

SEMI E113-0306 (Reapproved 0512) 半導体処理装置の高周波 (RF) 電力供給システム用仕様

NOTICE: This translation is a REFERENCE COPY ONLY. If differences should exist between the English version and a translation in any other language, the English version is the official and authoritative version.

免責事項: この SEMI スタンダードは、投票により作成された英語版が正式なものであり、日本語版は日本の利用者各位の便宜のために作成したものです。万が一英語と日本語とに差異がある場合には英語版記載内容が優先されます。

SEMI スタンダード日本語翻訳版をご利用にあたっての注釈を本文の末尾に記載しております(「すべきである」「しなければならない」について等)。

本スタンダードは、Metrics Global Technical Committee で技術的に承認されている。現版は 2011 年 12 月 24 日、global Audits and Reviews Subcommittee にて発行が承認された。2012 年 5 月に www.semiviews.org および www.semi.org で入手可能となる。初版は 2001 年 11 月発行。前版は 2006 年 3 月発行。

注意: 本文書は、編集上の修正を伴い、再承認された。

1 目的

1.1 プロセス・プラズマが、薄膜のエッチングまたは堆積を通して半導体産業に使われる。大多数のプロセス・チェンバーは、プラズマを作り、維持するために高周波 (RF) 電力を使う。信頼性、そしてプラズマの反復性はウエーハ処理結果に直接衝撃を与えるために、RF 電力供給システムは半導体製造技術の重要な要素である。全 RF (高周波) 電力発生システムの正確で再現可能な性能、影響される RF を含む、プラズマのパラメータが、一般に認められた許容限度範囲内でなければならない。

1.2 RF の信頼性と反復性のための設計基準は標準化テストと RF 電力供給システムの性能評価とチェンバーの制御測定器の性能評価を必要とする。サブシステム (すなわち発振器、ケーブルアセンブリ、整合回路網、チャックおよびコイル) が特徴付けられるだけでなく、統合化システムの性能もまた、意図された動作範囲にわたり特徴付けられなければならない。

1.3 このスタンダードの意図は、システムとサブシステムの性能を改善に至る、半導体処理装置用の RF 電力供給仕様を提供することである。それは、システムまたはサブシステム構成要素を供給されなければならない必須の文書と同様に性能基準を概説する。この文書のゴールは、安定性、反復性と重要な電気的なパラメータ、例えば供給電力、電流および電圧、システムのインピーダンスが操作空間内で決定できるような、十分に特徴づけられた RF 電力供給システムを生産するために必要な仕様を提供することである。

2 範囲

2.1 この文書は半導体産業で使われた RF 装置用の最小限の性能基準を規定する。特定のテスト方法または性能確認の手続きに取り組むものではない。

2.2 この仕様は主に半導体処理装置に的を絞る、下記の装置型を含むが、それに限定されるものではない。

- ドライエッチ装置
- 薄膜堆積装置 (CVD と PVD)

2.3 この仕様は、電力がプラズマを作り、維持するために直接使われる半導体処理装置の RF (高周波) 電力供給システムに適用される。

注意： このスタンダードおよび安全ガイドラインはその使用に関連した全ての安全上の問題を取り扱うことを意図していない。この文書の利用者は、その責任において、適切な安全および健康上実施すべき事項を決定し、また使用前に法規制やその他の制限への適用性を判断するものである。

3 制限

3.1 本スタンダードでは、主に 0.2~100 MHz の周波数範囲で動く RF システムに着目する。それは、より高い周波数 RF システムまたは電子レンジ・システムに着目しない。

3.2 この標準は、パルス駆動の電力 RF システムに着目しない。

3.3 このスタンダードは性能仕様であることを意味し、SEMI スタンダードのどこかに包含される安全性に関連した設計問題に着目することを意図しない。

3.4 このスタンダードでは、RF 放出のコードや電気に関するコード(Underwriter's Laboratory, Inc. [UL] 等), National Electrical Code [NEC®], Federal Communications Commission [FCC] に関連する安全や性能に関する問題は取り扱わない。このタイプの装置に適用される適切な地域のコードや規則に準拠することは、本スタンダードのユーザの責任であり、これらのコードや規則のいくつかについては関連文書に記載されている。

4 参照スタンダードおよび文書

4.1 SEMI スタンダードおよび安全ガイドライン

SEMI E10 — Specification for Definition and Measurement of Equipment Reliability, Availability, and Maintainability (RAM) and Utilization

