

ケミカルエッチング及びコーティング処理した金属表面の2次電子放出率の比較

COMPARISON OF SECONDARY ELECTRON YIELDS WITH CHEMICALLY ETCHED AND THIN FILM COATED METALS

照井 真司[#], 石橋 拓弥, 久松 広美, 柴田 恭, 末次 祐介, 白井 満
Shinji Terui[#], Takuya Ishibashi, Hiromi Hisamatsu, Kyo Shibata, Yusuke Suetsugu, Mitsuru Shirai
High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

The chemically etched copper surface has been developed to mitigate the electron-cloud effect in high-intensity positron/proton storage rings. We report that the secondary electron yield (SEY) and the outgassing rate of chemically etched copper. In addition, we coated this metal with Titanium Nitride (TiN). The SEY of the chemically etched copper with TiN films is less than the other processed metals. In order to measure the surface resistivity, we plan to manufacture a chemically etched pillbox cavity.

1. はじめに

近年・将来の陽電子/陽子蓄積リングでは、ビーム軌道周辺に存在する電子によって誘起されるビーム不安定性、いわゆる電子雲不安定性の抑制が重要な課題となっている。

電子雲の発生過程は、1) 放射光が真空チェンバーの壁に照射され光電子が放出される、2) その光電子がビーム軌道近くでバンチの作る電場でキックされ、それらが真空チェンバーに衝突して2次電子放出される、3) これらの光電子及び2次電子が正電荷ビームに引き寄せられて雲状になる、というものである。電子雲の密度が高くなると、周回しているビームと相互作用を始める。すなわち、あるバンチの揺らぎが電子雲を介して後続のバンチ、あるいはバンチ内の粒子に力をおよぼす。この現象は電子雲不安定性と呼ばれ、加速器の性能に悪影響を及ぼすことが知られている^[1]。

従来よく用いられている対策は、ビームチェンバー内面に2次電子放出率の小さい、例えば、窒化チタン(TiN)やグラファイトのコーティングを行うことである。

しかし、ビームチェンバーの形状が複雑である場合や、温度を上げられない機器が取り付けられている場合には、コーティングは採用できない。

我々は、コーティングが難しいビームチェンバーの2次電子放出率を減らす一つの方法として、内面をケミカルエッチングして表面を荒らす手法を提案する。今回の発表では、銅チェンバーを想定して、表面をケミカルエッチングした銅サンプルと、ケミカルエッチングしていない銅サンプルの表面にTiNとグラファイトをコーティングしたサンプルを作製し、それらの2次電子放出率を比較した結果等を報告する。

2. ケミカルエッチングと TiN・グラファイトコーティング

Figure 1 にケミカルエッチングした銅(C1020)と純アルミニウムのサンプル (φ15 mm, t5 mm) を示す。Figure 2 にケミカルエッチングした銅とアルミニウムを電子顕微鏡で見た表面を示す。我々は今回、金属にアマルファ処理というケミカルエッチングを行った^[1]。アマルファ処理の工程は、脱脂処理を行い、エッチング液に接液させ粗化処理を行い、その後金属表面に析出したスマットを除去し、水洗いとなっている。この処理方法は、本来は樹脂と金属の直接接合を目的として、金属に微細な凸凹を形成するものである。この微細な凸凹により、2次電子放出率を実効的に抑制されることが期待できる。

TiN およびグラファイトコーティングは DC マグネトロンスパッタ法で行った。TiN コーティングの膜厚には、我々のグループで測定した中で最も2次電子放出が抑えられる約 200 nm を採用している^[2]。Figure 3 に、TiN コーティングを施したサンプルを

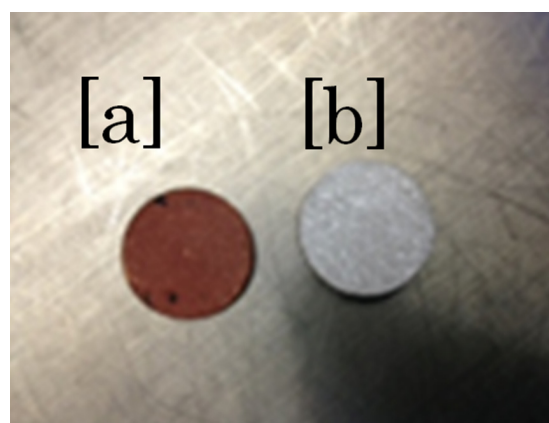


Figure 1: Test samples of chemically etched copper [a] and aluminum [b].

