

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7656866号  
(P7656866)

(45)発行日 令和7年4月4日(2025.4.4)

(24)登録日 令和7年3月27日(2025.3.27)

(51)国際特許分類 F I  
H 1 0 N 10/857 (2023.01) H 1 0 N 10/857  
H 1 0 N 10/17 (2023.01) H 1 0 N 10/17 Z

請求項の数 20 (全43頁)

(21)出願番号	特願2021-554238(P2021-554238)	(73)特許権者	314012076 パナソニックIPマネジメント株式会社 大阪府門真市元町2番6号
(86)(22)出願日	令和2年10月6日(2020.10.6)	(74)代理人	110004314 弁理士法人青藍国際特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/037790	(74)代理人	100107641 弁理士 鎌田 耕一
(87)国際公開番号	WO2021/079732	(74)代理人	100168273 弁理士 古田 昌稔
(87)国際公開日	令和3年4月29日(2021.4.29)	(72)発明者	藤金 正樹 大阪府門真市大字門真1006番地 パ ナソニック株式会社内
審査請求日	令和5年9月13日(2023.9.13)	(72)発明者	高橋 宏平 大阪府門真市大字門真1006番地 パ ナソニック株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2019-194771(P2019-194771)		
(32)優先日	令和1年10月25日(2019.10.25)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 熱電変換装置、熱電変換装置の制御方法、熱電変換装置を用いて対象物を冷却及び/又は加熱する方法及び電子デバイス

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

熱電変換装置であって、

第1熱電変換モジュール；

前記第1熱電変換モジュール上に設けられた第1絶縁層；及び

前記第1絶縁層上に設けられた第2熱電変換モジュール、を具備し、

ここで、

前記第1熱電変換モジュールは、1又は2以上の熱電変換素子と、第1接続電極及び第2接続電極と、を具備し、

前記第1熱電変換モジュールの前記熱電変換素子は、前記第1接続電極及び前記第2接続電極と電氣的に接続され、かつ、前記第1接続電極と前記第2接続電極とを結ぶ電氣的な経路上に位置し、

前記第2熱電変換モジュールは、1又は2以上の熱電変換素子と、第3接続電極及び第4接続電極と、を具備し、

前記第2熱電変換モジュールの前記熱電変換素子は、前記第3接続電極及び前記第4接続電極と電氣的に接続され、かつ、前記第3接続電極と前記第4接続電極とを結ぶ電氣的な経路上に位置し、

各々の前記熱電変換素子は熱電変換部を具備し、

少なくとも1つの前記熱電変換素子の前記熱電変換部は、規則的に配列した複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶構造を有するフォノンニック結晶層を備え、

10

20

前記フォノンニック結晶構造における前記複数の貫通孔の貫通方向は、前記第 1 熱電変換モジュール、前記第 1 絶縁層及び前記第 2 熱電変換モジュールの積層方向と略平行であり、前記少なくとも 1 つの熱電変換素子の前記熱電変換部は、前記フォノンニック結晶層である第 1 フォノンニック結晶層及び第 2 フォノンニック結晶層を具備し、前記第 1 フォノンニック結晶層は、前記貫通孔として、規則的に配列した複数の第 1 貫通孔を具備する第 1 フォノンニック結晶構造を有し、前記第 2 フォノンニック結晶層は、前記貫通孔として、規則的に配列した複数の第 2 貫通孔を具備する第 2 フォノンニック結晶構造を有し、前記第 1 フォノンニック結晶層と前記第 2 フォノンニック結晶層とは、前記積層方向に積層されている。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の熱電変換装置であって、

前記第 1 熱電変換モジュール及び/又は前記第 2 熱電変換モジュールは、2 以上の前記熱電変換素子を備える。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の熱電変換装置であって、

前記熱電変換装置は、以下の (a) 及び/又は (b) を満たす。

(a) 前記第 1 熱電変換モジュールは、2 以上の前記熱電変換素子を備え、

前記第 1 熱電変換モジュールの前記 2 以上の熱電変換素子は、前記第 1 接続電極と前記第 2 接続電極との間において、電氣的に直列に互いに接続されている。

20

(b) 前記第 2 熱電変換モジュールは、2 以上の前記熱電変換素子を備え、

前記第 2 熱電変換モジュールの前記 2 以上の熱電変換素子は、前記第 3 接続電極と前記第 4 接続電極との間において、電氣的に直列に互いに接続されている。

【請求項 4】

請求項 1 から 3 のいずれかに記載の熱電変換装置であって、

前記第 1 熱電変換モジュール及び/又は前記第 2 熱電変換モジュールの前記熱電変換素子は、

前記熱電変換部である p 型熱電変換部及び n 型熱電変換部；

第 1 電極；

第 2 電極；及び

第 3 電極、を具備し、

30

ここで、

前記 p 型熱電変換部の一方の端部と、前記 n 型熱電変換部の一方の端部とは、前記第 1 電極を介して電氣的に接続されており、

前記 p 型熱電変換部の他方の端部は、前記第 2 電極と電氣的に接続されており、

前記 n 型熱電変換部の他方の端部は、前記第 3 電極と電氣的に接続されており、

前記第 2 電極及び前記第 3 電極から選ばれる一方の電極は、前記電氣的な経路上にあって当該経路の上流側に位置し、

前記第 2 電極及び前記第 3 電極から選ばれる他方の電極は、前記電氣的な経路上にあって当該経路の下流側に位置する。

40

【請求項 5】

請求項 1 から 3 のいずれかに記載の熱電変換装置であって、

前記第 1 熱電変換モジュール及び/又は前記第 2 熱電変換モジュールの前記熱電変換素子は、

前記熱電変換部であり、かつ、互いに隣接する 2 つの p 型熱電変換部又は n 型熱電変換部；

第 4 電極；

第 5 電極；及び

第 6 電極、を具備し、

ここで、

50

一方の前記熱電変換部の一方の端部と、他方の前記熱電変換部の一方の端部とは、前記第4電極を介して電氣的に接続されており、

前記一方の熱電変換部の他方の端部は、前記第5電極と電氣的に接続されており、

前記他方の熱電変換部の他方の端部は、前記第6電極と電氣的に接続されており、

前記第5電極及び前記第6電極から選ばれる一方の電極は、前記電氣的な経路上にあって当該経路の上流側に位置し、

前記第5電極及び前記第6電極から選ばれる他方の電極は、前記電氣的な経路上にあって当該経路の下流側に位置し、

前記電氣的な経路に電流を流したときに、前記隣接する2つの熱電変換部における前記電流の流れる方向は同一である。

10

【請求項6】

請求項1から5のいずれかに記載の熱電変換装置であって、

前記第1フォノニック結晶層と前記第2フォノニック結晶層とは、互いに接している。

【請求項7】

請求項1から6のいずれかに記載の熱電変換装置であって、

前記第2貫通孔の少なくとも一部は、前記第1貫通孔と連通していない。

【請求項8】

請求項1から7のいずれかに記載の熱電変換装置であって、

前記フォノニック結晶構造は、フォノニック結晶領域である第1ドメイン及び第2ドメインを含み、

20

前記第1ドメインにおける前記複数の貫通孔は、前記貫通孔の貫通方向に垂直な断面を見たときに、第1方向に規則的に配列しており、

前記第2ドメインにおける前記複数の貫通孔は、前記貫通孔の貫通方向に垂直な断面を見たときに、前記第1方向とは異なる第2方向に規則的に配列している。

【請求項9】

請求項1から8のいずれかに記載の熱電変換装置であって、

前記フォノニック結晶層は、複数のピラーを備え、

前記ピラーは、直線状に延びる柱状体であり、

前記ピラーの各々は、前記フォノニック結晶層の前記貫通孔に充填されている。

ただし、前記ピラーが充填された前記フォノニック結晶層と、前記ピラーとが同一の材料により構成される場合、前記ピラーの周面は、酸化膜により被覆されている。

30

【請求項10】

請求項1から9のいずれかに記載の熱電変換装置であって、

温度検出モジュールを更に具備する。

【請求項11】

請求項1から10のいずれかに記載の熱電変換装置であって、

前記第1熱電変換モジュール及び/又は前記第2熱電変換モジュールに印加する電圧を制御する制御モジュールを更に具備する。

【請求項12】

熱電変換装置の制御方法であって、

40

請求項1から11のいずれかに記載の熱電変換装置において、

前記第1熱電変換モジュールに対して第1電圧が印加され、

前記第2熱電変換モジュールに対して第2電圧が印加される工程を含み、

前記第1電圧及び前記第2電圧は、印加パターンにおいて異なる。

【請求項13】

請求項12に記載の制御方法であって、

前記熱電変換装置が第1温度検出モジュールを備え、

前記第1温度検出モジュールが取得した温度に関する情報に基づいて、前記第1電圧及び/又は前記第2電圧の印加パターンが制御される。

【請求項14】

50

請求項 1 2又は 1 3に記載の制御方法であって、  
前記熱電変換装置の近傍に、前記熱電変換装置により冷却及び／又は加熱する対象物が配置されている。

【請求項 1 5】

請求項 1 4に記載の制御方法であって、  
前記対象物が第 2 温度検出モジュールを備えるか、又は、前記対象物と前記熱電変換装置との間に第 2 温度検出モジュールが配置されており、  
前記第 2 温度検出モジュールが取得した温度に関する情報に基づいて、前記第 1 電圧及び／又は前記第 2 電圧の印加パターンが制御される。

【請求項 1 6】

請求項 1 4又は 1 5に記載の制御方法であって、  
前記第 1 熱電変換モジュール及び前記第 2 熱電変換モジュールから選ばれる、前記対象物により近い熱電変換モジュールに印加される電圧が、前記対象物からより離れた熱電変換モジュールに印加される電圧に比べて高い頻度で変化するように、前記第 1 電圧及び／又は前記第 2 電圧の印加パターンが制御される。

【請求項 1 7】

請求項 1 4から 1 6のいずれかに記載の制御方法であって、  
前記対象物の温度の変化が所定の範囲内となるように、前記第 1 電圧及び／又は前記第 2 電圧の印加パターンが制御される。

【請求項 1 8】

請求項 1 4から 1 7のいずれかに記載の制御方法であって、  
前記対象物は熱源である。

【請求項 1 9】

熱電変換装置を用いて対象物を冷却及び／又は加熱する方法であって、  
前記熱電変換装置は、請求項 1 から 1 1のいずれかに記載の熱電変換装置であり、  
前記熱電変換装置において、前記第 1 熱電変換モジュールに対して第 1 電圧が印加され、前記第 2 熱電変換モジュールに対して第 2 電圧が印加される工程を含み、  
前記第 1 電圧及び前記第 2 電圧は、印加パターンにおいて異なる。

【請求項 2 0】

電子デバイスであって、  
集積回路；及び  
前記集積回路を冷却及び／又は加熱する熱電変換装置、を具備し、  
前記熱電変換装置は、請求項 1 から 1 1のいずれかに記載の熱電変換装置である。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本開示は、熱電変換装置と、熱電変換装置の制御方法、熱電変換装置を用いて対象物を冷却及び／又は加熱する方法及び熱電変換装置を備える電子デバイスと、に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

特許文献 1、特許文献 2 及び非特許文献 1 は、複数の貫通孔により構成される周期構造を開示している。この周期構造では、薄膜を平面視して、ナノメートルのオーダー（1 nm から 1 0 0 0 nm の領域）内の周期で規則的に貫通孔が配列している。この周期構造は、フォノン結晶構造の一種である。このタイプのフォノン結晶構造は、貫通孔の配列を構成する最小単位である単位格子を通常有する。当該フォノン結晶構造によれば、薄膜の熱伝導率が低減可能となる。薄膜の熱伝導率は、例えば、多孔質化によっても低減できる。多孔質化によって薄膜に導入された空隙が、薄膜の熱伝導率を減少させるためである。しかし、フォノン結晶構造によれば、薄膜を構成する母材自身の熱伝導率が低減可能である。このため、単なる多孔質化に比べて、熱伝導率のさらなる低減が期待される。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 3 】

熱電変換材料を含む熱電変換部を備えた熱電変換素子が知られている。熱電変換素子を用いることで、熱電変換装置が構築可能である。熱電変換装置によれば、ペルティエ効果を利用して、対象物の冷却及び/又は加熱が可能となる。特許文献3は、p型熱電変換材料とn型熱電変換材料とを備える熱電変換素子を開示している。

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 0 4 】

【 文献 】 米国特許出願公開第 2 0 1 7 / 0 0 4 7 4 9 9 号 明 細 書

【 文献 】 米国特許出願公開第 2 0 1 7 / 0 0 6 9 8 1 8 号 明 細 書

10

【 文献 】 国際公開第 2 0 1 1 / 0 4 8 6 3 4 号

## 【 非特許文献 】

## 【 0 0 0 5 】

【 文献 】 Nomura et al., "Impeded thermal transport in Si multiscale hierarchical architectures with phononic crystal nanostructures", Physical Review B 91, 205422 (2015)

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 6 】

本開示は、対象物の温度の変化を所定の範囲内に保つのに適する等、対象物の冷却及び/又は加熱の制御の自由度が高い熱電変換装置を提供する。

20

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 0 7 】

本開示は、以下の熱電変換装置を提供する。

熱電変換装置であって、

第 1 熱電変換モジュール；

前記第 1 熱電変換モジュール上に設けられた第 1 絶縁層；及び

前記第 1 絶縁層上に設けられた第 2 熱電変換モジュール、を具備し、

ここで、

前記第 1 熱電変換モジュールは、1又は2以上の熱電変換素子と、第 1 接続電極及び第 2 接続電極と、を具備し、

30

前記第 1 熱電変換モジュールの前記熱電変換素子は、前記第 1 接続電極及び前記第 2 接続電極と電気的に接続され、かつ、前記第 1 接続電極と前記第 2 接続電極とを結ぶ電気的な経路上に位置し、

前記第 2 熱電変換モジュールは、1又は2以上の熱電変換素子と、第 3 接続電極及び第 4 接続電極と、を具備し、

前記第 2 熱電変換モジュールの前記熱電変換素子は、前記第 3 接続電極及び前記第 4 接続電極と電気的に接続され、かつ、前記第 3 接続電極と前記第 4 接続電極とを結ぶ電気的な経路上に位置し、

各々の前記熱電変換素子は熱電変換部を具備し、

40

少なくとも1つの前記熱電変換素子の前記熱電変換部は、規則的に配列した複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶構造を有するフォノンニック結晶層を備え、

前記フォノンニック結晶構造における前記複数の貫通孔の貫通方向は、前記第 1 熱電変換モジュール、前記第 1 絶縁層及び前記第 2 熱電変換モジュールの積層方向と略平行である。

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 0 8 】

本開示によれば、対象物の温度の変化を所定の範囲内に保つのに適する等、対象物の冷却及び/又は加熱の制御の自由度が高い熱電変換装置を提供できる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 0 9 】

