

(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
2013 年 7 月 4 日 (04.07.2013)



(10) 国際公開番号

W O 2013/099366 A 1

- (51) 国際特許分類 :
H05H 1/46 (2006.01) H01L 21/3065 (2006.01)
C23C 16/505 (2006.01) H01L 21/31 (2006.01)
H01L 21/205 (2006.01)
- (21) 国際出願番号 : PCT/JP2012/073332
- (22) 国際出願日 : 2012 年 9 月 12 日 (12.09.2012)
- (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 2011-283126 2011 年 12 月 26 日 (26.12.2011) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について) : 日新電機株式会社 (NSSIN ELECTRIC CO., LTD.)
[JP/JP]; 〒6158686 京都府京都市右京区梅津高畝町 4 7 番地 Kyoto (JP). 株式会社日本製鋼所 (THE JAPAN STEEL WORKS, LTD.) [JP/JP]; 〒1410032 東京都品川区大崎一丁目 1 1 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者 : および
- (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) : 安東靖典 (ANDO Yasunori) [JP/JP]; 〒6158686 京都府京都市右京区梅津高畝町 4 7 番地 日新電機株式会社内 Kyoto (JP). 入澤一彦 (RISAWA Kazuhiko)

[JP/JP]; 〒6158686 京都府京都市右京区梅津高畝町 4 7 番地 日新電機株式会社内 Kyoto (JP). 米田均 (YONEDA Hitoshi) [JP/JP]; 〒6158686 京都府京都市右京区梅津高畝町 4 7 番地 日新電機株式会社内 Kyoto (JP). 真下徹 (MASHITA Toru) [JP/JP]; 〒2360004 神奈川県横浜市金沢区福浦二丁目 2 番 1 号 株式会社日本製鋼所内 Kanagawa (JP). 内田良平 (UCHIDA Ryouhei) [JP/JP]; 〒2360004 神奈川県横浜市金沢区福浦二丁目 2 番 1 号 株式会社日本製鋼所内 Kanagawa (JP). 千葉理樹 (CHIBA Masaki) [JP/JP]; 〒2360004 神奈川県横浜市金沢区福浦二丁目 2 番 1 号 株式会社日本製鋼所内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人 : 山本恵二 (YAMAMOTO Keiji); 〒5400026 大阪府大阪市中央区内本町 2 丁目 3 番 8 ー 4 1 3 号 ダイアパレスビル本町 山本恵二特許事務所 Osaka (JP).

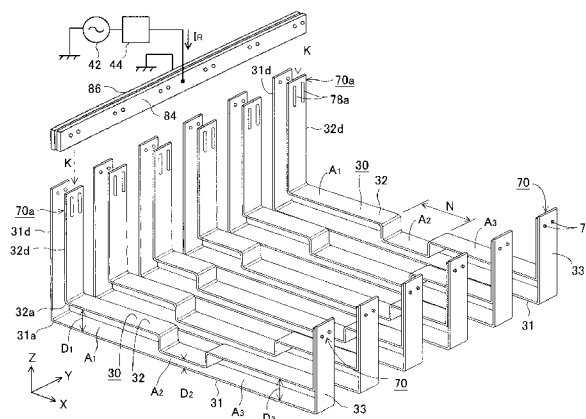
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,

[続 葉 有]

(54) Title: PLASMA PROCESSING DEVICE

(54) 発明の名称 : プラズマ処理装置

[図 32]



(57) Abstract: The primary objective of the present invention is, in an inductive-coupling plasma processing device, to suppress plasma potential to a low level by reducing the effective inductance of an antenna, and to enable the generation of plasma having favorable uniformity in the plasma density distribution in two dimensions and across a larger area. In the present invention, an antenna (30), of which the planar shape is straight, is configured from round trip conductors (31, 32) through which a high-frequency current (IR) flows in mutually opposite directions and that are disposed approaching each other in the vertical direction (Z). The gap (D) in the vertical direction (Z) of the round trip conductors (31, 32) is caused to be less in the central portion in the lengthwise direction (X) of the antenna and caused to be greater at both ends. A plurality of such antennas (30) are disposed in parallel. The length (N) of the region (A₂) at which the gap (D) is less at the central portion of each antenna is caused to be greater at the central portion in the direction (Y) of parallel disposition, and caused to be less at both ends.

(57) 要約 :

[続 葉 有]



MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

/ < (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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

添付公開書類 :

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

この発明は、誘導結合型のプラズマ処理装置において、アンテナの実効インダクタンスを小さくしてプラズマ電位を低く抑え、かつ、より大面積でしかも 2 次元におけるプラズマ密度分布の均一性の良いプラズマの生成を可能にすることを主目的としている。平面形状がまっすぐなアンテナ 30 を、上下方向 Z に互いに接近して配置されていて高周波電流 I_R が互いに逆向きに流される往復導体 31、32 によって構成している。往復導体 31、32 間の上下方向 Z の間隔 D を、アンテナ長手方向 X における中央部において小さくし、両端部において大きくしている。このようなアンテナ 30 を複数、並列配置している。各アンテナ中央部の間隔 D の小さい領域 A₂ の長さ N を、並列配置方向 Y の中央部で大きくし、両端部で小さくしている。

明 細 書

発明の名称 : プラズマ処理装置

技術分野

[0001] この発明は、プラズマを用いて基板に、例えばプラズマCVD法による膜形成、エッチング、アツシング、スパッタリング等の処理を施すプラズマ処理装置に関し、より具体的には、アンテナに高周波電流を流すことによって発生する誘導電界によってプラズマを生成し、当該プラズマを用いて基板に処理を施す誘導結合型のプラズマ処理装置に関する。

背景技術

[0002] 本出願は、特許第4844697号（プラズマ処理装置）の更なる改良の発明に関するものである。

[0003] 高周波を用いてプラズマを生成するプラズマ処理装置に属するものとして、容量結合型プラズマ（略称CCP）を生成する容量結合型のプラズマ処理装置と、誘導結合型プラズマ（略称ICP）を生成する誘導結合型のプラズマ処理装置とがある。

[0004] 容量結合型のプラズマ処理装置は、簡単に言えば、2枚の平行電極間に高周波電圧を印加して、両電極間に発生する高周波電界を用いてプラズマを生成するものである。

[0005] この容量結合型のプラズマ処理装置においては、プラズマに高い電圧が印加されてプラズマ電位が高くなり、プラズマ中の荷電粒子（例えばイオン）が高いエネルギーで基板に入射衝突するので、基板上に形成する膜に与えるダメージが大きくなり、膜質が低下する等の課題がある。

[0006] 一方、誘導結合型のプラズマ処理装置は、簡単に言えば、アンテナに高周波電流を流すことによって発生する誘導電界によってプラズマを生成するものであり、基本的に、容量結合型に比べてプラズマ電位を低くすることができるとの利点がある。

[0007] このような誘導結合型のプラズマ処理装置の一例として、特許文献1には

、平板状のアンテナを真空容器の開口部に絶縁枠を介して取り付け、当該アンテナの一端と他端間に高周波電源から高周波電力を供給して高周波電流を流し、それによつて発生する誘導電界によつてプラズマを生成し、当該プラズマを用いて基板に処理を施すプラズマ処理装置が記載されている。

先行技術文献

特許文献

- [0008] 特許文献1：国際公開第WO 2009/142016号パンフレット（段落0024—0026、図1）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0009] 誘導結合型のプラズマ処理装置においても、大型の基板に対応する等のためにアンテナを長くすると、当該アンテナのインピーダンス（特にインダクタンス）が大きくなり、それによつてアンテナの両端間に大きな電位差が発生する。
- [0010] このアンテナの電位は、プラズマとの間の静電容量を介してプラズマ電位に反映されるので、アンテナの電位が高いとプラズマ電位も高くなる。その結果、プラズマ中の荷電粒子（例えばイオン）が高いエネルギーで基板に入射衝突するので、基板上に形成する膜に与えるダメージが大きくなり、膜質が低下する等の課題が生じる。
- [0011] そこでこの発明は、誘導結合型の装置であつて、アンテナの実効インダクタンスを小さくしてプラズマ電位を低く抑えることができ、しかも当該アンテナによつてその長手方向におけるプラズマ密度分布を制御することができるプラズマ処理装置を提供することを主たる目的としている。更に、より大面積で、しかも2次元におけるプラズマ密度分布の均一性の良いプラズマの生成を可能にすること等を他の目的としている。

課題を解決するための手段

- [0012] この発明に係るプラズマ処理装置の一つは、平面形状が実質的にまっすぐ

なアンテナに高周波電流を流すことによって真空容器内に誘導電界を発生させてプラズマを生成し、当該プラズマを用いて基板に処理を施す誘導結合型のプラズマ処理装置であって、前記アンテナを、前記基板の表面に立てた垂線を伸縮させる方向に互いに接近して配置されていて前記高周波電流が互いに逆向きに流される往復導体によって構成し、かつ前記往復導体間の前記垂線を伸縮させる方向の間隔を、前記アンテナの長手方向における中央部において相対的に小さくし、両端部において相対的に大きくしており、更に前記アンテナを複数備えていてこれらは互いに並列に配置されており、当該複数のアンテナに共通の高周波電源から高周波電力を並列に供給するように構成しており、かつ前記各アンテナの前記中央部の導体間隔の小さい領域のアンテナ長手方向における長さを、前記複数のアンテナの並列配置方向における中央部のアンテナにおいて相対的に大きくし、両端部のアンテナにおいて相対的に小さくしている、ことを特徴としている。

[001 3] 以下においては、表現を簡略化するために、基板の表面に立てた垂線を伸縮させる方向を上下方向と呼び、当該垂線に交差する方向を左右方向と呼ぶ。従って、上下方向は必ずしも垂直方向とは限らない。

[0014] このプラズマ処理装置においては、各アンテナについて言えば、アンテナを、上下方向に互いに接近して配置されていて高周波電流が互いに逆向きに流される往復導体によって構成しているので、往復導体間の相互インダクタンスのぶん、アンテナの実効インダクタンスが小さくなる。従って、アンテナの電位を低く抑えて、プラズマ電位を低く抑えることができる。

[001 5] しかも、往復導体間の上下方向の間隔をアンテナの長手方向において変化させることによって、往復導体間の相互インダクタンスをアンテナの長手方向において変化させることができるので、アンテナからプラズマに供給する電磁エネルギーを、アンテナの長手方向において変化させることができる。従って、このアンテナによって、その長手方向におけるプラズマ密度分布を制御することができる。

[001 6] また、互いに並列に配置され、かつ並列に高周波電力が供給される複数の

アンテナを備えているので、より大面積のプラズマを生成することができる。

[001 7] 更に、各アンテナの往復導体間の上下方向の間隔を、アンテナ長手方向における中央部において相対的に小さくし、両端部において相対的に大きくすることによって、各アンテナからプラズマに供給する電磁エネルギーを、アンテナ長手方向における中央部付近よりも両端部付近において相対的に大きくすることができるので、各アンテナの長手方向におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。

[001 8] かつ各アンテナの中央部の導体間隔の小さい領域のアンテナ長手方向における長さを、複数のアンテナの並列配置方向における中央部のアンテナにおいて相対的に大きくし、両端部のアンテナにおいて相対的に小さくすることによって、複数のアンテナからプラズマに供給する電磁エネルギーを、アンテナ並列配置方向における中央部付近よりも両端部付近において相対的に大きくすることができるので、複数のアンテナの並列配置方向におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。

[001 9] 上記両作用によって、アンテナの長手方向および並列配置方向におけるプラズマ密度分布の均一性を、即ち２次元におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。

[0020] 各アンテナの中央部の導体間隔の小さい領域のアンテナ長手方向における長さに上記のように差を付ける代りに、またはそれと併用して、各アンテナの互いに対応する部分の導体間隔を、複数のアンテナの並列配置方向における中央部のアンテナにおいて相対的に小さくし、両端部のアンテナにおいて相対的に大きくしても良い。

[0021] 高周波電源から、互いに平行に近接配置された第１および第２の平板導体の内の一方の平板導体を高周波電流の往路とし、他方の平板導体を高周波電流の復路として、前記複数のアンテナに高周波電力を並列に供給するようにしても良い。

発明の効果

[0022] 請求項 1 に記載の発明によれば次の効果を奏する。

[0023] (a) 各アンテナについて言えば、アンテナを、上下方向に互いに接近して配置されていて高周波電流が互いに逆向きに流される往復導体によって構成しているので、往復導体間の相互インダクタンスのぶん、アンテナの実効インダクタンスが小さくなる。従って、アンテナの電位を低く抑えて、プラズマ電位を低く抑えることができる。その結果、プラズマから基板に入射する荷電粒子のエネルギーを小さく抑えることができる。それによつて例えば、基板上に形成する膜に与えるダメージを小さく抑えて、膜質向上を図ることができる。また、アンテナを長くする場合でも、上記理由によつて、アンテナの電位を低く抑えてプラズマ電位を低く抑えることができるので、アンテナを長くして基板の大型化に対応することが容易になる。

[0024] (b) 各アンテナについて言えば、往復導体間の上下方向の間隔をアンテナの長手方向において変化させることによつて、往復導体間の相互インダクタンスをアンテナの長手方向において変化させることができるので、アンテナからプラズマに供給する電磁エネルギーを、アンテナの長手方向において変化させることができる。従つて、このアンテナによつて、その長手方向におけるプラズマ密度分布を制御することができる。その結果、アンテナの長手方向における基板の処理状態を制御することができる。例えば、アンテナの長手方向における膜厚分布を制御することができる。

[0025] (c) 各アンテナについて言えば、アンテナを、上下方向に互いに接近して配置されていて高周波電流が互いに逆向きに流される往復導体によつて構成し、かつ当該往復導体間の上下方向の間隔をアンテナの長手方向において変化させているので、左右方向に互いに接近して配置された往復導体間の左右方向の間隔を変化させる場合に比べて、往復導体間の間隔変化によるアンテナ下方近傍の磁束密度の制御性が良い。従つて、往復導体間の間隔を変化させることによる、アンテナからプラズマに供給する電磁エネルギーの制御性、ひいてはプラズマ密度分布の制御性が良い。

[0026] (d) 互いに並列に配置され、かつ並列に高周波電力が供給される複数の

アンテナを備えているので、より大面積のプラズマを生成することができる。

[0027] (e) 各アンテナの往復導体間の上下方向の間隔を、アンテナ長手方向における中央部において相対的に小さくし、両端部において相対的に大きくすることによって、各アンテナからプラズマに供給する電磁エネルギーを、アンテナ長手方向における中央部付近よりも両端部付近において相対的に大きくすることができるので、各アンテナの長手方向におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。かつ各アンテナの中央部の導体間隔の小さい領域のアンテナ長手方向における長さを、複数のアンテナの並列配置方向における中央部のアンテナにおいて相対的に大きくし、両端部のアンテナにおいて相対的に小さくすることによって、複数のアンテナからプラズマに供給する電磁エネルギーを、アンテナ並列配置方向における中央部付近よりも両端部付近において相対的に大きくすることができるので、複数のアンテナの並列配置方向におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。上記両作用によって、アンテナの長手方向および並列配置方向におけるプラズマ密度分布の均一性を、即ち2次元におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。その結果、2次元における基板処理の均一性を高めることができるので、より大面積の基板に対して均一性の良い処理を施すことができる。例えば、より大面積の基板に対して、基板面内における膜厚分布の均一性の良い膜を形成することができる。

[0028] (f) 各アンテナの中央部の導体間隔の小さい領域のアンテナ長手方向における長さを、複数のアンテナの並列配置方向における中央部のアンテナにおいて相対的に大きくし、両端部のアンテナにおいて相対的に小さくすることによって、各アンテナと高周波電源との間に高周波電流調整用のインピーダンス素子を挿入しなくても、複数のアンテナの並列配置方向におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。従って、回路構成を簡素化することができる。かつ、上記インピーダンス素子における電力損失がないので、各アンテナに高周波電源から高周波電力を効率良く供給して、高周波

電力をプラズマ生成に効率良く投入することができる。その結果、プラズマ生成効率ひいては高周波電力の利用効率を高めることができる。

[0029] 請求項 2 に記載の発明によれば、請求項 1 記載の発明の上記 (a) ~ (d) の効果と同様の効果に加えて次の効果を奏する。

[0030] (g) 各アンテナの往復導体間の上下方向の間隔を、アンテナ長手方向における中央部において相対的に小さくし、両端部において相対的に大きくすることによって、各アンテナからプラズマに供給する電磁エネルギーを、アンテナ長手方向における中央部付近よりも両端部付近において相対的に大きくすることができるので、各アンテナの長手方向におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。かつ各アンテナの互いに対応する部分の導体間隔を、複数のアンテナの並列配置方向における中央部のアンテナにおいて相対的に小さくし、両端部のアンテナにおいて相対的に大きくすることによって、複数のアンテナからプラズマに供給する電磁エネルギーを、アンテナ並列配置方向における中央部付近よりも両端部付近において相対的に大きくすることができるので、複数のアンテナの並列配置方向におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。上記両作用によって、アンテナの長手方向および並列配置方向におけるプラズマ密度分布の均一性を、即ち 2 次元におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。その結果、2 次元における基板処理の均一性を高めることができるので、より大面積の基板に対して均一性の良い処理を施すことができる。例えば、より大面積の基板に対して、基板面内における膜厚分布の均一性の良い膜を形成することができる。

[0031] (h) 各アンテナの互いに対応する部分の導体間隔を、複数のアンテナの並列配置方向における中央部のアンテナにおいて相対的に小さくし、両端部のアンテナにおいて相対的に大きくすることによって、各アンテナと高周波電源との間に高周波電流調整用のインピーダンス素子を挿入しなくても、複数のアンテナの並列配置方向におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。従って、回路構成を簡素化することができる。かつ、上記イ

ンピーダンス素子における電力損失がないので、各アンテナに高周波電源から高周波電力を効率良く供給して、高周波電力をプラズマ生成に効率良く投入することができる。その結果、プラズマ生成効率ひいては高周波電力の利用効率を高めることができる。

[0032] 請求項 3 に記載の発明によれば次の更なる効果を奏する。即ち、高周波電源から、互いに平行に近接配置された第 1 および第 2 の平板導体の内の一方の平板導体を高周波電流の往路とし、他方の平板導体を高周波電流の復路として、前記複数のアンテナに高周波電力を並列に供給するようにしているので、第 1 および第 2 の平板導体に流れる高周波電流は、互いに接近した状態で逆向きに流れる。その結果、第 1 および第 2 の平板導体間の相互インピーダンスのぶん、両平板導体のインダクタンスが小さくなるので、第 1 および第 2 の平板導体における高周波電力損失が小さくなる。従って、複数のアンテナに共通の高周波電源から高周波電力をより効率良く供給して、高周波電力をプラズマ生成により効率良く投入することができるので、プラズマ生成効率ひいては高周波電力の利用効率をより高めることができる。

[0033] 請求項 4 に記載の発明によれば次の更なる効果を奏する。即ち、第 1 および第 2 の平板導体をそれぞれ介して、各アンテナを構成する上側導体の他方端部が整合回路を介して高周波電源に接続され、下側導体の他方端部が直接またはコンデンサを介して接地された構成になるので、下側導体の電位の方が上側導体の電位よりも低くなる。この下側導体はプラズマ側に位置していて、当該下側導体の電位の方が上側導体の電位よりもプラズマ電位に強く反映されるので、当該下側導体の電位が上記のように低くなることによって、プラズマ電位をより低く抑えることができる。その結果、プラズマ電位を低く抑えることによる請求項 1、2 の上記 (a) の効果 (即ち、プラズマから基板に入射する荷電粒子のエネルギーを低く抑えることができる、アンテナを長くする場合でもプラズマ電位を低く抑えることができる、等の効果) をより高めることができる。

図面の簡単な説明

[0034] [図1] この発明に係るプラズマ処理装置の一実施形態を示す断面図である。

[図2] 図1中のアンテナを示す図であり、(A)は平面図、(B)は側面図、(C)はC-C断面図である。

[図3] 上下方向に配置された板状の往復導体の断面形状の他の例を示す図である。

[図4] 公知の単純な平面アンテナを用いた場合のその長手方向におけるプラズマ密度分布の概略例を示す図である。

[図5] 互いに接近している往復導体のインピーダンス等を説明するための図である。

[図6] 上下方向に配置された往復導体間の上下方向の間隔を、アンテナの長手方向において変化させているアンテナの一例を示す概略側面図である。

[図7] 上下方向に配置された板状の往復導体間の上下方向の間隔を変化させて、アンテナの中央下方近傍での磁束密度の変化をシミュレーションしたときに用いたモデルを示す図である。

