

[13P-14]

## TEST RESULTS OF THE L-BAND SUPERCONDUCTING CAVITY MADE FROM TWICE MELTED NIOBIUM

T. Shishido<sup>#</sup>, T. Fujino, H. Inoue, E. Kako, S. Noguchi, M. Ono, K. Saito  
KEK, 1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801, Japan

T. Higuchi

The Graduate University for Advanced Studies, Dept. of Accelerator Science  
1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801, Japan

### Abstract

An L-band single-cell cavity was fabricated with niobium sheets made from twice melted ingot, which had a low RRR of 130. The accelerating gradient (Eacc) was limited by quench at about 20MV/m with a preparation by CP (Chemical Polishing) and HPR (High Pressure Rinsing). On the other hand, the Eacc of 40MV/m was achieved by applying EP (Electro Polishing) and HPR in spite of a low RRR material. Neither mechanical polishing nor heat treatment was carried out in this cavity.

### 2 回溶解ニオブ材で製作された L バンド超伝導空洞の測定結果 (III)

#### [1]はじめに

超伝導空洞は、熱的超伝導破壊の起こる加速電場を出来るだけ高い方へシフトさせるため、熱伝導率の高い素材を用いて製作される。これは欠陥部で生じた発熱をすばやく液体ヘリウム層に伝え、冷却する事が出来るからである。ニオブ製超伝導空洞の場合、通常RRR (Residual Resistivity Ratio) 200以上の高純度材が用いられるが、この様なニオブ材はニオブ粉末から作られるインゴットに対し3回以上の電子ビーム溶解[1](Electro Beam Melting; E.B.M.)を行って作られるため高価である。そこでE.B.M.を2回しか行わないために、RRRが130程度のニオブ材で空洞を製作し、高純度材から製作された空洞性能にどこまで迫れるか確認するための低温高周波測定を行った。大量のニオブ材が必要となるTESLA(TeV Energy Superconducting Linear Accelerator)、SNS(Spallation Neutron Source)等の大規模計画が実行に移される際には、2回溶解ニオブ材はE.B.M.の工程が少ないため、安く、大量供給を迅速に行える可能性がある。また機械振動に対しても有利である。

#### 2. 空洞と表面処理

2回溶解ニオブ材から製作された空洞(K-22)の各種パラメータを表1に示す。KEKでこれまでに製作、測定された多くの空洞は、東京電解製RRR200以上の高純度ニオブ材を用いている。その様なニオブ材は、ニオブ粉末から作られるインゴットに対し、3回以上電子ビーム溶解を行って得られるため高価であり、また生産効率も劣る。K-22空洞製作に用いたニオブ材のRRRは、サンプル値で約130である。図1にニオブ材のRRRとE.B.M.回数の関係を示す[1]。空洞製作工程で生じる残留応力はRRRを下げるため、残留応力除去、および水素の脱ガスを目的とした

表1: K-22空洞の各種定数

R/Q [ $\Omega$ ]	102.
$\Gamma$ (geometrical factor)	274.
Ep/Eacc	1.78
Hp/Eacc [Oe/MV/m]	43.8
Eacc/ $\lambda$ (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	1297.0

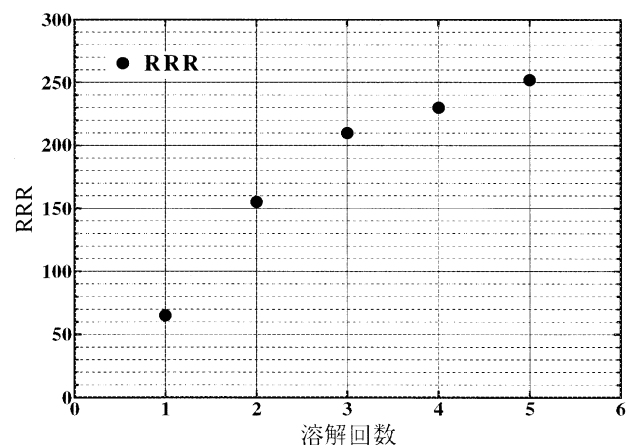


図1: RRRと溶解回数の関係: ref. [1]から転載

真空中での800°Cアニール処理を行う。しかし、この空洞は、製作後にバレル研磨等の機械研磨やアニール処理を一切行っていない。一連の測定は、まず化学研磨(chemical polishing; C.P.)を繰り返し行い、その後電解研磨(electropolishing; E.P.)を同様に行った。1回の処理における研磨量は

