



(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 I813929 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 09 月 01 日

(21)申請案號：110100754

(22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 01 月 08 日

(51)Int. Cl. : G21C3/07 (2006.01)

G21C3/20 (2006.01)

(30)優先權：2020/01/09 美國

62/958,964

(71)申請人：美商西屋電器公司(美國) WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC (US)  
美國(72)發明人：拉赫達 愛德華 J LAHODA, EDWARD J. (US)；阿姆斯壯 柯林頓 B  
ARMSTRONG, CLINTON B. (US)；佩卓斯基 利曼 J PETROSKY, LYMAN J.  
(US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW 337585B

CN 109935358A

US 2018/0330832A1

US 2019/0108920A1

WO 2007/059851A1

WO 2012/047657A2

WO 2018/060642A1

審查人員：黃彥豪

申請專利範圍項數：21 項 圖式數：5 共 26 頁

(54)名稱

核燃料總成及其製造方法

(57)摘要

提供一種核燃料總成及其製造之一方法。該方法包括將一導熱層沉積到至少兩核燃料層的至少一部分上，以產生至少兩至少部分塗覆層。該方法包括堆疊該等至少兩塗覆層，並接合該等至少兩塗覆層以形成一核燃料總成。

A nuclear fuel assembly and a method of manufacture thereof are provided. The method comprises depositing a thermally conductive layer onto at least a portion of at least two nuclear fuel layers to create at least two at least partially coated layers. The method comprises stacking the at least two coated layers and bonding the at least two coated layers to form a nuclear fuel assembly.

指定代表圖：

符號簡單說明：

100a:步驟

100b:步驟

100c:步驟

102:核燃料層

104:導熱層

120:塗覆層

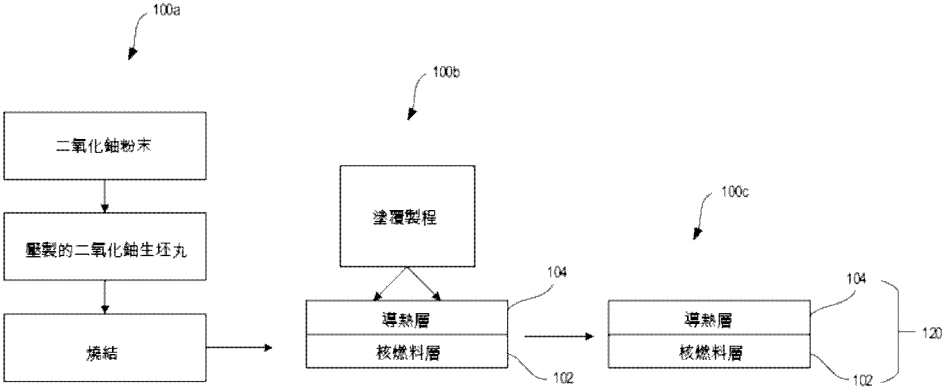


圖 1



I813929

## 【發明摘要】

公告本

【中文發明名稱】 核燃料總成及其製造方法

【英文發明名稱】 A NUCLEAR FUEL ASSEMBLY AND A METHOD OF  
MANUFACTURE THEREOF

【中文】提供一種核燃料總成及其製造之一方法。該方法包括將一導熱層沉積到至少兩核燃料層的至少一部分上，以產生至少兩至少部分塗覆層。該方法包括堆疊該等至少兩塗覆層，並接合該等至少兩塗覆層以形成一核燃料總成。

【英文】 A nuclear fuel assembly and a method of manufacture thereof are provided. The method comprises depositing a thermally conductive layer onto at least a portion of at least two nuclear fuel layers to create at least two at least partially coated layers. The method comprises stacking the at least two coated layers and bonding the at least two coated layers to form a nuclear fuel assembly.

【指定代表圖】 圖1

【代表圖之符號簡單說明】

100a:步驟

100b:步驟

100c:步驟

102:核燃料層

104:導熱層

120:塗覆層

## 【發明說明書】

【中文發明名稱】 核燃料總成及其製造方法

【英文發明名稱】 A NUCLEAR FUEL ASSEMBLY AND A METHOD OF  
MANUFACTURE THEREOF

【技術領域】

無

【先前技術】

【0001】 諸如，例如二氧化鈾的核燃料可製成核燃料丸。裝載入燃料棒中的核燃料丸供用於一壓水式反應器。製造核燃料丸、將核燃料丸裝載入燃料棒、及在一壓水式反應器中操作燃料棒存在著多種挑戰。

【發明內容】

【0002】 本發明提供一種用於製造一核燃料總成的方法。該方法包括將一導熱層沉積到至少兩核燃料層的至少一部分上，以產生至少兩至少部分塗覆層。該方法包括堆疊該等至少兩塗覆層，並接合該等至少兩塗覆層以形成一核燃料總成。

【0003】 本發明亦提供一種核燃料總成，其包括至少兩至少部分塗覆層接合在一起的一堆疊。每個塗覆層包括一核燃料層和配置在核燃料層的至少一部分上的一導熱層。

【0004】 應瞭解，本說明書描述的多項發明不限於在本發明內容中所摘錄的多個示例。本說明書描述及示例各種其他態樣。

### 【圖式簡單說明】

【0005】 藉由參考以下連同附圖的所使用示例的描述，將變得更明白多個示例的特徵和優點、及實現其的方式，並將更瞭解該等示例：

〔圖1〕為繪示說明根據本發明之製造一塗覆層的一方法之製程示意圖；

〔圖2〕為繪示說明根據本發明之製造一塗覆層的一方法之製程示意圖；

〔圖3〕為繪示說明根據本發明之經由焊接及/或硬焊所製造的一核燃料總成之示意圖；

〔圖4〕為繪示說明根據本發明之經由瞬閃燒結所製造的一核燃料總成之示意圖；及

〔圖5〕為繪示說明根據本發明之經由瞬閃燒結所製造的一核燃料總成之示意圖。

【0006】 相對參考符號表示在所有圖式中的相對部件。本說明書闡述的示例係採用一形式示來示意說明某些示例，且這些示例不應解釋為採取任何方式限制多個示例的範疇。

### 【實施方式】

【0007】 現將描述本發明的某些示例性態樣以能完全瞭解本說明書所揭露組合物和方法的組成、功能、製造、和用途的原理。這些態樣的一或多個示例在附圖中示意說明。熟習該項技藝者將瞭解，本說明書具體描述及在附圖中示意說明的組合物、物件、和方法是非限制性示例性態樣，且本發明的各種示例