[図8] 上下方向に配置された往復導体間の上下方向の間隔を、アンテナの長手方向において変化させているアンテナの他の例を示す概略側面図である。

[図9] 上下方向に配置された往復導体間の上下方向の間隔を、アンテナの長手方向において変化させているアンテナの更に他の例を示す概略側面図である。

[図10] 上下方向に配置された棒状の往復導体の断面形状の一例を示す図である。

[図11] 一方の導体が板状、他方の導体が棒状の往復導体の断面形状の一例を示す図である。

[図12] 一方の導体が板状、他方の導体が棒状の往復導体の断面形状の他の例を示す図である。

[図13] 左右方向に配置された板状の往復導体間の左右方向の間隔を変化させて、アンテナの中央下方近傍での磁束密度の変化をシミュレーションしたときに用いたモデルを示す図である。

[図14] 上下方向に配置された棒状の往復導体間の上下方向の間隔を変化させて、アンテナの中央下方近傍での磁束密度の変化をシミュレーションしたときに用いたモデルを示す図である。

[図15] 左右方向に配置された棒状の往復導体間の左右方向の間隔を変化させて、アンテナの中央下方近傍での磁束密度の変化をシミュレーションしたときに用いたモデルを示す図である。

[図16] 図7に示したモデルの場合（実施例）と図13に示したモデルの場合（比較例）の、間隔変化に対する磁束密度変化の一例を示すグラフである。

[図17] 図14に示したモデルの場合（実施例）と図15に示したモデルの場合（比較例）の、間隔変化に対する磁束密度変化の一例を示すグラフである。

[図18] 複数のアンテナを並列配置した一例を示す概略平面図である。

[図19] 複数のアンテナを並列配置した他の例を示す概略平面図である。

[図20] 図19に示すアンテナのY方向に沿う断面であり、(A)はA—A断面およびC—C断面を示し、(B)はB—B断面を示す。

[図21] 複数のアンテナを並列配置した更に他の例を示す概略平面図である。

[図22] 図21に示すアンテナのY方向に沿う断面であり、(A)はA—A断面およびC—C断面を示し、(B)はB—B断面を示す。示す図である。

[図23] X方向に長い公知の単純な平面アンテナをY方向に複数並列配置した場合に得られる2次元のプラズマ密度分布の概略例を示す図である。

[図24] 図19 _ 図20または図21—図22に示す例の場合に得られるアンテナ群下方近傍における2次元の磁束密度分布の概略例を示す図である。

[図25] 図19 _ 図20または図21—図22に示す例の場合に得られる2次元のプラズマ密度分布の概略例を示す図である。

[図26] 並列配置した複数のアンテナに平行平板導体を介して高周波電力を供給する場合の一例を示す概略平面図である。

[図27] 図26中の平行平板導体を拡大して示す斜視図である。

[図28] アンテナを構成する下側導体に整合回路を介して高周波電源を接続し

、上側導体を接地している例 (A) およびその場合のアンテナの電位分布の概略例 (B) を示す図である。

[図29] アンテナを構成する上側導体に整合回路を介して高周波電源を接続し、下側導体を接地している例 (A) およびその場合のアンテナの電位分布の概略例 (B) を示す図である。

[図30] アンテナを構成する上側導体を、上下方向に位置変更可能にしている場合の一例を示す図である。

[図31] 図30に示す位置調整部周りのより具体的な構造の一例を示す図である。

[図32] 図19_図20、図26、図29および図30を参照して説明した技術を総合的に採用している複数のアンテナ周りの一例を示す概略斜視図であり、平行平板導体は上方にずらして図示している。

[図33] 図21_図22、図26、図29および図30を参照して説明した技術を総合的に採用している複数のアンテナ周りの一例を示す概略斜視図であり、平行平板導体は上方にずらして図示している。

発明を実施するための形態

[0035] この発明に係るプラズマ処理装置の一実施形態を図1に示し、そのアンテナ30を抜き出して図2に示す。アンテナ30等の向きを表すために、一点で互いに直交するX方向、Y方向およびZ方向を図中に記載している。二方向は基板2の表面に立てた垂線3を伸縮させる方向であり、Y方向は当該垂線3に交差する (例えば直交する) 方向であり、これらは、前述したように表現を簡略化するために、それぞれ、上下方向Z、左右方向Yと呼ぶことにする。X方向は、垂線3に交差する (例えば直交する) 方向であり、かつアンテナ30の長手方向である。例えば、X方向およびY方向は水平方向であるが、これに限られるものではない。以上のことは、他の図においても同様である。

[0036] この装置は、平面形状が実質的にまっすぐなアンテナ30に高周波電源42から高周波電流 I_R を流すことによって真空容器4内に誘導電界を発生させ

て当該誘導電界によってプラズマ50を生成し、このプラズマ50を用いて基板2に処理を施す誘導結合型のプラズマ処理装置である。

[0037] 実質的にまっすぐ」というのは、文字どおりまっすぐな状態だけでなく、まっすぐに近い状態（ほぼまっすぐな状態）をも含む意味である。

[0038] 基板2は、例えば、液晶ディスプレイや有機ELディスプレイ等のフラットパネルディスプレイ（FPD）用の基板、フレキシブルディスプレイ用のフレキシブル基板、太陽電池等の半導体デバイス用の基板等であるが、これに限られるものではない。

[0039] 基板2の平面形状は、例えば円形、四角形等であり、特定の形状に限定されない。

[0040] 基板2に施す処理は、例えば、プラズマCVD法による膜形成、エッチング、アツシング、スパッタリング等である。

[0041] このプラズマ処理装置は、プラズマCVD法によって膜形成を行う場合はプラズマCVD装置、エッチングを行う場合はプラズマエッチング装置、アツシングを行う場合はプラズマアツシング装置、スパッタリングを行う場合はプラズマスパッタリング装置とも呼ばれる。

[0042] このプラズマ処理装置は、例えば金属製の真空容器4を備えており、その内部は真空排気装置8によって真空排気される。

[0043] 真空容器4内には、ガス導入管22を通してガス24が導入される。ガス24は、基板2に施す処理内容に応じたものにすれば良い。例えば、プラズマCVD法によって基板2に膜形成を行う場合は、ガス24は、原料ガスまたはそれを希釈ガス（例えば H_2 ）で希釈したガスである。より具体例を挙げると、原料ガスが SiH_4 の場合はSi膜を、 $SiH_4 + NH_3$ の場合はSiN膜を、 $SiH_4 + O_2$ の場合は SiO_2 膜を、それぞれ基板2の表面に形成することができる。

[0044] 真空容器4内には、基板2を保持するホルダ10が設けられている。この例では、ホルダ10は軸16に支持されている。軸16が真空容器4を貫通する部分には、電気絶縁機能および真空シール機能を有する軸受部18が設

けられている。この例のように、ホルダ 10 にバイアス電源 20 から軸 16 を経由して負のバイアス電圧を印加するようにしても良い。バイアス電圧は負のパルス状電圧でも良い。このようなバイアス電圧によって、例えば、プラズマ 50 中の正イオンが基板 2 に入射するときのエネルギーを制御して、基板 2 の表面に形成される膜の結晶化度を制御することができる。

[0045] 真空容器 4 の天井面 6 の開口部 7 に、絶縁枠 38 を介在させて、アンテナ 30 が設けられている。これらの要素の間には、真空シール用のパッキン 40 がそれぞれ設けられている。このアンテナ 30 は、上下方向 Z に互いに接近して配置されている往復導体 31、32 によって構成されている。アンテナ 30（より具体的にはそれを構成している往復導体 31、32）は、この例では、その平面形状が面状をしている。より具体的には、当該平面形状はこの実施形態では長方形であるが、これに限られるものではない。このアンテナ 30 については、後で詳述する。

[0046] アンテナ 30 の材質は、例えば、銅（より具体的には無酸素銅）、アルミニウム等であるが、これに限られるものではない。

[0047] アンテナ 30 には、より具体的にはその往復導体 31、32 には、高周波電源 42 から整合回路 44 を経由して、高周波電力が供給され、それによってアンテナ 30 に高周波電流 I_R が流される。即ち、アンテナ 30 を構成する往復導体 31、32 には、互いに逆向きの高周波電流（往復電流） I が流される（高周波だから、この高周波電流 I_R の向きは時間によって反転する。以下同様）。この高周波電流 I によって、アンテナ 30 の周囲に高周波磁界が発生し、それによって高周波電流 I_R と逆方向に誘導電界が発生する。この誘導電界によって、真空容器 4 内において、電子が加速されてアンテナ 30 の近傍のガス 24 を電離させてアンテナ 30 の近傍にプラズマ 50 が発生する。このプラズマ 50 は基板 2 の近傍まで拡散し、このプラズマ 50 によって基板 2 に前述した処理を施すことができる。

[0048] 高周波電源 42 は出力端 42a および接地端 42b を有しており、出力端 42a は整合回路 44 を介して導体 31 の一端部に接続されている。接地端

4 2 b は接地されている。導体 3 2 の一端部も接地されている。

[0049] 高周波電源 4 2 から出力する高周波電力の周波数は、例えば、一般的な 1 3 . 5 6 M H z であるが、これに限られるものではない。

[0050] 整合回路 4 4 は、ラインに直列のコンデンサ 6 4 および並列のコンデンサ 6 5 を有している。両コンデンサ 6 4 、 6 5 はこの例では容量可変である。

[0051] 上記アンテナ 3 0 について詳述する。図 5 に示すような、互いに接近している平行な往復導体 6 1 、 6 2 の総合インピーダンス Z_T は、差動接続として電気理論の書籍等にも記載されているように、次式で表される。ここで、 R_1 、 L_1 は、それぞれ、一方の導体 6 1 の抵抗、自己インダクタンス、 R_2 、 L_2 は、それぞれ、他方の導体 6 2 の抵抗、自己インダクタンス、 M は両導体 6 1 、 6 2 間の相互インダクタンスである。

[0052] [数 1]

$$Z_T = (R_1 + R_2) + j (L_1 + L_2 - 2M)$$

[0053] ここで、説明を簡略化するために、 $R_1 = R_2 = R$ 、 $L_1 = L_2 = L$ とすると、総合インピーダンス Z_T は数 2 で表され、その内のインダクタンス L_T は数 3 で表される。このインダクタンス L_T のように、自己インダクタンスと相互インダクタンスとを合成したものを、この明細書では実効インダクタンスと呼ぶことにする。

[0054] [数 2]

$$Z_T = 2R + j 2 (L - M)$$

[0055] [数 3]

$$L_T = 2 (L - M)$$

[0056] 上記式からも分るように、往復導体 6 1 、 6 2 間の相互インダクタンス M が大きくなると、総合インピーダンス Z_T および実効インダクタンス L_T は小さくなる。この往復導体 6 1 、 6 2 に高周波電源 4 2 から高周波電流 I_R を流すことによって発生する電磁エネルギー G は次式で表されるので、相互インダクタンス M が大きくなると、この電磁エネルギー G は小さくなり、外部に作用する磁気的な効果が減少する。プラズマ生成の場合は、プラズマへ供給

できる電磁エネルギーが減少し、プラズマ密度が下がる。逆の場合は逆になる。

[0057] [数 4]

$$\begin{aligned} G &= (1/2) L_T I_{R2} \\ &= (L - M) I_{R2} \end{aligned}$$

[0058] 往復導体 61、62 の長手方向において相互インダクタンス M が一様でない場合、即ち相互インダクタンス M を変化させている（換言すれば、変化を付けている）場合は、各領域について見れば、当該領域の相互インダクタンス M に応じて、上記実効インダクタンスおよび電磁エネルギーが決まる。

[0059] この発明を構成しているアンテナ 30 は、上記原理を応用したものである。例えば、図 6 に示す例のように、アンテナ 30 を、上下方向 Z に互いに接近して配置されている往復導体 31、32 によって構成し、かつ往復導体 31、32 間の上下方向 Z の間隔 D を、アンテナ 30 の長手方向 X において 2 段階に変化させている場合、小さい間隔 D_2 の領域 A_2 の相互インダクタンス M_2 よりも、大きい間隔 D_1 の領域 A_1 の相互インダクタンス M_1 の方が小さくなる（即ち $M_1 < M_2$ ）。従って、上記数 3 を参照すれば分るように、領域 A_2 よりも領域 A_1 の実効インダクタンスが大きくなり、上記数 4 を参照した説明からも分るように、アンテナ 30（より具体的にはその導体 31）から距離 H_1 だけ離れた空間の磁束密度は、領域 A_2 における磁束密度 B_2 よりも、領域 A_1 における磁束密度 B_1 の方が大きくなる（即ち $B_1 > B_2$ ）。従って、領域 A_2 のプラズマ密度よりも、領域 A_1 のプラズマ密度を大きくすることができる。

[0060] なお、この図 6 や後述する他の例では、説明を簡略化するために整合回路 44 を省略しているが、通常は、図 1 に示す例と同様に、高周波電源 42 とアンテナ 30 との間には整合回路 44 が設けられる。

[0061] 上下方向 Z に配置された板状の往復導体 31、32 間の上下方向 Z の間隔 D を変化させて、アンテナ 30 の中央下方近傍での磁束密度の変化をシミュレーションした結果を説明する。このシミュレーションに用いたモデルを図

7 に示す。両導体 3 1、3 2 の厚さ T を 3 mm、左右方向 Y の幅 W を 70 mm とし、 X 方向の長さを十分に長いものとして、一定の（ピーク値が 100 A の）高周波電流 I_R を流したときの、導体 3 1 の左右方向 Y における中央下方に距離比（5 mm で固定）離れた点 P における磁束密度 B を、間隔 D を変化させて測定した。その結果を表 1 に示す。

[0062] [表 1]

間隔 D [mm]	磁束密度 B [$\times 10^{-4} T$]	磁束密度比 B/B_0 [%]	2 乗比 $(B/B_0)^2$ [%]
0.5	0.540	6.82	0.47
1.0	0.615	7.77	0.60
2.5	0.837	10.57	1.12
5.0	1.194	15.07	2.27
7.5	1.533	19.35	3.74
10	1.854	23.40	5.47
15	2.440	30.78	9.47
20	2.952	37.24	13.87
25	3.397	42.86	18.37
30	3.783	47.72	22.78
35	4.118	51.95	26.99
40	4.409	55.63	30.95
45	4.664	58.84	34.63
50	4.888	61.67	38.03

[0063] 表 1 中の磁束密度 B_0 は、導体 3 2 がなくて導体 3 1 だけの公知の平面アンテナの場合の点 P における磁束密度である。その場合の磁束密度 B_0 と、往復導体 3 1、3 2 の場合の磁束密度との比 B/B_0 およびその 2 乗比 $(B/B_0)^2$ を表 1 中に示す。2 乗比 $(B/B_0)^2$ に着目しているのは、プラズマに対

する電磁エネルギー供給は、渦電流損のように、近似的には磁束密度 B の 2 乗に比例するからである。この表から分るように、間隔 D を変化させることによって、磁束密度 B および 2 乗比 $(B/B_0)^2$ を大きく変化させることができる。例えば、間隔 D が 1 mm のときと 50 mm のときとでは、2 乗比 $(B/B_0)^2$ に約 60 倍の差を付けることができる。

[0064] 図 8 は、上下方向 Z に互いに接近して配置されている往復導体 31、32 間の上下方向 Z の間隔 D を、アンテナ 30 の長手方向 X における中央部の領域 A_2 の間隔 D_2 よりも両端部の領域 A_1 、 A_3 の間隔 D_1 、 D_3 (この例では $D_1 = D_3$) を段階的 (階段状) に大きくした例である。換言すれば、往復導体 31、32 間の上下方向 Z の間隔 D を、アンテナ 30 の長手方向 X における中央部の領域 A_2 において相対的に小さくし (その間隔は D_2)、両端部の領域 A_1 、 A_3 において相対的に大きくし (その間隔は D_1 、 D_3)、かつこの間隔 D_1 、 D_3 (この例では $D_1 = D_3$) を段階的 (階段状) に大きくしている例である。この場合は、各領域 $A_1 \sim A_3$ の相互インダクタンス $M_1 \sim M_3$ は $M_1 = M_3 < M_2$ となり、領域 A_2 よりも領域 A_1 、 A_3 の実効インダクタンスが大きくなる。磁束密度 $B_1 \sim B_3$ は $B_1 = B_3 > B_2$ となる。その結果、アンテナ 30 からプラズマに供給する電磁エネルギーを、中央部の領域 A_2 よりも両端部の領域 A_1 、 A_3 において相対的に大きくすることができる。

[0065] 図 1、図 2 に示すアンテナ 30 は、図 8 に示すアンテナ 30 に相当し、それをより具体化した例である。この図 1、図 2 に示すアンテナ 30 について詳述すると、アンテナ 30 は、上下方向 Z に間隔 D をあけて互いに接近して配置されている往復導体 31、32 を有している。両導体 31、32 は板状であり、その平面形状は前述したように長方形である。下側 (プラズマ 50 側) の導体 31 の下面は真空容器 4 内の真空雰囲気中に位置しており、上側の導体 32 は大気中に位置している。両導体 31、32 の一端部は電氣的に開いていて、そこにこの例では絶縁物 36 が設けられている。他端部は接続部 33 で互いに電氣的に接続されている。両導体 31、32 の一端部間に、高周波電源 42 から整合回路 44 を経由して高周波電力が供給される。

- [0066] 両導体 3 1、3 2 は、この例では板状（具体的には、導体 3 1 は平板状、導体 3 2 は折り曲げられた板状）である。この場合、例えば、図 1、図 2（C）に示す例のように下側の導体 3 1 の厚さを大きくしても良いし、図 3 に示す例のように両導体 3 1、3 2 の厚さを互いに同程度にしても良い。
- [0067] 上側の導体 3 2 は、階段状に折り曲げられており、これによつて、アンテナ 3 0 の長手方向 X における中央部の領域の間隔 D_2 よりも両端部の領域の間隔 D_1 、 D_3 （この例では $D_1 = D_3$ ）を段階的に大きくしている。このようにして、上述した説明からも分るように、アンテナ 3 0 の長手方向 X において、中央部よりも両端部の相互インダクタンス M を段階的に小さくしている。即ち、この例では $M_1 = M_3 < M_2$ にしている。これによつて、図 8 の場合と同様に、アンテナ 3 0 からプラズマ 5 0 に供給する電磁エネルギーを、アンテナ 3 0 の長手方向 X における中央部よりも両端部において相対的に大きくすることができる。
- [0068] アンテナ 3 0 の上記間隔 D および相互インダクタンス M は、アンテナ 3 0 の長手方向 X において、図 1、図 8 等に示す例のように段階的に変化させても良いし、連続的に変化させても良い。後述する他の例においても同様である。上記間隔 D 等を段階的に変化させても、プラズマには拡散作用があるので、プラズマ密度を滑らかに変化させることができる。例えば、図 1、図 2 に示す上側の導体 3 2 を、中央部が窪んだなだらかな谷状にして、アンテナ 3 0 の上記間隔 D および相互インダクタンス M を、アンテナ 3 0 の長手方向 X において連続的に変化させても良い。
- [0069] 図 1、図 2、図 8 に示すアンテナ 3 0 の代わりに、図 6 に示した構造のアンテナ 3 0 を設けても良い。更には、図 9 等に示す他の構造のアンテナ 3 0 を設けても良い。
- [0070] 図 9 に示す例は、図 1、図 8 に示す例を変形したものである。即ち、図 1、図 8 に示す例のようにアンテナ 3 0 の端部から高周波電力を供給（端部給電）する代わりに、図 9 に示す例のようにアンテナ 3 0 の中央部から高周波電力を供給（中央給電）するようにしても良い。これと同様に、他の例の A

ンテナ 30 においても、中央給電にしても良い。

[0071] アンテナ 30 を構成する往復導体 31、32 は、例えば、前述した例のように板状でも良いし、図 10 に示す例のように棒状でも良いし、板状と棒状とを組み合わせたもの等でも良い。例えば、図 11 に示す例のように、下側の導体 31 が板状、上側の導体 32 が棒状でも良い。その場合、図 12 に示す例のように、上側の棒状の導体 32 を、互いに電氣的に並列な複数本（図 12 では 2 本）にしても良い。これらの場合も、往復導体 31、32 は、長手方向 X の端部において接続部（図 1 中の接続部 33 参照）で互いに電氣的に接続されている。

[0072] 各導体 31、32 の断面形状は、図示例のものに限られるものではなく、円形、楕円形、四角形等が採り得る。また、各導体 31、32 を中空にして、そこに冷却水等の冷媒を流して、各導体 31、32 を強制的に冷却する構造を採用しても良い。