50

【図 1】図 1 は、本開示の熱電変換装置の一例を模式的に示す断面図である。

【図 2】図 2 は、本開示の熱電変換装置が備えうる熱電変換素子における熱電変換部の一例を模式的に示す断面図である。

【図 3】図 3 は、本開示の熱電変換装置が備えうる熱電変換素子における熱電変換部の別の一例を模式的に示す断面図である。

【図 4】図 4 は、図 3 の熱電変換部を第 1 フォノンニック結晶層の側から見た平面図である。

【図 5】図 5 は、図 3 の熱電変換部を第 2 フォノンニック結晶層の側から見た平面図である。

【図 6 A】図 6 A は、熱電変換素子が有しうるフォノンニック結晶構造の単位格子の一例を示す模式図である。

【図 6 B】図 6 B は、熱電変換素子が有しうるフォノンニック結晶構造の単位格子の別の一例を示す模式図である。 10

【図 6 C】図 6 C は、熱電変換素子が有しうるフォノンニック結晶構造の単位格子のまた別の一例を示す模式図である。

【図 6 D】図 6 D は、熱電変換素子が有しうるフォノンニック結晶構造の単位格子の上記とは別の一例を示す模式図である。

【図 7】図 7 は、熱電変換素子が有しうるフォノンニック結晶構造の一例を模式的に示す平面図である。

【図 8 A】図 8 A は、図 7 のフォノンニック結晶構造が含む第 1 ドメインにおける単位格子とその方位とを示す模式図である。

【図 8 B】図 8 B は、図 7 のフォノンニック結晶構造が含む第 2 ドメインにおける単位格子とその方位とを示す模式図である。 20

【図 9】図 9 は、図 7 のフォノンニック結晶構造の領域 R 1 の拡大図である。

【図 10】図 10 は、熱電変換素子が有しうるフォノンニック結晶構造の別の一例を模式的に示す平面図である。

【図 11】図 11 は、図 10 のフォノンニック結晶構造の領域 R 2 の拡大図である。

【図 12】図 12 は、熱電変換素子が有しうるフォノンニック結晶構造のまた別の一例を模式的に示す平面図である。

【図 13】図 13 は、図 12 のフォノンニック結晶構造の領域 R 3 の拡大図である。

【図 14】図 14 は、熱電変換素子が有しうるフォノンニック結晶構造のさらにまた別の一例を模式的に示す平面図である。 30

【図 15】図 15 は、熱電変換素子が有しうるフォノンニック結晶構造の上記とは別の一例を模式的に示す平面図である。

【図 16】図 16 は、熱電変換素子が有しうるフォノンニック結晶構造の上記とは別の一例を模式的に示す平面図である。

【図 17 A】図 17 A は、熱電変換素子が有しうるフォノンニック結晶構造の単位格子の一例を示す模式図である。

【図 17 B】図 17 B は、熱電変換素子が有しうるフォノンニック結晶構造の単位格子の別の一例を示す模式図である。

【図 18】図 18 は、熱電変換素子が有しうるフォノンニック結晶構造の上記とは別の一例を模式的に示す平面図である。 40

【図 19】図 19 は、熱電変換素子が有しうるフォノンニック結晶構造の上記とは別の一例を模式的に示す平面図である。

【図 20 A】図 20 A は、熱電変換素子が有しうるフォノンニック結晶層の一例を模式的に示す平面図である。

【図 20 B】図 20 B は、図 20 A のフォノンニック結晶層の断面 20 B - 20 B を示す断面図である。

【図 21】図 21 は、本開示の熱電変換装置が備えうる熱電変換素子における熱電変換部の上記とは別の一例を模式的に示す断面図である。

【図 22 A】図 22 A は、熱電変換素子が有しうるフォノンニック結晶層の別の一例を模式的に示す平面図である。 50

【図 2 2 B】図 2 2 B は、図 2 2 A のフォノン結晶層の断面 2 2 B - 2 2 B を示す断面図である。

【図 2 3】図 2 3 は、本開示の熱電変換装置が備える熱電変換素子における熱電変換部の上記とは別の一例を模式的に示す断面図である。

【図 2 4 A】図 2 4 A は、本開示の熱電変換装置が備える熱電変換素子を製造する方法の一例を説明するための模式的な断面図である。

【図 2 4 B】図 2 4 B は、本開示の熱電変換装置が備える熱電変換素子を製造する方法の一例を説明するための模式的な断面図である。

【図 2 4 C】図 2 4 C は、本開示の熱電変換装置が備える熱電変換素子を製造する方法の一例を説明するための模式的な断面図である。

10

【図 2 4 D】図 2 4 D は、本開示の熱電変換装置が備える熱電変換素子を製造する方法の一例を説明するための模式的な断面図である。

【図 2 4 E】図 2 4 E は、本開示の熱電変換装置が備える熱電変換素子を製造する方法の一例を説明するための模式的な断面図である。

【図 2 4 F】図 2 4 F は、本開示の熱電変換装置が備える熱電変換素子を製造する方法の一例を説明するための模式的な断面図である。

【図 2 4 G】図 2 4 G は、本開示の熱電変換装置が備える熱電変換素子を製造する方法の一例を説明するための模式的な断面図である。

【図 2 4 H】図 2 4 H は、本開示の熱電変換装置が備える熱電変換素子を製造する方法の一例を説明するための模式的な断面図である。

20

【図 2 4 I】図 2 4 I は、本開示の熱電変換装置が備える熱電変換素子を製造する方法の一例を説明するための模式的な断面図である。

【図 2 4 J】図 2 4 J は、本開示の熱電変換装置が備える熱電変換素子を製造する方法の一例を説明するための模式的な断面図である。

【図 2 4 K】図 2 4 K は、本開示の熱電変換装置が備える熱電変換素子を製造する方法の一例を説明するための模式的な断面図である。

【図 2 4 L】図 2 4 L は、本開示の熱電変換装置が備える熱電変換素子を製造する方法の一例を説明するための模式的な断面図である。

【図 2 4 M】図 2 4 M は、本開示の熱電変換装置が備える熱電変換素子を製造する方法の一例を説明するための模式的な断面図である。

30

【図 2 4 N】図 2 4 N は、本開示の熱電変換装置が備える熱電変換素子を製造する方法の一例を説明するための模式的な断面図である。

【図 2 4 O】図 2 4 O は、本開示の熱電変換装置が備える熱電変換素子を製造する方法の一例を説明するための模式的な断面図である。

【図 2 5】図 2 5 は、本開示の熱電変換装置の別の一例を模式的に示す断面図である。

【図 2 6】図 2 6 は、本開示の熱電変換装置のまた別の一例を模式的に示す断面図である。

【図 2 7】図 2 7 は、本開示の制御方法の一例を示すフローチャートである。

【図 2 8】図 2 8 は、本開示の制御方法の一例における電圧の印加パターンを示すグラフである。

【図 2 9】図 2 9 は、本開示の制御方法の一例における電圧の印加パターンを示すグラフである。

40

【発明を実施するための形態】

【0010】

(本開示の基礎となった知見)

本開示の熱電変換装置は、積層された複数の熱電変換モジュールを備える。各々の熱電変換モジュールは、各モジュールが備える接続電極を介して、独立して制御できる。例えば、対象物により近い熱電変換モジュールと、対象物からより離れた熱電変換モジュールとの間で異なる制御が実施されることで、対象物の冷却及び/又は加熱の制御の自由度を高めることができる。

【0011】

50

これに加えて、本開示の熱電変換装置は、フォノン結晶構造を有する熱電変換部を備えた熱電変換素子を備える。このため、当該素子を備える熱電変換モジュールの断熱性能、典型的には、複数の熱電変換モジュールの積層方向への断熱性能、を高めることができる。高められた断熱性能は、熱電変換モジュールの熱電変換効率を向上させる。また、高められた断熱性能は、隣接する熱電変換モジュールを独立して制御する際の各モジュールの制御パターンの自由度を向上させる。これらの点は、対象物の冷却及び/又は加熱の制御の自由度の向上に相乗的に寄与する。

【0012】

(本開示の実施形態)

以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら説明する。なお、以下で説明する実施形態は、いずれも包括的又は具体的な例を示すものである。以下の実施形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置及び接続形態、プロセス条件、ステップ、並びにステップの順序等は一例であり、本開示を限定する主旨ではない。また、以下の実施形態における構成要素のうち、最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。なお、各図は、模式図であり、必ずしも厳密に図示されたものではない。

10

【0013】

[熱電変換装置]

(第1実施形態)

第1実施形態の熱電変換装置が図1に示される。図1の熱電変換装置1は、第1熱電変換モジュール2、第1絶縁層3及び第2熱電変換モジュール4を備える。第1絶縁層3は、第1熱電変換モジュール2上に設けられている。第2熱電変換モジュール4は、第1絶縁層3上に設けられている。第1熱電変換モジュール2、第1絶縁層3及び第2熱電変換モジュール4は、それぞれ層状であり、この順に積層されて積層構造5を形成している。

20

【0014】

第1熱電変換モジュール2は、2以上の熱電変換素子21(21a)と、第1接続電極11及び第2接続電極12とを備える。第1熱電変換モジュール2の熱電変換素子21aは、第1接続電極11及び第2接続電極12と電氣的に接続されている。個々の熱電変換素子21aと第1接続電極11又は第2接続電極12との電氣的な接続は、直接的、又は他の熱電変換素子21aを介した間接的な接続である。熱電変換素子21aは、第1接続電極11と第2接続電極12とを結ぶ電氣的な経路上に位置する。図1の例において、2以上の熱電変換素子21aは、第1接続電極11と第2接続電極12との間において、電氣的に直列に互いに接続されている。ただし、第1接続電極11と第2接続電極12との間における熱電変換素子21a同士の電氣的な接続の形態は上記例に限定されない。例えば、直列接続と並列接続とが混在していてもよい。第1接続電極11及び第2接続電極12を介した電圧の印加により、熱電変換素子21a及び第1熱電変換モジュール2は、それぞれ、ペルティエ素子及びペルティエモジュールとして作動する。ペルティエモジュールは、例えば、ペルティエ式冷却モジュール、ペルティエ式冷却/加熱モジュール、ペルティエ式加熱モジュールである。

30

【0015】

第2熱電変換モジュール4は、2以上の熱電変換素子21(21b)と、第3接続電極13及び第4接続電極14とを備える。第2熱電変換モジュール4の熱電変換素子21bは、第3接続電極13及び第4接続電極14と電氣的に接続されている。個々の熱電変換素子21bと第3接続電極13又は第4接続電極14との電氣的な接続は、直接的、又は他の熱電変換素子21bを介した間接的な接続である。熱電変換素子21bは、第3接続電極13と第4接続電極14とを結ぶ電氣的な経路上に位置する。図1の例において、2以上の熱電変換素子21bは、第3接続電極13と第4接続電極14との間において、電氣的に直列に互いに接続されている。ただし、第3接続電極13と第4接続電極14との間における熱電変換素子21b同士の電氣的な接続の形態は上記例に限定されない。例えば、直列接続と並列接続とが混在していてもよい。第3接続電極13及び第4接続電極1

40

50

4を介した電圧の印加により、熱電変換素子21b及び第2熱電変換モジュール4は、それぞれ、ペルティエ素子及びペルティエモジュールとして作動する。

【0016】

第1熱電変換モジュール2及び第2熱電変換モジュール4において、2以上の熱電変換素子21は、典型的には、アレイ状に配列されている。第1熱電変換モジュール2及び/又は第2熱電変換モジュール4は、1つの熱電変換素子21を備えていてもよい。

【0017】

第1熱電変換モジュール2と第2熱電変換モジュール4との間で、熱電変換素子21同士の電氣的な接続の形態は同じであっても異なってもよい。

【0018】

図1の例では、第1接続電極11、第2接続電極12、第3接続電極13及び第4接続電極14の数は、それぞれ、1である。ただし、各接続電極の数は2以上であってもよい。

【0019】

第1接続電極11及び第2接続電極12の間に印加する電圧と、第3接続電極13及び第4接続電極14の間に印加する電圧とは、独立して制御できる。これにより、第1熱電変換モジュール2及び第2熱電変換モジュール4の独立した制御が可能となる。例えば、第1熱電変換モジュール2に対して第1電圧が印加され、第2熱電変換モジュール4に対して第1電圧とは印加パターンにおいて異なる第2電圧が印加されてもよい。

【0020】

図1の熱電変換装置1は、基板(基層)6、第2絶縁層7及び保護層8を更に備える。積層構造5は、第2絶縁層7を介して基板6上に設けられている。保護層8は、第2熱電変換モジュール4上に設けられている。保護層8は、熱電変換装置1の最外層(基板6側とは反対側の最外層)に位置している。熱電変換装置1は、基板6、第2絶縁層7、第1熱電変換モジュール2、第1絶縁層3、第2熱電変換モジュール4及び保護層8が順に積層された構造を有する。第1接続電極11、第2接続電極12、第3接続電極13及び第4接続電極14は、各層を貫いて積層構造5の積層方向に延びる貫通孔内に埋設されたビア配線として保護層8の上面に達し、当該上面において露出している。接続電極の露出端は、例えば、第1熱電変換モジュール2及び第2熱電変換モジュール4に印加する電圧を制御する制御装置及び/又は制御モジュールとの接続点となりうる。

【0021】

熱電変換素子21は、熱電変換部であるp型熱電変換部22及びn型熱電変換部23、並びに第1電極24、第2電極25及び第3電極26を備える。p型熱電変換部22の一方の端部と、n型熱電変換部23の一方の端部とは、第1電極24を介して電氣的に接続されている。p型熱電変換部22の他方の端部は、第2電極25と電氣的に接続されている。n型熱電変換部23の他方の端部は、第3電極26と電氣的に接続されている。第2電極25及び第3電極26から選ばれる一方の電極は、接続電極間を結ぶ上記電氣的な経路上にあって当該経路の上流側に位置する。第2電極25及び第3電極26から選ばれる他方の電極は、接続電極間を結ぶ上記電氣的な経路上にあって当該経路の下流側に位置する。言い換えると、第2電極25及び第3電極26を介して熱電変換素子21に電圧が印加可能である。隣接する熱電変換素子21aの間で、第2電極25及び第3電極は、電氣的に互いに接続されている。電氣的な経路の上流及び下流は、例えば、代表的な電圧が熱電変換モジュールに印加されたときに当該経路を流れる電流の向きに基づいて判断すればよい。熱電変換素子21において熱電変換部を挟持する一对の電極を結ぶ方向は、通常、積層構造5の積層方向である。言い換えると、熱電変換素子21及び熱電変換装置1における熱流の制御方向は、通常、積層構造5の積層方向である。なお、図1の熱電変換素子21ではp型熱電変換部22とn型熱電変換部23との間に絶縁部27が配置されており、この配置により、双方の熱電変換部22、23の間の電氣的な絶縁が保たれている。

【0022】

熱電変換素子21のp型熱電変換部22及び/又はn型熱電変換部23、典型的にはp型熱電変換部22及びn型熱電変換部23は、フォノンニック結晶層を備える。フォノニ

10

20

30

40

50

ック結晶層は、規則的に配列した複数の貫通孔を具備する。フォノン結晶構造における複数の貫通孔の貫通方向は、積層構造 5 の積層方向と略平行である。フォノン結晶層は、例えば、後述の第 1 フォノン結晶層及び第 2 フォノン結晶層である。貫通孔は、例えば、後述の第 1 貫通孔及び第 2 貫通孔である。実施形態 1 では、全ての熱電変換素子 2 1 がフォノン結晶層を備える。ただし、全ての熱電変換素子 2 1 がフォノン結晶層を備えていなくてもよい。本明細書において「略平行」とは、2 つの方向の関係が、例えば 5 度以下、好ましくは 3 度以下、より好ましくは 1 度以下、平行からずれている場合にも、当該関係を平行とみなす趣旨である。

#### 【 0 0 2 3 】

絶縁体及び半導体において、熱は、主として、フォノンと呼ばれる格子振動によって運ばれる。絶縁体又は半導体から構成される材料の熱伝導率は、材料が有するフォノンの分散関係により決定される。フォノンの分散関係とは、周波数と波数との関係、又はバンド構造を意味している。絶縁体及び半導体において、熱を運ぶフォノンは、100 GHz から 10 THz の幅広い周波数帯域に及ぶ。この周波数帯域は、熱の帯域である。材料の熱伝導率は、熱の帯域にあるフォノンの分散関係により定められる。上記フォノン結晶構造によれば、貫通孔の周期構造によって、材料が有するフォノンの分散関係が制御可能である。言い換えると、フォノン結晶構造によれば、材料、例えば熱電変換部の母材、の熱伝導率そのものが制御可能である。とりわけ、フォノン結晶構造によるフォノンバンドギャップ (PBG) の形成は、材料の熱伝導率を大きく低減させる。PBG 内にフォノンは存在できない。このため、熱の帯域に位置する PBG は、熱伝導のギャップとなりうる。また、PBG 以外の周波数帯域においても、フォノンの分散曲線の傾きが PBG によって小さくなる。傾きの低減はフォノンの群速度を低下させ、熱伝導速度を低下させる。これらの点は、材料自体の熱伝導率の低減に大きく寄与する。

#### 【 0 0 2 4 】

<フォノン結晶構造>

熱電変換部として p 型熱電変換部 2 2 を例示しながら、熱電変換素子 2 1 の熱電変換部が有するフォノン結晶構造を説明する。n 型熱電変換部 2 3 も、以下に説明するフォノン結晶構造を有する。

#### 【 0 0 2 5 】

p 型熱電変換部 2 2 の一例が図 2 に示される。図 2 の p 型熱電変換部 2 2 は、規則的に配列した複数の第 1 貫通孔 4 3 を具備する第 1 フォノン結晶構造を有する第 1 フォノン結晶層 4 4 を備える。図 2 の p 型熱電変換部 2 2 は、第 1 フォノン結晶層 4 4 の単層構造体である。第 1 フォノン結晶構造及び第 1 フォノン結晶層 4 4 における複数の第 1 貫通孔 4 3 の貫通方向は、p 型熱電変換部 2 2 における一方の端部 4 1 と他方の端部 4 2 とを結ぶ方向である。一方の端部 4 1 には、第 1 電極 2 4 が配置される。他方の端部 4 2 には、第 2 電極 2 5 が配置される。当該方向は、p 型熱電変換部 2 2 における第 1 電極 2 4 との接続面及び第 2 電極 2 5 との接続面に対して略垂直な方向である。本明細書において「略垂直」とは、2 つの方向の関係が、例えば 5 度以下、好ましくは 3 度以下、より好ましくは 1 度以下、垂直からずれている場合にも、当該関係を垂直とみなす趣旨である。

#### 【 0 0 2 6 】

p 型熱電変換部 2 2 の別の一例が図 3 に示される。図 3 の p 型熱電変換部 2 2 は、第 1 フォノン結晶層 4 4 に加えて、規則的に配列した複数の第 2 貫通孔 4 5 を具備する第 2 フォノン結晶構造を有する第 2 フォノン結晶層 4 6 をさらに備える。第 1 フォノン結晶層 4 4 と第 2 フォノン結晶層 4 6 とは、p 型熱電変換部 2 2 における一方の端部 4 1 と他方の端部 4 2 とを結ぶ方向に積層されている。また、第 1 フォノン結晶層 4 4 と第 2 フォノン結晶層 4 6 とは、積層構造 5 の積層方向に積層されている。第 1 フォノン結晶構造及び第 1 フォノン結晶層 4 4 における複数の第 1 貫通孔 4 3 の貫通方向と、第 2 フォノン結晶構造及び第 2 フォノン結晶層 4 6 における複数の第 2 貫通孔 4 5 の貫通方向とは、略平行である。図 3 の p 型熱電変換部 2 2 は、第

