



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I666795 B

(45)公告日：中華民國 108 (2019) 年 07 月 21 日

(21)申請案號：107102025

(22)申請日：中華民國 103 (2014) 年 08 月 25 日

(51)Int. Cl. : H01L39/14 (2006.01)

H01L39/24 (2006.01)

(30)優先權：2013/08/29 美國

14/013,313

(71)申請人：美商瓦里安半導體設備公司(美國) VARIAN SEMICONDUCTOR EQUIPMENT ASSOCIATES, INC. (US)

美國

(72)發明人：王康妮 P. WANG, CONNIE P. (US) ; 沙利文保羅 SULLIVAN, PAUL (US) ; 墨菲保羅 MURPHY, PAUL (US) ; 特拉斯狄克可賽格 D. TEKLETSADIK, KASEGN D.

(ET) ; 雷馬克利斯那巴拉特哇 RAMAKRISHNAN, BHARATWAJ (IN)

(74)代理人：葉璟宗；鄭婷文；詹富閔

(56)參考文獻：

JP 9-115355

US 5039478

US 2004/0266628A1

US 2009/0298696A1

審查人員：張展溢

申請專利範圍項數：10 項 圖式數：5 共 26 頁

(54)名稱

超導帶及其形成方法

SUPERCONDUCTOR TAPE AND METHOD OF FORMING THE SAME

(57)摘要

本發明提供一種超導帶及其形成方法。在一實施例中，超導帶包括：基底，其包括多個層；定向超導層，位在基底上；以及合金塗層，位在超導層上，合金塗層包括一層或更多層的金屬層，其中至少一層金屬層包括金屬合金。

A superconductor tape and a method of forming the same are provided. In one embodiment a superconductor tape includes a substrate comprising a plurality of layers, an oriented superconductor layer disposed on the substrate, and an alloy coating disposed upon the superconductor layer, the alloy coating comprising one or more metallic layers in which at least one metallic layer comprises a metal alloy.

指定代表圖：

符號簡單說明：

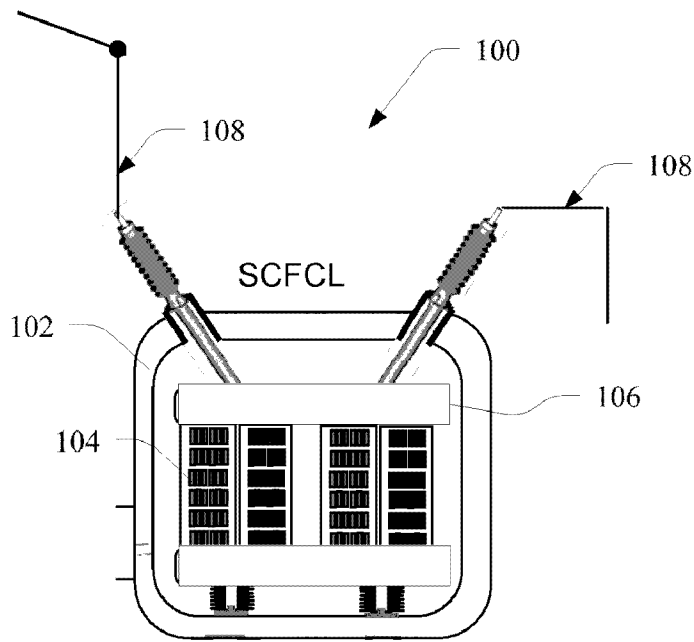
100 ··· 超導故障電
流限制器系統

102 ··· 超導故障電
流限制器

104 ··· 超導元件

106 ··· 保護元件

108 ··· 傳遞線



【圖1】

【發明說明書】

【中文發明名稱】超導帶及其形成方法

【英文發明名稱】SUPERCONDUCTOR TAPE AND METHOD OF FORMING THE SAME

【技術領域】

【0001】本發明是有關於一種超導材料，且特別是有關於一種超導帶及其製造技術。

【先前技術】

【0002】基於高溫超導(high temperature superconducting, HTS)材料的臨界溫度(critical temperature, T_c)可高於 77K，超導線(superconducting wire)或超導帶(tape)已被開發，其利於在由液態氮冷卻的低溫系統(cryogenic system)中使用。在某些應用中，例如在超導故障電流限制器(superconducting fault current limiter, SCFCL)中的使用，如果發生故障，高溫超導(high temperature superconducting, HTS)帶會經歷高溫驟增(excursion)，其超導層會進行轉變而至非超導狀態。

