

(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8月12日(12.08.2021)



(10) 国際公開番号

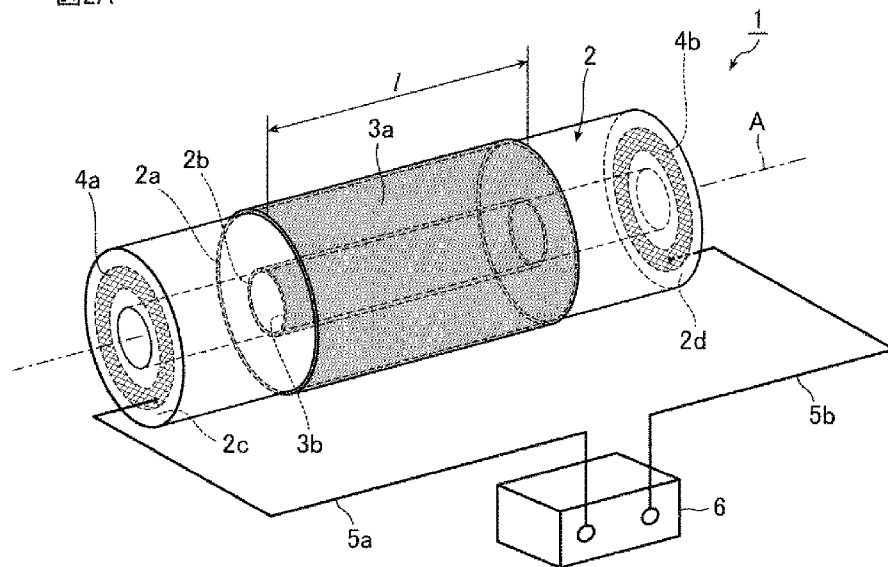
WO 2021/156910 A1

- (51) 国際特許分類:
H01G 7/06 (2006.01) *H05H 1/24* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/003910
- (22) 国際出願日: 2020年2月3日(03.02.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者:西岡 宗(NISHIOKA, Shu); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 山浦 真悟(YAMAURA, Shingo); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 西本 研悟(NISHIMOTO, Kengo); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 内藤 皓貴(NAITO, Teruki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 西岡 泰弘(NISHIOKA, Yasuhiro); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 米田 尚史(YONEDA, Naofumi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人:田澤 英昭, 外(TAZAWA, Hideaki et al.); 〒1000014 東京都千代田区永田町二丁目12番4号 赤坂山王センタービル5階 Tokyo (JP).

(54) Title: VARIABLE-CAPACITANCE ELEMENT

(54) 発明の名称: 可変容量素子

図2A



(57) Abstract: This variable-capacitance element (1) comprises: a container (2) having a hollow cylindrical shape, the container (2) being such that a gas is sealed in a space part (2e) provided between the outer peripheral surface and the inner peripheral surface of the hollow cylindrical shape; a first electrode (3a) provided on the outer peripheral surface of the hollow cylindrical shape; a second electrode (3b) provided on the inner peripheral surface of the hollow cylindrical shape, the second electrode (3b) facing the first electrode (3a) with the space part (2e) interposed therebetween; and a variable power supply device (4) that adjusts the electric power by which the gas sealed in the space part (2e) is placed in a plasma state, thereby enabling variation of the electrostatic capacity value between the first electrode (3a) and the

(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, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, 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))

second electrode (3b).

(57) 要約: 可変容量素子 (1) は、中空円筒形状を有し、中空円筒形状の外周面と内周面との間に設けられた空間部 (2 e) にガスが封入された容器 (2) と、中空円筒形状の外周面に設けられた第1の電極 (3 a) と、中空円筒形状の内周面に設けられ、空間部 (2 e) を介して第1の電極 (3 a) と対向している第2の電極 (3 b) と、空間部 (2 e) に封入されたガスをプラズマ状態とする電力を調整することにより、第1の電極 (3 a) と第2の電極 (3 b) との間における静電容量値を可変とする可変電源装置 (4) を備える。

明 細 書

発明の名称：可変容量素子

技術分野

[0001] 本開示は、誘電体媒質がプラズマである可変容量素子に関する。

背景技術

[0002] 高耐電力と高速応答を兼備する可変容量素子として、誘電体媒質がプラズマである可変容量素子が提案されている。例えば、特許文献1には、平行平板電極間に形成されたプラズマの比誘電率を調整することで、静電容量値を可変とする回路素子が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平6-243990号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 誘電体媒質がプラズマである従来の可変容量素子では、プラズマの比誘電率を調整するために大電力が必要であるという課題があった。

[0005] 本開示は上記課題を解決するものであり、平行平板電極間に形成されたプラズマが誘電体媒質である可変容量素子に比べて小電力で静電容量値を制御することができる可変容量素子を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示に係る可変容量素子は、中空円筒形状を有し、中空円筒形状の外周面と内周面との間に設けられた空間部にガスが封入された容器と、中空円筒形状の外周面に設けられた第1の電極と、中空円筒形状の内周面に設けられ、空間部を介して第1の電極と対向している第2の電極と、空間部に封入されたガスをプラズマ状態とする電力を調整することにより、第1の電極と第2の電極との間における静電容量値を可変とする電力調整部とを備える。

発明の効果

[0007] 本開示によれば、中空円筒形状を有した容器において、中空円筒形状の外周面と内周面との間に設けられた空間部にガスが封入されている。空間部におけるガスをプラズマ状態とする電力を調整することにより、中空円筒形状の外周面に設けられた第1の電極と中空円筒形状の内周面に設けられた第2の電極との間における静電容量値が可変となる。これにより、本開示に係る可変容量素子は、平行平板電極間に形成されたプラズマが誘電体媒質である可変容量素子に比べて小電力で静電容量値を制御することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]電極間に形成されたプラズマの比誘電率の電子密度依存性を示す特性図である。

[図2]図2Aは、実施の形態1に係る可変容量素子の構成を示すブロック図であり、図2Bは、図2Aにおける容器を中心軸に直交する面によって切った断面を示す断面図である。

[図3]実施の形態1に係る可変容量素子の等価回路を示す等価回路図である。

[図4]図4Aは、従来の可変容量素子が備える容器を示す斜視図であり、図4Bは、図4Aにおける容器を幅方向に沿った面で切った断面を示す断面図である。

[図5]可変容量素子における静電容量値の制御パラメータ依存性を示す特性図である。

[図6]実施の形態2に係る可変容量素子の構成を示すブロック図である。

[図7]実施の形態3に係る可変容量素子の構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0009] 実施の形態1.

