



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년03월12일
(11) 등록번호 10-2781133
(24) 등록일자 2025년03월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C30B 15/20 (2006.01) C30B 29/06 (2006.01)
C30B 33/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C30B 15/20 (2013.01)
C30B 29/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-7013398
(22) 출원일자(국제) 2021년09월22일
심사청구일자 2023년04월20일
(85) 번역문제출일자 2023년04월20일
(65) 공개번호 10-2023-0070287
(43) 공개일자 2023년05월22일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2021/034733
(87) 국제공개번호 WO 2022/102251
국제공개일자 2022년05월19일
(30) 우선권주장
JP-P-2020-186976 2020년11월10일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
JP2007184383 A*
(뒷면에 계속)
전체 청구항 수 : 총 11 항

(73) 특허권자
가부시킴가이사 사무코
일본국 도쿄도 미나토쿠 시바우라 1초메 2반 1고
(72) 발명자
마츠시마 나오키
일본국 도쿄도 미나토쿠 시바우라 1초메 2반 1고
가부시킴가이사 사무코 나이
요코야마 류스케
일본국 도쿄도 미나토쿠 시바우라 1초메 2반 1고
가부시킴가이사 사무코 나이
(74) 대리인
이철

심사관 : 김운천

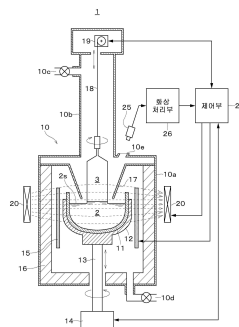
(54) 발명의 명칭 단결정의 제조 방법

(57) 요약

(과제) 단결정 중의 산소 농도의 먼 내 분포를 균일하게 하는 것이 가능한 단결정의 제조 방법, 자장 발생 장치 및 단결정 제조 장치를 제공한다.

(해결 수단) 도가니(11) 내의 용액(2)에 황자장을 인가하면서 단결정(3)을 인상하는 단결정의 제조 방법으로서, 결정 인상 공정 중에 용액(2)의 감소에 맞추어 도가니(11)를 상승시킴과 함께, 용액면(2s)에 있어서의 자장의 방향과 도가니(11)의 만곡한 저부의 내면에 있어서의 자장의 방향이 보다부 육성 공정의 개시에서 종료까지 일정해지도록, 용액(2)의 감소에 맞추어 자장 분포를 제어한다.

대표도



(52) CPC특허분류
C30B 33/04 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌
JP2009298613 A*
KR1020010034851 A*
KR1020090012202 A*
KR1020180054615 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

도가니 내의 용액에 횡자장을 인가하면서 단결정을 인상하는 단결정의 제조 방법으로서,

결정 인상 공정 중에 상기 용액의 감소에 맞추어 상기 도가니를 상승시킴과 함께, 용액면에 있어서의 자장의 방향과 상기 도가니의 만곡한 저부의 내면에 있어서의 자장의 방향이 보디부 육성 공정의 개시에서 종료까지 일정해지도록, 상기 용액의 감소에 맞추어 자장 분포를 제어하고,

상기 도가니의 회전축을 Z축으로 하고, 상기 Z축과 직교하는 상기 횡자장의 인가 방향의 중심축을 Y축으로 하고, 상기 Z축과 상기 Y축의 교점을 원점으로 하고, YZ평면에 직교하고 상기 원점을 통과하는 축을 X축으로 할 때,

상기 도가니의 만곡한 저부의 내면과 상기 YZ평면의 교선(交線) 상에 있어서, 당해 내면의 법선 벡터와 자장 벡터가 이루는 각도(θ)를 75도 이상 105도 이하로 유지하는 것을 특징으로 하는 단결정의 제조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 용액면에 있어서의 자장의 방향은, 상기 용액면과 평행인, 단결정의 제조 방법.

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 원점에 있어서의 자장의 강도를 일정하게 유지하면서, 상기 도가니의 만곡한 저부의 내면의 법선 벡터와 자장 벡터의 내적의 제곱의 상기 저부에 있어서의 적분값을 최소화하도록, 상기 자장 분포를 조정하는, 단결정의 제조 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 저부의 중심에서 당해 저부의 형상과 자장의 Y방향의 2차 미분을 일치시키도록, 상기 자장 분포를 조정하는, 단결정의 제조 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 도가니의 반경을 R로 할 때, 상기 저부는, 상기 저부의 중심으로부터 반경 0.7R 이하의 범위인, 단결정의 제조 방법.

청구항 7

제1항, 제2항 및 제4항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 도가니의 주위에 복수의 코일 소자를 형성하고, 각 코일 소자의 자장 강도를 개별적으로 조정함으로써 상기 자장 분포를 제어하는, 단결정의 제조 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 복수의 코일 소자는, 코일축이 일치한 복수의 코일 소자쌍을 구성하고 있는, 단결정의 제조 방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 복수의 코일 소자는, XZ평면을 사이에 두고 대칭으로 배치되어 있는, 단결정의 제조 방법.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 복수의 코일 소자는, XY평면과 평행하게 배치되어 있는, 단결정의 제조 방법.

청구항 11

제7항에 있어서,

상기 복수의 코일 소자는, 제1 자장을 발생하는 제1 코일 장치와,

상기 제1 자장과 상이한 제2 자장을 발생하는 제2 코일 장치를 구성하고 있고,

상기 제1 자장의 강도와 상기 제2 자장의 강도를 개별적으로 조정함으로써 상기 자장 분포를 제어하는, 단결정의 제조 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 제1 자장은, Y축의 플러스 방향의 자장이 서서히 약해진 후, 제로가 되고, 또한 Y축의 마이너스 방향의 자장이 서서히 강해지는 자장 변화를 갖고,

상기 제2 자장은, Y축의 마이너스 방향의 자장이 서서히 약해진 후, 제로가 되고, 또한 Y축의 플러스 방향의 자장이 서서히 강해지는 자장 변화를 갖는, 단결정의 제조 방법.

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 단결정의 제조 방법에 관한 것으로, 특히, 용액에 수평 자장을 인가하면서 단결정을 인상하는 자장 인가 초크랄스키법(Magnetic field applied Czochralski method)에 의한 단결정의 제조 방법에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 그러한 MCZ법에 이용되는 자장 발생 장치 및 단결정 제조 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 석영 도가니 내의 실리콘 용액으로부터 실리콘 단결정을 인상하는 CZ법의 하나로서, 실리콘 용액에 자장을 인가하면서 실리콘 단결정을 인상하는 소위 MCZ법이 알려져 있다. MCZ법에 의하면, 용액 대류가 억제되는 점에서, 석영 도가니와의 반응에 의해 실리콘 용액 중에 용입되는 산소의 양을 억제하여 실리콘 단결정의 산소 농도를 낮게 억제할 수 있다.

[0003] 자장의 인가 방법으로서 몇 가지의 방법이 알려져 있지만, 그 중에서도 횡자장(수평 자장)을 인가하는 HMCZ법의 실용화가 진행되고 있다. HMCZ법에서는 석영 도가니의 측벽과 대략 직교하는 횡자장을 인가하기 때문에, 도가니의 측벽 근방의 용액 대류가 효과적으로 억제되어, 도가니로부터의 산소의 용출량이 감소한다. 한편, 용액 표면에서의 대류 억제 효과가 작아, 용액 표면으로부터의 산소(실리콘 산화물)의 증발이 그다지 억제되지 않기 때문에, 용액 중의 산소 농도가 감소하기 쉽다. 따라서, 저산소 농도의 단결정이 육성되기 쉽다는 특징이 있다.

[0004] HMCZ법에 관한 것으로, 예를 들면 특허문헌 1에는, 단결정의 인상 진행에 맞추어 자장 중심 위치를 상하 방향으로 이동시켜 액면에 근접 또는 이간시킴으로써, 단결정에 취입되는 산소 농도를 저하 또는 상승시키는 것이 기재되어 있다. 또한 특허문헌 2에는, 자속이 도가니의 만곡한 저부를 따라 진행하도록 자장을 발생시키는 것이 기재되어 있다.

[0005] 특허문헌 3에는, 자력선의 방향이 90도 어긋나 있고, 또한 자장 분포가 서로 상이한 2종류의 자장을 전환하여 발생시킬 수 있는 자장 발생 장치를 이용하여, 저산소 농도 또한 성장 줄무늬가 억제된 단결정뿐만 아니라, 고산소 농도의 단결정도 인상하는 것이 가능한 단결정 제조 장치가 기재되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0006] (특허문헌 0001) 일본공개특허공보 2004-323323호
- (특허문헌 0002) 일본공개특허공보 소62-256787호
- (특허문헌 0003) 일본공개특허공보 2017-206396호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] HMCZ법에 있어서, 용액면 부근에 인가되는 수평 자장은, 용액면과 평행하게 똑바로 진행하는 것이 바람직하다. 상기와 같이, 용액면과 직교하는 자장 성분은 용액면의 용액 대류를 억제하여, 산소 농도의 증가를 초래하기 때문이다. 한편, 도가니 저부에 있어서 자장은 만곡한 저부를 따라 구부러지면서 진행하는 것이 바람직하다. 도가니 내벽면과 직교하는 자장 성분이 용액 대류를 억제함으로써 용액 중의 산소의 확산이 불충분해져, 단결정 중의 산소 농도에 불균일이 발생하기 쉽기 때문이다. 따라서, 특허문헌 2에 기재된 바와 같이, 도가니의 만곡한 저면을 따라 구부러진 자장을 발생시키는 것은 유효하다.

[0008] 그러나, 결정 인상 공정 중은 결정 성장에 수반하는 용액의 감소에 맞추어 석영 도가니를 상승시켜 용액면의 높이 위치를 일정하게 유지할 필요가 있고, 석영 도가니를 상승시키면, 자장 분포 및 석영 도가니와 자장의 위치 관계가 변화하기 때문에, 자장을 석영 도가니의 만곡한 저면을 따르게 하는 것이 어려워진다. 특허문헌 1에 기재된 바와 같이, 자장 분포가 도가니의 만곡한 저면을 따르도록 자장 중심 위치를 상승시키는 것도 가능하지만, 그 경우에는 용액면 부근에 있어서 자장이 수평이 되지 않아, 용액면 부근에서의 용액 대류의 정체에 의해 단결정의 산소 농도가 증가한다는 문제가 있다.

[0009] 실리콘 단결정의 결정 성장 방향에 있어서의 산소 농도 분포의 변동은, 실리콘 웨이퍼의 산소 농도의 면 내 분포에 영향을 준다. 도 14에 나타내는 바와 같이, 결정 성장 방향으로 산소 농도 분포의 성장 줄무늬가 있는 실리콘 단결정으로부터 웨이퍼를 절출하면, 웨이퍼의 산소 농도의 면 내 분포는 불균일해진다.

[0010] 따라서, 본 발명의 목적은, 단결정 중의 산소 농도의 면 내 분포를 균일하게 하는 것이 가능한 단결정의 제조 방법을 제공하는 것에 있다. 또한 본 발명의 목적은, 그러한 단결정의 제조 방법에 이용되는 자장 발생 장치 및 단결정 제조 장치를 제공하는 것에 있다.

과제의 해결 수단

- [0011] 상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명자들이 단결정 중의 산소 농도의 변동에 대해서 조사한 결과, 결정 성장 방향의 특성의 범위에서는 산소 농도의 성장 줄무늬가 작아지고, 또한 그 범위에서는 결정 직경의 변동이 매우 작은 것을 발견했다. 추가로 조사한 결과, 산소 농도의 성장 줄무늬가 작아지는 범위의 단결정을 육성하고 있을 때에는 도가니 저면 부근에서의 자력선의 방향이 도가니 저면과 평행에 가까운 것이 밝혀졌다.
- [0012] 본 발명은 이러한 기술적 인식에 기초하는 것으로서, 본 발명에 의한 단결정의 제조 방법은, 도가니 내의 용액에 횡자장을 인가하면서 단결정을 인상하는 단결정의 제조 방법으로서, 결정 인상 공정 중에 상기 용액의 감소에 맞추어 상기 도가니를 상승시킴과 함께, 용액면에 있어서의 자장의 방향과 상기 도가니의 만곡한 저부의 내면에 있어서의 자장의 방향이 보디부 육성 공정의 개시에서 종료까지 일정해지도록, 상기 용액의 감소에 맞추어 자장 분포를 제어하는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 본 발명에 의한 단결정의 제조 방법은, 용액면 부근에서의 자장의 방향과 도가니의 저부 부근에서의 자장의 방향을 보디부 육성 공정의 초반에서 중반까지 일정하게 유지하기 때문에, 단결정 중의 산소 농도에 영향을 주는 용액 대류를 가능한 한 억제할 수 있고, 이에 따라 단결정의 저산소화뿐만 아니라 산소 농도의 면 내 분포의 균일화를 도모할 수 있다.
- [0014] 본 발명에 있어서, 상기 용액면에 있어서의 자장의 방향은, 상기 용액면과 평행인 것이 바람직하다. 용액면은, 용액과 인상로(爐) 내 분위기의 계면(기액 계면)이고, 통상은 수평면이다. 이에 따라, 용액면으로부터의 산소의 증발을 활발화시켜 단결정의 저산소화를 도모할 수 있다.
- [0015] 상기 도가니의 회전축을 Z축으로 하고, 상기 Z축과 직교하는 상기 횡자장의 자장 중심축을 Y축으로 하고, 상기 Z축과 상기 Y축의 교점을 원점으로 하고, YZ평면에 직교하고 상기 원점을 통과하는 축을 X축으로 할 때, 상기 도가니의 만곡한 저부의 내면과 상기 YZ평면의 교선(交線) 상에 있어서, 당해 내면의 법선 벡터와 자장 벡터가 이루는 각도(θ)를 75도 이상 105도 이하로 유지하는 것이 바람직하다. 이에 따라, 도가니 저부에서의 용액 대류를 억제하여 단결정 중의 산소 농도의 면 내 분포를 균일하게 할 수 있다.
- [0016] 본 발명에 의한 단결정의 제조 방법은, 상기 원점에 있어서의 자장의 강도를 일정하게 유지하면서, 상기 도가니의 만곡한 저부의 내면의 법선 벡터와 자장 벡터의 내적의 제곱의 상기 저부에 있어서의 적분값을 최소화하도록, 상기 자장 분포를 조정하는 것이 바람직하다. 혹은, 상기 저부의 중심에서 당해 저부의 형상과 자장의 Y방향의 2차 미분을 일치시키도록, 상기 자장 분포를 조정해도 좋다. 이에 따라, 도가니 저부 부근에서의 자장의 방향을 저부의 만곡한 내면을 따르게 할 수 있다.
- [0017] 상기 도가니의 반경을 R로 할 때, 상기 저부는, 상기 저부의 중심으로부터 반경 0.7R 이하의 범위인 것이 바람직하다. 통상, 자장 분포가 왜곡되지 않은 횡자장하에서의 단결정 인상에서는, 중심 부근의 자장 분포는 도가니의 저면과 평행에 가깝기 때문에, 저부의 설정 영역이 좁은 경우, 본 발명은 자동적으로 충족되어 의미를 이루지 않는다. 저부의 설정 영역이 0.7R보다도 넓은 경우에는, 측벽부를 향하여 곡률이 크게 변화하는 도가니의 코너부에 있어서 상기 조건을 충족하는 것이 곤란해진다.
- [0018] 본 발명에 의한 단결정의 제조 방법은, 상기 도가니의 주위에 복수의 코일 소자를 형성하고, 각 코일 소자의 자장 강도를 개별적으로 조정함으로써 상기 자장 분포를 제어하는 것이 바람직하다. 이 경우에 있어서, 상기 복수의 코일 소자는, 코일축이 일치한 복수의 코일 소자쌍을 구성하고 있는 것이 바람직하다. 본 발명에 의하면, 용액면에 있어서의 자장의 방향을 수평으로 유지하면서, 도가니 저부 부근에서의 자장의 방향을 도가니의 높이 위치의 변화에 맞추어 변화시킬 수 있다.
- [0019] 상기 복수의 코일 소자는, XZ평면을 사이에 두고 대칭으로 배치되어 있는 것이 바람직하고, XY평면과 평행하게 배치되어 있는 것이 바람직하다. 본 발명에 의하면, Z축으로부터 보아 대칭성이 높은 자장 분포를 실현할 수 있다.
- [0020] 상기 복수의 코일 소자는, 제1 자장을 발생하는 제1 코일 장치와, 상기 제1 자장과 상이한 제2 자장을 발생하는 제2 코일 장치를 구성하고 있고, 상기 제1 자장의 강도와 상기 제2 자장의 강도를 개별적으로 조정함으로써 상기 자장 분포를 제어하는 것이 바람직하다. 이에 따라, 용액면에 있어서의 자장의 방향을 수평으로 유지하면서, 도가니 저부 부근에서의 자장의 방향을 도가니의 높이 위치의 변화에 맞추어 변화시킬 수 있다.
- [0021] 상기 제1 자장은, Y축의 플러스 방향의 자장이 서서히 약해진 후, 제로가 되고, 또한 Y축의 마이너스 방향의 자장이 서서히 강해지는 자장 변화를 갖고, 상기 제2 자장은, Y축의 마이너스 방향의 자장이 서서히 약해진 후,

