

通電性能 200Arms を超える真空可変コンデンサ (VVC) の開発

村山翔哉 Shoya Murayama
下川琢也 Takuya Shimokawa
錦織祐市 Yuichi Nishikiori
巽 敏規 Toshinori Tatsumi

キーワード 真空可変コンデンサ, 大電流, 高耐電圧

概要



VP115タイプ

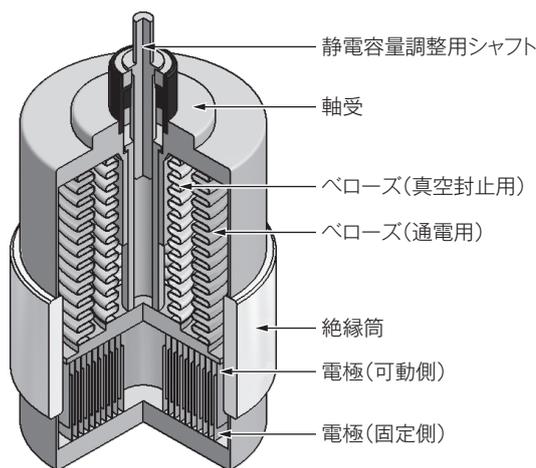
真空可変コンデンサ (VVC) は、主に高周波 (RF) プラズマを使った薄膜プロセスに必要な RF 電源回路のインピーダンス整合に用いられる。

半導体製造では、微細化に並び高積層化が進展の一途をたどり、RF 電源回路は高出力化し、VVC には更なる大電流化が求められている。VP115タイプは大電流化の要となる通電ベローズについて、新素材の適用による低損失化及び冷却効率の向上を図ることで、従来製品の大きさを踏襲しつつ、最大許容電流値の大電流化を実現した。

1 まえがき

第 1 図に真空可変コンデンサ (VVC) の構造を示す。VVC は、電極間を絶縁する絶縁筒、静電容量を形成する対向した一対の電極、電極を真空内に配置するための真空封止用ベローズ、電極の対向面積を可変させるための静電容量調整用シャフトで構成される⁽¹⁾。また、大電流 VVC は当社独自の二重ベローズ構造を採用し、真空封止用とは別に通電用の大口径・低損失ベローズを配置することで大電流化を実現している。

当社は通電用ベローズの素材や形状、冷却方式に着目し、更なる大電流化に向けた開発を行い、2022 年までに現行製品 (VP110タイプ) と同等の大きさのまま、許容電流 170Arms (at 13.56MHz 空冷) を超える、許容電流 250Arms (at 13.56MHz 水冷) を最大とする三製品群を開発した。本稿では、通電用



第 1 図 VVC 構造

真空を保持する真空封止用ベローズと通電用ベローズの二重ベローズ構造を示す (当社独自の構造)。高周波用途では、表皮効果によって電流は通電用ベローズに流れる。

ベローズの低損失化及び冷却効率向上による大電流化の取り組みを紹介する。

2 大電流 VVC 需要の背景

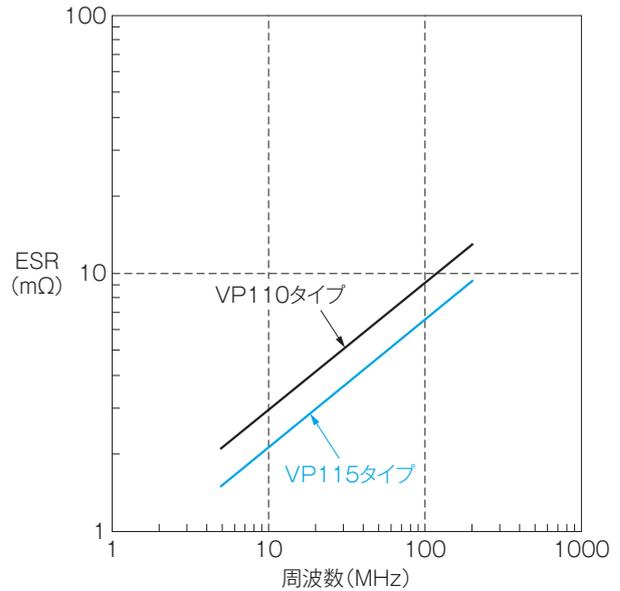
近年、半導体は更なる高機能化・省エネ化が求められる、半導体製造では微細化と並んで高積層化が進んでいる。例えば、フラッシュメモリの3D NANDで代表されるメモリセルの多層化の技術革新では、よりアスペクト比の高い深堀を実現するために、13.56MHzよりも高い周波数の高周波（RF）電源・整合器の需要が高まり、VVCでも大電流化・高耐電圧化が要求される。一方で、RF電源機器・整合器や製造装置のフットプリントにも限りがあることから、VVCには、形状を維持しつつ大電流化することが要求される。当社では、VP110タイプの大きさを踏襲しつつ、最大値（許容電流170Arms）を超える許容電流250ArmsのVP115タイプを開発した。当社は、大電流化かつ小形化に向けた市場要求に沿った製品を提案している。