的範疇僅界定於文後申請專利範圍。有關一示例性態樣之所示意說明或描述的多個特性可結合其他態樣的特性。這類修改和變化意味著包含在本發明的範圍內。

【0008】 整個說明書中引用的「各種示例」、「一些示例」、「一種示例」、「一示例」或類似者，意指有關在一示例中所包含示例描述的一特定特性、結構、或特徵。因此，在整個說明書中引用的詞組「在各種示例中」、「在一些示例中」、「在一種示例中」、「在一示例中」或類似者，不必然全都參考相同示例。此外，在一或多個示例中，可採用任何適當方式來結合特定特性、結構、或特徵。因此，有關一示例所示意說明或描述的特定特性、結構、或特徵可整個或部分而沒有限制結合另一示例或其他示例的特性、結構、或特徵。這類修改和變化意味著包含在本示例的範疇內。

【0009】 如本說明書的使用，特別是有關多個塗覆層或塗覆膜，用語「在...上」、「到...上」、「在...上方」和其變體(例如，「施加於」、「形成於」、「沉積於」、「提供於」、「位於」等)意指施加、形成、沉積、提供、或者位於基材的表面上，但不必然接觸該基材的表面。例如，一「施加於」基材上的塗覆層不排除存在位於所施加的塗覆層和基板之間的相同或不同組成的另一塗覆層或其他塗覆層。同樣，一「施加於」一第一塗覆層上的第二塗覆層並未排除存在位於所施加的第二塗覆層和所施加的第一塗覆層之間的相同或不同組成的另一塗覆層或其他塗覆層。

【0010】 如本說明書的使用，「中間」意指所引用元件配置在兩元件之間，但是不必然接觸這些元件。因此，除非本說明書特別說明，否則在一第一元件

和一第二元件「中間」的元件可以或可不相鄰或接觸第一元件及/或第二元件，且其他元件可配置在中間元件和第一及/或第二元件之間。

【0011】諸如，例如二氧化鈾的核燃料可具有一非常低的導熱率，此會給正常操作和設計基本事件造成問題。已提出利用鋁嵌入物有效降低核燃料溫度。參見，例如，Pavel G. Medvedev, Robert D. Mariani的文獻名稱「用以降低核燃料溫度的導電嵌入物（Conductive inserts to reduce nuclear fuel temperature）」及T. Tverberg的文獻名稱「高燃耗度盤輻射試驗(The High Burn-Up Disk Irradiation Test)」，Ifa-655：In-Pile性能的最終報告（Final Report on the In-Pile Performance）」，在2008年4月OECD Halden反應器專案報告F6.5 HWR-837中。然而，製造含有鋁嵌入物的核燃料丸並將燃料丸裝載入一燃料棒將面臨各種挑戰。例如，將鋁嵌入物定位於氧化鈾晶圓之間以產生一夾層燃料丸可能不實際。此外，鋁具有2.51 b的一熱中子吸收截面(2003年2月，國際原子能機構（International Atomic Energy Agency）INDC (NDS)-440，Distr. PG + R，SF Mughabghab的文獻名稱「熱中子捕獲截面共振積分和G因子（Thermal Neutron Capture Cross Sections Resonance Integrals and G-Factors）」。因此，鋁可吸收中子而不會分裂。如此，高熱中子截面可能增加核燃料所需的濃化，因而增加其成本。此外，燃料丸通常塗覆一體化燃料可燃性吸收體(Integral Fuel Burnable Absorber，IFBA)，可能需要將其施加到燃料丸的外部。鋁嵌入物可能會破壞或分裂IFBA塗覆層。另外，夾層燃料丸可能無法經得起在高溫下進行的塗覆製程。鑑於這些問題，提供一核燃料總成和一製造方法，使能有效製造核燃料總成、將核燃料丸裝載入燃料棒、並在壓水式反應器中操作燃料棒。

【0012】圖1繪示說明可用於製造一核燃料總成的一種製造一塗覆層之一方法。核燃料層102的製造可以各種方式發生。例如，如步驟100a所示，核燃料粉末可被壓製以形成一二氧化鈾( $\text{UO}_2$ )生坯丸。此後，可使用氫氣和一惰性氣體加上二氧化碳和水，燒結 $\text{UO}_2$ 生坯丸以形成核燃料層102，以在燒結後保持適當的最終化學計量。在各種示例中，核燃料層102是一晶圓。

【0013】核燃料層102可包括鈾、一鈾合金、鈾化合物、鈾、一鈾合金、鈾化合物、鈾、一鈾合金、鈾化合物、或其組合。鈾、鈾合金、或鈾化合物可包括鈾-238、鈾-235、鈾-234、或其組合。鈾、鈾合金、或鈾化合物可包括鈾-232。鈾、鈾合金、或鈾化合物可包括鈾-239、鈾-240、鈾-241、鈾-242、鈾-244、或其組合。在各種示例中，核燃料層102包括氧化鈾(Uranium oxide)。