図1は、電極間に形成されたプラズマの比誘電率 ϵ_p の電子密度 n_e 依存性を示す特性図である。空間的に一様でかつ磁場が存在しない電極間におけるプラズマの比誘電率 ϵ_p は、下記式(1)によって表すことができる。下記式(1)において、 ω_p はプラズマの角周波数であり、 v_m はプラズマ中の電子

の衝突周波数であり、 ω は電磁波の角周波数である。

$$\varepsilon_p = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + \nu_m^2} - i \frac{\nu_m}{\omega} \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + \nu_m^2} \quad \dots (1)$$

[0010] プラズマの角周波数 ω_p は、プラズマの電子密度 n_e 、電子の質量 m_e および真空の誘電率 ε_0 を用いることで、下記式(2)によって表すことができる。

$$\omega_p = \sqrt{\frac{n_e e^2}{m_e \varepsilon_0}} \quad \dots (2)$$

[0011] 可変容量素子において、プラズマ中の電子の衝突周波数 ν_m は、電子と中性粒子との間の弾性衝突が支配的であると考えられるため、下記式(3)で表すことができる。下記式(3)において、 n_n は、電極間における中性粒子の密度であり、 $\sigma_{e \rightarrow n}$ は、電子温度を引数とする電子と中性粒子との間の弾性衝突周波数である。また、 k_B はボルツマン定数であり、 T_e は電子温度である。

$$\nu_m = n_n \sqrt{\frac{k_B T_e}{m_e}} \sigma_{e \rightarrow n}(T_e) \quad \dots (3)$$

[0012] 上記式(1)、上記式(2)および上記式(3)において、 n_n 、 n_e および T_e 以外は定数であるので、プラズマの比誘電率 ε_p は、下記式(4)に示す n_n 、 n_e および T_e を制御パラメータとした関数で表すことができる。

$$\varepsilon_p = \varepsilon_p(n_n, n_e, T_e) \quad \dots (4)$$

[0013] 図1の特性図は、電磁波の角周波数 ω が188 (Mrad/s) (電磁波の周波数は30 (MHz)) であり、衝突周波数 ν_m が2.48 (MHz)、プラズマ状態とするガスの種類がアルゴンであり、ガス温度が1 (eV)、ガス圧力が0.1 (Pa) である場合における、プラズマの比誘電率 ε_p とプラズマの電子密度 n_e との依存性を示している。図1において、実線は、プラズマの比誘電率 ε_p の実部 $\text{Re}(\varepsilon_p)$ の電子密度 n_e 依存性を示している。ま

た、一点破線は、プラズマの比誘電率 ϵ_p の虚部 $\text{Im}(\epsilon_p)$ の電子密度 n_e 依存性を示している。

- [0014] 図1において矢印マークで示すように、電子密度 n_e の変化に応じて実部 $\text{Re}(\epsilon_p)$ と虚部 $\text{Im}(\epsilon_p)$ が変化している。これにより、電子密度 n_e を制御することによってプラズマの比誘電率 ϵ_p が可変となることは明らかである。一方、面積 S の導体板である2枚の電極を用いて、電極間距離 d となるように比誘電率 ϵ_r の誘電体媒質を挟んで構成されたキャパシタの静電容量値 C は、下記式(5)によって表すことができる。プラズマの比誘電率 ϵ_p はプラズマの電子密度 n_e に依存するので、誘電体媒質がプラズマである場合、プラズマの電子密度 n_e を調整することにより、下記式(5)に従って算出される静電容量値 C が可変となる。

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d} \quad \dots (5)$$

- [0015] 図2Aは、実施の形態1に係る可変容量素子1の構成を示すブロック図である。図2Aに示すように、可変容量素子1は、容器2、第1の電極3a、第2の電極3b、第3の電極4a、第4の電極4b、第1の導線5a、第2の導線5bおよび可変電源装置6を備えている。容器2は、中空円筒形状を有した容器であり、非金属材料によって構成されている。容器2には、例えば、ガラスなどの低誘電損失な誘電体材料が望ましい。

- [0016] 図2Bは、容器2を、中心軸Aに直交する面によって切った断面を示す断面図である。図2Bに示すように、容器2において、外側円筒部2aの内周側には、内側円筒部2bが配置されており、外側円筒部2aの外周面と内側円筒部2bの内周面との間に空間部2eが形成されている。さらに、図2Aに示すように、空間部2eの長手方向に沿った一方の端部には、第1の端面2cが設けられ、空間部2eにおける第1の端面2cとは反対側の端部には、第2の端面2dが設けられている。空間部2eは、第1の端面2cおよび第2の端面2dによって外部から隔離されている。

- [0017] 空間部2eにはガスが封入される。空間部2eに封入されるガスは、電離

しやすいガスであり、例えば、ヘリウム、ネオン、アルゴンがある。また、外側円筒部 2 a の外周面には、第 1 の電極 3 a が設けられ、内側円筒部 2 b の内周面には、第 2 の電極 3 b が設けられる。さらに、空間部 2 e の内側における第 1 の端面 2 c には、第 3 の電極 4 a が設けられ、空間部 2 e の内側における第 2 の端面 2 d には、第 4 の電極 4 b が設けられる。

[0018] 第 1 の端面 2 c および第 2 の端面 2 d には、給電用の貫通孔部が形成されている。第 1 の導線 5 a の端部は、第 1 の端面 2 c における上記貫通孔部を通じて、第 3 の電極 4 a に接続されている。さらに、第 2 の導線 5 b の端部は、第 2 の端面 2 d における上記貫通孔部を通じて、第 4 の電極 4 b に接続されている。

[0019] 第 1 の端面 2 c における貫通孔部は、第 3 の電極 4 a に接続した第 1 の導線 5 a の端部によって塞がれており、第 2 の端面 2 d における貫通孔部は、第 4 の電極 4 b に接続した第 2 の導線 5 b の端部によって塞がれている。これにより、空間部 2 e に封入されたガスが外部に漏れ出すことはない。なお、第 1 の電極 3 a は、外側円筒部 2 a の外周面に配置され、第 2 の電極 3 b は、内側円筒部 2 b の内周面に配置されているので、第 1 の電極 3 a および第 2 の電極 3 b は、ともに空間部 2 e に封入されたガスに接触していない。

