

Measurement of degassing from copper coated chamber

Kenji Shinoe^{1,A)}, Isao Ito^{A)}, Hirofumi Kudoh^{A)}, Takashi Shibuya^{A)}, Hiroshi Sakai^{A)}, Hiroyuki Takaki^{A)}
Norio Nakamura^{A)}, Masanori Kobayashi^{B)}

^{A)} Synchrotron Radiation Laboratory, Institute for Solid State Physics, University of Tokyo, (SRL-ISSP)
5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba, 277-8581, Japan

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization, (KEK)
1-1 Oho Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801, Japan

Abstract

We describe the development of the copper coated chamber, which is suitable for the 3rd generation light sources. This chamber aims to reduce the resistive-wall impedance.^[1] However, this coating might affect the ultra-high vacuum condition. In order to check the validity of this chamber for the ultra-high vacuum condition, we have produced the copper coated chamber and built the test bench. The measured degassing from the inner surface of the newly developed copper coated chamber is sufficiently small to use it in ultra-high vacuum condition.

銅メッキチャンバーからの脱ガス測定

1. はじめに

東京大学で計画推進中の極紫外・軟X線高輝度放射光源リング^[2] (*Super SOR*) のような第3世代に属する光源加速器では、積極的にアンジュレータなどの挿入光源が用いられる。挿入光源部の真空チャンバーは挿入光源のギャップに合わせて開口部が狭くなるが、ビーム不安定性の成長率はチャンバー口径の3乗に反比例するので、チャンバーの開口部が狭くなった挿入光源部ではビーム不安定性が起きやすくなる。極紫外・軟X線高輝度放射光源計画ではビーム不安定性を抑制するためのフィードバック制御なども精力的に検討されているが、フィードバック制御に対する負荷を減らすため、出来るだけ不安定性の発生要因を少なくすることが要求されている。この要求に対処するため、SUSチャンバー内面に銅メッキを施し、内表面の電気伝導度を上げることで、チャンバーのインピーダンスを下げることを検討している。図1にチャンバー材質を、SUS、SUSチャンバー内面に銅をコーティングした場合、及び銅のチャンバーとした場合についての周波数に対する単位長さあたりの横方向インピーダンスを計算した結果を示す。銅のコーティングの厚みは50 μm 、100 μm 、150 μm 、200 μm としてある。この図から電気伝導度の高い銅のチャンバーは電気伝導度の低いSUSチャンバーに比べてインピーダンスが低い。銅をコーティングしたSUSチャンバーでは、銅コーティングの厚さが薄い場合には、比較的高い周波数側で銅チャンバーのインピーダンスに近づき、コーティングした銅が厚くなるほど低い周波数側においても、インピーダンスが銅チャンバーに近い値を示している。これは周波数が高くなると表面付近の伝導が支配的になるためである。このようにチャン

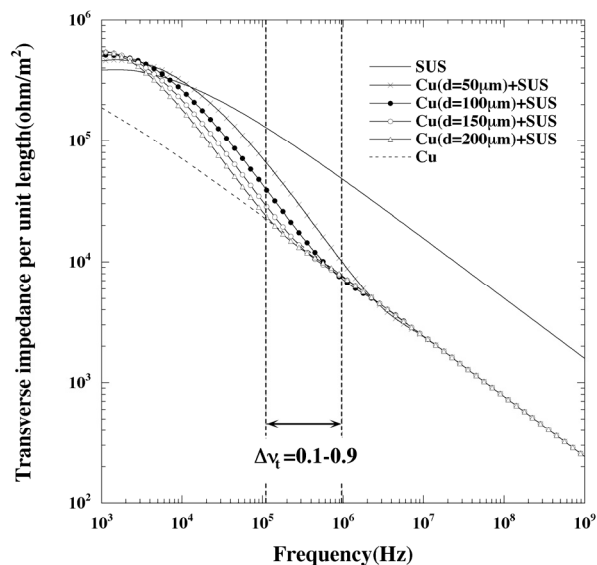


図1：単位長さ当たりの横方向インピーダンス

バー材質がSUSであっても、銅コーティングの厚みに応じて、対応する周波数領域でのインピーダンスの改善ができる。インピーダンスを改善すべき周波数領域は、ベータートロン振動数の小数部であり、図1に示してある $\Delta \nu_t = 0.1 \sim 0.9$ の領域（周波数では $10^5 \text{ Hz} \sim 10^6 \text{ Hz}$ の領域）である。この領域でのSUSチャンバーのインピーダンスを銅チャンバーのそれと等しくするためには、SUSチャンバーの内面に200 μm 程度の銅コーティングを行えば良い。またSUSチャンバーに銅コーティングを行った場合の利点として、平たくつぶれやすい形状の挿入光源チャンバーにおいて、チャンバーの強度を落とさずにすむ、及び挿入光源のギャップを変化させた場合に磁

