SUS304 鋼表面でのミクロな大気汚染物の付着および紫外線・オゾン処理によるそれらの除去

王 栄光¹ 徳山 貴路^{2,*} 木戸 光夫¹

¹広島工業大学工学部機械システム工学科

²広島工業大学大学院工学研究科機械システム工学専攻

J. Japan Inst. Metals, Vol. 72, No. 11 (2008), pp. 856-862

© 2008 The Japan Institute of Metals

Adhesion of Atmospheric Micro-Contaminants on SUS304 Steel Surface and Their Removal by UV-O₃ Treatment

Rongguang Wang¹, Takamichi Tokuyama^{2,*} and Mitsuo Kido¹

¹Department of Mechanical Systems Engineering, Faculty of Engineering, Hiroshima Institute of Technology, Hiroshima 731-5193

²Major in Mechanical Systems Engineering, Graduate School of Engineering, Hiroshima Institute of Technology, Hiroshima 731-5193

Micro-contaminants on SUS304 stainless steel were observed and confirmed by atomic force microscope, and micro-contaminant removal was carried out by ultraviolet-ozone (UV-O₃) treatment. With an increase in the holding time in air, particle- and film-like micro-contaminants appeared and their amount increased on the specimen surface. Then, the amount of particle-like contaminants decreased and finally almost all the surface was covered by film-like contaminants. The amount of micro-contaminants on the specimen surface decreased with an increase in UV-O₃ treatment time, with extensive removal of the organic substance in the contaminants but leaving part of the contained water in the contaminants. The micro-contaminants slowly re-adhered on the treated surface when the surface was re-exposed to air, with a long period of more than 172 ks for the recovery to the state before the UV-O₃ treatment. The surface for macro-droplets after the UV-O₃ treatment became hydrophilic, while no large change of the wettability for micro-droplets on the same surface can be observed.

(Received June 6, 2008; Accepted July 28, 2008)

Keywords: micro-contaminant, ultraviolet-ozone treatment, illumination, surface cleaning, atomic force microscope, X-ray photoelectron spectrometry

1. 緒 言

機械・電子機器の高精度化、高密度化、高速化、長寿命化が進み、部品表面には密着性/接着性、導電性/絶縁性、耐摩耗性、耐食性、触媒作用などの機能が数多く要求されるようになり、高度でしかも多種多様な処理が施されている¹⁾。こうした高度な機能をもつ表面を効率よく具現化させるには、清浄な部品表面であることが不可欠である²⁻⁷⁾。ところで、部品が大気中にさらされると、一般にその表面にはミクロな大気汚染物が付着される^{8,9)}。材料の本来の属性を活かすためには、こうした表面に付着したミクロな大気汚染物(又は付着物)の様相を解明すると共に、出来る限りそれを除去してやる必要がある。

こうした材料表面での汚染物やその除去処理については、これまで数多くの研究が行われてきている²⁻⁸⁾。しかし、ミクロな大気汚染物は一般に軟らかいものが多く、しかもそれは蒸発しやすいものと考えられるので、通常行なわれる一般的な方法では観察することができない。また、ミクロな汚染

物の付着程度およびその除去程度を評価する手段としては、表面成分分析を真空中で行う方法や水濡れ状態を大気中で調べる方法などに依存するしかなく、その場で表面汚染物の様相・分布形態をとらえることは不可能である。一方、著者らは、純クロムや純鉄の表面成分を分析し、さらに原子間力顕微鏡(AFM)のACノンコンタクトモードおよびコンタクトモードを併用することによって、それら各表面に付着したミクロな大気汚染物の三次元形態を直接観察し、確認することができた⁹⁻¹¹⁾。これより、ミクロな大気汚染物は水分および有機物によって構成されており、金属表面に不均一に分布していることがわかった。こうしたミクロな表面での不均一な汚染物の分布様相は、水滴の濡れ性がミクロとマクロで大きく異なる理由の一つと見られている^{11,12)}。しかし、金属表面でのミクロな汚染物が大気放置の時間によってどう変化するのか、またその除去法についても、今のところ不明な点が多い。

ところで、特定な波長をもつ紫外線(UV)を空気中で照射させるとオゾン(O₃)が発生し、材料表面に生じた汚れを除去できることが知られている²⁻⁴⁾。しかし、UV照射によって金属表面のミクロな大気汚染物がどの程度除去できるかは、直接的に確認・観察した例がなく、詳しく調査してみる

* 広島工業大学大学院生(Graduate Student, Hiroshima Institute of Technology)

必要がある．そこで本研究では，表面に緻密でしかも安定な皮膜があり，長時間の水分付着が行われても酸化(腐食)反応の進行が少ない，ステンレス鋼を試験片として選んだ．すなわち，AFM を用いて試験片表面上に存在するマイクロな大気汚染物の付着様相を観察・確認したのち，その表面に所定の紫外線・オゾン照射処理を行い，清浄な表面の創製を試みた．また，比較のためアセトン中で超音波洗浄した金属表面も用意し，洗浄効果の違いも調べた．表面の清浄程度は，大気中で AFM による直接的な観察⁹⁻¹³⁾，マクロな水濡れ法およびマイクロな水濡れ法¹¹⁾によって調査し，さらに真空中で X 線光電子分光分析法(XPS)によっても調査し評価を行った．

