

# Product Introduction

新製品紹介

## 静電容量型真空計の開発

Development of Capacitance Diaphragm Gauge

### 岸田 創太郎

Sotaro KISHIDA

半導体やFPD (Flat Panel Display), 太陽電池, LED (Light Emitting Diode) などの製作に用いられる製膜プロセスやエッチングプロセスでは, 様々なガスが用いられるとともに, プロセス圧力は製品品質に大きな影響を与えるため, ガス依存性がなく耐食性に優れた高精度の真空計が必要とされる。我々はこのような要求に応えるため, 静電容量型の隔膜真空計である「VG-200シリーズ」の開発を行い, その性能を評価した結果, 非常に優れた再現性と安定性を確認することができた。ここではVG-200の製品特徴と性能評価結果の詳細について報告する。

In the deposition process or an etching process that made to be used for the fabrication of LEDs, semiconductors, FPDs and solar cells, various gases are used and the process pressure gives large effect on product quality, so the excellent corrosion resistance, and without gas dependent, and high accuracy are required to vacuum gauge. To provide solutions to these requests, HORIBA STEC has developed the Capacitance Diaphragm Gauge “VG-200 Series”, and the results of the performance evaluation were superior reproducibility and long term stability. Here, we describe the product features and performance evaluation results of the VG-200.

### はじめに

近年あらゆる産業において製造プロセス中の圧力を測定・管理することは, 製品品質を維持管理するうえで非常に重要な事柄となってきた。例えば半導体の製造においては, 低真空領域でわずかな圧力の変化をコントロールすることが必要なプロセスがあり, 真空計に対しても微少な圧力変化を精度よく測定できることが求められている。また, 再生可能エネルギー・ディスプレイ・MEMSなどの産業においても真空を利用した製品製造プロセスが用いられることがあり, これらのような幅広い産業で真空計は用いられている。これらのことから今後ますます高精度で安定した真空計測の重要度が増すことは明らかである。

当社はこれらの市場の要望に応えるべく, センサ構造と信号処理アルゴリズムを独自開発し, また社内での精密溶接の製造技術開発を行うことによって, 自己温調タイプで小型・高精度の静電容量型真空計「VG-200シリーズ」の開発に成功したので紹介する。

### 静電容量型真空計の測定原理

静電容量型真空計(キャパシタンスマノメータ)の測定原理 (Figure 1)を説明する。

センサボディはダイアフラムによって基準室と測定室に分けられ, 基準室内には固定された電極が設置されており, ゲッター材<sup>\*1</sup>によって真空中に維持されている。一方で測定室の圧力が変化することによってダイアフラムがたわみ,

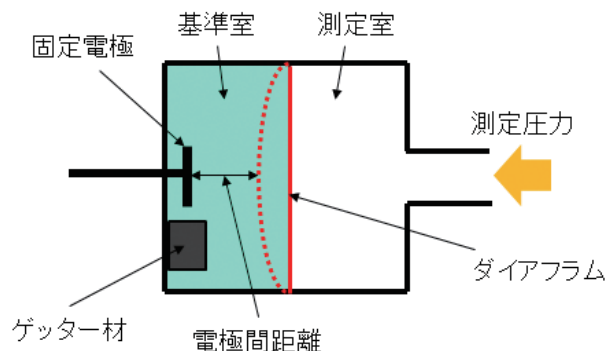


Figure 1 Diagram of Capacitance Diaphragm Gauge

電極とダイアフラムの距離が変化することによって、これらの間に発生する静電容量も変化する。この静電容量の変化を計測し圧力値に換算することによって、測定室内の圧力値を知ることができる。また、ダイアフラムに受ける力(圧力)をそのまま直接出力に変換できることから、性能のガス種による依存性がなく精度のよい圧力測定を行うことができる。

