

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-279039

(P2007-279039A)

(43) 公開日 平成19年10月25日(2007.10.25)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 R 27/02 (2006.01)	GO 1 R 27/02 A	2GO28
GO 1 R 27/26 (2006.01)	GO 1 R 27/26 C	
GO 1 R 27/28 (2006.01)	GO 1 R 27/28 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2007-97538 (P2007-97538)	(71) 出願人	504121874 ズース・マイクロ・テック・テスト・システムズ・ゲゼルシャフト・ミト・ベシュレンクテル・ハフツング ドイツ国、01561ザッカ、ズースーストラーセ、1
(22) 出願日	平成19年4月3日(2007.4.3)	(74) 代理人	100069556 弁理士 江崎 光史
(31) 優先権主張番号	102006015849.0	(74) 代理人	100093919 弁理士 奥村 義道
(32) 優先日	平成18年4月3日(2006.4.3)	(74) 代理人	100111486 弁理士 鍛冶澤 實
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)	(72) 発明者	アンドレイ・ルミアンツェフ ドイツ連邦共和国、01217 ドレスデン、ベルストラーセ、24

最終頁に続く

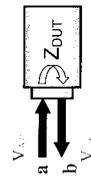
(54) 【発明の名称】 電子回路のインピーダンス測定方法

(57) 【要約】

【課題】この発明は、電子回路のインピーダンスを測定するための方法であって、試験信号として測定周波数 f の高周波交流電圧を電子回路の入力に印加して、試験信号に対する回路の応答から、回路のインピーダンス Z を検出し、その場合に、アナライザを用いて、所定の基準インピーダンス Z_0 に対して、基準インピーダンス Z_0 で値 $S = (Z - Z_0) / (Z + Z_0)$ を示すパラメータ S を取得し、このパラメータ S からインピーダンス Z を求める方法に関し、パラメータ S の計算によるインピーダンス測定時の誤差を最小化することを課題とする。

【解決手段】この課題は、 Z に関して最小の誤差 ΔZ が生じるように、測定周波数 f を設定することによって解決される。

【選択図】 図1



$$S = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$$

$$f = \frac{1 - S}{2R_0 |S|}$$

ここで、

$$S = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$$

$$C = \left| \frac{f}{2R_0 |S|} \right|$$

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電子回路のインピーダンスを測定するための方法であって、試験信号として測定周波数 f の高周波交流電圧を電子回路の入力に印加して、試験信号に対する回路の応答から、回路のインピーダンス Z を検出し、その場合に、アナライザを用いて、所定の基準インピーダンス Z_0 に対して、基準インピーダンス Z_0 で値 $S = (Z - Z_0) / (Z + Z_0)$ を示すパラメータ S を取得し、このパラメータ S から、 $Z = Z_0 \cdot (1 + S) / (1 - S)$ にもとづき、インピーダンス Z を求める方法において、

回路の既知の特性にもとづき、回路の見込まれるインピーダンス値 Z_0 を算出し、

$S_0(f) = \{Z_0(f) - Z_0\} / \{Z_0(f) + Z_0\}$ にもとづき、パラメータ S の見込まれる値 S_0 を計算し、

アナライザに関して既知の機器特有の誤差曲線 $S = \text{func}(S)$ から、値 S_0 に対応する誤差値 $S_0 = \text{func}(S_0)$ を算出し、

測定周波数 f の様々な値に関して、関係式 $Z_0(f) = Z_0 \cdot \{1 + S_0(f)\} / \{1 - S_0(f)\}$ から、見込まれるインピーダンス Z_0 の周波数に依存する誤差値 $Z_0(f)$ を計算し、

見込まれるインピーダンス Z_0 の誤差値 $Z_0(f)$ が最小値となる値に測定周波数 f を設定して、

Z に関して最小の誤差 Z が生じるように、測定周波数 f を設定することを特徴とする方法。

10

20

【請求項 2】

印加される電圧 V に依存して生じるインピーダンスを測定するものとし、

回路の既知の特性にもとづき、回路の見込まれるインピーダンス値 Z_0 を算出し、

$S_0(V, f) = \{Z_0(V, f) - Z_0\} / \{Z_0(V, f) + Z_0\}$ にもとづき、パラメータ S の見込まれる値 $S_0(V)$ を計算し、

アナライザに関して既知の機器特有の誤差曲線 $S = \text{func}(S)$ から、値 S_0 に対応する誤差値 $S_0 = \text{func}(S_0)$ を算出し、

