

DEVELOPMENT OF TiN COATING SYSTEM FOR KEKB VACUUM CHAMBERS

Kyo Shibata¹, Hiromi Hisamatsu, Ken-ichi Kanazawa, Yusuke Suetsugu, Mitsuru Shirai,
High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

Abstract

We developed Titanium Nitride (TiN) coating system for KEK B-factory (KEKB) copper beam ducts. Magnetron sputtering was conducted and the beam duct was heated to 130 degree. The thickness of Titanium Nitride (TiN) was 200 nm. The preliminary experimental results showed that the maximum secondary electron yield (SEY) of this coating was 0.83. A 3.6 m beam duct with ante-chambers was successfully coated by using this system. This duct will be installed at KEKB Low Energy Ring (LER) this summer.

KEKB真空チェンバー用TiNコーティングシステムの開発

1. はじめに

Super KEKB等の次世代の高ルミノシティコライダーを実現する為には、電子雲不安定性 (Electron Cloud Instability, ECI) の抑制が必要不可欠である。不安定性の原因となる電子雲を減らす為には、ビームダクト内表面の二次電子放出率(SEY)を小さくする必要があるが、それにはダクト内表面にTiNやNEG等をコーティングすることが有効である。KEKB真空グループではこれまで、TiNやNEGをコーティングしたビームダクトをKEKB陽電子リング(LER)にインストールし、ダクト内の電子雲を測定する実験を行ってきた^[1]。一方、電子雲発生の原因となる光電子を減らすことも、電子雲不安定性を抑えるためには有効である。アンテチェンバー付きビームダクトでは、ビームダクトから離れた所にあるアンテチェンバー側面で光電子が発生する為、ビームダクト内に侵入する光電子は通常のビームダクトと比較すると少なくなる。従って、アンテチェンバー付きビームダクトでは実効的な光電子放出率が減少され、結果的に電子雲の発生が抑制される。KEK LERでは一部で試験的にアンテチェンバー付きビームダクトがインストールされており、ダクト内の電子雲の測定が行われてきた^[2]。

これらKEKBでのテストの結果、Super KEKBで電子雲不安定性を抑制する為には、TiNコーティングを施したアンテチェンバー付きビームダクトが有効であると考えられる^[1]。しかし、KEKBで使用している3 m以上のダクトへのTiNコーティングは、海外では行われているが^[3]、国内ではほとんど例がない。そこで我々は、KEKBビームダクト用のTiNコーティング装置の開発に着手した。2007年の夏のシャットダウン中にKEKB LERにはアンテチェンバー付きビームダクト(Cu製)がインストールされる

予定であるが、そのビームダクトにはTiNコーティングを施す予定である。今回は、テストスタンドでのTiNコーティング試験の結果と実際のコーティング装置について報告する。

2. テストスタンドでの予備試験

2.1 実験装置及び概要

図1にコーティング試験用テストスタンドの概略図を示す。テスト用チェンバーはSUS製で、長さと同径はそれぞれ404 mm、96 mmである。

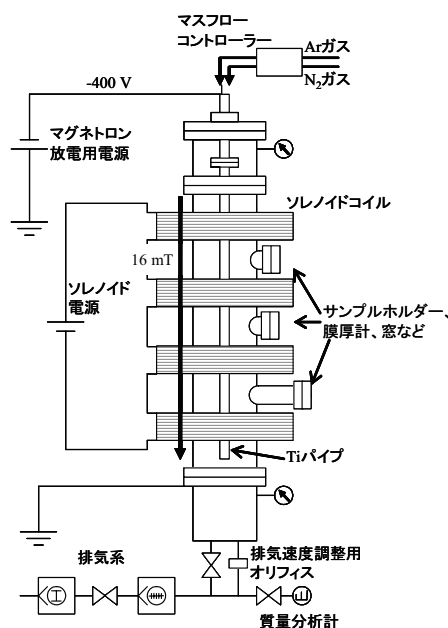


図1. テストスタンド概略図

¹ E-mail: kyo.shibata@kek.jp

コーティングはマグネトロンスパッタリング法で行われる。チャンパー中心軸上にTi製のパイプを設置し、このTiパイプを通してAr及びN₂ガスをチャンパー内に供給する。Ti製パイプには50 mmピッチで90度毎螺旋状にφ0.5 mmの穴が開いており、ガスはチャンパー内で均等に供給される。ガス流量はマスフローコントローラーで制御されており、ArガスとN₂ガスの分圧は、それぞれ約2.2 Paと約0.5 Paである。Tiパイプは-400 Vに印加され、カソードとしての役割も果たす。この際、接地されているチャンパーがアノードとなる。磁場はチャンパー外部に設置されたソレノイドコイルで発生させる。チャンパー内の磁束密度は約16 mTである。

