

# GAS DESORPTION PROPERTY OF TiN-COATED COPPER BEAM DUCTS

Kyo Shibata<sup>1</sup>, Yusuke Suetsugu, Ken-ich Kanazawa, Hiromi Hisamatsu and Mitsuru Shirai

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

## Abstract

The gas desorption from a copper beam duct with a titanium nitride (TiN) coating was studied. The vacuum pressure of a TiN-coated duct was measured and compared with that of a non-coated one. The TiN film (200 nm thick) was coated by a DC magnetron sputtering. After an air exposure for one hour, the duct was evacuated by a turbo-molecular pump. After 60 hours' evacuation, the pressure was about 5 times larger than that of the non-coated one. In order to find the minimum baking temperature to sufficiently decrease the gas desorption from the TiN coating, the pressures were measured after several bakings with different temperatures ranging from 50 to 150 °C. The gas desorption rate of the TiN coating after a baking at 80 °C was finally found to be sufficiently low and comparable to that for the non-coated one without baking.

## TiNコーティングされた銅製ビームダクトのガス放出特性

### 1. はじめに

次世代の陽子/陽電子リングでは電子雲不安定性 (Electron Cloud Instability, ECI)を抑制することが重要な課題となっているが[1]、その原因となる電子雲の発生を抑えるためにはビームダクト内面の二次電子放出率 (Second Electron Yield, SEY) を小さくすることが効果的である。窒化チタン (TiN) はSEYが小さいため、ビームダクト内表面へのTiNコーティングがECI対策として近年注目されている[2-4]。我々はこれまでにTiNコーティングを施した銅製ビームダクト (以下TiNコーティングダクト) をKEKBの陽電子リング (Low Energy Ring, LER) に数本設置し、TiNコーティングの効果を検証してきた[5, 6]。その結果、TiNコーティングの電子雲低減に対する有効性は確認されたが、TiNコーティングダクト内の圧力が、通常の銅製ビームダクト (以下銅ダクト) 内よりも大きくなることが分かった。

図1に、TiNコーティングダクト周辺部と銅ダクト部のビームによる焼きだしの様子を示す。両ビームダクトは150 °Cで24時間ベーキング (プリベーキング) された後に乾燥窒素ガスでパージされリングに設置されており、*in-situ*ベーキングは行われていない。縦軸と横軸はそれぞれ、圧力を蓄積ビーム電流で規格化したもの ( $\Delta P/I$ ) と蓄積ビーム電流の積分量 (ドーズ) である。TiNコーティングダクトの $\Delta P/I$  は、設置直後では銅ダクトの約2倍であり、*in-situ*ベーキングを行わない現在のKEKBのダクト設置方法が、ガス放出率の大きいTiNコーティングダクトにはあまり適していないことが分かる。一方、ビームドーズが増えるに従って両者の差は小さくなっており、焼きだしが十分進めばTiNコーティングダクト内の圧力も銅ダクト内と同程度まで小さくなっている。

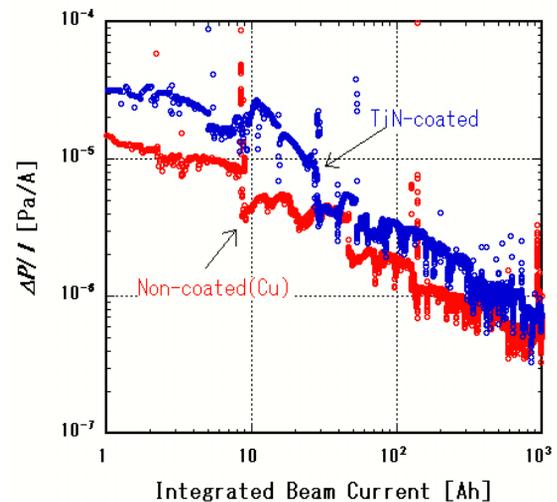


図1. ビームによる TiN コーティングダクトと銅ダクトの焼きだし

新設のビームダクトのガス放出率を小さくするには *in-situ*ベーキングが効果的だが、加速器のリングではあまり高い温度で *in-situ*ベーキングを行うことは困難である。例えばKEKBの銅ダクトのプリベーキング温度である150 °Cでは、長さ2 mの銅ダクトの伸びは約4 mmであり、これはベローズチャンバーのストロークとほぼ同じ値である。更に、BPMのようなコンポーネントに対しては、150 °Cで *in-situ*ベーキングを行うことは構造的に難しい。このような理由から、KEKBでは通常 *in-situ*ベーキングは行われてこなかった。しかし、KEKBの後継機であるSuperKEKBでは、多くのTiNコーティングダクトが使われる予定であり、加速器のコミッショニング段階で設置直後のTiNコーティングの高いガス放出率が問題になる可能性がある。

