



(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 I870283 B

(45)公告日：中華民國 114 (2025) 年 01 月 11 日

(21)申請案號：113113022

(22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 10 月 29 日

(51)Int. Cl. : G21C7/10 (2006.01)

G21C17/06 (2006.01)

(30)優先權：2020/10/29 美國

17/084,403

(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：萊溫斯基 亞力克斯 LEVINSKY, ALEX (CA)；阿萊欣 尤里 ALESHIN, YURIY
(US)；哈克尼斯 亞力山卓 W HARKNESS, ALEXANDER W. (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW 201729217A

US 2017/0330640A1

US 2018/0226159A1

US 2020/0027587A1

審查人員：陳志弘

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：15 共 52 頁

(54)名稱

用於組構反應器核心之單位晶胞之佈局的裝置、系統及方法

(57)摘要

本文中揭示一種核反應器核心之可組構單位晶胞。該可組構單位晶胞包括一核心塊材料及經組構以影響該核反應器之該核心之一效能參數的複數個可互換組件。該可組構單位晶胞進一步包括限定在該核心塊材料內之複數個通道。該複數個通道中之每一通道經組構以在一操作組構中接合該複數個可互換組件之一可互換組件。該複數個通道中之每一通道與該複數個通道中之一鄰近通道隔開一預定間距。

A configurable unit cell of a core of a nuclear reactor is disclosed herein. The configurable unit cell includes a core block material and a plurality of interchangeable components configured to affect a performance parameter of the core of the nuclear reactor. The configurable unit cell further includes a plurality of channels defined within the core block material. Each channel of the plurality of channels is configured to engage an interchangeable component of the plurality of interchangeable components in an operating configuration. Each channel of the plurality of channels is separated from an adjacent channel of the plurality of channels by a predetermined pitch.

指定代表圖：

符號簡單說明：

100:核心

102:單位晶胞

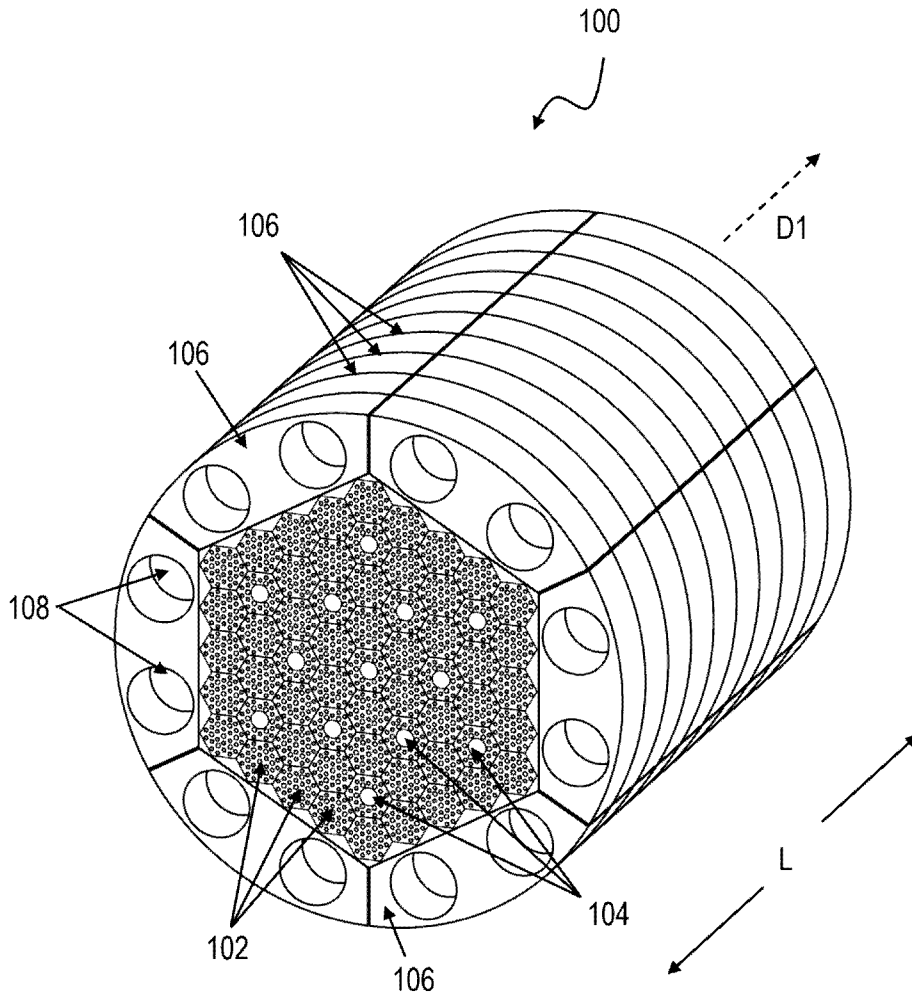
104:反應度控制晶胞

106:反射器

108:控制鼓

D1:軸向方向、第一直
徑

L:長度



【圖1】

I870283

【發明摘要】

【中文發明名稱】 用於組構反應器核心之單位晶胞之佈局的裝置、系統及方法

【英文發明名稱】 DEVICES, SYSTEMS, AND METHODS FOR CONFIGURING THE LAYOUT OF UNIT CELL OF A REACTOR CORE

【中文】

本文中揭示一種核反應器核心之可組構單位晶胞。該可組構單位晶胞包括一核心塊材料及經組構以影響該核反應器之該核心之一效能參數的複數個可互換組件。該可組構單位晶胞進一步包括限定在該核心塊材料內之複數個通道。該複數個通道中之每一通道經組構以在一操作組構中接合該複數個可互換組件中之每一可互換組件。該複數個通道中之每一通道與該複數個通道中之一鄰近通道隔開一預定間距。

【英文】

A configurable unit cell of a core of a nuclear reactor is disclosed herein. The configurable unit cell includes a core block material and a plurality of interchangeable components configured to affect a performance parameter of the core of the nuclear reactor. The configurable unit cell further includes a plurality of channels defined within the core block material. Each channel of the plurality of channels is configured to engage an interchangeable component of the plurality of interchangeable components in an operating configuration. Each channel of the plurality of channels is separated

from an adjacent channel of the plurality of channels by a predetermined pitch.

【指定代表圖】 圖 1

【代表圖之符號簡單說明】

100:核心

102:單位晶胞

104:反應度控制晶胞

106:反射器

108:控制鼓

D1:軸向方向、第一直徑

L:長度

【發明說明書】

【中文發明名稱】 用於組構反應器核心之單位晶胞之佈局的裝置、系統及方法

【英文發明名稱】 DEVICES, SYSTEMS, AND METHODS FOR CONFIGURING THE LAYOUT OF UNIT CELL OF A REACTOR CORE

【技術領域】

【0001】 本揭示大體上係關於核動力產生，且更特定言之係關於核反應器核心之可組構單位晶胞。

【先前技術】

【發明內容】

【0002】 提供以下發明內容以促進對本文中所揭示之態樣所獨有之一些創新特徵之理解，且並不意欲作為完整描述。可藉由將整個說明書、申請專利範圍及發明摘要作為整體來獲得對各種態樣之全面瞭解。

【0003】 在各種態樣中，揭示一種核反應器之核心之可組構單位晶胞。可組構單位晶胞包括：核心塊材料；複數個可互換組件，其經組構以影響核反應器之核心之效能參數；及複數個通道，其限定在核心塊材料內。該複數個通道中之每一通道經組構以在操作組構中接合該複數個可互換組件中之可互換組件。該複數個通道中之每一通道與該複數個通道中之鄰近通道隔開預定間距。

【0004】 在各種態樣中，揭示一種核反應器之核心。核心包括：複數個可互換組件，其經組構以影響核反應器之核心之效能參數；及複數個可組構單位晶胞，其由核心塊材料形成。複數個可組構單位晶胞包括標準

單位晶胞，該標準單位晶胞包括限定在核心塊材料內之複數個通道，其中，複數個通道中之每一通道經組構以在操作組構中接合複數個可互換組件中之可互換組件。複數個可組構單位晶胞亦包括反應度控制晶胞，該反應度控制晶胞包括限定在核心塊材料內之複數個通道，其中，複數個通道中之每一通道經組構以在操作組構中接合複數個可互換組件中之可互換組件，且其中，複數個通道中之至少一個通道經組構以接合反應度控制棒。

【0005】 在各種態樣中，揭示一種組構核反應器之核心之單位晶胞的方法。單位晶胞包括限定在核反應器之核心之核心塊內的複數個通道，且複數個通道中之每一通道經組構以接合複數個可互換組件中之可互換組件。方法包括：判定核反應器之核心之操作條件，其中，操作條件對應於核反應器之預期應用；判定單位晶胞之效能參數，其中，效能參數包括核反應器之核心的所判定操作條件之態樣；自複數個可互換組件選擇可互換組件，其中，所選擇可互換組件對應於單位晶胞之所判定效能參數；及將所選擇可互換組件安裝至複數個通道中之通道中。

【0006】 在參考隨附圖式考慮以下實施方式及所附申請專利範圍之後，本發明之此等及其他目標、特徵及特性，以及結構之相關元件的操作方法及功能以及部件組合及製造經濟性將變得更顯而易見，以下實施方式、所附申請專利範圍及隨附圖式皆形成本說明書之一部分，其中相同參考數字在各圖中指代對應部件。然而，應明確理解，圖式係僅出於說明及描述之目的，且並不意欲作為本發明之限制的定義。

【圖式簡單說明】

【0007】 本文中所描述之態樣的各種特徵在所附申請專利範圍中細緻闡述。然而，可如下根據結合隨附圖式進行之以下描述來理解關於操

作之組織及方法的各種態樣連同其優點：

【0008】 圖 1 繪示根據本揭示之至少一個非限制性態樣，可經修改以調節核反應器之輸出的核心設計之透視圖。

【0009】 圖 2 繪示根據本揭示之至少一個非限制性態樣，圖 1 的可調節核心設計之俯視圖。

【0010】 圖 3 繪示根據本揭示之至少一個非限制性態樣，圖 1 及圖 2 的可調節核心設計之單位晶胞的俯視圖。

【0011】 圖 4A 繪示根據本揭示之至少一個非限制性態樣，圖 3 的單位晶胞之透視圖。

【0012】 圖 4B 繪示根據本揭示之至少一個非限制性態樣，圖 1 及圖 2 的核心之反射器組構之透視圖。

【0013】 圖 4C 繪示根據本揭示之至少一個非限制性態樣，圖 3 的單位晶胞之俯視圖。

【0014】 圖 5 繪示根據本揭示之至少一個非限制性態樣，圖 1 至圖 4 的可調節核心之透視圖。

【0015】 圖 6 繪示根據本揭示之至少一個非限制性態樣，圖 1 至圖 5 的核心之分段透視圖。

【0016】 圖 7A 及圖 7B 繪示根據本揭示之至少一個非限制性態樣，圖 1 至圖 6 的核心之至少一部分的溫度分佈。

【0017】 圖 8A 及圖 8B 繪示揭示本發明之至少一個非限制性態樣，圖 1 至圖 6 的核心之至少一部分中之應力分佈與習知的單體核心中之應力分佈的比較。

【0018】 圖 9A 至圖 9C 繪示根據本揭示之至少一個非限制性態樣，用於圖 1 至圖 6 的核心之最大預期功率位準的預期溫度及應力分佈。

【0019】圖 10 繪示根據本揭示之至少一個非限制性態樣，調節核反應器的核心之功率輸出之方法。

【0020】圖 11A 及圖 11B 繪示根據本揭示之至少一個非限制性態樣，具有可組構佈局之兩個單位晶胞的俯視圖。

【0021】圖 12A 至圖 12C 繪示根據本揭示之至少一個非限制性態樣，包括在不同組構中之可組構佈局的另一單位晶胞之俯視圖。

【0022】圖 13A 至圖 13C 繪示根據本揭示之至少一個非限制性態樣，單位晶胞的溫度及熱通量分佈。

【0023】圖 14A 及圖 14B 繪示根據本揭示之至少一個非限制性態樣，單位晶胞的等效應力分佈。

【0024】圖 15 繪示根據本揭示之至少一個非限制性態樣，組構核反應器之核心之單位晶胞的方法。

【0025】貫穿若干視圖，對應參考字符指示對應部件。本文中所陳述之例示以一種形式說明本發明之各種態樣，且此類例示並不被視為以任何方式限制本發明之範疇。

【實施方式】

【0026】本申請案主張 2020 年 10 月 29 日申請名稱為「用於組構反應器核心之單位晶胞之佈局的裝置、系統及方法 (DEVICES, SYSTEMS, AND METHODS FOR CONFIGURING THE LAYOUT OF UNIT CELL OF A REACTOR CORE)」之美國非臨時申請案第 17/084,403 號之權益，該申請案之內容以全文引用之方式併入本文中。

【0027】本發明係藉由政府支持在由能源部 (Department of Energy) 授與之合同 DE-NE0008853 下完成的。政府擁有本發明的某些權利。

【0028】 闡述許多特定細節以提供對如本揭示中所描述且隨附圖式中所說明之態樣之整體結構、功能、製造及使用的徹底理解。未詳細地描述熟知操作、組件及元件，以不致模糊本說明書中所描述之態樣。讀者將理解，本文中所描述及說明之態樣為非限制性實施例，且因此可瞭解，本文中所揭示之特定結構及功能細節可為代表性及說明性的。可在不脫離申請專利範圍之範疇的情況下對其進行變化及改變。此外，應理解，諸如「向前」、「向後」、「左」、「右」、「向上」、「向下」及其類似者之術語為方便用語，且不應被詮釋為限制性術語。

【0029】 在以下描述中，貫穿圖式之若干視圖，相同參考字符指代類似或對應部件。同樣，在以下描述中，應理解，諸如「向前」、「向後」、「左」、「右」、「向上」、「向下」及其類似者之術語為方便用語，且不應被解釋為限制性術語。

【0030】 在詳細解釋關節式機械臂之各種態樣之前，應注意，說明性實施例在應用或使用中不限於隨附圖式及實施方式中所說明之部件之建構及配置的細節。說明性實施例可實施或併入於其他態樣、變化及修改中，且可以各種方式實踐或進行。此外，除非另外指示，否則本文中所採用之術語及表述已出於為了方便讀者而描述說明性實施例之目的且並非出於其限制之目的來進行選擇。同樣，應瞭解，下文所描述之態樣、態樣之表述及/或實施例中之一或多者可與其他下文所描述之態樣、態樣之表述及/或實施例中之任何一或多者組合。

【0031】 本揭示係關於用以調節反應器核心之輸出的裝置、系統及方法。核反應器通常經製造以產生用於預期應用之特定功率輸出。除應用特定功率要求以外，核反應器之設計及生產亦必須遵從多種內部及/或政府安全性法規。舉例而言，核反應器必須遵從多個不同標準來設計及製