【0003】在 SCFCL 正常操作下，電流幾乎只經由超導層傳遞。當在 SCFCL 中發生故障時，由於從超導層獲取有限電阻(finite resistance)，金屬層一般較超導層的現有電阻(now-resistive)呈現較

低的電阻，電流會轉向進入與超導層接觸的金屬層。在故障條件期間，經過金屬層的電流可能造成電阻加熱(resistive heating)，而引起 HTS 帶內溫度上升至 400°C 或更高。高溫的結果使金屬表面粗糙化(roughening)，也使局部位置(local spot)或在金屬層界面處發生氧化(oxidation)，導致金屬層的劣化(degradation)以及減少 HTS 帶的壽命。

【0004】 另一方面，為了沿著超導帶的長度產生顯著的電壓降(voltage drop)，可期望增加 HTS 帶內金屬層的片電阻(sheet resistance)。雖然此方法原則上可藉由減少金屬層(例如銅)的厚度來達成，但減少的厚度可能導致結塊(agglomeration)或其他劣化的感受性(susceptibility)增加，而可能縮短 HTS 帶的壽命。因這些方面以及其他考量，本發明的改良是需要的。

【發明內容】

【0005】 本內容提供簡化的形式介紹選擇性的概念，其更進一步的描述在後面的詳述內。本內容並非用來限定申請專利範圍中專利標的主特徵或必要特徵，亦不是用來協助決定申請專利範圍中專利標的範圍。

【0006】 在一實施例中，超導帶包括：基底，其包括多個層；定向(oriented)超導層，位於基底上；以及合金塗層(alloy coating)，位於超導層上，合金塗層包括一層或更多層的金屬層，其中至少一層金屬層包括金屬合金。

【0007】 在另一實施例中，形成超導帶的方法包括形成超導層，其包括位在帶基底(tape substrate)上的定向超導材料，其中帶基底及定向超導材料在其之間定義第一界面。上述方法更包括在超導層上形成合金塗層，其中合金塗層及超導層定義與第一界面相對的第二界面，且合金塗層包括一層或更多層的金屬層，其中至少一層金屬層包括金屬合金。

【圖式簡單說明】

【0008】

圖 1 是依照一實施例所繪示的電流限制系統。

圖 2A 是具合金塗層的塗層超導帶的實施例。

圖 2B 是圖 2A 的實施例的變化。

圖 2C 是圖 2A 的實施例的另一變化。

圖 3A 是雙層合金塗層的實施例。

圖 3B 是雙層合金塗層的另一實施例。

圖 3C 是雙層合金塗層的另一實施例。

圖 4A 是繪示在正常條件下具雙層合金塗層的塗層超導帶的操作方案。

圖 4B 是在故障條件期間圖 4A 的塗層超導帶內形成導電氧化物的方案。

圖 4C 是在故障條件期間圖 4A 的塗層超導帶內形成導電氧化物的另一方案。

圖 5 是繪示銀-鋯(Ag-Zr)系統的二元相圖。

【實施方式】

【0009】 以下將參考附圖更完整地描述本發明的實施例，其圖中將顯示出本發明的一些實施例。然而，本發明可用許多不同的形式予以實施，因此不應視為侷限於在此所述之實施例。更確切地說，提供這些實施例將使本發明的揭露更齊全，且將更完整地傳達本發明的觀念給任何所屬技術領域中具有通常知識者。在圖中，相同的參考數字皆表示相同的元件。

【0010】 為了解決一些前述提及的超導帶缺陷，在此將描述實施例以提供超導帶的改良結構以及形成超導帶的改良技術。這些實施例可特別適用於超導帶受交流電(AC voltage)支配的超導帶應用，包括在故障電流限制器內及其他應用。

【0011】 為了解決此情況，本案的實施例特別提供超導帶的結構，其包括合金塗層，合金塗層包括一層或更多層的金屬合金層。更特別的是，金屬合金(在此亦簡化為合金)塗層與超導層接觸。如下詳述，在合金塗層內的合金層提供超導帶改良堅固性(robustness)、在故障條件期間對於燒毀(burnout)的改良電阻、增加的片電阻(sheet resistance)以及在下層的超導層的改良性質。

