



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년12월12일
(11) 등록번호 10-1685732
(24) 등록일자 2016년12월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01B 12/06 (2006.01) H01B 1/02 (2006.01)
H01B 13/00 (2006.01) H01L 39/24 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-7003395
(22) 출원일자(국제) 2010년06월15일
심사청구일자 2015년01월13일
(85) 번역문제출일자 2012년02월08일
(65) 공개번호 10-2012-0051010
(43) 공개일자 2012년05월21일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2010/060102
(87) 국제공개번호 WO 2011/004684
국제공개일자 2011년01월13일
(30) 우선권주장
JP-P-2009-163513 2009년07월10일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
US06669774 B1
US20080261072 A1
JP2007188756 A
JP2006127847 A

(73) 특허권자
스미토모 덴키 교교 가부시키키가이샤
일본 오사카후 오사카시 주오구 기타하마 4-5-33
도요 코한 가부시키키가이샤
일본국 도쿄도 치요다구 윤방초 2-12
(72) 발명자
오타 하지메
일본 오사카후 오사카시 고노하나쿠 시마야 1초메
1반 3고 스미토모 덴키 교교 가부시키키가이샤 오사
카 제작소 내
고니시 마사야
일본 오사카후 오사카시 고노하나쿠 시마야 1초메
1반 3고 스미토모 덴키 교교 가부시키키가이샤 오사
카 제작소 내
야마구치 다카시
일본 오사카후 오사카시 고노하나쿠 시마야 1초메
1반 3고 스미토모 덴키 교교 가부시키키가이샤 오사
카 제작소 내
(74) 대리인
제일특허법인

전체 청구항 수 : 총 4 항

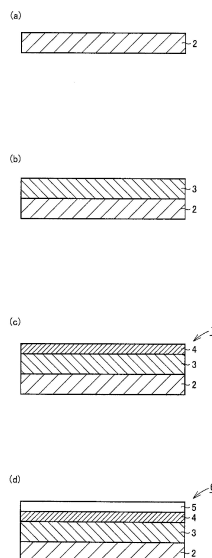
심사관 : 오주철

(54) 발명의 명칭 기관 및 초전도 선재의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은, 도금법을 이용하여 구리층(2) 상에 니켈층(3)이 형성된 기재를 준비하는 공정과, 상기 니켈층(3)을 800 내지 1000℃에서 열 처리하는 공정과, 상기 니켈층(3)을 열 처리하는 공정 후에 상기 니켈층(3) 상에 중간층(4)을 에피택셜 성장시키는 공정을 구비하는, 기관의 제조 방법에 관한 것이다. 본 발명에 의하면, 니켈층(3) 표면의 배향성 및 평탄성을 향상시킬 수 있는 기관 및 그 제조 방법을 제공할 수 있다.

대표도 - 도1



명세서

청구범위

청구항 1

도금법을 이용하여 구리층(2) 상에 1 내지 10 μm 두께의 니켈층(3)이 형성된 기재를 준비하는 공정과,

다른 층이 형성되지 않은 상기 니켈층(3)을 800 내지 1000℃에서 열 처리하고, 구리층(2)으로부터 구리 원자가 니켈층(3) 표면에까지 확산되기 전에 상기 열 처리를 중지하는 공정과,

상기 니켈층(3)을 열 처리하는 공정 후에 상기 니켈층(3) 상에 중간층(4)을 에피택셜 성장시키는 공정을 구비하는, 기관(1)의 제조 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 니켈층(3)을 열 처리하는 공정을 환원 분위기 하에서 행하는, 기관(1)의 제조 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 니켈층(3)을 열 처리하는 공정을 감압 하에서 수소를 포함하는 가스의 분위기 하에서 행하는, 기관(1)의 제조 방법.

청구항 4

도금법을 이용하여 구리층(2) 상에 1 내지 10 μm 두께의 니켈층(3)이 형성된 기재를 준비하는 공정과,

다른 층이 형성되지 않은 상기 니켈층(3)을 800 내지 1000℃에서 열 처리하고, 구리층(2)으로부터 구리 원자가 니켈층(3) 표면에까지 확산되기 전에 상기 열 처리를 중지하는 공정과,

상기 니켈층(3)을 열 처리하는 공정 후에 상기 니켈층(3) 상에 중간층(4)을 에피택셜 성장시키는 공정과,

상기 중간층(4) 상에 초전도층(5)을 형성하는 공정을 구비하는, 초전도 선재(6)의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 기관의 제조 방법 및 초전도 선재의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 고온 초전도체의 발견 이래, 케이블, 자석, 한류기(限流器) 등의 전력 기기 용도에의 적용을 목적으로 하여 고온 초전도 선재의 개발이 활발히 행해지고 있다. 고온 초전도 선재로서는, 크게 나눠 비스무트계 은 시스(sheath) 선재와 RE123계의 박막 선재(RE = 희토류 원소)의 두 종류가 있다.