10

20

30

40

50

1 フォノニック結晶層 4 4 及び第 2 フォノニック結晶層 4 6 の積層構造体である。第 1 フォノニック結晶層 4 4 と第 2 フォノニック結晶層 4 6 とは、互いに接している。

【 0 0 2 7 】

P B G の分布は立体的であり、フォノニック結晶層では、面内方向だけではなく厚さ方向の熱流の制御及び当該制御による熱伝導率の低減が期待される。なお、図 2 , 3 において、「フォノニック結晶層における厚さ方向」とは、規則的に配列した複数の貫通孔の貫通方向を意味する。図 3 の p 型熱電変換部 2 2 では、少なくとも 2 層のフォノニック結晶層が厚さ方向に積層されている。積層による厚さの増大により、p 型熱電変換部 2 2 における厚さ方向の熱流のより確実な制御が期待される。

【 0 0 2 8 】

第 1 フォノニック結晶層 4 4 及び第 2 フォノニック結晶層 4 6 の厚さは、例えば、1 0 n m 以上 5 0 0 n m 以下である。p 型熱電変換部 2 2 が 2 以上のフォノニック結晶層を備える場合、各フォノニック結晶層の厚さは、互いに同一であっても異なってもよい。

【 0 0 2 9 】

p 型熱電変換部 2 2 が備えるフォノニック結晶層の数は、限定されない。p 型熱電変換部 2 2 が 2 以上のフォノニック結晶層を備える場合、各フォノニック結晶層は、互いに接するように積層されていても、他の部材を介して積層されていても構わない。他の部材は、例えば、S i O<sub>2</sub>等の酸化膜、後述のバッファ層である。

【 0 0 3 0 】

図 3 の p 型熱電変換部 2 2 を第 1 フォノニック結晶層 4 4 の側から見た平面図が図 4 に示される。図 3 の p 型熱電変換部 2 2 を第 2 フォノニック結晶層 4 6 の側から見た平面図が図 5 に示される。図 3、図 4 及び図 5 の p 型熱電変換部 2 2 において、第 1 フォノニック結晶層 4 4 が有する第 1 フォノニック結晶構造の構成と、第 2 フォノニック結晶層 4 6 が有する第 2 フォノニック結晶構造の構成とは異なっている。具体的には、第 1 貫通孔 4 3 の配列の周期 P と、第 2 貫通孔 4 5 の配列の周期 P とが異なっている。第 1 フォノニック結晶構造の構成と第 2 フォノニック結晶構造の構成とが異なる場合、通常、第 2 貫通孔 4 5 の少なくとも一部は第 1 貫通孔 4 3 と連通していない。ただし、2 以上のフォノニック結晶層を備える p 型熱電変換部 2 2 において、各フォノニック結晶層の構成は同一であってもよい。

【 0 0 3 1 】

貫通孔 4 3 , 4 5 の長さに対応するフォノニック結晶層 4 4 , 4 6 の厚さは、貫通孔の直径の 2 倍以上であってもよい。この場合、フォノニック結晶層 4 4 , 4 6 の上面及び下面の間の距離の増大が可能である。これにより、フォノニック結晶層 4 4 , 4 6 の上面と下面との間の温度差の増大が可能となり、熱電変換効率を向上できる。なお、本明細書においてフォノニック結晶層の「上面」及び「下面」とは、それぞれ、フォノニック結晶層を貫通孔の貫通方向に見たときの一方の主面及び当該一方の主面に対向する他方の主面を意味する。「主面」とは、最も広い面積を有する面を意味する。フォノニック結晶層 4 4 , 4 6 の厚さの上限は、例えば、貫通孔の直径の 1 0 0 倍以下であり、8 0 倍以下、6 0 倍以下、5 0 倍以下であってもよい。

【 0 0 3 2 】

各フォノニック結晶層 4 4 , 4 6 の体積に対する、各フォノニック結晶層 4 4 , 4 6 に含まれる貫通孔 4 3 , 4 5 の体積の合計の割合、言い換えるとフォノニック結晶層の空隙率、は、1 0 % 以上であってもよい。この場合、貫通孔 4 3 , 4 5 を除くフォノニック結晶層 4 4 , 4 6 の体積の低減が可能となり、P B G の効果を向上できる。これにより、フォノニック結晶層 4 4 , 4 6 の熱伝導率の更なる低減が可能となり、熱電変換効率を向上できる。フォノニック結晶層 4 4 , 4 6 の空隙率の上限は、例えば、9 0 % 以下であり、7 0 % 以下、5 0 % 以下、4 0 % 以下であってもよい。

【 0 0 3 3 】

第 1 フォノニック結晶構造の構成と第 2 フォノニック結晶構造の構成とが異なる場合として、次の各ケースが例示される。複数のケースが組み合わせられていてもよい。

10

20

30

40

50

- ・第1貫通孔43の配列の周期Pと、第2貫通孔45の配列の周期Pとが異なる。
- ・第1貫通孔43の径Dと、第2貫通孔45の径Dとが異なる。
- ・第1貫通孔43により構成される単位格子91の種類と、第2貫通孔45により構成される単位格子91の種類とが異なる。

## 【0034】

後述のフォノン結晶構造Aに示すように、第1フォノン結晶構造における第1貫通孔43の配列、及び第2フォノン結晶構造における第2貫通孔45の配列は、フォノン結晶層の全体にわたって一定であるとは限らない。これを考慮すると、p型熱電変換部22は、第1フォノン結晶構造の構成と第2フォノン結晶構造の構成とが異なる場合として、以下の各形態を有しうる。p型熱電変換部22は、以下の各形態が任意に組み合わせられた形態を有していてもよい。

10

## 【0035】

形態A：第1フォノン結晶構造が、フォノン結晶領域であるドメインAを含む。第2フォノン結晶構造が、フォノン結晶領域であるドメインBを含む。第1貫通孔43及び第2貫通孔45の貫通方向に見て、ドメインAとドメインBとは重複している。ドメインAにおける第1貫通孔43の配列の周期Pと、ドメインBにおける第2貫通孔45の配列の周期とが異なる。

## 【0036】

形態B：第1フォノン結晶構造が、フォノン結晶領域であるドメインAを含む。第2フォノン結晶構造が、フォノン結晶領域であるドメインBを含む。第1貫通孔43及び第2貫通孔45の貫通方向に見て、ドメインAとドメインBとは重複している。ドメインAにおける第1貫通孔43の径と、ドメインBにおける第2貫通孔45の径とが異なる。

20

## 【0037】

形態C：第1フォノン結晶構造が、フォノン結晶領域であるドメインAを含む。第2フォノン結晶構造が、フォノン結晶領域であるドメインBを含む。第1貫通孔43及び第2貫通孔45の貫通方向に見て、ドメインAとドメインBとは重複している。ドメインAにおける第1貫通孔43により構成される単位格子の種類と、ドメインBにおける第2貫通孔45により構成される単位格子の種類とが異なる。

## 【0038】

フォノン結晶領域であるドメインは、貫通孔43, 45の配列の周期をPとして、平面視において、例えば、 $2.5P^2$ 以上の面積を有する領域である。フォノン結晶構造によってフォノンの分散関係を制御するには、ドメインは、少なくとも $2.5P^2$ 以上の面積を有していてもよい。平面視において正方形のドメインでは、 $5 \times P$ 以上の辺とすることで、 $2.5P^2$ 以上の面積が確保可能である。

30

## 【0039】

平面視による各ドメインの形状は限定されない。平面視による各ドメインの形状は、例えば、三角形、正方形及び長方形を含む多角形、円、楕円、並びにこれらの複合形状である。平面視による各ドメインの形状は、不定形であってもよい。また、フォノン結晶構造が有するドメインの数は限定されない。フォノン結晶構造が有する各ドメインのサイズは限定されない。1つのドメインが、フォノン結晶層の全体に拡がっていてもよい。本明細書において「平面視」とは、貫通孔の貫通方向にフォノン結晶層を視ることを意味する。

40

## 【0040】

貫通孔43, 45の配列の周期Pは、例えば、1nm以上300nm以下である。これは、熱を運ぶフォノンの波長が、主として1nmから300nmの範囲に及ぶためである。周期Pは、平面視において隣接する貫通孔43, 45間の中心間距離により定められる。

## 【0041】

貫通孔43, 45の径Dは、周期Pに対する比 $D/P$ により表して、例えば、 $D/P < 0.5$ である。比 $D/P < 0.5$ である場合、フォノン結晶構造における空隙率が過

50

度に低下して、熱流が十分に制御されない、例えば熱伝導率が十分に低下しない、ことがある。比  $D/P$  の上限は、隣接する貫通孔 43, 45 同士が接しないために、例えば、0.9 未満である。径  $D$  は、貫通孔 43, 45 の開口の径である。貫通孔 43, 45 の開口の形状が平面視において円である場合、径  $D$  は当該円の直径である。貫通孔 43, 45 の開口の形状は平面視において円でなくてもよい。この場合、径  $D$  は、開口の面積と同じ面積を有する仮想の円の直径により定められる。

#### 【0042】

規則的に配列した複数の貫通孔 43, 45 により構成される単位格子 91 の種類は、例えば、正方格子 (図 6A)、六方格子 (図 6B)、長方格子 (図 6C) 及び面心長方格子 (図 6D) である。ただし、単位格子 91 の種類は、これらの例に限定されない。

10

#### 【0043】

p 型熱電変換部 22、n 型熱電変換部 23、並びに p 型熱電変換部 22 及び n 型熱電変換部 23 が備えうるフォノン結晶層を構成する材料  $M$  は、典型的には、p 型又は n 型の適切な半導体型となるように不純物元素がドーパされた半導体材料である。半導体材料は、例えば、シリコン (Si)、Ge、SiGe、SiC、ZnSe、CdSn、ZnO、GaAs、InP、GaN である。材料  $M$  は、半導体材料以外の材料であってもよく、当該材料は、例えば、TiN、SiN、VO<sub>2</sub> である。ただし、材料  $M$  は、上記例に限定されない。

#### 【0044】

なお、Si 系半導体材料は、一般に、半導体材料としては比較的高い熱伝導率を有している。このため、Si 系半導体材料から構成される熱電変換部を備える従来の熱電変換素子では、高い熱電変換効率の達成が困難であった。一方、熱電変換素子 21 では、熱電変換部はフォノン結晶層を備えている。このため、熱電変換素子 21 及びこれを備える熱電変換装置 1 では、熱電変換部が Si 系半導体材料により構成される場合においても、高い熱電変換効率の達成が可能となる。

20

#### 【0045】

また、Si 系半導体材料により熱電変換部が構成可能であることは、例えば、以下のメリットをもたらす。ベース基板は、基板 6 であってもよい。

- ・ Si 系半導体材料により構成されるベース基板、例えば Si ウェハ、上への熱電変換素子及び当該素子を備える熱電変換装置の形成が可能となる。

30

- ・ Si 系半導体材料により構成されるベース基板の内部への熱電変換素子及び熱電変換装置の埋設が可能となる。これにより、例えば、熱電変換素子又は熱電変換装置を埋設したベース基板上への CPU、GPU 等の集積回路の形成が可能となる。これは、例えば、ペルティエ式冷却装置が埋設された集積回路装置等の電子デバイスの製造が可能となることを意味する。集積回路装置は、熱電変換装置及び集積回路が一体化されて一つのパッケージに収められた半導体素子であってもよい。

#### 【0046】

第 1 フォノン結晶構造及び第 2 フォノン結晶構造は、以下の形態を有していてもよい。フォノン結晶構造は、フォノン結晶領域である第 1 ドメイン及び第 2 ドメインを含む。第 1 ドメインにおける複数の貫通孔は、貫通孔の貫通方向に垂直な断面を見たときに、第 1 方向に規則的に配列している。第 2 ドメインにおける複数の貫通孔は、貫通孔の貫通方向に垂直な断面を見たときに、第 1 方向とは異なる第 2 方向に規則的に配列している。このように、配列の方向により区分される複数種のドメインを含むフォノン結晶構造を、以下、フォノン結晶構造 A と記載する。配列の方向は、単位格子の方位により定めることができる。

40

#### 【0047】

本発明者らの検討によれば、フォノン結晶構造によってもたらされる熱伝導率の低減の程度は、熱の伝達方向と、フォノン結晶構造の単位格子の方位 (orientation) とが成す角度に依存する。これは、PBG の帯域広さ、PBG の数及びフォノンの平均群速度といった熱伝導に関わる要素が、当該角度に依存するためと考えられる。また、熱の

50

伝達に関して、マクロ的には高温から低温の方向にフォノンが流れる。一方、ナノメートルのオーダーにあるミクロ領域に着目すると、フォノンの流れる方向には指向性がみられない。即ち、ミクロ的にはフォノンの流れる方向は一様ではない。

#### 【0048】

上述の各特許文献及び非特許文献には、単位格子の方位が一様に揃った複数のフォノンニック結晶領域を有する部材が開示されている。しかし、これらの部材では、ミクロで見て、ある特定の方向に流れるフォノンに対しては相互作用が最大となるものの、それ以外の方向に流れるフォノンに対しては相互作用が弱まる。一方、フォノンニック結晶構造Aは、単位格子の方位が互いに異なる2以上のフォノンニック結晶領域を有する。このため、ミクロで見て、複数の方向に流れる各フォノンに対する相互作用を高めることができる。この特徴は、熱流の制御の自由度の更なる向上をもたらす。

10

#### 【0049】

以下の説明は、第1フォノンニック結晶層44及び第2フォノンニック結晶層46から選ばれる少なくとも1つのフォノンニック結晶層が有するフォノンニック結晶構造Aに関する。複数のフォノンニック結晶層がフォノンニック結晶構造Aを有する場合、各フォノンニック結晶層が有するフォノンニック結晶構造Aの具体的な構成は同一であっても異なってもよい。

#### 【0050】

フォノンニック結晶構造Aの一例が図7に示される。図7には、フォノンニック結晶層56の一部を平面視した状態が示されている。フォノンニック結晶層56は、第1フォノンニック結晶層44及び第2フォノンニック結晶層46から選ばれる少なくとも1つのフォノンニック結晶層でありうる。フォノンニック結晶層56は、例えば、10nm以上500nm以下の厚さを有する薄膜である。フォノンニック結晶層56は、平面視において、長方形である。フォノンニック結晶層56には、フォノンニック結晶層56の厚さ方向に延びる複数の貫通孔50が設けられている。フォノンニック結晶層56が有するフォノンニック結晶構造Aは、複数の貫通孔50が面内方向に規則的に配列した二次元フォノンニック結晶構造である。

20

#### 【0051】

フォノンニック結晶構造Aは、フォノンニック結晶領域である第1ドメイン51A及び第2ドメイン51Bを有する。第1ドメイン51Aは、平面視において、第1方向に規則的に配列した複数の貫通孔50を具備するフォノンニック単結晶構造を有する。第2ドメイン51Bは、平面視において、第1方向とは異なる第2方向に規則的に配列した複数の貫通孔50を具備するフォノンニック単結晶構造を有する。各々の単結晶構造内において、複数の貫通孔50の径及び配列周期は同一である。また、各々の単結晶構造内において、規則的に配列した複数の貫通孔50の単位格子91A, 91Bの方位は同一である。第1ドメイン51A及び第2ドメイン51Bの形状は、平面視において、長方形である。第1ドメイン51Aの形状と、第2ドメイン51Bの形状とは、平面視において、同一である。フォノンニック結晶構造Aは、複数のフォノンニック単結晶構造の複合体であるフォノンニック多結晶構造52でもある。

30

#### 【0052】

図8A及び図8Bに示すように、フォノンニック結晶構造Aでは、第1ドメイン51Aにおける単位格子91Aの方位53Aと、第2ドメイン51Bにおける単位格子91Bの方位53Bとが、平面視において、互いに異なっている。方位53Aと方位53Bとが成す角度は、平面視において、例えば10度以上である。ただし、単位格子91A及び単位格子91Bが同一であって、n回回転対称性を有する場合、方位53Aと方位53Bとが成す角度の上限は360/n度未満である。なお、単位格子が複数のnに対してn回回転対称性を有するとき、上記角度の上限を定めるnには最大のnが使用される。例えば、六方格子は、2回回転対称性、3回回転対称性及び6回回転対称性を有する。このとき、角度の上限を定めるnには「6」が使用される。即ち、六方格子である単位格子91A, 91Bについて、方位53Aと方位53Bとが成す角度は60度未満である。フォノンニック結晶構造Aは、単位格子の方位が互いに異なる2以上のフォノンニック結晶領域を少なくとも有している。この条件が満たされる限り、フォノンニック結晶構造Aは、任意のフォノンニッ

40

50

ク結晶領域及びノ又はフォノンニック結晶構造を有さない領域を更に含んでいてもよい。

【0053】

単位格子の方位は、任意の規則に基づいて決定できる。ただし、異なるドメイン間において、同じ規則を適用して単位格子の方位を定める必要がある。単位格子の方位は、例えば、単位格子を構成する平行でない二辺の成す角を二等分する直線の伸長方向である。ただし、異なるドメイン間において、同じ規則で二辺を定める必要がある。

