

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2021年4月29日(29.04.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/079733 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 35/26 (2006.01) H02N 11/00 (2006.01)
H01L 35/32 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/037791
- (22) 国際出願日: 2020年10月6日(06.10.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2019-194772 2019年10月25日(25.10.2019) JP
- (71) 出願人: パナソニックIPマネジメント株式会社(PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5406207

大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号 Osaka (JP).

(72) 発明者: 藤金正樹(FUJIKANE Masaki). 高橋宏平(TAKAHASHI Kouhei). 反保尚基(TAMBO Naoki). 中村邦彦(NAKAMURA Kunihiko). 内藤康幸(NAITO Yasuyuki).

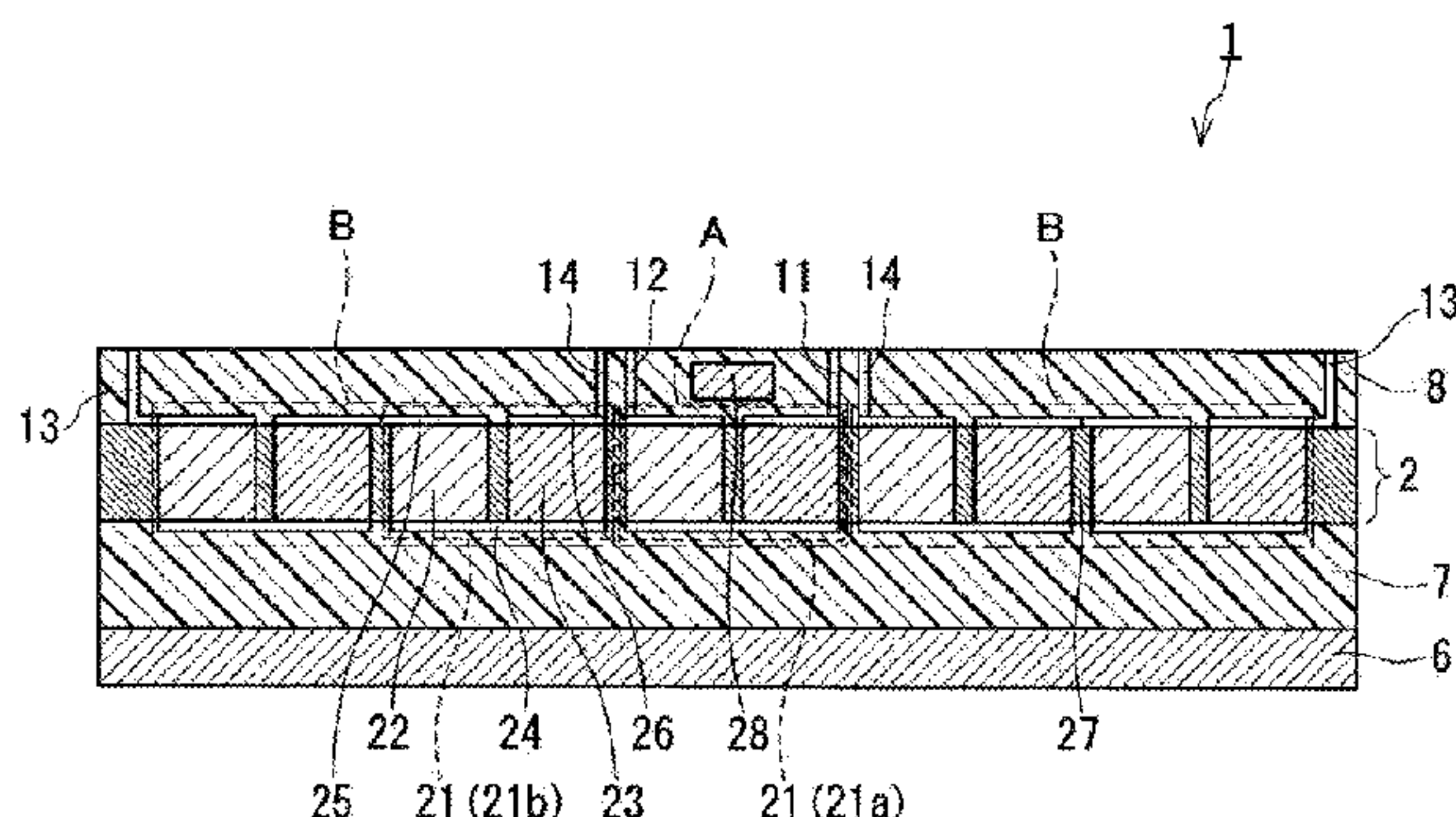
(74) 代理人: 鎌田 健司, 外(KAMATA Kenji et al.); 〒5406207 大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号 パナソニックIPマネジメント株式会社内 Osaka (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,

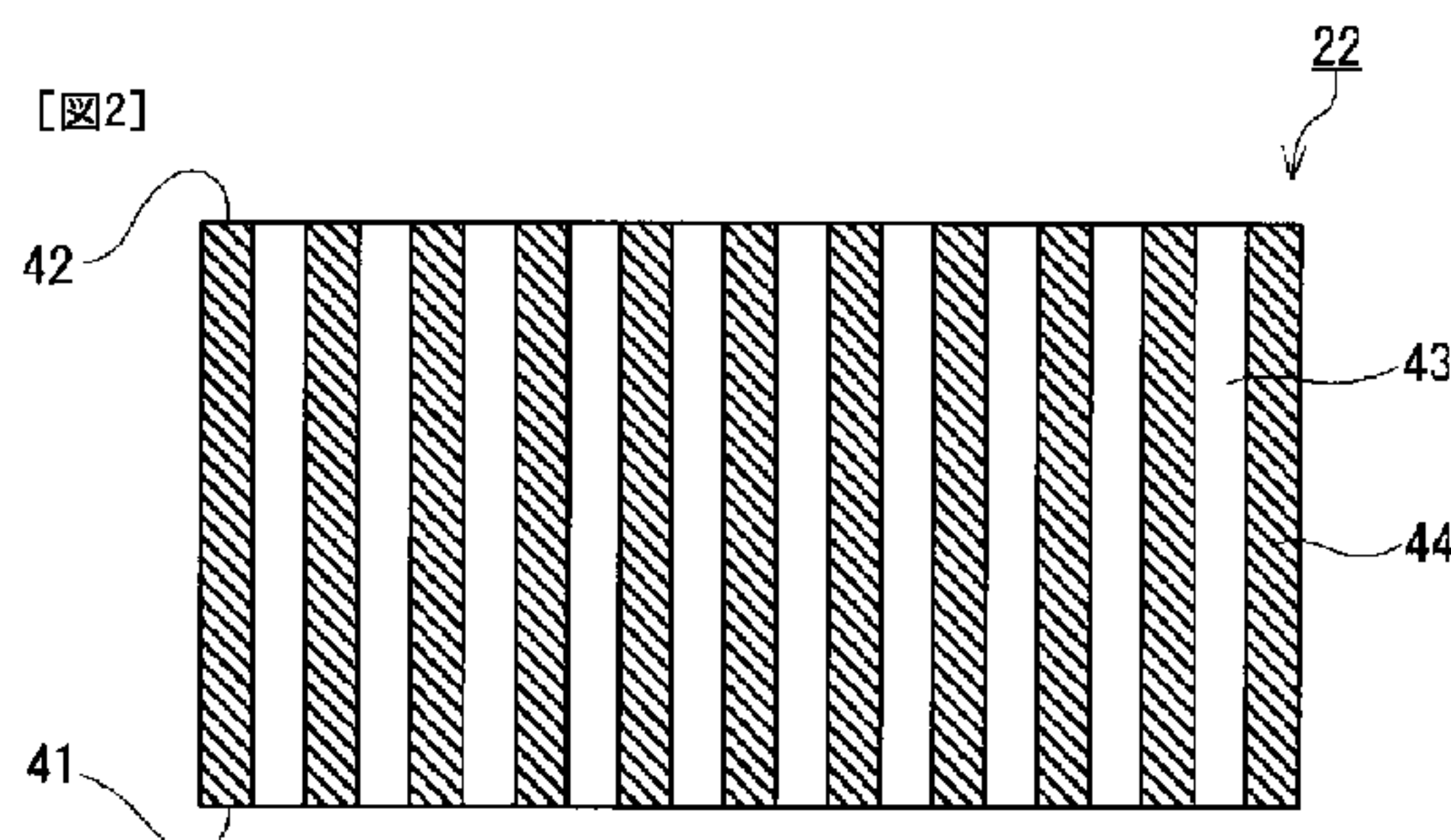
(54) Title: THERMOELECTRIC CONVERSION DEVICE, METHOD FOR CONTROLLING THERMOELECTRIC CONVERSION DEVICE, METHOD FOR COOLING AND/OR HEATING OBJECT BY USING THERMOELECTRIC CONVERSION DEVICE, AND ELECTRONIC DEVICE

(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

[図1B]



[図2]



(57) Abstract: A thermoelectric conversion device equipped with an insulating layer and a thermoelectric conversion module provided on the insulating layer, wherein: the thermoelectric conversion module is provided with a first thermoelectric conversion region and a second thermoelectric conversion region; the first (2) thermoelectric conversion region is provided with one or more thermoelectric conversion elements, a first (3) connecting electrode and a second (4) connecting electrode; the thermoelectric conversion elements of the first (2) thermoelectric conversion region are electrically connected to the first (3) connecting electrode and to the second (4) connecting electrode, and are positioned on an electrical path which connects both connecting electrodes; each of the thermoelectric conversion elements is provided with a thermoelectric conversion unit; the thermoelectric conversion units of the one or more thermoelectric conversion elements are equipped with a phononic crystal layer which has a phononic crystal structure provided with a plurality of regularly arranged through holes; and the pass-through direction of the plurality of through holes in said crystal structure is substantially parallel to a direction perpendicular to

EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

the principal surface of the insulating layer.

(57) 要約: 絶縁層及び絶縁層上の熱電変換モジュールを備え、熱電変換モジュールは第1熱電変換領域及び第2熱電変換領域を備え、第1(2)熱電変換領域は、1又は2以上の熱電変換素子と第1(3)接続電極及び第2(4)接続電極とを備え、第1(2)熱電変換領域の熱電変換素子は、第1(3)接続電極及び第2(4)接続電極と電氣的に接続され、かつ双方の接続電極を結ぶ電氣的な経路上に位置し、各々の熱電変換素子は熱電変換部を備え、少なくとも1つの熱電変換素子の熱電変換部は、規則的に配列した複数の貫通孔を備え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、上記結晶構造における複数の貫通孔の貫通方向は、絶縁層の主面に垂直な方向と略平行である。

明 細 書

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

技術分野

[0001] 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

[0002] 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、フォノンニック結晶構造の一種である。このタイプのフォノンニック結晶構造は、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。当該フォノンニック結晶構造によれば、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、フォノンニック結晶構造によれば、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。

[0003] 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

[0004] 特許文献1：米国特許出願公開第2017／0047499号明細書

特許文献2：米国特許出願公開第2017／0069818号明細書

特許文献3：国際公開第2011／048634号

非特許文献

[0005] 非特許文献1：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

[0006] 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。

課題を解決するための手段

[0007] 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、

絶縁層；及び

前記絶縁層上に設けられた熱電変換モジュール、を具備し、

ここで、

前記熱電変換モジュールは、第1熱電変換領域及び第2熱電変換領域を具備し、

前記第1熱電変換領域は、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熱電変換領域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熱電変換領域は、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熱電変換領域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、

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、前記絶縁層の主面に垂直な方向と略平行である。

発明の効果

[0008] 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

[0009] [図1A]図1 Aは、本開示の熱電変換装置の一例を模式的に示す平面図である。

[図1B]図1 Bは、図1 Aの熱電変換装置の断面1 B－1 Bを示す断面図である。

[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6A]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6B]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。

[図6C]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6D]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8A]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8B]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。

[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 1 0 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 1 1 は、図 1 0 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 1 2 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 1 3 は、図 1 2 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 1 4 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。

[図15]図 1 5 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 1 6 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17A]図 1 7 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17B]図 1 7 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 1 8 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19]図 1 9 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20A]図 2 0 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20B]図 2 0 B は、図 2 0 A のフォノンニック結晶層の断面 2 0 B – 2 0 B を示す断面図である。

[図21]図 2 1 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22A]図 2 2 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。

[図22B]図 2 2 B は、図 2 2 A のフォノンニック結晶層の断面 2 2 B – 2 2 B を示す断面図である。

[図23]図 2 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上記とは別の一例を模式的に示す断面図である。

[図24A]図 2 4 A は、本開示の熱電変換装置が備えう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24B]図 2 4 B は、本開示の熱電変換装置が備えう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24C]図 2 4 C は、本開示の熱電変換装置が備えう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24D]図 2 4 D は、本開示の熱電変換装置が備えう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24E]図 2 4 E は、本開示の熱電変換装置が備えう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24F]図24F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24G]図24G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24H]図24H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24I]図24I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24J]図24J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24K]図24K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24L]図24L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24M]図24M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24N]図24N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24O]図24O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25A]図25Aは、本開示の熱電変換装置の別の一例を模式的に示す平面図である。

[図25B]図25Bは、図25Aの熱電変換装置の断面25B-25Bを示す断面図である。

[図25C]図25Cは、図25Aの熱電変換装置の断面25C-25Cを示す断面図である。

[図26A]図26A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26B]図26Bは、図26Aの熱電変換装置の断面26B-26Bを示す断面図である。

[図27]図27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28]図28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29]図29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。

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、複数の熱電変換領域を備える熱電変換モジュールを備える。各々の熱電変換領域は、各領域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領域と、対象物からより離れた熱電変換領域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] これに加えて、本開示の熱電変換装置は、フォノンニック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、熱電変換モジュール及び熱電変換装置の厚さ方向及び面内方向の双方の方向の断熱性能、を高めることができる。厚さ方向に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。面内方向に高められた断熱性能は、複数の熱電変換領域を独立して制御する際の各領域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。

[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 A 及び図 1 B に示される。図 1 B は、図 1 A の熱電変換装置 1 の断面 1 B－1 B を示す。図 1 A 及び図 1 B の熱電変換装置 1 は、絶縁層 7 及び熱電変換モジュール 2 を備える。熱電変換モジュール 2 は、絶縁層 7 上に設けられている。熱電変換モジュール 2 は層状である。熱電変換モジュール 2 は、第 1 熱電変換領域 A 及び第 2 熱電変換領域 B を備える。第 1 熱電変換領域 A は、絶縁層 7 の主面に垂直な方向 X から見て、正方形である。第 2 熱電変換領域 B は、方向 X から見て、正方形の外形を有し、かつ、第 1 熱電変換領域 A を囲んでいる。方向 X は、熱電変換装置 1 の厚さ方向でもあり、熱電変換モジュール 2 の厚さ方向でもある。第 1 熱電変換領域 A と第 2 熱電変換領域 B とは、互いに隣接している。第 1 熱電変換領域 A と第 2 熱電変換領域 B とは、同一の層にある。ただし、本開示の熱電変換装置において熱電変換モジュールが備える熱電変換領域の配置の態様及び方向 X から見た形状は、上記例に限定されない。

[0014] 第 1 熱電変換領域 A は、1 又は 2 以上の熱電変換素子 2 1（2 1 a）と、第 1 接続電極 1 1 及び第 2 接続電極 1 2 とを備える。第 1 熱電変換領域 A の熱電変換素子 2 1 a は、第 1 接続電極 1 1 及び第 2 接続電極 1 2 と電氣的に接続されている。熱電変換素子 2 1 a は、第 1 接続電極 1 1 と第 2 接続電極 1 2 とを結ぶ電氣的な経路上に位置する。第 1 熱電変換領域 A が 2 以上の熱電変換素子 2 1 a を備える場合、個々の熱電変換素子 2 1 a と第 1 接続電極 1 1 又は第 2 接続電極 1 2 との電氣的な接続は、直接的な接続であっても、他の熱電変換素子 2 1 a を介した間接的な接続であってもよい。2 以上の熱電変換素子 2 1 a は、第 1 接続電極 1 1 と第 2 接続電極 1 2 との間において

、電氣的に直列に互いに接続されていてもよい。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熱電変換領域A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。

[0015] 第2熱電変換領域Bは、1又は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熱電変換領域B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。図1A及び図1Bの例におけ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1A及び図1B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14を介した電圧の印加により、熱電変換素子21b及び第2熱電変換領域B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熱電変換領域A及び第2熱電変換領域B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。

[0017] 第1熱電変換領域Aと第2熱電変換領域B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1A及び図1Bの例では、第1接続電極11、第2接続電極12、第3

接続電極 1 3 及び第 4 接続電極 1 4 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 1 1 及び第 2 接続電極 1 2 の間に印加する電圧と、第 3 接続電極 1 3 及び第 4 接続電極 1 4 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 熱電変換領域 A 及び第 2 熱電変換領域 B の独立した制御が可能となる。例えば、第 1 熱電変換領域 A に対して第 1 電圧が印加され、第 2 熱電変換領域 B 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 A 及び図 1 B の熱電変換装置 1 は、基板（基層）6 及び保護層 8 を更に備える。保護層 8 は、熱電変換モジュール 2 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、絶縁層 7、熱電変換モジュール 2 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 1 1、第 2 接続電極 1 2、第 3 接続電極 1 3 及び第 4 接続電極 1 4 は、保護層 8 を貫いて方向 X 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 熱電変換領域 A 及び第 2 熱電変換領域 B 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 2 1 は、熱電変換部である p 型熱電変換部 2 2 及び n 型熱電変換部 2 3、並びに第 1 電極 2 4、第 2 電極 2 5 及び第 3 電極 2 6 を備える。p 型熱電変換部 2 2 の一方の端部と、n 型熱電変換部 2 3 の一方の端部とは、第 1 電極 2 4 を介して電氣的に接続されている。p 型熱電変換部 2 2 の他方の端部は、第 2 電極 2 5 と電氣的に接続されている。n 型熱電変換部 2 3 の他方の端部は、第 3 電極 2 6 と電氣的に接続されている。第 2 電極 2 5 及び第 3 電極 2 6 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 2 5 及び第 3 電極 2 6 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 2 5 及び第 3 電

極 2 6 を介して熱電変換素子 2 1 に電圧が印加可能である。隣接する熱電変換素子 2 1 の間で、第 2 電極 2 5 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領域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 2 1 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、方向 X である。言い換えると、熱電変換素子 2 1 及び熱電変換装置 1 における熱流の制御方向は、通常、方向 X である。なお、図 1 A 及び図 1 B の熱電変換素子 2 1 では p 型熱電変換部 2 2 と n 型熱電変換部 2 3 との間に絶縁部 2 7 が配置されており、この配置により、双方の熱電変換部 2 2, 2 3 の間の電氣的な絶縁が保たれている。

[0022] 熱電変換素子 2 1 の p 型熱電変換部 2 2 及び／又は n 型熱電変換部 2 3、典型的には p 型熱電変換部 2 2 及び n 型熱電変換部 2 3、は、フォノンニック結晶層を備える。フォノンニック結晶層は、規則的に配列した複数の貫通孔を具備する。フォノンニック結晶構造における複数の貫通孔の貫通方向は、絶縁層 7 の主面に垂直な方向 X と略平行である。フォノンニック結晶層は、例えば、後述の第 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 がフォノンニック結晶層を備える。ただし、全ての熱電変換素子 2 1 がフォノンニック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。

[0023] 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。上記フォノンニック結晶構造によれば、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、フォノンニック結晶構造によれば、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、フォノンニック結晶構造によるフォノンニックバンドギャップ（P B G）の形成は、材料の熱伝導率を大きく低減させうる。P B G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P B Gは、熱伝導のギャップとなりうる。また、P B G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P B G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。

[0024] <フォノンニック結晶構造>

熱電変換部としてp型熱電変換部22を例示しながら、熱電変換素子21の熱電変換部が有しうるフォノンニック結晶構造を説明する。n型熱電変換部23も、以下に説明するフォノンニック結晶構造を有しうる。

[0025] p型熱電変換部22の一例が図2に示される。図2のp型熱電変換部22は、規則的に配列した複数の第1貫通孔43を具備する第1フォノンニック結晶構造を有する第1フォノンニック結晶層44を備える。図2のp型熱電変換部22は、第1フォノンニック結晶層44の単層構造体である。第1フォノンニック結晶構造及び第1フォノンニック結晶層44における複数の第1貫通孔43の貫通方向は、p型熱電変換部22における一方の端部41と他方の端部42とを結ぶ方向である。一方の端部41には、第1電極24が配置される。他方の端部42には、第2電極25が配置される。当該方向は、p型熱電変換部22における第1電極24との接続面及び第2電極25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。

[0026] p型熱電変換部22の別の一例が図3に示される。図3のp型熱電変換部

22は、第1フォノンニック結晶層44に加えて、規則的に配列した複数の第2貫通孔45を具備する第2フォノンニック結晶構造を有する第2フォノンニック結晶層46をさらに備える。第1フォノンニック結晶層44と第2フォノンニック結晶層46とは、p型熱電変換部22における一方の端部41と他方の端部42とを結ぶ方向に積層されている。また、第1フォノンニック結晶層44と第2フォノンニック結晶層46とは、方向Xに積層されている。第1フォノンニック結晶構造及び第1フォノンニック結晶層44における複数の第1貫通孔43の貫通方向と、第2フォノンニック結晶構造及び第2フォノンニック結晶層46における複数の第2貫通孔45の貫通方向とは、略平行である。図3のp型熱電変換部22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の積層構造体である。第1フォノンニック結晶層44と第2フォノンニック結晶層46とは、互いに接している。

[0027] PBGの分布は立体的であり、フォノンニック結晶層では、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、「フォノン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22では、少なくとも2層のフォノン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22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。

[0028] 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の厚さは、例えば、10nm以上500nm以下である。p型熱電変換部22が2以上のフォノンニック結晶層を備える場合、各フォノン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。

[0029] p型熱電変換部22が備えるフォノンニック結晶層の数は、限定されない。p型熱電変換部22が2以上のフォノンニック結晶層を備える場合、各フォノンニック結晶層は、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、SiO₂等の酸化膜、後述のバッファ層である。

[0030] 図3のp型熱電変換部22を第1フォノンニック結晶層44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22を第2フォノンニック結晶層46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22において、第1フォノンニック結晶層44が有する第1フォノンニック結晶構造の構成と、第2フォノンニック結晶層46が有する第2フォノン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とが異なっている。第1フォノンニック結晶構造の構成と第2フォノンニック結晶構造の構成とが異なる場合、通常、第2貫通孔45の少なくとも一部は第1貫通孔43と連通していない。ただし、2以上のフォノンニック結晶層を備えるp型熱電変換部22において、各フォノンニック結晶層の構成は同一であってもよい。

[0031] 貫通孔43、45の長さに相当するフォノンニック結晶層44、46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、フォノンニック結晶層44、46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、フォノンニック結晶層44、46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ンニック結晶層の「上面」及び「下面」とは、それぞれ、フォノン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。フォノンニック結晶層44、46の厚さの上限は、例えば、貫通孔の直径の100倍以下であり、80倍以下、60倍以下、50倍以下であってもよい。

[0032] 各フォノンニック結晶層44、46の体積に対する、各フォノンニック結晶層44、46に含まれる貫通孔43、45の体積の合計の割合、言い換えるとフォノンニック結晶層の空隙率、は、10%以上であってもよい。この場合、貫通孔43、45を除くフォノンニック結晶層44、46の体積の低減が可能となり、PBGの効果を向上できる。これにより、フォノンニック結晶層44、46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。フォノンニック結晶層44、46の空隙率の上限は、例えば、90%以下であ

り、70%以下、50%以下、40%以下であってもよい。

[0033] 第1フォノンニック結晶構造の構成と第2フォノン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されていてもよい。

- ・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] 後述のフォノンニック結晶構造Aに示すように、第1フォノンニック結晶構造における第1貫通孔43の配列、及び第2フォノンニック結晶構造における第2貫通孔45の配列は、フォノンニック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フォノンニック結晶構造の構成と第2フォノンニック結晶構造の構成とが異なる場合として、以下の各形態を有する。p型熱電変換部22は、以下の各形態が任意に組み合わされた形態を有していてもよい。

[0035] 形態A：第1フォノンニック結晶構造が、フォノンニック結晶領域であるドメインAを含む。第2フォノンニック結晶構造が、フォノンニック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フォノンニック結晶構造が、フォノンニック結晶領域であるドメインAを含む。第2フォノンニック結晶構造が、フォノンニック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。

[0037] 形態C：第1フォノンニック結晶構造が、フォノンニック結晶領域であるドメ

インAを含む。第2フォノンニック結晶構造が、フォノンニック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] フォノンニック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。フォノンニック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。

[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、フォノンニック結晶構造が有するドメインの数は限定されない。フォノンニック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、フォノンニック結晶層の全体に広がっていてもよい。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ニック結晶層を視ることを意味する。

[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、 $D/P \geq 0.5$ である。比 $D/P < 0.5$ である場合、フォノンニック結晶構造における空隙率が過度に低下して、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。

[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ニック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ピング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、VO₂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ニック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。

[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。

- ・ 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フォノンニック結晶構造及び第2フォノンニック結晶構造は、以下の形態を有していてもよい。フォノンニック結晶構造は、フォノン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ニック結晶構造を、以下、フォノンニック結晶構造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。

[0047] 本発明者らの検討によれば、フォノンニック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、フォノンニック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は流れる。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。

[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。

[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 5 2 でもある。

[0052] 図 8 A 及び図 8 B 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 5 1 A における単位格子 9 1 A の方位 5 3 A と、第 2 ドメイン 5 1 B における単位格子 9 1 B の方位 5 3 B とが、平面視において、互いに異なっている。方位 5 3 A と方位 5 3 B 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 9 1 A 及び単位格子 9 1 B が同一であって、 n 回回転対称性を有する場合、方位 5 3 A と方位 5 3 B 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 9 1 A, 9 1 B について、方位 5 3 A と方位 5 3 B 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ク結晶領域及び／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 R 1 の拡大図が、図 9 に示される。隣接する第 1 ドメイン 5 1 A と第 2 ドメイン 5 1 B との界面 5 5 において、単位格子 9 1 A, 9 1 B の方位 5 3 A, 5 3 B が変化している。単位格子の方位が変化する界面 5 5 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。

[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。

[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。

[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。

[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のフォノンニック結晶構造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のフォノンニック結晶構造Aは、フォノンニック結晶層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、フォノンニック結晶層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。

[0066] 図15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、フォノンニック結晶層 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、 $25P^2$ 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。

[0067] 図 16 のフォノンニック結晶構造 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、フォノンニック結晶構造 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 のフォノンニック結晶構造 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、フォノンニック結晶層 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] フォノンニック結晶構造 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 を含んでいてもよい。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。

[0070] 図18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50が規則的に配列した第1ドメイン51A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50が規則的に配列した第2ドメイン51Bとを有する。また、図18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50を具備する領域92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50を具備する領域93とを有する。領域92と領域93とは隣接している。領域92及び領域93は、それぞれ、図16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92及び領域93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51Aで形成されるPBGの周波数帯域と第2ドメイン51Bで形成されるPBG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。

[0071] 図19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50が規則的に配列した第1ドメイン51A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50が規則的に配列した第2ドメイン51Bとを含む。図19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51Aで形成されるPBGの周波数帯域と第2ドメイン51Bで形成されるPBG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。

[0072] フォノンニック結晶層56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56の形状は、上記例に限定されない。

[0073] 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。

[0074] 熱電変換部は、2以上の第1フォノンニック結晶層44及び／又は2以上の第2フォノンニック結晶層46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。

[0075] フォノンニック結晶層56の上記とは別の一例が、図20A及び図20Bに示される。図20Bには、図20Aのフォノンニック結晶層56の断面20B-20Bが示される。図20A及び図20Bに示されるフォノンニック結晶層56は、複数のピラー61を更に備える。ピラー61は、直線状に延びる柱状体である。ピラー61の各々は、フォノンニック結晶層56の貫通孔50に充填されている。ピラー61の周面は、酸化膜62により被覆されている。この形態では、空孔である貫通孔50がピラー61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56における貫通孔50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56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41と他方の端部42との間の電子伝導性の向上が可能となる。

[0076] ピラー61が充填されたフォノンニック結晶層56と、ピラー61とが同一の材料により構成される場合、ピラー61の周面は酸化膜62により被覆されている。ピラー61が充填されたフォノンニック結晶層56と、ピラー61とが異なる材料により構成される場合、酸化膜62は必ずしも必要ではない。

[0077] ピラー61をさらに備えるフォノンニック結晶層56は、例えば、第1フォノンニック結晶層44及び／又は第2フォノンニック結晶層46である。ピラー

61は、第1貫通孔43及び第2貫通孔45の双方に充填されていてもよい。

[0078] ピラー61は、典型的には、半導体材料により構成される。ピラー61を構成する材料は、例えば、Si、SiGe、SiC、TiN、SiN、VO₂である。ただし、ピラー61を構成する材料は、上記例に限定されない。

[0079] 酸化膜62は、例えば、SiO₂膜である。ただし、酸化膜62は、上記例に限定されない。

[0080] ピラー61が充填された第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を備えるp型熱電変換部22の一例が図21に示される。図21のp型熱電変換部22は、図20A及び図20Bに示されるフォノンニック結晶層56を、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として備える。図21のp型熱電変換部22は、2つのフォノンニック結晶層56を備える2層構造体である。第1フォノンニック結晶層44と第2フォノンニック結晶層46との間には、バッファ層63が配置されている。第1フォノンニック結晶層44におけるピラー61（酸化膜62を除く）を構成する材料と、バッファ層63を構成する材料とは同一である。また、バッファ層63を構成する材料と、第2フォノンニック結晶層46を構成する材料（ピラー61及び酸化膜62を除く）とは同一である。