[0020] 可変電源装置 6 は、空間部 2 e に封入されたガスをプラズマ状態とする電力を調整することにより、第 1 の電極 3 a と第 2 の電極 3 b との間における静電容量値 C を可変とする電力調整部である。例えば、可変電源装置 6 は、第 1 の導線 5 a および第 2 の導線 5 b を通じて第 3 の電極 4 a および第 4 の電極 4 b へ高電圧の電力を供給することにより、空間部 2 e に封入されたガスを電離させてプラズマ状態とする。

[0021] 可変電源装置 6 は、空間部 2 e に封入されたガスがプラズマ状態であるときに、第 3 の電極 4 a と第 4 の電極 4 b とを通じて空間部 2 e のガスに供給される電力を調整することにより、プラズマの電子密度 n_e を変化させる。上記式 (4) に示したように、プラズマの比誘電率 ϵ_p は、プラズマの電子密度 n_e に応じて変化する。従って、可変容量素子 1 は、空間部 2 e のガスに供給

される電力を調整することにより、第1の電極3 aと第2の電極3 bとの間における静電容量値Cを変化させることが可能である。

[0022] 図3は、可変容量素子1の等価回路を示す等価回路図である。図3に示すように、可変容量素子1の等価回路は、キャパシタ7とキャパシタ8とを直列に接続した回路である。キャパシタ7は、外側円筒部2 aと内側円筒部2 bからなり、容器2の材質が誘電体媒質である同心円筒形状のキャパシタである。キャパシタ8は、空間部2 eの内部にあるプラズマが誘電体媒質である円筒状のキャパシタである。キャパシタ7の静電容量値 C_w は、容器2の材質が有する比複素誘電率 ϵ_w を用いて下記式(6)で表すことができる。

$$C_w = \frac{2 \pi l \epsilon_0 \epsilon_w}{\log \left[\frac{(r+t)(r+d)}{r(r+d-t)} \right]} \quad \dots (6)$$

[0023] 上記式(6)において、電極長 l は、図2 Aに示すように、容器2の長手方向に沿った第1の電極3 aおよび第2の電極3 bの長さである。中空部分の半径 r は、図2 Bに示すように、中心軸Aから内側円筒部2 bの内周面までの距離である。容器2の壁材の厚さ t は、例えば、内側円筒部2 bの壁材の厚さである。電極間距離 d は、図2 Bに示すように第1の電極3 aと第2の電極3 bとの間の距離である。

[0024] キャパシタ8の静電容量値 C_p は、上記式(4)によって与えられるプラズマの比誘電率 ϵ_p を用いて、下記式(7)から算出される。

$$C_p = \frac{2 \pi l \epsilon_0 \left\{ \left[\text{Re}(\epsilon_p) \right]^2 + \left[\text{Im}(\epsilon_p) \right]^2 \right\}}{\text{Re}(\epsilon_p) \log \left(\frac{r+d-t}{r+t} \right)} \quad \dots (7)$$

[0025] 可変容量素子1の静電容量値 C_{new} は、上記式(6)および上記式(7)を用いることで、下記式(8)に従って算出することができる。プラズマの比誘電率 ϵ_p は、上記式(4)に示すように、プラズマの電子密度 n_e をパラメータとする関数で表されるので、静電容量値 C_{new} は、プラズマの電子密度 n_e を制御することにより可変となる。

$$C_{new} = \frac{C_p C_w}{C_p + C_w}$$

$$= \frac{2\pi l \epsilon_0}{\frac{1}{\epsilon_w} \log \left[\frac{(r+t)(r+d)}{r(r+d-t)} \right] + \frac{\operatorname{Re}(\epsilon_p)}{\left\{ [\operatorname{Re}(\epsilon_p)]^2 + [\operatorname{Im}(\epsilon_p)]^2 \right\}} \log \left(\frac{r+d-t}{r+t} \right)}$$

・・・ (8)

[0026] 実施の形態1に係る可変容量素子1によって得られる効果について、平行平板電極間に形成されたプラズマが誘電体媒質である従来の可変容量素子と比較して説明する。

図4Aは、従来の可変容量素子が備える容器100を示す斜視図である。図4Aに示すように、容器100は直方体状の容器である。電極100aと電極100bは、平行平板電極を構成する平板電極であり、直方体の容器100における互に対向した主面（最も広い面）の一方に電極100aが設けられ、もう一方に電極100bが設けられている。

[0027] 容器100の内壁面の一つには電極101aが設けられ、容器100の内部において、電極101aと対向する内壁面には、電極101bが設けられている。また、容器100には、電離しやすいガスが封入される。容器100を備えた従来の可変容量素子は、電極101aおよび電極101bへ高電圧を印加することで、容器100に封入されたガスをプラズマ状態とし、電極101aおよび電極101bに供給した電力を調整することで、電極100aと電極100bとの間における静電容量値 $C_{0,d}$ を変化させる。

[0028] 図4Bは、図4Aにおける容器100を幅方向に沿った面で切った断面を示す断面図である。図4Bに示すように、電極100aと電極100bの間の距離が d であり、容器100の壁材の厚さが t である。図4Aに示すように、電極100aおよび電極100bの電極長さが l であり、電極幅が w である。従来の可変容量素子における静電容量値 $C_{0,d}$ は、下記式(9)を用いて表すことができる。

$$C_{o1d} = \frac{l w \epsilon_0}{\frac{\text{Re}(\epsilon_p)(d - 2t)}{\left\{ [\text{Re}(\epsilon_p)]^2 + [\text{Im}(\epsilon_p)]^2 \right\} + \frac{2t}{\epsilon_w}}} \dots (9)$$

[0029] 図5は、可変容量素子における静電容量値Cの制御パラメータ依存性を示す特性図である。制御パラメータは、プラズマの電子密度 n_e であり、可変容量素子は、実施の形態1に係る可変容量素子1と、図4Aおよび図4Bに示した容器100を備えた従来の可変容量素子である。図5において、実線は、静電容量値 C_{new} の電子密度 n_e 依存性を示しており、一点破線は、静電容量値 C_{o1d} の電子密度 n_e 依存性を示している。