造，諸如：(i)容納多種不同燃料及/或減速劑(例如石墨、氧化鈹、氫化鈮、氫化鋯)之能力；(ii)在故障期間熱機械自足之能力；(iii)支援可用製造能力之能力；(iv)與現有核心組件(例如徑向反射器)整合之能力；及(v)可擴展以與可運輸及固定行動反應器一起使用之能力。習知核反應器為較大的且因此限制應用之數目。然而，大小約束及有限的應用使製造商更容易集中在少數習知設計上，此等設計可遵從適用的要求及/或法規進行商業化。

【0032】 隨著核反應器之大小減小，其多功能性增加。包括微型反應器之新核反應器可有效地實施於數目不斷增長之新興且前所未有的應用中。然而，核反應器之設計及效能之可靠性—以及其對適用的要求及/或法規之遵從性—比以往任何時候都重要。舉例而言，隨著核反應器變得更加通用，其變得更加普遍。沒有單一反應器設計適於擴展數目之應用。為每一新應用創造一新設計在商業上為不切實際的。舉例而言，新反應器設計之無限開發可能會增加與生產及操作相關聯之成本及風險。換言之，「一個大小」核反應器並不適配全部。因此，需要改良的裝置、系統及方法以調節反應器核心設計之輸出，同時保持對適用的要求及/或法規之遵從性。此類裝置、系統及方法將使得能夠針對每一新應用容易地修改反應器，同時保持反應器之製造及操作之穩定性。

【0033】 現參考圖 1，根據本揭示之至少一個非限制性態樣描繪可經修改以調節核反應器之輸出的核心 100 之透視圖。根據圖 1 之非限制性態樣，核心 100 包括複數個單位晶胞 102，該複數個單位晶胞 102 共同地形成六邊形核心板。每一單位晶胞 102 可經組構以容納任何組構(例如堆疊及/或棒)中之熱管及燃料，其可共同地產生核動力且管理整個核心 100 中之熱能。根據一些非限制性具體例，一或多個單位晶胞 102 可進

一步包括減速劑組構，其可減緩自燃料棒組構發射之中子。如圖 1 之非限制態樣中所描繪，單位晶胞 102 可經配置以使得核心 100 包括整體六邊形幾何形狀，然而，在其他非限制態樣中，單位晶胞 102 可經配置以使得核心 100 取決於預期應用及/或使用者的偏好而包括多種不同幾何組構中之任一者。

【0034】 進一步參考圖 1，核心 100 可進一步包括複數個反應度控制晶胞 104。每一反應度控制晶胞 104 可經組構以容納反應度控制棒組構，其可共同地起作用以控制在核心 100 內發生之裂變，且因此，在反應器及/或動力故障或臨界事故之情況下阻止核心 100 達至臨界溫度。根據各種非限制態樣，可減少或完全消除核心 100 內之裂變之量，後者可關閉核心。本揭示所涵蓋之反應度控制棒可包括中子吸收材料且可經組構以插入至反應度控制晶胞 104 中以在緊急情況下減緩及/或停止核反應。圖 1 之核心 100 之反應度控制組構代表現代微型反應器之有價值的特徵，該等現代微型反應器係可運輸的且具有廣泛範圍之商業應用。因此，微型反應器之出現可增加核技術之普及，使安全性成為較高優先級。

【0035】 根據圖 1 之非限制態樣，核心 100 可進一步包括反射器 106 屏蔽件。舉例而言，反射器 106 可包括由厚中子屏蔽材料構成且經組構以實質上包圍核心 100 之一或多個板。反射器 106 可進一步包括經組構以容納中子吸收材料之複數個控制鼓 108。在反應器及/或動力故障之情況下，控制鼓 108 可朝向核心 100 向內轉動，使得吸收材料可減輕輻射且控制核心 100 之溫度。根據一些非限制態樣，反射器 106 可另外及/或替代地包括經組構以在故障之情況下進一步減輕輻射之伽馬屏蔽件。如圖 1 之非限制態樣中所描繪，反射器 106 可以圓形組構配置，該圓形組構包圍以六邊形配置之複數個單位晶胞 102。然而，在其他非限

制性態樣中，反射器 106 可經配置以取決於預期應用及/或使用者偏好而圍繞複數個單位晶胞 102 形成多種不同幾何組構中之任一者。

【0036】 仍參考圖 1，反射器 106 可經分割以確保單位晶胞 102 與反射器 106 之間存在間隙，作為控制且促進所需熱轉移量之手段。舉例而言，反射器 106 可由複數個模組化板形成，該複數個模組化板經整合以產生前述間隙。然而，在其他非限制性態樣中，反射器 106 可一體成形。另外，反射器 106 可進一步經組構以沿著軸向方向 D1 延伸，從而限定核心 100 之長度 L。複數個單位晶胞 102 亦可經組構以橫跨核心 100 之長度 L。由於單位晶胞經組構以容納燃料，因此核心 100 之長度 L 之量值可對應於核反應器之所需輸出。另外及/或替代地，微型反應器之增加的多功能性意謂核心 100 必須可針對多種應用來組構，許多該等應用可能具有大小及/或重量約束。因此，核心 100 之設計允許長度 L 可特定組構以適應核反應器之輸出、大小及/或重量要求。

【0037】 現參考圖 2，根據本揭示之至少一個非限制性態樣描繪圖 1 之核心設計之俯視圖。圖 2 說明複數個單位晶胞 102 及複數個反應度控制晶胞 104 可如何經特定配置以建立核心 100 之非限制性態樣之六邊形組構。亦顯而易見，複數個單位晶胞 102 中之每一單位晶胞 102 及複數個反應度控制晶胞 104 中之每一反應度控制晶胞 104 亦包括六邊形組構。然而，應瞭解，出於說明性目的而專門地描繪六邊形組構。因此，本揭示涵蓋其他非限制性態樣，其中單位晶胞 102 包括任何數目個幾何組構(例如正方形、圓形、三角形、矩形、五邊形、八邊形)且經配置使得核心 100 可包括任何數目個幾何組構。

【0038】 進一步參考圖 2，複數個單位晶胞 102 及複數個反應度控制晶胞 104 可沿著徑向方向 D2 配置，藉此限定核心 100 之徑向尺寸 R。

具體言之，圖 2 之非限制性態樣描繪具有 61 個單位晶胞 102 之核心 100。然而，本揭示涵蓋其他非限制性態樣，其中核心 100 包括任何數目個單位晶胞 102。實際上，在不顯著地改變核心 100 之設計之情況下容易地添加或減去該核心 100 之單位晶胞 102 之數目的能力允許取決於預期應用及/或使用者的偏好來容易地按比例調整核心 100。因而，亦可針對多個應用及要求容易地調節核心 100 設計之輸出。舉例而言，使用者可藉由在徑向方向上添加或減去核心 100 之單位晶胞 102 來改變核心 100 之徑向尺寸。由於單位晶胞經組構以容納包括放射性同位素之燃料，因此增加或減小徑向尺寸 R 之量值可改變核心 100 之輸出。因此，取決於預期應用及/或使用者的偏好，核心 100 之徑向尺寸 R 可對應於核反應器之所需輸出。另外及/或替代地，核心 100 之徑向尺寸 R 可經特定組構以遵從可隨應用而變化的多個大小及/或重量要求。

【0039】 應瞭解，如本揭示中所使用，術語「徑向」描述當自上而下檢視時自核心 100 之中心延伸的任一方向。因此，術語「徑向」之使用不應限於圓形或類似圓形之組構，且不應被視為暗示圖 1 及圖 2 之核心 100 限於圓形或類似圓形之組構。舉例而言，本揭示涵蓋非限制性態樣，其中核心 100 包括矩形組構。根據此類態樣，核心 100 可包括不同長度之一或多個徑向尺寸。

【0040】 仍參考圖 2，複數個單位晶胞 102 及複數個反應度控制晶胞 104 可由固體材料塊(例如石墨)一體成形。因此，單位晶胞 102 中之每一者之內部特徵，諸如熱管通道、燃料棒通道、減速劑通道及/或其類似者，可自固體材料塊鑽出，且由固體材料塊一體成形。然而，根據其他非限制性態樣，複數個單位晶胞 102 中之每一單位晶胞 102 及複數個反應度控制晶胞 104 中之每一反應度控制晶胞 104 可模組化地形成，且經

整合至核心塊中以促進核心設計之可調節性。無論如何，核心 100 可容易地製造成包括任何數目個單位晶胞 102 及/或反應度控制晶胞 104。此可允許核心 100 設計易於擴展。舉例而言，改變單位晶胞 102 及反應度控制晶胞 104 之數目允許使用者改變核心 100 之徑向尺寸 R 及長度 L (圖 1)，藉此針對具有獨特輸出及/或空間約束之應用來改變該核心 100 之輸出及靈活性。然而，核心 100 設計基本上保持相同，此允許生產及效能之可預測性，而不管輸出及大小之差異。此等特徵亦減少了為新應用設計所需之非重複工程化之量，且促進製造一致性及部件之標準化。儘管圖 1 及圖 2 之核心 100 可按比例調整為調節其輸出之手段，但該按比例調整應進一步考慮所實施熱管之額定功率、經調節輸出所需之反應度控制棒之適當數目，及控制鼓之有效性。

【0041】 進一步參考圖 2，單位晶胞 102 中之每一者可經組構成為自足的。如本揭示中所使用，「自足」應被解釋為每一單位晶胞 102 經由熱棒獨立地耗散由在單位晶胞 102 內定向之燃料產生之熱的能力。然而，作為安全措施，單位晶胞 102 經特定配置，使得任何兩個鄰近單位晶胞 102 之間間隙 G 小於或等於 2 毫米。因而，在一或多個熱管在任一給定單位晶胞 102 內發生故障之情況下，鄰近單位晶胞 102 可定位成足夠接近具有發生故障的熱管之單位晶胞 102，使得其將會將餘熱自核心 100 轉移開。因此，單位晶胞 102 可經組構以確保核心 100 可在可接受溫度下操作，即使在單位晶胞由於熱管故障而不再自足時亦如此。

【0042】 另外，圖 2 之單位晶胞 102 可相對於彼此在幾何形狀上組構且定向成三角形圖案，該三角形圖案包括經計算以實現所需輸出之預定間距。舉例而言，圖 2 之核心 100 可包括大於或等於十五公分且小於或等於二十公分之間距。然而，如由預期應用及/或使用者的偏好所需要，

本揭示涵蓋其他非限制性態樣，包括基於任何數目個所需輸出之任何數目個不同間距。因此，複數個單位晶胞 102 可包括多種幾何變數，其可衰減以進一步調節核心 100 之輸出。實際上，可仔細地選擇單位晶胞 102 之特定幾何形狀及相對位置以及反射器 106 之組構及幾何形狀，以調節核心 100 之輸出，從而滿足特定應用之需求，同時遵從額外要求。

【0043】 現參考圖 3，根據本揭示之至少一個非限制性態樣描繪圖 1 及圖 2 之核心 100 之單位晶胞 102 的俯視圖。根據圖 3 之非限制性態樣，單位晶胞 102 可包括經組構以容納核心 100 之燃料的複數個燃料通道 110 及經組構以容納核心 100 之熱管的複數個熱管通道 112。具體言之，圖 3 之單位晶胞 102 包括二十四個燃料通道 110 及七個熱管通道 112。然而，應瞭解，單位晶胞 102 可包括任何數目個燃料通道 110 及熱管通道 112，以最佳化核能之產生且增強自核心 100 移除熱能之效率。如先前所論述，每一單位晶胞 102 經組構為自足的。因此，每一熱管通道 112 可由核心之若干燃料通道 110 包圍，使得由插入在燃料通道 110 內之燃料產生的熱能可有效地自核心 100 轉移開。舉例而言，燃料可包括中子發射材料(例如氧化鈾、具有氫化鈾或碳氧化鈾核之三結構等向性粒子燃料)。

【0044】 根據其他非限制性態樣，圖 3 之單位晶胞 102 可進一步包括減速劑通道，該減速劑通道經組構以容納核心 100 之減速劑(例如氫類減速劑、BeO 等)，其中該減速劑可經組構以延遲及抑制由插入在複數個燃料通道 110 中之燃料發射的中子之傳播。替代地及/或另外，單位晶胞 102 可包括額外特徵，其經組構以容納核心 100 之其他儀器。

【0045】 進一步參考圖 3，複數個燃料棒通道 110 可經組構以具有第一直徑 D1，且複數個熱管通道 112 可經組構以具有第二直徑 D2。根

據一些非限制性具體例，第一直徑 $D1$ 及第二直徑 $D2$ 經選擇以輔助單位晶胞 102 自足，使得插入至熱管通道 112 中之熱管能夠將熱自核心 100 轉移開。類似於單位晶胞 102 之間間隙 G ，燃料通道 110 之第一直徑 $D1$ 及熱管通道 112 之第二直徑 $D2$ 可經組構使得當恰當地插入至單位晶胞 102 中時在燃料與燃料通道 110 之內壁之間以及在熱管與熱管通道 112 之內壁之間存在所需間隙。同樣，此類間隙可在幾何形狀上經組構以最佳化作為整體之整個單位晶胞 102 及整個核心 100 中之能量產生及熱轉移。儘管圖 3 之非限制性態樣包括具有圓形組構之通道 110、112，但應瞭解，本揭示涵蓋其他非限制性態樣，其中具有任何數目個幾何組構之通道 110、112 最佳化用於預期應用及使用者偏好之熱轉移。因此，如本揭示所使用，術語「直徑」不應包括遠離通道 110、112 之中心點延伸之任何尺寸。因而，應瞭解，術語「直徑」不意欲將通道 110、112 限制為圓形組構。

【0046】 仍參考圖 3，單位晶胞 102 亦可包括經組構以容納中子吸收材料之特徵，該等中子吸收材料可減緩在單位晶胞 102 之燃料棒通道 110 中發生的核反應。因此，可進一步經由中子吸收劑之影響來調節單位晶胞 102—且因此核心 100 本身—之功率分佈及徑向功率尖峰。根據一些非限制性態樣，可針對不對核心 100 施加嚴格運輸要求之應用設計核心 100。替代地及/或另外，核心 100 可使用高密度燃料。根據此類態樣，可藉由改變單位晶胞 102 之燃料通道 110 內之燃料濃化位準來另外管理單位晶胞 102 及核心 100 之軸向功率尖峰因數及軸向功率分佈。

【0047】 現參考圖 4A，根據本揭示之至少一個非限制性態樣描繪圖 3 之單位晶胞之透視圖。根據圖 4A 之非限制性態樣，複數個單位晶胞 102 經組構以沿著核心 100 之長度 L 的至少一部分延伸。舉例而言，複