[0003] 박막 초전도 선재의 일반적인 구조로서는, 금속 기관의 위에 세라믹의 박막 중간층이 형성되고, 그 위에 초전도층이 형성된다. 박막 초전도 선재에 있어서, 우수한 초전도 특성을 끌어내기 위해서는, 초전도층의 결정 방위를 삼차원적으로 맞추는 것이 필요하다. 이를 위해서는, 상기 박막 중간층에 대하여 배향성이 높은 박막을 형성할 필요가 있다.

[0004] 일본 특허공개 제2005-1935호 공보(특허문헌 1)에는, 배향 금속 기관 표면의 산화층을 제거하고, 배향 금속 기관의 2축 배향성을 유지한 채로, 중간층 및 초전도층 등의 박막을 에피택셜 성장(epitaxial growth)시키는 방법이 기재되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 일본 특허공개 제2005-1935호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 그러나, 특허문헌 1과 같이, 배향 금속 기관 상에 직접 중간층을 형성한 경우, 배향 금속 기관의 산화의 방지가 불충분하다고 하는 문제가 있었다.

[0007] 그래서, 금속 기관 상에 니켈 도금층을 형성하여, 금속 기관의 산화를 방지하는 기술이 보통 채용되고 있다.

[0008] 그러나, 이 경우, 금속 기관 상에 형성된 니켈 도금층의 표면은 배향성이 나쁘다고 하는 문제가 있었다. 또한, 니켈 도금층의 표면에는 피트(pit) 등이 존재하여, 평탄성이 나쁘다고 하는 문제가 있었다.

[0009] 따라서, 본 발명의 목적은, 니켈 도금층 표면의 배향성 및 평탄성을 향상시킬 수 있는 기관의 제조 방법 및 초전도 선재의 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명은, 도금법을 이용하여 구리층 상에 니켈층이 형성된 기재를 준비하는 공정과, 니켈층을 800 내지 1000℃에서 열 처리하는 공정과, 니켈층을 열 처리하는 공정 후에 니켈층 상에 중간층을 에피택셜 성장시키는 공정을 구비하는, 기관의 제조 방법이다. 본 발명의 기관의 제조 방법에 의하면, 니켈층을 800 내지 1000℃에서 열 처리함으로써, 니켈층 표면의 배향성 및 평탄성이 향상된 기관을 얻을 수 있다. 또한, 열 처리 시에 구리층으로부터 구리 원자가 니켈층 표면에까지 확산되는 것을 억제할 수 있다.

[0011] 본 발명에 따른 기관의 제조 방법에 있어서, 바람직하게는, 니켈층을 열 처리하는 공정을 환원 분위기 하에서 행한다. 니켈층을 열 처리하는 공정을 환원 분위기 하에서 행하는 것에 의해, 니켈층 표면에 형성된 산화막을 제거할 수 있다.

[0012] 본 발명에 따른 기관의 제조 방법에 있어서, 바람직하게는, 니켈층을 열 처리하는 공정을 감압 하에서 수소를 포함하는 가스의 분위기 하에서 행한다. 니켈층을 열 처리하는 공정을 감압 하에서 수소를 포함하는 가스의 분위기 하에서 행하는 것에 의해, 니켈층 표면에 형성된 산화막을 보다 효과적으로 제거할 수 있다.

[0013] 본 발명은, 도금법을 이용하여 구리층 상에 니켈층이 형성된 기재를 준비하는 공정과, 니켈층을 800 내지 1000℃에서 열 처리하는 공정과, 니켈층을 열 처리하는 공정 후에 니켈층 상에 중간층을 에피택셜 성장시키는 공정과, 중간층 상에 초전도층을 형성하는 공정을 구비하는, 초전도 선재의 제조 방법이다. 본 발명의 초전도 선재의 제조 방법에 의하면, 니켈층을 800 내지 1000℃에서 열 처리함으로써, 니켈층 표면의 배향성 및 평탄성이 향상된 기관을 얻을 수 있기 때문에, 초전도층의 배향성 및 평탄성이 향상된 초전도 선재를 얻을 수 있다.