\*1: ゲッター材: 余分なガスを吸着して真空度を維持する材料

## VG-200シリーズの特徴

### 製品仕様

VG-200シリーズの製品外観と製品仕様をFigure 2とTable 1にそれぞれ示す。



Figure 2 Appearance of VG-200 series

Table 1 Specification of VG-200 series

Model	VG-200
測定圧力レンジ	10, 100, 1000 Torr
センサ温調温度	55°C/100°C
精度	0.25%R.S.
ゼロ温度係数	0.0025%F.S./°C
スパン温度係数	0.02%R.S./°C
使用環境温度範囲	10°C to 45°C (55°C) 10°C to 50°C (100°C)
暖機時間	60 min (55°C) 120 min (100°C)
保証耐圧力	350 kPa (A)
出力	Analog 0-10 V >10 kΩ load
電源	±15 VDC ±5% or 24VDC±5% @0.6 Amax

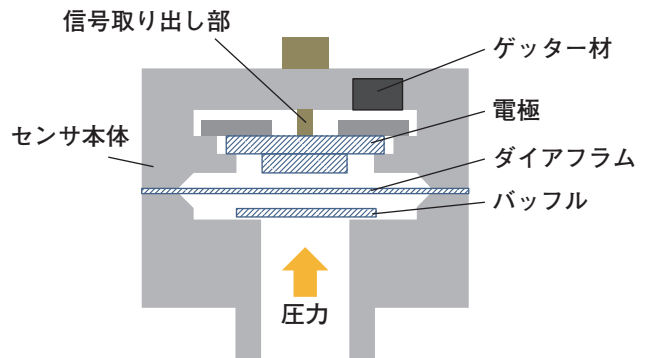


Figure 3 Cross section view of sensor package

自己温調タイプの静電容量型真空計としては小型でありながら、高精度、高分解能を達成している。また生産工程も自動化されており、製品のバラつきも小さく安定した生産体制を確立することができた。

### センサ構造

VG-200シリーズのセンサ構造(Figure 3)について説明する。

電極は直接センサボディーに接合される構造ではなく、電極全体に常に同じ方向に一定の力が加わる方法でセンサボディーに固定される構造となっている。このような独自開発の電極構造を採用することによって、電源投入後の温調開始時などの大きな温度変化が起こった時などに発生する熱応力の影響を最小限に抑えることができ、優れた安定性を実現している。

またダイアフラムの材料として耐食性に優れたNi合金を用いることによって、腐食ガスにも強く過酷な環境でも安定した出力を得ることができる。

### 精密溶接技術

静電容量型の真空計ではわずかな圧力を検知するため、金属ダイアフラムの厚みは100 μm以下の非常に薄いものとなっている。このような薄膜金属ダイアフラムの溶接においては、溶接入熱の影響によりダイアフラムに不均一な応力を与えないために、精密にコントロールされた溶接技術が必要となってくる。当社は数年前から半導体レーザー溶接の技術を導入し、マスフローコントローラへ搭載できる小型・高性能の静電容量型の圧力センサの量産を行っていることもあり、その技術を応用することによって、このような精密溶接技術を確立することができた。

### 信号処理技術

一般的に用いられる同期復調回路(synchronous demodulator)の構成では、検出コンデンサにかかる分圧をオペアンプ(初段アンプ)により検出する事を行っている

が、この方法では環境影響や電源電圧変動により、反転回路と非反転回路の間に位相や電位にずれが発生し、測定誤差が生じてしまうという問題が潜在的に在る。当社では上記内容の問題点を独自の回路を実装する事で解決している。この回路ではセンサからの出力パルスと位相同期させたサンプリング回路を用いることで常に同位相でパルス振幅を読み取る構成とし、アナログ演算時に発生する測定誤差の要因を低減、外乱影響が軽減できたことから高分解能化を達成している。また、この回路は従来からの問題の根幹となる電気回路の反転・非反転回路を取り除いた回路とすることを前提で構成を変更し、基板の面積の小型化にも成功した。

