

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) 。 Int. Cl.

H01B 12/06 (2006.01)
C23C 14/02 (2006.01)
C23C 14/08 (2006.01)
H01L 39/24 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2006-0039026
(43) 공개일자 2006년05월04일

(21) 출원번호 10-2006-7004179

(22) 출원일자 2006년02월28일

번역문 제출일자 2006년02월28일

(86) 국제출원번호 PCT/JP2004/012781

(87) 국제공개번호 WO 2005/022562

국제출원일자 2004년08월27일

국제공개일자 2005년03월10일

(30) 우선권주장 JP-P-2003-00308020 2003년08월29일 일본(JP)

(71) 출원인 도쿠리쓰교세이호징 가가쿠 기주쓰 신코 기코
일본 사이타마켄 가와구치시 혼쵸 4쵸메 1반 8고
자이단호징 덴료쿠추오켄큐쇼
일본국 도쿄도 지요다구 오테마치 1쵸메 6반 1고

(72) 발명자 마츠모토 카나메
일본 오사카 569-1121 다카츠키시 마카미쵸 6-52-7
무카이다 마사시
일본 가나가와 243-0122 아즈기시 모리노사토 5-11-8
요시다 유타카
일본 아이치 461-0042 나고야시 히가시쿠 야다마치 2-66 메이다이야
다마치 슈쿠샤 154
이치노세 아타루
일본 가나가와 215-0033 가와사키시 아사오쿠 구리키 1-21-7
호리이 시게루
일본 도쿄 110-0001 다이토쿠 야나카 7-5-16 사쿠라하이츠 203

(74) 대리인 석혜선
김용인

심사청구 : 있음

(54) 초전도막 및 이의 제조 방법

요약

본 발명은 기관과 이 기관상에 형성된 초전도체층을 가지며, 나노 그루브는 상기 초전도체층이 형성되는 기관 표면상의 전류 흐름 방향과 평행하게 형성되고 면상 결정 결함들은 상기 나노 그루브상의 초전도체층에 유도되는 초전도막 및 이 초전도막의 제조 방법에 관한 것이다. 저가로 제작할 수 있고 높은 J_c 를 갖는 본 발명의 초전도막은 케이블, 자석, 실드, 한류기, 마이크로파 소자, 이런 제품들의 중간 소자와 같은 응용분야에서 유용하다.

대표도

도 1

색인어

초전도막, 초전도체층, 나노 그루브

명세서

기술분야

본 발명은 케이블, 자석, 실드, 한류기, 마이크로파 소자, 이런 제품들의 중간 제품 등에 사용될 수 있는 자기장에서 높은 임계 전류 밀도를 갖는 초전도체 박막 및 후막 및 이 막을 제조하는 방법에 관한 것이다.

배경기술

적어도 낮은 임계 자기장(H_{c1})의 자기장이 초전도체에 인가될 때, 양자화 자속(quantized flux lines)($\Phi_0 = 2.07 \times 10^{-15}$ Wb)이 형성되어 초전도체 속에 침투된다. 전류가 이 상태로 흐를 때, 로렌츠힘이 양자화 자속에 작용한다. 상기 양자화 자속이 움직이기 시작할 때, 전압이 발생하고 초전도 상태는 파괴된다. 예를 들어, 고온의 산화물 초전도체 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO)로 형성된 초전도막에서, 자연적으로 발생된 산소 결핍과 같은 점유사 결함 및 고온 불순물들은 양자화 자속의 피닝 중심(pinning center)으로 작용하는 것으로 알려져 있다. 게다가, 전위(dislocation)와 같은 선상 결함 및 결정 입계와 같은 면상 결함 역시 피닝 중심으로 작용하는 것으로 알려져 있다. YBCO의 경우에, 상기 결정 결함들이 막 평면에 수직으로 존재하는 것이 중요하다. 일반적으로, YBCO-계 고온 초전도체들은 높은 결정 이방성을 가진 금속이고, 따라서, 자기장이 결정의 c-축에 평행하게 인가될 때, J_c 는 자기장이 c-축에 수직으로 인가되는 경우와 비교하여 현저하게 감소한다. 통상적으로 사용되는 YBCO 박막은 c-축이 막 평면(표면)에 수직이 되어, 자기장이 막 평면(표면)에 수직으로 가해질 때 J_c 가 크게 감소하도록 형성된다. YBCO 박막으로 제조한 초전도 테이프가 코일을 형성하기 위해 사용될 때, c-축에 평행한 낮은 J_c 의 자기장 성분은 코일 특성을 지배하는데, 이는 수평 자기장과 수직 자기장이 상기 테이프에 인가되기 때문이다. 그러나, 선상 결함 또는 결정 입계가 c-축에 평행한 방향에 존재하면, 선상 결함 또는 결정 입계는 양자화 자속의 피닝 중심이 되고 이 방향에서의 J_c 는 증대된다. 따라서, 선상 결함 또는 결정 입계의 결정 배향은 코일 특성을 향상시키는데 매우 중요하다. 반대로, 점과 같은 결함들은 등방성이기 때문에 이것은 점과 같은 결함에는 적용되지 않는다.

YBCO 막에서의 전위 밀도와 J_c 사이의 관계는 뎀(비. 뎀 등., 네이처, vol 399, p439, 1999 참조)에 의해 보고되었다. 상기 보고서에 따르면, 비록 막이 성장하는 동안 자연적으로 유도되는 전위들의 단위 면적당 밀도를 제어하는 것이 어렵지만, $10\mu m^{-2}$ 내지 $100\mu m^{-2}$ 의 전위 밀도는 다양한 방식으로 막 형성 조건을 변화시켜 얻을 수 있고 J_c 는 전위 밀도가 증가함에 따라 증가한다.

결정 입계는 피닝 중심뿐만 아니라, 초전도체 전류의 장벽으로도 작용한다. 사실상, YBCO 등의 고온 초전도막에서, J_c 는 큰 기울기(YBCO의 ab-면의 정상선에 대한 입계의 각)를 갖는 입계가 매우 작고, 큰 J_c 는 기울기가 낮을 때 유지된다. 낮은 각의 입계는 전위 배열로 생각할 수 있다. 비록 전위가 절연체(초전도체가 아님)이지만, 전위들 사이에 큰 간격을 갖는 낮은 각의 입계에서, 강하게 결합된 초전도부가 전위들 사이에 존재하고 큰 초전도체 전류는 낮은 각의 입계를 통과하여 흐른다. 그러나, 기울기가 증가하고 전위의 응력이 겹치기 시작할 때, 전류는 덜 흐르게 된다. 만일 계면들이 전류 흐름 방향과 평행하다면, 계면들은 매우 효과적인 피닝 중심이 된다. 일반적으로, 그러나, 계면들은 무작위로 존재하고, 계면들의 기울기를 조절함으로써 J_c 를 제어하는 것은 어렵다.

반면에, 초전도체의 가간섭 길이(coherent length)와 근사한 크기를 가진 고온 침전물은 피닝 중심으로서 효과적이다. 게다가, 리소그래피에 의해 유도된 인공 결합과 전자빔 조사 및 중이온 조사에 의해 유발된 주상결정 결합도 피닝 중심이 된다. 원하는 피닝 중심은 막에서 리소그래피에 의해 유발될 수 있는 가능성이 있다.

전자빔 노광이 사용된 경우에, 비록 핀 지름을 나노 수준으로 감소할 수 없을지라도, 약 10 내지 20nm로 감소할 수 있다는 보고가 있다. 또한, 핀 간격도 동일한 정도로 조절될 수 있다. 임계 전류의 측정 실험의 예는 양자화 자속과 핀 배열 사이의 관계에 따라 일부 피크들이 자기장에서 초전도 특성에서 나타나는 것을 나타낸다(제이.와이. 린 등., phys. Rev. B54, R12712, 1996 참조). 비록 이 방법은 인공 핀 도입에 효과적이지만, 실용적인 면에서, 처리량이 낮고 넓은 지역의 제작과 전선 제작에 비용이 많이 든다. 중이온 조사 등에서, 주상결합은 초전도 결정에 형성되고 이것이 J_c 를 향상시키는데 효과적이다. 그러나, 장비 비용과 이온 가속 비용은 매우 비싸다.

게다가, 일부 경우에 재료는 방사능을 갖기 때문에 이런 방법들은 실용적이지 못하다.

막에 전위와 같은 결정 결함을 발생시키기 위해서, 나노점과 같은 섬 형태의 결정이 기판 표면상에 형성되고 초전도막이 섬 형태의 결정상에 형성되는 방법을 이용할 수 있다. 이 경우에, J_c 는 기판상에 Ag의 나노점을 형성함으로써 향상된다는 예시적 보고가 있다(크리스탄 등., Appl. Phys. Lett., Vol. 79, p4547, 2001 참조). 덤의 문헌은 고온 침전물은 기판상의 막 성장 과정에 존재하고, 막 성장의 연속성은 고온 침전물 위에서 상실되어, 결정 결함, 전위 및 입계를 형성한다고 주장한다(비. 덤 등., Physica C341-348, p2327, 2000 참조). 그러나, 이런 기술들에 따라, 유발된 결함의 배열은 무작위이고 피닝힘은 평균화 된다. 따라서, 이런 기술들은 J_c 를 현저하게 향상시키는데 한계를 가진다.

발명의 상세한 설명

본 발명의 목적은 기판에 형성된 초전도막에 이상적인 피닝 중심의 구조와 상기 피닝 중심을 유도하는 방법을 제공하는 것이다. 본 발명의 다른 목적은 막 형태의 모든 타입 II 초전도체에 사용될 수 있는 J_c 를 증가시키기 위한 기술을 저가에 제공하는 것이다.

본 발명의 첫 번째 실시예의 초전도막은 기판과 이 기판상에 형성된 초전도체층을 가지며, 여기서 나노 그루브는 상기 초전도체층이 형성되는 기판 표면상의 전류 흐름 방향과 평행하게 형성되고 면상 결정 결함들은 상기 나노 그루브상의 초전도체층에 유도된다. 상기 면상 결정 결함의 각각은 전류 흐름 방향에서 연속적일 수 있고, 불연속적인 면상 결정 결함의 배열일 수 있고, 또는 기판상에 불규칙적으로 분포될 수 있다. 상기 면상 결정 결함은 결정 입계, 전위 배열, 초전도체층을 구성하는 원소로 형성된 비결정체, 비초전도체 또는 낮은 임계 온도의 초전도체일 수 있다. 바람직하게는, 상기 나노 그루브는 100nm 이하의 폭과 100nm 이하의 깊이를 가질 수 있고 전류 흐름 방향과 수직인 방향에서 인접한 나노 그루브의 평균 중심 대 중심 거리는 500nm 이하일 수 있다. 상기 기판은 페로브스카이트 형태의 결정 구조, 암염(巖鹽) 형태 결정 구조, 침정석 형태 결정 구조, 이티륨 안정화 지르코니아 형태 구조, 플루오라이드 형태 결정 구조, 희토류 C 형태 결정 구조, 파이로클로어 형태 결정 구조 등을 갖는 산화물의 기판일 수 있다. 선택적으로, 상기 기판은 산화물 기판, 질화물 기판, 반도체 기판, 니켈계 합금 기판, 구리계 합금 기판 또는 표면에 상기 산화물 또는 붕산화물로 제조된 버퍼층이 형성된 철계 합금 기판일 수 있다. 상기 초전도체층은 $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+x}$, 여기서, Ln은 Y 원소 및 희토류 원소로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 하나 이상의 원소이고, $-0.5 < x < 0.2$ 인 화학식을 가진 구리 산화물계 고온 초전도 재료; $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+y}$, 여기서 $0 < x < 0.4$, $-0.5 < y < 0.5$ 및 $n = 1, 2$ 또는 3인 화학식을 가진 구리 산화물계 고온 초전도 재료; 및 주성분으로 MgB_2 를 함유하는 초전도 재료로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 초전도 재료로 형성될 수 있다. 또한, 상기 초전도체층은 복수의 층으로 형성될 수 있고 나노 그루브는 상부층을 제외하고 상기 복수의 층의 각각에 형성될 수 있다.