[0081] フォノンニック結晶層56の上記とは別の一例が、図22A及び図22Bに示される。図22Bには、図22Aのフォノンニック結晶層56の断面22B-22Bが示される。図22A及び図22Bに示されるフォノンニック結晶層56は、複数のピラー61を更に備える。ピラー61の各々は、フォノンニック結晶層56の貫通孔50に充填されている。ピラー61を構成する材料は、フォノンニック結晶層56を構成する材料とは異なっている。

[0082] ピラー61が充填された第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を備えるp型熱電変換部22の一例が図23に示される。図23のp型熱電変換部22は、第1フォノンニック結晶層44、第2フォノンニック結晶層46及び第1フォノンニック結晶層44がこの順に配置された、3つ

のフォノンニック結晶層 5 6 を有する 3 層構造体である。最下層である第 1 フォノンニック結晶層 4 4 と第 2 フォノンニック結晶層 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 フォノンニック結晶層 4 6 と最上層である第 1 フォノンニック結晶層 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 フォノンニック結晶層 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 フォノンニック結晶層 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 フォノンニック結晶層 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 フォノンニック結晶層 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。

[0083] 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（C r）、アルミニウム（A l）、金（A u）、銀（A g）、銅（C u）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 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、フォノンニック結晶層を備えていてもよい。当該フォノンニック結晶層における複数の貫通孔の貫通方向は、方向 X 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、S i である。基板 6 は、S i ウェハであってもよい。S i 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、S i O₂ 膜である。酸化膜は、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ンニック結晶層を備えていてもよい。当該フォノンニック結晶層における複数の貫通孔の貫通方向は、方向 X と略平行であってもよい。

[0085] 絶縁層 7 は、基板 6 と熱電変換モジュール 2 との間の電氣的な絶縁を保持する層として機能しうる。絶縁層 7 及び絶縁部 27 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、SiO₂ 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。絶縁層 7 及び絶縁部 27 から選ばれる少なくとも 1 つが、フォノンニック結晶層を備えていてもよい。当該フォノンニック結晶層における複数の貫通孔の貫通方向は、方向 X と略平行であってもよい。

[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。保護層 8 は、絶縁層であってもよい。熱電変換モジュール 2 は、一对の絶縁層により挟持された部材でありうる。絶縁材料の例は、上述のとおりである。保護層 8 は、フォノンニック結晶層を備えていてもよい。当該フォノンニック結晶層における複数の貫通孔の貫通方向は、方向 X と略平行であってもよい。

[0087] 熱電変換素子 21 の熱電変換部以外の部材もフォノン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更に低減可能となる。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更に向上可能となる。

[0088] なお、面内方向の熱伝導率の低減によれば、例えば、熱電変換領域 A に接するように熱源が配置された場合においても、熱源と接しない熱電変換領域 B の温度を低く、有利な態様としては更に一定に、保持することができる。また、これにより、熱電変換領域 B 上及び／又は熱電変換領域 A から更に離れた位置に、熱の影響を受けやすい部材、例えば集積回路及び／又は集積回路装置、が配置可能となる。

[0089] 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熱電変換領域A及び／又は第2熱電変換領域B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1A及び図1Bの熱電変換装置1は、保護層8の内部に温度検出モジュール28を備えている。温度検出モジュール28は、方向Xに見て、熱電変換装置1の中央に位置する。ただし、温度検出モジュール28の位置は、上記例に限定されない。温度検出モジュール28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。

[0090] 熱電変換装置1は、第1熱電変換領域A及び／又は第2熱電変換領域B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熱電変換領域A及び／又は第2熱電変換領域B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28とが接続されていてもよい。

[0091] 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。本開示の熱電変換装置は、2以上の熱電変換モジュールを備えていてもよい。2以上の熱電変換モジュールは、更なる絶縁層を挟んで、方向Xに積層されていてもよい。2以上の熱電変換モジュールから選ばれる少なくとも1つの熱電変換モジュールが、上述した熱電変換モジュール2であればよい。

[0092] 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。

[0093] 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。

[0094] <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。

[0095] フォノンニック結晶層を備える熱電変換素子 21 を製造する方法の一例が、図 24A～図 24O の参照により、以下に説明される。熱電変換装置 1 が備え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。

[0096] 図 24A：基板 71 が準備される。基板 71 の上面には、酸化膜 72 が設けられている。酸化膜 72 は、例えば、SiO₂膜である。

[0097] 図 24B：酸化膜 72 の上に、金属層 73 が形成される。金属層 73 は、後に、第 1 電極 24 となる。金属層 73 は、例えば、Cr 層である。金属層 73 は、例えば、スパッタリングにより形成される。金属層 73 の厚さは、例えば 50 nm である。

[0098] 図 24C：金属層 73 の上に、半導体層 74 が形成される。半導体層 74 は、例えば、多結晶 Si 層である。半導体層 74 は、例えば、CVD により形成される。半導体層 74 の厚さは、例えば 200 nm である。

[0099] 図 24D：半導体層 74 の上に、ハードマスク 75 が形成される。ハードマスク 75 は、例えば、SiO₂層である。ハードマスク 75 は、例えば、CVD により形成される。ハードマスク 75 の厚さは、例えば、30 nm である。ハードマスク 75 は、半導体層 74 に対するフォノンニック結晶構造の形

成に使用される。

- [0100] 図24E：ハードマスク75の上に、ブロック共重合体の自己組織化膜76が形成される。自己組織化膜76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。
- [0101] 図24F：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77がハードマスク75に形成される。
- [0102] 図24G：ハードマスク75をレジストとする選択的エッチングによって、半導体層74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。
- [0103] 図24H：ハードマスク75及び自己組織化膜76が除去される。
- [0104] 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_2 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、1 nmである。
- [0105] 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。
- [0106] 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。
- [0107] 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。
- [0108] 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

ープされて、 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。

[0109] 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。

[0110] 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、A1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。

[0111] （第2実施形態）

第2実施形態の熱電変換装置を図25A、図25B及び図25Cに示す。図25Bは、図25Aの熱電変換装置1の断面25B-25Bを示す断面図である。断面25B-25Bは、第1熱電変換領域A及び第2熱電変換領域Bを含む。図25Cは、図25Aの熱電変換装置1の断面25C-25Cを示す断面図である。断面25C-25Cは、第2熱電変換領域B及び第3熱電変換領域Cを含む。第2実施形態の熱電変換装置1は、熱電変換モジュール2が第3熱電変換領域Cを更に備える以外は、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1熱電変換領域Aは、絶縁層7の主面に垂直な方向Xから見て、正方形である。熱電変換モジュール2は、4つの第2熱電変換領域Bを備える。各々の第2熱電変換領域Bは、方向Xから見て、長方形であり、かつ、その短辺は熱電変換領域Aの一辺に接している。第1熱電変換領域Aと各々の第2熱電変換領域Bとは、互いに隣接している。熱電

変換モジュール 2 は、4 つの熱電変換領域 C を備える。各々の第 3 熱電変換領域 C は、方向 X から見て、正方形であり、かつ、その 2 つの辺が、それぞれ、異なる第 2 熱電変換領域 B の長辺に接している。各々の第 2 熱電変換領域 B と各々の熱電変換領域 C とは、互いに隣接している。第 1 熱電変換領域 A の重心と第 3 熱電変換領域 C の重心との間の距離は、第 1 熱電変換領域 A の重心と第 2 熱電変換領域 B の重心との間の距離に比べて大きい。言い換えると、第 3 熱電変換領域 C は、第 2 熱電変換領域 B に比べて、第 1 熱電変換領域 A からより離れた位置にある。第 1 熱電変換領域 A、第 2 熱電変換領域 B 及び第 3 熱電変換領域 C は、同一の層にある。第 1 熱電変換領域 A、第 2 熱電変換領域 B 及び第 3 熱電変換領域 C は、これらの組み合わせにより、方向 X から見て、全体として正方形の熱電変換領域を形成している。第 2 熱電変換領域 B 及び第 3 熱電変換領域 C の組み合わせは、方向 X から見て、第 1 熱電変換領域 A を囲んでいる。ただし、本開示の熱電変換装置において熱電変換モジュールが備える熱電変換領域の数、その配置の態様及び方向 X から見た形状は、上述の例に限定されない。本明細書において「重心」とは、方向 X から見たときの重心を意味する。

- [0112] 第 3 熱電変換領域 C は、2 以上の熱電変換素子 2 1 (2 1 c) と、第 5 接続電極 1 5 及び第 6 接続電極 1 6 とを備える。第 3 熱電変換領域 C の熱電変換素子 2 1 c は、第 5 接続電極 1 5 及び第 6 接続電極 1 6 と電氣的に接続されている。熱電変換素子 2 1 c は、第 3 熱電変換領域 C が備える接続電極 1 5, 1 6 間を結ぶ電氣的な経路上に位置する。接続電極 1 5, 1 6 を介した電圧の印加により、熱電変換素子 2 1 c 及び第 3 熱電変換領域 C 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 熱電変換領域 C は、第 1 熱電変換領域 A 及び／又は第 2 熱電変換領域 B と同様の構造を有する。第 2 実施形態の熱電変換装置 1 では、各熱電変換領域 A, B, C 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領域の数の増加により、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。

[0113] (第3実施形態)

第3実施形態の熱電変換装置を図26A及び図26Bに示す。図26Bは、図26Aの熱電変換装置1の断面26B-26Bを示す断面図である。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 π 型と称される素子である。本開示の熱電変換装置が備える熱電変換素子は、 π 型に限定されない。第3実施形態の熱電変換装置1は、 π 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。

[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、方向X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、方向X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26B

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。

[0115] 図26の熱電変換領域A, B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、方向X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。

[0117] [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27に示される。図27の制御方法は、第1熱電変換領域Aに対して第1電圧が印加され、第2熱電変換領域B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27の制御方法は、熱電変換装置1の熱電変換モジュール2が備える熱電変換領域毎に独立した制御を実施する方法の一種である。熱電変換モジュール2が3以上の熱電変換領域を備える場合、任意の一つの熱電変換領域を第1熱電変換領域Aとして、任意のもう一つの熱電変換領域を第2熱電変換領域Bとして、上記制御が実施可能である。

[0118] 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。

[0119] 熱電変換装置が第1温度検出モジュール28を備える場合、温度検出モジュール28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。

[0120] 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、絶縁層又は熱電変換モジュールに接していてもよい。対象物は、熱電変換モジュールが備える 2 以上の熱電変換領域から選ばれる少なくとも 1 つの熱電変換領域に接していてもよいし、1 つの熱電変換領域のみ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。

[0121] 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。

[0122] 制御 B：熱電変換モジュール 2 が備える熱電変換領域群から選ばれる、対象物により近い熱電変換領域に印加される電圧が、対象物からより離れた熱電変換領域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 の熱電変換領域群は、第 1 熱電変換領域 A 及び第 2 熱電変換領域 B から構成される。実施形態 2 の熱電変換領域群は、第 1 熱電変換領域 A、第 2 熱電変換領域 B 及び第 3 熱電変換領域 C から構成される。ただし、3 以上の熱電変換領域から構成される熱電変換領域群において、いずれの 2 つの熱電変換領域を第 1 熱電変換領域 A 及び第 2 熱電変換領域 B 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。熱電変換領域と対象物との距離は、各々の重心間距離として定めることができる。対象物が熱源である場合、熱電変換領域と対象物との距離は、対象物の温度が最も高くなる点と熱電変換領域の重心との間の距離として定めてもよい。

[0123] 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。

[0124] 制御 B のより具体的な一例が図 28 及び図 29 に示される。図 28 及び図 29 の制御方法は、3 つの熱電変換領域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領域 A に印加される電圧が、対象物からより離れた熱電変換領域 B 及び熱電変換領域 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、熱電変換領域 B に印加される電圧が、熱電変換領域 B に比べて対象物から離れた熱電変換領域 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 2 9 の制御では、熱電変換領域 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 熱電変換領域に対して第 1 電圧が印加され、前記第 2 熱電変換領域に対して前記第 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。

[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。

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、

絶縁層、及び

前記絶縁層上に設けられた熱電変換モジュール、を具備し、

ここで、

前記熱電変換モジュールは、第1熱電変換領域及び第2熱電変換領域を具備し、

前記第1熱電変換領域は、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、

前記第1熱電変換領域の前記少なくとも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熱電変換領域は、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熱電変換領域の前記少なくとも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熱電変換領域の前記少なくとも1つの熱電変換素子および前記第2熱電変換領域の前記少なくとも1つの熱電変換素子の各々は、熱電変換部を具備し、

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、前記絶縁層の主面に垂直な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熱電変換領域の前記少なくとも1つの熱電変換素子は、2以上の熱電変換素子を含む、

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 熱電変換領域の前記少なくとも 1 つの熱電変換素子は、2 以上の熱電変換素子を含む、

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。

[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。

[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 熱電変換領域及び前記第 2 熱電変換領域からなる群から選択される少なくとも 1 つの熱電変換領域の前記少なくとも 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、

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、

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 熱電変換領域及び前記第 2 熱電変換領域からなる群から選択される少なくとも 1 つの熱電変換領域の前記少なくとも 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

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。

[0135] (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 熱電変換領域及び前記第 2 熱電変換領域からなる群から選択される少なくとも 1 つの熱電変換領域の前記少なくとも 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、

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。

[0136] (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、前記絶縁層の主面に垂直な方向に積層されている、

熱電変換装置。

[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 フォノンニック結晶層および前記第 2 フォノンニック結晶層は、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。

[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、

前記フォノンニック結晶構造は、フォノン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。

[0140] (項目 1 3)

項目 1 から 1 0 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、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、前記フォノン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 1 4)

項目 1 3 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ンニック結晶層と、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。

[0142] (項目 1 5)

項目 1 から 1 4 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 1 6)

項目 1 から 1 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 熱電変換領域及び前記第 2 熱電変換領域からなる群から選択される少なくとも 1 つの熱電変換領域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。

[0144] (項目 1 7)

熱電変換装置の制御方法であって、

前記方法は、

項目 1 から 16 のいずれかに記載の熱電変換装置において、

前記第 1 熱電変換領域および前記第 2 熱電変換領域に、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、

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。

[0145] (項目 18)

項目 17 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。

[0146] (項目 19)

項目 17 又は 18 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。

[0147] (項目 20)

項目 19 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。

[0148] (項目 21)

項目 19 又は 20 に記載の制御方法であって、

前記第 1 熱電変換領域及び前記第 2 熱電変換領域から選ばれる、前記対象物により近い熱電変換領域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領域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。

[0149] (項目 22)

項目 17 から 21 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。

[0150] (項目 23)

項目 17 から 22 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。

[0151] (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 熱電変換領域および第 2 熱電変換領域に、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、

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

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 1 6 のいずれか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 熱電変換モジュール
 - 6 基板
 - 7 絶縁層
 - 8 保護層
 - A 第 1 熱電変換領域
 - B 第 2 熱電変換領域
 - 1 1 第 1 接続電極
 - 1 2 第 2 接続電極
 - 1 3 第 3 接続電極
 - 1 4 第 4 接続電極
 - 2 1 熱電変換素子 (π 型)
 - 2 2 p 型熱電変換部
 - 2 3 n 型熱電変換部
 - 2 4 第 1 電極
 - 2 5 第 2 電極
 - 2 6 第 3 電極
 - 2 7 絶縁部
 - 2 8 温度検出モジュール
 - 3 1 熱電変換素子 (ユニレグ型)
 - 3 2, 3 3 熱電変換部
 - 3 4 第 4 電極

- 3 5 第 5 電極
- 3 6 第 6 電極
- 4 3 第 1 貫通孔
- 4 4 第 1 フォノニック結晶層
- 4 5 第 2 貫通孔
- 4 6 第 2 フォノニック結晶層
- 5 0 貫通孔
- 5 1 A 第 1 ドメイン
- 5 1 B 第 2 ドメイン
- 5 2 フォノニック多結晶構造
- 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

請求の範囲

[請求項1]

熱電変換装置であって、

絶縁層；及び

前記絶縁層上に設けられた熱電変換モジュール、を具備し、

ここで、

前記熱電変換モジュールは、第1熱電変換領域及び第2熱電変換領域を具備し、

前記第1熱電変換領域は、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熱電変換領域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熱電変換領域は、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熱電変換領域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、

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、前記絶縁層の主面に垂直な方向と略平行である。

[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熱電変換領域及び／又は前記第2熱電変換領域は、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 熱電変換領域は、2 以上の前記熱電変換素子を備え、
前記第 1 熱電変換領域の前記 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。

(b) 前記第 2 熱電変換領域は、2 以上の前記熱電変換素子を備え、
前記第 2 熱電変換領域の前記 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 熱電変換領域及び／又は前記第 2 熱電変換領域の前記熱電
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、

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。

[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熱電変換領域及び／又は前記第2熱電変換領域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、
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。

[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、
前記絶縁層の主面に垂直な方向に積層されている。

[請求項7] 請求項6に記載の熱電変換装置であって、
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、
互いに接している。

[請求項8] 請求項6又は7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、
前記フォノンニック結晶構造は、フォノン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、
前記フォノンニック結晶層は、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、前記フォノン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ンニック結晶層と、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。

[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、
温度検出モジュールを更に具備する。

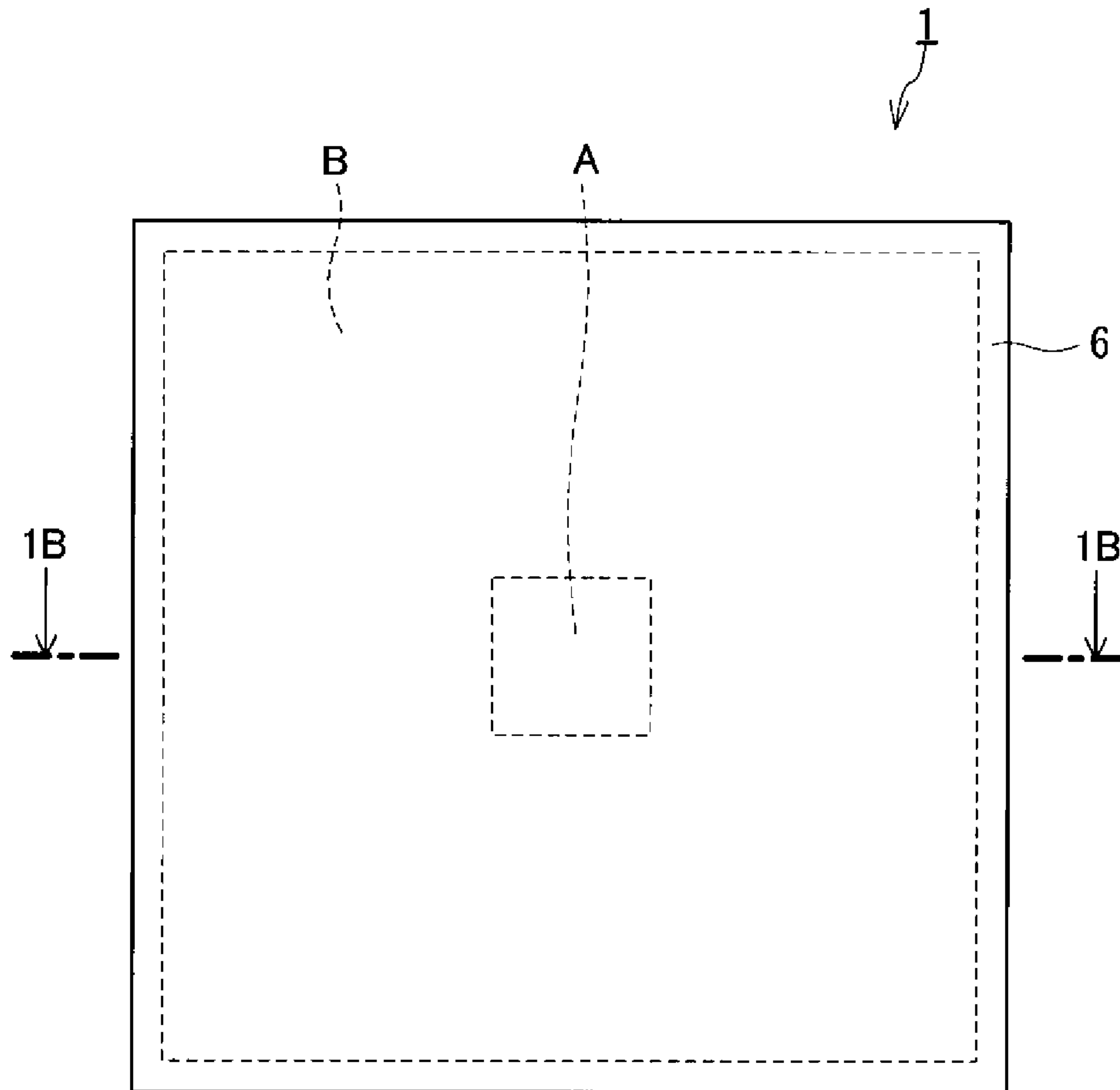
[請求項12] 請求項1から11のいずれかに記載の熱電変換装置であって、

前記第 1 熱電変換領域及び／又は前記第 2 熱電変換領域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。

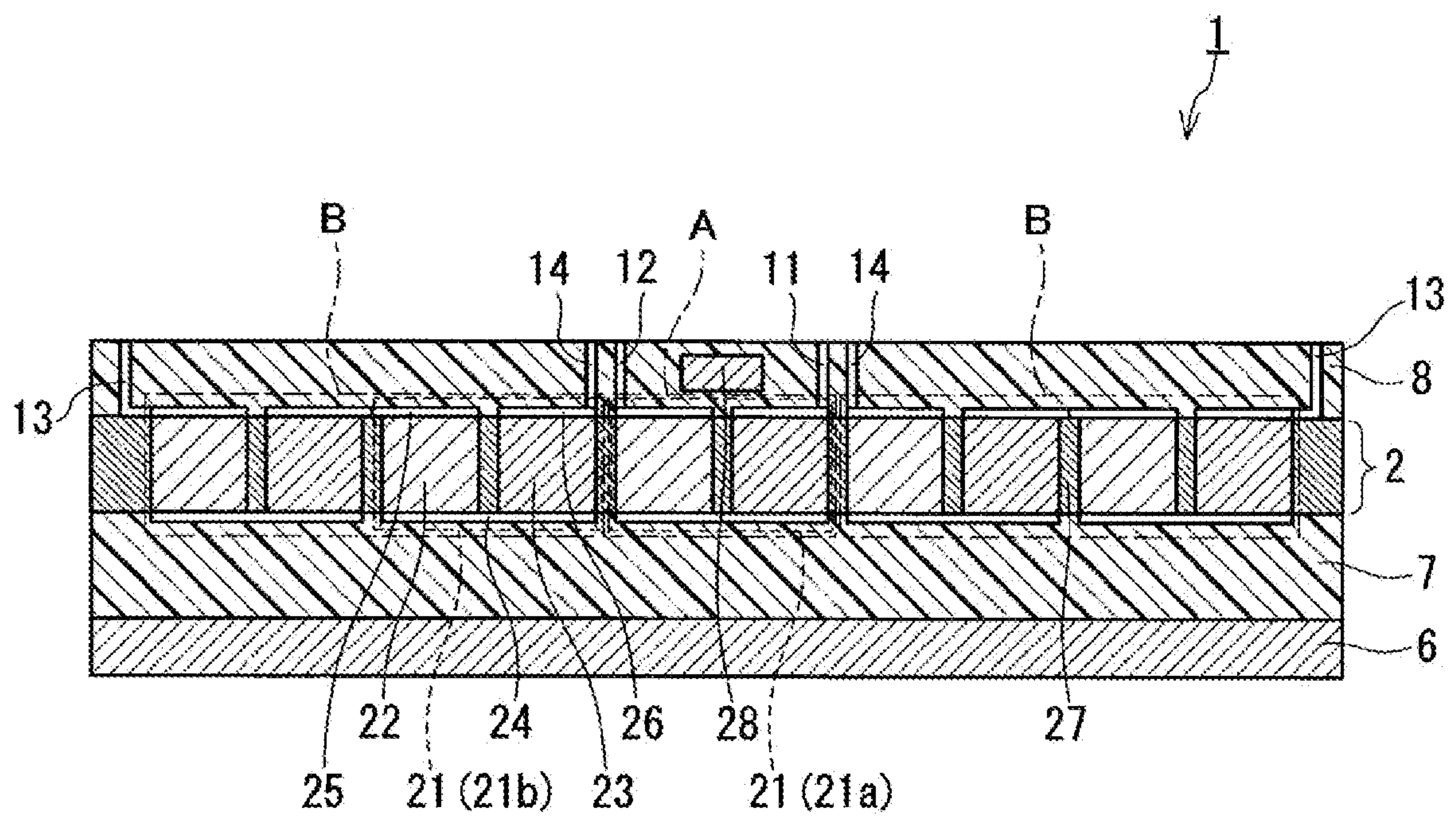
- [請求項13] 熱電変換装置の制御方法であって、
請求項 1 から 1 2 のいずれかに記載の熱電変換装置において、
前記第 1 熱電変換領域に対して第 1 電圧が印加され、
前記第 2 熱電変換領域に対して第 2 電圧が印加される工程を含み、
前記第 1 電圧及び前記第 2 電圧は、印加パターンにおいて異なる。
- [請求項14] 請求項 1 3 に記載の制御方法であって、
前記熱電変換装置が第 1 温度検出モジュールを備え、
前記第 1 温度検出モジュールが取得した温度に関する情報に基づいて、前記第 1 電圧及び／又は前記第 2 電圧の印加パターンが制御される。
- [請求項15] 請求項 1 3 又は 1 4 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16] 請求項 1 5 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17] 請求項 1 5 又は 1 6 に記載の制御方法であって、
前記第 1 熱電変換領域及び前記第 2 熱電変換領域から選ばれる、前記対象物により近い熱電変換領域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領域に印加される電圧に比べて高い頻度で変化するよう、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18] 請求項 1 5 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19] 請求項 1 5 から 1 8 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20] 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 2 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 熱電変換領域に対して第 1 電
 圧が印加され、前記第 2 熱電変換領域に対して第 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21] 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 2 のいずれかに記載の熱電変
 換装置である。

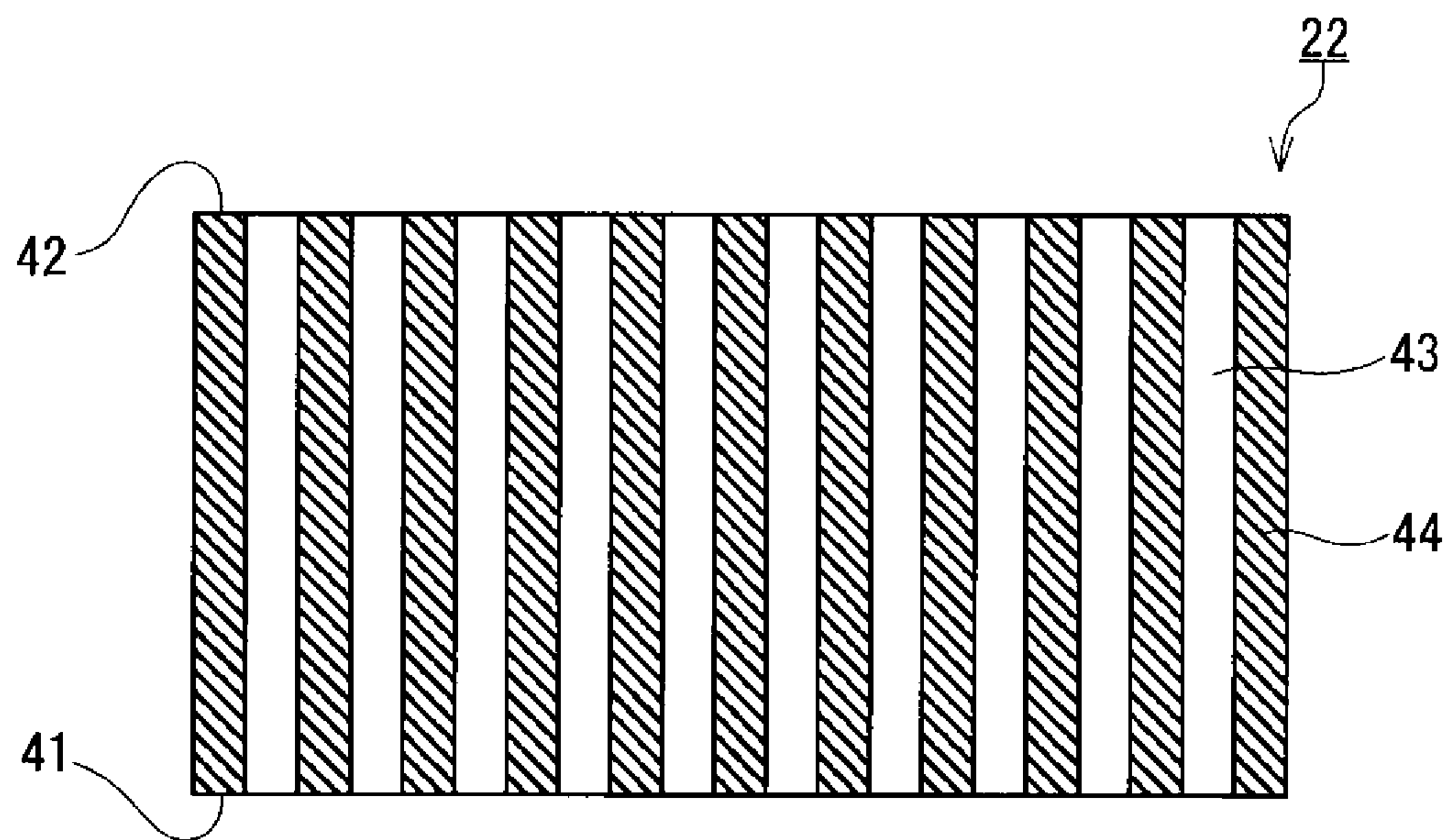
[図1A]



