

[F17p19]

## Test Results of the L-Band Superconducting Cavity made from Twice Melted Niobium

T. Shishido, T. Fujino, H. Inoue, E. Kako, S. Noguchi,  
M. Ono, K. Saito and M. Shiratake\*

KEK, High Energy Accelerator Research Organization

1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801, Japan

\* Nomura Techno Research, Co., Ltd.

5, Satsuki-cho, Kanuma, Tochigi, 322-0014, Japan

### Abstract

A L-band single-cell cavity was made from twice melted niobium ingot (RRR ~130). This cavity was prepared by chemical polishing and high pressure water rinsing, then was measured in cold test. The performances of this cavity in cold test are reported in this paper.

### 2回溶解 Nb 材で製作された L-バンド超伝導空洞の測定結果

#### 1.はじめに

KEKのLバンド超伝導グループでは次世代TeV領域の超伝導線形加速器実現のために1991年度よりNb製単セル空洞を用いた低温高周波特性の測定を繰り返し行ってきた。

TESLA(TeV Energy Superconducting Linear Accelerator)では加速電場25MV/m以上での安定した性能が要求されているが、これを実現するにはThermal break-down, Field emission, Multipactingなどの空洞性能を制限する現象を理解し、抑制する必要がある。この中でThermal break-downについては、材料であるNb材の熱伝導率を高める事によりかなりの高加速電場を達成する事が期待出来る。そのためKEKでは今まで熱伝導率の高いRRR200程度のNb材を用いた空洞を製作、測定を行ってきた。しかしながら、この様な高純度Nb材は、純度を高めるためにNb粉末から作られるインゴットに対し、電子ビーム溶解を3回以上繰り返し行って得られるものであり高価である。そこで、3回溶解Nb材より熱伝導率は劣るが価格の安い、2回溶解Nb材を用いてLバンド単セル空洞を製作した。この空洞について低温高周波性能の測定を行い、実用機としての仕様を満たしえるかを判断する事を目的とした、基礎データの収集を開始した。

#### 2.Nb材について

これまでKEKで測定を行ってきた空洞は、東京電解製の、インゴットの段階で3~4回の電子ビーム溶解を繰り返し得られた、RRRが200程度の高純度Nb材を用いて製作されている [1]。一方、今回用いたのは同じく東京電解製であるが、電子ビーム溶解を2回しか行なわなかったNb材で、サンプル材でのRRRは約130である。空洞製作に用いているのは、インゴットに対し各種機械加工を施した後に厚さ2.5 mmに圧延され、さらに真空炉内でチタン処理を経た板材である。板材の大きさは280 mm\*280 mmで、この板材1枚からハーフセル1つが作られる。

3回溶解Nb材に対し、2回溶解Nb材は5~10%価格が安い。

#### 3.空洞について

空洞は上記Nb板材を用い、全ての工程をKEK工作センターに於て行い製作された [2]。空洞の諸定数を表1に示す。

表 1. 空洞の諸定数

|   |       |
|---|-------|
| R/Q [ $\Omega$ ]                            | 102   |
| $\Gamma$ (geometrical factor)               | 274   |
| Ep/Eacc                                     | 1.78  |
| Hp/Eacc [Oe/MV/m]                           | 43.8  |
| Eacc/ $\sqrt{PQ}$                           | 87.35 |
| Beam tube diameter [mm]                     | 80    |
| Inner surface area [cm <sup>2</sup> ]       | 1664  |
| A weight per 1 $\mu$ m material removal [g] | 1.42  |
| F <sub>0</sub> [MHz, at 4.2K]               | 1301  |

4. 表面処理について

これまで4回測定を行った。いずれの測定も表面処理は化学研磨 (Chemical Polishing; C.P.), 高圧水洗 (High Pressure Rinsing; H.P.R. ~85kgf/cm<sup>2</sup>) のみである。空洞製作後にバレル研磨等の機械研磨処理は行っていない。各測定前の研磨量を表2に示す。

