

Development of L-band Superconducting Cavities at KEK

E. Kako, K. Saito, S. Noguchi, K. Akai, M. Ono, T. Suzuki*, H. Miwa*,
A. Ikeda*, M. Okuda**, K. Saito** and T. Ohtani**

KEK, National Laboratory for High Energy Physics
Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan
*, Nomura Techno Research Co., Ltd.
**, Kobe Steel, Ltd.

Abstract

L-band superconducting cavities have extensive applications to linear accelerators, recyctrotrons and FEL drivers. Research and development of 1.3 GHz superconducting cavities with higher accelerating gradients and superior thermal stabilities started at KEK in 1989. Two kinds of single-cell cavities with the same cell geometry were fabricated; one is a bulk niobium cavity and the other is a niobium coated copper cavity. These cavities were tested at low temperature and achieved the maximum accelerating field of more than 10 MV/m. The results of the first cold test of each cavity are described in this paper.

L-バンド超伝導加速空洞の開発

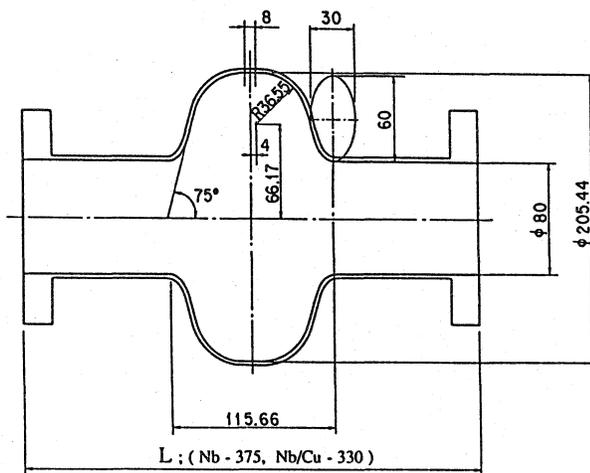
1. はじめに

L-バンドの超伝導加速空洞は、電子および陽子線形加速器をはじめ、リサイクロトロンおよび自由電子レーザーなど幅広い適用性を有している。さらに、30 MV/m 以上の加速電場が達成されれば、将来のTeV 領域の電子-陽電子衝突型線形加速器への応用 (TESLA; TeV Energy Superconducting Linear Accelerator [1]) も実現可能となる。

KEKでは、L-バンドの超伝導加速空洞の開発を1989年より開始し、空洞形状の設計、空洞の製作法、表面処理法の開発および低温測定システムの建設などを行ってきた。熱伝導率のよい高純度ニオブ材 (RRR = 350) を用いた1.3 GHz シングルセルニオブ空洞を、CEBAF (アメリカ) との共同研究により製作し、低温性能試験を行なった。また、並行して、熱伝導率の高い銅空洞の内表面にニオブ薄膜をコーティングしたニオブ薄膜空洞 [2] の開発も行なっている。

2. 空洞形状の設計

空洞形状の最適化を計算機コード LALA, SUPERFISH, URMEL を用いて行ない、空洞設計の



Frequency	1296 MHz
R/Q	102 Ω
Γ	274 Ω
Esp/Eacc	1.78
Hsp/Eacc	43.8 Oe/MV/m

Fig.1 Geometry and parameters of L-band single-cell cavities.

指針となる R/Q , E_{sp}/E_{acc} , H_{sp}/E_{acc} などの形状依存性を調べた[3]。超伝導空洞の最大加速電場 ($E_{acc-max}$) を制限する電界放出電子や熱磁氣的超伝導破壊などの現象は、最大表面電場 (E_{sp}) および最大表面磁場 (H_{sp}) に強く関連しており、 E_{sp}/E_{acc} , H_{sp}/E_{acc} の値は低いほうがよい。一方、ビームパイプ (アイリス) の径に依存する R/Q の値は、加速モードを大きく、加速に有害となる高調波モードを小さくすることが望ましい。これらの条件と、空洞製作法および表面処理法の適合性を加えて最適化された空洞形状およびそのパラメータを Fig. 1 に示す。同じ空洞形状をもつニオブ空洞とニオブ薄膜空洞が製作された。

3. 高純度ニオブ空洞 空洞製作

ニオブ空洞の製作には、スピニング成形、液圧成形、深絞り成形などの方法があるが、ここでは、大量生産時の製作コスト、形状寸法の再現性などを念頭におき金型深絞り成形にてCEBAF (アメリカ) の協力により次のように製作された。

1. 超合金アルミニウム材を用いたオス型、メス型の製作。
2. 100 Ton プレス加工機による深絞り。
3. 溶接部のトリミング。
4. セル赤道部、ビームパイプ、フランジの電子ビーム溶接 (EBW)。

