

[P7-48]

DEVELOPMENT OF THE VACUUM FLANGE FOR THE HIGH POWER RF APPLICATIONS

H. Matsumoto and M. Ohtsuka*

KEK, High Energy Accelerator Research Organization, Tsukuba, Japan

* Ohtsuka Machine-shop, Tsukuba, Japan

ABSTRACT

We have developed a unisex vacuum flange based on a new concept for the accelerator applications, such as the high-power wave-guide connection, the beam duct for short bunches at high current, and an interface in the high-power rf cavity. The square-edge was employed to maintain a smooth current path across the copper gasket, as well as the vacuum tightness for the ultra-high vacuum condition. Experimental tests were made on rectangular and circular flanges, and no vacuum leak was found at the maximum sensitivity (range of 10^{-10} atm·cm³/sec) of He leak detector. The wave-guide flanges based on this design have been used in the C-band rf-system since 1997. It was operated for ~5000 hours at 50-MW power level with 2.5 μsec width at 50 pps pulse repetition rate. In this paper, we describe detail story of the development.

ビームインピーダンスのない新型・真空フランジの開発

1.はじめに

高周波電力用の真空フランジの用途は矩形導波管やサブハーモニクス(SHB)空胴の端板部などが代表的なものとして上げられる。これらのフランジ部は真空気密に加え高周波電流の伝播をスムーズに行うことが要求される。特に、高周波空胴に使用する場合、大電力運転時に放電が生じたり、長期運転による性能の劣化等の問題が報告されている。又、蓄積リングやリニアコライダー[1]に使用するビームダクトのフランジ接続部に段差や空隙があるとパンチしたビームが発生する HOM(高調波モード)のエネルギーがその場所に蓄積し、ビームの性質を著しく低下させる。そのため、フランジとガスケット間をバネ性を持った金属のカバーで覆ったり、特殊な形状のガスケットを用いてフランジとガスケット面を滑らかにする工夫が行われている。

本論文で紹介する真空フランジの技術開発は C-band (5712 MHz, 2856 MHz×2)周波数を用いたリニアコライダーの主加速器システムに使用することを目的としている。システムの信頼性向上および低価格化を目標としている。

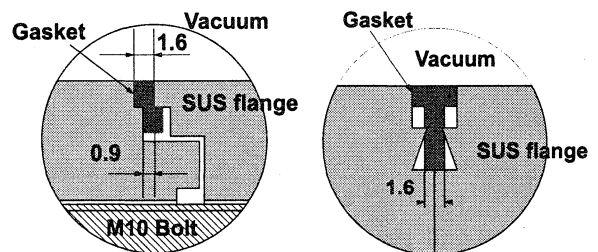
C-band システムは 2000 年初頭に物理実験の開始を前提に、1992 年に新竹積(KEK)により提案されたものである。1996 年 4 月より、C-band RF システムのハードウェアの開発を開始し、現在までに 50 MW 級クライストロン、小型高性能パルスモジュレータ電源(Smart Modulator)、レゾナントリング、RF 圧縮空胴(低電力)、空胴型ビーム位置検出器(25 nm 分解能)、チョークモード型 HOM フリー

加速管(SLAC で実証実験を行った)等の開発が終了している [2]。

本論文では、簡潔な構造で、取り扱いが容易なマイクロ波対応の真空フランジの技術開発を行ったので、その成果を報告する。

2.フランジの設計方針

マイクロ波対応の真空フランジはスタンフォードリニアックセンター(SLAC)で開発された矩形導波管用が最も実績がある。KEKB - 8 - GeV 入射器やリニアコライダー試験加速器でも使用されている。図 1 に SLAC 型真空気密部の概略構造を示す。



(1)SLAC 型矩形導波管用フランジ。 (2)特殊ガスケットを使用した ICF フランジ。

図 1: SLAC で開発されたマイクロ波対応真空フランジの構造。(1)はフランジにオス・メスが必要である。締め圧は >200 kg f ·cm/ボルトで M10 x 10 本。(2)は特殊な形状のガスケットが必要。いずれの場合もコスト高の要因と思われる。

図 1 の左に示した SLAC 型矩形導波管用のフランジはオス・メスの組み合わせ方式であり、さらに構造も複雑である。又、ガスケットの変形量が大きいため 0.7 mm のつぶれ量を得るには、M10 のボルト 10 本を使用し、1 本当たり >200 kgf ·cm の締め圧

トルクが必要である。SLAC のリニアコライダー (SLC) に使用されているダンピングリング用のビームダクトは ICF 型真空フランジを用いているが、T 字形状のガスケットを使用することにより、真空気密部に生じる空隙(空洞)が出来ない構造となっている(図 1 の右) [3]。ガスケットには真空シール部の T 字部に空気溜めが生じないように、半径方向にスリットが設けられている。