【0014】另外，核燃料層102可包括一添加劑，諸如，例如三氧化二鉻(Chromium (III) oxide)、氧化鋁(Aluminum oxide)、二氧化矽(Silicon dioxide)、其他添加劑、或其組合。該等添加劑可不大於核燃料層102的重量的10%。這些添加劑可根據所需改善核燃料層102的晶粒尺寸、分裂氣體釋放、及其他特性。

【0015】核燃料層102可包括一一體化燃料可燃性吸收體(IFBA)。IFBA可包括一硼化物合金、鈾、一鈾合金、鈾、一鈾合金、鈾、一鈾合金、鈾、一鈾合金、或其組合。例如，IFBA可包括二硼化鈾(Zirconium diboride)、二硼化鈾(Uranium diboride)、四硼化鈾(Uranium tetraboride)、鈾、氧化鈾(Gadolinium oxide)、鈾、氧化鈾(Erbium oxide)、鈾、二氧化鈾(Hafnium oxide)、含硼玻璃(例如，硼矽玻璃)、或其組合。IFBA可藉由吸收中子來抑制在壓水式反應器中接近一燃料循環開始時的過剩反應度，並隨著時間隨著IFBA的化學轉化，可吸收較少中子。在各種示例中，核

燃料層102可為盤形或一多邊形(例如，六邊形)。核燃料層102的厚度可為1毫米至15毫米。

【0016】 如在步驟100b所示，可將一導熱層104沉積到核燃料層102的至少一部分上，以形成與核燃料層102相比具有一增加導熱率的一至少部分塗覆層120。例如，導熱層104可包括一導熱率大於核燃料層102的一導熱率。在各種示例中，導熱層104可為一片(Sheet)、薄片(Foil)、一塗覆、或其組合。

【0017】 導熱層104可包括鈦、一鈦合金、鉬、一鉬合金(例如，TZM(鉬99.40 w/%、鋳0.08 w/%和鈦0.5 w/%))、鎢、一鎢合金、鋳、一鋳合金、鈹、一鈹合金(例如，氧化鈹)、鉻、一鉻合金、一硼化鈾(Uranium boride)(例如，二硼化鈾、四硼化鈾)、或其組合。在各種示例中，導熱層104可包括具有0.185b的一低熱中子截面的鋳、或鋳合金，諸如，例如Zirlo(1% 錫、1% 鈮、0.1% 鐵、0.125% O<sub>2</sub>、其餘為鋳)，由於Zirlo亦具有一減小的熱中子截面。減小的熱中子截面可能導致較少中子的流失到不會引起分裂的寄生反應。因此，可使用一較低程度濃化的核燃料層102及/或從其可生產一較高效率的核燃料總成。

【0018】 導熱層102可包括一IFBA。例如，在導熱層102包括鋳或一鋳合金的情況下，導熱層可更包括鉛、一鉛合金、鉬、一鉬合金、鈾、一鈾合金、或其組合。導熱層104可包括鉛、一鉛合金、鉬、一鉬合金、鈾、一鈾合金、或其組合佔導熱層104的總重量的0.01%至20%之一範圍，且其餘可為鋳和附帶雜質。導熱層104可包括鉛、一鉛合金、鉬、一鉬合金、鈾、一鈾合金、或其組合佔導熱層104的總重量的0.01%至10%之一範圍，且其餘可為鋳和附帶雜質。在導熱層102包括鋳或一鋳合金和鉛、一鉛合金、鉬、一鉬合金、鈾、一鈾合金、或其組

合的示例中，導熱層102可為一IFBA，且相較於二氧化鈾(2865°C)，由於導熱層104的一較低熔點(1852°C至2222°C)，因此充當該等核燃料層之間的一接合劑。

【0019】 在導熱層104包括二硼化鈾的示例中，所述二硼化鈾的硼含量可為二硼化鈾中的硼含量的總莫耳數的至少95%硼-11。包括硼-11的二硼化鈾可為一導熱層、一IFBA，且由於相較於二氧化鈾(2865°C)其較低之熔點(2430°C)，因此充當該等核燃料層之間的一接合劑。在某些示例中，導熱層104可包括二硼化鈾和氧化鈹的一混合物。氧化鈹可將導熱層的熱中子截面降低到一所需的程度。

【0020】 導熱層102可藉由物理氣相沉積、噴塗法(例如，熱噴塗法、冷噴塗法)、機械接合法(例如，衝壓、壓製)、熔融法、或其組合而沉積到核燃料層102的至少一部分上。導熱層102可沉積到核燃料層102的一單側的至少一部分上、或核燃料層102的至少兩側的至少一部分上。例如，如圖1所示，在步驟100b，可沉積一導熱層；且之後，在步驟100c，將其固化/聚結，以將導熱層104有效地耦接到核燃料層102。如圖2所示；如步驟200d所示，可選擇地可將一第二導熱層104沉積到核燃料層102的一第二側的至少一部分上，並在步驟200e，將其固化/聚結。第一導熱層104和第二導熱層可相同或不同。

【0021】 經由物理氣相沉積或噴塗法的沉積可包括將核燃料層102配置在一輸送帶或其他輸送裝置上，並且將核燃料層102輸送通過一塗佈機，以將導熱層104沉積到核燃料層102的一第一側的至少一部分上，並可選擇地固化/凝固導熱層104。在各種示例中，如圖2所示，具有一單導熱層104的核燃料層102可翻轉，且可將一第二導熱層104沉積到核燃料層102的一第二側的至少一部分上，以形成一塗覆層220。在各種示例中，氧化鈹或二硼化鈾可通過噴塗法來施加。在包括噴塗法的示例中，噴塗的顆粒尺寸可在0.1至30微米之一範圍。可使用諸