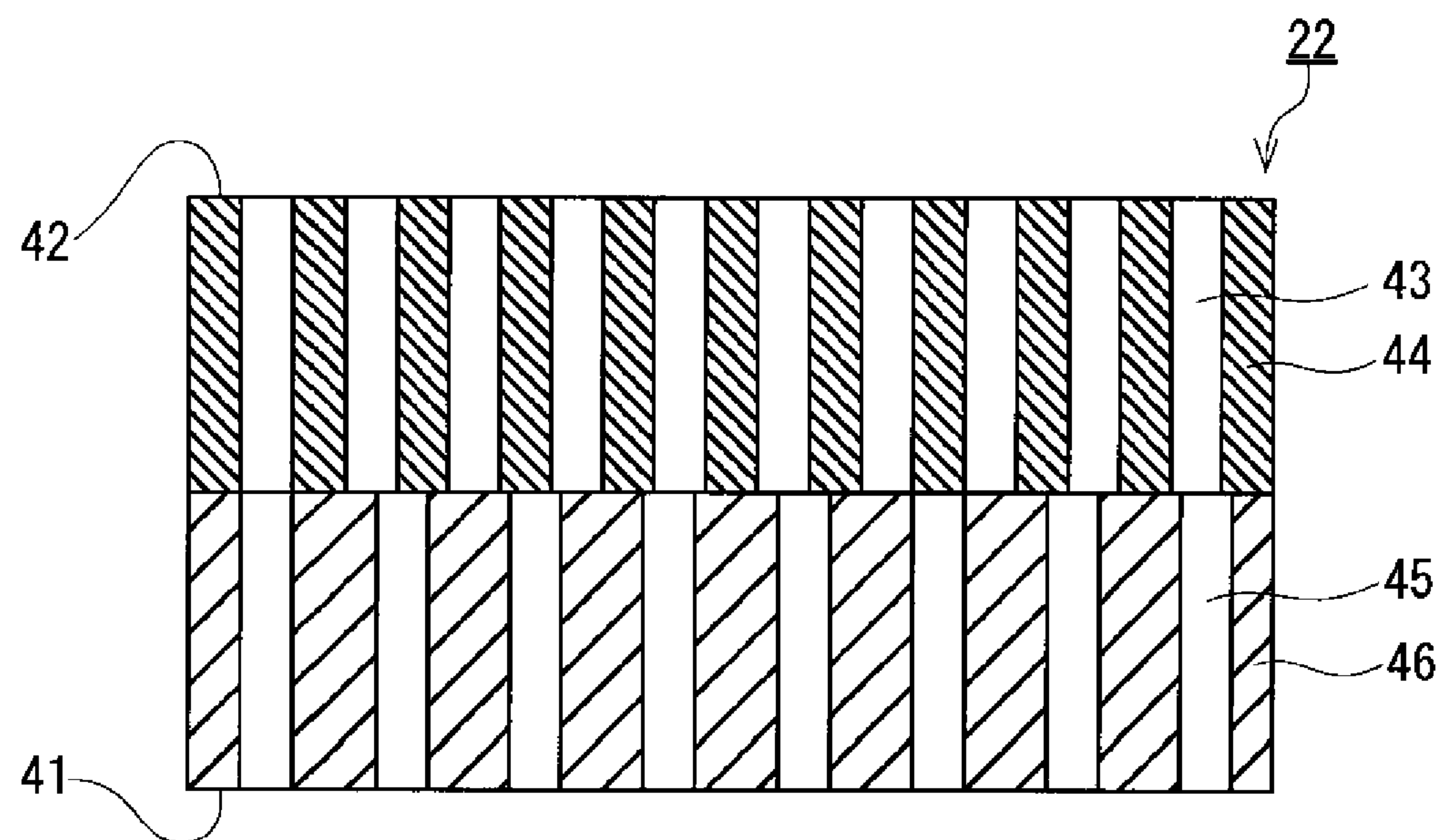
[図1B]



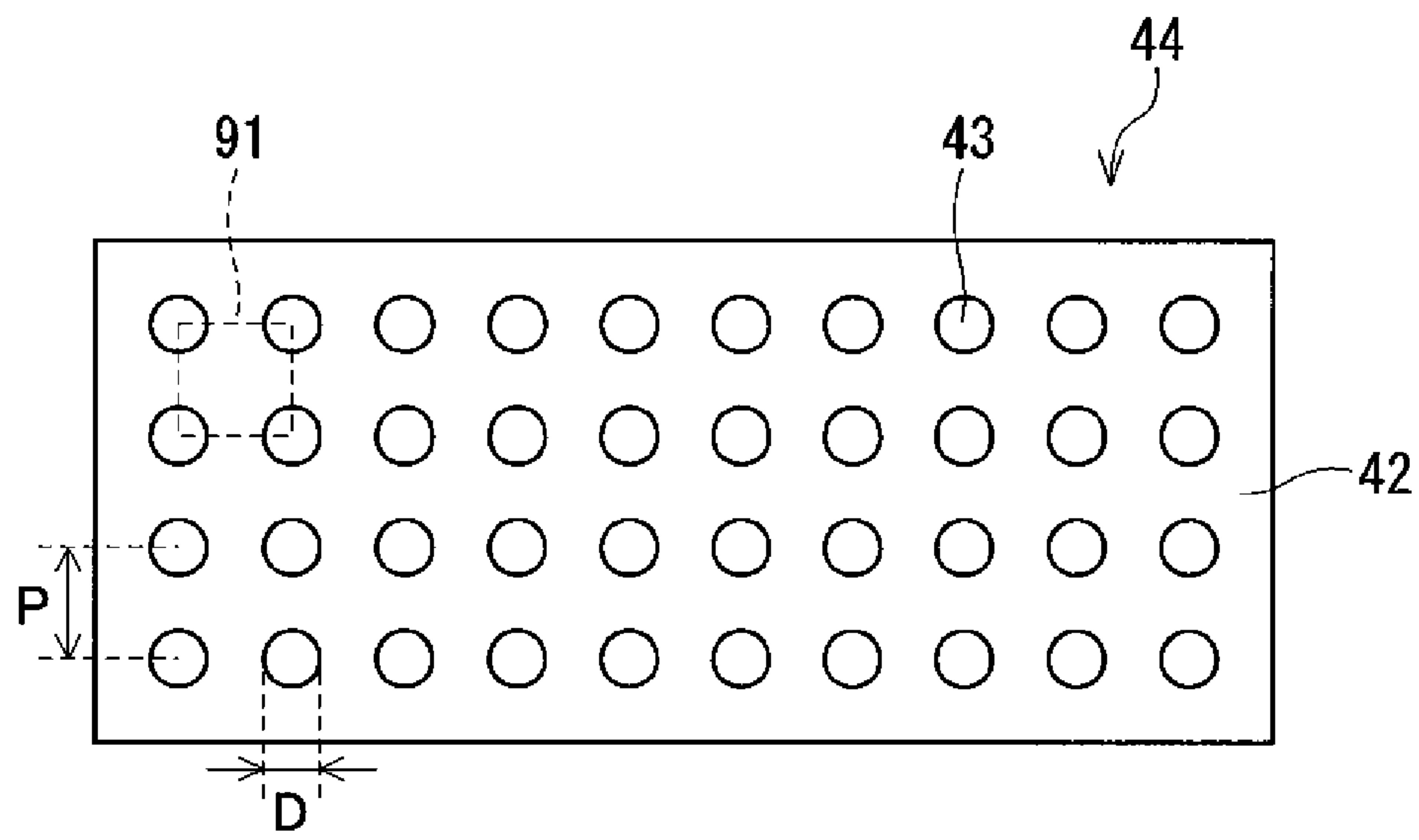
[図2]



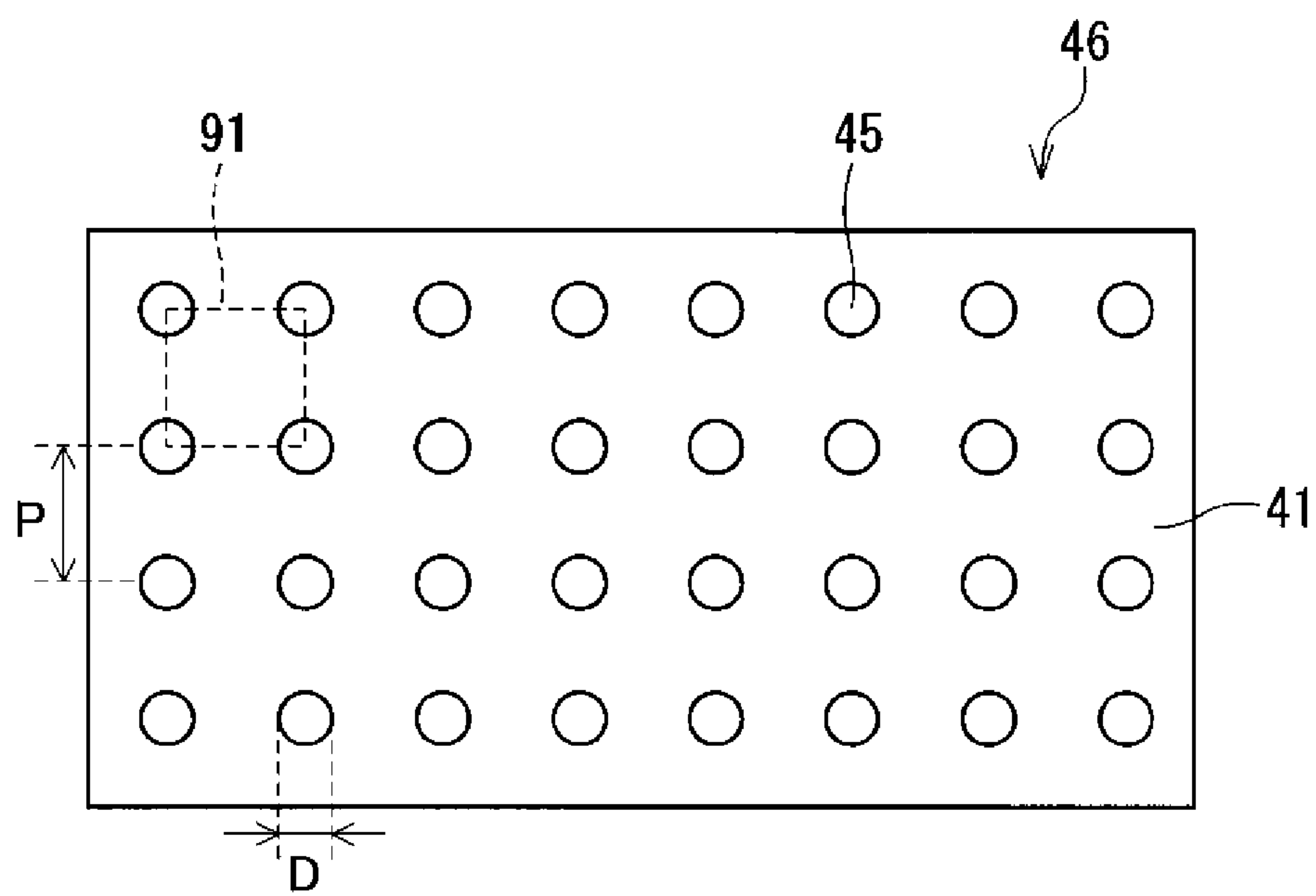
[図3]



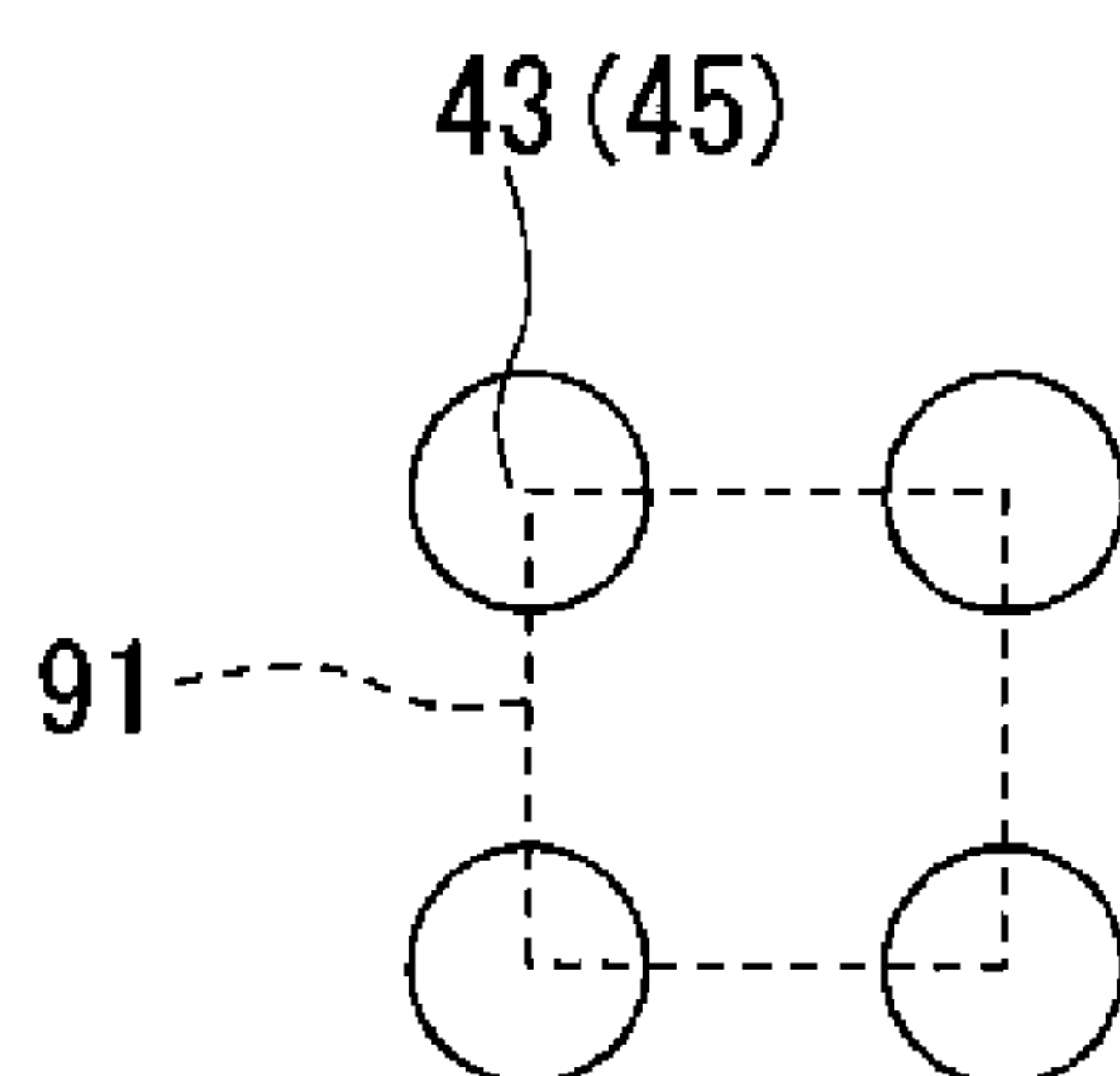
[図4]



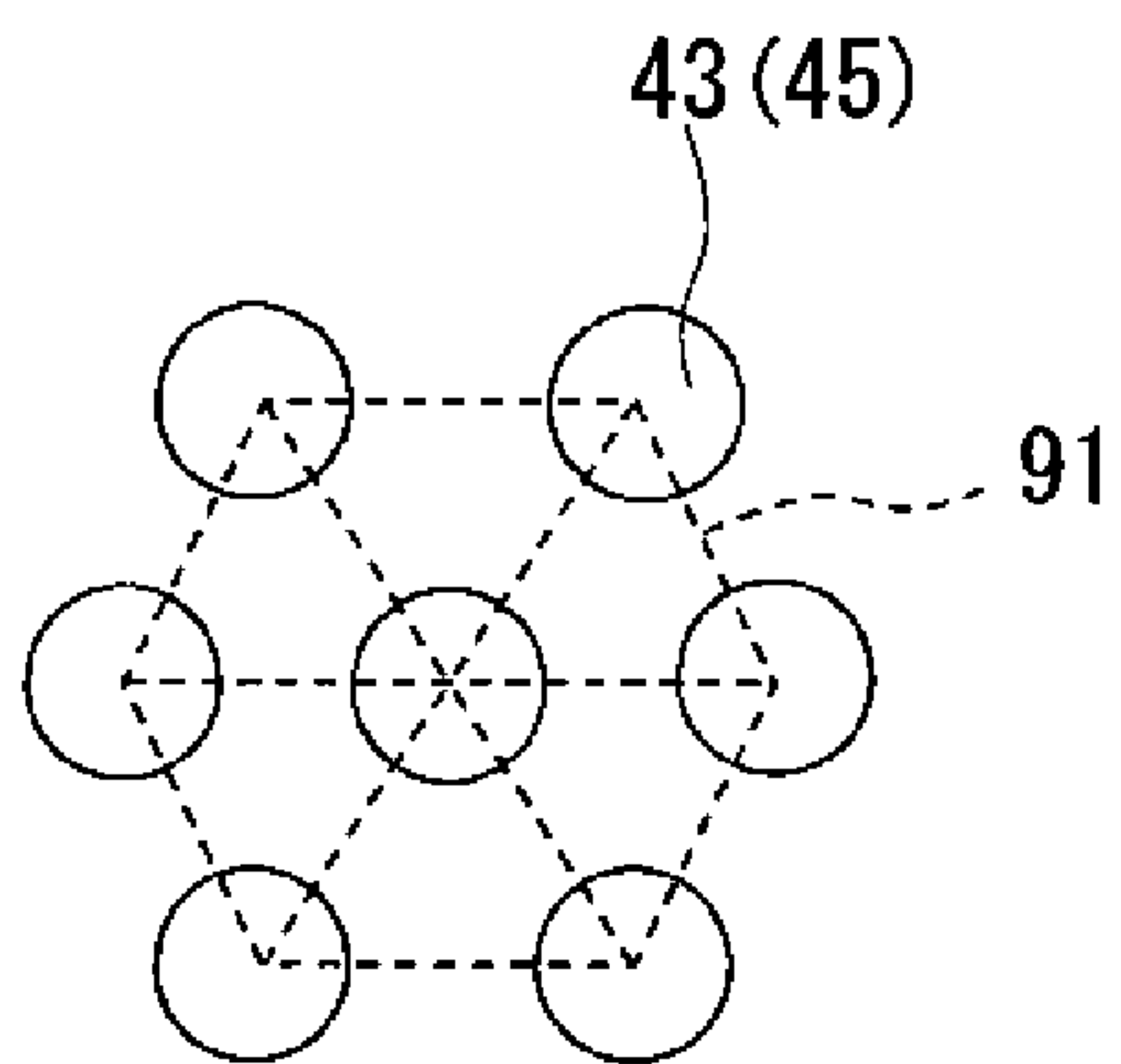
[図5]



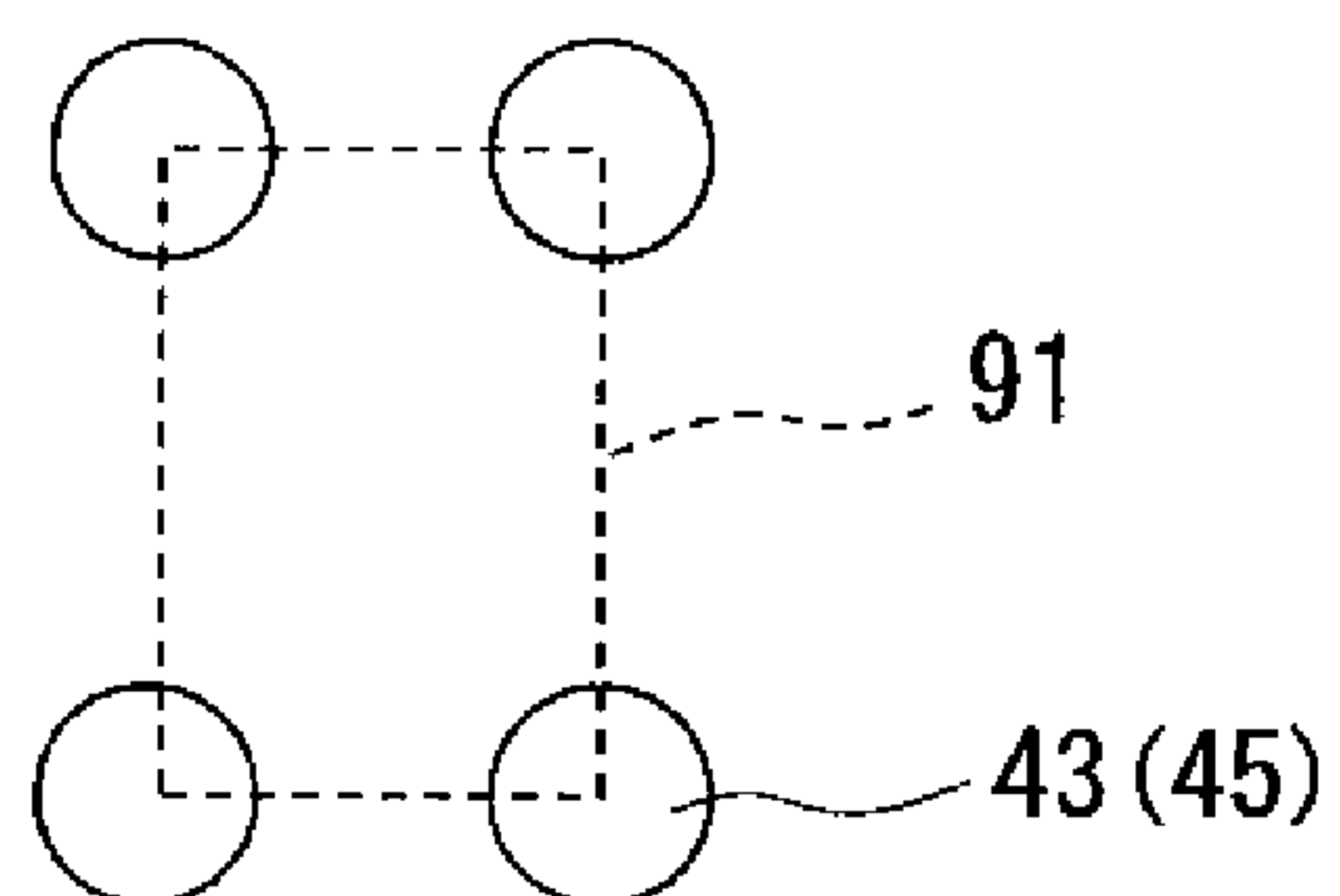
[図6A]



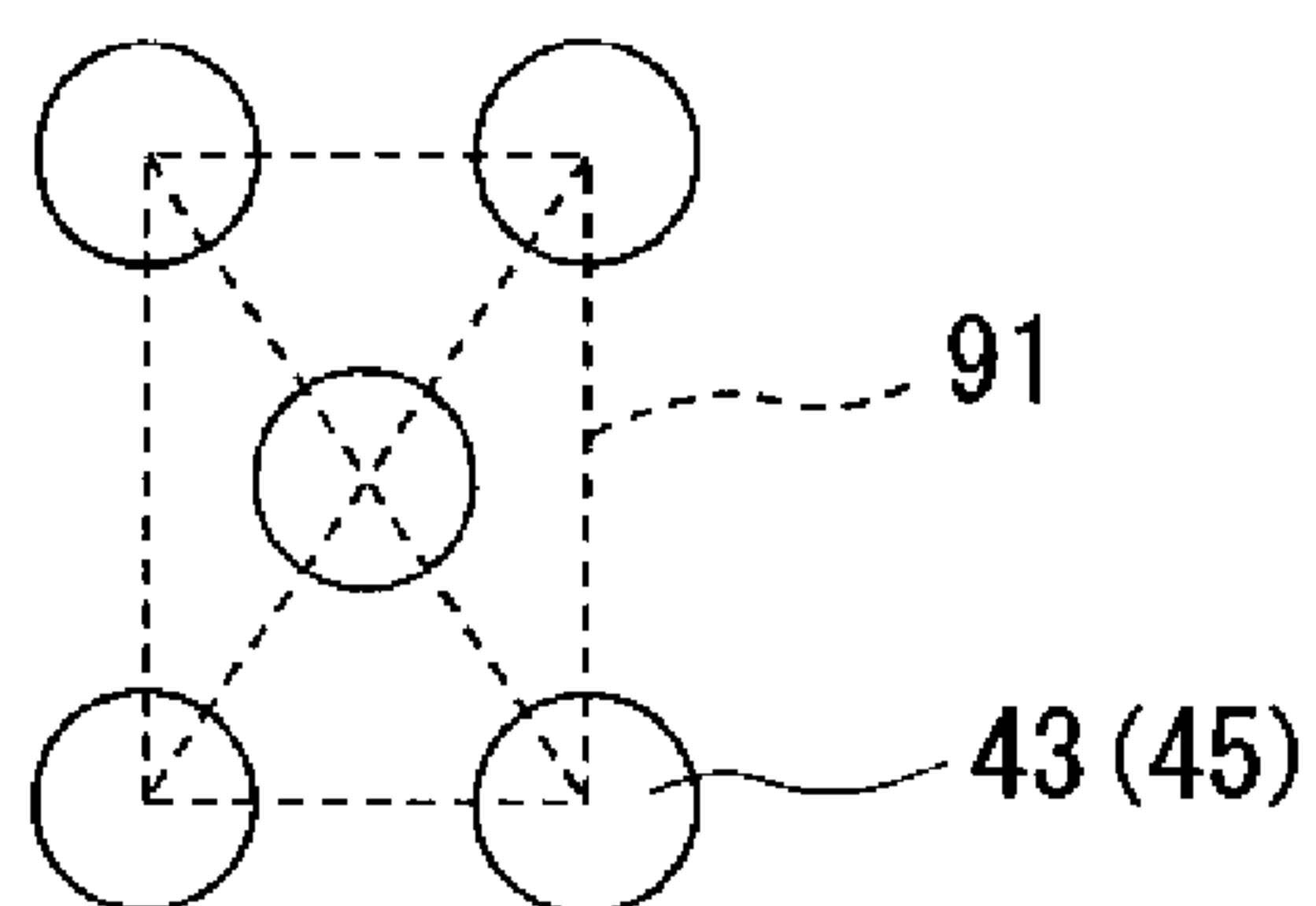
[図6B]



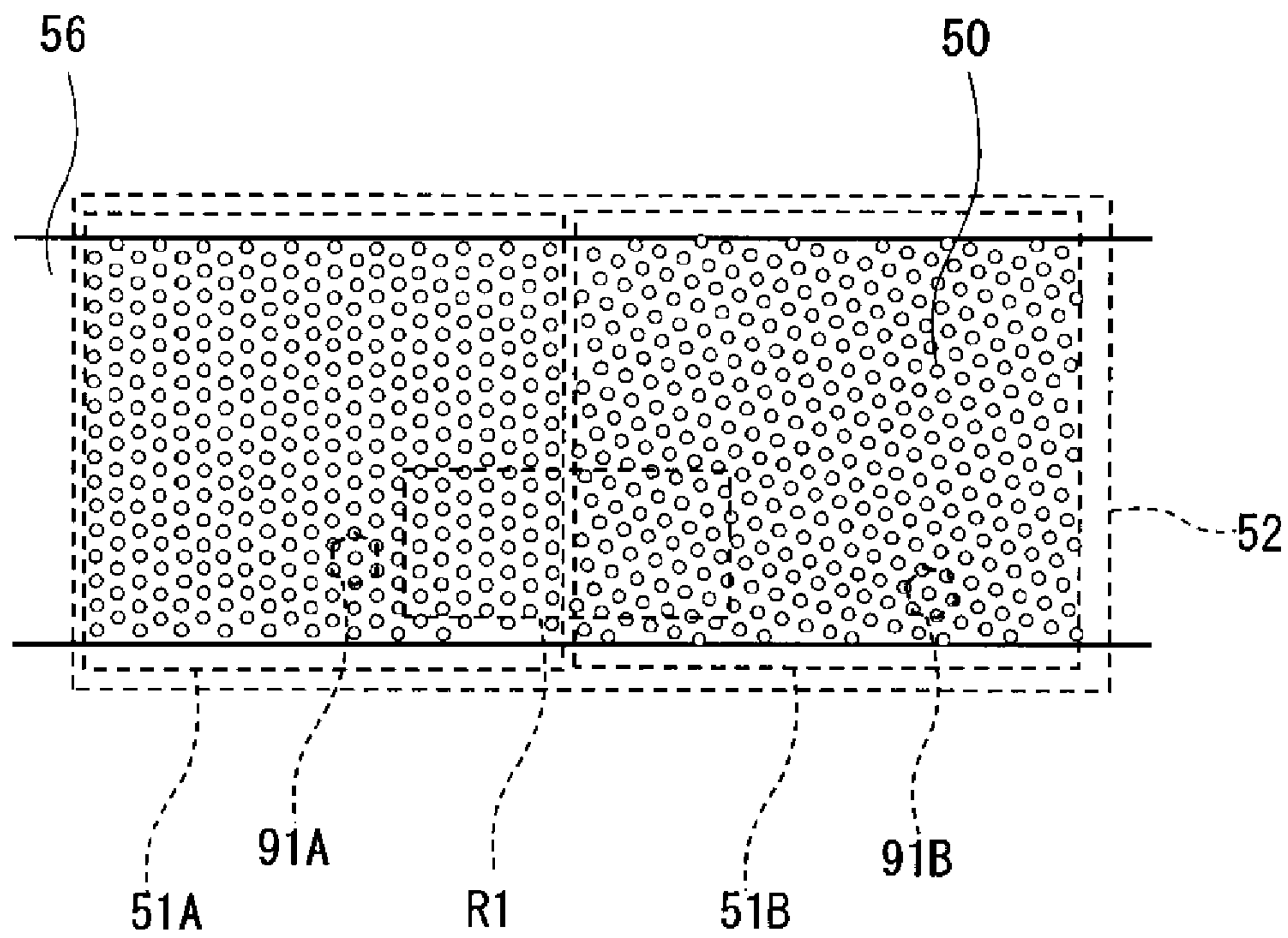
[図6C]