ニオブは、板厚 1/8 inch, 高純度 (RRR=350) で熱伝導率の高い (60W/mK) 材料が使用された。

表面処理

ニオブ空洞の表面処理法として電解研磨 (EP; Electropolishing) と化学研磨 (CP; Chemical polishing) がある。この両者の処理法による空洞性能の相違を評価するために、CP および EP にて処理された空洞 2 台が準備された。

a. 電解研磨-空洞 (EP)

1. EP-I; フッ酸と硫酸の混合液を用いた横型回転電解研磨装置により 120 μm 研磨し、超純水で水洗。
2. アニール; チタン製の箱に入れ、真空炉内において 660°C で 24 時間加熱。
3. EP-II; 5 μm の仕上げ研磨の後、過酸化水素水による洗浄、超純水での水洗。

この処理手順は、トリスタンでの 508 MHz の超伝導空洞の表面処理と同一である。

b. 化学研磨-空洞 (CP)

1. CP; フッ酸, 硝酸, リン酸 (1:1:1) の混合液を空洞内に注入し、70 μm 研磨。
2. 洗浄; 過酸化水素水および超純水。

低温性能測定

超伝導空洞の高周波表面抵抗 (R_s) は、温度依存性をもつ BCS 抵抗 (R_{BCS}) ともたない残留抵抗 (R_{RES}) の和で示され次の関係をもつ。

$$R_s = R_{BCS} + R_{RES},$$

$$R_{BCS} = (A/T) \omega^{2.0} \exp(-\Delta/kT).$$

したがって、L-バンド空洞の $Q_0 (= \Gamma/R_s)$ 値を向上させるためには、冷却温度を 2 K 付近にし R_{BCS} を低減させると同時に、 R_{RES} を小さくすることが本質となる。

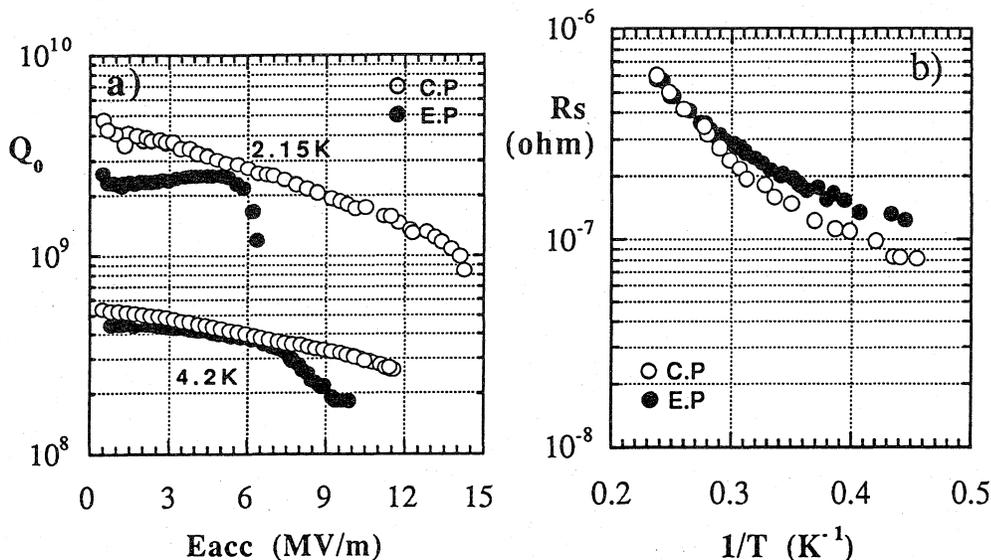


Fig. 2 Vertical test results of single-cell niobium cavities.

a) Q_0 value vs accelerating field (E_{acc}),

b) Temperature dependence of rf surface resistance (R_s).

ニオブ空洞の 4.2 K と 2.15 K での性能測定の結果を、Fig. 2-a) に示す。2.15 K において、EP-空洞では 6.0 MV/m から電界放出電子による Q_0 値の低下が起こり、CP-空洞では 14.0 MV/m での超伝導破壊 (クエンチ) によって最大加速電場が制限された。高周波表面抵抗 (R_s) の温度依存性が調べられ (Fig. 2-b)、残留抵抗 (R_{RES}) が EP-空洞では 108 n Ω , CP-空洞では 73 n Ω であった。この残留抵抗値は、2.15 K での BCS 抵抗 (R_{BCS}) 約 15 n Ω に対して大きな値を示しており、この改善が今後の課題である。この残留抵抗の原因としては、空洞表面の欠陥、表面処理時の化学的残留物、水洗時のゴミ、空洞組み立て時のほこり、クライオ内の残留磁場のトラップなどが考えられる。