數個單位晶胞 102 中之每一單位晶胞 102 可模組化地形成且整合至核心塊中，以促進核心設計之可調節性，此表示由核心 100 之設計提供的可調節性之一個態樣。此可輔助核心 100 遵從與預期應用相關聯之輸出及/或大小要求。在本揭示所涵蓋之其他非限制性態樣中，單位晶胞 102 可沿著核心 100 之長度的至少一部分一體成形，但類似地經組構以實現所需輸出。

【0048】 類似地，圖 4B 中所描繪之反射器 106 組構包括複數個反射器 106，其包括控制鼓 108，其中類似於先前參考圖 1 所描繪且論述之組構，反射器 106 經組構以沿著核心 100 之長度 L 的至少一部分延伸。當然，根據一些非限制性態樣，反射器亦可一體成形。同樣，反射器可經特定組構以產生促進及增強整個核心 100 中之熱轉移的有利間隙。

【0049】 另外及/或替代地，根據一些非限制性態樣，單位晶胞 102 之列與單位晶胞 102 之鄰近列重疊可為有利的。舉例而言，根據圖 4C 之非限制性態樣，根據本揭示之至少一個非限制性態樣描繪圖 3 之單位晶胞的側視圖。如圖 4C 中可見，單位晶胞 102 相對於彼此偏移。此類重疊可增強整個核心 100 中之能量產生及/或熱轉移，且為使用者提供一多個幾何變數來衰減，以最佳化核心 100 效能而不顯著地改變核心 100 設計。

【0050】 現參考圖 5，根據本揭示之至少一個非限制性態樣描繪圖 1 至圖 4 之核心 100 的透視圖。根據圖 5 之非限制性態樣，核心 100 可經組裝以包括佈置在整個複數個單位晶胞 102 及反應度控制晶胞 104 中之燃料 111、熱管 113 及反應度控制棒 115。具體言之，燃料 111 可佈置在一或多個單位晶胞 102 之整個燃料通道 110 (圖 3)中，熱管 113 可佈置在一或多個單位晶胞 102 之整個熱管通道 112 (圖 3)中，且反應度控制棒 115 可佈置在一或多個反應度控制晶胞 104 之整個反應度控制通

道(未展示)中。根據一些非限制性態樣，燃料 111 及熱管 113 經組構以延伸核心 100 之預定長度 L。在其他非限制性態樣中，熱管 113 經組構以在核心之預定長度 L 以外延伸額外長度 L'，以促進下游核心外連接及/或設備(例如電力系統、冷凝器、結構支撐件)。此設計允許針對任何預期應用及/或使用者偏好定製核心 100，此使得該核心能夠回應於客戶需要而為多功能的。然而，此等改變中無一者可顯著影響核心 100 設計之基礎核物理學及/或可製造性，此保持了核心 100 生產及操作中之可靠性及可預測性。換言之，圖 5 之經組裝核心 100 設計允許燃料 111 及熱管 113 經特定組構以適應任何特定功率要求及/或結構組構，而不必重新創造基本核心 100 設計且不必承擔固有的開發風險。

【0051】 進一步參考圖 5，反射器 106 可進一步包括經組構以容納中子吸收及反射材料之複數個控制鼓 108。在反應器及/或動力故障或反應器關閉之情況下，控制鼓 108 可朝向核心 100 向內轉動，使得吸收材料可關閉核心 100。根據圖 5 之非限制性態樣，反射器 106 可進一步包括伽馬屏蔽件 109，該伽馬屏蔽件經組構以實質上包圍中子屏蔽件、核心 100 及其內部組件 102、104、111、113、115，以進一步減輕輻射。

【0052】 仍參考圖 5，核心 100 可進一步包括複數個反應度控制棒 115，其經組構以貫穿複數個反應度控制晶胞 104 中之一或多個反應度控制晶胞 104 來佈置。舉例而言，反應度控制晶胞 104 可包括反應度控制棒通道，該反應度控制棒通道類似於燃料通道 110 及/或熱管通道 112，但經特定組構以容納反應度控制棒 115。如先前所論述，每一反應度控制棒 115 可包括中子吸收材料，該中子吸收材料經組構以在緊急情況下減緩及/或停止核心 100 內之核反應。反應度控制棒 115 可共同地起作用以防止核心 100 在反應器及/或動力故障之情況下達至臨界溫度。因此，微

型反應器之出現可增加核技術之普及，使安全性成為較高優先級。

【0053】 現參考圖 6，根據本揭示之至少一個非限制性態樣描繪圖 1 至圖 5 之核心 100 的分段透視圖。根據圖 6 之非限制性態樣，包括反射器 106 之核心 100 可經組構以定位在外部護罩 117 內，該外部護罩可取決於預期應用及/或使用者偏好而使核心 100 具有額外結構、屏蔽及熱轉移屬性。值得注意地，圖 6 說明單位晶胞 102 及反應度控制晶胞 104 可如何相對於彼此配置以形成複數個燃料通道 110 (圖 3)、熱管通道 112 (圖 3)及貫穿核心 100 之塊的反應度控制棒通道(未展示)。分段視圖描繪佈置在通道 110、112 內之燃料 111、熱管 113 及反應度控制棒 115，藉此形成核心 100 之功能關鍵。因此，應瞭解，單位晶胞 102 及/或反應度控制晶胞 104 之數目可變化以調節核心 100 之輸出及/或幾何組構，而不顯著改變其設計。

【0054】 應瞭解，至少出於前述原因，本文中所揭示之核心 100 設計包括具有高可製造性準備位準之可調節輸出。換言之，現有製造技術可用於製造一個單位晶胞或單位晶胞之群集、反射器及/或本文中所揭示之整體總成。因此，核心 100 可經組裝以用於個別核心組件(例如單位晶胞、反射器區段)之製程內控制，且可包括易於視需要更換及/或修改之組件。此等特徵促進核心 100 之可擴展性，且當與單體核心組構相比時係尤其有價值的。

【0055】 現參考圖 7A 至圖 9C，根據本揭示之至少一個態樣描繪圖 1 至圖 6 之核心 100 的若干應力分佈。舉例而言，圖 7A 及圖 7B、圖 7A 及圖 7B 說明圖 1 至圖 6 之核心的至少一部分之溫度分佈。如先前所論述，單位晶胞 102 可經配置成使得在任何兩個鄰近的單位晶胞 102 之間不存在大於預定間隙 G (圖 3)的間隙。間隙 G (圖 3)使得能夠在熱管故

障之情況下藉由相鄰單位晶胞 102 之相鄰熱管耗散餘熱。舉例而言，在圖 7A 中，描繪不具有熱移除退化之典型溫度分佈。然而，在圖 7B 中，熱管已發生故障，如由點 A 處之溫度濃度所表示。由於相鄰單位晶胞 102 定位成與具有發生故障的熱管之單位晶胞 102 相距不超過預定間隙 G，所以可藉由相鄰熱管耗散餘熱。此在圖 7B 中所描繪的熱梯度之耗散中顯而易見。換言之，核心 100 可經特定組構，使得相鄰單位晶胞 102 可在熱管故障之情況下幫助移除熱。

【0056】 圖 8A 及圖 8B 說明根據本揭示之至少一個非限制性態樣之圖 1 至圖 6 的核心之至少一部分中之應力分佈與習知的單體核心中之應力分佈的比較。如自圖 8A 及圖 8B 顯而易見，當與單體核心中之應力相比時，圖 1 至圖 6 之改良的核心 100 組構中之等效應力減少。儘管應力分佈模式類似，但所經受之應力之量值顯著較小。圖 9A 至圖 9C 說明根據本揭示之至少一個非限制性態樣之用於圖 1 至圖 6 的核心之最大預期功率位準的模擬溫度及應力分佈。因此，圖 9A 至圖 9C 說明核心 100 及其組件所經受之總應力低於用於核反應器之操作條件之習知限制。因此，圖 9A 至圖 9C 說明，即使在調節核心之輸出時，核心 100 設計亦可促進足夠的熱管理能力，使得核心 100 所經受之應力保持遵從其他客戶要求及/或內部及政府法規。

【0057】 現參考圖 10，根據本揭示之至少一個非限制性態樣描繪調節核反應器之核心的功率輸出之方法 200。根據圖 10 之非限制性態樣，方法 200 可包括調節核心的功率輸出，該核心包括複數個單位晶胞。複數個單位晶胞中之每一單位晶胞經組構以容納經組構以產生能量之燃料。此外，複數個單位晶胞中之每一單位晶胞經組構以容納經組構以將熱能自核心轉移開之熱管。複數個單位晶胞中之單位晶胞之初始數目對應

於核心之初始功率輸出。舉例而言，初始功率輸出可為核心產品線之標準化輸出，此考慮了產品線之客戶所需的平均輸出。此可最小化所需調節之量，且因此，降低調節核心之輸出所需的開發之量及風險。

【0058】 進一步參考圖 10，方法 200 可包括基於核心之所需功率輸出來判定燃料之量之步驟 202。舉例而言，核心之所需功率輸出可對應於核反應器之預期應用。若核反應器相比於初始產品可提供之標準將為更多設備供電，則所需功率輸出將高於初始功率輸出。替代地，該應用可能需要較少功率且亦可為核心提供較少空間或實際面積。因此，應減小核心之輸出且因此減少其佔據面積。接下來，該方法包括基於核心之預定要求來判定熱管之數目之步驟 204。舉例而言，核反應器可能必須遵從合同、內部或政府熱要求或安全性因素。此可能影響遵從對核反應器施加之要求維持所需輸出所需之熱管的數目。

【0059】 仍參考圖 10，方法 200 進一步包括基於所判定燃料之量及所判定熱管之數目來判定單位晶胞之數目之步驟 206。換言之，該方法要求功率之最佳化及遵從性要求。此最佳化接著整合至模組化核心設計中。隨後，該方法包括機械地改變複數個單位晶胞，使得單位晶胞之初始數目變為單位晶胞之所判定數目之步驟 208。因此，可擴展核心經修改以符合基於所需功率輸出及對要求之遵從性而判定之組構。

【0060】 現參考圖 11A，根據本揭示之至少一個非限制性態樣描繪包括可組構佈局之單位晶胞 1100a 的俯視圖。根據圖 11A 之非限制性態樣，單位晶胞 1100a 可包括限定在核心塊材料 1102 內之複數個通道 1104、1106。舉例而言，單位晶胞 1100a 可包括複數個燃料通道 1104 及/或複數個熱管通道 1106。單位晶胞 1100a 之通道 1104、1106 可經組構以容納核反應器核心所需之各種可互換組件且可以可組構圖案配置以

達成核反應器之臨界及/或所需輸出。根據一些非限制性態樣，每一通道 1104、1106 可同時經組構以容納包括燃料源及/或熱管之可互換組件中之任一者。因而，圖 11A 之單位晶胞 1100a 可為形成核反應器之核心的複數個整合之單位晶胞 1100a 之一體式組件，該一體式組件依賴於燃料及熱管來產生電且移除所得熱能。根據圖 11A 之非限制性態樣，單位晶胞 1100a 之佈局可為可組構的一亦即，通道 1104、1106 之數目及/或位置可經重新配置以改變核心之效能—只要單位晶胞 1100a 最終保持遵從核及/或物理及熱要求。

【0061】 根據圖 11A 之非限制性態樣，單位晶胞 1100a 之核心塊材料 1102 可經特定組構以補充及/或更換其他核心設計通常所需之減速劑。舉例而言，核心塊材料 1102 可經特定選擇以包括可降低由安裝在單位晶胞 1100a 之燃料通道 1104 內之燃料源發射之中子的速度之屬性。因而，核心塊材料 1102 自身可控制在單位晶胞 1100a 之燃料通道 1104 內發生之裂變速率。因此，單位晶胞 1100a 可減少及/或消除併入可以其他方式降低單位晶胞 1100a 容納燃料及/或熱管之能力之額外減速劑的需要。在不需要減速劑通道之情況下，單位晶胞 1100a 可更有效地利用其佈局且最終減小核心之大小，同時改良核反應器之輸出效能。亦應瞭解，核心塊材料 1102 可進一步經組構以包括多種所需物理屬性(例如彈性模數、熱導率、強度、網厚度及/或熱膨脹)以耐受單位晶胞 1100a 之核、結構及/或熱應力。

【0062】 進一步參考圖 11A，單位晶胞 1100a 可進一步包括複數個燃料通道 1104，該複數個燃料通道經組構以適應多種燃料類型(例如二氧化鈾、具有氦化鈾或碳氧化鈾核之三結構等向性粒子燃料)。圖 11A 之單位晶胞 1100a 佈局可經特定組構以用於特定燃料類型，或單位晶胞

1100a 佈局可經普遍組構以適應標準組構中之任何數目個燃料類型。另外，單位晶胞 1100a 可基於所需燃料利用率及/或減速要求而適應多種燃料組構。根據單位晶胞 1100a 之核心塊材料 1102 可經特定組構以補充及/或更換減速劑之非限制性態樣，燃料通道 1104 亦可經組構以適應多種燃料源及/或次級減速劑以最佳化反應器效能變數且確保對隨應用而變化之多種要求及/或法規的遵從性。因此，圖 11A 之單個單位晶胞 1100a 佈局可視需要而經組構及經重新組構。

【0063】 圖 11A 之可組構晶胞塊佈局提供許多優點，諸如對需要變化減速劑組構之各種反應器設計之適用性。舉例而言，圖 11A 之單位晶胞 1100a 佈局可包括安裝在複數個燃料通道 1104 之子集內的氦化鈾及/或三結構等向性粒子燃料源。根據此類態樣，單位晶胞 1100a 可遵從核反應器運輸要求，但在燃料利用方面受到影響。因此，使用者可決定將次級減速劑(例如氫類材料、氧化鈹)插入至複數個燃料通道 1104 之子集中以減弱反應器效能且因此改良燃料利用率。

【0064】 根據另一非限制性態樣，單位晶胞 1100a 可包括複數個燃料通道 1104 之子集內之二氧化鈾及/或氦化鈾燃料源以最佳化燃料利用率，但將很可能需要在其他燃料通道 1104 中使用次級減速劑以遵從反應器輸送要求。前述實例中無一者意欲為限制性的，而是僅僅經呈現以說明圖 11A 之單位晶胞 1100a 佈局如何可組構以最佳化反應器效能以符合多種不同要求及/或法規。因此，單個單位晶胞 1100a 佈局可適用於且經特定組構以用於廣泛的核反應器應用(例如，行動反應器、可運輸反應器、固定反應器)。使單位晶胞 1100a、1100b 之生產流線效率化以包括單個可組構佈局—諸如圖 11A 及圖 11B 中所描繪之彼等—可促進製造準備及促進現有製造技術之使用。

