(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0015189
(43) 공개일자 2014년02월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01F 6/00 (2006.01) *H01B 12/00* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0083252
(22) 출원일자 2013년07월16일
심사청구일자 2013년07월16일
(30) 우선권주장
1020120081705 2012년07월26일 대한민국(KR)

(71) 출원인
이화여자대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
(72) 발명자
조원렴
서울 강남구 압구정로29길 71, 21동 704호 (압구정동, 현대아파트)
(74) 대리인
특허법인엠에이피에스

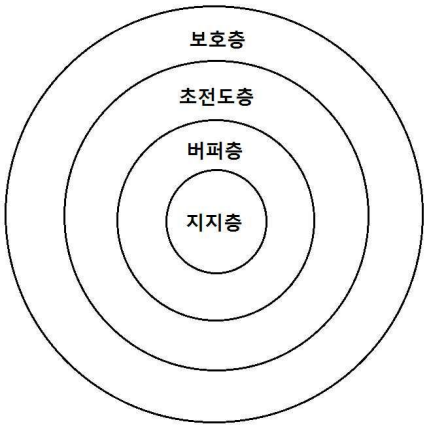
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 **철-기반 초전도 재료, 및 이의 제조 방법**

(57) 요 약

금속 지지층, 및 상기 금속 지지층 상에 형성된 철-기반 초전도층을 포함하는 철-기반 초전도 재료, 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1b



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2012-0004826
부처명	교육과학기술부
연구사업명	미래유망 융합기술 파이오니아사업
연구과제명	환경친화형 에너지생산용 고성능 초전도체 개발
기 여 율	1/1
주관기관	이화여자대학교 산학협력단
연구기간	2012.04.01 ~ 2012.07.31

특허청구의 범위

청구항 1

금속 지지층, 및 상기 금속 지지층 상에 형성된 철-기반 초전도층을 포함하는 철-기반 초전도 재료로서,

상기 철-기반 초전도층은 철-기반 초전도 화합물을 포함하는 것이고, 상기 철-기반 초전도 화합물은 $BaFe_2As_2$, $CaFe_2As_2$, $LaFe_2As_2$, $SrFe_2As_2$, $Sr_4V_2O_8Fe_2As_2$, NaFeAs, LiFeAs, $FeSe_{1-x}Te_x$, $SmFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}$, $TbFeAsO_{1-x}$, $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$, $BaFe_2As_{2-y}P_y$, 또는 $BaFe_{2-y}Pt_yAs_2$를 함유하며, 여기에서 x의 범위는 0<x<1이고 y의 범위는 0<y<2인,

철-기반 초전도 재료.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 금속 지지층은, Ni, Ti, Zr, Cu, Ag, Al, Zn, Sn, B, Mo, Ta, W, 또는 이들 중 2 개 이상의 합금을 포함하는 것인, 철-기반 초전도 재료.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 금속 지지층과 상기 철-기반 초전도층 사이에 버퍼층을 추가 포함하는, 철-기반 초전도 재료.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 버퍼층은 FeAs, FeSe, FeTe, Y_2O_3, ZrO_3, 및 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것인, 철-기반 초전도 재료.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 철-기반 초전도층 상에 보호층을 추가 포함하는, 철-기반 초전도 재료.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 보호층은 In, Sn, Ag, Zn, Cu, Al, Pt, 또는 이들 중 2 개 이상의 합금을 포함하는 것인, 철-기반 초전도 재료.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 철-기반 초전도 화합물에 포함된 알칼리토금속의 일부가 Co, Ni, Mn, Na, 또는 K로 치환된 것인, 철-기반 초전도 재료.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 철-기반 초전도층의 두께는 100 nm 내지 10 mm인, 철-기반 초전도 재료.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

철-기반 초전도 선재(wire) 또는 철-기반 초전도 박막을 포함하는, 철-기반 초전도 재료.

청구항 10

제 1 항 내지 제 9 항 중 어느 한 항의 철-기반 초전도 재료를 포함하는,

동축 케이블.

청구항 11

금속 지지층 상에 철-기반 초전도층을 형성하는 것을 포함하는 철-기반 초전도 재료의 제조 방법으로서,

상기 철-기반 초전도층은 철-기반 초전도 화합물을 포함하는 것이고, 상기 철-기반 초전도 화합물은 $BaFe_2As_2$, $CaFe_2As_2$, $LaFe_2As_2$, $SrFe_2As_2$, $Sr_4V_2O_8Fe_2As_2$, NaFeAs, LiFeAs, $FeSe_{1-x}Te_x$, $SmFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}$, $TbFeAsO_{1-x}$, $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$, $BaFe_2As_{2-y}P_y$, 또는 $BaFe_{2-y}Pt_yAs_2$를 함유하며, 여기에서 x의 범위는 $0<x<1$이고 y의 범위는 $0<y<2$인,

철-기반 초전도 재료의 제조 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 금속 지지층이 압연 사출법을 통해 형성되는 것을 포함하는, 철-기반 초전도 재료의 제조 방법.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 철-기반 초전도층을 형성하기 전에 상기 금속 지지층 상에 버퍼층을 형성하는 것을 추가 포함하는, 철-기반 초전도 재료의 제조 방법.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 버퍼층은 화학기상증착법(Chemical vapor deposition), 화학용액증착법(Chemical solution deposition), 스퍼터링 방법, 전자-빔 증착법, 또는 용액 코팅법을 통해 형성되는 것을 포함하는, 철-기반 초전도 재료의 제

조 방법.

청구항 15

제 11 항에 있어서,

상기 철-기반 초전도층 상에 보호층을 형성하는 것을 추가 포함하는, 철-기반 초전도 재료의 제조 방법.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 보호층은 동시 증발법(co-evaporating), 스퍼터링 방법, 전자-빔 증착법, 또는 전기 도금법을 통해 형성되는 것을 포함하는, 철-기반 초전도 재료의 제조 방법.

청구항 17

제 11 항에 있어서,

상기 철-기반 초전도층은 화학기상증착법의 단일 공정을 통해 형성되는 것을 포함하는, 철-기반 초전도 재료의 제조 방법.

청구항 18

제 11 항에 있어서,

상기 철-기반 초전도층은 동시 증발법, 및 후속 열처리 공정을 통해 형성되는 것을 포함하는, 철-기반 초전도 재료의 제조 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본원은, 금속 지지층, 및 상기 금속 지지층 상에 형성된 철-기반 초전도층을 포함하는 철-기반 초전도 재료, 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 고온 초전도 재료는, 메모리 소자, 미세 자기장을 탐지하는 초전도 양자 간섭 소자(SQUIDs)를 이용하는 의료용 정밀 진단 장비, 위성 통신에 사용하는 마이크로파 통신 장비, 조셉슨 소자, 케이블, 한류기(current limiter), 마그네트 등의 전력기기 등 다양한 산업 분야에서 응용 가능한 물질이다. 예를 들어, 고온 초전도 선재(wire) 또는 고온 초전도 박막 등이 상기 고온 초전도 재료에 포함되며, 상기 고온 초전도 선재에 관해서는 대한민국등록특허 제10-0564945호 "초전도 선재의 제조 방법" 등의 연구가 있었다.

[0003] 상기 고온 초전도 선재로서, 제 1 세대(1G: 1st generation) 선재인 Bi-계 선재, 및 제 2 세대(2G: 2nd generation) 선재인 Y-계 선재가 개발된 바 있다. 이 중, 상기 제 1 세대 선재인 Bi-계 선재의 경우, BSCCO(Bi_2-Sr_2-Ca_2-Cu_3-O_{10})를 주 재료로서 포함하며, 주로 복합 다심선 형태로 제조되어 임계전류밀도(Jc)가 낮다는 단점을 보유한다. 한편, 상기 제 2 세대 선재인 Y-계 선재의 경우, YBCO(Y_1-Ba_2-Cu_3-O_7)를 주 재료로서 포함하며, 주로 박막 형태로 제조되어 단결정에 가까운 임계전류밀도(Jc)를 가지게 되었으나, 기계적 성질이 약하고 복잡한 층상구조가 요구되며 이에 따라 비용 절감이 어렵다는 단점을 보유한다.

[0004] 상기 제 1 세대 선재 및 상기 제 2 세대 선재는 모두 구리 산화물을 초전도층으로서 포함하는데, 이처럼 구리

산화물을 초전도층으로서 포함할 경우 세라믹으로서의 기계적 성질이 약하여 장선재로서 활용할 경우 잘 휘어지지 않고 부서질 수 있다는 문제점이 있다. 또한, 이처럼 구리 산화물을 초전도층으로서 포함할 경우에는 이축 배향성(biaxial texture)을 가져야 하므로 하부 기재 구조가 복잡해지고 이에 따라 고비용이 요구된다는 문제점이 있다. 또한, 이처럼 구리 산화물을 초전도층으로서 포함할 경우에는 상부의 보호층으로서 반드시 은(Ag)을 사용해야 하는데, 이 경우 은의 비용 때문에 전반적인 가격 경쟁력이 저하된다는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명자들은, 제 3 세대(3G: 3rd generation) 재료로서 철-기반 초전도층을 포함하는 초전도 재료를 제조하여 이용하는 경우, 종래의 제 1 세대 및 제 2 세대의 구리 산화물-기반 초전도 재료가 보유하였던 문제점들을 해결할 수 있음을 발견하여 본원을 완성하였다.

[0006] 이에, 본원은, 금속 지지층, 및 상기 금속 지지층 상에 형성된 철-기반 초전도층을 포함하는 철-기반 초전도 재료, 및 이의 제조 방법을 제공한다.

[0007] 그러나, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제에 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본원의 제 1 측면은, 금속 지지층, 및 상기 금속 지지층 상에 형성된 철-기반 초전도층을 포함하는 철-기반 초전도 재료로서, 상기 철-기반 초전도층은 철-기반 초전도 화합물을 포함하는 것이고, 상기 철-기반 초전도 화합물은 $BaFe_2As_2$, $CaFe_2As_2$, $LaFe_2As_2$, $SrFe_2As_2$, $Sr_4V_2O_8Fe_2As_2$, NaFeAs, LiFeAs, $FeSe_{1-x}Te_x$, $SmFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}$, $TbFeAsO_{1-x}$, $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$, $BaFe_2As_{2-y}P_y$, 또는 $BaFe_{2-y}Pt_yAs_2$를 함유하며, 여기에서 x의 범위는 0<x<1이고 y의 범위는 0<y<2인 철-기반 초전도 재료를 제공한다.