【0054】

図7のフォノンニック結晶構造Aの領域R1の拡大図が、図9に示される。隣接する第1ドメイン51Aと第2ドメイン51Bとの界面55において、単位格子91A、91Bの方位53A、53Bが変化している。単位格子の方位が変化する界面55は、フォノンニック結晶構造Aをマクロに流れる熱に対する大きな界面抵抗をもたらす。この界面抵抗は、第1ドメイン51Aと第2ドメイン51Bとの間で生じる、フォノン群速度のミスマッチに基づく。この界面抵抗は、フォノンニック結晶構造Aを有するフォノンニック結晶層56における熱伝導率の低減に寄与する。なお、図9の界面55は、平面視において、直線状に延びている。また、界面55は、平面視において、長方形のフォノンニック結晶層56の幅方向に延びている。幅方向は、マクロな熱の伝達方向により定められたフォノンニック結晶層56の中心線の伸張方向に垂直な方向でありうる。界面55は、平面視において、マクロな熱の伝達方向に略垂直にフォノンニック結晶構造Aを分割している。

10

【0055】

図7のフォノンニック結晶構造Aにおいて、第1ドメイン51Aにおける複数の貫通孔50の配列の周期Pと、第2ドメイン51Bにおける複数の貫通孔50の配列の周期Pとは等しい。

20

【0056】

図7のフォノンニック結晶構造Aにおいて、第1ドメイン51Aにおいて規則的に配列した複数の貫通孔50の径と、第2ドメイン51Bにおいて規則的に配列した複数の貫通孔50の径とは等しい。

【0057】

図7のフォノンニック結晶構造Aにおいて、第1ドメイン51Aにおける単位格子91Aの種類と、第2ドメイン51Bにおける単位格子91Bの種類とは、同一である。図7の単位格子91A及び単位格子91Bは、いずれも六方格子である。

30

【0058】

フォノンニック結晶構造Aが有するドメインの数は限定されない。フォノンニック結晶構造Aが有するドメインの数が多くなるほど、ドメイン間の界面による界面抵抗の作用が大きくなる。

【0059】

以下、フォノンニック結晶構造Aの更なる例が示される。

【0060】

図10及び図11のフォノンニック結晶構造Aである多結晶構造52では、隣接する第1ドメイン51A及び第2ドメイン51Bの界面55が、平面視において、長方形のフォノンニック結晶層56の長辺の方向に延びている。この点以外、図10及び図11のフォノンニック結晶構造Aは、図7のフォノンニック結晶構造Aと同様の構成を有する。図11は、図10の領域R2の拡大図である。

40

【0061】

図7及び図10のフォノンニック結晶構造Aでは、平面視において、第1ドメイン51Aのサイズ及び第2ドメイン51Bのサイズが同一である。ただし、平面視において、フォノンニック構造Aが有する第1ドメイン51A及び第2ドメイン51Bのサイズは互いに異なってもよい。

【0062】

図12及び図13のフォノンニック結晶構造Aである多結晶構造52では、平面視において、第1ドメイン51Bが第2ドメイン51Aにより囲まれている。第1ドメイン51A

50

の外形は、平面視において、長方形である。第2ドメイン51Bの形状は、平面視において、長方形である。第1ドメイン51Aのサイズと第2ドメイン51Bのサイズとは、平面視において、異なっている。第2ドメイン51Bと、第2ドメイン51Bを囲む第1ドメイン51Aとの界面55は、平面視において、第2ドメイン51Bの外縁を構成している。これらの点以外、図12及び図13のフォニック結晶構造Aは、図7のフォニック結晶構造Aと同様の構成を有する。図13は、図12の領域R3の拡大図である。

【0063】

また、図12及び図13のフォニック結晶構造Aでは、界面55が屈曲部を有している。

【0064】

さらに、図12及び図13のフォニック結晶構造Aは、フォニック結晶層56の辺に接していない第2ドメイン51Bを有する。

【0065】

図14のフォニック結晶構造Aである多結晶構造52では、平面視において、第1ドメイン51Aと第2ドメイン51Bとが離間して配置されている。より具体的には、平面視において、貫通孔50を有さない領域201が、フォニック結晶層56の長辺方向における第1ドメイン51Aと第2ドメイン51Bとの間に設けられている。この点以外、図14のフォニック結晶構造Aは、図7のフォニック結晶構造Aと同様の構成を有する。

【0066】

図15のフォニック結晶構造Aである多結晶構造52では、平面視において、第1ドメイン51Aと第2ドメイン51Bとが離間して配置されている。より具体的には、平面視において、ランダムに設けられた貫通孔50を有する領域202が、フォニック結晶層56の長辺方向における第1ドメイン51Aと第2ドメイン51Bとの間に設けられている。領域202では、平面視において、貫通孔50は規則的に配列していない。又は、領域202では、平面視において、規則的に配列した領域の面積が、例えば、 $2.5P^2$ 未満である。ここで、Pは、貫通孔50の配列の周期である。この点以外、図15のフォニック結晶構造Aは、図7のフォニック結晶構造Aと同様の構成を有する。

【0067】

図16のフォニック結晶構造Aである多結晶構造52は、平面視において、互いに異なった形状を有する複数のドメイン51A, 51B, 51C, 51D, 51E, 51F及び51Gを含んでいる。各々のドメイン内において、複数の貫通孔50の配列の周期及び単位格子の方位は同一である。しかし、ドメイン間では、単位格子の方位が互いに異なっている。また、平面視において、各ドメインのサイズ及び形状は互いに異なっている。この形態では、これまで例示した形態に比べて、フォニック結晶構造Aの全体で見たときに、より多くの単位格子の方位が存在する。このため、単位格子の方位が異なることに基づく熱伝導率の低減効果がより顕著となる。また、この形態では、ドメイン間の界面55が、平面視において、複数のランダムな方向に延びている。このため、界面抵抗に基づく熱伝導率の低減効果がより顕著となる。

【0068】

また、図16のフォニック結晶構造Aでは、隣接する第1ドメイン51Aと第2ドメイン51Bとの界面55が、平面視において、フォニック結晶層56の幅方向から傾いた方向に延びている。界面55は、平面視において、屈曲部も有している。

【0069】

フォニック結晶構造Aである多結晶構造52は、貫通孔50の配列の周期P及び/又は貫通孔50の径Dが互いに異なる第1ドメイン51A及び第2ドメイン51Bを含んでもよい。図17Aに示される第1ドメイン51Aにおける貫通孔50の径Dと、図17Bに示される第2ドメイン51Bにおける貫通孔50の径Dとは互いに異なっている。なお、図17Aに示される第1ドメイン51Aにおける貫通孔50の配列の周期Pと、図17Bに示される第2ドメイン51Bにおける貫通孔50の配列の周期Pとは同一である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 0 】

図 1 8 に示されるフォノンニック結晶構造 A は、相対的に小さな周期 P 及び径 D を有する複数の貫通孔 5 0 が規則的に配列した第 1 ドメイン 5 1 A と、相対的に大きな周期 P 及び径 D を有する複数の貫通孔 5 0 が規則的に配列した第 2 ドメイン 5 1 B とを有する。また、図 1 8 のフォノンニック結晶構造 A は、相対的に小さな周期 P 及び径 D を有する複数の貫通孔 5 0 を具備する領域 9 2 と、相対的に大きな周期 P 及び径 D を有する複数の貫通孔 5 0 を具備する領域 9 3 とを有する。領域 9 2 と領域 9 3 とは隣接している。領域 9 2 及び領域 9 3 は、それぞれ、図 1 6 に示される例と同様に、平面視において、互いに異なった形状を有し、かつ、単位格子の方位が各々互いに異なる複数のドメインを含んでいる。また、領域 9 2 及び領域 9 3 は、マクロな熱の伝達方向に略平行にフォノンニック結晶構造 A を分割している。この形態では、第 1 ドメイン 5 1 A で形成される P B G の周波数帯域と第 2 ドメイン 5 1 B で形成される P B G の周波数帯域とが異なるため、熱伝導率の低減の効果が特に顕著となる。

10

## 【 0 0 7 1 】

図 1 9 に示されるフォノンニック結晶構造 A では、相対的に小さな周期 P 及び径 D を有する複数の貫通孔 5 0 が規則的に配列した第 1 ドメイン 5 1 A と、相対的に大きな周期 P 及び径 D を有する複数の貫通孔 5 0 が規則的に配列した第 2 ドメイン 5 1 B とを含む。図 1 9 のフォノンニック結晶構造 A は、平面視において、互いに異なった形状を有し、かつ、単位格子の方位が各々互いに異なる複数のドメインを含んでいる。この形態では、第 1 ドメイン 5 1 A で形成される P B G の周波数帯域と第 2 ドメイン 5 1 B で形成される P B G の周波数帯域とが異なるため、熱伝導率の低減の効果が特に顕著となる。

20

## 【 0 0 7 2 】

フォノンニック結晶層 5 6 の形状は、平面視において、例えば、三角形、正方形及び長方形を含む多角形、円、楕円、並びにこれらの複合形状である。ただし、フォノンニック結晶層 5 6 の形状は、上記例に限定されない。

## 【 0 0 7 3 】

熱電変換部の形状は、平面視において、例えば、三角形、正方形及び長方形を含む多角形、円、楕円、並びにこれらの複合形状である。ただし、熱電変換部の形状は、上記例に限定されない。熱電変換部は、直方体又は立方体の形状を有していてもよい。

## 【 0 0 7 4 】

熱電変換部は、2 以上の第 1 フォノンニック結晶層 4 4 及びノ又は 2 以上の第 2 フォノンニック結晶層 4 6 を備えていてもよい。また、熱電変換部は、第 1 フォノンニック結晶構造及び第 2 フォノンニック結晶構造とは具体的な構成の異なるフォノンニック結晶構造を有する更なるフォノンニック結晶層を備えていてもよい。

30

## 【 0 0 7 5 】

フォノンニック結晶層 5 6 の上記とは別の一例が、図 2 0 A 及び図 2 0 B に示される。図 2 0 B には、図 2 0 A のフォノンニック結晶層 5 6 の断面 2 0 B - 2 0 B が示される。図 2 0 A 及び図 2 0 B に示されるフォノンニック結晶層 5 6 は、複数のピラー 6 1 を更に備える。ピラー 6 1 は、直線状に延びる柱状体である。ピラー 6 1 の各々は、フォノンニック結晶層 5 6 の貫通孔 5 0 に充填されている。ピラー 6 1 の周面は、酸化膜 6 2 により被覆されている。この形態では、空孔である貫通孔 5 0 がピラー 6 1 により充填されている。このため、例えば、フォノンニック結晶層 5 6 における貫通孔 5 0 の貫通方向に対する特性の制御の自由度が向上可能となる。より具体的には、例えば、2 以上のフォノンニック結晶層 5 6 の積層構造体である熱電変換部において、フォノンニック結晶構造に基づく低い熱伝導率が保持されたまま、一方の端部 4 1 と他方の端部 4 2 との間の電子伝導性の向上が可能となる。

40

## 【 0 0 7 6 】

ピラー 6 1 が充填されたフォノンニック結晶層 5 6 と、ピラー 6 1 とが同一の材料により構成される場合、ピラー 6 1 の周面は酸化膜 6 2 により被覆されている。ピラー 6 1 が充填されたフォノンニック結晶層 5 6 と、ピラー 6 1 とが異なる材料により構成される場合、

50

酸化膜 6 2 は必ずしも必要ではない。

【 0 0 7 7 】

ピラー 6 1 をさらに備えるフォノニック結晶層 5 6 は、例えば、第 1 フォノニック結晶層 4 4 及び / 又は第 2 フォノニック結晶層 4 6 である。ピラー 6 1 は、第 1 貫通孔 4 3 及び第 2 貫通孔 4 5 の双方に充填されていてもよい。

【 0 0 7 8 】

ピラー 6 1 は、典型的には、半導体材料により構成される。ピラー 6 1 を構成する材料は、例えば、Si、SiGe、SiC、TiN、SiN、VO<sub>2</sub> である。ただし、ピラー 6 1 を構成する材料は、上記例に限定されない。

【 0 0 7 9 】

酸化膜 6 2 は、例えば、SiO<sub>2</sub> 膜である。ただし、酸化膜 6 2 は、上記例に限定されない。

10

【 0 0 8 0 】

ピラー 6 1 が充填された第 1 フォノニック結晶層 4 4 及び第 2 フォノニック結晶層 4 6 を備える p 型熱電変換部 2 2 の一例が図 2 1 に示される。図 2 1 の p 型熱電変換部 2 2 は、図 2 0 A 及び図 2 0 B に示されるフォノニック結晶層 5 6 を、第 1 フォノニック結晶層 4 4 及び第 2 フォノニック結晶層 4 6 として備える。図 2 1 の p 型熱電変換部 2 2 は、2 つのフォノニック結晶層 5 6 を備える 2 層構造体である。第 1 フォノニック結晶層 4 4 と第 2 フォノニック結晶層 4 6 との間には、バッファ層 6 3 が配置されている。第 1 フォノニック結晶層 4 4 におけるピラー 6 1 (酸化膜 6 2 を除く) を構成する材料と、バッファ層 6 3 を構成する材料とは同一である。また、バッファ層 6 3 を構成する材料と、第 2 フォノニック結晶層 4 6 を構成する材料 (ピラー 6 1 及び酸化膜 6 2 を除く) とは同一である。

20

【 0 0 8 1 】

フォノニック結晶層 5 6 の上記とは別の一例が、図 2 2 A 及び図 2 2 B に示される。図 2 2 B には、図 2 2 A のフォノニック結晶層 5 6 の断面 2 2 B - 2 2 B が示される。図 2 2 A 及び図 2 2 B に示されるフォノニック結晶層 5 6 は、複数のピラー 6 1 を更に備える。ピラー 6 1 の各々は、フォノニック結晶層 5 6 の貫通孔 5 0 に充填されている。ピラー 6 1 を構成する材料は、フォノニック結晶層 5 6 を構成する材料とは異なっている。

【 0 0 8 2 】

ピラー 6 1 が充填された第 1 フォノニック結晶層 4 4 及び第 2 フォノニック結晶層 4 6 を備える p 型熱電変換部 2 2 の一例が図 2 3 に示される。図 2 3 の p 型熱電変換部 2 2 は、第 1 フォノニック結晶層 4 4、第 2 フォノニック結晶層 4 6 及び第 1 フォノニック結晶層 4 4 がこの順に配置された、3 つのフォノニック結晶層 5 6 を有する 3 層構造体である。最下層である第 1 フォノニック結晶層 4 4 と第 2 フォノニック結晶層 4 6 との間には、第 1 バッファ層 6 3 A が配置されている。第 2 フォノニック結晶層 4 6 と最上層である第 1 フォノニック結晶層 4 4 との間には、第 2 バッファ層 6 3 B が配置されている。第 1 フォノニック結晶層 4 4 におけるピラー 6 1 を構成する材料と、第 2 バッファ層 6 3 B を構成する材料とは同一である。第 2 フォノニック結晶層 4 6 におけるピラー 6 1 を構成する材料と、第 1 バッファ層 6 3 A を構成する材料とは同一である。第 1 フォノニック結晶層 4 4 を構成する材料 (ピラー 6 1 を除く) と、第 1 バッファ層 6 3 A を構成する材料とは同一である。第 2 フォノニック結晶層 4 6 を構成する材料 (ピラー 6 1 を除く) と、第 2 バッファ層 6 3 B を構成する材料とは同一である。図 2 3 の p 型熱電変換部 2 2 は、2 種類の材料により構成される。当該 2 種類の材料は、いずれも、半導体材料でありうる。

30

40

【 0 0 8 3 】

第 1 接続電極 1 1、第 2 接続電極 1 2、第 3 接続電極 1 3、第 4 接続電極 1 4、第 1 電極 2 4、第 2 電極 2 5 及び第 3 電極 2 6 は、導電性材料により構成される。導電性材料は、典型的には、金属である。金属は、例えば、クロム (Cr)、アルミニウム (Al)、金 (Au)、銀 (Ag)、銅 (Cu) である。ただし、導電性材料は、上記例に限定されない。第 1 接続電極 1 1、第 2 接続電極 1 2、第 3 接続電極 1 3、第 4 接続電極 1 4、第

50

1 電極 2 4、第 2 電極 2 5 及び第 3 電極 2 6 から選ばれる少なくとも 1 つの電極が、フォノニック結晶層を備えていてもよい。当該フォノニック結晶層における複数の貫通孔の貫通方向は、積層構造 5 の積層方向と略平行であってもよい。

【0084】

基板（基層）6 は、典型的には、半導体材料から構成される。半導体材料は、例えば、Si である。基板 6 は、Si ウェハであってもよい。Si から構成される基板 6 の上面には、酸化膜が形成されていてもよい。酸化膜は、例えば、SiO<sub>2</sub> 膜である。酸化膜は、第 2 絶縁層 7 であってもよい。ただし、基板 6 の構成は、上記例に限定されない。例えば、基板 6 の内部に集積回路が埋設されていてもよい。基板 6 は、複数の層が積層された積層構造を有していてもよい。基板 6 の少なくとも一部の領域がフォノニック結晶層を備えていてもよい。当該フォノニック結晶層における複数の貫通孔の貫通方向は、積層構造 5 の積層方向と略平行であってもよい。

