

半導体製造装置における金属製防着治具の新しい製造

住母家岩夫^{*1}、森本健太¹、比留間文彦^{*2}

¹株式会社電硝エンジニアリング (〒347-0111 埼玉県北埼玉郡騎西町鴻荃 3202-1)

²ウェールズ大学 (〒162-0825 東京都新宿区神楽坂 1-2)

^{*}adm@u-wales.jp

New Integrated Production Technology of Metal Shield Parts in Equipment for Semiconductor Device Manufacturing

Iwao SUMOGE^{*1}, Kenta MORIMOTO¹, Fumihiko HIRUMA²

¹Densho Engineering Co., Ltd (3202-1, Koguki, Kisai, Kita-Saitama, Saitama 347-0111)

²University of Wales (1-2, Kagurazaka, Shinjuku, Tokyo 162-0825)

(Received June 6, 2006; Accepted September 11, 2006)

Abstract

In this study, we designed a new metal-spray coating that has great adhesive strength and which has metal shield parts. It can be used for producing CVD and PVD device parts. Its effectiveness has been verified.

In this field, three methods are typically used, namely plasma powder spraying, flame spraying (also known as rokide rod spraying) and arc spraying. Up until now these three methods have been applied separately.

By combining two of the above-mentioned three thermal spraying methods, we have been able to effectively compensate the defects of using the three spraying methods separately, resulting in much more effective shield parts.

Key words: Thermal, Sprayed, Coating, Shield Parts

1. はじめに

社会における IT 製品の進化に伴い、その多くに含有される半導体は、今後も需要増が見込まれている。さらに、高付加価値が求められ、製造の現場においても絶え間ない技術革新が求められている。

半導体の高集積化, 高密度化の進歩は非常に早く、今やその配線幅は微小化が進み、0.10 μm 以下となり、まさに「ナノメートルオーダ」の製品

が量産されている。また、層間膜材は、高速化、微細化, 多層化に伴い、高融点で低抵抗の素材が用いられるようになってきている [1]。

一方、配線材とバリア材の進化について見てみると、前者がアルミニウム素材に加えて銅が多用されるようになり、製品によってはタングステンなどが含まれ、その変化に伴い後者が窒化チタンに加えて窒化タンタルが使われるようになってきた。周知のとおり、銅はアルミニウムより、またタンタルはチタニウムより高融点である [2]。

こうした結果、成膜を行う半導体製造装置の真空チャンバ（成膜室）内におけるウェハ周りの防着治具が曝される雰囲気は、アルミ配線と窒化チタンバリア層の組み合わせよりも、銅配線と窒化タンタルバリア層の組み合わせの方が熱ストレス、重量ストレス共に大きく生じさせるものとなってきた。

素材の開発、成膜技術に加えて成膜装置の素材にも絶え間ない改善が求め続けられるのである。

1.1 本研究の狙い

溶射の下地処理としてはサンドブラスト法が一般的とされている[3, 4]。本研究では、サンドブラスト加工で粗面にした金属母材の表面に金属を溶射して複数の溶射膜を重ねて形成することにより、前述の問題点を改善することを目的としている。

セラミック母材に複数の溶射膜を重ねて形成する手法の有用性は実証されている[5]。本研究では金属母材への応用を試みた。複数の溶射膜の最も母材側の溶射膜が、プラズマ溶射による溶射膜であり、最も表面側の溶射膜がフレイム溶射（又はアーク溶射）による溶射膜であることを特徴としている。

多層構造による溶射膜を金属母材の表面に形成することにより、熱プロセスに強く、母材から剥がれ難い溶射膜を備えた治具を製造し、また、成膜材の付着時に溶射膜に生じる熱応力を多層構造の溶射膜が吸収・緩和するので、溶射膜が剥がれにくくなることを実証する。

