

第10回 日本真空工業会表彰

# 陰極加熱型マグネトロン冷陰極真空計 (Cold Cathode Tough Gauge : CCTG) (イノベーション賞)

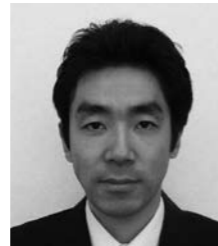
株式会社アンペール

真空技術センター 主任研究員

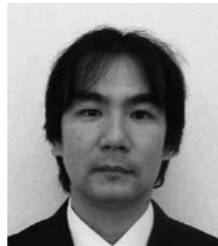
渡辺 励起

真空技術センター 開発・設計担当

野崎 建彦



渡辺 励起 氏



野崎 建彦 氏

## 1. 開発製品の概要

産業上の様々な製造プロセスにおける圧力計測には、電離真空計が多く用いられている。しかし、従来の電離真空計は、プロセス中に使用されるガスからの影響を受け、不具合が生じ易く信頼性に問題があった。

(株アンペールでは、平成19年度から20年度にかけ、経済産業省の委託研究(サポートインダストリー)による支援を受け、有限会社真空実験室と共同で、過酷な環境でも使用可能な冷陰極電離真空計CCTGの開発を行った。

CCTGは特にハロゲン系のガスからの汚染や腐食に強く、耐久試験で従来の真空計(電離真空計)に比較して10倍以上の耐久性が確認できた。



図1 CCTG-100S

さらにCCTGは低漏洩磁束、超高真空までのワイドレンジ計測、スタート性の向上などの特長を持ち、実用冷陰極真空計の信頼性を大きく向上させた。

## 2. 開発の狙い

電離真空計は大きく分けて熱陰極型と冷陰極型の2種類がある。CCTGは冷陰極型電離真空計である。冷陰極真空計は、熱陰極フィラメントがないため大気突入などでフィラメントが焼き切れる心配が無く、また回路も簡単であるため、産業用に大量に使われて来た。しかし、冷陰極真空計には次のような欠点がある。

1. 測定精度・信頼性が熱陰極真空計に比べ劣る。
2. 放電開始と同時に放電が維持された状態でないと計測不可能である。放電が停止した状態では、極端に低い圧力を示す。
3. 汚れると徐々に感度が落ち、実際よりも低い値を示す。

実用上、2、3、は大きな問題である。ほとんどの用途で真空計は測定したい箇所に1台しか取り付け無いため、使用者は真空計のエラーに気づき難い。また、感度の低下や放電開始・持続の信号は、電気回路側にフィードバックされないため真空計は自分自身でエラーを検出できないのである。さらに悪いことに、汚染を受けた真空計は実際よりも低い圧力を示す傾向があるため、到達圧の確認などで「圧力が低いこと」を条件にプロセス開始の判断をする場合、安全対策が行いにくく、トラブルを起こし易い。このため、冷陰極真空計の指示値は「あくまで目安」として扱われて来た。

上記の問題は製造プロセス中に使われるガス(原料ガス、加工ガス、洗浄ガス)圧を計測する際、真空計内部の電極が汚染、あるいは腐食されるために生じる。原理的に放電現象を利用するため、前述したガスのイオンが陰極に高いエネルギーで衝突し、陰極表面は常時スパッタされるためケース内壁なども汚れ易い。冷陰極真空計はプロセスガスを直接計測しない場合も多いが、残留ガスからのダメージがしばしば問題になる。

このような冷陰極真空計の信頼性に関する欠点を解決するため、我々は陰極を300~900℃に加熱しながら圧力計測することを考えた(特許4568321)。加熱することで陰極表面を清浄に保ち、放電の開始と維持を安定化させる。さらに、陰極材料に耐腐食性の高い電気伝導性セラミックスを用いることでスパッタによる影響を少なくすることを考えた。

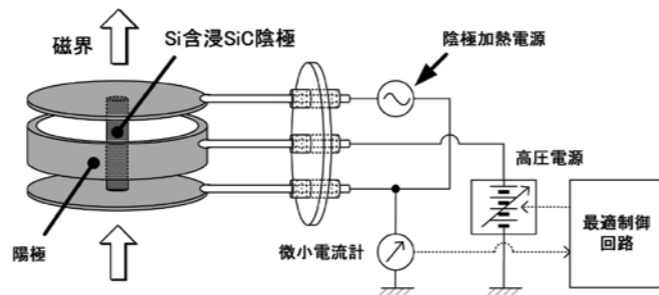


図2 CCTGの概念図

## 3. 苦労した点

### 3.1 マグネトロン型の採用

研究の初期段階では市場に流通しているペニング型冷陰極真空計で開発を進めた。しかし、評価試験を行ったところ、ペニング型CCTGは汚染に対する耐久性はあるものの、汚染が進行すると電極の表面が黒色化し陰極温度が安定しないという別の問題があることがわかった。即ち黒体放射で加熱エネルギーが失われ、時間が経つにつれ非常に大きな加熱電力を必要としてしまうのである。