10

【0085】

第 1 絶縁層 3 は、第 1 熱電変換モジュール 2 と第 2 熱電変換モジュール 4 との間の電気的な絶縁を保持する層として機能しうる。第 2 絶縁層 7 は、基板 6 と第 1 熱電変換モジュール 2 との間の電気的な絶縁を保持する層として機能しうる。第 1 絶縁層 3、第 2 絶縁層 7 及び絶縁部 2 7 は、典型的には、絶縁材料により構成される。絶縁材料は、例えば、Si を含む金属の酸化物、窒化物、酸窒化物である。絶縁材料は、SiO<sub>2</sub> であってもよい。ただし、絶縁材料は、上記例に限定されない。第 1 絶縁層 3、第 2 絶縁層 7 及び絶縁部 2 7 から選ばれる少なくとも 1 つが、フォノニック結晶層を備えていてもよい。当該フォノニック結晶層における複数の貫通孔の貫通方向は、積層構造 5 の積層方向と略平行であってもよい。

20

【0086】

保護層 8 は、熱電変換装置 1 を保護する層として機能しうる。保護層 8 は、例えば、絶縁材料により構成される。絶縁材料の例は、上述のとおりである。保護層 8 は、フォノニック結晶層を備えていてもよい。当該フォノニック結晶層における複数の貫通孔の貫通方向は、積層構造 5 の積層方向と略平行であってもよい。

【0087】

熱電変換素子 2 1 の熱電変換部以外の部材もフォノニック結晶層を備える形態によれば、熱電変換装置 1 における面内方向の熱伝導率が低減可能となる。この低減により、熱電変換装置 1 の熱電変換効率の更なる向上が可能となる。また、この低減により、面内方向の熱の拡散を抑制でき、熱電変換装置 1 を備えた電子デバイスの構築の自由度が向上可能となる。

30

【0088】

熱電変換装置 1 は、温度検出モジュールを更に備えていてもよい。この場合、例えば、温度検出モジュールが取得した温度に関する情報に基づいて、第 1 熱電変換モジュール 2 及び/又は第 2 熱電変換モジュール 4 を制御できる。温度に関する情報は、例えば、温度の値、温度の変化率、温度の履歴である。ただし、温度に関する情報は、上記例に限定されない。図 1 の熱電変換装置 1 は、第 1 絶縁層 3 の内部に温度検出モジュール 2 8 を備えている。温度検出モジュール 2 8 は、積層方向に見て、積層構造 5 の中央に位置する。ただし、温度検出モジュール 2 8 の位置は、上記例に限定されない。温度検出モジュール 2 8 は、例えば、熱電対素子、測温抵抗体及びサーミスタから選ばれる少なくとも 1 つを備える。

40

【0089】

熱電変換装置 1 は、第 1 熱電変換モジュール 2 及び/又は第 2 熱電変換モジュール 4 に印加する電圧を制御する制御モジュールを更に備えていてもよい。制御モジュールは、例えば、集積回路により構成できる。制御モジュールは、第 1 熱電変換モジュール 2 及び/又は第 2 熱電変換モジュール 4 に電圧を印加する電源を備えていてもよいし、制御モジュールとは別に設けられた電源に制御信号を送る信号送信器を備えていてもよい。制御モジュールと温度検出モジュール 2 8 とが接続されていてもよい。

50

## 【 0 0 9 0 】

熱電変換装置 1 は、上述した以外の任意の部材及び / 又はモジュール等を更に備えていてもよい。

## 【 0 0 9 1 】

熱電変換装置 1 は、ペルティエ式冷却及び / 又は加熱装置として使用できる。熱電変換装置 1 による冷却及び / 又は加熱の対象となる対象物は、例えば、熱源である。熱源は、例えば、CPU、GPU等の集積回路、集積回路を備える集積回路装置である。ただし、対象物は、上記例に限定されない。集積回路の発熱量は負荷に応じて不規則に変化する。このため、一定であることが望まれるにもかかわらず、集積回路の温度は不規則に変動することを余儀なくされる。熱電変換装置 1 によれば、例えば、上記不規則な変動が抑制され、集積回路の温度の変化を所定の範囲内に保つことができる。言い換えると、対象物が集積回路及び / 又は集積回路装置である場合に、熱電変換装置 1 は特に有利である。

10

## 【 0 0 9 2 】

熱電変換装置 1 は、ゼーベック式発電装置として使用してもよい。

## 【 0 0 9 3 】

< 製造方法 >

本開示の熱電変換装置は、化学気相成長 (CVD)、スパッタリング及び蒸着等の各種の薄膜形成手法、並びに、電子線リソグラフィー、フォトリソグラフィー、ブロック共重合体リソグラフィー、選択的エッチング及びケモメカニカルポリッシング (CMP) 等の各種の微細加工手法及びパターン形成手法の組み合わせによる製造が可能である。ブロック共重合体リソグラフィーは、フォノンニック結晶構造の形成に適している。

20

## 【 0 0 9 4 】

フォノンニック結晶層を備える熱電変換素子 2 1 を製造する方法の一例が、図 2 4 A ~ 図 2 4 O の参照により、以下に説明される。熱電変換装置 1 が備えうる熱電変換素子を製造する方法は、以下の例に限定されない。

## 【 0 0 9 5 】

図 2 4 A : 基板 7 1 が準備される。基板 7 1 の上面には、酸化膜 7 2 が設けられている。酸化膜 7 2 は、例えば、SiO<sub>2</sub>膜である。

## 【 0 0 9 6 】

図 2 4 B : 酸化膜 7 2 の上に、金属層 7 3 が形成される。金属層 7 3 は、後に、第 1 電極 2 4 となる。金属層 7 3 は、例えば、Cr 層である。金属層 7 3 は、例えば、スパッタリングにより形成される。金属層 7 3 の厚さは、例えば 5 0 nm である。

30

## 【 0 0 9 7 】

図 2 4 C : 金属層 7 3 の上に、半導体層 7 4 が形成される。半導体層 7 4 は、例えば、多結晶 Si 層である。半導体層 7 4 は、例えば、CVD により形成される。半導体層 7 4 の厚さは、例えば 2 0 0 nm である。

## 【 0 0 9 8 】

図 2 4 D : 半導体層 7 4 の上に、ハードマスク 7 5 が形成される。ハードマスク 7 5 は、例えば、SiO<sub>2</sub>層である。ハードマスク 7 5 は、例えば、CVD により形成される。ハードマスク 7 5 の厚さは、例えば、3 0 nm である。ハードマスク 7 5 は、半導体層 7 4 に対するフォノンニック結晶構造の形成に使用される。

40

## 【 0 0 9 9 】

図 2 4 E : ハードマスク 7 5 の上に、ブロック共重合体の自己組織化膜 7 6 が形成される。自己組織化膜 7 6 は、フォノンニック結晶構造を形成するためのブロック共重合体リソグラフィーに使用される。

## 【 0 1 0 0 】

図 2 4 F : ブロック共重合体リソグラフィーにより、規則的に配列した複数の貫通孔 7 7 がハードマスク 7 5 に形成される。

## 【 0 1 0 1 】

図 2 4 G : ハードマスク 7 5 をレジストとする選択的エッチングによって、半導体層 7

50

4 に対して、平面視したときに複数の貫通孔 77 に対応する位置に、規則的に配列した複数の貫通孔 50 が形成される。形成された複数の貫通孔 50 は、フォノンニック結晶構造を構成する。半導体層 74 は、フォノンニック結晶層 56 となる。

【0102】

図 24H：ハードマスク 75 及び自己組織化膜 76 が除去される。

【0103】

図 24I：フォノンニック結晶層 56 における貫通孔 50 の内周面に酸化膜 62 が形成される。酸化膜 62 は、例えば、SiO<sub>2</sub>膜である。酸化膜 62 は、例えば、熱酸化により形成される。酸化膜 62 の厚さは、例えば、1nm である。

【0104】

図 24J：フォノンニック結晶層 56 における貫通孔 50 の内部に半導体が充填されて、酸化膜 62 を周面に有するピラー 61 が形成される。ピラー 61 は、例えば、多結晶 Si により構成される。ピラー 61 は、例えば、CVD により形成される。また、このとき、ピラー 61 を構成する半導体材料により構成される層 78 がフォノンニック結晶層 56 の上に形成される。

【0105】

図 24K：CMP 等の手法により、層 78 が除去される。このようにして、ピラー 61 をさらに備えるフォノンニック結晶層 56 が形成される。

【0106】

図 24L：フォトリソグラフィー等の手法を用い、フォノンニック結晶層 56 の一部の領域に不純物イオンが注入及びドーピングされて、p 型熱電変換部 22 を形成する。不純物イオンは、例えば、ホウ素イオンである。

【0107】

図 24M：フォトリソグラフィー等の手法を用い、フォノンニック結晶層 56 における p 型熱電変換部 22 とは異なる領域に不純物イオンが注入及びドーピングされて、n 型熱電変換部 23 を形成する。不純物イオンは、例えば、リンイオンである。p 型熱電変換部 22 と n 型熱電変換部 23 とは、互いに離間している。

【0108】

図 24N：全体が熱処理（アニール）されて、ドーピングした不純物イオンを活性化する。

【0109】

図 24O：p 型熱電変換部 22 の上に第 2 電極 25 が形成される。n 型熱電変換部 23 の上に第 3 電極 26 が形成される。第 2 電極 25 及び第 3 電極 26 は、例えば、Al により構成される。これにより、熱電変換素子 21 が形成される。フォノンニック結晶層 56 における p 型熱電変換部 22 と n 型熱電変換部 23 との間の領域は、絶縁部 27 として残される。絶縁部 27 は、規則的に配列した複数の貫通孔 50 を具備するフォノンニック結晶構造を有する。この形態によれば、p 型熱電変換部 22 と n 型熱電変換部 23 との間における素子 21 の面内方向の熱伝導率が低減可能となる。また、この低減により、熱電変換素子 21 及び熱電変換装置 1 の熱電変換効率のさらなる向上が可能となる。

【0110】

(第 2 実施形態)

第 2 実施形態の熱電変換装置を図 25 に示す。第 2 実施形態の熱電変換装置 1 は、第 2 熱電変換モジュール 4 の上に設けられた第 3 絶縁層 10 及び第 3 絶縁層 10 の上に設けられた第 3 熱電変換モジュール 9 を更に備えると共に、保護層 8 の位置が第 3 熱電変換モジュール 9 の上である以外は、第 1 実施形態の熱電変換装置 1 と同様の構成を有する。第 2 実施形態の熱電変換装置 1 は、3 つの熱電変換モジュール 2, 4, 9 が積層された構造を有する。本開示の熱電変換装置は、積層構造 5 を有する限り、第 1 熱電変換モジュール 2 及び第 2 熱電変換モジュール 4 に加えて、更なる熱電変換モジュールを備えていてもよい。本開示の熱電変換装置が備える熱電変換モジュールの数は限定されない。

【0111】

第 3 熱電変換モジュール 9 は、2 以上の熱電変換素子 21 (21c) と、第 5 接続電極

10

20

30

40

50

15及び第6接続電極16とを備える。第3熱電変換モジュール9の熱電変換素子21cは、第5接続電極15及び第6接続電極16と電氣的に接続されている。熱電変換素子21cは、第3熱電変換モジュール9が備える接続電極15,16間を結ぶ電氣的な経路上に位置する。接続電極15,16を介した電圧の印加により、熱電変換素子21c及び第3熱電変換モジュール9は、それぞれ、ペルティエ素子及びペルティエモジュールとして作動する。上記点以外、第3熱電変換モジュール9は、第1熱電変換モジュール2及び/又は第2熱電変換モジュール4と同様の構造を有しうる。第2実施形態の熱電変換装置1では、各熱電変換モジュール2,4,9間で独立した制御が可能となる。独立して制御可能な熱電変換モジュールの数の増加により、対象物の冷却及び/又は加熱の制御の自由度が更に向上可能となる。

10

## 【0112】

第2実施形態の熱電変換装置1では、第1絶縁層3を介した第1熱電変換モジュール2及び第2熱電変換モジュール4の積層体を積層構造5(5a)と捉えることも、第3絶縁層10を介した第2熱電変換モジュール4及び第3熱電変換モジュール9の積層体を積層構造5(5b)と捉えることもできる。積層構造5bに対しても、積層構造5aと同様に、熱電変換モジュール毎の独立した制御が可能である。積層構造5bに対する制御は、積層構造5aに対する制御と同様であってもよい。

## 【0113】

(第3実施形態)

第3実施形態の熱電変換装置を図26に示す。第1実施形態及び第2実施形態の熱電変換素子21は、1つの素子内にp型熱電変換部22及びn型熱電変換部23を備えた、当業者に型と称される素子である。本開示の熱電変換装置が備えうる熱電変換素子は、型に限定されない。第3実施形態の熱電変換装置1は、型とは異なる熱電変換素子31を備える。熱電変換素子21の代わりに熱電変換素子31を備える以外は、第3実施形態の熱電変換装置1は第1実施形態の熱電変換装置1と同様の構成を有する。

20

## 【0114】

熱電変換素子31は、互いに隣接する2つの熱電変換部32,33を備える。熱電変換部32,33は、同じ導電型を有している。言い換えると、熱電変換素子31は、互いに隣接する2つのp型熱電変換部又はn型熱電変換部を備える。また、熱電変換素子31は、第4電極34、第5電極35及び第6電極36を備える。一方の熱電変換部32の一方の端部と、他方の熱電変換部33の一方の端部とは、第4電極34を介して電氣的に接続されている。第4電極34は、熱電変換部32の下面と熱電変換部33の上面とを電氣的に接続する。第4電極34は、積層構造5の厚さ方向に延びるビア配線37(37a)を有する。熱電変換部32の他方の端部は、第5電極35と電氣的に接続されている。熱電変換部33の他方の端部は、第6電極36と電氣的に接続されている。第5電極35及び第6電極36から選ばれる一方の電極は、接続電極間を結ぶ上記電氣的な経路上にあって当該経路の上流側に位置する。第5電極35及び第6電極36から選ばれる他方の電極は、接続電極間を結ぶ上記電氣的な経路上にあって当該経路の下流側に位置する。言い換えると、第5電極35及び第6電極36を介して熱電変換素子31に電圧が印加可能である。熱電変換素子31において熱電変換部を挟持する一対の電極を結ぶ方向は、通常、積層構造5の積層方向である。電氣的な経路に電流を流したときに、隣接する2つの熱電変換部32,33における電流の流れる方向は同一(図26中の矢印を参照)である。熱電変換素子31は、当業者にユニレグ型として知られた素子である。

30

40

## 【0115】

図26の熱電変換モジュール2,4は、2以上の熱電変換素子31を備える。隣接する素子31間において第5電極35と第6電極36とは、積層構造5の積層方向に延びるビア配線37(37b)を介して電氣的に接続されている。

## 【0116】

熱電変換素子31は、熱電変換部がフォノンニック結晶層を有する限り、ユニレグ型として知られた任意の構成をとることができる。

50

## 【 0 1 1 7 】

## 〔 熱電変換装置の制御方法 〕

熱電変換装置 1 の制御方法の一例が図 2 7 に示される。図 2 7 の制御方法は、第 1 熱電変換モジュール 2 に対して第 1 電圧が印加され、第 2 熱電変換モジュール 4 に対して第 2 電圧が印加される工程を含む。第 1 電圧と第 2 電圧とは、印加パターンにおいて異なっている。図 2 7 の制御方法は、熱電変換装置 1 が備える熱電変換モジュール毎に独立した制御を実施する方法の一種である。

## 【 0 1 1 8 】

印加パターンの異なる態様の例は、次のとおりである。ただし、印加パターンの異なる態様は、以下の例に限定されない。

- ・実効電圧値、最大電圧値及び最小電圧値から選ばれる少なくとも 1 つが異なる。
- ・パルス電圧の印加において、パルス幅、周期、波形及びデューティ比から選ばれる少なくとも 1 つが異なる。

## 【 0 1 1 9 】

熱電変換装置が第 1 温度検出モジュール 2 8 を備える場合、温度検出モジュール 2 8 が取得した温度に関する情報に基づいて、第 1 電圧及び / 又は第 2 電圧の印加パターンが制御されてもよい。

## 【 0 1 2 0 】

熱電変換装置 1 の近傍には、熱電変換装置 1 により冷却及び / 加熱する対象物が配置されていてもよい。対象物は、例えば、熱源である。熱源の例は、上述のとおりである。対象物は、例えば、熱電変換装置 1 における基板 6 とは反対側に配置される。対象物と熱電変換装置 1 とが接していてもよい。対象物は、熱電変換装置 1 の保護層 8、絶縁層又は熱電変換モジュールに接していてもよい。また、このとき、以下の制御 A、制御 B 及び制御 C から選ばれる少なくとも 1 つが実施されてもよい。

