

《特集：最近の超音波流量計とその応用》

半導体製造プロセスに最適な超音波流量計

東京計装(株) 松本 匠平・石田 剛之

はじめに

ムーアの法則で提唱されるように、半導体トランジスタの集積密度は指数関数的に増加しており、集積回路の微細化が進められてきた。現在のロジック半導体の先端プロセスは5 nm (1 nmは10億分の1メートル) を切っており、製造プロセスでは僅かなゴミも許容できない。

従来のインライン形超音波流量計は、原理上可動部がなく発塵しないためクリーンであり、且つ、接液材料は耐食性の高いフッ素樹脂のPFAを使用しているため、半導体製造プロセスに最適であり、多くの半導体製造装置に使用されてきた。しかし、集積回路の微細化が進むにつれて超音波流量計にも更なるクリーン度が求められている。

この要求に答えるため、当社はPFA配管の外側に取付け可能なクランプオン形超音波流量計を開発した。本稿では、微細な半導体製造プロセスに最適なクランプオン形超音波流量計2機種 (UCL、GST) について紹介する。

1. クランプオン形超音波流量計

UCL/SFC010C、011C

1-1 製品概要

PFA配管用の超音波流量計で既設の配管に挟むだけで流量計測が可能である。配管の施工が不要なため流量計の設置や交換が容易であり、計測流体に接液しないため配管内はクリーンに保たれる。半導体製造装置等のクリーン度を要求されるプロセスに最適である。流量計の構成

としては超音波信号を検出する検出器 (UCL) と、それを流量信号に変換する変換器 (SFC010C、011C) のセットで使用する。検出器を配管に設置し、検出器と変換器を専用ケーブルで接続する事で流量計測を行う。変換器は1チャンネルタイプのSFC010C、6チャンネルタイプのSFC011Cをラインアップしている。SFC011Cでは変換器1台で最大6ラインの流量計測が可能である。

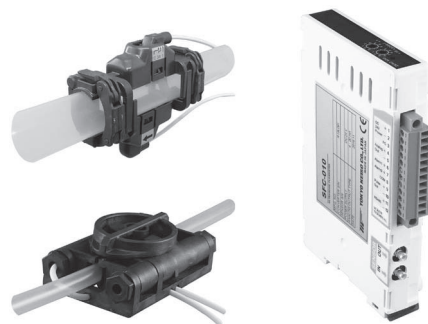


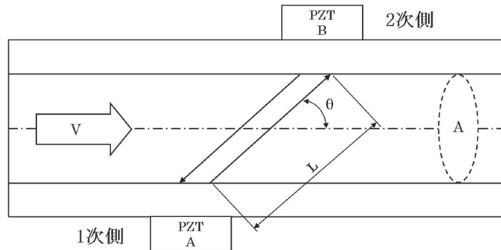
写真1 検出器 (UCL)、変換器 (SFC010C)
※検出器上段は大口径、下段は小口径タイプ



写真2 検出器 (UCL)、変換器 (SFC011C)

1-2 計測原理

PFA配管内を伝わる超音波を検出して流量計測を行う。検出器の1次側と2次側に設けられた圧電素子(PZT)により交互に超音波の送受信を行う。各々の伝播時間から時間差を検出し流量信号に変換する。



$$Q = AV$$

$$V = \frac{L}{2\cos\theta TuTd} \Delta T$$

Q	: 流量
A	: 管路断面積
V	: 流速
L	: 超音波伝播距離
Tu	: 超音波伝播時間(B→A)
Td	: 超音波伝播時間(A→B)
ΔT	: 超音波伝播時間差(Tu-Td)

第1図 UCL計測原理

1-3 製品特徴

(1) クランプオン形

配管の施工不要。既設配管への設置や交換が容易。接液しないのでクリーン。

(2) 省スペース

SFC011C 1台で最大6ラインを同時計測可能。

(3) 豊富な機能

7Seg LEDで流量、状態を表示。

瞬時流量、積算流量、アラームをアナログ、デジタルで出力可能。

RS-485通信でパラメータ設定や流量データを取得可能 (SFC011C用検出器はメモリ付のため変換器に接続するだけでパラメータを自動で設定)。

1-4 製品仕様

(1) 変換器仕様

電源電圧: DC24 V ± 10%

表示器: 4桁 (瞬時流量、状態)

アナログ出力: DC4~20 mA (標準)

デジタル出力: NPNオープンコレクタ (N.O.)