如，例如氮氣、氖氣、氬氣、或其組合的一氣體在高壓下透過一噴嘴施加噴塗，其中一固體材料在通過噴嘴之後懸浮/夾帶於氣體中。

【0022】 在各種示例中，用於噴塗的物理氣相沉積塗覆靶材或粉末可為含有鋳和硼、鉛、鉬、釷、或其組合的一合金。鈹可添加到合金中以達到所需的程度的中子吸收。粉末可為一導熱層104和IFBA顆粒的一混合物。可將5微米至200微米之一範圍的一塗覆厚度施加到核燃料層102，諸如，例如在20微米至100微米之一範圍的一塗覆厚度。在各種示例中，一IFBA層可分開施加到導熱層104或核燃料層102上。IFBA層可為導熱層104與一核燃料層102的中間物，而且在不同於導熱層104的核燃料層102的一不同側上，或在不同於核燃料層102的導熱層104的一不同側上。

【0023】 通過機械接合法的沉積可包括將導熱層104機械壓製及/或衝壓到核燃料層102上。例如，導熱層102可採用薄片或片的形式，且導熱層102可被壓製到核燃料層102的一表面上，並可選擇地彎曲在核燃料層102的多個邊緣以形成一機械接合。

【0024】 藉由熔融法的沈積可包括將導熱層104加熱到至少導熱層104的熔點並將其接合到核燃料層102。例如，導熱層104的熔融可在一受控的大氣爐中、或透過跨於該等堆疊塗覆層間施加1至1000伏特/厘米之一範圍的一電壓發生，以藉由導熱層104的熔融提供接合。例如，感應加熱器亦可用於選擇性地加熱導電的導熱層104或IFBA層。微波加熱法亦可用於加熱核燃料層102、導熱層104、或IFBA層。

【0025】至少兩塗覆層(例如，120、220、或其組合)可堆疊形成一堆疊，堆疊包括夾在該等核燃料層102之間的多個導熱層104。堆疊可包括在5毫米至100厘米之一範圍之一長度( $l$ )，諸如，例如1厘米至3厘米。

【0026】此後，可將堆疊中的該等塗覆層接合以形成一核燃料總成。接合法可包括擴散接合、燒結(例如，瞬閃燒結、火花電漿燒結)、焊接(例如，點焊)、硬焊、熔融、或其組合。接合法可利用多種加熱工具，諸如，例如微波加熱、電感耦合加熱、或其組合。相較於分開的多個核燃料和金屬層，核燃料總成可更容易置放在一燃料棒中。例如，核燃料總成可減少在插入燃料棒期間翻轉的機會。

【0027】如圖3所示，在步驟300a，該等塗覆層220可被堆疊並焊接及/或硬焊，以形成一核燃料總成330。此後，在各種示例中，在步驟300b，可將核燃料總成330研磨至一所需的誤差。核燃料總成330可被裝載入一燃料棒。

【0028】瞬閃燒結的一示例提供於核材料期刊 (Journal of Nuclear Materials) 493(2017)，在第264-270頁中由Alicia M. Raftery、Joao Gustavo Pereira da Silva、Darrin D. Byler、David A. Andersson、Blas P. Uberuaga、Christopher R. Stanek、Kenneth J. McClellan提出的文獻名稱「 $\text{UO}_2$ 的瞬閃燒結的發生條件」，其整個是以引用方式併入本說明書供參考。如圖4所示，瞬閃燒結法可包括在跨於堆疊的塗覆層間施加一高電壓(例如，120 V/cm)，直至多個丸上的高導熱率表面熔融為止。例如，該等塗覆層的介面處的一微小間隙可能產生一高阻熱點，可能使該等導熱層局部熔融。如圖5所示，類似於圖4，該等塗覆層120可被堆疊並接合在一起以形成核燃料總成530。在各種示例中，可將該等核燃料總成430和530研磨至一所需的誤差，然後裝載入一燃料棒。

【0029】 在某些示例中，塗覆層之一堆疊可經歷1千帕斯卡至100兆帕斯卡（megapascals）之一範圍的一壓力和高達導熱層104的熔點之一溫度，以將導熱層104擴散接合到另一導熱層104或核燃料層102上。

【0030】 核燃料總成可為一燃料丸。核燃料總成可為一夾層金屬核燃料總成。核燃料總成可包括一圓柱形、一環形、一多邊形、或一顆粒形狀。

【0031】 本發明的各個態樣包含但未限於以下編號子句中所列出的多個態樣。

【0032】 1. 一種方法，包括：將一導熱層沉積到至少兩核燃料層的至少一部分上，以產生至少兩至少部分塗覆層；堆疊該等至少兩塗覆層；及接合該等至少兩塗覆層，以形成一核燃料總成。

【0033】 2. 如子句1之方法，其中沉積該導熱層包括物理氣相沉積、噴塗、機械接合、熔融、或其組合。

【0034】 3. 如子句1至2中之任一者之方法，其中沉積該導熱層包括將一第一導熱層沉積到一核燃料層的一第一側的至少一部分，並將一第二導熱層沉積到該核燃料層的一第二側的至少一部分。

【0035】 4. 如子句1至3中之任一者之方法，其中接合該等至少兩塗覆層包括擴散接合、燒結、焊接、硬焊、熔融、或其組合。

【0036】 5. 如子句4之方法，其中該熔融法包括微波加熱、電感耦合加熱、或其組合。

【0037】 6. 如子句1至5中之任一者之方法，其中該導熱層包括鈦、一鈦合金、鉬、一鉬合金、鎢、一鎢合金、銨、一銨合金、鉍、一鉍合金、鉻、一鉻合金、一硼化鈷、或其組合。

【0038】 7. 如子句1至6中之任一者之方法，其中該導熱層包括鉛。

【0039】 8. 如子句1至7中之任一者之方法，其中該導熱層包括一一體化燃料可燃性吸收體。

【0040】 9. 如子句1至8中之任一者之方法，其中該核燃料層包括鈾、一鈾合金、一鈾化合物、鈾、一鈾合金、鈾化合物、鈷、一鈷合金、鈷化合物、或其組合。

【0041】 10. 一種核燃料總成，包括：至少兩接合在一起的至少部分塗覆層之一堆疊，每一該塗覆層包括：一核燃料層；及一導熱層，其係配置在該核燃料層的至少一部分上。