SEMI E78 — Guide to Assess and Control Electrostatic Discharge (ESD) and Electrostatic Attraction (ESA) for Equipment

SEMI E114 — Test Method for RF Cable Assemblies Used in Semiconductor Processing Equipment RF Power Delivery Systems

SEMI E115 — Test Method for Determining the Load Impedance and Efficiency of Matching Networks Used in Semiconductor Processing Equipment RF Power Delivery Systems

SEMI E135 — Test Method for RF Generators to Determine Transient Response for RF Power Delivery Systems used in Semiconductor Processing Equipment

SEMI E136 — Test Method for Determining the Output Power of RF Generators Used in Semiconductor Processing Equipment RF Power Delivery Systems

4.2 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Standards¹

IEEE-STD-383 — IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electrical Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations

4.3 United States Military Standards (MIL) Specifications²

MIL-DTL-17 — General Specification for Cables, Radio Frequency, Flexible and Semi Rigid

MIL-PRF-39012D — General Specification for Connectors, Coaxial, Radio Frequency

注意： 別途指示のない場合、引用された全ての文書は最新版を指す。

¹ Institute of Electrical and Electronics Engineers, 3 Park Avenue, 17th Floor, New York, NY 10016-5997, USA; Telephone: +1.212.419.7900, Fax: +1.212.752.4929, <http://www.ieee.org>

² United States Military Standards, available through <http://everyspec.com>

5 用語

5.1 略語および頭字語

5.1.1 CVD (chemical vapor deposition) — 化学蒸気堆積

5.1.2 PVD (physical vapor deposition) — 物理蒸気堆積

5.1.3 VSWR (voltage standing wave ratio) — 電圧定常波比

5.2 定義

5.2.1 ケーブル アセンブリ (cable assembly) — RF 電力供給システムの各種部品を接続するために使うコネクタを含むケーブル（伝送線）の部分。

5.2.2 電気長 (electrical length) — 公称動作周波数での一波長が 360° と等しい、度数表示された動作周波数でのケーブルアセンブリの長さ。

5.2.3 高調波周波数 (harmonic frequency) — 高調波周波数は基本周波数の整数倍数として定義される。例えば、13.56 MHz の第二高調波は 27.12 MHz である。

5.2.4 負荷 Q (load Q) — 負荷の品質係数、Q は負荷の無効部の大きさが負荷の実数部で除したものと、ここで定義される。例えば、 $2\sim 20\ \Omega$ の負荷インピーダンスは 10 の負荷 Q を持つ。

5.2.5 整合された負荷 (matched load) — 整合された負荷インピーダンスは一般的に、位相の $\pm 3.8^\circ$ までの位相角で $50 \pm 3.3\ \Omega$ の大きさを持っていると定義される。いいかえると、反射係数が位相角度の 0.032 以下であるならば、負荷は整合されたと考える。

5.2.6 整合回路網 (matching network) — 負荷（チェンバーまたはチャック）のインピーダンスを、一般的に $50\ \Omega$ である発振器またはケーブル アセンブリのインピーダンスに整合させるための変換に使われる装置。

5.2.7 整合回路網負荷インピーダンス (matching network load impedance) — 整合回路網が整合される負荷のインピーダンス。

5.2.8 MTBF_p (MTBF_p) — （平均故障間隔（生産）時間）； 装置が故障と故障の間に所期の機能を果たしている時間の平均値； 全生産時間をその間の故障回数で割った値。この計算には生産時間のみが含まれる。

5.2.9 電力効率 (power efficiency) — 整合回路網の電力効率はこの回路網の出口電力（出力電力）を、この整合回路網の入口電力（入力電力）で除したものとして定義される。

5.2.10 RF 応用機／インタフェース (RF applicator/interface) — この RF システムが終端されるチェンバーの部分。このインタフェースはチャック（駆動電極）またはプラズマ源のコイルやアンテナ部分である。

5.2.11 RF システム (RF system) — RF システムは、発振器、整合回路網、チェンバー インタフェースと特定の装置やチェンバーに特有な関連接続ケーブル アセンブリの組合せとして定義される。

5.2.12 タップ点 (tap point) — あるシステムでは、整合回路網の部分同調は固定同調素子（例えば異なるコンデンサ値）の組合せを切り替えて実現される。タップ点は、整合回路網に整合する際につなぐか、同調素子に接続し、あるいは外せるスイッチの位置として定義される。