## 【 0 1 2 1 】

制御 A：対象物が第 2 温度検出モジュールを備えるか、又は、対象物と熱電変換装置 1 との間に第 2 温度検出モジュールが配置されており、第 2 温度検出モジュールが取得した温度に関する情報に基づいて、第 1 電圧及び / 又は第 2 電圧の印加パターンが制御される。これにより、対象物の冷却及び / 又は加熱の制御の自由度が更に向上可能となる。

## 【 0 1 2 2 】

制御 B：熱電変換装置 1 が備える熱電変換モジュール群から選ばれる、対象物により近い熱電変換モジュールに印加される電圧が、対象物からより離れた熱電変換モジュールに印加される電圧に比べて高い頻度で変化するように、第 1 電圧及び / 又は第 2 電圧の印加パターンが制御される。実施形態 1、3 の熱電変換モジュール群は、第 1 熱電変換モジュール 2 及び第 2 熱電変換モジュール 4 から構成される。実施形態 2 の熱電変換モジュール群は、第 1 熱電変換モジュール 2、第 2 熱電変換モジュール 4 及び第 3 熱電変換モジュール 9 から構成される。ただし、3 以上の熱電変換モジュールから構成される熱電変換モジュール群において、絶縁層を挟んで隣接するいずれの 2 つの熱電変換モジュールを第 1 熱電変換モジュール 2 及び第 2 熱電変換モジュール 4 と定めて第 1 電圧及び第 2 電圧を印加するかは任意である。

## 【 0 1 2 3 】

制御 C：対象物の温度の変化が所定の範囲内となるように、第 1 電圧及び / 又は第 2 電圧の印加パターンが制御される。

## 【 0 1 2 4 】

制御 B のより具体的な一例が図 2 8 及び図 2 9 に示される。図 2 8 及び図 2 9 の制御方法は、3 つの熱電変換モジュールを備える熱電変換装置 1 の制御方法である。図 2 8 及び図 2 9 の制御方法では、対象物に最も近い熱電変換モジュール A に印加される電圧が、対象物からより離れた熱電変換モジュール B 及び熱電変換モジュール C に印加される電圧に比べて高い頻度で変化するように、電圧の印加パターンが制御される。また、熱電変換モジュール B に印加される電圧が、熱電変換モジュール B に比べて対象物から離れた熱電変

10

20

30

40

50

換モジュールCに印加される電圧に比べて高い頻度で変化するように、電圧の印加パターンが制御される。なお、図29の制御では、熱電変換モジュールA, Bに対する電圧の印加は不規則である。

【0125】

上記制御方法は、熱電変換装置1を用いて対象物を冷却及び/又は加熱する方法でもある。言い換えると、本開示は、上記とは別の側面から、熱電変換装置を用いて対象物を冷却及び/又は加熱する方法であって、前記熱電変換装置は本開示の熱電変換装置であり、前記熱電変換装置において、前記第1熱電変換モジュールに対して第1電圧が印加され、前記第2熱電変換モジュールに対して前記第1電圧とは印加パターンにおいて異なる第2電圧が印加される工程を含む方法、を提供する。この方法では、上述した1又は2以上の制御を実施できる。

10

【0126】

[電子デバイス]

本開示は、また別の側面から、集積回路、並びに前記集積回路を冷却及び/又は加熱する熱電変換装置を備え、前記熱電変換装置は本開示の熱電変換装置である電子デバイス、を提供する。電子デバイスの例は、上述のとおりである。

【産業上の利用可能性】

【0127】

本開示の熱電変換装置は、例えば、ペルティエ式冷却装置及び/又は加熱装置として使用できる。

20

上記の開示内容から導出される発明の一例が、以下、列記される。

【0128】

(項目1)

熱電変換装置であって、

第1熱電変換モジュール、

前記第1熱電変換モジュール上に設けられた第1絶縁層、及び

前記第1絶縁層上に設けられた第2熱電変換モジュール、

を具備し、

ここで、

前記第1熱電変換モジュールは、少なくとも1つの熱電変換素子、第1接続電極、及び第2接続電極を具備し、

30

前記第1熱電変換モジュールの前記少なくとも1つの熱電変換素子は、前記第1接続電極及び前記第2接続電極と電気的に接続され、かつ、前記第1接続電極と前記第2接続電極とを結ぶ電気的な経路上に位置し、

前記第2熱電変換モジュールは、少なくとも1つの熱電変換素子、第3接続電極、及び第4接続電極、を具備し、

前記第2熱電変換モジュールの前記少なくとも1つの熱電変換素子は、前記第3接続電極及び前記第4接続電極と電気的に接続され、かつ、前記第3接続電極と前記第4接続電極とを結ぶ電気的な経路上に位置し、

前記第1熱電変換モジュールの前記少なくとも1つの熱電変換素子および前記第2熱電変換モジュールの前記少なくとも1つの熱電変換素子は熱電変換部を具備し、

40

前記熱電変換部は、規則的に配列した複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶構造を有するフォノンニック結晶層を備え、かつ

前記複数の貫通孔の貫通方向は、前記第1熱電変換モジュール、前記第1絶縁層、及び前記第2熱電変換モジュールの積層方向と略平行である、

熱電変換装置。

【0129】

(項目2)

項目1に記載の熱電変換装置であって、

前記第1熱電変換モジュールの前記少なくとも1つの熱電変換素子は、2以上の熱電変

50

換素子を備える、  
熱電変換装置。

【0130】

(項目3)

項目1に記載の熱電変換装置であって、  
前記第2熱電変換モジュールの前記少なくとも1つの熱電変換素子は、2以上の熱電変換素子を備える、  
熱電変換装置。

【0131】

(項目4)

項目2に記載の熱電変換装置であって、  
前記2以上の熱電変換素子は、前記第1接続電極及び前記第2接続電極の間において、  
電氣的に直列に互いに接続されている、  
熱電変換装置。

10

【0132】

(項目5)

項目3に記載の熱電変換装置であって、  
前記2以上の熱電変換素子は、前記第1接続電極及び前記第2接続電極の間において、  
電氣的に直列に互いに接続されている、  
熱電変換装置。

20

【0133】

(項目6)

項目1から5のいずれか1項に記載の熱電変換装置であって、  
前記第1熱電変換モジュール及び前記第2熱電変換モジュールからなる群から選択される少なくとも1つの熱電変換モジュールの前記少なくとも1つの熱電変換素子は、

p型熱電変換部、  
n型熱電変換部、  
第1電極、  
第2電極、及び  
第3電極、

30

を具備し、

ここで、

前記熱電変換部は、前記p型熱電変換部および前記n型熱電変換部を含み、  
前記p型熱電変換部の一方の端部及び前記n型熱電変換部の一方の端部は、前記第1電極を介して電氣的に互いに接続されており、

前記p型熱電変換部の他方の端部は、前記第2電極と電氣的に接続されており、

前記n型熱電変換部の他方の端部は、前記第3電極と電氣的に接続されており、

前記第2電極及び前記第3電極から選ばれる一方の電極は、前記電氣的な経路上にあって当該経路の上流側に位置し、かつ

前記第2電極及び前記第3電極から選ばれる他方の電極は、前記電氣的な経路上にあって当該経路の下流側に位置する、

40

熱電変換装置。

【0134】

(項目7)

項目1から5のいずれか1項に記載の熱電変換装置であって、  
前記第1熱電変換モジュール及び前記第2熱電変換モジュールからなる群から選択される少なくとも1つの熱電変換モジュールの前記少なくとも1つの熱電変換素子は、

互いに隣接する2つのp型熱電変換部、  
第4電極、  
第5電極、及び

50

第 6 電極、  
 を具備し、  
 ここで、  
 前記熱電変換部は、前記 2 つの p 型熱電変換部を含み、  
 一方の前記熱電変換部の一方の端部及び他方の前記熱電変換部の一方の端部は、前記第 4 電極を介して電氣的に互いに接続されており、  
 前記一方の熱電変換部の他方の端部は、前記第 5 電極と電氣的に接続されており、  
 前記他方の熱電変換部の他方の端部は、前記第 6 電極と電氣的に接続されており、  
 前記第 5 電極及び前記第 6 電極から選ばれる一方の電極は、前記電氣的な経路上にあって当該経路の上流側に位置し、  
 前記第 5 電極及び前記第 6 電極から選ばれる他方の電極は、前記電氣的な経路上にあって当該経路の下流側に位置し、かつ  
 前記電氣的な経路に電流を流したときに、前記隣接する 2 つの熱電変換部における前記電流の流れる方向は同一である、  
 熱電変換装置。

10

【 0 1 3 5 】

( 項目 8 )

項目 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の熱電変換装置であって、  
 前記第 1 熱電変換モジュール及び前記第 2 熱電変換モジュールからなる群から選択される少なくとも 1 つの熱電変換モジュールの前記少なくとも 1 つの熱電変換素子は、  
 互いに隣接する 2 つの n 型熱電変換部、  
 第 4 電極、  
 第 5 電極、及び  
 第 6 電極、

20

を具備し、  
 ここで、  
 前記熱電変換部は、前記 2 つの n 型熱電変換部を含み、  
 一方の前記熱電変換部の一方の端部及び他方の前記熱電変換部の一方の端部は、前記第 4 電極を介して電氣的に互いに接続されており、  
 前記一方の熱電変換部の他方の端部は、前記第 5 電極と電氣的に接続されており、  
 前記他方の熱電変換部の他方の端部は、前記第 6 電極と電氣的に接続されており、  
 前記第 5 電極及び前記第 6 電極から選ばれる一方の電極は、前記電氣的な経路上にあって当該経路の上流側に位置し、  
 前記第 5 電極及び前記第 6 電極から選ばれる他方の電極は、前記電氣的な経路上にあって当該経路の下流側に位置し、かつ  
 前記電氣的な経路に電流を流したときに、前記隣接する 2 つの熱電変換部における前記電流の流れる方向は同一である、  
 熱電変換装置。

30

【 0 1 3 6 】

( 項目 9 )

項目 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の熱電変換装置であって、  
 前記フォノンニック結晶層は、第 1 フォノンニック結晶層及び第 2 フォノンニック結晶層を具備し、  
 前記第 1 フォノンニック結晶層は、前記貫通孔として、規則的に配列した複数の第 1 貫通孔を具備する第 1 フォノンニック結晶構造を有し、  
 前記第 2 フォノンニック結晶層は、前記貫通孔として、規則的に配列した複数の第 2 貫通孔を具備する第 2 フォノンニック結晶構造を有し、かつ  
 前記第 1 フォノンニック結晶層及び前記第 2 フォノンニック結晶層は、前記積層方向に積層されている、  
 熱電変換装置。

40

50

## 【0137】

(項目10)

項目9に記載の熱電変換装置であって、  
前記第1フォノニック結晶層および前記第2フォノニック結晶層は、互いに接している、  
熱電変換装置。

## 【0138】

(項目11)

項目9又は10に記載の熱電変換装置であって、  
前記第2貫通孔の少なくとも一部は、前記第1貫通孔と連通していない、  
熱電変換装置。

10

## 【0139】

(項目12)

項目1から11のいずれか1項に記載の熱電変換装置であって、  
前記フォノニック結晶構造は、フォノニック結晶領域である第1ドメイン及び第2ドメインを含み、

前記第1ドメインにおける前記複数の貫通孔は、前記貫通孔の貫通方向に垂直な断面において、第1方向に規則的に配列しており、かつ

前記第2ドメインにおける前記複数の貫通孔は、前記貫通孔の貫通方向に垂直な断面において、前記第1方向とは異なる第2方向に規則的に配列している、

熱電変換装置。

20

## 【0140】

(項目13)

項目1から12のいずれか1項に記載の熱電変換装置であって、

前記フォノニック結晶層は、複数のピラーを備え、

前記ピラーは、直線状に延びる柱状体であり、かつ

前記ピラーの各々は、前記フォノニック結晶層の前記貫通孔に充填されている、

熱電変換装置。

## 【0141】

(項目14)

項目13に記載の熱電変換装置であって、

前記ピラーが充填された前記フォノニック結晶層と、前記ピラーとが同一の材料により構成され、かつ

前記ピラーの周面は、酸化膜により被覆されている、

熱電変換装置。

30

## 【0142】

(項目15)

項目1から14のいずれか1項に記載の熱電変換装置であって、

温度検出モジュールを更に具備する、

熱電変換装置。

## 【0143】

(項目16)

項目1から15のいずれか1項に記載の熱電変換装置であって、

前記第1熱電変換モジュール及び前記第2熱電変換モジュールからなる群から選択される少なくとも1つの熱電変換モジュールに印加する電圧を制御する制御モジュールを更に具備する、

熱電変換装置。

40

## 【0144】

(項目17)

熱電変換装置の制御方法であって、

前記方法は、

50

項目 1 から 1 6 のいずれかに記載の熱電変換装置における前記第 1 熱電変換モジュールおよび前記第 2 熱電変換モジュールに、それぞれ、第 1 電圧および第 2 電圧を印加する工程

を含み、

ここで、

前記第 1 電圧及び前記第 2 電圧は、印加パターンにおいて互いに異なる、制御方法。

【 0 1 4 5 】

( 項目 1 8 )

項目 1 7 に記載の制御方法であって、

前記熱電変換装置が第 1 温度検出モジュールを備え、

前記第 1 温度検出モジュールが取得した温度に関する情報に基づいて、前記第 1 電圧及び前記第 2 電圧からなる群から選択される少なくとも 1 つの電圧の印加パターンが制御される、

制御方法。

【 0 1 4 6 】

( 項目 1 9 )

項目 1 7 又は 1 8 に記載の制御方法であって、

前記熱電変換装置の近傍に、前記熱電変換装置により冷却及び / 又は加熱する対象物が配置されている、

制御方法。

【 0 1 4 7 】

( 項目 2 0 )

項目 1 9 に記載の制御方法であって、

前記対象物が第 2 温度検出モジュールを備えるか、又は、前記対象物及び前記熱電変換装置の間に第 2 温度検出モジュールが配置されており、かつ

前記第 2 温度検出モジュールが取得した温度に関する情報に基づいて、前記第 1 電圧及び前記第 2 電圧からなる群から選択される少なくとも 1 つの電圧の印加パターンが制御される、

制御方法。

【 0 1 4 8 】

( 項目 2 1 )

項目 1 9 又は 2 0 に記載の制御方法であって、

前記第 1 熱電変換モジュール及び前記第 2 熱電変換モジュールから選ばれる、前記対象物により近い熱電変換モジュールに印加される電圧が、前記対象物からより離れた熱電変換モジュールに印加される電圧に比べて高い頻度で変化するように、前記第 1 電圧及び前記第 2 電圧の印加パターンからなる群から選択される少なくとも 1 つの電圧が制御される制御方法。

【 0 1 4 9 】

( 項目 2 2 )

項目 1 7 から 2 1 のいずれか 1 項に記載の制御方法であって、

前記対象物の温度の変化が所定の範囲内となるように、前記第 1 電圧及び前記第 2 電圧からなる群から選択される少なくとも 1 つの電圧の印加パターンが制御される、

制御方法。

【 0 1 5 0 】

( 項目 2 3 )

項目 1 7 から 2 2 のいずれか 1 項に記載の制御方法であって、

前記対象物は熱源である、

制御方法。

【 0 1 5 1 】

10

20

30

40

50

## (項目 24)

熱電変換装置を用いて対象物を冷却及び/又は加熱する方法であって、  
前記熱電変換装置は、項目 1 から 16 のいずれか 1 項に記載の熱電変換装置であり、  
前記方法は、前記熱電変換装置において、前記第 1 熱電変換モジュールおよび前記第 2  
熱電変換モジュールに、それぞれ第 1 電圧および第 2 電圧を印加する工程を含み、かつ  
前記第 1 電圧及び前記第 2 電圧は、印加パターンにおいて互いに異なる、  
方法。

## 【0152】

## (項目 25)

電子デバイスであって、  
集積回路、及び

10

前記集積回路を冷却及び/又は加熱する熱電変換装置、を具備し、  
前記熱電変換装置は、項目 1 から 16 のいずれか 1 項に記載の熱電変換装置である、  
電子デバイス。

## 【符号の説明】

## 【0153】

- 1 熱電変換装置
- 2 第 1 熱電変換モジュール
- 3 第 1 絶縁層
- 4 第 2 熱電変換モジュール
- 5 積層構造
- 6 基板
- 7 第 2 絶縁層
- 8 保護層
- 9 第 3 熱電変換モジュール
- 10 第 3 絶縁層
- 11 第 1 接続電極
- 12 第 2 接続電極
- 13 第 3 接続電極
- 14 第 4 接続電極
- 21 熱電変換素子 ( 型 )
- 22 p 型熱電変換部
- 23 n 型熱電変換部
- 24 第 1 電極
- 25 第 2 電極
- 26 第 3 電極
- 27 絶縁部
- 28 温度検出モジュール
- 31 熱電変換素子 (ユニレグ型)
- 32 , 33 熱電変換部
- 34 第 4 電極
- 35 第 5 電極
- 36 第 6 電極
- 43 第 1 貫通孔
- 44 第 1 フォノンニック結晶層
- 45 第 2 貫通孔
- 46 第 2 フォノンニック結晶層
- 50 貫通孔
- 51 A 第 1 ドメイン
- 51 B 第 2 ドメイン