[0073] この発明に係るプラズマ処理装置においては、アンテナ 30 を、上下方向 Z に互いに接近して配置されていて高周波電流 I_R が互いに逆向きに流される往復導体 31、32 によって構成しているので、上記数 3 を参照すれば分るように、往復導体 31、32 間の相互インダクタンスのぶん、アンテナ 30 の実効インダクタンスが小さくなる。高周波領域においては、アンテナ 30 のインピーダンスは殆どがインダクタンスであるので、実効インダクタンスが小さくなることによって、アンテナ 30 に発生する電位差を小さく抑えて、アンテナ 30 の電位を低く抑え、プラズマ 50 の電位を低く抑えることができる。

[0074] その結果、プラズマ 50 から基板 2 に入射する荷電粒子（例えばイオン）のエネルギーを小さく抑えることができる。それによつて例えば、プラズマ 50 によつて基板 2 上に膜を形成する場合、当該膜に与えるダメージを小さく抑えて、膜質向上を図ることができる。また、アンテナ 30 を長くする場合でも、上記理由によつて、アンテナ 30 の電位を低く抑えてプラズマ電位を低く抑えることができるので、アンテナ 30 を長くして基板 2 の大型化に

対応することが容易になる。

[0075] しかも、往復導体 3 1、3 2 間の上下方向 Z の間隔 D をアンテナの長手方向 X において変化させることによって、往復導体 3 1、3 2 間の相互インダクタンス M を、アンテナ 3 0 の長手方向 X において変化させることができるので、アンテナ 3 0 からプラズマ 5 0 に供給する電磁エネルギーを、アンテナ 3 0 の長手方向 X において変化させることができる。従って、このアンテナ 3 0 によって、その長手方向 X におけるプラズマ密度分布を制御することができる。その結果、アンテナ 3 0 の長手方向 X における基板の処理状態を制御することができる。例えば、プラズマ 5 0 によって基板 2 上に膜を形成する場合、アンテナ 3 0 の長手方向 X における膜厚分布を制御することができる。

[0076] 更に、アンテナ 3 0 を、上下方向 Z に互いに接近して配置されていて高周波電流 I_R が互いに逆向きに流される往復導体 3 1、3 2 によって構成し、かつ当該往復導体 3 1、3 2 間の上下方向 Z の間隔 D をアンテナ 3 0 の長手方向 X において変化させているので、左右方向に互いに接近して配置された往復導体間の左右方向 Y の間隔を変化させる場合に比べて、往復導体 3 1、3 2 間の間隔 D の変化によるアンテナ 3 0 の下方近傍の磁束密度の制御性が良い。従って、往復導体 3 1、3 2 間の間隔 D を変化させることによる、アンテナ 3 0 からプラズマ 5 0 に供給する電磁エネルギーの制御性、ひいてはプラズマ密度分布の制御性が良い。これを、シミュレーション結果に基づいて以下に説明する。

[0077] シミュレーションでは、アンテナ 3 0 を構成する往復導体 3 1、3 2 の間隔 D を変化させたときの、アンテナ 3 0 の左右方向 Y における中央下方の点 P (図 7、図 13 ～ 図 15 参照) での磁束密度 B の変化を計算した。

[0078] まず、この発明の一実施形態を成すものとして、先に図 7 に示したように、アンテナ 3 0 を構成する板状の往復導体 3 1、3 2 が上下方向 Z に互いに接近して配置されている場合で、その往復導体 3 1、3 2 間の上下方向 Z の間隔 D を変化させたときの上記点 P における磁束密度 B の変化を図 16 中に

実施例として示す。このときの計算条件は、先に図 7 の説明箇所の説明したものと同じであり、この実施例は表 1 中の磁束密度 B と同じである。

[0079] また、上記に対する比較例として、図 13 に示すように、アンテナ 30 を構成する板状の往復導体 31、32 が左右方向 Y に互いに接近して配置されている場合で、その往復導体 31、32 間の左右方向 Y の間隔 D を変化させたときの上記点 P における磁束密度 B の変化を図 16 中に比較例として示す。このときの計算条件は、両導体 31、32 の厚さ t を 70 mm、左右方向 Y の幅 W を 3 mm とし、その他の距離 H_{w} 、高周波電流 I_R の大きさ等は図 7 の場合と同じにした。

[0080] 図 16 から分るように、間隔 D を変化させたとき、比較例の場合は、磁束密度 B の変化がすぐに飽和してしまうのに対して、実施例の場合は、磁束密度 B がなだらかに比例に近い状態で変化しており、その変化幅も大きい。従って、比較例に比べて、実施例の方が磁束密度 B の制御性が良い。即ち、間隔 D を変化させることによって、磁束密度 B を制御し、それによつてアンテナ 30 からプラズマに供給する電磁エネルギーを制御し、ひいてはプラズマ密度分布を制御する、という制御を行いやすい。

[0081] 次に、この発明の一実施形態を成すものとして、図 14 に示すように、アンテナ 30 を構成する棒状の往復導体 31、32 が上下方向 Z に互いに接近して配置されている場合で、その往復導体 31、32 間の上下方向 Z の間隔 D を変化させたときの上記点 P における磁束密度 B の変化を図 17 中に実施例として示す。このときの計算条件は、両導体 31、32 の直径 d を 6 mm とし、その他の距離 H_{w} 、高周波電流 I_R の大きさ等は図 7 の場合と同じにした。

[0082] また、上記に対する比較例として、図 15 に示すように、アンテナ 30 を構成する棒状の往復導体 31、32 が左右方向 Y に互いに接近して配置されている場合で、その往復導体 31、32 間の左右方向 Y の間隔 D を変化させたときの上記点 P における磁束密度 B の変化を図 17 中に比較例として示す。このときの計算条件は、両導体 31、32 の配置を上記のように変更した

以外は、図 14 の場合と同じにした。

[0083] 図 17 から分るように、間隔 D を変化させたとき、比較例の場合は、磁束密度 B が一旦上がった後に下がるという複雑な変化をしているのに対して、実施例の場合は、磁束密度 B がなだらかに比例に近い状態で変化している。従って、この場合も、比較例に比べて、実施例の方が磁束密度 B の制御性が良い。即ち、間隔 D を変化させることによって、磁束密度 B を制御し、それによってアンテナ 30 からプラズマに供給する電磁エネルギーを制御し、ひいてはプラズマ密度分布を制御する、という制御を行いやすい。

[0084] ところで、通常は、即ち公知の単純な平面アンテナを用いた場合は、その長手方向 X におけるプラズマ密度分布は、例えば図 4 に示すように、中央部のプラズマ密度よりも両端部のプラズマ密度が小さい山型の分布になる。その理由を簡単に説明すると、中央部には左右両側からプラズマが拡散して来るのに対して、両端部は片側からしかプラズマが拡散して来ないからである。

[0085] これに対して、図 1、図 2、図 8 等にした例のように、往復導体 31、32 間の上下方向 Z の間隔 D を、アンテナ 30 の長手方向 X における中央部の間隔よりも両端部の間隔を大きくすることによって、換言すれば往復導体 31、32 間の上下方向 Z の間隔 D を、アンテナ 30 の長手方向 X における中央部において相対的に小さくし、両端部において相対的に大きくすることによって、アンテナ 30 の長手方向 X において、中央部よりも両端部の相互インダクタンスを小さくすることができるので、前述したように、アンテナ 30 の中央部よりも両端部の実効インダクタンスが相対的に大きくなる。その結果、アンテナ 30 からプラズマ 50 に供給する電磁エネルギーを、山型とは反対に、アンテナ 30 の長手方向 X における中央部付近よりも両端部付近において相対的に大きくして、中央部付近よりも両端部付近においてより強力にプラズマ 50 を生成することができるので、上記山型のプラズマ密度分布を補正して、アンテナ 30 の長手方向 X におけるプラズマ密度分布の均一性を高めることができる。その結果、アンテナ 30 の長手方向における基

板処理の均一性を高めることができる。例えば、プラズマ50によって基板2上に膜を形成する場合、アンテナ30の長手方向Xにおける膜厚分布の均一性を高めることができる。

[0086] なお、図1に示す実施形態のように、アンテナ30の真空容器4内側の面をプラズマ50から遮蔽する遮蔽板46を備えていても良い。遮蔽板46は絶縁物から成る。遮蔽板46は、真空容器4の天井面6の開口部7の入口部付近に直接取り付けても良いし、この実施形態のように枠状の支持板48を用いて取り付けても良い。図1に示す例以外のアンテナ30を用いる場合も、このような遮蔽板46を備えていても良い。

[0087] 遮蔽板46の材質は、例えば、石英、アルミナ、炭化ケイ素、シリコン等である。水素系プラズマで還元されて遮蔽板46から酸素が放出されると困る場合は、シリコン、炭化ケイ素等の非酸化物系の材質を用いれば良い。例えばシリコン板を用いるのが簡単で良い。

[0088] 遮蔽板46を設けておくと、アンテナ30等の表面がプラズマ50中の荷電粒子（主としてイオン）によってスパッタされてプラズマ50および基板2に対して金属汚染（メタルコンタミネーション）が生じること等の不都合発生を防止することができる。

[0089] 遮蔽板46を設けていても、遮蔽板は絶縁物から成りアンテナ30の電位がプラズマ50に及ぶことを防止することはできないので、前述したようにアンテナ30の実効インダクタンスを小さくして、アンテナ30の電位を低く抑えることは有効である。

[0090] 図18に示す例のように、前記構成のアンテナ30を、複数、互いにY方向に並列に配置し、各アンテナ30に、共通の高周波電源42から高周波電力を並列に供給するようにしても良い。更に図示例のように、各アンテナ30にそれぞれ直列に接続された可変インピーダンス52を介して、当該複数のアンテナ30に、共通の高周波電源42から高周波電力を並列に供給するようにしても良い。

[0091] 各アンテナ30は、図1、図2、図6、図8、図9等を参照して上述した

いずれの構成でも良い。後述する各例のアンテナ30でも良い。

[0092] 可変インピーダンス52は、図18に示すような可変インダクタンスでも良いし、可変コンデンサ（可変キャパシタンス）でも良いし、両者を混在させても良い。可変インダクタンスを挿入することによって、給電回路のインピーダンスを増大させることができるので、高周波電流が流れ過ぎるアンテナ30の電流を抑えることができる。可変コンデンサを挿入することによって、誘導性リアクタンスが大きい場合に容量性リアクタンスを増大させて、給電回路のインピーダンスを低下させることができるので、高周波電流が流れにくいアンテナ30の電流を増加させることができる。

[0093] 図18に示す例の場合は、互いに並列に配置され、かつ並列に高周波電力が供給される複数のアンテナ30を備えているので、より大面積のプラズマを生成することができる。しかも、前記作用によって、各アンテナ30の電位を低く抑えることができると共に、各アンテナ30の長手方向Xにおけるプラズマ密度分布を制御することができる。

[0094] 更に、各アンテナ30に可変インピーダンス52を介在させていて、当該可変インピーダンス52によって複数のアンテナ30に流れる高周波電流のバランスを調整することができるので、複数のアンテナ30の並列方向Yにおけるプラズマ密度分布をも制御することができる。その結果、プラズマの電位を低く抑えることができ、しかもより大面積でかつプラズマ密度分布の均一性の良いプラズマを生成することが可能になる。

[0095] 次に、この発明の更に他の実施例を説明する。上述した例と同一または相当する部分には同一符号を付し、以下においては上述した例との相違点を主体に説明する。

[0096] 以下においては、アンテナ30の往復導体31、32を構成する二つの導体31、32を互いに区別しやすくするために、プラズマ50（図1参照。以下同様）側（簡単に言えば下側）の導体31を下側導体31と呼び、プラズマ50とは反対側（簡単に言えば上側）の導体32を上側導体32と呼ぶ場合がある。

[0097] 図 19、図 20 に示す例は、アンテナ 30 を複数備えており、これらは Y 方向に互いに並列に配置されている。即ち、Y 方向に並べて配置されている。アンテナ 30 の数は、図示例では五つであるが、これに限られるものではない。なお、図 19、図 20 等に記載の技術を総合的に採用した例が後述する図 32 の例であるので、この図も参照すると全体が分かりやすい。

[0098] 各アンテナ 30 は、領域 A_2 のアンテナ長手方向 X における長さ N に大小がある以外は、図 1、図 2、図 8 に示した例のアンテナ 30 と同様の構造をしている。即ち各アンテナ 30 を構成する往復導体 31、32 の上下方向 Z の間隔 D を、アンテナ 30 の長手方向 X における中央部において相対的に小さくし、両端部において相対的に大きくしている。より具体的には、中央部の領域 A_2 の間隔 D_2 よりも両端部の領域 A_1 、 A_3 の間隔 D_1 、 D_3 （この例では $D_1 = D_3$ ）を段階的（階段状）に大きくしている。なお、この例では、下側導体 31 は平板状の導体であり、図 3 に示す導体 31 に相当する。後述する他の例においても同様である。

[0099] そして、上記複数のアンテナ 30 に、共通の高周波電源 42 から整合回路 44 を介して高周波電力を並列に供給するようにしている。より具体的にはこの例では、各アンテナ 30 を構成する上側導体 32 の端部 32a（図 1 に示す接続部 33 とは反対側の端部）に整合回路 44 を介して高周波電源 42 を接続し、下側導体 31 の端部 31a（上記接続部 33 とは反対側の端部）を接地（この例では直接接地）している。即ち、各上側導体 32 の端部 32a を高周波電力の供給端とし、各下側導体 31 の端部 31a を終端点としている。

[0100] 更に、各アンテナ 30 の上記中央部の導体間隔の小さい領域 A_2 のアンテナ長手方向 X における長さ N を、複数のアンテナ 30 の並列配置方向 Y における中央部のアンテナ 30 において相対的に大きくし、両端部のアンテナ 30 において相対的に小さくしている。

[0101] この図 19、図 20 に示す例は、各アンテナ 30 について言えば、図 1、図 2、図 8 に示した例について前述したのと同様の作用効果を奏する。

- [01 02] 更にこの図 19、図 20 に示す例は、以下に述べる作用効果を奏する。
- [01 03] 互いに並列に配置され、かつ並列に高周波電力が供給される複数のアンテナ 30 を備えているので、より大面積のプラズマを生成することができる。より大面積というのは、アンテナ 30 が 1 本の場合よりも大面積という意味である。
- [01 04] プラズマ密度分布については次のとおりである。
- [01 05] X 方向に長い公知の単純な平面アンテナを Y 方向に複数並列配置した場合に得られる 2 次元のプラズマ密度分布の概略例を図 23 に示す。なお、図 23 ～図 25 では、2 次元のプラズマ密度分布、膜厚分布および磁束密度分布を、便宜上、同心円や円に簡略化して示しており、以下においてもそれを用いて説明するけれども、それらは同心円や円に限られるものではない。例えば、同心円や円から形が崩れている場合もあるし、楕円形や丸まった四角形等の場合もある。
- [01 06] まずアンテナ長手方向 X について見ると、X 方向に長い公知の単純な平面アンテナの場合、先に図 4 を参照して説明したように、アンテナ長手方向 X におけるプラズマ密度分布は、中央部のプラズマ密度よりも両端部のプラズマ密度が小さい山型の分布になる。その理由を簡単に説明すると、中央部には X 方向における左右両側からプラズマが拡散して来るのに対して、両端部は片側からしかプラズマが拡散して来ないからである。
- [01 07] 次にアンテナ並列配置方向 Y について見ると、公知の単純な平面アンテナを複数個並べた場合、アンテナ並列配置方向 Y におけるプラズマ密度分布も、中央部のプラズマ密度よりも両端部のプラズマ密度が小さい山型の分布になる。その理由を簡単に説明すると、中央部には Y 方向における左右両側からプラズマが拡散して来るのに対して、両端部は片側からしかプラズマが拡散して来ないからである。
- [01 08] 従って、X Y 方向の 2 次元について見ると、X 方向に長い公知の単純な平面アンテナを Y 方向に複数並列配置した場合に得られる 2 次元のプラズマ密度分布は、図 23 に示す例のように、中央部付近が盛り上がった山型の分布

になる。

[01 09] このような密度分布のプラズマを用いて基板 2（図 1、図 2 3 参照）上に膜を形成すると、その膜厚分布も、当該プラズマ密度分布と同様に中央部付近が盛り上がった山型の分布になる。

[01 10] これに対して、図 1 9、図 2 0 に示す例の場合は、各アンテナ 3 0 の往復導体 3 1、3 2 間の上下方向 Z の間隔 D を、アンテナ長手方向 X における中央部において相対的に小さくし、両端部において相対的に大きくすることによって、先に数 3、数 4 等を用いて説明した理由によって、図 1、図 2、図 8 に示した例の場合と同様に、各アンテナ 3 0 からプラズマ 5 0（図 1 参照。以下同様）に供給する電磁エネルギーを、アンテナ長手方向 X における中央部付近よりも両端部付近において相対的に大きくすることができるので、即ち各アンテナ 3 0 に高周波電流 I_R を流すことによって各アンテナ 3 0 の下方近傍に発生する磁束密度を、アンテナ長手方向 X における中央部付近よりも両端部付近において相対的に大きくすることができるので、各アンテナ 3 0 の長手方向 X におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。

[01 11] 更に、各アンテナ 3 0 の中央部の導体間隔 D の小さい領域 A_2 のアンテナ長手方向 X における長さ N を、複数のアンテナの並列配置方向 Y における中央部のアンテナ 3 0 において相対的に大きくし、両端部のアンテナ 3 0 において相対的に小さくすることによって、先に数 3、数 4 等を用いて説明した理由によって、複数のアンテナ 3 0 からプラズマ 5 0 に供給する電磁エネルギーを、アンテナ並列配置方向 Y における中央部付近よりも両端部付近において相対的に大きくすることができる。即ち、複数のアンテナ 3 0 に並列に高周波電流 I_R を流すことによってアンテナ群の下方近傍に発生する磁束密度を、アンテナ並列配置方向 Y における中央部付近よりも両端部付近において相対的に大きくすることができる。これは簡単に言えば、上記間隔 D の小さい領域 A_2 では前述した理由から磁束密度が小さいけれども、アンテナ並列配置方向 Y における両端部では当該領域 A_2 の長さ N が小さいので磁束密度が相対

的に大きくなり、中央部では当該領域 A_2 の長さ N が大きいので磁束密度が相対的に小さくなるからである。その結果、アンテナ並列配置方向 Y におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。

[01 12] 上記 X Y 両方向の作用によって、アンテナ 30 の長手方向 X および並列配置方向 Y におけるプラズマ密度分布の均一性を、即ち 2 次元におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。

[01 13] 以上のことを、図 23 ～ 図 25 を参照して更に説明する。なお、これらの図において基板 2 の平面形状を四角形で例示しているが、前述したように基板 2 の平面形状はこれに限定されるものではなく、円形等でも良い。

[01 14] 図 24 は、図 19、図 20 に示す例の場合に得られるアンテナ群下方近傍における 2 次元の磁束密度分布の概略例を示す。上記理由から、当該磁束密度分布は、図 24 に示すように中央部付近が窪んだ分布になる。従って、上記アンテナ群に高周波電流 I_R を流すことによって生じるプラズマ生成作用も、図 24 と同様に中央部付近が窪んだ分布になる。このような分布のプラズマ生成作用によって、図 23 に示すプラズマ密度分布を補正することができるので、図 25 に示す例のように、 X Y 方向の 2 次元におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。上記補正の程度は、例えば、各アンテナ 30 の各領域 $A_1 \sim A_3$ における各間隔 $D_1 \sim D_3$ および l または各領域 $A_1 \sim A_3$ のアンテナ長手方向 X の長さ N を調整することによって、調整することができる。

[01 15] その結果、2 次元における基板処理の均一性を高めることができるので、より大面積の基板 2 に対して均一性の良い処理を施すことができる。例えば、基板 2 上に膜を形成する場合、より大面積の基板 2 に対して、例えば図 25 に示す例のように、基板面内における膜厚分布の均一性の良い膜を形成することができる。

[01 16] また、上記のように各アンテナ 30 の中央部の導体間隔 D の小さい領域 A_2 のアンテナ長手方向 X における長さ N を、複数のアンテナの並列配置方向 Y における中央部のアンテナ 30 において相対的に大きくし、両端部のアンテナ

ナ 3 0 において相対的に小さくすることによって、各アンテナ 3 0 と高周波電源 4 2 との間に高周波電流調整用のインピーダンス素子を挿入しなくても、例えば図 1 8 およびその説明の所で説明したようなインダクタンスやキャパシタンス等を挿入しなくても、複数のアンテナ 3 0 の並列配置方向 Y におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。従って、回路構成を簡素化することができる。かつ、上記インピーダンス素子における電力損失がないので、各アンテナ 3 0 に高周波電源 4 2 から高周波電力を効率良く供給して、高周波電力をプラズマ生成に効率良く投入することができる。その結果、プラズマ生成効率ひいては高周波電力の利用効率を高めることができる。