본 발명의 두 번째 실시예의 초전도막은 기판과 이 기판상에 형성된 초전도체층을 가지며, 여기서 나노 그루브는 상기 초전도체층이 형성되는 기판 표면상의 전류 흐름 방향과 평행하게 형성되고, 결함 유도부는 상기 나노 그루브상에 형성되고, 면상 결정 결함은 상기 결함 유도부상의 초전도체층에 유도된다. 상기 면상 결정 결함의 각각은 전류 흐름 방향에서 연속적일 수 있고, 불연속적인 면상 결정 결함의 배열일 수 있고, 또는 기판상에 불규칙적으로 분포될 수 있다. 상기 면상 결정 결함은 결정 입계, 전위 배열, 초전도체층을 구성하는 원소로 형성된 비결정체, 비초전도체 또는 낮은 임계 온도의 초전도체일 수 있다. 바람직하게는, 상기 나노 그루브는 100nm 이하의 폭과 100nm 이하의 깊이를 가질 수 있고 전류 흐름 방향과 수직인 방향에서 인접한 나노 그루브의 중심 대 중심 거리는 500nm 이하일 수 있다. 상기 기판은 페로브스카이트 형태의 결정 구조, 암염 형태 결정 구조, 침정석 형태 결정 구조, 이티륨 안정화 지르코니아 형태 구조, 플루오라이드 형태 결정

구조, 희토류 C 형태 결정 구조, 파이로클로어 형태 결정 구조 등을 갖는 산화물의 기관일 수 있다. 선택적으로, 상기 기관은 산화물 기관, 질화물 기관, 반도체 기관, 니켈계 합금 기관, 구리계 합금 기관 또는 표면에 상기 산화물 또는 붕산화물로 제조된 버퍼층이 형성된 절계 합금 기관일 수 있다. 상기 초전도체층은 $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+x}$, 여기서, Ln은 Y 원소 및 희토류 원소로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 하나 이상의 원소이고, $-0.5 < x < 0.2$ 인 화학식을 가진 구리 산화물계 고온 초전도 재료; $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+y}$, 여기서 $0 < x < 0.4$, $-0.5 < y < 0.5$ 및 $n = 1, 2$ 또는 3인 화학식을 가진 구리 산화물계 고온 초전도 재료; 및 주성분으로 MgB_2 를 함유하는 초전도 재료로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 초전도 재료로 형성될 수 있다. 상기 결합 유도부는 금속, 금속간 화합물, 질화물 또는 산화물로 형성될 수 있다. 또한, 상기 초전도체층은 복수의 층으로 형성될 수 있고 나노 그루브는 상부층을 제외하고 상기 복수의 층의 각각에 형성될 수 있다.

본 발명의 세 번째 실시예의 초전도막은 기관과 이 기관상에 형성된 초전도체층을 가지며, 여기서 나노 홀의 열은 상기 초전도체층이 형성되는 기관 표면상의 전류 흐름 방향과 평행하게 형성되고 선상 결정 결합들의 열은 상기 나노 홀들 상의 초전도체층에 유도된다. 선상 결정 결합의 열의 각각은 전류 흐름 방향에서 연속적인 선상 결정 결합의 열일 수 있고, 선상 결정 결합의 불연속적인 열의 배열일 수 있고, 또는 기관상에 불규칙적으로 분포될 수 있다. 상기 선상 결정 결합은 결정 입계, 전위 배열, 초전도체층을 구성하는 원소로 형성된 비결정체, 비초전도체 또는 낮은 임계 온도의 초전도체일 수 있다. 바람직하게는, 상기 나노 홀은 100nm 이하의 지름을 가질 수 있고 전류 흐름 방향과 수직인 방향에서 인접한 나노 홀의 중심 대 중심 거리는 500nm 이하일 수 있다. 상기 기관은 페로브스카이트 형태의 결정 구조, 암염 형태 결정 구조, 침정석 형태 결정 구조, 이티륨 안정화 지르코니아 형태 구조, 플루오라이드 형태 결정 구조, 희토류 C 형태 결정 구조, 파이로클로어 형태 결정 구조 등을 갖는 산화물의 기관일 수 있다. 선택적으로, 상기 기관은 산화물 기관, 질화물 기관, 반도체 기관, 니켈계 합금 기관, 구리계 합금 기관 또는 표면에 상기 산화물 또는 붕산화물로 제조된 버퍼층이 형성된 절계 합금 기관일 수 있다. 상기 초전도체층은 $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+x}$, 여기서, Ln은 Y 원소 및 희토류 원소로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 하나 이상의 원소이고, $-0.5 < x < 0.2$ 인 화학식을 가진 구리 산화물계 고온 초전도 재료; $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+y}$, 여기서 $0 < x < 0.4$, $-0.5 < y < 0.5$ 및 $n = 1, 2$ 또는 3인 화학식을 가진 구리 산화물계 고온 초전도 재료; 및 주성분으로 MgB_2 를 함유하는 초전도 재료로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 초전도 재료로 형성될 수 있다. 또한, 상기 초전도체층은 복수의 층으로 형성될 수 있고 나노 홀은 상부층을 제외하고 상기 복수의 층의 각각에 형성될 수 있다.

본 발명의 네 번째 실시예의 초전도막은 기관과 이 기관상에 형성된 초전도체층을 가지고, 여기서 나노 홀의 열은 상기 초전도체층이 형성되는 기관 표면상의 전류 흐름 방향과 평행하게 형성되고, 결합 유도부는 상기 나노 홀에 형성되고, 선상 결정 결합들의 열은 상기 결합 유도부상의 초전도체층에 유도된다. 선상 결정 결합들의 열의 각각은 전류 흐름 방향에서 연속적인 선상 결정 결합의 열일 수 있고, 선상 결정 결합의 불연속적인 열의 배열일 수 있고, 또는 기관상에 불규칙적으로 분포될 수 있다. 상기 선상 결정 결합은 결정 입계, 전위 배열, 초전도체층을 구성하는 원소로 형성된 비결정체, 비초전도체 또는 낮은 임계 온도의 초전도체일 수 있다. 바람직하게는, 상기 나노 홀은 100nm 이하의 지름을 가질 수 있고 전류 흐름 방향과 수직인 방향에서 인접한 나노 홀들의 평균 중심 대 중심 거리는 500nm 이하일 수 있다. 상기 기관은 페로브스카이트 형태의 결정 구조, 암염 형태의 결정 구조, 침정석 형태의 결정 구조, 이티륨 안정화 지르코니아 형태의 구조, 플루오라이드 형태의 결정 구조, 희토류 C 형태의 결정 구조, 파이로클로어 형태의 결정 구조 등을 갖는 산화물의 기관일 수 있다. 선택적으로, 상기 기관은 산화물 기관, 질화물 기관, 반도체 기관, 니켈계 합금 기관, 구리계 합금 기관 또는 표면에 상기 산화물 또는 붕산화물로 제조된 버퍼층이 형성된 절계 합금 기관일 수 있다. 상기 초전도체층은 $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+x}$, 여기서, Ln은 Y 원소 및 희토류 원소로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 하나 이상의 원소이고, $-0.5 < x < 0.2$ 인 화학식을 가진 구리 산화물계 고온 초전도 재료; $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+y}$, 여기서 $0 < x < 0.4$, $-0.5 < y < 0.5$ 및 $n = 1, 2$ 또는 3인 화학식을 가진 구리 산화물계 고온 초전도 재료; 및 주성분으로 MgB_2 를 함유하는 초전도 재료로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 초전도 재료로 형성될 수 있다. 상기 결합 유도부는 금속, 금속간 화합물, 질화물 또는 산화물로 형성될 수 있다. 또한, 상기 초전도체층은 복수의 층으로 형성될 수 있고 나노 홀은 상부층을 제외하고 상기 복수의 층의 각각에 형성될 수 있다.

본 발명의 첫 번째 및 두 번째 실시예들의 초전도막은 기관상에 나노 그루브를 형성하는 단계, 선택적으로 상기 나노 그루브상에 결합 유도부를 형성하는 단계 및 상기 기관상에 초전도체층을 성장시키는 단계를 포함하는 방법에 의해 제조될 수 있다. 나노 그루브를 형성하는 단계는 기계적 연마, 에칭, 나노 임프린트, 처리 모드의 AFM, 또는 나노 리소그래피에 의해 형성될 수 있다. 바람직하게는, 상기 나노 그루브는 나노 그루브들이 100nm 이하의 폭과 100nm 이하의 깊이를 가질 수 있고 전류 흐름 방향과 수직인 방향에서 인접한 나노 그루브의 중심 대 중심 거리는 500nm 이하가 되는 방식으로 형성될 수 있다. 반면에, 초전도체층을 형성하는 단계는 펄스 레이저 증착(PLD), 증착, 스퍼터링, 화학기상증착(CVD), 분자빔 에피택시(MBE) 또는 금속-유기 증착(MOD) 처리에 의해 수행될 수 있다. 게다가, 결합 유도부를 형성하는 단계는 PLD, 증착, 스퍼터링, CVD, MBE 또는 MOD 처리에 의해 수행될 수 있다.

본 발명의 세 번째 및 네 번째 실시예의 초전도막은 기관상에 나노 홀을 형성하는 단계, 선택적으로 상기 나노 홀상에 결합 유도부의 열을 형성하는 단계 및 상기 기관상에 초전도체층을 성장시키는 단계를 포함하는 방법에 의해 제조될 수 있다. 나노 홀의 열을 형성하는 단계는 기계적 광택, 에칭, 나노 임프린트, 처리 모드의 원자력 마이크로스코피(AFM) 또는 나노 리소그래피에 의해 수행될 수 있다. 바람직하게는, 상기 나노 홀은 100nm 이하의 지름을 가질 수 있고 전류 흐름 방향과 수직인 방향에서 나노 홀의 인접한 열의 평균 중심 대 중심 거리는 500nm 이하인 방식으로 형성될 수 있다. 반면에, 초전도체층을 형성하는 단계는 PLD, 증착, 스퍼터링, CVD, MBE 또는 MOD 처리에 의해 수행될 수 있다. 게다가, 결합 유도부를 형성하는 단계는 PLD, 증착, 스퍼터링, CVD, MBE 또는 MOD 처리에 의해 수행될 수 있다.

상기한 대로 형성된 본 발명에 따라, 뛰어난 피닝 효과를 가진 강한 피닝 중심들이 초전도막 속에 유도될 수 있고, 높은 J_c 를 가진 초전도막은 저가로 제조될 수 있다. 본 발명의 초전도막 속에 유도된 피닝 중심이 전류 흐름 방향에 배열되기 때문에, 상기 피닝 중심들은 전류 흐름 경로를 방해하지 않을 것이다. 따라서, 본 발명의 초전도막은 케이블, 자석, 실드, 전류 리미터, 마이크로웨이브 장치 및 이런 제품들의 반제품과 같은 흐르는 큰 전류를 필요로 하는 용도에서 유용하다.

본 발명의 상기의 목적 및 다른 목적, 효과, 특징 및 장점은 첨부된 도면과 함께 다음 실시예들로부터 더욱 명확해질 것이다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 첫 번째 실시예의 초전도막의 원근법으로 나타낸 단면도이다.

도 2는 본 발명의 두 번째 실시예의 초전도막의 원근법으로 나타낸 단면도이다.

도 3은 본 발명의 세 번째 실시예의 초전도막의 원근법으로 나타낸 단면도이다.

도 4는 본 발명의 네 번째 실시예의 초전도막의 원근법으로 나타낸 단면도이다.

도 5a는 나노 그루브가 연속적인 본 발명의 초전도막에 나노 그루브들의 배열의 예를 나타내는 개략적인 정면도이다.