[0009] 본원의 제 2 측면은, 상기 본원의 제 1 측면의 철-기반 초전도 재료를 포함하는 동축 케이블을 제공한다.

[0010] 본원의 제 3 측면은, 금속 지지층 상에 철-기반 초전도층을 형성하는 것을 포함하는 철-기반 초전도 재료의 제조 방법으로서, 상기 철-기반 초전도층은 철-기반 초전도 화합물을 포함하는 것이고, 상기 철-기반 초전도 화합물은 $BaFe_2As_2$, $CaFe_2As_2$, $LaFe_2As_2$, $SrFe_2As_2$, $Sr_4V_2O_8Fe_2As_2$, NaFeAs, LiFeAs, $FeSe_{1-x}Te_x$, $SmFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}$, $TbFeAsO_{1-x}$, $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$, $BaFe_2As_{2-y}P_y$, 또는 $BaFe_{2-y}Pt_yAs_2$를 함유하며, 여기에서 x의 범위는 0<x<1이고 y의 범위는 0<y<2인 철-기반 초전도 재료의 제조 방법을 제공한다.

발명의 효과

[0011] 본원의 방법에 따라 철-기반 초전도층을 포함하는 초전도 재료를 제조하여 이용하는 경우, 종래의 구리 산화물-기반 초전도 재료가 보유하였던 문제점들을 해결할 수 있다는 이점이 있다.

[0012] 구체적으로, 종래의 구리 산화물-기반 초전도 재료는 세라믹으로서의 기계적 성질이 약하여 장선재로서 활용할 경우 잘 휘어지지 않고 부서질 수 있다는 문제점이 있었던 반면, 상기 본원의 철-기반 초전도 재료의 경우 상기 구리 산화물-기반 초전도 재료에 비해 향상된 기계적 성질을 보유하므로 장선재로서 활용하는 경우에는 부서지지 않고 휘어지도록 할 수 있다. 즉, 본원의 철-기반 초전도 재료는 종래의 구리 산화물-기반 초전도 재료에 비해 기계적 성질이 우수하다는 것인데, 초전도 재료의 우수한 기계적 성질은 응용기기 제작 시 가장 중요하게 요구되는 것으로서 강도가 높고 유연성이 있는 재료여야만 단위 세선의 케이블링과 코일 제작에 유리하지만, 종래의 구리 산화물-기반 초전도 재료를 비롯한 산화물계 초전도 재료의 경우 우수한 기계적 성질을 구현하기 어렵다는 문제점이 있었다. 이에, 본원에서는 산화물계 초전도 재료가 아닌 철-기반 초전도 재료를 이용함으로써 우수한 기계적 성질을 구현하는데 성공적인 성과를 거두었으며, 이처럼 기계적 성질이 우수한 초전도 재료의 경

우 자유자재로 가공하는 것이 용이하다는 이점 또한 보유하게 된다.

[0013] 또한, 종래의 구리 산화물-기반 초전도 재료는 이축 배향성을 가져야 하므로 하부 기재 구조가 복잡해지고 이에 따라 고비용이 요구된다는 문제점이 있었던 반면, 상기 본원의 철-기반 초전도 재료의 경우 비교적 이방성이 적기 때문에 하부 기재 구조를 비교적 단순화할 수 있고 이에 따라 비용 절감이 가능하다는 이점이 있다.

[0014] 또한, 종래의 구리 산화물-기반 초전도 재료는 상부의 보호층으로서 반드시 은(Ag)을 사용해야 하며 이에 따라 고비용이 요구된다는 문제점이 있었던 반면, 상기 본원의 철-기반 초전도 재료의 경우 상부의 보호층을 생략하는 것도 가능하므로 이에 따라 가격 경쟁력을 높일 수 있다. 뿐만 아니라, 본원의 철-기반 초전도 재료는 귀금속이나 희귀한 금속을 필수적으로 포함하는 것이 아니며, 비교적 저렴하고 풍부하게 존재하는 금속 원소들을 이용하여 제조할 수 있는 것이므로, 상용화 가능성이 높다는 이점이 있다.

[0015] 그 외에도, 본원의 철-기반 초전도 재료에서 초전도층으로서 포함되는 철-기반 고온 초전도체는 그 자체로서 최근에 발견된 신물질에 해당하며, 종래의 초전도층에 포함되었던 물질들에 비해 높은 임계전류밀도(Jc: Critical Current Density) 및 높은 상부 임계자기장(Hc2: Critical Magnetic Field)을 가지고 있고, 향후 추가적인 연구를 통하여 지금보다도 더욱 향상된 임계 특성을 확보할 수 있는 가능성이 열려 있다는 이점을 가진다. 이와 관련하여, 임계전류(Ic)라 함은 초전도층을 통해 손실 없이 유효하게 흘릴 수 있는 최대의 전류량을 의미하는 것으로서, 일정 전류 이상에서는 초전도 특성이 사라지기 때문에 존재하는 개념이다. 또한, 임계전류밀도(Jc)라 함은 상기 임계전류(Ic)를 초전도체의 두께와 폭으로 규정할 수 있는 단면적으로 나눈 값을 의미하는 것으로서, 상기 임계전류밀도라는 용어와 상기 임계전류라는 용어는 혼용되어 사용될 수 있다.

[0016] 본원의 철-기반 초전도 재료의 임계전류밀도가 높다는 것은, 특히 초전도 선재로 응용될 때 이점으로 작용할 수 있다. 상기 임계전류밀도가 높으면 적은 단면적으로도 많은 전류를 흘릴 수 있어 적은 선재로도 같은 용량의 전류를 보내거나 같은 세기의 자기장을 발생시킬 수 있게 되므로, 선재 비용이 절감되는 이점, 상기 초전도 선재가 포함되는 기기의 크기와 무게를 감소시켜 기기제작비 절감이 가능하다는 이점, 및 상기 기기의 냉각 부하를 감소시켜 기기의 운전비용 절감이 가능하다는 이점을 기대할 수 있다.

[0017] 또한, 본원의 철-기반 초전도 재료는 임계전류밀도가 높을 뿐만 아니라 자기장 코일에서 자체 발생 자기장에 의한 임계전류밀도 감소율이 작다는 이점도 보유하며, 임계온도가 높아서 고온에서 사용할 수 있다는 이점 또한 보유하는 것이다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1a 및 도 1b는 본원의 일 구현예에 따른 철-기반 초전도층을 포함하는 초전도 재료의 모식도로서, 도 1a는 평판 적층 구조의 초전도 박막의 모식도이고, 도 1b는 동축 적층 구조의 초전도 선재(wire)의 모식도이다.

도 2는 본원의 일 비교예에 따른 구리 산화물-기반 초전도 재료의 적층 구조를 예시적으로 나타낸 것이다.

도 3a 내지 도 3c는 각각, 본원의 일 구현예에 따른 철-기반 초전도 재료에 포함되는 철-기반 초전도층에 포함될 수 있는 일부 철-기반 초전도 화합물들의 입체 화학구조식, 연도별 발전동향, 및 임계온도 관련 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본원이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본원의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본원은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본원을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0020] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다.

[0021] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.

[0022] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성 요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 본원 명세서 전체에서 사용되는 정도의 용어 "약", "실질적으로" 등은 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용오차가 제시

될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다. 본원 명세서 전체에서 사용되는 정도의 용어 "~(하는) 단계" 또는 "~의 단계"는 "~ 를 위한 단계"를 의미하지 않는다.

[0023] 본원 명세서 전체에서, 마쿠시 형식의 표현에 포함된 "이들의 조합"의 용어는 마쿠시 형식의 표현에 기재된 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 혼합 또는 조합을 의미하는 것으로서, 상기 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것을 의미한다.

[0024] 본원 명세서 전체에서, "A 및/또는 B"의 기재는, "A 또는 B, 또는 A 및 B"를 의미한다.

[0025] 본원과 관련하여, "초전도 현상"이란, 어떤 종류의 금속이나 합금을 절대영도(0 K: -273.16℃) 가까이 냉각시켰을 때, 전기 저항이 갑자기 소멸하면서 전류가 아무런 장애 없이 흐르는 현상을 의미한다. 상기 초전도 현상이 일어나는 온도는 금속의 종류에 따라 상이하다. 예를 들어, 수은은 4.2 K에서 초전도 현상을 일으키는 반면, 주석과 니오브의 어떤 종류의 합금은 18 K에서 초전도 현상이 일으키는 것으로 알려져 있다. 현재, 납 및 탈륨을 비롯한 25 종의 금속 원소와 수천 종의 합금 및 화합물에서 초전도 현상이 일어나는 것으로 밝혀져 있다.

