



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0162044
(43) 공개일자 2024년11월14일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01B 12/06 (2006.01) H01F 6/06 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01B 12/06 (2013.01)
H01F 6/06 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2024-7028797
- (22) 출원일자(국제) 2023년02월07일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2024년08월27일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2023/003942
- (87) 국제공개번호 WO 2023/176194
국제공개일자 2023년09월21일
- (30) 우선권주장
JP-P-2022-039196 2022년03월14일 일본(JP)

- (71) 출원인
스미토모 덴키 고교 가부시키키가이샤
일본 오사카후 오사카시 슈오쿠 기타하마 4-5-33
- (72) 발명자
야마구치 다카시
일본 오사카후 오사카시 슈오쿠 기타하마 4초메 5-33 스미토모 덴키 고교 가부시키키가이샤 내
- (74) 대리인
제일특허법인(유)

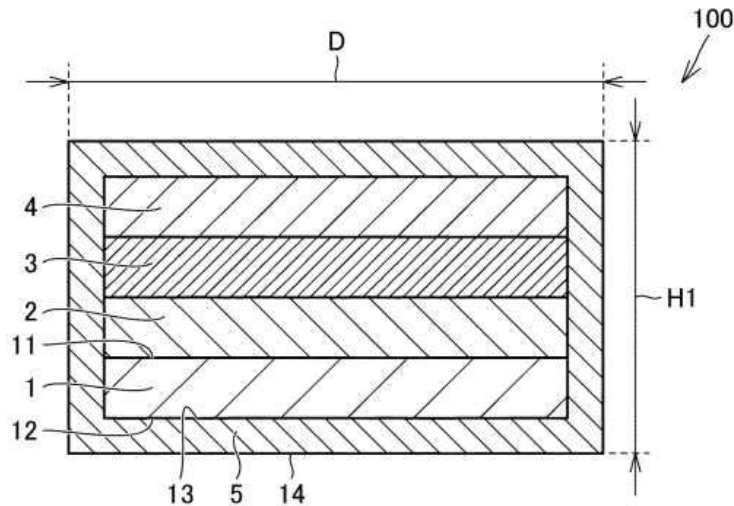
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 초전도 선재 및 초전도 기기

(57) 요약

초전도 선재(100)는 기관(1)과, 초전도층(3)을 갖고 있다. 기관(1)은 제 1 면(11)과, 제 2 면(12)을 갖고 있다. 제 2 면(12)은 제 1 면의 반대측에 있다. 초전도층(3)은 제 1 면에 대면하고 있다. 제 2 면(12)의 산술 평균 거칠기(Ra)는 0.02 μ m보다 크다. 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기(Rz)는 5 μ m 미만이다.

대표도 - 도1



명세서

청구범위

청구항 1

제 1 면과 상기 제 1 면의 반대측에 있는 제 2 면을 포함하는 기관과,
상기 제 1 면에 대면하고 있는 초전도층을 구비하고,
상기 제 2 면의 최대 높이 거칠기는 $5\mu\text{m}$ 미만인
초전도 선재.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 기관 및 상기 초전도층을 둘러싸는 안정화층을 더 구비하고,
상기 안정화층은 상기 제 2 면에 대면하고 있는 제 3 면과, 상기 제 3 면의 반대측에 있는 제 4 면을 포함하며,
상기 제 4 면의 최대 높이 거칠기는 $8\mu\text{m}$ 미만인
초전도 선재.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
상기 제 2 면에 대면하고 있는 절연 수지층을 더 구비하고,
상기 제 2 면의 최대 높이 거칠기는 상기 제 2 면에 수직인 방향에 있어서의 상기 절연 수지층의 두께 미만인
초전도 선재.

청구항 4

제 3 항에 있어서,
상기 제 2 면의 최대 높이 거칠기는 상기 제 2 면에 수직인 방향에 있어서의 상기 절연 수지층의 두께의 0.5배
이하인
초전도 선재.

청구항 5

제 1 항에 있어서,
상기 기관 및 상기 초전도층을 둘러싸는 안정화층과,
상기 제 2 면에 대면하고 있는 절연 수지층을 더 구비하고,
상기 안정화층은 상기 제 2 면에 대면하고 있는 제 3 면과, 상기 제 3 면의 반대측에 있으며, 또한 상기 절연
수지층에 접하는 제 4 면을 포함하며,
상기 제 4 면의 최대 높이 거칠기는 상기 제 2 면에 수직인 방향에 있어서의 상기 절연 수지층의 두께 이하인
초전도 선재.

청구항 6

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 기재된 초전도 선재를 구비하는

초전도 기기.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 초전도 선재 및 초전도 기기에 관한 것이다. 본 출원은 2022년 3월 14일에 출원한 일본 특허 출원인 일본 특허 출원 제 2022-039196 호에 기초하는 우선권을 주장한다. 당해 일본 특허 출원에 기재된 모든 기재 내용은 참조에 의해 본 명세서에 원용된다.

배경 기술

[0002] 일본 특허 공개 제 2014-220194 호 공보(특허문헌 1)에는, 기관과 초전도층을 갖는 초전도 선재가 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 제 2014-220194 호 공보

발명의 내용

[0004] 본 개시에 따른 초전도 선재는 기관과, 초전도층을 구비하고 있다. 기관은 제 1 면과 제 2 면을 포함하고 있다. 제 2 면은 제 1 면의 반대측에 있다. 초전도층은 제 1 면에 대면하고 있다. 제 2 면의 최대 높이 거칠기는 $5\mu\text{m}$ 미만이다.

도면의 간단한 설명

[0005] 도 1은 제 1 실시형태에 따른 초전도 선재의 구성을 도시하는 단면 모식도이다.
 도 2는 제 2 실시형태에 따른 초전도 선재의 구성을 도시하는 단면 모식도이다.
 도 3은 제 3 실시형태에 따른 초전도 선재의 구성을 도시하는 단면 모식도이다.
 도 4는 제 4 실시형태에 따른 초전도 선재의 구성을 도시하는 단면 모식도이다.
 도 5는 제 5 실시형태에 따른 초전도 기기의 구성을 도시하는 단면 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0006] [본 개시가 해결하려고 하는 과제]

[0007] 특허문헌 1에 개시되어 있는 초전도 선재에 있어서는, 절연 수지층에 있어서 구멍이 형성될 우려가 있다.

[0008] 본 개시는 상기와 같은 과제를 해결하기 위해서 이루어진 것으로서, 그 목적은 절연 수지층에 있어서의 구멍의 형성을 억제 가능한 초전도 선재를 제공하는 것이다.

