

SEMI F64-0701 (Reapproved 1111)

TEST METHOD FOR DETERMINING PRESSURE EFFECTS ON INDICATED AND ACTUAL FLOW FOR MASS FLOW CONTROLLERS

マスフローコントローラの指示および実流量に対する圧力影響を測定する試験方法

免責事項:この SEMI スタンドダードは、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 スタンド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、global Gases Technical Committeeで技術的に承認されている。現版は2011年9月12日、global Audits and Reviews Subcommitteeにて発行が承認された。2011年11月に www.semiviews.org および www.semi.org で入手可能となる。初版は2001年7月発行。前版は2007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 本文書の目的は、ガス供給システムへの設置を検討しているマスフローコントローラ(MFC)の特性を測定する方法を規定することである。本方法は、MFC 性能に対する一次側および二次側の定常および過渡圧力条件の影響を定量化する。
- 1.2 本書はMFCの圧力の影響を試験し、それを記述することに関して、メーカーとユーザ間に共通のコミュニケーション基盤を提供する。

2 範囲

- 2.1 本試験方法は、指示流量および実流量に対する上流(入口)および下流(出口)側の過渡圧力の影響を測定する。
- 2.2 本試験方法の結果として、実出力流量に対するMFC設定値と指示流量の、定常状態の一次側圧力による影響の下での関係が得られる。
- 2.3 本試験方法は最大流量範囲が1000sccmまでのMFCに適用される。

注 1: 低流量のMFCは圧力過渡現象が発生の影響がより大きくなるので、本文書の流量範囲は1000sccmに限定される。

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問題を取り扱うことを意図していない。この文書の使用者は、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柄を確立し、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 本試験方法は、圧力がMFCの性能特性に及ぼす影響の分析に限定される。校正状態、直線性、または精度の検証はしない。
- 3.2 本試験方法は、メーカーが規定した非試験装置(DUT)の最大動作圧を超える圧力は取り扱わない。
- 3.3 本試験方法は、妥当な圧力過渡現象に限定している。即ち、一般的な半導体処理装置において他の点では許容される変動である。
- 3.4 本試験方法は、メーカーの公表した限度外の動作上の影響については取り扱わない。
- 3.5 本試験方法は、ガス供給の中断の影響については取り扱わない。

4 参照スタンダードおよび文書

- 4.1 なし。

5 用語

5.1 略語および頭字語

- 5.1.1 *DUT* — 非試験装置
- 5.1.2 *MFC* — マスフローコントローラ
- 5.1.3 *MV* — 絞りバルブ
- 5.1.4 *Psia* — 平方インチ当たりポンド, 絶対値
- 5.1.5 *Psig* — 平方インチ当たりポンド, ゲージ
- 5.1.6 *T* — 時間
- 5.1.7 *v* — 電圧

5.2 定義

- 5.2.1 実流量 (*actual flow*) — 流量標準が示す流量(図 1 および 2 を参照)。
- 5.2.2 指示流量 (*indicated flow*) — 非試験装置(DUT)が示す流量。
- 5.2.3 ランプ(*ramp*) — 圧力の一定した変化率 ($dp/dt = k$)。
- 5.2.4 安定性(*stability*) — 自然で無作為の変動だけを示し, 不自然で突き止められる原因の変動がない状態。
- 5.2.5 ステップ変化(*step change*) — 時定数が 1 秒以下の圧力の急激なステップ。