【0065】 現參考圖 11B，根據本揭示之至少一個非限制性態樣描繪包括可組構佈局之另一單位晶胞。單位晶胞 1100*b* 類似於圖 11A 之單位晶胞 1100*a* 組構。然而，根據圖 11B 之非限制性態樣，單位晶胞 1100*b* 可進一步包括經組構以容納反應度控制棒之一或多個反應度控制通道 1108，該反應度控制棒可在反應器及/或動力故障之情況下起作用以防止核心 100 達至臨界溫度。舉例而言，圖 11B 之單位晶胞 1100*b* 之反應度控制通道 1108 可容納反應度控制棒，該反應度控制棒包括經組構以在緊急情況下減緩及/或停止燃料通道 1104 內發生的核反應之中子吸收材料。

【0066】 進一步參考圖 11B，反應度控制通道 1108 可大於單位晶胞 1100*b* 之燃料通道 1104 及熱管通道 1106。然而，本揭示涵蓋其他非限制性態樣，其中反應度控制通道 1108 可包括相對於單位晶胞 1100*b* 之燃料通道 1104 及熱管通道 1106 之多種不同大小及/或幾何組構。另外及/或替代地，圖 11B 之單位晶胞 1100*b* 可經組構以耦接至圖 11A 之單位晶胞 1108*a*，藉此建立具有反應度控制組構之核心，以進一步遵從應用特定要求及/或法規。因此，圖 11A 及圖 11B 之單位晶胞 1100*a*、1100*b* 可共同地向現代微型反應器提供額外益處。如先前所論述，此類微型反應器為緊湊的，且因此，增加核技術之普及。因此，當設計核反應器之核心時，安全性保持高優先級。單位晶胞 1100*b* 之可組構佈局可允許定製核心設計，且因此可輔助減輕使用核技術所固有的風險。

【0067】 儘管圖 11A 及圖 11B 之單位晶胞 1100*a*、1100*b* 可包括六邊形組構，但應瞭解，六邊形組構僅僅出於說明之目的而描繪。因此，本揭示涵蓋其他非限制性態樣，其中單位晶胞 1100*a*、1100*b* 可包括任何數目個幾何組構(例如正方形、圓形、三角形、矩形、五邊形、八邊形)，且因此可經配置以形成具有許多不同幾何組構之核心。另外及/或替代

地，通道 1104、1106、1108 可包括任何幾何組構且並不意欲受限於圖 11A 及圖 11B 中描繪之圓形幾何形狀。應瞭解，單位晶胞 1100a、1100b 之模組化及可重新組構特徵可同樣適用於不同幾何橫截面之通道(例如正方形、圓形、三角形、矩形、五邊形、八邊形)。

【0068】 應瞭解，單位晶胞 1100a、1100b 之佈局可基於預期應用及/或使用者偏好而經特定組構。此使得由單位晶胞 1100a、1100b 建構之任何核心能夠經靈活地設計以適應現代微型反應器所預期之多功能性。舉例而言，通道 1104、1106、1108 之配置可包括通道之間的預定間距 P 。間距 P 可基於意欲用於核心之特定燃料類型而經特定組構。舉例而言，圖 11A 及圖 11B 之間距 P 可包括大於或等於 20 毫米且小於或等於 40 毫米之尺寸量值。然而，取決於預期應用及/或使用者偏好，本揭示涵蓋其他非限制性態樣，包括基於核心之任何其他核及/或熱特性的不同尺寸量值之間距。

【0069】 同樣，圖 11A 及圖 11B 之單位晶胞 1100a、1100b 之每一通道 1104、1106、1108 可分別包括預定通道直徑 D_c ，其可經設計以建立所需間隙以容納燃料、熱管及/或反應度控制棒。因此，通道直徑 D_c 可取決於預期應用及/或使用者存在而經特定組構以用於所需量之核產生、熱移除及/或反應度控制能力。應瞭解，當通道直徑 D_c 經調節以容納不同燃料源(例如棒、堆疊、丸粒及/或壓塊)時，可能需要對間距 P 進行後續重新調節，尤其在增加通道直徑 D_c 以容納較寬燃料源以達成較高額定功率時。另外及/或替代地，單位晶胞 1100a、1100b 之每一通道 1104、1106、1108 可經配置以使得預定徑向間隙 G_R 存在於通道 1104、1106、1108 之間。可選擇徑向間隙 G_R 以確保維持通道 1104、1106、1108 之間的某接近度。因此，通道 1104、1106、1108 經配置以共同地達成單位

晶胞 1100*a*、1100*b* 之效能預期。舉例而言，若第一熱管發生故障，則相鄰通道中之熱管可藉由將餘熱自單位晶胞 1100*a*、1100*b* 及因此核心本身轉移開來適應故障。此確保單位晶胞 1100*a*、1100*b* 可在發生故障之情況下遵從適用的效能要求及/或安全法規。

【0070】 換言之，圖 11A 及圖 11B 之單位晶胞 1100*a*、1100*b* 之通道 1104、1106、1108 可容易地經組構以適應任何核、熱及/或安全設計約束。設計之元件之間的典型徑向間隙將取決於介面類型、燃料及熱管尺寸、所需熱產生速率及所使用之覆蓋(填充)氣體而變化。然而，修改前述尺寸中之任一者(例如間距 P 、通道直徑 D_C 、徑向間隙 G_R 、網厚度)以改變單位晶胞 1100*a*、1100*b*、通道 1104、1106、1108 之幾何組構將不破壞前述製造準備、標準或限制。

【0071】 現參考圖 12A 至圖 12C，根據本揭示之至少一個非限制性態樣以不同組構描繪包括可組構佈局之另一單位晶胞 1200 的俯視圖。根據圖 12A 之非限制性態樣，描繪基準單位晶胞 1200*a* 組構，其中燃料 1206(其可為燃料源)以六邊形組構定位於中心熱管 1204 周圍之通道中。根據圖 12A 之非限制性態樣，基準單位晶胞 1200*a* 組構不包括安裝在該等通道中之任一者內的次級減速劑。替代地，基準單位晶胞 1200*a* 組構可包括充當減速劑 1202(例如石墨)之核心塊材料。

【0072】 現參考圖 12B，根據本揭示之至少一個非限制性態樣描繪第二單位晶胞 1200*b* 組構。根據圖 12B 之非限制性態樣，第二單位晶胞 1200*b* 可包括插入在包括燃料 1206 之通道之間的鈹類減速劑 1210(例如碳化鈹、氧化鈹)，該等通道與圖 12A 中所描繪之通道相同。現參考圖 12C，根據本揭示之至少一個非限制性態樣描繪第三單位晶胞 1200*c* 組構。類似於 12B 之態樣，圖 12C 之第三單位晶胞 1200*c* 組構可包括插入

在容納燃料 1206 之通道之間的減速劑 1212。然而，根據圖 12C 之非限制性態樣，減速劑可包括氫類材料(例如氫化鈮,氫化鈾)。

【0073】 共同地，圖 12A 至圖 12C 說明單個單位晶胞 1200 或圖 11A 及圖 11B 之單位晶胞 1100a、1100b 如何可包括可組構佈局，該等可組構佈局可遵從廣泛多種特定應用要求及/或法規來改變核反應器之核心的輸出及/或效能，同時保持所需製造準備位準。儘管非限制性單位晶胞 1200a、1200b、1200c 組構說明在整個核反應器之核心中使用不同減速劑 1202、1210、1212，但應瞭解，單位晶胞 1200a、1200b、1200c 組構可應用類似模組化原理來影響任何數目個核心參數，包括使用不同燃料源及/或反應度控制棒。

【0074】 現參考圖 15，根據本揭示之至少一個非限制性態樣描繪組構核反應器之核心之單位晶胞的方法 1500。根據圖 15 之非限制性態樣，方法 1500 可包括判定核心之操作條件之步驟 1502，其中該操作條件對應於核反應器之預期應用及/或使用者的偏好。此步驟指示現代核反應器提供之多功能性增加。接下來，方法 1500 包括步驟 1504，其判定包含操作條件之態樣的單位晶胞之效能參數。舉例而言，反應器之特定應用可能使核心之特定功率輸出或減速劑能力成為必需。因此，使用者可將操作條件分解成可影響核心之設計，且更具體言之，單位晶胞之設計的一或多個效能參數。接下來，方法 1500 包括步驟 1506，其包括選擇對應於效能參數之可互換組件。基於所選擇效能參數，使用者可能選擇特定類型或組成物之燃料源、或反應度控制棒、或包括於單位晶胞佈局中之熱管。最後，方法包括步驟 1508，其包括將所選擇可互換組件安裝至複數個通道中之通道中。方法 1500 可重複，直至單位晶胞之通道填充有所需可互換組件，使得核心可達成操作條件且在預期應用中有效。

【0075】 在以下經編號條項中闡述本文中所描述之主題的各種態樣：

【0076】 條項 1： 一種核反應器之核心之可組構單位晶胞，該可組構單位晶胞包括：核心塊材料；複數個可互換組件，其中，複數個可互換組件中之每一可互換組件經組構以影響核反應器之核心的效能參數；及複數個通道，其限定在核心塊材料內，其中，複數個通道中之每一通道經組構以在操作組構中接合複數個可互換組件中之可互換組件，且其中，複數個通道中之每一通道與複數個通道中之鄰近通道隔開預定間距。

【0077】 條項 2： 如條項 1 之可組構單位晶胞，其中，複數個可互換組件包括燃料源、熱管、反應度控制棒及反應度控制棒或其組合中之至少一者。

【0078】 條項 3： 如條項 1 或 2 之可組構單位晶胞，其中，核心塊材料包括減速劑，且其中，複數個通道經特定配置，使得核心塊材料可充分地緩和由可組構單位晶胞在操作組構中產生之核能。

【0079】 條項 4： 如條項 1 至 3 中任一項之可調節核心，其中核心塊材料包括石墨。

【0080】 條項 5： 如條項 1 至 4 中任一項之可組構單位晶胞，其中，複數個可互換組件包括燃料源、熱管、減速劑、反應度控制棒及反應度控制棒或其組合中之至少一者。

【0081】 條項 6： 如條項 1 至 5 中任一項之可組構單位晶胞，其中，可組構單位晶胞為模組化的且經組構以耦接至第二可組構單位晶胞，且其中，可組構單位晶胞在耦接至第二可組構單位晶胞時形成核反應器之核心之至少一部分。

【0082】 條項 7： 如條項 1 至 6 中任一項之可組構單位晶胞，其

進一步包括經組構以將第二單位晶胞耦接至可組構單位晶胞之介面，其中，介面限定可組構單位晶胞與第二單位晶胞之間的預定間隙，且其中，預定間隙在熱管故障之情況下對應於核心之預定熱轉移參數。

【0083】 條項 8：如條項 1 至 7 中任一項之可組構單位晶胞，其中，預定間距大於或等於 20 毫米且小於或等於 40 毫米。

【0084】 條項 9：一種核反應器之核心，其包括：複數個可互換組件，其中，複數個可互換組件中之每一可互換組件經組構以影響核反應器之核心的效能參數；及複數個可組構單位晶胞，其中，複數個可組構單位晶胞中之每一可組構單位晶胞係由核心塊材料形成，且其中，複數個可組構單位晶胞包括：標準單位晶胞，其包括限定在核心塊材料內之複數個通道，其中，複數個通道中之每一通道經組構以在操作組構中接合複數個可互換組件中之可互換組件；及反應度控制晶胞，其包括限定在核心塊材料內之複數個通道，其中，複數個通道中之每一通道經組構以在操作組構中接合複數個可互換組件中之可互換組件，且其中，複數個通道中之至少一個通道經組構以接合反應度控制棒。

【0085】 條項 10：如條項 9 之核心，其中，複數個可互換組件包括燃料源、熱管、反應度控制棒及反應度控制棒或其組合中之至少一者。

【0086】 條項 11：如條項 9 或 10 之核心，其中，核心塊材料包括減速劑，且其中，複數個可組構單位晶胞中之每一可組構單位晶胞的複數個通道經特定配置，使得核心塊材料可充分地緩和在操作組構中產生之核能。

【0087】 條項 12：如條項 9 至 11 中任一項之核心，其中核心塊材料包括石墨。

【0088】 條項 13：如條項 9 至 12 中任一項之核心，其中，複數個

可互換組件包括燃料源、熱管、減速劑、反應度控制棒及反應度控制棒或其組合中之至少一者。

【0089】 條項 14：如條項 9 至 13 中任一項之核心，其中，複數個單位晶胞中之每一單位晶胞經模組化組構以耦接至複數個單位晶胞中之鄰近單位晶胞，使得可調整複數個單位晶胞之數目。

【0090】 條項 15：如條項 9 至 14 中任一項之核心，其中，複數個單位晶胞中之每一單位晶胞經配置以使得預定間隙存在於可組構單位晶胞與第二單位晶胞之間，且其中，預定間隙在熱管故障之情況下對應於核心之預定熱轉移參數。

【0091】 條項 16：如條項 9 至 15 中任一項之核心，其中，預定間距大於或等於 20 毫米且小於或等於 40 毫米。

【0092】 條項 17：一種組構核反應器之核心之單位晶胞的方法，其中，單位晶胞包括限定在核反應器之核心之核心塊內的複數個通道，其中，複數個通道中之每一通道經組構以接合複數個可互換組件中之可互換組件，方法包括：判定核反應器之核心之操作條件，其中，操作條件對應於核反應器之預期應用；判定單位晶胞之效能參數，其中，效能參數包括核反應器之核心的所判定操作條件之態樣；自複數個可互換組件選擇可互換組件，其中，所選擇可互換組件對應於單位晶胞之所判定效能參數；及將所選擇可互換組件安裝至複數個通道中之通道中。

【0093】 條項 18：如條項 17 之方法，其進一步包括：判定單位晶胞之第二效能參數，其中，第二效能參數包括核反應器之核心的所判定操作條件之另一態樣；自複數個可互換組件選擇第二可互換組件，其中，所選擇可互換組件對應於單位晶胞之所判定第二效能參數；及將所選擇第二可互換組件安裝至複數個通道中之另一通道中。

【0094】 條項 19：如條項 17 或 18 之方法，其中，複數個可互換組件包括燃料源、熱管、減速劑、反應度控制棒及反應度控制棒或其組合中之至少一者。

【0095】 條項 20：如條項 17 至 19 中任一項之方法，其中，核心塊材料包括減速劑，且其中，複數個可互換組件包括燃料源、熱管、反應度控制棒及反應度控制棒或其組合中之至少一者。

【0096】 本文中所提及的所有專利、專利申請案、公開案或其他揭示材料皆特此以全文引用之方式併入，如同每一個別參考文獻分別以引用方式明確地併入一般。被稱為以引用之方式併入本文中之所有參考文獻及任何材料或其等部分，僅在併入之材料不與本揭示中所闡述之現有定義、陳述或其他揭示材料矛盾的程度上併入本文中。因而，且在必要程度上，如本文所闡述之揭示內容取代以引用方式併入本文中之任何矛盾之材料及在本申請案對照中明確闡述之揭示內容。