測定周波数 f の様々な値と電圧 V の様々な値に関して、関係式 $Z_0(f, V) = Z_0 \cdot \{1 + S_0(f, V)\} / \{1 - S_0(f, V)\}$ から、見込まれるインピーダンス Z_0 の周波数に依存する誤差値 $Z_0(f, V)$ を計算し、

容量に対する電圧に依存して、見込まれるインピーダンス Z_0 の誤差値 $Z_0(f, V)$ が最小値となる値に測定周波数 f を設定して、

Z に関して最小の誤差 Z が生じるように、電圧 V に依存して測定周波数 f を設定することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

30

【請求項 3】

回路のインピーダンス等価回路から、見込まれるインピーダンス Z_0 を算出することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

当該のインピーダンスが、ほぼ容量によって生成され、このインピーダンスを用いて、容量の大きさを検出することを特徴とする請求項 1 から 3 までのいずれか一つに記載の方法。

40

【請求項 5】

所定の計算用周波数 f_0 と、容量 C に関して見込まれる計算又はシミュレーション値 C_0 とを用いて、 $Z_0 = -j \cdot 1 / (2 \cdot f_0 \cdot C_0)$ から、当該の見込まれるインピーダンスを算出することを特徴とする請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

当該の計算により、測定周波数を繰り返し設定し、繰り返し実行して算出した周波数を測定周波数として用い、その場合に、計算の繰り返しにより算出した第一の測定周波数により測定したインピーダンス Z を、計算の繰り返しにより見込まれる値 Z_0 として用いることを特徴とする請求項 1 から 5 までのいずれか一つに記載の方法。

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、電子回路のインピーダンスを測定するための方法であって、試験信号として測定周波数 f の高周波交流電圧を電子回路の入力に印加して、試験信号に対する回路の応答から、回路のインピーダンス Z を検出し、その場合に、アナライザを用いて、所定の基準インピーダンス Z_0 に対して、基準インピーダンス Z_0 で値 $S = (Z - Z_0) / (Z + Z_0)$ を示すパラメータ S を取得し、このパラメータ S から、 $Z = Z_0 \cdot (1 + S) / (1 - S)$ にもとづき、インピーダンス Z を求める方法に関する。

【背景技術】

10

【0002】

電子部品の製造プロセスの間、並びに製造プロセスの終了時の機能検査のために、しばしば電子部品内の電子回路のインピーダンスを測定する必要がある。試験する回路構成は、通常 DUT (DUT = device under test、被測定デバイス) とも称される。

【0003】

そのようなインピーダンスは、純粋なオーム抵抗 R として得られる場合がある。しかし、インピーダンス Z は、普通関係式 $Z = R + jX$ で表されるような複素数による特性を持っており、ここで、 R は実数部 (抵抗) であり、 X は虚数部 (リアクタンス) である。

【0004】

例えば、回路のインピーダンスは、容量 C によって決まる。インピーダンスに対して容量の影響だけが有る場合、実数部はゼロに等しい。その場合、インピーダンス Z は、 $Z = -j \cdot 1 / 2\pi f C$ の通り計算される。

20

【0005】

通常的手法では、直流電圧又は 30 MHz までの交流電圧を回路、例えば、回路の入力に印加することによって、容量の測定を行っている。その場合、測定電圧の時間的な挙動にもとづき、容量の大きさを見積もることができる。

【0006】

電子部品の製造時において小型化が進行すると、誘電体が益々薄くなることとなる。その結果、誘電体による漏れ電流も大きくなる。このような漏れ電流は、容量測定に関する測定結果を悪化させるという欠点を有する。そのことは、非特許文献 1 に、特に、その 29 頁に記載されている。

30

【0007】

この問題に対処するために、100 MHz を超える範囲の益々高い周波数でインピーダンスが測定されている。その結果、容量に対する電圧の影響範囲が変化し、その結果その範囲においては電磁界だけが依然として作用して、漏れ電流が最小となり、そのため電子損失が起こらなくなる。その場合、(光の場合と同様に) 透過率及び / 又は反射率を測定することとなる。そして、送信波と受信波から、送信波と受信波の大きさの比率を演算して、パラメータ S として取得している。この方法は、非特許文献 2 のその他の様々な測定方法と並んで記載されている。その場合、基準インピーダンス Z_0 の測定誤差が最小であることを出発点としている。