[01 17] Y 方向に並列配置する複数のアンテナ 3 0 は、図 2 1、図 2 2 に示す例のようなものでも良い。なお、図 2 1、図 2 2 等に記載の技術を総合的に採用した例が後述する図 3 3 の例であるので、この図も参照すると全体が分かりやすい。

[01 18] この図 2 1、図 2 2 に示す例を、図 1 9、図 2 0 に示した例との相違点を主体に説明すると、この例では、各アンテナ 3 0 の中央部の導体間隔 D の小さい領域 A_2 のアンテナ長手方向 X における長さ N に上記のように差を付ける代わりに（即ち各アンテナ 3 0 の上記領域 A_2 の長さ N を互いに同一にしておいて）、図 2 2 に示すように、各アンテナ 3 0 の互いに対応する部分の導体間隔 D を、複数のアンテナ 3 0 の並列配置方向 Y における中央部のアンテナにおいて相対的に小さくし、両端部のアンテナにおいて相対的に大きくしている。即ち、各アンテナ 3 0 の領域 A_1 の導体間隔 D_1 、（図 2 2（A）参照）、領域 A_2 の導体間隔 D_2 （図 2 2（B）参照）、領域 A_3 の導体間隔 D_3 （図 2 2（A）参照）について、それぞれ、アンテナ並列配置方向 Y における中央部のアンテナ 3 0 の導体間隔を相対的に小さくし、両端部のアンテナ 3 0 の導体間隔を相対的に大きくしている。このようにするには、例えば、各アンテナ 3 0 を構成する互いに同一形状の上側導体 3 2 の上下方向 Z の位置を少しずつ変えるのが簡単で良い。

[01 19] この図 2 1、図 2 2 に示す例の場合も、図 1 9、図 2 0 に示した例と同様の作用効果を奏することができる。

[01 20] プラズマ密度分布について説明すると、各アンテナ 3 0 の往復導体 3 1、3 2 間の上下方向 Z の間隔 D を、アンテナ長手方向 X における中央部において相対的に小さくし、両端部において相対的に大きくすることによって、各アンテナ 3 0 からプラズマ 5 0 に供給する電磁エネルギーを、アンテナ長手方向 X における中央部付近よりも両端部付近において相対的に大きくすることができるので、各アンテナ 3 0 の長手方向 X におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。これは図 1 9、図 2 0 の例の場合と同様である。

[01 21] 更に各アンテナ 3 0 の互に対応する部分の導体間隔 D を、複数のアンテナの並列配置方向 Y における中央部のアンテナ 3 0 において相対的に小さくし、両端部のアンテナ 3 0 において相対的に大きくすることによって、先に数 3、数 4 等を用いて説明した理由によって、複数のアンテナ 3 0 からプラズマ 5 0 に供給する電磁エネルギーを、アンテナ並列配置方向 Y における中央部付近よりも両端部付近において相対的に大きくすることができる。即ち、複数のアンテナ 3 0 に並列に高周波電流 I_R を流すことによってアンテナ群の下方近傍に発生する磁束密度を、アンテナ並列配置方向 Y における中央部付近よりも両端部付近において相対的に大きくすることができる。これは簡単に言えば、アンテナ並列配置方向 Y における両端部では導体間隔 D が大きいので磁束密度が相対的に大きくなり、中央部では導体間隔 D が小さいので磁束密度が相対的に小さくなるからである。その結果、アンテナ並列配置方向 Y におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。

[01 22] 上記 X Y 両方向の作用によって、アンテナ 3 0 の長手方向 X および並列配置方向 Y におけるプラズマ密度分布の均一性を、即ち 2 次元におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。

[01 23] 即ち図 2 1、図 2 2 に示す例の場合も、アンテナ群下方近傍における磁束密度分布は、図 2 4 に示す例のように中央部付近が窪んだ分布になる。従つ

て、上記アンテナ群に高周波電流 I_R を流すことによって生じるプラズマ生成作用も、図 24 と同様に中央部付近が窪んだ分布になる。このような分布のプラズマ生成作用によって、図 23 に示すプラズマ密度分布を補正することができるので、図 25 に示す例のように、XY 方向の 2 次元におけるプラズマ密度分布の均一性を良くすることができる。上記補正の程度は、例えば、各アンテナ 30 の各領域 $A_1 \sim A_3$ における各間隔 $D_1 \sim D_3$ および l または各領域 $A_1 \sim A_3$ のアンテナ長手方向 X の長さ N を調整することによって、調整することができる。

[01 24] その結果、2 次元における基板処理の均一性を高めることができるので、より大面積の基板 2 に対して均一性の良い処理を施すことができる。例えば、基板 2 上に膜を形成する場合、より大面積の基板 2 に対して、例えば図 25 に示す例のように、基板面内における膜厚分布の均一性の良い膜を形成することができる。

[01 25] 必要に応じて、図 19、図 20 に示した例のような技術と、図 20、図 21 に示した例のような技術とを併用しても良い。

[01 26] 図 26 に示す例は、複数のアンテナ 30 の一方端側（前述した接続部 33 とは反対側の端部 31a、32a 側）に配置されていて、互いに接近して平行に配置された第 1 の平板導体 84 および第 2 の平板導体 86 を更に備えていて、当該第 1 および第 2 の平板導体 84、86 に複数のアンテナ 30 が互いに並列に接続されている。高周波電源 42 は、第 1 および第 2 の平板導体 84、86 の内の一方の平板導体を高周波電流 I_R の往路とし、他方の平板導体を高周波電流 I_R の復路として、複数のアンテナ 30 に高周波電力を並列に供給する。

[01 27] より具体的にはこの例では、第 1 の平板導体 84 に各アンテナ 30 の上側導体 32 の端部 32a を接続し、第 2 の平板導体 86 に各アンテナ 30 の下側導体 31 の端部 31a を接続している。更に第 1 の平板導体 84 に整合回路 44 を介して高周波電源 42 を接続し、第 2 の平板導体 86 を接地（この例では直接接地）している。平板導体 86 はコンデンサを介して接地しても

良い。その理由は後述する。

[01 28] 両平板導体 8 4、8 6 を拡大して図 2 7 に示す。これらは、Y 方向に沿って伸びている平行平板導体である。両平板導体 8 4、8 6 間は、例えば両者間に薄い絶縁体を挟む、または絶縁スペーサを設ける等によって、電氣的に絶縁されている。

[01 29] なお、高周波電流 I_R の向きは前述したように時間によって反転するけれども、両平板導体 8 4、8 6 の内の一方が高周波電流 I_R の往路、他方が当該高周波電流 I_R の復路である関係は変わらない。

[01 30] この例では、高周波電源 4 2 から、互いに平行に近接配置された第 1 および第 2 の平板導体 8 4、8 6 の内の一方の平板導体を高周波電流 I_R の往路とし、他方の平板導体を高周波電流 I_R の復路として、複数のアンテナ 3 0 に高周波電力を並列に供給するようにしているので、第 1 および第 2 の平板導体 8 4、8 6 に流れる高周波電流 I_R は、互いに接近した状態で逆向きに流れる。その結果、先に数 2、数 3 等を参照して説明したように、第 1 および第 2 の平板導体 8 4、8 6 間の相互インピーダンスのぶん、両平板導体 8 4、8 6 のインダクタンスが小さくなるので、第 1 および第 2 の平板導体 8 4、8 6 における高周波電力損失が小さくなる。従って、複数のアンテナ 3 0 に共通の高周波電源 4 2 から高周波電力をより効率良く供給して、高周波電力をプラズマ生成により効率良く投入することができるので、プラズマ生成効率ひいては高周波電力の利用効率をより高めることができる。

[01 31] なお、両平板導体 8 4、8 6 への給電の位置は、即ち整合回路 4 4 の接続点および接地点位置は、図 2 6 に示す例のように、両平板導体 8 4、8 6 の長手方向 (Y 方向) における中央部付近にするのが好ましい。そのようにすると、各アンテナ 3 0 にバランス良く高周波電流 I_R を供給することができるからである。

[01 32] 図 2 6 に示す各アンテナ 3 0 への給電方法は、同図に示すように、各アンテナ 3 0 を構成する上側導体 3 2 の端部 3 2 a に整合回路 4 4 を介して高周波電源 4 2 を接続し、下側導体 3 1 の端部 3 1 a を接地 (直接接地またはコ

ンデンサを介して接地)するのが好ましい。その理由を以下に説明する。なお、図28、図29に示す例では、説明を簡略化するために、平板導体84、86の図示を省略しているが、電気回路の説明においてはそれでも支障はない。

- [01 33] 図28に示す例は、図1、図2に示したアンテナ30、高周波電源42および整合回路44を簡略化したものに相当する。この例では、下側導体31の接続部33とは反対側の端部31aに整合回路44を介して高周波電源42を接続し、上側導体32の接続部33とは反対側の端部32aを接地(この例では直接接地)している。即ち、下側導体31の端部31aを高周波電力の供給端とし、上側導体32の端部32aを終端点としている。
- [01 34] アンテナ30(より具体的にはそれを構成する導体31、32および接続部33。以下同様)はインピーダンスを有しているので、それに高周波電流 I_R を流すと電位差が発生する。その場合、整合回路44は通常は図1に示した例のように直列コンデンサ64を有している等の理由によって、整合回路44側(即ち高周波電源42側)の端部(図28の例では端部31a)の電位が一番高くなる。
- [01 35] この場合のアンテナ30の電位分布の概略例を図28(B)に示す。上記理由によって、下側導体31の電位の方が上側導体32の電位よりも高くなる。下側導体31はプラズマ50側に位置していて、当該下側導体31の電位の方が上側導体32の電位よりもプラズマ電位に強く反映されるので、下側導体31の電位が上記のように高くなると、プラズマ電位も高くなる。プラズマ電位が高くなると、前述したように、プラズマ50から基板2に入射する荷電粒子のエネルギーも高くなり、基板2上に形成する膜に与えるダメージも大きくなる。図28に示す例は、このような点になお改善の余地がある。
- [01 36] 上記を改善したのが図29に示す例である。この例では、上側導体32の端部32aに整合回路44を介して高周波電源42を接続し、下側導体31の端部31aを接地(この例では直接接地)している。即ち、上側導体32

の端部 3 2 a を高周波電力の供給端とし、下側導体 3 1 の端部 3 1 a を終端点としている。

[01 37] この場合のアンテナ 3 0 の電位分布の概略例を図 2 9 (B) に示す。上記理由によって、下側導体 3 1 の電位の方が上側導体 3 2 の電位よりも低くなる。下側導体 3 1 はプラズマ 5 0 側に位置していて、当該下側導体 3 1 の電位の方が上側導体 3 2 の電位よりもプラズマ電位に強く反映されるので、下側導体 3 1 の電位が上記のように低くなると、プラズマ電位も低くなる。即ち、図 2 9 の例の方が、図 2 8 の例に比べて、プラズマ電位をより低く抑えることができる。

[01 38] その結果、プラズマ電位を低く抑えることによる前述した効果、即ちプラズマ 5 0 から基板 2 に入射する荷電粒子のエネルギーを低く抑えることができる、アンテナ 3 0 を長くする場合でもプラズマ電位を低く抑えることができる、等の効果をより高めることができる。

[01 39] なお、上側導体 3 2 の端部 3 2 a や下側導体 3 1 の端部 3 1 a を接地するのに当たっては、上記例のように直接接地する代りに、コンデンサ (直列コンデンサ) を介して接地しても良い。コンデンサを介して接地する場合は、簡単に言えば、当該コンデンサの両端の電位差分だけアンテナ 3 0 の電位が上がるけれども、その場合でも、図 2 9 に示す例の方が図 2 8 に示す例に比べてプラズマ電位を低く抑えることができるので、上述した効果を奏することができる。

[0140] 図 2 6 に示す例は、図 2 9 に示す給電方法を採用しているので、上記効果を奏することができる。図 1 9、図 2 1 に示す例の場合も同様である。

[0141] 図 3 0 に示す例のように、各アンテナ 3 0 を構成する上側導体 3 2 と下側導体 3 1 とを互いに別の構造体とし、かつ上側導体 3 2 を矢印 J で示すように上下方向 Z に位置変更 (位置調整) 可能なものにしても良い。アンテナ 3 0 への給電方法は、この例では図 2 6、図 2 9 等にした例と同様である。なおこの例も、説明を簡略化するために平板導体 8 4、8 6 の図示を省略しているが、平板導体 8 4、8 6 との関係については、図 3 2、図 3 3 を参照

して後で説明する。

[0142] 両導体 3 1、3 2 の同じ側の端部 3 1 b、3 2 b は、接続部 3 3 によって、更にこの例では位置調整部 7 0 を介して、互いに電氣的に接続されている。

[0143] 位置調整部 7 0 は、上側導体 3 2 の上下方向 Z の位置調整を可能にすると共に、上側導体 3 2 の端部 3 2 b と接続部 3 3 とを互いに電氣的に接続するものである。上側導体 3 2 の位置固定は固定部材 7 2 によって行われる。

[0144] 位置調整部 7 0 周りのより具体的な構造の一例を図 3 1 に示す。

[0145] 固定部材 7 2 は、この例ではボルト 7 3 およびナット 7 4 で構成されている。両者は、図示例では 2 個ずつであるが、これに限られるものではない。

[0146] 下側導体 3 1 の端部 3 1 b を延長した延長部 3 1 c を設けて、それを上向きに折り曲げて、上記接続部 3 3 を形成している。この接続部 3 3 (換言すれば延長部 3 1 c。以下同様) は、上記ボルト 7 3 を通す穴 7 6 を有している。

[0147] 上側導体 3 2 の端部 3 2 b を延長した延長部 3 2 c を設けて、それを上向きに折り曲げて、接続部 3 3 に対してほぼ平行に近接させている。この延長部 3 2 c は、接続部 3 3 に近接した状態で上下方向 Z に移動 (スライド) 可能である。延長部 3 2 c は、上記各ボルト 7 3 を通す長穴 (上下方向 Z に長い穴) 7 8 を有している。長穴 7 8 であれば、上側導体 3 2 の上下方向 Z の位置を連続的に (無段階に) 調整することができるのでより好ましいけれども、長穴 7 8 の代りに複数の穴を上下方向 Z に設けても良い。

[0148] 固定部材 7 2 を緩めておいて、上側導体 3 2 を上下方向 Z に移動させることによって、上側導体 3 2 の上下方向 Z の位置を変更 (調整) することができる。上側導体 3 2 を所望の位置にしておいて固定部材 7 2 を締めることによって、上側導体 3 2 の位置を固定することができる。かつ上側導体 3 2 の端部 3 2 b と接続部 3 3 とを電氣的に接続することができる。また、上記構造によって上側導体 3 2 は着脱可能であるので、即ち固定部材 7 2 を取り外すことによって上側導体 3 2 を着脱することができるので、上側導体 3 2 を

交換することもできる。

[0149] なお、上記のような位置調整部 70 を設ける代りに、接続部 33 を、上側導体 32 の上下方向 Z の移動を許容する可撓性の導体にしても良く、そのようにしても上側導体 32 の上下方向 Z の位置調整は可能である。但し位置調整部 70 を設ける方が、上側導体 32 の位置調整は容易になる。

[0150] 図 30 に示す例では、上記のように、アンテナ 30 を構成する上側導体 32 と下側導体 31 とは互いに別の構造体であり、かつ上側導体 32 は上下方向 Z に位置変更可能であるので、往復導体 31、32 間の上下方向 Z の間隔 D の調整が容易になる。例えば、装置の組立後に当該間隔 D を調整することもできる。その結果、アンテナ 30 の磁界分布を調整することが可能になり、ひいてはプラズマ密度分布を調整することが可能になるので、プラズマ密度分布の均一化により対応しやすくなる。

[0151] また、上述したように上側導体 32 は着脱可能であるので、上側導体 32 を、同一の構造のもの、または別の構造のものと交換することもできる。

[0152] 従って、図 19 _ 図 20 または図 21 _ 図 22 に示す各アンテナ 30 に、この図 30、図 31 に示す技術を採用することによって、XY 方向の 2 次元におけるプラズマ密度分布の調整が容易になり、2 次元におけるプラズマ密度分布の均一化により対応しやすくなる。

[0153] 図 19 — 図 20、図 26、図 29 および図 30 を参照して説明した技術を総合的に採用している複数のアンテナ周りの一例を図 32 に示す。図 21 - 図 22、図 26、図 29 および図 30 を参照して説明した技術を総合的に採用している複数のアンテナ周りの一例を図 33 に示す。両図とも、平板導体 84、86 は上方にずらして図示している。

[0154] 両図について、これまでに説明していない事項を説明すると、各アンテナ 30 の位置調整部 70 とは反対側の端部に、即ち平板導体 84、86 を設けている側の端部に、位置調整部 70 に似た構造の位置調整部 70a をそれぞれ設けている。各位置調整部 70a は、上側導体 32 の上下方向 Z の位置調整を可能にすると共に、上側導体 32 の端部 32a を平板導体 84 に電氣的

に接続するものである。

[01 55] 各位置調整部 7 0 a 付近の構造をより具体的に説明すると、各下側導体 3 1 の端部 3 1 a を延長した延長部 3 1 d を設けて、それを上向きに折り曲げている。各上側導体 3 2 の端部 3 2 a を延長した延長部 3 2 d を設けて、それを上向きに折り曲げている。両延長部 3 1 d 、 3 2 d 間に、矢印 K で示すように平板導体 8 4 、 8 6 が挿入される。両平板導体 8 4 、 8 6 は、例えば間に絶縁板を挟む等して、互いに接近かつ電氣的に絶縁して固定される。

[01 56] 平板導体 8 6 は、下側導体 3 1 の延長部 3 1 d に図示しない固定部材（例えば前記固定部材 7 2 と同様のボルトおよびナット。以下同様）によって固定されると共に電氣的に接続される。これによつて、下側導体 3 1 の端部 3 1 a は平板導体 8 6 に電氣的に接続される。各上側導体 3 2 の延長部 3 2 d は、図 3 1 に示した長穴 7 8 と同様の長穴（上下方向 Z に長い穴）7 8 a を有しており、アンテナ 3 0 の上下方向 Z の位置調整を可能にすると共に、図示しない固定部材によつて平板導体 8 4 に固定されかつ電氣的に接続される。

[01 57] 従つて、各アンテナ 3 0 の上側導体 3 2 の上下方向 Z の位置をそれぞれ調整することができる。例えば図 3 2 に示す例のように、全てのアンテナ 3 0 の上側導体 3 2 の上下方向 Z の位置を揃えることもできるし、図 3 3 に示す例のように、各アンテナ 3 0 の上側導体 3 2 の上下方向 Z の位置をそれぞれずらすこともできる。また、各アンテナ 3 0 の上側導体 3 2 は着脱可能であるので、それを交換することもできる。

[01 58] 図 3 2 、 図 3 3 に示す例のその他の作用効果は、先に図 1 9 〜図 3 1 を参照して説明した作用効果を総合したものとなる。

[01 59] なお、上記いずれの例のアンテナ 3 0 の場合も、上側導体 3 2 は大気中に位置させておくのが好ましい。図 1 に示した例も、前述したように、上側導体 3 2 は大気中に位置させている。

[01 60] 上側導体 3 2 を大気中に位置させておくと、真空容器 4 内が真空状態であっても真空容器 4 内を大気圧状態に戻すことなく、上側導体 3 2 の位置調整

や、上側導体 3 2 を別形状のものに変更すること等が可能になるので、前述したプラズマ密度分布の調整が容易になる。調整に要する時間も短縮することができる。

[0161] また、大気中は減圧雰囲気中に比べて空間の熱伝導が大きいので、上側導体 3 2 を大気中に位置させておくと、上側導体 3 2 の冷却効果を良くすることができる。また、ファンからの送風によって上側導体 3 2 を強制冷却することも可能である。従って、上側導体 3 2 の冷却効率を高めることができる。

符号の説明

- [0162]
- 2 基板
 - 4 真空容器
 - 2 4 ガス
 - 3 0 アンテナ
 - 3 1、3 2 往復導体
 - 3 1 下側導体
 - 3 2 上側導体
 - 4 2 周波電源
 - 4 4 整合回路
 - 5 0 プラズマ
 - 8 4、8 6 平板導体

請求の範囲

[請求項 1]

