

FABRICATION METHOD OF L-BAND NIOBIUM COATED COPPER SUPERCONDUCTING CAVITIES (3)

Kazuyoshi SAITO, Masahiko OKUDA, Toshiji SUZUKI,
Kenji SAITO ^{A)} Eiji KAKO ^{A)}, Syūichi NOGUCHI ^{A)}, Takafusa SUZUKI ^{B)}

Kobe Steel, Ltd.

^{A)} National Laboratory for High Energy Physics

^{B)} Nomura Techno Research Co., Ltd.

ABSTRACT

L-band niobium coated copper cavities for high energy electron accelerators have been developed.

Q-values of the cavities at low power were 1.2×10^7 to 4.1×10^8 . In this paper, the dependance of Q-values on the sputtering conditions were discussed.

L バンドニオブ薄膜空洞の製作法 (3)

1. はじめに

Nb超電導空洞の最大加速電界は、Nbの臨界磁場から計算すると約60 MV/mの値が期待できるが、現状では10～30 MV/mの値が得られているにすぎない。この原因の一つとしてNb表面で発生した熱が効率良く放散されず、Nbの温度が上昇し、その結果超電導状態が常電導状態に転移することが考えられる。我々は、電鍍法で製作した銅空洞の内面にスパッタ法によりNbを成膜する方法で、熱放散が良く加速電界の高い超電導空洞を開発中である。今回は製作したNb薄膜空洞(シングル)のQ値測定法と測定結果について報告する。

2. Q値と残留抵抗の測定法

超電導空洞のQ値は常電導空洞のQ値に比べて大きいため、測定にはパルス波減衰法を用いた。図1は測定系のブロック図である。負荷Q値(Q_L)は方形パルスを入射しその反射波形の減衰時間より求めた。図2に反射波形をオシロスコープで観察した例を示す。空洞自身の無負荷Q値(Q_0)は

$$Q_0 = Q_L (1 + \beta_{in} + \beta_{trans.})$$

β_{in} : インプットカプラの結合係数

$\beta_{trans.}$: トランスミットカプラの結合係数

の関係より得られる。各々のカプラの結合係数は連続波を入射し、入射、反射、透過のパワー比率より求めた。

超電導体の表面抵抗 R_s は温度に依存するBCS抵抗と温度に依存しない残留抵抗の和

で表される。残留抵抗 R_{res} はNb膜の不純物や結晶粒の大きさ等が関係しており、清浄で緻密なNb膜をつくることが重要である。本実験では4.2 Kから1.8 KのQ値測定より表面抵抗 R_s の温度依存性を得て、この結果より R_{res} の値を推定した。 R_s の算出には $R_s = G/Q_0$ の関係を用いた。ここでGは空洞形状に固有のパラメータであり、測定に用いた空洞では $G = 269$ である。

4. 実験結果

表1に製作したNb薄膜空洞の4.2 KでのQ値の測定結果をまとめた。図3は空洞の表面抵抗 R_s の温度依存性である。

実験には3個の空洞を用い、実験後Nb膜を剥がして再びスパッタ成膜した。(例えば空洞#1を再処理したものは#1-2とした。)

KEKの508 MHz Nb空洞やCERNの352 MHz Nb空洞で得られているQ値とBCS抵抗の周波数依存性から、1.5 GHz Nb空洞の4.2 KでのQ値はおおよそ 5×10^8 であると予想される。

#1-1は2極スパッタ法を用いてNb膜を成膜したがQ値が予想よりも低かったので#1-2からはマグネトロンスパッタ法を用いて成膜速度を上げ、膜中の不純物を低減することを狙った。#1-3ではスパッタガス圧を低くし結晶粒を小さくして緻密な膜を成膜した。これらのことはQ値を約3倍大きくしたが、まだ十分な値ではなかった。

#1ではCu空洞内面の粗さが粗い(約 $3 \mu\text{m Rz}$)という問題があった。そこで空洞#2では空洞内表面を滑らかにした(約 $0.5 \mu\text{m Rz}$)。その結果#2-1ではQ値は 2.3×10^8 まで向上した。また、この時の残留抵抗は約 $500 \text{ n}\Omega$ であった。

Nbバルク空洞では電界研磨時に表面に吸着した水素原子がQ値を低下させる事が報告されている¹⁾。Nb薄膜空洞でも電界研磨を用いており、バルクと同様な水素によるQ値の低下が考えられる。そのため#3-1では電界研磨後(Nb膜成膜前)にCu空洞を真空中で熱処理して、#2-1と同一条件でNb膜を成膜した。その結果、Q値は 4.1×10^8 に向上、残留抵抗も約 $120 \text{ n}\Omega$ に減少した。

#2-2では#2-1の空洞内面のフッ酸リンスを行った。その結果Q値は 3.8×10^8 になり、残留抵抗はフッ酸リンス前の $500 \text{ n}\Omega$ から $120 \text{ n}\Omega$ に減少した。これは残留抵抗の原因となっていたNb膜上の酸化物が取り除かれた為と推察できる。

#3-2では#3-1を過酸化水素水処理することで安定な酸化物層である Nb_2O_5 層をNb膜表面に形成することによって残留抵抗を低減することを試みた。結果はQ値が 3.3×10^8 、残留抵抗が約 $200 \text{ n}\Omega$ であり特性の向上はみられなかった。

5. 終わりに

LバンドNb薄膜空洞を製作し、低RFパワーでのQ値と残留抵抗を測定した。得られた最良の値は、Q値が 4.1×10^8 、残留抵抗が $120 \text{ n}\Omega$ であった。また、KEKで高RFパワー測定を行った結果、最大加速電界は 10 MV/m であった。この測定の詳細は別講演で報告される。

Reference

1) Kenji SAITO et al., proc. 4th Workshop on RF Superconductivity, KEK, Tsukuba, Japan, ed. Y. Kojima, KEK Report 89-21(1990) 635.