40

【0008】

そのような測定は、通常ベクトルネットワークアナライザで行われる。この測定器は、パラメータ S に関して、既知の誤差 ΔS を有する。しかし、従来技術での前提と異なり、一つの同じ基準インピーダンスにおいて誤差の最小値が一定ではないことが分かっている。むしろ、所定の DUT に関する、この誤差 ΔS は、測定周波数にも依存し、その結果このようにして得られた測定結果は、限定的にしか適さないものとなる。

【0009】

従来手法は、非特許文献 3 と 4 に記載されているような方法により S の計算を行っている。

【非特許文献 1】 "Evaluation of MOS Capacitor Oxide C-V Characteristics Using the

50

Agilent 4294A", Agilent Technologies, Inc. 2002, 5988-5102EN

【非特許文献2】"Integrating high frequency capacitance measurement for monitoring process variation of equivalent oxide thickness of ultra-thin gate dielectrics", Keithley Instruments Inc., 2004, No. 24744041KGW

【非特許文献3】EA-10/12・EA guidelines on the Evaluation of Vector Network Analyzers (VNA), European co-operation for Accreditation, May 2000

【非特許文献4】Application Note "What Is Your Measurement Accuracy? Vector Network Analyzer", Anritsu Microwave Measurement Division, Morgan Hill, CA, September 2001

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

そこで、この発明の課題は、パラメータ S の計算によるインピーダンス測定時の誤差を最小化することである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

この課題は、この発明にもとづき、請求項1の特徴により解決される、即ち、電子回路のインピーダンスを測定するための方法であって、試験信号として測定周波数 f の高周波交流電圧を電子回路の入力に印加して、試験信号に対する回路の応答から、回路のインピーダンス Z を検出し、その場合に、アナライザを用いて、所定の基準インピーダンス Z_0 に対して、基準インピーダンス Z_0 で値 $S = (Z - Z_0) / (Z + Z_0)$ を示すパラメータ S を取得し、このパラメータ S から、 $Z = Z_0 \cdot (1 + S) / (1 - S)$ にもとづき、インピーダンス Z を求める方法において、回路の既知の特性にもとづき、回路の見込まれるインピーダンス値 Z_0 を算出し、 $S_0(f) = \{Z_0(f) - Z_0\} / \{Z_0(f) + Z_0\}$ にもとづき、パラメータ S の見込まれる値 S_0 を計算し、アナライザに関して既知の機器特有の誤差曲線 $S = \text{func}(S)$ から、値 S_0 に対応する誤差値 $S_0 = \text{func}(S_0)$ を算出し、測定周波数 f の様々な値に関して、関係式 $Z_0(f) = Z_0 \cdot \{1 + S_0(f)\} / \{1 - S_0(f)\}$ から、見込まれるインピーダンス Z_0 の周波数に依存する誤差値 $Z_0(f)$ を計算し、見込まれるインピーダンス Z_0 の誤差値 $Z_0(f)$ が最小値となる値に測定周波数 f を設定して、 Z に関して最小の誤差 Z が生じるように、測定周波数 f を設定することによって解決される。

【0012】

従属請求項2～6は、この発明による方法の有利な実施形態を記載している。即ち、有利な実施形態において、印加される電圧 V に依存して生じるインピーダンスを測定することと、回路の既知の特性にもとづき、回路の見込まれるインピーダンス値 Z_0 を算出し、 $S_0(V, f) = \{Z_0(V, f) - Z_0\} / \{Z_0(V, f) + Z_0\}$ にもとづき、パラメータ S の見込まれる値 $S_0(V)$ を計算し、アナライザに関して既知の機器特有の誤差曲線 $S = \text{func}(S)$ から、値 S_0 に対応する誤差値 $S_0 = \text{func}(S_0)$ を算出し、測定周波数 f の様々な値と電圧 V の様々な値に関して、関係式 $Z_0(f, V) = Z_0 \cdot \{1 + S_0(f, V)\} / \{1 - S_0(f, V)\}$ から、見込まれるインピーダンス Z_0 の周波数に依存する誤差値 $Z_0(f, V)$ を計算し、容量に対する電圧に依存して、見込まれるインピーダンス Z_0 の誤差値 $Z_0(f, V)$ が最小値となる値に測定周波数 f を設定して、 Z に関して最小の誤差 Z が生じるように、電圧 V に依存して測定周波数 f を設定するものとする。有利な実施形態では、回路のインピーダンス等価回路から、見込まれるインピーダンス Z_0 を算出するものとする。有利な実施形態では、当該のインピーダンスが、ほぼ容量によって生成され、このインピーダンスを用いて、容量の大きさを検出するものとする。有利な実施形態では、所定の計算用周波数 f_0 と、容量 C に関して見込まれる計算又はシミュレーション値 C_0 とを用いて、 $Z_0 = -j \cdot 1 / (2 \cdot f_0 \cdot C_0)$ から、当該の見込まれるインピーダンスを算出するものとする。有利な実施形態では、当該の計算により、測定周波数を繰り返し設定し、繰り返し実行して算出し