【0097】 已參考各種例示性及說明性態樣描述本發明。本文中所描述之態樣將理解為提供本發明之各種態樣之不同細節之說明性特徵；且因此，除非另外說明，否則應理解，在可能之情況下，所揭示之態樣之一或多個特徵、元件、組件、組分、成分、結構、模組及/或態樣可與或相對於所揭示之態樣之一或多個其他特徵、元件、組件、組分、成分、結構、模組及/或態樣組合、分離、互換及/或重新配置，而不脫離本發明之範疇。因此，一般熟悉本技藝者將認識到，可在不脫離本發明之明範疇之情況下進行例示性態樣中之任一者的各種替代、修改或組合。此外，熟悉本技藝者將認識到或能夠在審閱本說明書後僅使用常規實驗確定本文中所描述之本發明之各種態樣的許多等效物。因此，本發明不受各種態樣之描述限制，而是受申請專利範圍限制。

【0098】 熟悉本技藝者將認識到，一般而言，本文中且尤其在所附申請專利範圍中所使用之術語(例如，所附申請專利範圍之主體)一般意欲作為「開放式(open)」術語(例如，術語「包括(including)」應解譯為「包括但不限於」，術語「具有(having)」應解譯為「至少具有」，術語「包括(includes)」應解譯為「包括但不限於」等)。熟悉本技藝者將進一步理解，若希望存在特定數目的所引入申請專利範圍敘述，則此意圖將明確敘述於申請專利範圍中，且在無此敘述的情況下不存在此意圖。舉例而言，作為對理解之輔助，以下隨附申請專利範圍可含有介紹性片語「至少一個」及「一或多個」之使用以引入申請專利範圍敘述。然而，此類片語之使用不應視為暗示由不定冠詞「一(a)」或「一個(an)」對申請專利範圍敘述之引入將含有此類所引入申請專利範圍敘述之任何特定申請專利範圍限制於僅含有一個此類敘述的申請專利範圍，即使當同一申請專利範圍包括引入性片語「一或多個」或「至少一個」及諸如「一(a)」或「一個(an)」之不定冠詞時(例如，「一(a)」及/或「一個(an)」應通常解譯為意謂「至少一個」或「一或多個」)；此情況同樣適用於用以引入申請專利範圍敘述之定冠詞的使用。

【0099】 此外，即使明確地敘述特定數目之所引入申請專利範圍敘述，但熟悉本技藝者將認識到，此類敘述通常應解釋為意謂至少所敘述之數目(例如，不具有其他修飾語的無修飾敘述「兩個敘述」通常意謂至少兩個敘述或兩個或多於兩個敘述)。此外，在其中使用類似於「A、B及C中之至少一者等」之公約的彼等情況下，一般這類構造意欲為熟悉本技藝者應瞭解公約之意義(例如，「具有A、B及C中之至少一者的系統」將包括但不限於具有僅A、僅B、僅C、A及B一起、A及C一起、B及C一起、及/或A、B及C一起等的系統)。在其中使用類似於「A、B或

C 中之至少一者等」之公約的彼等情況下，一般此類構造意欲為熟悉本技藝者應瞭解公約之意義(例如，「具有 A、B 或 C 中之至少一者的系統」將包括但不限於具有僅 A、僅 B、僅 C、A 及 B 一起、A 及 C 一起、B 及 C 一起及/或 A、B 及 C 一起等的系統)。熟悉本技藝者將進一步理解，除非上下文另外規定，否則無論在描述內容、申請專利範圍或圖式中，通常呈現兩個或多於兩個替代性術語之分離性字組及/或片語應理解為涵蓋包括該等術語中之一者、該等術語中之任一者或兩種術語之可能性。舉例而言，片語「A 或 B」應通常理解為包括「A」或「B」或「A 及 B」的可能性。

【0100】 相對於隨附申請專利範圍，熟悉本技藝者將瞭解，其中所列舉的操作通常可以任何次序執行。此外，儘管各種操作流程圖按序列呈現，但應理解，各種操作可以與說明之次序不同的其他次序執行或可同時執行。除非上下文另外規定，否則此類替代次序之實施例可包括重疊、交錯、中斷、重新排序、遞增、預備、補充、同步、反向或其他變型次序。此外，除非上下文另外規定，否則如「回應於」、「與...相關」之術語或其他過去時態形容詞通常並不意欲排除此類變型。

【0101】 值得注意，對「一個態樣」、「一態樣」、「一範例」、「一個範例」及其類似者之任何參考意謂結合該態樣所描繪之特定特徵、結構或特性包括於至少一個態樣中。因此，片語「在一個態樣中」、「在一態樣中」、「在一範例中」及「在一個範例中」貫穿本說明書在各處之出現未必皆參考同一態樣。此外，特定特徵、結構或特性可在一或多個態樣中以任何適合方式組合。

【0102】 除非上下文另外明確規定，否則如本文所用之單數形式「一(a)」、「一個(an)」及「該(the)」包括複數個參考物。

【0103】 除非另外明確陳述，否則本文中所使用之方向性片語，諸如(但不限於)頂部、底部、左側、右側、下部、上部、前部、背部及其變化形式，應關於附圖中所展示之元件之定向且不對申請專利範圍具限制性。

【0104】 除非另外規定，否則本揭示中所使用之術語「約」或「概略」意謂如由熟悉本技藝者所判定之特定值的可接受誤差，其部分地視量測或判定該值之方式而定。在某些態樣中，術語「約」或「概略」意謂在 1、2、3 或 4 個標準差內。在某些態樣中，術語「約」或「概略」意謂在既定值或範圍之 50%、200%、105%、100%、9%、8%、7%、6%、5%、4%、3%、2%、1%、0.5% 或 0.05% 內。

【0105】 在本說明書中，除非另外指示，否則所有數值參數應理解為在所有情況下均藉由術語「約」作為前言且修飾，其中該等數值參數具有用於測定參數之數值之根本量測技術的固有可變性特性。最起碼而言，且不試圖將均等論之應用限於申請專利範圍之範疇，本文中所描述之各數值參數至少應根據所報導之有效數位的數目並藉由應用一般捨入技術來詮釋。

【0106】 本文中所列舉之任何數值範圍包括包含於所列舉的範圍內之所有子範圍。舉例而言，「1 至 100」之範圍包括所列舉的最小值 1 與所列舉的最大值 100 (且包括最小值 1 及最大值 100)之間的所有子範圍，即最小值等於或大於 1 且最大值等於或小於 100。此外，本文所列舉之所有範圍包括所列舉範圍之端點。舉例而言，範圍「1 至 100」包括端點 1 及 100。本說明書所列舉之任何最大數值限制意欲包括其中所包含之所有較低數值限制，且本說明書所列舉之任何最小數值限制意欲包括其中所包含之所有較高數值限制。因此，申請人保留修正本說明書(包括

申請專利範圍)的權利，以明確地列舉本文中所述明確列舉的範圍內所包含的任何子範圍。所有此類範圍均固有地描述於本說明書中。

【0107】 在本說明書中所參考及 / 或在任何申請資料表 (Application Data Sheet) 中所列出之任何專利申請案、專利、非專利公開案或其他揭示材料以引用之方式併入本文中，只要所併入之材料與本說明書不相矛盾。因而且在必需之程度上，如本文中所述明確說明之揭示內容取代以引用的方式併入本文中之任何矛盾材料。據稱以引用之方式併入本文中但與本文中所說明之現有定義、陳述或其他揭示內容材料相衝突的任何材料或其部分將僅在彼併入之材料與現有揭示內容材料之間不出現衝突的程度上併入。

【0108】 術語「包含(comprise)」(及包含之任何形式，諸如「包含(comprises)」及「包含(comprising)」)、「具有(have)」(及具有之任何形式，諸如「具有(has)」及「具有(having)」)、「包括(include)」(及包括之任何形式，諸如「包括(includes)」及「包括(including)」)以及「含有(contain)」(及含有之任何形式，諸如「含有(contains)」及「含有(containing)」)為開放式連繫動詞。因此，「包含」、「具有」、「包括」或「含有」一或多個元件之系統擁有彼等一或多個元件，但不限於僅擁有彼等一或多個元件。同樣地，「包含」、「具有」、「包括」或「含有」一或多個特徵之系統、裝置或設備之元件擁有彼等一或多個特徵，但不限於僅擁有彼等一或多個特徵。

【符號說明】

100:核心

102:單位晶胞

104:反應度控制晶胞

- 106:反射器
- 108:控制鼓
- 109:伽馬屏蔽件
- 110:燃料通道、燃料棒通道
- 111:燃料
- 112:熱管通道
- 113:熱管
- 115:反應度控制棒
- 117:外部護罩
- 200:方法
- 202:步驟
- 204:步驟
- 206:步驟
- 208:步驟
- 1100a:單位晶胞
- 1100b:單位晶胞
- 1102:核心塊材料
- 1104:通道
- 1106:通道
- 1108:反應度控制通道
- 1200a:基準單位晶胞
- 1200b:第二單位晶胞
- 1200c:第三單位晶胞
- 1202:減速劑

1204:中心熱管

1206:燃料

1210:減速劑

1212:減速劑

1500:方法

1502:步驟

1504:步驟

1506:步驟

1508:步驟

D1:軸向方向、第一直徑

D2:徑向方向、第二直徑

D_C:通道直徑

G:間隙

G_R:徑向間隙

L:長度

L':額外長度

R:徑向尺寸

【發明申請專利範圍】

【請求項 1】 一種組構核反應器之核心之單位晶胞的方法，其中，該單位晶胞包括界定在該核反應器之該核心之一核心塊內的複數個通道，其中，該複數個通道中之每一通道經組構以接合複數個可互換組件中的一可互換組件，該方法包括：

判定該核反應器之該核心之一操作條件，其中，該操作條件對應於該核反應器之一預期應用；

判定該單位晶胞之一效能參數，其中，該效能參數包括該核反應器之該核心的被判定之該操作條件之一態樣；

自該複數個可互換組件選擇一可互換組件，其中，所選擇的該可互換組件對應於該單位晶胞之被判定的該效能參數；及

將所選擇的該可互換組件安裝至該複數個通道中之一通道中。

【請求項 2】 如請求項 1 之方法，其進一步包括：

自該複數個可互換組件選擇該複數個可互換組件之一子集；及

將所選擇的該複數個可互換組件之該子集安裝至複數個通道中之通道之一子集中。

【請求項 3】 如請求項 2 之方法，其中，安裝所選擇的該複數個可互換組件之該子集包括將所選擇的該複數個可互換組件之該子集配置在附數個列中。

【請求項 4】 如請求項 3 之方法，其中，當由該核心之一側觀察時，該複數個列的至少一列相對於該複數個列的一鄰近列徑向地偏移。

【請求項 5】 如請求項 1 之方法，其進一步包括：

判定該單位晶胞之一第二效能參數，其中，該第二效能參數包括該核反應器之該核心之被判定的該操作條件之另一態樣；

自該複數個可互換組件選擇一第二可互換組件，其中，所選擇的該第二可互換組件對應於該單位晶胞之被判定的該第二效能參數；及

將所選擇的該第二可互換組件安裝至該複數個通道中之另一通道中。

【請求項 6】 如請求項 5 之方法，其中，該複數個可互換組件包括燃料源、熱管、減速劑、反應度控制棒或其組合中之至少一者。

【請求項 7】 如請求項 5 之方法，其中，一核心塊材料包括一減速劑，且其中，該複數個可互換組件包括燃料源、熱管、反應度控制棒或其組合中之至少一者。

【請求項 8】 一種核反應器之核心之可組構單位晶胞，該可組構單位晶胞包括：

一核心塊材料；及

複數個可互換組件，其中，該複數個可互換組件中之每一可互換組件經組構以影響該核反應器之該核心的一效能參數，其中該複數個可互換組件經配置在複數個列中，且其中，當由該核心之一側觀察時，該複數個列的可互換單元的至少一列相對於可互換單元的一鄰近列徑向地偏移。

【請求項 9】 如請求項 8 之可組構單位晶胞，其進一步包括複數個通道，其界定在該核心塊材料內，其中，該複數個通道中之每一通道經組構以在一操作組構中接合該複數個可互換組件中之每一可互換組件。

【請求項 10】 如請求項 9 之可組構單位晶胞，其中，該複數個通道中之每一通道與該複數個通道中之一鄰近通道隔開一預定間距。

【請求項 11】 如請求項 8 之可組構單位晶胞，其中，該複數個可互換組件包括一燃料源、一熱管、一反應度控制棒或其組合中之至少一者。

【請求項 12】 如請求項 11 之可組構單位晶胞，其中，該核心塊材

料包括一減速劑，且其中，該複數個通道經特定配置，使得該核心塊材料可充分地緩和由該可組構單位晶胞在一操作組構中產生之核能。

【請求項 13】 如請求項 12 之可組構單位晶胞，其中，該核心塊材料包括石墨。

【請求項 14】 如請求項 8 之可組構單位晶胞，其中，該可組構單位晶胞為模組化的且經組構用以耦接至一第二可組構單位晶胞，且其中，該可組構單位晶胞在耦接至該第二可組構單位晶胞時形成該核反應器之該核心之至少一部分。

【請求項 15】 如請求項 14 之可組構單位晶胞，其進一步包括經組構以將該第二單位晶胞耦接至該可組構單位晶胞之一介面，其中，該介界面界定該可組構單位晶胞與該第二單位晶胞之間的一預定間隙，且其中，該預定間隙在一熱管故障之情況下對應於該核心之一預定熱轉移參數。

