

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5086092号  
(P5086092)

(45) 発行日 平成24年11月28日 (2012.11.28)

(24) 登録日 平成24年9月14日 (2012.9.14)

(51) Int.Cl.	F I	
H O 1 L 21/205 (2006.01)	H O 1 L 21/205	
C 2 3 C 16/509 (2006.01)	C 2 3 C 16/509	
H O 5 H 1/46 (2006.01)	H O 5 H 1/46	M
	H O 5 H 1/46	R

請求項の数 3 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2007-540474 (P2007-540474)	(73) 特許権者	511028629
(86) (22) 出願日	平成17年11月11日 (2005.11.11)		エリコン・ソーラー・アクチェンゲゼルシ
(65) 公表番号	特表2008-520091 (P2008-520091A)		ャフト、トリューブバッハ
(43) 公表日	平成20年6月12日 (2008.6.12)		O E R L I K O N S O L A R A G ,
(86) 国際出願番号	PCT/CH2005/000669		T R U E B B A C H
(87) 国際公開番号	W02006/050632		スイス、ツェー・ハー 9 4 7 7 トリュ
(87) 国際公開日	平成18年5月18日 (2006.5.18)		ーブバッハ、ハウプトシュトラーセ、1・
審査請求日	平成20年10月8日 (2008.10.8)		アー
(31) 優先権主張番号	60/627, 784	(74) 代理人	110001195
(32) 優先日	平成16年11月12日 (2004.11.12)		特許業務法人深見特許事務所
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	ベリンガー、アンディー
			スイス、ツェー・ハー 9 4 7 8 アズモ
			ース、ゴンゼンベーク、2
		審査官	川崎 良平

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 大面積基板に好適な容量結合型 R F プラズマ反応器のインピーダンス整合

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空チャンバ ( 1 8 ) と、  
R F 電源 ( 1 2 ) と、  
整合回路網 ( 1 4 ) と、  
前記真空チャンバの内部に位置する第 1 の金属板 ( 2 2 ) および第 2 の金属板 ( 2 0 ) と、

前記第 1 の金属板および第 2 の金属板の間に規定されるプラズマ放電領域 ( 3 0 ) と、  
前記第 1 の金属板 ( 2 2 )、前記整合回路網 ( 1 4 ) および前記 R F 電源 ( 1 2 ) に電  
氣的に接続される給電素子 ( 2 6 ) と、

前記第 1 の金属板 ( 2 2 ) に電氣的に接続されるインピーダンス変換回路 ( 4 2 ) とを  
備え、

前記インピーダンス変換回路 ( 4 2 ) は、前記第 1 の金属板 ( 2 2 ) に電氣的に接続さ  
れる変換回路給電素子 ( 4 4 ) と、接地に電氣的に接続されるブロッキングチューナブル  
キャパシタ ( C B T ) とを備え、

前記給電素子 ( 2 6 ) および前記変換回路給電素子 ( 4 4 ) は、前記真空チャンバ内部  
に配置され、前記ブロッキングチューナブルキャパシタ ( C B T ) は前記真空チャンバ外  
部に配置される、R F プラズマ反応器。

【請求項 2】

前記第 1 の金属板 ( 2 2 ) は前記 R F 電源 ( 1 2 ) に電氣的に接続され、前記第 2 の金

属板（２０）は接地に電氣的に接続され、前記インピーダンス変換回路（４２）は接地に電氣的に接続される、請求項１記載のＲＦプラズマ反応器。

【請求項３】

前記給電素子（２６）は、前記ＲＦ電源（１２）に電氣的に接続され、前記変換回路給電素子（４４）は、前記ブロックチューナブルキャパシタ（ＣＢＴ）を介して接地に電氣的に接続され、前記第２の金属板（２０）は、接地に電氣的に接続される、請求項２記載のＲＦプラズマ反応器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

この出願は、２００４年１１月１２日に出願された米国仮特許出願番号第６０／６２７，７８４号の利益を主張する。

【０００２】

発明の分野

この発明は概して、非常に大面積のディスプレイを処理するためのＲＦ容量結合型プラズマ反応器に関する。より具体的には、この発明は、典型的には１３．５６ＭＨｚまたはそれ未満の周波数でプラズマに送出されるＲＦ電力の結合効率の改善に関する。