筆者が試験加速器 (KEK, 1.5 GeV リニアック) の大電力 RF システムの設計および建設を行った際に、SLAC 型導波管フランジに以下に示す問題点があった。

- (1) フランジ合わせ面の位置決めが不明確な事。
- (2) 組み立て時にフランジの締めつけトルクが大きい。
- (3) 変換フランジ(オス-オス, メス-メス)が必要。

実験の都合で導波管立体回路を変更する際、組み合わせるフランジのオス・メスの順番を確保するための配慮や真空気密部個所が増える等システムの信頼性を低下させる要因となることが懸念された。

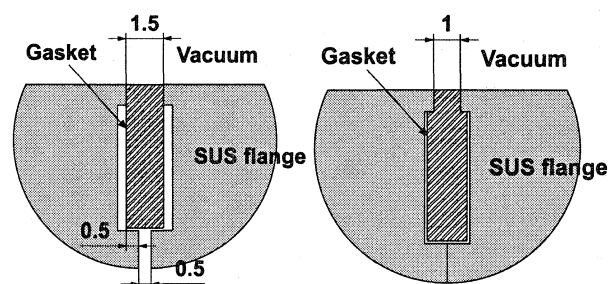
そこで、C-band リニアコライダーでは開発に当り、以下に示す事柄を目標とした。

- (1) ユニセックス(オス・メスなし)構造とする。
- (2) 旋盤およびフライス加工で製作を可能とする構造。
- (3) 単純なガスケットシール構造。
- (4) フランジ材料は SUS 材を使用し、真空焼鈍 (600°C, 2 時間保持) した状態で使用可能とする。
- (5) 締めつけトルクは 100~150 kgf・cm/ボルト。
- (6) ガスケットシール部の変形量は 0.1~0.2 mm 程度で真空シールを可能とする。
- (7) フランジとガスケットの段差は±0.1 mm 以下。
- (8) ビッカース硬度 50 前後の銅およびアルミガスケットを使用する。

上記の第 2, 3 項は円形および矩形フランジの両方に適用するためである。又、クライストロンのように長時間の高温ベーキング(500°C)を行う場合やロー付けを行う場合には、強度が十分に低下(約 1/3)した状態でも機能するように SUS 材は前熱処理を行うこととした。銅ガスケットはビッカース硬度 80~100 程度が真空シール性は良好であるが、ここではフランジ・シール面の耐久性を考慮して、銅ガスケットは純アルミと同程度のビッカース硬度(~50)になるよう十分に焼鈍した柔らかいものを使用することにした。これによって、ベーキングによるガスケ

ットの硬度は大きく変化しないので、リークの発生率を低く出来るメリットがある。

図 2 に C-band 用に開発したマイクロ波対応の真空フランジ・シール面の構造を示す。同図から分かるように本機の真空シール部は単純な凸形状を向かい合わせたユニセックス(オス・メスなし)の単純な構造とした。この形状は DESY(ドイツ原子核研究所)の S-band 用導波管フランジを参考にして設計をおこなったものである[4]。実験的な最適化の結果、矩形導波管および丸フランジとも同一断面形状のシール部構造が可能となった。これにより、フランジおよびガスケットの構造的な標準化を行い、信頼性を損なうことなくシステムの自由度を上げることが可能となった。図 2-(1)は締めつけ前の状態で、フランジのシール面がガスケットに触れた時、0.5 mm 両フランジに重なるので組み付け時の取り扱いが容易である。

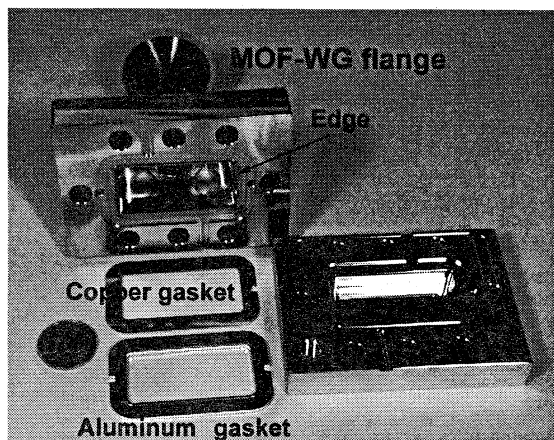


- (1) 締めつけ前の C-band フランジ。ガスケットは 0.5 mm フランジと重なるので組み立て時の操作性が良い。
- (2) 締めつけ後の状態。フランジ間がゼロギャップ時にガスケットは 0.5 mm(片面 0.25 mm)つぶれる。

