

Test Results on L-band Superconducting Cavities for High Gradient Applications

Eiji KAKO, Shuichi NOGUCHI, Masaaki ONO, Kenji SAITO, Toshio SHISHIDO,
Masanori MATSUOKA*, Hajime MIWA** and Takafusa SUZUKI**

KEK, National Laboratory for High Energy Physics

1-1, Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan

* MHI, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

** Nomura Techno Research, Ltd.

ABSTRACT

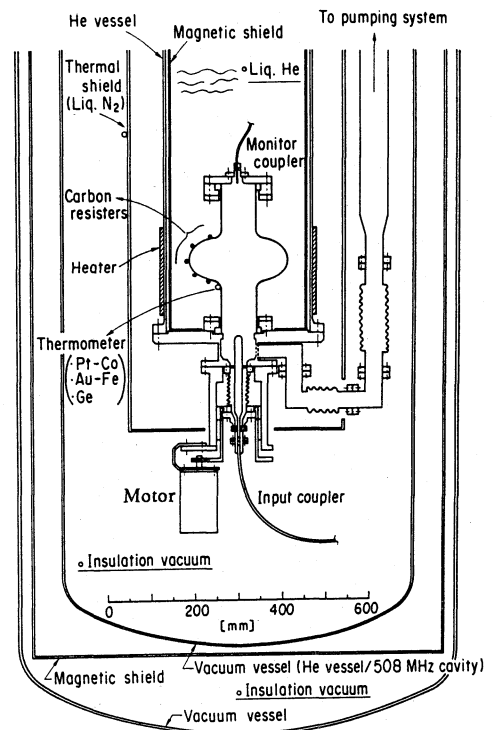
Since 1990, the development of L-band superconducting niobium cavities for high gradient applications has been pursued at KEK. Five 1.3 GHz single-cell cavities have been prepared to investigate high gradient phenomena limiting the maximum accelerating gradients. In the latest tests, the maximum accelerating gradients of more than 20 MV/m have been attained with Q_0 values of $\sim 2 \times 10^{10}$ at 1.9K. However, the deterioration of Q_0 values after quenching at high fields is the most serious problem for us. This paper reports results of measurements on several single-cell cavities and the first 9-cell structure.

高電界超伝導加速空洞の性能測定

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、自由電子レーザーなどへの広範囲な応用が考えられる。その中で、我々が最も興味をもっているのが、将来のTeV領域での電子-陽電子衝突型線形加速器への応用である。これへの応用を実現するためには、現在達成されている以上の高い加速電界 (Eacc) が要求され、その目標値は、 $E_{acc} = 25 \sim 30$ MV/mでその Q_0 値は 8×10^9 以上とされている。この高加速電界の達成を目指した超伝導加速空洞の開発研究が、世界中の各研究所において精力的に推進されており、着実に目標に近づきつつある状況にある [1]。

KEKでは、1990年より開発を開始し[2]、CEBAF (アメリカ) および MHI (三菱重工神戸造船所) との研究協力により5個の1.3 GHz, 単セルニオブ空洞を製作し、各種表面処理法による低温性能測定を行なっている。また、本年度には、9セルニオブ空洞をCEBAFおよびMHIの両者において製作し、この性能試験も同時に進めている。ここでは、一連の単セルおよび9セルニオブ空洞の測定結果を報告する。



第1図. 低温性能測定用テストスタンド

表1. 1.3 GHz, 単セル空洞の表面処理および低温性能測定結果のまとめ

| Cavity | Test | RRR | Surface Treatment | Annealing | Q_0 (low field) | Eacc,max [MV/m] | Q_0 (Eacc,max) | Limitation |
|--------|------|------|------------------------------------|----------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------|
| C-1 | I | 350 | C.P (70 μ m) | no | 3.9×10^9 | 14.3 | 8.4×10^8 | Quench / (F.E) |
| | II | 350 | C.P (10 μ m+5 μ m) | 760°C, 5hours | 1.5×10^{10} | 15.5 | 1.3×10^{10} | Quench / (F.E) |
| | III | 350 | HNO ₃ , C.P (5 μ m) | no | 1.6×10^{10} | 10.1 | 5.3×10^8 | Field Emission |
| C-2 | I | 350 | E.P (120 μ m+5 μ m) | 660°C, 24hours | 2.3×10^9 | 6.4 | 1.2×10^9 | Field Emission |
| | II | 350 | C.P (30 μ m+5 μ m) | 760°C, 5hours | 5.0×10^9 | 15.6 | 3.4×10^9 | Quench / (F.E) |
| | III | 350 | no additional treatment | | 1.1×10^{10} | 9.0 | 3.2×10^9 | Field Emission |
| | IV | >400 | E.P (20 μ m) | 1400°C, 4hours | 3.0×10^{10} | 20.5 | 2.2×10^{10} | Quench / (F.E) |
| | V | >400 | E.P (30 μ m), HPR | no | 2.3×10^{10} | 20.4 | 1.7×10^{10} | Quench / (F.E) |
| M-1 | I | 100 | E.P (110 μ m+5 μ m) | 750°C, 10hours | 2.9×10^9 | 7.7 | 1.0×10^9 | Field Emission |
| M-2 | I | 200 | C.P (100 μ m+5 μ m) | 760°C, 5hours | 1.1×10^{10} | 17.3 | 7.8×10^9 | Quench / (F.E) |

