

Fabrication of an X-band Structure by Diffusion Brazing with inserting Sputtered Gold Film

A. Yamamoto, N. Kaneko, T. Kawaratani, O. Hara, M. Yamamoto**, Y. Higashi* and T. Higo*

Beam Technology Department, Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd. (IHI)

1-15, Toyosu 3-chome, Koto-ku, Tokyo 135

**The Graduate University for Advanced Studies

*National Laboratory for High Energy Physics (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-Ken 305

ABSTRACT

Study on the feasibility of the diffusion brazing for a high-accuracy manufacturing method (aiming at the JLC X-band linac) is now going on in KEK and IHI. A gold film is inserted between copper surfaces. It is not a good idea to put a gold sheet between disks because the number of sheets is very large and the required accuracy of setting sheets is very tight. Therefore, we are now trying to put a thin gold film directly on the copper surface by RF sputtering.

スパッタリングによる金膜を用いた拡散ろう付法によるXバンド加速管の開発

1. はじめに

高エネルギー物理学研究所(KEK)において、研究開発が進められているJLC(Japan Linear Collider)計画の主ライナック用Xバンド加速管の製作では、高精度の機械加工及びそれを保持する接合技術が必要とされている。JLC計画では、高いリミノシティを得るために、横方向ウェークフィールドが原因となるエミッタンス増大を抑制することが要求されている。その手段の1つとして、周波数分散構造(Detuned Structure)が検討されている。この加速管は、横方向モード(ダイポールモード)の周波数を加速管全体に適当に分散させるものであり、その周波数精度は 1×10^{-4} 以上必要である。JLCでは、横方向モードの発生の原因となる対称性を破る変形をなるべく持ち込まないようにするために、加工後、空洞壁を押し潰す周波数チューニングは当面考えていない。このため部品の加工及び接合は、 1×10^{-4} よりも充分高い精度が求められている。

この精度を実現するための接合法として、スパッタリングで生成した金の膜を介してセルの拡散ろう付法による接合試験を行ったので報告する。なお、試験に使用した加速管のセルはKEKにて加工されたものである¹⁾。

2. 拡散ろう付接合法の特徴

拡散ろう付は、ろう材と銅の拡散過程における融点の低下を利用して接合するものである。従って、金をろう材として拡散ろう付を行う場合、金ろう付と銀ろう付の中間の接合温度を使用するので、接合の段数を増やせるという利点がある。また、通常の拡散接合よりも荷重が軽く、金ろう付よりも温度が低く、更に接合部の構造を簡単にできるので、熱による変形の防止が期待できる。また、接合面で母材が溶融しているために真空リークに対する信頼性が高い。

3. スパッタリングによる金膜の生成

超精密加工した母材の表面形状を損なうことなくろう材をセットするために、スパッタリングにて母材(加速管のセルの接合部分)に直接金の膜を生成してろう材とした。図1にスパッタリングの概略図を示す。

スパッタリングで金を成膜する前に、金膜の付着が許されない場所に、フォトレジスト塗布する。その場所は、セルのカップ面、及びアライメントの基準となるセルの外周である。この様な手当てを施した後、カップサイドから金をスパッタし、全面に成膜する。成膜後、フォトレジスト上の金は、フォトレジストを除去することにより、剥離させる事が可能である。

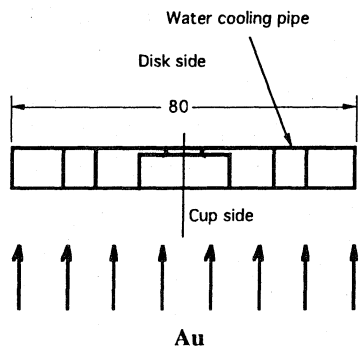


図1. スパッタリング概略図

4. 拡散ろう付けの試験結果

(1) 金成膜によるセル平面の変化

加速管セルの平面度が、スパッタリングによる熱や膜厚のムラで損なわれないことを確認した。図2-1、図2-2にレーザー干渉計による金成膜前後のセルの平面度の測定結果を示す。接合試験に用いるセルについて、このような測定を行った結果、金の成膜による寸法の変化は、微小であると判断できた。



図2-1 成膜前 PV=0.999, RMS=0.212



図2-2 成膜後 PV=1.031, RMS=0.215

PV: Peak to Valley 最大高さ (μm)

RMS: Root Mean Square 平均粗さ (μm)

(2) 接合状態

拡散ろう付け後に、走査ピッチ 0.3 mm を有する超音波探傷装置 (UT) によって、接合面のチェックを行った。結果を図3に示す。図より、カップとセルの外周との間では、UTの反応が無いことが分かる。このことは、セルの平面が均一に接合していることを示す。但し、金の膜厚が非常に薄い場合ボイドが生じることが、接合断面の反射電子像の観測で確認されている¹¹⁾。

加えて、Heリークディテクターによるリークチェックも行なわれた。約10回の接合で、リークは全くなかった。このことより、この接合方法は、リークに対する信頼性は、非常に高いと思われる。

