

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7003344号
(P7003344)

(45)発行日 令和4年1月20日(2022.1.20)

(24)登録日 令和4年1月5日(2022.1.5)

(51)国際特許分類		F I			
H 0 1 G	7/00 (2006.01)	H 0 1 G	7/00	Z	
G 0 1 G	7/06 (2006.01)	G 0 1 G	7/06		
H 0 5 H	1/24 (2006.01)	H 0 5 H	1/24		

請求項の数 4 (全13頁)

(21)出願番号	特願2021-560933(P2021-560933)	(73)特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日	令和2年2月3日(2020.2.3)	(74)代理人	110003166 特許業務法人山王内外特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/003910	(72)発明者	西岡 宗 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
(87)国際公開番号	WO2021/156910	(72)発明者	山浦 真悟 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
(87)国際公開日	令和3年8月12日(2021.8.12)	(72)発明者	西本 研悟 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
審査請求日	令和3年10月14日(2021.10.14)	(72)発明者	内藤 皓貴
早期審査対象出願			

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 可変容量素子

(57)【特許請求の範囲】

【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、

10

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。

【発明の詳細な説明】

【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。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】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。

30

【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。

40

【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。

50

【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。 10

【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、 ν_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。 20

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

【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。

$$\omega_p = \sqrt{\frac{n_e e^2}{m_e \epsilon_0}} \dots (2)$$

【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。 40

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

【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。 50

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

【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 $\text{Re}(\epsilon_p)$ 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。

10

【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。

20

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

【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。

30

【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2aの外周面には、第1の電極3aが設けられ、内側円筒部2bの内周面には、第2の電極3bが設けられる。さらに、空間部2eの内側における第1の端面2cには、第3の電極4aが設けられ、空間部2eの内側における第2の端面2dには、第4の電極4bが設けられる。

40

【0018】

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

【0019】

50

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。

【 0 0 2 0 】

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。

10

【 0 0 2 1 】

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 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。

20

【 0 0 2 2 】

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 w を用いて下記式 (6) で表すことができる。

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

30

【 0 0 2 3 】

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。

【 0 0 2 4 】

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 p を用いて、下記式 (7) から算出される。

40

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

【 0 0 2 5 】

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 p は、上記式 (

50

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。

$$C_{new} = \frac{C_p C_w}{C_p + C_w} = \frac{2\pi l \epsilon_0}{\frac{1}{\epsilon_w} \log \left[\frac{(r+t)(r+d)}{r(r+d-t)} \right] + \frac{\operatorname{Re}(\epsilon_p)}{\left\{ [\operatorname{Re}(\epsilon_p)]^2 + [\operatorname{Im}(\epsilon_p)]^2 \right\}} \log \left(\frac{r+d-t}{r+t} \right)} \dots (8)$$

10

【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における互いに対向した主面(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。

20

【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_{old} 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_{old} は、下記式(9)を用いて表すことができる。

30

$$C_{old} = \frac{lw\epsilon_0}{\frac{\operatorname{Re}(\epsilon_p)(d-2t)}{\left\{ [\operatorname{Re}(\epsilon_p)]^2 + [\operatorname{Im}(\epsilon_p)]^2 \right\}} + \frac{2t}{\epsilon_w}} \dots (9)$$

40

【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_{old} 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_{old} 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_{ne}

50

w と C_{old} 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。

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

【0031】

静電容量値 C_{new} および C_{old} の算出において、電磁波の角周波数、容器の材質が有する比複素誘電率 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 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から明らかのように、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 p の実部 $\text{Re}(p)$ 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($C_{new} > 6.81 \text{ (pF)}$ 、 $C_{old} > 6.81 \text{ (pF)}$)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 $1.18 \times 10^{14} \text{ (m}^{-3}\text{)}$ で発散し、静電容量値 C_{old} は、電子密度 n_e が $6.13 \times 10^{14} \text{ (m}^{-3}\text{)}$ 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】

10

20

30

40

50

実施の形態 2 .

