



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0110915
(43) 공개일자 2021년09월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 39/24 (2006.01) H01F 41/04 (2006.01)
H01F 6/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 39/2422 (2013.01)
H01F 41/048 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0025740
(22) 출원일자 2020년03월02일
심사청구일자 2020년03월02일

(71) 출원인
오영근
서울특별시 동대문구 홍릉로 18 (청량리동)
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
안희성
대전광역시 유성구 계룡로 92, 101동 2004호 (봉명동, CJ나인파크)
(72) 발명자
오영근
서울특별시 동대문구 홍릉로 18 (청량리동)
안희성
대전광역시 유성구 계룡로 92, 101동 2004호 (봉명동, CJ나인파크)
이해근
서울특별시 동대문구 장한로 119 장안삼성세르빌 오피스텔 548호
(74) 대리인
특허법인(유한) 대아

전체 청구항 수 : 총 9 항

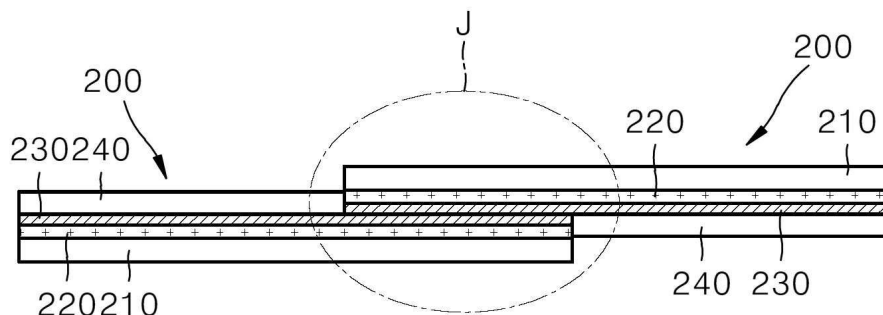
(54) 발명의 명칭 REBCO 초전도층의 직접 접촉 및 고상접합에 의한 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 방법

(57) 요약

REBCO 초전도층들 간의 직접 접촉 및 고상접합에 의해 저온에서 단시간 내에 접합하는 것이 가능한 REBCO 초전도층의 직접 접촉 및 고상접합에 의한 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 방법에 대하여 개시한다.

본 발명에 따른 2세대 고온 초전도체 영구전류모드 접합 방법은 REBCO($\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, 여기서 RE는 희토류 원소, $0 \leq x \leq 0.6$) 고온 초전도층 및 안정화층을 포함하는 2세대 고온 초전도체 영구전류모드 접합 방법에 있어서, (a) 2개의 2세대 REBCO 고온 초전도체들의 안정화층을 각각 에칭하여 상기 안정화층 하부의 REBCO 고온 초전도층의 일부를 각각 노출시키는 단계; (b) 상기 2세대 REBCO 고온 초전도체들의 노출된 REBCO 고온 초전도층들을 대칭 구조의 맞대기 형태로 직접 접촉시키는 단계; 및 (c) 상기 REBCO 고온 초전도층들이 직접 접촉된 2세대 REBCO 고온 초전도체들의 접합 부위를 가열 및 가압하여 접합시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류

H01F 6/06 (2013.01)

H01L 39/2467 (2013.01)

H01L 39/2474 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

REBCO($\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, 여기서 RE는 희토류 원소, $0 \leq x \leq 0.6$) 초전도층 및 안정화층을 포함하는 2세대 고온 초전도체 영구전류모드 접합 방법에 있어서,

- (a) 2개의 2세대 REBCO 고온 초전도체들의 안정화층을 각각 에칭하여 상기 안정화층 하부의 REBCO 초전도층의 일부를 각각 노출시키는 단계;
- (b) 상기 2세대 REBCO 고온 초전도체들의 노출된 REBCO 초전도층들을 대칭 구조의 맞대기 형태로 직접 접촉시키는 단계; 및
- (c) 상기 REBCO 초전도층들이 직접 접촉된 2세대 REBCO 고온 초전도체들의 접합 부위를 가열 및 가압하여 접합시키는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 2세대 고온 초전도체 영구전류모드 접합 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 (a) 단계에서,

상기 2세대 REBCO 고온 초전도체 각각은

기판;

상기 기판 상에 배치된 버퍼층;

상기 버퍼층 상에 배치된 REBCO 초전도층; 및

상기 REBCO 초전도층 상에 배치된 안정화층;

을 포함하는 것을 특징으로 하는 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 (c) 단계에서,

상기 접합은

상기 2세대 REBCO 고온 초전도체들의 접합 부위를 400°C 미만의 온도로 가열하면서 $20 \sim 100\text{MPa}$ 의 압력으로 가압하는 것을 특징으로 하는 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 접합은

2시간 이내로 실시하는 것을 특징으로 하는 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 방법.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 가열은

세라믹 히터 및 인덕션 히터 중 어느 하나 이상의 열원을 이용하는 것을 특징으로 하는 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 (c) 단계 이후,

상기 노출된 REBCO 초전도층들은

서로 간이 직접 접촉된 상태에서 접합되어, 공유결합이 이루어진 것을 특징으로 하는 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 방법.