### 電源仕様

VG-200のインターフェースピンアサインをTable 2に示す。

Table 2 Interface pin assignment of VG-200 series

ピンNo.	信号
1	Re Zero入力(+)
2	圧力出力信号 0~10 VDC/0~F.S.圧力 (負荷抵抗10 kΩ以上)
3	Re Zero入力(-)
4	NPNオープンコレクタ出力(暖気ステータス) 暖機完了時にオープンコレクタON
5	電源コモン
6	電源入力 -15 VDC *1)
7	電源入力 +15 VDC/+24 VDC
8	セットポイントリレー1 ノーマルクローズ
9	セットポイントリレー1 ノーマルオープン
10	セットポイントリレー1 コモン
11	セットポイントリレー2 ノーマルクローズ
12	圧力出力信号 コモン
13	セットポイントリレー2 ノーマルオープン
14	セットポイントリレー2 コモン
15	未使用(本機では何も接続しないでください)

\*1) 単電源24 Vをご使用の際は、6pinには何も接続しないでください。

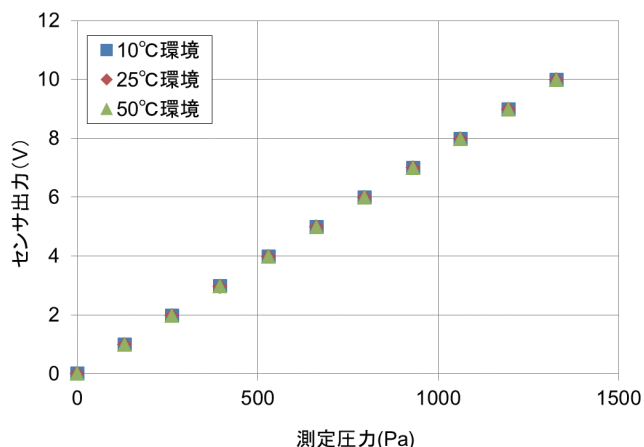


Figure 4 Ambient temperature characteristics

VG-200は±15 VDCだけでなく24 VDCの電源供給でも動作するように設計されており、幅広い産業の真空装置からの電源に対して用いることができるようになっている。

### ゼロ調整機能

ゼロ調整の方法としては本体上面のゼロ調整スイッチを押下するほかに、専用ソフトウェアによるゼロ調整と、インターフェース上のピン間の接続により行う方法があり、直接的でも遠隔でもゼロ調整ができるようになっている。

### セットポイントリレー

VG-200は2点の独立したリレー機能を標準で搭載している。また、それぞれのリレーとしてa接点とb接点を選択できるうえに、上限閾値の設定と下限閾値の設定が個別にできるようになっている。ユーザーは専用ソフトウェアで自由に閾値を設定することができ、様々なイベント設定に対応できるものとなっている。

### 評価結果

#### 圧力出力特性と温度特性

測定レンジが1.3 kPa (abs)、温調温度が100℃仕様のセンサの出力の環境温度依存性をFigure 4に示す。

この仕様のセンサの使用環境温度範囲は10℃～50℃であり、この温度の範囲内においてほとんど温度影響を受けず、安定した結果であることが確認できた。

#### ゼロ点安定性

約100日間のゼロ点安定性の測定結果をFigure 5に示す。長期間にわたって出力が安定していることが確認できた。

#### 繰り返し再現性と過大圧再現性

真空と大気圧を10000回繰り返し印加した時の出力安定性をFigure 6に、過大な圧力(350 kPa (abs))を1時間印加し続けた時の出力安定性をFigure 7にそれぞれ示す。