제로가 되고, 또한 Y축의 플러스 방향의 자장이 서서히 강해지는 자장 변화를 갖는 것이 바람직하다. 이에 따라, 용액면에 있어서의 자장의 방향을 수평으로 유지하면서, 도가니 저부 부근에서의 자장의 방향을 도가니의 높이 위치의 변화에 맞추어 변화시킬 수 있다.

[0022] 또한, 본 발명에 의한 자장 발생 장치는, MCZ법에 의한 단결정의 제조에 이용되고, 도가니 내의 용액에 횡자장을 인가하는 자장 발생 장치로서, 제1 자장을 발생하는 제1 코일 장치와, 상기 제1 자장과 상이한 제2 자장을 발생하는 제2 코일 장치를 구비하고, 상기 도가니의 회전축을 Z축으로 하고, 상기 Z축과 직교하는 상기 횡자장의 인가 방향의 중심축을 Y축으로 하고, 상기 Z축과 상기 Y축의 교점을 원점으로 하고, YZ평면에 직교하고 상기 원점을 통과하는 축을 X축으로 할 때, 상기 제1 코일 장치는, 상기 YZ평면 상에 배치되고, 코일축이 일치하는 적어도 한 쌍의 코일 소자를 갖고, 상기 제2 코일 장치는, XY평면과 평행하게 배치되고, 코일축이 일치하는 적어도 두 쌍의 코일 소자를 갖고, 상기 제1 코일 장치 및 상기 제2 코일 장치를 구성하는 복수의 코일 소자는, XZ평면을 사이에 두고 대칭으로 배치되어 있는 것을 특징으로 한다.

[0023] 본 발명에 의하면, 용액면에 있어서의 자장의 방향을 수평으로 유지하면서, 도가니 저부 부근에서의 자장의 방향을 도가니의 높이 위치의 변화에 맞추어 변화시킬 수 있다. 이러한 자장 분포를 보디부 육성 공정의 초반에서 종반까지 일정하게 유지함으로써, 단결정 중의 산소 농도에 영향을 주는 용액 대류를 가능한 한 억제할 수 있고, 이에 따라 단결정의 저산소화뿐만 아니라 산소 농도의 면 내 분포의 균일화를 도모할 수 있다.

[0024] 본 발명에 있어서, 상기 제1 코일 장치는, 상기 YZ평면 상에 배치되고, 상기 Z축을 사이에 두고 대칭으로 배치된 제1 및 제2 코일 소자를 갖고, 상기 제2 코일 장치는, XY평면 상에 배치되고, 상기 Z축을 사이에 두고 대칭으로 배치된 제3 및 제4 코일 소자와, XY평면 상에 배치되고, 상기 Z축을 사이에 두고 대칭으로 배치된 제5 및 제6 코일 소자를 갖고, 상기 제1 내지 제6 코일 소자는, XZ평면을 사이에 두고 대칭으로 배치되어 있는 것이 바람직하다. 이에 따라, Z축으로부터 보아 대칭성이 높은 자장 분포를 실현할 수 있다.

[0025] 상기 제3 및 제4 코일 소자의 코일축이 상기 Y축과 이루는 각도가 +45도이고, 상기 제5 및 제6 코일 소자의 코일축이 상기 Y축과 이루는 각도가 -45도인 것이 바람직하다. 이에 따라, Z축으로부터 보아 대칭성이 높은 자장 분포를 실현할 수 있다.

[0026] 상기 제1 및 제2 코일 소자를 구성하는 루프 코일의 루프 사이즈는 동일하고, 상기 제3 내지 제6 코일 소자를 구성하는 루프 코일의 루프 사이즈는 동일한 것이 바람직하다. 이에 따라, Z축으로부터 보아 대칭성이 높은 자장 분포를 실현할 수 있다.

[0027] 그리고 또한, 본 발명에 의한 단결정 제조 장치는, 용액을 지지하는 도가니와, 상기 용액을 가열하는 히터와, 상기 용액으로부터 단결정을 인상하는 결정 인상 기구와, 상기 도가니를 회전 및 승강 구동하는 도가니 승강 기구와, 상기 용액에 횡자장을 인가하는 전술한 본 발명에 의한 자장 발생 장치와, 상기 히터, 상기 결정 인상 기구, 상기 도가니 승강 기구 및, 상기 자장 발생 장치를 제어하는 제어부를 구비하는 것을 특징으로 한다.

[0028] 본 발명에 의한 단결정 제조 장치는, 용액면 부근에서의 자장의 방향과 도가니의 저부 부근에서의 자장의 방향을 보디부 육성 공정 중의 도가니의 높이 위치의 변화에 의하지 않고 일정하게 유지하기 때문에, 단결정 중의 산소 농도에 영향을 주는 용액 대류를 가능한 한 억제할 수 있고, 이에 따라 단결정의 저산소화뿐만 아니라 산소 농도의 면 내 분포의 균일화를 도모할 수 있다.

발명의 효과

[0029] 본 발명에 의하면, 단결정 중의 산소 농도의 면 내 분포를 균일하게 하는 것이 가능한 단결정의 제조 방법, 자장 발생 장치 및 단결정 제조 장치를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은, 본 발명의 실시 형태에 의한 단결정 제조 장치의 구성을 개략적으로 나타내는 측면 단면도이다.
 도 2는, 본 발명의 실시 형태에 의한 실리콘 단결정의 제조 방법을 설명하는 플로우차트이다.
 도 3은, 실리콘 단결정 잉곳의 형상을 나타내는 개략 단면도이다.
 도 4(a)~(c)는, 본 발명의 제1 실시 형태에 의한 자장 발생 장치의 구성을 나타내는 개략 사시도로서, (a)는 자장 발생 장치의 전체 구성, (b)는 제1 코일 장치의 구성, (c)는 제2 코일 장치의 구성을 각각 나타내고 있다.

도 5는, 제1 코일 장치(21) 및 제2 코일 장치(22)로부터 발생하는 자장 강도의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 6(a)~(c)는, 석영 도가니 내의 실리콘 용액에 인가되는 복합 자장의 벡터 분포를 나타내는 개략도이다.

도 7(a)~(c)는, 본 발명의 제2 실시 형태에 의한 자장 발생 장치(20)의 구성을 나타내는 개략 사시도로서, (a)는 자장 발생 장치의 전체 구성, (b)는 제1 코일 장치의 구성, (c)는 제2 코일 장치의 구성을 각각 나타내고 있다.

도 8(a)~(c)는, 본 발명의 제3 실시 형태에 의한 자장 발생 장치(20)의 구성을 나타내는 개략 사시도로서, (a)는 자장 발생 장치(20)의 전체 구성, (b)는 제1 코일 장치의 구성, (c)는 제2 코일 장치의 구성을 각각 나타내고 있다.

도 9(a)~(c)는, 본 발명의 제4 실시 형태에 의한 자장 발생 장치(20)의 구성을 나타내는 개략 사시도로서, (a)는 자장 발생 장치(20)의 전체 구성, (b)는 제1 코일 장치의 구성, (c)는 제2 코일 장치의 구성을 각각 나타내고 있다.

도 10(a) 및 (b)는, 자장 출력과의 관계를 나타내는 그래프로서, (a)는 용액 깊이(액면에서 도가니 바닥까지의 거리)와 자장 출력의 관계, (b) 결정 길이와 자장 출력의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 11(a)~(c)는, 도 10(a) 및 (b)에 나타낸 자장 출력 프로파일을 이용하여 생성한 복합 자장의 자력선과 도가니 저부의 내면이 이루는 각도를 나타내는 그래프로서, (a)는 용액 깊이가 200mm, (b)는 용액 깊이가 300mm, (c)는 용액 깊이가 400mm인 경우를 각각 나타내는 것이다.

도 12는, 복합 자장을 인가하면서 제조한 실시예에 의한 실리콘 단결정의 결정 성장 방향의 산소 농도 분포를 나타내는 그래프이다.

도 13(a)~(f)는, 비교예 및 실시예에 의한 실리콘 단결정의 산소 농도의 평가 결과를 나타내는 그래프로서, 도 13(a)~(c)는 단일 자장을 인가하면서 제조한 비교예에 의한 실리콘 단결정의 산소 농도의 평가 결과이고, 도 13(d)~(f)는 복합 자장을 인가하면서 제조한 실시예에 의한 실리콘 단결정의 산소 농도의 평가 결과이다.

도 14는 종래의 실리콘 단결정의 문제점을 설명하기 위한 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031]

(발명을 실시하기 위한 형태)

[0032]

이하, 첨부 도면을 참조하면서, 본 발명의 바람직한 실시 형태에 대해서 상세하게 설명한다.

[0033]

도 1은, 본 발명의 실시 형태에 의한 단결정 제조 장치의 구성을 개략적으로 나타내는 측면 단면도이다.

[0034]

도 1에 나타내는 바와 같이, 단결정 제조 장치(1)는, 챔버(10)와, 챔버(10) 내에 있어서 실리콘 용액(2)을 보유 지지(保持)하는 석영 도가니(11)와, 석영 도가니(11)를 보유지지하는 그래파이트제의 서셉터(12)와, 서셉터(12)를 지지하는 회전 샤프트(13)와, 회전 샤프트(13)를 회전 및 승강 구동하는 샤프트 구동 기구(14)와, 서셉터(12)의 주위에 배치된 히터(15)와, 히터(15)의 외측으로서 챔버(10)의 내면을 따라 배치된 단열재(16)와, 석영 도가니(11)의 상방에 배치된 열 차폐체(17)와, 석영 도가니(11)의 상방으로서 회전 샤프트(13)와 동축 상에 배치된 단결정 인상용의 와이어(18)와, 챔버(10)의 상방에 배치된 와이어 권취 기구(19)를 구비하고 있다.

[0035]

또한 단결정 제조 장치(1)는, 챔버(10)의 외측에 배치된 자장 발생 장치(20)와, 챔버(10) 내를 촬영하는 CCD 카메라(25)와, CCD 카메라(25)로 촬영된 화상을 처리하는 화상 처리부(26)와, 화상 처리부(26)의 출력에 기초하여 샤프트 구동 기구(14), 히터(15) 및 와이어 권취 기구(19)를 제어하는 제어부(27)를 구비하고 있다.

[0036]

챔버(10)는, 메인 챔버(10a)와, 메인 챔버(10a)의 상부 개구에 연결된 가늘고 긴 원통 형상의 풀 챔버(10b)로 구성되어 있고, 석영 도가니(11), 서셉터(12), 히터(15) 및 열 차폐체(17)는 메인 챔버(10a) 내에 형성되어 있다. 풀 챔버(10b)에는 챔버(10) 내에 아르곤 가스 등의 불활성 가스(퍼지 가스)를 도입하기 위한 가스 도입구(10c)가 형성되어 있고, 메인 챔버(10a)의 하부에는 불활성 가스를 배출하기 위한 가스 배출구(10d)가 형성되어 있다. 또한, 메인 챔버(10a)의 상부에는 관측창(10e)이 형성되어 있고, 실리콘 단결정(3)의 육성 상황(고액 계면)을 관측창(10e)으로부터 관찰 가능하다.

[0037]

석영 도가니(11)는, 원통 형상의 측벽부와, 완만하게 만곡한 저부와, 측벽부와 저부의 사이에 형성된 코너부를 갖는 석영 유리체의 용기이다. 서셉터(12)는, 가열에 의해 연화한 석영 도가니(11)의 형상을 유지하기 위해,

석영 도가니(11)의 외표면에 밀착하여 석영 도가니(11)를 감싸도록 보유지지한다. 석영 도가니(11) 및 서셉터(12)는 챔버(10) 내에 있어서 실리콘 용액을 지지하는 이중 구조의 도가니를 구성하고 있다.