T.Shishido<sup>#</sup>, 0298-64-5225, shishido@mail.kek.jp

30-50  $\mu\text{m}$  である。各研磨処理後は0.2 $\mu\text{m}$  フィルターを通した純水、もしくは超純水を用いた高压洗浄 (high pressure rinsing ; H.P.R.)を行う。H.P.R.の圧力は約90  $\text{kgf/cm}^2$ である。各測定における表面処理内容を表2に示す。

表2: 各測定での表面処理

1st	CP(50 $\mu\text{m}$ ), HPR (超純水-> 純水) 1時間
2nd	CP(30 $\mu\text{m}$ ), HPR (純水) 1時間
3rd	CP(30 $\mu\text{m}$ ), HPR (純水) 1時間
4th	CP(50 $\mu\text{m}$ ), HPR (純水) 1時間
5th	CP(50 $\mu\text{m}$ ), HPR (純水) 1時間
6th	CP(50 $\mu\text{m}$ ), HPR (純水) 1時間
7th	CP(40 $\mu\text{m}$ ), HPR (純水) 1時間
8th	EP(30 $\mu\text{m}$ ), HPR (超純水) 1時間
9th	EP(30 $\mu\text{m}$ ), HPR (超純水) 1時間
10th	100Kに4時間保持後再冷却
11th	EP(30 $\mu\text{m}$ ), HPR (超純水) 1時間
12th	EP(30 $\mu\text{m}$ ), HPR (超純水) 1時間
13th	EP(30 $\mu\text{m}$ ), HPR (超純水) 1時間

### 3. 測定結果

空洞の表面抵抗 ( $R_s$ ) は以下の式で表される:

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

ここで右辺第一項はBCS抵抗を、 $R_{res}$ は温度に依存しない表面残留抵抗を表す。各測定においてこの式から求められたパラメータを図2に示す。これらのパラメータがほとんど一定であることから空洞を形成するニオブバルクの性質に変化はない、また観測された空洞性能の傾向から表面処理も適切に行われたと言える。(ただし9回目を除く)12,13回目の測定を除き、空洞赤道部に発熱を調べるためのカーボン抵抗を16個付着した。熱的超伝導破壊が起こった時の発熱個所は表面処理を重ねても同じ場所である事が多いが、新たに生じる場合もある。また同一測定時でも1.8Kと4.2Kでは異なる場合もある。 $R_{res}$ に対する残留磁場の寄与は約5n $\Omega$ と推定出来る。C.P.処理した場合、およびE.P.処理した場合の一連の測定結果をそれぞれ図3、図4に示す。また最大加速電場と表面研磨量の関係を図5に示す。C.P.の場合、300 $\mu\text{m}$ 削っても最大加速電場は20 MV/mで頭打ちになっている。

一方、最初のE.P.処理を行った8回目の測定では、わずか30 $\mu\text{m}$ しか削っていないにも関わらず、いきなり32MV/mを達成出来た。9回目の測定はfield emissionが観測されたが、これは同時期に表面処理をした他の空洞でも観測されたためE.P.液の性能劣化が原因と思われる。10回目の測定は、 $Q_0$ -disease が起こるか起こるかどうかを確かめるために行われた[2]がこの空洞では $Q_0$ -diseaseは起こらなかった。11回目の測定は、E.P.を30 $\mu\text{m}$ 追加して行われたが最大加速電場は21MV/mに留まった。またfield emissionも観測された。これは9回目の処理で荒れてしまった表面欠陥