[0009] [본 개시의 효과]

[0010] 본 개시에 의하면, 절연 수지층에 있어서의 구멍의 형성을 억제 가능한 초전도 선재를 제공할 수 있다.

[0011] [본 개시의 실시형태의 설명]

[0012] 최초로 본 개시의 실시형태를 열거하여 설명한다.

[0013] (1) 본 개시에 따른 초전도 선재(100)는 기관(1)과, 초전도층(3)을 갖고 있다. 기관(1)은 제 1 면(11)과, 제 2 면(12)을 갖고 있다. 제 2 면(12)은 제 1 면(11)의 반대측에 있다. 초전도층(3)은 제 1 면(11)에 대면하고 있다. 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기는 $5\mu\text{m}$ 미만이다.

[0014] (2) 상기 (1)에 따른 초전도 선재(100)는 안정화층(5)을 더 갖고 있어도 좋다. 안정화층(5)은 기관(1) 및 초전

도층(3)을 둘러싸고 있어도 좋다. 안정화층(5)은 제 3 면(13)과 제 4 면(14)을 갖고 있어도 좋다. 제 3 면(13)은 제 2 면(12)에 대면하고 있어도 좋다. 제 4 면(14)은 제 3 면(13)의 반대측에 있어도 좋다. 제 4 면(14)의 최대 높이 거칠기는 8 μ m 미만이어도 좋다.

[0015] (3) 상기 (1) 또는 (2)에 따른 초전도 선재(100)는 절연 수지층(6)을 더 갖고 있어도 좋다. 절연 수지층(6)은 제 2 면(12)에 대면하고 있어도 좋다. 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기는, 제 2 면(12)에 수직인 방향에 있어서의 절연 수지층(6)의 두께(H2) 미만이어도 좋다.

[0016] (4) 상기 (3)에 따른 초전도 선재(100)에 의하면, 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기는 제 2 면(12)에 수직인 방향에 있어서의 절연 수지층(6)의 두께(H2)의 0.5배 이하여도 좋다.

[0017] (5) 상기 (1)에 따른 초전도 선재(100)는 안정화층(5)과, 절연 수지층(6)을 더 갖고 있어도 좋다. 안정화층(5)은 기관(1) 및 초전도층(3)을 둘러싸고 있어도 좋다. 절연 수지층(6)은 제 2 면(12)에 대면하고 있어도 좋다. 안정화층(5)은 제 3 면(13)과 제 4 면(14)을 갖고 있어도 좋다. 제 3 면(13)은 제 2 면(12)에 대면하고 있어도 좋다. 제 4 면(14)은 제 3 면(13)의 반대측에 있어도 좋다. 제 4 면(14)은 절연 수지층(6)에 접하고 있어도 좋다. 제 4 면(14)의 최대 높이 거칠기는 제 2 면(12)에 수직인 방향에 있어서의 절연 수지층(6)의 두께(H2) 이하여도 좋다.

[0018] (6) 본 개시에 따른 초전도 기기(200)는 상기 (1) 내지 (5) 중 어느 하나에 따른 초전도 선재(100)를 갖고 있다.

[0019] [본 개시의 실시형태의 상세]

[0020] 이하, 도면에 기초하여, 본 개시의 실시형태의 상세에 대해 설명한다. 또한, 이하의 도면에 있어서 동일 또는 상당하는 부분에는 동일한 참조 번호를 부여하고, 그 설명은 반복하지 않는다.

[0021] (제 1 실시형태)

[0022] 우선, 본 개시의 제 1 실시형태에 따른 초전도 선재의 구성에 대해 설명한다. 도 1에 도시되는 바와 같이, 초전도 선재(100)는 기관(1)과, 중간층(2)과, 초전도층(3)과, 보호층(4)과, 안정화층(5)을 갖고 있다. 중간층(2)은 기관(1) 상에 마련되어 있다. 초전도층(3)은 중간층(2) 상에 마련되어 있다. 다른 관점에서 말하면, 중간층(2)은 기관(1)과 초전도층(3)의 사이에 마련되어 있다. 보호층(4)은 초전도층(3) 상에 마련되어 있다. 다른 관점에서 말하면, 초전도층(3)은 중간층(2)과 보호층(4)의 사이에 마련되어 있다. 안정화층(5)은 기관(1), 중간층(2), 초전도층(3) 및 보호층(4)을 둘러싸고 있다.

[0023] 초전도 선재(100)의 폭(D)은, 예를 들면 4mm이다. 폭(D)은 예를 들어 2mm 이상 10mm 이하여도 좋다. 초전도 선재(100)의 두께(제 1 두께(H1))는, 예를 들어 0.1mm이다. 제 1 두께(H1)는, 예를 들어 0.05mm 이상 0.2mm 이하여도 좋다. 폭(D)을 제 1 두께(H1)로 나눈 값(엑스펙트비)은, 예를 들어 10 이상이다. 초전도 선재(100)의 엑스펙트비는, 예를 들어 50 이상이어도 좋으며, 100 이상이어도 좋다.

[0024] 기관(1)은 제 1 면(11)과 제 2 면(12)을 갖고 있다. 제 2 면(12)은 제 1 면(11)의 반대측에 있다. 제 1 면(11)은 기관(1)의 표면이다. 제 2 면(12)은 기관(1)의 이면이다.

[0025] 기관(1)은, 예를 들어 니켈(Ni), 스테인리스강 또는 하스텔로이(상표)에 의해 형성되어 있는 테이프 상에, 구리(Cu) 또는 Ni에 의해 구성되어 있는 층이 마련되어 있는 클래드재이다. Cu 또는 Ni에 의해 구성되어 있는 층에 있어서, 결정립이 2축 배향되어 있다. 환언하면, 기관(1)의 제 1 면(11)에 있어서, 결정립이 2축 배향되어 있다.

[0026] 중간층(2)은 기관(1)의 제 1 면(11)에 접하고 있다. 중간층(2)은 시드층(도시하지 않음)과, 확산 방지층(도시하지 않음)과, 격자 정합층(도시하지 않음)에 의해 구성되어 있다. 시드층은 제 1 면(11)에 접하고 있다. 시드층은 기관(1)에 있어서의 결정립의 배향을 계승하여 초전도층(3)을 에피택셜 성장시키는 역할을 갖고 있다. 시드층은, 예를 들어 산화 세륨(CeO₂)에 의해 구성되어 있다.