5.3 記号

- 5.3.1 δM — 定常状態の供給質量に対する材料の質量の偏差。
- 5.3.2 ΔP — 時間に関した圧力変化
- 5.3.3 ΔQ — 入口側圧力が一定のときと, 入口側圧力がランプしているときの, 実流量の偏差。
- 5.3.4 δQ_- — 公称値からの実流量の最大マイナス偏差。
- 5.3.5 δQ_+ — 公称値からの実流量の最大プラス偏差。
- 5.3.6 τ — 気体時定数
- 5.3.7 P_1 — 入口側圧力
- 5.3.8 P_2 — 出口側圧力
- 5.3.9 PC_A — 設定点における圧力変化当たりの実流量の圧力係数。
- 5.3.10 PC_O — 流量ゼロにおける圧力変化当たりの指示流量の圧力係数。
- 5.3.11 PC_S — 圧力変化当たりのスパン流量の圧力係数。
- 5.3.12 Q_A — 実流量
- 5.3.13 Q_{FS} — 定格フルスケール流量
- 5.3.14 Q_I — 指示流量
- 5.3.15 Q_N — 定常状態条件下での公称実流量。
- 5.3.16 Q_R — 入口圧力がランプしている間の定常状態実流量。
- 5.3.17 Q_{SP} — 設定値流量
- 5.3.18 t_f — Q_A が Q_N の読みの 0.5% 以内である時間。
- 5.3.19 t_o — 圧力過渡現象が始まった時間。
- 5.3.20 t_s — Q_N までの整定時間
- 5.3.21 V_{eq} — DUT の等価内部コントロール体積。
- 5.3.22 V_p — ポンプ隔離バルブ

6 試験方法の概要

- 6.1 入口側圧力のステップ変化およびランプ変化 — MFC からの実流量に対する急ステップおよび低速ランプ変化の影響を観察する(図 6 および 7 を参照)。
- 6.2 定常状態の入口側圧力影響 — 実流量に対する圧力増加/減少の影響を, その増加/減少が定常状態に達したときに観察する(図 8 を参照)。
- 6.3 出口側圧力のステップ変化 — 実流量に対する出口側圧力の変化の影響を観察する(図 9 を参照)。
- 6.4 クロストーク圧力影響 — 同一ガスライン上で複数の流量調節機器を切り替えたことによる圧力変化の影響(図 11 を参照)。

7 干渉

- 7.1 測定装置の精度定格は, DUT よりも優れていなければならない。測定装置は DUT よりも 4 倍優れた精度を持つことが望ましい。校正装置には有効な校正検定がなければならない。
- 7.2 試験計器の精度仕様がフルスケールのパーセントで表されており, その精度が低いパーセントに限定されているときは, 注意して使用すること。
- 7.3 ガスの流れに対する設置の影響を最小限にすべきである。
- 7.4 電気信号を DUT のコネクタ位置で直接点検し, DUT およびスタンダードでの信号が, データ記録装置での信号と一致することを確認する。
- 7.5 すべての電気測定は, 最低 4.5 桁の分解能をもつ計器で読むべきである。この計器には有効な校正検定がなければならない。
- 7.6 本試験方法の結果は, 試験システムで使用する圧力測定器の精度および繰り返し性に依存する。圧力測定器の圧力仕様範囲内に留め, MFC 評価作業の前後でその精度を点検することに注意する。
- 7.7 試験ガスの精浄度レベルは, DUT に適していなければならない。試験ガスには最低限, 試験物および計器の動作特性に影響する汚染のないことが要求される。
- 7.8 試験ガスソースおよびその供給システムは, 試験容量流量を一定圧力 ± 0.7 kPa (± 0.1 psi) で流す能力がなければならない。
- 7.9 周囲温度は, 各分析の間 $22 \pm 2^\circ\text{C}$ に保持すべきである。

8 意義および用途

- 8.1 本方法での安定度計算の意義は, ユーザが DUT に対する過渡圧力の影響を推定できるようにすることである。応用として, 本方法はガスシステムの設計および MFC の選択に影響をする検討を提供する。

9 装置

9.1 方法 A-1 および A-2 に必要な装置

- 9.1.1 入口側の試験ガスフィルタ
- 9.1.2 遮断バルブ (2 個)。
- 9.1.3 圧力トランスデューサ (2 個)。有効範囲が $0 \sim 446$ kPa ($0 \sim 50$ psig), 測定精度が $\pm 0.2\%$, 時定数が 20 msec 未満のもの。
- 9.1.4 ドームロード式圧力調整器他の, 規定された圧力過渡現象を発生できる器具。
- 9.1.5 流量標準。時定数が 20msec 未満で, フルスケールが DUT のフルスケールの 200%, 精度がフルスケールの 1%, 直線性がフルスケールの 0.5%, 解像度がフルスケールの 0.2% のもの。
- 9.1.6 データ収集システムは, 非試験装置からの電気信号を測定する。また, データ収集システムは流量標準からの信号を読み, 試験データを記録し, 試験シーケンスをコントロールする場合もある。