청구항 7

REBCO($\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, 여기서 RE는 희토류 원소, $0 \leq x \leq 0.6$) 고온 초전도층 및 안정화층을 포함하는 2세대 고온 초전도체 영구전류모드 접합 구조에 있어서,

2개의 2세대 REBCO 고온 초전도체들이 대칭 구조의 맞대기 형태로 접합되어 있으며,

상기 2세대 REBCO 고온 초전도체들의 노출된 REBCO 고온 초전도층들이 직접 접촉된 상태로 접합된 것을 특징으로 하는 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 구조.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 2세대 REBCO 고온 초전도체 각각은

기판;

상기 기판 상에 배치된 버퍼층;

상기 버퍼층 상에 배치된 REBCO 고온 초전도층; 및

상기 REBCO 고온 초전도층 상에서, 상기 REBCO 고온 초전도층의 일부를 노출시키도록 배치된 안정화층;

을 포함하는 것을 특징으로 하는 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 구조.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 노출된 REBCO 고온 초전도층들은

서로 간이 직접 접촉된 상태에서 접합되어, 공유결합이 이루어진 것을 특징으로 하는 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 구조.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 REBCO($\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, 여기서 RE는 희토류 원소, $0 \leq x \leq 0.6$)와 같은 초전도체(superconductor)를 포함하는 2세대 고온 초전도체의 접합 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 2개의 REBCO 초전도체층을 직접 접촉하여 상온의 고상상태에서 단시간 내 접합하여 영구전류모드를 이루는 접합 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [0003] 일반적으로 테이프(tape) 형태의 초전도체 선재의 접합은 다음과 같은 경우에 필요하다.
- [0004] 첫째로, 코일 권선 시 초전도체의 길이가 짧아서 장선재로 사용하기 위하여 초전도체들을 상호 접합해야 하는 경우이다. 두번째로, 초전도체를 권선한 코일을 서로 연결하기 위하여 초전도 마그네트(magnet) 코일 간의 접합이 필요한 경우이다. 세번째로, 영구전류모드 운전을 위한 초전도 영구 전류 스위치를 병렬로 연결해야 할 때, 초전도 마그네트 코일과 초전도 영구전류 스위치간의 접합을 해야 하는 경우이다.
- [0005] 특히, 영구전류모드 운전이 필수적으로 요구되는 초전도 응용기기에서 초전도체를 연결하여 사용하기 위해서는, 상호 연결된 초전도체가 마치 하나의 초전도체를 이용하는 것과 같이 연결되어야 한다. 그래서 모든 권선이 이루어졌을 때 손실이 없는 운전이 이루어져야 한다.
- [0006] 예를 들면, NMR(Nuclear Magnetic Resonance), MRI(Magnetic Resonance Imaging), SMES(Superconducting Magnet Energy Storage) 및 MAGLEV(MAGnetic LEVitation) 시스템 등과 같은 초전도 마그네트 및 초전도 응용기기에서 그러하다.
- [0007] 하지만 초전도체 간의 접합부위는 일반적으로 접합되지 않은 부분보다 전기적 특성이 낮으므로 영구전류모드 운전시 임계전류는 초전도체 간의 접합부위에 크게 의존한다.
- [0008] 따라서 초전도체 간의 접합부위의 임계전류 특성을 향상시키는 것은 영구전류모드형 초전도 응용기기 제작에 매우 중요하다. 그러나 저온 초전도체와는 달리 고온 초전도체, 특히 2세대 고온초전도체의 경우, 그 자체가 세라믹으로 형성되므로 초전도 상태를 유지하는 접합은 매우 어렵다.
- [0010] 도 1은 일반적인 2세대 REBCO 고온 초전도체를 나타낸 모식도이다.
- [0011] 도 1에 도시된 바와 같이, 일반적인 2세대 REBCO 고온 초전도체(100)는 REBCO($\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, 여기서 RE는 희토류 원소, $0 \leq x \leq 0.6$)와 같은 고온 초전도 물질을 포함하며, 적층 구조로 테이프 형상으로 만들어진 선재에 해당한다.
- [0012] 이러한 2세대 REBCO 고온 초전도체(100)는 REBCO 초전도층(130) 및 안정화층(140)을 포함한다. 보다 상세하게는, 일반적인 2세대 REBCO 고온 초전도체(100)는 기관(110), 버퍼층(120), REBCO 초전도층(130) 및 안정화층(140)을 포함할 수 있다.
- [0013] 2세대 REBCO 고온 초전도체(100)는 세라믹 결정의 특성인 취성과 결정학적 이방성 때문에 요구되는 유연성과 통전성을 만족시키기 위하여 기관(110) 상에 여러 층의 세라믹 재질로 이루어진 버퍼층(120)과 금속 재질의 안정화층(140)을 적층하기 때문이다.
- [0014] 도 1과 같은 테이프 형태로 제작되는 이유는 기본적으로 초전도 전류를 흘리는 역할을 하는 REBCO 초전도층(130)의 결정이 페로브스카이트(perovskite) 단위결정 3개가 결합된 구조를 가지며, 여기에서 c축(단위결정에서의 수직축)에 수직인 001 수평면으로 배향된 CuO 면이 전류통전을 담당하기 때문이다. 이 결정면의 결정립계가 약한 결합(weak link) 특성이 있기 때문에 아주 적은 뒤틀림 각도(misfit angle)에서만 초전도 전류가 잘 전달되므로 단결정 수준의 소각입계(low angle grain boundary)로 만들어져야 원하는 전류밀도를 얻을 수 있다. 이렇게 2축 정렬된 초전도 산화물의 결정질 박막을 증착시키기 위해서 2축 정렬된 기관(110)의 준비가 선행되어야 한다.
- [0016] 도 2는 일반적인 REBCO 고온 초전도체의 접합 방법의 예들을 개략적으로 나타낸 단면도로, 이를 참조하여 보다 구체적으로 설명하도록 한다.
- [0017] 도 2의 (a)에 도시된 바와 같이, 2개의 2세대 REBCO 고온 초전도체들(100a, 100b)을 직접 접합하는 랩 조인트(Lap joint) 접합 방식을 나타내고 있다.
- [0018] 또한, 도 2의 (b)에 도시된 바와 같이, 2개의 2세대 REBCO 고온 초전도체들(100a, 100b)을 버트 타입으로 배열

