

[P7-35]

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

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

KEK, High Energy Accelerator Research Organization

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

\* Nomura Plating, Co., Ltd.

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

### Abstract

An L-band single-cell cavity was fabricated with niobium sheets made from twice melted ingot, which has a low RRR of 130. The accelerating field (Eacc) was limited by quench at about 20MV/m with a preparation of C.P. (Chemical Polishing) and H.P.R. (High Pressure Rinsing).

On the other hand, the Eacc of 32MV/m was achieved by applying E.P. (Electro Polishing) and H.P.R. even in a low RRR.

## 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 (II)

### 1 はじめに

超伝導線形加速器実現のためには、高加速電場を安定的に引き出す事が要求される。空洞性能を制限する様々な要因の内、熱的超伝導破壊については、空洞材料であるニオブ材の残留抵抗比RRRを高める事に拠って、破壊の起こる加速電場を上方へシフト出来る。これは熱伝導率とRRRの間に

$$RRR=4\lambda \quad (4.2K) \text{ watts/m-K}$$

$\lambda$ : 超伝導体の熱伝導率

なる関係があり[1]、RRRが高ければ、欠陥部で生じた熱を効率良く液体ヘリウムで冷却出来るからである。このためこれまではRRR200以上の高純度Nb材を用いて空洞の製作を行ってきた。しかしながらこの様な高純度ニオブ材を得るには、ニオブインゴットに対し、電子ビーム溶解を3回以上行う必要があるため高価である。さらにTESLAの様な大規模計画の場合、使用されるニオブ材の量も膨大になるので、ニオブ材のコスト削減は非常に大きな意味を持つ。

昨年に引き続き、熱伝導率は劣るがより安価な、東京電解製2回溶解ニオブ材を用いて製作された空洞(K22)の低温高周波測定結果について報告する。

### 2 空洞について

実験に用いた空洞の基本パラメータを表1に示す。空洞製作に用いたニオブ材は東京電解製で、ニオブ粉末から作られたインゴットに対し、電子ビーム溶解を2回行って得られたニオブ材である。

この空洞製作に用いたニオブ材サンプルのRRRは130程度である。実際の空洞製作にあたっては、ニオブ板材をプレス機にかけハーフセルに成型し、電子ビーム溶接を行うが、この工程において空洞は残留応力を持つ。この残留応力はRRRを下げるため[2]、通常800°Cでアニール処理し残留応力除去とニオブ金属中に取り込まれた主に水素の脱ガスが行なわれる。しかし、この空洞では成型後に一切アニールを行っていない。

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 |
| Diameter of beam tube [mm]                   | 80    |
| Area of inner surface [cm <sup>2</sup> ]     | 1664  |
| Weight [g] per material removal of 1 $\mu$ m | 1.42  |
| Resonant frequency [MHz] at 4.2K             | 1297  |

### 3 表面処理について

この空洞は前処理としてバレル研磨等の機械研磨、アニール処理をしていない。空洞成型後いきなり1回目の測定を開始した。表2に低温測定前の処理内容を示す。高圧水洗については、1回目の処理のみ途中から超純水を用いたが、通常フィルターを通した純水で行う。

10回目の測定は、100K付近に数時間保持するとニオブ中の水素がニオブと結合しQ-disease（水素病）が起こる事が報告されているが[3]、その確認のために行ったもので、研磨処理はしていない。

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)     |
| 5th.  | C.P. (50 $\mu$ m+H.P.R.) (純水)     |
| 6th.  | C.P. (50 $\mu$ m+H.P.R.) (純水)     |
| 7th.  | C.P. (40 $\mu$ m+H.P.R.) (純水)     |
| 8th.  | E.P. (30 $\mu$ m+H.P.R.) (純水)     |
| 9th.  | E.P. (30 $\mu$ m+H.P.R.) (純水)     |
| 10th. | 100K keep 再冷却                     |
| 11th. | E.P. (30 $\mu$ m+H.P.R.) (純水)     |

### 4 測定結果

空洞の表面抵抗Rsは以下の式で表す事が出来る。

$$R_s = A \cdot (1/T) \cdot \exp[-(\Delta/kT)] + R_{res}$$

ここでAは定数、Tは液体ヘリウム温度、 $\Delta$ はエネルギーギャップ、kはボルツマン定数、 $R_{res}$ は残留表面抵抗である。図1にそれぞれの測定回数における各諸定数を示す。 $R_{res}$ は $10^9$ 倍、Aは $10^4$ 倍にして示してある。残留表面抵抗は表面処理の違いに拠って大きく変わる事なく、ほぼ10n $\Omega$ である。この空洞は磁気遮蔽が不完全なクライオスタットで測定しており、残留地磁気と空洞表面に温度測定用カーボン抵抗を付着させている事に拠る抵抗分が数n $\Omega$ 程度、残留表面抵抗に寄与していると考えられる。

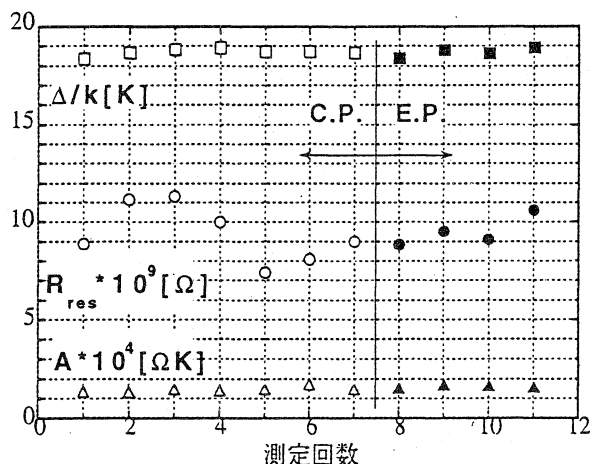


図1 各測定における諸定数の値

図2にはC.P.とH.P.R.を、図3にはE.P.とH.P.R.を施して極低温(1.8K)で測定した場合のQ値と加速電場の関係を、図4には総研磨量と得られた最大加速電場の関係を示す。注目すべきは、化学研磨を7回、総研磨量300  $\mu$ m行っても最大加速電場は20MV/m程度に制限されていたものが、電解研磨をわずか30  $\mu$ m行っただけでいきなり32MV/mに著しく改善した点である。この結果は化学研磨より電解研磨の方が優れているという、我々のグループが得た結論を裏付ける事例の1つになる。[4]