また、最も表面側の溶射膜がフレイム溶射（又はアーク溶射）による溶射膜である構成とすると、溶射処理後の表面粗さを他の溶射法で表面を形成するよりも粗くすることができ、付着した成膜材が剥がれることなく強い力で保持することができる。さらに、実際の成膜工程内ではウェハの冷却異常等による製品破壊[6]を低減することができ、成膜材が剥離してウェハ静電吸着ステージに付着することが減少するので、付着物を除去する作業が少なくなって装置稼働率を上げることができると思定した。

近年、熱歪の少ない母材としてセラミックスやクォーツ素材が注目されているが、ステンレス製であれば、素材価格及び加工コストから考えても安価に製造することができるであろう。

1.2 従来技術の問題点

CVD, PVD などの半導体製造装置の真空チャンバ内ではシリコンウェハ上に数種類の配線材やバリア材を成膜させる。同時に成膜材はチャンバ内で拡散して、ウェハ周辺及びチャンバ内壁に付着する。そこでウェハ周辺に付着防止用の治具（一般的に「防着治具」もしくは「シールド」と称される。）を配置し、これに付着させウェハへの影響を抑えるようにしている(図 1)。

防着治具に付着した成膜材の付着力が小さいと、工程中の真空チャンバ内で防着治具から成膜材が剥離脱落する。これがウェハ上に落下したり付着したりすると「歩留まり」低下を招くこととなる。



図 1 一般的なチャンバ内治具

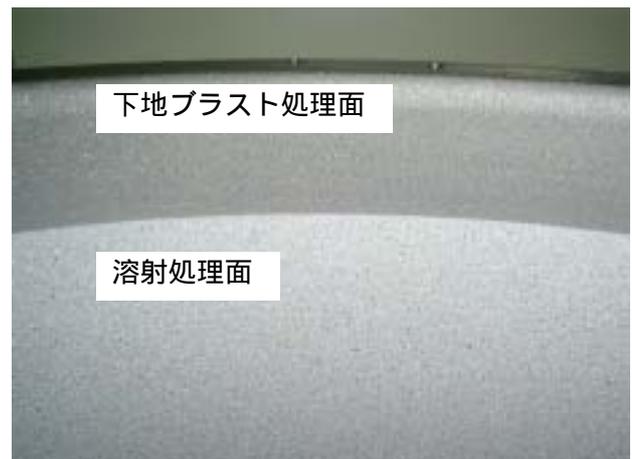


図 2 溶射処理した治具表面

こうした、現象を極力低減させるために、ステンレス（SUS304，SUS316 等）やチタニウム製の金

属製防着治具の表面を粗く加工し、拡散付着した成膜材が物理的に密着し、成膜途中で剥離脱落しないようにしている。治具の表面はできる限り粗くした方が、付着した成膜材との接着面積がより大きくなり密着度を高めることができ、剥離脱落を防止することができる[7]。

このような条件を満足させるためにステンレス製やチタニウム製の金属製防着治具は、厚さを大きくして丈夫にし、熱や重さによる変形を抑えるようにしている。また、特許文献1(特開2003-247059)にあるように金属製防着治具の表面にアルミニウムなどの金属で溶射加工を施し、面粗度の大きな表面を形成し、拡散付着する成膜材をより剥離しにくくしている。

しかし、現状、半導体製造工程の微細化はさらに進むことが予想され、防着治具に対する寸法精度、耐熱ストレス(耐熱性)などの要求も、厳しくなりつつあり、既存の表面処理では限界にきている。

多様な成膜材料、バリア材の登場により、防着治具と付着材との膨張係数の差は様々となり防着治具には過大な応力が発生するケースが生じている。このため、付着皮膜の応力吸収不足が原因で防着治具と溶射膜の界面に滑りが生じ、溶射膜が剥離してしまい、装置性能を阻害する問題が多くなってきている。