[0026] 상기 초전도 현상을 일으키는 금속, 합금, 및 화합물 등을 모두 "초전도체(Superconductor)"라고 부르며, 상기 초전도체는 임계온도 25 K를 기준으로 하여 저온 초전도체(LTS: Low Temperature Superconductor)와 고온 초전도체(HTS: High Temperature Superconductor)로서 분류할 수 있다. 상기 저온 초전도체는 임계온도가 25 K 이하인 물질로서, 액화 헬륨을 이용하여 냉각함으로써 초전도체가 될 수 있다. 상기 저온 초전도체는 선재로서의 가공이 용이하고, 전류 특성이 우수하다는 이점을 가지고 있으나, 헬륨을 사용하여 냉각하는 과정에서 비용이 과다하게 요구된다는 단점이 있다. 반면, 상기 고온 초전도체는 임계온도가 25 K 이상인 물질로서, 액화 질소를 냉매로 사용하여 냉각 비용을 절감함으로써 상용화 가능성을 증대시킬 수 있다는 이점이 있다. 본원의 철-기반 초전도 재료는 상기 고온 초전도체를 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0027] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본원의 구현예 및 실시예를 상세히 설명하나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0028] 본원의 제 1 측면은, 금속 지지층, 및 상기 금속 지지층 상에 형성된 철-기반 초전도층을 포함하는 철-기반 초전도 재료로서, 상기 철-기반 초전도층은 철-기반 초전도 화합물을 포함하는 것이고, 상기 철-기반 초전도 화합물은 $BaFe_2As_2$, $CaFe_2As_2$, $LaFe_2As_2$, $SrFe_2As_2$, $Sr_4V_2O_8Fe_2As_2$, NaFeAs, LiFeAs, $FeSe_{1-x}Te_x$, $SmFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}$, $TbFeAsO_{1-x}$, $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$, $BaFe_2As_{2-y}P_y$, 또는 $BaFe_{2-y}Pt_yAs_2$를 함유하며, 여기에서 x의 범위는 $0<x<1$이고 y의 범위는 $0<y<2$인 철-기반 초전도 재료를 제공한다. 예를 들어, 상기 x의 범위는 약 0.1 내지 약 0.3, 약 0.1 내지 약 0.4, 또는 약 0.1 내지 약 0.5일 수 있으며, 상기 y의 범위는 약 0.1 내지 약 0.7, 약 0.1 내지 약 1.0, 또는 약 0.1 내지 1.3일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 x의 범위는 약 0.1 내지 약 0.4이고, 상기 y의 범위는 약 0.1 내지 약 0.7일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0029] 본원의 제 1 측면의 철-기반 초전도 재료는, 본원의 도 1a 또는 도 1b와 같이 금속 지지층, 버퍼층, 초전도층, 및 보호층이 차례로 적층된 구조를 가지는 것일 수 있으며, 상기 버퍼층 및 상기 보호층은 경우에 따라 생략될 수도 있고 필요에 따라 포함될 수도 있는 것이나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 또한, 본원의 제 1 측면의 철-기반 초전도 재료는 본원의 도 2와 같은 종래의 초전도 재료와는 구성 및 효과가 상이한 것으로서, 개선된 효과를 가지는 것이다.

[0030] 구체적으로, 본원의 제 1 측면은, 구리 산화물-기반 초전도층을 포함하는 것이었던 제 1 세대 및 제 2 세대 초전도 재료와는 달리 철-기반 초전도층을 포함하는 초전도 재료에 관한 것으로서, 종래의 구리 산화물-기반 초전도층을 포함하는 제 1 세대 및 제 2 세대 초전도 재료에 비해 개선된 특성을 보유하는 철-기반 초전도 재료에 관한 것이다. 구체적으로, 본원의 제 1 측면의 철-기반 초전도 재료는, 종래의 구리 산화물-기반 초전도 재료에 비하여 향상된 기계적 성질을 보유하여 장선재로서 활용하는 경우에 부서지지 않고 휘어지도록 할 수 있는 것이고, 비교적 적은 이축 배향성(biaxial texture)을 가지기 때문에 하부 기재 구조를 단순화함으로써 비용을 절감할 수 있는 것이며, 초전도층 상부의 은(Ag) 보호층을 생략함으로써 가격 경쟁력을 높일 수 있는 것이고, 초전도층이 상대적으로 높은 임계전류밀도(Jc) 및 상부 임계자기장(Hc2)을 가진다는 이점을 보유하는 것이나,

본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0031] 종래의 제 1 세대 및 제 2 세대 초전도 재료에 포함되었던 구리 산화물-기반 초전도층이 해결해야 할 여러가지 단점을 보유하는 것임에도 불구하고 장기간 동안 이용되어온 것은, 구리 산화물-기반 초전도층을 대체할만한 초전도체를 찾기 어려웠기 때문이다. 이와 관련하여, 초전도체는 강한 반자성(diamagnetism)을 나타내는 물질로서, 금(Au), 은(Ag), 아연(Zn), 구리(Cu) 등의 금속, 산소를 제외한 대부분의 기체, 유기 물질 등이 상기 반자성을 보유한다. 상기 반자성은 물질에 자기장을 작용시킬 때 자화의 방향이 자기장의 방향과 반대로 생기는 현상을 의미하며, 일반적인 물질에는 반자성이 아주 미약한 수준으로 존재하여 그 물질이 가지는 상자성(paramagnetism)에 묻히는 경향이 있으나, 예외적으로 초전도체에서는 강력한 반자성이 나타난다. 초전도체의 강한 반자성으로 인해, 초전도체는 자석에서 나오는 자기력선을 통과시키지 않고 초전도체의 외부로 밀어내는 성질을 보이는데, 이와 같은 성질은 "마이스너 효과(Meissner's Effect)"라고 하며, 상기 마이스너 효과를 나타내는 반자성을 완전반자성이라고 한다. 종래에는, 철(Fe)이 반자성을 기초로 하는 초전도성을 방해할 정도로 강한 강자성을 갖는 물질이라는 점에서 철-기반 물질은 초전도체로서 이용할 수 없다는 인식이 강했으며, 이에 따라 종래의 구리 산화물-기반 초전도층을 대체할만한 초전도체로서 철-기반 물질이 고려되지 않았다. 그러나, 실제로는, 본원의 철-기반 초전도층을 포함하는 초전도 재료는 높은 임계전류밀도, 높은 상부 임계자기장, 높은 임계온도 및 기타 다양한 이점을 보유하는 것으로서, 종래의 구리 산화물-기반 초전도층을 포함하는 초전도 재료가 보유하였던 단점들을 해소한 것이며, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0032] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 금속 지지층(supporting layer)은, Ni, Ti, Zr, Cu, Ag, Al, Zn, Sn, B, Mo, Ta, W, 또는 이들 중 2 개 이상의 합금을 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 금속 지지층은 니켈(Ni)을 포함하는 합금인 하스텔로이(hastelloy), 스테인리스 스틸, 또는 니켈-텅스텐 합금을 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 또는, 상기 금속 지지층은 구리(Cu)와 아연(Zn)의 합금인 황동을 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 금속 지지층에 포함되는 금속을 상업적으로 구하기 용이하고 가격이 높지 않은 것으로 선택함으로써 본원의 제 1 측면의 철-기반 초전도 재료의 상용화 가능성을 보다 높일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 금속 지지층은 유연성이 있으면서도 비자기적 특성을 가지고, 열팽창 계수가 철-기반 초전도층과 유사한 금속 재료를 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 금속 지지층은, 본원의 제 1 측면의 철-기반 초전도 재료가 도 1a와 같이 평판 적층된 박막 재료일 경우에는 압연 가공법을 이용하여 형성된 평판 구조의 지지층일 수 있고, 또는 본원의 제 1 측면의 철-기반 초전도 재료가 도 1b와 같이 동축 적층된 선재(wire)일 경우에는 압연 사출법을 이용하여 형성된 와이어 구조의 지지층일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 본원의 제 1 측면의 철-기반 초전도 재료가 도 1b와 같이 동축 적층된 선재일 경우, 상기 금속 지지층은 지름이 약 10 ㎛ 내지 약 100 ㎛, 약 10 ㎛ 내지 약 1 ㎜, 약 10 ㎛ 내지 약 10 ㎜, 약 100 ㎛ 내지 약 1 ㎜, 약 100 ㎛ 내지 약 10 ㎜, 또는 약 1 ㎜ 내지 약 10 ㎜일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0033] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 철-기반 초전도 재료는 상기 금속 지지층과 상기 철-기반 초전도층 사이에 버퍼층(buffer layer)을 추가 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 본원의 제 1 측면의 철-기반 초전도 재료는 상기 금속 지지층 및 상기 철-기반 초전도층을 필수적으로 포함하고, 상기 버퍼층은 필요에 따라 선택적으로 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 버퍼층은 상기 금속 지지층과 상기 철-기반 초전도층 사이의 물질 확산을 방지하는 확산 장벽(diffusion barrier)의 역할을 수행하는 동시에 열팽창을 완화하기 위하여 형성되는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 금속 지지층에 포함된 금속이 고온의 조건, 예컨대 상기 철-기반 초전도층이 증착되는 온도에서 상기 철-기반 초전도층으로 확산되는 경우, 상기 철-기반 초전도층의 초전도 임계온도 및/또는 임계전류밀도를 감소시키는 문제점이 발생될 수 있는데, 상기 버퍼층을 형성함으로써 상기 문제점을 미연에 방지하거나 최소한 감소시킬 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 특히, 상기 금속 지지층에 포함된 금속이 상기 철-기반 초전도층에 형성된 격자 구조 내부로 확산되어 들어갈 경우 상기 철-기반 초전도층의 초전도 특성이 급격히 저하되는 문제점이 발생될 수 있는데, 상기 버퍼층을 형성하여 상기 금속 지지층 및 상기 철-기반 초전도층을 물리·화학적으로 분리함으로써 상기 문제점을 미연에 방지하거나 최소한 감소시킬 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 버퍼층의 두께는 약 100 ㎚ 내지 약 1 ㎛, 약 100 ㎚ 내지 약 10 ㎛, 약 100 ㎚ 내지 약 100 ㎛, 약 100 ㎚ 내지 약 1 ㎜, 약 1 ㎛ 내지 약 10 ㎛, 약 1 ㎛ 내지 약 100 ㎛, 약 1 ㎛ 내지 약 1 ㎜, 약 10 ㎛ 내지 약 100 ㎛, 약 10 ㎛ 내지 약 1 ㎜, 또는 약 100 ㎛ 내지 약 1 ㎜일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 버퍼층은 화학기상증착법(Chemical vapor deposition) 또는 화학용액증착법(Chemical solution deposition)을 이용하여 형성되는 것일 수 있고, 또는 스