そこで我々は、TiNコーティングダクトの *in-situ*ベーキングの可能性を検討するために、ベーキング温

<sup>1</sup> E-mail : kyo.shibata@kek.jp

度とTiNコーティングダクトのガス放出率の関係を調査した。TiNコーティングダクトのガス放出率をKEKBの銅ダクトと同程度まで下げることができれば、加速器運転上の問題は無いと考えられるため、その条件を満たす必要最低限のベーキング温度を実験により求め、その温度で*in-situ*ベーキングが可能かどうかを検討した。

## 2. 実験方法

ベーキング温度を25 °C(ベーキング無し)から150 °Cまで変化させてビームダクト内圧力を測定し、それぞれのベーキング温度でのガス放出率を評価した。使用するビームダクトはKEKB LERのものであり、長さと同径はそれぞれ2.2 mと94 mmである(ダクト内表面積 $A = 0.66 \text{ m}^2$ )。TiNコーティング(膜厚200 nm)はDCマグネトロンスパッタリング法を用いてKEKで行われた[7]。ビームダクトはマニホールド(コンダクタンス $C = 0.27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )を介してターボ分子ポンプ(排気速度 $S = 0.3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )で排気される。マニホールドにはエクストラクターゲージと残留ガス分析計が設置されており、排気中の圧力と残留ガス成分の測定が可能である。各測定は以下の手順で行われた。

1. プリベーキング  
ビームダクトを150 °Cで24時間ベーキングし、その後室温(~25 °C)まで自然冷却する。
2. パージと曝露  
ビームダクトを空気又は乾燥窒素ガスでパージし、ビームダクト内表面を1時間それらの気体に曝す。
3. ベーキングと圧力測定  
ビームダクト内を排気し圧力の測定を行う。ベーキングは排気開始直後から24時間行い、温度は25(ベーキング無し)、50、80、100、150 °Cのいずれかとする。ベーキング後、ビームダクトは室温まで自然冷却される。