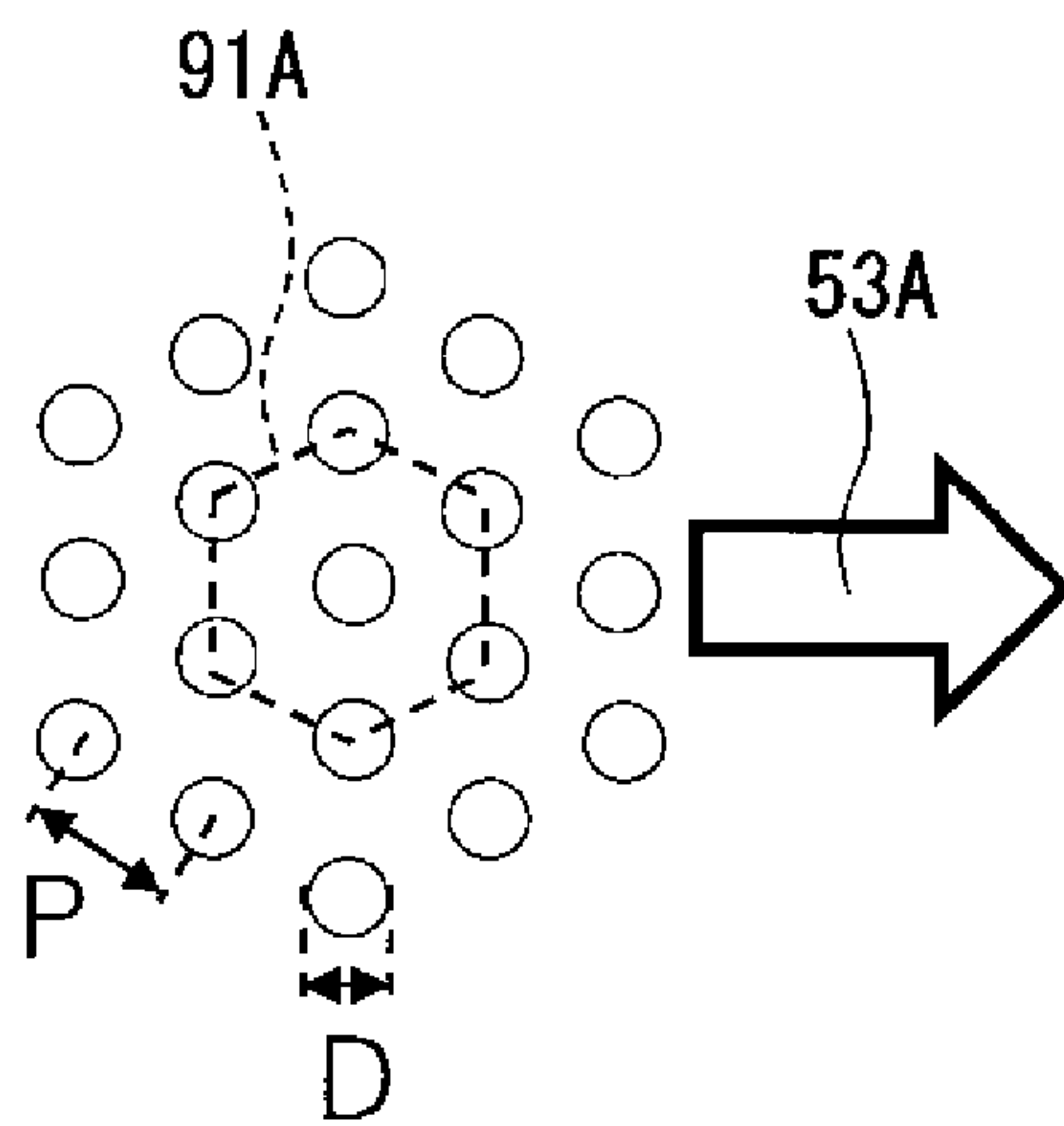
[図6D]



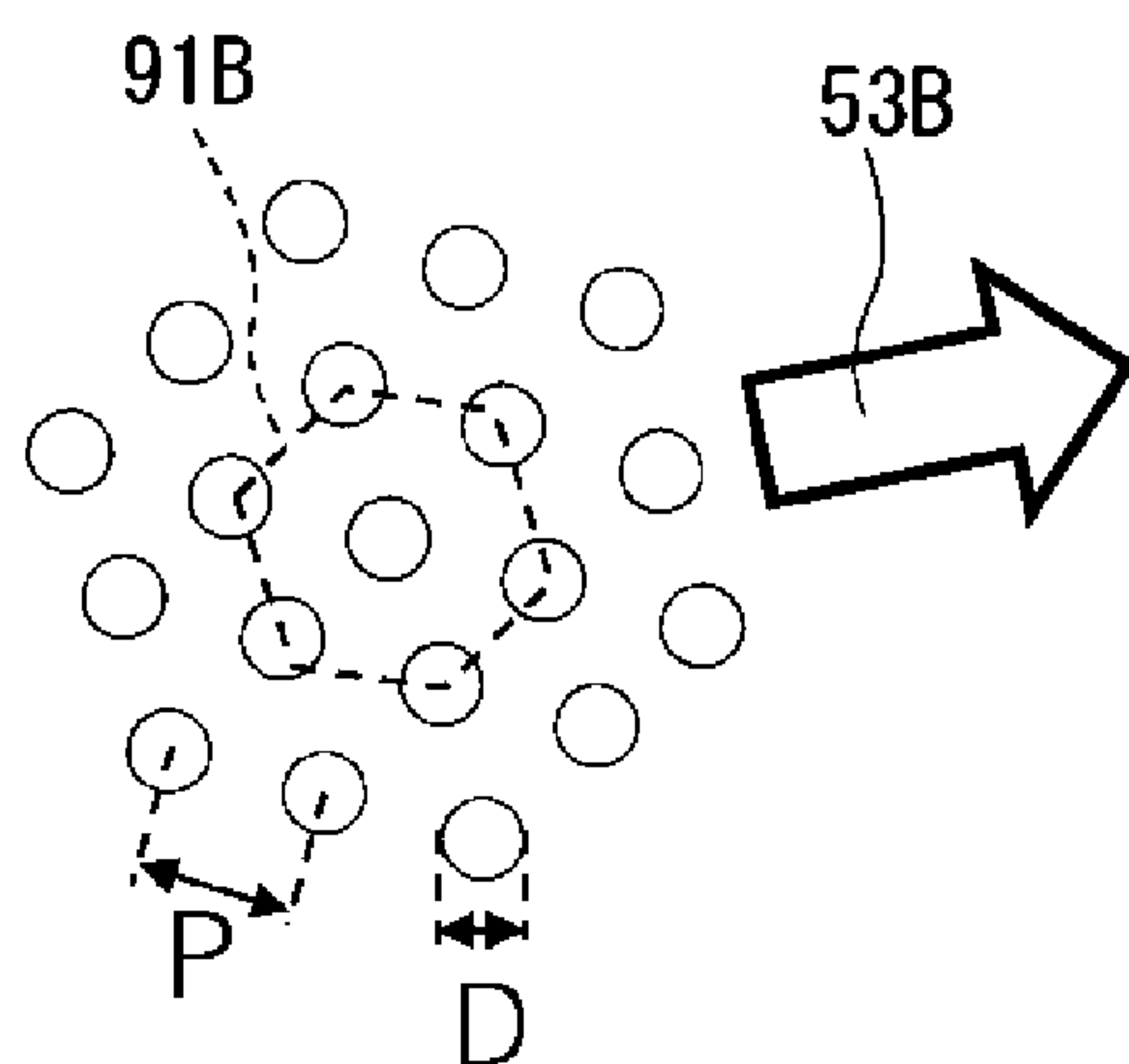
[図7]



[図8A]

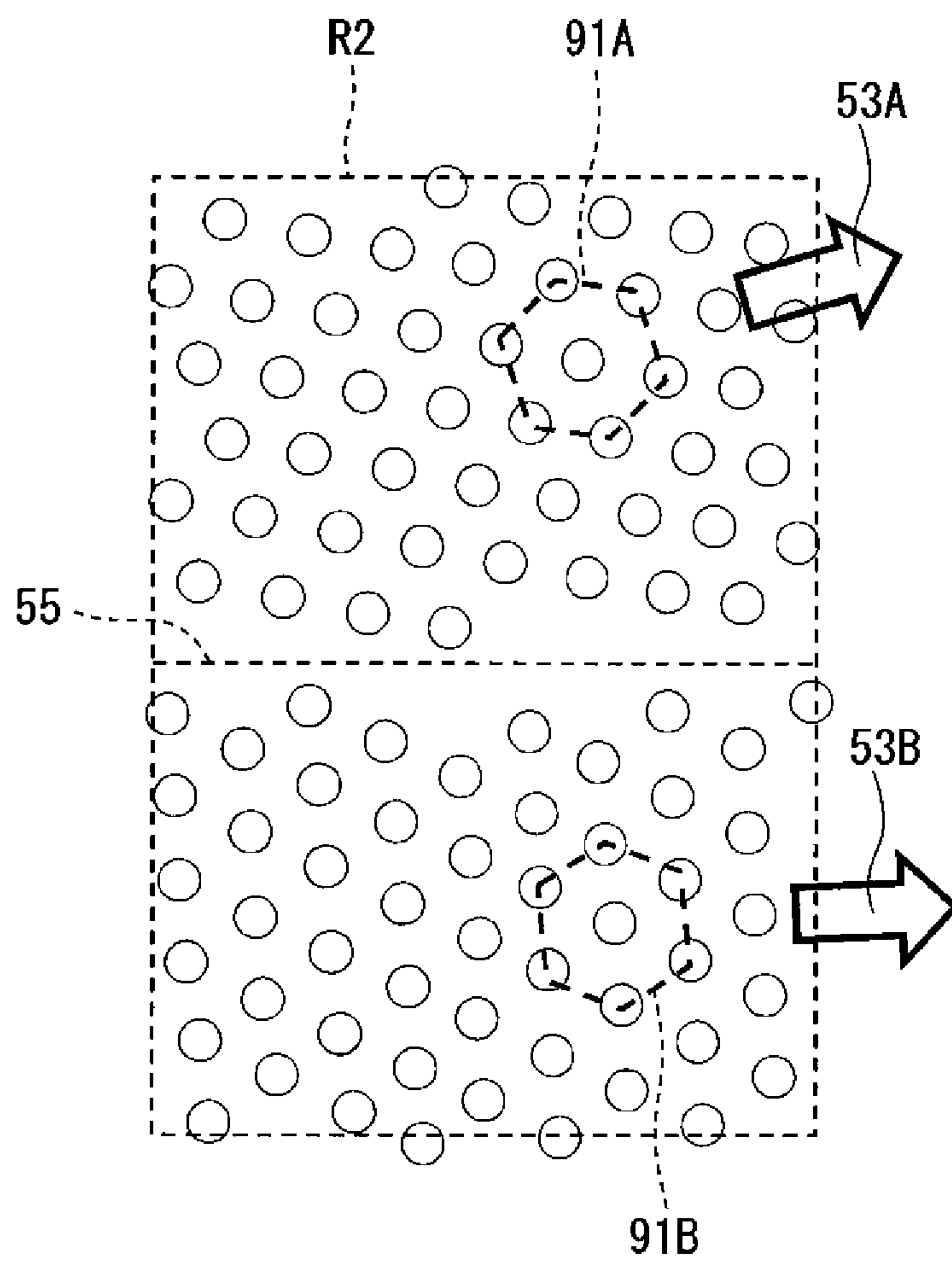


[図8B]

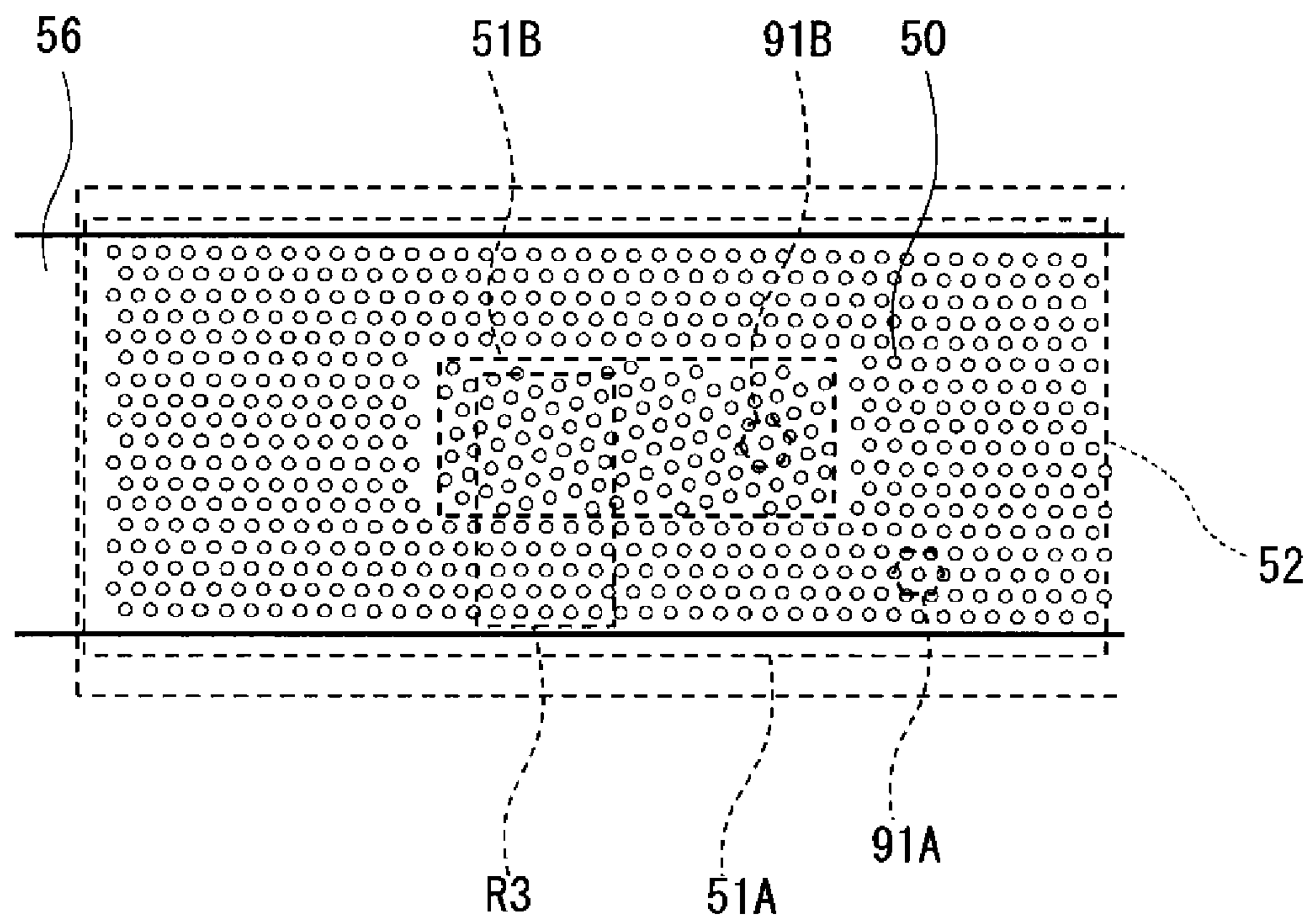


A cross-sectional view of a substrate 50. The substrate 50 is a rectangular block containing a porous layer 52. The porous layer 52 is defined by two horizontal dashed lines, 51A (top) and 51B (bottom). The layer 52 is filled with a dense array of small circles, representing pores. A wavy line 56 is on the left side of the substrate. A dashed line 91A is on the top right, and a dashed line 91B is on the bottom right. A label R2 is at the bottom left.

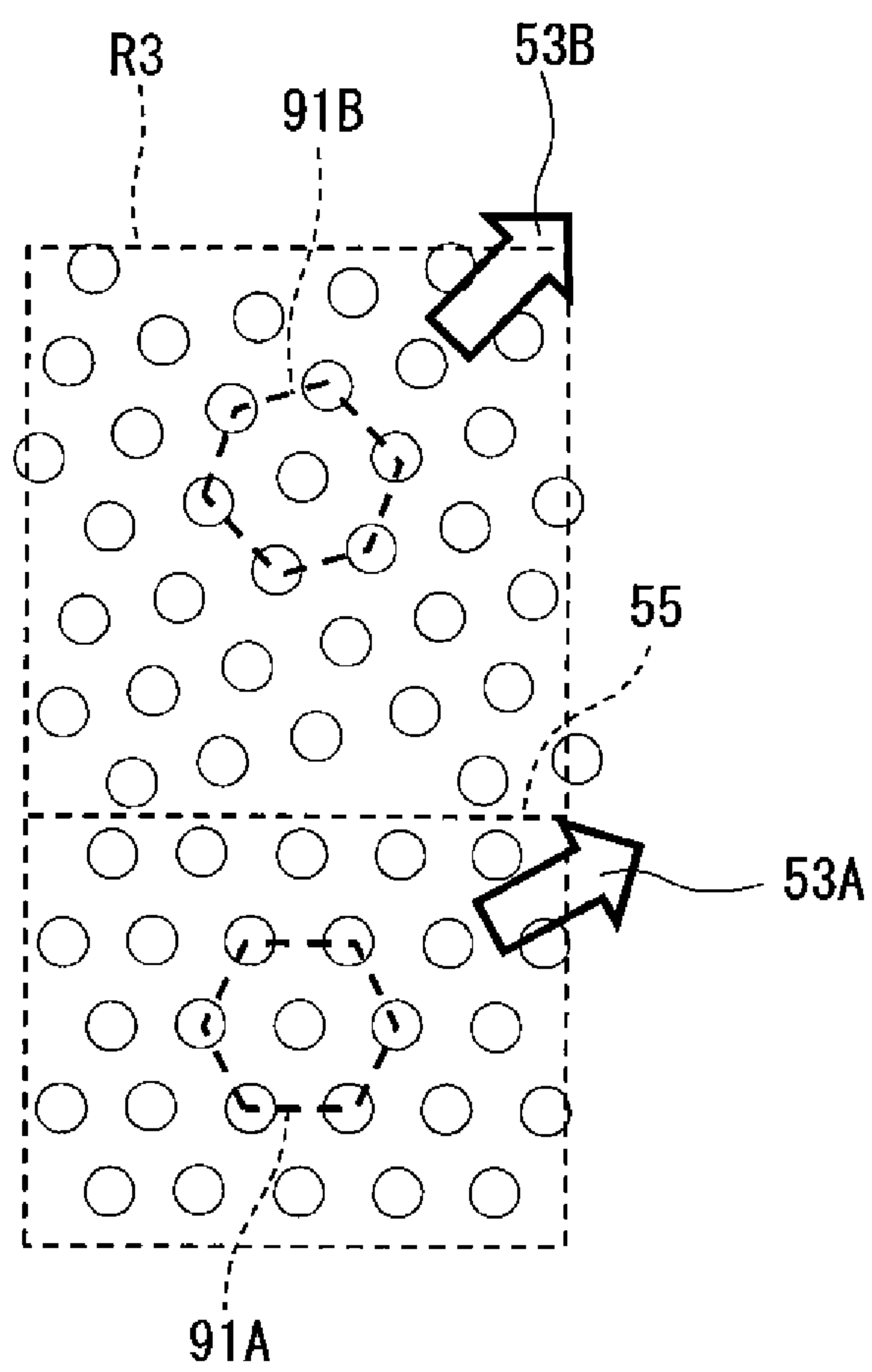
[図11]



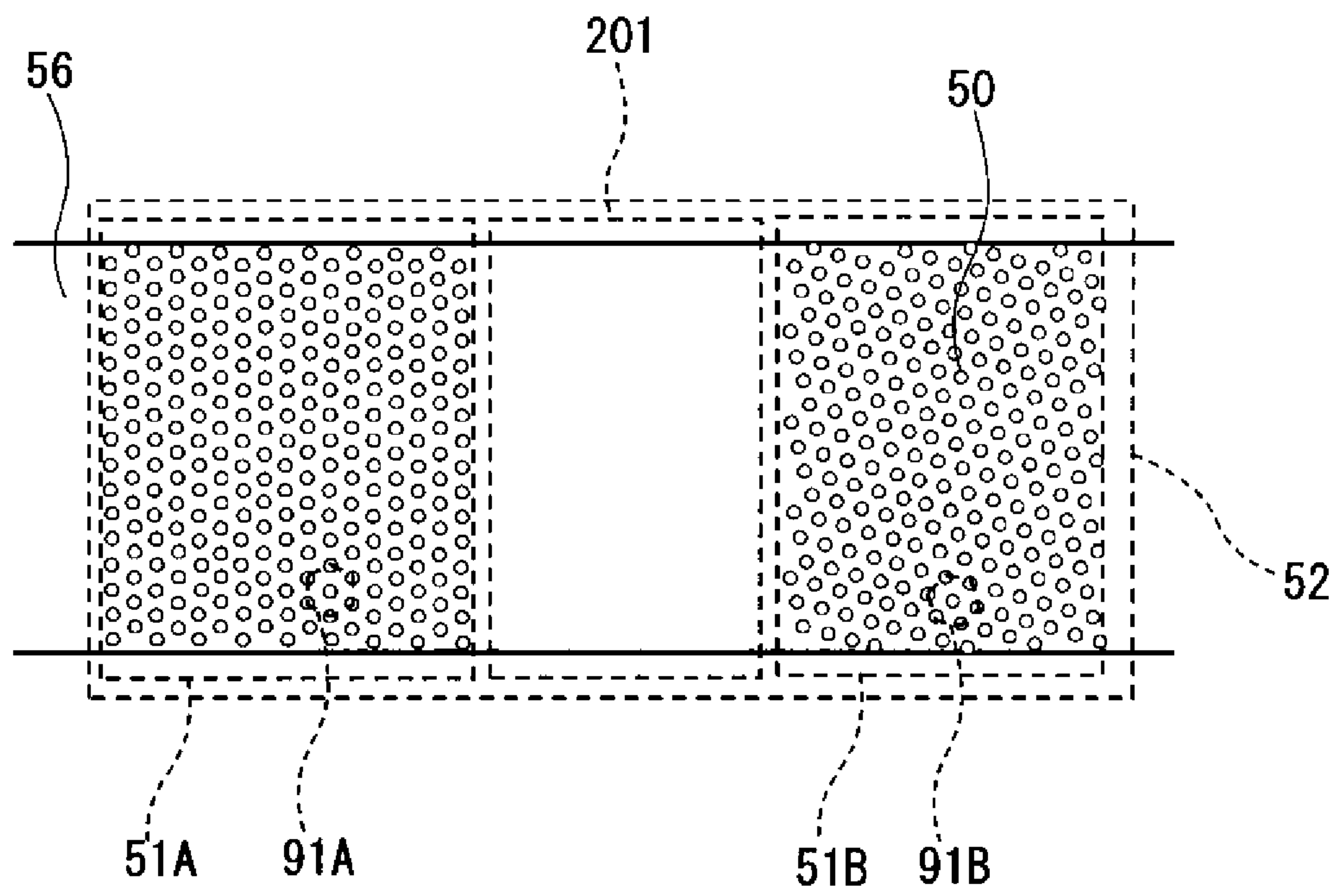
[図12]



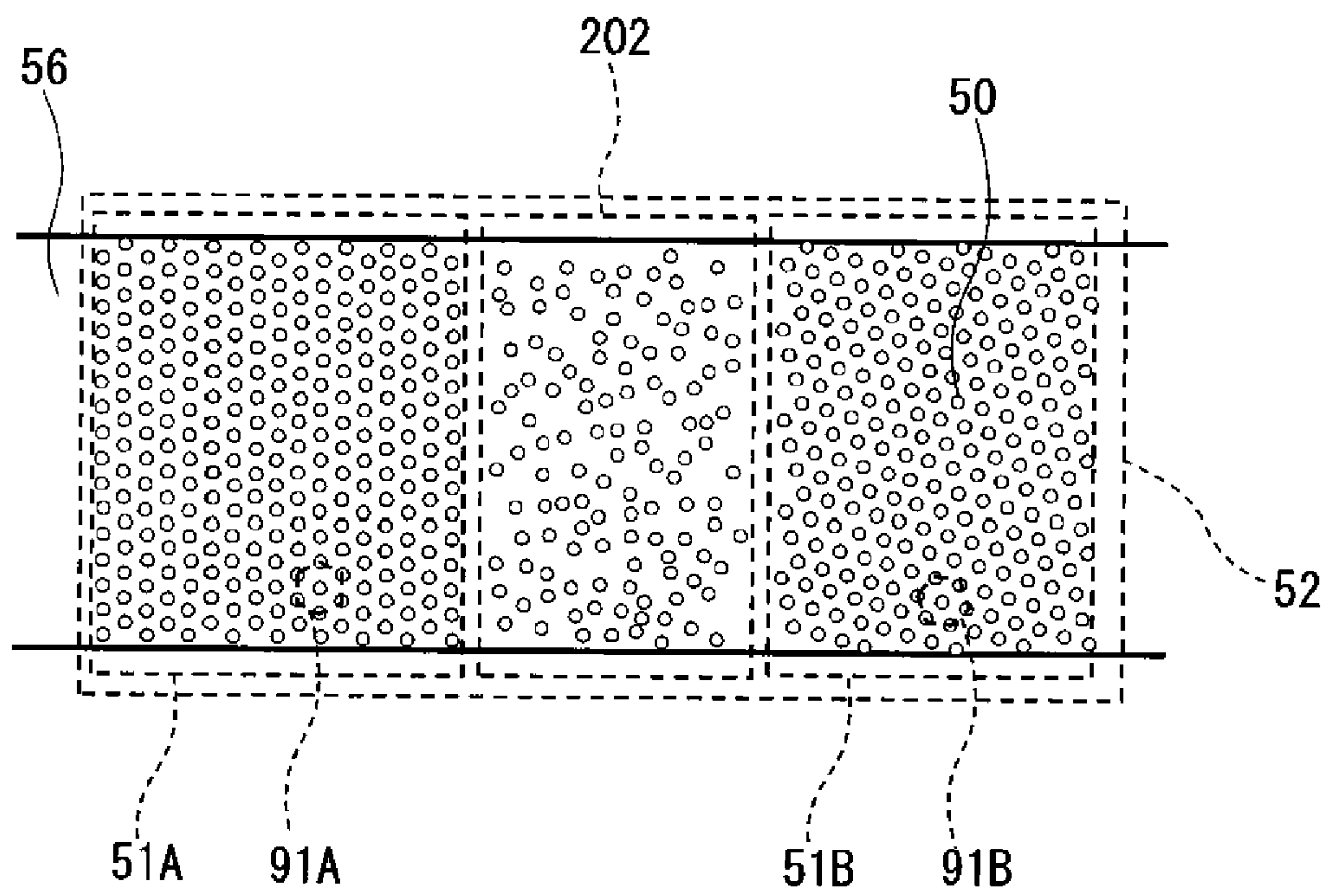
[図13]



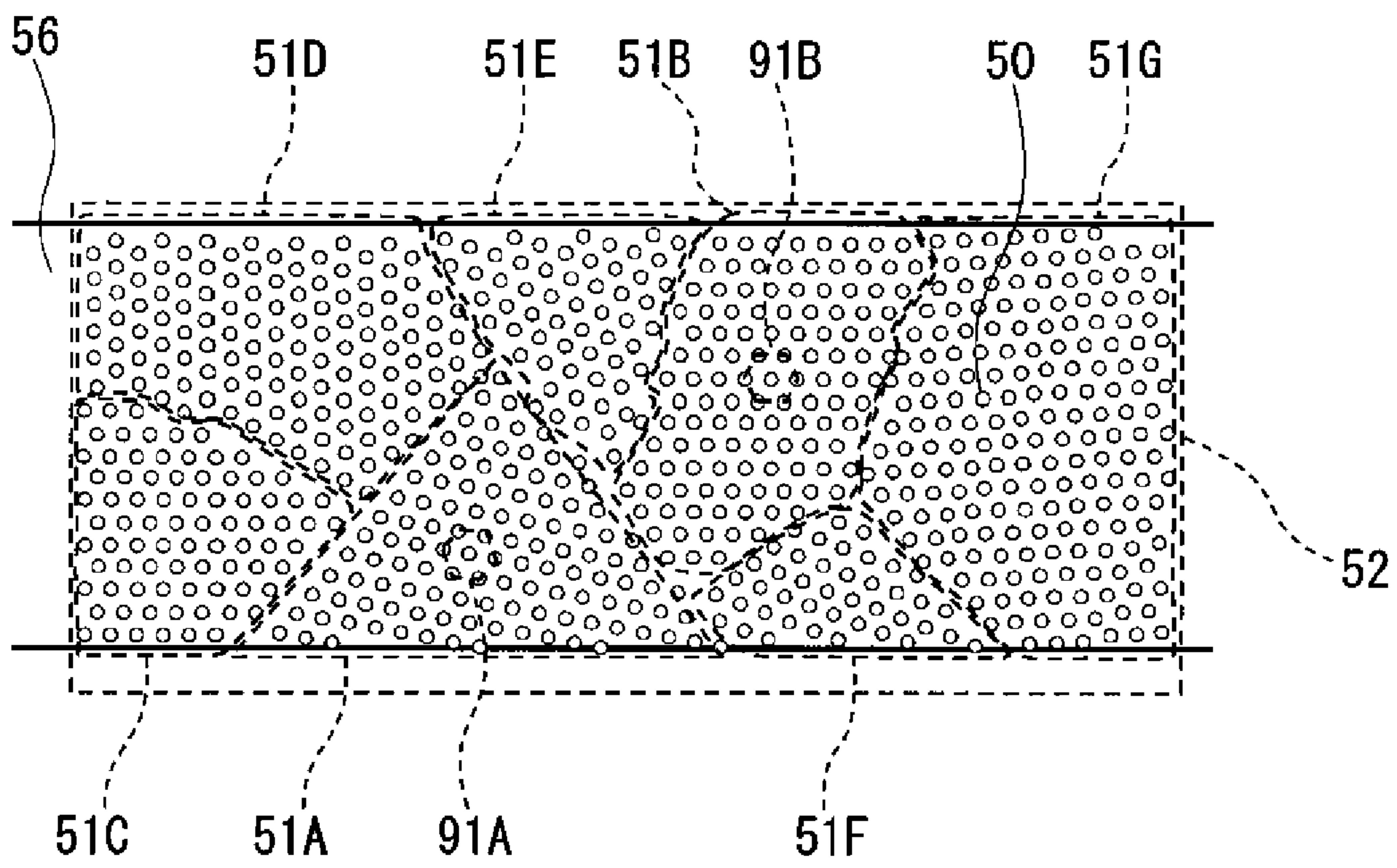
[図14]