퍼터링 방법, 전자-빔 증착법, 또는 용액 코팅법을 통해 형성되는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0034] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 버퍼층은 FeAs, FeSe, FeTe, Y_2O_3, ZrO_3, 또는 이들의 조합으로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 버퍼층은 상기 금속 지지층의 금속 이온의 확산 속도가 작은 층이고, 상기 금속 지지층과 열역학적으로 안정한 층이며, 상기 금속 지지층에 대한 접착력이 우수한 층이고, 습윤성(wettability)이 우수한 층이며, 열적 응력과 기계적 응력에 대한 큰 저항성을 가지는 등 기계적 물성이 우수한 층이고, 두께와 미세 구조가 균일한 층이 바람직할 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 버퍼층은 고온에서 화학적 안정성을 가져 상기 철-기반 초전도층과의 불필요한 반응을 방지하는 것이 바람직할 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 철-기반 초전도층과 유사한 격자 상수 값을 가지는 란탄 알루미늄 산화물 단결정 또는 알루미늄 산화물 단결정을 상기 버퍼층으로서 사용할 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0035] 본원의 제 1 측면의 철-기반 초전도 재료에 있어서, 상기 버퍼층 상에 형성되거나, 또는 상기 버퍼층이 생략되는 경우 상기 지지층 상에 형성되는 초전도층(superconducting layer)은 철-기반 초전도층으로서, 종래의 구리 산화물-기반 초전도층의 단점을 상당 부분 해소한 것일 수 있다. 예를 들어, 상기 철-기반 초전도층에는 도 3a 내지 도 3c의 화합물들이 철-기반 초전도 화합물로서 포함될 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 이와 관련하여, 본원의 도 3a는 일부 철-기반 초전도 화합물의 입체 화학구조식을 나타낸 것이고, 도 3b는 일부 철-기반 초전도 화합물의 연도별 발전동향 및 상기 철-기반 초전도 화합물들의 임계온도를 나타낸 그래프이며, 도 3c는 일부 철-기반 초전도 화합물들의 철(Fe) 층에 대한 음이온 높이에 따른 임계온도를 나타낸 그래프이다. 특히, 상기 철-기반 초전도층에는 도 3c의 그래프에 기재되어 있는 화합물들이 철-기반 초전도 화합물로서 포함될 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 철-기반 초전도층은 철-기반 초전도 화합물을 포함하는 것이고, 상기 철-기반 초전도 화합물은 $BaFe_2As_2$, $CaFe_2As_2$, $LaFe_2As_2$, $SrFe_2As_2$, $Sr_4V_2O_8Fe_2As_2$, NaFeAs, LiFeAs, $FeSe_{1-x}Te_x$, $SmFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}$, $TbFeAsO_{1-x}$, $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$, $BaFe_2As_{2-y}P_y$, 또는 $BaFe_{2-y}Pt_yAs_2$를 함유하며, 여기에서 x의 범위는 $0<x<1$이고 y의 범위는 $0<y<2$일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 x의 범위는 약 0.1 내지 약 0.3, 약 0.1 내지 약 0.4, 약 0.1 내지 약 0.5, 약 0.1 내지 약 0.6, 약 0.1 내지 약 0.7, 약 0.1 내지 약 0.8, 또는 약 0.5 내지 약 0.8일 수 있으며, 상기 y의 범위는 약 0.1 내지 약 0.7, 약 0.1 내지 약 1.0, 또는 약 0.1 내지 1.3일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 x의 범위는 약 0.1 내지 약 0.4이고, 상기 y의 범위는 약 0.1 내지 약 0.7일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 도 3c에 기재된 것과 같이, 상기 철-기반 초전도 화합물 중에서 상기 $FeSe_{1-x}Te_x$는 $FeSe_{0.2}Te_{0.8}$ 또는 $FeSe_{0.47}Te_{0.53}$일 수 있고, 상기 $NdFeAsO_{1-x}$는 $NdFeAsO_{0.85}$일 수 있으며, 상기 $TbFeAsO_{1-x}$는 $TbFeAsO_{0.7}$일 수 있고, 상기 $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$는 $Ba_{0.6}K_{0.4}Fe_2As_2$일 수 있으며, 상기 $BaFe_2As_{2-y}P_y$는 $BaFe_2As_{1.36}P_{0.64}$일 수 있고, 상기 $BaFe_{2-y}Pt_yAs_2$는 $BaFe_{1.9}Pt_{0.1}As_2$일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0036] 예를 들어, 상기 철-기반 초전도층은 LaFeAsO와 같은 희토류금속-철-비소 화합물을 포함하는 것일 수 있으며, 상기 LaFeAsO는 LnT_MXO 군(여기에서, Ln은 희토류 금속, T_M은 전이금속, X는 니코겐(pnicogen)족 원소에 해당함)에 속하는 화합물로서 종래의 구리 산화물-기반 초전도층과는 달리 철과 비소의 층이 층상 구조를 이루고 있지 않기 때문에, 종래의 구리 산화물-기반 초전도층에 비해 획기적으로 초전도 전이온도가 높은 초전도층이 될 수 있고 자기장 하에서의 전류 수송 능력 또한 우수할 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 특히, 상기 철-기반 초전도 화합물이 $BaFe_2As_2$, $CaFe_2As_2$, 또는 $LaFe_2As_2$ 등인 경우에는 이들이 단일 음이온을 포함한다는 점에서, 2 개 이상의 서로 다른 음이온을 포함하는 결정 구조의 화합물을 사용했을 경우 발생되는 박막의 에피텍셜 성장이 어렵다는 문제점을 해소하는데 유리할 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0037] 예를 들어, 상기 철-기반 초전도층은 스퍼터링 방법 또는 전자-빔 증착법을 이용하는 코팅 방법, 유기금속 화학기상증착법(MOCVD)을 포함하는 화학기상증착법(CVD), 증발원(effusion cell)을 이용하는 증착법, 또는 동시 증발법(co-evaporating)을 이용하여 형성되는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 철-기반 초전도층이 상기 화학기상증착법을 이용하여 형성되는 경우, 원료 물질로서 $Ba(Thd)_2$, Fe-아미딘(amidinate), 및 AsH_3을 이용하여 상기 철-기반 초전도층에 $BaFe_2As_2$가 포함되도록 할 수 있으며, 상기 철-기반 초전도층은 상기 화학기상증착법의 단일 공정을 통해 형성되는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수

있다. 또는, 예를 들어, 상기 철-기반 초전도층이 상기 동시 증발법을 이용하여 형성되는 경우에는 후속 공정으로서 열처리 공정을 필요로 할 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 또는, 예를 들어, 상기 철-기반 초전도층이 상기 스퍼터링 방법 또는 전자-빔 증착법을 이용하는 코팅 방법을 이용하여 형성되는 경우에는, 예를 들어, 상기 철-기반 초전도층에 포함되는 상기 철-기반 초전도 화합물의 비소(As)를 공급하기 위하여 비소 증발(evaporation), AsH_3 포합(incorporation), 또는 GaAs 어닐링 방법 등을 이용할 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0038] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 철-기반 초전도 재료에 포함되는 상기 철-기반 초전도 화합물에 포함된 알칼리토금속의 일부가 Co, Ni, Mn, Na, 또는 K로 치환된 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 철-기반 초전도 재료에 포함되는 철-기반 초전도층은 초전도 전이의 유도를 위해 전자 또는 정공의 도핑을 필요로 할 수 있고, 상기 알칼리토금속의 일부를 Co, Ni, Mn, Na, 또는 K로 치환하는 것이 상기 초전도 전이의 유도 역할을 할 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 이 경우, 도핑 원료로서 불소(F)를 사용하면 높은 증기압으로 인해 고온의 진공 챔버에서 쉽게 증발해버린다는 문제점을 해소할 수 있다는 이점이 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0039] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 철-기반 초전도층의 두께는 약 100 nm 내지 약 10 mm일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 철-기반 초전도층의 두께는 약 100 nm 내지 약 1 μm, 약 100 nm 내지 약 10 μm, 약 100 nm 내지 약 100 μm, 약 100 nm 내지 약 1 mm, 약 100 nm 내지 약 10 mm, 약 1 μm 내지 약 10 μm, 약 1 μm 내지 약 100 μm, 약 1 μm 내지 약 1 mm, 약 1 μm 내지 약 10 mm, 약 10 μm 내지 약 100 μm, 약 10 μm 내지 약 1 mm, 약 10 μm 내지 약 10 mm, 약 100 μm 내지 약 1 mm, 약 100 μm 내지 약 10 mm, 또는 약 1 mm 내지 약 10 mm일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0040] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 철-기반 초전도 재료는 상기 철-기반 초전도층 상에 보호층(protecting layer)을 추가 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 보호층은 상기 철-기반 초전도층의 직접적인 대기 노출을 막아 산화를 방지하고 상기 철-기반 초전도층을 보호하는 역할을 수행할 수 있으며, 경우에 따라 본원의 제 1 측면의 철-기반 초전도 재료에서 생략될 수도 있고 필요에 따라 상기 철-기반 초전도 재료에 포함될 수도 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 보호층은 동시 증발법, 스퍼터링 방법, 전자-빔 증착법, 또는 전기 도금법을 통해 형성되는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0041] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 보호층은 In, Sn, Ag, Zn, Cu, Al, Pt, 또는 이들 중 2 개 이상의 합금을 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 종래의 구리 산화물-기반 초전도 재료의 경우, 최상부에 은(Ag)을 포함하는 보호층을 필수적으로 포함할 필요가 있어 비용 절감이 어렵다는 단점이 있었던 반면, 본원의 제 1 측면의 철-기반 초전도 재료에는 은(Ag) 보호층이 필수적으로 요구되지 않으므로 상기 보호층을 생략할 수 있고, 또는 은 보다 저렴한 금속을 이용하여 상기 보호층을 형성할 수도 있다는 장점이 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 보호층의 두께는 약 1 μm 내지 약 10 μm, 약 1 μm 내지 약 100 μm, 약 1 μm 내지 약 1 mm, 약 10 μm 내지 약 100 μm, 약 10 μm 내지 약 1 mm, 또는 약 100 μm 내지 약 1 mm일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0042] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 철-기반 초전도 재료는 철-기반 초전도 선재(wire) 또는 철-기반 초전도 박막을 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 재료는 응용되는 형태에 따라 선재, 박막, 벌크 등으로 분류할 수 있으며, 이에 따라 상기 철-기반 초전도 재료 역시 철-기반 초전도 선재, 철-기반 초전도 박막, 철-기반 초전도 벌크 재료 등을 포함할 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 철-기반 초전도 선재는, 특정 온도에서 전기 저항이 0이 되는 철-기반 초전도 재료를 각종 응용 기기에 작용하기 위하여 전선 같은 형태로 가공하는 것을 의미하는 것으로서, 일반적인 도체의 저항은 단면적에 반비례하나 상기 초전도 재료는 전기 저항을 0 또는 그에 가깝게 낮출 수 있다는 점에서 상기 철-기반 초전도 선재는 전류 수송용으로 유용할 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 철-기반 초전도 선재를 이용하여 전선을 제조하는 경우, 상기 전선은 낮은 저항으로 인하여 보다 많은 전류를 전송할 수 있어 전력 수송 효율을 높일 수 있을 뿐만 아니라, 전류 수송 기기 크기의 축소 또한 가능하다는 이점이 있을 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 종래에 전선용으로 주로 사용되었던 구리 선재의 경우, 높은 저항으로 인해 전력이 손실되는 것은 물론이고 상기 전력 손실에 따라 열이 발생되면서 전력 장치가 고온으로 가열되기 때문에 대용량 에너지 관련 장치에 활용되기 어려웠다. 반면, 본원의 제 1 측면에 따른 철-기반 초전도 재료 중 철-기반 초전도 선재를 전선용으로 이용할 경우, 고온 초전도 선재라는 측면에서 상기 종래의 구리 선재에 비해 단위 단