- [0038] 서셉터(12)는 연직 방향으로 연장되는 회전 샤프트(13)의 상단부에 고정되어 있다. 또한 회전 샤프트(13)의 하단부는 챔버(10)의 저부 중앙을 관통하여 챔버(10)의 외측에 형성된 샤프트 구동 기구(14)에 접속되어 있다. 서셉터(12), 회전 샤프트(13) 및 샤프트 구동 기구(14)는 석영 도가니(11)를 회전시키면서 승강 구동하는 도가니 승강 기구를 구성하고 있다.
- [0039] 히터(15)는, 석영 도가니(11) 내에 충전된 실리콘 원료를 용융하여 용융 상태를 유지하기 위해 이용된다. 히터(15)는 카본제의 저항 가열식 히터이고, 서셉터(12) 내의 석영 도가니(11)의 전체 둘레를 둘러싸도록 형성된 대략 원통 형상의 부재이다. 또한 히터(15)의 외측은 단열재(16)로 둘러싸여 있고, 이에 따라 챔버(10) 내의 보온성이 높아져 있다.
- [0040] 열 차폐체(17)는, 실리콘 용액(2)의 온도 변동을 억제하여 고액 계면 부근에 적절한 핫 존을 형성함과 함께, 히터(15) 및 석영 도가니(11)로부터의 복사열에 의한 실리콘 단결정(3)의 가열을 방지하기 위해 형성되어 있다. 열 차폐체(17)는, 실리콘 단결정(3)의 인상 경로를 제외한 실리콘 용액(2)의 상방의 영역을 덮는 그래파이트제의 원통 부재이다.
- [0041] 열 차폐체(17)의 하단 중앙에는 실리콘 단결정(3)의 직경보다도 큰 원형의 개구가 형성되어 있고, 실리콘 단결정(3)의 인상 경로가 확보되어 있다. 도시와 같이, 실리콘 단결정(3)은 개구를 통과하여 상방으로 인상된다. 열 차폐체(17)의 개구의 직경은 석영 도가니(11)의 구경보다도 작고, 열 차폐체(17)의 하단부는 석영 도가니(11)의 내측에 위치하기 때문에, 석영 도가니(11)의 림 상단을 열 차폐체(17)의 하단보다도 상방까지 상승시켜도 열 차폐체(17)가 석영 도가니(11)와 간섭하는 일은 없다.
- [0042] 실리콘 단결정(3)의 성장과 함께 석영 도가니(11) 내의 용액량은 감소하지만, 용액면(2s)과 열 차폐체(17)의 간격(갭)이 일정해지도록 석영 도가니(11)를 상승시킴으로써, 실리콘 용액(2)의 온도 변동을 억제함과 함께, 용액면(2s)의 근방(피지 가스 유도로)을 흐르는 가스의 유속을 일정하게 하여 실리콘 용액(2)으로부터의 도펀트의 증발량을 제어할 수 있다. 따라서, 단결정의 인상축 방향의 결정 결함 분포, 산소 농도 분포, 저항률 분포 등의 안정성을 향상시킬 수 있다.
- [0043] 석영 도가니(11)의 상방에는, 실리콘 단결정(3)의 인상축인 와이어(18)와, 와이어(18)를 권취하는 와이어 권취 기구(19)가 형성되어 있고, 이들은 결정 인상 기구를 구성하고 있다. 와이어 권취 기구(19)는 와이어(18)와 함께 단결정을 회전시키는 기능을 갖고 있다. 와이어 권취 기구(19)는 풀 챔버(10b)의 상방에 배치되어 있고, 와이어(18)는 와이어 권취 기구(19)로부터 풀 챔버(10b) 내를 통과하여 하방으로 연장되어 있고, 와이어(18)의 선단부는 메인 챔버(10a)의 내부 공간까지 도달하고 있다. 도 1에는, 육성 도중의 실리콘 단결정(3)이 와이어(18)에 매달아 설치된 상태가 나타나 있다. 단결정의 인상 시에는 종 결정을 실리콘 용액(2)에 침지하고, 석영 도가니(11)와 종 결정을 각각 회전시키면서 와이어(18)를 서서히 인상함으로써 단결정을 성장시킨다.
- [0044] 자장 발생 장치(20)는, 석영 도가니(11)의 주위에 형성된 복수의 코일로 이루어지고, 실리콘 용액(2)에 횡자장(수평 자장)을 인가한다. 석영 도가니(11)의 회전축 상(결정 인상축의 연장선 상)에 있어서의 횡자장의 최대 강도는, 일반적인 HMCZ의 자장 강도 범위인 0.15~0.6(T)인 것이 바람직하다. 실리콘 용액(2)에 자장을 인가함으로써 자력선에 직교하는 방향의 용액 대류를 억제할 수 있다. 따라서, 석영 도가니(11)로부터의 산소의 용출을 억제할 수 있어, 실리콘 단결정 중의 산소 농도를 저감할 수 있다.
- [0045] 메인 챔버(10a)의 상부에는 내부를 관찰하기 위한 관측창(10e)이 형성되어 있고, CCD 카메라(25)는 관측창(10e)의 외측에 설치되어 있다. 단결정 인상 공정 중, CCD 카메라(25)는 관측창(10e)으로부터 열 차폐체(17)의 개구(17a)를 통해 보이는 실리콘 단결정(3)과 실리콘 용액(2)의 경계부의 화상을 촬영한다. CCD 카메라(25)는 화상 처리부(26)에 접속되어 있고, 촬영 화상은 화상 처리부(26)에서 처리되고, 처리 결과는 제어부(27)에 있어서 결정 인상 조건의 제어에 이용된다.
- [0046] 도 2는, 본 발명의 실시 형태에 의한 실리콘 단결정의 제조 방법을 설명하는 플로우차트이다. 또한, 도 3은, 실리콘 단결정 잉곳의 형상을 나타내는 개략 단면도이다.
- [0047] 도 2 및 도 3에 나타내는 바와 같이, 실리콘 단결정(3)의 제조에서는, 석영 도가니(11) 내의 실리콘 원료를 가열하여 실리콘 용액(2)을 생성한다(스텝 S11). 그 후, 와이어(18)의 선단부에 부착된 종 결정을 강하시켜 실리콘 용액(2)에 착액시킨다(스텝 S12).

- [0048] 다음으로, 실리콘 용액(2)과의 접촉 상태를 유지하면서 종 결정을 서서히 인상하여 단결정을 육성하는 단결정의 인상 공정을 실시한다. 단결정의 인상 공정에서는, 무전위화를 위해 결정 직경이 가늘게 좁혀진 넥부(3a)를 형성하는 네킹 공정(스텝 S13)과, 규정의 직경을 얻기 위해 결정 직경이 서서히 증가한 솔더부(3b)를 형성하는 솔더부 육성 공정(스텝 S14)과, 결정 직경이 일정하게 유지된 보디부(3c)를 형성하는 보디부 육성 공정(스텝 S15)과, 결정 직경이 서서히 감소한 테일부(3d)를 형성하는 테일부 육성 공정(스텝 S16)이 순서대로 실시되고, 실리콘 단결정(3)이 용액면(2s)으로부터 최종적으로 떼어내짐으로써 테일부 육성 공정이 종료된다. 이상에 의해, 단결정의 상단에서 하단을 향하여 순서대로, 넥부(3a), 솔더부(3b), 보디부(3c) 및, 테일부(3d)를 갖는 실리콘 단결정 잉곳(3)이 완성된다.
- [0049] 단결정의 인상 공정 중은, 실리콘 단결정(3)의 직경 및 실리콘 용액(2)의 액면 위치를 제어하기 위해, CCD 카메라(25)로 실리콘 단결정(3)과 실리콘 용액(2)의 경계부의 화상을 촬영하고, 촬영 화상으로부터 고액 계면에 있어서의 실리콘 단결정(3)의 직경 및 용액면(2s)과 열 차폐체(17)의 간격(갭)을 산출한다. 제어부(27)는, 실리콘 단결정(3)의 직경이 목표 직경이 되도록 와이어(18)의 인상 속도, 히터(15)의 파워 등의 인상 조건을 제어한다. 또한 제어부(27)는, 용액면(2s)과 열 차폐체(17)의 간격이 일정해지도록 석영 도가니(11)의 높이 위치를 제어한다.
- [0050] 다음으로, 자장 발생 장치(20)의 구성에 대해서 상세하게 설명한다.
- [0051] 도 4(a)~(c)는, 본 발명의 제1 실시 형태에 의한 자장 발생 장치(20)의 구성을 나타내는 개략 사시도로서, (a)는 자장 발생 장치(20)의 전체 구성, (b)는 제1 코일 장치(21)의 구성, (c)는 제2 코일 장치(22)의 구성을 각각 나타내고 있다.
- [0052] 도 4(a)에 나타내는 바와 같이, 이 자장 발생 장치(20)는, 제1 횡자장을 발생하는 제1 코일 장치(21)와, 제1 횡자장과 상이한 제2 횡자장을 발생하는 제2 코일 장치(22)의 조합으로 이루어진다. 석영 도가니(11)의 회전축(결정 중심축)을 Z축으로 하고, Z축과 용액면의 교점을 직교 좌표계의 원점으로 할 때, 횡자장의 인가 방향은 Y축 방향으로 한다. 이와 같이, 2개의 코일 장치를 준비하고, 각각이 발생하는 횡자장의 강도를 독립적으로 변화시킬 수 있다.
- [0053] 도 4(b)에 나타내는 바와 같이, 제1 코일 장치(21)는, 루프 코일로 이루어지는 한 쌍의 코일 소자를 구비하고 있다. 상세하게는, 제1 코일 장치(21)는, 제1 코일 소자(21a)와, Z축을 사이에 두고 제1 코일 소자(21a)와 대향하는 제2 코일 소자(21b)를 구비하고 있다. 제1 코일 소자(21a)는 Y축 방향의 마이너스측, 제2 코일 소자(21b)는 Y축 방향의 플러스측에 각각 배치되어 있다. 특히, 제1 코일 소자(21a)와 제2 코일 소자(21b)는 XZ평면을 사이에 두고 대칭으로 배치되어 있다.
- [0054] 제1 및 제2 코일 소자(21a, 21b)의 루프 사이즈는 동일하고, 비교적 큰 직경을 갖고 있다. 제1 코일 소자(21a) 및 제2 코일 소자(21b)의 코일축(코일 중심축)은 Y축과 일치하고 있다. 그 때문에, 제1 코일 장치(21)로부터 발생하는 자장의 중심축은 Y축과 일치하고 있다.
- [0055] 제1 코일 장치(21)의 동작에서는, 한 쌍의 코일 소자의 자장 발생 방향을 서로 일치시킨다. 즉, 제1 코일 장치(21)로부터 Y축의 플러스 방향의 자장을 발생시키고 싶은 경우에는, 제1 및 제2 코일 소자(21a, 21b) 모두 자장의 방향을 Y축의 플러스 방향(제1 코일 소자(21a)로부터 제2 코일 소자(21b)로 향하는 방향)으로 설정한다. 반대로, Y축의 마이너스 방향의 자장을 발생시키고 싶은 경우에는, 제1 및 제2 코일 소자(21a, 21b) 모두 자장의 방향을 Y축의 마이너스 방향(제2 코일 소자(21b)로부터 제1 코일 소자(21a)로 향하는 방향)으로 설정한다.
- [0056] 도 4(c)에 나타내는 바와 같이, 제2 코일 장치(22)는, 루프 코일로 이루어지는 두 쌍의 코일 소자를 구비하고 있다. 상세하게는, 제2 코일 장치(22)는, 제3 코일 소자(22a)와, Z축을 사이에 두고 제3 코일 소자(22a)와 대향하는 제4 코일 소자(22b)와, 제5 코일 소자(22c)와, Z축을 사이에 두고 제5 코일 소자(22c)와 대향하는 제6 코일 소자(22d)를 구비하고 있다. 제3 코일 소자(22a) 및 제5 코일 소자(22c)는 Y축 방향의 마이너스측, 제4 코일 소자(22b) 및 제6 코일 소자(22d)는 Y축 방향의 플러스측에 각각 배치되어 있다. 특히, 제3 및 제5 코일 소자(22a, 22c)와 제4 및 제6 코일 소자(22b, 22d)는 XZ평면을 사이에 두고 대칭으로 배치되어 있다.
- [0057] 제3~제6 코일 소자(22a~22d)의 루프 사이즈는 동일하고, 또한 제1 및 제2 코일 소자(21a, 21b)의 루프 사이즈와 동일하다. 제3 및 제4 코일 소자(22a, 22b)의 코일축은 XY평면 내에 존재하고, Y축에 대하여 반시계 방향으로 45도(+45도) 기울어 있다. 제5 및 제6 코일 소자(22c, 22d)의 코일축도 XY평면 내에 존재하지만, Y축에 대하여 시계 방향으로 45도(-45도) 기울어 있다. 따라서, 제5 및 제6 코일 소자(22c, 22d)의 코일축은, 제3 및 제4 코일 소자(22a, 22b)의 코일축과 직교하고 있다.