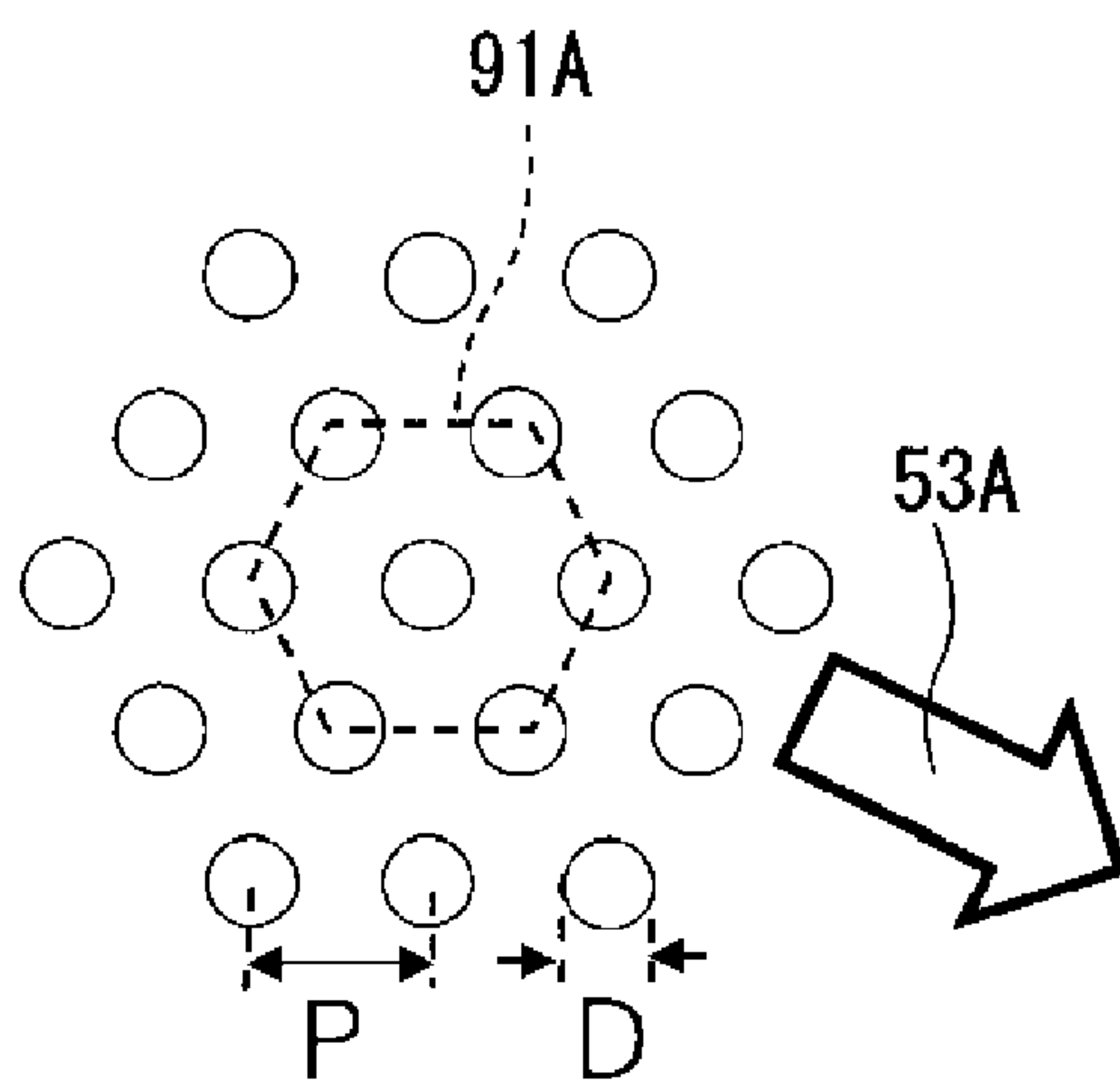
[図15]



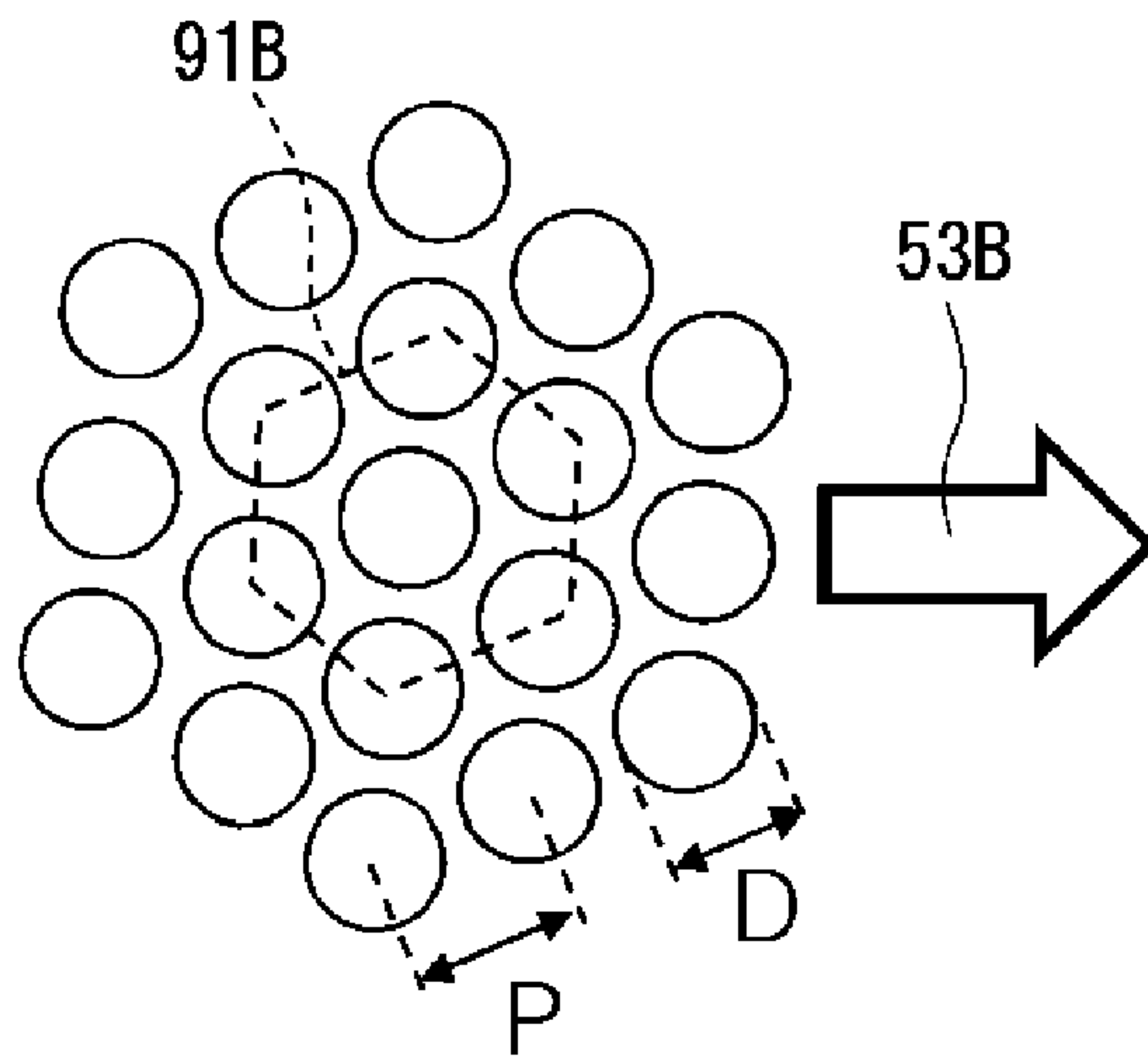
[図16]



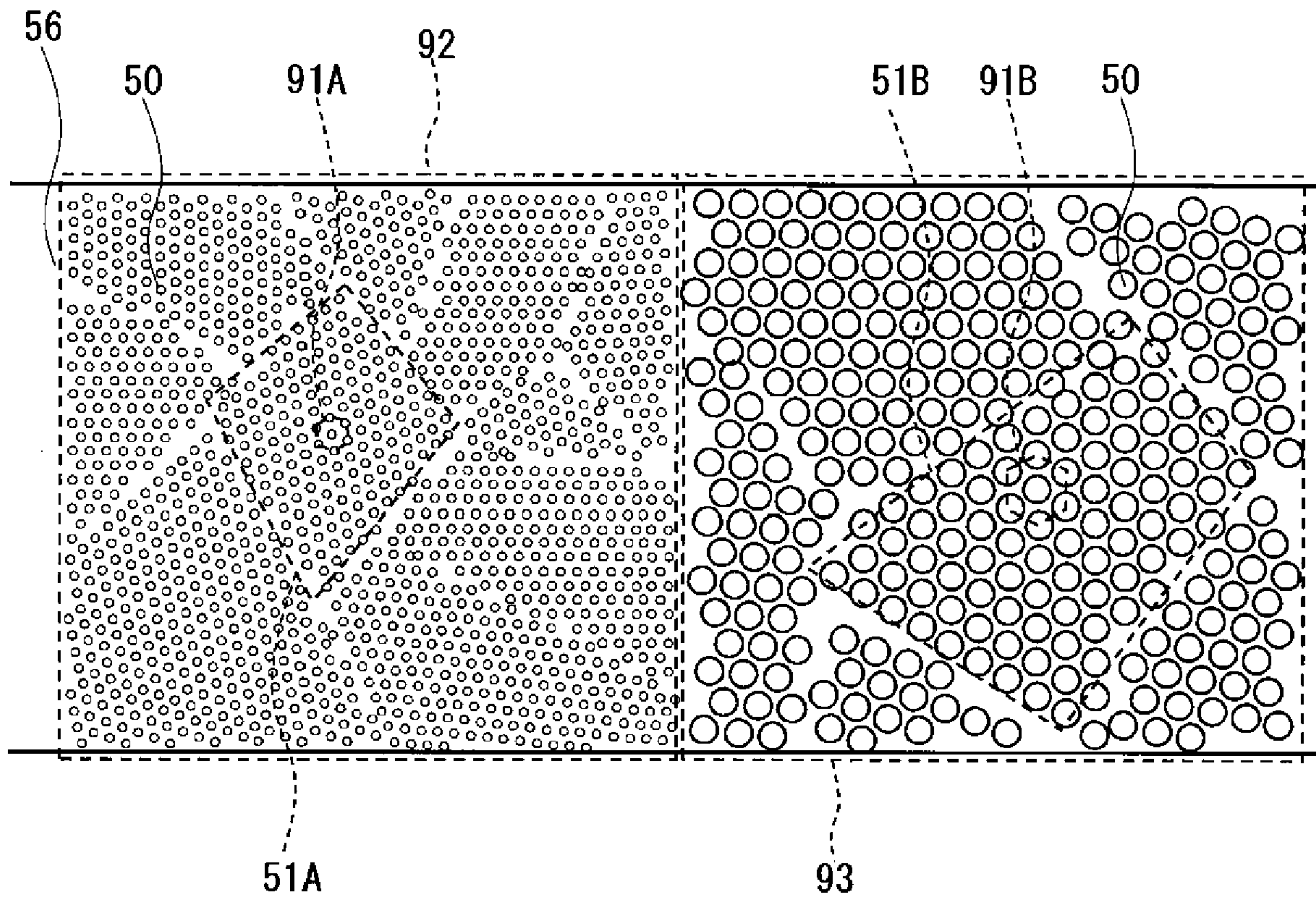
[図17A]



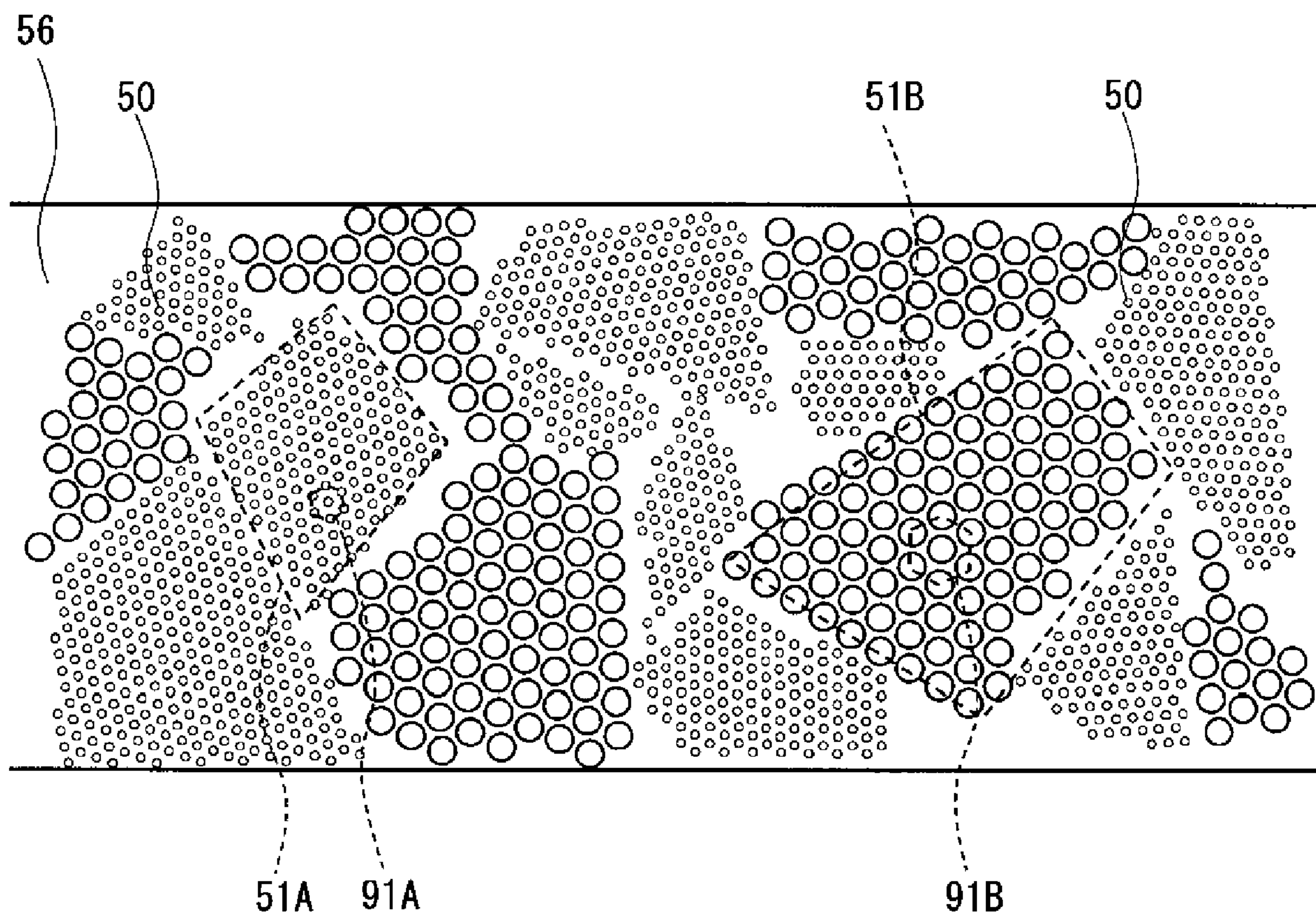
[図17B]



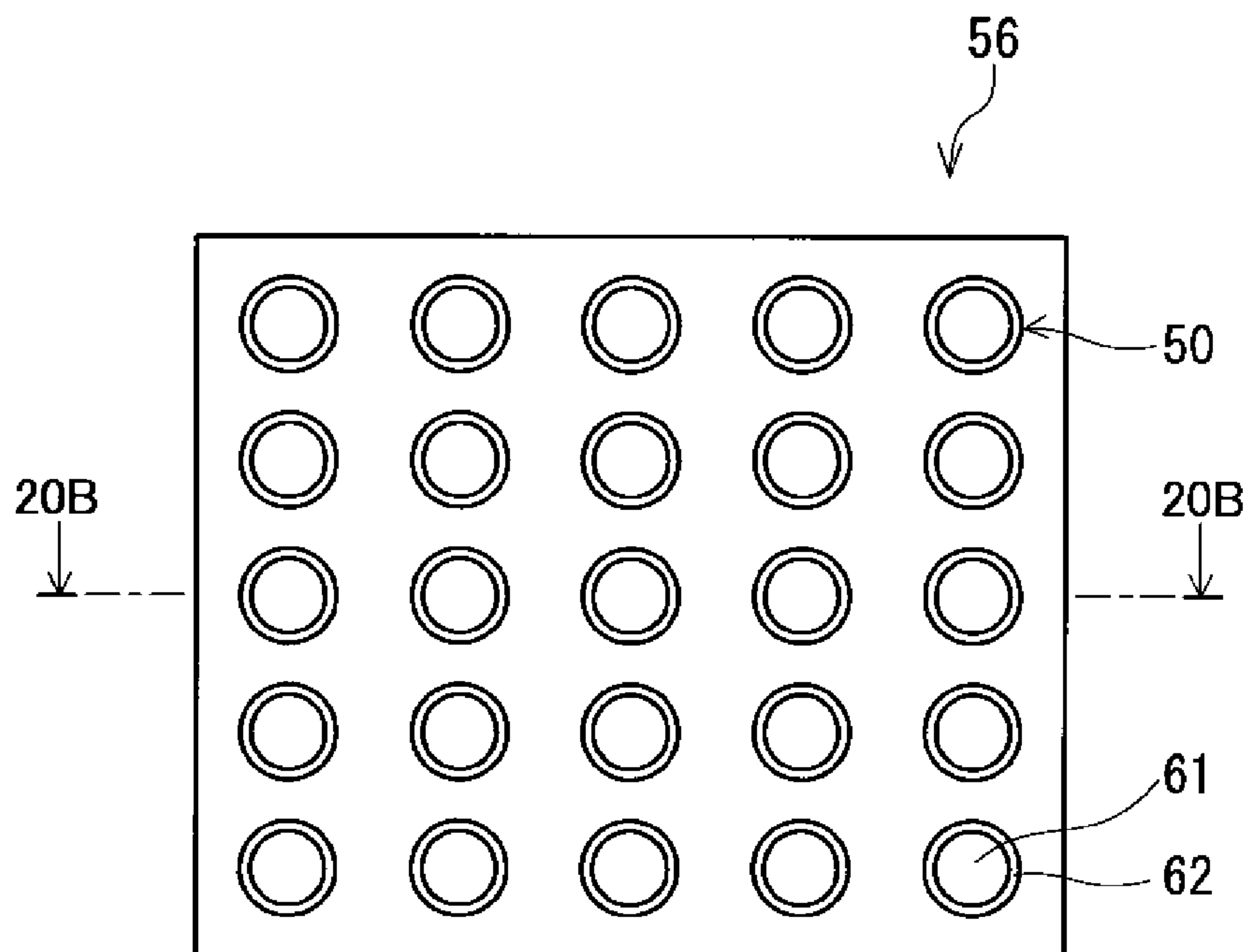
[図18]



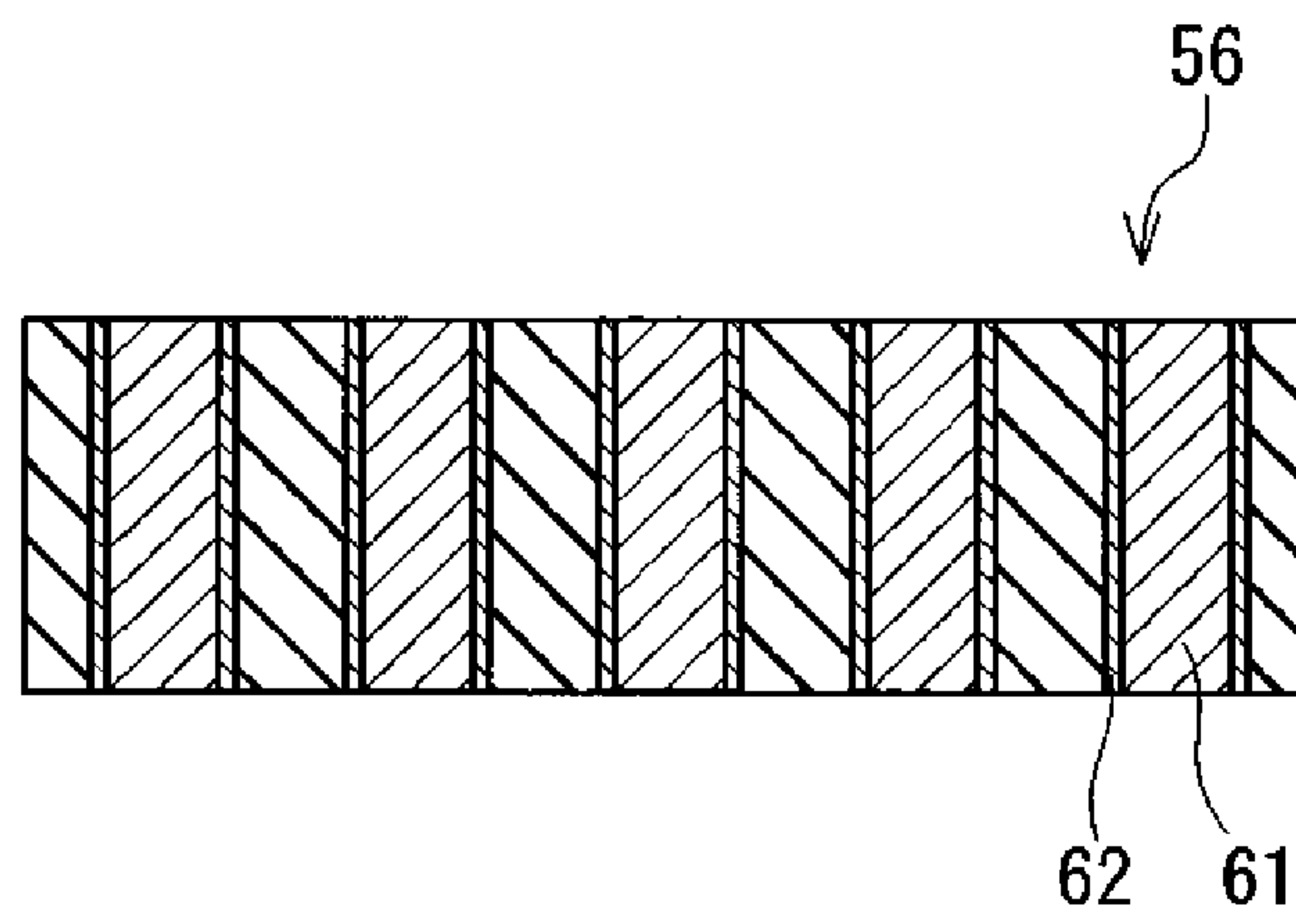
[図19]



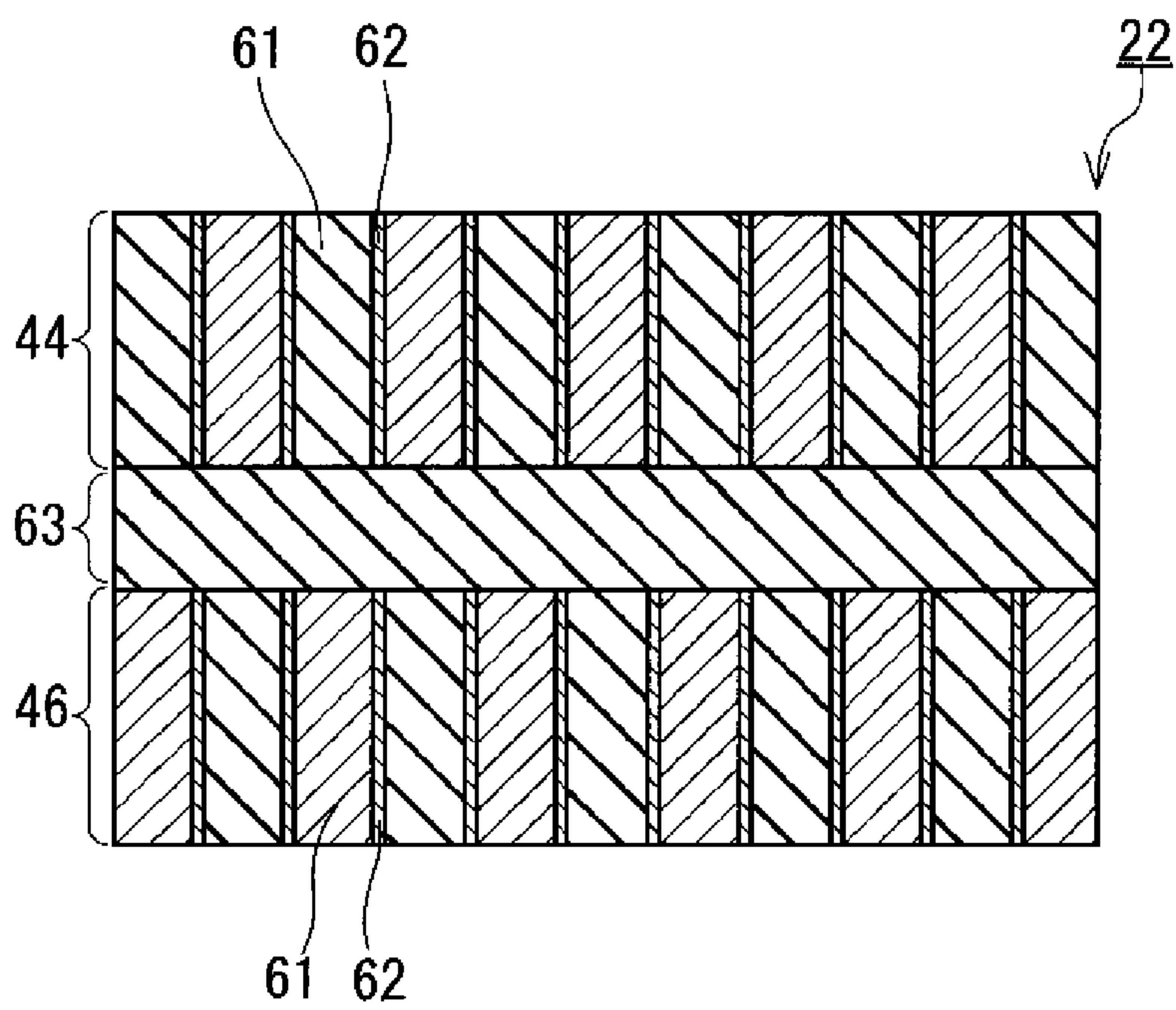
[図20A]



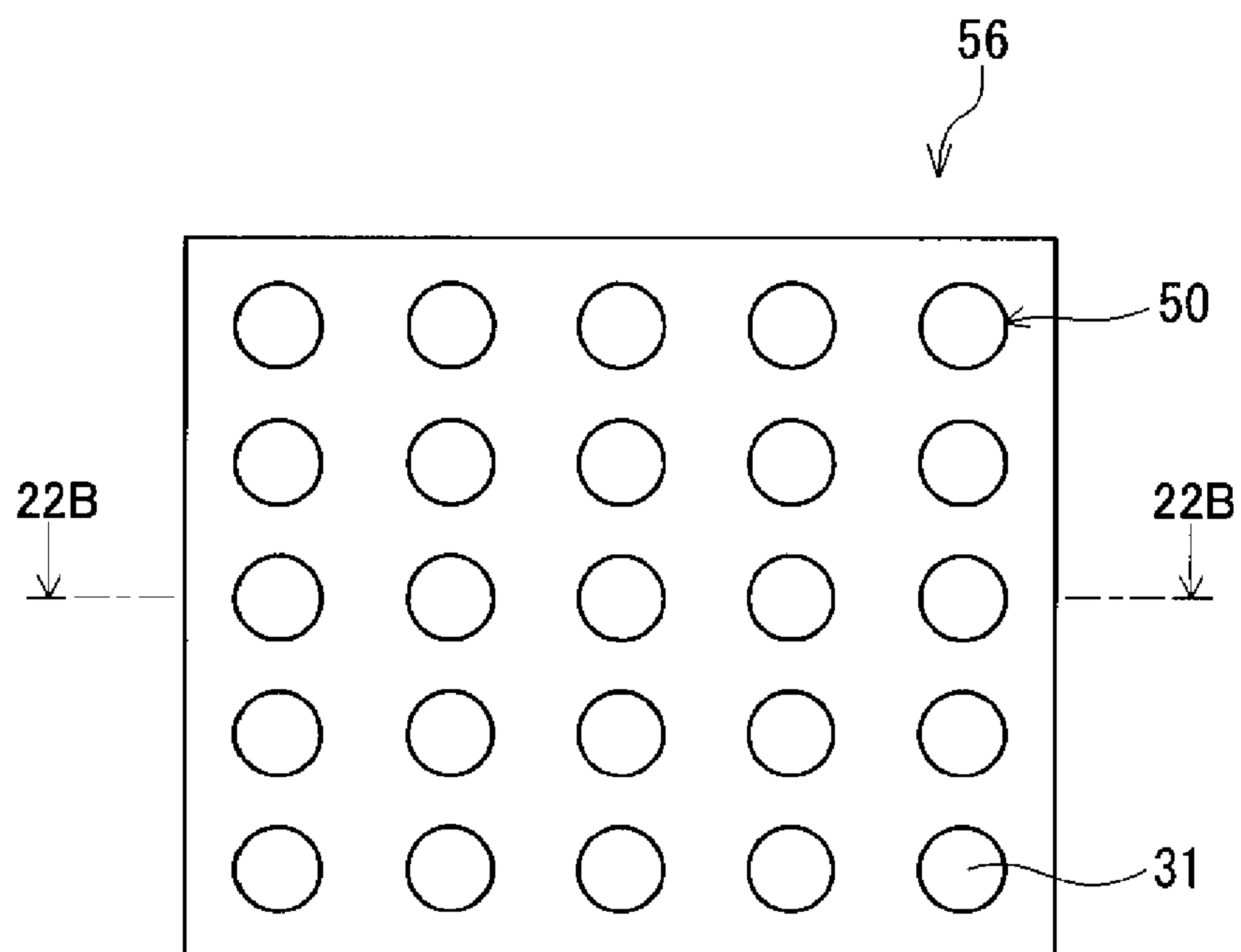
[図20B]



