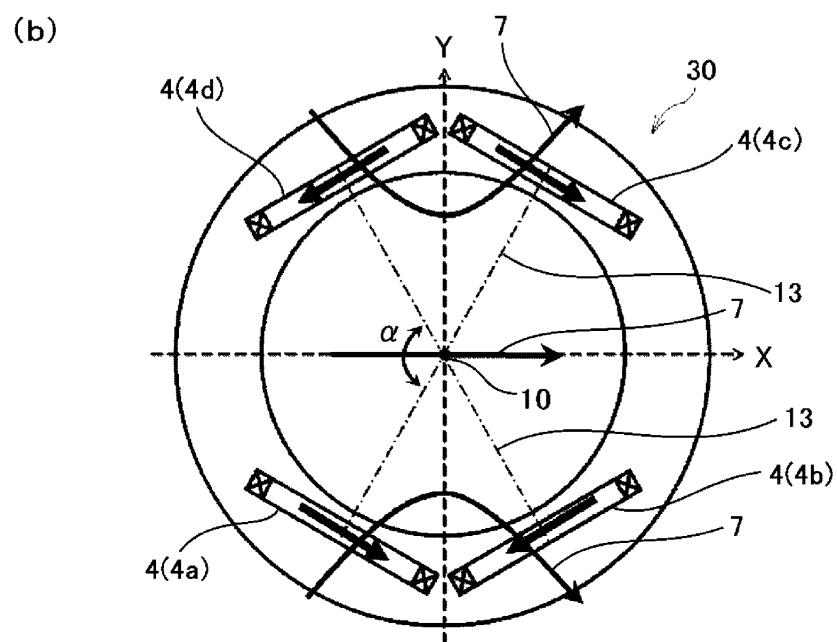
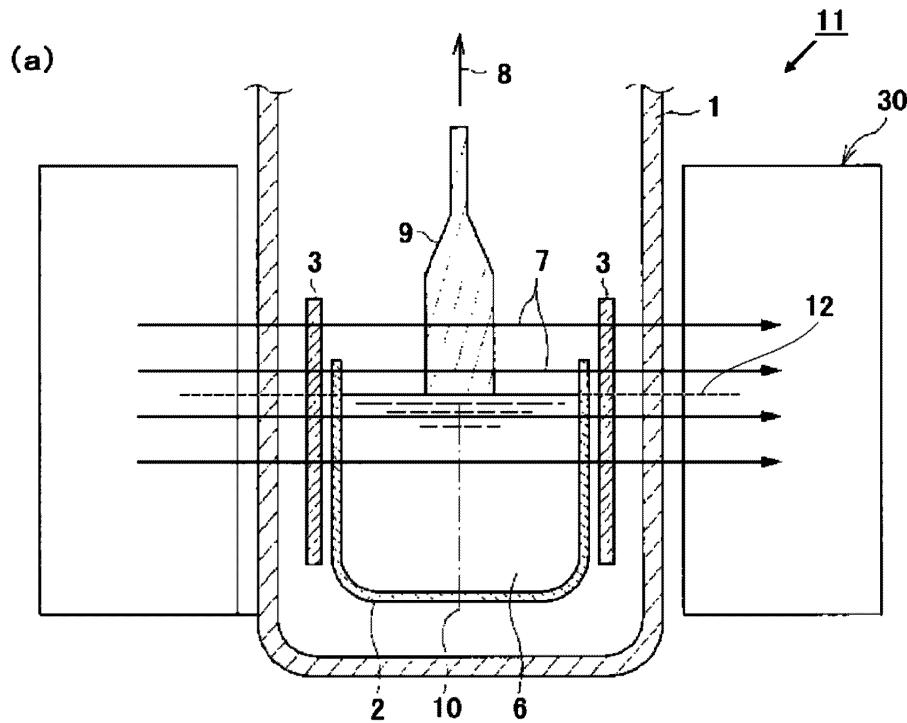
[0106] 그리고, 도 7에서 알 수 있는 바와 같이, 상기의 자속밀도분포조건을 만족시키는 실시예 1~4에 있어서는, 상기의 자속밀도조건을 만족시키지 않는 비교예 1~3에 비해, 육성한 반도체단결정의 산소농도가 저감되어 있고, 산소농도의 격차도 저감되어 있다.

[0107] 또한, 도 5, 표 1에서 알 수 있는 바와 같이, 코일축간의 중심각도  $\alpha$ 를 90도 이상, 120도 이하로 함으로써, 상기의 자속밀도분포조건을 만족시키는 자장분포를 발생시킬 수 있다.