さらに剥離した物質(パーティクル)がウェハの静電吸着ステージに堆積した場合、その除去のため装置自体を停止させる必要性に迫られ稼働率が低下する[8]。

1.3 一般的な溶射法

ここで表面処理手法として一般的な溶射法について簡単に記しておく。

溶射膜の表面を粗くする方法としては、フレーム(ローカイド)溶射法が最適である[9]。

溶射材は4000 程度で射出され、多孔質な溶射膜が形成される。これは、溶射材が母材や、溶射材同士の上に衝突する際、間に挟まれ、閉じこめられた微少な気泡が気孔となるからである。

溶射の密着力は、溶射材が母材表面にぶつかり扁平化し、固まる時に発生する収縮応力が結合力の主たる要因であり、この点から、より粘度の低い溶射材の方がよい。フレーム(ローカイド)溶射法は溶射材の粘度が高く、溶射膜が多孔質になるので、比較的収縮応力が弱くなり、気孔が多いため、母材との密着力が劣る。

その反面、プラズマ溶射法は、プラズマの高温

(8,000~10,000)で熔融されたアルミニウムが他の溶射方法より粘度が低く、母材表面によりよく入り込み、閉じこめる気泡を少なくし、より収縮応力を大きくし、結合力が増大する[10][11]。

さらに、溶射材にアルミナ・シリサイトを使用し粉体として供給されるので、セラミック母材との馴染みがより良く、バインダ効果を上げる。

しかし、デメリットとして溶射膜表面の粗度は他の方法と比較して低くなる(図3にフレーム溶射処理の表面状態の写真、図4にプラズマ溶射処理の表面状態の写真を示した)。フレーム溶射処理に比べ一般的に面粗度の低いプラズマ溶射処理では、真空チャンバ内において、治具表面に付着した成膜材が剥離しやすくなってしまふ。