[#] sterui@mail.kek.jp

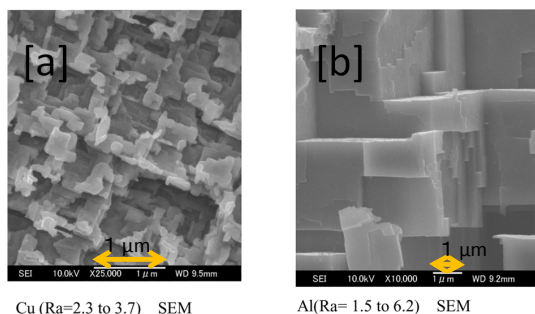


Figure 2: Microscopic image of chemically etched copper [a] and aluminum [b].

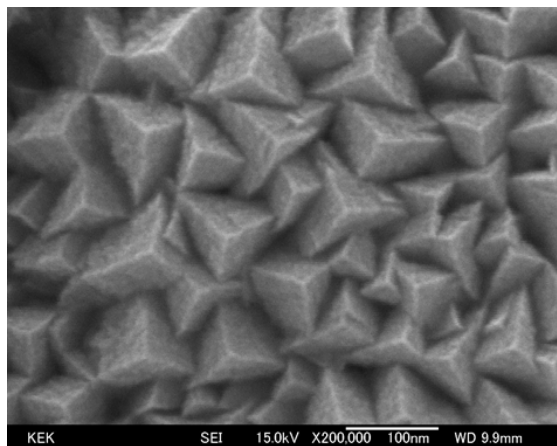


Figure 3: Microscopic image of TiN coated sample .

電子顕微鏡で見た表面を示す。Figure 4 に、グラファイトコーティングを施したサンプルを電子顕微鏡で見た表面を示す。Figure 5 にグラファイトコーティング装置の概略を示す。コーティングは、チェンバー中心軸上にカーボン陰極 (-700 V) を設置し、アルゴン (窒素換算値で 5 Pa) 雰囲気中でマグネトロン放電を起こすことで行った。装置の一端には真空排気系、もう一端にはガス導入系が接続される。カーボン電極は、外径φ15 mm、長さ1 mのものである。ソレノイド磁場は約 200 Gauss であり、放電電流 0.5 A で約 48 時間放電を行うことでチェンバー内面に厚さ 100 nm のグラファイト薄膜がコーティングされる。Figure 6 にグラファイトコーティング装置での放電の様子を示す。また、アマルファ処理した金属に TiN コーティングしたものが、2次電子放出率抑制により効果がある可能性を考えて、それも作製した。

3. 2次電子放出率の比較

ケミカルエッチングしたアルミニウム、銅と TiN コーティングした銅、グラファイトコーティングした銅、ケミカルエッチングに加えて TiN コーティングも施した銅の 5 サンプルに対して、2次電子放出率を測定した。Figure 7 に、2次電子放出率の結果を示す。Figure 7 の横軸はサンプルに当てている電子のエネルギー、縦軸は SEY である。各グラフに、

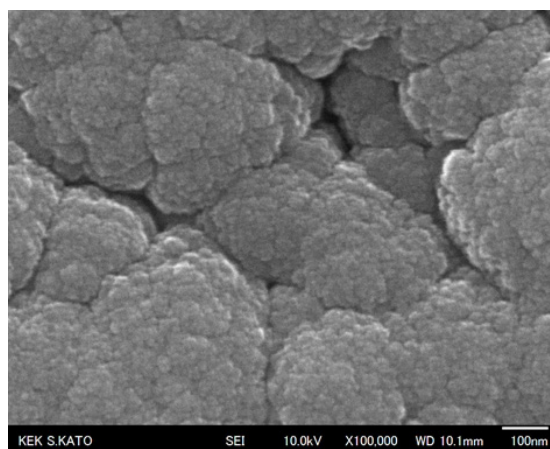


Figure 4: Microscopic image of graphite coated sample.