図 6 は、実施の形態 2 に係る可変容量素子 1 A 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 1 A は、容器 2 A、第 1 の電極 3 a、第 2 の電極 3 b、コイル 9、第 1 の導線 5 a、第 2 の導線 5 b および可変電源装置 6 を備える。容器 2 A 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、非金属材料によって構成される。容器 2 A 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。

【 0 0 3 7 】

容器 2 A 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 が配置されている。ただし、容器 2 A には、図 2 A に示した第 3 の電極 4 a と第 4 の電極 4 b がなく、その代わりにコイル 9 が設けられている。空間部 2 e 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。

10

【 0 0 3 8 】

コイル 9 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（外側円筒部 2 a 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 5 a 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 5 b の端部に接続されている。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 を通じてコイル 9 へ高周波の電力を供給することで、空間部 2 e に封入されたガスをプラズマ状態とする。

20

【 0 0 3 9 】

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、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 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 1 A は、空間部 2 e 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。

【 0 0 4 0 】

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。

30

【 0 0 4 1 】

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。

【 0 0 4 2 】

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 1 0、真空ポンプ 1 1、第 2 のガス流量調整装置 1 2、ガスポンペ 1 3 および制御装置 1 4 を備える。

40

【 0 0 4 3 】

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。

【 0 0 4 4 】

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

50

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。

【 0 0 4 5 】

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。

【 0 0 4 6 】

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。

【 0 0 4 7 】

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。

【 0 0 4 8 】

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。

【 0 0 4 9 】

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。

【 0 0 5 0 】

上記式 (4) に示したように、プラズマの比誘電率 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 1 4 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 3 a と第 2 の電極 3 b 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 1 B における静電容量値の制御精度が向上する。

【 0 0 5 1 】

なお、容器 2 B が、容器 2 に対して管状部 2 f と管状部 2 g を設けた構造である場合を示したが、容器 2 B は、容器 2 A に対して管状部 2 f と管状部 2 g を設けた構造であってもよい。この場合、制御装置 1 4 は、可変電源装置 6 を制御してコイル 9 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。

【 0 0 5 2 】

以上のように、実施の形態 3 に係る可変容量素子 1 B において、制御装置 1 4 が、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し、可変電源装置 6 を制御してプラズマの電子密度 n

10

20

30

40

50

n_e を制御する。これにより、可変容量素子1 B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3 aと第2の電極3 b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2 e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。

10

【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 ガスポンベ、14 制御装置、100 容器、100 a, 100 b, 101 a, 101 b 電極。