【0012】 在此使用的「合金」名詞表示金屬與一種或更多其他元素的混合物，例如一種或更多另外的金屬元素。合金可由二種或更多種的元素的固態溶液(形成單一相)構成；可由二相或更多相的

混合物構成，其中每一相可為二種或更多種的元素的固態溶液；可由一種或更多種的介金屬化合物(intermetallic compound)構成；或由上述任何組合的混合物構成。介金屬化合物可以是組成元素比例不變動的線性(line)化合物，但亦可以是組成元素比例可變動的化合物。在下述的討論中，將顯示如何藉由適當選擇合金元素可形成所需的超導帶性質的組合。以下所揭露的合金塗層包括至少一層合金層，且可包括單一合金層、單一合金層和另外的非合金層、多層合金層及多層非合金層等。在遵循與單一元素合金的銀層或銅層的實例的實施例中提供不同的合金元素。然而，本案實施例包括二種或更多種的此類合金元素與例如銅或銀的材料合金的合金。

【0013】 圖 1 繪示超導故障電流限制器(SCFCL)系統 100 的結構，其與揭露的實施例一致。SCFCL 系統 100 包括 SCFCL 102，其為傳統的 SCFCL，除非在此有其他方面的描述註記可遵循。SCFCL 系統 100 更包括保護元件 106，其包含根據不同實施例配置的超導帶。SCFCL 102 與傳遞線(transmission line) 108 為串聯配置，其設計為傳遞負載電流(load current)。在正常操作模式下，負載電流可週期性(periodically)、偶發性(occasionally)或持續性(continuously)經過 SCFCL 系統 100。在正常操作模式中的負載電流表現使超導元件 104 維持在超導態的電流位準(current level)，因此當負載電流經過 SCFCL 102 時，在零電阻下經由超導元件 104 傳送負載電流。於是，負載電流傳送經過 SCFCL 時，電阻相對較低，SCFCL

包括電阻點(resistive point)以及連接點(connection point)，而電阻點包括常態金屬(normal state metal)。

【0014】 超導元件 104 是使用 HTS 帶製造。根據先前技術背景，HTS 帶是使用在例如 SCFCL 的裝置冷卻至典型的液態氮沸點(77 K)時的情況下，此溫度低於用於製造 HTS 帶的超導材料的臨界溫度。當電流小於臨界電流(critical current, J_c)時，SCFCL 在無電阻下經(HTS)帶傳送電流，上述臨界電流為超導材料的含述，經由此超導材料，製造超導帶和形成超導帶的幾何結構。在故障條件下，傳遞經過 SCFCL 102 的電流會經歷驟增(surge)，如注意到的，超過 J_c 並造成超導材料改變至有限狀態電阻，且電流轉向經過金屬接觸層。在傳統 HTS 帶結構內，在故障期間當電流轉向經過金屬接觸層時所散出的高溫可能改變金屬層的微結構，造成金屬原子擴散、晶粒成長、熱誘發應力(thermally induced stress)，這些過程可能導致層結塊、空隙產生及裂痕。此外，當故障發生時，視周圍環境而定，可能發生金屬層氧化。這些現象的集合在此亦表示為「燒毀」，且可能發生在單一次故障事件或多次故障事件之後。

【0015】 與本案的實施例一致，用來製造超導元件 104 的金屬塗層包括至少一層合金層，其對於燒毀具有改良的電阻。在不同的實施例中，合金層形成具有金屬層的塗層半導體結構的一部份，所述金屬層圍繞超導帶的內超導層。圖 2A 繪示超導帶 200 的一實施例，其中超導層 204 位於基底 202 上，超導帶 200 包括如下所述的多數層。憑藉著基底 202 的組成層，基底 202 形成高度定向