[0030] 図5において、静電容量値 C_{new} の電子密度 n_e 依存性および静電容量値 C_{o1d} の電子密度 n_e 依存性は、上記式(1)、上記式(5)および上記式(9)を用いて算出されたものである。また、両方の可変容量素子を同一条件で比較するため、静電容量値 C_{new} と C_{o1d} の算出に用いられる電極長さ l 、壁材厚さ t 、電極間距離 d および容器の材質は、両方の可変容量素子で合わせている。また、両方の可変容量素子で静電容量値の制御幅を合わせるため、上記式(9)における電極幅 w は、下記式(10)を用いて算出される。

$$w = \frac{4\pi t}{\log\left[\frac{(r+t)(r+d)}{r(r+d-t)}\right]} \dots (10)$$

[0031] 静電容量値 C_{new} および C_{o1d} の算出において、電磁波の角周波数 ω 、容器の材質が有する比複素誘電率 ϵ_w 、プラズマ中の電子の衝突周波数 ν_m 、電極長さ l 、中空部分の半径 r および電極間距離 d は、下記のように設定している。電磁波の角周波数 ω は、 188 (Mrad/s) (電磁波の周波数は、 30 (MHz))とする。容器の材質には、比複素誘電率 ϵ_w が 3.8 である石英ガラスを想定する。容器に封入されるガスには、アルゴンを想定し、ガス温度を 1 (eV) とし、ガス圧力を 0.1 (Pa) とすることにより、プラズマ中の電子の衝突周波数 ν_m は 2.48 (MHz) となる。さらに、電極長さ l が 40 (mm) 、中空部分の半径 r が 2 (mm) 、電極間距離 d が 8

(mm)である。

[0032] 図5から明らかなように、静電容量値 C_{new} および C_{old} はともに発散する領域が存在する。図1に示したプラズマの電子密度 n_e が高い側において、プラズマの比誘電率 ϵ_p の実部 $Re(\epsilon_p)$ は0未満となり、上記式(6)における静電容量値 C_p は負の値となるので、 $C_p + C_w = 0$ が成立する。そして、上記式(7)における分母が0となることで、 C_{new} および C_{old} が発散したと考えられる。これにより、プラズマの電子密度 n_e が高い側において、両方の可変容量素子は、ともに等しい静電容量値の制御幅($C_{new} > 6.81$ (pF)、 $C_{old} > 6.81$ (pF))を有している。

[0033] 図5において、静電容量値 C_{new} は、静電容量値 C_{old} と比較して電子密度 n_e がより低い側で発散している。例えば、静電容量値 C_{new} は、電子密度 n_e が 1.18×10^{14} (m^{-3})で発散し、静電容量値 C_{old} は、電子密度 n_e が 6.13×10^{14} (m^{-3})で発散している。すなわち、可変容量素子1は、従来の可変容量素子と比較して52%程度の電子密度であっても、同等の制御幅で静電容量値を制御することができる。プラズマの電子密度と電極間に供給される放電電力とは比例の相関関係にあるので、可変容量素子1は、従来の可変容量素子に比べて、小電力で同等の制御幅の静電容量値の制御を実現することが可能である。

[0034] 容器2の内部に設けられた放電用電極(第3の電極4aおよび第4の電極4b)は、プラズマのスパッタリングによって損耗する。このスパッタリングの強度は、プラズマを形成するための放電電力に比例する。従って、放電電力を小電力に抑えることが可能な可変容量素子1では、放電用電極の損耗が低減され、従来の可変容量素子に比べて長寿命化が可能である。

[0035] 以上のように、実施の形態1に係る可変容量素子1によれば、中空円筒形状を有した容器2において中空円筒形状の外周面と内周面との間に設けられた空間部2eにガスが封入されている。空間部2eにおけるガスをプラズマ状態とする電力を調整することにより、中空円筒形状の外周面に設けられた第1の電極3aと中空円筒形状の内周面に設けられた第2の電極3bとの間

における静電容量値 C_{new} が可変となる。これにより、可変容量素子1は、電極100a, 100b間に形成されたプラズマが誘電体媒質である、従来の可変容量素子に比べて、小電力で静電容量値 C_{new} を制御することができる。

[0036] 実施の形態2.

図6は、実施の形態2に係る可変容量素子1Aの構成を示すブロック図である。図6において、可変容量素子1Aは、容器2A、第1の電極3a、第2の電極3b、コイル9、第1の導線5a、第2の導線5bおよび可変電源装置6を備える。容器2Aは、外側円筒部2aと内側円筒部2bからなる中空円筒形状を有した容器であり、非金属材料によって構成される。容器2Aには、例えば、ガラスなどの低誘電損失な誘電体材料が望ましい。

[0037] 容器2Aには、容器2と同様に、外側円筒部2aの外周面と内側円筒部2bの内周面との間に、図2Bに示した空間部2eが設けられている。また、外側円筒部2aの外周面には第1の電極3aが配置され、内側円筒部2bの内周面には第2の電極3bが配置されている。ただし、容器2Aには、図2Aに示した第3の電極4aと第4の電極4bがなく、その代わりにコイル9が設けられている。空間部2eには、ヘリウム、ネオン、アルゴンなどのガスが封入されている。

[0038] コイル9は、第1の電極3aおよび第2の電極3bと電氣的に絶縁するように、容器2Aの外周面（外側円筒部2aの外周面）に螺旋状に巻回された導体部である。コイル9の一方の端部は、第1の導線5aの端部に接続されており、コイル9のもう一方の端部は、第2の導線5bの端部に接続されている。可変電源装置6は、第1の導線5aおよび第2の導線5bを通じてコイル9へ高周波の電力を供給することで、空間部2eに封入されたガスをプラズマ状態とする。

[0039] 可変電源装置6は、空間部2eに封入されたガスがプラズマ状態であるときに、コイル9に供給される電力を調整することで、プラズマの電子密度 n_e を変化させる。プラズマの比誘電率 ϵ_p はプラズマの電子密度 n_e に応じて変化するので、可変容量素子1Aは、空間部2eのガスに供給される電力を調

整することで、第1の電極3 aと第2の電極3 bとの間における静電容量値 C_{new} を変化させることが可能である。

[0040] 以上のように、実施の形態2に係る可変容量素子1 Aは、第1の電極3 aおよび第2の電極3 bと電氣的に絶縁するように、容器2 Aの外周面に螺旋状に巻回されたコイル9を備える。可変電源装置6は、コイル9に供給される電力を調整することにより、第1の電極3 aと第2の電極3 bとの間における静電容量値 C_{new} が可変となる。これにより、可変容量素子1 Aは、平行平板電極間に形成されたプラズマが誘電体媒質である従来の可変容量素子に比べて、小電力で静電容量値 C_{new} を制御することができる。

[0041] また、可変容量素子1 Aは、容器2 Aの内部に放電用電極を配置することなく、空間部2 eに封入されたガスのプラズマを形成することができる。このため、可変容量素子1 Aは、可変容量素子1よりも長寿命化することができる。

[0042] 実施の形態3.