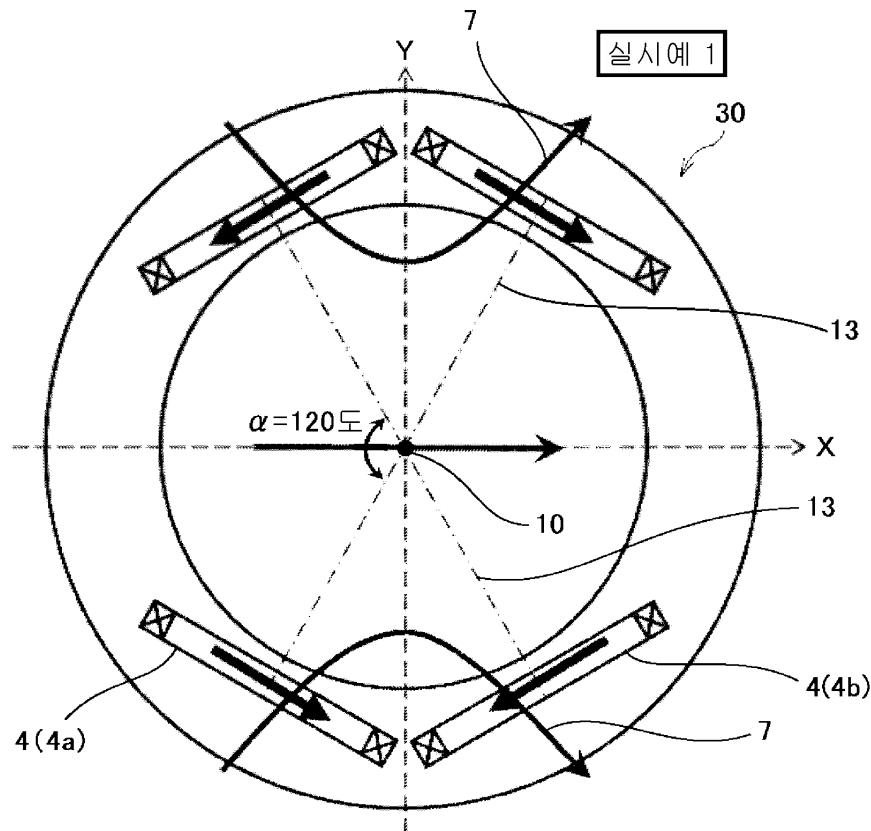
[0108] 한편, 본 발명은, 상기 실시형태로 한정되는 것은 아니다. 상기 실시형태는, 예시이며, 본 발명의 특허청구의 범위에 기재된 기술적 사상과 실질적으로 동일한 구성을 갖고, 동일한 작용효과를 나타내는 것은, 어떠한 것이어도 본 발명의 기술적 범위에 포함된다.