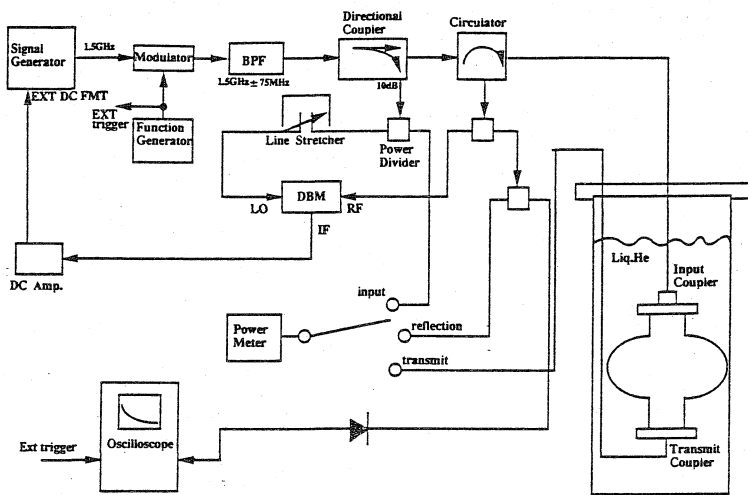


図1 Q値測定システム

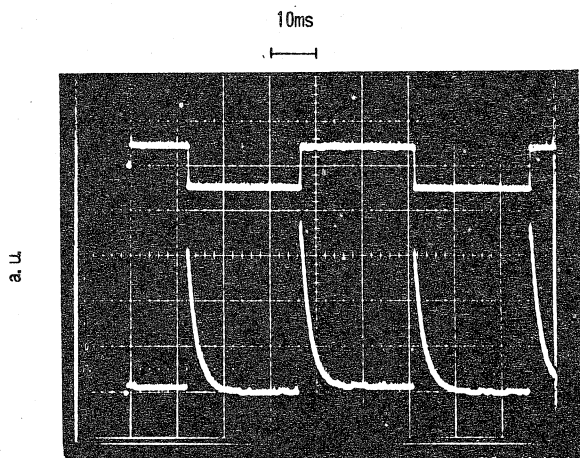


図2 反射波形の減衰

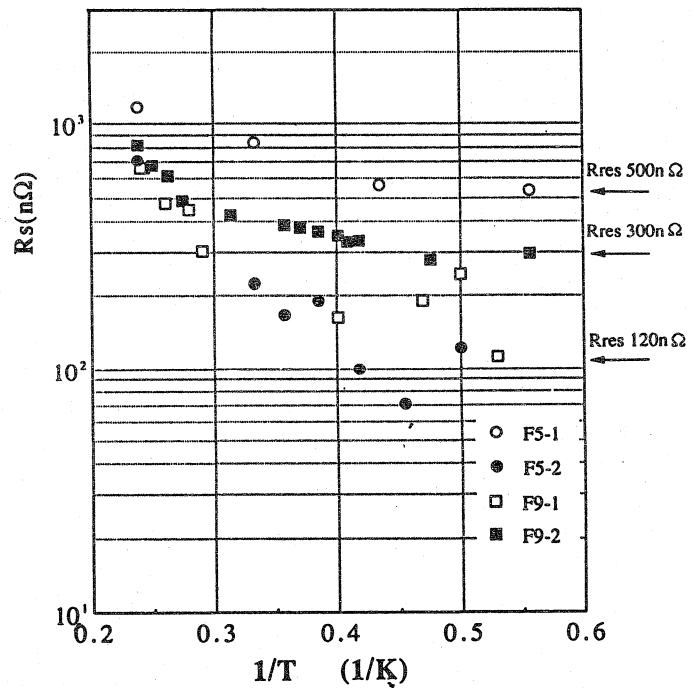


図3 空洞の表面抵抗と温度の関係

表1 Q値測定結果

実験 #	Q値(4.2K)	Q値(1.8K)	残留抵抗	特徴
1-1	1.2×10^7	測定せず	測定せず	RF 2極スパッタ
1-2	3.3×10^7	測定せず	測定せず	マグネトロンスパッタ
1-3	3.9×10^7	測定せず	測定せず	低スパッタガス圧
2-1	2.3×10^8	4.8×10^8	500 nΩ	表面滑らか
2-2	3.8×10^8	2.2×10^8	120 nΩ	フッ酸リンス
3-1	4.1×10^8	1.1×10^8	120 nΩ	Cu空洞熱処理
3-2	3.3×10^8	9.9×10^8	300 nΩ	過酸化水素水処理