平面形状が実質的にまっすぐなアンテナに高周波電流を流すことによって真空容器内に誘導電界を発生させてプラズマを生成し、当該プラズマを用いて基板に処理を施す誘導結合型のプラズマ処理装置であつて、

前記アンテナを、前記基板の表面に立てた垂線を伸縮させる方向に互いに接近して配置されていて前記高周波電流が互いに逆向きに流される往復導体によって構成し、

かつ前記往復導体間の前記垂線を伸縮させる方向の間隔を、前記アンテナの長手方向における中央部において相対的に小さくし、両端部において相対的に大きくしており、

更に前記アンテナを複数備えていてこれらは互いに並列に配置されており、

当該複数のアンテナに共通の高周波電源から高周波電力を並列に供給するように構成しており、

かつ前記各アンテナの前記中央部の導体間隔の小さい領域のアンテナ長手方向における長さを、前記複数のアンテナの並列配置方向における中央部のアンテナにおいて相対的に大きくし、両端部のアンテナにおいて相対的に小さくしている、ことを特徴とするプラズマ処理装置。

[請求項 2]

平面形状が実質的にまっすぐなアンテナに高周波電流を流すことによって真空容器内に誘導電界を発生させてプラズマを生成し、当該プラズマを用いて基板に処理を施す誘導結合型のプラズマ処理装置であつて、

前記アンテナを、前記基板の表面に立てた垂線を伸縮させる方向に互いに接近して配置されていて前記高周波電流が互いに逆向きに流される往復導体によって構成し、

かつ前記往復導体間の前記垂線を伸縮させる方向の間隔を、前記ア

ンテナの長手方向における中央部において相対的に小さくし、両端部において相対的に大きくしており、

更に前記アンテナを複数備えていてこれらは互いに並列に配置されており、

当該複数のアンテナに共通の高周波電源から高周波電力を並列に供給するように構成しており、

かつ前記各アンテナの互いに対応する部分の前記導体間隔を、前記複数のアンテナの並列配置方向における中央部のアンテナにおいて相対的に小さくし、両端部のアンテナにおいて相対的に大きくしている、ことを特徴とするプラズマ処理装置。

[請求項3]

前記複数のアンテナの一方端側に配置されていて、互いに接近して平行に配置された第1および第2の平板導体を更に備えていて、当該第1および第2の平板導体に前記複数のアンテナが互いに並列に接続されており、

前記高周波電源は、前記第1および第2の平板導体の内の一方の平板導体を高周波電流の往路とし、他方の平板導体を高周波電流の復路として、前記複数のアンテナに前記高周波電力を並列に供給するものである請求項1または2記載のプラズマ処理装置。

[請求項4]

前記各アンテナを構成する前記往復導体は、前記プラズマ側の下側導体および前記プラズマとは反対側の上側導体を有していて、両導体の同じ側の一方端部が互いに電氣的に接続されており、

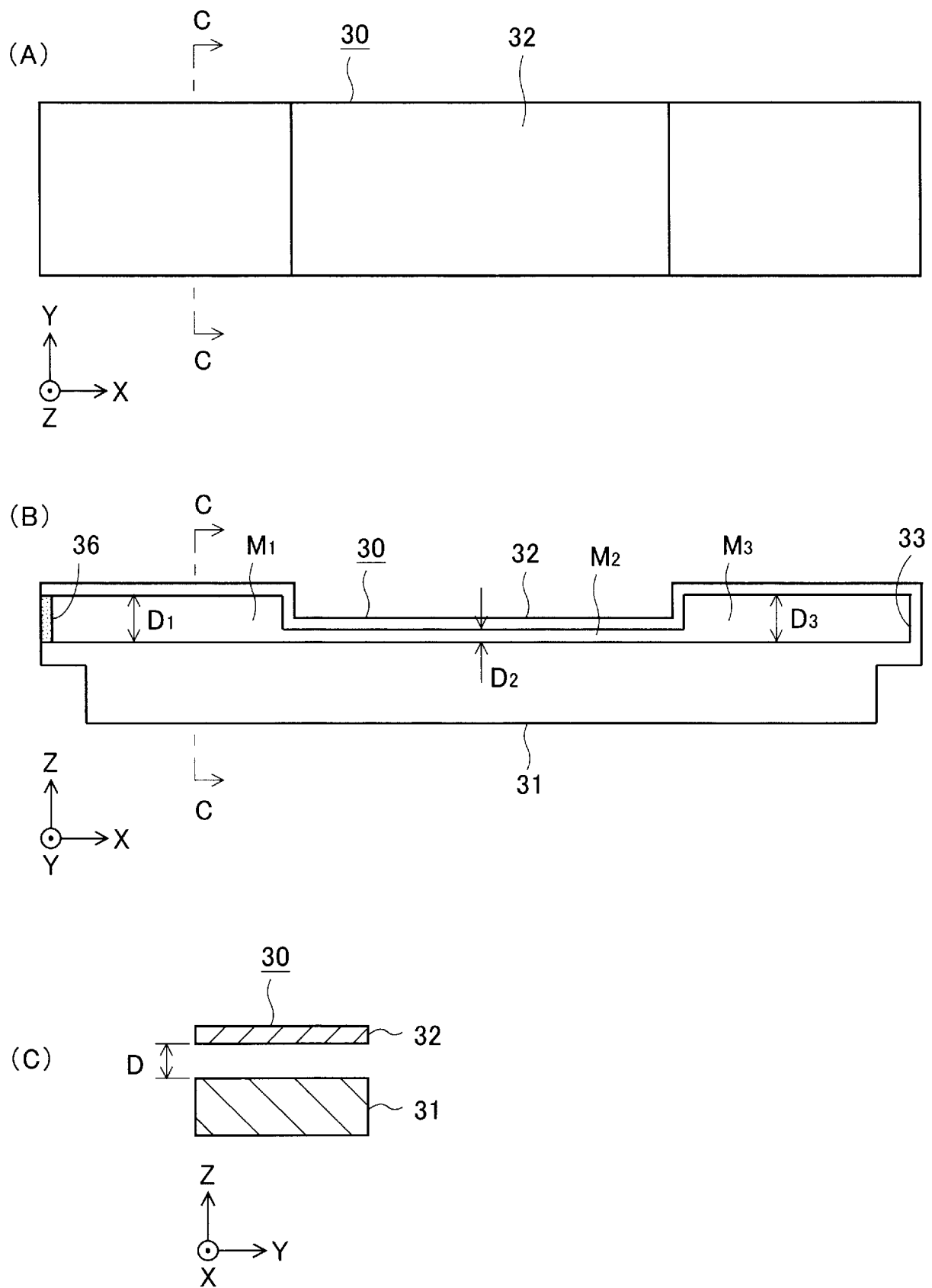
前記各アンテナの前記上側導体の他方端部は前記第1の平板導体に接続されており、

前記各アンテナの前記下側導体の他方端部は前記第2の平板導体に接続されており、

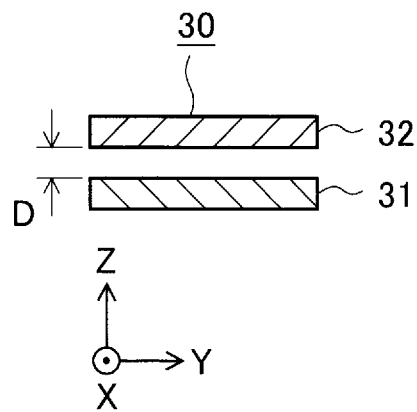
前記第1の平板導体に整合回路を介して前記高周波電源を接続し、

前記第2の平板導体を直接またはコンデンサを介して接地している請求項3記載のプラズマ処理装置。

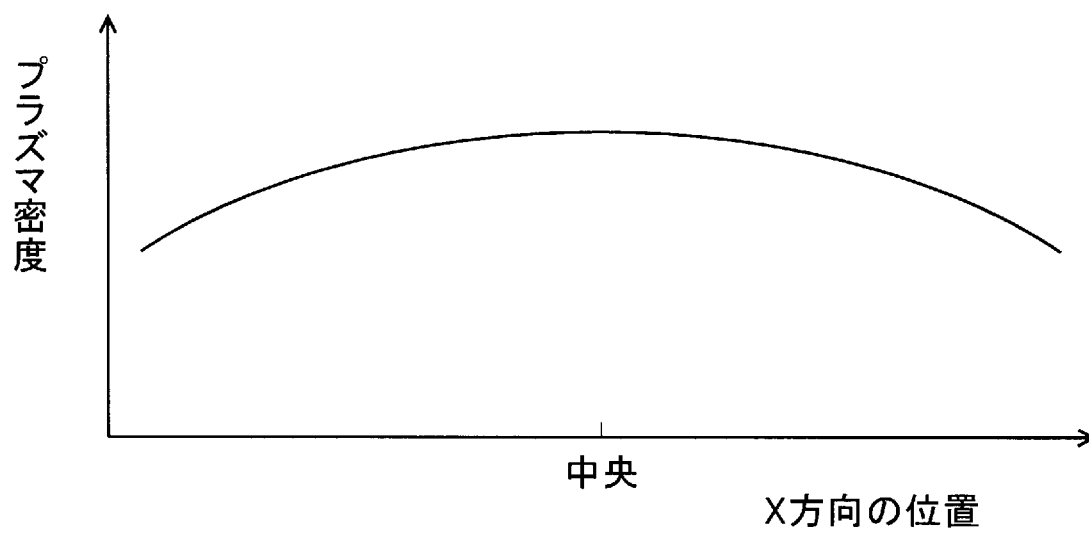
[図2]



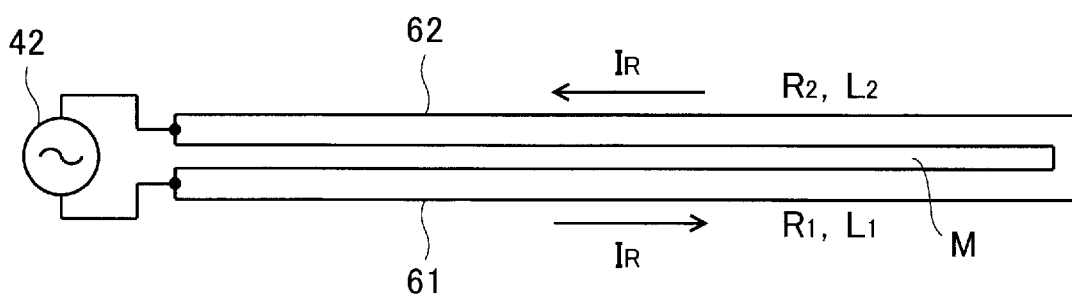
[図3]



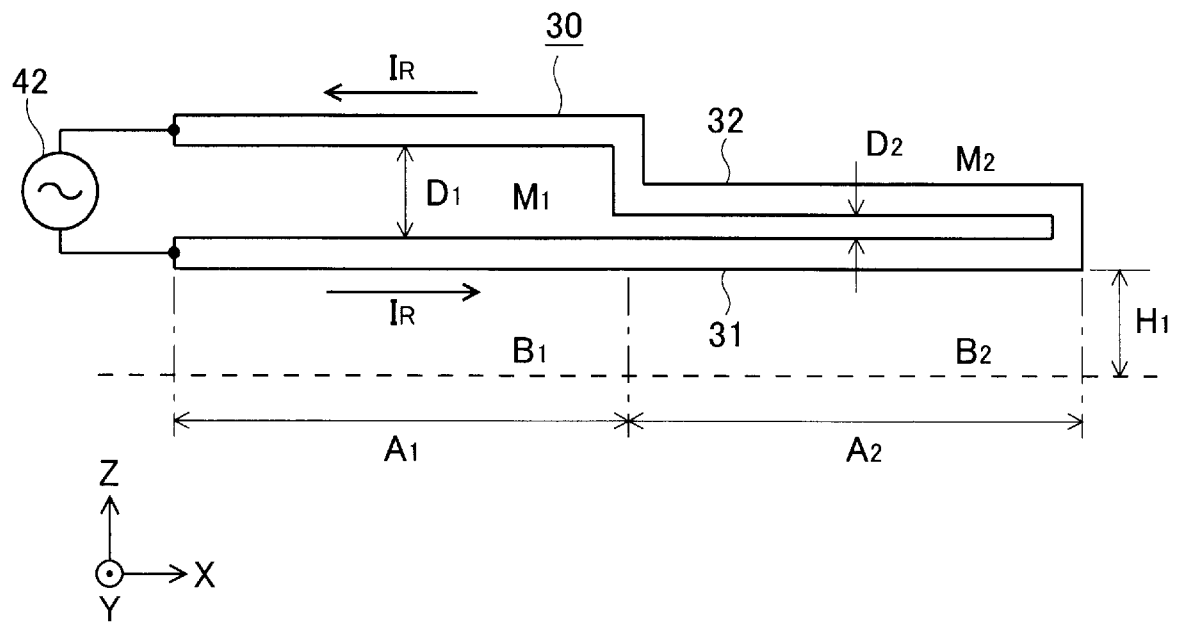
[図4]



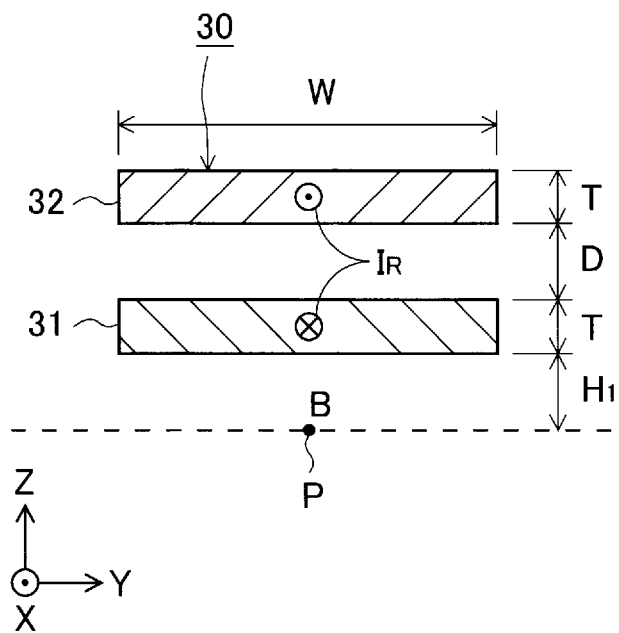
[図5]



[図6]

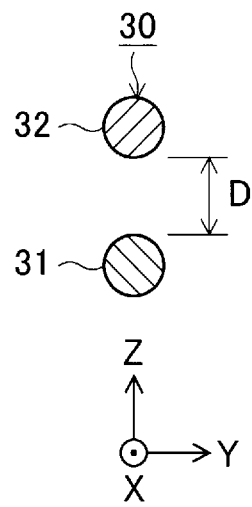


[図7]

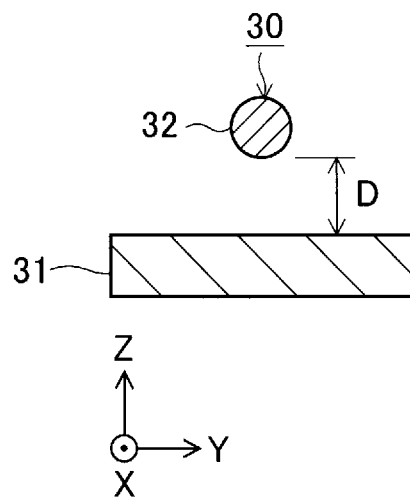


[illegible][illegible]

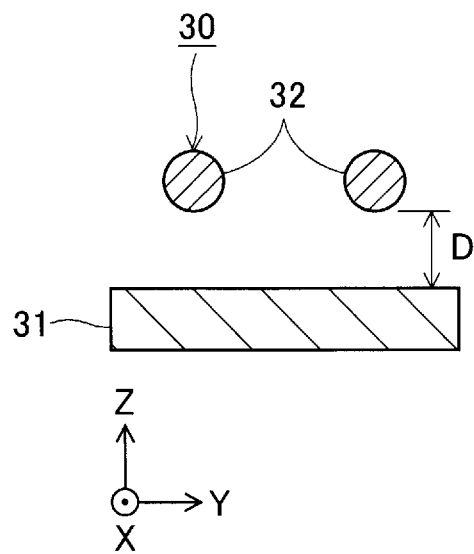
[図10]



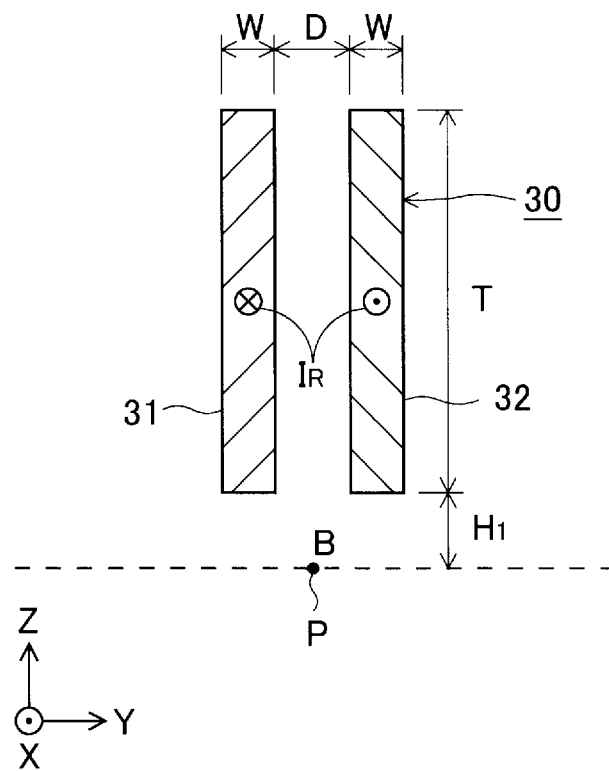
[図11]



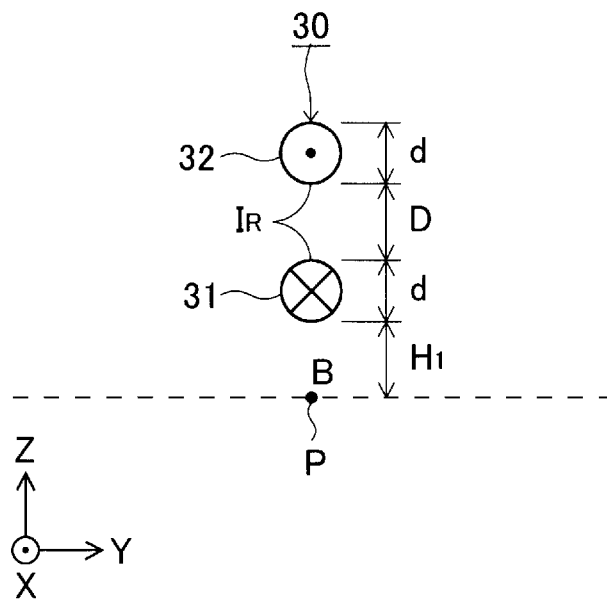
[図12]



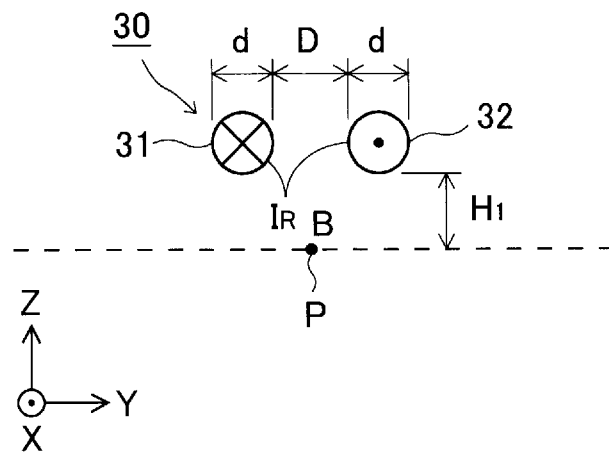
[図13]