도면

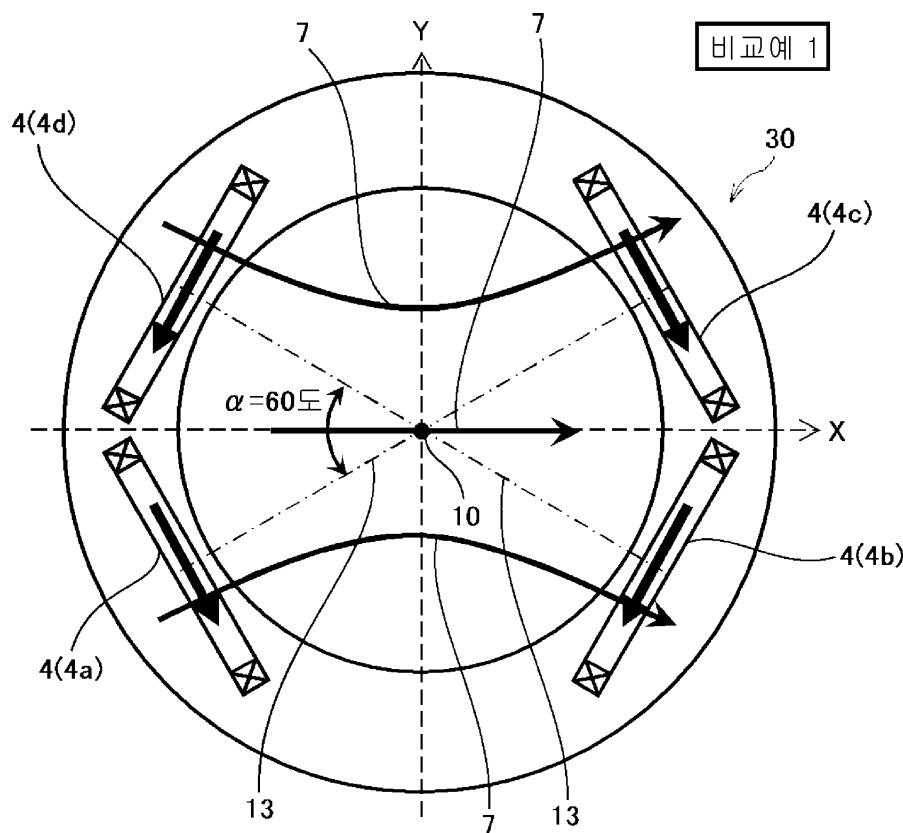
도면1



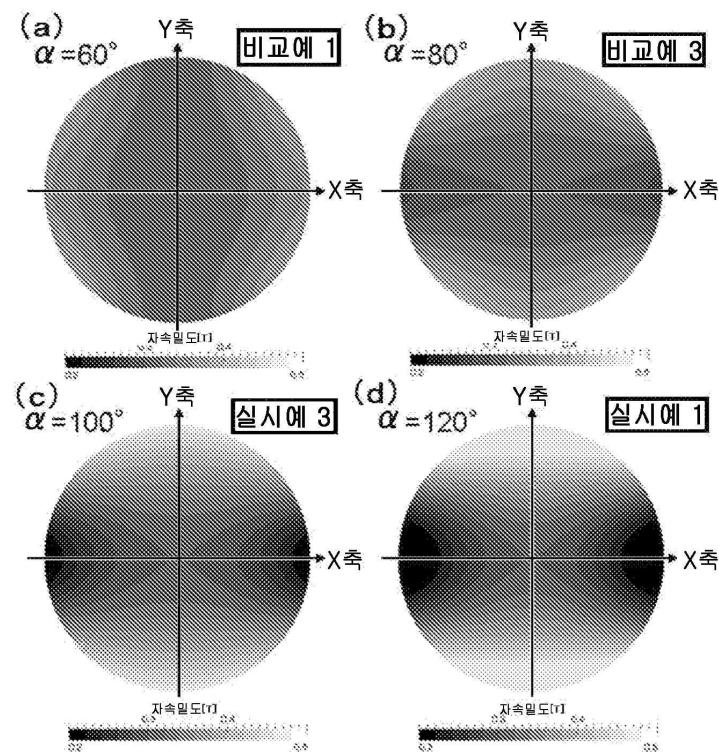
도면2



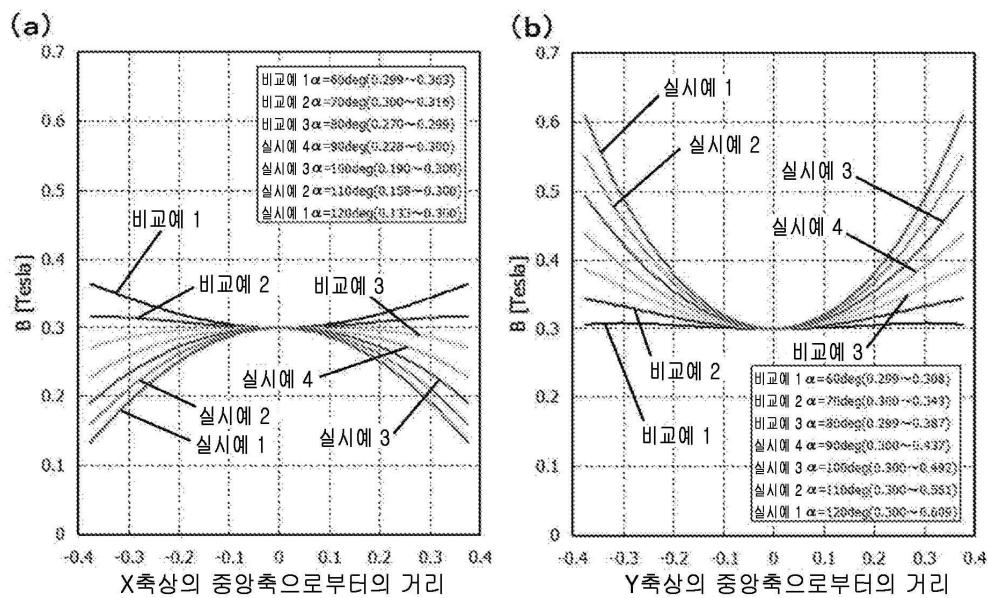