[0027] 확산 방지층은 시드층 상에 마련되어 있다. 확산 방지층은 기관(1)에 포함되는 금속 원소가, 확산 방지보다 상층에 확산되는 것을 방지하는 역할을 갖는다. 또한, 본 명세서에 있어서, 상층은 제 2 면(12)으로부터 제 1 면(11)을 향하는 방향이다. 하층은 제 1 면(11)으로부터 제 2 면(12)을 향하는 방향이다. 확산 방지층은, 예를 들어 이트리아 안정화 지르코니아(YSZ)에 의해 구성되어 있다.

[0028] 격자 정합층은 확산 방지층 상에 마련되어 있다. 격자 정합층은, 초전도층(3)을 에피택셜 성장에 의해 형성할

때에, 초전도층(3)의 결정립을 2축 배향시키는 역할을 갖고 있다. 격자 정합층은, 예를 들어 산화 이트륨(Y_2O_3)에 의해 구성되어 있다.

[0029] 초전도층(3)은 중간층(2)에 접하고 있다. 초전도층(3)은 기관(1)의 제 1 면(11)에 대면하고 있다. 본 명세서에 있어서, "대면하고 있음"은, 2개의 면이 서로 직접 접촉하고 있는 경우와, 2개의 면의 사이에 있어서 물체가 당해 2개의 면에 접하도록 마련되어 있으며, 또한, 당해 2개의 면이 간접적으로 접한 상태로 마주 보고 있는 경우를 포함하고 있다. 초전도층(3)은 예를 들어, REBCO에 의해 구성되어 있다. REBCO는 $REBa_2Cu_3O_{7-x}$ 에 의해 나타나는 조성식을 갖는 산화물 초전도체이다. 또한, REBCO에 있어서의 RE는 희토류 원소를 나타내고 있다. 구체적으로는, 초전도층(3)은 예를 들어 YBCO($YBa_2Cu_3O_{7-x}$) 또는 GdBCO($GdBa_2Cu_3O_{7-x}$) 등의 REBCO에 의해 구성되어 있다. 초전도층(3)을 구성하고 있는 REBCO 중의 희토류 원소는, 이트륨, 랜턴, 네오디뮴, 사마륨, 유로퓸, 가돌리늄, 디스프로슘, 홀뮴, 에르븀, 툴륨, 루테튬 및 이테르븀으로 이루어지는 군으로부터 선택된 적어도 1종 이상의 원소이다. 초전도층(3)의 REBCO의 결정립은 2축 배향되어 있다.

[0030] 보호층(4)은 초전도층(3)에 접하고 있다. 보호층(4)은 초전도층(3)과 다른 층의 사이에서 일어나는 화학 반응을 억제하여, 초전도층(3)의 조성이 무너지는 것을 억제하는 역할을 갖고 있다. 보호층(4)은 예를 들어 은(Ag), Ag 합금 또는 Cu에 의해 구성되어 있다.

[0031] 안정화층(5)은 제 3 면(13)과, 제 4 면(14)을 갖고 있다. 제 3 면(13)은 기관(1)의 제 2 면(12)에 대면하고 있다. 제 3 면(13)은 기관(1)의 제 2 면(12)에 접하고 있어도 좋다. 제 4 면(14)은 제 3 면(13)의 반대측에 있다. 환언하면, 제 4 면(14)은 제 3 면(13)의 하측에 있다. 제 4 면(14)은 초전도 선재(100)의 이면이다.

[0032] 안정화층(5)은 초전도층(3)에 있어서의 초전도 상태가 부분적으로 불안정하게 된 경우에 발생하는 과전류를 바이패스하는 역할을 갖고 있다. 안정화층(5)은 예를 들어 Cu 또는 Cu 합금에 의해 구성되어 있다.

[0033] (기관의 표면 성질과 상태)

[0034] 기관(1)의 제 2 면(12)의 산술 평균 거칠기(R_a)는 기관(1)의 제 1 면(11)의 산술 평균 거칠기보다 커도 좋다. 기관(1)의 제 2 면(12)의 산술 평균 거칠기는 $0.02\mu m$ 보다 크다. 제 2 면(12)의 산술 평균 거칠기의 하한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 $0.03\mu m$ 이상이어도 좋으며, $0.65\mu m$ 보다 커도 좋으며, $1\mu m$ 이상이어도 좋다. 제 2 면(12)의 산술 평균 거칠기는, 예를 들어 $3\mu m$ 미만이다. 제 2 면(12)의 산술 평균 거칠기의 상한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 $2\mu m$ 이하여도 좋으며, $1.5\mu m$ 이하여도 좋으며, $1\mu m$ 이하여도 좋다. 또한, 산술 평균 거칠기(R_a)는 JIS(Japanese Industrial Standards) B0601:2013으로 규정되는 표면 성질과 상태 파라미터이다.

[0035] 산술 평균 거칠기(R_a)는 이하의 방법에 의해 구해지는 값이다. 구체적으로는, 우선 거칠기 계측기를 이용하여 거칠기 곡선이 측정된다. 측정된 거칠기 곡선의 일부가 발출된다. 측정 방향에 있어서, 발출된 거칠기 곡선의 길이는 사전에 결정된 기준 길이로 된다. 발출된 거칠기 곡선에 있어서, 높이의 평균값이 구해진다. 높이의 평균값을 0으로 하여, 발출된 거칠기 곡선 상의 임의의 점에 있어서의 높이가 구해진다. 발출된 거칠기 곡선에 있어서의 요철의 평균값이, 산술 평균 거칠기로 된다. 구체적으로는, 발출된 거칠기 곡선에 있어서의 높이의 절대값의 평균값이 산술 평균 거칠기로 된다.

[0036] 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기(R_z)는 제 1 면(11)의 최대 높이 거칠기보다 커도 좋다. 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기는 $5\mu m$ 미만이다. 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기의 상한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 $3\mu m$ 이하여도 좋으며, $1\mu m$ 이하여도 좋다. 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기의 하한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 $0.1\mu m$ 이상이어도 좋으며, $0.2\mu m$ 이상이어도 좋으며, $0.5\mu m$ 이상이어도 좋다. 또한, 최대 높이 거칠기(R_z)는 JIS B0601:2013으로 규정되는 표면 성질과 상태 파라미터이다.

[0037] 최대 높이 거칠기는 이하의 방법에 의해 구해지는 값이다. 구체적으로는, 우선 거칠기 계측기를 이용하여 거칠기 곡선이 측정된다. 측정된 거칠기 곡선의 일부가 발출된다. 측정 방향에 있어서, 발출된 거칠기 곡선의 길이는 사전에 결정된 기준 길이로 된다. 발출된 거칠기 곡선에 있어서, 높이의 평균값이 구해진다. 높이의 평균값을 0으로 하고, 발출된 거칠기 곡선 상의 임의의 점에 있어서의 높이가 구해진다. 발출된 거칠기 곡선에 있어서, 가장 높은 부분의 높이(최대 산부 높이)의 절대값과, 가장 깊은 부분의 높이(최대 골부 깊이)의 절대값의 합이, 최대 높이 거칠기로 된다.