면적당 약 100 배 이상 많은 전류를 거의 전력 손실 없이 흘려 보내는 것이 가능할 수 있으며, 이에 따라 상기 대용량 에너지 관련 장치에 활용하는 과정에도 문제점이 발생되지 않을 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 본원의 고온 초전도 선재 대신 저온 초전도 선재, 예를 들어, 니오븀 계통의 저온 초전도 선재를 이용하여 상기 종래의 구리 선재를 대체하는 경우에는, 상기 저온 초전도 선재의 임계온도가 너무 낮아서 고가의 액체 헬륨이 요구된다는 점에서 경제적으로 현실성이 없을 수 있으나, 본원의 고온 초전도 선재의 경우에는 공기 중에서 충분히 얻을 수 있는 액체 질소를 사용하여 임계온도에 도달할 수 있으므로, 경제적으로도 상용화 가능성이 높을 수 있다. 그러나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0043] 본원의 제 2 측면은, 상기 본원의 제 1 측면의 철-기반 초전도 재료를 포함하는 동축 케이블을 제공한다. 여기에서, 본원의 제 1 측면과 중복되는 부분들에 대해서는 상세한 설명을 생략하였으나, 본원에서 설명한 내용들은 본원의 제 2 측면에서 그 설명이 생략되었더라도 동일하게 적용될 수 있는 것이다.

[0044] 예를 들어, 본원의 제 2 측면의 동축 케이블은, 상기 본원의 제 1 측면의 철-기반 초전도 재료 중에서도 도 1b와 같이 동축 적층된 철-기반 초전도 선재를 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0045] 예를 들어, 본원의 제 1 측면의 철-기반 초전도 재료를 포함하는 본원의 제 2 측면의 동축 케이블의 경우, 본원의 제 1 측면의 철-기반 초전도 재료의 우수한 초전도 특성을 이용하여 교류손실을 감소시킴으로써 대전류 전송 응용분야에서 유용하게 사용될 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 본원의 제 2 측면의 동축 케이블의 단면이 원형에 가까울수록 교류손실이 효과적으로 감소되어 대전류 전송 응용분야에서 유용하게 사용될 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0046] 본원의 제 3 측면은, 금속 지지층 상에 철-기반 초전도층을 형성하는 것을 포함하는 철-기반 초전도 재료의 제조 방법으로서, 상기 철-기반 초전도층은 철-기반 초전도 화합물을 포함하는 것이고, 상기 철-기반 초전도 화합물은 $BaFe_2As_2$, $CaFe_2As_2$, $LaFe_2As_2$, $SrFe_2As_2$, $Sr_4V_2O_8Fe_2As_2$, NaFeAs, LiFeAs, $FeSe_{1-x}Te_x$, $SmFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}$, $TbFeAsO_{1-x}$, $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$, $BaFe_2As_{2-y}P_y$, 또는 $BaFe_{2-y}Pt_yAs_2$를 함유하며, 여기에서 x의 범위는 $0<x<1$이고 y의 범위는 $0<y<2$인 철-기반 초전도 재료의 제조 방법을 제공한다. 예를 들어, 상기 x의 범위는 약 0.1 내지 약 0.3, 약 0.1 내지 약 0.4, 또는 약 0.1 내지 약 0.5일 수 있으며, 상기 y의 범위는 약 0.1 내지 약 0.7, 약 0.1 내지 약 1.0, 또는 약 0.1 내지 1.3일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 x의 범위는 약 0.1 내지 약 0.4이고, 상기 y의 범위는 약 0.1 내지 약 0.7일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0047] 본원의 제 3 측면은 본원의 제 1 측면의 철-기반 초전도 재료를 제조하는 방법에 관한 것으로서, 본원의 제 1 측면과 중복되는 부분들에 대해서는 상세한 설명을 생략하였으나, 본원에서 설명한 내용들은 본원의 제 3 측면에서 그 설명이 생략되었더라도 동일하게 적용될 수 있는 것이다.

[0048] 종래에는, 제 1 세대 고온 초전도 재료를 제조하기 위하여 은(Ag) 파이프 내에 전구체 분말을 채워서 가공하는 PIT(Powder In Tube) 공정을 이용하였고, 제 2 세대 고온 초전도 재료를 제조하기 위하여 CC(Coated Conductor)라고 지칭되는 공정을 이용하였으나, 본원의 제 3 측면은 제 3 세대 고온 초전도 재료의 제조 방법에 관한 것으로서 상기 종래의 방법들과는 다른 방법을 따르는 것일 수 있으며, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0049] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 철-기반 초전도 재료에 포함되는 상기 금속 지지층은 압연 사출법을 통해 형성되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 철-기반 초전도 재료가 본원의 도 1a와 같이 평판 적층된 박막 재료일 경우에는 상기 금속 지지층은 압연 가공법을 이용하여 평판 구조로 형성될 수 있고, 또는 상기 철-기반 초전도 재료가 도 1b와 같이 동축 적층된 선재일 경우에는 상기 금속 지지층은 압연 사출법을 이용하여 와이어 구조로 형성될 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0050] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 철-기반 초전도 재료의 제조 방법은 상기 철-기반 초전도층을 형성하기 전에 상기 금속 지지층 상에 버퍼층을 형성하는 것을 추가 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 버퍼층은 상기 금속 지지층과 상기 철-기반 초전도층과는 달리 필요에 따라 선택적으로 형성되는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0051] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 버퍼층은 화학기상증착법(Chemical vapor deposition), 화학용액증착법

(Chemical solution deposition), 스퍼터링 방법, 전자-빔 증착법, 또는 용액 코팅법을 통해 형성되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0052] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 철-기반 초전도 재료의 제조 방법은 상기 철-기반 초전도층 상에 보호층을 형성하는 것을 추가 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 보호층은 상기 철-기반 초전도층과는 달리 필요에 따라 선택적으로 형성되는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0053] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 보호층은 동시 증발법(co-evaporating), 스퍼터링 방법, 전자-빔 증착법, 또는 전기 도금법을 통해 형성되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0054] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 철-기반 초전도층은 화학기상증착법의 단일 공정을 통해 형성되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 상기 화학기상증착법은 유기금속 화학기상증착법(MOCVD)을 포함하는 것일 수 있으며, 후속 공정이 수행될 필요 없이 단일 공정만으로도 상기 철-기반 초전도층을 형성할 수 있다는 점에서 유용할 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0055] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 철-기반 초전도층은 동시 증발법, 및 후속 열처리 공정을 통해 형성되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0056] 예를 들어, 상기 철-기반 초전도층은 $BaFe_2As_2$, $CaFe_2As_2$, $LaFe_2As_2$, $SrFe_2As_2$, $Sr_4V_2O_8Fe_2As_2$, NaFeAs, LiFeAs, $FeSe_{1-x}Te_x$, $SmFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}$, $TbFeAsO_{1-x}$, $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$, $BaFe_2As_{2-y}P_y$, 또는 $BaFe_{2-y}Pt_yAs_2$ 와 같은 철-기반 초전도 화합물을 포함하는 것으로서, 이처럼 여러 원소를 동시에 함유하는 화합물을 포함하는 초전도층을 형성하기 위하여 EDDC(Evaporation using Drum in Dual Chamber) 방식을 이용할 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 EDDC 방식은 3 개의 구간으로 나누어진 진공 챔버를 이용하는 것일 수 있으며, 상기 3 개 구간은 상부에 있는 반응 챔버, 하부에 있는 증발 챔버, 및 상기 반응 챔버와 상기 증발 챔버 사이의 진공도 차이를 유지하기 위하여 존재하는 차동 펌핑(differential pumping) 구간 역할의 중간 챔버일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 반응 챔버 내에서는 약 5 mTorr의 산소 가스 분위기 하에서 드럼이 존재할 수 있고, 상기 드럼 위에는 폭이 약 4 mm, 두께가 약 0.1 mm 이하인 기재 테이프가 감겨져 장착되어 있어 상기 드럼과 상기 기재 테이프는 동시에 약 1 회전/초의 속도로 회전할 수 있으며, 상기 드럼과 상기 기재 테이프는 약 700℃로 가열되는 것일 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다. 예를 들어, 상기 증발 챔버 내에서는 고온 초전도층을 형성할 수 있는 물질, 예를 들어, 바륨(Ba), 철(Fe), 비소(As) 등의 원소들이 증기 형태로 정확한 성분비를 유지하면서 약 0.01 mTorr의 진공도 하에서 공급될 수 있고, 상기 반응 챔버 내에 있던 기재 테이프가 상기 반응 챔버와 상기 증발 챔버 사이를 회전하는 과정에서 상기 기재 테이프의 표면에 고온 초전도층이 성장될 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0057] 본원에 따른 철-기반 초전도 재료 및 이의 제조 방법은, 초전도 양자 간섭 소자(Superconducting Quamtum Interference Devices, SQUIDs)를 이용하여 인체의 뇌파 또는 심전도 등을 측정하는 의료용 진단 장치 연구에 대한 기반 기술이 될 수 있고, 조셉슨 소자(Josephson circuits), 고주파 소자, 초고속 수퍼 컴퓨터 등에도 이용 가능성이 높으며, 최근 들어 국가 대형 프로젝트로서 수행되고 있는 국제 열핵융합 실험로(International Thermonuclear Experiment Reactor, ITER) 과제에 대한 원천 기술을 제공함으로써 초전도 선재 산업을 활성화시킬 수 있는 기반 기술이 될 수 있으나, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0058] 이하, 본원에 대하여 실시예를 이용하여 보다 더 구체적으로 설명하지만, 본원은 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0059] **[실시예]**

[0060] **1. 철-기반 초전도층을 포함하는 평판 적층 구조의 초전도 박막의 제조**

[0061] 본 실시예 1에 따라 제조된 철-기반 초전도층을 포함하는 평판 적층 구조의 초전도 박막은 도 1a에 모식적으로 나타내었다. 상기 평판 적층 구조의 초전도 박막은 도 1a의 하부에서 상부의 순서, 즉, 최하부의 지지층, 상기 지지층 상의 버퍼층, 상기 버퍼층 상의 초전도층, 상기 초전도층 상의 보호층 순서로 형성되었다.