도 5b는 나노 그루브가 불연속적인 본 발명의 초전도막에 나노 그루브의 배열의 예를 나타내는 개략적인 정면도이다.

도 5c는 나노 그루브들이 불규칙적으로 배열된 본 발명의 초전도막에 나노 그루브의 배열의 예를 나타내는 개략적인 정면도이다.

도 6a는 나노 홀의 열이 연속적인 본 발명의 초전도막에 나노 홀의 배열의 예를 나타내는 개략적인 정면도이다.

도 6b는 나노 홀의 열이 불연속적인 본 발명의 초전도막에 나노 홀의 배열의 예를 나타내는 개략적인 정면도이다.

도 6c는 나노 홀의 열이 불규칙적으로 배열된 본 발명의 초전도막에 나노 홀의 배열의 예를 나타내는 개략적인 정면도이다.

실시예

본 발명의 첫 번째 실시예의 초전도막은 도 1에 도시된다. 도 1의 상기 초전도막은 기관(1)과 이 기관(1)상에 형성된 초전도체층(3)을 구비한다. 나노 그루브(2)는 상기 초전도체층(3)이 형성된 기관 표면상의 전류 흐름 방향과 평행하게 형성되고, 면상 결정 결합(4)은 상기 나노 그루브(2)상의 초전도체층에 유도된다. 상기 면상 결정 결합(4)은 면상 피닝 중심들로 작용한다.

상기 기관(1)으로 $SrTiO_3$ 및 $LaAlO_3$ 와 같은 페로브스카이트 형태의 결정; MgO 및 NiO 와 같은 암염 형태 결정; $MgAl_2O_4$ 와 같은 침정성 형태 결정; 이티륨 안정화 지르코니아; CeO_2 와 같은 플루오라이드 형태 결정; 희토류 C 형태 결정; 및 파이로클로어 형태 결정을 가진 산화물의 기관을 사용할 수 있다. 선택적으로, 버퍼층을 가진 기관들은 상기 기관(1)으로 사용될 수 있다: 여기서 상기 버퍼층이 형성된 기관은 상기 산화물 기관, 질화물 기관, 반도체 기관, 순수 니켈의 기관, Ni-Cr,

Ni-W 등의 니켈계 합금 기판, 순수 구리의 기판, Cu-Ni 등의 구리계 합금 기판 또는 Fe-Si, 스테인리스 등의 철계 합금 기판일 수 있고; 상기 기판의 표면에 형성된 버퍼층은 상기 산화물 또는 붕산화물(MgB₂ 등)로 제조될 수 있다. 이런 기판을 사용함으로써, 기판(1)의 표면에 배향된 c-축인 초전도체를 포함하는 초전도체층(3)을 형성하는 것이 가능하게 된다.

상기 나노 그루브(2)는 기판(1)에 형성된 복수의 그루브이고, 100nm 이하, 바람직하게는 5nm 내지 50nm의 폭, 100nm 이하, 바람직하게는 5nm 내지 50nm의 깊이를 가진다. 나노 그루브의 폭은 초전도체층(3)을 구성하는 초전도 재료에 따라 양자화 자속의 지름(초전도 재료의 가산섭 길이(ξ)의 두 배)보다 큰 것이 바람직하다. 전류 흐름 방향과 수직인 방향으로 복수의 나노 그루브의 평균 중심 대 중심 거리는 양자화 자속 격자(a_f)의 격자 상수(= $1.07 \times (f_0/B)^{1/2}$, B는 초전도체층(3)에 가해진 자기장)보다 작은 것이 바람직하다. 상기 나노 그루브의 평균 중심 대 중심 거리는 가해진 자기장(B)에 따라, 주로 500nm 이하, 바람직하게는 15nm 내지 300nm 및 더욱 바람직하게는 20nm 내지 200nm이다. 상기 나노 그루브가 상기 한 범위의 폭, 깊이 및 평균 중심 대 중심 거리를 가질 때, 상기 초전도체층의 양자화 자속은 효과적으로 핀고정될 수 있다.

상기 나노 그루브(2)의 각각은 초전도막의 전류 흐름 방향에서 연속적일 수 있고(도 5a 참조) 또는 불연속적인 그루브의 배열일 수 있다(도 5b 참조). 전류 흐름 방향에서 불연속적인 부분의 두 개의 나노 그루브들 사이의 거리는 상기 초전도체층(3)에서 양자화 자속 격자(a_f)의 격자 상수보다 작은 것이 바람직하다. 이 거리는 상기 초전도체층(3)에 가해진 자기장(B)에 따라, 주로 500nm 이하, 바람직하게는 15nm 내지 300nm, 및 더욱 바람직하게는 20nm 내지 200nm이다. 선택적으로, 만일 나노 그루브의 주축이 전류 흐름 방향과 평행하다면, 복수의 나노 그루브(2)는 상기 기판(1)상에 불규칙적으로 배열된다(도 5c 참조). 또한 이 경우에, 나노 그루브의 평균 중심 대 중심 거리는 상기한 범위 내인 것이 바람직하다. 게다가, 나노 그루브(2)가 불연속적이거나 불규칙적으로 배열될 때, 불연속적인 부분들은 전류 흐름 방향과 수직인 방향에 배열되지 않는 것이 바람직하다. 만일 불연속적인 부분들이 이 방향으로 배열된다면, 양자화 자속의 피닝 효과는 상기 부분들에서 감소하기 때문이다.

상기 초전도체층(3)을 구성하는 재료들은 LnBa₂Cu₃O_{7+x}, 여기서, Ln은 Y 원소 및 희토류 원소(57 내지 71의 원자번호를 가진 원소)로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 하나 이상의 원소이고, $-0.5 < x < 0.2$ 인 화학식을 갖는 구리 산화물계 고온 초전도 재료; (Bi_{1-x}Pb_x)₂Sr₂Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+4+y}, 여기서 $0 < x < 0.4$, $-0.5 < y < 0.5$ 및 $n = 1, 2$ 또는 3인 화학식을 가진 구리 산화물계 고온 초전도 재료; 및 주성분으로 MgB₂를 함유하는 초전도 재료일 수 있다. 본 발명에서 주성분으로 MgB₂를 함유하는 초전도 재료는 불순물로서 탄소, 산소 또는 SiC 등을 함유할 수 있는 MgB₂를 의미한다. 상기 재료들은 기판 평면과 평행한 초전도 평면을 가진 초전도체층(3)을 형성하기 위해서 c-축 배향 상태(재료들의 c-축이 기판 표면의 정상 라인과 평행하다)로 기판(1)의 표면에 증착된다. 상기 초전도체층(3)은 주로 0.1 μ m 내지 10 μ m의 범위 및 바람직하게는 0.1 μ m 내지 5 μ m의 범위의 두께를 가진다.

상기 기판(1)상의 나노 그루브(2)는 기계적 연마(나노 스크래칭), 에칭, 나노 임프린트, 처리 모드의 AFM 또는 나노 리소그래피를 사용하여 형성될 수 있다. 바람직한 방법은 나노 스크래칭, 나노 임프린트 및 처리 모드의 AFM을 포함한다. 예를 들어, 나노 스크래칭과 나노 임프린트는 전류 흐름 방향에서 다이아몬드 등의 연마 알갱이로 연마; 또는 원하는 형태의 미세돌출부를 구비한 지그를 기판(1)에 대해 압축하고 전류 흐름 방향에서 지그를 제거함으로써 수행될 수 있다. 선택적으로, 상기 나노 그루브(2)는 고전압이 프로브에 인가되는 AFM으로 기판을 연속적으로 처리함으로써 형성될 수 있다.

상기 초전도체층(3)은 PLD, 증착, 스퍼터링, CVD, MBE 또는 MOD 방법을 사용하여 형성될 수 있다. 상기 초전도체층(3)이 상기 나노 그루브(2)가 제공된 기판(1)의 표면에 형성될 때, 평면부상에 성장된 막과 나노 그루브(2)상에 형성된 막은 다른 결정 배향을 가진다. 따라서, 두 개가 만나는 영역에서, 전위 및/또는 결정입계가 형성된다. 게다가, 나노 그루브상에서, 비결정체가 형성될 가능성이 있고, 또는 선택적으로, 많은 결함을 가진 결정들은 조성물 변화의 발생에 의해 형성된다. 그 결과로, 비초전도체의 층 또는 낮은 임계 온도 초전도체의 층이 상기 나노 그루브(2)상에 형성된다. 본 명세서에서, 전위, 결정 입계, 초전도체층(3)의 비결정체, 비초전도체 및 낮은 임계 온도 초전도체는 일괄적으로 "결정 결함"이라 부른다. 이런 결정 결함은 막의 성장과 함께 사라지지 않을 것이고 상기 기판상의 나노 그루브(2)로부터 초전도체층(3)의 표면으로 이어지는 면상 결정 결함(4)을 형성할 것이다. 비록 면상 결정 결함(4)이 기판 평면에 수직이 되는 것이 항상 필요하지 않지만, 면상 결정 결함(4)이 기판 평면에 수직인 각에 근접하게 존재하는 것이 바람직하다. 초전도 특성을 갖지 않거나 또는 나쁜 초전도 특성을 갖는 상기 면상 결정 결함(4)이 면상 피닝 중심으로 작용한다.

이 배열에 따라, 면상 결정 결함(4)은 전류 흐름 방향과 평행하게 배열되고, 따라서, 면상 결정 결함이 전류의 흐름을 방해하지 않는다. 자기장이 면상 결정 결함에 수직으로 초전도체층(3)에 인가될 때, 양자화 자속은 면상 결정 결함(4)을 향해 이동한다. 이것은 양자화 자속에 작용하는 로렌즈힘이 기판 평면에 평행한 방향과 전류 흐름과 수직인 방향으로 작용하기

때문이다. 그러나, 본 발명의 면상 결정 결함(4)은 자속 격자에서 상호작용을 극복하도록 이동하여 자속을 양자화하기 때문에, 면상 피닝 중심(면상 결정 결함(4))은 모든 양자화 자속을 핀고정하는 작용을 할 수 있다. 산소 결핍 및 불순물과 같은 점-유사 피닝 중심 또는 전위 및 무작위로 분산된 원형 결함과 같은 선상 피닝 중심과 비교하면, 전류 흐름 방향에 규칙적으로 배열된 본 발명의 면상 피닝 중심은 매우 높은 피닝 효과를 가진다.

상기한 효과는 면상 피닝 중심과의 피닝은 줄 모양을 갖는 양자화 자속을 피닝하는데 뛰어난 차원의 문제에 영향을 미친다. 본 발명의 면상 피닝 중심(면상 결정 결함(4))은 더 많은 수의 양자화 자속을 더 적은 수의 피닝 중심으로 핀고정할 수 있기 때문에, 자기장의 J_c 가 향상된다. 게다가, 면상 결정 결함(4)은 초전도체층에서 무작위로 발생하는 일반적인 입계와 반대의 전류 경로를 방해하지 않고 매우 효과적으로 작용하는데, 이는 면상 결정 결함은 전류 흐름 방향과 평행하기 때문이다. 비록 면상 결정 결함(4)이 전류 흐름 방향에서 연속적으로 연장되는 것이 바람직하지만, 상기 면상 결정 결함이 연속적이어야 하는 것이 항상 필요하지는 않고 상기한 대로 불연속적일 수 있다. 불연속적인 면상 결함의 주축 방향이 전류 흐름 방향과 평행하다면, 비록 불연속적인 면상 결함이 기관상에 불규칙적으로 분포되어 있을 때에도 동일한 효과가 얻어진다.