そこで、陰極の表面積を減らし、黒色化しても少ない電力で陰極が加熱できるマグネトロン型に電極構造を変更した。

マグネトロン型の冷陰極真空計はペニング型や逆マグネトロン型と異なり、実用化された実績が殆ど無く研究報告例も少ないため採用には多

少躊躇したが、問題を解決するため思い切って方向転換をした。

この転換により、電極構成や陰極のセラミックス化が容易になり、真空計としての直線性や測定帯域も大きく向上した。

### 3.2 Si-SiC 陰極とバイアス最適制御電源回路の開発

しかし、正マグネトロン型は、ペニング型や逆マグネトロン型に比較し、イオン衝撃が電極の一部に集中するため、陰極がやせ細るといった新たな問題が発生した。

そこで、スパッタされにくい材料としてSi含浸SiCを陰極材料に採用し、さらに高い圧力では自動的に放電電圧を連続的に下げてスパッタ量を減らす「バイアス電圧最適制御回路」(特許出願中)を考案した。この回路はスパッタイオンエネルギーを最大値の1/20まで軽減できる他、測定範囲の広帯域化、測定精度の向上など多くの波及効果を生んだ。

### 3.3 CF4ガスをを用いたCCTGの耐腐食性・耐汚染性の試験

本試験は、市販の熱陰極電離真空計及び冷陰極電離真空計とCCTGを比較する形式で行った。試験体真空計は汚染・腐食耐久試験真空排気装置に放射状に取り付け、中央部から汚染・腐食ガス(CF4+O2混合ガス1:1)を均一に拡散させた。ガス圧力0.01Paで一定に制御し約100日間継続した。

図3は、約10日毎に校正した基準真空計に対する試験体真空計の感度変化(O2環境下での試験体の指示値/基準真空計の表示値)である。(基準真空計は汚染・腐食ガスに触れないようバルブで切り離し、校正時だけオープン。)

最初に、不具合が生じた試験体は熱陰極真空計である。実験開始後5日目にフィラメントが断線し計測不能になった。

次に顕著な感度変化が生じたのはペニング型真空計である。5日を過

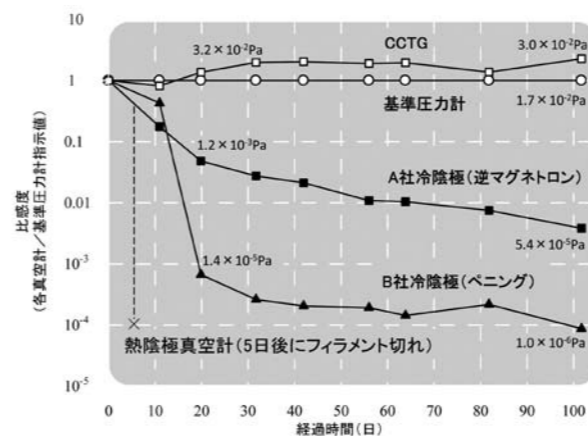


図3 CF4+O2混合ガス連続計測におけるCCTGと市販真空計の標準真空計に対する比感度の推移

ぎると約1桁低い値を表示するようになり、14日目で極端に低い値を示した。

逆マグネトロン型真空計は比較的感度の低下が緩やかであったが、徐々に感度が低下し10日目には使用できない状態になった。

本事業のCCTGは、100日間経過した後も実験開始時と変わらない表示を示し、感度の低下が起こらない。市販の冷陰極真空計と比較して10倍以上の耐汚染・耐腐食性があることがわかった。

### 3.4 加速器や分析装置などにも適用可能

CCTGは $1 \times 10^{-8}$ Paまでの超高真空までのワイドレンジ計測が可能である。漏洩磁束も小さく、2重同軸線を用いずに安定な微小電流計測が可能であるため、ロングケーブル化し易いなどの特長がある。これにより産業用だけでなく、加速器や分析装置などにも適用できる製品である。

## 4. メンバー紹介

渡辺 励起: 真空技術センター(茨城県土浦市)勤務。主任研究員。半導体製造装置開発などを経て、平成18年度より真空計の開発に従事。主にCCTGの真空測定子(センサ)の開発・設計を担当。

野崎 建彦: 真空技術センター(茨城県土浦市)勤務。産業機器向け基板開発などに携わり、平成17年から真空計の開発に従事。主にCCTGの制御回路の開発・設計を担当。

## 5. 結語

汚染・腐食性ガス下での真空圧力計測は、長年にわたり膜圧真空計で行うしかなかった。電離真空計は汚染の可能性が無いクリーン環境下で使うことが常識であった。

冷陰極真空計はペニングが発明してから約半世紀が経過しているが、現在でも当時の設計とほとんど変わらない構造である。この点からして、発明から現在に到るまで著しい進歩があったとは言い難い。

現代社会において、産業における真空計の役割は、次第に「真空中に導入されるプロセスガスまたはその残留ガスを測る」ことが求められるようになり、冷陰極真空計が発明された当初とは状況が大きく異なってきている。我々はこの点に着目し、現在の産業界で必要とされる冷陰極真空計の開発に、新たな視点で取り組んだ。

本CCTGに先立って弊社では熱陰極型の耐汚染真空計として「タフゲージシリーズ」を開発販売していた。この実績と経験が冷陰極型の開発に役立ったことは言うまでもない。

我々の開発した新しい製品が産業や研究開発の現場で多く活用され、真空計の汚染防止や信頼性の高い計測技術の向上に役立てていただければ幸いである。