

静電容量型ダイアフラム真空計 VGシリーズ

安河内 悟

要旨

エステックでは、2003年3月より、半導体製造プロセスや各種真空装置の圧力制御技術を総合的に提供可能にするため、アメリカFerran Scientific Inc.と提携し、静電容量型ダイアフラム真空計(Capacitance Diaphragm Gauge) VGシリーズの生産、販売を開始した。本稿では、今後HORIBAグループの半導体ビジネスにおいて、キーコンポーネントとなるVGシリーズについて、その計測原理から特徴的な生産技術、製品紹介を中心とした構成で述べる。

1 はじめに

現代において、真空を利用する技術は数多く存在している。代表的なところでは、化学、薬品、食品工業、金属加工に代表される材料加工分野や蒸着、スパッタ、ドライエッチングに代表される薄膜製造分野を挙げることができる。

各種真空計は、それら多岐に渡るプロセス中で重要な役割を担っている。半導体プロセスにおいては、「真空の質」と「真空度」の管理が薄膜の品質に直接繋がるファクタとして、特に重要視される。エステックは、それらのファクタを計測するためのツールとして、残留ガス分析計(Residual Gas Analyzer:RGA)と静電容量型ダイアフラム真空計(Capacitance Diaphragm Gauge:CDG)を市場に投入する。

本稿では、真空度測定ツールCDGについて紹介する。

2 真空計の分類

「真空」域の圧力計測が行われたのは、トリチェリが自ら発明した水銀気圧計を用いた1643年のことであり、当時は気圧の変化を計測できる程度であった。以来、1654年ドイツのフォン・ゲーリケによる「マグデブルグの半球」による実験を経て、産業の発展と共に数多くの研究者がさまざまな原理の真空計を発明し、現在では大気圧からおよそ $10^5 \sim 10^{-11}$ Pa)に及ぶ広い圧力範囲を測定することができるようになっている。

これまでに発明された真空計は、全圧真空計と分圧真空計に分けることができ、RGAは分圧真空計、CDGは全圧真空計に分類される。更に、全圧真空計は、測定原理か

ら気体分子の「力」を直接測る絶対圧計測型、気体分子の密度に依存した「量」を測る分子密度型のグループに大別することができる。

前者の絶対圧計測型が、低真空(10^2 Pa以上)から中真空($10^2 \sim 10^{-1}$ Pa)までの圧力をそのまま力に換算できる比較的高い圧力域で用いられるのに対し、後者の分子密度型はガス分子をイオン化するなどして、電流値として感知しなければ計測できないような超高真空($10^{-5} \sim 10^{-8}$ Pa)、極高真空($10^{-8} \sim 10^{-9}$ Pa以下)域で用いられる。

CDGは、上記の分類では全圧真空計の絶対圧計測型に該当する。ダイアフラムを介して力を直接計測する構造であることから、被測定ガスの種類に関係なく「真空度」を測定できる。そのため、複数のガスが存在する半導体プロセス環境下において、「真空度」の制御・管理を目的として幅広く使用されている。

3 CDGの原理

3.1 電極の構造と静電容量

薄い金属膜のダイアフラムが、微小な圧力変化に対応して弾性変形する。この変位量を静電容量の変化として圧力(全圧)に換算するものがCDGである。図1にCDG内部簡略図を示す。

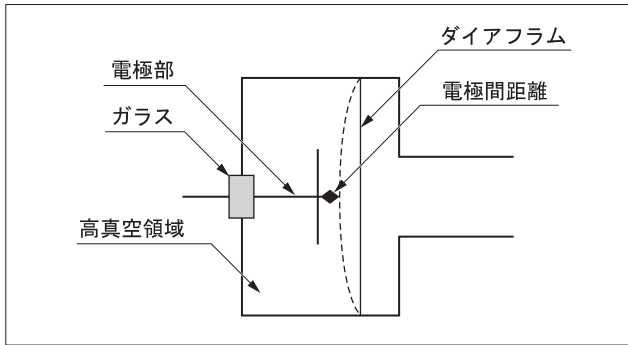


図1 CDG内部簡略図

圧力に換算される静電容量は、電極部の面積 S に比例し、電極部とダイアフラムの距離 d に反比例するという性質がある。関係式を式(1)に示す。

$$C = \epsilon S / d \quad \text{----- (1)}$$

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$$

C : 静電容量 (pF)

ϵ_r : 比誘電率

ϵ_0 : 真空誘電率 (8.85 pF/m)

d : 電極間距離 (m)

S : 電極面積 (m²)

CDGの金属膜は、被測定領域圧力の真空度が高くなるほど、厚みを数十 μ mまで薄くし圧力変化に対する感度を上げる必要がある。しかし、あまりに薄くし過ぎると膜が塑性変形を起こしてしまう恐れがある。そのため、各測定レンジ別に適切な膜を選定する必要がある。膜の内側(CDG内部)は高真空に保持され、CDGのリファレンス圧力となる。

この高真空を維持するために、ガラス封じ(ハーメチックシール)技術やゲッター技術を採用している。ガラス封じは、ガラスを作業温度*1まで加熱溶融し、金属材料と接合する技術で、古くから利用されている技術であるが、接合する各 부품の線膨張係数の違いを緩和させる役割も担っている。ゲッター材は、CDG内部に残っている残留ガスや材料から放出される特定のガスを吸収する化学的な真空ポンプの役割を果たし、ガラス封じ後のリファレンス圧力を維持する。