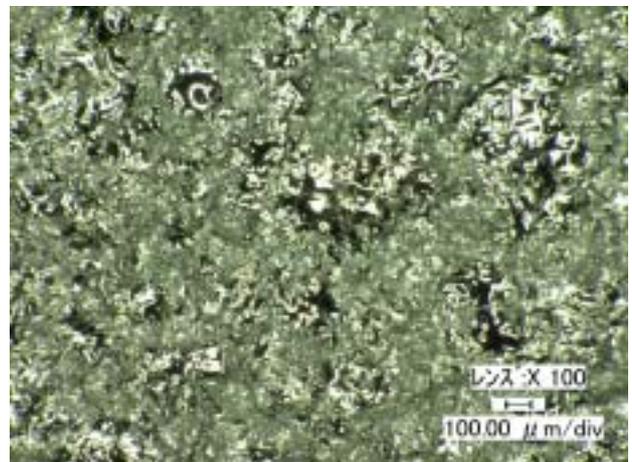


図3 フレーム溶射の表面

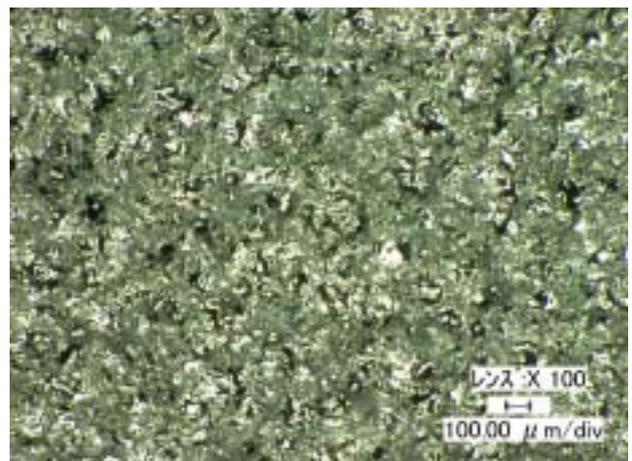


図4 プラズマ溶射の表面

2. 実験方法

本研究で有効性を検証する金属製防着治具のモデル()として 40 のステンレス製丸棒(l=40

mm)を用意し次のような手法で表面を形成した。

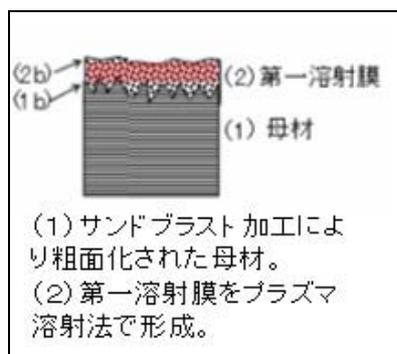


図5 プラズマ溶射テストモデル

図5は防着治具の母材であるSUSの丸棒の表面を模式的に示す。母材(1)の一方の面に、アンカ(下地)処理として、サンドブラスト加工をして母材(1)の表面1bを粗面化する。

次に母材(1)の表面(1b)にされる金属溶射加工とは、アルミや銅の溶射材を溶融・加速し、母材(1)の表面(1b)に衝突させてコーティングするものである。母材(1)と溶射材の結合は化学的な結合でも、分子間結合でもなく、ただ単に母材の表面(1b)の凸凹した中に溶けた溶射材が勢い良く入り込み密着し、収縮応力により結合して形成されているだけである。よって、母材の表面(1b)の凸凹を大きくして表面粗度をあげ、SUSと溶射される金属との接界面を増加させることで、密着力を大きくすることができる考えた。強い密着力を得るためには、サンドブラスト加工により表面粗度を大きくする必要がある。サンドブラスト加工の研削材としては炭化珪素100番を使用した。サンドブラスト加工により粗面化された母材(1)は、第1の溶射膜(2)をプラズマ溶射法で形成する。

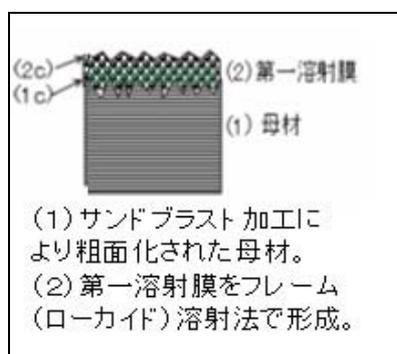


図6 フレーム溶射テストモデル

図6は、同じく下地処理としてサンドブラスト処理を施した母材(1)にフレーム溶射処理したものである。

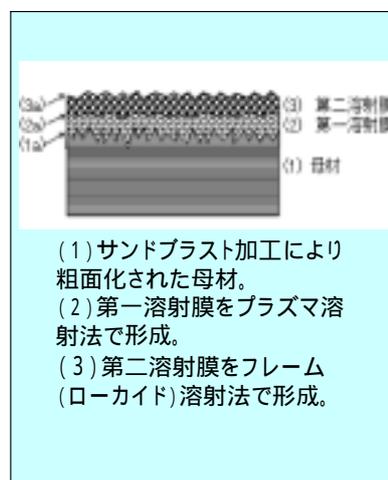


図7 複合溶射処理テストモデル

図7は、前記第1の溶射膜(2)をプラズマ溶射処理で施工し、その上に次の溶射膜(3)をフレーム溶射法で形成する。この第2の溶射膜(3)は、成膜用真空チャンバ内で飛散するパーティクルを効率的に吸着するためにはなるべく表面粗さが粗いものが望ましい。このような目的から、フレーム(ローカイド)溶射法を用いた。アーク溶射法を用いることとしてもよい。

以上の3条件で表面を加工処理したテストピースを用意し、それぞれの場合の表面粗度、密着力、真空到達時間、四重極型質量分析計¹(Q-mass分析器)によりアウトガスを分析した。

1 真空中に存在する気体の種類とそれぞれの気体の圧力を計測する質量分析計

3. 結果と考察

3-1 面粗度・密着力(破断点応力)について

表面粗度の測定にはサーフコーダ SE-2300(小坂研究所製)を使った。引張試験機は、JIS B 7721の引張試験機を用いて、破断点応力を調べた(図8は表面粗度測定結果の出力例)。