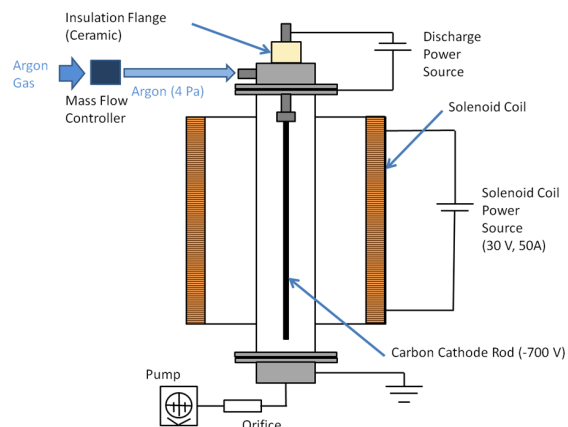


Figure 5: Schematic view of graphite coating equipment.

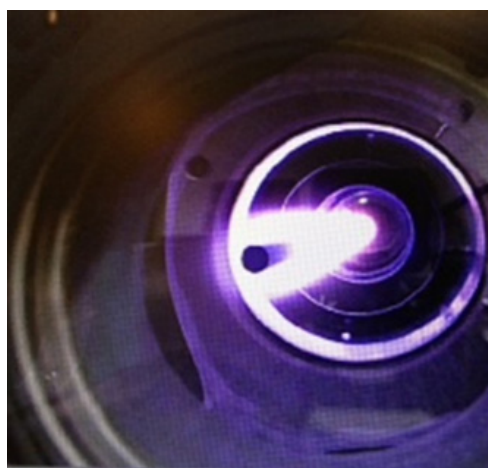


Figure 6: Magnetron discharge during graphite coating.

ベーキング前の SEY とベーキング後にスクラッピングした時間毎の SEY をプロットした。Figure 7 から、ケミカルエッチングしたアルミニウムと銅では、2次電子放出率に差がでることがわかった。これは、Figure 2 での電子顕微鏡でみた銅とアルミニウムを比べると、銅の方はより微細な構造になっているこ

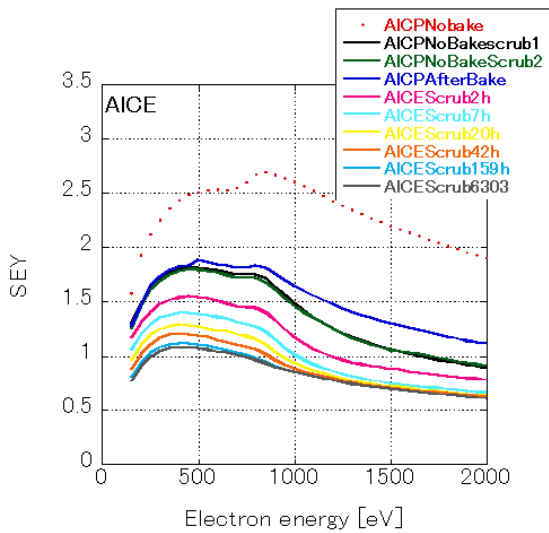


Figure 7(a): SEY spectrum of chemical etched aluminum.

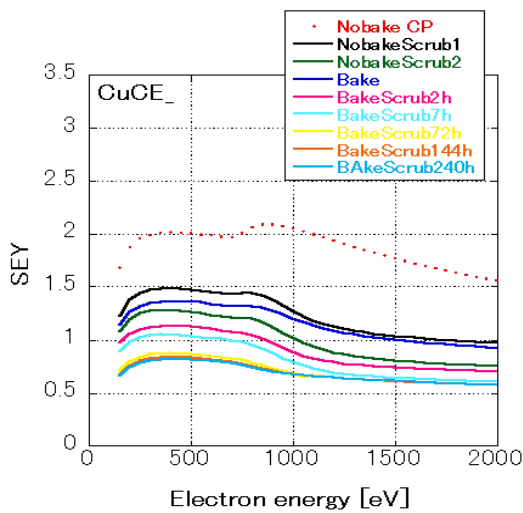


Figure 7(b): SEY spectrum of chemical etched copper.

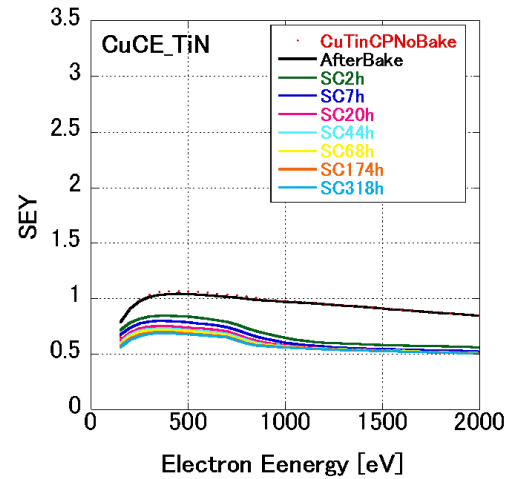


Figure 7(c): SEY spectrum of chemical etched copper coated with TiN.