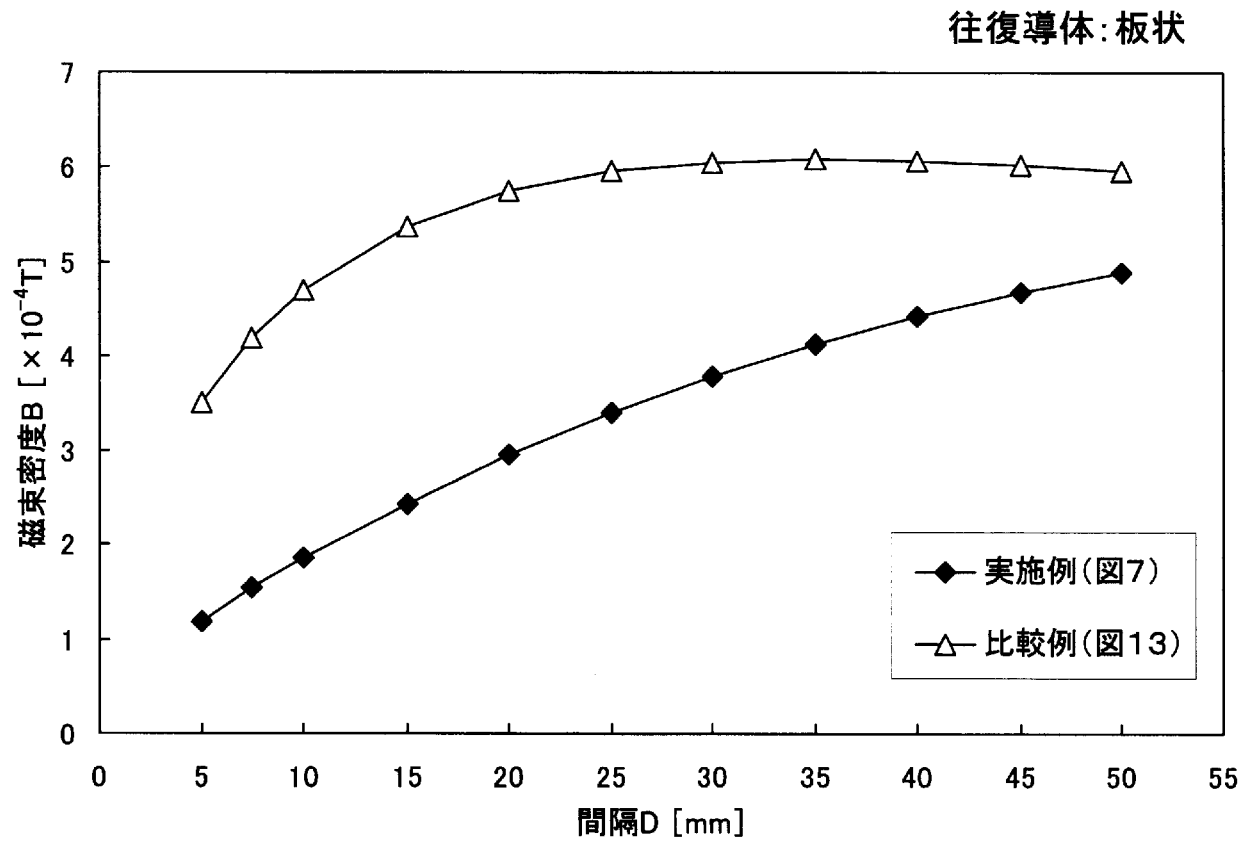
[図14]



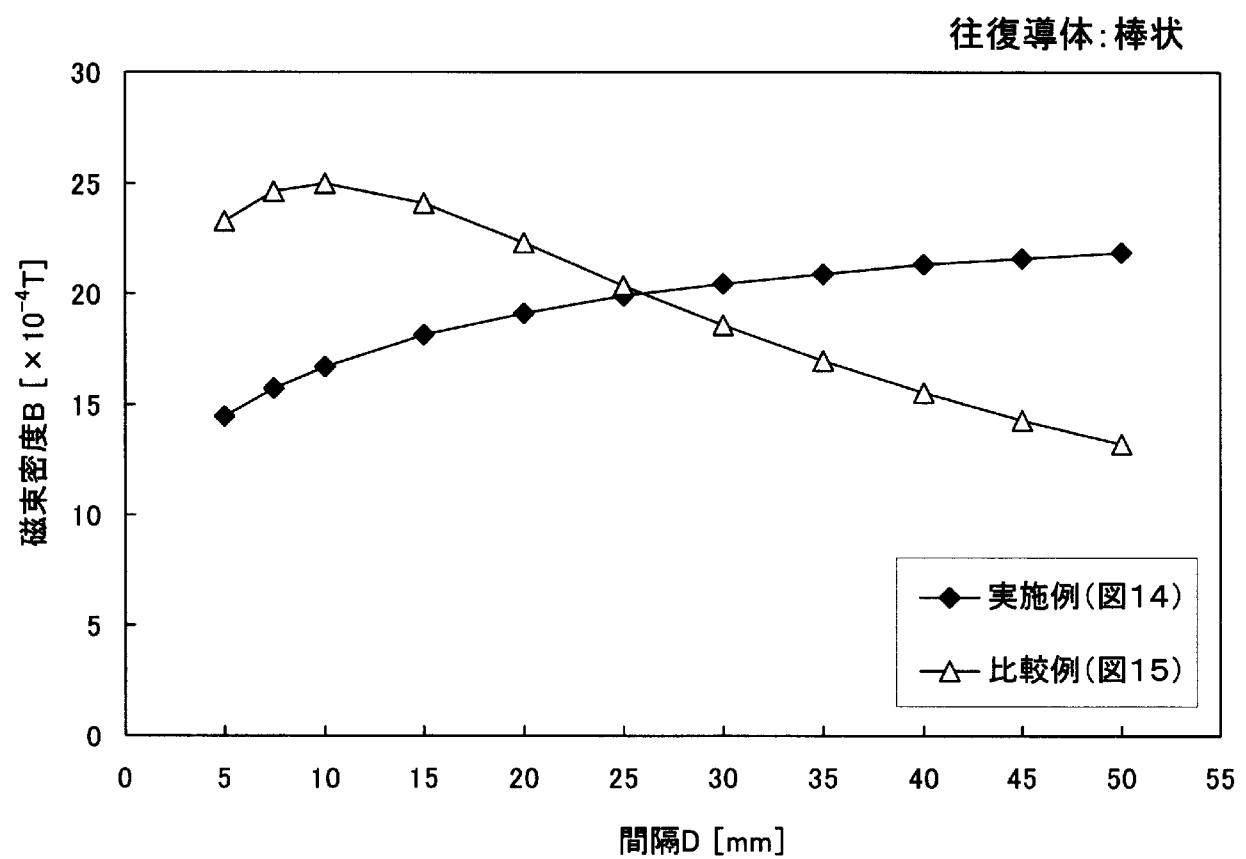
[図15]



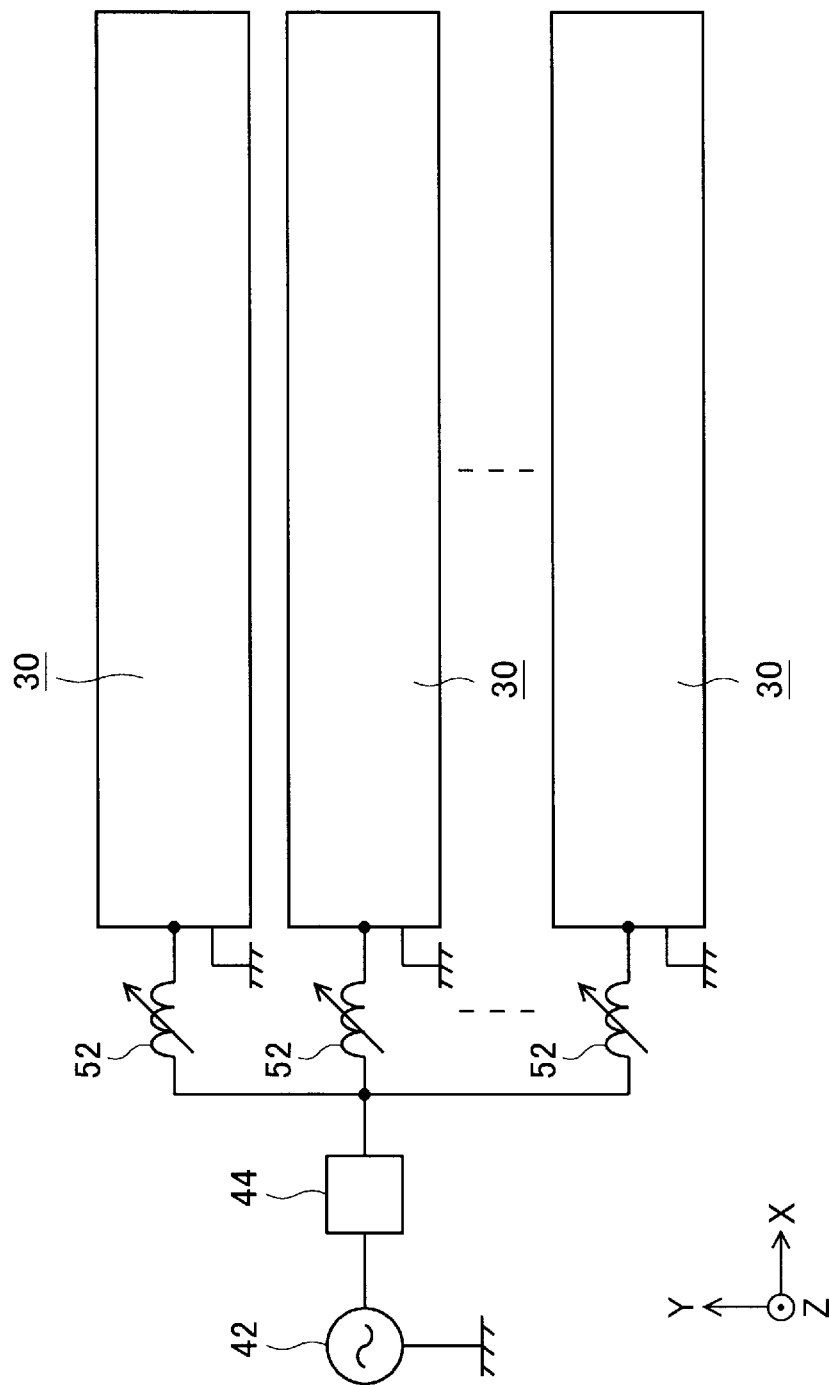
[図16]



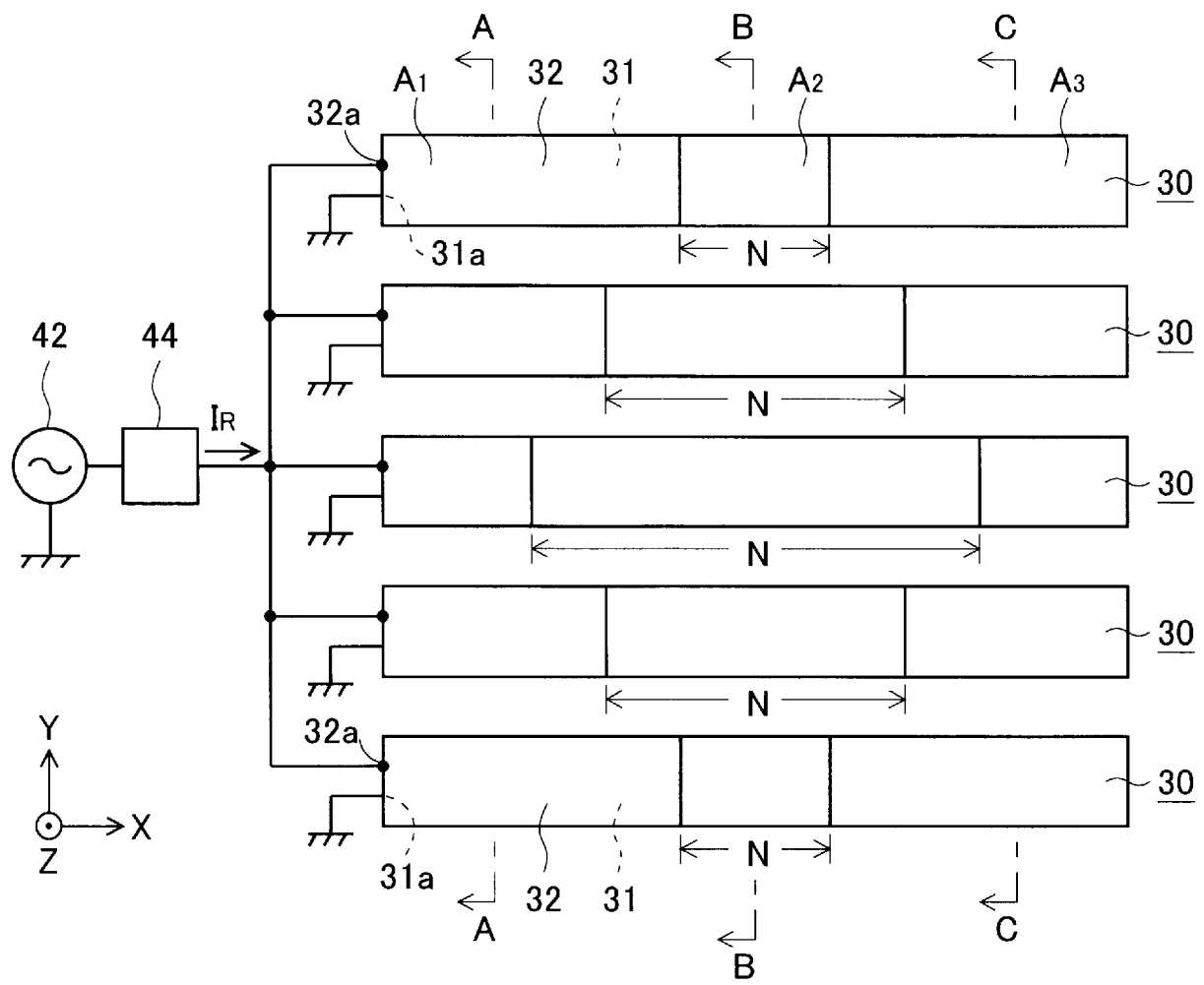
[図17]



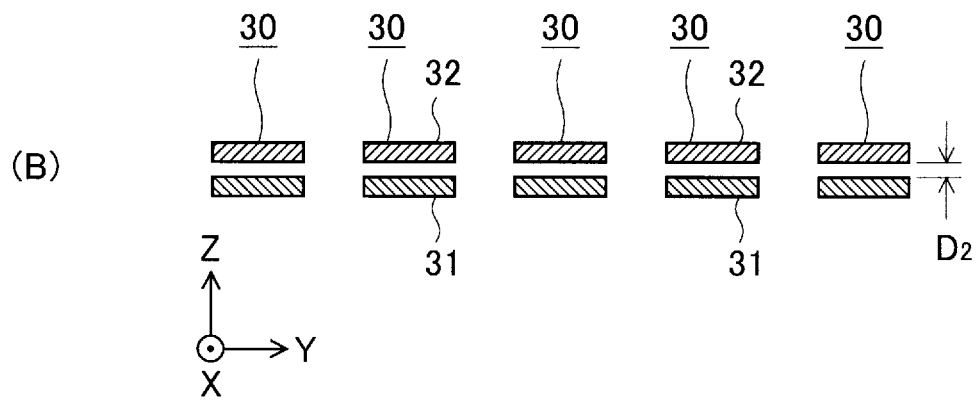
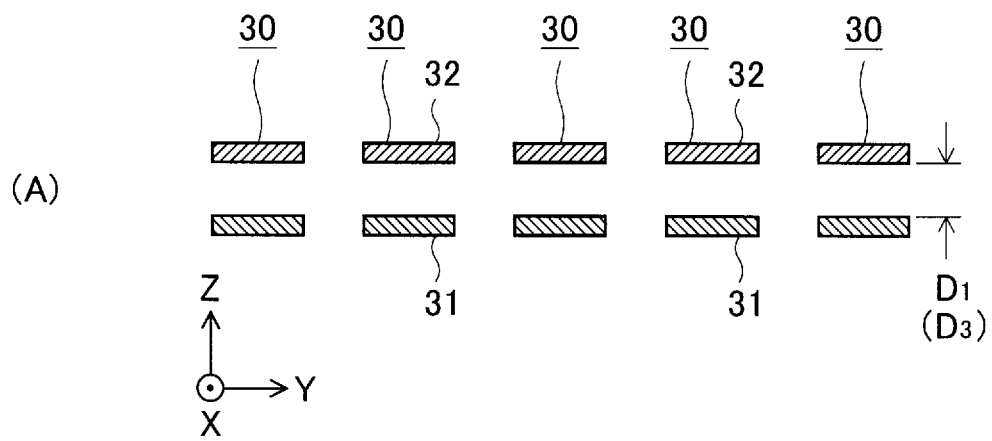
[図18]



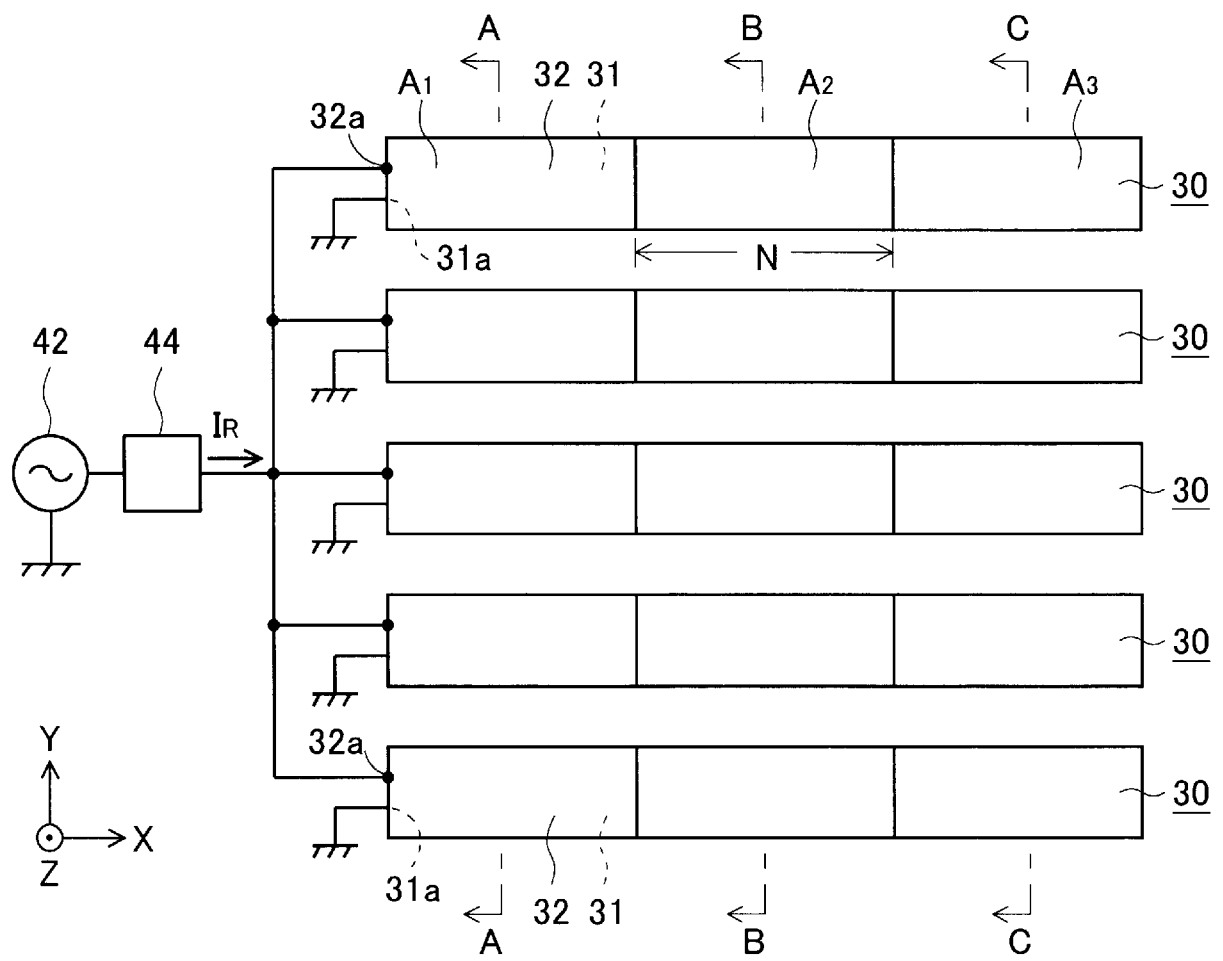
[図19]