エクストラクターゲージの測定値を $P$ とすると、ビームダクト内の圧力 $P_0$ 、及びガス放出率 $q$ は

$$P_0 = P + PS/C, \quad (1)$$

$$q = PS/A, \quad (2)$$

から得られる。

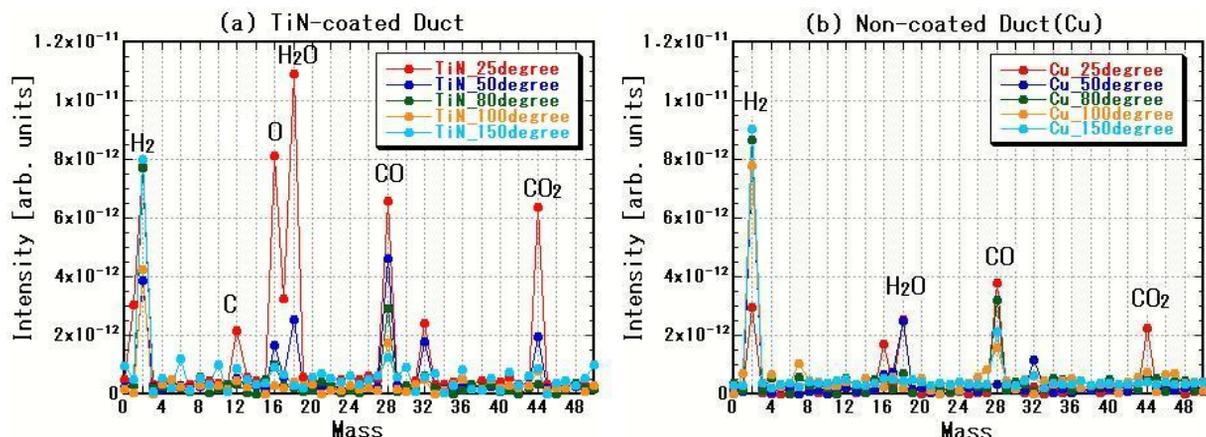


図3. 空気に曝したTiNコーティングダクト(a)と銅ダクト(b)の主な残留ガス成分

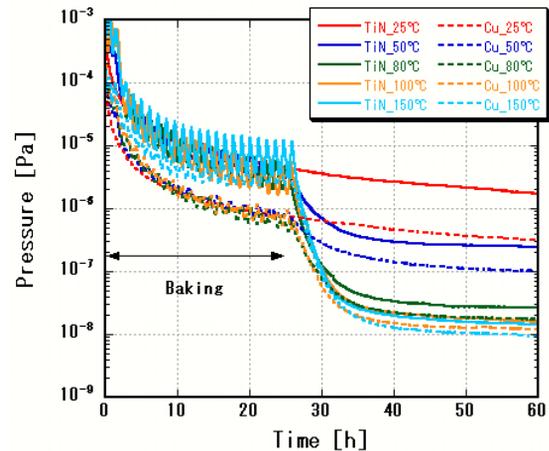


図2. 空気に曝したTiNコーティングダクト(実線)と銅ダクト(点線)の圧力の時間変化

## 3. 結果と考察

図2にエクストラクターゲージの測定値 $P$ の時間変化を示す。実線と点線はそれぞれTiNコーティングダクトと銅ダクトの結果である。プリバーク後のパージは空気で行った。ベーキングを行わない場合(25 °C)、排気開始から60時間後のTiNコーティングダクトの圧力は銅ダクトの約5倍であった。しかし、ベーキングでTiNコーティングダクトの圧力は下がっており、銅ダクトと同様にTiNコーティングダクトでもベーキングがガス放出率を下げるのに効果的であることが確認された。ベーキング温度が80 °C以上になると、温度を上げて圧力の測定値はあまり下がらなかった。これは、真空計や残留ガス分析計からのガス放出に起因する実験装置の検出限界以下にまで圧力が下がっているためであると考えられる。

図3に、排気開始約100時間後のTiNコーティングダクト(a)と銅ダクト(b)内の残留ガスのマススペクトルを示す。ベーキングを行わない場合、TiNコーティングダクトでは銅ダクトと比較して、H<sub>2</sub>O、CO、CO<sub>2</sub>などの残留ガスが顕著であった。しかし、ベー

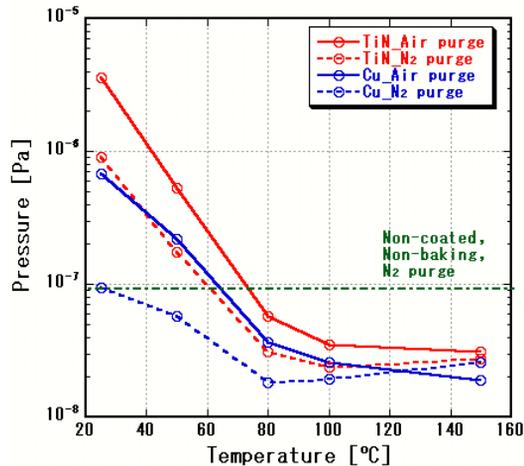


図4. 様々なベーキング温度における排気60時間後のTiNコーティングダクトと銅ダクトの圧力

キングによりこれらの残留ガスは減少しており、ベーキング後の残留ガスはどちらのビームダクトでも主にH<sub>2</sub>であった。これらの結果より、80 °C以上でベーキングした後のTiNコーティングダクトの真空特性は、銅ダクトとほぼ同等であると考えられる。

(1)(2)式から得られた各ベーキング温度に対するダクトの到達圧力とガス放出率を図4と表1にそれぞれ示す。どちらの場合も排気時間は60時間である。ベーキング温度が80 °C以上になると到達圧力はほぼ一定となっているが、これは前述したように実験装置の検出限界によるものと考えられる。両ビームダクト共に空気パージより窒素パージの方が圧力は下がるが、TiNコーティングダクトではその効果はそれほど顕著ではなかった。