## 도면3



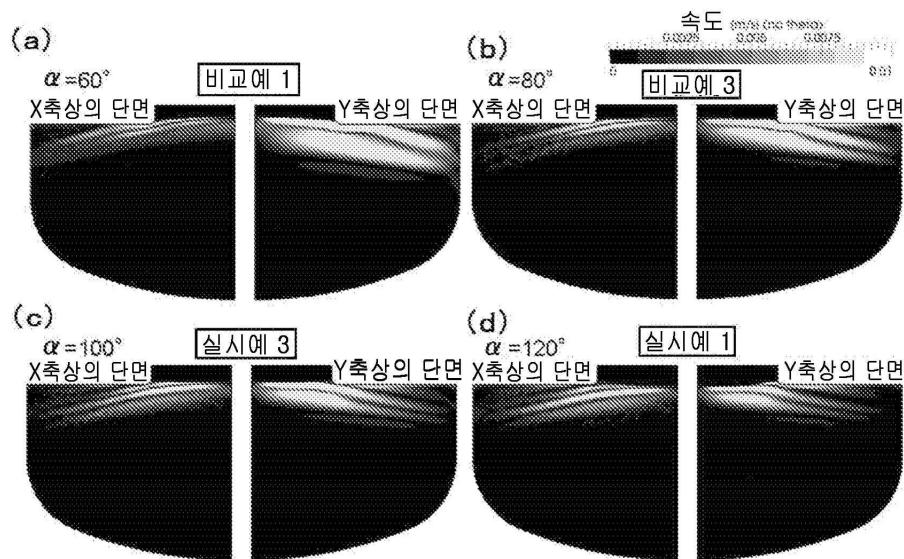
## 도면4



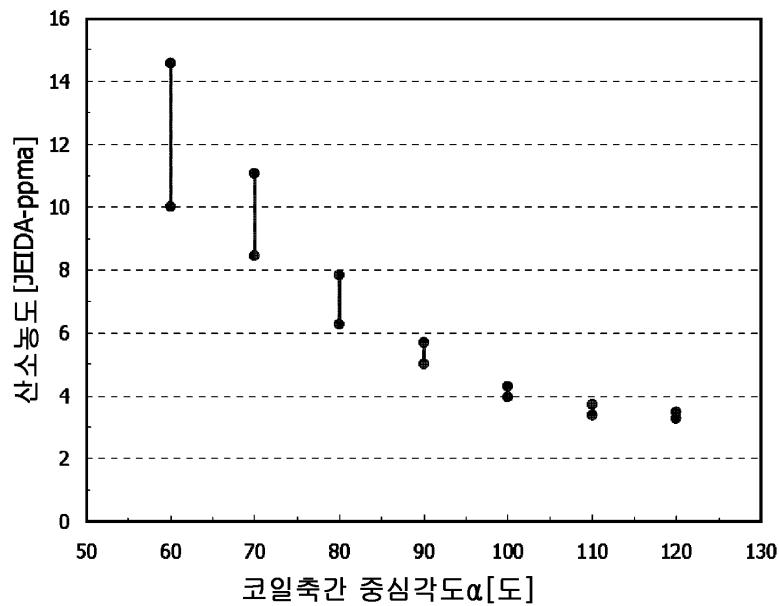
## 도면5



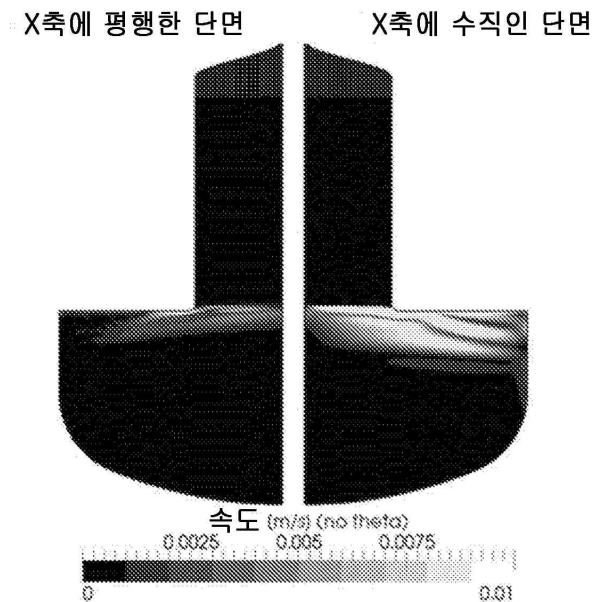