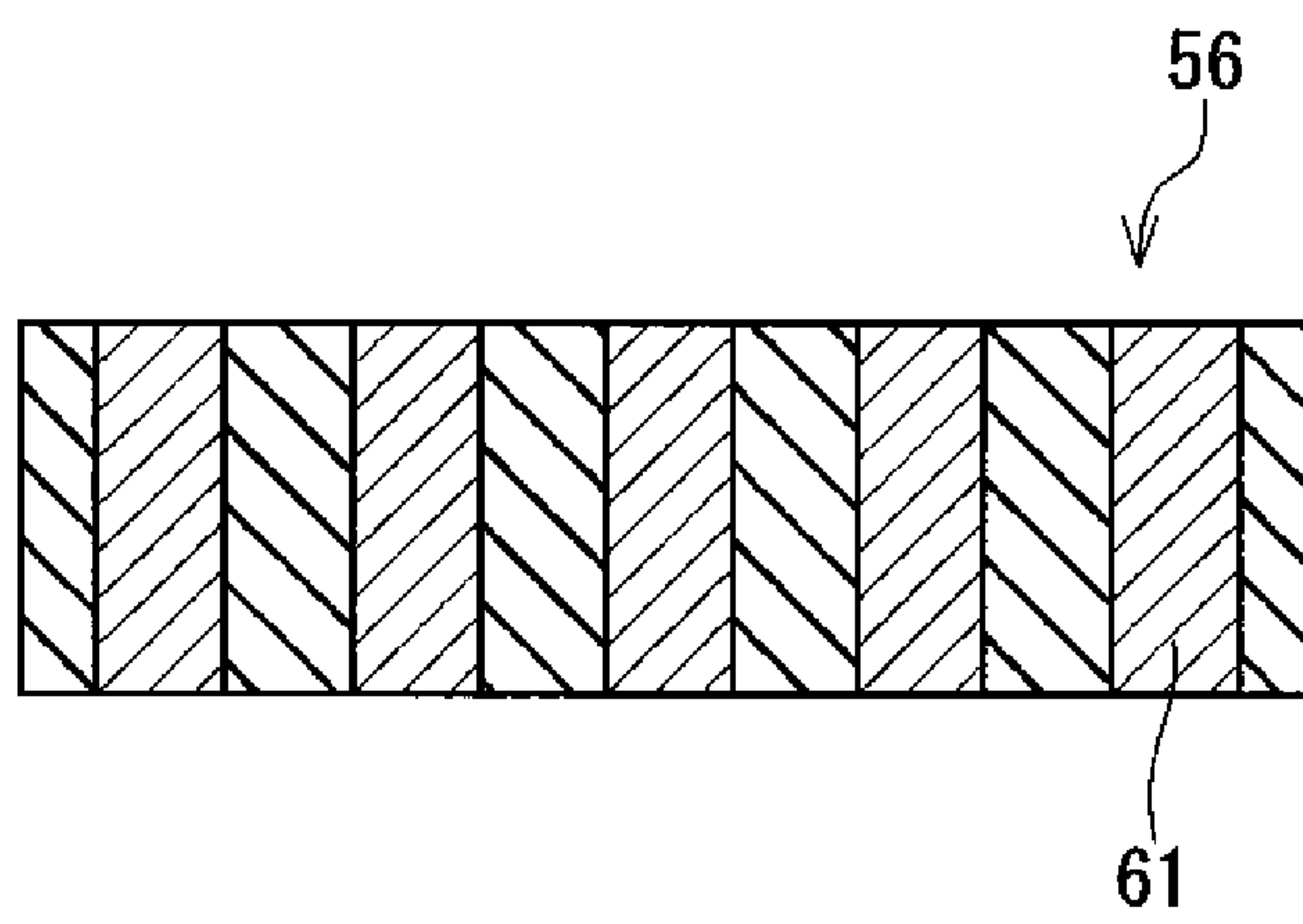
[図21]



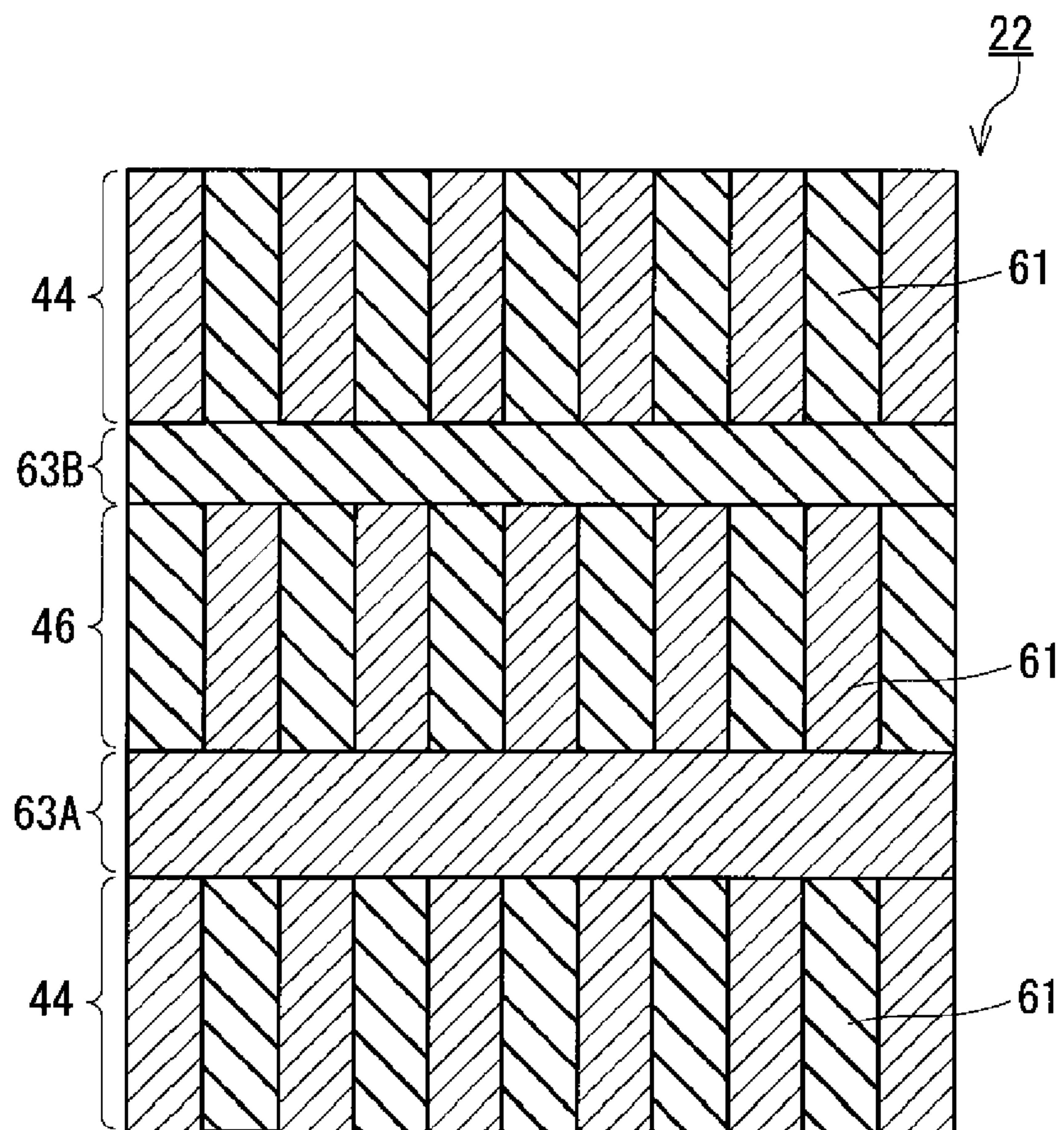
[図22A]



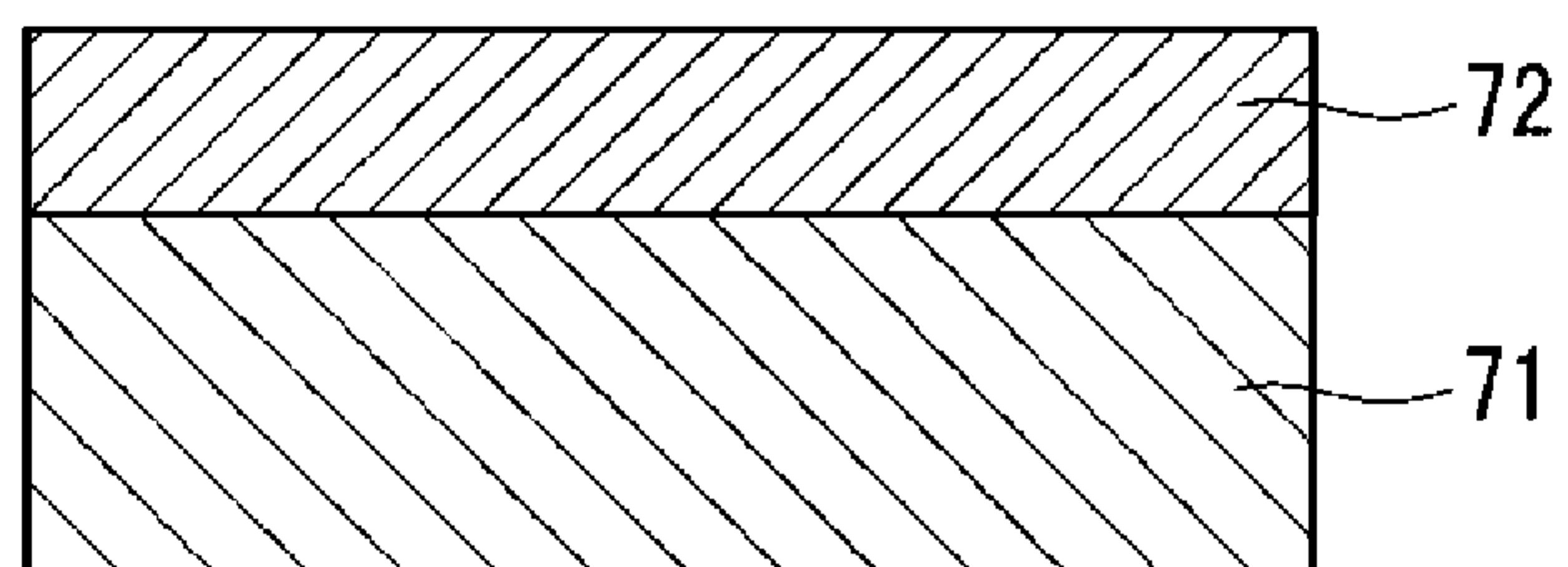
[図22B]



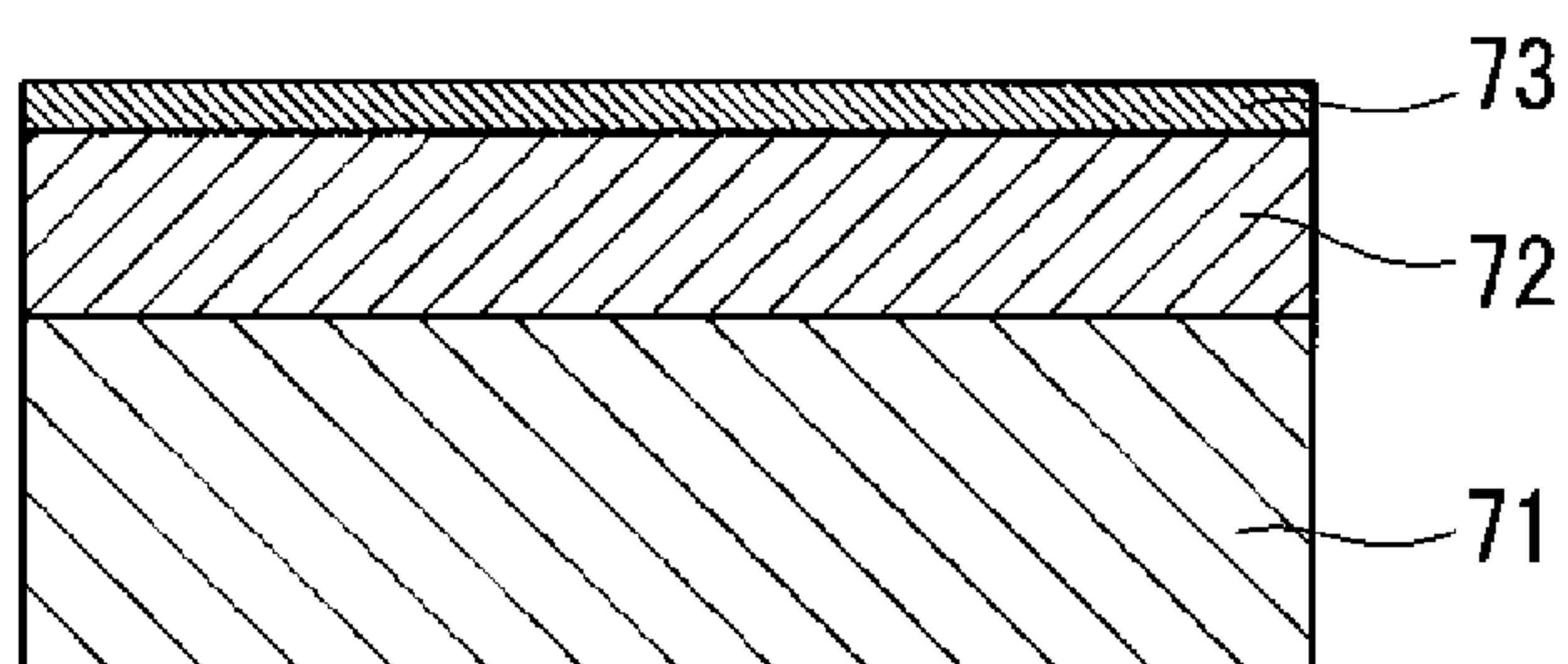
[図23]



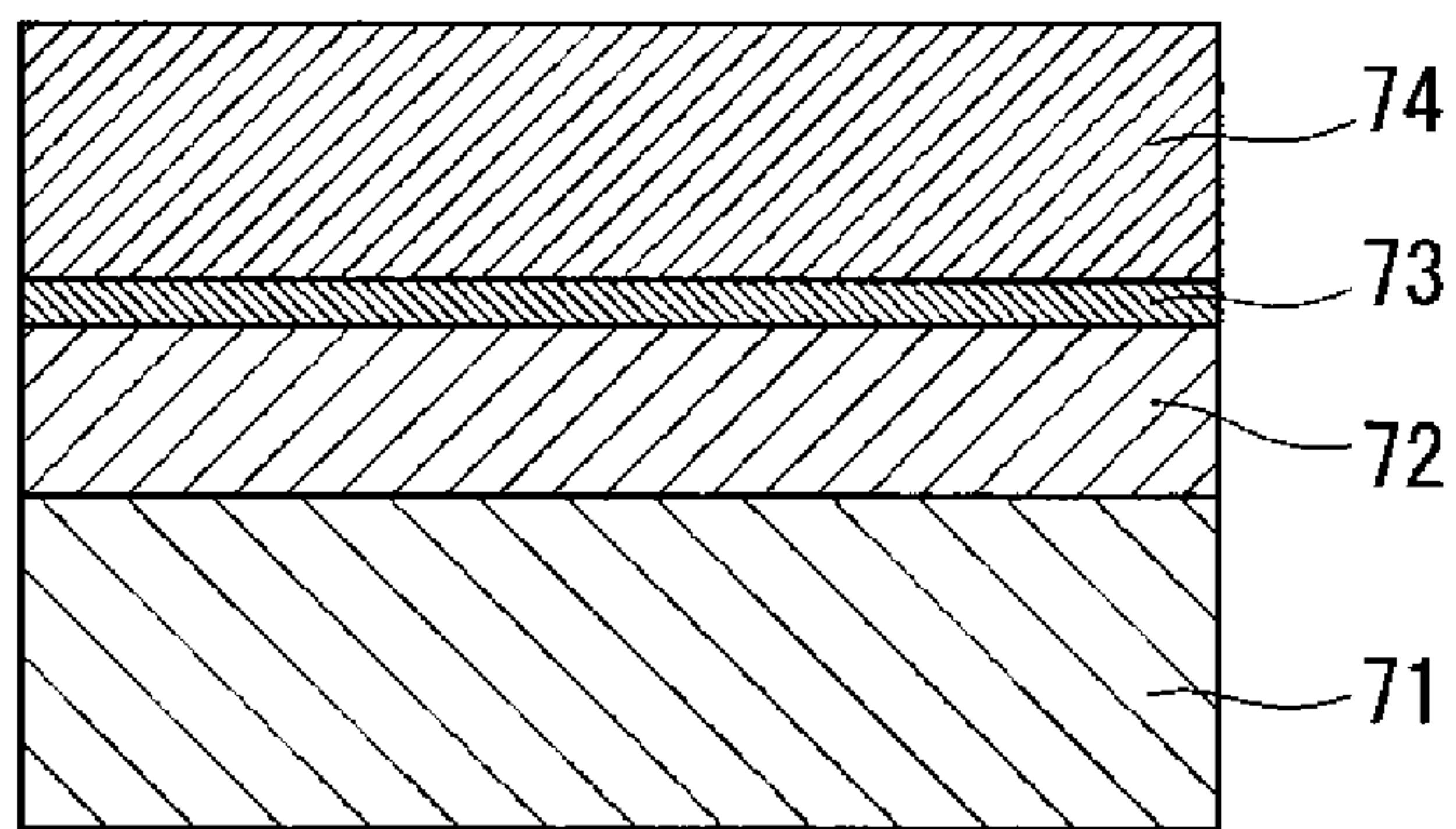
[図24A]



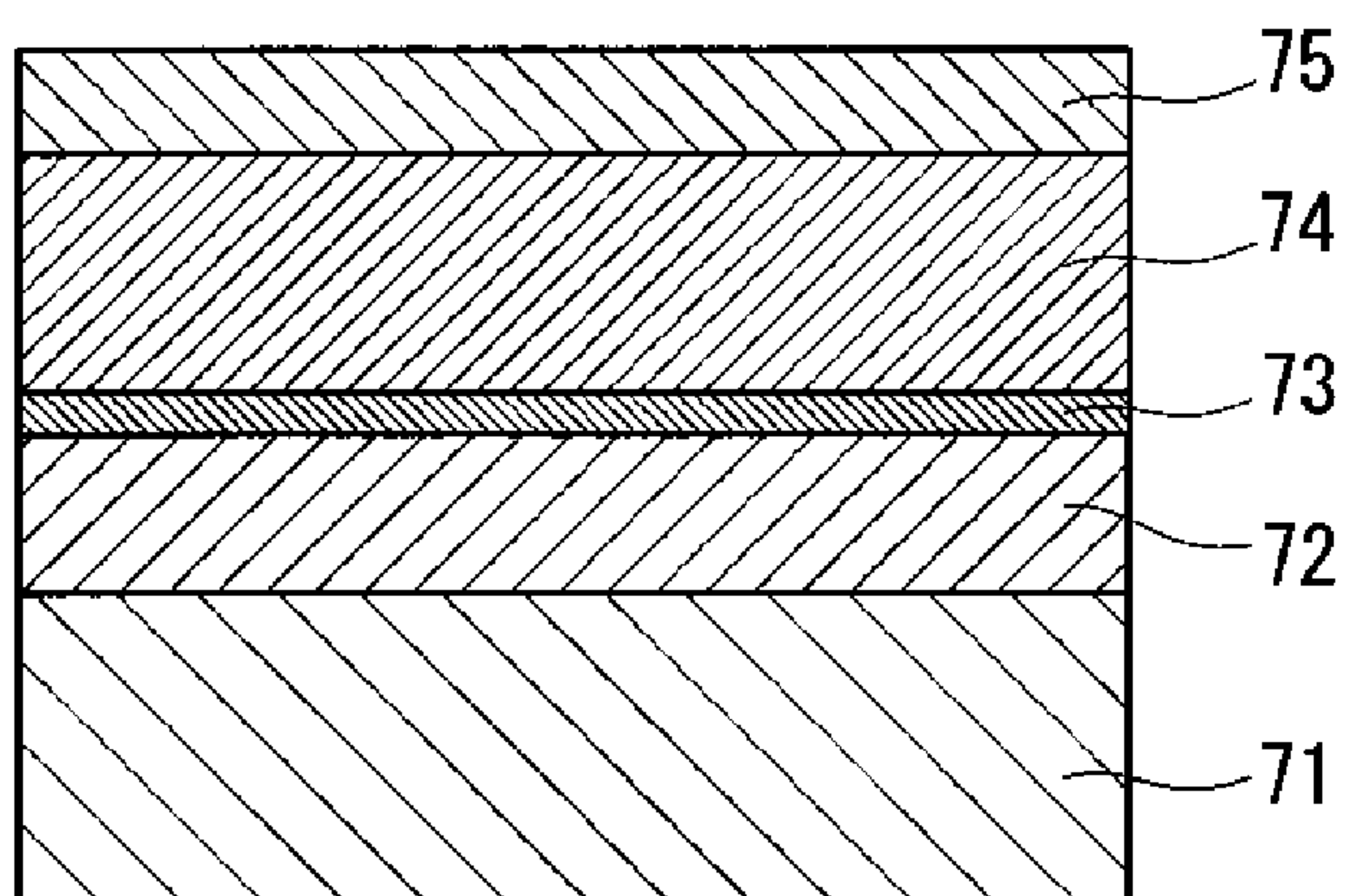
[図24B]



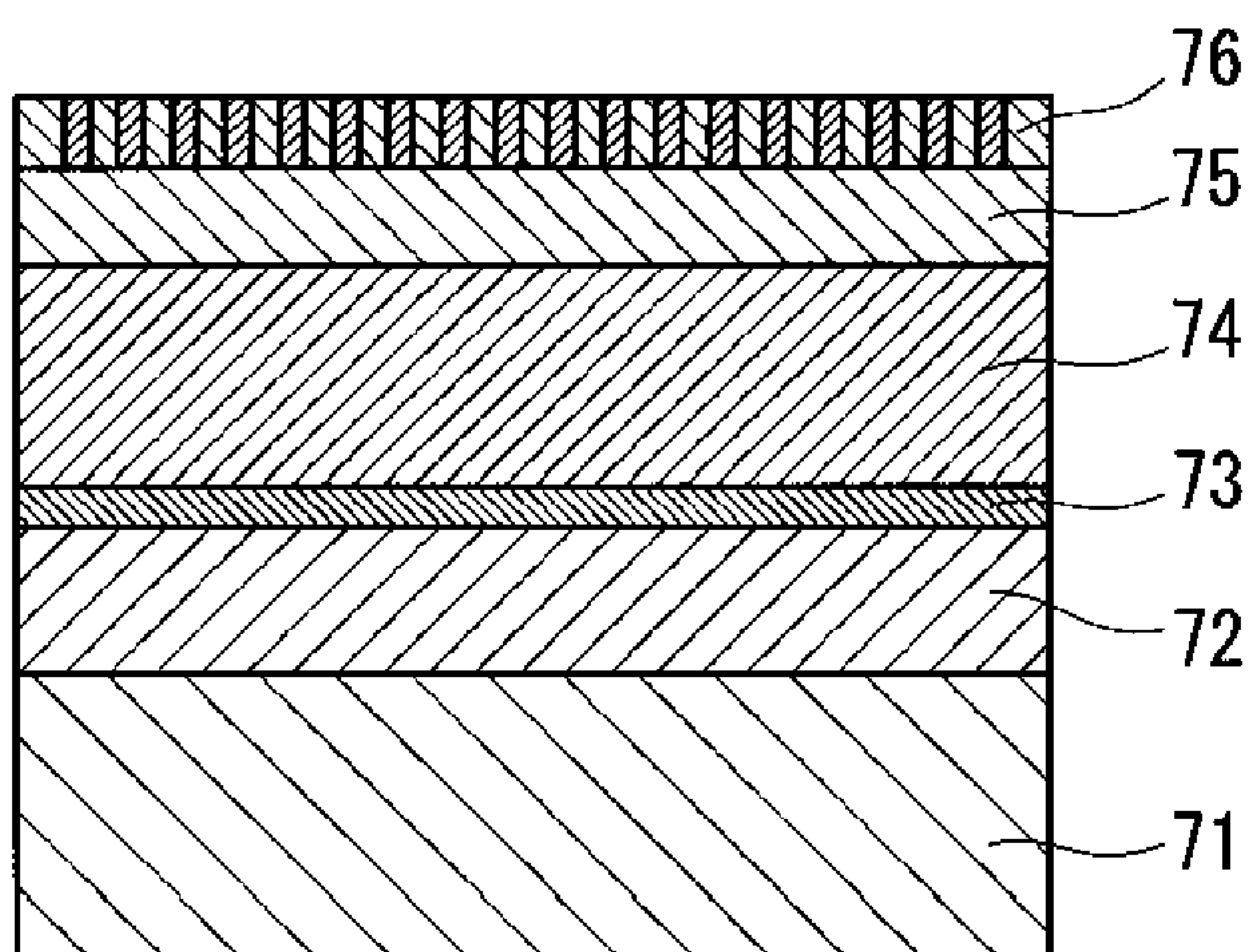
[図24C]



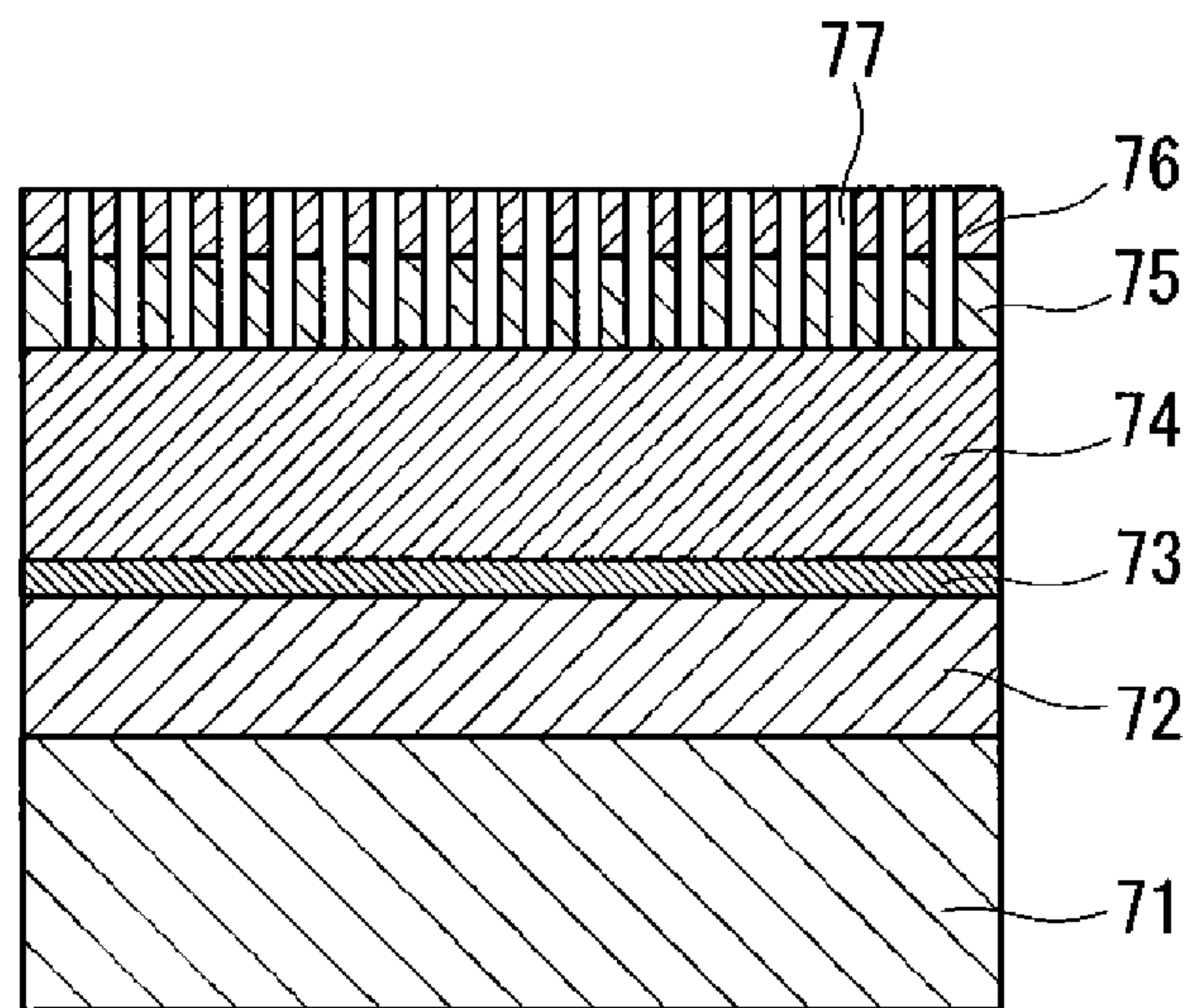
[図24D]