【0042】 11. 如子句10之核燃料總成，其中每一該塗覆層包括配置在該核燃料層的一第一側面的至少一部分上的一第一導熱層及配置在該核燃料層的一第二側的至少一部分上的一第二導熱層。

【0043】 12. 如子句10-11中之任一者之核燃料總成，其中該導熱層包括鈦、一鈦合金、鉬、一鉬合金、鎢、一鎢合金、鉛、一鉛合金、鉍、一鉍合金、鉻、一鉻合金、一硼化鈾、或其組合。

【0044】 13. 如子句10-12中之任一者之核燃料總成，其中該導熱層包括鉛或一鉛合金。

【0045】 14. 如子句13之核燃料總成，其中該導熱層更包括鉛、一鉛合金、鉬、一鉬合金、鈦、一鈦合金、或其組合。

【0046】 15. 如子句14之核燃料總成，其中該導熱層包括鉛、一鉛合金、鉬、一鉬合金、鈦、一鈦合金、或其組合佔該導熱層的總重量的0.01%至20%之一範圍。

【0047】 16. 如子句10中的任一者之核燃料總成，其中該導熱層包括二硼化鈾，其中該二硼化鈾的硼含量是佔該二硼化鈾中的該硼含量的總重量的至少95%硼-11。

【0048】 17. 如子句10和16中之任一者之核燃料總成，其中該導熱層包括二硼化鈾和氧化鈹的一混合物。

【0049】 18. 如子句10-17中的任一項所述之核燃料總成，其中該導熱層包括一體化燃料可燃性吸收體(IFBA)。

【0050】 19. 如子句18之核燃料總成，其中該一體化燃料可燃性吸收體包括一硼化物合金、鈷、一鈷合金、鉕、一鉕合金、鈐、一鈐合金、或其組合。

【0051】 20. 如子句19之核燃料總成，其中該一體化燃料可燃性吸收體更包括含有鈹、氧化鈹、或其組合的混合物。

【0052】 21. 如子句10-20中之任一者之核燃料總成，其中該核燃料層包括鈾、一鈾合金、鈾化合物、鈾、一鈾合金、鈾化合物、鈷、一鈷合金、鈷化合物、或其組合。

【0053】 熟習該項技藝者將明白，為概念上的清楚，本說明書描述的組合物、物件、方法和伴隨其的討論係用作示例，並構想各種構造修改。因此，如本說明書的使用，所闡述的特定示例和所附的討論旨在於表示其的更一般性類別。通常，任何特定示例的使用旨在於表示其類別，且未包括的特定組件(例如，操作)、裝置、和物件不應視為限制。

【0054】 在本說明書描述各種特性和特徵是要瞭解本發明的組成、結構、產生、功能、及/或操作，其中包含所揭露的組成、塗覆、和方法。應瞭解本說明書描述的本發明的各種特性和特徵可採取任何適當方式組合，而不管此特性

和特徵是否在本說明書中明確組合描述。發明人和申請人明確意圖將此特性和特徵的組合包含在本說明書描述的本發明的範疇內。因此，可將申請專利範圍修改，採取任何組合形式記載在本說明書中明確或本質上所描述或採取明確或本質上所支持的任何特性和特徵。此外，即使在本說明書中未明確描述這些特性和特徵，但是申請人保留權利來修改請求項，以明確否定可能存在於先前技術中的特性和特徵。因此，任何此修改都不會在說明書或請求項中增加新的內容，並將符合書面揭露、揭露充分性、和所增加事項要求。

【0055】 關於文後申請專利範圍，熟習該項技藝者應明白，其中所列舉的操作通常可採用任何順序執行。而且，雖然採用順序方式來呈現各種操作流程，但是應瞭解，可採用除了所示以外的其他順序來執行各種操作，或者同時執行各種操作。。除非另有特別說明，否則這些替代排序的範例可包括重疊、交錯、中斷、重新排序、遞增、準備、補充、同時、反向或其他變異排序。此外，除非另有特別說明，否則諸如「隨著」、「關於」或其他形容詞之類的用語通常未受到排除這類變異形式。

【0056】 本說明書描述的發明可包括由本說明書描述的各種特性和特徵，由該等特性和特徵所組成、或本質上由該等特性和特徵所組成。多個用語「包括」(及任何形式的包括，諸如「包容」和「含有」)、「具有」(及任何形式的具有，諸如「具有」和「含有」)、「包含」(及任何形式的包含，諸如「包含」和「含有」)、和「包括」(及任何形式的包括，諸如「包括」和「含有」)都是開放式用語。因此，「包容」、「具有」、「includes」、或「包括」一或多個特性及/或特徵的組合物、核燃料總成、或方法具有該特徵或這些特性及/或特徵，但不限於僅具有該特性或這些特性及/或特徵。同樣，包容」、「具有」、

「包含」、或「包括」一或多個特性及/或特徵的組合物、塗覆層、或製程的元件具有該特性或這些特性及/或特徵，但不限於僅具有該特性或這些特性及/或特徵，並可具有附加的特性及/或特徵。

【0057】 除非特別說明，否則在涵蓋「申請專利範圍」的本說明書使用的前述詞「一」、和「該」旨在包含「至少一」或「一或多個」。因此，本說明書使用的前述詞意指物件的語法對像中的一個或一個以上(即是，「至少一」)。舉例來說，「一組件」意指一或多個組件，因此，可想像成一個組件以上，並可採用或用於實施所述的組合物、塗覆層、和製程。不過，要瞭解，在某些情況下(而非其他情況)，使用用語「至少一」或「一或多個」將不會導致任何解釋，其中這些用語不會用來將前述詞「一」和「該」之標的限制成僅有一個。此外，除非使用的上下文特別說明，否則單數名詞的使用包含複數個，且複數個名詞的使用包含單數。