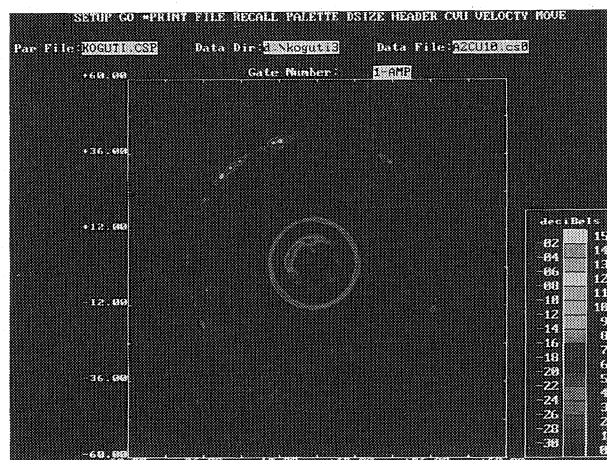


図3 超音波探傷装置による接合面の観測
外側の円はセルの外周を示し、内側の円はカップを示す。

(3) 寸法変化

2個のセルの拡散ろう付けを9回行った。その時の寸法の変化と周波数の変化を以下にまとめる。

拡散ろう付け前後で全長の寸法変化を、静電容量型変位計 (マイクロセンス) を用いて測定した。各サンプルにおいて、4箇所測定を行ない、その平均値・最大値・最小値を、図4に示す。図から、2セルの接合では全てのサンプルで、約 $3\mu\text{m}$ 縮んだことがわかる。また、他のサンプルである5セルの接合では、その全長は約 $13\mu\text{m}$ 縮んでいた。以上のことから、1接合面、又はセル長 $\sim 9\text{mm}$ 当たり約 $3\mu\text{m}$ 縮むことがわかったが、そのメカニズム・場所などは特定できていない。

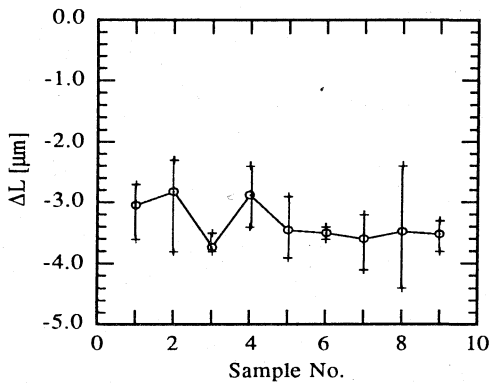


図4 2セル接合後の全長の変化

(4) 周波数変化

拡散ろう付け前後で、モノポールモードとダイポールモードの周波数の変化も測定した。測定は両端をハーフセルで挟む方法を用い、TM010の $n\pi/3$ 、最低次のダイポールの $n\pi/3$ 、及び2番目のダイポールモードの $\pi/3$ と $2\pi/3$ の共振周波数を測定した。この結果をモノポールモードについては図5-1に、ダイポールモードについては図5-2に示す。

モノポールモードについては、サンプル1~6までは接合前後での変化は1MHz以内であり、サンプル毎のデータのばらつきも少ない。この周波数変化は、通常ろう付で接合したときよりも十分小さい^[2]。サンプル1~6で使用したのとは異なる拡散ろう付けの治具を使用したサンプル7~9の周波数変化は、2倍程度大きくなった。使用した治具が原因となっていると思われるが、確認はできていない。

ダイポールモードについては、おおむね1MHz程度の周波数変化が測定された(2番目ダイポールの $2\pi/3$ は除く)。この値は、ダイポールモードの 1×10^{-4} 程度であり、拡散ろう付けが周波数分散構造を製作するときの接合方法としてが有望であるということを示している。サンプル1・4・5・7の2番目のダイポールモードの $2\pi/3$ の周波数変化が、他と比べて数倍程度大きい原因は特定出来ていない。このモードはディスクの傾きに敏感であるので、この事に関係しているものと思われる。一方、このモードは最低次のモードに比べて、インピーダンスが大きくないため、問題が少ないはずである。しかし、今後、検討すべき問題の1つである。

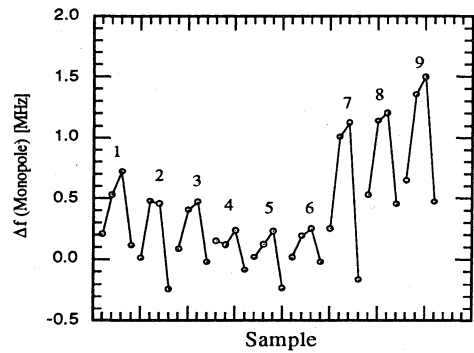


図5-1 モノポールモードの周波数の変化
順に $0, \pi/3, 2\pi/3, \pi$ モードの周波数変化をサンプル毎に示している。

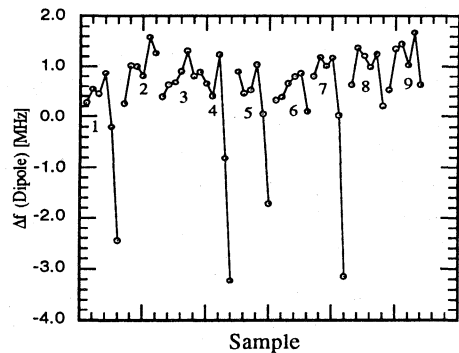


図5-2 ダイポールモードの周波数の変化
順に、最低次のモードの $\pi, 2\pi/3, \pi/3, 0$ 、2番目のモードの $\pi/3, 2\pi/3$ モードの周波数変化を、サンプル毎に示している。

5. まとめ

本研究により、金膜を介した拡散ろう付によるXバンド加速管のセルの接合方法は、接合面にわたってむらなく一様に接合していることが確認できた。また、接合前後での周波数変化が1MHz以内であった。以上より、精密に加速セルを接合できる見通しがついた。

現在、この結果を踏まえ30cmクラスの加速管の製作を進めている。

参考文献

- [1] H. Sakai et al., Precise fabrication of X-band accelerating cell for JLC (3). This Proceedings.
- [2] T. Higo et al., KEK preprint 93-57