超導層長成的基板(template)。在此使用的名詞「定向」或「高度定向」表示具有高度晶體方向的性質，例如高度的雙軸方向(bi-axial orientation)，其中晶軸平行於單一方向。超導層 204 的適合材料包括例如 $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (R 是稀土元素) 或 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{4+2n+x}$ 。每一種這些族的材料包括某些成分，其臨界溫度(T_c)和臨界電流承受能力(critical current capability)適合使用在於液態氮溫度下操作的電流限制器內。位於超導層 204 上的是合金塗層 206，其配置為傳遞電流，例如在故障條件期間可能發生的短暫故障電流，其中超導層 204 會轉變至非超導狀態。如下詳述，合金塗層 206 的組成及/或微結構使合金塗層 206 較使用於超導帶內的傳統金屬層或層堆疊(例如銀或銅)更耐燒毀。在不同的實施例中，合金塗層延伸至超導帶 200 的周圍，使塗層 208(可與合金塗層 206 為相同材料)於配置超導層 204 的相對側與基底 202 相鄰配置。這導致超導層 204 及基底 202 由合金材料包圍的結構。然而，在接下來的圖示中，塗層 208 為了清楚起見將被省略。

【0016】 圖 2B 及圖 2C 呈現超導帶 200 的變化，其中超導層 204 為 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ，其材料展現大的臨界電流。在圖 2B 的實施例中，基底 202 包括基礎金屬合金層 210、位在基礎金屬合金層 210 上的 Y_2O_3 層 212、位在 Y_2O_3 層 212 上的鈮安定氧化鋯(yttrium stabilized zirconia, YSZ)層 214 以及位在 YSZ 層 214 上的 CeO_2 層 216。如圖 2B 及圖 2C 精確地描述，基礎金屬合金層 210 適合的材料例子包括鎳基合金(nickel based alloy)，例如 Hastelloy C-276。然而，

亦可使用其他金屬合金。CeO₂層 216 代表超導層 204 位於其上的層。

【0017】 在圖 2C 的實例中，基底 202 包括基礎金屬合金層 210、Al₂O₃/Y₂O₃ 緩衝層 221、離子束輔助沉積法形成的 MgO 層 (ion beam-assisted deposition MgO, IBAD MgO) 222、位在 IBAD MgO 層 222 上的同質磊晶 (homoepitaxial) MgO 層 224 以及磊晶 LaMnO₃ (LMO) 層 226。磊晶 LMO 層 226 代表超導層 204 位於其上的層。在每一案例中，上方超導層 204 為 YBa₂Cu₃O_{7-x} 的氧化物層可為雙軸結構，使超導層 204 為形成為具有高臨界電流承受能力的磊晶層的 YBa₂Cu₃O_{7-x}。特別的是，這些實施例並非受限於如圖 2B 及圖 2C 中所繪示的特定薄膜堆疊。

【0018】 在不同的實施例中，超導帶 200 是設計為可承受臨界電流高達約 1000 安培 (Amp, A)/厘米寬的超導帶。再次參照圖 2A，超導帶寬度 ($d_{\text{帶}}$) 反映中，在垂直於電流方向 (卡氏座標系統中顯示的 Y 軸方向) 的方向上超導帶 200 的尺寸。對於約一微米的層厚度 (沿 Z 軸方向)，1000 安培/厘米寬的臨界電流對應於臨界電流密度為 10^7 安培/平方厘米。為了提供高臨界電流承受能力，超導帶 200 配置為承受可能在故障條件期間發生的高電流驟增。舉例來說，在超導帶 200 的 $d_{\text{帶}}$ 約為 1 厘米的實施例中，電流密度在超導層 204 轉變至非超導狀態之前會超過 1000 安培 (且在故障條件下可能會短暫地達到更高)，因而電流會轉向經過合金塗層 206。於是，在不同的實施例中，合金塗層 206 是設計為可承受超過最小

值 1000 安培的電流脫羈(current excursion)。

【0019】 在一些實施例中，合金塗層 206 為雙層堆疊，其包括至少一層由合金組成。圖 3A、圖 3B 及圖 3C 呈現具有含合金的雙層堆疊的超導帶的變化。在圖 3A 中，圖中顯示出超導帶 300 的末端剖視圖，其包括位在基底 302 上的超導層 304。在此實例中，形成在超導層 304 上的雙層堆疊 305 包括金屬層 306 和合金層 308，其中金屬層 306 位在超導層 304 上且不為合金，合金層 308 位在金屬層 306 上。在圖 3B 中，圖中顯示出超導帶 310 的末端剖視圖，其包括形成在超導層 304 上的雙層堆疊 307 的變化，其中與超導層 304 接觸的金屬層 312 為合金。超導帶 310 亦包括金屬層 314，其位在金屬層 312 上且不為合金。在圖 3C 中，圖中顯示出超導帶 320 的末端剖視圖，其包括形成在超導層 304 上的雙層堆疊 309 的變化，其中，與超導層 304 接觸的金屬層 312 為合金，且合金層 308 位於金屬層 312 上。