한 후 제3의 2세대 REBCO 고온 초전도체(100c)를 위에 얹어 브리지(bridge) 형태로 접합하는 버트 타입 오버랩 조인트(Overlap joint with butt type arrangement) 접합 방식을 나타내고 있다. 이때, 2개의 2세대 REBCO 고온 초전도체들(100a, 100b) 간의 간격은 0 ~ 수 센티미터 (cm)까지 설정되어 있을 수 있다.

[0019] 도 2의 (a) 및 (b)를 참조하면, 일반적인 2세대 REBCO 고온 초전도체의 접합을 위하여, 2세대 REBCO 고온 초전도체들 사이에 솔더(Solder)(105)를 비롯한 상전도 물질을 매개하여 접합하였다.

[0020] 그러나, 이러한 방식의 접합 구조는 전류의 흐름이 반드시 솔더(105) 및 안정화층(140)과 같은 상전도체층을 지나게 되어 높은 접합 저항의 발생을 피할 수 없게 되므로, 초전도성 유지가 어렵다. 솔더 방식에 의하면 초전도체 타입 및 접합배열 방식에 따라 접합 부위의 저항이 대략 20 ~ 2,800nΩ 정도로 매우 높은 문제가 있다.

[0021] 본 발명과 관련된 선행문헌으로는 대한민국 공개특허공보 제10-2013-0071336호(2013.06.28. 공개)가 있으며, 상기 문헌에는 초전도체 물질을 상온이 아닌 고온상태에서의 접합 방법이 기재되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0023] 본 발명의 목적은 2개의 REBCO 초전도체층을 직접 접촉하여 상온의 고상상태에서 단시간 내 접합하여 영구전류 모드를 이루는 접합 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0025] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 실시예에 따른 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 방법은 REBCO($\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, 여기서 RE는 희토류 원소, $0 \leq x \leq 0.6$) 초전도층 및 안정화층을 포함하는 2세대 고온 초전도체 영구전류모드 접합 방법으로서, (a) 2개의 2세대 REBCO 고온 초전도체들의 안정화층을 각각 에칭하여 상기 안정화층 하부의 REBCO 초전도층의 일부를 각각 노출시키는 단계; (b) 상기 2세대 REBCO 고온 초전도체들의 노출된 REBCO 초전도층들을 대칭 구조의 맞대기 형태로 직접 접촉시키는 단계; 및 (c) 상기 REBCO 초전도층들이 직접 접촉된 2세대 REBCO 고온 초전도체들의 접합 부위를 가열 및 가압하여 접합시키는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0026] 상기 (a) 단계에서, 상기 2세대 REBCO 고온 초전도체 각각은 기관; 상기 기관 상에 배치된 버퍼층; 상기 버퍼층 상에 배치된 REBCO 초전도층; 및 상기 REBCO 초전도층 상에 배치된 안정화층;을 포함한다.

[0027] 또한, 상기 (c) 단계에서, 상기 접합은 상기 2세대 REBCO 고온 초전도체들의 접합 부위를 400℃ 미만의 온도로 가열하면서 20 ~ 100MPa의 압력으로 가압하는 것이 바람직하다.

[0028] 아울러, 상기 접합은 2시간 이내로 실시하는 것이 바람직하다.

[0029] 상기 가열은 세라믹 히터 및 인덕션 히터 중 어느 하나 이상의 열원을 주로 이용하며 할로겐 램프와 같은 열원도 사용할 수 있다.