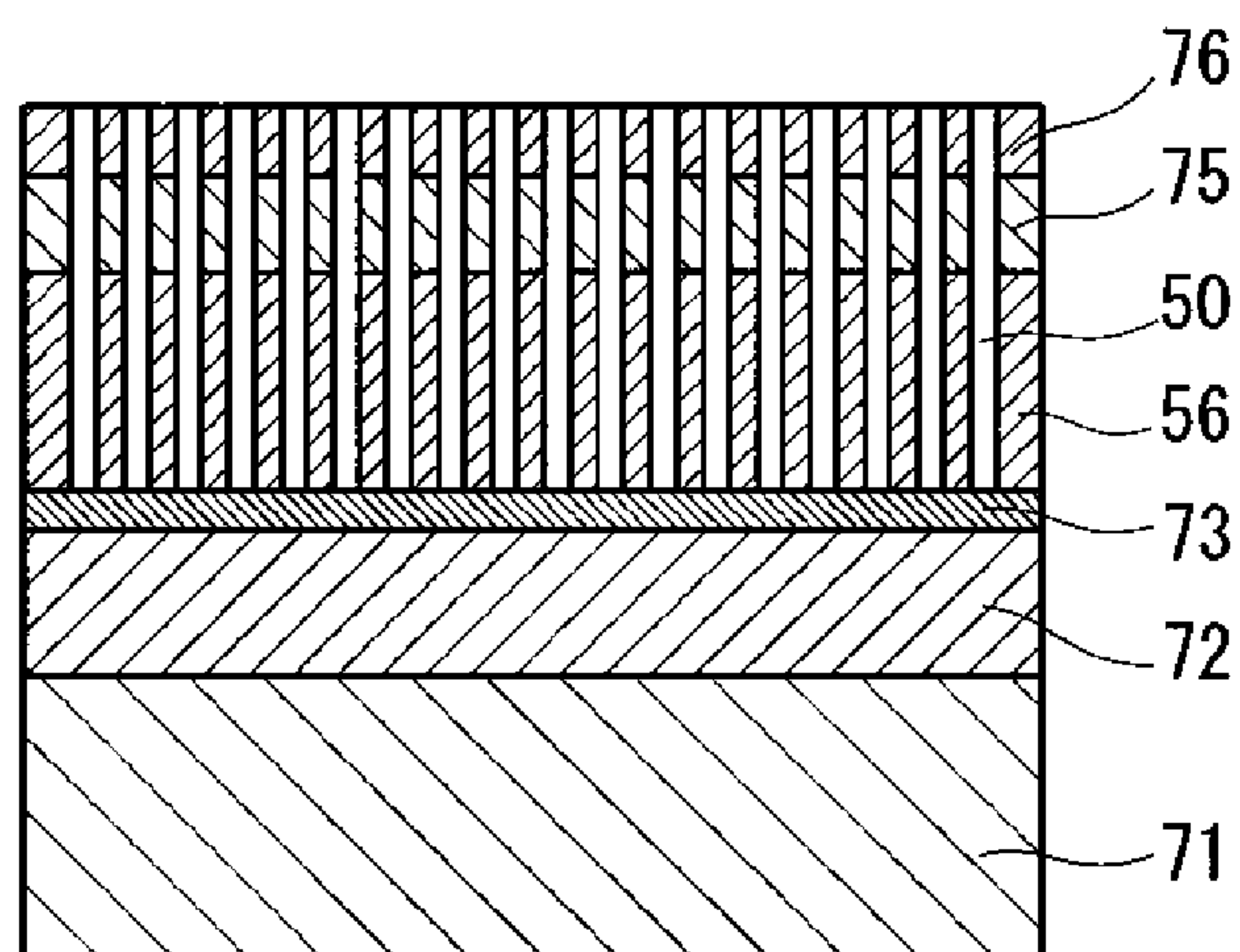
[図24E]



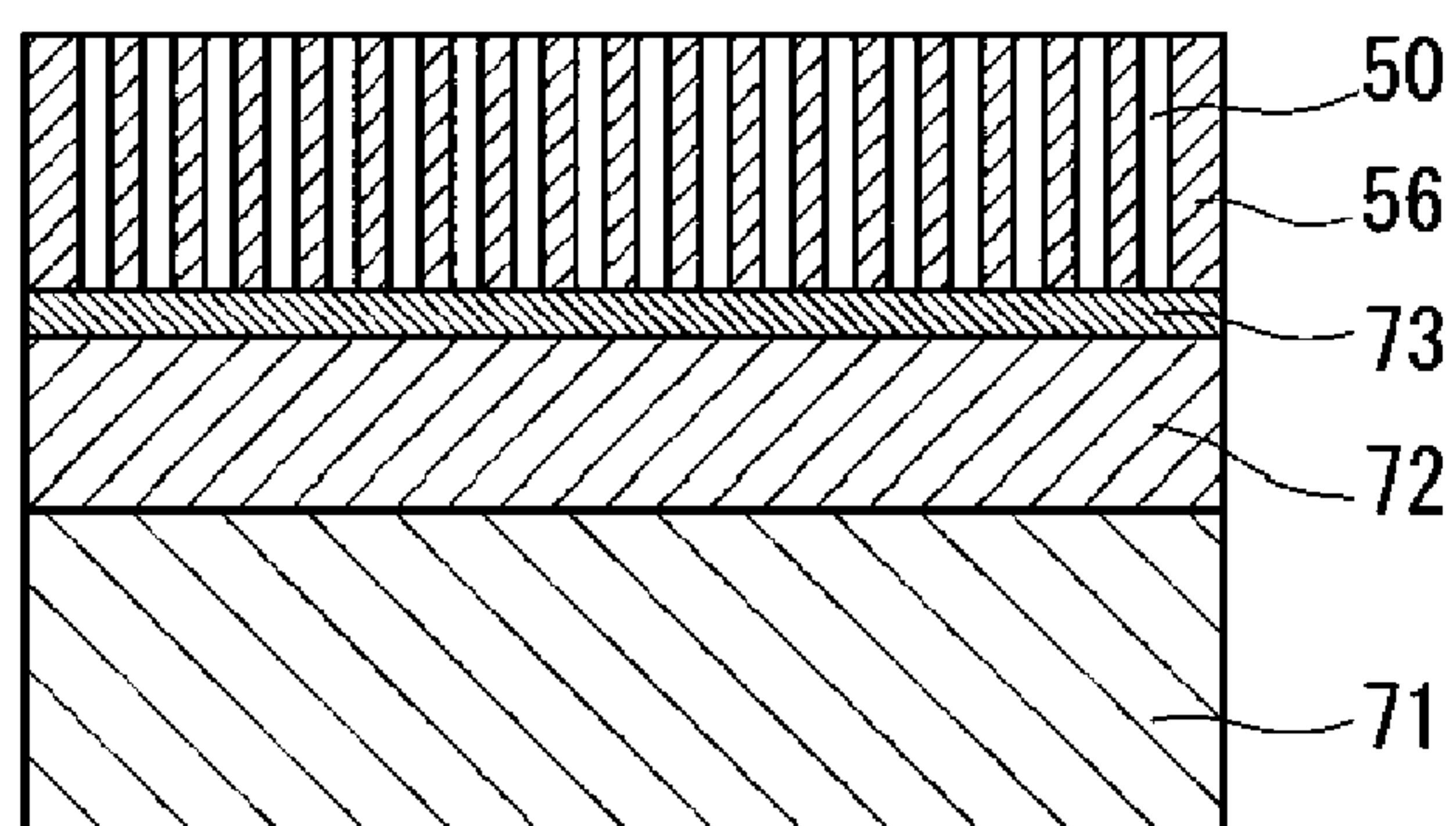
[図24F]



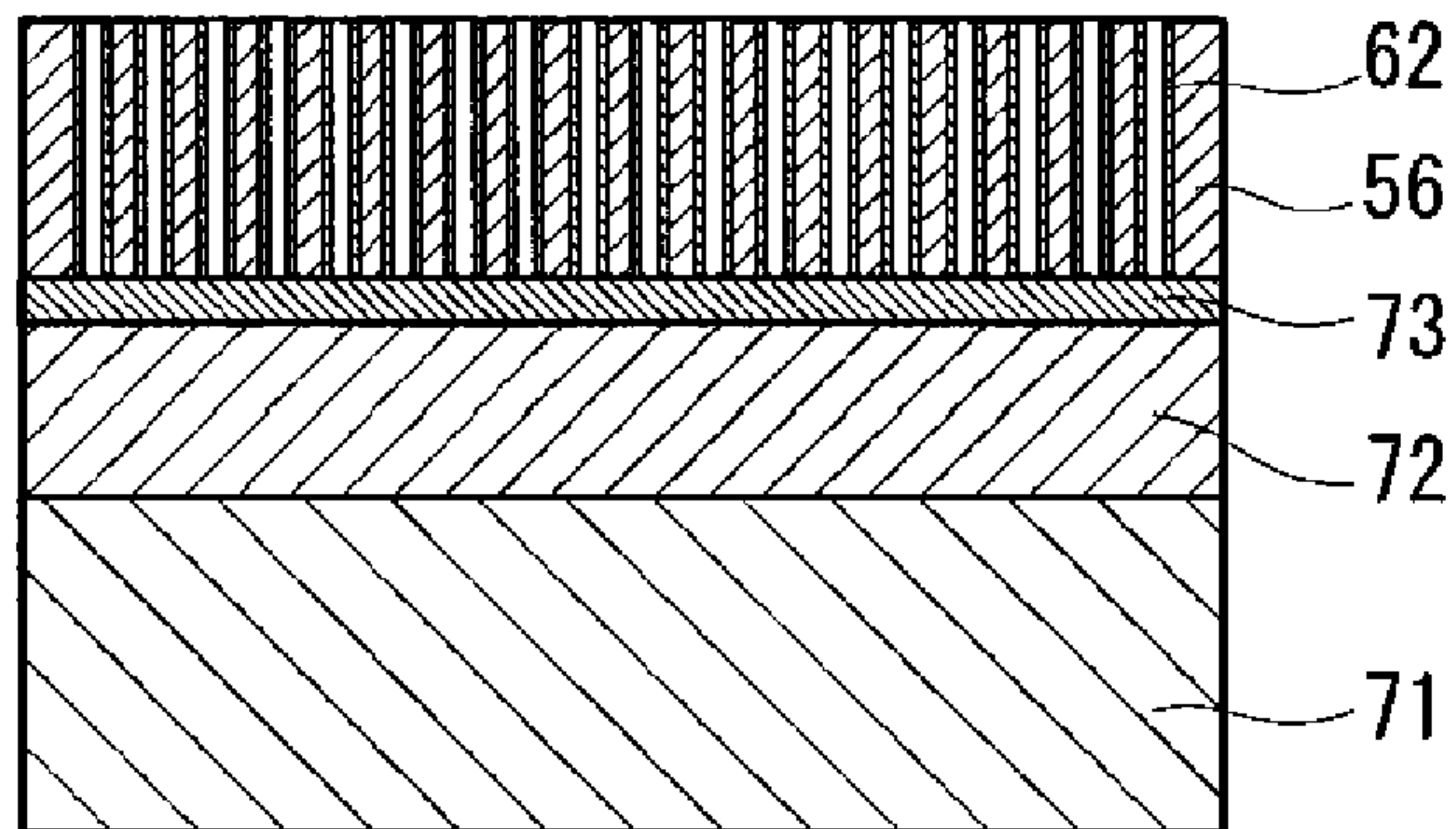
[図24G]



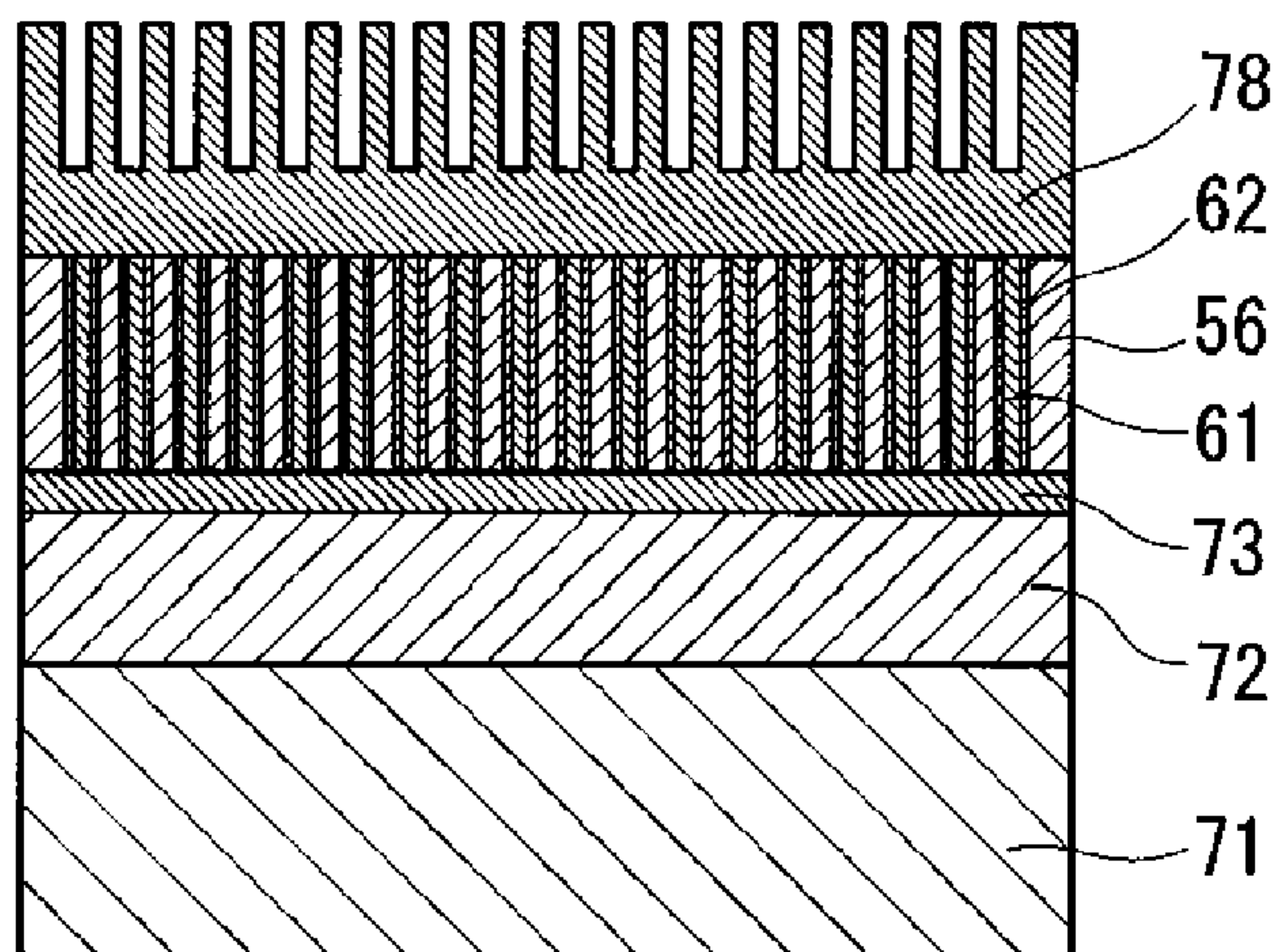
[図24H]



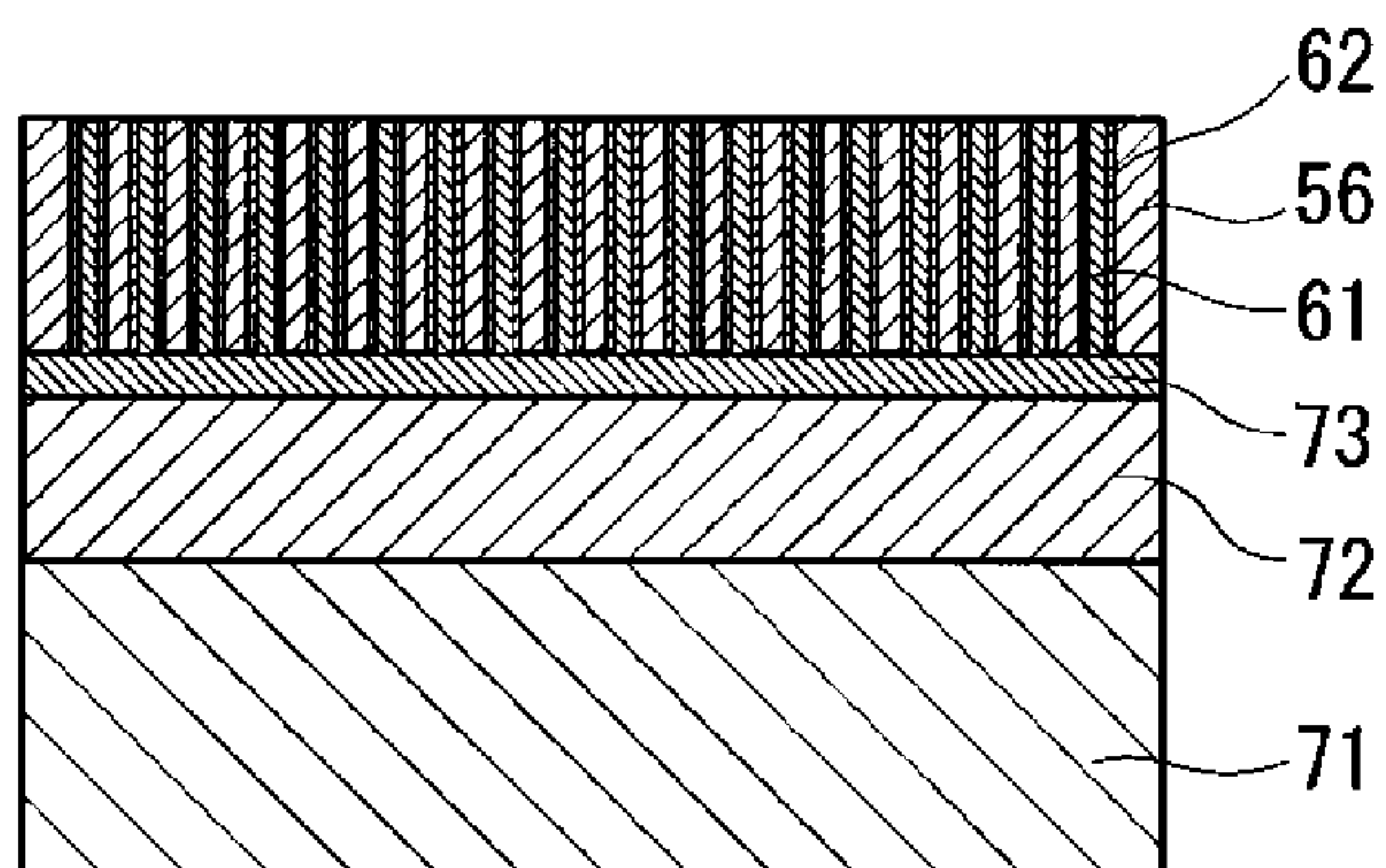
[図24I]



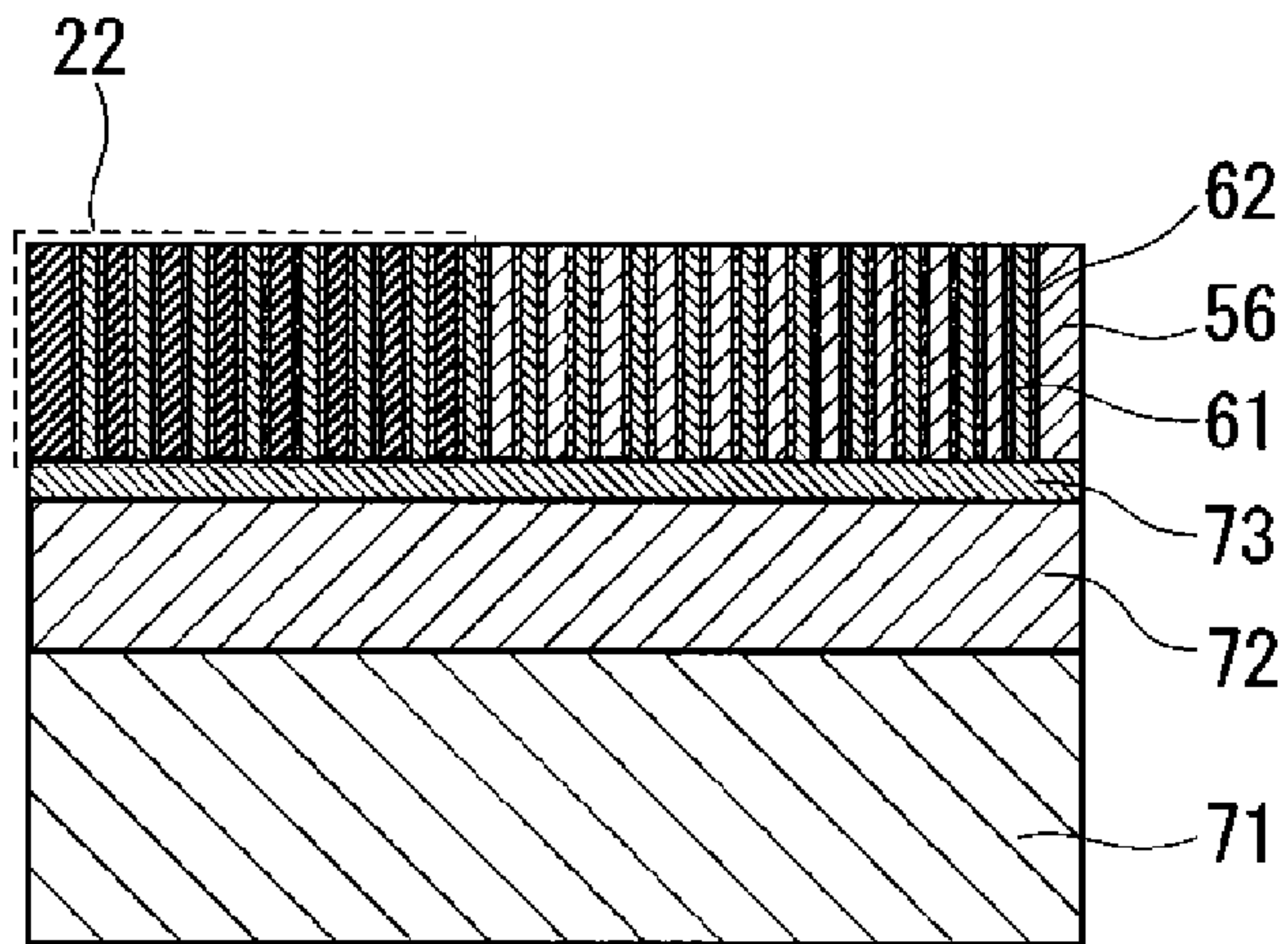
[図24J]



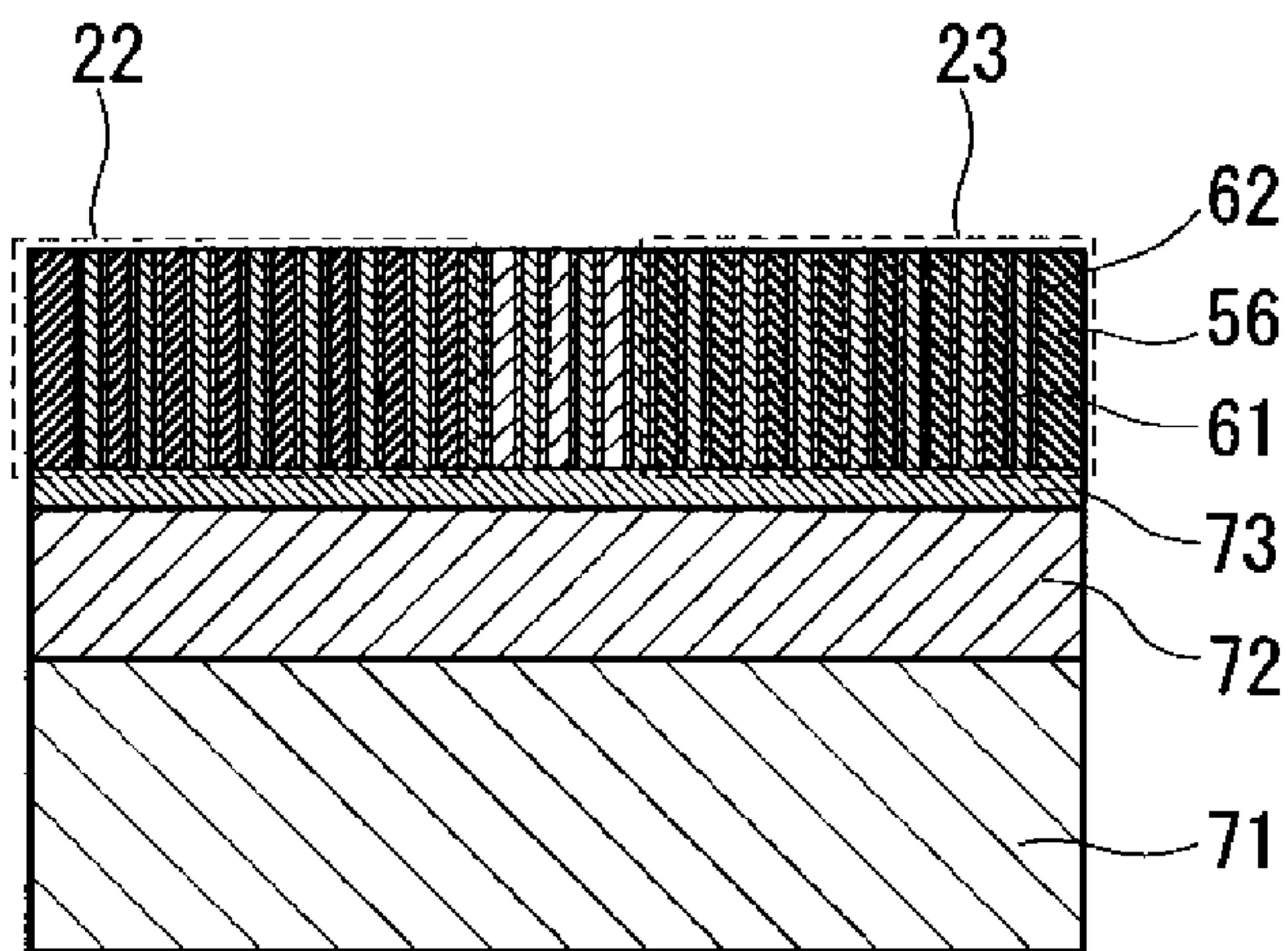
[図24K]



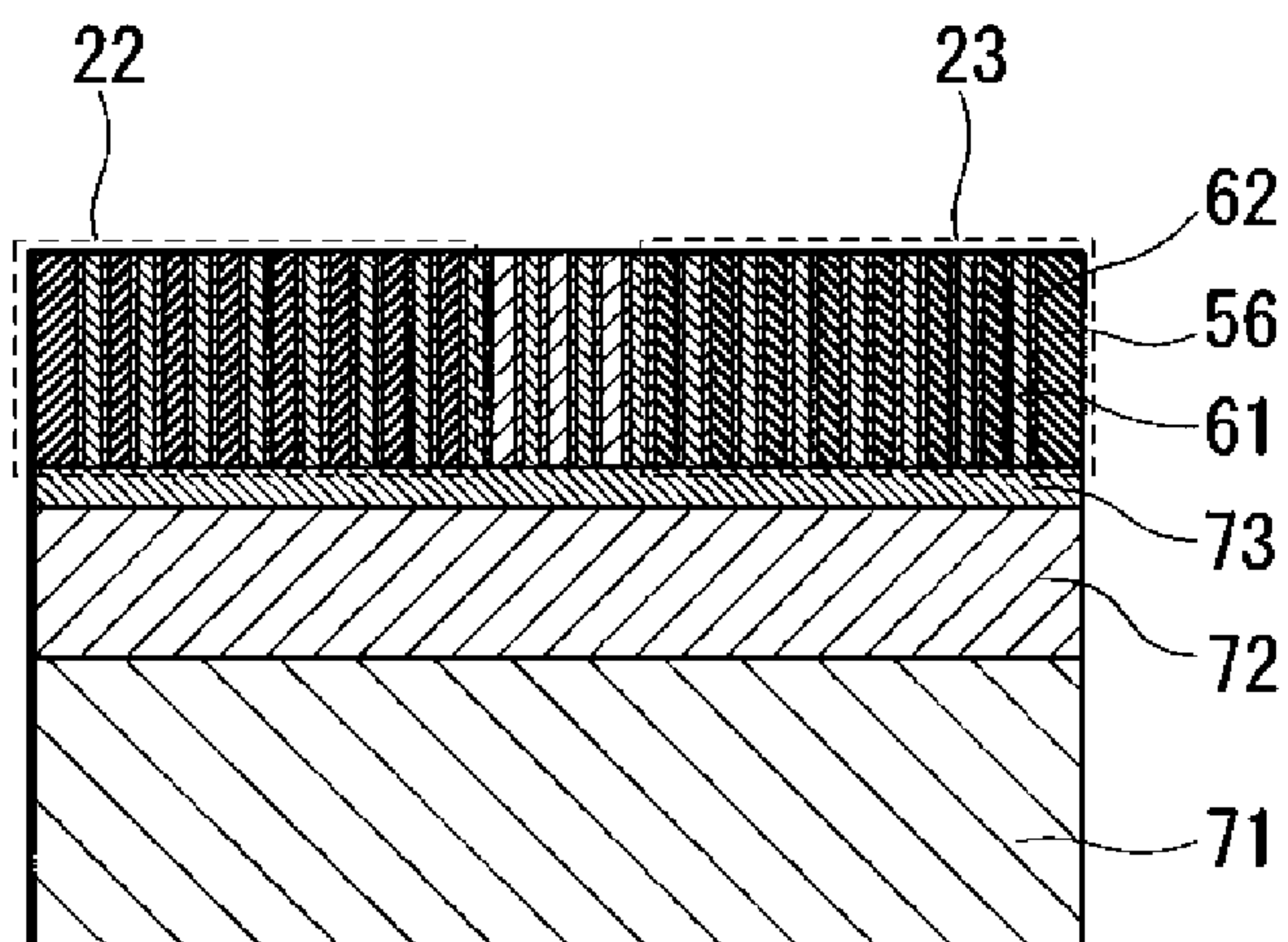
[図24L]