【0020】 與不同的實施例一致，圖 3A-圖 3C 所繪示的合金層可由任何便利的方法製造，包括電鍍、化學氣相沉積或物理氣相沉積。實施例並不受限於本文。

【0021】 圖 3A-圖 3C 中所顯示的每一個超導帶的配置皆可有效地減少燒毀，否則，舉例來說，在故障條件期間當各自的超導帶內產生過度的溫度時則可能會造成燒毀。在一些超導層是由雙層金屬結構或合金塗層覆蓋的超導帶的實施例，在雙層金屬合金塗層內與超導層接觸是含銀層，且位在含銀層上的外層是含銅層。在

一示範的配置中，含銀層的厚度在數十分之一微米至約二微米的範圍內，含銅層的厚度在五微米至五十微米的範圍內。含銀層可有效地維持超導層與雙層金屬堆疊間的低接觸電阻。含銀層也可有效地阻止含銅層與超導層間的交互擴散(interdiffusion)，其交互擴散可能降低超導層的超導性質。另一方面，含銅層憑藉其較大的厚度以及銅的低比電阻(low specific resistivity)可有效地傳送大部分可能產生的任何故障電流。

【0022】 在一些實施例中，超導帶的銀合金層是由合金元素製造，其在氧化環境下形成導電氧化物。這類合金層的實例為銀和錫的合金或銀和鋅的合金。特別的是，在一些實施例中，這類合金示範的成分為約 0.5 莫耳%至約 30 莫耳%的錫或鋅。在相對較低的濃度下，這些合金中的每一者會與銀形成單一相的固態溶液。舉例來說，當鋅的莫耳分率小於約 25%時，銀-鋅二元系統會形成單一相的面心立方(face centered cubic, fcc)結構，且當錫的莫耳分率小於約 15%時，銀-錫二元系統會形成單一相。在故障條件期間，超導帶內由於過度的電流產生的高溫結合通常圍繞超導帶的氧化環境，可能會導致含銀層的氧化。在這些實施例中，任何發生在銀合金層內的氧化不管怎樣皆可能產生尤其是維持與下層超導層可接受的接觸電阻的導電層，因為銀-鋅或銀-錫合金層的每一個包含形成導電氧化物的元素。

【0023】 為了描述此觀點，圖 4A-4C 共同地呈現銀合金層氧化的二種不同方案，其是由故障條件或其他產生銀合金層加熱的條件

所造成。圖 4A 中顯示出超導帶 400 的側剖面圖，其超導帶可包括銅層或上覆層(overlayer)(未按比例繪示)，例如不為合金的層 314。然而，在其他實施例中，銅層可能為合金層。除非有其他的註記，在此使用的名詞「銅層」及「銀層」可包括任何層，其中此層的莫耳分率分別為超過 50%銅或 50%銀。因此，「銅層」可能為純銅或可能包含一種或更多額外的元素(其總莫耳分率小於銅層的 50%)。在不同的實施例中，超導帶 400 包括銀合金層 402，其可從銀-鋅或銀-錫的固態溶液形成。在特定的實施例中，在銀合金層 402 內鋅或錫的莫耳分率小於或等於 30%。超導帶 400 在正常條件(周遭環境是冷卻至低溫，例如液態氮溫度(77K))操作。電流 404 在低於 J_c 的電流位準經由超導帶 400 傳輸，使超導層 304 維持在超導狀態，以使電流 404 在超導層 304 內沿著長方向(平行於 Y 方向)傳遞。在這些條件下，電流 404 穿過超導層 304 時不具電阻，且在超導帶 400 內幾乎沒有或是無電阻加熱的發生。