[0030] 상기 (c) 단계 이후, 상기 노출된 REBCO 초전도층들은 서로 간이로 직접 접촉된 상태에서 접합되어, 공유결합이 이루어진다.

[0032] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 실시예에 따른 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 구조는 REBCO($\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, 여기서 RE는 희토류 원소, $0 \leq x \leq 0.6$) 고온 초전도층 및 안정화층을 포함하는 2세대 고온 초전도체 영구전류모드 접합 구조에 있어서, 2개의 2세대 REBCO 고온 초전도체들이 대칭 구조의 맞대기 형태로 접합되어 있으며, 상기 2세대 REBCO 고온 초전도체들의 노출된 REBCO 고온 초전도층들이 직접 접촉된 상태로 접합된 것을 특징으로 한다.

[0033] 여기서, 상기 2세대 REBCO 고온 초전도체 각각은 기관; 상기 기관 상에 배치된 버퍼층; 상기 버퍼층 상에 배치된 REBCO 고온 초전도층; 및 상기 REBCO 고온 초전도층 상에서, 상기 REBCO 고온 초전도층의 일부를 노출시키도록 배치된 안정화층;을 포함한다.

[0034] 또한, 상기 노출된 REBCO 고온 초전도층들은 서로 간이 직접 접촉된 상태에서 접합되어, 공유결합이 이루어진다.

발명의 효과

- [0036] 본 발명에 따른 REBCO 초전도층의 직접 접촉 및 고상접합에 의한 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 구조 및 그 방법은 2세대 REBCO 고온 초전도체들의 노출된 REBCO 초전도층들이 400℃ 미만의 저온에서 직접 접촉된 상태로 접합이 이루어지는 것에 의해 단시간 내에 접합이 이루어질 수 있다.
- [0037] 아울러, 본 발명에 따른 REBCO 초전도층의 직접 접촉 및 고상접합에 의한 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 구조 및 그 방법은 400℃ 미만의 저온에서 직접 접합에 의한 공유 결합으로 접합이 이루어지는 것에 의해 2세대 REBCO 고온 초전도체의 결정구조가 테트라고날(Tetragonal) 결정 구조로 바뀔 염려가 없어 초전도체 특성을 상실하는 것 없이 그대로 유지될 수 있다.
- [0038] 이 결과, 본 발명에 따른 REBCO 초전도층의 직접 접촉 및 고상접합에 의한 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 구조 및 그 방법은 초전도성 회복을 위한 산소 가압 조건에서의 어닐링 공정이 필요 없을 뿐만 아니라, 초전도 접합 공정 중 접합 부위의 산화방지 등을 위한 외부 가스 공급 등의 공정이 불필요하므로, 공정 시간 및 비용을 획기적으로 절감할 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

- [0040] 도 1은 일반적인 2세대 REBCO 고온 초전도체를 나타낸 모식도.
- 도 2는 일반적인 REBCO 고온 초전도체의 접합 방법의 예들을 개략적으로 나타낸 단면도.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 방법을 나타낸 공정 순서도.
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 2세대 REBCO 고온 초전도체를 나타낸 사시도.
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 2세대 REBCO 고온 초전도체의 접합 상태를 나타낸 단면도.
- 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 2세대 REBCO 고온 초전도체가 저온에서 접합이 가능한 이유를 설명하기 위한 모식도.
- 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 2세대 REBCO 고온 초전도체의 접합 부위에 대해 4단자(4-point probe)법으로 V-I 측정된 결과를 나타낸 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0041] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예를 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성요소를 지칭한다.
- [0042] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 REBCO 초전도층의 직접 접촉 및 고상접합에 의한 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 방법에 관하여 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0043] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 방법을 나타낸 공정 순서도이고, 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 2세대 REBCO 고온 초전도체를 나타낸 사시도이며, 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 2세대 REBCO 고온 초전도체의 접합 상태를 나타낸 단면도이다.
- [0044] 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 방법은 예칭 단계(S210), 직접 접촉 단계(S220) 및 접합 단계(S230)를 포함한다.
- [0046] 예칭
- [0047] 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이, 예칭 단계(S210)에서는 2개의 2세대 REBCO 고온 초전도체(200)들의 안정화층(240)을 각각 예칭하여 안정화층(240) 하부의 REBCO 초전도층(230)의 일부를 각각 노출시킨다.
- [0048] 도 4에 도시된 바와 같이, 2세대 REBCO 고온 초전도체(200) 각각은 기판(210)과, 기판(210) 상에 배치된 버퍼층(220)과, 버퍼층(220) 상에 배치된 REBCO 초전도층(230)과, REBCO 초전도층(230) 상에 배치된 안정화층(240)을 포함할 수 있다.