①負荷定格: DC30 V、10 mA以内

②機能 : 周波数出力 (0~1 kHz)

エラー出力

瞬時流量上下限警報

積算流量出力

積算流量上限警報

通信: RS-485 半二重通信調歩同期

Modbus Protocol、RTU mode

Baud Rate 57.6kbps

Data size 8bits

Parity Even

Stop bits 1bit

Address Switch 01~32

周囲温度: 単独: 0~45 °C、連結: 0~25 °C

周囲湿度: 30~80% RH (結露なきこと)

取付 : DINレール取付

構造 : IP20相当 (屋内仕様)

材質 : 耐熱ABS樹脂 (白)

質量 : SFC010C: 約150 g

SFC011C: 約250 g (給電端子込み)

(2) 適合規格

EMC適合規格: EN61326-1、EN61326-2-3

RoHS2対応

(3) 検出器仕様

接続 : 専用ケーブル (標準5 m)

構造 : IP64相当 (屋内仕様)

本体材質: PPS

(大口徑用クランプバンド: PP)

本体質量: 1チャンネルタイプ

小口径 約270 g (ケーブル長5 m)

大口徑 約240 g (ケーブル長5 m)

本体質量: 6チャンネルタイプ

小口径 約120 g (ケーブル長0.2 m)

大口徑 約90 g (ケーブル長0.2 m)

中継ケーブル 約350 g

(ケーブル長5 m)

(4) 流体仕様

測定対象: 液体全般 (気泡を含まない液体)

流体温度: 10~60 °C

周囲温度: 0~60 °C

流体音速：1,000～2,200 m/s
 流体動粘度：0.8～40.0 mm²/s

第1表 適合チューブ、流量範囲、精度

分類	適合チューブ	流量範囲 [L/min]	精度※1 [%R. D.]
小口径	PFA φ6 (O. D.)	0～3.0	±2
	PFA φ8 (O. D.)	0～8.0	
	PFA φ10 (O. D.)	0～8.0	
	PFA 1/4" (O. D.)	0～3.0	
	PFA 3/8" (O. D.)	0～8.0	
大口径	PFA 1/2" (O. D.)	0～20.0	
	PFA 3/4" (O. D.)	0～50.0	
	PFA 1" (O. D.)	0～80.0	

※1) 流速1 m/s以上における純水20℃での出荷校正時の精度

2. ガイド波を利用した クランプオン形超音波流量計 GST/SFC010G、011GS

2-1 製品概要

主に半導体製造装置コータ/デベロッパの各種薬液ラインの流量計測を行うクランプオン形超音波流量計である。新規装置や既設置装置の改造（無監視ラインの管理など）に使用する。

流量計の構成としては超音波信号を検出する検出器（GST）と、それを流量信号に変換する変換器（SFC010G、011GS）のセットで使用する。検出器を配管に設置し、検出器と変換器を専用ケーブルで接続する事で流量計測を行う。変換

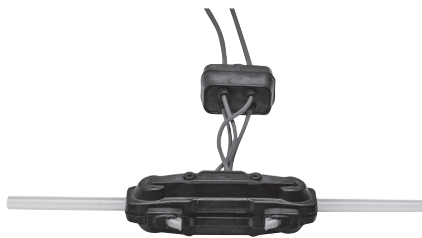


写真3 検出器 (GST)



写真4 1チャンネルタイプ変換器 (SFC010G)

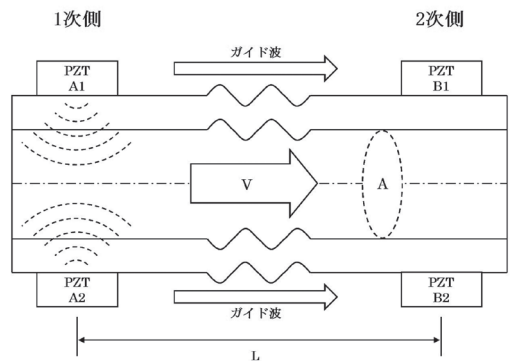


写真5 6チャンネルタイプ変換器 (SFC011GS)