【背景技術】

【０００３】

発明の背景

この発明は、ディスプレイおよび太陽光線を利用する製造業のために非常に大きなガラスのエリアの上に半導電層を堆積させる際に生じた問題および要件に基づいている。しかしながら、結果として生じる解決策は他の用途に適用され得る。したがって、たとえこの発明が非常に大面積のディスプレイ処理のためのプラズマ化学気相成長（Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition）（ＰＥＣＶＤ）システム用のプラズマ反応器に関連して記載されとしても、この発明はプラズマ反応器に関連する他の用途にも適用されることができる。さらに、非常に大面積のディスプレイ処理のためのＰＥＣＶＤの開発は米国特許第６，２８１，４６９号に開示され、その内容は引用によって本明細書に援用される。

【０００４】

図１は、ＰＥＣＶＤシステム用の従来の容量結合型ＲＦプラズマ反応器システム１０を示す。反応器システム１０は、ＲＦ電源１２と、整合回路網１４と、反応器チャンバ１６と、真空チャンバ１８とを含む。反応器チャンバ１６は、金属製反応器ケーシング２４に密閉されて並列に配置された２つの金属板２０、２２を含む。第１の金属板２２は給電素子２６および整合回路網１４を介してＲＦ電源１２に電氣的に接続され、したがって、第１の金属板２２は帯電電極である。第２の金属板２０は接地に接続され、したがって、接地電極である。堆積プロセス中に、基板は処理のために第２の金属板２０の上に置かれる。給電素子２６は、接地シールド２８で遮蔽されており、ＲＦストリップ線路、ＲＦリボンまたはトリプレートストリップ線路などの当該技術分野において公知の任意のタイプの電氣的な給電素子であり得る。プラズマ放電領域３０は、２つの金属板２０、２２の間に規定される。図１に示されるように、ＲＦ電源１２および整合回路網１４は真空チャンバ１８の外側に位置し、反応器チャンバ１６および給電素子２６は真空チャンバ１８の内部に位置する。したがって、堆積プロセスの間、ＲＦ電源１２および整合回路網１４は大気条件下にあり、反応器チャンバ１６およびＲＦ給電ライン２８は真空条件下にある。ＰＥＣＶＤプロセスにおいてプラズマを形成するために使用される典型的なガスは、窒化ケイ素ＳｉＮガスである。しかしながら、有機金属、水素化物およびハロゲン化物などの、当該技術分野において一般に公知の他のガスがこのタイプの用途において使用されてもよい。

【０００５】

図２は、ＳｉＮを堆積させる間の従来のＰＥＣＶＤシステムの単純化された等価回路を示し、従来のＲＦプラズマ反応器システム１０の不利な点を示すために使用されることに

10

20

30

40

50

なる。点線の枠は、参照番号によって示されるように、従来のRFプラズマ反応器システム10の一部を表わす。堆積プロセス中に、従来のRFプラズマ反応器では、必要な堆積速度を達成するためおよび妥当なスループットを維持するために、無線周波数が13.56MHzの、数キロワットのRF電力がプラズマに送出されなければならない。大面積平行板反応器におけるこのプロセスの不利な点は、典型的には5000pFよりも大きい、非常に大きな寄生反応器キャパシタンス $C_R$ が帯電電極22と接地された反応器ケーシング24との間に生じることである。したがって、給電素子26は、典型的には300Aよりも大きい、非常に大きなRF電流 $I_F$ に対応できなければならない。大きなRF電流は非常に幅の広いストリップ線路の構成を必要とし、これは給電素子26の帯電ワイヤと接地シールド28との間に第2の寄生給電ラインキャパシタンス $C_F$ をまねく。給電ラインキャパシタンス $C_F$ は典型的には3000pFよりも大きい。反応器キャパシタンス $C_R$ および給電ラインキャパシタンス $C_F$ は、プラズマインピーダンス $Z_p$ を、典型的には0.05オーム未満の非常に小さな値を有するフィードスルーインピーダンス $R_e(Z_F)$ に変換する。フィードスルーインピーダンス $R_e(Z_F)$ は、給電素子26が真空チャンバ18に入る真空チャンバ18の入口で見られるインピーダンスである。フィードスルーインピーダンス $R_e(Z_F)$ は次に、典型的には400Aよりも大きい、より大きなRF電流 $I_F$ を作り出し、このRF電流 $I_F$ はここで整合回路網14および給電素子26によって適合されなければならない。その結果、RF電源によって送出された電力の大半は、整合回路網14の損失素子 $R_M$ および給電素子26の損失素子 $R_F$ においてそれぞれに損失される。したがって、このシステムの効率は低く、典型的には $\eta < 0.3$ である。ゆえに、必要なプラズマ電力密度および堆積速度を達成するために、非常に大きく、高価なRF電源が必要である。さらに、ガラスの大きさが増大するにつれて、プラズマ電力結合効率の効率は、RF周波数が13.56MHzで20%未満の値に減少する。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上述の問題に対処するいくつかの解決策が存在してきたが、各々はさらなる不利な点を有する。たとえば、寄生キャパシタンス $C_R$ および $C_F$ は、帯電部、すなわち帯電電極22および給電素子26と、接地される部分、すなわち反応器ケーシング24および接地シールド28との間の間隙を増大させることによって低減され得るであろう。しかしながら、この解決策の不利な点は、間隙間のプラズマが発火する可能性があるというものである。別の解決策は、反応器を水冷するというものである。しかしながら、これは真空システムにおいては困難であり、水冷はプラズマ結合効率を著しく高めることはない。