- [0049] 여기서, 기판(210)은 Ni, Cu, Ni 합금 및 Cu 합금 등의 금속계 물질로 이루어질 수 있으며, 압연 및 열처리를 통하여 큐브 집합조직(Cube texture)으로 형성될 수 있다. 이때, 기판(210)은 10 ~ 100 μ m의 두께를 가질 수 있다.
- [0050] 버퍼층(220)은 Al₂O₃, ZrO₂, CeO₂, YSZ(Yttria-stabilized zirconia), Y₂O₃, HfO₂, MgO, LMO(LaMnO₃) 등을 1종 이상 포함하는 재료로 형성될 수 있다. 버퍼층(220)은 100 ~ 300nm의 두께를 가질 수 있다. 이러한 버퍼층(220)은 단일층 또는 다수의 층으로 이루어질 수 있으며, 기판(210) 상에 에피택셜(Epitaxial)하게 적층될 수 있다. 이때, 도 4에서는 5개의 버퍼층(220a, 220b, 220c, 220d, 220e)이 기판(210) 상에 에피택셜하게 적층된 구조를 일 예로 나타낸 것이다.
- [0051] REBCO 초전도층(230)은 초전도체인 REBCO(REBa₂Cu₃O_{7-x}, 여기서 RE는 희토류 원소, 0 ≤ x ≤ 0.6)로 이루어진다. 즉, RE : Ba : Cu의 몰 비율은 1 : 2 : 3이고, 이에 대한 산소(O)의 몰비율(7-x)은 6.4 이상인 것이 바람직하다. REBCO에서 희토류 원소 1몰에 대한 산소(O)의 몰비율이 6.4 미만일 경우 REBCO의 초전도성을 상실하여 상전도체로 변화될 수 있기 때문이다.
- [0052] REBCO를 구성하는 물질 중에서 희토류 원소(RE)는 대표적으로 이트륨(Y)을 제시할 수 있으며, 이외에도 Nd, Gd, Eu, Sm, Er, Yb, Tb, Dy, Ho, Tm 등에서 선택될 수 있다.
- [0053] 안정화층(240)은 과전류시 REBCO 초전도층(230)을 보호하는 등 REBCO 초전도층(230)을 전기적으로 안정화시키기 위하여 REBCO 초전도층(230) 상부면에 적층되어, 과전류가 흐를 때 REBCO 초전도층(230)을 보호하는 역할을 한다. 안정화층(240)은 전기저항이 상대적으로 낮은 Ag, Cu 등으로 형성되는데, 예를 들어 Ag층(240a) 혹은 Cu층(240b)과 같은 단층으로 형성되거나 Ag층(240a)과 Cu층(240b)이 적층된 형태로 형성될 수 있다.
- [0054] 또한, 안정화층(240)은 REBCO 초전도층(230) 상부면과 더불어, 기판(210)의 하부면에도 적층되어 있을 수 있다. 기판(210)의 하부면에 적층된 안정화층(240) 역시 Ag층(240a) 혹은 Cu층(240b)과 같은 단층으로 형성되거나, Ag층(240a)과 Cu층(240b)이 적층된 형태로 형성될 수 있다.
- [0055] 여기서, 2세대 REBCO 고온 초전도체(200)는 전체 두께가 0.1mm 이하로 얇게 형성되는 것이 바람직하다.
- [0057] 직접 접촉
- [0058] 도 3 및 도 5에 도시된 바와 같이, 직접 접촉 단계(S220)에서는 2세대 REBCO 고온 초전도체(200)들의 노출된 REBCO 초전도층(230)들을 대칭 구조의 맞대기 형태로 직접 접촉시킨다.
- [0059] 이와 같이, 본 발명에서는 2세대 REBCO 고온 초전도체(200)들의 안정화층(240)을 선택적인 에칭으로 제거하여 안정화층(240) 하부로 노출된 REBCO 초전도층(230)들 상호 간을 대칭 구조로 엇갈려 맞대기 형태로 직접 접촉이 이루어지도록 배열하게 된다.
- [0060] 노출된 REBCO 초전도층(230)들은 계면 간의 고상접합이 이루어지도록 하기 위해, 안정화층(240)을 에칭할 시, 접합 부위(J)의 Ag층(240a) 및 Cu층(240b)은 반드시 완벽하게 제거되어야 한다. 이러한 안정화층(240)의 에칭 후 노출된 REBCO 초전도층(230)들의 표면에는 불순물이 절대로 없도록 철저히 제어하는 것이 바람직하다.
- [0062] 접합
- [0063] 도 3 및 도 5에 도시된 바와 같이, 접합 단계(S230)에서는 REBCO 초전도층(230)들이 직접 접촉된 2세대 REBCO 고온 초전도체(200)들의 접합 부위(J)를 가열 및 가압하여 접합시킨다.
- [0064] 이에 따라, 노출된 REBCO 초전도층(230)들은 서로 간이 직접 접촉된 상태에서 접합되어, 공유결합이 이루어진다. 따라서, 본 발명에서는 노출된 REBCO 초전도층(230)들 사이에 솔더를 비롯한 상전도 물질을 사용하는 것 없이, 고상결합에 의해 REBCO 초전도층(230)들 간이 직접 접합으로 공유결합이 이루어지므로 접합 부위(J)의 저항이 증가할 염려가 없게 된다.
- [0065] 본 단계에서, 접합은 2세대 REBCO 고온 초전도체(200)의 결정구조인 오르소홉빅(Orthorhombic) 구조가 초전도체 특성을 잃어버리는 테트라고날(Tetragonal) 구조로 바뀌기 시작하는 온도 이하에서 실시한다.
- [0066] 이를 위해, 접합은 2세대 REBCO 고온 초전도체(200)들의 접합 부위(J)를 400℃ 미만의 온도로 가열하면서 20 ~ 100MPa의 압력으로 가압하는 것이 바람직하다.
- [0067] 여기서, 가열은 세라믹 히터 및 인덕션 히터 중 어느 하나 이상의 열원을 이용할 수 있으며 할로겐 램프와 같은