5.2.13 同調素子位置 (tuning element position) — 同調素子の位置、整合回路網の可変同調素子の位置と一致する出力電圧あるいは出力エンコーダ値として定義される。例えば、可変コンデンサ（「同調素子」）の回転シャフトの回転電位差計からの電圧はコンデンサの「位置」と呼ばれる。この例では、位置や電圧は特定のシャフト場所または位置と一致する。

5.3 記号

5.3.1 cm — centimeter

- 5.3.2 *db* — decibel
- 5.3.3 *j* — imaginary unit
- 5.3.4 *kW* — kilowatt
- 5.3.5 *MHz* — megahertz
- 5.3.6 Ω — ohm
- 5.3.7 *Q* — quality factor
- 5.3.8 *s* — second
- 5.3.9 *W* — watt

6 発注情報

6.1 半導体メーカーは RF 電力供給システムの性能と文書を指定するために処理装置の入手時に、このスタンダードを使うことが可能である。装置サプライヤは、また、RF システム構成部品とサブアセンブリを指定するためにこの文書を使うことが可能である。

6.2 このスタンダードに従う装置の発注は、以下の事項を含まなければならない。

- 6.2.1 この仕様番号と発行日
- 6.2.2 提供されることを求められた品証テストの通過を示すあらゆる証明（オプションである）
- 6.2.3 提供レポートに含むことを求められたあらゆるテスト結果（オプションである）

7 要求条件

7.1 半導体処理装置は信頼できる RF 電力供給システムで設計・組み立てられる。この仕様で定義される必要条件は、以下の RF 電力供給システム構成部品と同様に、統合 RF システムにも着目する。RF 電力供給システム構成部品とは、これらアセンブリあるいはシステムの特定の構成部品をはじめ、RF ケーブルアセンブリ、整合回路網、発振器と RF 応用機およびインタフェースである。

7.2 SEMI E10 で概説されているように、発振器、整合回路網と RF 電力供給システムの全体としての故障間の平均（生産的な）時間 (MTBFp) は、MTBFp を決定する方法と同様に、サプライヤによって提供されなければならない。

7.3 RF ケーブル アセンブリ(伝送線) (RF Cable Assemblies [Transmission Lines])

7.3.1 多くの RF 電力供給システムは、発振器から整合回路網の入力に、そして場合によっては、整合回路網の出力からプロセスチェンバー（例えばチャックアセンブリ）に電力を搬送するために RF ケーブルアセンブリを使う。定格電力／電圧／電流、許容曲げ半径、予想の特性インピーダンス変化、ケーブルメーカー仕様に基づいた特定のケーブルタイプ（例えば RG-217, RG-218）の期待動作周波数の減衰量、の 4 点において、全てのケーブル アセンブリは、ケーブルとコネクタ（例：MIL-DTL-17, MIL-PRF-39012D, IEEE-STD-383）に関する業界スタンダードを厳守しなければならない。RF ケーブルアセンブリの電気長、電力消散（損失）、そして特性インピーダンスを決定するためには、SEMI E114 または、それに相当するテスト方法が使われなければならない。

7.3.2 RF 電力供給システム部分の接続に使われるケーブル アセンブリの長さは、公称物理的長さに加えて、公称動作周波数で電気長で規定されなければならない。電気長は位相シフトの度数表示で与えられる。ケーブル アセンブリの誘電体特性（例えば位相速度、特性インピーダンス）の変化は、電気長がアセンブリの間で異なる原因になることがある。

7.3.3 整合回路網とチェンバー間に使われるケーブルの電気長は（あるとすれば）、固定された周波数システムの動作周波数で、または 13.56 MHz 以下か同一の可変周波数システム用では中心点周波数で、標準の電気長値の 0.25°以内に指定されなければならない。13.56 MHz 以上の周波数用では、電気長は MHz 周波数に 0.018 を乗じた（例えば 60 MHz 用仕様は $60 \times 0.018 = 1.1^\circ$ となる）周波数と等しい値（度数で

の)まで指定されなければならない。例えば、13.56 MHz で、位相シフトの 0.25°と一致している（反射係數位相シフトの 0.5°）の典型的ケーブル (RG-217) の物理的長さは約 1 cm となる。この仕様は、処理チェンバーの間で約 1%未満の整合回路網によって見られるインピーダンス変動に帰結される。