各モデルの表面を適切な方法(日本工業規格 JIS B 0601、JIS B 0651)で100回計測し、数値の平均値を比較した結果を表1に記す。

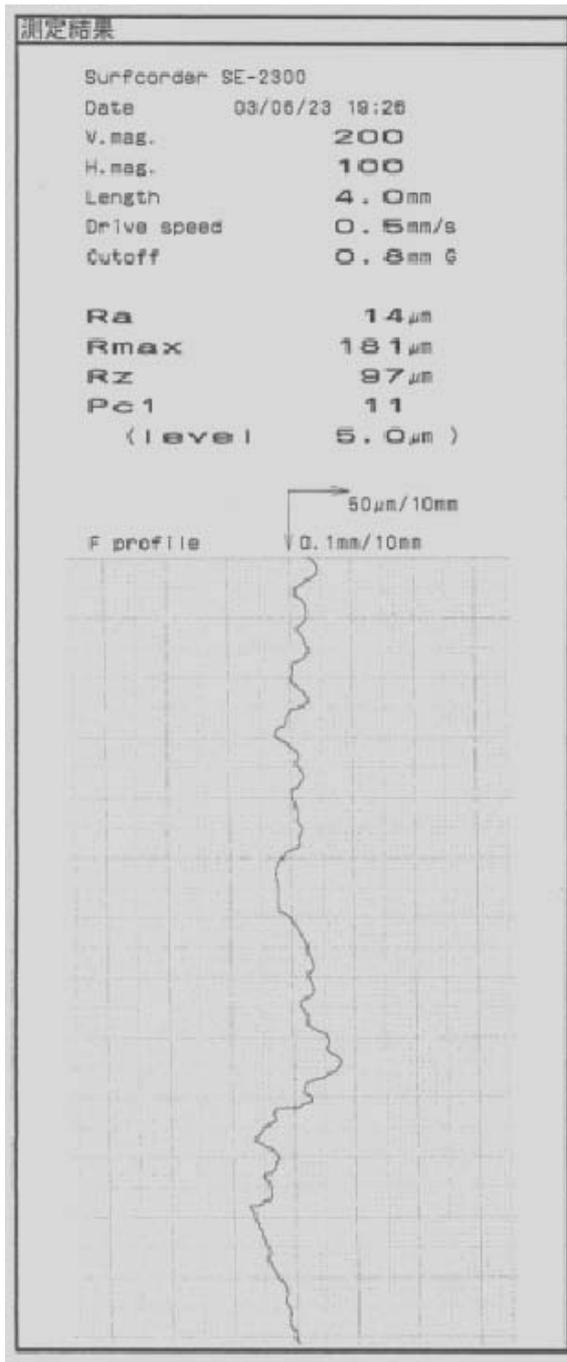


図 8 表面粗度測定結果出力例

破断点応力に注目すると複合溶射処理品の測定値はプラズマ溶射を単独で施工した場合と比較して約 50%増加、またフレーム溶射を単独で施工した場合に比べ約 15%増加している。このことは真空チャンバ内治具として複合溶射処理の優位性を表している。

表 1 表面粗度・破断点応力測定結果

	プラズマ 溶射品	フレーム 溶射品	複合 溶射品
表面粗度			
Ra(μm) ²	10.1	15.1	14.3
Rmax(μm) ³	112.3	178.2	207.4
Pc ⁴	10.2	11.0	11.1
破断点応力 (N/m ²)	29.15	22.74	34.19

2,3 Ra: 中心線平均粗さ Rmax: 最大粗さ (JIS B0601)