열원도 사용할 수 있다.

- [0068] 본 단계에서, 공유결합의 경우 원자간에 접촉이 가능할 정도로 가압력을 높여주어야 하기 때문에 부분 고상확산 접합 보다 높은 가압력을 인가하는 것이 바람직하다.
- [0069] 또한, 접합은 2시간 이내로 실시하는 것이 바람직하다. 이와 같이, 접합 시간이 2시간 이내의 단 시간으로 이루어지는데, 이는 대략 1달 정도 소요되는 고상확산접합과 달리 공유 결합의 경우에는 확산에 의한 접합이 아니라 고상 접합이기 때문에 가능한 것이다.
- [0070] 접합 부위(J)의 가압은 REBCO 초전도층(230)의 표면 밀착 및 원자 확산을 가속시키기 위해 실시하게 된다. 또한, 접합 부위(J)의 가압은 접합 시 접합 부위(J)에 발생할 수 있는 여러 결함들을 제거하고 접촉면적을 확장시키기 위함이다. 이때, 가압은 하중이나 공기, 유압 혹은 수압 실린더를 이용하여 실시할 수 있다. 접합 부위(J)의 가압 시, 가압력이 20MPa 미만일 경우에는 가압 효과가 불충분하여 접촉면이 완전히 접촉할 수 없다. 반대로, 가압력이 100MPa를 초과할 경우에는 REBCO 물질이 세라믹이기 때문에 균열이 발생할 수 있을 뿐만 아니라, 소성변형을 일으켜 저항에 영향을 미칠 우려가 있으므로 바람직하지 못하다.
- [0072] 한편, 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 2세대 REBCO 고온 초전도체가 저온에서 접합이 가능한 이유를 설명하기 위한 모식도로, 도 5와 연계하여 보다 구체적으로 설명하도록 한다.
- [0073] 도 5 및 도 6에 도시된 바와 같이, 2개의 2세대 REBCO 고온 초전도체(200)들이 대칭 구조의 맞대기 형태로 접합되어 있으며, 2세대 REBCO 고온 초전도체(200)들의 노출된 REBCO 초전도층(230)들이 직접 접촉된 상태로 접합되어 있을 것을 알 수 있다.
- [0074] 이때, REBCO 고온 초전도층(230)들이 400℃ 미만의 저온에서 초전도 접합이 이루어지는 이유는 산소의 공유 결합에 의한 전자의 공유에 의해 발생된다. 산소의 공유 결합의 경우, 현재 원자가 결합이론(valance bond model)은 분자 오비탈 모델(molecular orbital model)로 설명된다.
- [0075] 공유 결합이란 등극 결합이라고도 하며, 양자역학에 의하면 전자를 교환함으로써 생기는 교환에너지를 말한다. 2개의 전자 사이에 걸치는 안정된 결합성 오비탈에 2개의 전자가 함께 들어가는 것으로 설명된다. 일반적으로, 수소, 탄소, 산소, 황 등의 원자가 공유 결합을 만들기 쉽다($H - H$, $O = O$, $N \equiv N$, $C \equiv C$).
- [0076] 즉, 공유 결합 > 수소 결합 > 반데르발스 힘(결합: 원자간 상호 작용, 힘: 분자간 상호 작용)의 순서로 결합력의 세기에서 차이를 보인다.
- [0077] 이와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 2세대 REBCO 고온 초전도체(200)는 2세대 REBCO 고온 초전도체(200)들의 노출된 REBCO 초전도층(230)들이 400℃ 미만의 저온에서 직접 접촉된 상태로 접합이 이루어진다.
- [0078] 이와 같이, 400℃ 미만의 저온에서 직접 접합에 의한 공유 결합으로 접합이 이루어지기 때문에 2세대 REBCO 고온 초전도체(200)의 결정구조가 테트라고날(Tetragonal) 결정 구조로 바뀔 염려가 없어 초전도체 특성을 그대로 유지하는 것이 가능해질 수 있다.
- [0079] 이 결과, 본 발명에서는 초전도성 회복을 위한 산소 가압 조건에서의 어닐링 공정이 불필요할 뿐만 아니라, 초전도 접합 공정 중 접합 부위(J)의 산화방지 등을 위한 외부 가스 공급 등의 공정이 불필요하므로, 공정 시간 및 비용을 획기적으로 절감할 수 있게 된다.
- [0081] 한편, 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 2세대 REBCO 고온 초전도체의 접합 부위에 대해 4단자(4-point probe)법으로 V-I 측정 결과를 나타낸 그래프이다.
- [0082] 도 7에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 2세대 REBCO 고온 초전도체의 접합 부위에 대해 4단자(4-point probe)법으로 V-I를 측정한 결과, 임계전류 $1\mu V/cm$ 의 측정기준에 따라 측정결과 약 93A를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다. 선재 고유의 임계전류는 93A 이었으므로 접합부에서 선재 고유의 임계전류 손실이 없이 초전도 특성이 100% 회복된 것을 확인하였다.
- [0084] 지금까지 살펴본 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 REBCO 초전도층의 직접 접촉 및 고상접합에 의한 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 구조 및 그 방법은 2세대 REBCO 고온 초전도체들의 노출된 REBCO 초전도층들이 400℃ 미만의 저온에서 직접 접촉된 상태로 접합이 이루어지는 것에 의해 단시간 내에 접합이 이루어질 수 있다.
- [0085] 아울러, 본 발명의 실시예에 따른 REBCO 초전도층의 직접 접촉 및 고상접합에 의한 2세대 REBCO 고온 초전도체