[0038] 거칠기 계측기로서, 예를 들어 키엔스제의 백색 간섭계 탑재 레이저 현미경인 "VK-X3000"을 사용할 수 있다. 다른 관점에서 말하면, 예를 들어 제 2 면(12)의 산술 평균 거칠기 및 최대 높이 거칠기의 각각은, 예를 들어

키엔스체의 백색 간섭계 탐재 레이저 현미경인 "VK-X3000"을 이용하여 측정할 수 있다. 마찬가지로, 제 1 면(11)의 산술 평균 거칠기 및 최대 높이 거칠기의 각각은, 예를 들어 키엔스체의 백색 간섭계 탐재 레이저 현미경인 "VK-X3000"을 이용하여 측정할 수 있다. 구체적으로는, 안정화층(5)을 제거한 후에, 제 2 면(12)의 산술 평균 거칠기 및 최대 높이 거칠기의 각각을 측정할 수 있다. 안정화층(5), 보호층(4), 초전도층(3) 및 중간층(2)의 각각을 제거한 후에, 제 1 면(11)의 산술 평균 거칠기 및 최대 높이 거칠기의 각각을 측정할 수 있다. VK-X3000의 측정부(헤드부)로서는, "VK-X3050"를 이용할 수 있다. 대물 렌즈의 배율은, 예를 들어 50배로 된다. 측정 모드는, 예를 들어 레이저 콘포컬 모드로 된다.

[0039] 산술 평균 거칠기 및 최대 높이 거칠기의 각각의 측정에 있어서, 측정부의 시야의 범위 내에 있어서의 측정 대상인 면(측정면)의 표면 형상이 취득된다. 화상 처리 기능을 이용하여, 측정면의 경사가 보정된다. 취득된 표면 형상이 연결되는 것에 의해, 측정부의 시야보다 넓은 범위(측정 범위)의 표면 형상이 취득된다. 구체적으로는, 측정 범위의 종방향의 길이는, 예를 들어 측정부의 시야의 종방향의 길이의 5배 이상으로 된다. 측정 범위의 횡방향의 길이는, 예를 들어 측정부의 시야의 횡방향의 길이의 5배 이상으로 된다.

[0040] 선 거칠기 측정 기능을 이용하여, 취득된 표면 형상에 있어서의 2점간의 거칠기 곡선이 취득된다. 컷 오프값 λ_s 는 예를 들어, 없음으로 된다. 컷 오프값 λ_c 는 JIS로 규정되도록 0.08mm로 된다. 기준 길이는, 예를 들어 컷오프 λ_c 의 5배 이상(예를 들어 0.4mm 이상)으로 된다. 취득된 표면 형상에 있어서의 2점의 위치를 변경하는 것에 의해, 예를 들어 5개의 거칠기 곡선이 취득된다. 5개의 거칠기 곡선의 각각에 있어서, 산술 평균 거칠기 및 최대 높이 거칠기가 구해진다. 5개의 거칠기 곡선에 있어서의 산술 평균 거칠기의 평균값이, 측정면에 있어서의 산술 평균 거칠기로 된다. 5개의 거칠기 곡선에 있어서의 최대 높이 거칠기의 평균값이, 측정면에 있어서의 최대 높이 거칠기로 된다.

[0041] (안정화층의 표면 성질과 상태)

[0042] 안정화층(5)의 제 4 면(14)의 산술 평균 거칠기는, 예를 들어 0.02 μ m보다 크다. 제 4 면(14)의 산술 평균 거칠기의 하한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 0.05 μ m 이상이어도 좋으며, 0.1 μ m 이상이어도 좋으며, 0.5 μ m 이상이어도 좋다. 제 4 면(14)의 산술 평균 거칠기는, 예를 들어 1.5 μ m 미만이다. 제 4 면(14)의 산술 평균 거칠기의 상한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 1.3 μ m 이하여도 좋으며, 1 μ m 이하여도 좋다.

[0043] 제 4 면(14)의 최대 높이 거칠기는, 예를 들어 8 μ m 미만이다. 제 4 면(14)의 최대 높이 거칠기의 상한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 6 μ m 이하여도 좋으며, 4 μ m 이하여도 좋으며, 2 μ m 이하여도 좋다. 제 4 면(14)의 최대 높이 거칠기의 하한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 0.2 μ m 이상이어도 좋으며, 0.5 μ m 이상이어도 좋으며, 1 μ m 이상이어도 좋다.

[0044] 제 1 면(11) 및 제 2 면(12)의 각각과 마찬가지로, 제 4 면(14)의 산술 평균 거칠기 및 최대 높이 거칠기의 각각은, 예를 들어 키엔스체의 백색 간섭계 탐재 레이저 현미경인 "VK-X3000"을 이용하여 측정할 수 있다.

[0045] (초전도 선재의 제조 방법)

[0046] 다음에, 제 1 실시형태에 따른 초전도 선재(100)의 제조 방법에 대해 설명한다.

[0047] 우선, 적층체를 형성하는 공정이 실시된다. 구체적으로는, 기관(1)이 준비된다. 기관(1)의 제 2 면(12)의 Ra 및 Rz는 예를 들어 연마 등에 의해 상술한 바와 같이 조정되어 있다. 다음에, 예를 들어 고주파 스퍼터링법을 이용하여, 기관(1) 상에 중간층(2)이 형성된다.

[0048] 다음에, 중간층(2) 상에 초전도층(3)이 형성된다. 초전도층(3)은 예를 들어 펄스 레이저 증착법(PLD: Pulsed Laser Deposition), 도포 열분해법(MOD: Metal Organic Decomposition), 유기 금속 기상 성장법(MOCVD: Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 또는 진공 증착법에 의해 형성된다.

[0049] 다음에, 초전도층(3) 상에 보호층(4)이 형성된다. 보호층(4)은 예를 들어 스퍼터링에 의해 형성된다. 보호층(4)의 형성 후, 산소 분위기 중에서의 열처리(산소 어닐)가 실행되어도 좋다. 이상과 같이, 기관(1), 중간층(2), 초전도층(3) 및 보호층(4)에 의해 구성되어 있는 적층체가 제작된다. 제작된 적층체는, 세션화되어도 좋다. 구체적으로는, 예를 들어 폭이 30mm인 적층체를 세션화하는 것에 의해, 폭이 4mm인 적층체가 7개 제작되어도 좋다. 세션화에 있어서, 예를 들어 회전 칼날을 이용한 기계 슬릿 가공 또는 레이저를 이용한 레이저 슬릿 가공이 이용된다.