[0062] 구체적으로, 상기 지지층은 유연성이 있으면서도 비자기적 특성을 가지고, 열팽창 계수가 철-기반 초전도층과

유사한 금속 재료를 이용하여 형성하였으며, 상기 지지층을 형성하기 위한 상기 금속 재료로서는 니켈을 포함하는 합금인 하스텔로이(hastelloy), 스테인리스 스틸, 니켈-텅스텐 합금, 또는 구리와 아연의 합금인 황동을 선택하여 사용하였다. 또한, 상기 지지층은 압연 가공법을 이용하여 평판 구조를 가지도록 형성하였다.

[0063] 다음으로, 상기 버퍼층은 본원의 철-기반 초전도 재료에 반드시 포함되어야만 하는 구성은 아니지만, 본 실시예에서는 철-기반 초전도 재료의 상기 지지층 상에 상기 버퍼층을 먼저 형성하고 그 후에 상기 초전도층이 형성되도록 하여, 상기 버퍼층이 상기 지지층과 상기 초전도층 사이에서 확산 장벽의 역할을 수행할 수 있도록 하였다. 상기 버퍼층을 형성하지 않고 상기 지지층 상에 곧바로 상기 초전도층을 고온 조건에서 증착하는 경우, 상기 지지층에 포함된 금속이 상기 초전도층으로 확산되면서 상기 초전도층의 초전도 임계온도 및/또는 임계전류밀도가 감소되는 문제점이 발생될 수 있고, 특히 상기 지지층에 포함된 금속이 상기 초전도층에 형성된 격자 구조 내부로 확산되어 들어갈 경우에는 상기 초전도층의 초전도 특성이 급격하게 저하되는 문제점이 발생될 수 있다. 이에, 본 실시예에서는 상기 버퍼층을 상기 지지층과 상기 초전도층 사이에 형성함으로써 상기 지지층에 포함된 금속이 상기 초전도층으로 확산되지 않도록 하였다. 또한, 상기 버퍼층은 이와 같은 확산 장벽의 역할 이외에도, 열팽창을 완화하는 역할 또한 수행하였다. 상기 버퍼층은 상기 지지층에 포함된 금속 이온의 확산 속도가 작은 층이고, 상기 지지층과 열역학적으로 안정한 층이며, 상기 지지층에 대한 접착력이 우수한 층이고, 습윤성이 우수한 층이며, 열적 응력과 기계적 응력에 대한 큰 저항성을 가지는 등 기계적 물성이 우수한 층이고, 두께와 미세 구조가 균일한 층이며, 고온에서 화학적 안정성을 가져 상기 초전도층과의 불필요한 반응을 일으키지 않는 층이고, 상기 초전도층과 가능한 유사한 격자 상수 값을 가지는 층이어야 하므로, 이와 같은 상기 버퍼층에 요구되는 조건들을 고려하여 상기 버퍼층에 FeAs, FeSe, 또는 FeTe 중 하나 이상이 포함되도록 하였다. 상기 버퍼층을 형성하기 위해 화학기상증착법(Chemical vapor deposition) 또는 화학용액증착법(Chemical solution deposition)을 이용하였으며, 상기 버퍼층의 두께는 약 100 nm 내지 약 1 μm가 되도록 하였다.

[0064] 다음으로, 상기 버퍼층 상에 상기 초전도층을 형성하였으며, 상기 초전도층에는 다양한 철-기반 초전도체들이 포함될 수 있으나, 본 실시예에서는 상기 초전도층에 특히 $BaFe_2As_2$, $CaFe_2As_2$, $LaFe_2As_2$, $SrFe_2As_2$, $Sr_4V_2O_8Fe_2As_2$, NaFeAs, LiFeAs, $FeSe_{1-x}Te_x$, $SmFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}$, $TbFeAsO_{1-x}$, $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$, $BaFe_2As_{2-y}P_y$, 또는 $BaFe_{2-y}Pt_yAs_2$가 포함되도록 하였다. 상기 $BaFe_2As_2$를 포함하는 상기 초전도층을 형성하기 위하여, $Ba(Thd)_2$, Fe-아미딘(amidinate), 및 AsH_3을 원료 물질로서 이용하고 단일 공정의 화학기상증착법(CVD)을 이용하였다. 또한, 초전도 전이의 유도를 위해, 본 실시예에서는 도핑 원료로서 Co를 사용하여 도핑하였는데, 이는 종래에 도핑 원료로서 사용되었던 F의 경우에는 높은 증기압으로 인해 고온의 진공 챔버에서 쉽게 증발해 버리는 문제점가 있어 이를 해소하기 위한 것이었다. 상기 초전도층의 두께는 약 100 nm 내지 약 10 mm가 되도록 형성하였다.

[0065] 마지막으로, 상기 초전도층 상에 상기 보호층을 형성함으로써 본 실시예의 철-기반 초전도 박막이 도 1a의 모식도와 같은 구조로 완성되도록 하였다. 상기 보호층은 본원의 철-기반 초전도 재료에 반드시 포함되어야만 하는 구성은 아니지만, 본 실시예에서는 상기 초전도층의 직접적인 대기 노출을 막아 산화를 방지하고 상기 초전도층을 보호하는 역할을 수행하도록 하기 위하여 상기 초전도층 상에 상기 보호층을 형성하였다. 상기 보호층에는 In, Sn, Ag, Zn, Cu, Al, Pt, 또는 이들 중 2 개 이상의 합금이 포함되도록 하였으며, 동시 증발법 또는 전기도금법을 이용하여 약 1 μm 내지 약 1 mm 두께의 상기 보호층이 형성되도록 하였다.

[0066] **2. 철-기반 초전도층을 포함하는 동축 적층 구조의 초전도 선재의 제조**

[0067] 본 실시예 2에 따라 제조된 철-기반 초전도층을 포함하는 동축 적층 구조의 초전도 선재는 도 1b에 모식적으로 나타내었다. 상기 동축 적층 구조의 초전도 선재는 도 1b의 동심원의 내부에서 외부의 순서, 즉, 동심원 가장 안쪽의 지지층, 상기 지지층 상의 버퍼층, 상기 버퍼층 상의 초전도층, 상기 초전도층 상의 보호층 순서로 형성되었다.

[0068] 구체적으로, 상기 지지층은 유연성이 있으면서도 비자기적 특성을 가지고, 열팽창 계수가 철-기반 초전도층과 유사한 금속 재료를 이용하여 형성하였으며, 상기 지지층을 형성하기 위한 상기 금속 재료로서는 니켈을 포함하는 합금인 하스텔로이(hastelloy), 스테인리스 스틸, 니켈-텅스텐 합금, 또는 구리와 아연의 합금인 황동을 선택하여 사용하였다. 또한, 상기 지지층은 압연 사출법을 이용하여 와이어 구조를 가지도록 형성하였으며, 그 지름은 약 10 μm 내지 약 10 mm가 되도록 하였다.

[0069] 다음으로, 상기 버퍼층은 본원의 철-기반 초전도 재료에 반드시 포함되어야만 하는 구성은 아니지만, 본 실시예에서는 철-기반 초전도 재료의 상기 지지층 상에 상기 버퍼층을 먼저 형성하고 그 후에 상기 초전도층이 형성되도록 하여, 상기 버퍼층이 상기 지지층과 상기 초전도층 사이에서 확산 장벽의 역할을 수행할 수 있도록 하였다. 상기 버퍼층을 형성하지 않고 상기 지지층 상에 곧바로 상기 초전도층을 고온 조건에서 증착하는 경우, 상기 지지층에 포함된 금속이 상기 초전도층으로 확산되면서 상기 초전도층의 초전도 임계온도 및/또는 임계전류밀도가 감소되는 문제점이 발생될 수 있고, 특히 상기 지지층에 포함된 금속이 상기 초전도층에 형성된 격자 구조 내부로 확산되어 들어갈 경우에는 상기 초전도층의 초전도 특성이 급격하게 저하되는 문제점이 발생될 수 있다. 이에, 본 실시예에서는 상기 버퍼층을 상기 지지층과 상기 초전도층 사이에 형성함으로써 상기 지지층에 포함된 금속이 상기 초전도층으로 확산되지 않도록 하였다. 또한, 상기 버퍼층은 이와 같은 확산 장벽의 역할 이외에도, 열팽창을 완화하는 역할 또한 수행하였다. 상기 버퍼층은 상기 지지층에 포함된 금속 이온의 확산 속도가 작은 층이고, 상기 지지층과 열역학적으로 안정한 층이며, 상기 지지층에 대한 접착력이 우수한 층이고, 습윤성이 우수한 층이며, 열적 응력과 기계적 응력에 대한 큰 저항성을 가지는 등 기계적 물성이 우수한 층이고, 두께와 미세 구조가 균일한 층이며, 고온에서 화학적 안정성을 가져 상기 초전도층과의 불필요한 반응을 일으키지 않는 층이고, 상기 초전도층과 가능한 유사한 격자 상수 값을 가지는 층이어야 하므로, 이와 같은 상기 버퍼층에 요구되는 조건들을 고려하여 상기 버퍼층에 FeAs, FeSe, 또는 FeTe 중 하나 이상이 포함되도록 하였다. 상기 버퍼층을 형성하기 위해 화학기상증착법(Chemical vapor deposition) 또는 화학용액증착법(Chemical solution deposition)을 이용하였으며, 상기 버퍼층의 두께는 약 100 nm 내지 약 1 μm가 되도록 하였다.