*1 ガラスの成形に適した温度

3.2 ダイアフラム部の変位

図2のように円形ダイアフラムがその端を固定され、上から一様な圧力を受けている場合、変位(たわみ)の最大となる位置は円の中心で、その値 W は、以下の式で表すことができる。

$$W = 3Pa^4(1 - \nu^2) / (16Eh^2) \quad \text{----- (2)}$$

P : 圧力

a : ダイアフラムの半径

h : ダイアフラムの厚み

ν : ダイアフラムのポアソン比

E : ダイアフラムの縦弾性係数

但し、式(2)が成り立つ範囲には制限があり、膜の厚みと密接な関係がある。

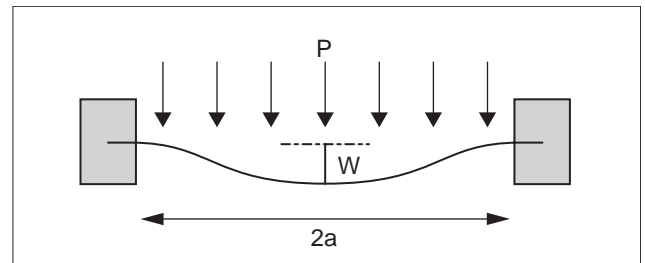


図2 ダイアフラム断面

前述した塑性変形が発生すると、ある圧力 P に対する W の変位量が変化することを意味しており、CDGのゼロ点及びスパンの変動として現れ不具合の原因となるため注意が必要である。

4 静電容量型ダイアフラム真空計 VGシリーズ

4.1 主な特徴

VGシリーズの主な特徴は以下の通りである。

- (1) 耐食・耐熱性に優れたメタルダイアフラム構造(材質:インコネル)により、各種プロセスガスの計測が可能。
- (2) 各測定ポイントでリーディングスケールによる精度保証(高精度)。
- (3) $1.3332 \times 10^2 \sim 1.3332 \times 10^5$ Pa (1~1000 torr)までのすべてのレンジを超小型形状で計測可能。

(4) 力を直接計測する構造のため、基準真空計に対して校正することで気体の種類によらない絶対圧を計測可能。

4.2 主な用途

VGシリーズの用途は以下の通りである。

- (1) 半導体・液晶製造プロセスの圧力モニタ
- (2) 真空熱処理, 真空乾燥プロセス等の圧力モニタ
- (3) 真空封入等の圧力モニタ
- (4) 注入装置の圧力モニタ
- (5) 蒸着装置の圧力モニタ

その他、各種真空装置の圧力モニタに使用可能である。

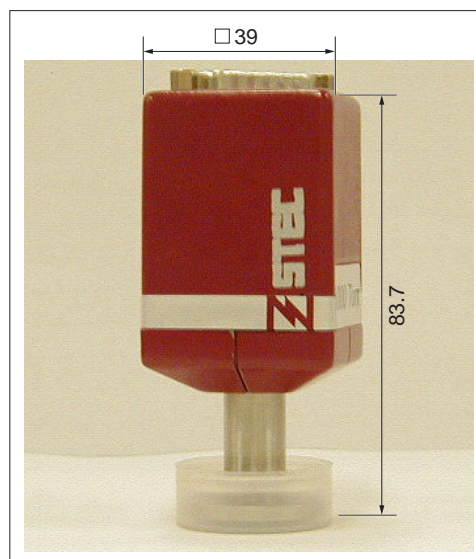


図3 VGシリーズ外観と寸法

4.3 VGシリーズ仕様

VGシリーズの外観と寸法を図3に、仕様を表1に示す。

表1 VGシリーズ仕様

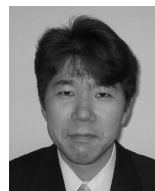
型式	VG-1A	VG-10A	VG-100A	VG-1000A
F.S.レンジ	1.3332×10^2 Pa (1 torr)	1.3332×10^3 Pa (10 torr)	1.3332×10^4 Pa (100 torr)	1.3332×10^5 Pa (1000 torr)
精度	± 0.5 % R.S. ± 0.1 % F.S.			
ゼロ温度係数 (%F.S./°C)	0.05	0.01	0.005	0.005
スパン温度係数 (%Rdg/°C)	0.02	0.02	0.015	0.015
分解能 (%F.S.)	0.005 以下			
接ガス部容量	3.5 cc程度			
応答時間 (ms)	50 ms			
周囲温度	10-50 °C			
加圧限界	2.6664×10^5 Pa			
接ガス部材質	Inconel / SUS316			
信号取り合い	D-sub15Pin			
入力電源	DC ± 15 V ± 10 %			
出力	DC 0 - 10 V			
継手	NW-16 / CF φ 34 / 1/2VCR / 1/4VCR			

5 おわりに

半導体プロセスにおいて、真空技術は欠かせないものである。CDGは、計測部と接ガス部が完全に隔離された構造を有するため、プロセス雰囲気下では、汎用の真空計として管理しやすく、特に、低真空プロセスや半導体以外の製造装置(真空化学装置等)において、幅広い需要と実績を持っている。

今回、紹介したCDGは、各部に溶接構造を採用したことにより、部品点数の削減及び省スペース化(他社、従来製品との容積比 約1/2)を実現した。価格面においても、従来型がOリングを用いた組立構造で比較的高額になっていることに対し、コストパフォーマンスの高い製品に仕上がっていると考えている。

今後、流量制御機器MFC、残留ガス分析計RGAと共に、コストパフォーマンスの高さで、多様化する顧客ニーズの満足を得られるものと期待している。



安河内 悟

Satoru Yasukohchi

株式会社エステック
VEGA プロジェクト推進室