

[P7-47]

## Fabrication of the C-band (5712 MHz) Choke-Mode Type HOM-Free Accelerating Structure

T. Shintake, H. Matsumoto and N. Akasaka  
H. Ino\*, S. Tsuchiya\*, S. Kakizaki\* and Z. Kabeya\*

KEK : High Energy Accelerator Research Organization, Tsukuba Japan

\*Nagoya AeroSpace Systems, MITSUBISHI Heavy Industries, Ltd., Nagoya Japan.

The first high-power model of the C-band (5712MHz) accelerating structure for the e+e- Linear Collider project has been constructed and its higher-order mode damping was tested in ASSET facility at SLAC. This is a full spec version: equipped with the Choke-Mode Cavity with SiC rings for higher-order mode damping, the double-feed coupler for the symmetric power feed at input/output, and RF-BPM for the beam based alignment at both ends. This paper describes details of the fabrication process of the structure.

### C-band (5712 MHz)チョークモード型 HOM フリー加速管の製造

#### 1. はじめに

将来、建設が期待されている重心系エネルギーが 300 - 500 GeV の電子・陽電子リニアコライダーでは、衝突点においてナノメートルサイズのビーム同士を効率良く衝突させるために、低エミッタンスのビームを安定に加速することが要求される。したがって加速管の wakefield によるビーム不安定性の解決がもっとも重要な R&D 課題のひとつである。そこで KEK C-band グループ[1, 2]では、wakefield を強制的に減衰させる独自の方式 Choke-Mode Cavity を提案し、その開発を行ってきた。

図 1 にその原理図を示す。Choke-Mode 型空洞については、すでに解説を多数発表しているので、そちらを参照していただくとして、動作原理だけを簡単に復習すると、電子ビームが加速管を通

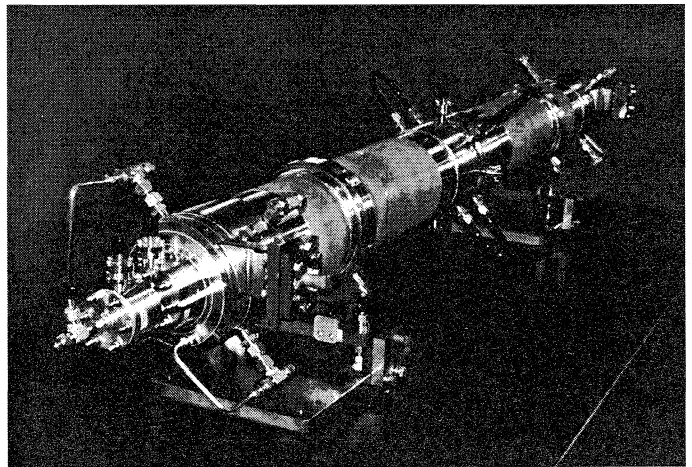


図 2 完成した C バンド加速管。本体全長 1.8m。

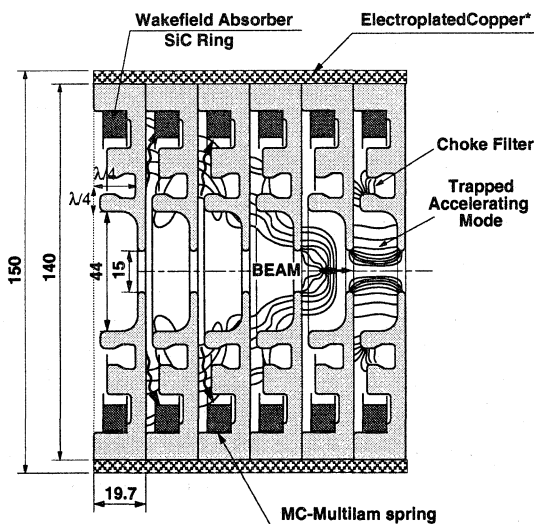


図 1 Choke-Mode Cavity.

過するとき発生する広帯域の電磁ノイズすなわち wakefield は、空洞壁にけられたすきまから外部に伝播し電波吸収体によって減衰される。加速に必要なマイクロ波は、チョークのノッチ・フィルター特性によって反射され空洞内部に閉じ込められるので、空洞本来の高い Q 値を得ることが出来るというものである。

この方式のメリットは

- (1) 構造がすべて軸対称であり、すべての加工を旋盤上で行うことができ、加工コストを低く押さえることが可能。
- (2) ダンピング・スロットが空洞全周にわたっており、高い減衰効果が得られる。
- (3) CG 型定勾配加速管においても、チョークの寸法はすべてのセルで同一寸法でよい (マイクロ波周波数が共通のため)。
- (4) 周波数分布をもつ TM<sub>110</sub> モードのキャンセル効果を利用する方式 (DS, DDS) にくらべて、

wakefield がセルごとに減衰されているため、製造誤差に対して減衰特性が安定である。

1992年にこの方式を提案し、1993年までにコールドモデルを用いて、ほとんどすべての高調波モードが減衰できることを証明。つぎに S バンド周波数の試験加速管を製作し、1994年に KEK-ATF にて、最高 50 MV/m までの加速電界を発生させ、実際にビームを加速してそのエネルギーゲインが理論どおりであることを確認した。ただし、この試験では、マイクロ波吸収体は内臓しておらず、真空タンクのなかに放射させていた。