9.2 方法 B に必要な装置

- 9.2.1 入口側の試験ガスフィルタ。
- 9.2.2 遮断バルブ (2 個)。

9.2.3 圧力トランスデューサ。有効範囲が 0 ～ 791 kPa (0 ～ 100 psig), 測定精度が $\pm 0.1\%$, 時定数が 20 msec 未満のもの。

9.2.4 二段式圧力調整器。0 ～ 690 kPa (100 psia) の制御ができるもの。

9.2.5 流量標準。時定数が 20 msec 未満, フルスケールが DUT のフルスケールの最低 120%, 精度がフルスケールの 1%, 直線性がフルスケールの 0.5%, 解像度がフルスケールの 0.2% のもの。

9.2.6 データ収集システムは, DUT からの電気信号を測定する。また, データ収集システムは流量標準からの信号を読み, 試験データを記録し, 試験シーケンスをコントロールする場合もある。

9.3 方法 C に必要な装置

9.3.1 入口側の試験ガスフィルタ。

9.3.2 手動絞りバルブ。

9.3.3 圧力トランスデューサ。有効範囲が 0 ～ 446 kPa (0 ～ 50 psig) の範囲, 測定精度が $\pm 0.2\%$, 時定数が 20 msec 未満のもの。

9.3.4 圧力トランスデューサ, 0 ～ 101.325 kPa $\pm 1\%$ で, 時定数が 20 msec 未満のもの (1 個)。

9.3.5 遮断バルブ (2 個)。

9.3.6 隔離バルブ (1 個)。

9.3.7 絞りバルブおよび隔離バルブを備えた真空ポンプ。排気速度が最低 30 lpm のもの。

9.3.8 流量標準。時定数が 20 msec 未満, フルスケールが DUT のフルスケールの 200%, 精度がフルスケールの 1%, 直線性がフルスケールの 0.5%, 解像度がフルスケールの 0.2% のもの。

9.3.9 データ収集システムは, DUT からの電気信号を測定する。また, データ収集システムは流量標準からの信号を読み, 試験データを記録し, 試験シーケンスをコントロールする場合もある。

9.4 方法 D に必要な装置

9.4.1 圧力トランスデューサ。有効範囲が 0 ～ 446 kPa (0 ～ 50 psig), 測定精度が $\pm 0.2\%$, 時定数が 20 msec 未満のもの (2)。

9.4.2 流量標準。時定数が 20 msec 未満, フルスケールが DUT のフルスケールの 200%, 精度がフルスケールの 1%, 直線性がフルスケールの 0.5%, 解像度がフルスケールの 0.2% のもの。

9.4.3 隔離バルブ (1 個)。

9.4.4 データ収集システムは, DUT からの電気信号を測定する。また, データ収集システムは流量標準からの信号を読み, 試験データを記録し, 試験シーケンスをコントロールする場合もある。

9.4.5 時定数が 20 msec 未満の MFC, フルスケール流量が DUT のフルスケール流量の 10 倍のもの。

10 材料

10.1 供給圧 791 kPa (100 psig) で露点が -40°C の清浄な乾燥した窒素。

11 安全予防措置

11.1 本試験方法は, 危険な材料, 操作および装置を含むことがある。本試験方法は, その使用に関連した安全への配慮をしていない。本方法を使用する前に, ユーザはその責任において, 適切な安全および健康上の作業方法を確立し, 規制上の制限への適用性を判断するものである。