- [0058] 제2 코일 장치(22)의 동작에서도, 한 쌍의 코일 소자의 자장 발생 방향을 서로 일치시킨다. 즉, 제2 코일 장치(22)로부터 Y축의 플러스 방향의 자장을 발생시키고 싶은 경우에는, 제3 및 제4 코일 소자(22a, 22b) 모두 자장의 방향을 Y축의 플러스 방향(제3 코일 소자(22a)로부터 제4 코일 소자(22b)로 향하는 방향)으로 함과 함께, 제5 및 제6 코일 소자(22c, 22d) 모두 자장의 방향을 Y축의 플러스 방향(제5 코일 소자(22c)로부터 제6 코일 소자(22d)로 향하는 방향)으로 설정한다. 이에 따라, 제3~제6 코일 소자(22a~22d)의 합성 자장의 방향은 Y축의 플러스 방향이 된다. 반대로, Y축의 마이너스 방향의 자장을 발생시키고 싶은 경우에는, 제3 및 제4 코일 소자(22a, 22b) 모두 자장의 방향을 Y축의 마이너스 방향(제4 코일 소자(22b)로부터 제3 코일 소자(22a)로 향하는 방향)으로 설정함과 함께, 제5 및 제6 코일 소자(22c, 22d) 모두 자장의 방향을 Y축의 마이너스 방향(제6 코일 소자(22d)로부터 제5 코일 소자(22c)로 향하는 방향)으로 설정한다. 이에 따라, 제3~제6 코일 소자(22a~22d)의 합성 자장의 방향은 Y축의 마이너스 방향이 된다.
- [0059] 도 5는, 제1 코일 장치(21) 및 제2 코일 장치(22)로부터 발생하는 자장 강도의 변화를 나타내는 그래프이다.
- [0060] 도 5에 나타내는 바와 같이, 결정 인상 공정의 초반에서는, 제1 코일 장치(21)로부터 Y축의 플러스 방향을 향한 비교적 큰 자장을 인가하고, 제2 코일 장치(22)로부터 Y축의 마이너스 방향을 향한 비교적 큰 자장을 인가한다.
- [0061] 그 후, 결정 성장이 진행됨에 따라, 제1 코일 장치(21)의 자장(제1 자장)을 서서히 약하게 하고, 제2 코일 장치(22)로부터 발생하는 자장(제2 자장)을 서서히 강하게 한다. 제1 코일 장치(21)로부터 발생하는 자장은, Y축의 플러스 방향의 자장이 서서히 약해져 제로가 되고, 또한 자장의 방향이 반전되어, Y축의 마이너스 방향의 자장이 서서히 강해지는 자장 변화를 갖는다. 제2 코일 장치(22)로부터 발생하는 자장은, Y축의 마이너스 방향의 자장이 서서히 약해져 제로가 되고, 또한 자장의 방향이 반전되어, Y축의 플러스 방향의 자장이 서서히 강해지는 자장 변화를 갖는다. 따라서, 결정 인상 공정의 중반에서는, 제1 코일 장치(21)로부터 Y축의 마이너스 방향을 향한 비교적 큰 자장을 인가하고, 제2 코일 장치(22)로부터 Y축의 플러스 방향을 향한 비교적 큰 자장을 인가한다. 제1 코일 장치(21)의 자장 프로파일이 제로가 되는 타이밍과 제2 코일 장치(22)의 자장 프로파일이 제로가 되는 타이밍은 일치하지 않는다.
- [0062] 도 6(a)~(c)는, 석영 도가니(11) 내의 실리콘 용액(2)에 인가되는 복합 자장의 벡터 분포를 나타내는 개략도이다. 또한, 도 6에는 실리콘 용액 부근의 자장만을 기재하고, 실리콘 용액의 주위에 확대되는 자장은 생략하고 있다. 또한, 용액면(2s)으로부터 인상된 실리콘 단결정(3)의 도시도 생략하고 있다.
- [0063] 도 6(a)에 나타내는 결정 인상 공정의 초반에서는, 석영 도가니(11) 내의 실리콘 용액의 잔량이 많아, 용액면(2s)은 도가니 저부로부터 충분히 떨어져 있다. 또한 용액면(2s)이란 기액 계면을 말하고, 실리콘 용액(2)과 석영 도가니(11)의 계면과는 구별된다. 이 때, 도 5에 나타낸 결정 길이가 짧을 때의 자장 강도 프로파일을 적용함으로써, 도가니 저부 부근에 인가되는 자장의 방향을 도가니의 저부의 만곡 형상으로 피트시킬 수 있다.
- [0064] 도 6(b)에 나타내는 결정 인상 공정의 중반에서는, 석영 도가니(11) 내의 실리콘 용액이 감소하여, 용액면(2s)이 저하하고 도가니 저부에 가까워진다. 도 6(c)에 나타내는 결정 인상 공정의 중반에서는, 용액면(2s)이 더욱 저하한다. 그러나, 도 5에 나타낸 바와 같이, 결정 길이(실리콘 용액 잔량)에 맞추어 제1 코일 장치(21) 및 제2 코일 장치(22)의 자장 강도를 변화시킴으로써, 결정 인상 공정의 초반에서 중반까지, 용액면(2s) 부근의 자장을 수평으로 유지하면서, 도가니 저부 부근에 인가되는 자장의 방향을 도가니의 저부의 만곡 형상으로 피트시킬 수 있다.
- [0065] 도가니 저부 부근에 인가되는 자장의 방향이 도가니의 만곡한 저부를 따르고 있지 않은 경우, 도가니의 저부에 있어서 대류가 부분적으로 억제되고, 실리콘 용액의 큰 물류의 형상이 시간적으로 변동하여 불안정해진다. 그 때문에, 도가니의 저부에서 실리콘 용액 중에 용입된 산소의 실리콘 단결정으로의 도달하는 방식도 시간 변동하여 산소 농도의 면 내 분포에 불균일이 발생한다.
- [0066] 그러나, 도가니 저부 부근에 인가되는 자장의 방향이 도가니의 만곡한 저부를 따르고 있는 경우, 실리콘 용액에는 큰 물류가 안정적으로 발생하고, 용액면(2s)으로부터 산소가 증발하기 쉬워지기 때문에, 실리콘 단결정 중에 취입되는 산소의 양은 감소한다. 도가니 저부 부근에 인가되는 자장의 방향이 도가니의 만곡한 저부를 따르고 있는 경우, 도가니의 저부의 대류가 억제되지 않기 때문에, 도가니로부터 실리콘 용액으로의 산소의 용출량은 많아진다. 그러나, 실리콘 단결정 중의 산소 농도는, 용액면으로부터의 산소의 증발의 영향을 강하게 받기 때문에, 실리콘 용액 중으로의 산소의 용입량이 다소 증가했다고 해도, 실리콘 단결정 중의 산소 농도는 상승하지 않는다.
- [0067] 도 7(a)~(c)는, 본 발명의 제2 실시 형태에 의한 자장 발생 장치(20)의 구성을 나타내는 개략 사시도로서,

(a)는 자장 발생 장치(20)의 전체 구성, (b)는 제1 코일 장치(21)의 구성, (c)는 제2 코일 장치(22)의 구성을 각각 나타내고 있다.

[0068] 도 7(a)~(c)에 나타내는 바와 같이, 이 자장 발생 장치(20)는, 제1 실시 형태에서 나타낸 자장 발생 장치보다도 제1 및 제2 코일 장치(21, 22)를 구성하는 코일 소자의 루프 사이즈가 작은 점에 있다. 그 외의 구성은 제1 실시 형태와 동일하다. 이러한 구성이라도, 제1 실시 형태와 동일한 효과를 가져올 수 있다.

[0069] 도 8(a)~(c)는, 본 발명의 제3 실시 형태에 의한 자장 발생 장치(20)의 구성을 나타내는 개략 사시도로서, (a)는 자장 발생 장치(20)의 전체 구성, (b)는 제1 코일 장치(21)의 구성, (c)는 제2 코일 장치(22)의 구성을 각각 나타내고 있다.

[0070] 도 8(a)~(c)에 나타내는 바와 같이, 이 자장 발생 장치(20)는, 도 7(a)~(c)에 나타낸 제1 및 제2 코일 장치(21, 22)에 있어서의 코일 소자(21a, 21b, 22a, 22b, 22c, 22d)를 상하 2단의 코일 소자쌍(21ap, 21bp, 22ap, 22bp, 22cp, 22dp)으로 치환한 것이다. 즉, 제1 코일 장치(21)는 루프 코일로 이루어지는 두 쌍의 코일 소자를 구비하고 있고, 제2 코일 장치(22)는 루프 코일로 이루어지는 네 쌍의 코일 소자를 구비하고 있다.

[0071] 도 8(b)에 나타내는 바와 같이, 제1 코일 장치(21)는, 제1 코일 소자쌍(21ap)(21a₁, 21a₂)과, Z축을 사이에 두고 제1 코일 소자쌍(21ap)과 대향하는 제2 코일 소자쌍(21bp)(21b₁, 21b₂)을 구비하고 있다. 제1 코일 소자쌍(21ap)(21a₁, 21a₂)은 Y축 방향의 마이너스측, 제2 코일 소자쌍(21bp)(21b₁, 21b₂)은 Y축 방향의 플러스측에 각각 배치되어 있다.

[0072] 제1 코일 소자쌍(21ap)의 상단 코일부(21a₁)는, XY평면을 사이에 두고 제1 코일 소자쌍(21ap)의 하단 코일부(21a₂)와 대칭인 위치 관계를 갖고 있고, 제2 코일 소자쌍(21bp)의 상단 코일부(21b₁)는, XY평면을 사이에 두고 제2 코일 소자쌍(21bp)의 하단 코일부(21b₂)와 대칭인 위치 관계를 갖고 있다. 상단 코일부(21a₁)와 상단 코일부(21b₁)는 코일축이 일치하는 한 쌍의 코일 소자를 구성하고 있고, 하단 코일부(21a₂)와 하단 코일부(21b₂)도 코일축이 일치하는 한 쌍의 코일 소자를 구성하고 있다.

[0073] 도 8(c)에 나타내는 바와 같이, 제2 코일 장치(22)는, 제3 코일 소자쌍(22ap)(22a₁, 22a₂)과, Z축을 사이에 두고 제3 코일 소자쌍(22ap)과 대향하는 제4 코일 소자쌍(22bp)(22b₁, 22b₂)과, 제5 코일 소자쌍(22cp)(22c₁, 22c₂)과, Z축을 사이에 두고 제5 코일 소자쌍(22cp)과 대향하는 제6 코일 소자쌍(22dp)(22d₁, 22d₂)을 구비하고 있다. 제3 코일 소자쌍(22ap) 및 제5 코일 소자쌍(22cp)은 Y축 방향의 마이너스측, 제4 코일 소자쌍(22bp) 및 제6 코일 소자쌍(22dp)은 Y축 방향의 플러스측에 각각 배치되어 있다.

[0074] 제3 코일 소자쌍(22ap)의 상단 코일부(22a₁)는, XY평면을 사이에 두고 제3 코일 소자쌍(22ap)의 하단 코일부(22a₂)와 대칭인 위치 관계를 갖고 있고, 제4 코일 소자쌍(22bp)의 상단 코일부(22b₁)는, XY평면을 사이에 두고 제4 코일 소자쌍(22bp)의 하단 코일부(22b₂)와 대칭인 위치 관계를 갖고 있다. 상단 코일부(22a₁)와 상단 코일부(22b₁)는 코일축이 일치하는 한 쌍의 코일 소자를 구성하고 있고, 하단 코일부(22a₂)와 하단 코일부(22b₂)도 코일축이 일치하는 한 쌍의 코일 소자를 구성하고 있다.

[0075] 제5 코일 소자쌍(22cp)의 상단 코일부(22c₁)는, XY평면을 사이에 두고 제5 코일 소자쌍(22cp)의 하단 코일부(22c₂)와 대칭인 위치 관계를 갖고 있고, 제6 코일 소자쌍(22dp)의 상단 코일부(22d₁)는, XY평면을 사이에 두고 제6 코일 소자쌍(22dp)의 하단 코일부(22d₂)와 대칭인 위치 관계를 갖고 있다. 상단 코일부(22c₁)와 상단 코일부(22d₁)는 코일축이 일치하는 한 쌍의 코일 소자를 구성하고 있고, 하단 코일부(22c₂)와 하단 코일부(22d₂)도 코일축이 일치하는 한 쌍의 코일 소자를 구성하고 있다.

[0076] 이상의 구성을 갖는 제3 실시 형태에 의한 자장 발생 장치(20)도, 제1 실시 형태와 동일한 효과를 가져올 수 있다.

[0077] 도 9(a)~(c)는, 본 발명의 제4 실시 형태에 의한 자장 발생 장치(20)의 구성을 나타내는 개략 사시도로서, (a)는 자장 발생 장치(20)의 전체 구성, (b)는 제1 코일 장치(21)의 구성, (c)는 제2 코일 장치(22)의 구성을 각각 나타내고 있다.

[0078] 도 9(a)~(c)에 나타내는 바와 같이, 이 자장 발생 장치(20)는, 제1 코일 장치(21)가 루프 코일로 이루어지는 두 쌍의 코일 소자(코일 소자(21a₁, 21a₂, 21b₁, 21b₂))를 구비하고 있고, 제2 코일 장치(22)가 루프 코일로 이루어지는 두 쌍의 코일 소자(코일 소자(22a, 22b, 22c, 22d))를 구비하고 있는 점에 있다. 즉, 제1 코일 장치(21)에 대해서는 도 8과 동일한 구성으로 하고, 제2 코일 장치(22)에 대해서는 도 7과 동일한 구성을 채용한 것이다. 본 실시 형태에 있어서도, 다른 실시 형태와 동일한 효과를 얻을 수 있다.

[0079] 석영 도가니의 저부의 만곡 형상에 평행한 자장은, 수식을 이용하여 구할 수 있다.

[0080] 예를 들면, 석영 도가니의 내저면 Z=C(Y)의 법선 벡터(n)와 자장 벡터의 내적의 제곱의 Y=0에서 Y=Y_{max}까지의 적분값을 최소화하도록 자장 발생 장치(20)의 출력을 조정한다. 즉, 이하의 (1)식을, 원점의 자장 강도를 특정의 값으로 고정하면서 최소화한다.

$$\int_0^{Y_{\max}} \{ \vec{n}(Y, C(Y)) \cdot [\alpha \vec{B}_1(Y, C(Y)) + \beta \vec{B}_2(Y, C(Y))] \}^2 dY \quad (1)$$

[0081]

[0082] 여기에서 B₁은 제1 코일 장치(21)가 단독으로 만드는 자장 벡터이고, B₂는 제2 코일 장치(22)가 단독으로 만드는 자장 벡터이다.

[0083] 자장 분포는 도가니 중심축 부근에서는 수평에 가까워지기 때문에, 도가니 저부의 중심 부근에서는 도가니 저부의 형상과 자장 분포는 어느 정도 평행에 가깝다. 그에 대하여, 도가니 저부의 외주 부근에서는 자장 분포와 도가니 형상이 평행으로부터 떨어지는 경향이 있다. 따라서, (1)식의 피적분 함수는 Y가 큰 부분에서 커지기 때문에, (1)식의 최소화에는 Y가 큰 부분에서 피적분 함수를 작게 하는, 즉 도가니 형상과 자력선을 평행에 가깝게 할 필요가 있다.