상기 면상 결정 결함(4)의 두께는 나노 그루브(2)의 폭을 조절함으로써 제어될 수 있다. 면상 결정 결함(4)이 전위, 입계, 비결정체, 낮은 임계 온도를 가진 비초전도체 또는 초전도체이기 때문에, 상기 면상 결정 결함은 양자화된 자속의 피닝 상호작용을 가진다. 게다가, 피닝힘의 크기는 피닝 전위의 깊이와 전위 가파름을 조절하기 위해 면상 결정 결함(4)의 크기를 제어함으로써 제어될 수 있다. 단위 길이당 양자화된 자속의 피닝 에너지는 다음식으로 표현된다.

$$(1/2\mu_0)Bc^2 \times \pi\xi^2$$

여기서 μ_0 는 진공 상태의 자기 투과성이고, Bc 는 상기 초전도체층(3)을 위한 재료의 열역학적 임계 자기장이고, ξ 는 가간섭 길이이다. ξ 의 길이는 온도에 의존한다. 따라서, 최적의 피닝 중심(면상 결정 결함(4))의 크기가 초전도체의 작업 온도에 따라 변할 때, 상기 피닝힘의 최적값은 나노 그루브의 폭과 평균 중심 대 중심 간격을 변화시킴으로써 선택될 수 있다.

첫 번째 실시예에 대한 대안으로서, 초전도 재료는 버퍼층으로 사용될 수 있다. 즉, 초전도 재료의 박막 버퍼층이 기관(1)에 먼저 형성된 후에, 나노 그루브(2)가 상기한 것과 동일한 방법에 의해 형성되고 초전도체층(3)이 그 이후에 형성될 수 있다. 또한 이런 경우에, 면상 결정 결함(4)은 상기 나노 그루브(2)상의 초전도체층(3)에 형성된다. 유용한 초전도 재료는 초전도체층(3)용 재료로서 동일한 산화물 또는 붕소화물인 것이 바람직하다. 예를 들어, 상기 초전도체층(3)이 $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+x}$ 로 형성될 때, 버퍼층은 동일한 $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+x}$ 로 형성될 수 있거나 단지 Ln이 교체된 재료로 형성될 수 있다. 나노 그루브가 형성되지 않는 영역에서의 버퍼층은 이 영역에서 초전도체층(3)의 에피택셜 성장을 촉진하는 효과를 갖는데, 이는 이 버퍼층은 상기 초전도체층(3)과 동일한 형태의 초전도체이기 때문이다.

첫 번째 실시예에 대한 다른 대안으로서, 초전도체층(3)은 복수의 층으로 형성될 수 있고 나노 그루브는 상부층을 제외하고 복수의 층의 각각에 형성될 수 있다. 이 대안적 실시예는 초전도체층(3)이 두껍고 면상 결정 결함의 분포는 초전도체층(3)의 성장이 진행함에 따라 감소하는 경우에 소정의 밀도에서 면상 결정 결함(4)을 유도하는데 적합하다.

본 발명의 두 번째 실시예의 초전도체막은 도 2에 도시되어 있다. 도 2의 초전도체막은 나노 그루브(2)가 초전도체층(3)이 형성되는 기관상의 전류 흐름 방향과 평행하게 형성되는 기관(1), 상기 나노 그루브(2)상에 형성된 결함 유도부(5), 및 상기 기관(1)과 상기 결함 유도부(5)에 형성된 상기 초전도체층(3)을 가지며, 면상 결정 결함(4)은 상기 결함 유도부(5)상의 초전도체층(3)에 유도된다. 상기 면상 결정 결함(4)은 면상 피닝 중심으로 작용한다. 상기 기관(1), 상기 나노 그루브(2) 및 초전도체층(3)은 첫 번째 실시예와 동일하다.

상기 결함 유도부(5)는 판유사 결정 또는 연속된 섬유사 결정으로 형성된다. 상기 나노 그루브(2)는 우선적인 핵 형성 부위로 작용하여, 상기 결함 유도부(5)는 상기 나노 그루브(2)상에 형성된다. 예를 들어, 유용한 재료들은 Ag 및 Pt(금속은 높은 용융점을 갖는 것이 바람직하다)과 같은 금속; AgY 및 Pt_3Y 와 같은 금속간 화합물; GdN 및 YN 과 같은 질화물; 및 Y_2O_3 및 CeO_2 와 같은 산화물을 포함한다. 비록 본 발명에서, 결함 유도부(5)는 상기 기관(1)의 재료와 다른 재료로 형성되는 것이 바람직하지만, 상기 결함 유도부(5)는 상기 기관(1)과 동일한 종류이나 다른 결정 배향을 가진 재료로 형성될 수 있다. 상기 결함 유도부(5)는 PLD, 증착, 스퍼터링 CVD 및 MBE로부터 선택된 방법에 의해 상기한 재료들을 상기 기관(1)상에 증착함으로써 형성될 수 있다. 이런 경우에, 상기 재료들은 상기 나노 그루브(2)상에 핵을 형성하고 성장되는데, 이는 상기 나노 그루브(2)는 평평한 기관(1)과 비교하여 우선적인 핵 형성 부위이기 때문이다. 상기 재료 공급 시간, 막 형성 시

간과 막 형성 온도를 조절함으로써, 적절한 크기의 관유사 결정 또는 연속된 섬유사 결정이 상기 나노 그루브(2)에 형성될 수 있다. 결정이 판 형태 또는 섬 형태로 성장하는 지는 상기 기관(1)의 젖음성을 적절하게 선택함으로써 상기한 재료 조절된다.

기관상에 무작위로 형성된 나노점과 달리, 상기 결합 유도부(5)는 이들의 모양이 전류 흐름 방향과 평행하게 되도록 규칙적으로 배열되고, 이 점에서 본 발명은 종래 기술과 크게 다르다. 상기 결합 유도부(5)의 표면의 부드러움 및/또는 상기 결합 유도부(5)의 표면상의 초전도 재료의 증착 속도, 결정 배향 등은 상기 기관(1)의 것과 다르기 때문에, 상기 면상 결정 결합(4)은 상기 결합 유도부(5)상에 형성되는 초전도체층(3)에 형성된다. 이런 면상 결정 결합(4)은 첫 번째 실시예와 동일한 방식으로 면상 피닝 중심으로 작용하여 우수한 피닝 효과를 나타낸다.

또한 이런 구성에서, 격자들 사이의 상호작용을 극복함으로써 이동하는 고온 양자화 자속을 핀고정할 수 있는데, 이는 상기 면상 결정 결합(4)은 전류 흐름 방향과 평행하게 배열되기 때문이다. 따라서, 매우 높은 피닝 효과를 갖는 면상 피닝 중심을 얻을 수 있다.

상기 면상 결정 결합(4)의 두께는 상기 결합 유도부(5)의 폭(즉, 나노 그루브(2)의 폭)을 조절함으로써 제어될 수 있다. 게다가, 상기 피닝힘의 크기는 피닝 전위의 깊이와 전위 가파름을 조절하기 위해 면상 결정 결합(4)의 크기를 제어함으로써 제어될 수 있다. 최적의 피닝 중심(면상 결정 결합(4))의 크기가 초전도막의 작업 온도에 따라 변할 때, 상기 피닝힘의 최적값은 나노 그루브의 폭과 평균 중심 대 중심 간격을 변화시킴으로써 선택될 수 있다.

상기 첫 번째 실시예와 동일한 방식으로, 두 번째 실시예에 대한 대안으로서, 초전도 재료는 버퍼층으로 사용될 수 있다. 또한 이런 경우에, 면상 결정 결합(4)은 결합 유도부(5)상에 형성된다. 유용한 초전도 재료는 상기 첫 번째 실시예와 동일하고 결합 유도부(5)가 형성되지 않는 영역에서의 버퍼층은 이 부분에서 초전도체층(3)의 에피택실 성장을 촉진하는 효과를 갖는데, 이는 상기 버퍼층은 상기 초전도체층(3)과 동일한 형태의 초전도막이기 때문이다.

두 번째 실시예에 대한 다른 대안으로서, 초전도체층(3)은 복수의 층으로 형성될 수 있고 나노 그루브는 상부층을 제외하고 복수의 층의 각각에 형성될 수 있다. 이 대안적 실시예는 초전도체층(3)이 두껍고 면상 결정 결합의 분포는 초전도체층(3)의 성장이 진행함에 따라 감소하는 경우에 소정의 밀도에서 면상 결정 결합(4)을 유도하는데 적합하다.

본 발명의 세 번째 실시예의 초전도막은 도 3에 도시되어 있다. 도 3의 초전도막은 기관(1)과 상기 기관(1)상에 형성된 초전도체층(3)을 가진다. 나노 홀(6)의 열은 초전도체층(3)이 형성되는 기관상의 전류 흐름 방향과 평행하게 형성되고, 선상 결정 결합(7)은 상기 나노 홀(6) 상의 초전도체층(3)에 유도된다. 상기 선상 결정 결합(7)은 피닝 중심으로 작용한다. 상기 기관(1) 및 초전도체층(3)은 첫 번째 실시예와 동일하다.

상기 나노 홀(6)은 전류 흐름 방향과 평행한 열들을 형성하기 위해서 상기 기관상에 형성되고 상기 기관(1)에 형성되는 복수의 논스루(non-through) 홀이다. "상기 나노 홀(6)의 열"은 전류 흐름 방향과 평행한 방향에서 인접한 나노 홀(6)들 사이의 간격이 상기 초전도체층(3)에서 양자화 자속 격자(a_F)의 격자 상수보다 작은 것을 의미한다. 전류 흐름 방향과 평행한 방향에서 인접한 나노 홀(6)들 사이의 간격은 상기 초전도체층(3)에 인가된 자기장(B)에 따라 주로 250nm 이하, 바람직하게는 20nm 내지 150nm의 범위이다. 이런 간격을 가진 나노 홀(6)에 의해 형성된 상기 선상 결정 결합(7)의 열은 양자화 자속에 비해 더 밀하고 면상 피닝 중심과 동일한 효과를 가진다. 즉, 양자화 자속은 선상 결정 결합(7)의 열을 통해 이동하는 것을 효과적으로 막을 수 있다.

상기 나노 홀(6)의 지름은 상기 초전도체층(3)을 구성하는 양자화 자속의 지름(초전도 재료의 간섭 길이(ξ)의 두배)보다 큰 것이 바람직하다. 나노 홀은, 상기 초전도체층(3)용 재료에 따라 100nm 이하, 바람직하게는 5 내지 50nm의 범위를 갖는 것이 바람직하다. 나노 홀(6)의 열들 사이의 평균 중심 대 중심 거리는 인가된 자기장(B)에 따라, 주로 500nm 이하, 바람직하게는 15 내지 300nm 및 더욱 바람직하게는 20nm 내지 200nm이다. 상기 나노 홀(6)의 열이 상기한 범위의 폭, 깊이 및 중심 대 중심 거리를 가질 때, 상기 초전도체층(3)에서 양자화 자속은 효과적으로 핀고정될 수 있다.

상기 나노 홀(6)의 열의 각각은 초전도막의 전류 흐름 방향에서 연속적일 수 있거나(도 6a 참조) 불연속적인 열의 배열일 수 있다(도 6b 참조). 전류 흐름 방향에서 불연속적인 부분에서 나노 홀의 두 열 사이의 거리는 초전도체층(3)에서 양자화 자속 격자(a_F)의 격자 상수보다 작은 것이 바람직하다. 이 거리는, 상기 초전도체층(3)에 인가된 자기장(B)에 따라, 주로 500nm 이하, 바람직하게는 15 내지 300nm 및 더욱 바람직하게는 20nm 내지 200nm이다. 선택적으로, 나노 홀(6)의 복수의 열은 만일 나노 홀의 열의 주축이 전류 흐름 방향과 평행하다면 상기 기관(1)상에 불규칙적으로 배열된다(도 6c 참조). 또한 이 경우에, 나노 홀(6)의 인접 열들 사이의 거리와 전류 흐름 방향과 평행한 방향에서 평균 중심 대 중심 거리는 상기

한 범위 내인 것이 바람직하다. 도 6b 및 도 6c의 경우에, 불연속적인 부분들은 전류 흐름 방향과 수직인 방향으로 배열되지 않는 것이 바람직하다. 이것은 만일 불연속적인 부분들이 수직 방향으로 배열된다면, 양자화 자속의 피닝 효과는 상기 부분들에서 감소하기 때문이다. 도 6a 내지 도 6c의 경우에, 전류 흐름 방향과 수직인 방향과 인접한 나노 홀의 두 열에서, 상기 나노 홀들은 "서로 포개진" 상태(즉, 한 열의 나노 홀의 위치가 다른 열의 간격의 위치와 상응하고 그 반대도 마찬가지, 도 6a 및 도 6b의 상태)로 배열될 수 있거나 또는 상기 나노 홀은 전류 흐름 방향과 수직인 방향으로 배열될 수 있다.