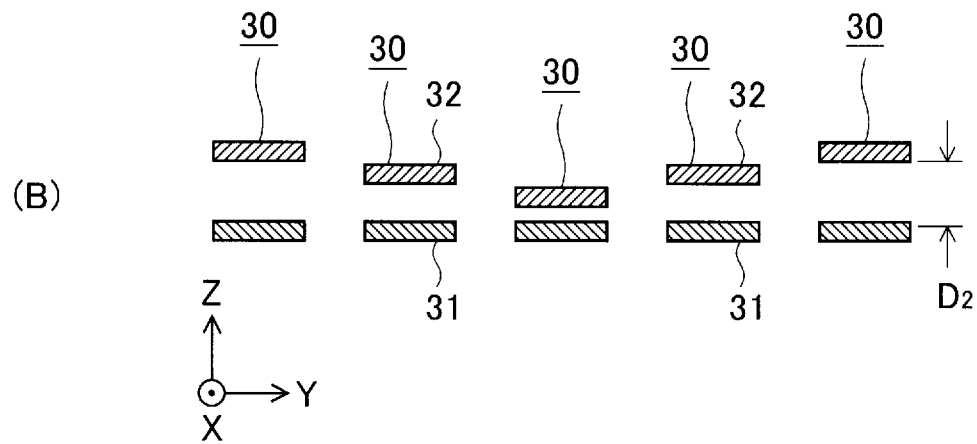
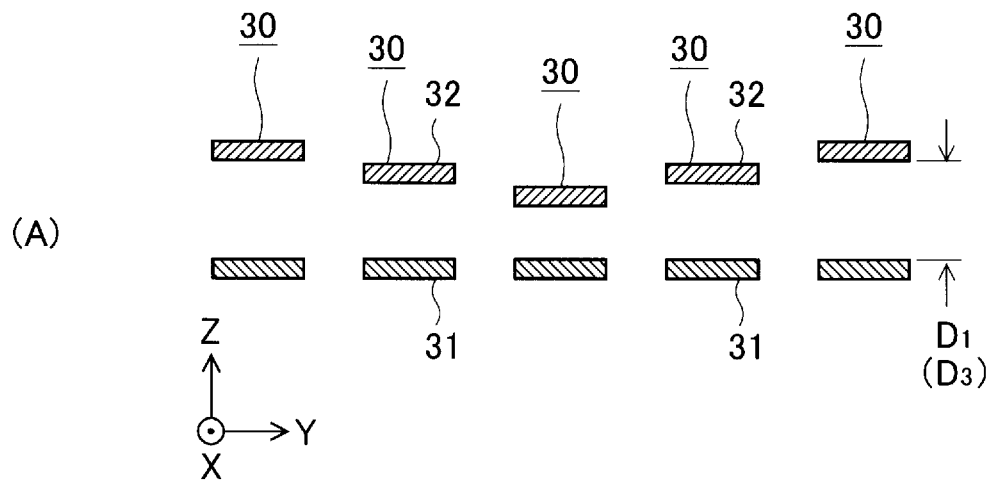
[図20]



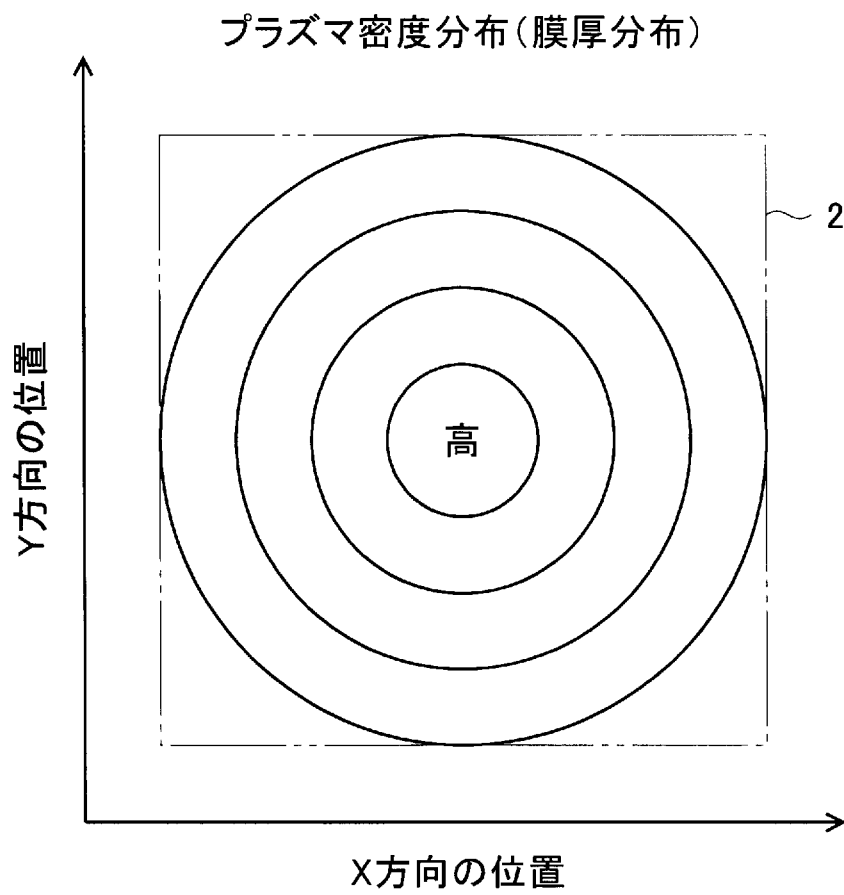
[図21]



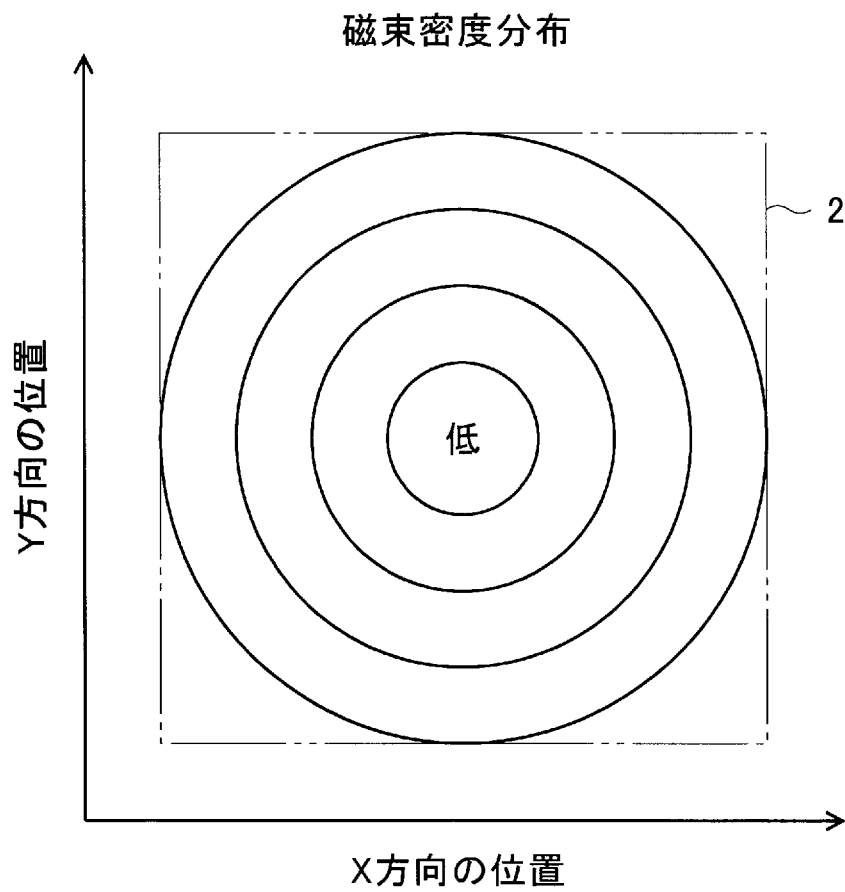
[図22]



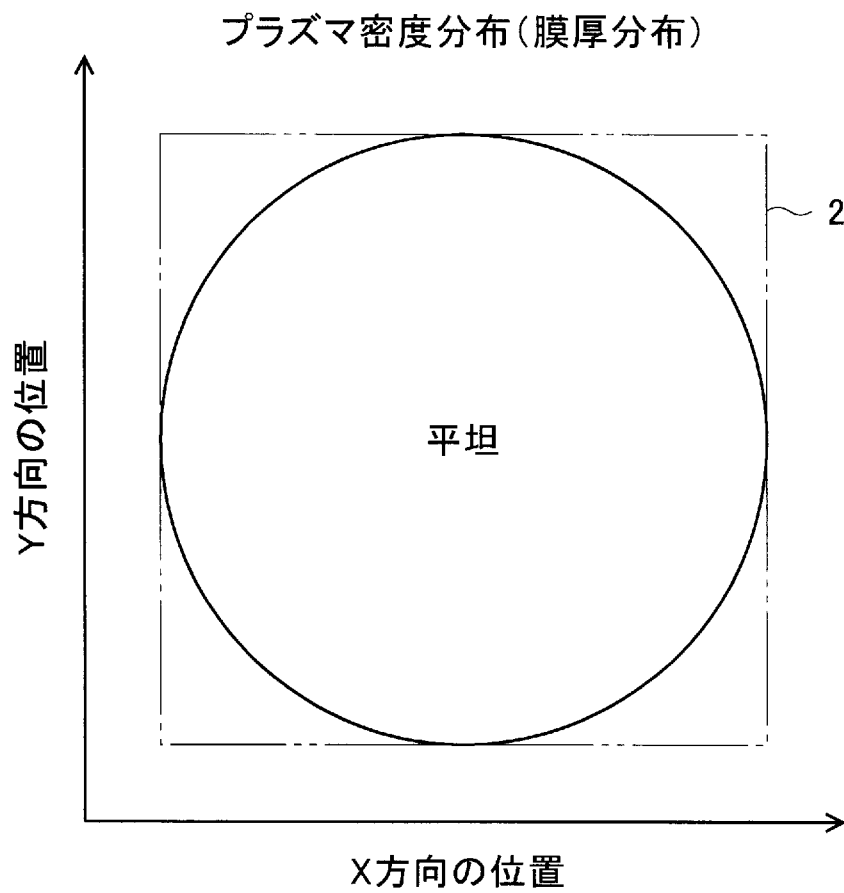
[図23]



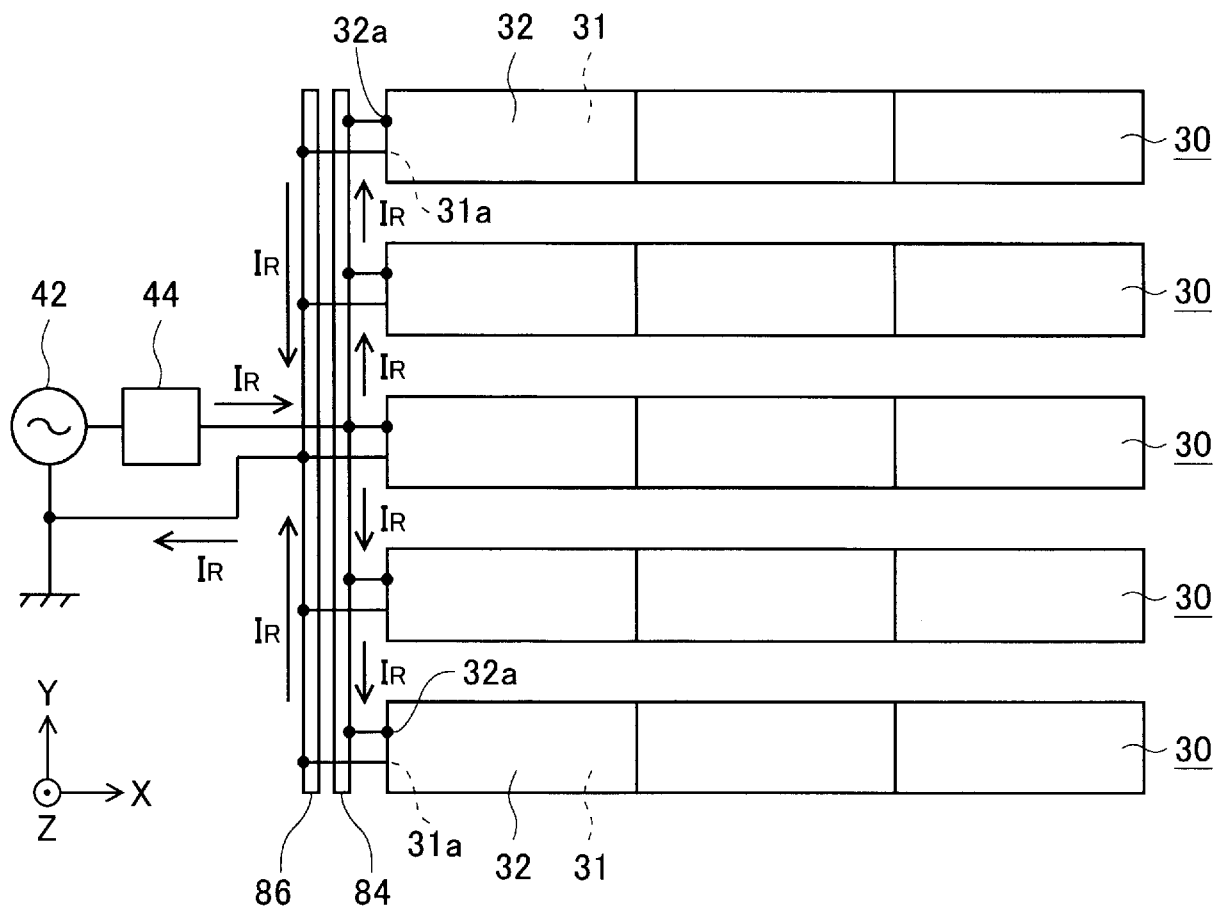
[図24]



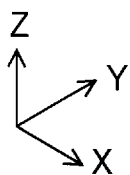
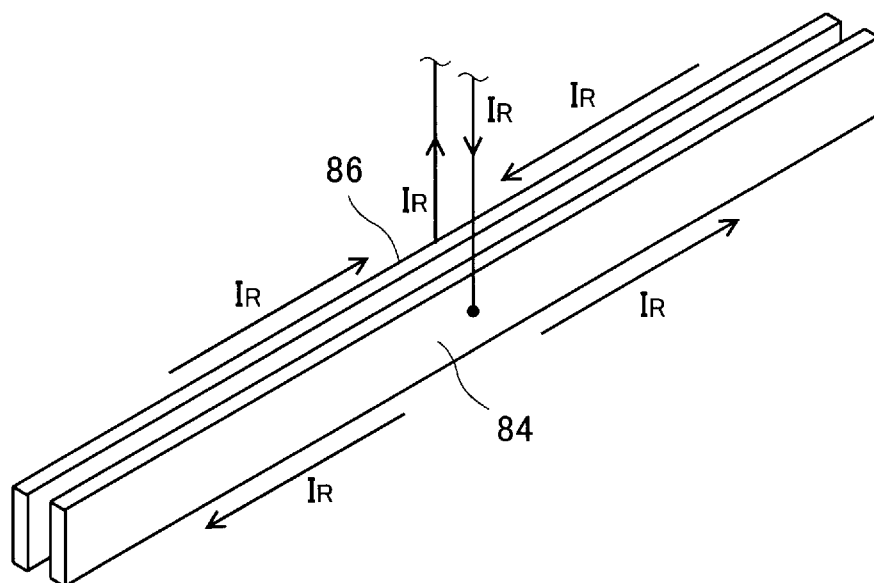
[図25]



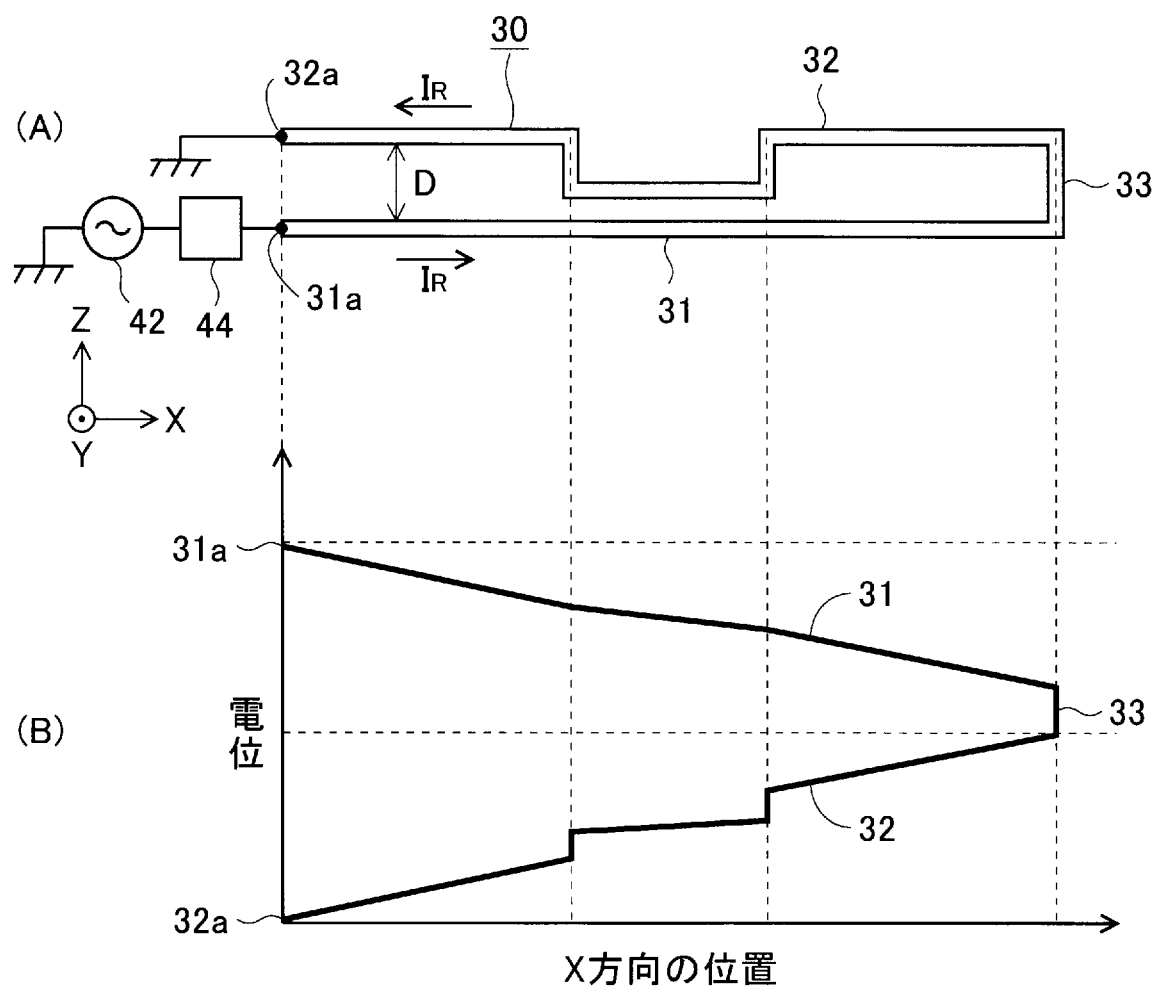
[図26]



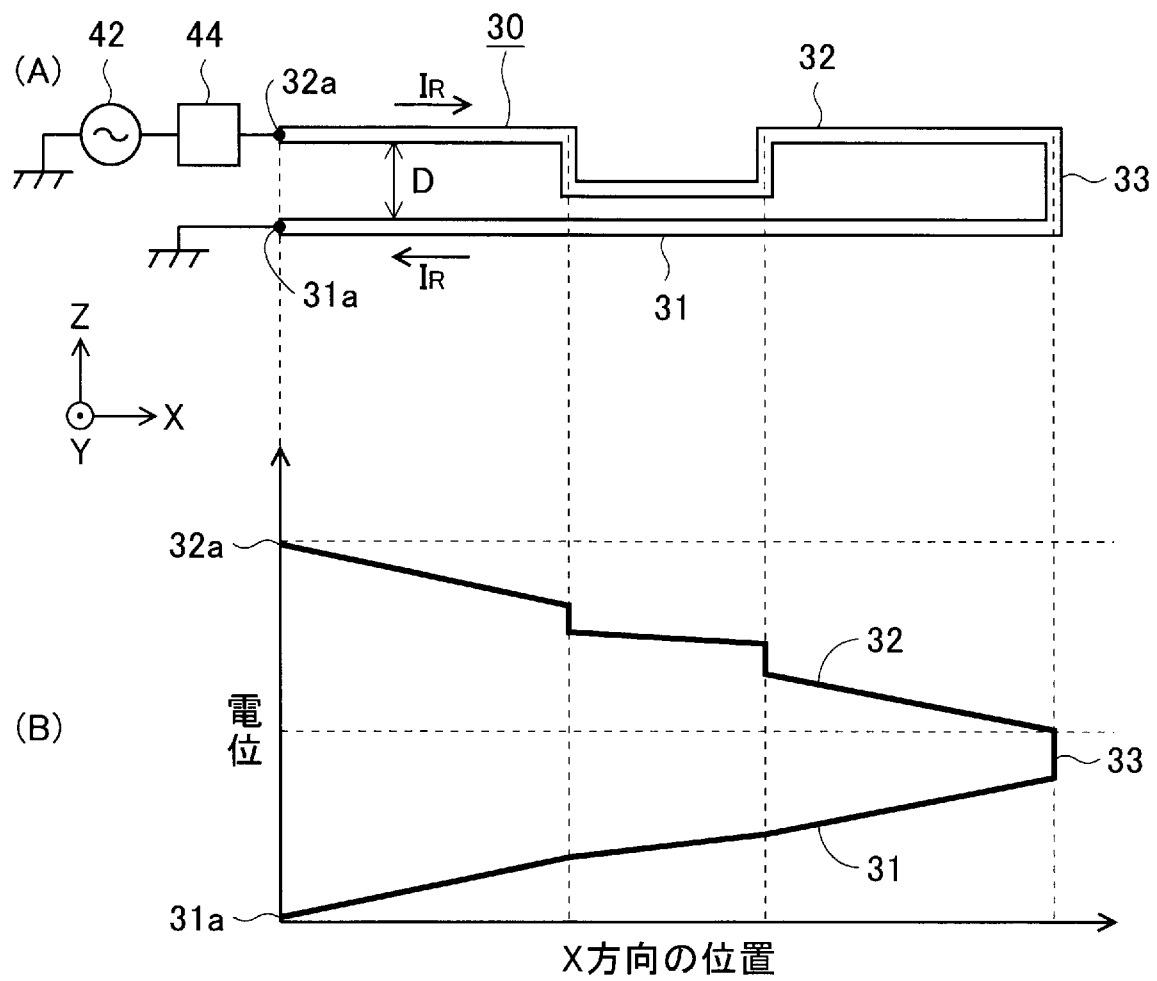
[図27]