의 영구전류모드 접합 구조 및 그 방법은 400℃ 미만의 저온에서 직접 접합에 의한 공유 결합으로 접합이 이루어지는 것에 의해 2세대 REBCO 고온 초전도체의 결정구조가 테트라고날(Tetragonal) 결정 구조로 바뀔 염려가 없어 초전도체 특성을 상실하는 것 없이 그대로 유지될 수 있다.

[0086] 이 결과, 본 발명의 실시예에 따른 REBCO 초전도체층의 직접 접촉 및 고상접합에 의한 2세대 REBCO 고온 초전도체의 영구전류모드 접합 구조 및 그 방법은 초전도성 회복을 위한 산소 가압 조건에서의 어닐링 공정이 필요 없을 뿐만 아니라, 초전도 접합 공정 중 접합 부위의 산화방지 등을 위한 외부 가스 공급 등의 공정이 불필요하므로, 공정 시간 및 비용을 획기적으로 절감할 수 있게 된다.

[0088] 이상에서는 본 발명의 실시예를 중심으로 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 기술자의 수준에서 다양한 변경이나 변형을 가할 수 있다. 이러한 변경과 변형은 본 발명이 제공하는 기술 사상의 범위를 벗어나지 않는 한 본 발명에 속한다고 할 수 있다. 따라서 본 발명의 권리범위는 이하에 기재되는 청구 범위에 의해 판단되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0090] 200 : 2세대 고온 초전도체