20

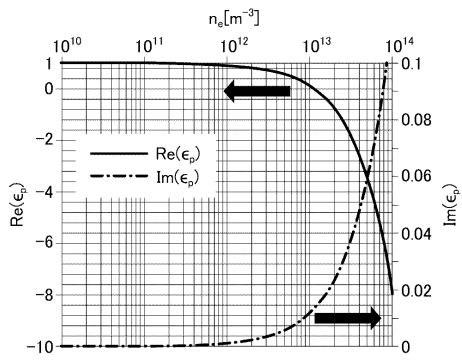
30

40

50

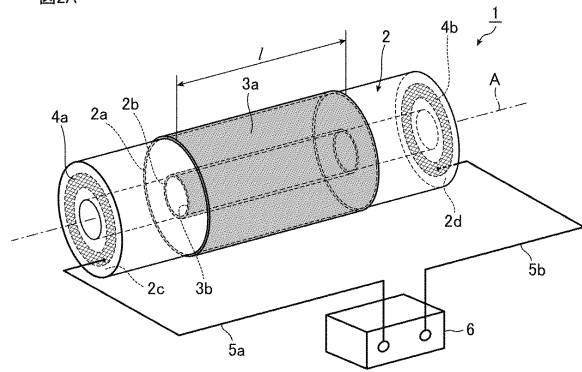
【図面】

【図 1】



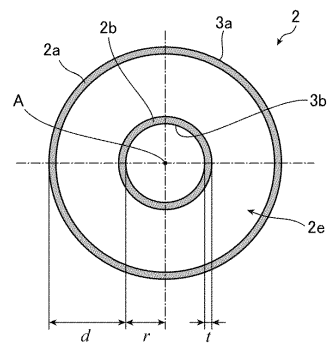
【図 2】

図2A



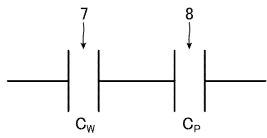
10

図2B



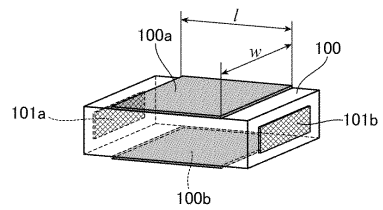
20

【図 3】



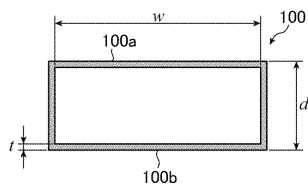
【図 4】

図4A



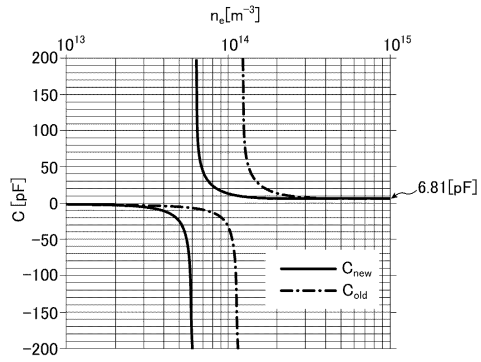
30

図4B

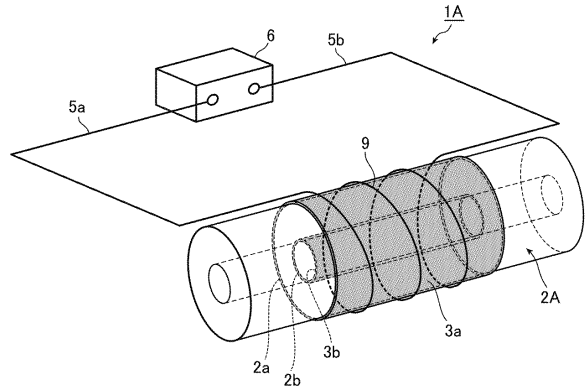


40

【 図 5 】

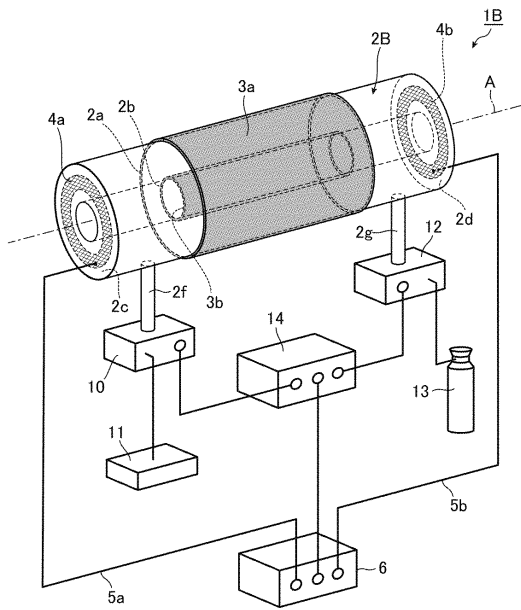


【 図 6 】



10

【 図 7 】



20

30

40

50

フロントページの続き

- 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
(72)発明者 西岡 泰弘
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
(72)発明者 米田 尚史
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
審査官 多田 幸司
- (56)参考文献 特開平8-236504(JP,A)
特開平8-115902(JP,A)
特開平6-243990(JP,A)
特開2002-206167(JP,A)
特開2013-98177(JP,A)
特開平7-169590(JP,A)
特表2002-540582(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01G 7/00
G01G 7/06
H05H 1/24