상기 기관(1)상의 나노 홀(6)은 기계적 연마(나노 스크래칭), 에칭, 나노 임프린트, 처리 모드의 AFM 또는 나노 리소그래피를 사용하여 형성될 수 있다. 바람직한 방법은 나노 임프린트 및 처리 모드의 AFM을 포함한다. 예를 들어, 나노 임프린트는 원하는 형태의 미세돌출부를 구비한 지그를 기관(1)에 대해 압축함으로써 수행될 수 있다. 선택적으로, 상기 나노 홀(6)은 고전압이 프로브에 인가되는 AFM을 사용하여 기관을 연속적으로 처리함으로써 형성될 수 있다.

상기 나노 홀(6)이 제공된 기관의 표면에 상기 초전도체층(3)이 형성될 때, 선상 "결정 결함들"은 나노 그루브(2)가 제공된 경우와 동일한 방식으로 나노 홀(6)상에 형성된다. 상기 나노 홀(6) 상의 상기 결정 결함(7)은 상기 나노 홀(6) 상의 결정 결함(7)이 면상 형태보다는 선상 형태인 경우를 제외하고, 첫 번째 실시예의 "결정 결함"과 동일하다. 상기 나노 홀(6) 상의 결정 결함은 막의 성장과 함께 사라질 것이고 상기 기관 상의 나노 홀(6)로부터 상기 초전도체층(3)의 표면까지 연속된 선상 결정 결함(7)을 형성할 것이다. 초전도 특성이 없거나 나쁜 초전도 특성을 가진 상기 선상 결정 결함(7)은 선상 피닝 중심들이 된다. 비록 선상 결정 결함(7)이 기관 평면에 수직이 되는 것이 항상 필요하지 않지만, 선상 결정 결함(7)이 기관 평면에 수직인 각에 근접하게 존재하는 것이 바람직하다.

이 배열에 따라, 선상 결정 결함(7)은 전류 흐름 방향과 평행하게 배열되기 때문에, 선상 결정 결함(7)의 열들은 전류를 방해하지 않을 것이다. 자기장이 선상 결정 결함에 수직으로 초전도체층(3)에 인가될 때, 양자화 자속은 선상 결정 결함(7)의 열들의 측면을 향해 이동한다. 이것은 양자화 자속에 작용하는 로렌즈힘이 기관 평면에 평행한 방향과 전류 흐름과 직각인 방향으로 작용하기 때문이다. 그러나, 본 발명의 선상 결정 결함(7)의 열들이 밀한 경우에, 선상 결정 결함(7)의 열들은 자속 격자들 사이의 상호작용을 극복함으로써 이동되는 평평한 양자화 자속을 핀고정할 수 있어서, 선상 결정 결함(7)의 열들은 모든 양자화 자속을 핀고정하는 역할을 할 수 있다. 본 발명의 피닝 중심의 구조는 매우 높은 피닝 효과를 가진다.

선상 결정 결함(7)의 지름은 상기 나노 홀(6)의 지름을 조절함으로써 제어될 수 있다. 상기 선상 결정 결함(7)은 전위, 입계, 낮은 임계 온도를 가진 비초전도체 또는 초전도체이기 때문에, 이들은 양자화 자속의 피닝 상호작용을 가진다. 게다가, 피닝힘의 크기는 피닝 전위의 깊이와 전위 가파름을 조절하기 위해 상기 나노 홀(6)의 크기를 제어함으로써 제어될 수 있다. 최적의 피닝 중심(선상 결정 결함(7))의 크기가 초전도막의 작업 온도에 따라 변할 때, 상기 피닝힘의 최적값은 나노 홀의 폭, 전류 흐름 방향에서 나노 홀 사이의 간격 및 전류 흐름 방향과 수직인 방향에서 나노 홀의 열들의 평균 중심 대 중심 간격을 변화시킴으로써 선택될 수 있다.

세 번째 실시예에 대한 대안으로서, 초전도 재료는 버퍼층으로 사용될 수 있다. 즉, 초전도 재료의 박막 버퍼층이 기관(1) 상에 먼저 형성된 후에, 나노 홀(7)이 상기한 것과 동일한 방법에 의해 형성되고 초전도체층(3)이 그 이후에 형성될 수 있다. 또한 이런 경우에, 선상 결정 결함(7)은 상기 나노 홀(6) 상의 초전도체층(3)에 형성된다. 유용한 초전도 재료는 초전도체층(3)용 재료로서 동일한 산화물 또는 붕소화물인 것이 바람직하다. 예를 들어, 상기 초전도체층(3)이 $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+x}$ 로 형성될 때, 버퍼층은 동일한 $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+x}$ 로 형성될 수 있거나 단지 Ln이 교체된 재료로 형성될 수 있다. 나노 홀이 형성되지 않는 영역에서의 버퍼층은 이 영역에서 초전도체층(3)의 에피택실 성장을 촉진하는 효과를 갖는데, 이는 상기 버퍼층은 상기 초전도체층(3)과 동일한 형태의 초전도막이기 때문이다.

세 번째 실시예에 대한 다른 대안으로서, 초전도체층(3)은 복수의 층으로 형성될 수 있고 나노 홀(6)은 상부층을 제외하고 복수의 층의 각각에 형성될 수 있다. 이 대안적 실시예는 초전도체층(3)이 두껍고 선상 결정 결함의 분포는 초전도체층(3)의 성장이 진행함에 따라 감소하는 경우에 소정의 밀도에서 선상 결정 결함(7)을 유도하는데 적합하다.

본 발명의 네 번째 실시예의 초전도막은 도 4에 도시되어 있다. 도 4의 초전도막은 나노 홀(6)의 열들이 초전도체층(3)이 형성되는 기관상의 전류 흐름 방향과 평행하게 형성되는 기관(1), 상기 나노 홀(2)의 열들 상에 형성된 결함 유도부(8), 및 상기 결함 유도부(8)상에 형성된 상기 초전도체층(3)을 갖고, 상기 선상 결정 결함(7)은 상기 결함 유도부(8)상의 초전도체층(3)에 유도된다. 상기 선상 결정 결함(7)은 피닝 중심으로 작용한다. 상기 기관(1), 상기 나노 홀(6) 및 초전도체층(3)은 세 번째 실시예와 동일하다.

상기 결함 유도부(8)는 모양이 섬 유사 결정이라는 것을 제외하고, 두 번째 실시예의 결함 유도부(5)와 동일하다. 예를 들어, 유용한 재료들은 Ag 및 Pt(금속은 높은 용융점을 갖는 것이 바람직하다)과 같은 금속; AgY 및 Pt_3Y 와 같은 금속간 화

합물; GdN 및 YN과 같은 질화물; 및 RE_2O_3 (RE: 희토류 원소) 및 CeO_2 와 같은 산화물을 포함한다. 비록 본 발명에서, 결합 유도부(8)는 상기 기관(1)의 재료와 다른 재료로 형성되는 것이 바람직하지만, 상기 결합 유도부(8)는 상기 기관(1)과 동일한 종류이나 다른 결정 배향을 가진 재료로 형성될 수 있다. 상기 결합 유도부(8)는 PLD, 증착, 스퍼터링 CVD 및 MBE로부터 선택된 방법에 의해 상기한 재료들을 상기 기관(1) 상에 증착함으로써 형성될 수 있다. 이런 경우에, 상기 나노 홀(6)은 평평한 기관(1)과 비교하여 우선적인 핵 형성 부위이고 따라서 상기 재료들은 상기 나노 홀(6) 상에 핵을 형성하고 성장된다. 상기 재료 공급 시간, 막 형성 시간과 막 형성 온도를 조절함으로써, 적절한 크기의 섬 유사 결정으로 이루어진 결합 유도부(8)를 상기 나노 홀(6) 상에 형성될 수 있다.

기관상에 무작위로 형성된 나노점과 달리, 상기 결합 유도부(8)의 열들은 전류 흐름 방향과 평행하게 되도록 규칙적으로 배열되고, 이 점에서 본 발명은 종래 기술과 크게 다르다. 상기 결합 유도부(8)의 표면의 부드러움 및/또는 상기 결합 유도부(8)의 표면상의 초전도 재료의 증착 속도, 결정 배향 등은 상기 기관(1)의 것과 다르기 때문에, 상기 선상 결정 결합(7)은 상기 결합 유도부(8)상에 형성되는 초전도체층(3)에 형성된다. 이런 선상 결정 결합(8)의 열들은 세 번째 실시예와 동일한 방식으로 선상 피닝 중심으로 작용한다. 선상 결정 결합(7)의 열들은 전류 흐르 방향과 평행하게 배열되기 때문에, 이들은 전류를 방해하지 않을 것이다. 따라서, 이 실시예의 선상 결정 결합(7)의 열들은 우수한 피닝 효과를 가진 선상 피닝 중심을 제공할 수 있다.

상기 선상 결정 결합(7)의 두께는 상기 결합 유도부(8)의 폭(즉, 나노 홀(2)의 폭)을 조절함으로써 제어될 수 있다. 게다가, 상기 피닝힘의 크기는 피닝 전위의 깊이와 전위 가파름을 조절하기 위해 선상 결정 결합(7)의 크기를 제어함으로써 제어될 수 있다. 최적의 피닝 중심(선상 결정 결합(4))의 크기가 초전도막의 작업 온도에 따라 변할 때, 상기 피닝힘의 최적값은 나노 홀(6)의 지름과 나노 홀(6)의 열들의 평균 중심 대 중심 간격을 변화시킴으로써 선택될 수 있다.

네 번째 실시예에 대한 대안으로서, 초전도 재료는 상기 세 번째 실시예와 동일한 방식으로 버퍼층으로서 사용될 수 있다. 또한 이런 경우에, 선상 결정 결합(7)은 상기 결합 유도부(8)에 형성된다. 유용한 초전도 재료는 초전도체층(3)용 재료로서 동일한 산화물 또는 붕소화물인 것이 바람직하다. 예를 들어, 상기 초전도체층(3)이 $LnBa_2Cu_3O_{7+x}$ 로 형성될 때, 버퍼층은 동일한 $LnBa_2Cu_3O_{7+x}$ 로 형성될 수 있거나 단지 Ln이 교체된 재료로 형성될 수 있다. 결합 유도부가 형성되지 않는 영역에서의 버퍼층은 이 영역에서 초전도체층(3)의 에피택셜 성장을 촉진하는 효과를 갖는데, 이는 상기 버퍼층은 상기 초전도체층(3)과 동일한 형태의 초전도막이기 때문이다.

네 번째 실시예에 대한 다른 대안으로서, 초전도체층(3)은 복수의 층으로 형성될 수 있고 나노 홀(6)의 열들은 상부층을 제외하고 복수의 층의 각각에 형성될 수 있다. 이 대안적 실시예는 초전도체층(3)이 두껍고 선상 결정 결합(7)의 분포는 초전도체층(3)의 성장이 진행함에 따라 감소하는 경우에 소정의 밀도에서 선상 결정 결합(7)을 유도하는데 적합하다.