【0007】

別の解決策は、RFプラズマ反応器システム10にインピーダンス変換回路を加えるというものである。整合回路網14における損失素子 $R_M$ および給電素子26における損失素子 $R_F$ を通る電力損失はそれぞれに、RF電流 $I_F$ を減少させることによって低減されることができる。プラズマ電力を維持しながらRF電流 $I_F$ を低減させることはインピーダンス変換回路で達成されることができ、これはフィードスルーインピーダンス $R_e(Z_F)$ を増大させる。理論上は、帯電電極と接地との間にインダクタを接続することはインピーダンス変換回路として十分であろう。しかしながら、1つのインダクタのみで作られるインピーダンス変換回路はいくつかの理由で実用的でない。たとえば、インダクタは低損失インダクタである必要があり、短絡から接地へのDC電圧を妨げるものがなく、チューニング機能がない。

【0008】

したがって、望まれるものは、上述の不利な点を克服する、非常に大きな基板を処理するためのRF容量結合型プラズマ反応器のための実用的なインピーダンス変換回路である。

【課題を解決するための手段】

【0009】

10

20

30

40

50

### 発明の簡単な概要

この発明の一局面によれば、真空チャンバと、真空チャンバの内部に位置する第 1 の金属板および第 2 の金属板と、RF 電源と、整合回路網と、第 1 の金属板および第 2 の金属板の間に規定される、プラズマを封じ込めるプラズマ放電領域と、第 1 の金属板に電氣的に接続される給電素子と、第 1 の金属板に電氣的に接続されるインピーダンス変換回路とを備えるプラズマ反応器が提供される。

#### 【0010】

この発明の別の局面によれば、真空チャンバと、RF 電源と、整合回路網と、真空チャンバの内部に位置する第 1 の金属板および第 2 の金属板と、第 1 の金属板および第 2 の金属板の間に規定される、プラズマを封じ込めるためのプラズマ放電領域と、第 1 の金属板に電氣的に接続される給電素子と、後でブロッキングキャパシタと称される絶縁キャパシタを備える、第 1 の金属板に電氣的に接続されるインピーダンス変換回路とを備えるプラズマ反応器が提供される。

#### 【0011】

この発明のさらに別の局面によれば、RF 電源と、真空チャンバと、真空チャンバの内部に位置する、反応器インピーダンスを有する反応器チャンバと、真空チャンバの内部に位置する第 1 および第 2 の金属板と、第 1 の金属板および第 2 の金属板の間に規定される、プラズマを封じ込めるためのプラズマ放電領域と、第 1 の金属板に電氣的に接続される給電素子と、第 1 の金属板に電氣的に接続されるインピーダンス変換回路とをさらに含むプラズマ反応器を提供するステップと、第 2 の金属板の上に基板を置くステップと、RF 電力をプラズマに送出するステップと、インピーダンス変換回路で反応器インピーダンスを中間インピーダンスに変換するステップと、給電素子で中間インピーダンスをフィードスルーインピーダンスに変換するステップとを備え、それによって、フィードスルーインピーダンスが増大される、真空の中で半導電層を堆積させる方法が提供される。

#### 【0012】

この発明のさらなる利益および利点は、以下の詳細な明細書を読み、理解すると、この発明が関連する当業者に明らかになるであろう。

#### 【0013】

この発明は特定の部品および部品の構成において物理的な形状を取ってもよく、この発明の好ましい実施例については、本明細書の中で詳細に説明し、明細書の一部を形成する添付の図面に示す。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0014】

##### 発明の詳細な説明

ここで図 3 および図 4 を参照して、より実用的なインピーダンス変換回路が図 3 の概略図に示され、電氣的等価回路が図 4 の概略図に示される。図 3 および図 4 において同一の、上の図 1 および図 2 に記載された構成要素はすべて、繰返されることはない。