【0024】 在圖 4B 中，故障條件產生，其中過度的電流讓超導層 304 處於非超導狀態，而使電流 406 在銅層 314 內以及部分的銀層內傳遞。電流 406 足夠產生電阻加熱，而使超導帶 400 達到上升溫度。在一些實例中，超導帶 400 可達到 300°C、400°C 或更高的溫度。此上升溫度造成銀層的氧化而產生氧化層 408。因為銀合金層 402 包含錫或鋅，因此氧化層 408 維持電力的傳遞，尤其是在界面 410 處具有可接受的接觸電阻。雖然銀本身能夠形成導電氧化物，但錫或鋅的添加可利於形成更導電的層。

【0025】 圖 4C 顯示出圖 4A 的結構在故障條件下的另一方案，以使電流 406 在銅層 314 內以及部份的銀層內傳遞。在此實例中，在故障條件期間導致的上升溫度產生自原本的銀合金層 402，還產生自界面氧化物層 412 加上剩餘層(residual layer) 414。界面氧化物層 412 可包括富含錫的氧化物層或富含鋅的氧化物層，其中錫含量或鋅含量高於剩餘層 414 內。界面氧化物層 412 可表現低接觸電阻，使超導帶 400 在進入或離開故障條件時能夠適當地傳遞電流於超導層 304 與銅層 314 之間，其中在故障條件時電流主要經由銅層 314 引導。依據銀合金的使用以及錫或鋅的莫耳分率以及確切的故障條件，傾向於圖 4B 或圖 4C 的方案。在任一案例中，銀合金層 402 呈現更健全的材料，其能夠承受氧化的情況並且維持可接受的導電性質。

【0026】 在額外的實施例中，超導帶的銀合金層是由在銀合金層內形成沉澱物的合金元素製造。這類的沉澱物在故障條件期間所產生的高溫條件(大於約 250°C)下可有效地維持銀合金層的穩定度。在特定的實施例中，合金元素是根據與銀形成介金屬化合物的傾向挑選，其化合物在某些條件下可傾向分凝(seggregate)為沉澱物。在一實例中，形成銀-鋇合金層，鋇莫耳濃度高達約 25%。圖 5 繪示銀-鋇系統的二元平衡相圖的一部分，可看到當鋇的莫耳濃度小於 50%時，有二相區域存在，其是由純銀相以及二元銀鋇化合物產生。於是，在較小的鋇濃度(小於約 25%)下，可預期銀鋇相會分凝成分離的區域，例如銀基質(matrix)相的晶界(grain

boundary)沉澱物內。當這類的微構造形成，在銀銻合金層經受上升的溫度時，銀銻沉澱物扮演壓住基質相內銀晶粒的晶粒成長。在提高的溫度下，此可幫助維持銀合金層為平滑層，因而減少層結塊的傾向。

【0027】 在其他的超導帶銀合金層的實施例中，在銀中加入合金元素可有效地改善下層超導層的性質。在一些實施例中，在銀中加入莫耳濃度約 0.5%至 10%的銻或鉍以形成金屬合金層。實施例並不受限於本文。

【0028】 在超導帶的製造期間，當包含銻或鉍的銀合金層最先在超導層上形成時，銻或鉍可分散在銀基質(例如前述的介金屬化合物)內。接著，當超導帶經受提高的溫度時(例如約 300°C 達一秒或更多秒)，銻或鉍可與下層超導層(例如 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO))層的至少一部分反應，且可形成沉澱相，例如 ZrBaO_x 或 TaBaO_x ，其在超導層內可有效地產生磁通釘札中心(flux pinning center)。磁通釘札是指在電流傳送超導體內磁通線(magnetic flux lines)不管勞侖茲力(Lorentz force)作用在其上都不會移動(變成困住(trapped)或釘住(pinned))的現象。磁通釘札在第一型超導體內不會發生，但會發生在第二型超導體內，例如 YBCO。舉例來說，磁通釘札的發生特別是在當結晶缺陷是起因於雜質的晶界時。磁通釘札在高溫的陶瓷超導材料是可期望的，以防止磁通蠕變(flux creep)，磁通蠕變會產生在超導層內的偽電阻(pseudo-electric resistance)並抑制臨界電流密度和臨界電場，使超導層改變至非超導狀態。因此，