실시예 1:

먼저, 나노 그루브를 단일 결정 기관상에 형성하였다. 기관의 면(100)이 거울과 같이 광택된 3mm 폭 x 10mm 길이 x 0.5mm 두께의 $SrTiO_3$ 기관을 단일 결정 기관으로 제조하였다. 연속적으로, 처리 모드의 AFM을 사용함으로써 이 기관 표면의 중앙부에 $60\mu m \times 60\mu m$ 의 범위로 나노 그루브를 형성하였다. 각각 30nm로 설정된 나노 그루브의 폭과 깊이 및 $60\mu m$ 로 설정된 나노 그루브의 길이로, 330개 나노 그루브를 동일한 간격으로 상기한 영역에 형성하여 상기 나노 그루브는 상기 기관의 수평 방향과 평행하게 되었다. 상기 나노 그루브의 중심들의 평균 간격은 150nm이었다. 기관을 진공 챔버 내에 제공된 히터 위에 고정함으로써, 엑시머 펄스 레이저 증착(PLD)에 의해 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO)의 박막을 상기 기관상에 형성하였고 초전도막(I-1)을 얻었다. 이때에, 나노 그루브가 형성되지 않은 3mm 폭 x 10mm 길이 x 0.5mm 두께의 평평한 $SrTiO_3$ 기관을 나노 그루브가 형성된 기관 옆에 고정하였고 초전도막(C-1)을 얻었다. 상기 초전도막(I-1)은 본 발명의 실시예이고 상기 초전도막(C-1)은 본 발명의 범위 밖의 비교예이다. 화학양론적 조성물의 소결된 YBCO의 표적은 PLD법에 사용되었다. 막 증착하는 동안 상기 기관의 온도는 $780^\circ C$ 이었다. 부분 산소압은 200m Torr이었고, 충분한 부피의 산소를 막 냉각 공정에 주입하였다. 얻어진 YBCO의 막 두께는 $0.5\mu m$ 이었다.

두 개의 막(I-1) 및 (C-1)의 결정 배향은 X-레이 회절로 분석하였고 양자는 강한 c-축 배향막이라는 것을 확인하였다. 게다가 상기 막의 면내(in-plane) 결정 배향을 ϕ 스캔으로 조사하였을 때, 양자는 강하게 면내로 배향된 것을 발견하였다. 이런 조사로부터, 두 개의 막은 동일한 정도로 2축으로 배향된 것을 확인할 수 있다.

얻어진 막의 초전도 특성을 조사하기 위해서, 리소그래피로 YBCO 막 상에 브리지 패턴을 형성하였다. 상기 브리지의 폭은 $40\mu m$ 이었고 길이는 $40\mu m$ 이었다. 이때에, 초전도막(I-1)에서, 나노 그루브가 형성되지 않은 $60\mu m \times 60\mu m$ 의 상기 영역 위에

상기 브리지 패턴을 형성하였다. 결과적으로는, 에너지를 가했을 때, 전류는 나노 그루브와 평행하게 흐른다. 패턴화된 두 개의 샘플의 경우에, 전기적 특성은 4 단자법에 의해 평가하였다. 상기 샘플의 임계 온도(T_c)는 저항에서의 온도 변화로 결정한 것과 같이, 나노 그루브를 가진 초전도막(I-1)의 경우 90K이었고 나노 그루브를 갖지 않는 초전도막(C-1)의 경우 91K이었다. 제로 자기장하에서, 77K에서 상기 초전도막(I-1)의 임계 전류 밀도(J_c)는 $5,000,000 \text{ A/cm}^2$ 이었고, 상기 초전도막(C-1)의 임계 전류 밀도는 $4,500,000 \text{ A/cm}^2$ 이었다. 게다가, c-축(기판 평면과 직각)과 평행한 1T(테슬라)의 자기장하에서, 77K의 온도에서 상기 초전도막(I-1)의 임계 전류 밀도(J_c)는 $1,100,000 \text{ A/cm}^2$ 이었고, 상기 초전도막(C-1)의 임계 전류 밀도는 $580,000 \text{ A/cm}^2$ 이었다.

실시예 2:

나노 그루브를 실시예 1과 동일한 방식으로 SrTiO_3 기판상에 형성하였다. 다음으로, 나노 그루브가 형성된 기판을 PLD를 위해 진공 히터 내의 히터에 고정시켰고 PLD법에 의해 상기 나노 그루브 상에 결합 유도부를 형성하였다. Y_2O_3 를 상기 결합 유도부용 재료로 사용하였다. 30 펄스의 엑시머 레이저를 사용하여 Y_2O_3 소결 소형 표적을 제거하였고 상기 SrTiO_3 기판에 Y_2O_3 를 증착하였다. 이때에, 기판의 온도는 700°C 이었고 부분 산소압은 10^{-5}Torr ($1.33 \times 10^{-3}\text{Pa}$)이었다. 이런 조건하에서, 상기 결합 유도부를 형성하기 위해 상기 나노 그루브 상에만 Y_2O_3 를 증착하였다. 그런 후에, 온도를 실온으로 낮추고 실시예 1과 동일한 방법으로, 나노 그루브가 없는 SrTiO_3 기판을 나노 그루브와 결합 유도부를 가진 샘플 옆의 히터 위에 부착하였다. 그런 후에, 실시예 1과 동일한 방식으로, 초전도막(I-2 및 C-2)을 생산하기 위해서, 소결된 YBCO 표적을 사용하여 PLD법에 의해 YBCO 막을 형성하였다. 상기 초전도막(I-2)은 결합 유도부를 가진 본 발명의 실시예이고 초전도막(C-2)은 본 발명의 범위 밖의 비교예이다. 막 증착 조건은 실시예 1과 동일하였다.

X-선 회절 분석에 따라, 두 개의 샘플은 강한 c-축 배향과 강한 면내 배향을 동일하게 나타내었다. 연속적으로, 얻어진 막의 초전도 특성을 조사하기 위해서, 리소그래피로 YBCO 막 상에 브리지 패턴을 형성하였다. 상기 브리지의 폭은 $40\mu\text{m}$ 이었고 길이는 $40\mu\text{m}$ 이었다. 이때에, 초전도막(I-2)에서, 나노 그루브가 형성된 $60\mu\text{m} \times 60\mu\text{m}$ 의 상기 영역 위에 상기 브리지 패턴을 형성하였다. 상기 두 개의 패턴화된 샘플의 임계 온도(T_c)는 초전도막(I-2)의 경우 89.5K이었고 초전도막(C-2)의 경우 90.5K이었다. 제로 자기장하에서, 77K에서 상기 초전도막(I-2)의 임계 전류 밀도(J_c)는 $5,200,000 \text{ A/cm}^2$ 이었고, 상기 초전도막(C-2)의 임계 전류 밀도는 $4,300,000 \text{ A/cm}^2$ 이었다. 게다가, c-축(기판 평면과 직각)과 평행한 1T의 자기장하에서, 77K의 온도에서 상기 초전도막(I-2)의 임계 전류 밀도(J_c)는 $1,300,000 \text{ A/cm}^2$ 이었고, 상기 초전도막(C-2)의 임계 전류 밀도는 $550,000 \text{ A/cm}^2$ 이었다.

실시예 3:

먼저, 나노 홀을 단일 결정 기판상에 형성하였다. 기판의 면(100)이 거울과 같이 광택된 3mm 폭 x 10mm 길이 x 0.5mm 두께의 SrTiO_3 기판을 단일 결정 기판으로 제조하였다. 연속적으로, 전자빔 리소그래피를 사용함으로써 이 기판 표면의 중앙부에 $60\mu\text{m} \times 60\mu\text{m}$ 의 범위로 나노 홀의 열들을 형성하였다. 나노 홀의 폭과 깊이는 각각 40nm와 20nm이었다. 나노 홀의 열들은 기판의 길이 방향과 평행하게 되도록 배열되었고 열들의 길이가 $60\mu\text{m}$ 가 되었다. 상기 기판의 수평 방향에서 나노 홀들 사이의 간격은 100nm이었고, 330개 열의 나노 홀을 동일한 간격으로 $60\mu\text{m} \times 60\mu\text{m}$ 의 상기한 영역에 형성하였다. 상기 나노 홀 열의 중심의 평균 간격은 150nm이었다. 기판을 진공 챔버 내에 제공된 히터 위에 고정함으로써, 엑시머 펄스 레이저 증착(PLD)에 의해 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO)의 박막을 상기 기판상에 형성하였고 초전도막(I-3)을 얻었다. 이때에, 나노 홀이 형성되지 않은 3mm 폭 x 10mm 길이 x 0.5mm 두께의 평평한 SrTiO_3 기판을 나노 홀이 형성된 기판 옆에 고정하였고 초전도막(C-3)을 얻었다. 막 증착 조건은 실시예 1과 동일하였다.

X-선 회절 분석에 따라, 두 개의 샘플은 강한 c-축 배향과 강한 면내 배향을 동일하게 나타내었다. 연속적으로, 얻어진 막의 초전도 특성을 조사하기 위해서, 리소그래피로 YBCO 막 상에 브리지 패턴을 형성하였다. 상기 브리지의 폭은 $40\mu\text{m}$ 이었고 길이는 $40\mu\text{m}$ 이었다. 이때에, 초전도막(I-3)에서, 나노 홀의 열들이 형성된 $60\mu\text{m} \times 60\mu\text{m}$ 의 상기 영역 위에 상기 브리지 패턴을 형성하였다. 상기 두 개의 패턴화된 샘플의 임계 온도(T_c)는 초전도막(I-3)의 경우 90.5K이었고 초전도막(C-3)의 경우 91K이었다. 제로 자기장하에서, 77K에서 상기 초전도막(I-3)의 임계 전류 밀도(J_c)는 $5,100,000 \text{ A/cm}^2$ 이었고

고, 상기 초전도막(C-3)의 임계 전류 밀도는 4,000,000 A/cm²이었다. 게다가, c-축(기판 평면과 직각)과 평행한 1T의 자기장하에서, 77K의 온도에서 상기 초전도막(I-3)의 임계 전류 밀도(Jc)는 1,000,000 A/cm²이었고, 상기 초전도막(C-3)의 임계 전류 밀도는 450,000 A/cm²이었다.

실시예 4:

나노 홀을 실시예 3과 동일한 방식으로 SrTiO₃ 기판상에 형성하였다. 다음으로, 나노 홀이 형성된 기판을 PLD를 위해 진공 히터 내의 히터에 고정시켰고 PLD법에 의해 상기 나노 홀 상에 결합 유도부를 형성하였다. Y₂O₃를 상기 결합 유도부를 위한 재료로 사용하였다. 15 펄스의 엑시머 레이저를 사용하여 Y₂O₃ 소결 소형 표적을 제거하였고 상기 SrTiO₃ 기판에 Y₂O₃를 증착하였다. 이때에, 기판의 온도는 700℃이었고 부분 산소압은 10⁻⁵Torr(1.33 x 10⁻³Pa)이었다. 이런 조건하에서, 상기 결합 유도부를 형성하기 위해 상기 나노 홀 상에만 Y₂O₃를 증착하였다. 그런 후에, 온도를 실온으로 낮추고 실시예 3과 동일한 방법으로, 나노 홀이 없는 평평한 SrTiO₃ 기판을 결합 유도부를 가진 샘플 옆의 히터 위에 부착하였다. 그런 후에, 실시예 3과 동일한 방식으로, 소결된 YBCO 표적을 사용하여 PLD법에 의해 YBCO 막을 형성하였고, 초전도막(I-4 및 C-4)을 얻었다. 상기 초전도막(I-4)은 결합 유도부를 가진 본 발명의 실시예이고 초전도막(C-4)은 본 발명의 범위 밖의 비교예이다.