발명의 효과

[0014] 본 발명에 의하면, 니켈층 표면의 배향성 및 평탄성이 향상된 기관 및 초전도층의 배향성 및 평탄성이 향상된 초전도 선재를 얻을 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명의 일 실시 형태에 있어서의 기관 및 초전도 선재의 제조 방법을 개략적으로 나타내는 단면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 이하, 도면에 기초하여 본 발명의 실시 형태를 설명한다. 한편, 이하의 도면에 있어서 동일 또는 상당하는 부분에는, 동일한 참조 부호를 붙여, 그 설명은 반복하지 않는다.

[0017] 도 1은, 본 발명의 일 실시 형태에서의 기관(1)의 제조 방법을 개략적으로 나타내는 단면도이다. 도 1을 참조하여, 본 발명의 일 실시 형태에서의 기관(1)의 제조 방법은, 도 1(a)에 나타낸 바와 같은 Cu층(2) 상에, 도

1(b)에 나타난 바와 같이 도금법을 이용하여 Ni층(3)이 형성된 기재를 준비하는 공정과, 상기 Ni층(3)을 800 내지 1000℃에서 열 처리하는 공정과, 도 1(c)에 나타난 바와 같이 상기 Ni층(3)을 열 처리하는 공정 후에 상기 Ni층(3) 상에 중간층(4)을 에피택셜 성장시키는 공정을 구비한다.

[0018] <기재를 준비하는 공정>

[0019] 도 1(b)에 나타난 바와 같이, 구체적으로는, 우선, 도금법을 이용하여 Cu층(2) 상에 Ni층(3)이 형성된 기재를 준비한다.

[0020] Cu층(2)은, Cu 원자가 2축 배향되어 있기 때문에, 배향 기관에 적합하다. 또, 2축 배향되어 있다는 것은, 완전한 2축 배향뿐만 아니라, 결정축의 편향각이 25° 이하인 경우도 포함된다. 또한, 배향의 방향은, <100> 축이 기관면에 수직인 방향으로, <010> 축이 기관의 길이 방향으로 배향되어 있는 것이 바람직하다.

[0021] Cu층(2)은, 다른 금속 또는 합금 상에 적층할 수 있다. 예컨대, 고강도 재료인 스테인레스 강(이하, SUS라고 함) 상에 Cu층(2)을 설치할 수 있다.

[0022] Cu층(2)은, 긴 테이프상(狀)의 형상을 가질 수 있다.

[0023] Ni층(3)은, Cu층(2) 상에, 도금법을 이용하여 형성한다. 도금법의 방법으로서, 전해 도금법, 무전해 도금법 등의 방법을 들 수 있다. 특히 효율 좋게, 연속 처리하는 것을 고려하면, 전해 도금법이 바람직하다. Ni층(3)은, 중간층(4)을 형성할 때에, 산화를 방지하기 위한 층이다. Cu층(2)이 배향되어 있는 경우에는, 그 위에 형성되는 Ni층(3)도 배향된다.

[0024] Ni층(3)의 두께는, 1 내지 10 μ m인 것이 바람직하고, 1 내지 3 μ m인 것이 보다 바람직하다. 1 μ m 이상인 경우, 후술하는 Ni층(3)을 열 처리하는 공정에서 800 내지 1000℃ 정도의 열이 가해지더라도, Cu 원자가 Ni층 표면으로 확산되는 것을 억제할 수 있다. 이 때문에, Ni층(3)의, 산화되기 어렵고 또 중간층(4)과의 격자의 매칭이 양호한 기능을 효과적으로 발현할 수 있다. Ni층(3)의 두께가 10 μ m를 초과하면, Ni층(3)의 에피택셜 성장의 배향이 크게 허물어질 우려가 있기 때문에 바람직하지 못하다.

[0025] <열 처리하는 공정>

[0026] 다음으로, Ni층(3)을 열 처리한다. 이 공정에 의해, Ni층(3)의 배향성 및 평탄성이 향상된다.