12 試験試料

12.1 メーカーの仕様に従って, すべての試験装置をウォームアップさせる。

12.2 ガスを切り替えるときは, テストを実施するときに DUT および流量標準に希望のガスだけが流れることが確実になるように, 必要なステップを踏むこと。

13 装置の準備

13.1 セットアップおよび図面 — 図 1, 2, 10 を参照。

13.2 方法 A および C の配管設計要求事項

13.3 試験システムは、高導電性でなければならず、また DUT の上流側で管直径の 20 倍の距離内は直線でないといけない。

13.4 システムの気体時定数は、次に示すように計算される。

$$\tau = (\text{容積} \times \text{圧力降下}) / (\text{圧力} \times \text{容積流量}) \quad (1)$$

この場合、

容積は流量標準と DUT の間で測定される

圧力降下は流量標準の前後のものである

圧力は規定容積内の圧力である

容積流量は流量標準で測定されたものである

13.5 流量標準の時定数に加算される気体時定数は、理想的には 100msec 未満にすべきであり、それより大きい場合には記録しておく。方法 C では、MV および V_{ip} 間の容積を最小にするのが望ましい。

13.6 システムは、相対的に漏れがあってはならない。すなわち、インボード漏れ率は、 $2 \times 10^{-7} \text{ atm cc/sHe}$ 以下にすべきである。

13.7 システムは、振動、衝撃およびその他この試験の結果に影響を与える可能性のある条件を避けるように支持し、隔離されていなければならない。

14 手順

14.1 入口側過渡圧力の影響(方法 A-1)

14.1.1 試験 MFC を試験装置に組み込む(図 1 を参照)。

14.1.2 メーカーの要求にしたがって MFC をウォームアップする。

14.1.3 入口側圧力(P_1)を 274 kPa (25 psig)に設定する。

14.1.4 DUT の設定値を 50% ($Q_{SP} = \frac{1}{2}Q_{FS}$)にし、QI が安定するまで待機する。

14.1.5 圧力調整器で調整して、 P_1 が 1 秒の時定数で 287 kPa (27 psig) となるステップを開始する(図 3c を参照)。

14.1.6 Q_I および Q_A が安定するまで待機する。

14.1.7 圧力調整器を使って、 P_1 が 1 秒の時定数で 274 kPa (25 psig)となるステップを開始する。

14.1.8 DUT の設定値を 100% ($Q_{SP} = Q_{FS}$)にし、安定するまで待機する。

14.1.9 ¶14.1.5 ~ ¶14.1.7 を繰り返す。

14.2 プロセス側の影響(方法 A-2)

14.2.1 試験 MFC を試験装置に組み込む(図 1 を参照)。

14.2.2 MFC を要求にしたがってウォームアップする。

14.2.3 入口側圧力(P_1)を 274 kPa (25 psig)に設定する。

14.2.4 DUT の設定値を 50% ($Q_{SP} = \frac{1}{2}Q_{FS}$)にし、QI が安定するまで待機する。

14.2.5 圧力調整器を使って、 P_1 が 356 kPa (37 psig)となるランプを開始する(図 4c のグラフを参照)。ランプ率は、1 秒当たり 0.7 kPa (0.1 psi) ~ 21.0 kPa (3 psi) の間にする。データシートに使用したランプ率を記録する。

14.2.6 Q_I および Q_A が安定するまで待機する。

14.2.7 圧力調整器を使って、¶14.2.5 のように P_1 が 274 kPa (25 psig) となるランプを開始する(図 4c のグラフを参照)。

14.2.8 ¶14.2.5 ~ ¶14.2.7 を繰り返す。

14.3 定常状態の入口側圧力の影響(方法 B)