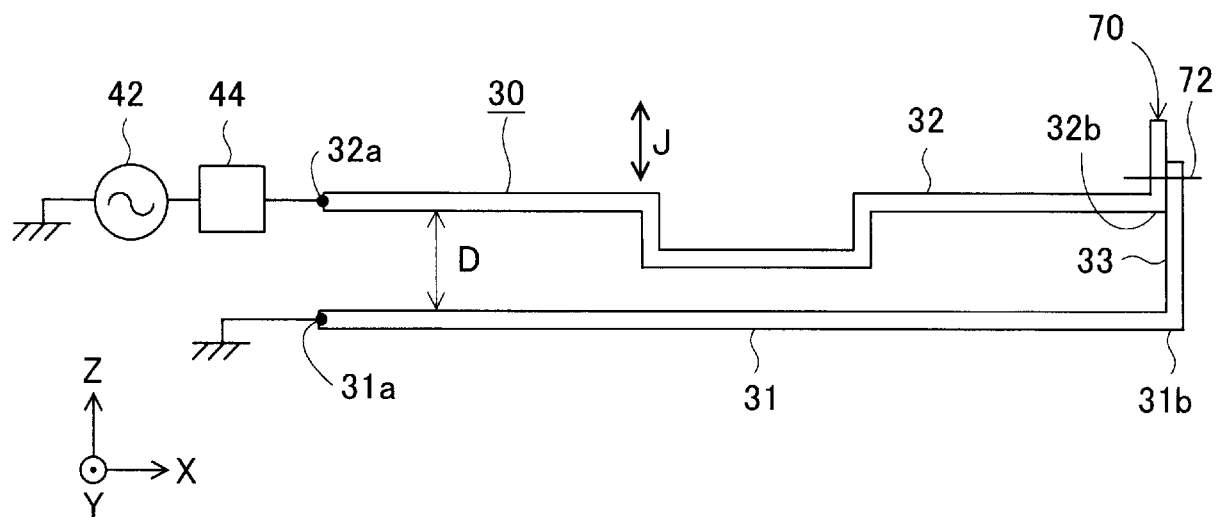
[図28]



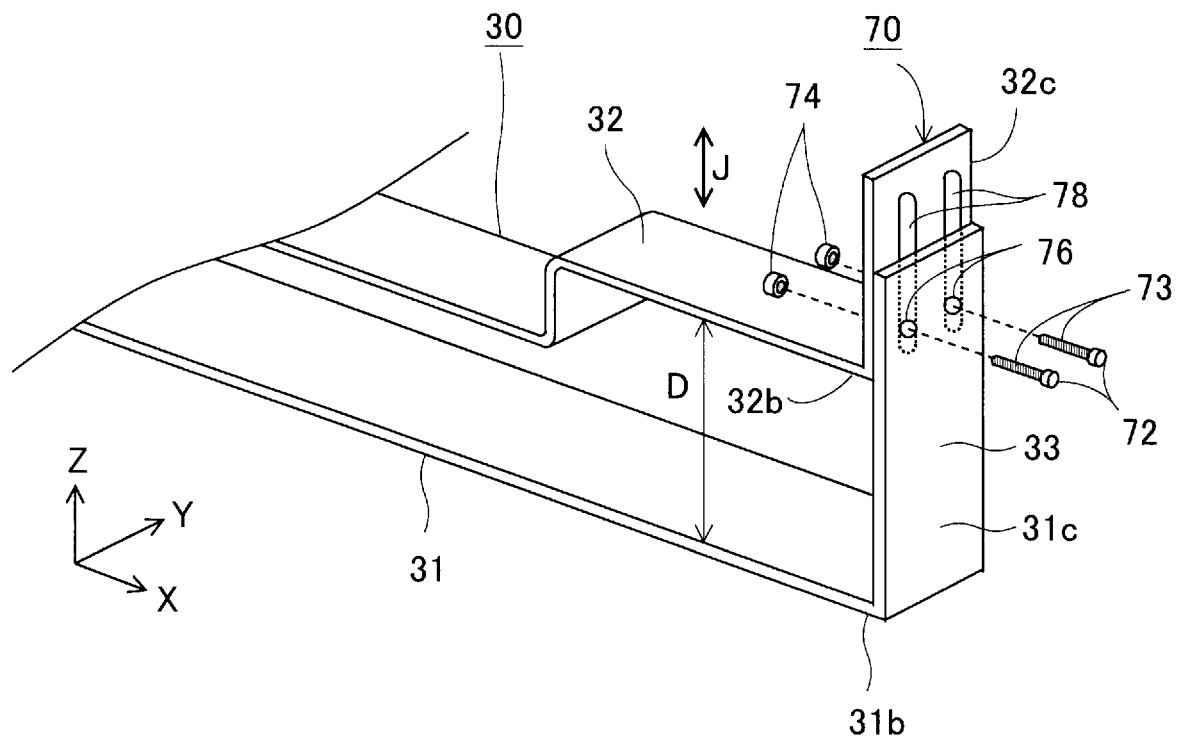
[図29]



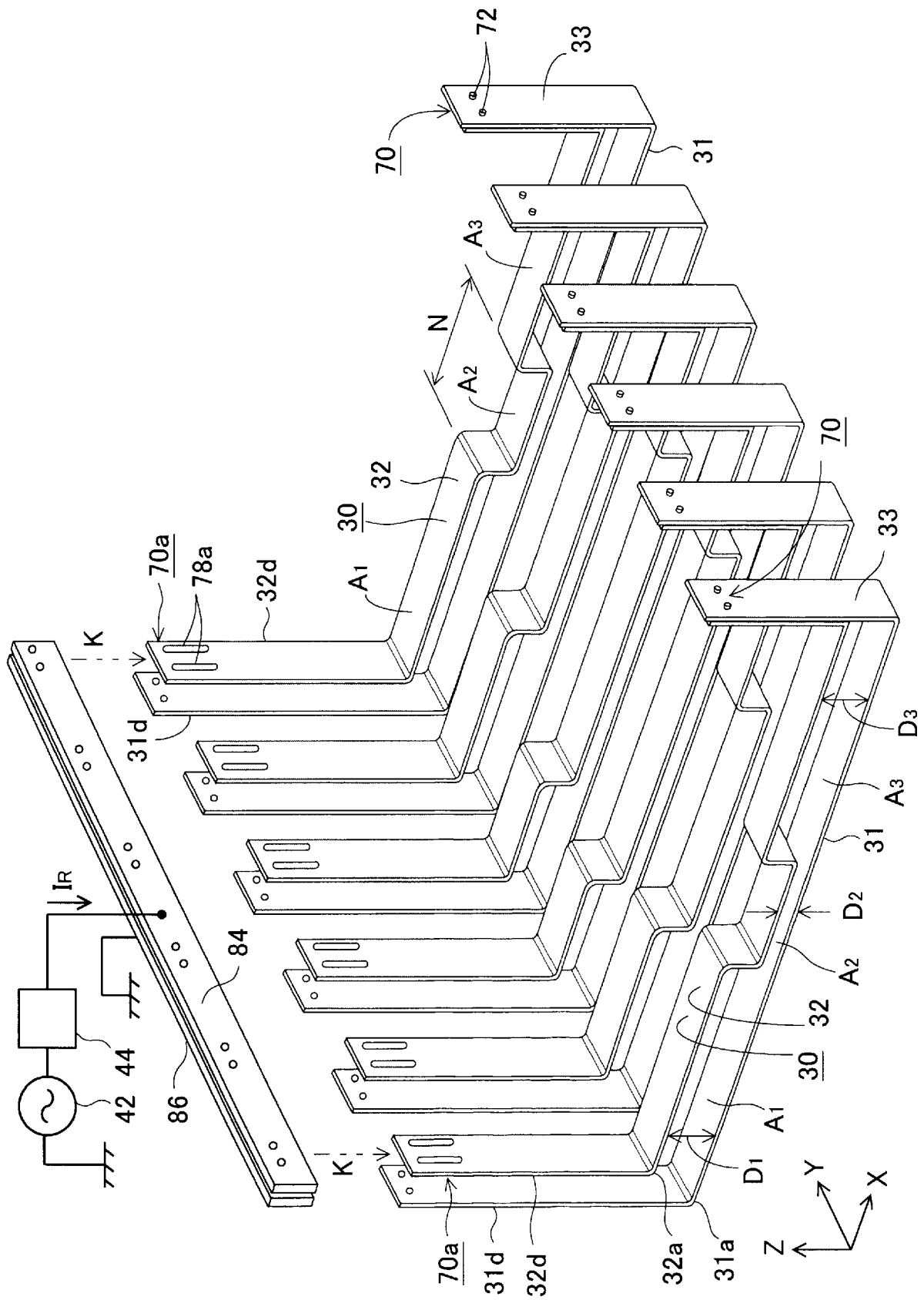
[図30]



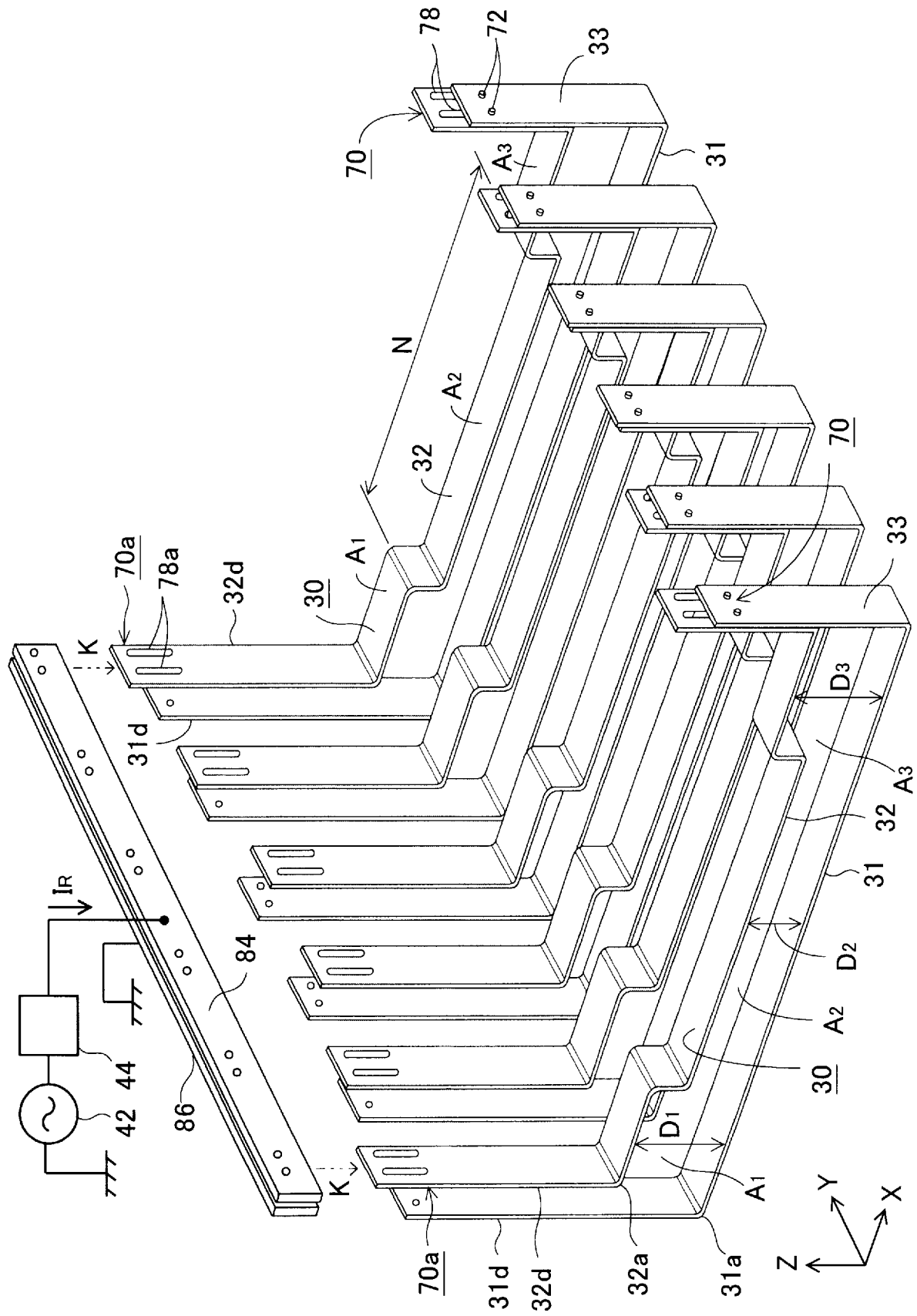
[図31]



[図32]



[図33]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/073332

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H05H1 / 46 (2006.01) i, C23C1 6/505 (2006.01) i, H01L21 / 205 (2006.01) i,
H01 L 21 / 30 65 (2006.01) i, H01L21 / 31 (2006.01) i

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)

H05H1/46, C23C16/505, H01L21/205, H01L21/3065, H01L21/31

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo	Shinan	Koho	1922-1	996	Jitsuyo	Shinan	Toroku	Koho	1996-2012
Kokai	Jitsuyo	Shinan	Koho	1971-2012	Toroku	Jitsuyo	Shinan	Koho	1994-2012

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.
A	JP 2002-540617 A (Tokyo Electron Ltd.), 26 November 2002 (26.11.2002), paragraphs [0028] to [0051]; fig. 1A to 3B & US 6237526 B1 & US 2001/0022158 A1 & EP 1166324 A & EP 1401008 A1 & WO 2000/058995 A2 & WO 2000/058995 B & WO 2002/086943 A1 & DE 60008711 D & DE 60008711 T & DE 60037684 D & DE 60037684 T & TW 483064 B & CN 1353859 A & TW 538439 B & CN 1513197 A	1-4
A	JP 2004-505459 A (Tokyo Electron Ltd.), 19 February 2004 (19.02.2004), paragraphs [0034] to [0035]; fig. 4B to 5C (Family: none)	1-4



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

"I" 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

"G" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

03 December, 2012 (03.12.12)

Date of mailing of the international search report

11 December, 2012 (11.12.12)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/073332

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-225296 A (EMD Corp.), 07 October 2010 (07.10.2010), paragraphs [0029] to [0040]; figs. 3 to 5 (Family: none)	1-4
A	JP 2011-119657 A (Tokyo Electron Ltd.), 16 June 2011 (16.06.2011), paragraphs [0104] to [0117]; figs. 18 to 21B & JP 2011-119658 A & JP 2011-119659 A & US 2011/0094995 AI & US 2011/0094996 AI & US 2011/0104902 AI & CN 102054649 A & TW 201143548 A & CN 102056395 A & CN 102157325 A & TW 201143546 A & TW 201207883 A	1-4
A	JP 10-106797 A (Applied Materials Inc.), 24 April 1998 (24.04.1998), paragraphs [0022] to [0031]; figs. 5 to 7 (Family: none)	1-4
A	JP 2011-103346 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 26 May 2011 (26.05.2011), entire text; all drawings & US 2011/0108194 AI	1-4
A	JP 2003-22977 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 24 January 2003 (24.01.2003), entire text; all drawings (Family: none)	1-4
A	wo 2010/134126 AI (Nissin Electric Co., Ltd.), 25 November 2010 (25.11.2010), entire text; all drawings & CN 102326457 A	1-4
A	JP 2004-140363 A (Samsung Electronics Co., Ltd.), 13 May 2004 (13.05.2004), paragraph [0077] & US 2004/0079485 AI & KR 10-2004-0033562 A & CN 1498057 A	1-4
P, A	JP 4844697 BI (Nissin Electric Co., Ltd.), 28 December 2011 (28.12.2011), entire text; all drawings & CN 102647847 A	1-4
P, A	JP 5018994 BI (Nissin Electric Co., Ltd.), 05 September 2012 (05.09.2012), entire text; all drawings (Family: none)	1-4

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H05H1/46 (2006. 01) i, C23C16/505 (2006. 01) i, H01L21/205 (2006. 01) i, H01L21/3065 (2006. 01) i, H01L21/31 (2006. 01) i

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))

Int.Cl. H05H1/46, C23C16/505, H01L21/205, H01L21/3065, H01L21/31

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 -
 日本国公開実用新案公報 1 9 7 1 - 2
 日本国実用新案登録公報 1 9 9 6 -
 日本国登録実用新案公報 1 9 9 4 - 2

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)
 年

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
A	JP 2002-540617 A (東京エレクトロン株式会社) 2002. 11. 26, 段落 0028-0051, 図 1A-3B & US 6237526 B1 & US 2001/0022158 A1 & EP 1166324 A & EP 1401008 A1 & WO 2000/058995 A2 & WO 2000/058995 B & WO 2002/086943 A1 & DE 60008711 D & DE 60008711 T & DE 60037684 D & DE 60037684 T & TW 483064 B & CN 1353859 A & TW 538439 B & CN 1513197 A	1-4

☒ 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

IA 「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」
 IE 「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」
 I 「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)」
 IΘ 「口頭による開示、使用、展示等に言及する文献」
 IP 「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矛盾するものではなく、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」
 IY 「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」
 I& 「同一パテントファミリー文献」

国際調査を完了した日

0 3 . 1 2 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

1 1 . 1 2 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

山口 敦司

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 3

2 1

9 2 1 6

c (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー水	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
A	JP 2004-505459 A (東京エレクトロン株式会社) 2004. 02. 19, 段落 0034-0035, 図 4B-5C (ファミリーなし)	1-4
A	JP 2010-225296 A (株式会社イー・エム・デイー) 2010. 10. 07, 段落 0029-0040, 図 3-5 (ファミリーなし)	1-4
A	JP 2011-119657 A (東京エレクトロン株式会社) 2011. 06. 16, 段落 0104-0117, 図 18-21B & JP 2011-119658 A & JP 2011-119659 A & US 2011/0094995 AI & US 2011/0094996 AI & US 2011/0104902 AI & CN 102054649 A & TW 201143548 A & CN 102056395 A & CN 102157325 A & TW 201143546 A & TW 201207883 A	1-4
A	JP 10-106797 A (アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド) 1998. 04. 24, 段落 0022-0031, 図 5-7 (ファミリーなし)	1-4
A	JP 2011-103346 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2011. 05. 26, 全文, 全図 & US 2011/0108194 AI	1-4
A	JP 2003-22977 A (三菱重工業株式会社) 2003. 01. 24, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-4
A	Wo 2010/134126 A1 (日新電機株式会社) 2010. 11. 25, 全文, 全図 & CN 102326457 A	1-4
A	JP 2004-140363 A (三星電子株式会社) 2004. 05. 13, 段落 0077 & US 2004/0079485 AI & KR 10-2004-0033562 A & CN 1498057 A	1-4
P, A	JP 4844697 B1 (日新電機株式会社) 2011. 12. 28, 全文, 全図 & CN 102647847 A	1-4
P, A	JP 5018994 B1 (日新電機株式会社) 2012. 09. 05, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-4