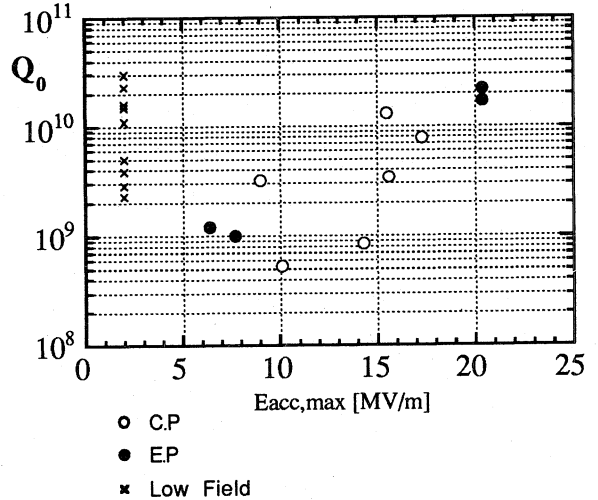
2. 単セルニオブ空洞の高電界テスト

ニオブ空洞は、円盤状の薄板を金型深絞り加工によりハーフセルに成形し、電子ビーム溶接 (EBW) で赤道部およびビームパイプを接合することにより製作される。その後、空洞の内表面を滑らかにかつ清浄にするための表面処理が施され、第1図に示される低温性能測定用テストスタンドに取り付けられる。低温測定時には、超伝導空洞の高周波表面抵抗を減少させて Q_0 値を向上させるために、液体ヘリウムは λ -ポイント以下の超流動状態 (2.0 K付近) にまで冷却される。

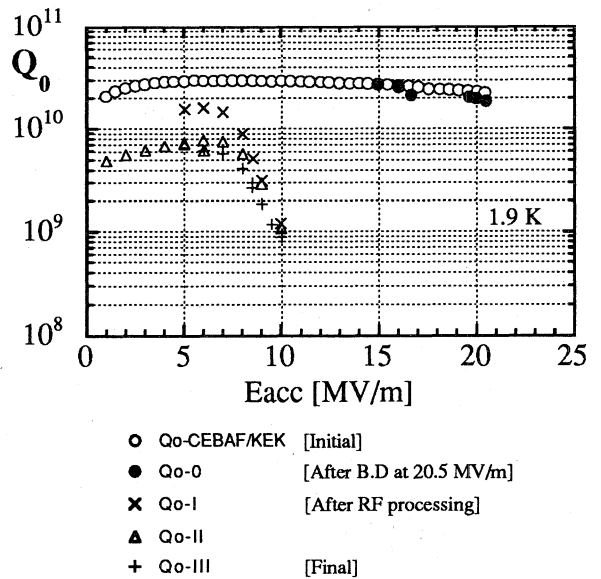
各単セル空洞の表面処理法および低温性能測定の結果が、表1にまとめられている。電解研磨 (E.P) および化学研磨 (C.P) による両研磨法が適用され、性能比較を行なっている。研磨中に発生する水素をニオブ空洞が吸収することにより生じる Q_0 値の悪化を防ぐために、熱処理 (アニール) は本質的に重要である。また、新しい試みとして、HNO₃処理、1400°Cアニール、高水圧洗浄 (HPR) [3] などが、取り入れられた。

初期の性能測定においては、大きな残留抵抗のために、低電界での Q_0 値が理論的に予想される値より、かなり低かった ($2.3 \sim 5.0 \times 10^9$, 第2図 (x)-印)。この主な原因は、クライオスタット内の残留磁場であり、最大で150 mGauss が観測された。ヘリウム槽の内側に磁気シールドを設置した結果、 Q_0 値は $\sim 10^{10}$ 以上に著しく向上し、残留抵抗は 10 n Ω 程度まで減少した。

超伝導空洞の最大加速電界 (Eacc,max) を制限している主な原因として、熱的超伝導破壊 (Quench) と電界放出電子 (Field Emission) がある。各測定における最大加速電界とその Q_0 値が、第2図に示されている。初期のE.P 空洞では、6 MV/m 付近から発生する電界放出電子によって最大加速電界が制限されていた。しかし、最近



第2図. 各測定における最大加速電界とその Q_0 値および低電界での Q_0 値



第3図. C2-(IV)測定時の Q_0 値の悪化現象

の測定では、E.PとC.Pのどちらにおいても15～20 MV/mの最大加速電界が、電界放出電子を観測することなしに達成されている。特に1400°Cアニール後にE.Pした空洞では、20.5 MV/mの最大加速電界が 2.2×10^{10} という高い Q_0 値で得られている(第3図参照)。