210 : 기판

220 : 버퍼층

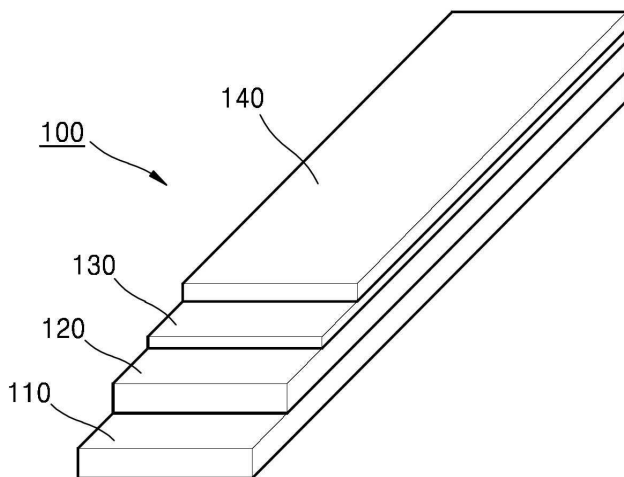
230 : REBCO 초전도체층

240 : 안정화층

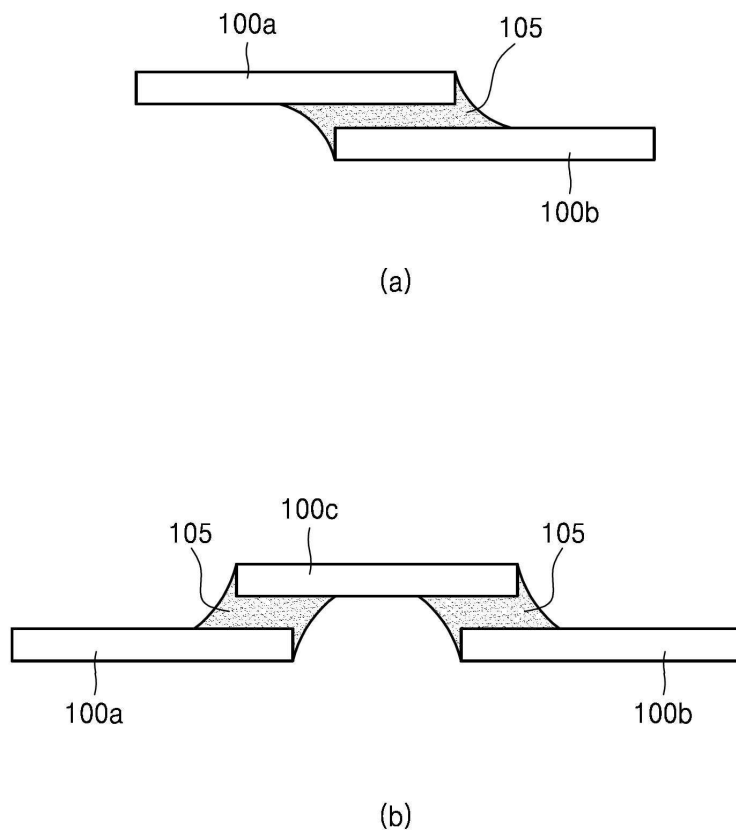
J : 접합 부위

도면

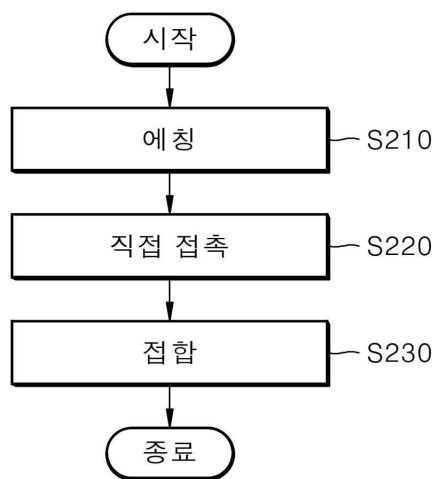
도면1



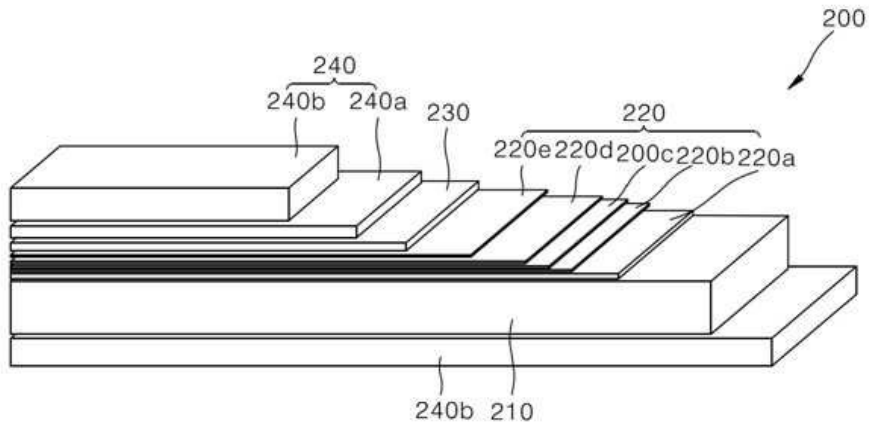
도면2



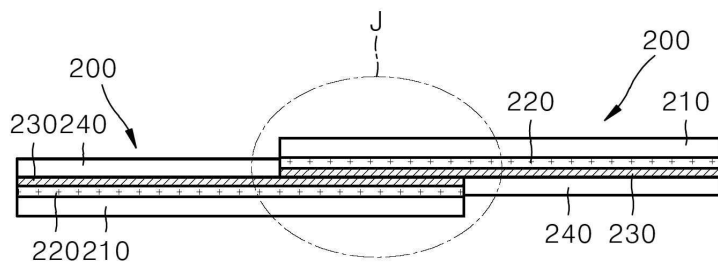
도면3



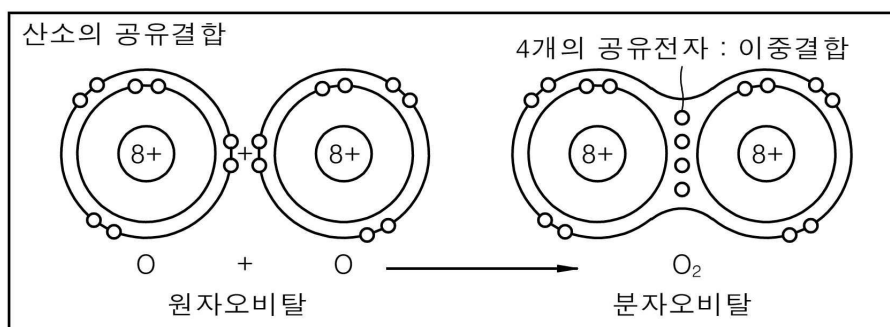
도면4



도면5



도면6



도면7