器は1チャンネルタイプのSFC010G、6チャンネルタイプのSFC011GSをラインアップしている。SFC011GSでは変換器1台で最大6ラインの流量計測が可能である。

2-2 計測原理

配管表面を伝わる超音波（以下、ガイド波）を検出して流量計測を行う。検出器の1次側と2次側に設けられた圧電素子（PZT）により交互にガイド波の送受信を行う。各々の伝播時間から時間差を検出し流量信号に変換する。



※ガイド波が1次側から2次側に伝播している時の配管断面図

$$Q = AV$$

$$V = \frac{L}{2T_u T_d} \Delta T$$

Q：流量
 A：管路断面積
 V：流速
 L：ガイド波伝播距離
 T_u：ガイド波伝播時間（2次側→1次側）
 T_d：ガイド波伝播時間（1次側→2次側）
 ΔT：ガイド波伝播時間差（T_u-T_d）

第2図 GST計測原理

2-3 製品特徴

(1) クランプオン形

配管の施工不要。既設配管への設置や交換が

容易。接液しないのでクリーン。

(2) 省スペース

検出器のサイズがコンパクトなので配管が密集した箇所でも設置可能。変換器をSFC011GSにする事で変換器設置スペースも少なく済む。

(3) 検出器に熱源が無い

検出器設置による薬液への熱影響がない。

2-4 製品仕様

(1) 変換器仕様

電源電圧：DC24 V ±10%

表示器：4桁（瞬時流量、状態）

アナログ出力：DC4～20 mA（標準）

デジタル出力：NPNオープンコレクタ（N.O.）

①負荷定格：DC30 V、10 mA以内

②機能：周波数出力（0～1 kHz）

エラー出力

瞬時流量上下限警報

積算流量出力

積算流量上限警報

通信：RS-485 半二重通信調歩同期

Modbus Protocol、RTU mode

Baud Rate 115.2kbps

Data size 8bits

Parity Even

Stop bits 1bit

Address Switch 01～32

周囲温度：0～25℃

周囲湿度：30～80% RH（結露なきこと）

取付：DINレール取付

構造：IP20相当（屋内仕様）

材質：耐熱ABS樹脂（白）

質量：SFC010G 約150 g

SFC011GS 約250 g

（給電端子込み）

(2) 適合規格

EMC適合規格：EN61326-1、EN61326-2-3

RoHS2対応

(3) 検出器仕様

接続：専用ケーブル（標準5 m）

構造：IP20相当（屋内仕様）

材質：PPS GF（30%）

質量：約130 g

(4) 流体仕様

測定対象：純水、フォトレジスト、Low-K材、シンナーなど（気泡を含まない液体）

流体温度：常温（±0.5℃）

周囲温度：常温（±0.5℃）

第2表 適合チューブ・流量範囲・精度

適合チューブ	流量範囲 [L/min]	精度※1 [%R. D.]
PFA 1/8" (O. D.)	0～0.5	±2
PFA 1/4" (O. D.)	0～2.0	
PFA φ4 (O. D.)	0～0.5	
PFA φ5 (O. D.)	0～2.0	
PFA φ6 (O. D.)	0～2.0	

※1 純水20℃における出荷校正時の精度
流量0.8 L/min以下は±0.016 L/min

おわりに

今後、半導体製造装置に使用される流量計はクリーン度のさらなる要求からクランプオン形に置き換わっていく事が予想される。当社では長きにわたり半導体製造装置向けの超音波流量計を開発してきた。そのノウハウを基に今回ご紹介したクランプオン形超音波流量計を開発した。流量計選定の際に検討頂きたい。

今後、5Gへの移行や自動車の自動運転化に半導体がさらに必要とされる中、半導体市場発展に貢献すべく、当社はこれからもユーザーの要求にいち早く対応できる製品を開発する所存である。

【筆者紹介】

松本匠平

東京計装(株) 超音波流量計技術部 課長

石田剛之

東京計装(株) 超音波流量計技術部 課長