チャンパーには130 mm間隔で3つのポートが付いており、サンプルホルダーや膜厚計、観察用窓が取り付けられる。サンプルホルダーには直径15 mm、厚さ1.5 mmのCu基板を取り付け、この基板にコーティングされたTiN膜の密着力やSEYを評価する。サンプルホルダーにはヒーターと温度計が付いており、コーティング時の基板温度を制御することが可能である。今回は、基板を室温(25°C)、150°C、200°Cでコーティングした厚さ100 nm、200 nmのTiN膜の密着力とSEYを測定した。

2.2 試験結果

密着力は、スクラッチ試験で評価する。試験はナノテック株式会社により行われた。TiNコーティングにチップング(カケ)と剥離が生じた際のダイヤモンド圧子の荷重で密着力を評価する。図2に測定結果を示す。100 nmと200 nmを比較した場合、ほとんどの場合で200 nmの方が密着力が強くなっている。また、基板温度で比較すると、150°Cにした時が最も密着力が強くなっている。以上より、密着力の観点から考えると150°C-200 nmの組み合わせが最適である。

TiNコーティング面のSEY測定の結果を図3に示す。図3(a)は、入射エネルギー250 eV、照射面積20 mm²の電子ビームをサンプルに照射し続けた場合のSEYとドーズ量の関係である。Cu基板と比較すると、全

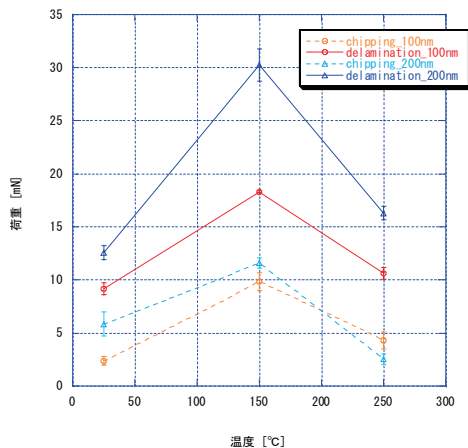


図2. スクラッチ法によるTiN膜密着力測定結果。カケ(chipping)と剥離(delamination)が生じた時の基板温度と荷重の関係。

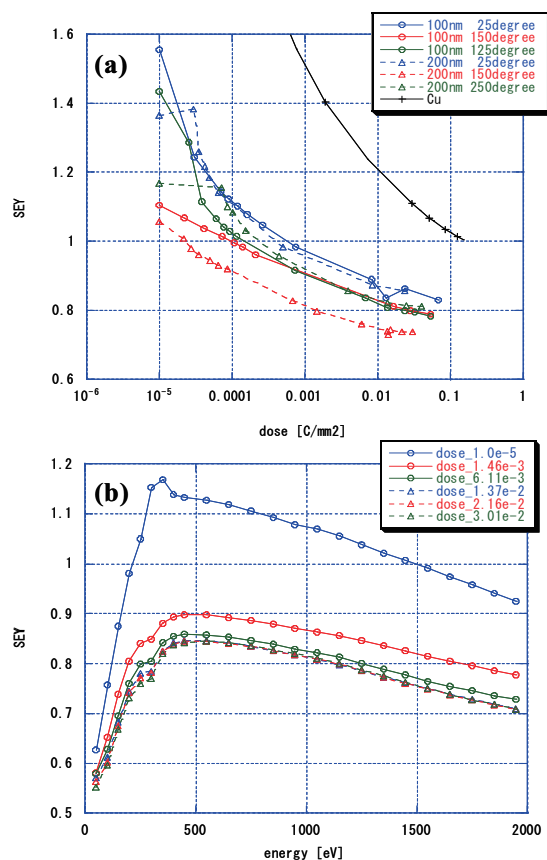


図3.(a) 各TiN膜のSEYとドーズ量の関係. (b) 150°C-200 nm TiN膜のSEYスペクトル。

てのTiN膜のSEYは小さくなっている。中でも150°Cで200 nmコーティングした時にSEYの減少が最も顕著であり、ドーズ量が0.01 C/mm²で比較すると、Cuの約60%まで減少している。

図3(b)は、150°C-200 nmのTiNコーティング面のSEYスペクトルである。入射電子エネルギー約500 eVでSEYは最大となり、ドーズ量が0.01 C/mm²の時のSEYの最大値は約0.84であった。

以上のテストスタンドでのコーティング試験の結果より、今回テストした条件の中では150°C-200 nmのコーティングがCuチャンパーには最も適していると考えられる。

3. コーティング装置

3.1 装置概要

図4にKEKB真空チャンパー用TiNコーティング装置の写真を示す。取り付けられているチャンパーの長さは3.6 mである。コーティング装置の基本的な構造は、テストスタンドと殆ど同じである。ただし、本装置では可動式のソレノイドコイル(長さ800 mm)を使用しており、コーティングはコイルを動かしながら行う。また、コーティング時の温度調整は、チャンパーに巻かれたヒーターで行う。尚、今回使用するTiパイプの長さは約4.2 mである。



図4. コーティング装置全景.