## 도면6



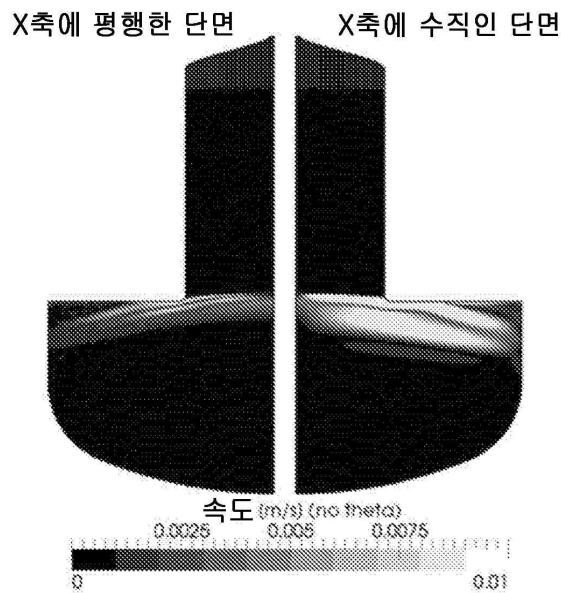
도면7



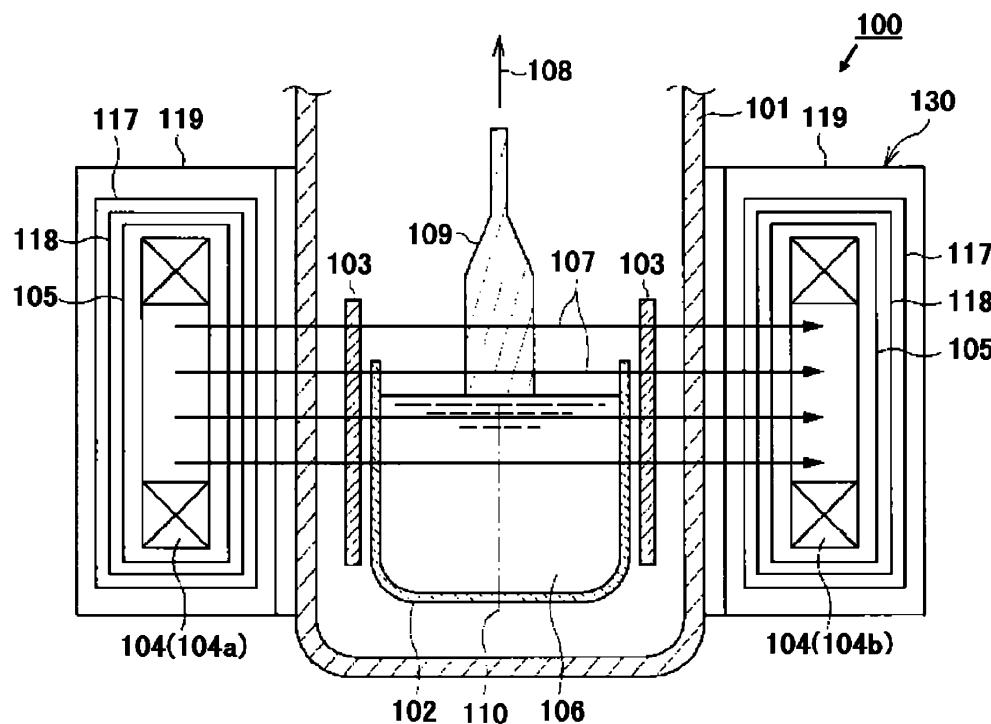
도면8



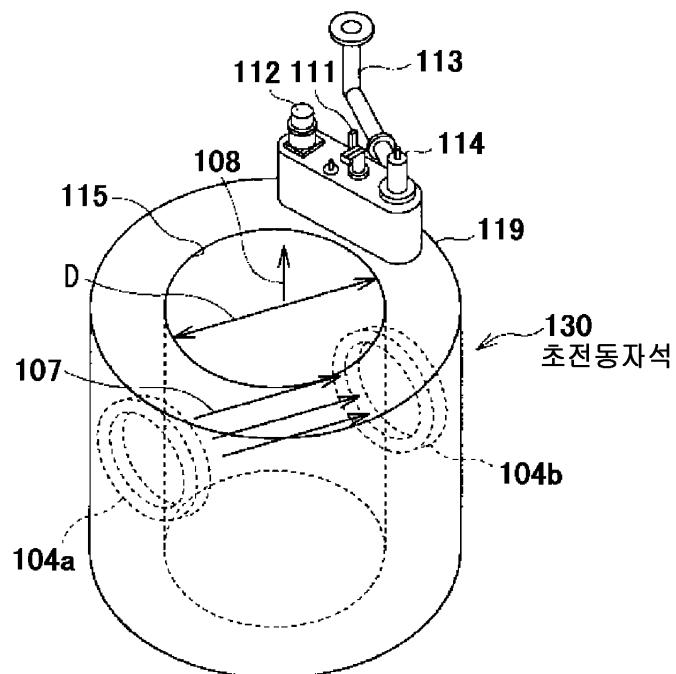