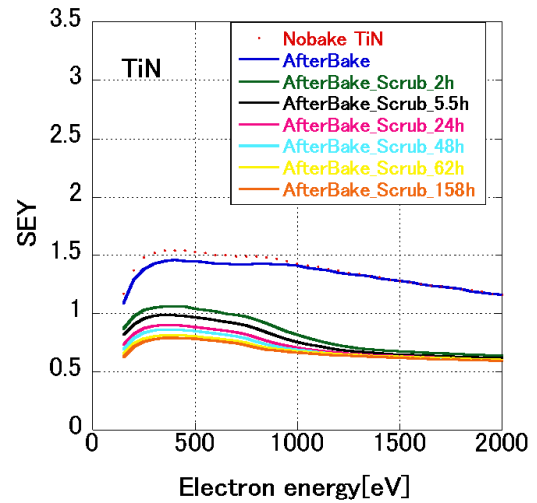


Figure 7(d): SEY spectrum of copper coated with TiN.

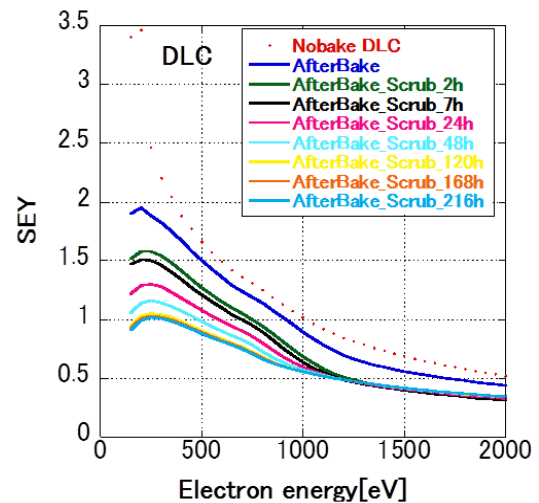


Figure 7(e): SEY spectrum of copper coated with DLC.

とが要因でないかと推測している。Figure 8 に、チェンバー内部に作られたグループ構造の写真とグループの底の部分や側面で放出された2次電子の動きのイメージを示す。電子雲の抑制に効果があることが実証されているグループ構造では、グループの底の部分や側面で放出された2次電子が、表面の構造的な制限により出ていき難く、実効的な2次電子放出率は少なくなる現象が起きている。これと同じことが、ケミカルエッチングされた銅にも起きていると思われる。

上で述べた以外に Figure 7 からわかったことを列挙する。1) TiN やグラファイトコーティングとの2次電子放出率を比べてみても、ケミカルエッチングした銅は遜色なく2次電子放出率を抑えていることがわかった。2) ケミカルエッチングした銅にTiN コーティングしたものは、これらサンプルの中

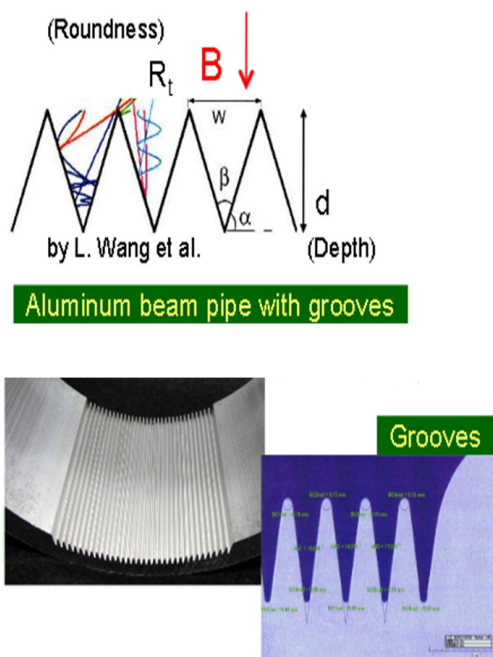


Figure 8: Aluminum beam pipe with grooves and schematic drawing of trajectory of secondary electrons^[3].