10

20

30

40

50

た周波数を測定周波数として用い、その場合に、計算の繰り返しにより算出した第一の測定周波数により測定したインピーダンス Z を、計算の繰り返しにより見込まれる値 Z_0 として用いるものとする。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下において、実施例にもとづき、この発明を詳しく説明する。この実施例は、ゲート酸化膜が薄いMOSFETでの容量測定に関する。

【0014】

図1に図示されている通り、ベクトルネットワークアナライザ(VNA)を用いて、詳しく図示されていない電子部品内の電子回路(DUT; 被測定デバイス)のインピーダンス Z_{DUT} をパラメータ S により計算する。DUTの実際のパラメータは、 $Z_{DUT} = R + jX$ と $S_{DUT} = (R + jX - Z_0) / (R + jX + Z_0)$ である。測定したインピーダンス値は、 $Z_{meas} = Z_0 \cdot (1 + S_{meas}) / (1 - S_{meas})$ である。

10

【0015】

図2に図示されている通り、ベクトルネットワークアナライザ(VNA)は、誤差 S を有し、この誤差は、測定するインピーダンスの誤差 Z をも生じさせる。即ち、誤差 S の結果として、 $S_{meas} = S_{DUT} + S$ とそのため $Z_{meas} = Z_0 \cdot \{1 + (S_{DUT} + S)\} / \{1 - (S_{DUT} + S)\}$ が得られる。その結果、インピーダンスに関する誤差 $Z = |Z_{DUT} - Z_{meas}| / |Z_{DUT}|$ となる。

【0016】

20

図3は、測定結果の誤差 S の複素数の作用を図示している。

【0017】

測定するインピーダンス Z_{DUT} が測定周波数に依存することが分かる。更に、測定する回路のパラメータ S は、測定するインピーダンス Z_{DUT} に依存する。従って、ベクトルネットワークアナライザの測定精度は、パラメータ S に依存することとなる。

【0018】

この発明では、図4~6に図示されている通り、様々な周波数での誤差 S の評価を行っている。

【0019】

図7から分かる通り、出来る限り精確に容量を算出することが可能であるためには、グラフの目印を付けた領域から、そのような見込まれる容量 C に関する測定周波数 f を選定すべきである。

30

【0020】

図8に図示されている通り、この発明にもとづく方法によって達成される測定結果が変動する誤差範囲(エラーバー)を示すことが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】ベクトルネットワークアナライザにより容量 C を検出する回路測定の原理図