3.2 コーティング試験

KEKB用真空チェンバーには膜厚計を取り付けるためのポートが付いていないため、膜厚をリアルタイムでモニターすることは出来ない。そこで、膜厚計や観察窓が付いたテストチェンバーを用いて膜の成長速度測定を行った。コイル中心、中心から200 mm及び400 mm(コイルの縁)の3点で膜の成長速度を測定した結果を表1に示す。なお、コイル中心での膜の成長速度がテストスタンドの時と同程度になるように、放電電流とソレノイド磁場は微調整した。この結果より、2時間おきにコイルを200 mmずつ移動させれば、チェンバー内壁にはほぼ均等に200 nm(=18+52+60+52+18)のコーティングが施されることが分かる。

予備実験の結果を考慮してチェンバーを150°Cまで加熱したところ、Tiパイプが変形してダクトの中心軸から外れてしまう事が分かった。この加熱による変形をなるべく小さくするため、実際のコーティングはヒーターの設定温度を130°Cまで下げて行う

表1. ソレノイドコイル各点でのTiN膜成長速度.

コイル中心からの距離 (mm)	成長速度 (Å/sec)	2時間後の厚さ (nm)
0 (中心)	0.083	18
200	0.071	52
400 (コイルの縁)	0.025	60

ことにした。

3.3 結果と今後の課題

これらの結果を踏まえて、アンテチェンバー付きビームダクト(3.6 m)に130°C-200 nmのコーティングを施した。図5にコーティング後のダクト内部の写真を示す。コーティングの為に銅製のダクトが黒色になっており、TiNコーティングが成功しているのが確認できる。

今回の3.6 mのダクトのコーティングに要した時間は38時間であった。コーティング時間を短縮するためには、ソレノイド磁場を強くする等して放電電流を増やす必要がある。しかし、放電電流を増やすとTiパイプの温度が上がってしまうため、パイプの変形が問題となる。今後はTiパイプを冷却するなどの対策を施し、コーティング時間の短縮を試みる予定である。また、電子雲減少の効果を評価するためには、実際にリングで電子雲を測定し、コーティングを施していないアンテチェンバー付きビームダクトと比較することが必要であるが、それは2008年に行う予定である。

参考文献

- [1] Y. Suetsugu, et al., "Recent Studies on Photoelectron and Secondary Electron Yields of TiN and NEG Coatings Using the KEKB Positron Ring" NIM-PR-A, Vol.578, 2007, pp.470-479
- [2] Y. Suetsugu, et al., "R&D on Copper Beam Ducts with Ante-chambers and Related Vacuum Components", Proc. EPAC2006, Edinburgh, Scotland, June, pp.1438-1440.
- [3] P. He, et al. "Development of Titanium Nitride Coating for SNS Ring Vacuum Chambers", Proc. PACa2001, Chicago, June, 2001, pp.2159-2161.

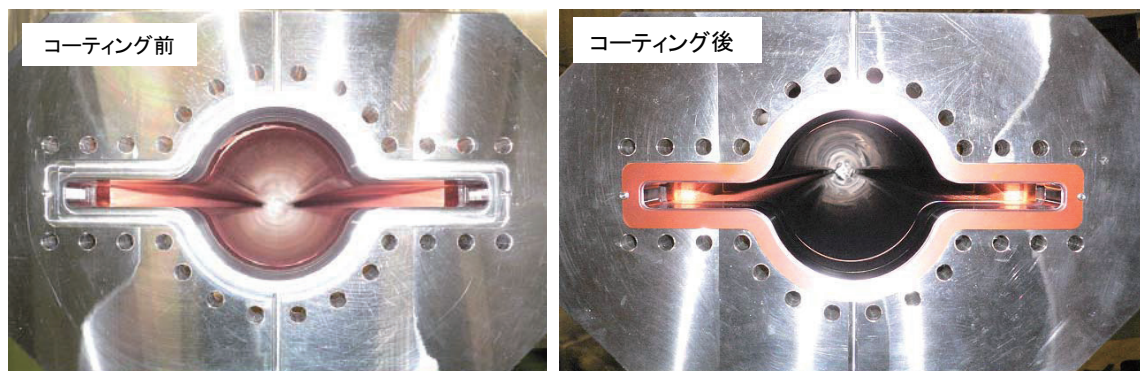


図5. TiNコーティングされたアンテチェンバー付きビームダクトの内面.