[0027] Ni층(3)을 열 처리하는 공정은, 환원 분위기 하에서 행하는 것이 바람직하다. 환원 분위기 하에서 열 처리하는 것은, 배향 금속 기관의 표면에 형성된 산화층을 제거하기에 충분한 환원성 분위기에서 열 처리하는 것을 말한다. 환원 분위기 하란, 예컨대, 감압 하에서 수소(H₂) 가스 등의 환원성 가스의 존재 하를 의미한다. 감압 하란, 대기압보다 낮은 압력이고, 예컨대 1 내지 10Pa가 바람직하다. 열 처리 분위기 가스 중의 H₂ 가스의 몰%는 클수록 환원성이 높아지기 때문에 바람직하고, 예컨대, 환원성 가스로서 H₂ 가스와 Ar 가스를 병용하는 경우는, H₂ 가스는 1몰% 이상이 바람직하고, 보다 바람직하게는 3몰% 이상이다.

[0028] Ni층(3)을 열 처리하는 온도는, 800 내지 1000℃인 것이 바람직하다. 열 처리 온도가 800℃ 미만이면, Ni층(3)의 배향성 및 평탄성의 향상이 불충분하다. 1000℃를 초과하면, Ni와 Cu가 확산되어 완전 합금화되기 때문에, Ni층 표면에 Cu가 확산된다. Cu는 산화되기 쉽기 때문에, Ni층(3) 표면의 배향성 및 평탄성을 향상시킬 수 없다.

[0029] Ni층(3)을 열 처리하는 시간은, 특별히 제한은 없지만, 15분간 이상인 것이 바람직하다. 열 처리 시간이 15분간 미만이면, Ni층(3)의 배향성 및 평탄성의 향상이 불충분하다.

[0030] <에피택셜 성장시키는 공정>

[0031] 도 1(c)에 나타난 바와 같이, 다음으로, 열 처리를 행한 Ni층(3) 상에 중간층(4)을 에피택셜 성장시켜, 기관(1)을 얻는다. 중간층(4)으로서, 파이로클로어(pyrochlore)형, 형석(fluorite)형, 암염형 또는 페로브스카이트(perovskite)형의 결정 구조를 갖는, 1종 이상의 금속 원소를 갖는 금속 산화물이 바람직하게 사용된다. 구체적으로는, CeO₂ 등의 희토류 원소 산화물, YSZ(이트리아 안정화 지르코니아), BZO(BaZrO₃), STO(SrTiO₃), Al₂O₃, YAlO₃, MgO, Ln-M-O계 화합물(Ln은 1종 이상의 란타노이드 원소, M은 Sr, Zr 및 Ga 중에서 선택되는 1종 이상의 원소, O는 산소) 등을 들 수 있다. 이러한 산화물은, 배향 금속 기관인 Cu층(2)과, 중간층(4) 상에 형성되는 초전도층(5)의 결정 상수 및 결정 배향의 차이를 완화함과 더불어, Cu층(2)으로부터 초전도층(5)의 금속

원자의 유출을 방지하는 역할을 한다. 중간층(4)이 되는 산화물 박막의 형성 방법으로서, 본 발명의 목적에 반하지 않는 한 특별히 제한은 없고, 스퍼터링법, EBD(전자선 빔 증착; Electron Beam Deposition)법, PLD(펄스 레이저 증착; Pulse Laser Deposition)법, 열 증착법 등의 방법이 바람직하게 사용된다.

[0032] 예컨대, 열 처리 후의 <100> 축이 기판면에 수직인 방향으로, <010> 축이 기판의 길이 방향으로, 2축 배향되어 있는 Ni 층(3) 상에, 중간층(4)으로서 CeO_2 박막을 에피택셜 성장시키면, <100> 축이 기판면에 수직인 방향으로, <011> 축이 기판의 길이 방향으로 배향된 CeO_2 박막이 형성되어, 2축 배향성이 높은 CeO_2 박막이 얻어진다.

[0033] <초전도층의 형성>

[0034] 수득된 기판(1)의 중간층(4)의 위에 초전도층(5)을 형성한 경우, 중간층(4)은 배향성 및 평탄성이 양호하기 때문에, 2축 배향성이 높은 초전도층(5)을 얻을 수 있다.

[0035] 초전도층(5)은, 긴 테이프상의 형상을 갖고 있다. 초전도층(5)은, $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (y는 6 내지 8, 보다 바람직하게는 거의 7, RE란 Y(이트륨), 또는 Gd(가돌리늄), Sm(사마륨), Ho(홀름) 등의 희토류 원소를 의미함)로서 표시되는 초전도체 등이며, 예컨대 GdBCO로 이루어지는 것이 바람직하다. GdBCO란, $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (y는 6 내지 8, 보다 바람직하게는 거의 7)로서 표시된다. 초전도층(5)이 되는 산화물 박막의 형성 방법으로서, 본 발명의 목적에 반하지 않는 한 특별히 제한은 없고, PLD법, MOD(유기 금속 성막; Metal Organic Deposition)법, MOCVD(유기 금속 기상 성장; Metal Organic Chemical Vapor Deposition)법 등의 방법이 바람직하게 사용된다.