在不同的實施例中，當含銦或鉍的銀合金層經受高於 300°C 的溫度時，舉例來說，在任一故障情況下或由於銀合金層的刻意退火，皆可改善下層第二型氧化物超導體的磁通釘扎性質。

【0029】 在其他的實施例中，在銅層加入一種或多種合金元素，其合金元素可有效地降低銅層的晶粒成長、粗糙化、及/或結塊。有效合金元素的實例包括與銅可形成固態溶液的錫、鋅和其他元素以及可形成沉澱相的銦、鉍和其他元素。合金元素的選擇可一部份根據待由合金元素達成的銅層的所需電阻。舉例來說，添加與銅形成固態溶液的元素相較於純銅層可產生相對較小的電阻增加。反之，添加與銅形成沉澱物的元素可能產生相對較大的電阻增加。

【0030】 在不同的實施例中，添加的合金元素在工程上可有效地增加位在超導帶的超導層上的金屬層內的片電阻。這對於增加超導帶每單位長度的電壓降是有用的，因而可減少在特定的 SCFCL 內所需要的超導帶長度。在銅/銀雙層系統的銅層內併入合金元素有二種方式可有效地增加片電阻。第一種方式需注意的是銅上覆層可較與超導層接觸的銀底層厚數倍。在一些超導帶的結構中，舉例來說，銅層的厚度可約為 20 微米，銀層可為 1 微米。於是，因為純銅和純銀具有相似的電阻，銅/銀堆疊的片電阻主要受銅上覆層的片電阻控制。考慮這一點，在不同的實施例中，添加合金元素(例如銦)以增加銅上覆層的電阻。

【0031】 第二種方式，憑藉著增加的電阻而結塊或改變其他不想

要的層(當與特定元素(如銻)合金時給予銅上覆層)，在進一步的實施例中，可減少超導帶內的總銅層厚度。舉例來說，在一些實施例中，超導帶內 10 微米厚的銅合金可以用作傳遞故障電流的上覆層。添加適量的銻，例如百分之幾至約 20%，10 微米厚的銅合金層在高溫條件下可抵抗粗糙化或結塊，此高溫條件有效於粗糙化更厚的層，例如 20 微米厚的純銅薄膜。

【0032】 在不同另外的實施例中，銅/銀雙層系統是由銅合金和銀合金二者構成。每一層的合金元素可被調整以最佳化所需的塗層性質組合。在一些實施例中，可在銅層或銀層添加超過一種元素。舉例來說，在銀層中添加例如錫的合金元素，以最佳化界面處的導電度，同時，添加鋅以改良下層超導層的磁通釘扎。

【0033】 綜上所述，本案的實施例提供，配置為單一層或多層金屬合金塗層的超導帶，以改善超導帶的性質(包括在故障條件期間抵抗燒毀)。在一些實施例中，金屬合金塗層提供額外的性能優勢，例如增加超導帶每單位長度的電壓降以及改良下層超導層內的磁通釘扎。本案實施例中的超導帶可使用不同技術製造，包括在傳統超導帶內製造金屬塗層的技術。

【0034】 本揭露並不受限於本文中所描述的特定實施例的範疇內。更確切地說，除了本文所描述的特定實施例之外，本技術所屬領域具有通常知識者由前面的描述及附圖將顯而易見多種其他的實施例及對於本揭露的改良方式。因此，此些其他的實施例及改良方式傾向於落於本揭露的範疇之中。進一步地說，雖然本文

已在特殊實行方式的前後文中以用於特殊目的的特殊環境來描述本揭露，但是本技術所屬領域具有通常知識者應理解的是，本揭露的效用並不受限於此，且可使用用於任意數個目的的任意數個環境來有效地實行本揭露。因此，應該以本文所描述之本揭露的全廣度及精神的觀點來建構以下所闡述的申請專利範圍。

【符號說明】

【0035】

- 100：超導故障電流限制器系統
- 102：超導故障電流限制器
- 104：超導元件
- 106：保護元件
- 108：傳遞線
- 200、300、310、320、400：超導帶
- 202、302：基底
- 204、304：超導層
- 206：合金塗層
- 208：塗層
- 210：基礎金屬合金層
- 212： Y_2O_3 層
- 214：釔安定氧化鋯層
- 216： CeO_2 層