14.3.1 DUT を試験装置に組み込む(図 1 参照)。

14.3.2 メーカーの要求にしたがって DUT をウォームアップする。

14.3.3 入口側圧力(P_1)を 205 kPa (15 psig)に設定する。

- 14.3.4 V_{io} を閉じ, DUT のコントロールバルブを開ける。
- 14.3.5 Q_R および Q_A が安定するまで待機する。 P_1 , Q_1 および Q_A を記録する(表 A1-2 を参照)。
- 14.3.6 V_{io} を開け,DUT の設定値を 50% ($Q_{SP} = \frac{1}{2}Q_{FS}$) にする。 V_{io} を閉じ, DUT のコントロールバルブを開ける。
- 14.3.7 Q_1 および Q_A が安定するまで待機する。 P_1 , Q_1 および Q_A を記録する(表 A1-2 を参照)。
- 14.3.8 DUT の設定値を 100% ($Q_{SP} = Q_{FS}$) にする。
- 14.3.9 Q_1 および Q_A が安定するまで待機する。 P_1 , Q_1 および Q_A を記録する(表 A1-2 を参照)。
- 14.3.10 入口側圧力(P_1)を 446 kPa (50 psig) に設定し, ¶14.3.4 ~ ¶14.3.9 を繰り返す。
- 14.4 出口側圧カステップ変化(方法 C)
- 14.4.1 試験 MFC を試験装置に組み込む(図 1 を参照)。
- 14.4.2 メーカーの要求にしたがって MFC をウォームアップする。
- 14.4.3 入口側圧力(P_1)を 274 kPa (25 psig) に設定する(図 9 を参照)。
- 14.4.4 DUT の設定値を 50% ($Q_{SP} = \frac{1}{2}Q_{FS}$) にする。
- 14.4.5 ポンプレートを $P_2 = 26.664$ kPa. まで絞る。
- 14.4.6 V_{io} を開き, 絞りバルブ MV を調整して $P_2 = 101.325$ kPa にする。
- 14.4.7 Q_1 を安定させる。 P_1 , Q_1 および Q_A を記録する(表 A1-3 参照)。
- 14.4.8 V_{io} を閉じる。 $P_2 = 26.664$ kPa. となるはずである。
- 14.4.9 Q_1 を安定させる。 P_1 , Q_1 および Q_A を記録する(表 A1-3 を参照)。
- 14.4.10 DUT の設定値を 100% にし, ¶14.4.5 ~ ¶14.4.9 を繰り返す。
- 14.5 クロストーク圧力の影響(方法 D)
- 14.5.1 DUT を試験装置に組み込む(図 10 を参照)。
- 14.5.2 メーカーの要求にしたがって DUT をウォームアップする。
- 14.5.3 入口側圧力(P_1)を 274 kPa (25 psig) に設定する。
- 14.5.4 DUT の設定値を 100% ($Q_{SP} = Q_{FS}$) にする。
- 14.5.5 MFC10 個の設定値を 100% ($Q_{SP} = Q_{FS}$) にする。
- 14.5.6 DUT および MFC が安定するまで待機する。
- 14.5.7 データ収集システムで, P_1 , P_2 , DUT の指示流量, MFC の指示流量, および流量標準の指示流量を連続記録する。
- 14.5.8 モニタリングしながら, MFC10 個の設定点をゼロにする。DUT が安定するまで待ってから MFC10 個の設定値を 100% にする。
- 14.5.9 グラフの例を図 11 に示す。

15 計算および結果の解釈

- 15.1 方法 A-1, A-2, B, および C に対するデータ収集と解釈についての詳細は, 付属書 1 を参照のこと。
- 15.2 計算 — MFC の指示流量出力データおよび流量標準の出力データを, 次のようにフルスケール流量のパーセントに変換する。

$$\text{フルスケール流量の\%} = \frac{\text{出力データ (v)}}{\text{フルスケール出力 (v)}} \times 100 \quad (2)$$

- 15.3 解釈 — 次のデータを集めて, 過渡圧力条件の影響として報告する。
- 15.3.1 指示流量, 実流量, および流量設定点の時間に対するグラフを作成する。
- 15.3.2 不安定継続時間。定常状態の指示流量および実流量の最大および最小偏差。実流量および指示流量の変動の全積分と共に, 正および負積分を計算する。
- 15.3.3 入口側圧力(P_1)および出口側圧力(P_2)の値