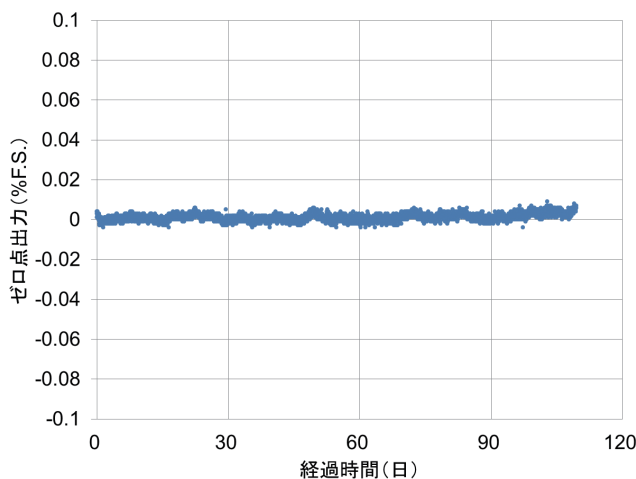


Figure 5 Long term Zero stability

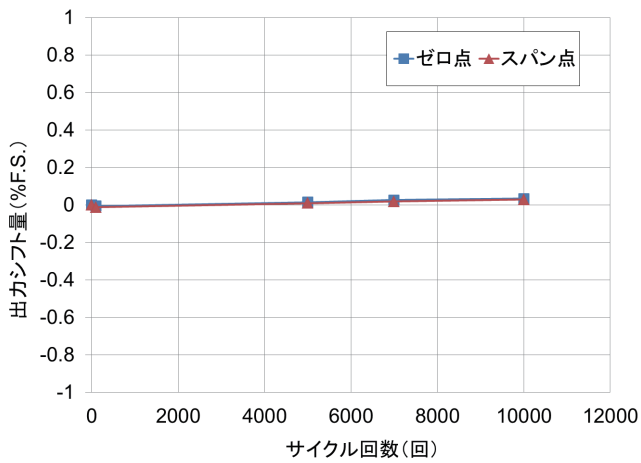


Figure 6 Test result of pressure cycle

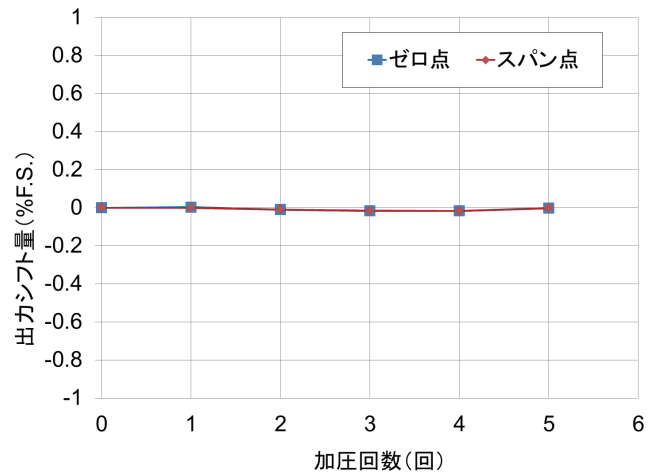


Figure 7 Test result of proof pressure

機械的特性に優れた金属ダイアフラムを用いることによって、センサに過大な圧力が加わった場合でも出力シフトを最小限に抑えることができ、また繰り返し大気暴露された場合も出力シフトが非常に小さいことが確認できた。

## おわりに

当社では独自開発の技術を用いて、小型・高精度で優れた耐食性を有したオールメタル構造の静電容量型真空計の開発に成功した。今後は更に低い圧力の測定、高感度な測定、高温プロセスの測定が出来るような真空計の開発を進めていきたい。

堀場エステックは流体制御機器のトップサプライヤーの一員として、主に半導体製造装置市場に対してマスフローコントローラの販売を行ってきた。今回開発した真空計をはじめとして、プロセスチャンバを制御する製品群の幅を広げていき、多種多様な顧客要求に対してソリューションを提供することにより、世の中の発展に貢献していきたいと考えている。

## 参考文献

- [1] Larry K. Baxter : CAPACITIVE SENSORS,IEEE Press, 1997.
- [2] 畑板剛久, *Readout*, 10, 36(2010).



岸田 創太郎

Sotaro KISHIDA

株式会社 堀場エステック  
開発本部 開発設計 2部  
Development Design Dept. 2  
HORIBA STEC, Co., Ltd.