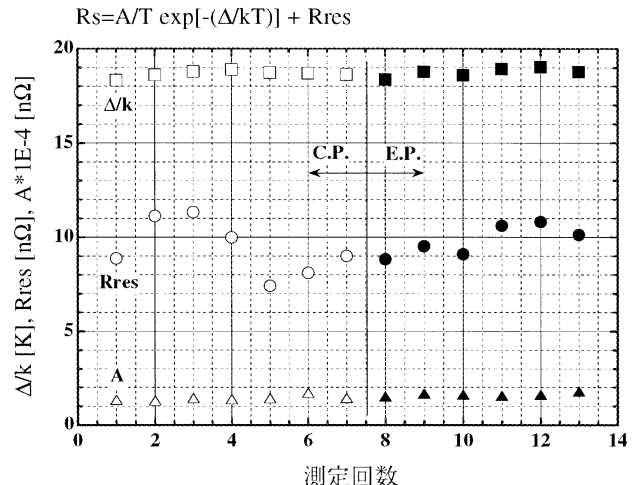


図2: 各測定より得られた定数

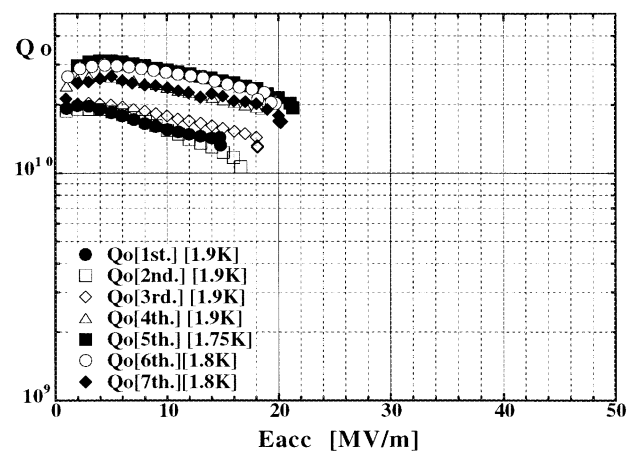


図3: C.P.とH.P.R.処理した場合の空洞性能

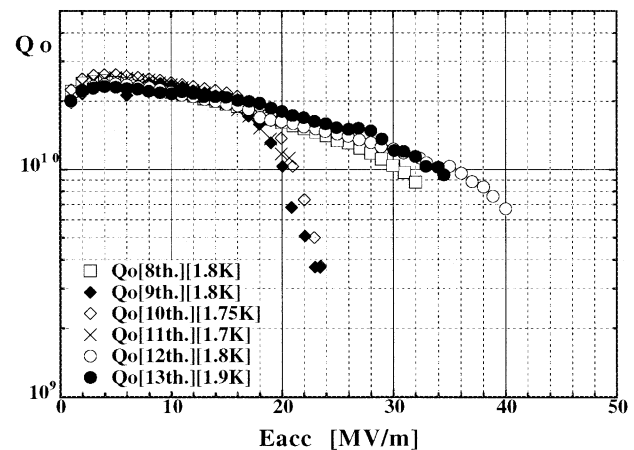


図4: E.P.とH.P.R.処理した場合の空洞性能

層を30 $\mu\text{m}$ の処理では除去しきれなかったのが原因と思われる。12回目の測定は、E.P.液を新しくし、さらに30 $\mu\text{m}$ 削って行われた。この測定では18 から23MV/mにかけてmultipactingが観測された。このレベルがエージングされた後、過去にKEKで成し遂げられた最高加速電場40MV/mが達成出来た。最大加速電場近辺で弱いX線も観測された。この測定で得られたQ-Eacc曲線は、40MV/mが得られた過去の測