20

30

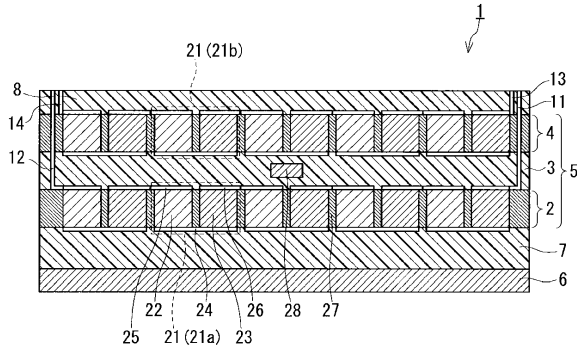
40

50

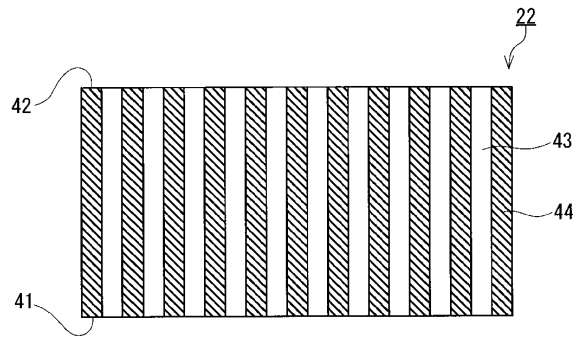
- 5 2 フォノンニック多結晶構造
- 5 3 A , 5 3 B 方位
- 5 5 界面
- 5 6 フォノンニック結晶層
- 6 1 ピラー
- 6 2 酸化膜
- 9 1 , 9 1 A , 9 1 B 単位格子