図7は、実施の形態3に係る可変容量素子1 Bの構成を示すブロック図である。図7において、可変容量素子1 Bは、容器2 B、第1の電極3 a、第2の電極3 b、第3の電極4 a、第4の電極4 b、第1の導線5 a、第2の導線5 b、可変電源装置6、第1のガス流量調整装置10、真空ポンプ11、第2のガス流量調整装置12、ガスポンプ13および制御装置14を備える。

[0043] 容器2 Bは、外側円筒部2 aと内側円筒部2 bからなる中空円筒形状を有した容器であり、非金属の材料によって構成される。容器2 Bには、例えば、ガラスなどの低誘電損失な誘電体材料が望ましい。

[0044] 容器2 Bには、容器2と同様に、外側円筒部2 aの外周面と内側円筒部2 bの内周面との間に、図2 Bに示した空間部2 eが設けられている。また、外側円筒部2 aの外周面には第1の電極3 aが配置され、内側円筒部2 bの内周面には第2の電極3 bが配置され、空間部2 eの内部の第1の端面2 cには第3の電極4 aが配置され、空間部2 eの内部の第2の端面2 dには第

4の電極4 bが配置されている。

[0045] 容器2 Bにおける外側円筒部2 aには、図7に示すように、空間部2 eの内部に通じた管状部2 fおよび管状部2 gが形成されている。管状部2 fは、空間部2 eから排出されるガスが流通する第1の管状部であり、管状部2 gは、空間部2 eへ導入されるガスが流通する第2の管状部である。

[0046] 第1のガス流量調整装置1 0は、管状部2 fを通して空間部2 eから排出されるガスの流量を調整する第1の流量調整部である。第1のガス流量調整装置1 0は、管状部2 fと真空ポンプ1 1に接続されている。空間部2 eの内部のガスは、真空ポンプ1 1の吸引力によって空間部2 eから排出される。第1のガス流量調整装置1 0は、真空ポンプ1 1の吸引力を制御することにより、管状部2 fを通して空間部2 eから排出されるガスの流量を調整する。

[0047] 第2のガス流量調整装置1 2は、管状部2 gを通して空間部2 eへ導入されるガスの流量を調整する第2の流量調整部である。第2のガス流量調整装置1 2は、管状部2 gと、ガスボンベ1 3に接続されている。ガスボンベ1 3には、容器2 Bに封入するガスが収容されている。第2のガス流量調整装置1 2は、ガスボンベ1 3から導入されるガスの流量を制御することで、管状部2 gを通して空間部2 eへ導入されるガスの流量を調整する。

[0048] 制御装置1 4は、可変電源装置6、第1のガス流量調整装置1 0および第2のガス流量調整装置1 2を制御することにより、ガスのプラズマの電子密度 n_e および空間部2 eにおけるガス密度（第1の電極3 aと第2の電極3 bとの間における中性粒子の密度 n_n ）を制御する制御部である。

[0049] 例えば、制御装置1 4は、第1のガス流量調整装置1 0を制御して容器2 Bから排出されるガスの流量を調整し、第2のガス流量調整装置1 2を制御して容器2 Bへ導入されるガスの流量を調整することで、容器2 Bの内部におけるガス密度を制御する。また、制御装置1 4は、可変電源装置6を制御して第3の電極4 aと第4の電極4 bを通じて空間部2 eのガスに供給される電力を調整することで、プラズマの電子密度 n_e を制御する。

[0050] 上記式(4)に示したように、プラズマの比誘電率 ϵ_p は、プラズマの電子密度 n_e と中性粒子の密度 n_n を変数とする関数で表すことができる。制御装置14は、プラズマの電子密度 n_e および中性粒子の密度 n_n を制御パラメータとして、第1の電極3aと第2の電極3bとの間における静電容量値Cを制御可能である。電子密度 n_e に加えて、中性粒子の密度 n_n が制御パラメータとなることで、可変容量素子1Bにおける静電容量値の制御精度が向上する。

[0051] なお、容器2Bが、容器2に対して管状部2fと管状部2gを設けた構造である場合を示したが、容器2Bは、容器2Aに対して管状部2fと管状部2gを設けた構造であってもよい。この場合、制御装置14は、可変電源装置6を制御してコイル9を通じて空間部2eのガスに供給される電力を調整することで、プラズマの電子密度 n_e を制御する。

[0052] 以上のように、実施の形態3に係る可変容量素子1Bにおいて、制御装置14が、第1のガス流量調整装置10を制御して容器2Bから排出されるガスの流量を調整し、第2のガス流量調整装置12を制御して容器2Bへ導入されるガスの流量を調整することで、容器2Bの内部におけるガス密度を制御し、可変電源装置6を制御してプラズマの電子密度 n_e を制御する。これにより、可変容量素子1Bは、プラズマの電子密度 n_e および中性粒子の密度 n_n を制御パラメータとして、第1の電極3aと第2の電極3bとの間における静電容量値Cを制御することができる。

[0053] なお、実施の形態1から実施の形態3においては、空間部2eにおけるプラズマの電子密度 n_e と中性粒子の密度 n_n がともに制御されていた。ただし、目的の静電容量値は、プラズマの電子密度 n_e または中性粒子の密度 n_n のいずれか一方を調整して得られたものであってよい。

[0054] なお、各実施の形態の組み合わせまたは実施の形態のそれぞれの任意の構成要素の変形もしくは実施の形態のそれぞれにおいて任意の構成要素の省略が可能である。

産業上の利用可能性

[0055] 本開示に係る可変容量素子は、例えば、可変インピーダンス整合回路に用いることができる。

符号の説明

[0056] 1, 1 A, 1 B 可変容量素子、2, 2 A, 2 B 容器、2 a 外側円筒部、2 b 内側円筒部、2 c 第1の端面、2 d 第2の端面、2 e 空間部、2 f, 2 g 管状部、3 a 第1の電極、3 b 第2の電極、4 a 第3の電極、4 b 第4の電極、5 a 第1の導線、5 b 第2の導線、6 可変電源装置、7, 8 キャパシタ、9 コイル、10 第1のガス流量調整装置、11 真空ポンプ、12 第2のガス流量調整装置、13 ガスポンプ、14 制御装置、100 容器、100 a, 100 b, 101 a, 101 b 電極。