도면9



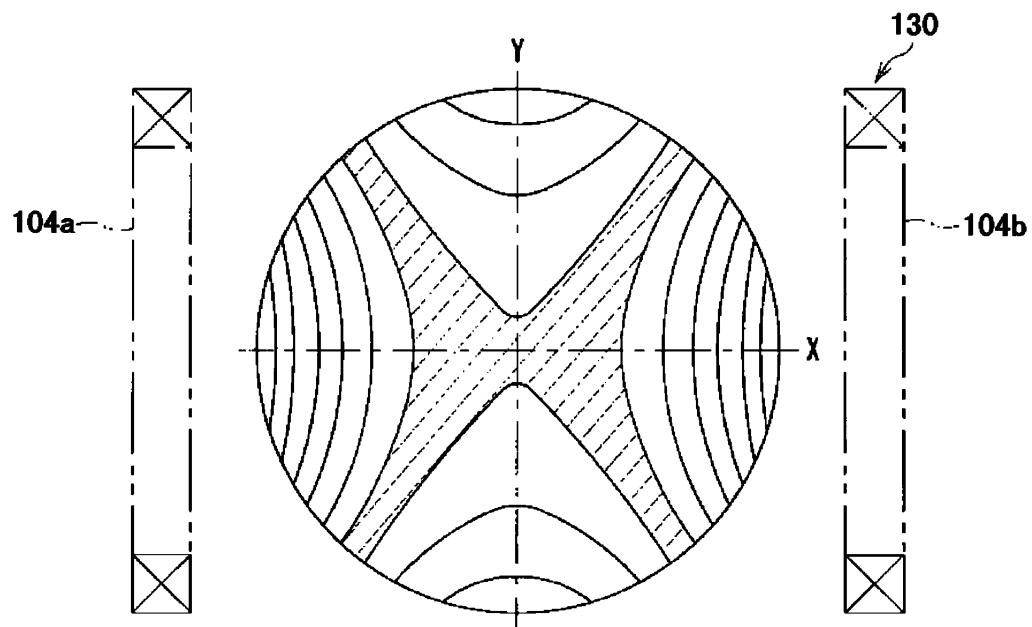
도면10



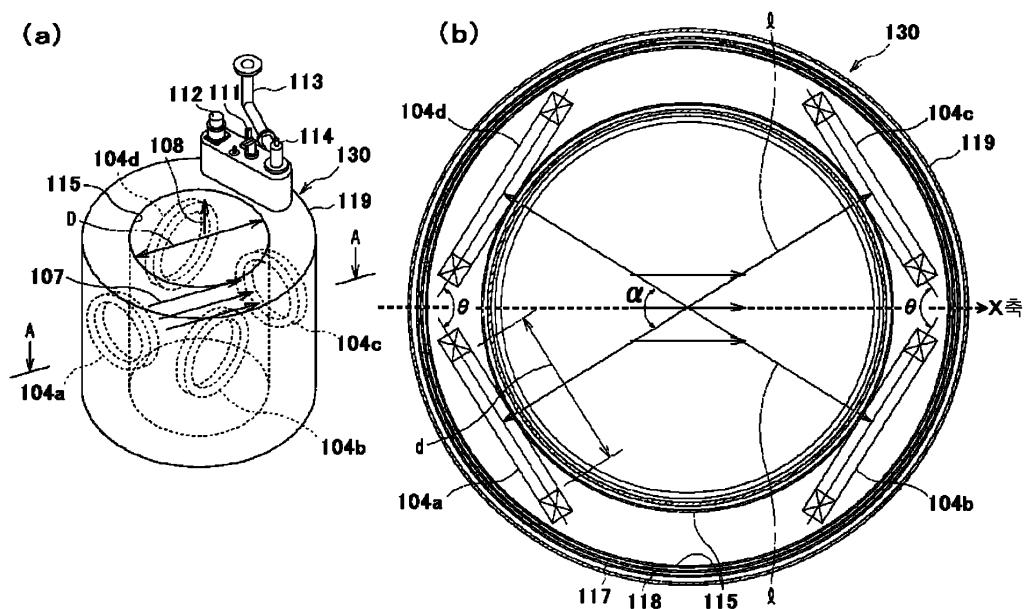
도면11



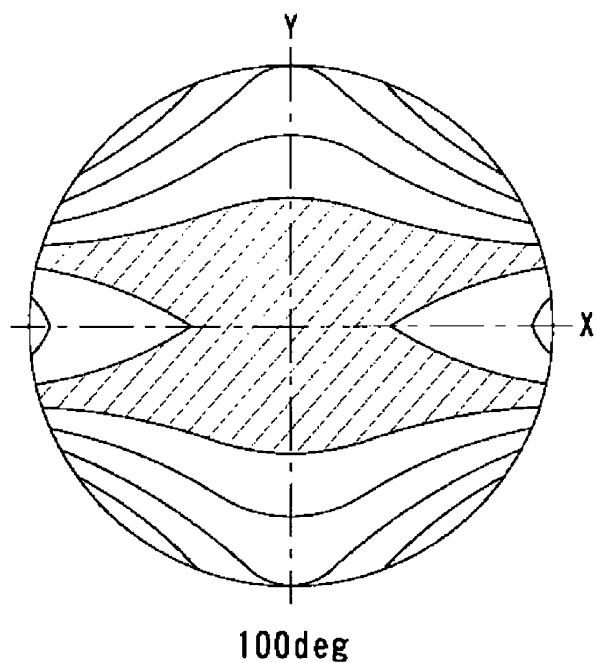