¹ E-mail: shinoe@issp.u-tokyo.ac.jp

場も変化するが、この磁場の変化によって発生する渦電流も抑えることができる。この程度の厚みの銅コーティングを行う方法として、コーティングした銅の厚みの制御や剥がれにくさ、及び挿入光源チャンバーの大きさを考慮すると、メッキによる銅コーティングが適当と考えられる。しかし銅メッキは、幾度かの酸処理など比較的複雑な工程を経るので、チャンパー内面の汚染による超高真空下への影響が懸念される。このようなことから銅メッキからの超高真空下での脱ガスを調べている。

2. 銅メッキチャンパー

我々が検討している銅メッキは主に挿入光源部の真空ダクトに用いられる。そのため銅メッキを行った挿入光源部真空ダクトの試作モデルの製作も行っている。挿入光源部ダクト試作モデルを図2に示す。このモデルの銅メッキは内面全体ではなく、ダクト上下面でビーム中心から $\pm 25\text{mm}$ の範囲でメッキが施されている。ストライプ状銅メッキの面積と銅メッキを除いたSUSチャンパーの面積比は約1:1となっている。このチャンパーに施されたメッキの厚みは $110\mu\text{m} \sim 140\mu\text{m}$ であった。この値はチャンパーと同時に試験片にメッキを行い、試験片のメッキ厚を測定して得られた値である。

挿入光源ダクトは外形が角形で、内面形状が楕円の特長な形状である。ガス放出率の測定には一般的な形状の方が測定しやすいので円筒形のチャンパーを準備した。今回ガス放出率の測定を行うために準備したチャンパーの形状は長さ1,400mm、チャンパー断面の内径は約150mmの円形で、内面に#400バフ研磨を行った。チャンパーに施したメッキの条件は、メッキ液に硫酸銅を用いてメッキ液の液温 30°C 、メッキ時間を3時間としてメッキを行った。また銅メッキの下地にはニッケルストライクメッキを行っ