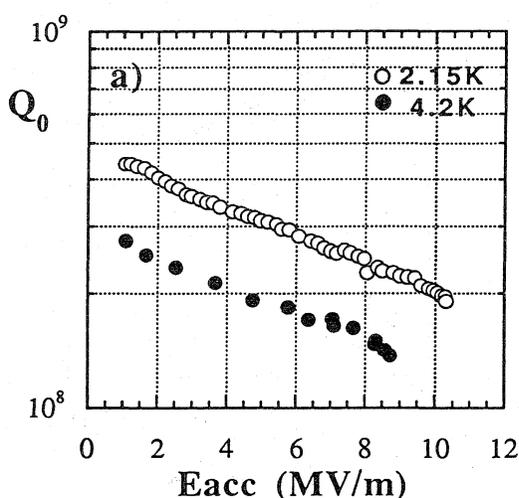
4. ニオブ薄膜空洞 空洞製作

基板となる銅空洞は、滑らかな内表面を得ること、極低温での高熱伝導性を得ること、電子ビーム溶接 (EBW) を必要としないことから、銅電鍍法によって次のように作製された。

1. アルミニウム型の形成、表面の機械研磨
2. 銅空洞の電鍍
3. 銅空洞の外表面の加工
4. アルミニウム型の溶解
5. フランジ (UFC152) の溶接 -EBW

室温での銅空洞の f_0 , Q_0 の測定を行ない、設計値とのよい一致が得られた。

計算値 (SUPERFISH); $f_0=1295.1$ MHz, $Q_0=29210$
測定値 ; $f_0=1294.3$ MHz, $Q_0=25400$



表面処理およびスパッタリング

1. 電解研磨 (EP); 無水クロム酸、リン酸、水の混合液を用いた横型回転電解研磨装置により 30 μ m 研磨し、超純水で水洗。
2. アニール; チタン製の箱に入れ、真空炉内において 600°C で 6 時間加熱。
3. スパッタリング; アルゴンガス雰囲気中での高周波グロー放電によるマグネトロンスパッタリング法により、基板温度 350°C で成膜速度が 3 Å/sec となる条件で 3 μ m のニオブ薄膜をコーティング。

低温性能測定

ニオブ薄膜空洞の 4.2 K と 2.15 K での性能測定の結果を Fig. 3-a) に示す。2.15 K では、電界放出電子、超伝導破壊もなく、10 MV/m 以上の加速電場が達成された。しかし、大きな残留抵抗値のために Q_0 値は、2.15 K でもあまり改善されず 4.5×10^8 ($E_{acc} = 1.0$ MV/m) であり、ニオブ空洞に比べて約 1/10 となっている。表面抵抗の温度依存性が Fig. 3-b) に示されており、700 n Ω もの残留抵抗値が得られた。この残留抵抗には、ニオブ薄膜の含有不純物や結晶粒の大きさなどが関係しており、より清浄で緻密なニオブ薄膜を成膜する膜質の改善が今後必要である。

参考文献

- [1] S. Noguchi, Proc. of 2nd EPAC, Nice, 1990, p303.
- [2] K. Saito, Proc. of 14th Linear Acc. Meeting in Japan, Osaka, 1989, p231.
- [3] E. Kako, Proc. of 1st TESLA Workshop, Ithaca, 1990, p520.

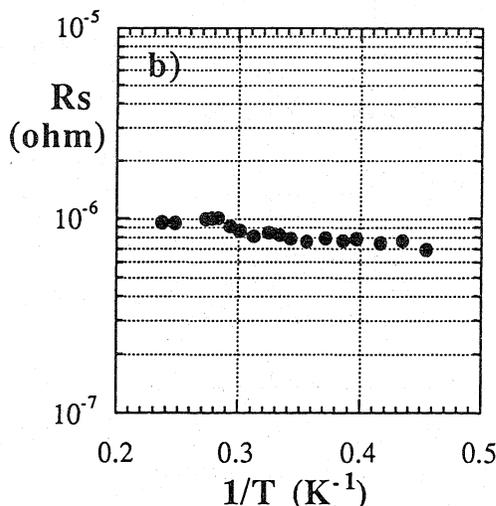


Fig. 3 Vertical test results of the single-cell niobium coated copper cavity.
a) Q_0 value vs accelerating field (E_{acc}) at 4.2K and 2.15K,
b) Temperature dependence of rf surface resistance (R_s).