도면12



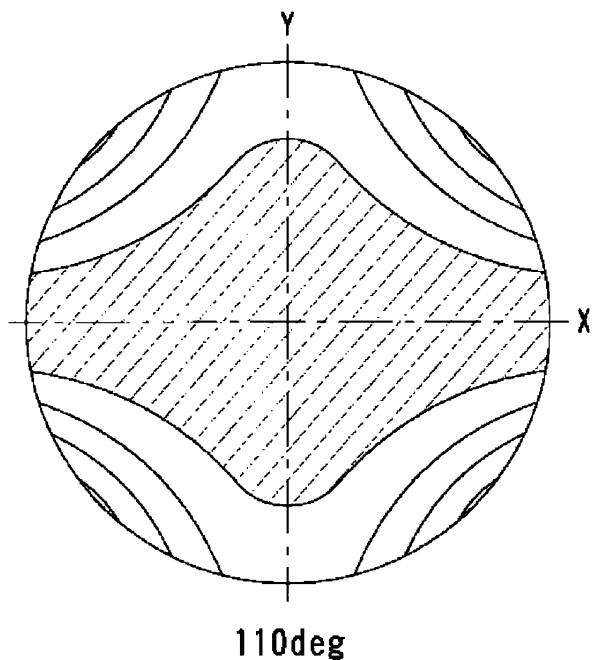
도면13



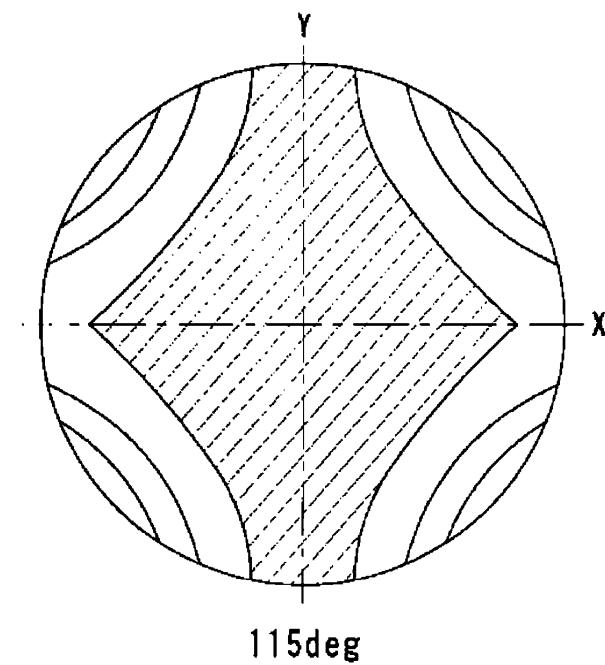
도면14



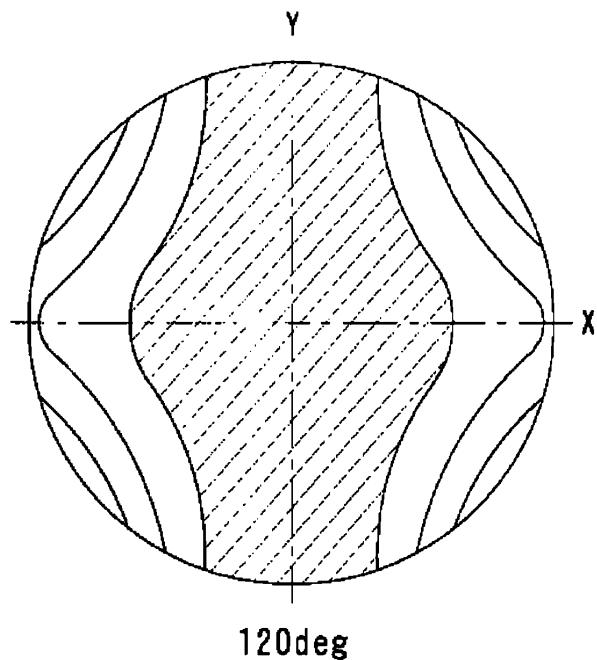