【請求項 16】 如請求項 8 之可組構單位晶胞，其中，該預定間隙大於或等於 20 毫米且小於或等於 40 毫米。

【請求項 17】 一種核反應器之核心，其包括：

複數個可互換組件，其中，該複數個可互換組件中之每一可互換組件經組構以影響該核反應器之該核心的一效能參數；及

複數個可組構單位晶胞，其包括：

一單位晶胞，其包括經組構以在一操作組構中接合該複數個可互換組件之一燃料棒之一通道；及

一反應度控制晶胞，其包括經組構以在該操作組構中接合該複數個可互換組件之一反應度控制棒之一通道；

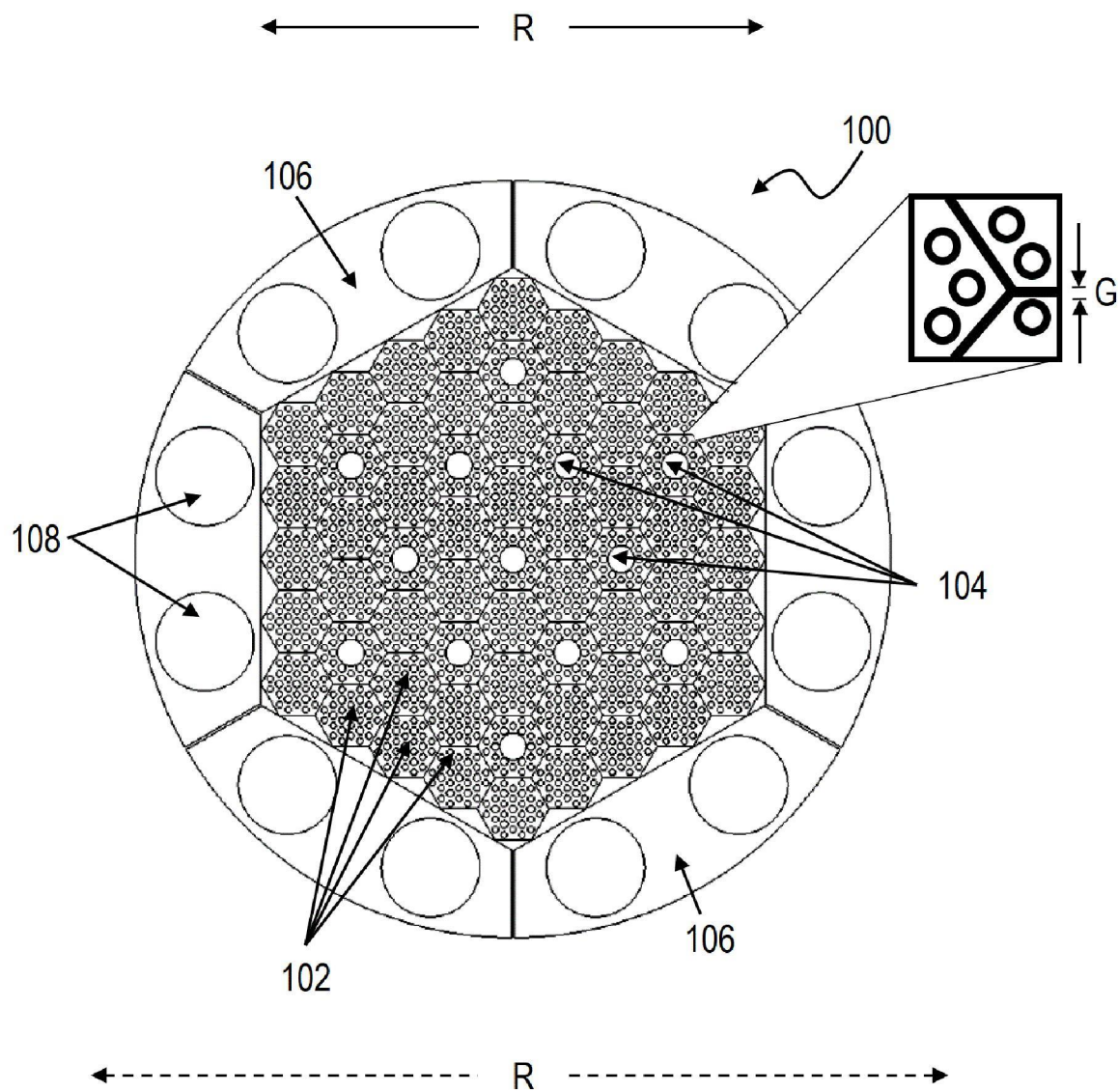
其中該複數個可互換組件及該複數個可組構單位晶胞經配置在複數個列中，且其中，當由該核心之一側觀察時，該複數個列的至少一列相對

於該複數個列的一鄰近列徑向地偏移。

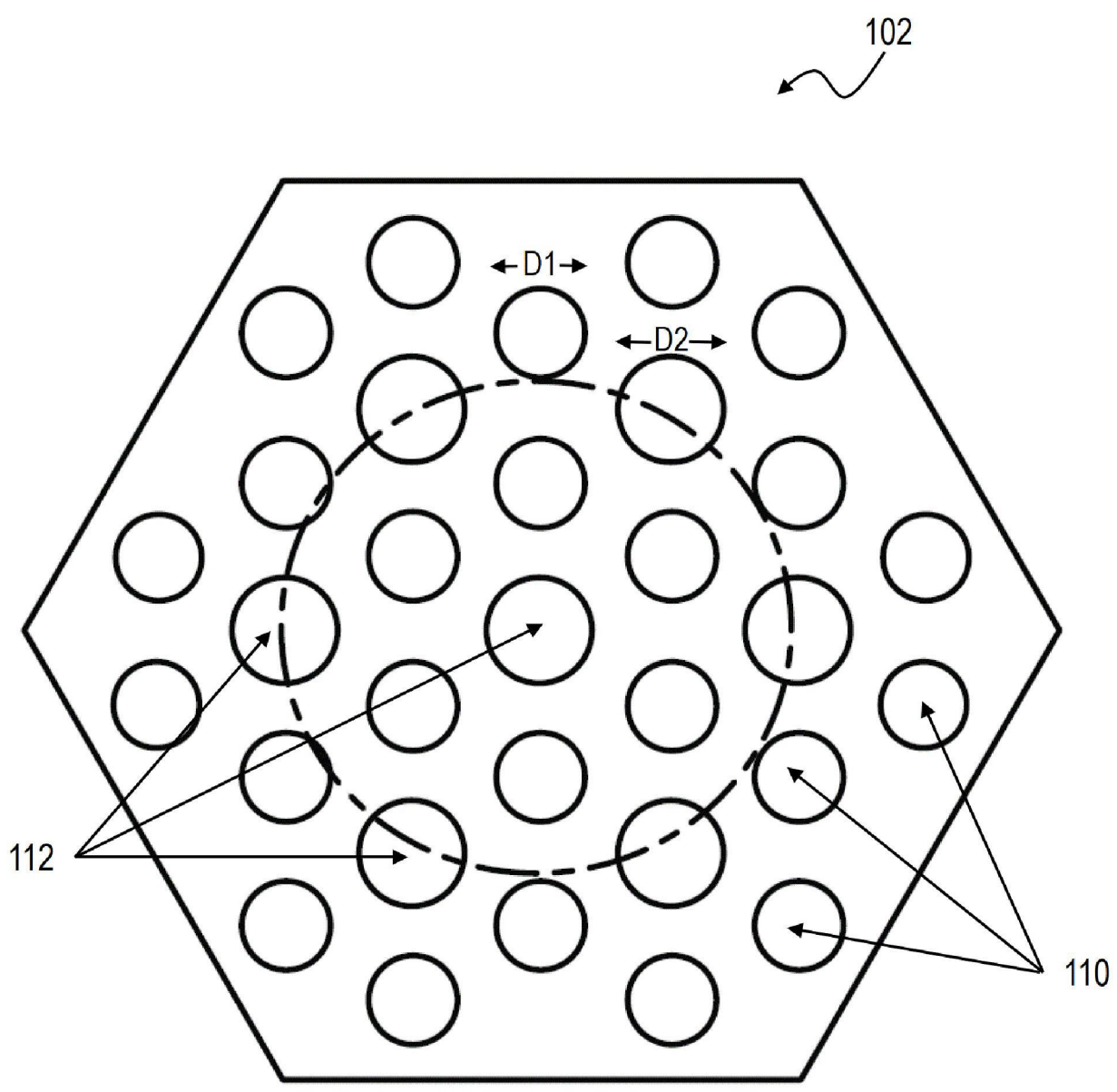
【請求項 18】 如請求項 17 之核心，其中，該複數個可互換組件包括一熱管。

【請求項 19】 如請求項 17 之核心，其中，該複數個可組構單位晶胞之每一可組構單位晶胞由一核心塊材料形成，且其中，該核心塊材料包括一減速劑，該減速劑經組構以抑制在該操作組構中產生的中子之傳播。

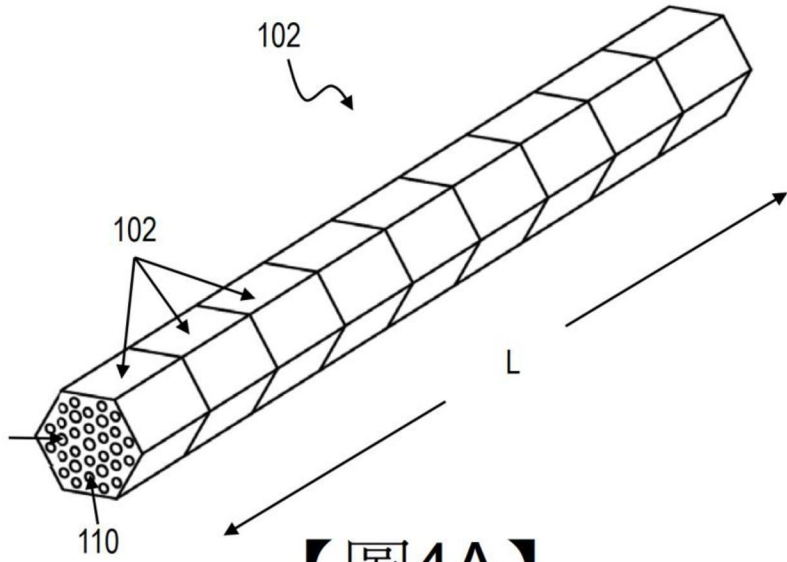
【請求項 20】 如請求項 17 之核心，其中，該複數個單位晶胞中之每一單位晶胞經模組化地組構用以耦接至該複數個單位晶胞中之一鄰近單位晶胞，使得該核心所使用該複數個單位晶胞之單位晶胞之數目可被模組化地調整。