[0084] Y_{max}는 도가니 반경(R)의 70% 이하가 바람직하다(0 ≤ Y_{max} ≤ 0.7R). Y_{max}가 지나치게 작으면 도가니 외주부에서의 평행이 충족되지 않는다. Y_{max}가 지나치게 크면, 외주에 맞추기 위해 도가니 저부의 중심부와 외주부의 사이의 부분에서 평행이 나빠지고, 또한, 도가니 측면면을 향하여 급변하는 도가니 형상이 (1)식에 크게 영향을 준다.

[0085] (1)식의 베리에이션으로서 B가 아니라 B의 방향 벡터를 이용하여 평가하는 방법도 생각할 수 있다.

[0086] 즉, 도가니 바닥 중심에서 도가니 바닥 형상과 자력선의 Y방향의 2차 미분을 일치시킨다. 구체적으로는 이하의 (2)식을 충족하도록 자장 발생 장치(20)의 출력을 조정한다.

$$\alpha \frac{\partial B_{1,Z}(0, Z)}{\partial Y} + \beta \frac{\partial B_{2,Z}(0, Z)}{\partial Y} = \frac{d^2 C(Y)}{dY^2} (\alpha B_{1,Y} + \beta B_{2,Y}) \quad (2)$$

[0087]

[0088] 여기에서 B_{1,Y} 및 B_{1,Z}는 각각 제1 코일 장치(21)가 단독으로 만드는 자장 벡터(B₁)의 Y방향 성분 및 Z방향 성분이고, B_{2,Y} 및 B_{2,Z}는 각각 제2 코일 장치(22)가 단독으로 만드는 자장 벡터(B₂)의 Y방향 성분 및 Z방향 성분이다.

[0089] 이상, 본 발명의 바람직한 실시 형태에 대해서 설명했지만, 본 발명은, 상기의 실시 형태에 한정되는 일 없이, 본 발명의 주지를 이탈하지 않는 범위에서 여러 가지의 변형이 가능하고, 그들도 본 발명의 범위 내에 포함되는 것인 것은 말할 필요도 없다.

[0090] 예를 들면, 상기 실시 형태에 있어서는 실리콘 단결정의 제조 방법을 예로 들었지만, 본 발명은 실리콘 단결정의 제조 방법에 한정되지 않고, HMCZ법을 채용하는 여러 가지의 단결정의 제조 방법에 적용 가능하다.

[0091] 실시예

[0092] 도 9에 나타낸 자장 발생 장치(20)를 이용하여 HMCZ법에 의한 실리콘 단결정의 육성을 행했다. 상기과 같이, 이 자장 발생 장치(20)는, 수직면 내에 배치된 4개의 코일 소자(21a₁, 21a₂, 21b₁, 21b₂)로 이루어지는 제1 코일 장치(21)와, 수평면 내에 배치된 4개의 코일 소자(22a, 22b, 22c, 22d)로 이루어지는 제2 코일 장치(22)로 구성된 것이다.

- [0093] 직교 좌표의 원점(결정 중심축(Z축)과 자장 중심축(Y축)의 교점)에서의 자장 강도는 3000G로 했다. 석영 도가니의 직경은 813mm, 석영 도가니의 만곡한 저부의 곡률 반경은 813mm였다.
- [0094] 전자장 해석 소프트웨어를 이용하여 제1 및 제2 코일 장치의 자장을 계산했다. 용액면에 있어서의 자장 벡터는 Y축과 평행으로 했다. 또한 YZ평면 내에서 석영 도가니의 저부의 내면의 법선과 자장 벡터가 이루는 각도를 계산하고, 용액 깊이(액면에서 도가니 바닥까지의 거리)에 대한 자장 출력을, 상기 (2)식을 이용하여 계산했다. 그 결과를 도 10(a) 및 (b)의 그래프에 나타낸다. 또한, 도 10(a) 및 (b)의 그래프에서는, 제1 및 제2 코일 장치의 각각이 단독으로 결정-용액면 중심에서 자장 강도를 만드는 데에 필요한 출력을 1로 하고 있다.
- [0095] 도 10(a) 및 (b)에 나타내는 바와 같이, 제1 코일 장치의 출력(제1 자장)은, 맨 처음은 Y축의 플러스 방향으로 큰 자장 강도를 갖지만, 결정 성장이 진행되고 용액량이 감소함에 따라 Y축의 플러스 방향의 자장 강도가 서서히 저하하여 도중에 제로가 되고, 또한 Y축의 마이너스 방향의 자장 강도가 서서히 증가한다. 반대로, 제2 코일 장치의 출력(제2 자장)은, 맨 처음은 Y축의 마이너스 방향으로 큰 자장 강도를 갖지만, 결정 성장이 진행되고 용액량이 감소함에 따라 Y축의 마이너스 방향의 자장 강도가 서서히 저하하여 도중에 제로가 되고, 또한 플러스 방향의 자장 강도가 서서히 증가한다.
- [0096] 도 11(a)~(c)는, 도 10(a) 및 (b)에 나타낸 자장 출력 프로파일을 이용하여 생성한 복합 자장의 자력선이 도가니 저부의 내면과 이루는 각도(θ)를, 제1 및 제2 코일 장치가 각각 단독으로 동작했을 때에 발생하는 자장과 비교하면서 나타내는 그래프이다.
- [0097] 도 11(c)에 나타내는 바와 같이, 용액 깊이가 400mm인 경우에 있어서, 복합 자장을 인가했을 때의 도가니 저부의 내면에 대한 자장 각도는 약 90도~95도가 되었다. 또한 도 11(b)에 나타내는 바와 같이, 용액 깊이가 300mm인 경우에 있어서도, 자장 각도는 약 90도~95도가 되었다. 도 11(a)에 나타내는 바와 같이, 용액 깊이가 200mm인 경우에는, 자장 각도가 대략 90도가 되어, 매우 양호한 결과가 되었다.
- [0098] 도 12는, 복합 자장을 인가하면서 제조한 실시예에 의한 실리콘 단결정의 결정 성장 방향의 산소 농도 분포를 나타내는 그래프이다. 도시의 그래프로부터 분명한 바와 같이, 결정 성장 방향의 산소 농도는 $10 \times 10^{17} \sim 11 \times 10^{17}$ atoms/cm³의 범위 내에서 매우 안정된 결과가 되었다.
- [0099] 도 13(a)~(f)는, 비교예 및 실시예에 의한 실리콘 단결정의 산소 농도의 평가 결과를 나타내는 그래프이다. 특히, 도 13(a)~(c)는, 단일 자장(종래 자장)을 인가하면서 제조한 비교예에 의한 실리콘 단결정의 산소 농도의 평가 결과로서, 결정 길이가 500mm, 1100mm, 1700mm인 위치에서의 산소 농도의 면 내 분포(지름 방향 분포)를 나타내는 그래프이다. 또한, 도 13(d)~(f)는, 복합 자장을 인가하면서 제조한 실시예에 의한 실리콘 단결정의 산소 농도의 평가 결과로서, 결정 길이가 500mm, 1100mm, 1700mm인 위치에서의 산소 농도의 면 내 분포(지름 방향 분포)를 나타내는 그래프이다.
- [0100] 도 13(a)~(c)에 나타내는 바와 같이, 비교예에 의한 실리콘 단결정의 산소 농도 분포는 불균일이 컸다. 한편, 도 13(d)~(f)에 나타내는 바와 같이, 실시예에 의한 실리콘 단결정의 산소 농도 분포는 불균일이 작아졌다.

부호의 설명

- [0101] 1 : 단결정 제조 장치
- 2 : 실리콘 용액
- 3 : 실리콘 단결정(잉곳)
- 3a : 넥부
- 3b : 솔더부
- 3c : 보디부
- 3d : 테일부
- 10 : 챔버
- 10a : 메인 챔버
- 10b : 풀 챔버

- 10c : 가스 도입구
- 10d : 가스 배출구
- 10e : 관측창
- 11 : 석영 도가니
- 12 : 서셉터
- 13 : 회전 샤프트
- 14 : 샤프트 구동 기구
- 15 : 히터
- 16 : 단열재
- 17 : 열 차폐체
- 18 : 와이어
- 19 : 와이어 권취 기구
- 20 : 자장 발생 장치
- 21a : 제1 코일 소자
- 21a₁ : 상단 코일부
- 21a₂ : 하단 코일부
- 21ap : 제1 코일 소자쌍
- 21b : 제2 코일 소자
- 21b₁ : 상단 코일부
- 21b₂ : 하단 코일부
- 21bp : 제2 코일 소자쌍
- 22a : 제3 코일 소자
- 22a₁ : 상단 코일부
- 22a₂ : 하단 코일부
- 22ap : 제3 코일 소자쌍
- 22b : 제4 코일 소자
- 22b₁ : 상단 코일부
- 22b₂ : 하단 코일부
- 22bp : 제4 코일 소자쌍
- 22c : 제5 코일 소자
- 22c₁ : 상단 코일부
- 22c₂ : 하단 코일부
- 22cp : 제5 코일 소자쌍
- 22d : 제6 코일 소자