[0050] 다음에, 안정화층(5)을 형성하는 공정이 실시된다. 안정화층(5)은 예를 들어 도금에 의해 형성된다. 도금액의 조성으로서, 예를 들어 도금액(11) 부근에 있어서, 황산 구리 100g과 황산 150g이 포함된다. 도금에 있어서의

전류 밀도는, 예를 들어 $1A/dm^2$ 이상 $10A/dm^2$ 이하로 된다. 이상과 같이, 초전도 선재(100)가 제작된다.

[0051] (제 1 실시형태의 변형예)

[0052] 또한, 기관(1) 및 중간층(2)의 각각의 구성은 상기의 구성으로 한정되지 않는다. 기관(1)은 스테인리스강 또는 하스텔로이(상표)에 의해 구성되어 있어도 좋다. 중간층(2)은 결정 배향층(도시하지 않음)과, 격자 정합층(도시하지 않음)에 의해 구성되어 있어도 좋다. 결정 배향층은 격자 정합층 및 초전도층(3)의 각각의 결정립의 배향성을 제어하는 역할을 갖고 있다. 결정 배향층은, 예를 들어 지르콘산가돌리늄($Gd_2Zr_2O_7$)에 의해 구성되어 있다. 중간층(2)은 예를 들어 이온 빔 어시스트 증착법(IBAD: Ion Beam Assisted Deposition)을 이용하여 형성되어도 좋다.

[0053] (제 2 실시형태)

[0054] 다음에, 제 2 실시형태에 따른 초전도 선재(100)의 구성에 대해 설명한다. 제 2 실시형태에 따른 초전도 선재(100)의 구성은, 주로 절연 수지층(6)을 갖고 있는 점에 있어서, 제 1 실시형태에 따른 초전도 선재(100)의 구성과 상이하며, 그 외의 점에 대해서는, 제 1 실시형태에 따른 초전도 선재(100)의 구성과 마찬가지로이다. 이하, 제 1 실시형태에 따른 초전도 선재(100)의 구성과 상이한 점을 중심으로 설명한다.

[0055] 도 2에 도시되는 바와 같이, 초전도 선재(100)는 절연 수지층(6)을 더 갖고 있어도 좋다. 절연 수지층(6)은 안정화층(5)을 둘러싸고 있다. 다른 관점에서 말하면, 절연 수지층(6)은 기관(1), 중간층(2), 초전도층(3) 및 보호층(4)을 둘러싸고 있다. 안정화층(5)은 기관(1)과 절연 수지층(6)의 사이에 있다. 절연 수지층(6)은, 안정화층(5)의 제 4 면(14)에 접하고 있다. 절연 수지층(6)은 기관(1)의 제 2 면(12)에 대면하고 있다.

[0056] 제 2 면(12)에 수직인 방향에 있어서의 절연 수지층(6)의 두께는 제 2 두께(H2)로 된다. 구체적으로는, 제 2 두께(H2)는 제 2 면(12)에 대면하고 있는 절연 수지층(6)의 부분의 두께이다. 제 2 두께(H2)는 예를 들어 $15\mu m$ 이하이다. 제 2 두께(H2)의 상한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 $10\mu m$ 이하여도 좋으며, $8\mu m$ 이하여도 좋다. 제 2 두께(H2)가 얇을수록, 초전도 선재(100)를 이용하여 제작된 초전도 기기의 전류 밀도를 높일 수 있다. 절연 수지층(6)은, 예를 들어 폴리이미드 또는 에폭시 수지 등의 전기 절연성을 갖는 수지에 의해 구성되어 있다.

[0057] 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기는, 예를 들어 제 2 두께(H2) 미만이다. 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기의 상한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 제 2 두께(H2)의 0.5배 이하여도 좋으며, 제 2 두께(H2)의 0.25배 이하여도 좋으며, 제 2 두께(H2)의 0.1배 이하여도 좋다. 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기의 하한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 제 2 두께(H2)의 0.01배 이상이어도 좋으며, 제 2 두께(H2)의 0.05배 이상이어도 좋다.

[0058] 제 4 면(14)의 최대 높이 거칠기는, 예를 들어 제 2 두께(H2) 이하이다. 제 4 면(14)의 최대 높이 거칠기의 상한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 제 2 두께(H2)의 0.5배 이하여도 좋으며, 제 2 두께(H2)의 0.25배 이하여도 좋다. 제 4 면(14)의 최대 높이 거칠기의 하한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 제 2 두께(H2)의 0.025배 이상이어도 좋으며, 제 2 두께(H2)의 0.1배 이상이어도 좋다.

[0059] (제 3 실시형태)

[0060] 다음에, 제 3 실시형태에 따른 초전도 선재(100)의 구성에 대해 설명한다. 제 3 실시형태에 따른 초전도 선재(100)의 구성은, 주로 보호층(4)이 기관(1) 및 초전도층(3)을 둘러싸고 있는 점에 있어서, 제 1 실시형태에 따른 초전도 선재(100)의 구성과 상이하며, 그 외의 점에 대해서는, 제 1 실시형태에 따른 초전도 선재(100)의 구성과 마찬가지로이다. 이하, 제 1 실시형태에 따른 초전도 선재(100)의 구성과 상이한 점을 중심으로 설명한다.

[0061] 도 3에 도시되는 바와 같이, 보호층(4)은 기관(1), 중간층(2) 및 초전도층(3)을 둘러싸고 있다. 보호층(4)은 기관(1)의 제 2 면(12)에 접하고 있다. 보호층(4)은 안정화층(5)의 제 3 면(13)에 접하고 있다. 안정화층(5)은 보호층(4)에 의해 기관(1)의 제 2 면(12)으로부터 구획되어 있다. 안정화층(5)은 보호층(4)에 의해 중간층(2)으로부터 구획되어 있다. 안정화층(5)은 보호층(4)에 의해 초전도층(3)으로부터 구획되어 있다.

[0062] (제 4 실시형태)

[0063] 다음에, 제 4 실시형태에 따른 초전도 선재(100)의 구성에 대해 설명한다. 제 4 실시형태에 따른 초전도 선재(100)의 구성은, 주로 보호층(4)이 기관(1) 및 초전도층(3)을 둘러싸고 있는 점에 있어서, 제 2 실시형태에 따른 초전도 선재(100)의 구성과 상이하며, 그 외의 점에 대해서는, 제 2 실시형태에 따른 초전도 선재(100)의 구성과 마찬가지로이다. 이하, 제 2 실시형태에 따른 초전도 선재(100)의 구성과 상이한 점을 중심으로 설명한다.