7.3.4 整合回路網と発振器間に使われたケーブルの長さは、固定周波数システム用の動作周波数で、または、13.56 MHz 以下か同等の周波数用の可変周波数システムにとっての中心点周波数で、標準電気長値のうちの 1.0°以内に指定されなければならない。13.56 MHz 以上の周波数用には、その長さは MHz 周波数に 0.074 を乗じたと等しい値（度数での）に指定されていなければならない（例えば、60 MHz 用の仕様は $60 \times 0.074 = 4.44^\circ$ となる）。例えば、13.56 MHz で、位相シフト 1.0°に対応している（反射係數位相シフトの 2.0°）典型的ケーブル (RG-217) の物理的長さは約 4 cm となる。この仕様は、高調波周波数でのインピーダンス変換を最小にする（第 10 高調波での位相シフトの 10°）。

7.3.5 このシステムで供給されるケーブル アセンブリ内での予想電力消散は、システムの動作周波数の関数として提供される。ケーブル アセンブリを通過して伝送された電力量は、dB（デシベル）と%表現で与えられる。dB と%の関係は以下に与えられる：

$$\text{パーセンテージ\%} = 100 \times 10^{(\text{dB}/10)}$$

例えば、15.24 m の物理長（375.740 の電気長）の RG-217 ケーブルから作られるケーブル アセンブリによって 13.56 MHz の電力の約 94.8% (-0.232 dB の損失) が伝送される。いいかえると、電力の 5.2%が 13.56 MHz のケーブルアセンブリで消費される。

7.4 整合回路網 (Matching Networks)

7.4.1 整合回路網はプラズマ負荷のインピーダンスを公称 50 Ω である発振器のインピーダンスに整合するため変換する。この変換は、例えばコンデンサとインダクタのような無効成分 (Reactive) 部品の使用により回路網の出力部でのインピーダンスを整合回路網の入力部に変換することにより整合回路網を「同調する」ことで実現できる。任意の周波数用に対して、整合回路網の入力部でのインピーダンスと整合回路網の出力部でのインピーダンス（負荷インピーダンス）との間の一定関係がある。いいかえると、整合回路網の変換特性が、与えられ周波数で既知ならば、整合された整合回路網に対するインピーダンス（負荷インピーダンス）は決めることができる。一般的に、インピーダンス変換には 2 つの方法がある。第一の方法では、固定周波数（例えば 13.56 MHz）と可変同調素子を使用し、第二の方法では可変周波数を使って、同調素子を固定する。両方の方法のための仕様は以下による。入力インピーダンスが 50 Ω の固定周波数で動作するように設計された負荷インピーダンスおよび整合回路網の効率を決定するためには、SEMI E115、またはそれに相当するテスト方法が使われなければならない。

7.4.2 固定周波数動作で使うシステム用に、一般的に整合回路網は 2 つの可変同調素子を持つ。それは通常可変のコンデンサやインダクタである。これらの可変同調素子は、一般的に素子の特定値と一致する出力電圧またはエンコーダ値を持つ（すなわち、出力電圧は、整合回路網のコンデンサまたはインダクタンスの特定値と一致する）。出力電圧値またはエンコーダの数値は、同調素子位置と呼ばれる。整合回路網の操作と性能についての情報を得るために、同調素子位置は出力として提供されなければならない。

7.4.3 可変周波数動作で使うシステム用に、一般的に整合回路網は固定の同調素子（可変でない）を持つか、固定同調素子間にタップ点を有する。そして周波数は最適整合状態を得るために変化する。ある場合には、タップ点もまた、整合用に変えられる。整合回路網のこれら型の操作と性能についての情報を得るためには、動作周波数と入力インピーダンス（または反射係数の大きさと位相角度）が提供されなければならない。可変タップ点を持つこれらシステム用に、タップ点位置は、出力としても提供されなければならない。

7.4.4 固定周波数で動く可変同調素子の整合回路網に対して、負荷インピーダンスは同調素子位置の関数として提供されなければならない。加えて、整合回路網の効率は、同調素子位置の関数として提供されなければならない。この情報は、表計算書式で示されなければならない。同調素子位置の増分は全範囲の 10%未満であるか同等のステップでなされなければならない。例えば、同調素子位置の全範囲が 10 V である場合には、1 V 以下の電圧増分が使われなければならない。同調素子位置指示器の関数として、整