表 2. 表面処理

|      |                                    |
|------|------------------------------------|
| 1st. | C.P. (50 $\mu$ m+H.P.R.) (純水->超純水) |
| 2nd  | C.P. (30 $\mu$ m+H.P.R.) (純水)      |
| 3rd. | C.P. (30 $\mu$ m+H.P.R.) (純水)      |
| 4th  | C.P. (50 $\mu$ m+H.P.R.) (純水)      |

通常H.P.R.ではフィルターを通した純水 [3] を用いるが、第1回の処理では純水が足りなくなったため途中から超純水を用いた。

5. 測定結果

図1に減圧過程に於ける表面抵抗Rsと液体Heの温度の逆数との関係を示す。表面抵抗Rsは以下の式で表す事が出来る。

$$Rs = A * (1/T) * \exp[-(\Delta/kT)] + Rres.$$

ここでAは定数、Tは液体ヘリウムの温度、2 $\Delta$ はエネルギーギャップ、kはボルツマン定数、Rres.は残留抵抗を表す。表3に得られたA、 $\Delta/k$ 、Rres.の値を示す。さらに、Q<sub>0</sub>-Eaccの関係を図2に、得られた最大加速電場およびその電場でのQ<sub>0</sub>値を表4に示す。図2から分かる様に各測定においてField emissionは起こっていない。またX線も観測

されなかった。

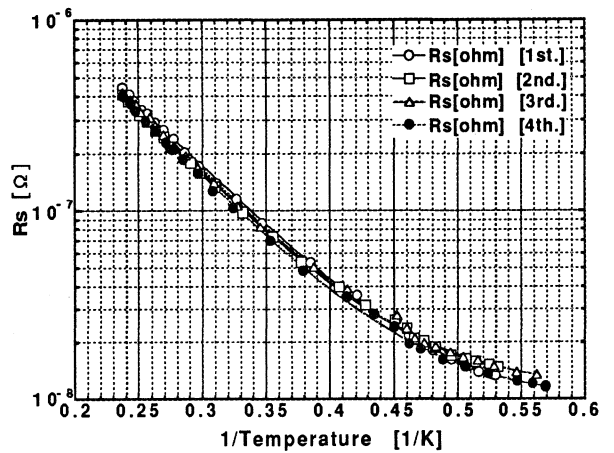


図1. 表面抵抗の温度依存性

表 3. BCS表面抵抗測定結果のまとめ

|                   | 1st.                        | 2nd.                        | 3rd.                        | 4th.                        |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| A[ $\Omega$ K]    | 1.3349<br>*10 <sup>-4</sup> | 1.3084<br>*10 <sup>-4</sup> | 1.4333<br>*10 <sup>-4</sup> | 1.3734<br>*10 <sup>-4</sup> |
| $\Delta/k$ [K]    | 18.331                      | 18.617                      | 18.792                      | 18.895                      |
| Rres[n $\Omega$ ] | 8.87                        | 11.13                       | 11.32                       | 9.99                        |