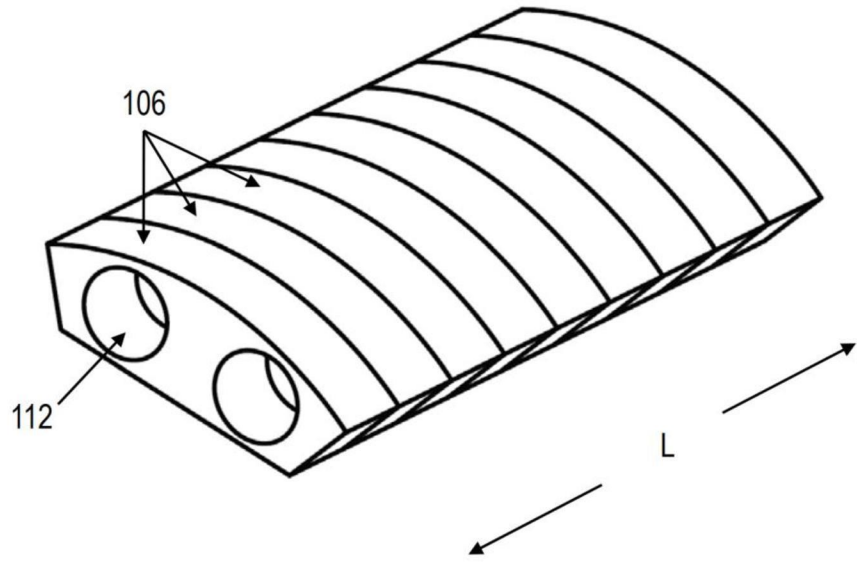
【圖2】



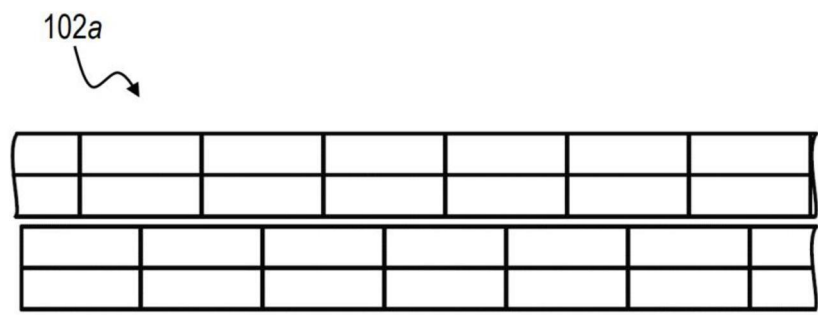
【圖3】



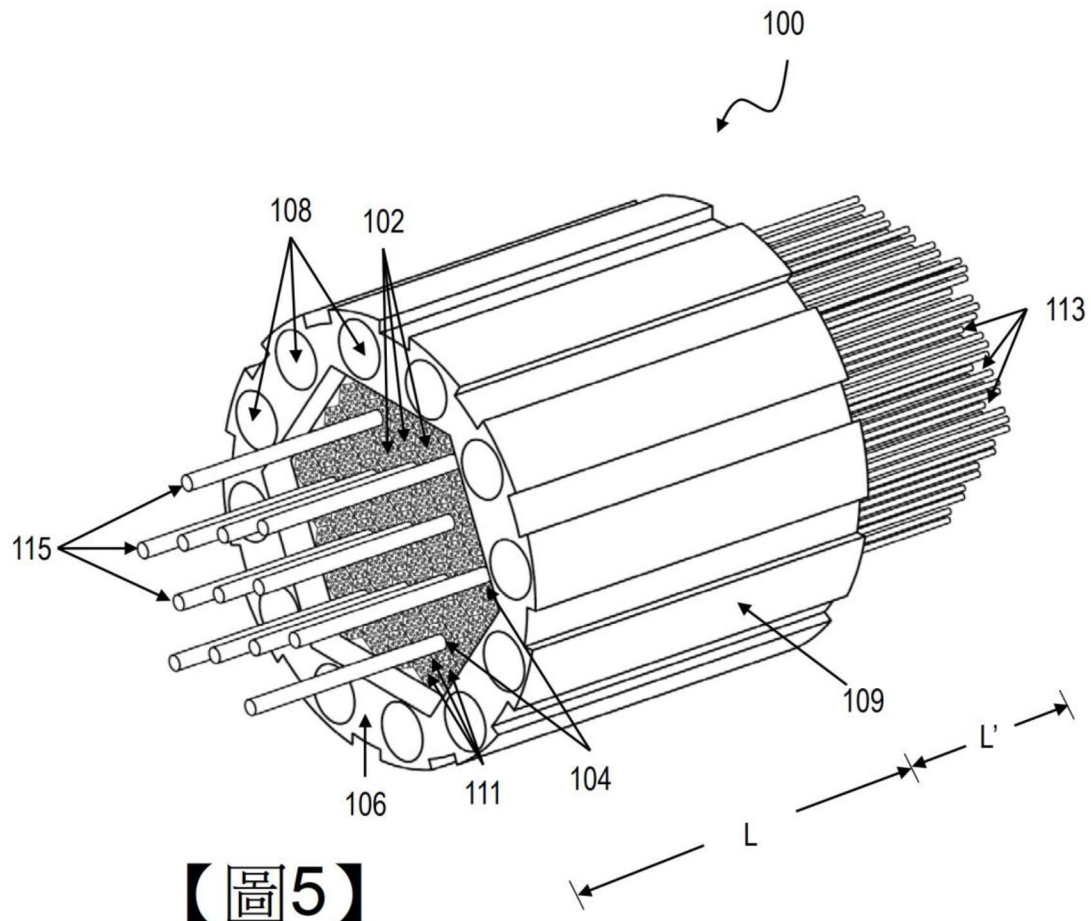
【圖4A】



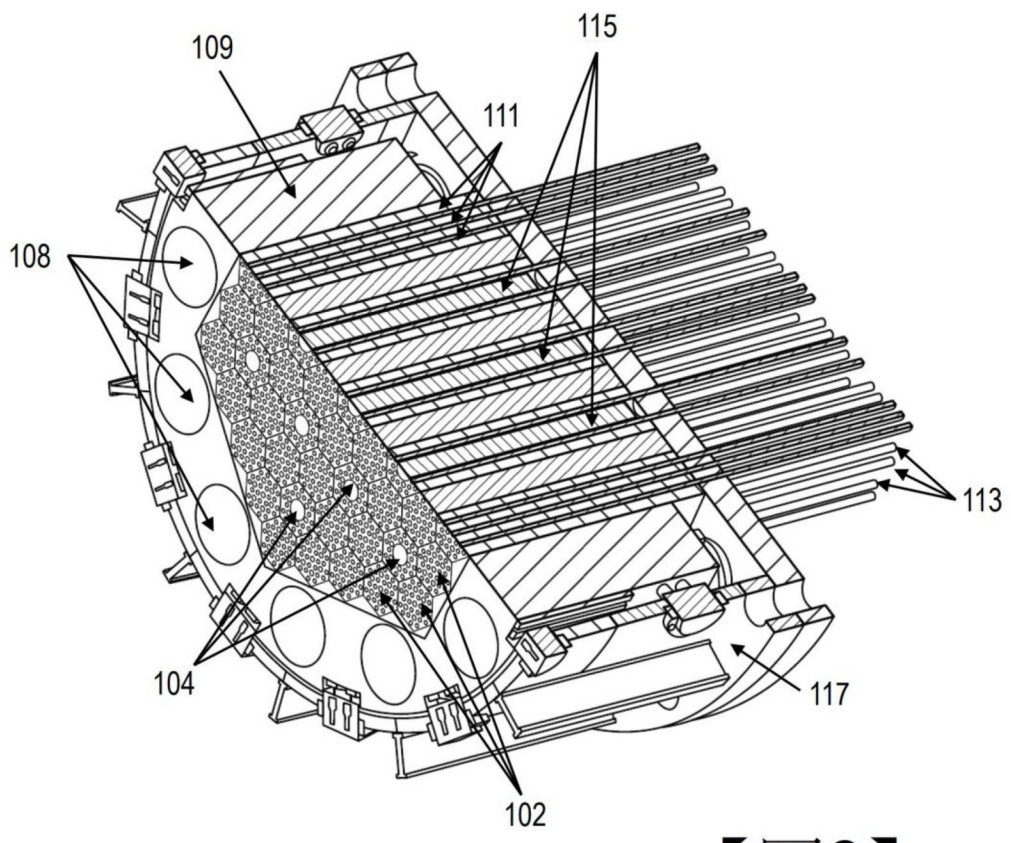
【圖4B】



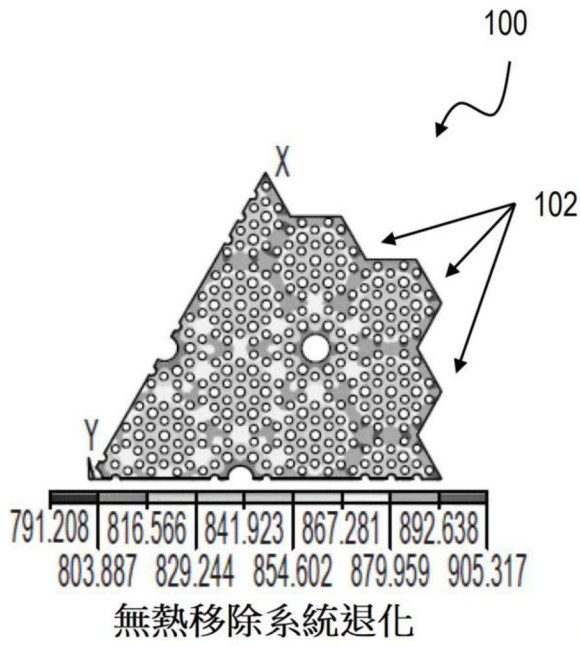
【圖4C】



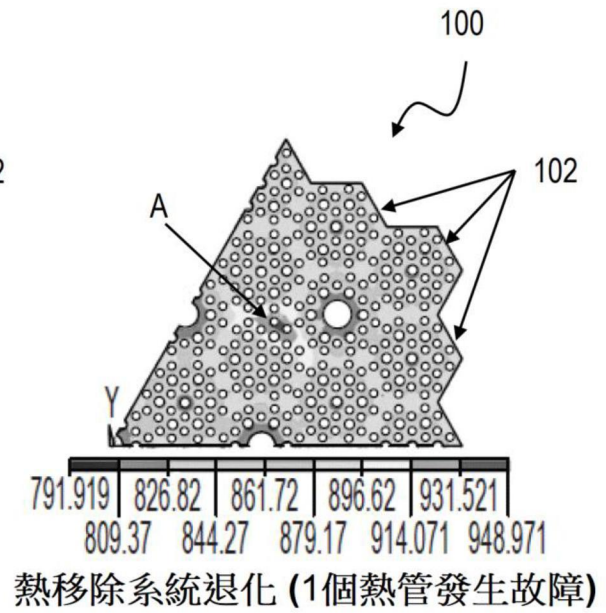
【圖5】



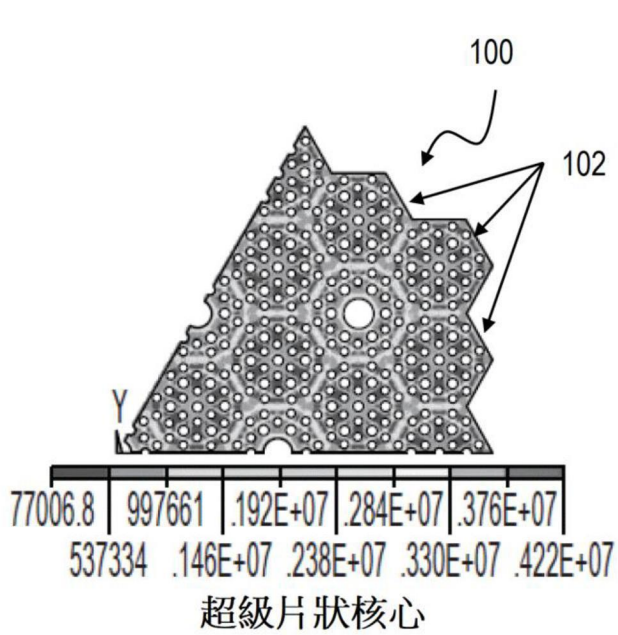
【圖6】



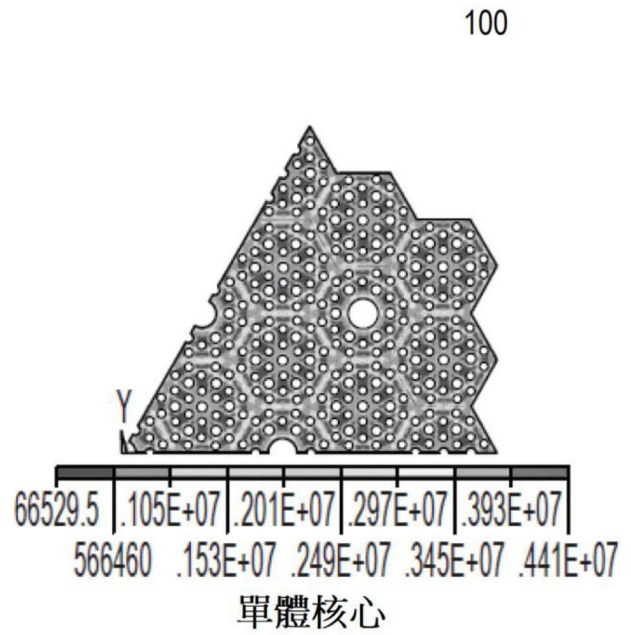
【圖7A】



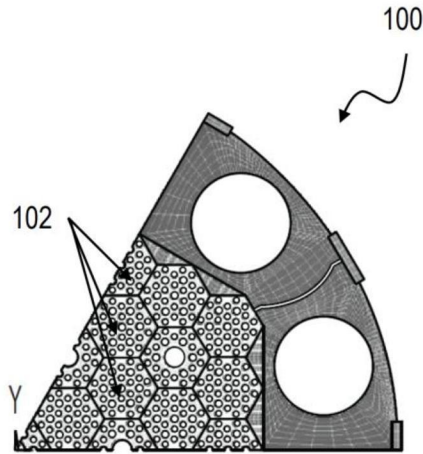
【圖7B】



【圖8A】

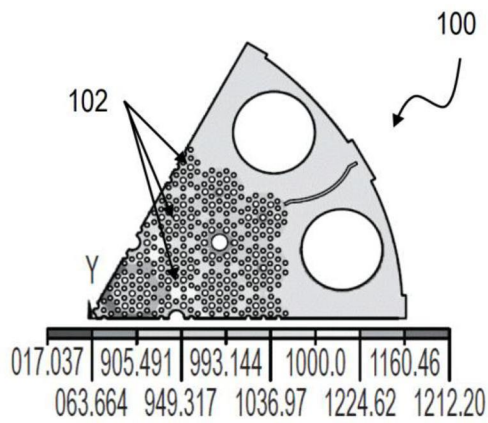


【圖8B】



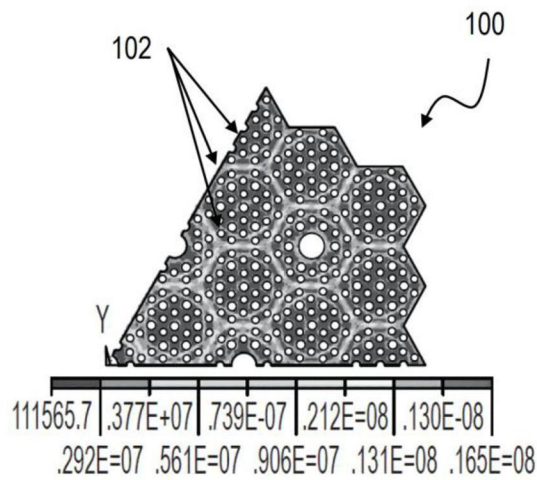
核心模型 (有 BeO 反射器)

【圖9A】



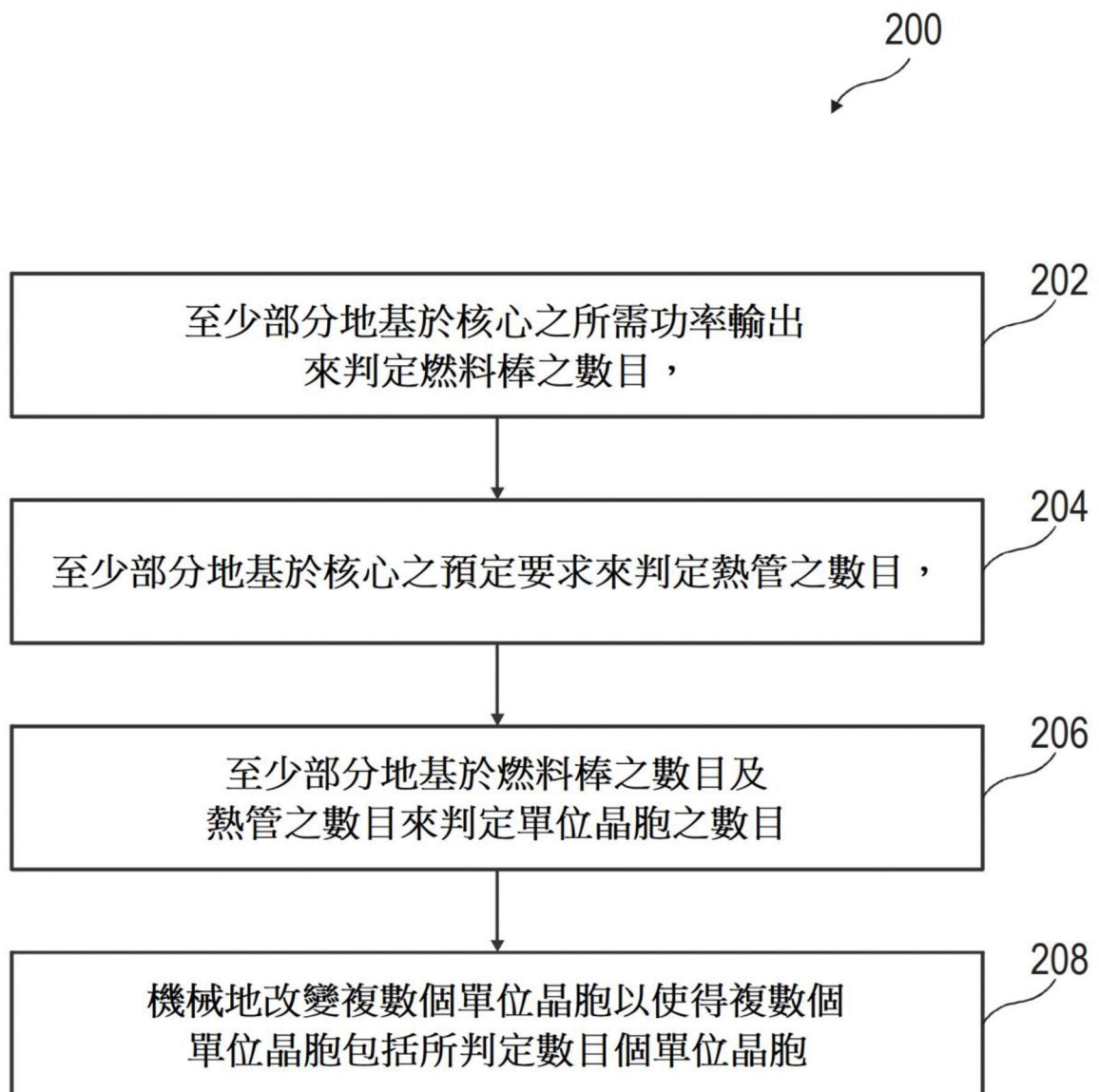
溫度 (有 BeO 反射器)