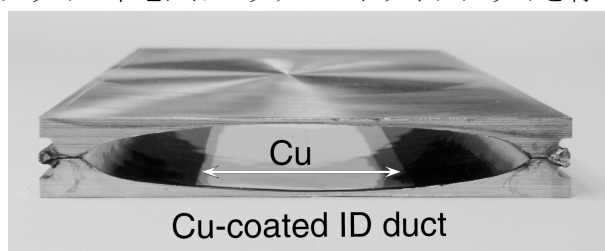


図2：挿入光源部真空ダクトの試作モデル

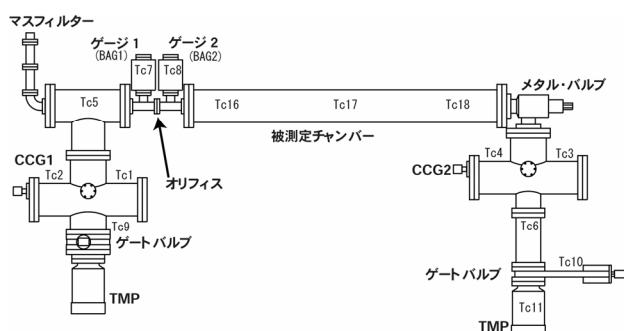


図3：ガス放出率測定システム概略図

ている。

3. 脱ガス測定

3.1 測定システムとその性能評価

今回、脱ガスの測定にはコンダクタンスが既知のオリフィスを用いる差圧流量法を用いた。測定を行ったシステムの概略図を図3に示す。

今回の測定で用いたオリフィスは直径48.1mm、厚さ2mmの無酸素銅の円盤の中心に直径5mmの穴を空けたものである。中心から半径7.5mmまでの部分はコンダクタンス算出の際、厚みによるエラーを少なくするため厚さを0.5mmになるまで削ってある。このオリフィスのコンダクタンスの大きさは $2.28 \times 10^{-3} [\text{m}^3/\text{s}]$ (N_2 , 24°C 換算)である。このオリフィスを介して、ガス放出率を測定するチャンパーはターボ分子ポンプ (TMP) に接続されている。本来このTMPにて排気が行えれば良いのであるが、オリフィスを用いてコンダクタンスを小さくしているので十分な排気を行うためには時間を要する。このため被測定チャンパーのもう一方は、メタルバルブを介してもう一つ別のTMPに接続されている。TMPの排気速度はどちらも300l/sである。ベーキング時はこのメタルバルブを開くことで、被測定チャンパーに対する排気速度を大きくし、被測定チャンパーが超高真空に到達した後はメタルバルブを閉じ、オリフィスの上下流に取り付けられたB-Aゲージにより圧力を測定し、圧力差からガス放出率を求めることとした。B-Aゲージの較正には、ライボルト社製エクストラクタゲージを用いて、あらかじめ較正されたエクストラクタゲージ用測定子を用いて窒素ガスにて較正を行った^[3]。

今回の測定ではガス放出率の測定を超高真空下で測定することが重要であるので、今回構築した測定システムでそのような測定が可能か判断するため、測定システムの性能評価を最初に行った。性能評価は形状が等しく内面に銅メッキを施していないSUS製チャンパーを用いて、そのガス放出率を超高真空下で求めた。この時使用したSUSチャンパーの内面処理には#400バフ研磨と電解研磨処理を行った。

ベーキング時の温度はアルメル・クロメルの熱電対を用い、測定システムの適当な箇所十数カ所に取り付けて測定した。ベーキング時の圧力はコールドカソードゲージ (CCG1, CCG2) にて測定した。

ベーキングの条件はチャンパーの昇温速度を $2.2^\circ\text{C}/\text{min}$ にて 300°C まで上昇させ、 300°C にて100時間保持した。その後48時間放置し室温 (24°C) まで温度を下げた。この状態でB-Aゲージにて、それぞれの圧力の測定を行った。この時測定された圧力値は較正後の値でゲージ1が $(2.32 \pm 0.15) \times 10^{-8} [\text{Pa}]$ 、ゲージ2が $(1.91 \pm 0.02) \times 10^{-7} [\text{Pa}]$ であった。この値とオリフィスのコンダクタンスからSUSチャンパーの

ガス放出率 $(5.02 \pm 0.08) \times 10^{-10}$ [Pa m³ s⁻¹ m⁻²] (N₂, 24°C換算)が得られた(測定1)。この値はよく知られているSUSのデータ^[4]に近い値であり、このことから今回測定に使用しているシステムで超高真空下でのガス放出率測定が行えると判断できる。

3.2 脱ガス測定

今回測定に用いられたシステムにて銅メッキチャンバーのガス放出率を求めた。

銅メッキチャンバーのベーキング条件は、SUSチャンバーと同様昇温速度が2.2°C/min、ベーキング温度300°Cで100時間保持した。その後48時間放置した後、一旦大気暴露を行い、その後再び昇温速度2.2°C/min、ベーキング温度300°Cで100時間保持し、48時間放置して室温の状態に戻した。この時B-Aゲージにて測定された圧力は校正後の値でゲージ1が $(1.24 \pm 0.14) \times 10^{-8}$ [Pa]、ゲージ2が $(4.26 \pm 0.15) \times 10^{-8}$ [Pa]であり、この時のガス放出率は $(0.90 \pm 0.06) \times 10^{-10}$ [Pa m³ s⁻¹ m⁻²] (N₂, 24°C換算)が得られた(測定2)。この値はメッキを行っていないSUSチャンバーで得られた値より小さい値になっている。しかし、ベーキング条件が若干異なっているため、一概に比較はできない。比較を行うためベーキング条件が同一になるようにSUSチャンバーのベーキングを行った。その結果得られた圧力値が校正後の値でゲージ1が $(0.65 \pm 0.14) \times 10^{-8}$ [Pa]、ゲージ2が $(5.18 \pm 0.15) \times 10^{-8}$ [Pa]となり、ガス放出率 $(1.36 \pm 0.06) \times 10^{-10}$ [Pa m³ s⁻¹ m⁻²] (N₂, 24°C換算)が得られた(測定3)。この値はメッキチャンバーで得られた値に近い値となっている。