【図面】

【図 1】



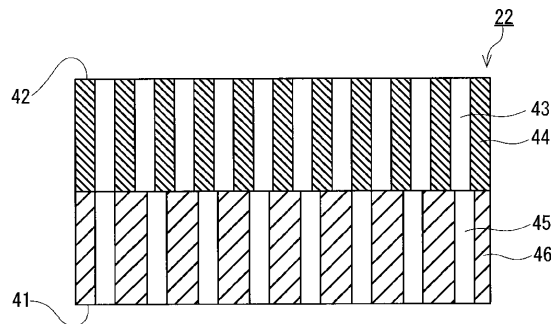
【図 2】



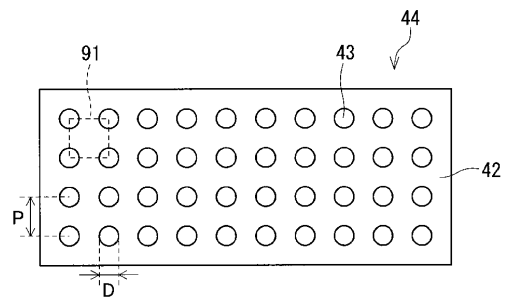
10

20

【図 3】



【図 4】

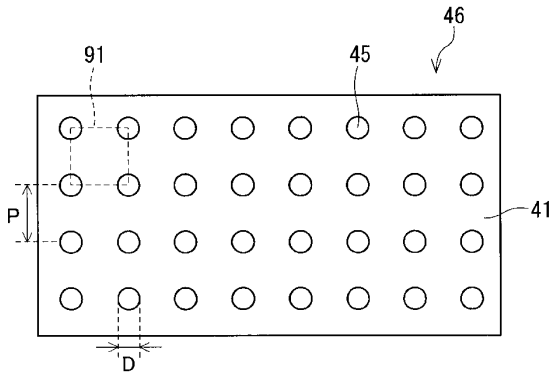


30

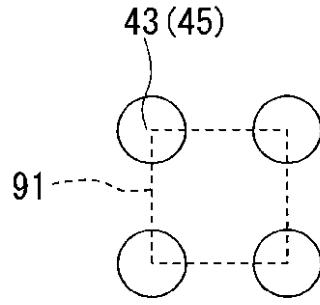
40

50

【図 5】

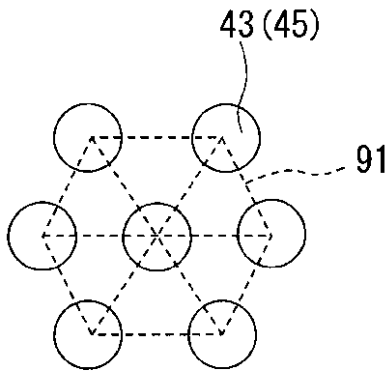


【図 6 A】

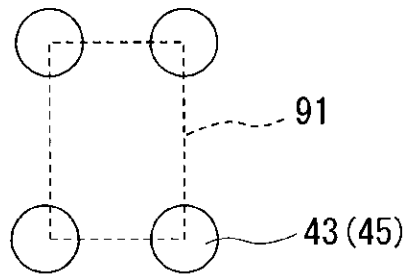


10

【図 6 B】



【図 6 C】



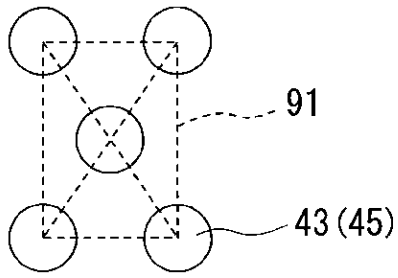
20

30

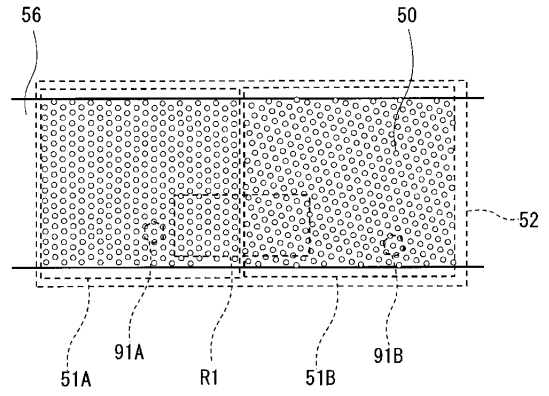
40

50

【図 6 D】

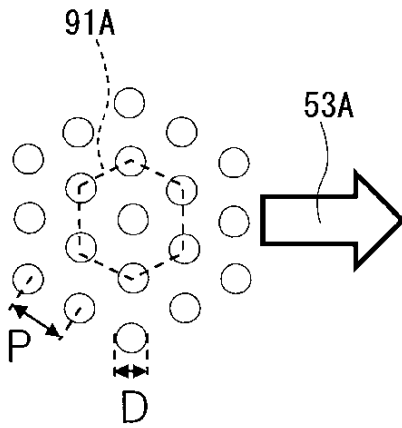


【図 7】

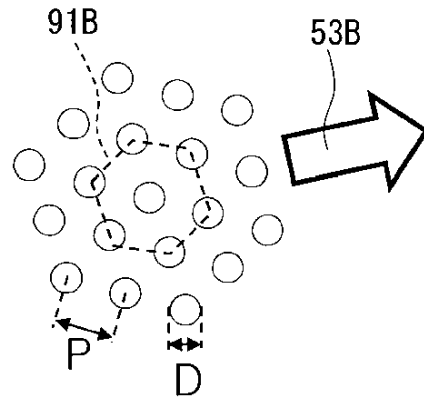


10

【図 8 A】



【図 8 B】



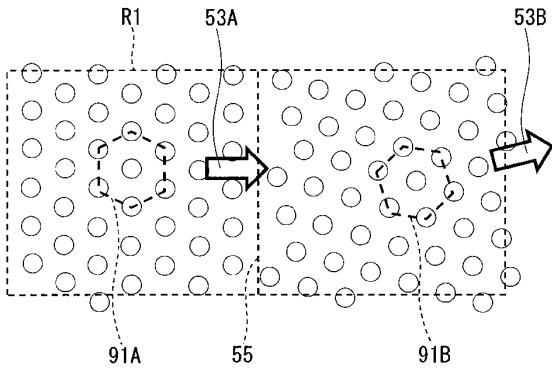
20

30

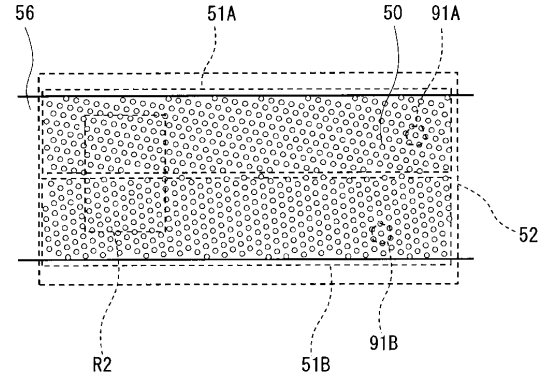
40

50

【 図 9 】

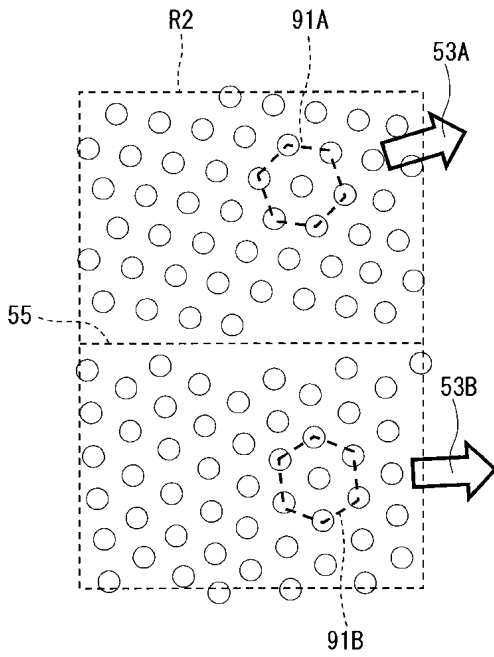


【 図 1 0 】

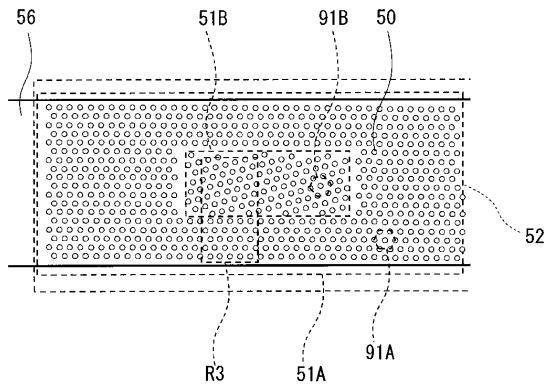


10

【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



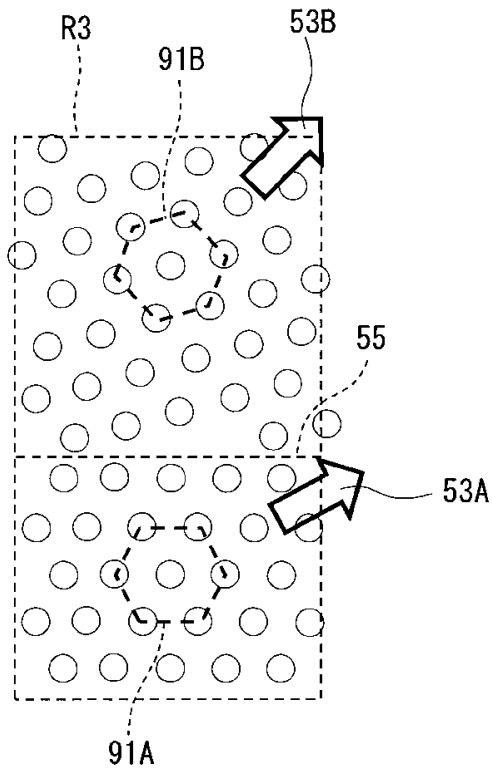
20

30

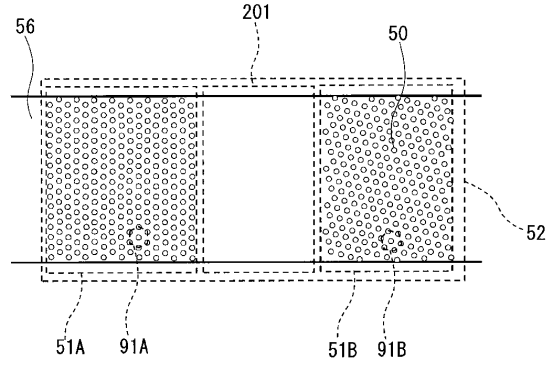
40

50

【図 1 3】



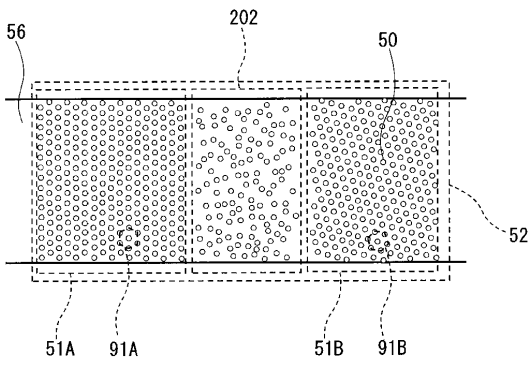
【図 1 4】



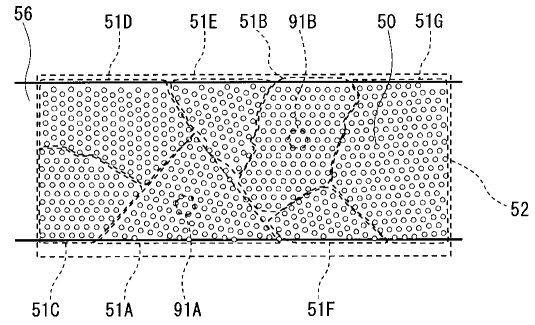
10

20

【図 1 5】



【図 1 6】

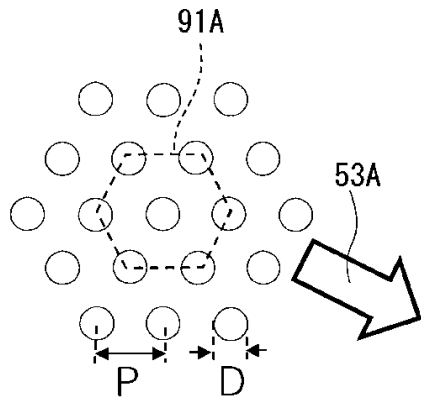


30

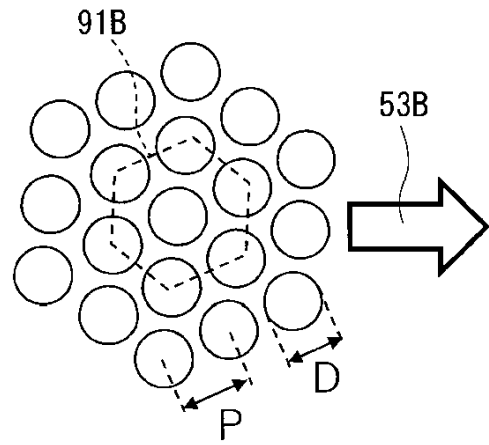
40

50

【 17 A 】

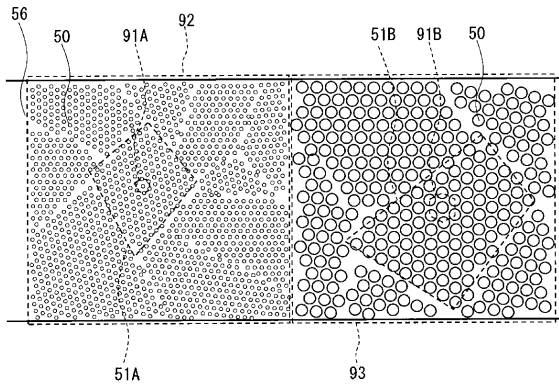


【 17 B 】

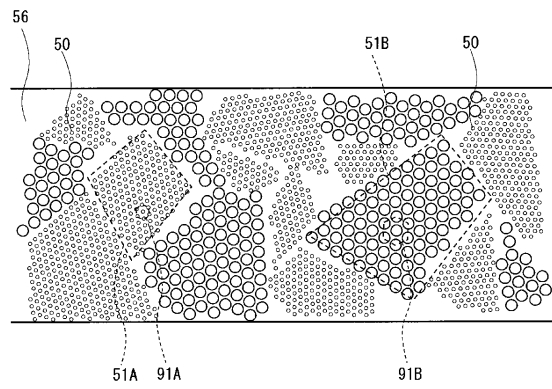


10

【 18 】



【 19 】



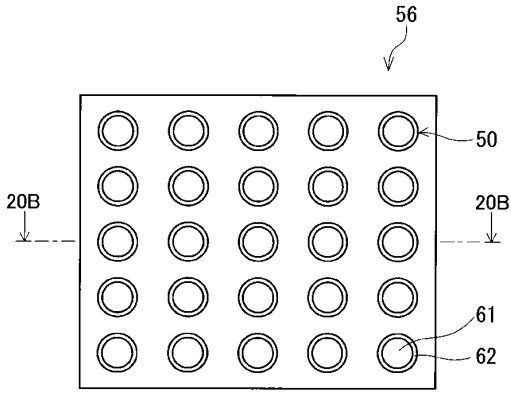
20

30

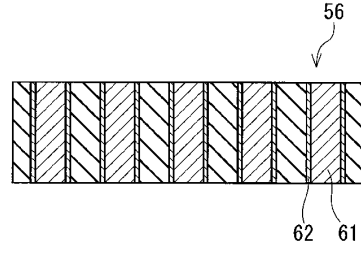
40

50

【図 20 A】

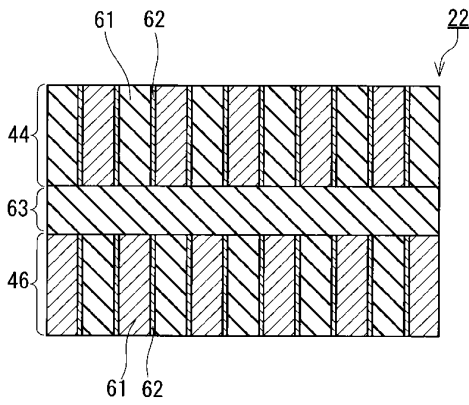


【図 20 B】

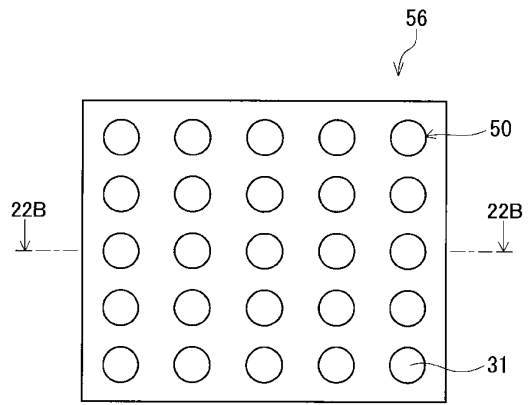


10

【図 21】



【図 22 A】



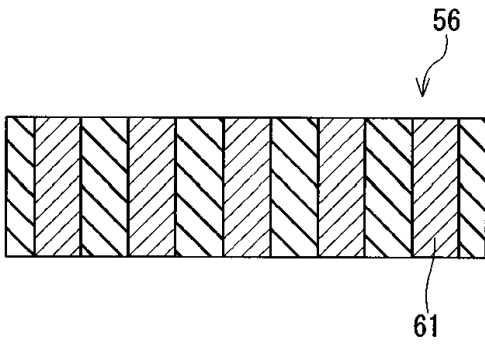
20

30

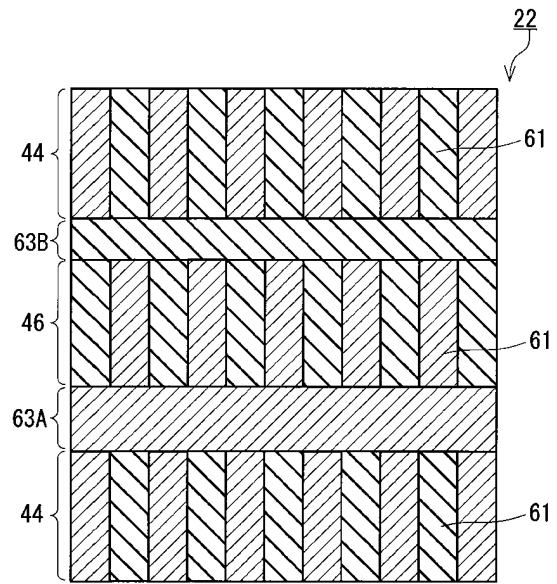
40

50

【 2 2 B 】



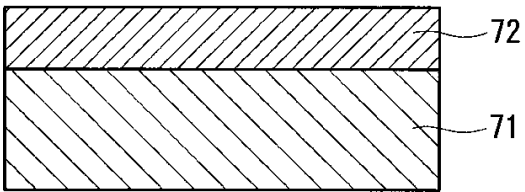
【 2 3 】



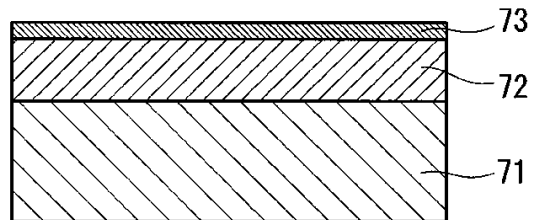
10

20

【 2 4 A 】



【 2 4 B 】

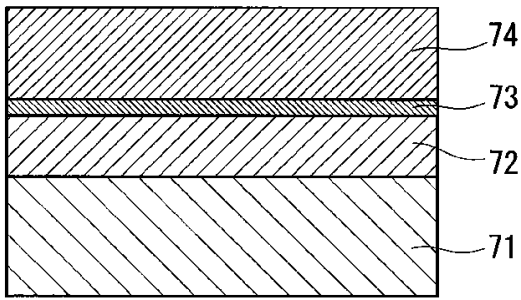


30

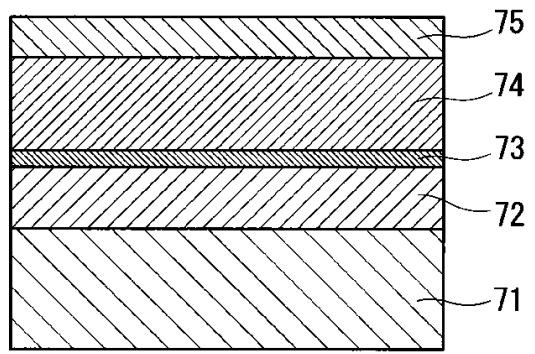
40

50

【図 2 4 C】

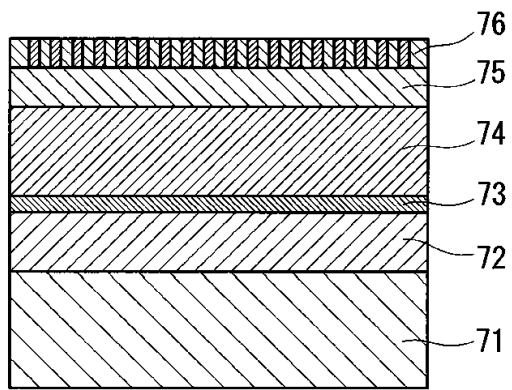


【図 2 4 D】

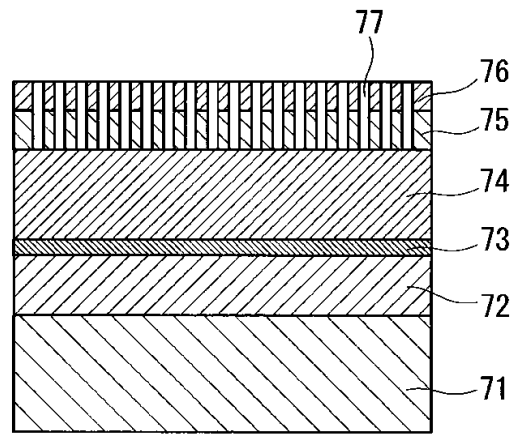


10

【図 2 4 E】



【図 2 4 F】



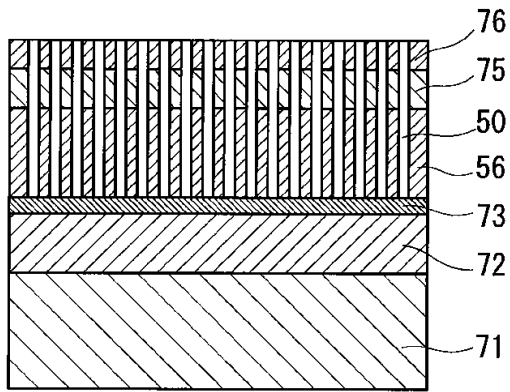
20

30

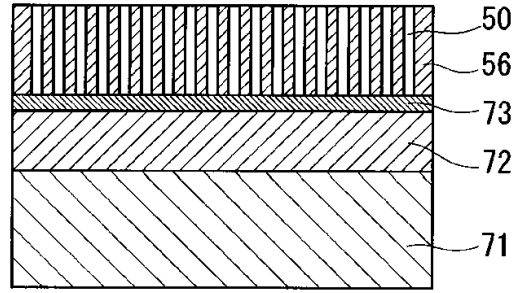
40

50

【図 24 G】

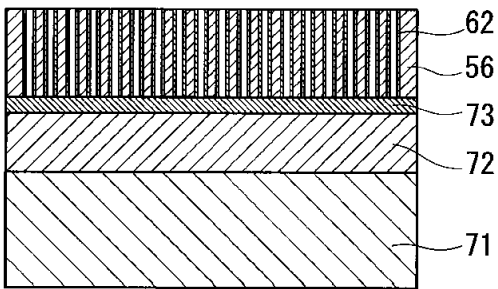


【図 24 H】

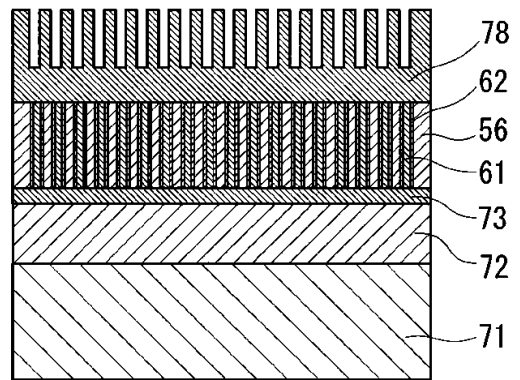


10

【図 24 I】



【図 24 J】



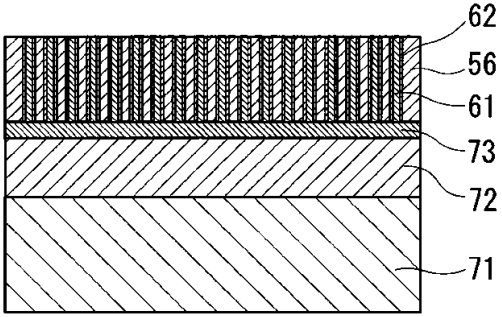
20

30

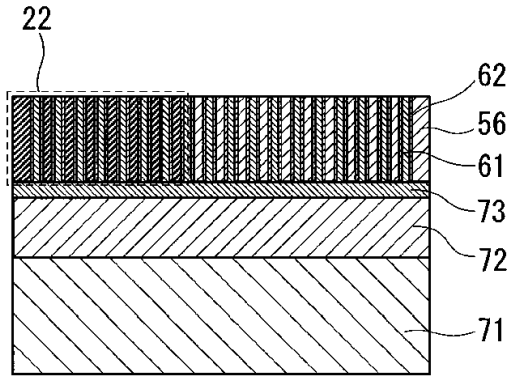
40

50

【図 24 K】

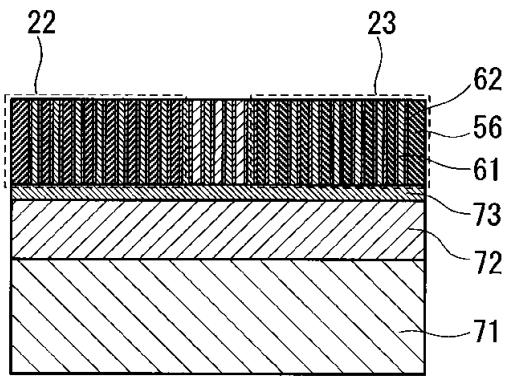


【図 24 L】

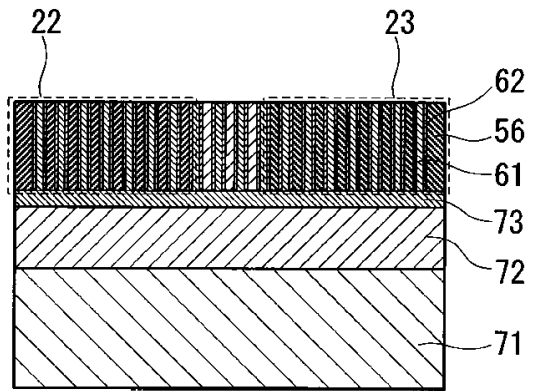


10

【図 24 M】



【図 24 N】



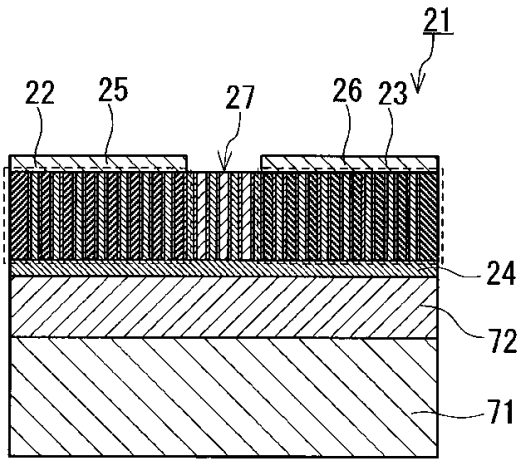
20

30

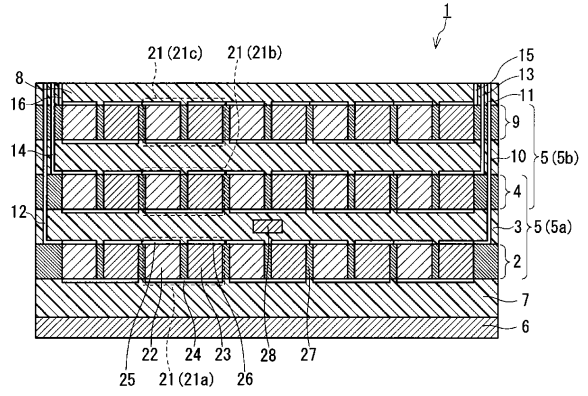
40

50

【図240】

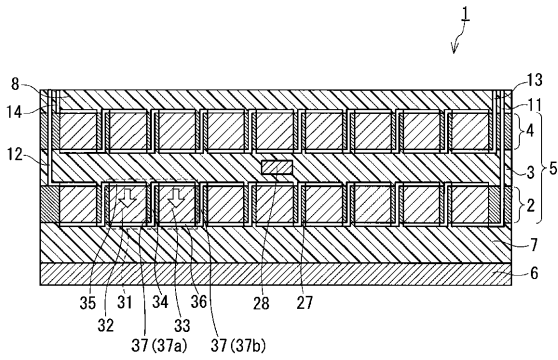


【図25】

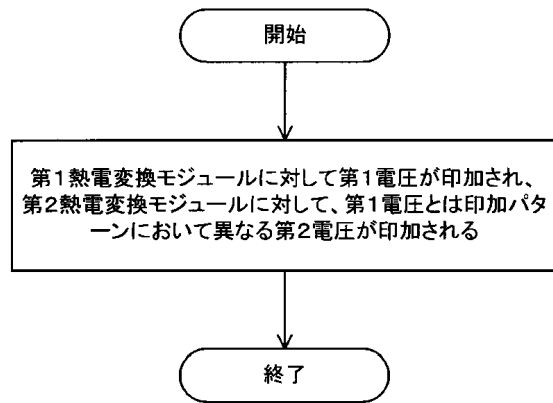


10

【図26】



【図27】



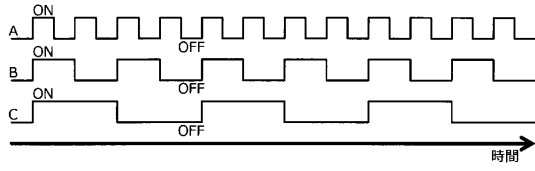
20

30

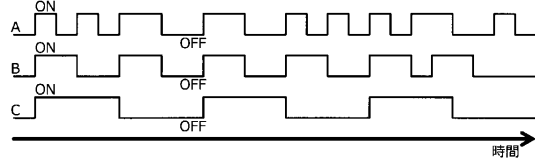
40

50

【 28 】



【 29 】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

- (72)発明者 反保 尚基  
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 中村 邦彦  
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 内藤 康幸  
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- 審査官 田邊 顕人
- (56)参考文献 特開2003-078177(JP,A)  
米国特許出願公開第2014/0373888(US,A1)  
特開2017-152691(JP,A)  
特開平07-058416(JP,A)  
特表2014-503996(JP,A)  
特開2003-179204(JP,A)  
米国特許出願公開第2013/0218241(US,A1)  
特開2017-223644(JP,A)  
特開2019-105624(JP,A)  
国際公開第2017/057237(WO,A1)  
特開2014-166610(JP,A)  
特表2014-501031(JP,A)  
特開昭62-188292(JP,A)  
特開2011-060851(JP,A)  
特表2020-511792(JP,A)  
米国特許出願公開第2018/0261748(US,A1)  
特開2013-065801(JP,A)  
特開平03-006082(JP,A)  
特表2019-523391(JP,A)  
特表2019-506111(JP,A)  
特表2017-510992(JP,A)  
特表2015-530743(JP,A)  
米国特許出願公開第2013/0019918(US,A1)  
特表2017-527752(JP,A)  
米国特許出願公開第2016/0093420(US,A1)  
米国特許第08508370(US,B1)  
米国特許出願公開第2017/0047499(US,A1)  
米国特許出願公開第2017/0069818(US,A1)  
国際公開第2011/048634(WO,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H10N 10/857  
H10N 10/17