22d₁ : 상단 코일부

22d₂ : 하단 코일부

22dp : 제6 코일 소자쌍

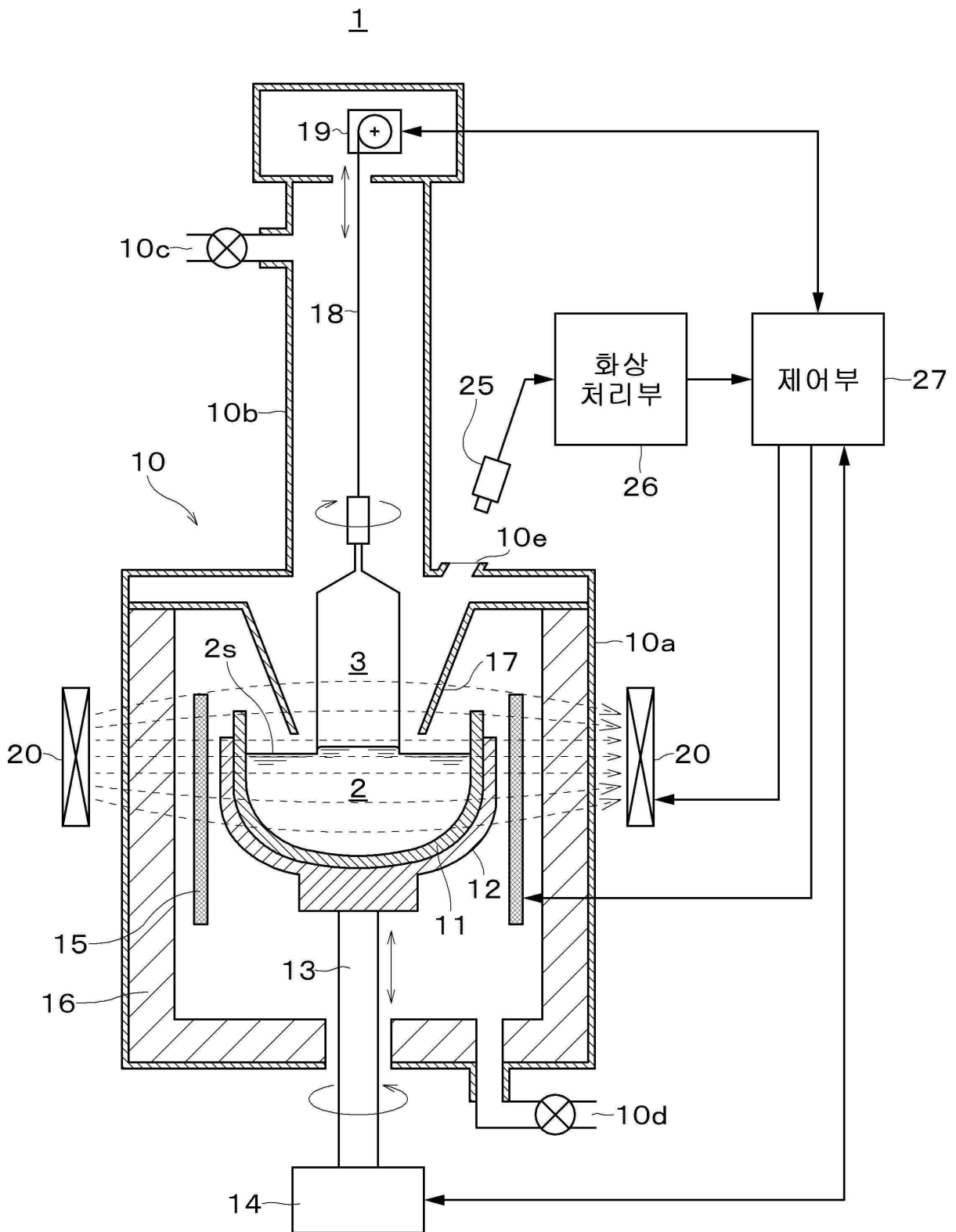
25 : CCD 카메라

26 : 화상 처리부

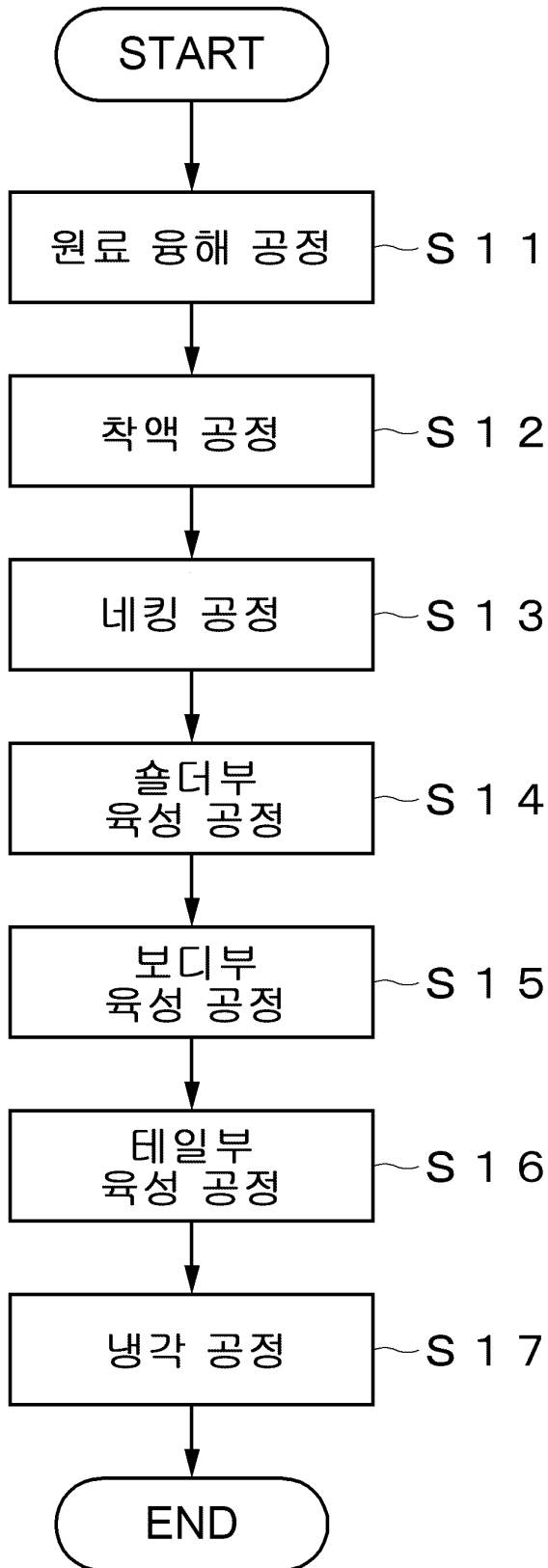
27 : 제어부

도면

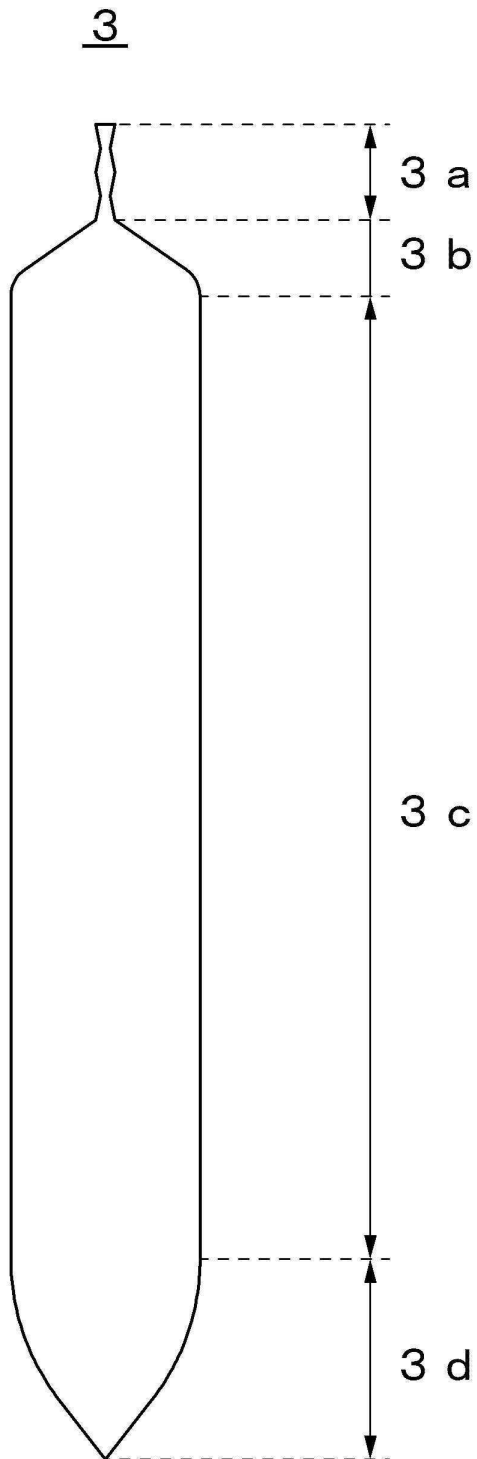
도면1



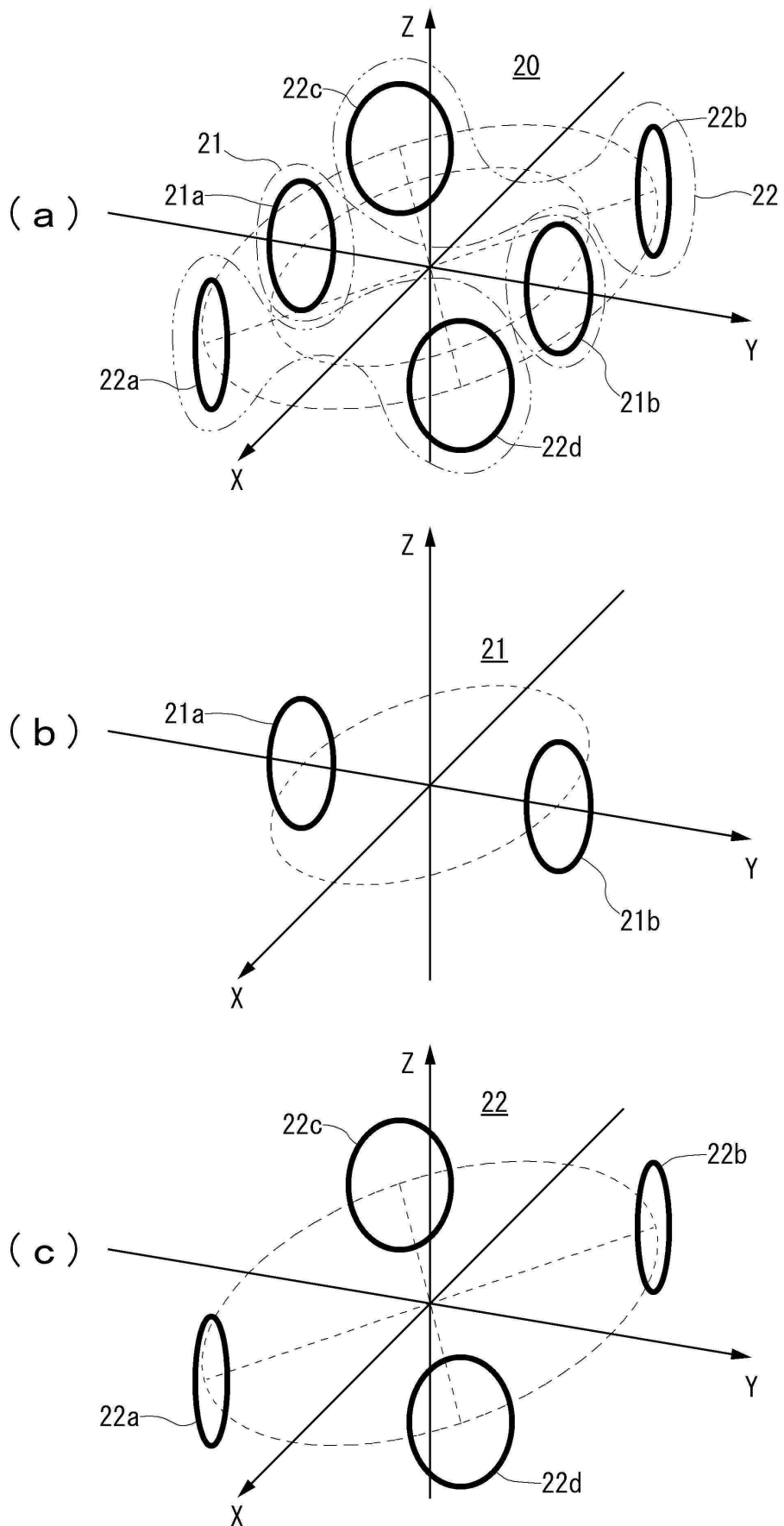
도면2



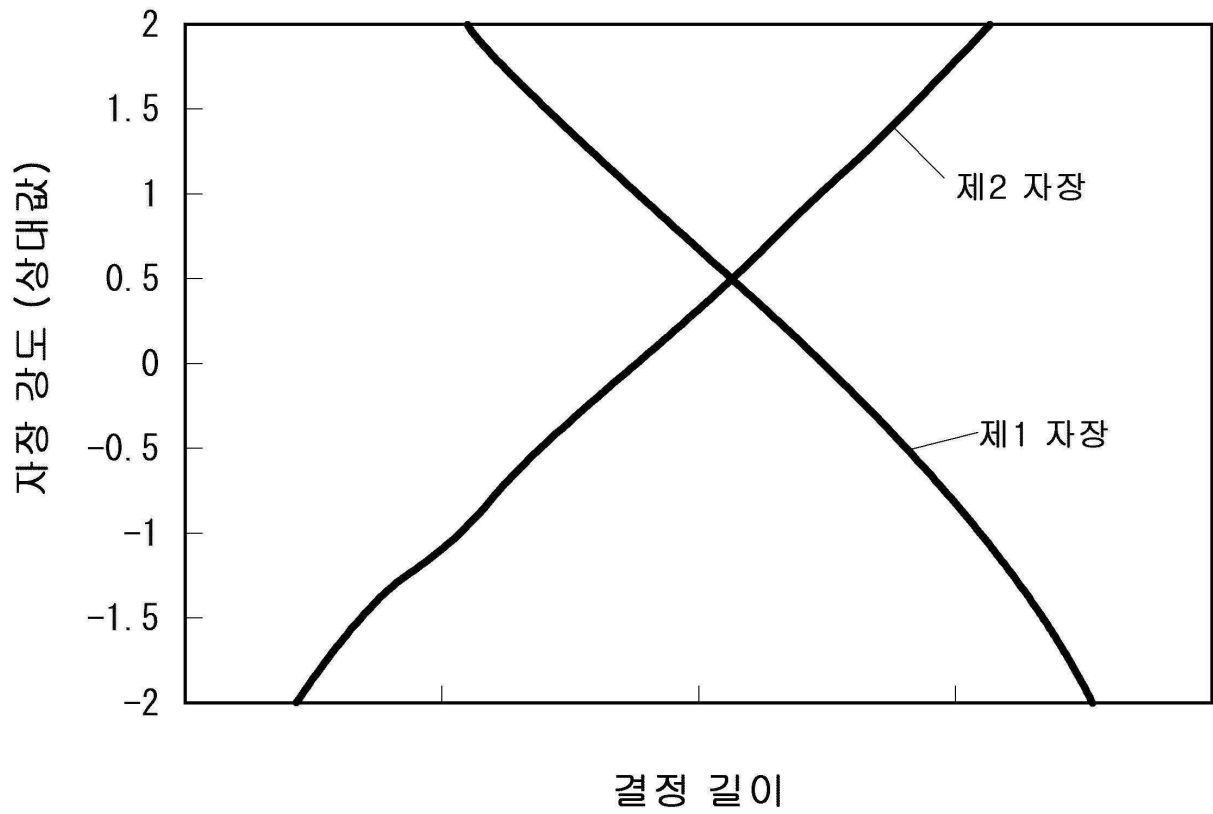
도면3



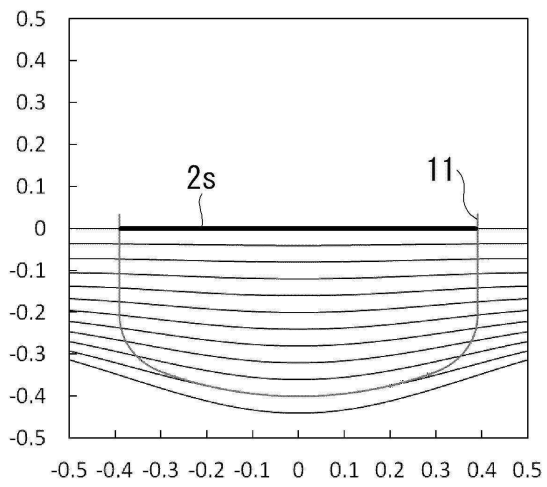
도면4



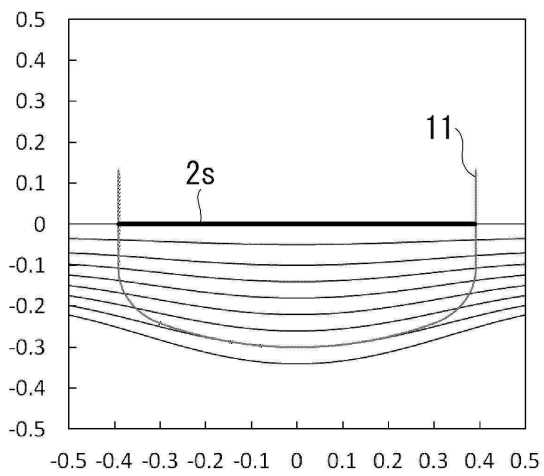
도면5



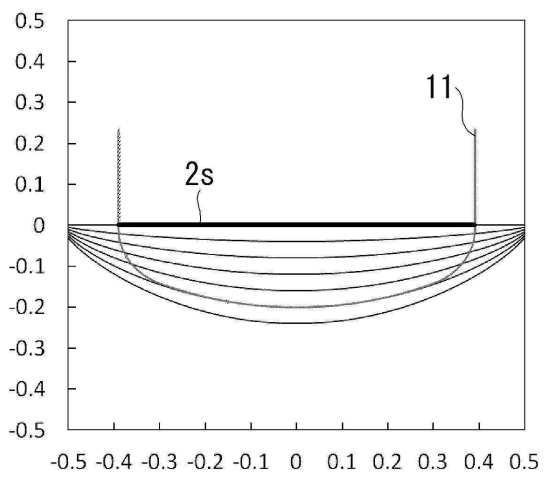
도면6



(a)