#### 【0015】

図 3 は、この発明による、図 4 に示されるインピーダンス変換回路 42 を有する PECVD システムのための容量結合型 RF プラズマ反応器システム 40 (以下、「変形された RF プラズマ反応器システム」) を示す。インピーダンス変換回路 42 は、接地シールド 46 を有する変換回路給電素子 44 と、チューナブルブロッキングキャパシタ  $C_{BT}$  とを含む。

#### 【0016】

図 4 を参照して、第 2 の給電素子 44 は、等価回路において、寄生キャパシタンス  $C_T$  と、損失素子  $R_T$  と、低損失インダクタ  $L_T$  とを有するように表わされる。変換回路給電素子 44 は、真空チャンバ 18 の内部に位置し、チューナブルブロッキングキャパシタ  $C_{BT}$  を介して接地に接続される。したがって、インピーダンス変換回路 42 を加えると、変形された RF プラズマ反応器システム 40 はここで給電素子 26 と変換回路給電素子 44 とを含み、その両方が第 1 の金属板 22 に電氣的に接続される。チューナブルブロッキング

キャパシタ  $C_{BT}$  は、真空チャンバ 18 の外側に位置し、整合回路網 14 に統合されることができ、修正された整合回路網 14' (図 3) をもたらす。チューナブルブロッキングキャパシタ  $C_{BT}$  はフィードスルーインピーダンス  $Re(Z_F')$  を増大させることができ、それによって、堆積プロセス中の総 RF 電流  $I_F'$  を減少させる。さらに、チューナブルブロッキングキャパシタ  $C_{BT}$  は、システムに出口を付けることなく 2 つの給電素子 26、44 の間で電流を均衡させることができる。

【 0 0 1 7 】

以下の式は、電力損失に関連するインピーダンス変換回路 42 の効果を示す。最初に、図 1 および図 2 に示されるように、従来の RF プラズマ反応器システム 10 では、整合回路網 14 から、インピーダンス変換回路 42 を持たない給電素子 26 を通って流れる電流  $I_F$  は、波長が電極の直径よりも大きいまたは給電ラインよりも長い RF 信号に関して、およそ以下のとおりである。

10

【 0 0 1 8 】

【 数 1 】

$$(1) \quad I_F = \sqrt{P_F / Re(Z_F)}$$

【 0 0 1 9 】

ここで、 $P_F$  は整合回路網 14 の出力における電力であり、損失素子  $R_M$  および給電素子 26 における損失素子  $R_F$  およびプラズマを通して損失される。整合回路網 14 における損失素子  $R_M$  および給電素子 26 における損失素子  $R_F$  を通って失われる電力は、以下の式によって規定される。

20

【 0 0 2 0 】

【 数 2 】

$$(2) \quad P_{Loss1} = I_F^2 (R_M + R_F)$$

【 0 0 2 1 】

整合回路網 14 の効率以下によって規定される。

【 0 0 2 2 】

【 数 3 】

$$(3) \quad \eta_{MB} = Re(Z_F) / [Re(Z_F) + R_M]$$

30

【 0 0 2 3 】

さらに、L 型または T 型の整合回路網の効率は以下によって与えられる。

【 0 0 2 4 】

【 数 4 】

$$(4) \quad \eta = Q_U / (Q_U + Q_L)$$

【 0 0 2 5 】

ここで、 $Q_U$  は集中素子の無負荷 Q 値であり、 $Q_L$  は集中素子の負荷 Q 値である。

図 3 および図 4 に示されるように、インピーダンス変換回路 42 を加えると、整合回路網 14 から給電素子 26 を通って流れる電流  $I_F'$  は、変換回路素子 44 およびチューナブルブロッキングキャパシタ  $C_{BT}$  を通って流れる電流  $I_T$  によって部分的に補償される。 $I_F'$  と  $I_T$  との間の最適なバランスは、チューナブルブロッキングキャパシタ  $C_{BT}$  によって調整されることができ、給電素子 26 および整合回路網 14 の損失素子 ( $R_F' + R_M$ ) の電力損失と変換回路給電素子 44 の損失素子  $R_T$  との間のバランスに依存する。整合回路網 14 および給電素子 26 ならびに変換回路給電素子 44 における総損失は、波長が電極の直径よりも大きいまたは給電ラインよりも長い RF 信号に関して、以下のように規定される。