定のものと同様の傾向を示している[3]。またKEKで得られた最大加速電場が40MV/mで頭打ち傾向にある事は、背後に原因がある事を示唆している[4]。13回目の測定は、さらに加速電場が延びるかを確認するために行われたが、34MV/mに留まった。しかしながらこれら一連の測定で、RRRが低い空洞に対しても、E.P.の優位性を明らかに出来た[5]。1.8Kおよび4.2Kで得られた最大加速電場とその時のQ値を表3に示す。

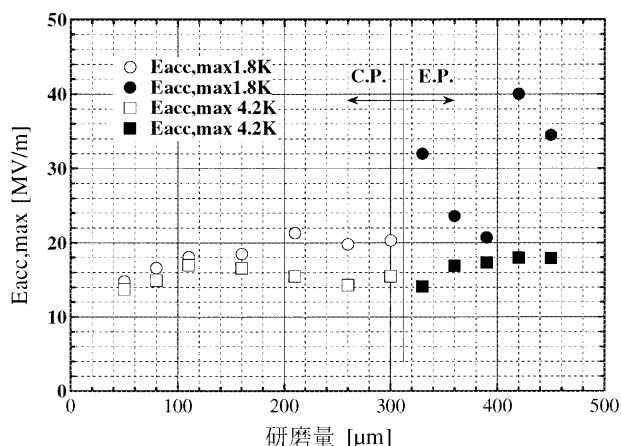


図5: 最大加速電場と研磨量の関係

#### 4. まとめ

2回溶解ニオブ材から製作されたK-22空洞は、RRRが

130程度と低く、成型後に機械研磨もアニール処理も行っていないにも関わらず、E.P.およびH.P.R.処理で最大加速電場40MV/mを達成出来た。2回溶解ニオブ材でも十分実用になる空洞を製作出来る事が証明された。C.P.処理では、最大加速電場20MV/mで頭打ちであったが、E.P.処理をわずか30μm行っただけで32MV/mを、さらには40MV/mを達成出来た事に拠りE.P.の優位性を再確認出来た。

#### 5. 参考文献

- [1]H.Umezawa et al., "Development of Niobium for Superconducting Cavities", Proc. of 23rd. Linear Accelerator Meeting in Japan, 1998, p271
- [2]K.Saito and P.Kneisel, "Q-Degradation in High Purity Niobium Cavities Dependence on Temperature and RRR Value", Proc. of the 3rd. EPAC Conference, 1992, p.1231
- [3]M. Ono et al., "Achievement of 40 MV/m Accelerating Field in L-band SCC at KEK", Proc. of 8th Workshop on RF SC, p472, Padova, Italy, 1997
- [4]小野正明, "ニオブ超伝導加速空洞におけるCritical Fieldについて",第3回超伝導リニアック研究会, KEK, 2000
- [5]K.Saito et al., "Superiority of Electropolishing over Chemical Polishing on High Gradients", Proc. of 8th Workshop on RFSC, p795, Padova, Italy, 1997

表3: 測定結果まとめ

Run#	~1.8K		~4.2K	
	Eacc,max[MV/m]	Qo at Eacc,max	Eacc,max[MV/m]	Qo at Eacc,max
1	14.8	1.33e10	13.7	2.97e8
2	16.6	1.06e10	14.9	3.11e8
3	18.1	1.34e10	17.0	2.68e8
4	18.5	1.98e10	16.6	2.78e8
5	21.3	1.93e10	15.5	2.67e8
6	19.8	2.04e10	14.3	2.36e8
7	20.3	1.68e10	15.5	2.67e8
8	<b>32.0</b>	8.79e9	14.1	2.55e8
9	23.5	3.71e9	16.1	2.72e8
10	23.5	3.76e9	16.0	2.75e8
11	20.7	1.12e10	17.3	2.80e8
12	<b>40.0</b>	6.71e9	18.0	2.80e8
13	34.5	9.47e9	17.9	2.6e8