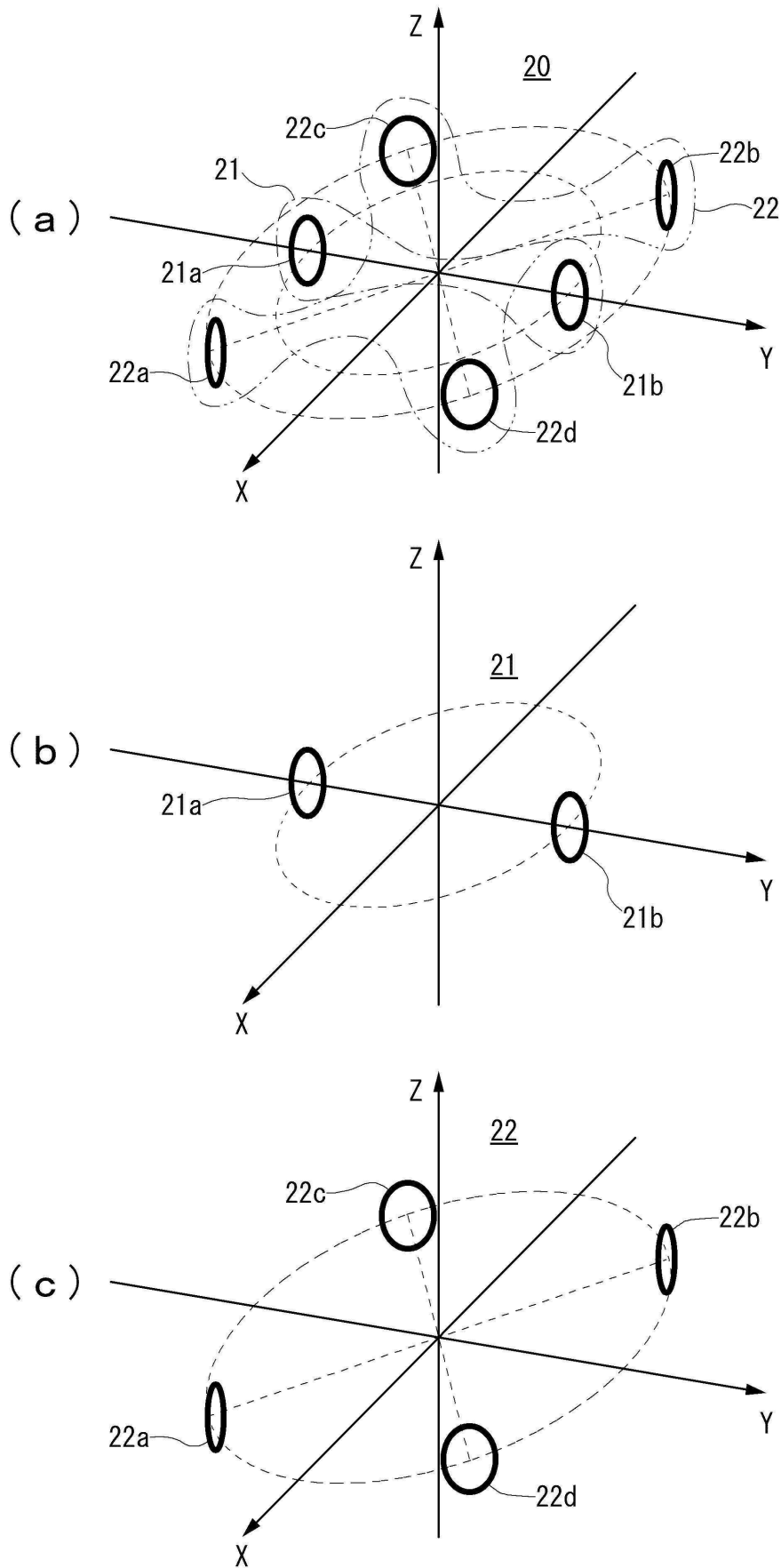


(b)

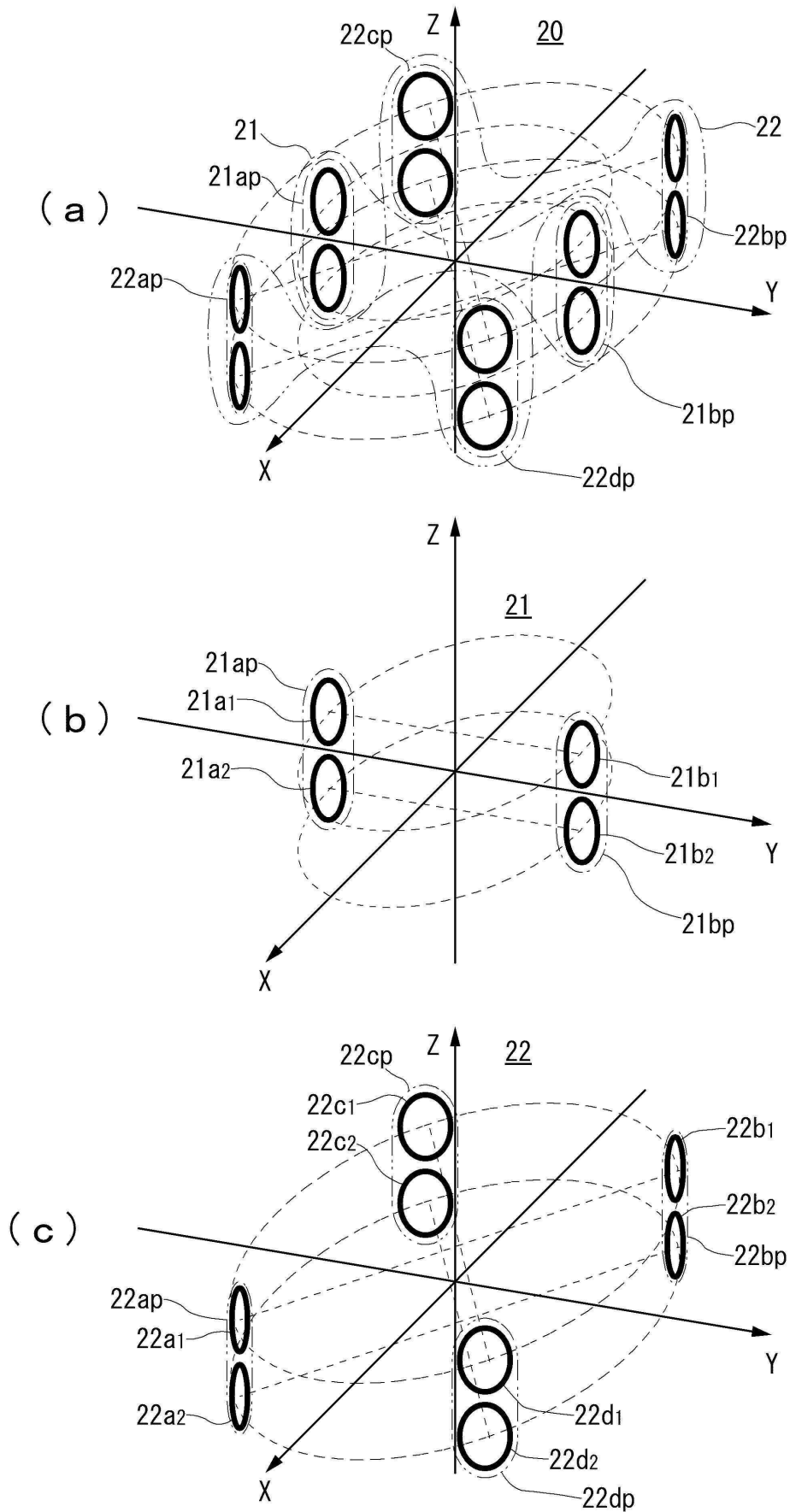


(c)