最も注目すべき問題は、最大加速電界での超伝導破壊後に起こる著しい Q_0 値の悪化である[4]。これは、どの空洞でも共通して起こる現象であり、1例を第3図に示す。超伝導破壊時には、空洞真空度の悪化やアイリス部での局所的な発熱を観測することもある。 Q_0 値は、高周波エージングにより徐々に悪化していき、最終的には7 MV/m付近からの電界放出電子によって最大加速電界が制限される。この性能を回復するためには15 μ m以上の研磨を必要とする。この問題を克服することが、今後目標を達成するための最大の課題である。

3、9セル超伝導空洞の性能測定

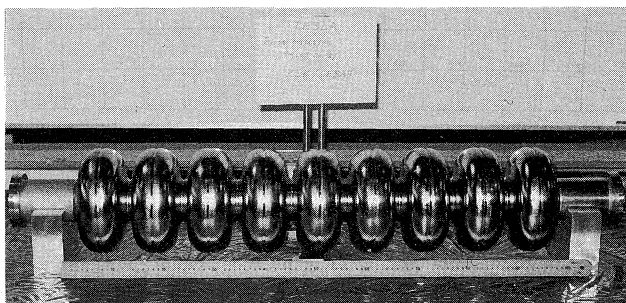
CEBAFとKEKとの研究協力により作製された1.3 GHz, 9セル超伝導空洞を、第4図に示す。この空洞は、CEBAFにおいて、1400°Cアニール後にEBWによる接合が行なわれ完成された。その後、80 μ mのE.P、760°C、5時間のアニール、10 μ mの仕上げE.P、超純水洗浄、 H_2O_2 リンス、高水圧洗浄などの表面処理がKEKによって行なわれた。

この9セル空洞の低温測定の結果を第5図に示す。最大加速電界は、セルフパルス状となる熱的超伝導破壊により9.0 MV/mに制限され、その Q_0 値は 9.2×10^9 であった。このセルフパルスは、第6図に示されるように加速電界が9.0 MV/mに到達すると局所的な発熱により超伝導破壊が起こるが、その場所が冷却されれば、再び加速電界を回復する現象であり、ある周期で繰り返される。この時、空洞真空度の悪化や高周波エージングによる Q_0 値の悪化は、観測されなかった。どのセルに原因があるのかを確認するために、パスバンド($8\pi/9 \sim 3\pi/9$)モードでの測定を行なったが、はっきりと同定することは困難であった。

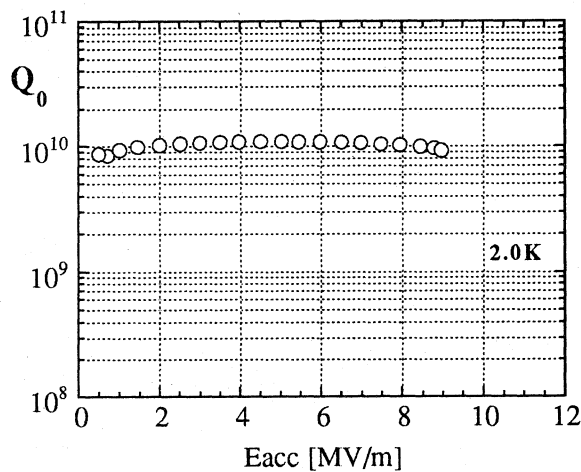
MHIとKEKとの研究協力による9セル空洞の製作もすでに完成しており、近く測定される予定である。

参考文献

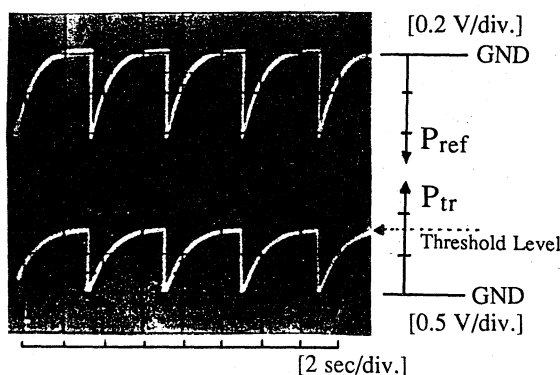
- [1] K. Saito, "Present Technology Status of Superconducting Cavities for TESLA", in this meeting.
- [2] E. Kako et al., "Development of L-band Superconducting Cavities at KEK", Proc. of the 16th Linear Accelerator meeting in Japan, (1991), p148.
- [3] H. Miwa et al., "Application of High Pressure Rinsing for Superconducting Niobium Cavities", in this meeting.
- [4] E. Kako et al., "Development of High Gradient L-band Superconducting Cavities", Proc. of the XVth International Conference on High Energy Accelerators, Germany, (1992), to be published.



第4図. CEBAF/KEK協力による9セル空洞



第5図. 9セル空洞の低温性能測定の結果



第6図. セルフパルス時における
反射電力(Pref)および透過電力(Ptr)の波形