今回行ったガス放出率の値とその時のベーキング条件を表1にまとめる。

表1：各チャンバーとベーキング条件に対するガス放出率の値

| | ガス放出率の値 [Pa m ³ s ⁻¹ m ⁻²] (N ₂ , 24°C) | ベーキング 条件 |
|----------------|---|-------------|
| 測定1 (SUS) | $(5.02 \pm 0.08) \times 10^{-10}$ | 300°C 100h |
| 測定2 (Cuメッキ) | $(0.90 \pm 0.06) \times 10^{-10}$ | 300°C 200h |
| 測定3 (SUS) | $(1.36 \pm 0.06) \times 10^{-10}$ | 300°C 200h |

3.3 残留ガス分析

表1での測定2での銅メッキチャンバーと測定3でのSUSチャンバーについて四重極質量分析器でそれぞれの残留ガス分析を行い比較を行った。その結果が図4である。どちらの場合も残留ガスの主な物は水素、水、一酸化炭素、二酸化炭素である。スペクトルパターンの違いについて、顕著なのはm/e=25,26,27のガスで、メッキチャンバーから多く検出されている。今の所このガスの特定には至っていない。これらのガスによる蓄積リングへの影響については、一酸化炭素との比率から小さいと予想される

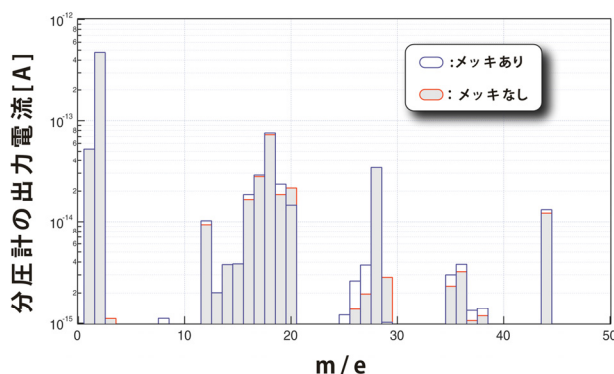


図4：メッキチャンバーとSUSチャンバーの残留ガススペクトルの比較

が、銅メッキとの関連を含め今後検討を要する。

4. まとめ

ガス放出率の測定を行うために、ガス放出率測定システムを構築し、その性能評価を行った。性能評価にはSUS製チャンバーを用いた。チャンバー内面には#400パフ研磨と電解研磨を行い、このチャンバーを300°Cにて100時間ベーキングを行いガス放出率の測定を行った。この時ガス放出率として $(5.02 \pm 0.08) \times 10^{-10}$ [Pa m³ s⁻¹ m⁻²] (N₂, 24°C換算)が得られた。この値はよく知られているSUSの値に近い値であり、今回構築したシステムで超高真空下でのガス放出率の測定が可能であることを示している。

このシステムを用いて銅メッキチャンバーとメッキを行っていないSUS製チャンバーのガス放出率を同一のベーキング条件で測定、比較した。その結果ガス放出率として、メッキチャンバー、SUS製チャンバーそれぞれ、 $(0.90 \pm 0.06) \times 10^{-10}$ [Pa m³ s⁻¹ m⁻²] (N₂, 24°C換算)、 $(1.36 \pm 0.06) \times 10^{-10}$ [Pa m³ s⁻¹ m⁻²] (N₂, 24°C換算)が得られた。この値を比較して両者に大きな差異はなかった。これはSUS製チャンバーにメッキを行っても、ガス放出の面から見れば超高真空下での使用が可能であることを示している。

5. 今後の課題

今回の脱ガス測定は主にメッキ表面付近からの脱ガス測定である。今後は放射光がメッキ面に入射した場合を考え、メッキ表面から深い部分での脱ガスについて検討を進めていきたい。

参考文献

- [1] N. Nakamura et al., Proc. of the 6th European Particle Accelerator Conference, Stockholm, 1998, p984.
- [2] N. Nakamura, Proc. of the European Particle Accelerator Conference 04, Lucerne, 2004, 2347.
- [3] H. Sakai et al., Proc. of the Particle Accelerator Conference 05, Knoxville, 2005, to be published.
- [4] 株式会社アルバック編. “真空ハンドブック”