4 4°-カウント: 単位長さあたりの凸凹の数

3-2 真空到達時間について

図 9 のような真空チャンバにおいて実際に「真空引き」を行い、到達時間を測定した。同結果を表 2 に記すが、複合溶射品の測定値はフレーム溶射品、プラズマ溶射品に比べ遜色ない数値であった。



図 9 真空チャンバ

表 2 真空到達時間

	プラズマ 溶射品	フレーム 溶射品	複合 溶射品
真空到達時間 (min)	4.9	4.3	4.6

10⁻⁵Torr から 3 × 10⁻⁶Torr まで測定 (空引時 : 3.4min)

3-3 四重極型質量分析計 (Q-mass) 測定

各条件で表面処理施工品の残留アウトガスの状態を四重極型質量分析計 (Q-mass) により測定した。図 10, 図 11, 図 12, 図 13 にそれぞれ「空引き時」、「プラズマ溶射品」、「フレーム溶射品」、「複合溶射品」の測定結果スペクトルを模式的に表示した (図中 33m/e 以降の測定では発現スケー

ルが微小な為 $\times 10$ で表示。縦軸は比較値)。

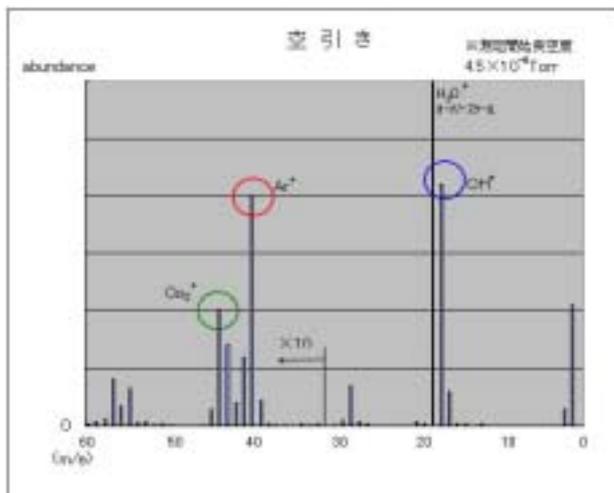


図 10 Q-mass 分析結果-空引き

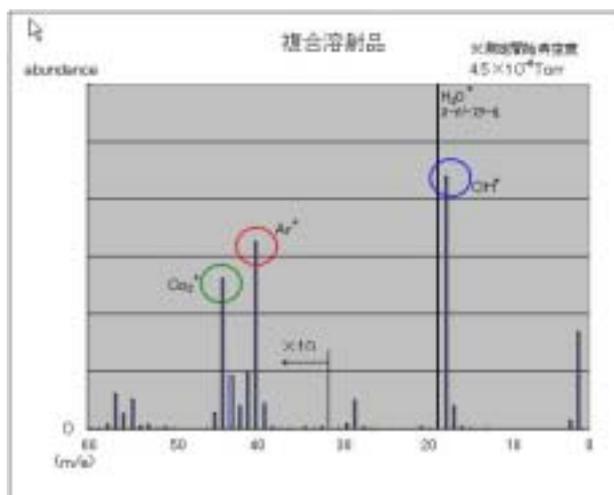


図 13 Q-mass 分析結果-複合溶射品

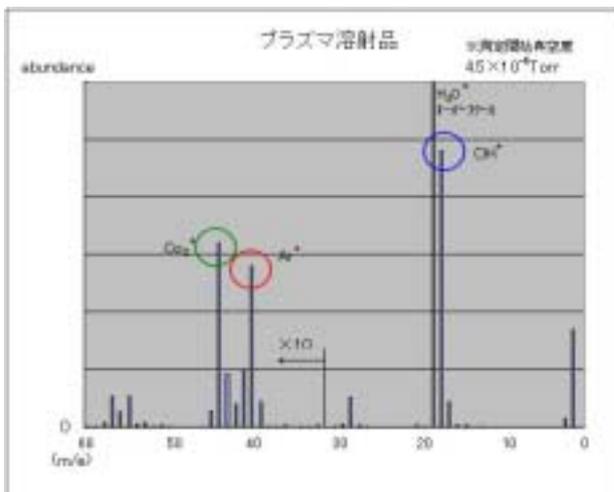


図 11 Q-mass 分析結果-プラズマ溶射品

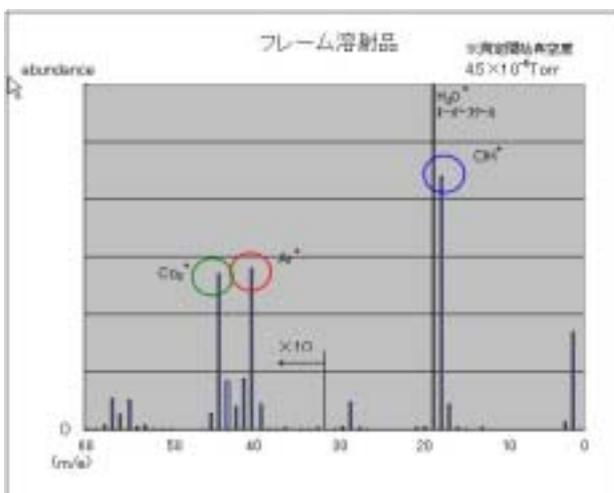


図 12 Q-mass 分析結果-フレイム溶射品

とりわけ真空製造装置の性能を大きく左右する CO_2 , H_2O の残留に注目する。図中、基準となる Ar^+ 測定値は赤、 OH^+ 値は青、 CO_2^+ 値は緑で示される。

Q-mass 分析結果の一般的な分析手法では、それぞれの測定時において雰囲気中の Ar^+ の値は外的要因変動の影響を最も受けないため一定と考える。図 11, 図 12, 図 13 より、 Ar^+ 値に対する OH^+ 値の比、及び CO_2^+ 値の比は、いずれも複合溶射品が低いことが読み取れる。これは、真空装置用途において治具の表面処理加工には複合溶射が適していることを示している。