- 221 : $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Y}_2\text{O}_3$ 緩衝層
- 222 : 離子束輔助沉積 MgO 層
- 224 : 同質磊晶 MgO 層
- 226 : 磊晶 LaMnO_3 層
- 305、307、309 : 雙層堆疊
- 306 : 金屬層
- 308 : 合金層
- 312 : 金屬層
- 314 : 金屬層
- 402 : 銀合金層
- 404、406 : 電流
- 408 : 氧化層
- 410 : 界面
- 412 : 界面氧化物層
- 414 : 剩餘層



I666795

【發明摘要】

【中文發明名稱】超導帶及其形成方法

【英文發明名稱】SUPERCONDUCTOR TAPE AND METHOD OF FORMING THE SAME

【中文】本發明提供一種超導帶及其形成方法。在一實施例中，超導帶包括：基底，其包括多個層；定向超導層，位在基底上；以及合金塗層，位在超導層上，合金塗層包括一層或更多層的金屬層，其中至少一層金屬層包括金屬合金。

【英文】A superconductor tape and a method of forming the same are provided. In one embodiment a superconductor tape includes a substrate comprising a plurality of layers, an oriented superconductor layer disposed on the substrate, and an alloy coating disposed upon the superconductor layer, the alloy coating comprising one or more metallic layers in which at least one metallic layer comprises a metal alloy.

【指定代表圖】圖1。

【代表圖之符號簡單說明】

100：超導故障電流限制器系統

102：超導故障電流限制器

104：超導元件

106：保護元件

108：傳遞線

【特徵化學式】無。

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種超導帶，包括：

基底，包括多個層；

定向超導層，配置在所述基底上；以及

合金塗層，配置在所述定向超導層上，所述合金塗層包括二層或更多層的金屬層，所述二層或更多層的金屬層包括銅層/銀層雙層結構，其中所述銅層/銀層雙層結構的銀層接觸所述定向超導層，所述銅層/銀層雙層結構的銅層配置為直接與所述銀層接觸且不接觸所述定向超導層，且所述銀層包括包括銀合金，所述銀合金包括莫耳分率介於 0.5%至 10.0%的銻。

【第2項】 如申請專利範圍第1項所述的超導帶，其中所述定向超導層包括 $\text{R}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ，R為稀土金屬，其中當所述超導帶加熱至超過 300°C 達約1秒或更多秒時，所述銀合金有效地產生含銻的氧化物沉澱物。

【第3項】 如申請專利範圍第1項所述的超導帶，其中所述銀合金包括分散於銀基質內的銀銻沉澱物。

【第4項】 如申請專利範圍第1項所述的超導帶，其中所述銅層具有沉澱相中的合金元素。

【第5項】 如申請專利範圍第1項所述的超導帶，其中所述銅層包括銅與銻的混合物，銻的莫耳分率小於或等於10%。

【第6項】 一種形成超導帶的方法，包括：

形成超導層，所述超導層包括位在帶基底上的定向超導材

料，所述帶基底及所述定向超導材料在其間定義第一界面；以及在所述超導層上形成合金塗層，所述合金塗層及所述超導層定義與所述第一界面相對的第二界面，其中形成所述合金塗層包括：

在所述超導層上形成銀合金層；以及

在所述銀合金層上形成銅層，所述銅層不接觸所述超導層，

其中所述銀合金層包括莫耳分率介於 0.5% 至 10.0% 的銻。

【第7項】如申請專利範圍第6項所述的形成超導帶的方法，其中所述超導層包括 $\text{RBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ，R 為稀土元素。

【第8項】如申請專利範圍第7項所述的形成超導帶的方法，更包括將所述超導帶加熱至 300°C 達至少 1 秒，其中當所述超導帶加熱至 300°C 達約 1 秒或更多秒時，所述銀合金層有效地反應以在所述超導層中形成氧化物沉澱物。

【第9項】如申請專利範圍第6項所述的形成超導帶的方法，更包括將所述銅層形成為銅合金。

【第10項】如申請專利範圍第9項所述的形成超導帶的方法，包括以合金元素形成所述銅合金，於所述銅層的銅基質內形成沉澱物。