【圖9B】



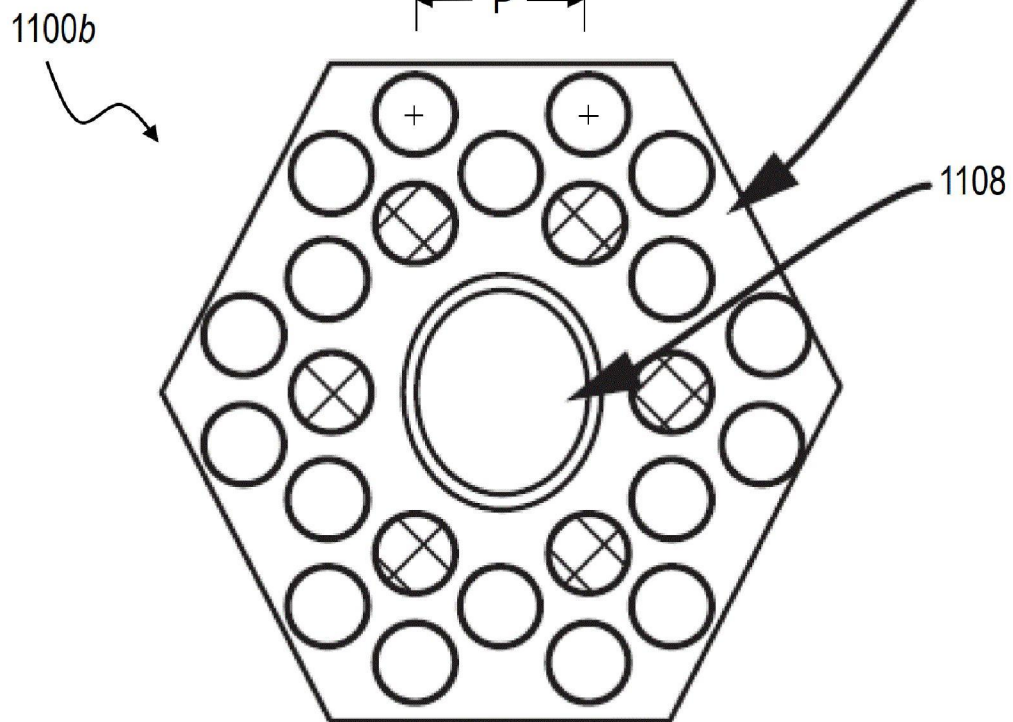
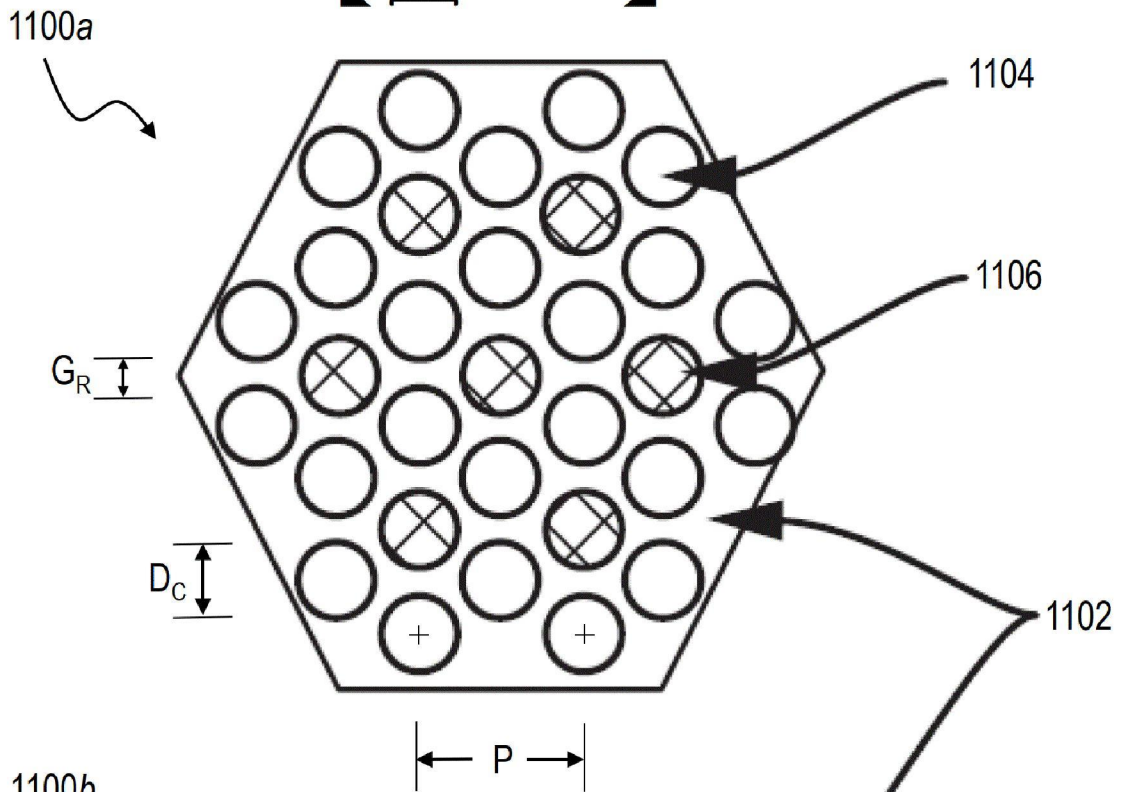
石墨塊 (無反射器)

【圖9C】

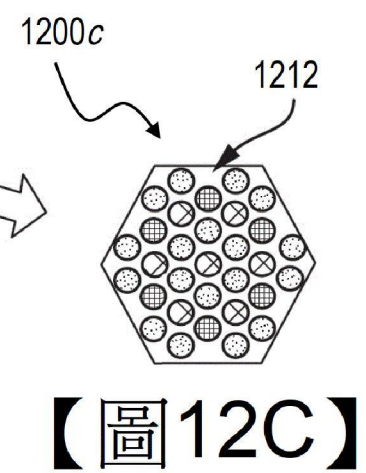
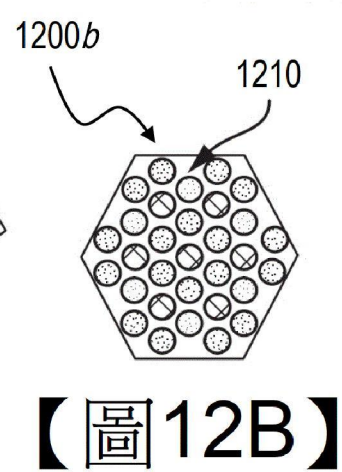
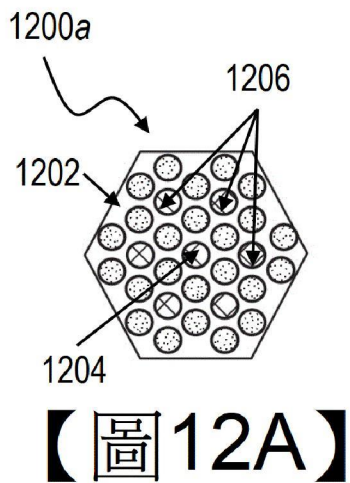


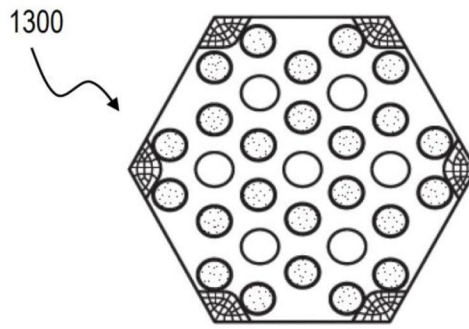
【圖10】

【圖11A】

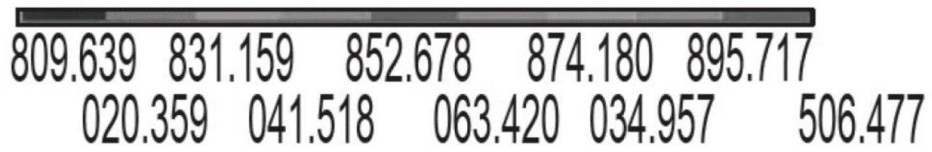
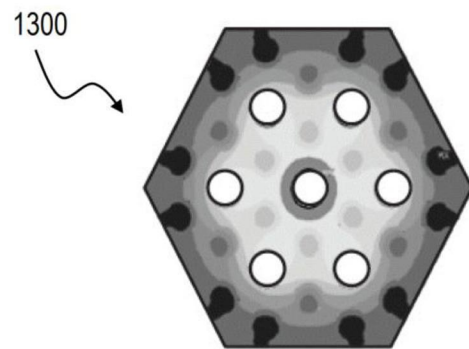


【圖11B】

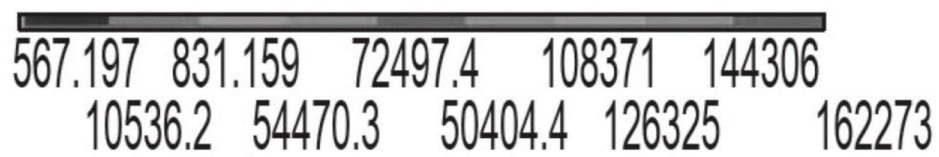
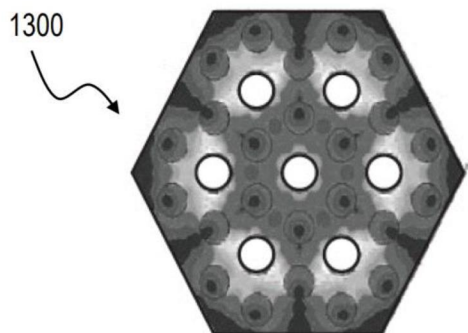




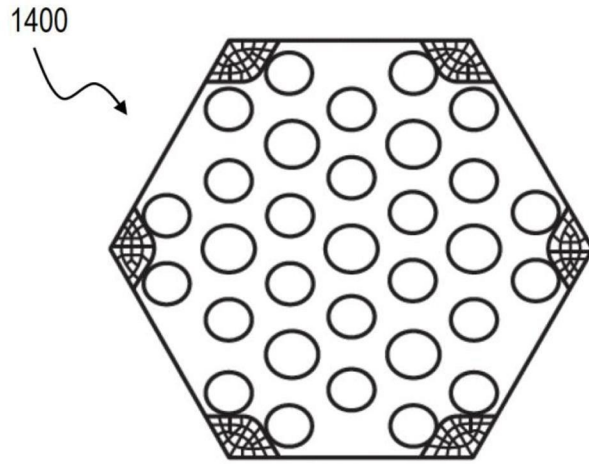
【圖13A】



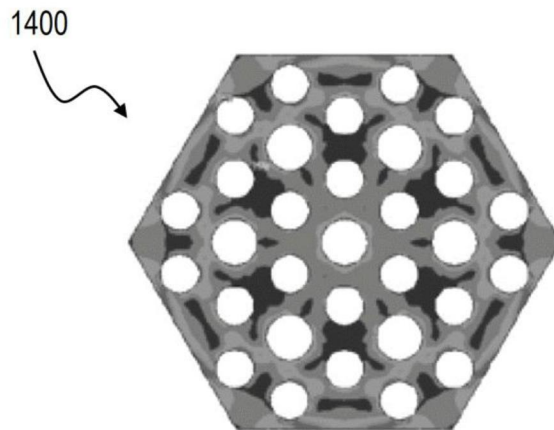
【圖13B】



【圖13C】



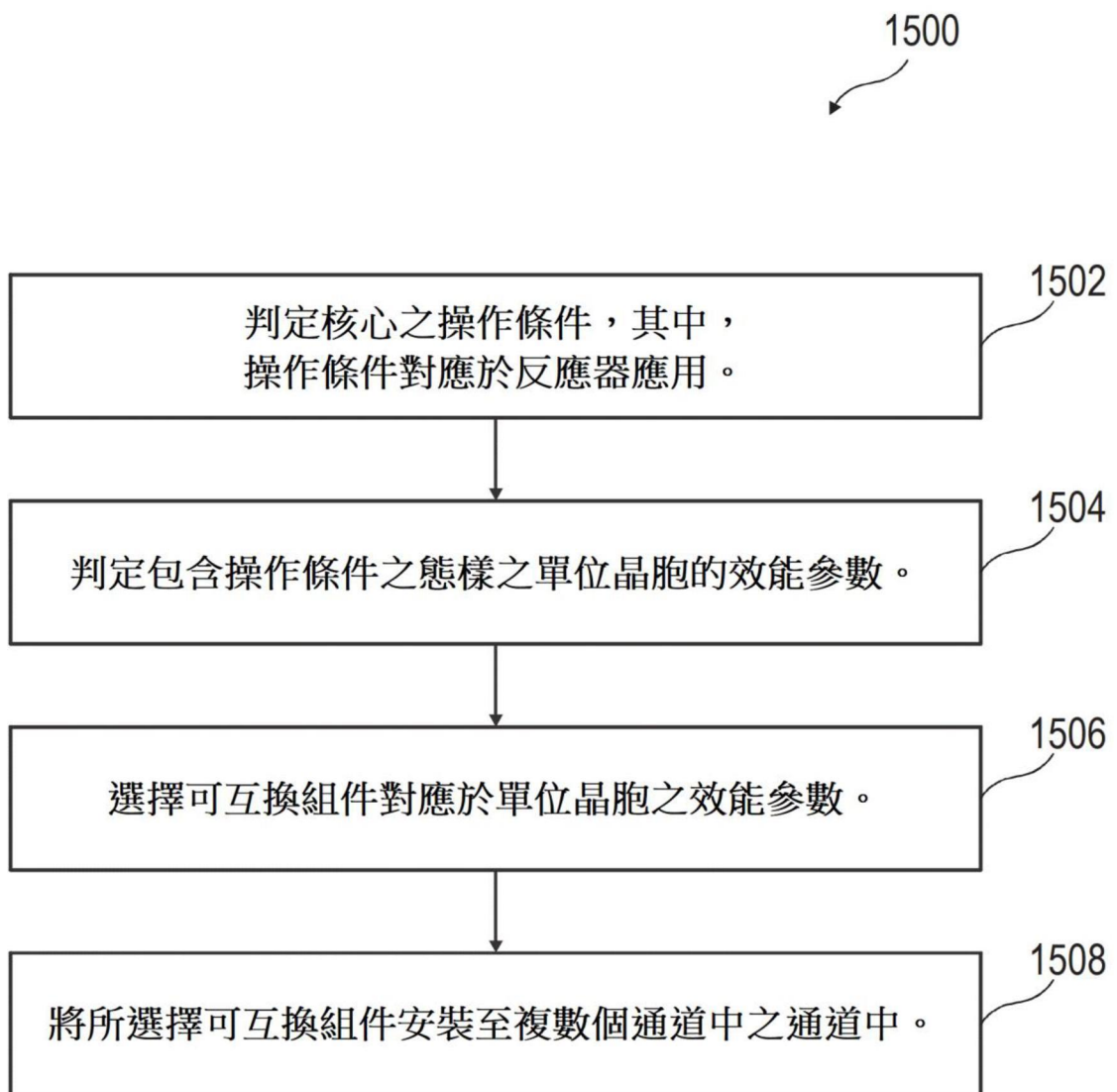
【圖14A】



142795 963818 ..170E+87 ..360E+87 ..343E+87
 552903 ..137E+07 ..319E+87 ..381E+87 ..303E+87

等效應力分佈，
 Pa

【圖14B】



【圖15】