40

【 0 0 2 6 】

【数 5】

$$(5) \quad P_{Loss2} = I_F'^2(R_M + R_F') + I_T^2 R_T$$

【0027】

電流  $I_F'$ 、 $I_T$  が等しいようにチューナブルブロックキャパシタ  $C_{BT}$  が調整される場合、 $I_F' = I_T = I_F / 2$  である。さらに、電流  $I_F'$ 、 $I_T$  が等しい場合および損失素子  $R_M$ 、 $R_F'$ 、 $R_T$  および  $R_F$  も等しい場合、 $R_M = R_F' = R_T = R_F$  である。したがって、 $I_F'$ 、 $I_T$  が等しい場合、 $P_{Loss1}$  は以下のとおりになる。

【0028】

10

【数 6】

$$(6) \quad P_{Loss1} = I_F^2(R_M + R_F) = 2I_F^2 R_F$$

【0029】

$P_{Loss2}$  は以下のとおりになる。

【0030】

【数 7】

$$(7) \quad P_{Loss2} = I_F'^2(R_M + R_F') + I_T^2 R_T = (3/4)I_F^2 R_F$$

20

【0031】

したがって、（インピーダンス変換回路 42 のない）従来の RF プラズマ反応器システム 10 とインピーダンス変換回路 42 を有する変形された RF プラズマ反応器システム 40 との間の損失比率は以下のとおりである。

【0032】

【数 8】

$$(6) \quad P_{Loss1} / P_{Loss2} = (2I_F^2 R_F) / (3/4)I_F^2 R_F = 8/3$$

30

【0033】

これらの式が示すように、（インピーダンス変換回路 42 のない）従来の RF プラズマ反応器システム 10 における損失素子  $R_M$ 、 $R_F$  を通って失われる電力は、インピーダンス変換回路 42 を有する変形された RF プラズマ反応器システム 40 における損失素子  $R_M$ 、 $R_F'$ 、 $R_T$  を通って失われる電力の 2 倍を超える。したがって、インピーダンス変換回路 42 を有する変形された RF プラズマ反応器システム 40 では電力損失が減少するので、（インピーダンス変換回路 42 のない）従来の RF プラズマ反応器システム 10 と同一の堆積速度を維持するためにプラズマに送出される電力を低減できる。したがって、同一の堆積速度を達成するためにより小さな RF 電源を使用できる。一方、同一の大きさの RF 電源が使用される場合には、堆積速度が増加することになり、それによって、スループットが増加する。

40

【0034】

図 5 は、インピーダンス変換回路 42 がフィードスルーインピーダンス  $Re(Z_F')$  をいかに変換し、それによって、損失素子を通して失われる電力を減少させるかを示すグラフである。従来の RF プラズマ反応器システム 10 では、プラズマインピーダンス  $Z_p$  は、反応器キャパシタンス  $C_R$  および反応器インダクタンス  $L_R$  によって、給電素子 26 の端部に位置する反応器インピーダンス  $Z_R$  に変換される。給電素子 26 は次いで、反応器インピーダンス  $Z_R$  を、 $Z_F$  と呼ばれるフィードスルーインピーダンスに変換する。変形された RF プラズマ反応器システム 40 では、プラズマインピーダンス  $Z_p$  は、従来の RF プラズマ反応器システム 10 とちょうど同じように、反応器インピーダンス  $Z_R$  に変換さ

50

れる。しかしながら、インピーダンス変換回路 42 は反応器インピーダンス  $Z_R$  を中間インピーダンス  $Z_R'$  に変換する。給電素子 26 は次いで、中間インピーダンス  $Z_R'$  を、 $Z_F'$  と呼ばれるフィードスルーインピーダンスに変換する。図 5 に示されるように、フィードスルーインピーダンス  $Z_F'$  は、フィードスルーインピーダンス  $Z_F$  よりも高い抵抗部または実数部およびフィードスルーインピーダンス  $Z_F$  よりも高い誘導性リアクタンス部または虚数部の両方を有する。換言すれば、 $\text{Re}(Z_F') > \text{Re}(Z_F)$  および  $\text{Im}(Z_F') > \text{Im}(Z_F)$  である。より具体的には、フィードスルーインピーダンス  $\text{Re}(Z_F')$  の実数部はおよそ 0.1 から 0.2 オームであるのに対して、フィードスルーインピーダンス  $\text{Re}(Z_F)$  の実数部はおよそ 0.0 から 0.1 オームである。フィードスルーインピーダンス  $\text{Im}(Z_F')$  の虚数部はおよそ 1 から 5 オームであるのに対して、フィードスルーインピーダンス  $\text{Im}(Z_F)$  の虚数部はおよそ -3 から 1 オームである。さらに、インピーダンス変換回路 42 はリアクティブインピーダンスを補償するまたは位相シフトを相殺するように意図されない。しかしながら、フィードスルーインピーダンス  $Z_F$  が誘導性であればあるほど、整合回路網において必要とされるインダクタンスはより少なくなる。その結果、整合回路網の質はさらに高められることができる。なぜなら、RF 電力損失は、銅から作られるインダクタなどの集中素子に主に関連付けられるためである。