図 2 : C-band 用に開発したフランジ(通称名 : MO フランジ)のシール部の断面構造。単純形状のユニセックス(オス・メスなし)構造であり、矩形および丸フランジに共通の構造が使用可能。フランジとガスケット面は強い締め付け圧があるので、マイクロ波伝播は非常に良好である。

3. 実験結果

図 3 に示したように矩形導波管および丸フランジのモデルを製作し真空リーク試験をおこなった。ガスケット材は傷の少ない OFC および純アルミ圧延板から加工したものをを使用した。丸フランジについてはビッカース硬度および表面の圧延痕の影響を比較するため、市販のガスケット(ICF-70, 銅および純アルミ)もを使用した。表 1 に本試験に使用したガスケットの仕様およびリーク試験の結果を示す。



(1) C-band 用の矩形導波管用真空フランジ。M8 × 8本のボルトを使用する。



(2) 丸型真空フランジ。M6 × 6本を使用する。

図 3：試験に使用した矩形導波管フランジ(上)およびICF70相当の丸型真空フランジ(下)。約 150 kgf・cm/ボルトの締め圧トルクが必要。

表 1: ガasketの仕様およびリーク量

Material	Hardness (kg/mm ²) 100 g load	Leak rate (Atm・cm ³ /s)
Aluminum (1)	48	< 1 × 10 ⁻¹⁰
Aluminum (2)	43	< 1 × 10 ⁻¹⁰
Copper (3)	88	< 1 × 10 ⁻¹⁰
Copper (4)	45	< 1 × 10 ⁻¹⁰
Copper (5)	46	< 1 × 10 ⁻⁹
Aluminum WG (6)	45	< 1 × 10 ⁻¹⁰
Copper WG (7)	47	< 1 × 10 ⁻¹⁰

[表1の補足]

圧力：1 atm = 1.0133 × 10⁵ Pa

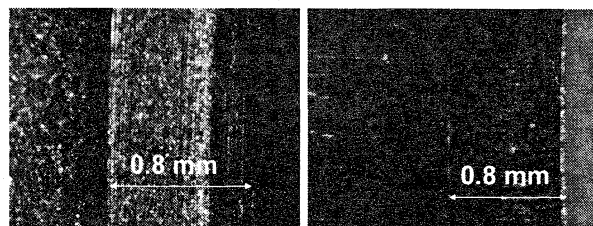
- (1) アネルバ製：純アルミ標準品。
- (2) メーカー不明：ピッカース硬度から純アルミと思われる。
- (3) アネルバ製：OFC 標準品。
- (4) アネルバ製：OFC 標準品。600℃、2時間の真空焼鈍処理を実施。
- (5) 市販圧延板：OFC。圧延痕(大)。微量リーク有り。600℃、2時間の真空焼鈍処理を実施。

(6) 市販圧延板：純アルミ。圧延痕(中)。

(7) 市販圧延板：OFC。圧延痕(中)。

4. 考察および今後の予定

リーク検出器の最高感度以下にリーク量が減少したところでのガスケット締め込み量は微量リークの生じたサンプル(5)以外は 0.1~0.2 mm の範囲となった。ガスケットが柔らかいと締め付け量が増加するが、性能上問題にならない事が分かった。又、微量リークの生じたサンプル(5)は圧延痕が大きい事が原因と思われる。図 4 にサンプル(4)および(5)顕微鏡写真を示す。撮影箇所は図 3-(2)にある丸型ガスケットのシール部周辺である。



サンプル (4)：銅 サンプル(5)：銅

図 4：使用後ガスケットの顕微鏡撮影写真。夫々のサンプルの右側にある 0.8 mm 幅のつぶれはフランジ・シール面である。サンプル(4)はシール面に旋盤の引き目が転写されているが、微量リークの生じたサンプル(5)はシール面に圧延痕が残っていることが分かる。

今までの試験の結果から、本構造の真空フランジは C-band 導波管と小口径のフランジについて十分に実用に耐えられるものであることが分かった。

今後は適用範囲をより大型のフランジに展開して、性能評価を行うことを予定している。

5. 謝辞

本論文の真空フランジ技術開発において、多くの有益な助言をして頂いた新竹積助教授に感謝します。

6. 参考文献

<http://c-band.kek.jp>

- [1] JLC group, "JLC-1", KEK Report 92-16, December, 1992
- [2] 新竹積, "C-band Accelerator Development for Linear Collider and Industrial Applications", (特別講演), 第 23 回リニアック技術研究会
- [3] Keith Jobe, SLAC, 研究者間の協力
- [4] Norbert Holtkamp, DESY, 共同研究