- [0064] 도 4에 도시되는 바와 같이, 보호층(4)은 기관(1), 중간층(2) 및 초전도층(3)을 둘러싸고 있다. 보호층(4)은 기관(1)의 제 2 면(12)에 접하고 있다. 보호층(4)은 안정화층(5)의 제 3 면(13)에 접하고 있다. 안정화층(5)은 보호층(4)에 의해 기관(1)의 제 2 면(12)으로부터 구획되어 있다. 안정화층(5)은 보호층(4)에 의해 중간층(2)으로부터 구획되어 있다. 안정화층(5)은 보호층(4)에 의해 초전도층(3)으로부터 구획되어 있다.
- [0065] (제 5 실시형태)
- [0066] 다음에, 제 5 실시형태에 따른 초전도 기기(200)의 구성에 대해 설명한다.
- [0067] 도 5에 도시되는 바와 같이, 초전도 기기(200)는 초전도 선재(100)와, 와인딩 장치(21)를 갖고 있다. 초전도 기기(200)는 예를 들어 초전도 코일이다. 초전도 선재(100)는 와인딩 장치(21)에 권회되어 있다. 초전도 선재(100)는, 예를 들어 더블 팬케이크 형상으로 권회되어 있다. 구체적으로는, 초전도 선재(100)가 싱글 팬케이크 형상으로 권회된 2개의 코일체가, 코일체의 축방향을 따라서 중첩되어 있다. 2개의 코일체의 권회 방향은 서로 역이다. 2개의 코일체의 각각의 내주측에 위치하는 단부는 접속부(도시하지 않음)를 거쳐서 전기적으로 접속되어 있다. 환언하면, 2개의 코일체의 각각의 외주측에 위치하는 단부는 서로 전기적으로 직렬로 접속되어 있다.
- [0068] 초전도 선재(100)의 기관(1)은 초전도층(3)에 대해, 예를 들어 초전도 기기(200)의 외주측에 위치하고 있다. 환언하면, 초전도 선재(100)는, 기관(1)을 외주측에 배치하며, 또한, 초전도층(3)을 내주측에 배치한 상태로 권회되어 있다. 또한, 초전도 선재(100)는 싱글 팬케이크 코일형상으로 권회되어 있어도 좋다.
- [0069] 도 5에 도시되는 바와 같이, 절연 수지층(6)은 권회된 초전도 선재(100)를 둘러싸고 있다. 본 실시형태에 의하면, 제 2 면(12)에 수직인 방향에 있어서, 제 2 면(12)에 대면하고 있는 절연 수지층(6)의 부분 중, 가장 얇은 부분의 두께는 제 2 두께(H2)로 된다. 와인딩 장치(21)에 권회된 초전도 선재(100)에 대해 수지를 함침시킨 후에, 당해 수지를 경화시키는 것에 의해, 절연 수지층(6)이 형성된다.
- [0070] 또한 상기에 있어서는, 초전도 기기(200)가 초전도 코일의 경우에 대해 설명했지만, 초전도 기기(200)는 초전도 코일로 한정되지 않는다. 초전도 기기(200)는 예를 들어 초전도 케이블 등이어도 좋다.
- [0071] 다음에, 본 개시에 따른 초전도 선재(100)의 작용 효과에 대해 설명한다.
- [0072] 통상, 기관(1)의 제 2 면(12)에 대면하고 있는 절연 수지층(6)이 형성된 상태로, 초전도 선재(100)는 사용된다. 일반적으로, 사용시에 있어서, 초전도 선재(100)는 액체 질소 등의 냉매에 의해 냉각되고, 사용 후에 있어서 초전도 선재(100)는 실온으로 복귀된다. 환경 온도의 변화에 의한 절연 수지층(6)의 수축에 의해, 절연 수지층(6)에 있어서 구멍이 형성되는 일이 있었다.
- [0073] 발명자는, 절연 수지층(6)에 있어서의 구멍의 형성에 대해 여러 가지의 검토를 실행한 결과, 기관(1)의 제 2 면(12)의 표면 성질과 상태가 절연 수지층(6)에 있어서의 구멍의 형성에 영향을 주고 있는 것을 발견했다. 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기는, 기관(1)을 둘러싸는 다른 층의 표면 성질과 상태에 영향을 미친다. 구체적으로는, 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기가 과도하게 큰 경우, 예를 들어 안정화층(5)의 제 4 면(14)의 최대 높이 거칠기가 과도하게 커진다. 이 경우, 제 4 면(14)은 국소적으로 돌출된 부분을 갖고 있다. 이에 의해, 당해 돌출된 부분의 주위에 있어서의 절연 수지층(6)에 있어서, 구멍이 형성되기 쉬워진다.
- [0074] 본 개시에 따른 초전도 선재(100)에 의하면, 기관(1)의 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기는 5 μ m 미만이다. 이에 의해, 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기가 과도하게 커지는 것이 억제되어 있다. 이 때문에, 안정화층(5)의 제 4 면(14)의 최대 높이 거칠기가 과도하게 커지는 것을 억제할 수 있어서, 절연 수지층(6)에 있어서의 구멍의 형성을 억제할 수 있다.
- [0075] 본 개시에 따른 초전도 선재(100)에 의하면, 기관(1)의 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기는 절연 수지층(6)의 제 2 두께(H2) 미만이다. 제 2 두께(H2)에 대한 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기의 비율이 과도하게 큰 경우, 제 2 두께(H2)에 대한 제 4 면(14)의 최대 높이 거칠기의 비율이 커진다. 이 경우, 절연 수지층(6)에 있어서 구멍이 형성되기 쉬워진다. 본 개시에 따른 초전도 선재(100)에 의하면, 제 2 두께(H2)에 대한 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기의 비율이 과도하게 커지는 것이 억제되어 있다. 이에 의해, 절연 수지층(6)에 있어서의 구멍의 형성을 억제할 수 있다.
- [0076] 본 개시에 따른 초전도 선재(100)에 의하면, 안정화층(5)의 제 4 면(14)의 최대 높이 거칠기는 8 μ m 미만이다. 이에 의해, 제 4 면(14)의 최대 높이 거칠기가 과도하게 커지는 것이 억제되어 있다. 이 때문에, 절연 수지층(6)에 있어서의 구멍의 형성을 억제할 수 있다.