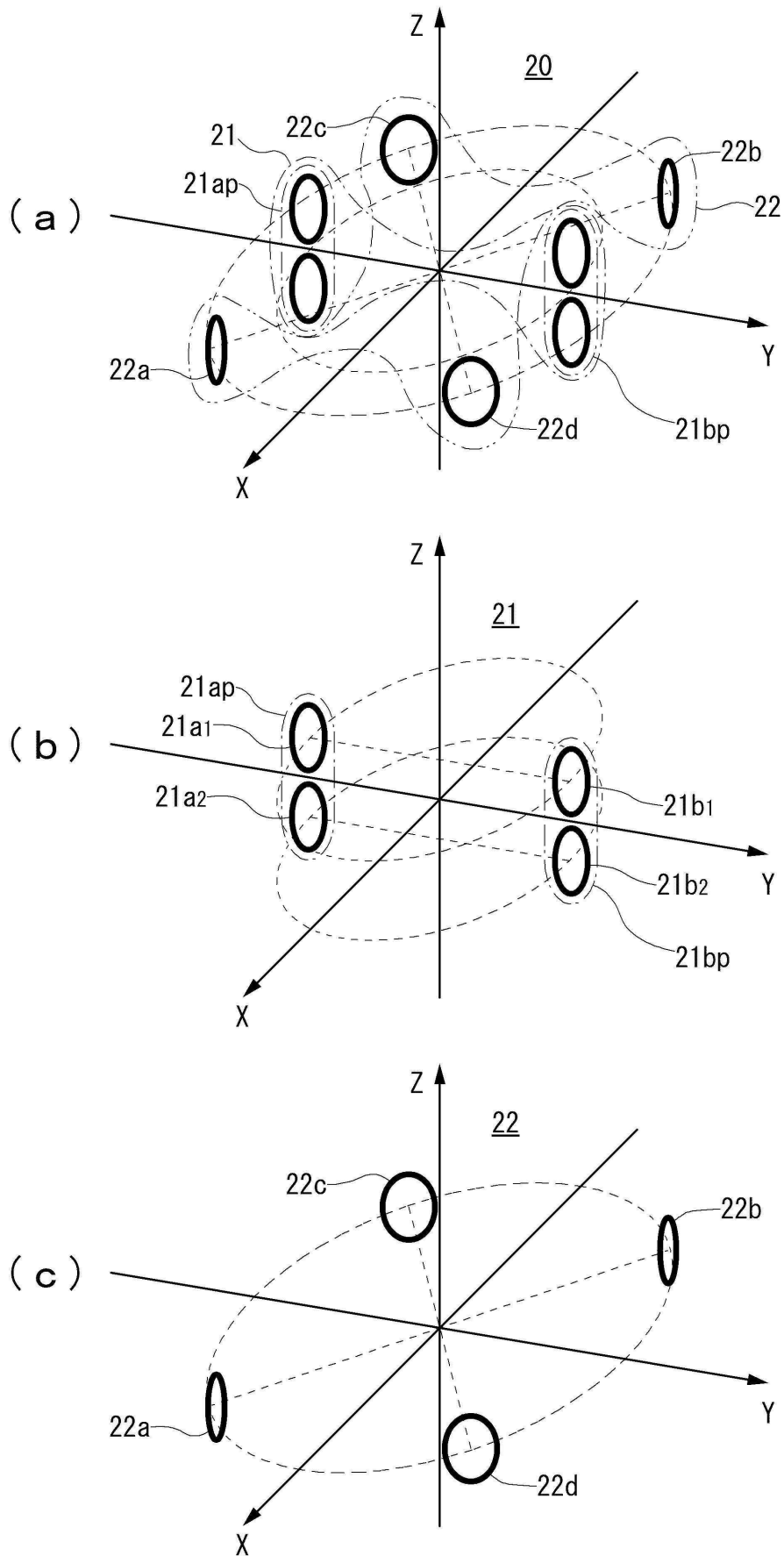
도면7



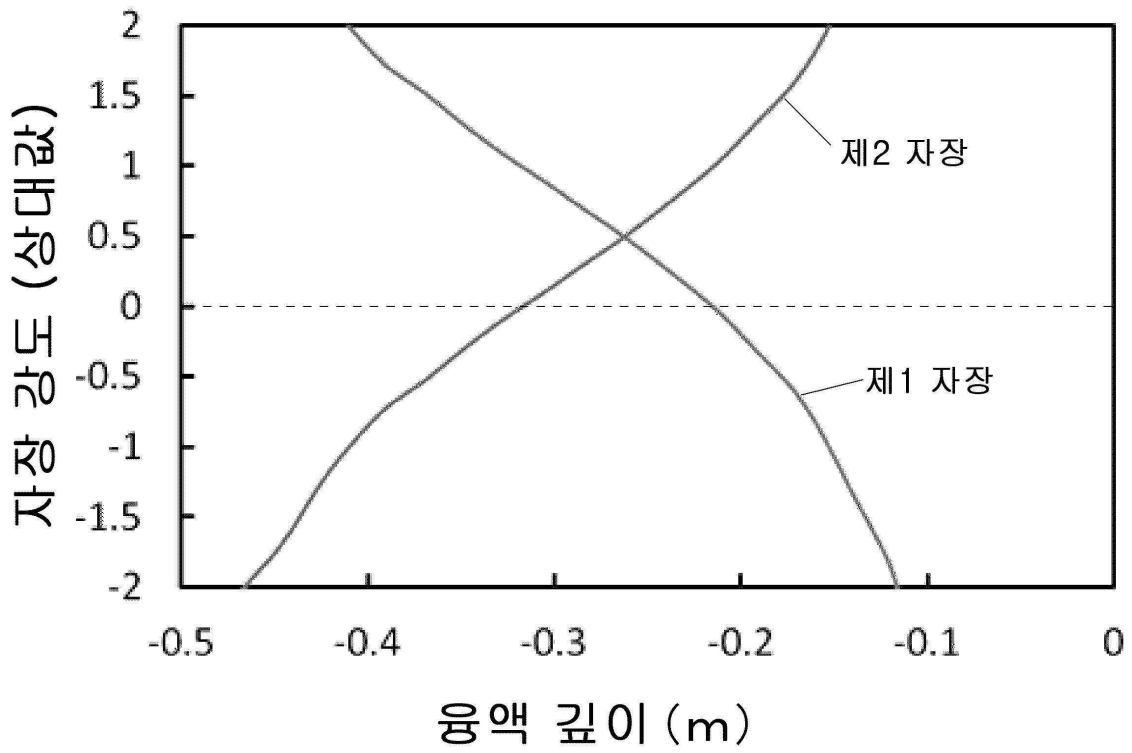
도면8



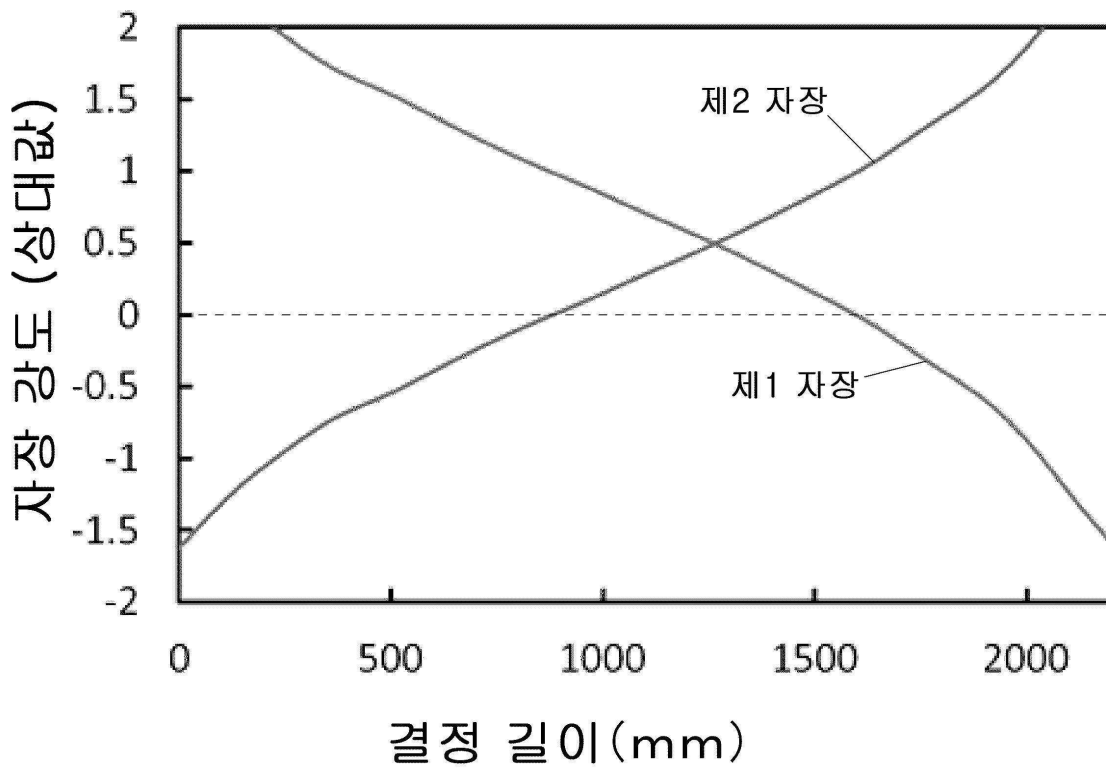
도면9



도면10

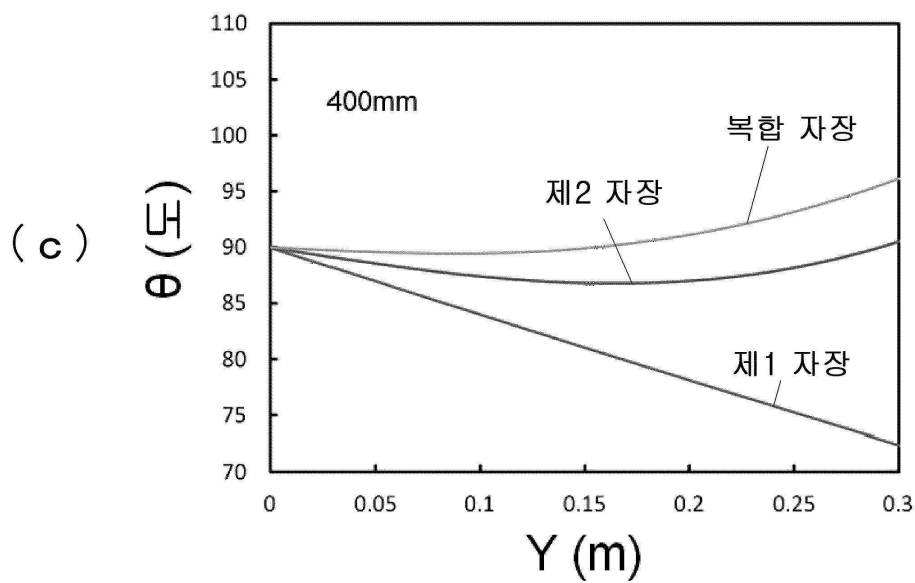
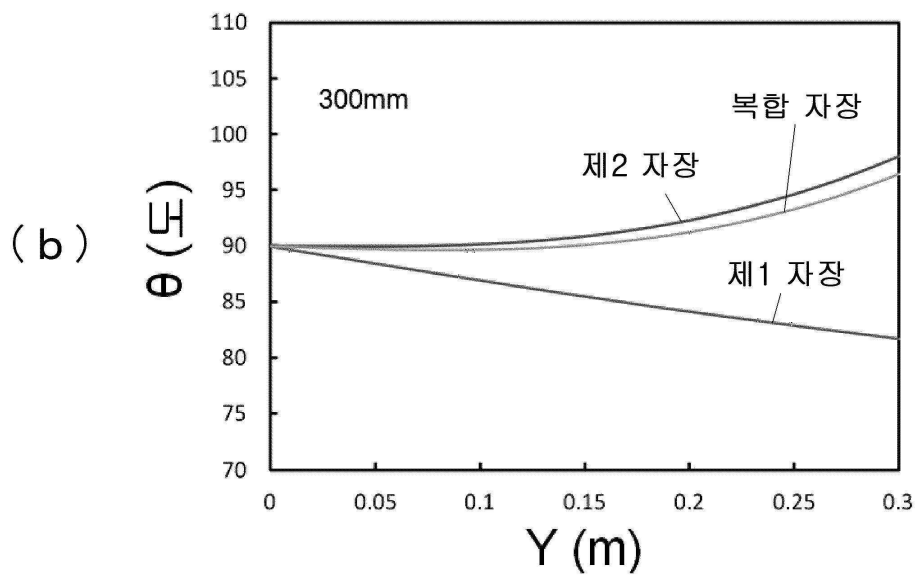
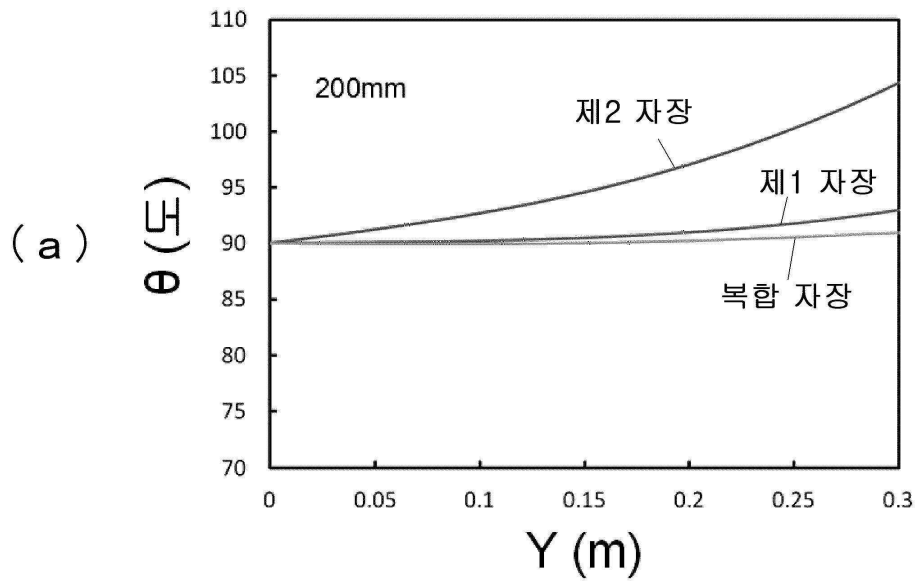


(a)

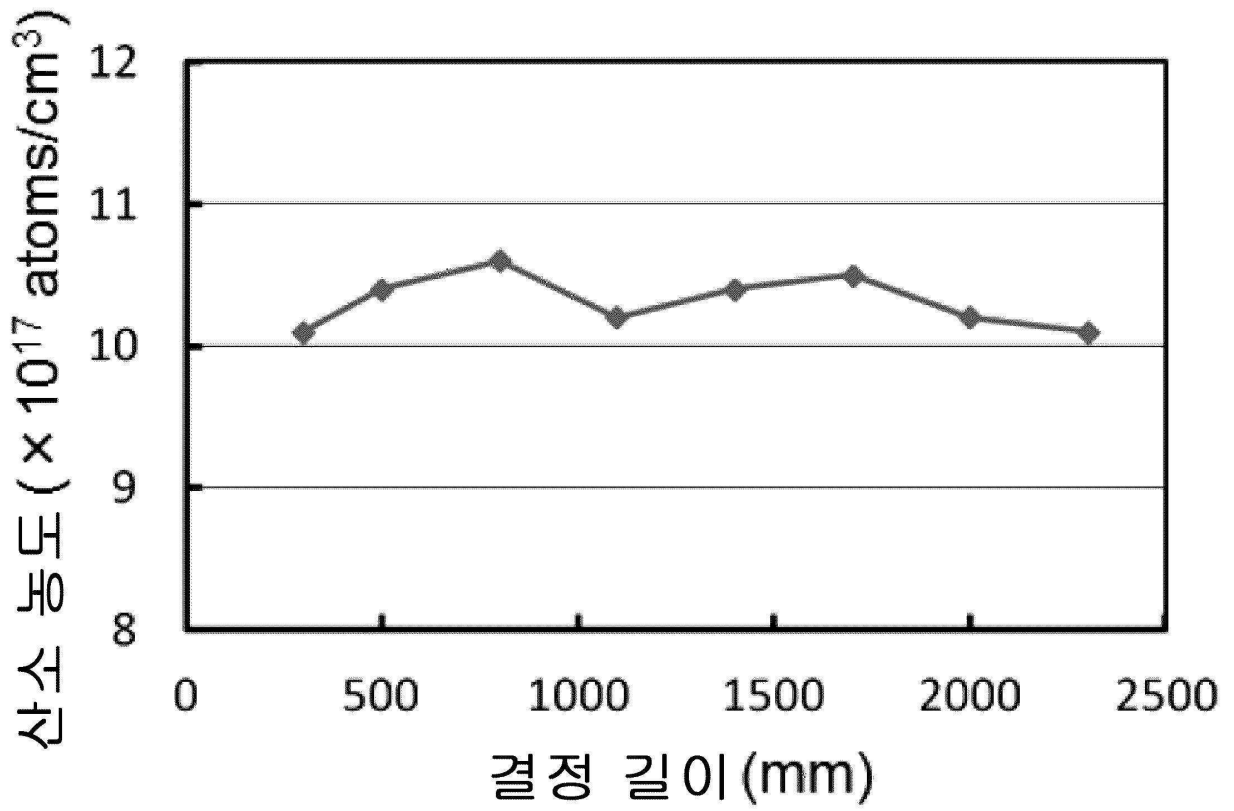


(b)

도면11



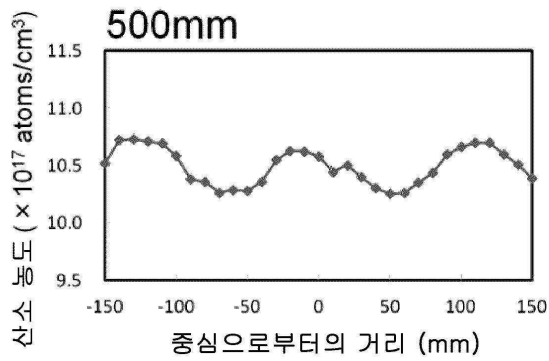
도면12



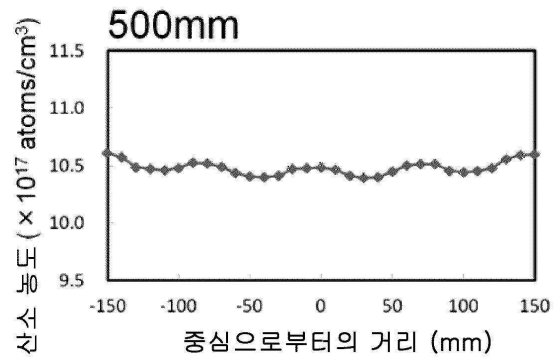
도면13

종래 자장

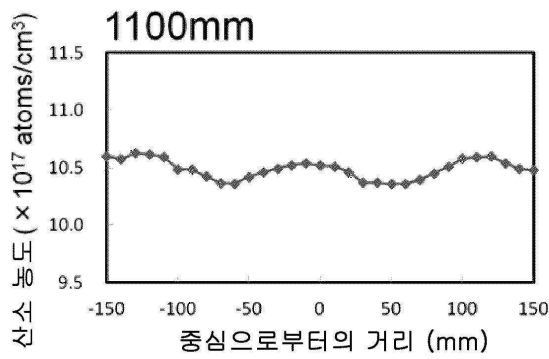
복합 자장



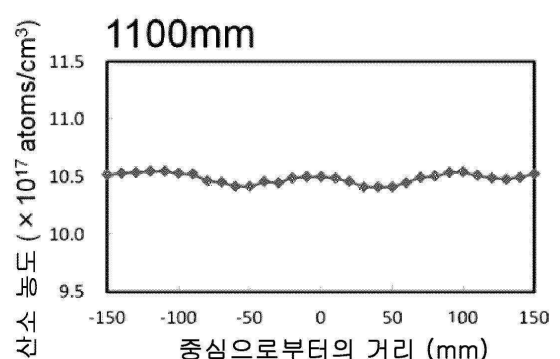
(a)



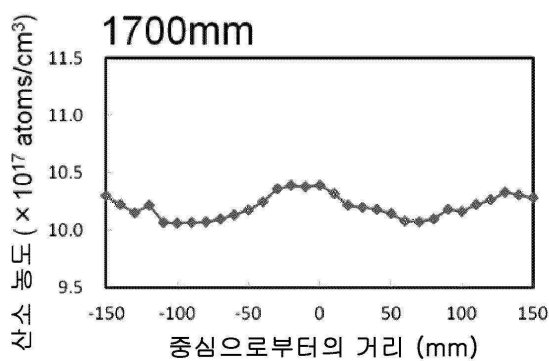
(d)



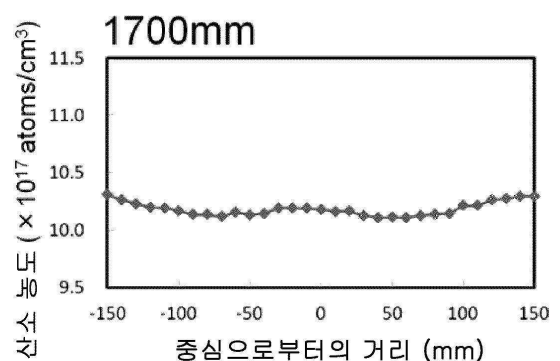
(b)



(e)



(c)



(f)

도면14