X-선 회절 분석에 따라, 두 개의 샘플은 강한 c-축 배향과 강한 면내 배향을 동일하게 나타내었다. 연속적으로, 얻어진 막의 초전도 특성을 조사하기 위해서, 리소그래피로 YBCO 막 상에 브리지 패턴을 형성하였다. 상기 브리지의 폭은 40μm이었고 길이는 40μm이었다. 이때에, 초전도막(I-4)에서, 결합 유도부(나노 홀)가 형성된 60μm x 60μm의 상기 영역 위에 상기 브리지 패턴을 형성하였다. 상기 두 개의 패턴화된 샘플의 임계 온도(Tc)는 초전도막(I-4)의 경우 90K이었고 초전도막(C-4)의 경우 90.5K이었다. 제로 자기장하에서, 77K에서 상기 초전도막(I-4)의 임계 전류 밀도(Jc)는 4,800,000 A/cm²이었고, 상기 초전도막(C-4)의 임계 전류 밀도는 4,500,000 A/cm²이었다. 게다가, c-축(기판 평면과 직각)과 평행한 1T의 자기장하에서, 77K의 온도에서 상기 초전도막(I-4)의 임계 전류 밀도(Jc)는 1,200,000 A/cm²이었고, 상기 초전도막(C-4)의 임계 전류 밀도는 600,000 A/cm²이었다.

[표 1]
초전도막의 초전도성의 평가

초전도막	임계온도Tc(K)	임계전류밀도 Jc(x 10 ⁴ A/cm ²)	
		(@77K, 0T)	(@77K, 1T, B//c-축)
(I-1)	90	500	110
(C-2)	91	450	58
(I-2)	89.5	520	130
(C-2)	90.5	430	55
(I-3)	90.5	510	100
(C-3)	91	400	45
(I-4)	90	480	120
(C-4)	90.5	450	60

상기한 대로, 본 발명의 초전도막은 종래의 초전도막의 임계 온도(Tc)와 동일한 임계 온도를 나타내었고, 제로 자기장하에서 종래의 막의 임계 전류 밀도와 동일하거나 그 이상의 임계 전류 밀도를 제공하였다.

게다가, 1T의 자기장에서, 본 발명의 초전도막은 종래의 초전도막의 임계 전류 밀도보다 높은 임계 전류 밀도를 나타내었다. 따라서, 본 발명의 초전도막은 자기장의 영향하에서 작동할 때 더 큰 전류를 흐르게 할 수 있고, 이런 환경에서 작동하는 소자들뿐만 아니라 케이블, 자석, 실드, 환류기, 마이크로파 소자, 이런 제품들의 중간 소자와 같은 응용분야에도 적합하다.

본 발명은 다양한 실시예들에 대해 상세하게 기술하였고 본 발명의 더 넓은 범위 내에서 본 발명을 벗어나지 않고 변화와 변형을 가할 수 있다는 것은 상기한 것로부터 당업자가 명백히 알 수 것이고, 따라서, 본 발명의 진정한 취지 내에 해당하는 상기 변화와 변형을 모두 포함하는 것이 첨부된 청구항의 목적이다.

산업상 이용 가능성

본 발명의 내용 중에 포함되어 있음

(57) 청구의 범위

청구항 1.

기관과 이 기관상에 형성된 초전도체층을 가지며, 나노 그루브는 상기 초전도체층이 형성되는 기관 표면상의 전류 흐름 방향과 평행하게 형성되고 면상 결정 결함은 상기 나노 그루브 상의 초전도체층에 유도되는 초전도막.

청구항 2.

제 1 항에 있어서,

상기 면상 결정 결함의 각각은 전류 흐름 방향에서 연속적인 면상 결정 결함인 초전도막.

청구항 3.

제 1 항에 있어서,

상기 면상 결정 결함의 각각은 불연속적인 면상 결정 결함의 배열인 면상 결정 결함인 초전도막.

청구항 4.

제 1 항에 있어서,

상기 면상 결정 결함은 상기 기관상에 불규칙적으로 분포되는 초전도막.

청구항 5.

제 1 항에 있어서,

상기 면상 결정 결함은 결정 입계, 전위 배열, 상기 초전도체층을 구성하는 원소로 제조된 비결정체, 비초전도체 또는 낮은 임계 온도 초전도체인 초전도막.

청구항 6.

제 1 항에 있어서,

상기 나노 그루브는 100nm 이하의 폭과 100nm 이하의 깊이를 가지며 전류 흐름 방향과 수직인 방향에서 인접한 나노 그루브의 평균 중심 대 중심 거리는 500nm 이하인 초전도막.

청구항 7.

제 1 항에 있어서,

상기 기관은 페로브스카이트 형태의 결정 구조, 암염(巖鹽) 형태의 결정 구조, 첨정석 형태의 결정 구조, 이티륨 안정화 지르코니아 형태의 구조, 플루오라이트 형태의 결정 구조, 희토류 C 형태의 결정 구조, 파이로클로어 형태의 결정 구조를 갖는 산화물의 기관; 또는 산화물 기관, 질화물 기관, 반도체 기관, 니켈계 합금 기관, 구리계 합금 기관 또는 표면에 상기 산화물 또는 붕산화물로 제조된 버퍼층이 형성된 절계 합금 기관인 초전도막.

청구항 8.

제 1 항에 있어서,

상기 초전도체층은 $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+x}$, 여기서, Ln은 Y 원소 및 희토류 원소로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 하나 이상의 원소이고, $-0.5 < x < 0.2$ 인 화학식을 가진 구리 산화물계 고온 초전도 재료; $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+y}$, 여기서 $0 < x < 0.4$, $-0.5 < y < 0.5$ 및 $n = 1, 2$ 또는 3인 화학식을 가진 구리 산화물계 고온 초전도 재료; 및 주성분으로 MgB_2 를 함유하는 초전도 재료로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 초전도 재료로 형성되는 초전도막.

청구항 9.

제 1 항에 있어서,

상기 초전도체층은 복수의 층으로 형성되고 나노 그루브는 상부층을 제외하고 상기 복수의 층의 각각에 형성되는 초전도막.

청구항 10.

기관과 이 기관상에 형성된 초전도체층을 가지며, 나노 그루브는 상기 초전도체층이 형성되는 기관 표면상의 전류 흐름 방향과 평행하게 형성되고; 결합 유도부는 상기 나노 그루브상에 형성되고; 면상 결정 결합은 상기 결합 유도부상의 초전도체층에 유도되는 초전도막.

청구항 11.

제 10 항에 있어서,

상기 면상 결정 결합의 각각은 전류 흐름 방향에서 연속적인 면상 결정 결합인 초전도막.

청구항 12.

제 10 항에 있어서,

상기 면상 결정 결합의 각각은 불연속적인 면상 결정 결합의 배열인 면상 결정 결합인 초전도막.

청구항 13.

제 10 항에 있어서,

상기 면상 결정 결합은 상기 기관상에 불규칙적으로 분포되는 초전도막.

청구항 14.

제 10 항에 있어서,

상기 면상 결정 결합은 결정 입계, 전위 배열, 상기 초전도체층을 구성하는 원소로 제조된 비결정체, 비초전도체 또는 낮은 온도 초전도체인 초전도막.

청구항 15.

제 10 항에 있어서,

상기 나노 그루브는 100nm 이하의 폭과 100nm 이하의 깊이를 가지며 전류 흐름 방향과 수직인 방향에서 인접한 나노 그루브의 평균 중심 대 중심 거리는 500nm 이하인 초전도막.

청구항 16.

제 10 항에 있어서,

상기 기관은 페로브스카이트 형태의 결정 구조, 암염(巖鹽) 형태의 결정 구조, 침정석 형태의 결정 구조, 이티륨 안정화 지르코니아 형태의 구조, 플루오라이트 형태의 결정 구조, 희토류 C 형태의 결정 구조, 파이로클로어 형태의 결정 구조를 갖는 산화물의 기관; 또는 산화물 기관, 질화물 기관, 반도체 기관, 니켈계 합금 기관, 구리계 합금 기관 또는 표면에 상기한 산화물 또는 붕산화물로 제조된 버퍼층이 형성된 철계 합금 기관인 초전도막.

청구항 17.

제 10 항에 있어서,

상기 초전도체층은 $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+x}$, 여기서, Ln은 Y 원소 및 희토류 원소로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 하나 이상의 원소이고, $-0.5 < x < 0.2$ 인 화학식을 가진 구리 산화물계 고온 초전도 재료; $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+y}$, 여기서 $0 < x < 0.4$, $-0.5 < y < 0.5$ 및 $n = 1, 2$ 또는 3인 화학식을 가진 구리 산화물계 고온 초전도 재료; 및 주성분으로 MgB_2 를 함유하는 초전도 재료로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 초전도 재료로 형성되는 초전도막.

청구항 18.

제 10 항에 있어서,

상기 결합 유도부는 금속, 금속간 화합물, 질화물 또는 산화물로 형성되는 초전도막.

청구항 19.

제 10 항에 있어서,

상기 초전도체층은 복수의 층으로 형성되고 나노 그루브는 상부층을 제외하고 상기 복수의 층의 각각에 형성되는 초전도막.

청구항 20.

기관과 이 기관상에 형성된 초전도체층을 가지며, 나노 홀의 열은 상기 초전도체층이 형성되는 기관 표면상의 전류 흐름 방향과 평행하게 형성되고 선상 결정 결함의 열은 상기 나노 홀 상의 초전도체층에 유도되는 초전도막.

청구항 21.

제 20 항에 있어서,

선상 결정 결함의 상기 열의 각각은 전류 흐름 방향에서 연속적인 선상 결정 결함의 열인 초전도막.

청구항 22.

제 20 항에 있어서,

선상 결정 결함의 상기 열의 각각은 선상 결정 결함의 불연속적인 열의 배열인 초전도막.

청구항 23.

제 20 항에 있어서,

선상 결정 결함의 상기 열은 상기 기관상에 불규칙적으로 분포되는 초전도막.

청구항 24.

제 20 항에 있어서,

상기 선상 결정 결함은 결정 입계, 전위 배열, 상기 초전도체층을 구성하는 원소로 제조된 비결정체, 비초전도체 또는 낮은 임계 온도 초전도체인 초전도막.

청구항 25.

제 20 항에 있어서,

상기 나노 홀은 100nm 이하의 지름을 가지며 전류 흐름 방향과 수직인 방향에서 나노 홀의 인접한 열의 평균 중심 대 중심 거리는 500nm 이하인 초전도막.

청구항 26.

제 20 항에 있어서,

상기 기관은 페로브스카이트 형태의 결정 구조, 암염(巖鹽) 형태의 결정 구조, 침정석 형태의 결정 구조, 이티륨 안정화 지르코니아 형태의 구조, 플루오라이트 형태의 결정 구조, 희토류 C 형태의 결정 구조, 파이로클로어 형태의 결정 구조를 갖는 산화물의 기관; 또는 산화물 기관, 질화물 기관, 반도체 기관, 니켈계 합금 기관, 구리계 합금 기관 또는 표면에 상기 산화물 또는 붕산화물로 제조된 버퍼층이 형성된 철계 합금 기관인 초전도막.

청구항 27.

제 20 항에 있어서,

상기 초전도체층은 $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+x}$, 여기서, Ln은 Y 원소 및 희토류 원소로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 하나 이상의 원소이고, $-0.5 < x < 0.2$ 인 화학식을 가진 구리 산화물계 고온 초전도 재료; $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+y}$, 여기서 $0 < x < 0.4$, $-0.5 < y < 0.5$ 및 $n = 1, 2$ 또는 3인 화학식을 가진 구리 산화물계 고온 초전도 재료; 및 주성분으로 MgB_2 를 함유하는 초전도 재료로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 초전도 재료로 형성되는 초전도막.

청구항 28.

제 20 항에 있어서,

상기 초전도체층은 복수의 층으로 형성되고 나노 홀의 열은 상부층을 제외하고 상기 복수의 층의 각각에 형성되는 초전도막.

청구항 29.

기관과 이 기관상에 형성된 초전도체층을 가지며, 나노 홀의 열은 상기 초전도체층이 형성되는 기관 표면상의 전류 흐름 방향과 평행하게 형성되고; 결합 유도부는 상기 나노 홀 상에 형성되고; 선상 결정 결합의 열은 상기 결합 유도부의 열상의 초전도체층에 유도되는 초전도막.