4.まとめ

多層構造による溶射膜を金属母材の表面に形成することにより、母材から剥がれ難い溶射膜を備えた防着治具が製造できると考えられる。

母材に直接接する第 1 溶射膜をプラズマ溶射法で施工、最も表面側の溶射膜をフレイム溶射にすると、他の溶射処理単独で施工する場合に比べ、母材と溶射膜の密着力を大きくすることができ、さらに溶射処理後の表面粗さを粗くすることができる。

参考文献

英文概要中 仁平宣弘, 三尾淳, 「はじめての表面処理技術」 p.169, 工業調査会(2001)

[1] 菊池正典, 「半導体のすべて」 p.204, 日本実業出版社(2000)

[2] 東京理科大学理工学辞典編集委員会, 「理工

- 学辞典」pp.911-927, 日刊工業新聞社(1996)
- [3] 平塚勝朗,「プラスト知恵の実」p.10, ニッチュー(2000)
- [4] 蓮井淳,「新版溶射工学」p.57, 産業出版(1996)
- [5] Iwao Sumoge, Humihiko Hiruma, "Production Technology of Ceramic Materials with Thermal Sprayed Coating", *J. Technology and Education*, vol.12, 2, pp.39-45(2005)
- [6] 菊池正典,「半導体のすべて」p.114, 日本実業出版社(2000)
- [7] 日本溶射協会「溶射技術ハンドブック」p.25, 新技術開発センター(1998)
- [8] 日本真空,「真空ハンドブック」p.340, オーム社(1992)
- [9] 蓮井淳,「新版溶射工学」p.25, 産業出版(1996)
- [10] 蓮井淳,「新版溶射工学」p.37, 産業出版(1996)
- [11] Yoshio Harada, *HYOMEN GIJUTSU*, vol.49, №6, pp.32-33, The Surface Finishing Society of Japan (1998)