[0070] 다음으로, 상기 버퍼층 상에 상기 초전도층을 형성하였으며, 상기 초전도층에는 다양한 철-기반 초전도체들이 포함될 수 있으나, 본 실시예에서는 상기 초전도층에 특히 $BaFe_2As_2$, $CaFe_2As_2$, $LaFe_2As_2$, $SrFe_2As_2$, $Sr_4V_2O_8Fe_2As_2$, NaFeAs, LiFeAs, $FeSe_{1-x}Te_x$, $SmFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}F_x$, $NdFeAsO_{1-x}$, $TbFeAsO_{1-x}$, $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$, $BaFe_2As_{2-y}P_y$, 또는 $BaFe_{2-y}Pt_yAs_2$가 포함되도록 하였다. 상기 $BaFe_2As_2$를 포함하는 상기 초전도층을 형성하기 위하여, $Ba(Thd)_2$, Fe-아미딘(amidinate), 및 AsH_3을 원료 물질로서 이용하고 단일 공정의 화학기상증착법(CVD)을 이용하였다. 또한, 초전도 전이의 유도를 위해, 본 실시예에서는 도핑 원료로서 Co를 사용하여 도핑하였는데, 이는 종래에 도핑 원료로서 사용되었던 F의 경우에는 높은 증기압으로 인해 고온의 진공 챔버에서 쉽게 증발해 버리는 문제점가 있어 이를 해소하기 위한 것이었다. 상기 초전도층의 두께는 약 100 nm 내지 약 10 mm가 되도록 형성하였다.

[0071] 마지막으로, 상기 초전도층 상에 상기 보호층을 형성함으로써 본 실시예의 철-기반 초전도 선재가 도 1b의 모식도와 같은 구조로 완성되도록 하였다. 상기 보호층은 본원의 철-기반 초전도 재료에 반드시 포함되어야만 하는 구성은 아니지만, 본 실시예에서는 상기 초전도층의 직접적인 대기 노출을 막아 산화를 방지하고 상기 초전도층을 보호하는 역할을 수행하도록 하기 위하여 상기 초전도층 상에 상기 보호층을 형성하였다. 상기 보호층에는 In, Sn, Ag, Zn, Cu, Al, Pt, 또는 이들 중 2 개 이상의 합금이 포함되도록 하였으며, 동시 증발법 또는 전기도금법을 이용하여 약 1 μm 내지 약 1 mm 두께의 상기 보호층이 형성되도록 하였다.

[0072] **3. 구리 산화물-기반 초전도 선재(비교예)의 제조**

[0073] 본 실시예에서는, 상기 실시예 1 및 2의 철-기반 초전도 재료와 비교하기 위한 비교예로서 종래 기술에 따른 구리 산화물-기반 초전도층을 포함하는 초전도 선재를 제조하였으며, 그 구조는 도 2에 모식적으로 나타내었다. 상기 도 2의 구리 산화물-기반 초전도 선재는, 하스텔로이(Hastelloy), 알루미늄 산화물(Al_2O_3), 이트륨 산화물(Y_2O_3), IBAD-마그네슘 산화물(MgO), Epi-마그네슘 산화물(MgO), 란탄 망간 산화물($LaMnO_3$), SmBCO, 및 은(Ag) 순서로 형성되었다.

[0074] 구체적으로, 도 2에서 하스텔로이, 알루미늄 산화물, 이트륨 산화물, IBAD-마그네슘 산화물, 및 Epi-마그네슘 산화물은 지지층에 해당하는 부분으로서, 여기에서 상기 하스텔로이 부분은 SUS-테이프 또는 니켈 합금 테이프인 하스텔로이 C276를 이용하여 형성하였으며, 형성 방법으로서는 전해 연마(electro-polishing) 방법을 이용하였다. 또한, 상기 알루미늄 산화물 부분은 확산 방지막(diffusion barrier)에 해당하는 부분으로서 약 50 nm 두께로 전자-빔 증착법을 이용하여 형성되었다. 또한, 상기 이트륨 산화물 부분은 격자 매칭 층(lattice matching layer)에 해당하는 부분으로서 약 7 nm 두께로 전자-빔 증착법을 이용하여 형성되었다. 또한, 상기 IBAD-마그네슘 산화물 부분 및 상기 Epi-마그네슘 산화물 부분은 각각 약 10 nm 두께 및 약 50 nm 두께로 형성

되었으며, 전자-빔 증착법을 이용하였고, 상기 Epi-마그네슘 산화물 부분은 호모 Epi-마그네슘 산화물이 되도록 하였다.

[0075] 다음으로, 도 2에서 란탄 망간 산화물은 버퍼층에 해당하는 부분으로서, 약 20 nm 두께로 형성되었으며, 스퍼터링 방법 또는 물리적 증기증착법(Pulsed Laser Deposition; PLD)을 이용하여 형성하였다.

[0076] 다음으로, 도 2에서 SmBCO는 초전도층에 해당하는 부분으로서, 약 1 nm 내지 약 3 nm 두께로 형성되었으며, EDDC(evaporation using drum in dual chamber; 듀얼 챔버 내에서 드럼을 이용하는 증발법으로서 일종의 반응성 동시 증발법) 또는 다른 RCE(reactive co-evaporation: 반응성 동시 증발법)를 이용하여 형성하였다.

[0077] 마지막으로, 도 2에서 최상부의 은(Ag)은 보호층에 해당하는 부분으로서, 약 1 nm 내지 약 3 nm 두께로 형성되었으며, 직류(DC) 스퍼터링 방법을 이용하여 형성하였다.

[0078] **4. 철-기반 초전도 재료와 구리 산화물-기반 초전도 재료의 특성 대비**

[0079] 상기 실시예 1 및 2에서 본원에 따라 제조한 철-기반 초전도 재료, 및 상기 비교예에서 종래 기술에 따라 제조한 구리 산화물-기반 초전도 재료의 특성을 대비함으로써, 본원의 철-기반 초전도 재료는 종래의 구리 산화물-기반 초전도 재료가 보유하였던 문제점들을 해소한 것임을 확인하였다.

[0080] 구체적으로, 종래의 구리 산화물-기반 초전도 재료는 세라믹으로서의 기계적 성질이 약하여 잘 휘어지지 않고 부서질 수 있다는 문제점을 가지는 반면, 상기 본원의 철-기반 초전도 재료의 경우 상기 구리 산화물-기반 초전도 재료에 비해 향상된 기계적 성질을 보유하므로 부서지지 않고 휘어지도록 할 수 있다는 것을 확인하였다. 즉, 본원의 철-기반 초전도 재료는 종래의 구리 산화물-기반 초전도 재료에 비해 기계적 성질이 우수하며, 이에 따라 동축 케이블 제조 등에 유용하게 적용될 수 있음을 확인하였다.

[0081] 또한, 본원의 철-기반 초전도 재료에 포함되는 철-기반 초전도층은, 종래의 구리 산화물-기반 초전도 재료에 포함되는 초전도층에 비해 높은 임계전류밀도(Jc) 및 높은 상부 임계자기장(Hc2)을 나타낸다는 것을 확인하였다. 상기 임계전류밀도가 높다는 것은, 적은 단면적으로도 많은 전류를 흘릴 수 있어 적은 선재로도 같은 용량의 전류를 보내거나 같은 세기의 자기장을 발생시킬 수 있다는 것을 의미하는 것이므로, 본원의 철-기반 초전도 재료가 이처럼 높은 임계전류밀도를 가진다는 점으로부터 상기 본원의 철-기반 초전도 재료를 포함시켜 기기를 제조하는 경우에는 상기 기기의 크기와 무게를 감소시켜 비용 절감이 가능하며, 상기 기기의 냉각 부하를 감소시켜 기기의 운전비용 절감이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 본원의 철-기반 초전도 재료는 임계전류밀도가 높을 뿐만 아니라 자기장 코일에서 자체 발생 자기장에 의한 임계전류밀도 감소율이 작다는 이점도 보유하며, 임계온도가 높아서 고온에서 사용할 수 있다는 이점 또한 보유하는 것임을 확인할 수 있었다.

[0082] 전술한 본원의 설명은 예시를 위한 것이며, 본원이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본원의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수도 있다.