9回目の測定はさらに最大加速電場が伸びる事

を期待して行ったが、電解研磨液の品質劣化に拠り空洞表面が荒れてしまい、性能は伸びなかった。10回目の測定は水素病が起こるかの確認のため、9回目測定終了後ただちに昇温、100K付近に数時間保持、再冷却して行ったが、図から分かる様に水素病は起こらなかった。11回目はさらに30 $\mu$ mの電解研磨を行ったが最大加速電場は21MV/mに留まった。測定終了後、空洞内を目視した所、電解研磨処理特有の鏡面ではなく鈍い光沢面であった。この研磨量では9回目の処理で生じた空洞表面の荒れを取り除けなかったものと考えられる。

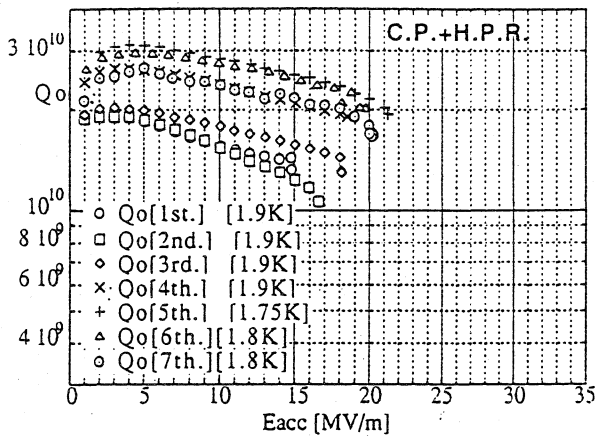


図2 C.P.+H.P.R.を施した場合のQ値と加速電場の関係

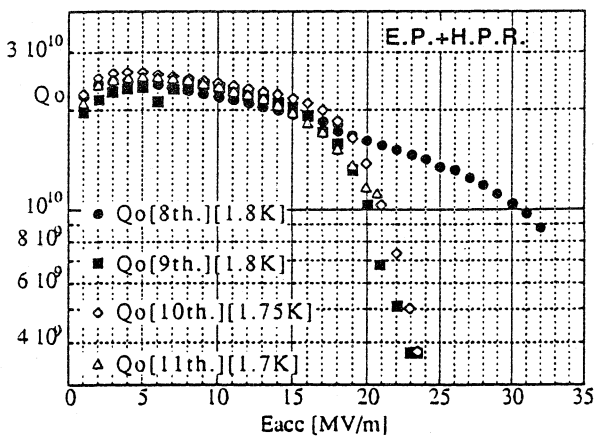


図3 E.P.+H.P.R.を施した場合のQ値と加速電場の関係

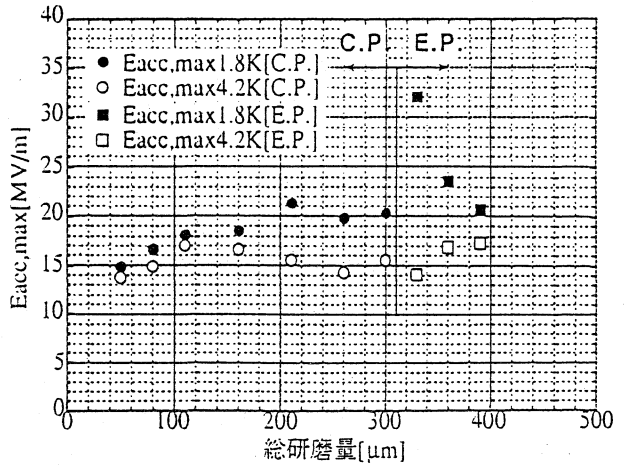


図4 総研磨量と得られた最大加速電場の関係

## 5 まとめ

RRR-130程度の2回溶解ニオブ材で製作された、前処理としてバレル研磨、アニールを行わない空洞でも電解研磨を施す事に拠って、1.8Kで最大加速電場32MV/mを達成出来た。使用目的に拠っては2回溶解ニオブ材で製作された空洞でも、十分実用になる事を実証出来た。また100K付近に数時間保持し、再冷却しても水素病は起こらなかった。

## 参考文献

- [1]H.Padamsee, "A Low Temperature, Intermediate Vacuum Process for Removing Oxygen Impurity from Niobium", Proc. SRF (Sept. 1983)
- [2]H.Umezawa et al., "Manufacturing of High Temperature Vacuum Furnace for Niobium Superconducting Cavities.", Proc. of 21st. Linear Accelerator Meeting in Japan, 1996, p231-233
- [3]K.Saito and P.Kneisel, "Qo-Degradation Due To Hydrogen In High Pure Niobium Cavity", Proc. of 18th. Linear Accelerator Meeting in Japan, 1993, p299-303
- [4]K.Saito et al., "Superiority of Electropolishing over Chemical Polishing on High Gradients.", Particle Accelerators, Vol.60, p.193-217 (1998)