3 大電流化の取り組み

VVCの開発で、主な課題は通電用ベローズにある。VVCの最大許容電流は最大電流通電時のVVC本体の表面温度が125℃（室温25℃のときΔ100℃）以下で連続通電ができる電流値としている。大電流化の実現には、より発熱や損失の少ないベローズが求められる。VVC通電時の発熱を次式に定める。

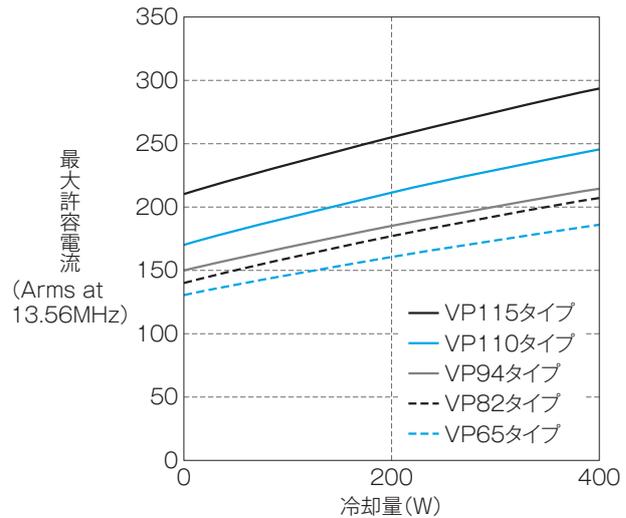
$$P_{loss} = (ESR_f + R_c) (I_{RF})^2 \dots\dots\dots(1)$$

VVCに流れる通電電流を I_{RF} Arms, 通電用導体などの締結抵抗を R_c とした場合、VVC通電時の発熱は主に等価直列抵抗（ESR）の抵抗損失 P_{loss} Wで生じる。そのため、通電ベローズは素材、形状によって抵抗損失を低減することが重要となる。VP115タイプでは、二重ベローズ構造で通電ベローズ径を大きくし、従来素材より導電率の高い銅系素材を採用することでベローズの抵抗損失を低減させている。第2図にVP110タイプとVP115タイプのESR－周波数特性例を示す。VP110タイプに対してESR特性の低減効果を確認した。また、VVCの大電流化で、ESR特性のほかに通電ベローズの冷却



第2図 ESR－周波数特性例

VP110タイプのESR特性に比べVP115タイプのESRは約30%低減している。



第3図 最大許容電流－冷却量特性

各VPタイプの許容電流値（Arms）と冷却量（W）の関係を示す。VP110タイプに対して、VP115タイプの許容電流値は約40Arms向上している。

も重要な要素である。VP110タイプでは、冷却機構を有したフランジを外部に取り付けることで冷却を行っていたが、VP115タイプは冷却機構を真空容器内部に有することで発熱源となるベローズの直接冷却を実現した。第3図に最大許容電流－冷却量の関係を示す。

4 むすび

導電率に優れた銅系素材の通電ベローズへの適用及び通電ベローズの直接冷却による許容電流値の向上を紹介した。ベローズに求められる性能は低損失だけではなく、繰り返し伸縮に耐えうる形状や素材強度、静電容量調整用シャフトの回転トルクに影響を及ぼさない低ばね定数化など開発要素は多数ある。

ベローズの開発は競合他社との製品競争力を図る重要なテーマであり、今後も更なる大電流化に向けた通電ベローズの低損失化を含む新技術の研究・開発を行っていく。さらに、大電流化以外にも静電容量の大容量化や高速、高精度調整などの需要も見込まれており、当社はおお客様の期待に応えられるよう新製品を開発していく所存である。なお、本製品の開発にあたり多大なご協力をいただいた多くの関係者の皆様に深く感謝の意を表する次第である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《参考文献》

(1) 巽・深井・高橋・村山：「大電流真空可変コンデンサ」, 明電時報360号, No.3/2018, pp.33-35

《執筆者紹介》



村山翔哉
Shoya Murayama
電子機器工場
真空コンデンサの設計・開発に従事



下川琢也
Takuya Shimokawa
電子機器工場
真空コンデンサの設計・開発に従事



錦織祐市
Yuichi Nishikiori
電子機器工場
真空コンデンサの設計・開発に従事



巽 敏規
Toshinori Tatsumi
電子機器営業・技術本部営業部
真空コンデンサ・X線管の営業・販売に従事