では最も 2 次電子放出率を抑えていることがわかった。3) グラファイトは高エネルギー電子に対して SEY が小さいということもわかった。4) 今回のサンプルの全てでスクラッピング効果が見えた。6) ケミカルエッチングしたサンプルでは、800 eV 近くにもうひとつのピークが見える。

4. ガス放出率測定

ケミカルエッチングした銅は、表面積が増えているのでガス放出率が高くなる。そのため、コンダクタンス変調法にてガス放出率測定を行った。測定の前に 150° で 24 時間ベーキングを行い、2 日間大気に放置した。ガス放出率は、Figure 9 に示す通り $10^{-8} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^2$ 台となっており、無酸素銅の $10^{-10} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^2$ 台^[5]よりも 2 桁高い値になっている。だが、加速器でも広く使われる SUS 製のチェンバーでは、ガス放出率が $10^{-9} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^2$ 台のものもあり、ケミカルエッチングした銅のガス放出率は許容できないほど高い値ではないと考える。これについては他のサンプルのガス放出率との比較を含め、今後検討を続ける。

5. 結論と今後の展望

以下の点が結論して述べられる。

1) ケミカルエッチングした銅は、2 次電子放出率のピーク値が 1 を下回り、また、ベーキング後には $10^{-8} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^2$ 台のガス放出率となることから、ビームチェンバーの形状が複雑である場合や、温度を上げられない機器が取り付けられている場合の解決策になりうることを示した。

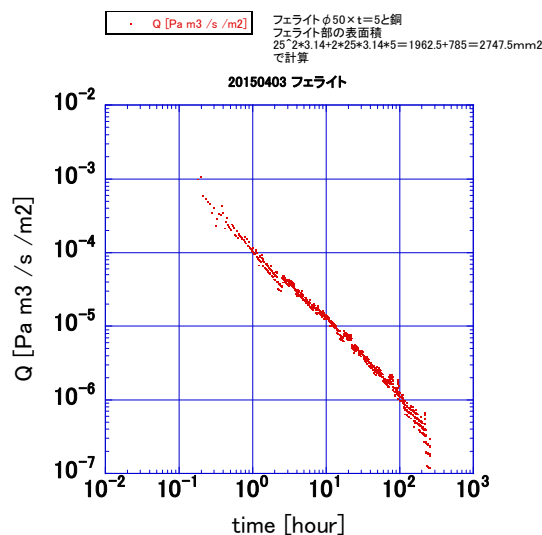


Figure 9: Outgassing rate of chemical etched copper.

2) ケミカルエッチングした銅に、TiN コーティングをすることで、コーティングだけを行うものより 2 次電子放出率を下げられることがわかった。今秋には、銅製のピルボックス空洞を製作して、その表面をケミカルエッチングしたものとしていないものの Q 値を測定し、表面抵抗と違いを算出したいと考えている。今後の課題としては、他のサンプルとのガス放出率の比較やガス放出率の低減方法の検討や実機真空チェンバーでの施工方法の試験が挙げられる。

6. 謝辞

銅サンプルにエッチング処理を行っていただいた金属技研の石崎氏、木村氏に感謝します。

ガス放出率測定装置を貸して下さり、測定方法を教えてくださった J-PARC の MR の真空グループの佐藤氏に感謝します。

ピルボックス空洞の製作図面についてコメントを下された KEKB RF グループの影山氏に感謝します。

現在ピルボックス空洞を製作していただいている機械工学センターの東氏、高富氏に感謝します。

参考文献

- [1] K. Ohmi and F. Zimmermann, Phys. Rev. Lett. 85, 3821 (2000).
- [2] <http://alpha.mec-co.com/>
- [3] K. Shibata, et al. "DEVELOPMENT OF TiN COATING SYSTEM FOR KEKB VACUUM CHAMBERS", Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting (2007).
- [4] L. Wang, K. Bane, C. Chen, T. Himel, M. Munro, M. Pivi, T. Raubenheimer, G. Stupakov; "SUPPRESSION OF SECONDARY ELECTRON EMISSION USING TRIANGULAR GROOVED SURFACE IN THE ILC DIPOLE AND WIGGLER MAGNETS" Proceedings of PAC07, Albuquerque, New Mexico (2007) p.4234.
- [5] Vacuum Handbook, ULVAC, 3rd Printing (2006).