空気パージ後に80 °Cでベーキングした時のTiNコーティングダクトの排気開始60時間後のガス放出率は $1.23 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ であり、窒素パージ後にベーキングを行わなかった場合の銅ダクトのガス放出率 ( $2.05 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ) よりも小さくなった。このことから、新しくリングにTiNコーティングダクトを設置した場合でも、80 °Cで*in-situ*ベーキングを行えば、KEKBの現状の方法 (プレベーキング後に窒素パージ、*in-situ*ベーキング無し) で銅ダクトを設置した場合よりも、圧力を下げることが可能であると予想される。以上より、圧力の点から考えればTiNコーティングダクトに対しては80 °Cの*in-situ*ベーキングで十分に効果があると考えられる。

一方、80 °Cにおける長さ2 mの銅ダクトの熱膨張による伸びは約1.8 mmであり、KEKBやSuperKEKBのペローズチェンバーで吸収可能である。また、BPMなどのコンポーネントを80 °Cまで加熱することはそれほど困難ではなく、80 °Cで*in-situ*ベーキングを行うことは可能であると考えられる。

表1. 様々なベーキング温度における排気60時間後のTiNコーティングダクトと銅ダクトのガス放出率

Baking Temp. [°C]	Gas Desorption Rate [ $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ]			
	TiN-coated Duct		Non-coated Duct (Cu)	
	Air Purge	N <sub>2</sub> Purge	Air Purge	N <sub>2</sub> Purge
25	$7.77 \times 10^{-9}$	$1.95 \times 10^{-9}$	$1.45 \times 10^{-9}$	$2.05 \times 10^{-10}$
50	$1.14 \times 10^{-9}$	$3.75 \times 10^{-10}$	$4.73 \times 10^{-10}$	$1.23 \times 10^{-10}$
80	$1.23 \times 10^{-10}$	$6.68 \times 10^{-11}$	$7.86 \times 10^{-11}$	$3.90 \times 10^{-11}$
100	$7.50 \times 10^{-11}$	$5.09 \times 10^{-11}$	$5.50 \times 10^{-11}$	$4.15 \times 10^{-11}$
150	$6.68 \times 10^{-11}$	$5.95 \times 10^{-11}$	$4.10 \times 10^{-11}$	$5.50 \times 10^{-11}$

KEKBのLERには今後何本かのTiNコーティングダクトがインストールされる予定だが、同時に80 °Cでの*in-situ*ベーキングのテストを行い、その効果を検証する予定である。

#### 4. まとめ

150 °C以下の様々な温度でベーキングを行い、TiNコーティングダクトのガス放出率を測定した。ベーキングを行わない場合、排気開始60時間後のTiNコーティングダクトのガス放出率は、銅ダクトの5倍以上であった。しかし、80 °Cでベーキングを行えば、TiNコーティングダクトのガス放出率をKEKBの銅ダクト (プレベーキング後に窒素パージ、*in-situ*ベーキング無し) より小さくすることができたことが分かった。80 °Cでのダクトの熱膨張は、KEKBやSuperKEKBリングでは許容範囲内であり、TiNコーティングダクトを用いた場合でも、80 °Cで*in-situ*ベーキングすることで運転開始時のリングの圧力を十分に下げることが可能であると考えられる。

#### 参考文献

- [1] K. Ohmi, Phys. Rev. Lett. 75 (8) (1995) 1526.
- [2] K. Kennedy, B. Harteneck, G. Millos, M. Benapfl, F. King, R. Kirby, Proc. PAC97, Vancouver, 12-16 May 1997, p. 3568.
- [3] P. He, H.C. Hseuh, M. Mapes, R. Todd and D. Weiss, Procs. PAC01, Chicago, 18-22 June 2001, p. 2159.
- [4] P. Manini, B. Bonucci, A. Conte, S. Raimondi, Proc. EPAC06, Edinburgh, 26-30 June 2006, p. 1435.
- [5] Y. Suetsugu, K. Kanazawa, K. Shibata and H. Hisamatsu, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A 578 (2007) 470.
- [6] Y. Suetsugu, K. Kanazawa, K. Shibata and H. Hisamatsu, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A 556 (2006) 339.
- [7] K. Shibata, H. Hisamatsu, K. Kanazawa, Y. Suetsugu and M. Shirai, Proc. EPAC08, Genoa, 23-27 June 2008, p. 1700.