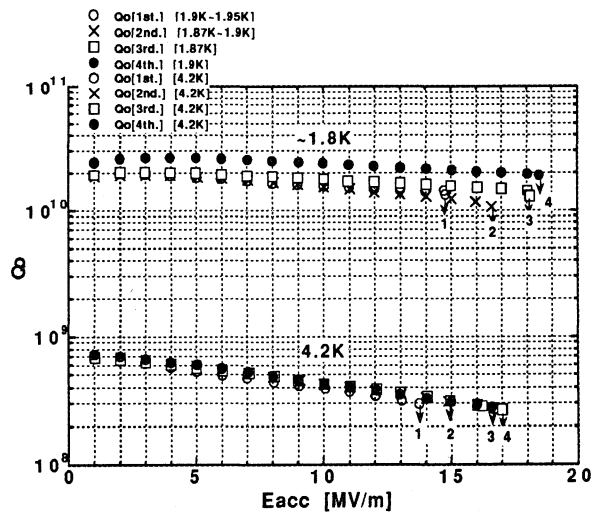


図2. Q<sub>0</sub>-Eacc曲線

表4.測定結果のまとめ

|      | Eacc,max(1.8K)<br>Q0 at Eacc,max | Eacc,max(4.2K)<br>Q0 at Eacc,max |
|------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1st. | 14.8MV/m<br>$1.3 \times 10^{10}$ | 13.7MV/m<br>$3.0 \times 10^8$    |
| 2nd. | 16.6MV/m<br>$1.1 \times 10^{10}$ | 14.9MV/m<br>$3.1 \times 10^8$    |
| 3rd. | 18.1MV/m<br>$1.3 \times 10^{10}$ | 17.0MV/m<br>$2.7 \times 10^8$    |
| 4th. | 18.5MV/m<br>$1.9 \times 10^{10}$ | 16.6MV/m<br>$2.8 \times 10^8$    |

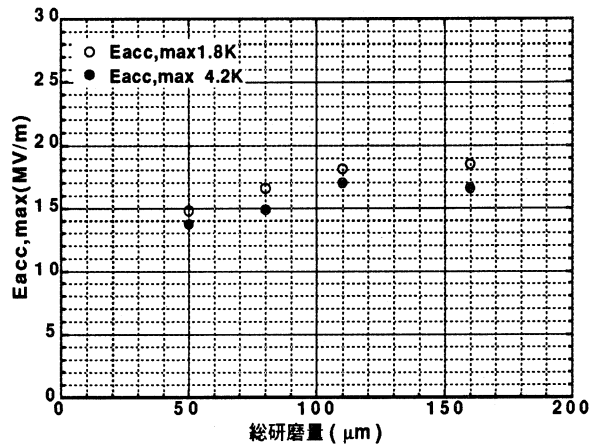


図3.最大加速電場と研磨量の関係

## 6.考察

これまで行なわれた4回の測定は全て同一のクライオスタット(N-システム)を使用した。このシステムでは地磁気遮蔽が不完全で、残留地磁気による残留抵抗値への寄与が約 $5n\Omega$ 存在する。したがって正味の残留抵抗は $5n\Omega$ 程度となる。一方、より地磁気遮蔽が完全であるもう一つのシステム(B-システム)で、RRR200程度のNb材で製作された空洞を用いて得られる典型的な残留抵抗の値は約 $2n\Omega$ である。この差 $3n\Omega$ がNb材に含まれる不純物、あるいは表面欠陥部分に地磁気がトラップされて生じる抵抗分と考えられる。

2~4回目の測定では空洞発熱箇所を特定するために、空洞外表面の赤道部にカーボン抵抗を張付けた。その結果いずれの場合でも、Break-downの際、赤道部の同一箇所での発熱が観測されている。C.P.を $160\mu m$ にしたにも拘らず発熱箇所が変わらない事からかなり深い表面欠陥があると考えられる。しかし内視鏡に拠る目視ではそれらしき物は確認出来ていない。

図3に、総研磨量と1.8K、4.2Kで得られた最大加速電場との関係を示す。研磨量の増加と共にわずかながら、徐々に最大加速電場が上昇しているが $160\mu m$ では頭打ちの傾向が見られる。これはこれまでにKEKに於て得られている実験結果と同様である [4]。

今後さらにC.P.で $50\mu m$ 程度の研磨を行い最大加速電場が向上するか、あるいはこれで頭打ちになるか見極めた後、電解研磨(E.P.)の効果を確認する予定である。

## [参考文献]

- [1] H.Umezawa et al., "Development of High Purity Niobium Material for Superconducting Cavities", Proc. of the 18th. Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, 1993, p.318-322
- [2] H.Inoue et al., "In-House L-Band Niobium Single Cell Cavities at KEK", Proc. of the 18th. Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, 1993, p304- 308
- [3] K.Saito et al., "High Pressure Water Rinsing Effect of the Cavity Performance on the Contaminated Superconducting RF Cavities", Proc. of the 20th. Linear Accelerator Meeting in Japan, Osaka, 1996, p.173-175
- [4] K.Saito et al., "Superiority of Electropolishing over Chemical Polishing on High Gradients", KEK Preprint 98-4 April 1998 A