【図2】ベクトルネットワークアナライザ(VNA)の誤差 S の実数部と虚数部のグラフ

40

【図3】誤差 S の発生形状の原理図

【図4】測定するインピーダンス Z で生じる誤差 Z の複素表示図

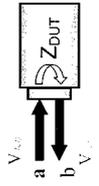
【図5】図4の虚数部に関する抜粋図

【図6】測定するインピーダンスと見込まれるパラメータの等価回路の構成図

【図7】見込まれる容量に依存して測定周波数 f を選定し、出来る限り小さい測定誤差を達成するための図

【図8】達成される測定結果の変動をエラーバーで示した図

【 図 1 】

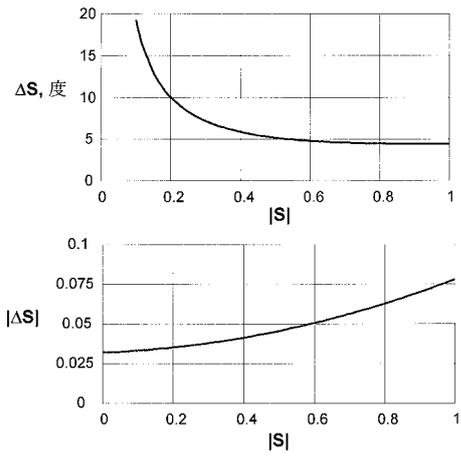


$$S = \frac{b}{a} \frac{Z_{OUT} - Z_0}{Z_{OUT} + Z_0}$$

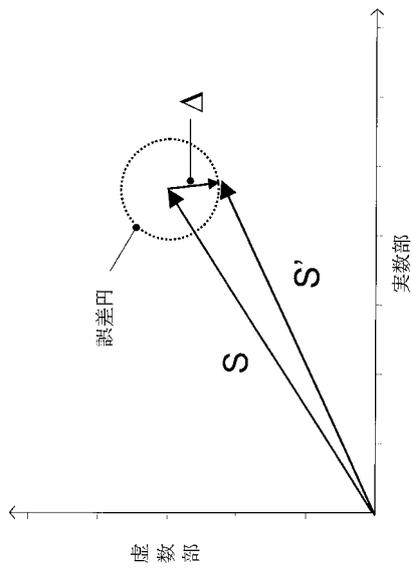
$$\gamma = \frac{1 - S}{50 \Gamma \cdot S}$$

$$C = \left| \frac{\gamma^2}{2\gamma / \text{mm}(\Gamma)} \right|$$

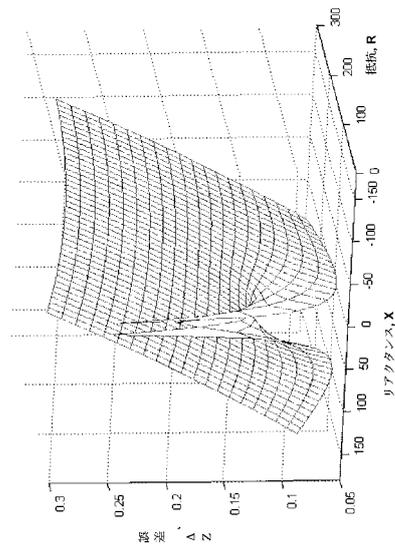
【 図 2 】



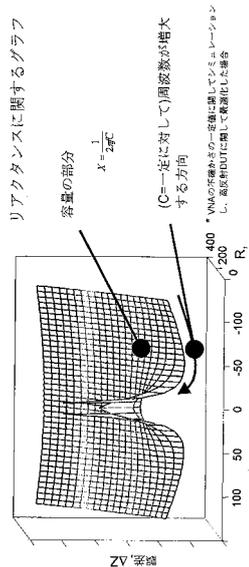
【 図 3 】



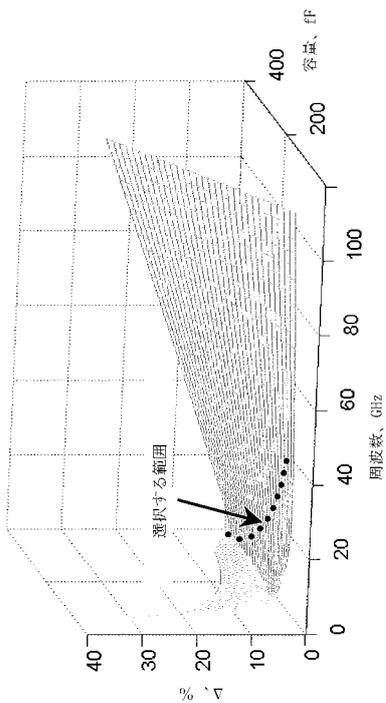
【 図 4 】



【 図 5 】



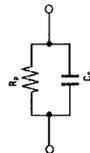
【 図 7 】



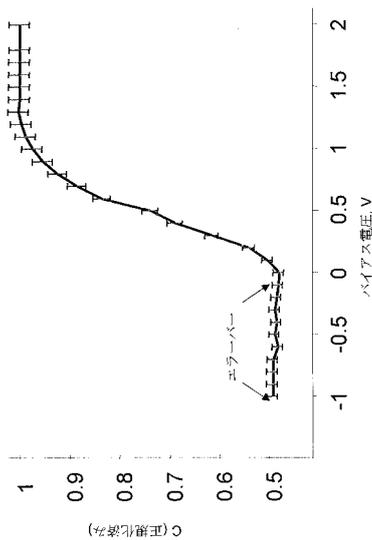
【 図 6 】

GoXによるC測定誤差の評価

- DUTモデル:
 - 容量の変化: C = 50 ... 800 fF
 - 抵抗: 無視できる程度
- 周波数の変化:
 - 周波数 = 0.01...110 GHz



【 図 8 】



フロントページの続き

(72)発明者 ストヤン・カネフ

ドイツ連邦共和国、0 1 5 6 1 ザッカ、ヴィーゼンヴェーク、4
Fターム(参考) 2G028 AA01 BB11 CG07 CG08 CG15 DH14 HN09