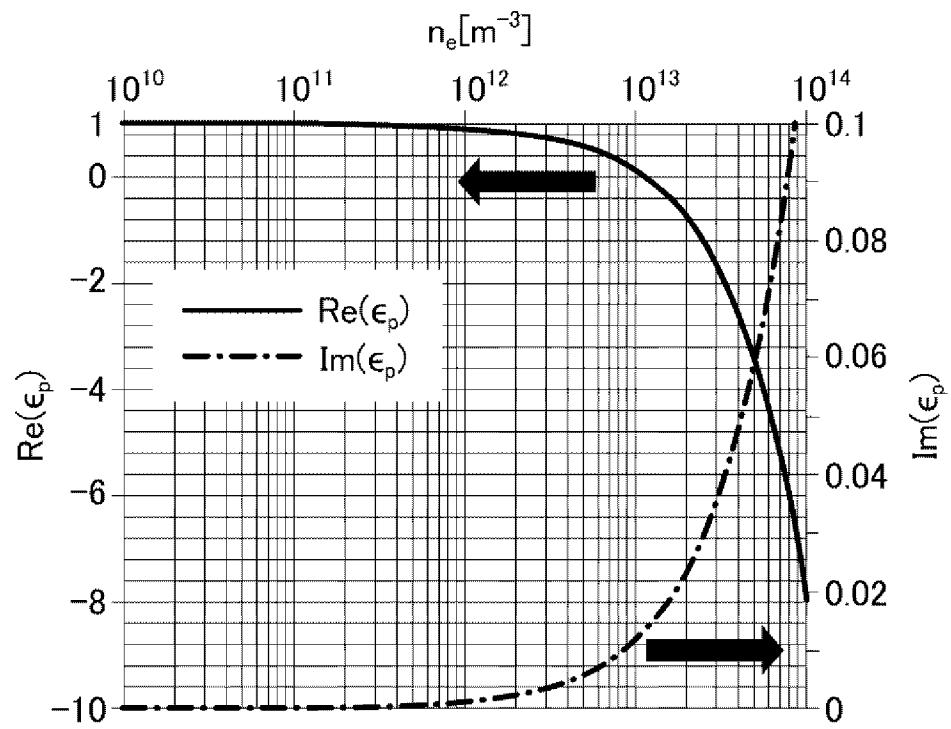
請求の範囲

- [請求項1] 中空円筒形状を有し、前記中空円筒形状の外周面と内周面との間に設けられた空間部にガスが封入された容器と、
前記中空円筒形状の前記外周面に設けられた第1の電極と、
前記中空円筒形状の前記内周面に設けられ、前記空間部を介して前記第1の電極と対向している第2の電極と、
前記空間部に封入された前記ガスをプラズマ状態とする電力を調整することにより、前記第1の電極と前記第2の電極との間における静電容量値を可変とする電力調整部と、
を備えたことを特徴とする可変容量素子。
- [請求項2] 前記空間部における第1の端面に設けられた第3の電極と、
前記空間部における前記第1の端面とは反対側の第2の端面に設けられた第4の電極とを備え、
前記電力調整部は、前記第3の電極および前記第4の電極に供給される電力を調整すること
を特徴とする請求項1記載の可変容量素子。
- [請求項3] 前記第1の電極および前記第2の電極と電氣的に絶縁するように前記容器の前記外周面に螺旋状に巻回された導体部を備え、
前記電力調整部は、前記導体部に供給される電力を調整すること
を特徴とする請求項1記載の可変容量素子。
- [請求項4] 前記容器に設けられ、前記空間部から排出される前記ガスが流通する第1の管状部と、
前記容器に設けられ、前記空間部へ導入される前記ガスが流通する第2の管状部と、
前記第1の管状部を通して前記空間部から排出される前記ガスの流量を調整する第1の流量調整部と、
前記第2の管状部を通して前記空間部へ導入される前記ガスの流量を調整する第2の流量調整部と、

前記電力調整部、前記第 1 の流量調整部および前記第 2 の流量調整部を制御することにより、前記ガスのプラズマの電子密度および前記空間部におけるガス密度を制御する制御部と、

を備えたことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項記載の可変容量素子。

[図1]



[図2]