【0035】

この発明の具体的な実施例が記載され、示されてきたが、これらの実施例は単に例証として与えられており、この発明はそれらに限定されるように解釈されるべきではなく、特許請求の適正な範囲によってのみ限定されるように解釈されるべきであることを理解すべきである。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図 1】従来の、キャパシタが結合された RF プラズマ反応器システムの概略図である。

【図 2】図 1 の反応器システムの等価回路である。

【図 3】この発明によるインピーダンス変換回路を有する、キャパシタが結合された RF プラズマ反応器システムの概略図である。

【図 4】図 3 の反応器システムの等価回路である。

【図 5】図 2 の従来の回路と図 4 のインピーダンス変換回路を有する回路との間のインピーダンス変換の比較を示すグラフである。

10

20

30

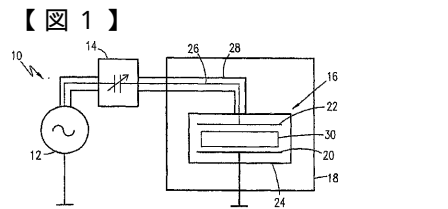


Fig. 1

Prior Art

【図 2】

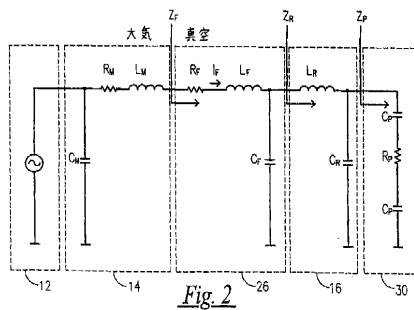


Fig. 2

Prior Art

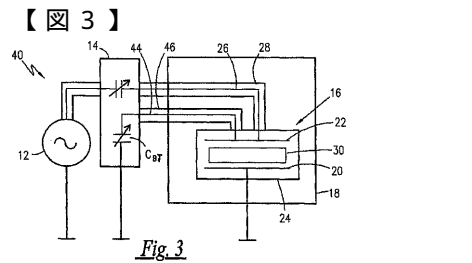


Fig. 3

【図 4】

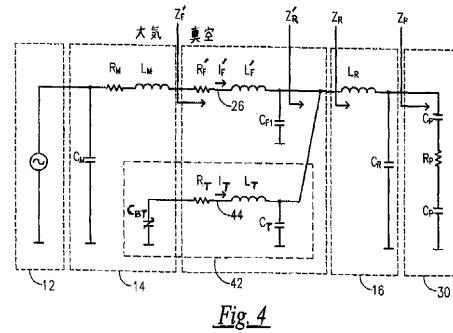


Fig. 4

【図 5】

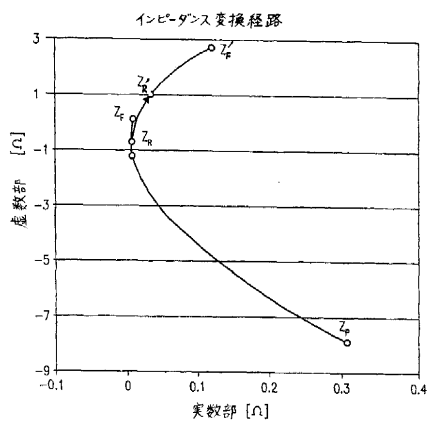


Fig. 5



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 0 3 - 2 4 9 4 0 0 ( J P , A )  
特開平 0 3 - 0 5 4 8 2 5 ( J P , A )  
特開 2 0 0 4 - 0 9 6 0 6 6 ( J P , A )  
特開 2 0 0 2 - 3 1 6 0 4 0 ( J P , A )  
特開平 0 6 - 0 8 5 5 4 2 ( J P , A )  
特開昭 5 6 - 1 0 8 8 7 5 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

C23C 14/00,16/509

H01L 21/205,21/302,21/3065

H05H 1/46