【0058】 在本說明書中，除非特別說明，否則所有數值參數應認為在所有情況下均通過用語「約」作為開頭和修飾，其中數值參數具有用於確定參數數值的基礎測量技術的固有可變性特徵。至少，且不試圖將等同原則的應用限制於申請專利範圍的範疇，本說明書描述的每個數值參數應至少根據所列舉的有效數字的數目並通過應用普通四捨五入技術來解釋。

【0059】 本說明書列舉的任何數值範圍包含在列舉範圍內所涵蓋的全部子範圍。。例如，範圍「1到10」包含介於(且包含)所列舉最小值1和所列舉最大值10之間(即是，具有等於或大於1的最小值和等於或小於10的最大值)的所有子範圍。而且，本說明書所列舉的全部範圍包含所列舉範圍的端點。例如，範圍「1到10」包含端點1和10。本說明書中列舉的任何最大數值限制旨在包含其中所涵

蓋的全部較低數值限制，且本說明書中列舉的任何最小數值限制旨在包含其中所涵蓋的全部較高數值限制。因此，申請人保留修改本說明書(包含申請專利範圍)的權利，以明確列舉涵蓋在明確列舉範圍內的任何子範圍。本說明書本質上描述所有這些範圍。

【0060】 除非特別說明，否則本說明書中確定的任何專利、公開案、或其他文獻整個併入本說明書供參考，但僅在所合併的材料不與在本說明書中明確闡述的現有描述、定義、陳述、示意說明、或其他揭露材料相衝突的範圍內。因此，且在必要的程度上，如本說明書中闡述的明確揭露內容取代併入參考的任何衝突材料。併入本說明書供參考，但與本說明書闡述的現有定義、陳述、或其他揭露材料相衝突的任何材料或其部分，僅以在併入材料與現有揭露材料之間不發生衝突的程度來併入。申請人保留修改本說明書以明確引用併入供參考的任何標的事項或其部分的權利。本說明書的修改以增加此所併入之標的事項將符合書面揭露、揭露充分性、和所增加事項要求。

【0061】 雖然以上為說明之目的已描述本發明的特定示例，但是熟習該項技藝者將明白，在不悖離如文後申請專利範圍所限定本發明的情況，可對本發明的細節進行多種變型。

## 【符號說明】

### 【0062】

100a:步驟

100b:步驟

100c:步驟

102:核燃料層

104:導熱層

120:塗覆層

200d:步驟

200e:步驟

220:塗覆層

300a:步驟

300b:步驟

330:核燃料總成

430:核燃料總成

530:核燃料總成

## 【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種用於製造一核燃料總成的方法，該方法包括：

將一導熱層沉積到至少兩核燃料層的至少一部分上，以產生至少兩至少部分塗覆層；

堆疊該等至少兩塗覆層；及

接合該等至少兩塗覆層，以形成一核燃料總成。

【請求項2】 如請求項1之方法，其中沉積該導熱層包括物理氣相沉積、噴塗、機械接合、熔融、或其組合。

【請求項3】 如請求項1之方法，其中沉積該導熱層包括將一第一導熱層沉積到一核燃料層的一第一側的至少一部分上，並將一第二導熱層沉積到該核燃料層的一第二側的至少一部分上。

【請求項4】 如請求項1之方法，其中接合該等至少兩塗覆層包括擴散接合、燒結、焊接、硬焊、熔融、或其組合。

【請求項5】 如請求項4之方法，其中熔融包括微波加熱、電感耦合加熱、或其組合。

【請求項6】 如請求項1之方法，其中該導熱層包括鈦、一鈦合金、鋁、一鋁合金、鎢、一鎢合金、銨、一銨合金、鉍、一鉍合金、鉻、一鉻合金、一硼化鈷、或其組合。

【請求項7】 如請求項1之方法，其中該導熱層包括銨。

【請求項8】 如請求項1之方法，其中該導熱層包括一一體化燃料可燃性吸收體。

【請求項9】 如請求項1之方法，其中該核燃料層包括鈾、一鈾合金、一鈾化合物、鈾、一鈾合金、鈾化合物、鈾、一鈾合金、鈾化合物、或其組合。

【請求項10】 一種核燃料總成，包括：

至少兩接合在一起的至少部分塗覆層之一堆疊，每一該塗覆層包括：

一核燃料層；及

一導熱層，係配置在該核燃料層的至少一部分上。

【請求項11】 如請求項10之核燃料總成，其中每個塗覆層包括配置在該核燃料層的一第一側的至少一部分上的一第一導熱層及配置在該核燃料層的一第二側的至少一部分上的一第二導熱層。

【請求項12】 如請求項10之核燃料總成，其中該導熱層包括鈦、一鈦合金、鉬、一鉬合金、鎢、一鎢合金、鋳、一鋳合金、鈹、一鈹合金、鉻、一鉻合金、一硼化鈾、或其組合。