[0036] 또한, 초전도층(5)을 보호하기 위해서, 필요에 따라, 초전도층(5)의 위에 보호층(도시하지 않음)을 형성할 수도 있다. 보호층으로서, 전도성이 높은 것이면 특별히 제한은 없지만, Ag, Au, Pt, Al 또는 이들의 합금 등이 바람직하게 사용된다. 보호층의 형성 방법으로서, 특별히 제한은 없지만, 스퍼터링법, EBD법, PLD법, 열 증착법, MOD법, MOCVD법, 도금법 등의 방법이 바람직하게 사용된다.

[0037] 실시예

[0038] (실시예 1 내지 4)

[0039] 우선, SUS 기판 상에 $18\mu\text{m}$ 두께의 Cu층을 갖는 기판을 준비했다. 상기 Cu층을 갖는 기판을 전해 니켈 도금을 행하여, 표 1에 나타내는 두께의 Ni층을 형성했다.

[0040] 다음으로, 상기 Ni층을, 환원성 가스로서 H_2 가스와 Ar 가스의 혼합 가스(조성: H_2 가스 3몰%, Ar 가스 97몰%)를 이용하여, 압력 8.1Pa 분위기 하에 표 1에 나타내는 열 처리 온도에서 16분간 열 처리를 행했다. 그 직후에, 스퍼터링법에 의해, 환원성 가스로서 H_2 가스와 Ar 가스의 혼합 가스(조성: H_2 가스 3몰%, Ar 가스 97몰%)를 이용하여, 압력 5.2Pa 분위기 하 기판 온도 700°C 에서 상기 니켈층 상에 제 1 중간층으로서 CeO_2 박막을 $0.15\mu\text{m}$ 의 두께로 형성했다. 그 위에, 제 2 중간층으로서 원소 확산 방지를 위해 YSZ 박막을 $0.25\mu\text{m}$ 의 두께로 형성했다. 추가로 제 3 중간층으로서, 초전도 막과의 격자 정합을 위해 CeO_2 박막을 $0.05\mu\text{m}$ 의 두께로 형성했다.

[0041] 다음으로, 상기 3층으로 이루어지는 중간층 상에, PLD 법에 의해, 초전도층으로서 GdBCO 막을 형성했다.

[0042] (비교예 1 내지 2)

[0043] Ni층의 열 처리를 행하지 않는 것 이외는, 상기 실시예 1 내지 4와 마찬가지로 하여 3층으로 이루어지는 중간층 및 초전도층을 형성했다.

[0044] (비교예 3 내지 4)

[0045] 상기 실시예 1 내지 4와 마찬가지로 하여 3층으로 이루어지는 중간층 및 초전도층을 형성했다.

[0046] (측정 방법)

[0047] 수득된 기판에 대하여, 제 1 중간층인 CeO_2 박막의 2축 배향성, 표면 조도(Ra) 및 Ni-Cu 확산에 대하여 측정을 행했다. 또한, 수득된 초전도 선재에 대하여, 임계 전류치 I_c 에 대하여 측정을 행했다.

[0048] 제 1 중간층인 CeO_2 박막의 2축 배향성은, CeO_2 박막의 (200)면 및 (111)면에서의 X선 회절 피크 강도($I(200)$ 및 $I(111)$)를 측정하고, $I(200)/(I(200)+I(111))$ 의 수치에 의해 평가했다. 이러한 수치가 클수록, 제 1 중간

층인 CeO_2 박막의 2축 배향성이 높아, 바람직하다. 한편, (200)면에서의 X선 회절 피크 강도는, <100> 축이 기판면에 수직인 방향으로, <011> 축이 기판의 길이 방향으로 2축 배향되어 있는 결정량을 나타내고, (111)면에서의 X선 회절 피크 강도는 <111> 축이 기판면에 수직인 방향으로 1축 배향되어 있는 결정량을 나타낸다.