[0077] 본 개시에 따른 초전도 선재(100)에 의하면, 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기는 절연 수지층(6)의 제 2 두께(H2)의 0.5배 이하이다. 이에 의해, 제 2 두께(H2)에 대한 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기의 비율이 과도하게 커지는 것이 억제되어 있다. 이 때문에, 절연 수지층(6)에 있어서의 구멍의 형성을 억제할 수 있다.

[0078] 본 개시에 따른 초전도 선재(100)에 의하면, 제 4 면(14)의 최대 높이 거칠기는 절연 수지층(6)의 제 2 두께(H2) 이하이다. 이에 의해, 제 2 두께(H2)에 대한 제 4 면(14)의 최대 높이 거칠기의 비율이 과도하게 커지는 것이 억제된다. 이 때문에, 절연 수지층(6)에 있어서의 구멍의 형성을 억제할 수 있다.

[0079] 본 개시에 따른 초전도 기기(200)에 의하면, 본 개시에 따른 초전도 선재(100)를 갖고 있다. 이 때문에, 절연 수지층(6)에 있어서의 구멍의 형성을 억제할 수 있다.

[0080] (실시예)

[0081] (샘플 준비)

【표 1】

번호	절연 수지층의 두께 (H2)	기판의 제 2면		안정화층의 제 4면	
		Rz	Rz / H2	Rz	Rz / H2
	[μm]	[μm]	-	[μm]	-
샘플 1	8	0.1	0.013	0.2	0.025
샘플 2	8	0.2	0.025	0.3	0.038
샘플 3	8	0.7	0.088	1	0.13
샘플 4	8	3	0.38	5	0.63
샘플 5	8	4	0.5	6	0.75
샘플 6	8	5	0.63	8	1
샘플 7	5	0.1	0.02	0.2	0.04
샘플 8	5	1	0.2	2	0.4
샘플 9	5	5	1	6	1.2

[0082]

[0083] 다음에, 샘플을 이용한 시험에 대해 설명한다. 우선, 샘플 1 내지 샘플 9에 따른 초전도 선재(100)가 준비되었다. 샘플 6 및 샘플 9의 각각은 비교예이다. 샘플 1 내지 샘플 5, 샘플 7 및 샘플 8의 각각은 실시예이다.

[0084] 샘플 1 내지 샘플 9에 따른 초전도 선재(100)의 각각은, 상기의 제 2 실시형태에 따른 제조 방법을 이용하여 제작되었다. 구체적으로는, 우선 기판(1)이 준비되었다. 기판(1)의 두께는 100 μm 로 되었다. 기판(1)의 폭은 30 mm로 되었다. 기판(1)의 길이는 100mm로 되었다. 기판(1)은 스테인리스강에 의해 형성되어 있는 테이프 상에 Cu층과 Ni층이 마련되어 있는 클래드재로 되었다.

[0085] 다음에, 기판(1) 상에 스퍼터법을 이용하여 중간층(2)이 형성되었다. 중간층(2)의 두께는 0.5 μm 로 되었다. 중간층(2)의 시드층은 CeO₂에 의해 구성되었다. 시드층의 두께는 0.1 μm 로 되었다. 중간층(2)의 확산 방지층은 YSZ에 의해 구성되었다. 확산 방지층의 두께는 0.2 μm 로 되었다. 중간층(2)의 격자 정합층은 Y₂O₃에 의해 구성되었다. 격자 정합층의 두께는 0.2 μm 로 되었다.

[0086] 다음에, PLD법을 이용하여 초전도층(3)이 형성되었다. 초전도층(3)은 GdBaCO에 의해 구성되었다. 초전도층(3)의 두께는 3 μm 로 되었다. 다음에, 스퍼터법을 이용하여 보호층(4)이 형성되었다. 보호층(4)의 두께는 3 μm 로 되었다. 기판(1), 중간층(2), 초전도층(3) 및 보호층(4)에 의해 구성된 폭 30mm의 적층체가 세션화되었다. 구체적으로는, 기계 슬릿 가공을 이용하여, 적층체의 폭이 4mm가 되도록 세션화되었다.

[0087] 다음에, 적층체의 외표면에 대해 도금을 실시하는 것에 의해, 안정화층(5)이 형성되었다. 도금액의 조성으로서 도금액 11당, 100g의 황산 구리와 150g의 황산이 포함되었다. 도금의 전류 밀도는 10A/dm²로 되었다.

[0088] 다음에, 안정화층(5)의 외표면에 대해, 폴리이미드를 피복하는 것에 의해, 절연 수지층(6)이 형성되었다. 이상과 같이, 샘플 1 내지 샘플 9에 따른 초전도 선재(100)가 작성되었다.

[0089] 표 1에 나타나는 바와 같이, 샘플 1 내지 샘플 6에 있어서, 절연 수지층(6)의 두께(제 2 두께(H2))는 8 μm 로 되

었다. 샘플 7 내지 샘플 9에 있어서, 제 2 두께(H2)는 5 μ m로 되었다.

[0090] 샘플 1 내지 샘플 6에 있어서, 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기는 0.1 μ m 이상 5 μ m 이하로 되었다. 샘플 1 내지 샘플 6에 있어서, 제 4 면(14)의 최대 높이 거칠기는 0.2 μ m 이상 8 μ m 이하로 되었다.

[0091] 샘플 7 내지 샘플 9에 있어서, 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기는 0.1 μ m 이상 5 μ m 이하로 되었다. 샘플 7 내지 샘플 9에 있어서, 제 4 면(14)의 최대 높이 거칠기는 0.2 μ m 이상 6 μ m 이하로 되었다.

[0092] (평가 방법)

[0093] 모든 샘플에 있어서, 절연 수지층(6)의 히트 사이클 평가가 실시되었다. 구체적으로는, 초전도 선재(100)를 액체 질소에 1분 정도 침지하여 냉각한 후, 액체 질소로부터 취출하고 실온까지 복귀한다는 조작이 5회 반복되었다. 그 후, 육안에 의해 절연 수지층(6)의 유무가 조사되었다.

[0094] 또한, 모든 샘플에 있어서, 초전도 선재(100)의 임계 전류값(Ic)이 측정되었다. 구체적으로는, 상술의 히트 사이클 평가의 전후에 있어서, 임계 전류값(Ic)이 측정되었다. 임계 전류값(Ic)의 측정에 있어서, 액체 질소로의 침지에 의해, 초전도 선재(100)는 77K까지 냉각되었다. 초전도 선재(100)의 임계 전류값(Ic)의 측정은 자기 자장하에서 실시되었다. 또한, 자기 자장하는 외부로부터 자장의 인가를 받고 있지 않은 상태를 의미하고 있다.