【請求項13】 如請求項10之核燃料總成，其中該導熱層包括鋳或一鋳合金。

【請求項14】 如請求項13之核燃料總成，其中該導熱層更包括鉛、一鉛合金、鉬、一鉬合金、鈾、一鈾合金、或其組合。

【請求項15】 如請求項14之核燃料總成，其中該導熱層包括鉛、一鉛合金、鉬、一鉬合金、鈾、一鈾合金、或其組合佔該導熱層的總重量的0.01%至20%之一範圍。

【請求項16】 如請求項10之核燃料總成，其中該導熱層包括二硼化鈾，其中該二硼化鈾的硼含量是佔該二硼化鈾中的該硼含量的總重量的至少95%硼-11。

【請求項17】 如請求項10之核燃料總成，其中該導熱層包括二硼化鈾和氧化鈹的一混合物。

【請求項18】 如請求項10之核燃料總成，其中該導熱層包括一一體化燃料可燃性吸收體(IFBA)。

【請求項19】 如請求項18之核燃料總成，其中該一體化燃料可燃性吸收體包括一硼化物合金、鈦、一鈦合金、鉕、一鉕合金、鉛、一鉛合金、或其組合。

【請求項20】 如請求項19之核燃料總成，其中該一體化燃料可燃性吸收體更包括含有鈹、氧化鈹、或其組合的混合物。

【請求項21】 如請求項10之核燃料總成，其中該核燃料層包括鈾、一鈾合金、鈾化合物、鈾、一鈾合金、鈾化合物、鈾、一鈾合金、鈾化合物、或其組合。

【發明圖式】

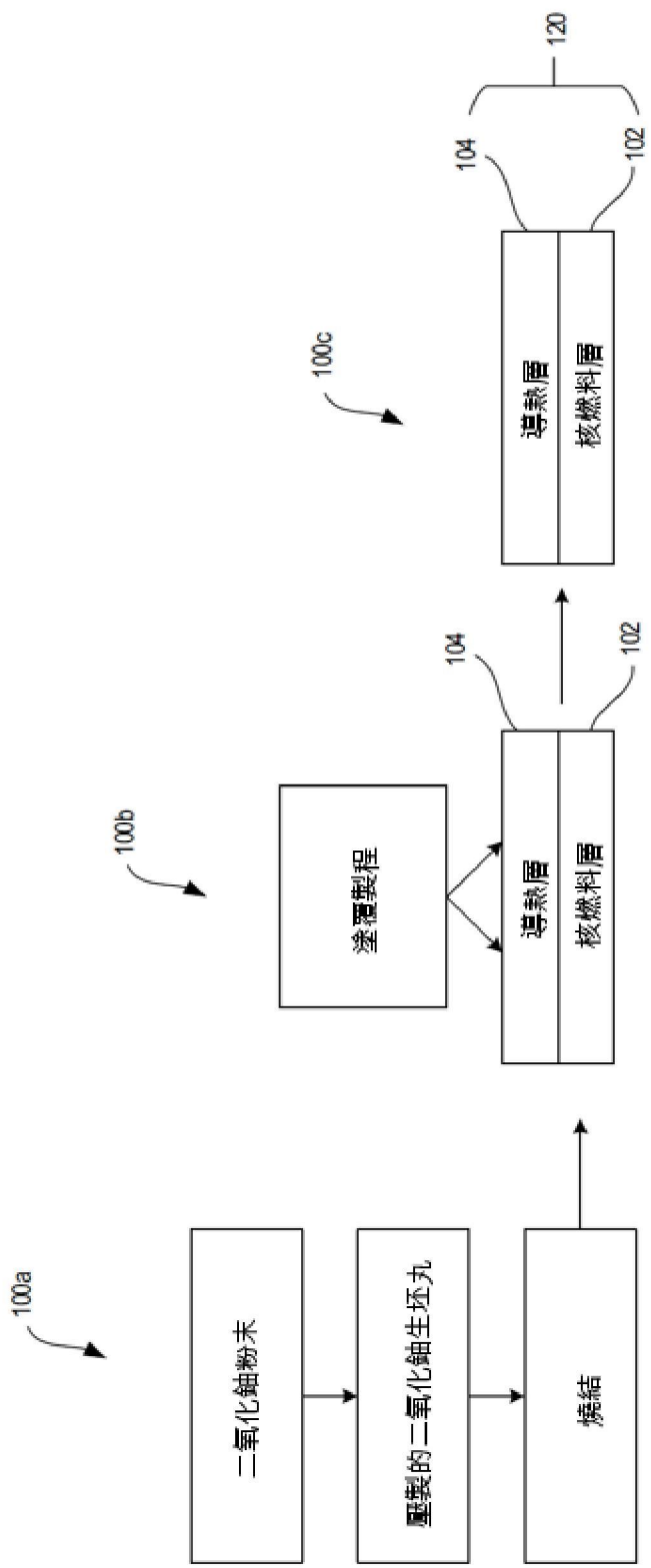


圖 1

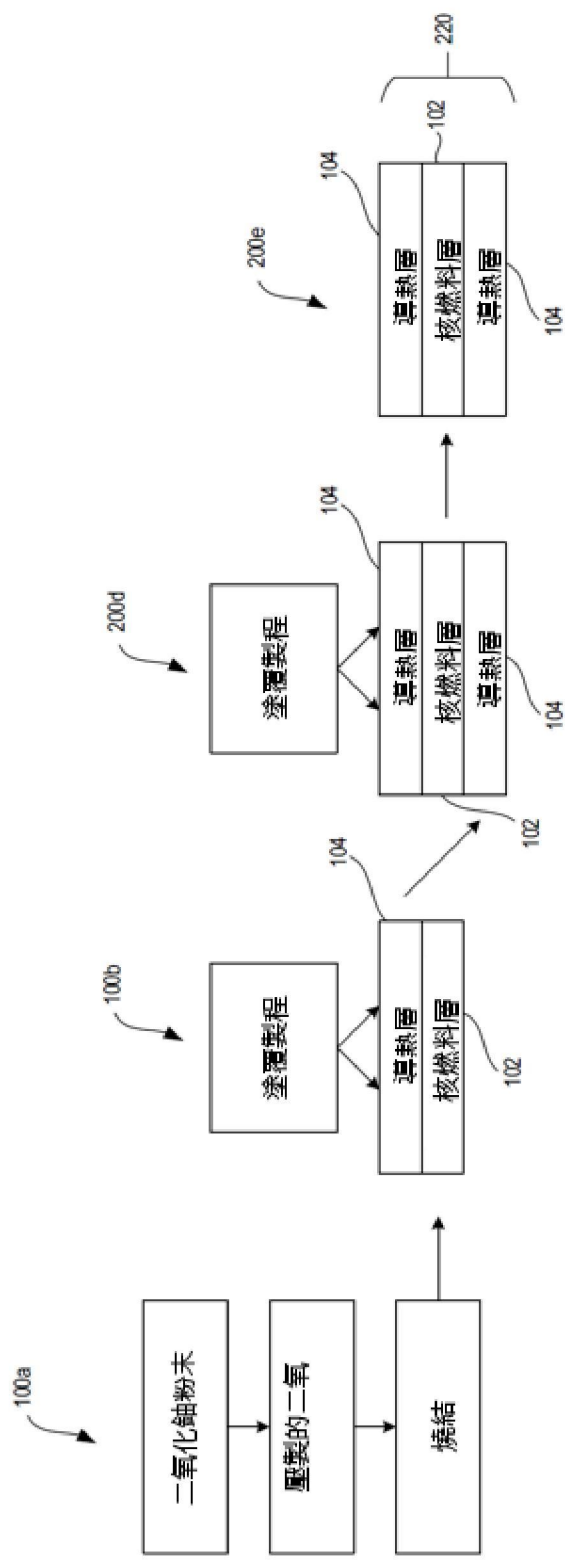


圖 2



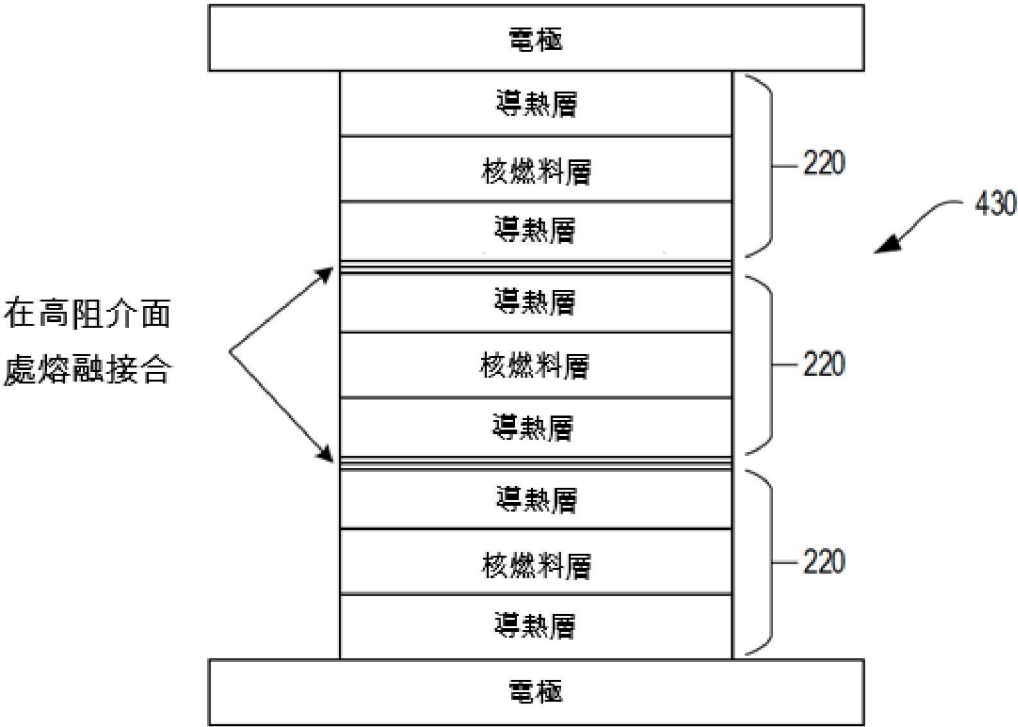


圖 4

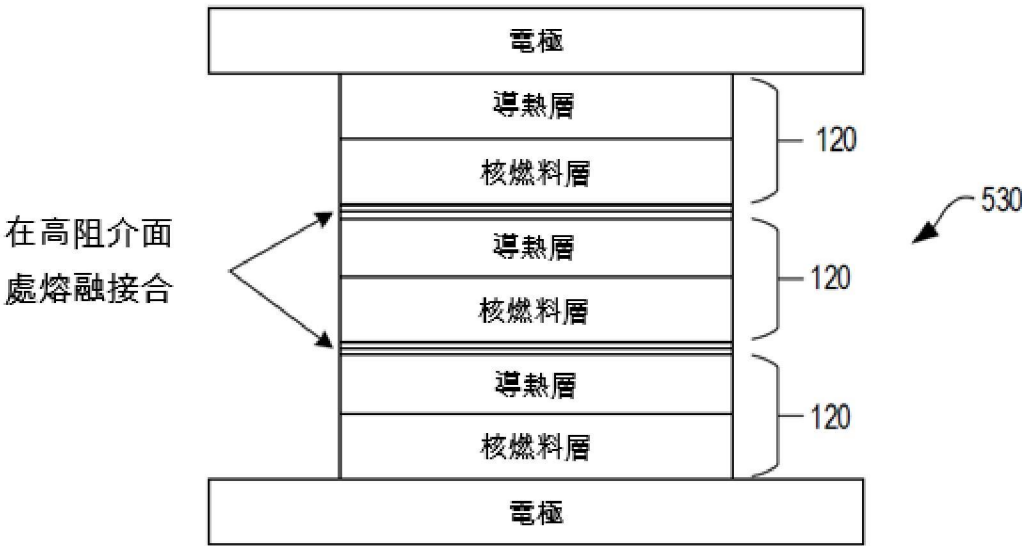


圖 5