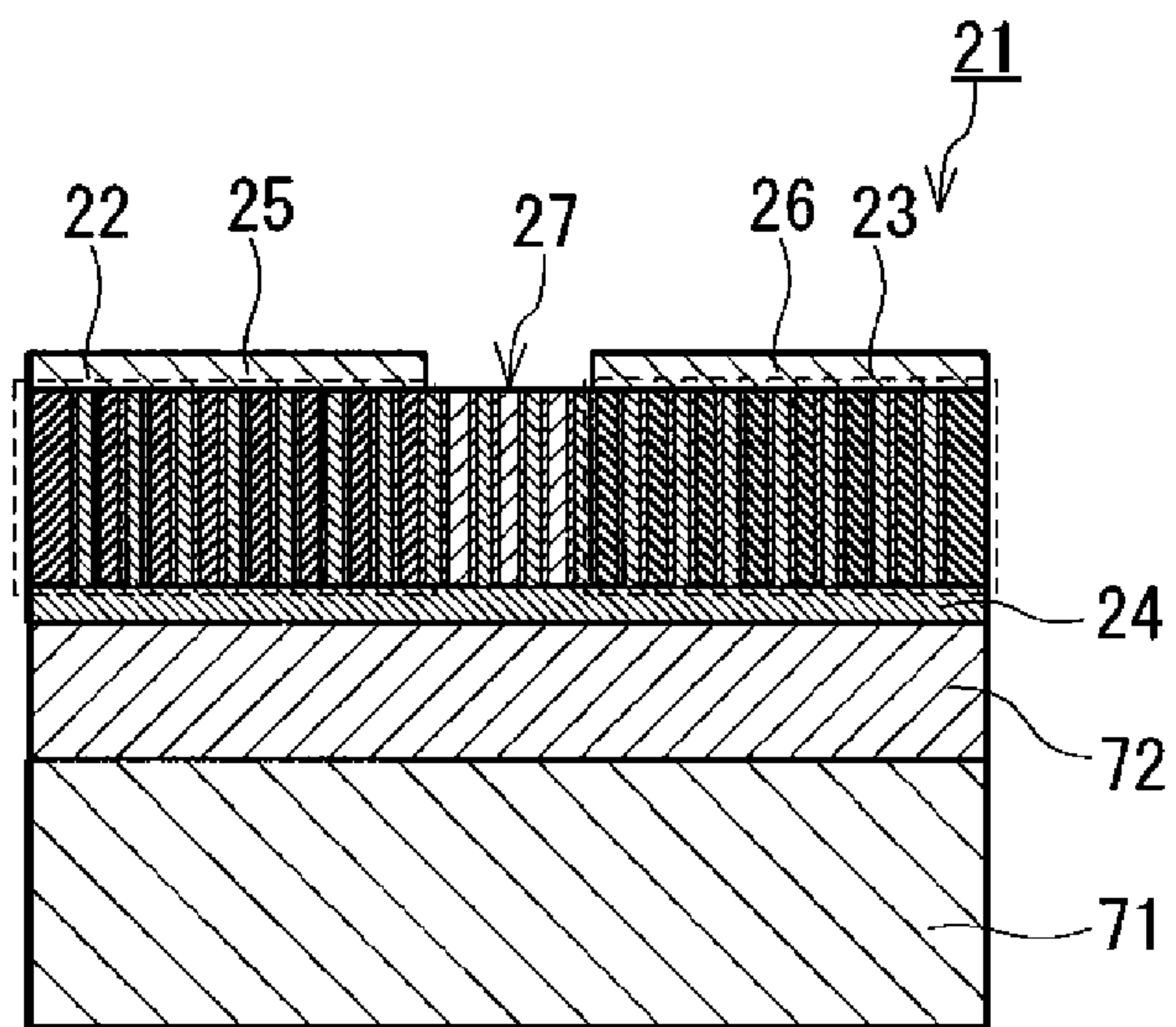
[図24M]



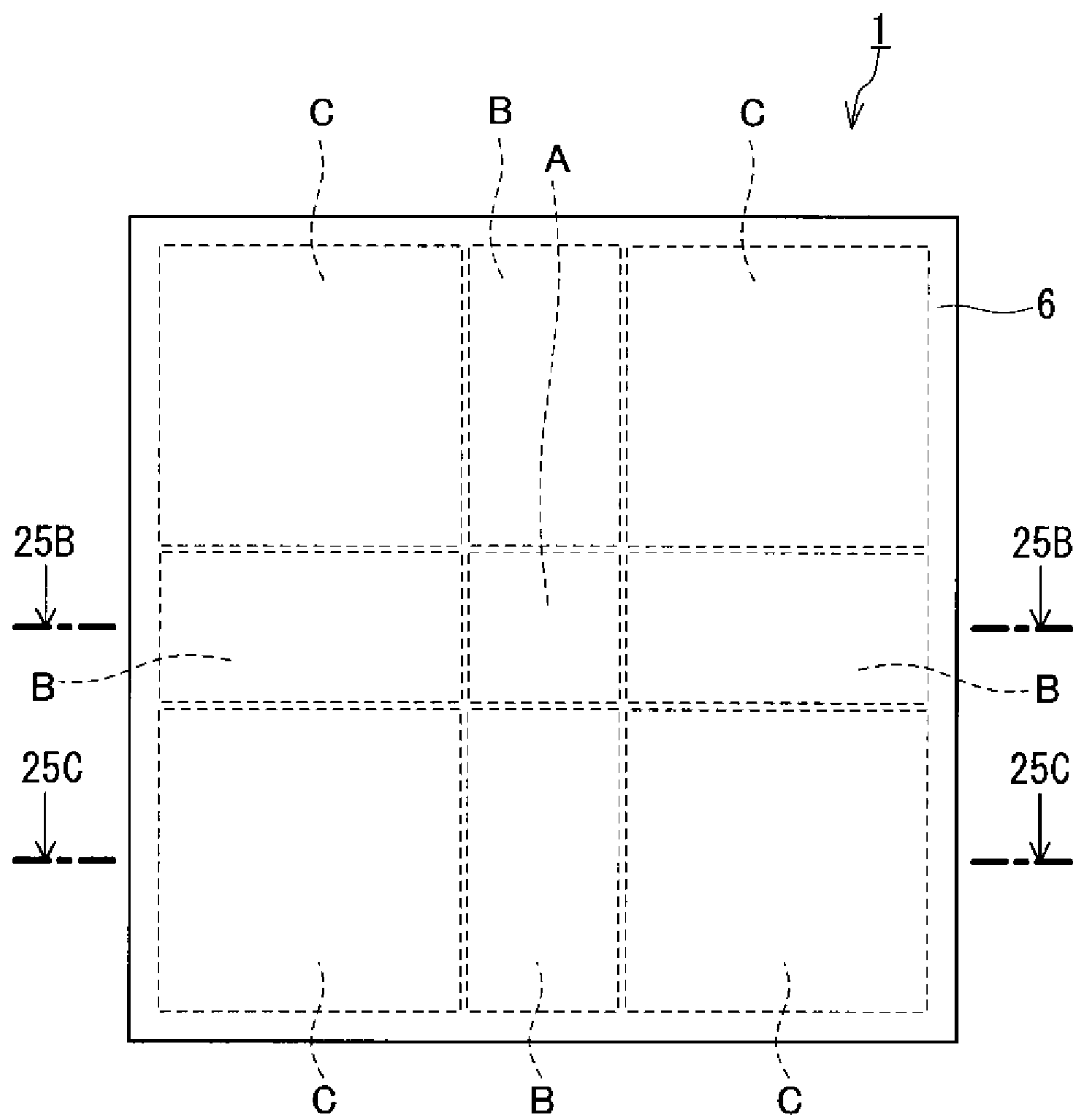
[図24N]



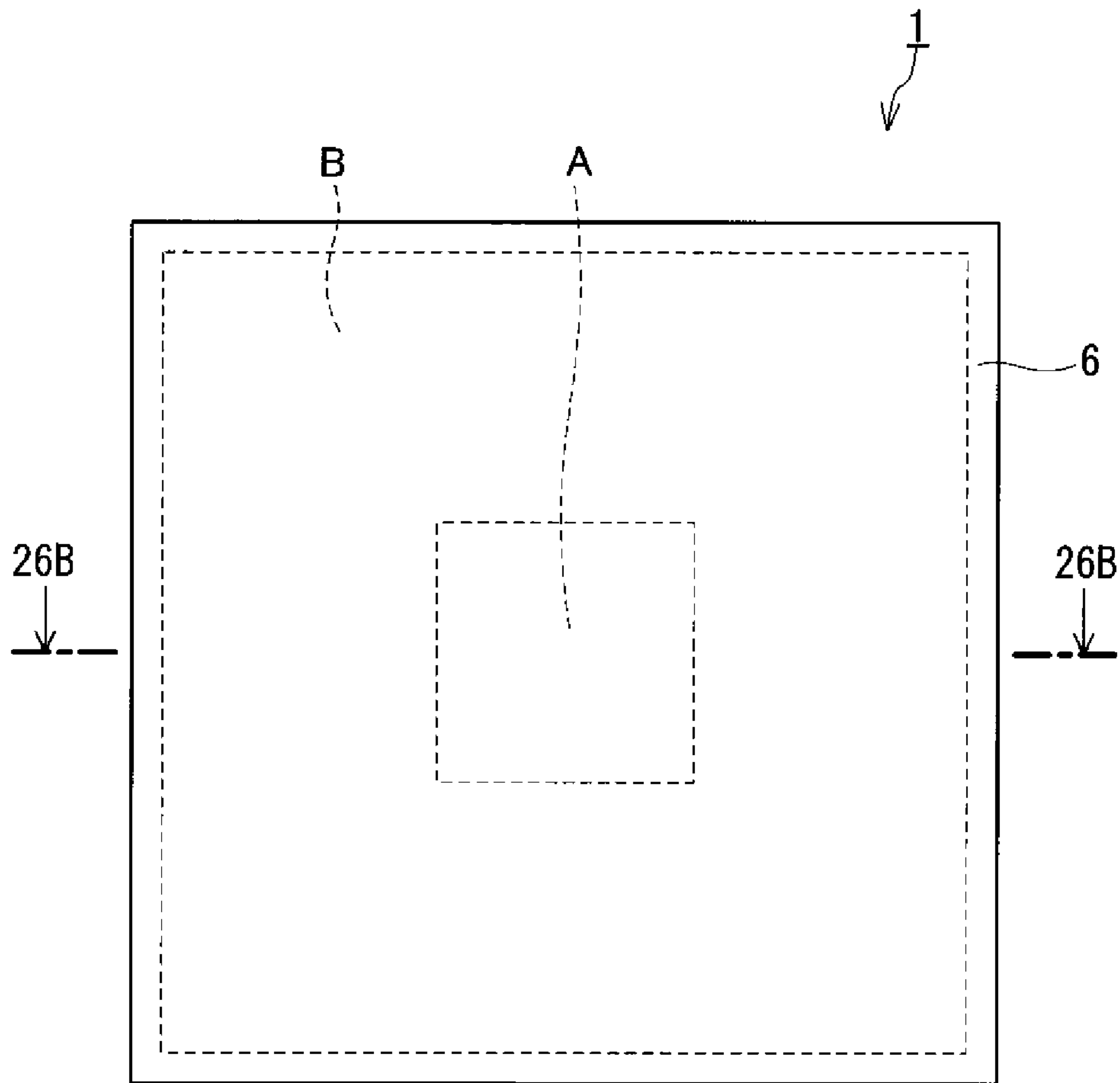
[図240]



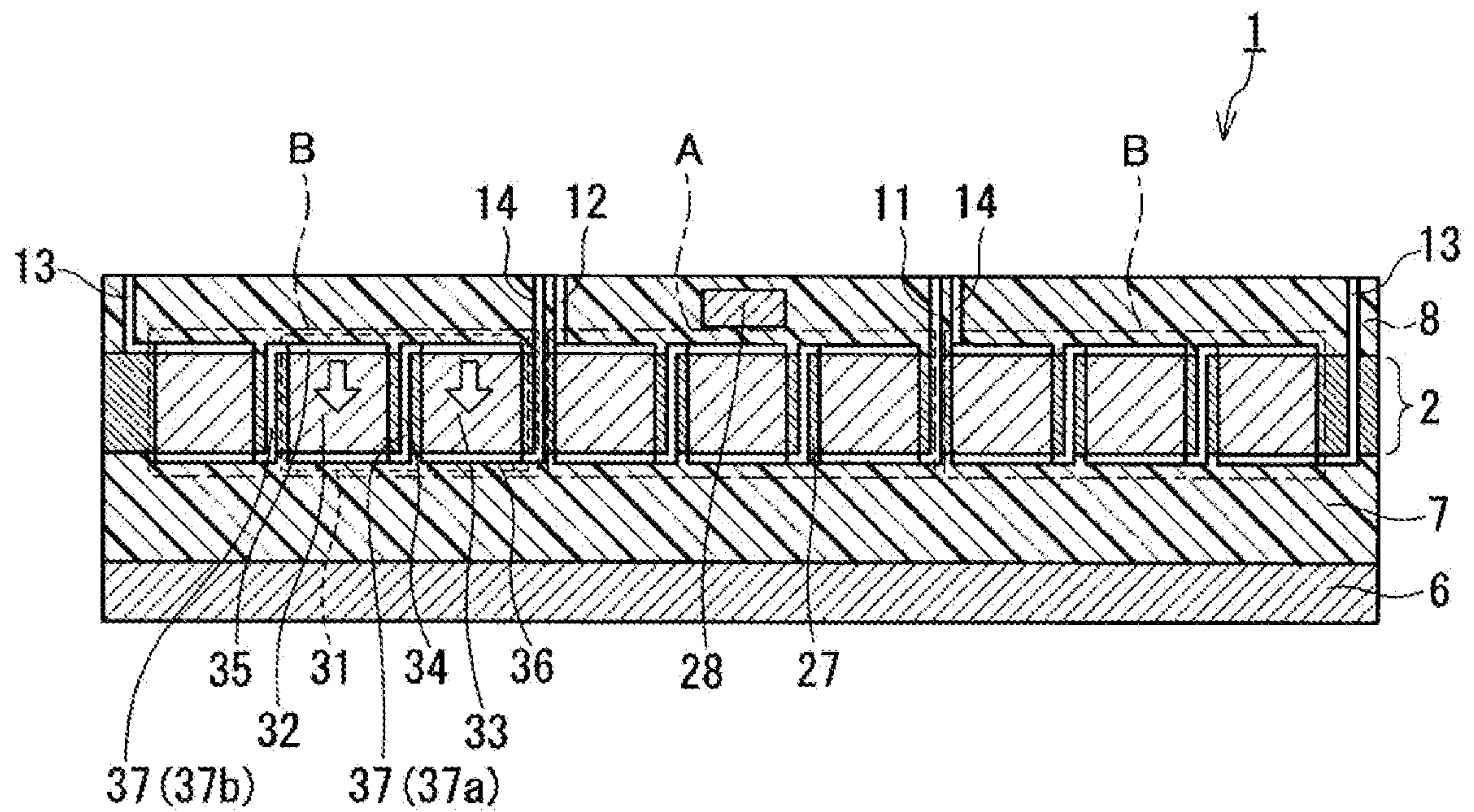
[図25A]



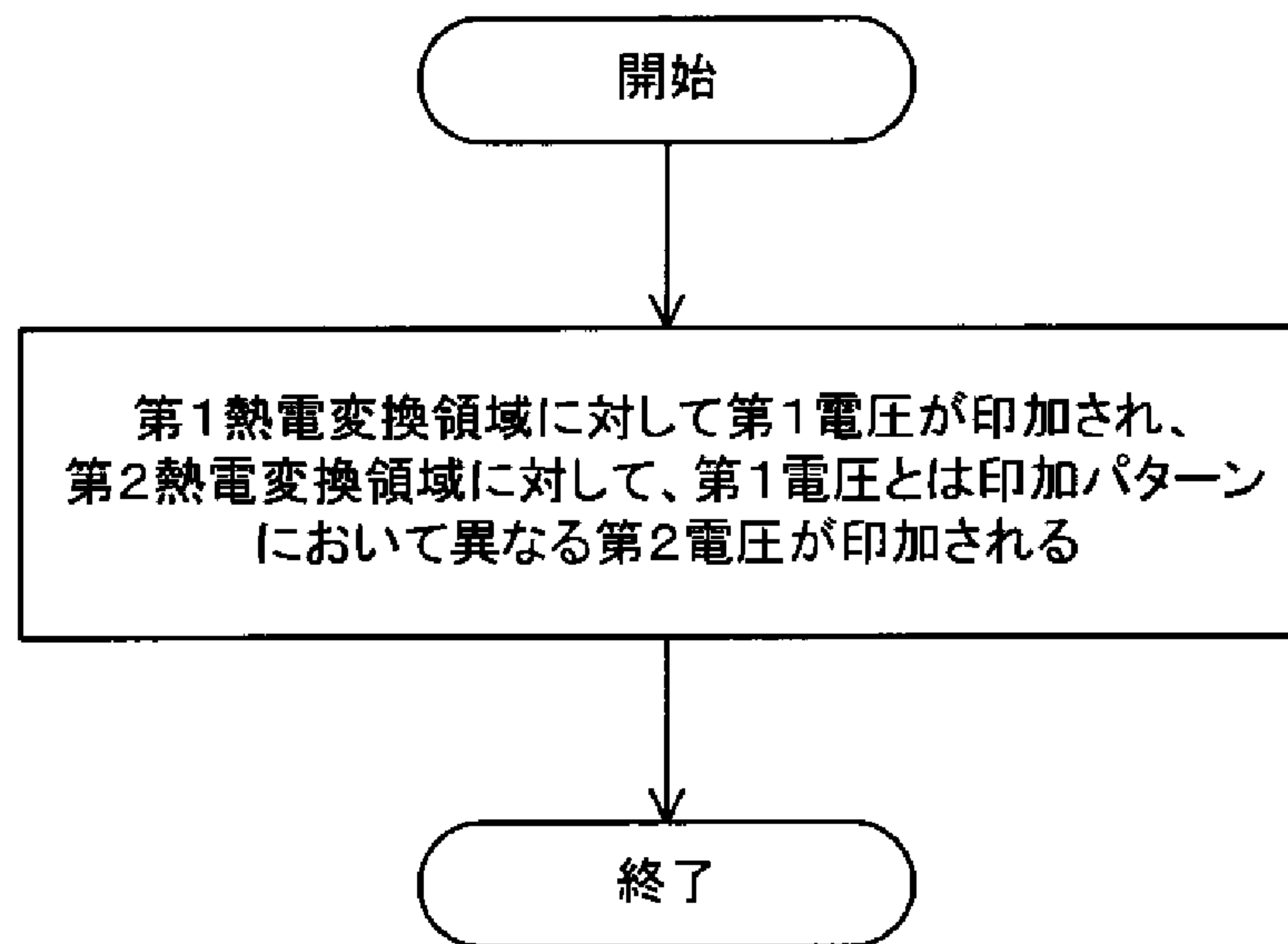
[図26A]



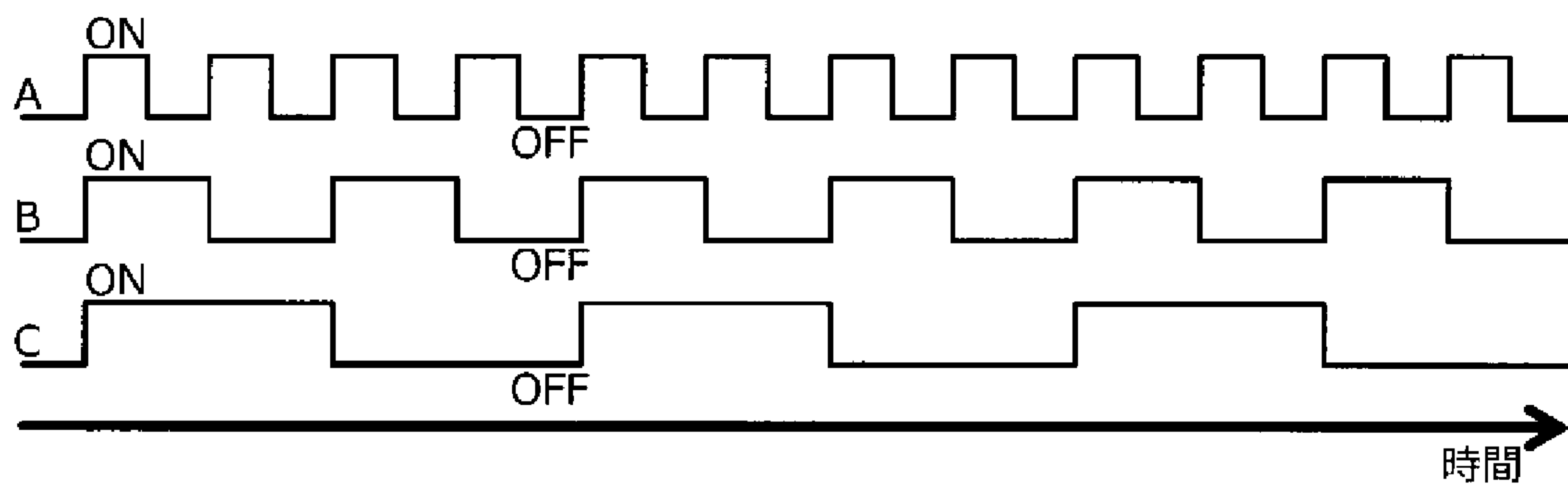
[図26B]



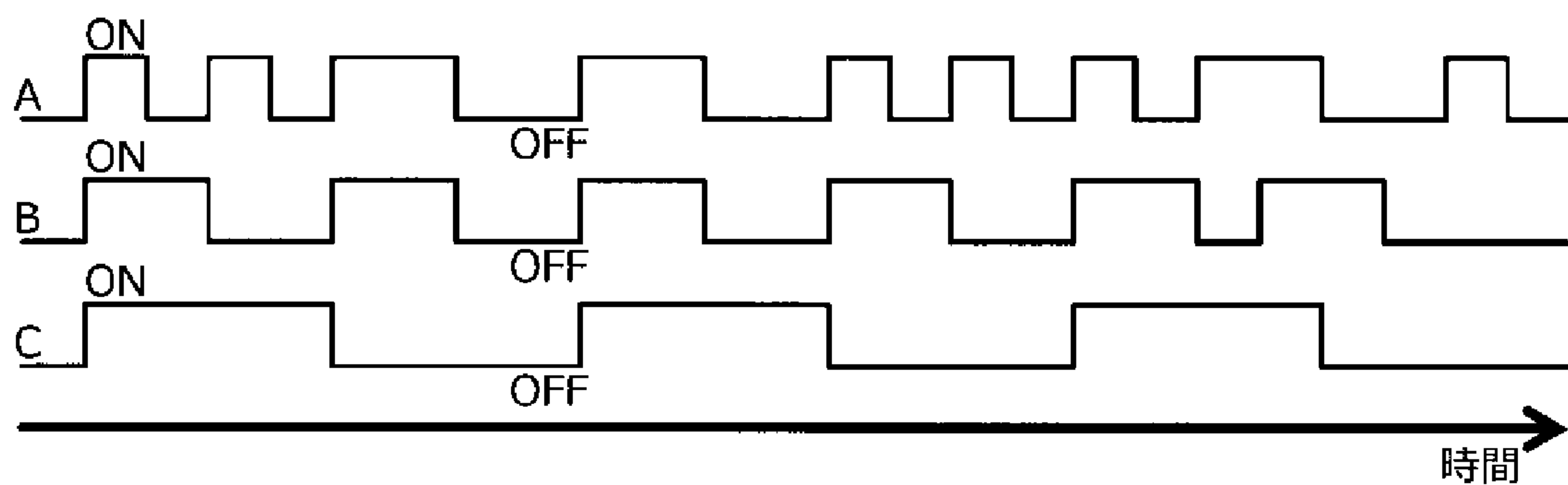
[図27]



[図28]



[図29]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/037791

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
H01L 35/26(2006.01) i; H01L 35/32(2006.01) i; H02N 11/00(2006.01) i		
FI: H01L35/26; H01L35/32 Z; H02N11/00 A		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
H01L35/26; H01L35/32; H02N11/00		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Published examined utility model applications of Japan 1922-1996		
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020		
Registered utility model specifications of Japan 1996-2020		
Published registered utility model applications of Japan 1994-2020		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-179204 A (YASKAWA ELECTRIC CORPORATION) 27	1-5, 9-16, 18-
A	June 2003 (2003-06-27) paragraphs [0006], [0011]-	21
	[0012], fig. 4-5	6-8, 17
Y	US 2014/0373888 A1 (SILICIUM ENERGY, INC.) 25	1-5, 9-16, 18-
A	December 2014 (2014-12-25) paragraphs [0009],	21
	[0036]-[0065], fig. 1-3B	6-8, 17
Y	JP 2017-152691 A (MITSUBISHI MATERIALS CORP.) 31	5, 9, 11-16,
A	August 2017 (2017-08-31) paragraphs [0055]-[0063],	18-21
	fig. 3	6-8, 17
Y	JP 7-058416 A (MIYAZAKI ELECTRIC WIRE & CABLE CO.,	11-16, 18-21
A	LTD.) 03 March 1995 (1995-03-03) paragraphs	6-8, 17
	[0008]-[0011], [0013]-[0023], fig. 1, 3-4	
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
18 December 2020 (18.12.2020)		28 December 2020 (28.12.2020)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/037791

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2014-503996 A (ALPHABET ENERGY, INC.) 13 February 2014 (2014-02-13) paragraph [0004]	21 6-8, 17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/037791

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2003-179204 A	27 Jun. 2003	(Family: none)	
US 2014/0373888 A1	25 Dec. 2014	WO 2013/109729 A1	
JP 2017-152691 A	31 Aug. 2017	US 2019/0067548 A1	
		paragraphs [0104]-	
		[0116], fig. 3	
		WO 2017/146095 A1	
		EP 3422428 A1	
		TW 201803999 A	
		CN 108701749 A	
		KR 10-2018-0114892 A	
JP 7-058416 A	03 Mar. 1995	(Family: none)	
JP 2014-503996 A	13 Feb. 2014	US 2012/0295074 A1	
		paragraph [0004]	
		US 2015/0093904 A1	
		WO 2012/068426 A2	
		EP 2641280 A2	
		CA 2818368 A1	
		CN 103460417 A	
		KR 10-2013-0120488 A	

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2020/037791
A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） H01L 35/26(2006.01)i; H01L 35/32(2006.01)i; H02N 11/00(2006.01)i FI: H01L35/26; H01L35/32 Z; H02N11/00 A		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C）） H01L35/26; H01L35/32; H02N11/00		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 日本国公開実用新案公報 1 9 7 1 - 2 0 2 0 年 日本国実用新案登録公報 1 9 9 6 - 2 0 2 0 年 日本国登録実用新案公報 1 9 9 4 - 2 0 2 0 年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2003-179204 A（株式会社安川電機）27.06.2003（2003 - 06 - 27） 段落 [0006] , [0011] - [0012] , [図4] - [図5]	1-5, 9-16, 18-21 6-8, 17
Y A	US 2014/0373888 A1（SILICIUM ENERGY, INC.）25.12.2014（2014 - 12 - 25） 段落 [0009] , [0036] - [0065] , 図1-3B	1-5, 9-16, 18-21 6-8, 17
Y A	JP 2017-152691 A（三菱マテリアル株式会社）31.08.2017（2017 - 08 - 31） 段落 [0055] - [0063] , [図3]	5, 9, 11-16, 18-21 6-8, 17
Y A	JP 7-058416 A（宮崎電線工業株式会社）03.03.1995（1995 - 03 - 03） 段落 [0008] - [0011] , [0013] - [0023] , [図1] , [図3] - [図4]	11-16, 18-21 6-8, 17
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 18. 12. 2020		国際調査報告の発送日 28. 12. 2020
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 田邊 顕人 5F 5894 電話番号 03-3581-1101 内線 3514

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2014-503996 A (アルファベット エナジー インコーポレイテッド) 13.02.2014 (2014 - 02 - 13)	21
A	段落 [0004]	6-8, 17

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2003-179204	A	27.06.2003	(ファミリーなし)	
US	2014/0373888	A1	25.12.2014	WO	2013/109729 A1
JP	2017-152691	A	31.08.2017	US	2019/0067548 A1
				段落 [0104] - [0116] , 図 3	
				WO	2017/146095 A1
				EP	3422428 A1
				TW	201803999 A
				CN	108701749 A
				KR	10-2018-0114892 A
JP	7-058416	A	03.03.1995	(ファミリーなし)	
JP	2014-503996	A	13.02.2014	US	2012/0295074 A1
				段落 [0004]	
				US	2015/0093904 A1
				WO	2012/068426 A2
				EP	2641280 A2
				CA	2818368 A1
				CN	103460417 A
				KR	10-2013-0120488 A