図2A

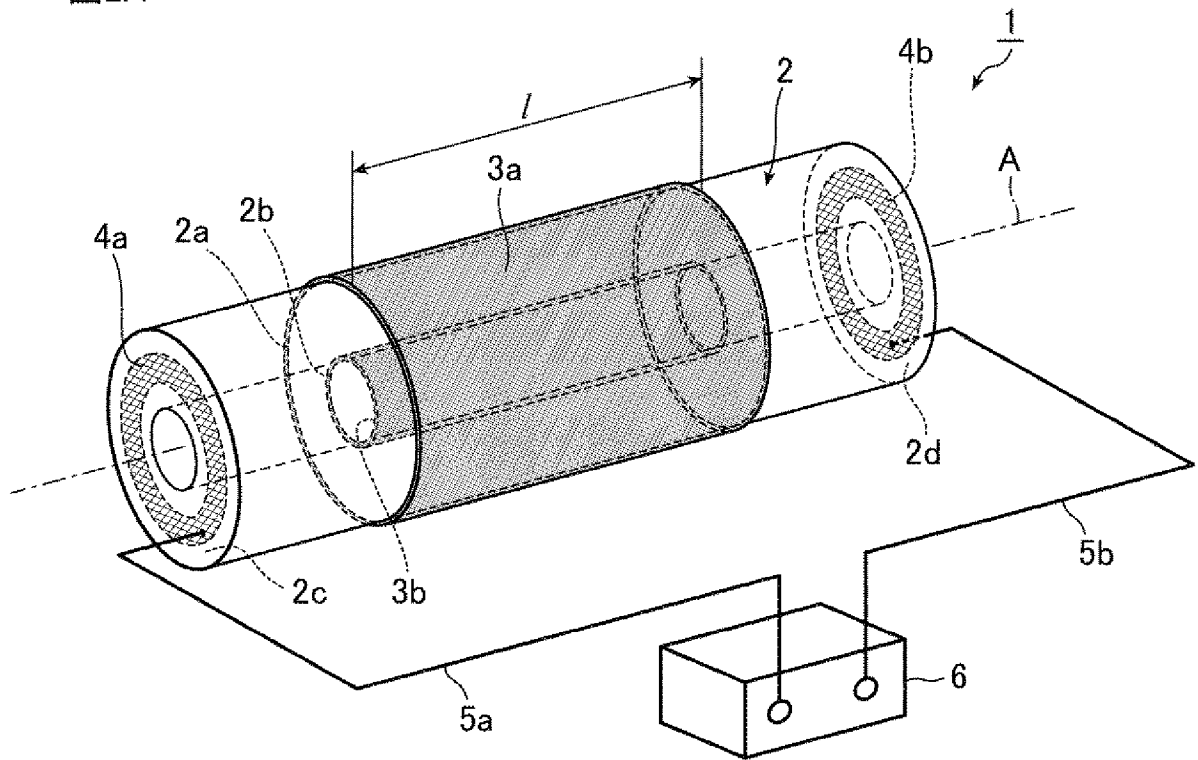
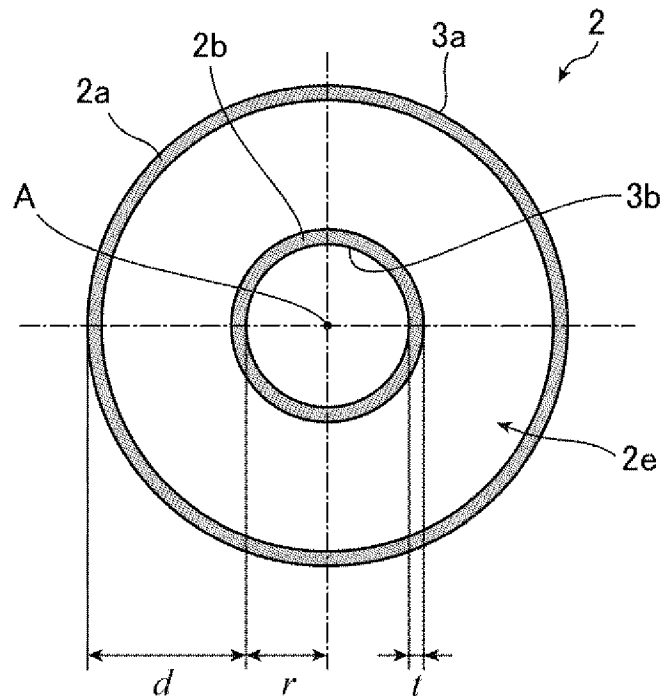
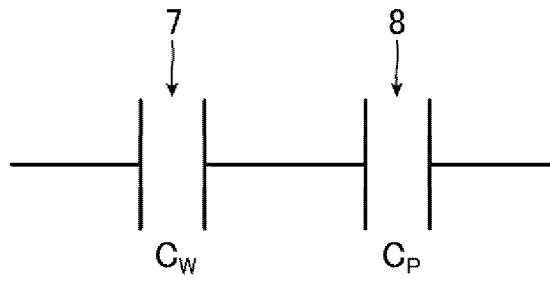


図2B



[図3]



[図4]

図4A

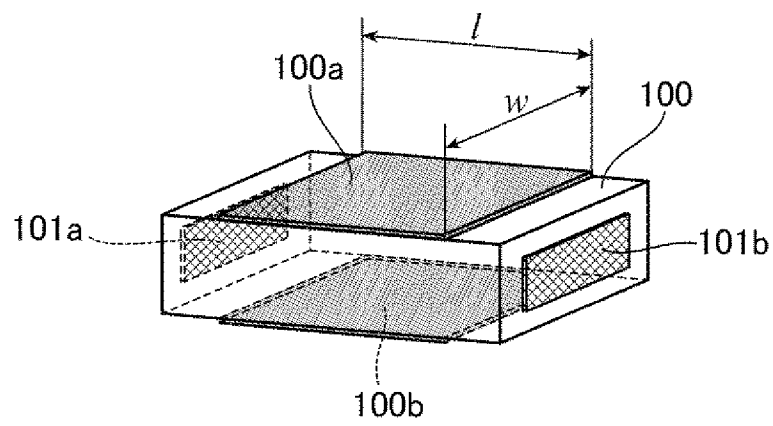
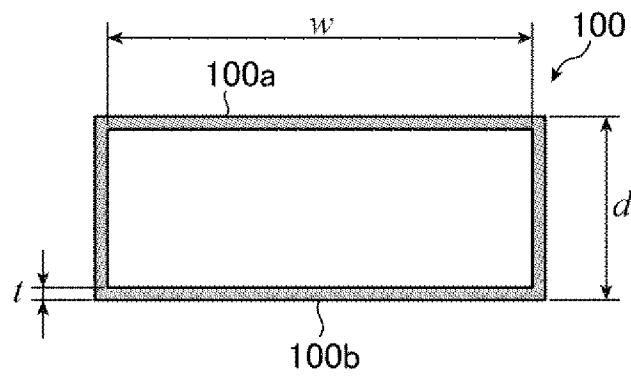
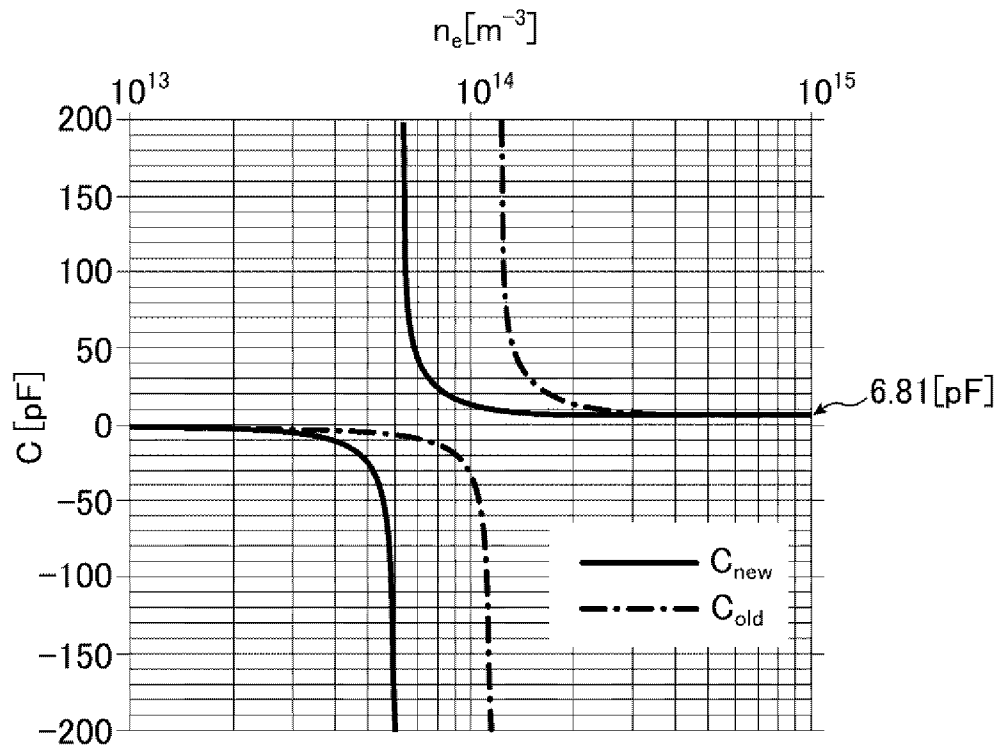