1996年に C バンド開発がスタートしたのと同時に、C バンド周波数での実機の設計にとりかかり、1998年に実機に必要なすべての機能を備えた「フルスペック機」を製作し、1998年末に米国 SLAC の ASSET 試験施設に持ち込み、実際に電子・陽電子ビームを通して wakefield を測定、正しく wakefield が減衰していることを確認した。これについては、新竹が本会に発表しているので、そちらを参照していただきたい[3]。本論分では、おもにその設計・製造について述べる。

## 2. 加速管の設計

図2に完成した C バンド加速管を示す。全長は 1.8m、その両端に空洞型のビーム位置検出器(RF-BPM)を 2 台用意し、ビームを加速管の軸に対して  $\pm 10 \mu\text{m}$  以内の精度でアラインメントできる。

表1に、主なパラメータを示す。全長の 1.8 m はハンドリングの容易さから決定。1 セルあたりの位相シフトは  $3\pi/4$  であり、通常の  $2\pi/3$  モードよりもセル長が約 2mm 長くなり、チョークを組み込むスペースを確保。加速勾配の分布は CG であり、群速度が 0.035c から 0.012c まで変化。チョーク部の寸法はすべてのセルで共通。

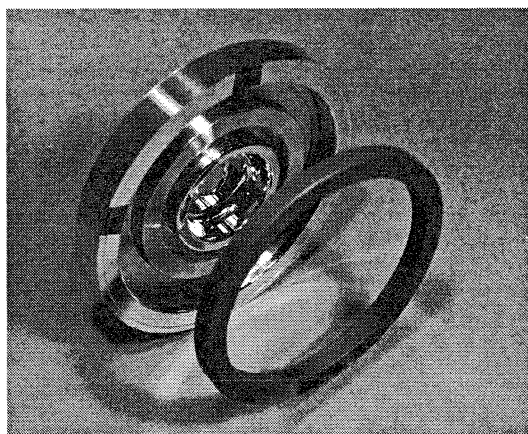


図3 チョークモード空洞と SiC リング

Frequency	5712 MHz
Phase shift per cell	$3\pi/4$
Field distribution	semi C.G.
Number of cells	91 cell
Active length	1791 mm
Iris aperture (2a) : up-stream	17.4 mm
: down-stream	12.5 mm
Cavity diameter : up-stream	45.3 mm
: down-stream	43.3 mm
Disk thickness: t	3.0 mm
Quality factor: Q	10.7- $\times 10^3$
	10.3
Group velocity : up-stream	0.035 c
: down-stream	0.012 c
Average shunt impedance: rs	53- $\text{M}\Omega/\text{m}$
	67.3
Attenuation parameter	0.53
Filling time: $T_f$	286 nsec

表1 加速管のメイン・パラメータ

## 3. 加速管の製造

### 3.1 セルの加工

図3に加速管のセル1枚を示す。セル単位長は位相シフトから一意に決まり 19.68 mm、外径は 140 mm。無酸素銅を使用し、NC 旋盤上にて主空洞の荒加工、チョーク溝、SiC ホルダー部を最終加工。

チョーク部の加工が済んだ時点で、空洞を専用の治具にのせて主空洞をショートし、中心のアンテナから試験信号を入れて、チョークを通ってくる信号を検出。これによってチョーク中心周波数の 5712 MHz からのずれを測定し、誤差がある空洞についてはチョークの深さを追加工して補正を行った。

つぎに、高電界が発生する主空洞を超精密旋盤にてダイヤモンド・バイトを使用して鏡面加工。また電鍍法を行うため、外周部と背面も鏡面加工。これによりセル間の真空気密が接触加圧のみで得られる。

加工が済んだ空洞は、セル共振周波数 ( $\pi/2$ -mode) を治具上で測定し 2b 寸法を追加工。すべてのセルの周波数が目標周波数の  $\pm 200 \text{ kHz}$  以内に収まるように調整した。図5にセルの周波数分布を示す。

### 3.2 SiC 電波吸収体

今回、電波吸収体として SiC 製のリングを採用した。SiC 材料は、本来エンジニアリング・セラミックとして開発されたものであるが、その機械的特性や真空特性、また電波吸収体としての特性がすぐれており、大電力のマイクロ波ダミーロードや、HOM absorber として数多くの実績がある。今回

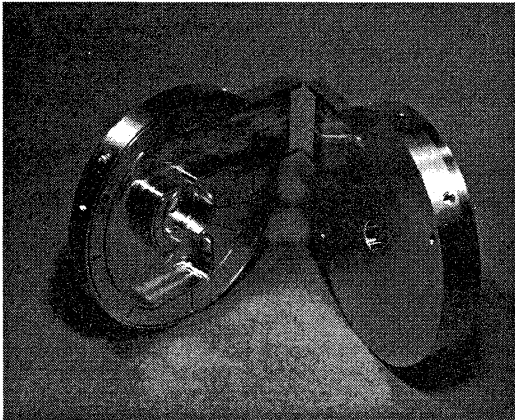


図4 Double-feed coupler (Matsumoto-type).