도면15



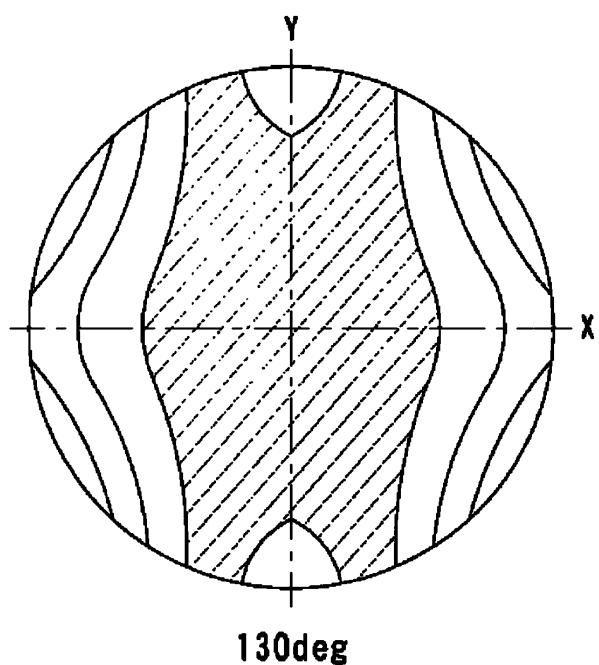
도면16



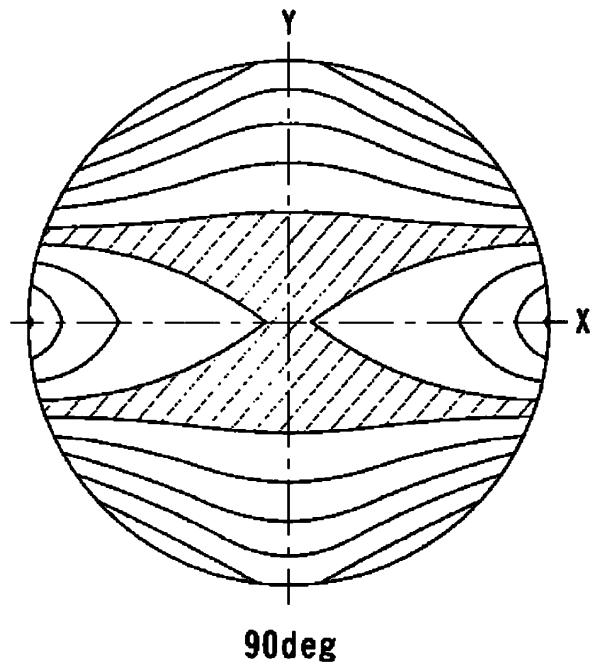
도면17



도면18



도면19



도면20