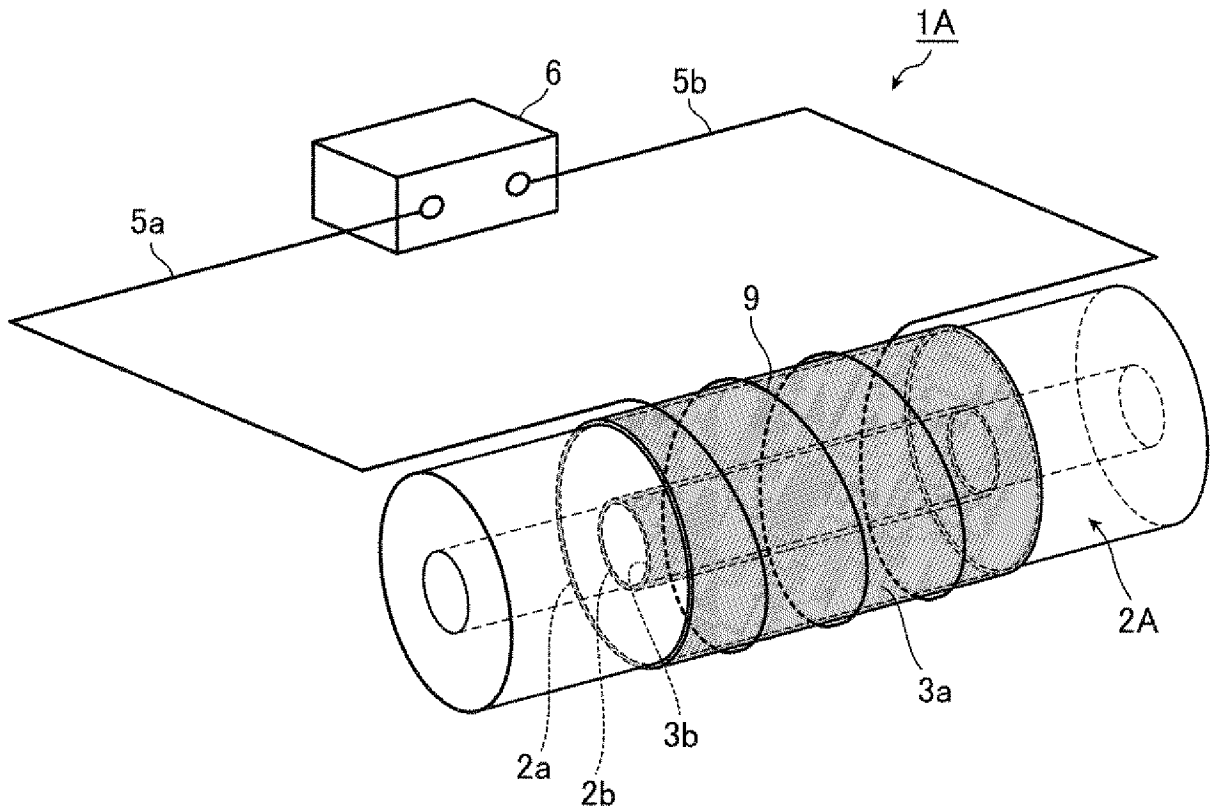
図4B



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/003910

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H01G7/06 (2006.01) i, H05H1/24 (2006.01) i
 FI: H01G7/06, H05H1/24

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)

Int.Cl. H01G7/06, H05H1/24

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. |
|-----------|--|-----------------------|
| A | WO 2004/049418 A1 (TOKYO ELECTRON LTD.) 10.06.2004 (2004-06-10), page 1, line 16 to page 2, line 7 | 1-4 |
| A | JP 6-243990 A (HITACHI, LTD.) 02.09.1994 (1994-09-02), paragraphs [0005]-[0031], fig. 1-7 | 1-4 |
| A | JP 2002-206167 A (TOSHIBA CORPORATION) 26.07.2002 (2002-07-26), paragraphs [0012]-[0020], fig. 1 | 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

“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
 26.03.2020

Date of mailing of the international search report
 21.04.2020

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
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/003910

WO 2004/049418 A1 10.06.2004 US 2005/0269292 A1
paragraphs [0006], [0007]
JP 6-243990 A 02.09.1994 (Family: none)
JP 2002-206167 A 26.07.2002 (Family: none)

| | | |
|---|---|--------------------------|
| A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01G 7/06(2006.01)i; H05H 1/24(2006.01)i FI: H01G7/06; H05H1/24 | | |
| 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（IPC）） H01G7/06; H05H1/24 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 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020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 |
| A | WO 2004/049418 A1（東京エレクトロン株式会社）10.06.2004（2004-06-10） 第1頁第16行 - 第2頁第7行 | 1-4 |
| A | JP 6-243990 A（株式会社日立製作所）02.09.1994（1994-09-02） 段落 [0005] - [0031], 図1-7 | 1-4 |
| A | JP 2002-206167 A（株式会社東芝）26.07.2002（2002-07-26） 段落 [0012] - [0020], 図1 | 1-4 |
| <input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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 | “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 “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な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 “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 | 26.03.2020 | 国際調査報告の発送日 21.04.2020 |
| 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） 上谷 奈那 5D 6298 電話番号 03-3581-1101 内線 3551 | |

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/003910

| 引用文献 | | | 公表日 | パテントファミリー文献 | | | 公表日 |
|------|-------------|----|------------|--------------------|--------------|----|-----|
| WO | 2004/049418 | A1 | 10.06.2004 | US | 2005/0269292 | A1 | |
| | | | | 段落 [0006] - [0007] | | | |
| JP | 6-243990 | A | 02.09.1994 | (ファミリーなし) | | | |
| JP | 2002-206167 | A | 26.07.2002 | (ファミリーなし) | | | |