[0095] (평가 결과)

【표 2】

번호	구멍	임계 전류값 [A/cm]	
		평가 전	평가 후
샘플 1	없음	510	508
샘플 2	없음	506	506
샘플 8	없음	495	497
샘플 4	없음	504	505
샘플 5	없음	502	503
샘플 6	있음	499	210
샘플 7	없음	512	511
샘플 8	없음	505	506
샘플 9	있음	504	209

[0096]

[0097] 표 2에 나타나는 바와 같이, 샘플 6 및 샘플 9의 각각에 있어서, 절연 수지층(6)의 구멍이 확인되었다. 표 2에 나타나는 바와 같이, 절연 수지층(6)의 구멍이 확인된 샘플(샘플 6 및 9)에 있어서는, 다른 샘플과 비교하여, 히트 사이클 평가 후에 있어서의 임계 전류값(Ic)의 저하가 확인되었다.

[0098] 이상의 결과에 의하면, 제 2 면(12)의 최대 높이 거칠기가 5 μ m 미만인 경우(샘플 1 내지 5, 7 및 8)에 있어서, 절연 수지층(6)에 있어서의 구멍의 형성을 억제할 수 있으며, 임계 전류값(Ic)의 저하를 억제할 수 있는 것이 확인되었다.

[0099] 금회 개시된 실시형태 및 실시예는 모든 점에서 예시이며, 제한적인 것은 아니라고 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 상기한 실시형태가 아니며, 청구범위에 의해 나타나며, 청구범위와 균등의 의미, 및 범위 내에서의 모든 변경이 포함되는 것이 의도된다.

부호의 설명

- [0100] 1: 기관 2: 중간층
 3: 초전도층 4: 보호층
 5: 안정화층 6: 절연 수지층
 11: 제 1 면 12: 제 2 면
 13: 제 3 면 14: 제 4 면

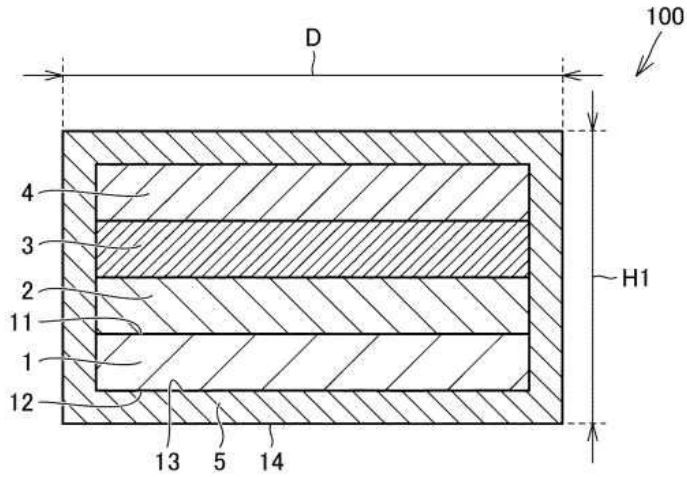
21: 와인딩 장치 100: 초전도 선재

200: 초전도 기기 D: 폭

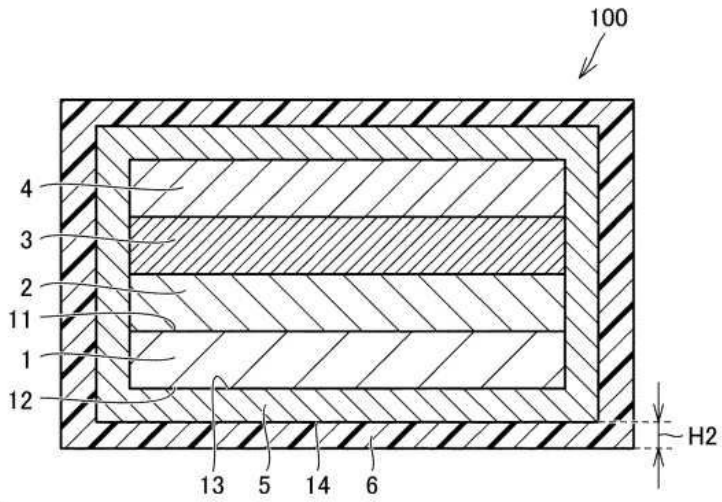
H1: 제 1 두께 H2: 제 2 두께

도면

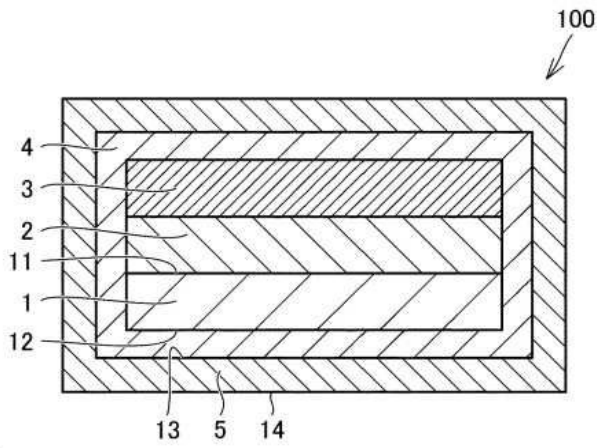
도면1



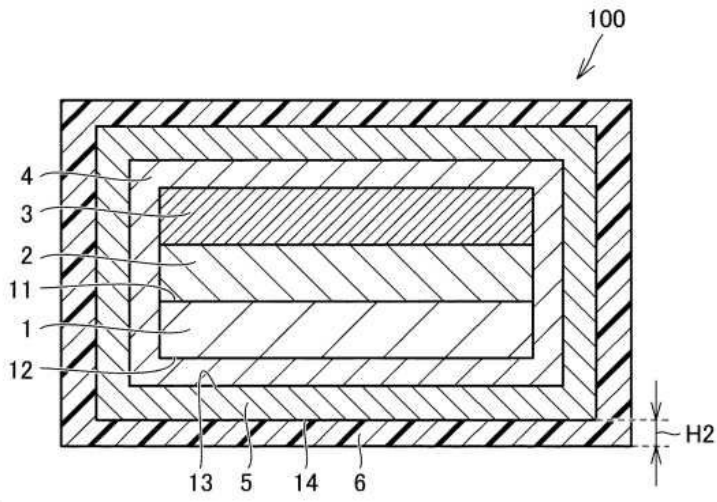
도면2



도면3



도면4



도면5