청구항 30.

제 29 항에 있어서,

선상 결정 결합의 상기 열의 각각은 전류 흐름 방향에서 연속적인 선상 결정 결합의 열인 초전도막.

청구항 31.

제 29 항에 있어서,

선상 결정 결합의 열의 각각은 선상 결정 결합의 불연속적인 열의 배열인 초전도막.

청구항 32.

제 29 항에 있어서,

선상 결정 결합의 상기 열은 상기 기관상에 불규칙적으로 분포되는 초전도막.

청구항 33.

제 29 항에 있어서,

상기 선상 결정 결합은 결정 입계, 전위 배열, 상기 초전도체층을 구성하는 원소로 제조된 비결정체, 비초전도체 또는 낮은 입계 온도 초전도체인 초전도막.

청구항 34.

제 29 항에 있어서,

상기 나노 홀은 100nm 이하의 지름을 가지며 전류 흐름 방향과 수직인 방향에서 나노 홀의 인접한 열의 평균 중심 대 중심 거리는 500nm 이하인 초전도막.

청구항 35.

제 29 항에 있어서,

상기 기판은 페로브스카이트 형태의 결정 구조, 암염(巖鹽) 형태의 결정 구조, 침정석 형태의 결정 구조, 이티륨 안정화 지르코니아 형태의 구조, 플루오라이트 형태의 결정 구조, 희토류 C 형태의 결정 구조, 파이로클로어 형태의 결정 구조를 갖는 산화물의 기판; 또는 산화물 기판, 질화물 기판, 반도체 기판, 니켈계 합금 기판, 구리계 합금 기판 또는 표면에 상기한 산화물 또는 붕산화물로 제조된 버퍼층이 형성된 절연체 합금 기판인 초전도막.

청구항 36.

제 29 항에 있어서,

상기 초전도체층은 $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+x}$, 여기서, Ln은 Y 원소 및 희토류 원소로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 하나 이상의 원소이고, $-0.5 < x < 0.2$ 인 화학식을 가진 구리 산화물계 고온 초전도 재료; $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+y}$, 여기서 $0 < x < 0.4$, $-0.5 < y < 0.5$ 및 $n = 1, 2$ 또는 3인 화학식을 가진 구리 산화물계 고온 초전도 재료; 및 주성분으로 MgB_2 를 함유하는 초전도 재료로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 초전도 재료로 형성되는 초전도막.

청구항 37.

제 29 항에 있어서,

상기 결합 유도부는 금속, 금속간 화합물, 질화물 또는 산화물로 형성되는 초전도막.

청구항 38.

제 29 항에 있어서,

상기 초전도체층은 복수의 층으로 형성되고 나노 홀의 열은 상부층을 제외하고 상기 복수의 층의 각각에 형성되는 초전도막.

청구항 39.

기판상에 나노 그루브를 형성하는 단계; 상기 기판상에 초전도체층을 성장시키는 단계를 포함하는 초전도막 제조 방법.

청구항 40.

제 39 항에 있어서,

나노 그루브를 형성하는 상기 단계는 기계적 연마, 에칭, 나노 임프린트, 처리 모드의 AFM, 또는 나노 리소그래피로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 방법에 의해 수행되는 초전도막 제조 방법.

청구항 41.

제 39 항에 있어서,

상기 나노 그루브는 100nm 이하의 폭과 100nm 이하의 깊이를 가지며 전류 흐름 방향과 수직인 방향에서 인접한 나노 그루브의 평균 중심 대 중심 거리는 500nm 이하인 방식으로 형성되는 초전도막 제조 방법.

청구항 42.

제 39 항에 있어서,

초전도체층을 형성하는 상기 단계는 PLD, 증착, 스퍼터링, CVD, MEB 및 MOD로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 방법에 의해 수행되는 초전도막 제조 방법.

청구항 43.

제 39 항에 있어서,

상기 제조 방법은 상기 나노 그루브 상에 결합 유도부를 형성하는 단계를 더 포함하는 초전도막 제조 방법.

청구항 44.

제 43 항에 있어서,

결합 유도부를 형성하는 상기 단계는 PLD, 증착, 스퍼터링, CVD 및 MEB로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 방법에 의해 수행되는 초전도막 제조 방법.

청구항 45.

나노 홀의 열을 기판상에 형성하는 단계; 및 초전도체층을 상기 기판상에 성장시키는 단계를 포함하는 초전도막 제조 방법.

청구항 46.

제 45 항에 있어서,

나노 홀의 열을 형성하는 상기 단계는 기계적 연마, 에칭, 나노 임프린트, 처리 모드 AFM, 또는 나노 리소그래피로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 방법에 의해 수행되는 초전도막 제조 방법.

청구항 47.

제 45 항에 있어서,

상기 나노 홀은 100nm 이하의 지름을 가지며 전류 흐름 방향과 수직인 방향에서 나노 홀의 인접한 열의 평균 중심 대 중심 거리는 500nm 이하인 방식으로 형성되는 초전도막 제조 방법.

청구항 48.

제 45 항에 있어서,

초전도체층을 형성하는 상기 단계는 PLD, 증착, 스퍼터링, CVD, MEB 및 MOD로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 방법에 의해 수행되는 초전도막 제조 방법.

청구항 49.

제 45 항에 있어서,

상기 제조 방법은 상기 나노 홀 상에 결함 유도부를 형성하는 단계를 더 포함하는 초전도막 제조 방법.

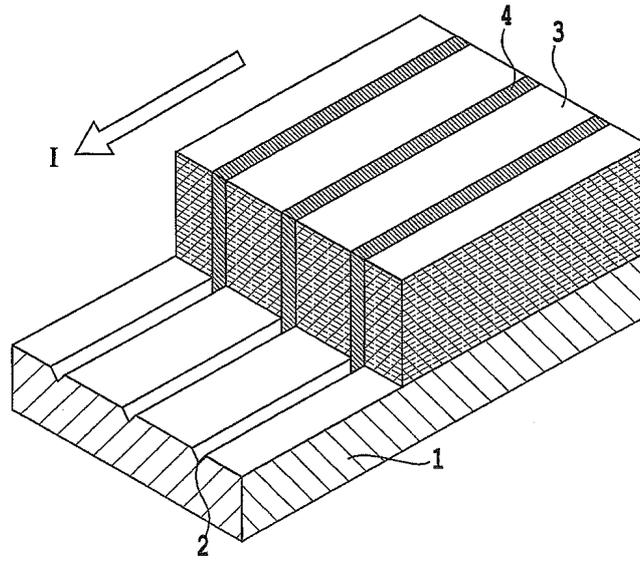
청구항 50.

제 49 항에 있어서,

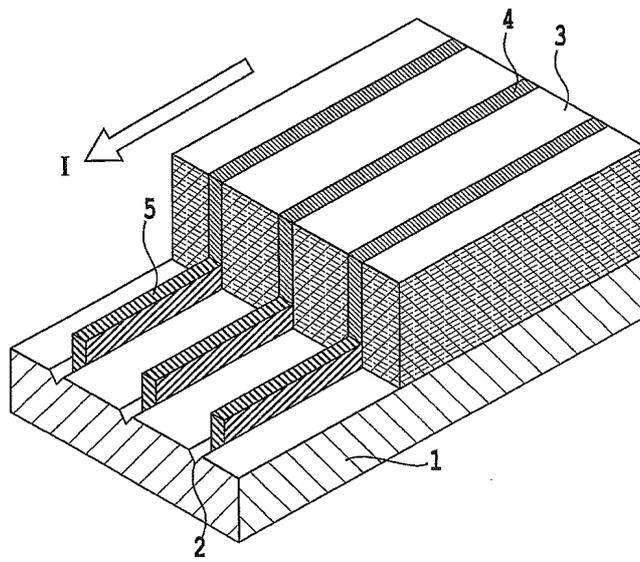
결함 유도부를 형성하는 상기 단계는 PLD, 증착, 스퍼터링, CVD 및 MEB로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 방법에 의해 수행되는 초전도막 제조 방법.

도면

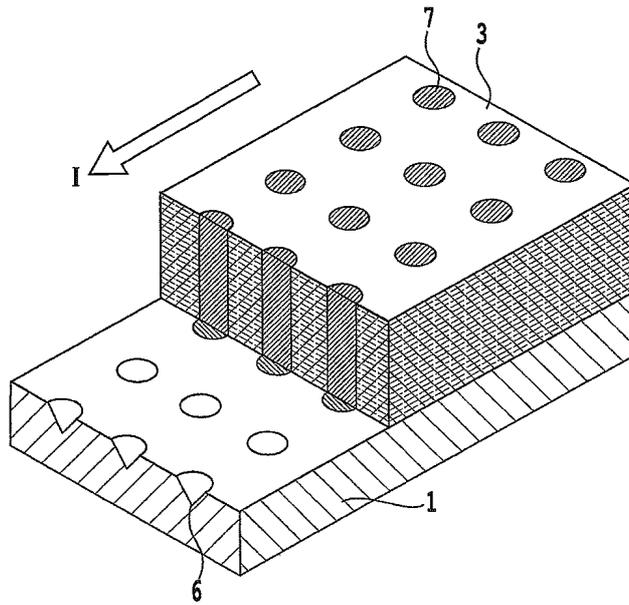
도면1



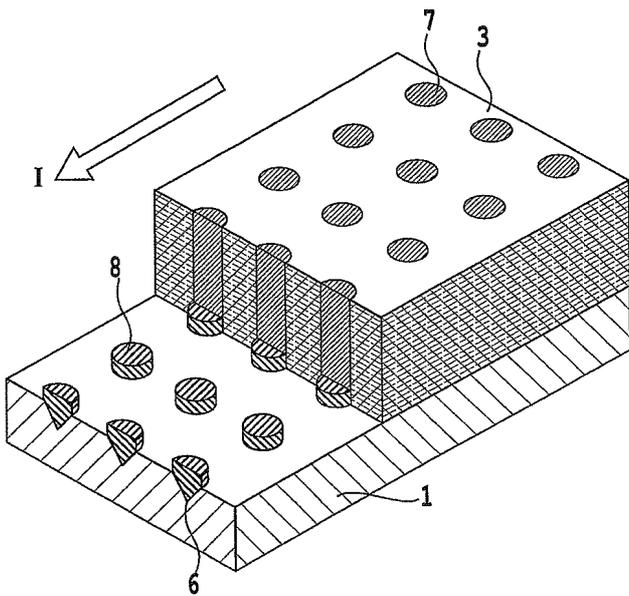
도면2



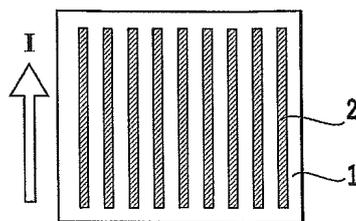
도면3



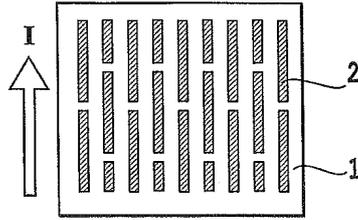
도면4



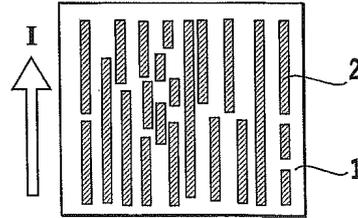
도면5a



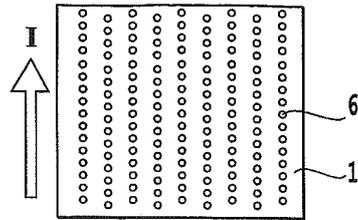
도면5b



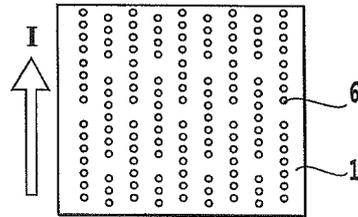
도면5c



도면6a



도면6b



도면6c