[0049] 표면 조도(Ra)는, JIS B 0601에 규정되는 산술 평균 조도 Ra를 말하며, 조도 곡선으로부터, 그 평균선의 방향으로 기준 길이만 발취하고, 당해 발취 부분의 평균선으로부터 측정 곡선까지의 거리(편차의 절대치)를 합계하여 평균한 값으로 정의된다. 표면 조도 Ra는, 원자간력 현미경(AFM)을 이용하여 $10\mu\text{m}$ 각의 범위로 측정했다.

[0050] Ni-Cu 확산은, (A) 구리층의 (200)면(Cu(200)면)의 $2\theta(^{\circ})$ 및 (B) Ni층의 (200)면(Ni(200)면)의 $2\theta(^{\circ})$ 를 각각 XRD법으로 측정하고, (B)-(A)의 수치에 의해 평가했다. 이러한 수치가 작을수록, Ni과 Cu의 합금화가 진행되고 있다는 것을 나타낸다. 또한, 수치가 0인 때는 완전 합금화되어 있다는 것을 나타낸다.

[0051] 임계 전류치 I_c 에 관해서는, 온도 77K에서 자기 자장 중에서 측정을 행하여, 10^{-6} V/cm의 전계가 발생했을 때의 통전 전류치로 했다.

[0052] 결과를 표 1에 나타낸다.

표 1

	비교예 1	비교예 2	비교예 3	비교예 4	실시예 1	실시예 2	실시예 3	실시예 4
열 처리 온도	처리하지 않음	처리하지 않음	>1000℃	>1000℃	850-900℃	850-900℃	900-950℃	900-950℃
Ni층 두께	1 μm	2.4 μm	1 μm	2.4 μm	1 μm	2.4 μm	1 μm	2.4 μm
CeO ₂ 박막의 2축 배향성 (I(200)/I(200)+I(111)) × 100)	0%	0%	0%	0%	80%	40%	90%	90%
표면 조도 (Ra)	30nm	30nm	-	-	10nm	13nm	8nm	8nm
Ni-Cu 확산 (A)Cu(200)의 2θ	50.4°	50.4°	50.7°	50.7°	50.4°	50.4°	50.7°	50.4°
(B)Ni(200)의 2θ	51.8°	51.8°	50.7°	50.7°	51.1°	51.6°	50.9°	51.6°
(B)-(A)	1.4°	1.4°	0°	0°	0.7°	1.2°	0.2°	1.2°
임계 전류치(Ic)	0 A/cm	0 A/cm	0 A/cm	0 A/cm	200 A/cm	100 A/cm	250 A/cm	250 A/cm

[0053]

[0054]

(측정 결과)

[0055]

실시예 1 내지 4는, Ni층을 850 내지 950℃의 범위의 온도에서 열 처리한 기판이다. Ni층의 열 처리를 행하지 않는 비교예 1 및 2와 비교하여, 제 1 중간층인 CeO₂ 박막의 2축 배향성을 향상시킬 수 있었다. 또한, Ni층이 두꺼울수록, 제 1 중간층인 CeO₂ 박막의 2축 배향성의 향상에는 높은 열 처리 온도가 필요했다. 또한, Ni층의 열 처리를 행하지 않는 비교예 1 및 2와 비교하여, 표면 조도를 작게 할 수 있어, 표면 평탄성이 향상됐다. 또한 Cu와 Ni은 일부만 합금화되어, Ni층 표면에 Cu는 확산되지 않았다.

[0056]

비교예 3 및 4는, Ni층을 1000℃ 초과 온도에서 열 처리했기 때문에 Cu와 Ni이 완전 합금화되어, Ni층 표면에 Cu가 확산됐다. 따라서 제 1 중간층인 CeO₂ 박막의 2축 배향성을 충분히 향상시키기 곤란했다.

[0057] 상기 개시된 실시 형태 및 실시예는 모든 점에서 예시이며, 제한적인 것이 아니라고 생각되어야 한다. 본 발명의 범위는 상기한 설명이 아니고 청구의 범위에 의해서 나타내지며, 청구의 범위와 균등의 의미 및 범위 내에서의 모든 변경이 포함될 것이 의도된다.

부호의 설명

[0058] 1 기판, 2 Cu층, 3 Ni층, 4 중간층, 5 초전도층, 6 초전도 선재.

도면

도면1

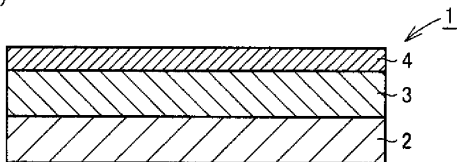
(a)



(b)



(c)



(d)