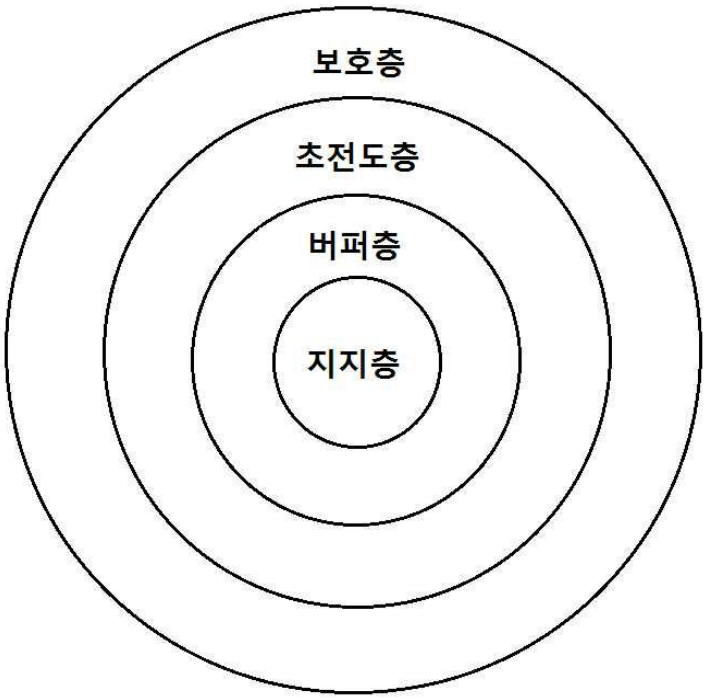
[0083] 본원의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위, 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본원의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

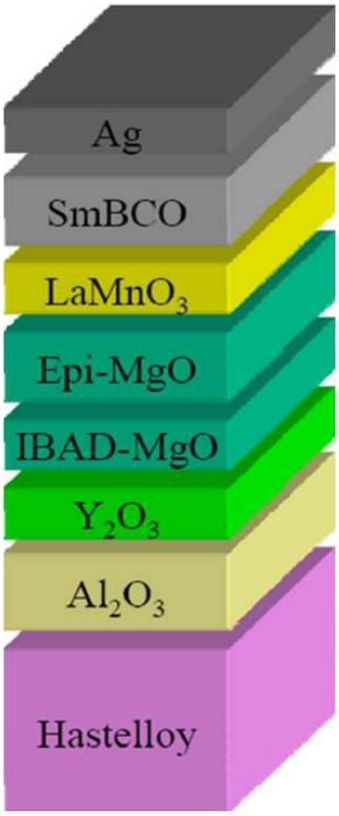
도면1a


보호층 (Protecting Layer)
초전도층 (Superconducting Layer)
버퍼층 (Buffer Layer)
지지층 (Supporting Layer)

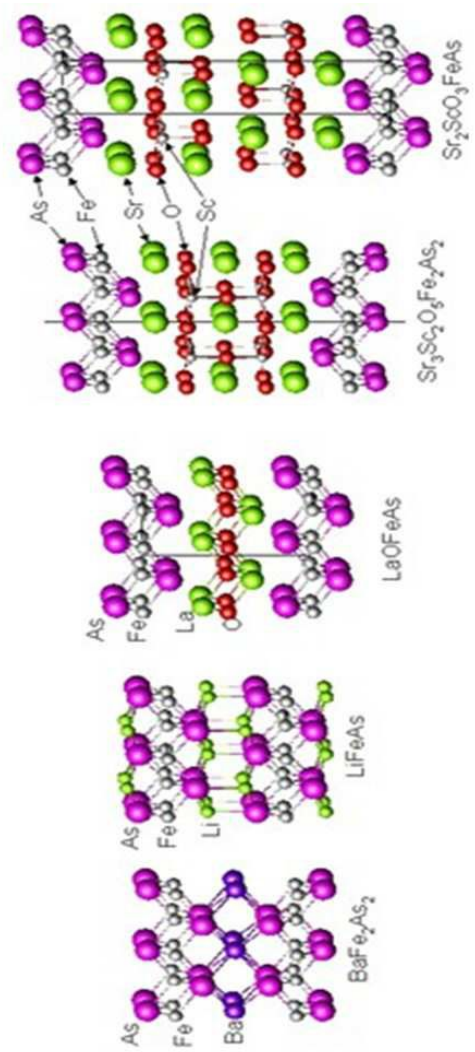
도면1b


보호층
초전도층
버퍼층
지지층

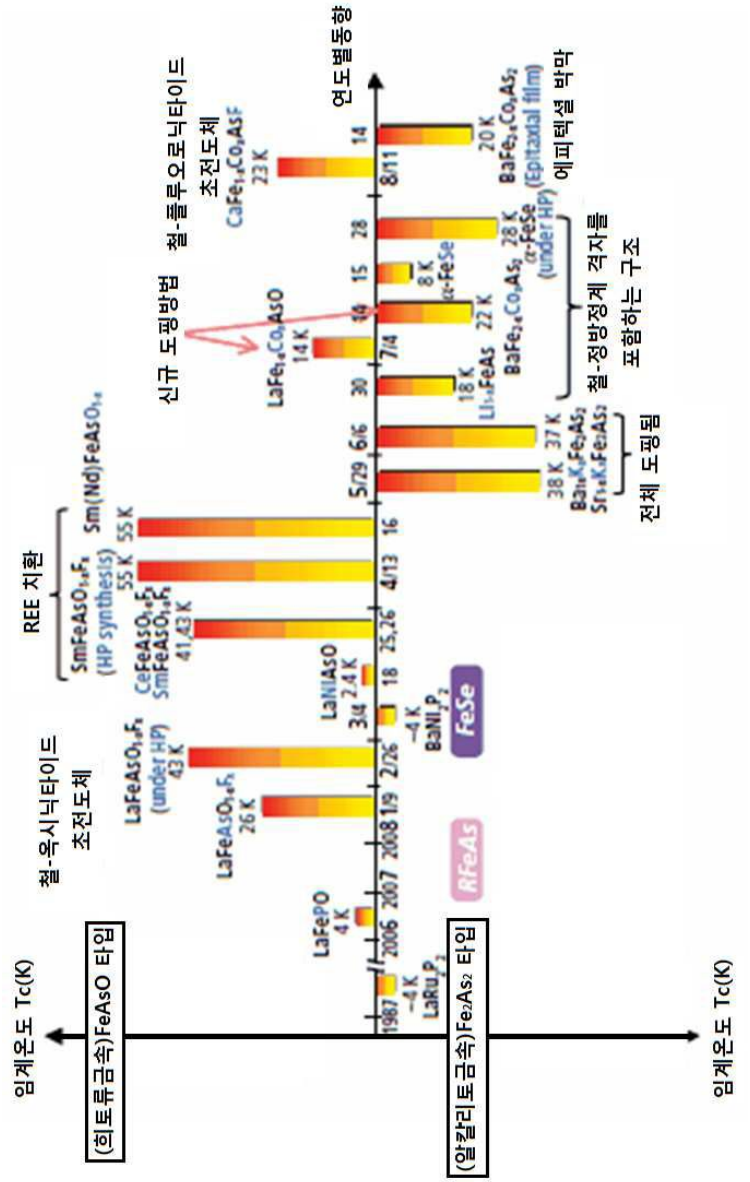
도면2



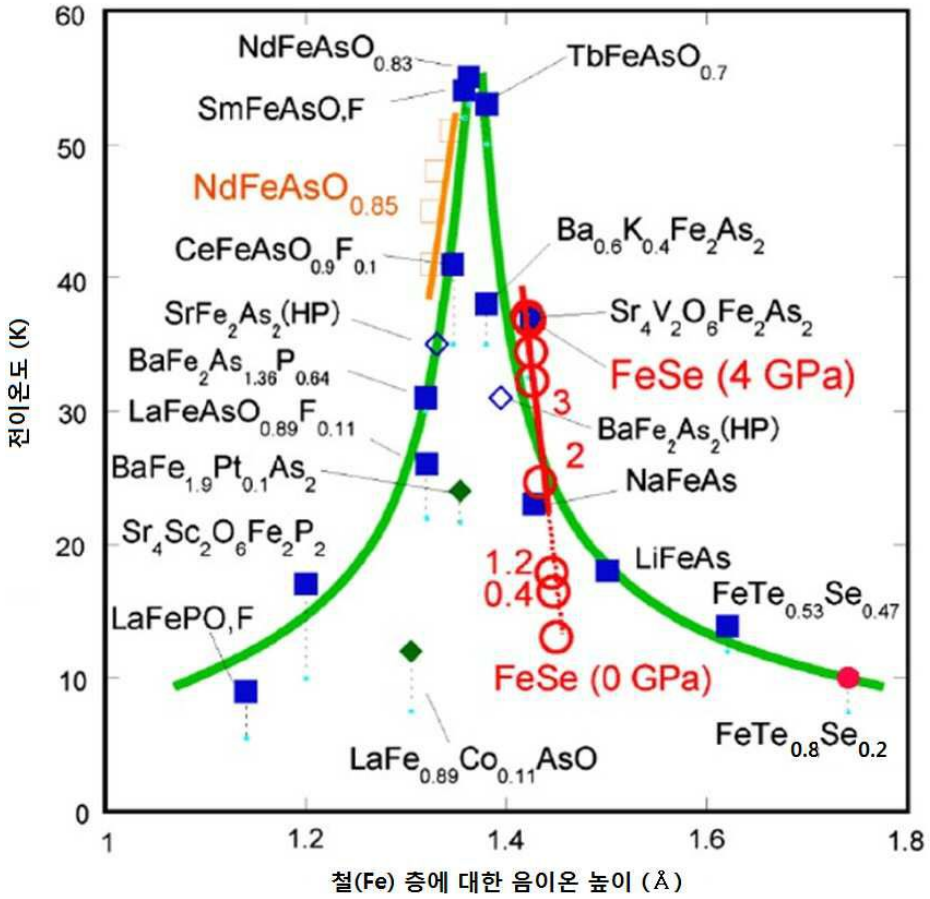
도면3a


Sr_2ScO_3FeAs
As
Fe
Sr
O
Sc
$Sr_3Sc_2O_5Fe_2As_2$
LaOFeAs
As
Fe
La
O
LiFeAs
As
Fe
Li
$BaFe_2As_2$
As
Fe
Ba

도면3b


연도별동향
임계온도 Tc(K)
(희토류금속)FeAsO 타입
철-옥시닉타이드
초전도체
REE 치환
신규 도핑방법
철-플루오로닉타이드
초전도체
에피텍셜 박막
철-정방정계 격자를
포함하는 구조
전체 도핑됨
(알칼리토금속)Fe2As2 타입
임계온도 Tc(K)
FeSe
RFeAs
1987
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040

도면3c


NdFeAsO0.83
TbFeAsO0.7
SmFeAsO,F
NdFeAsO0.85
CeFeAsO0.9F0.1
Ba0.6K0.4Fe2As2
SrFe2As2(HP)
Sr4V2O6Fe2As2
BaFe2As1.36P0.64
FeSe (4 GPa)
LaFeAsO0.89F0.11
BaFe2As2(HP)
BaFe1.9Pt0.1As2
NaFeAs
Sr4Sc2O6Fe2P2
LiFeAs
FeTe0.53Se0.47
LaFePO,F
FeSe (0 GPa)
FeTe0.8Se0.2
LaFe0.89Co0.11AsO
전이온도 (K)
철(Fe) 층에 대한 음이온 높이 (Å)