使用した SiC は、イビデン社製であり、周波数 5-20GHz において誘電率 25-30、誘電正接  $\tan\delta$  0.2-0.3 である。

SiC リングは Multi-Contact 社の MC-Multilam (電流端子に使用される板バネ) をはさんで、30 kgf にて空洞セルに圧入している。この方法は大きな熱負荷には耐えられないが、Wakefield の平均電力が最悪でも数ワット程度と見積もらるので十分である。またチョーク部が RF 放電を起こした場合でも、進行波は上流に反射するために SiC 1 個に吸収されるエネルギーは、0.2 Joule 程度と非常に小さい。なお将来の量産時には、長期安定性を考慮してロウ接などを行うほうがよいと考えられる。

### 3.3 カプラー空洞

カプラー空洞の電磁界分布が非対称であれば、電子ビームを横方向にキックするため、ビームの軌道が不安定となる。そこで、KEK の松本が単純な構造でありながら対称性のよい空洞を提案した。C バンド加速管では、図4のように入出力カプラー空洞

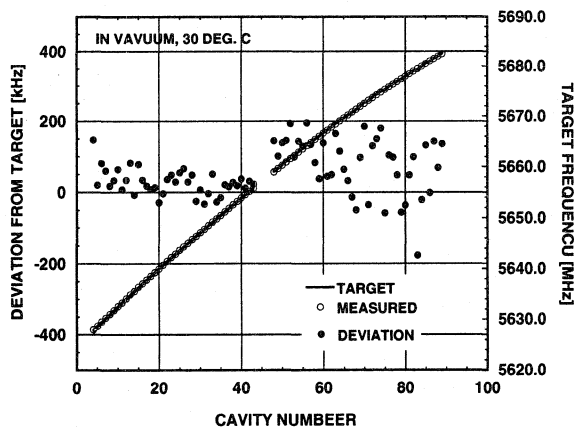


図5 セル周波数偏差

にこれを採用している。J 字形に曲がった入力導波管に 2 個の同じサイズのアイリスを設け、両者の距離を波長の整数倍に選ぶと、上下 2 つのアイリスからのマイクロ波が干渉し、対称な電界が得られる。無酸素銅の板材の片側に空洞と導波管をフライス盤にて加工、もう一方にビームパイプを設ける。あわせ面にロウ溝を加工。ロウ付け後、電子ビーム溶接にて加速管本体に接合した。

### 3.4 電 鋳 [4]

すべてのセルの加工が終了したのち、上下流半分づつのセルを 2 本の鋼鉄製の高精度ロッド上にならべて、試験用のカプラー空洞から試験信号を導入し電気的特性を測定した。ビーズを通し、軸方向に移動させながら、反射波の変化を測定することで空洞の電界分布を観測し、正しく  $3\pi/4$  モードが発生していることを確認した。

次に、中心軸にスチールロッドを通し、両端を治具にて密封、2.5 トンの張力を加え加圧。垂直に吊り上げ電鋳槽にて銅を外周に厚さ 5mm メッキ。これによって機械的強度と真空封止を行っている。その後、外形を旋盤にて仕上げ、上下流の入出力カプラーを電子ビーム溶接にて取り付けた。

次に上下流の加速管の半分づつを中央のセルに両側から電子ビーム溶接によって結合し 1 本の加速管とした。中央のセルには wakefield をモニターする電極が設けてあり、ASSET ビーム試験のさいに、wakefield スペクトルや、ビーム位置の測定を行った。

### 4. まとめ

参考論文にあるように、昨年 12 月、我々は本加速管を米国 SLAC に持ち込み、ASSET 試験施設にて、ビームを使って直接 wakefield の測定を行い、所定の HOM-damping 特性が達成されていることを確認した。今後、加速管に C バンドの 50-100 MW のマイクロ波を投入して、大電力試験を行う予定である。

### References

- [1] <http://c-band.kek.jp>
- [2] 新竹"C-band Accelerator Development for the Linear Collider and Industrial Applications", 本会 1998 年度、特別公演、KEK Preprint 98-146.
- [3] 新竹「C バンド技術開発の現状」, 本研究会
- [4] H. Matsumoto et. al, "An Electroplating Fabrication Method for Electron Accelerator Structure", LINAC98, Aug. 1998 Chicago, USA, KEK Preprint 98-144, Sept. 1998.