2. 実験方法

市販の SUS304 ステンレス鋼(化学成分(mass%)C : 0.05, Si : 0.63, P : 0.032, S : 0.002, Ni : 8.10, Cr : 18.05, Fe : Bal.)を供試材とした．試験片はエメリー紙で湿式研磨した後，5 種類のアルミナ粉末(平均粒径 9~0.05 μm)を用いて粗粒から細粒に順次バフ研磨した．その後，毎回新しく替えたアセトン中で 0.9 ks 間ずつ 3 回の超音波洗浄を行い，直ちに原子間力顕微鏡(AFM ; 島津製作所製 SPM-9800)の観察台($293 \pm 3 \text{ K}$; 湿度 : 50~60%RH)にセットし表面形態を観察した．その後，デシケーター中(温度 : $293 \pm 3 \text{ K}$; 湿度 : 25~30%RH)に所定時間放置したのち，紫外線・オゾン(以下，UV- O_3 と呼ぶ)処理を行い，再び AFM を用いて表面の観察を行った．UV- O_3 処理は，Fig. 1 に示すような紫外線(UV)照射装置(岩崎電気機製 OC-256015)のチャンパー内に試験片をセットし，0.6 ks, 1.2 ks または 3.6 ks 間照射した．紫外線照射装置には 6 本の石英ガラスランプ(岩崎電気製 QOL 25SY ; 25 W $\times$ 6)を用い，主たる波長 185 nm および 254 nm とする紫外線を発する．紫外線照射中，密封されたチャンパー内の酸素の一部はオゾンとなり，照射後オゾン分解器を通して 0.3 ks 間ガス排出を行う．また，汚染物の除去効果を比較するため，アセトン中で超音波洗浄したものも調べた．

表面の清浄程度を観察・確認するため，AFM の AC ノンコンタクトモード(以下，AC モードと呼ぶ)およびコンタクトモード(以下，C モードと呼ぶ)を用いた．AC モードは，

振動しているカンチレバーが材料表面をタッピングし，同時に軟らかな汚染物を観察できる¹⁰⁻¹²⁾．C モードは，AC モードの場合より大きな力でカンチレバーが材料表面に接触しながら測定するため，表面に付着している軟らかな汚染物の影響を受けず，本来の材料表面が観察できる¹⁰⁻¹²⁾．すなわち，まず材料表面を AC モードで観察し，次にその観察領域内でのより狭い中心付近を C モードで観察した．C モード観察によって，カンチレバーは汚染物を部分的に除去(掃出)する．その後，初期の観察領域(範囲)を AC モードによってさらに観察し，その表面変化を調べた．以上の操作によって，試験片表面に付着した汚染物の量を調査した．

UV- O_3 処理前・後またはアセトン中で超音波洗浄後の各試験片表面の成分は，X 線光電子分光分析装置(XPS ; 島津製作所製 AXIS ULTRA)を用いて調べた．また，材料表面に純水を一定量(約 5 μL)滴下させ，静滴法によってその表面のマクロな濡れ接触角を測定した．さらに，UV- O_3 処理した表面で濡れたマイクロな水滴の接触角を前報¹²⁾と同様な AFM の AC モードを用いて測定・比較し，表面洗浄効果との関連を調べた．

3. 実験結果および考察

3.1 ミクロな汚染物の観察・確認

SUS304 鋼をバフ研磨し，アセトン中で超音波洗浄後直ちにその表面を AFM の C モードで観察したのが Fig. 2(a)である(ただし，AFM によって観察されたすべての画像は，明るい部分が高所を示し，画像全体が見やすいように写真右側に表示されている高さ分布(ヒストグラム)は調整している)．Fig. 2(a)には，研磨傷と見られるものは現れているが，硬い汚染物はないようである．同様な表面を AFM の AC モードおよび C モードを併用して観察したのが Fig. 2(b)である．Fig. 2(a)とは異なり，粒子状や膜状の付着物が表面にも現れている．これは，大気中で付着したマイクロな汚染物であると考えられる．Fig. 2(b₂, b₃)より，AC モードおよび C モードの併用によって，この汚染物は軟らかいものであることがわかる¹⁰⁻¹²⁾．すなわち，汚染物は C モード(Fig. 2(b₂))によって掃出され，C モード走査範囲の周囲 4 隅に集まっていた(Fig. 2(b₃))．こうしたマイクロな汚染物は，前報¹¹⁾と同様な有機汚染物や水分を含むもの(含水物)と考えられる．

Fig. 3 は，研磨後アセトン中で超音波洗浄し，デシケーター中に所定時間放置(大気曝露)したものの表面である．大気放置時間が 350 ks の場合，AC モード観察(a₁)によると，材料表面には微小な粒子状や膜状の汚染物が付着されており，アセトン洗浄直後のそれ(Fig. 2(b))と比べあまり変わっていない．Fig. 3(a₃)の AC モード観察では，Fig. 3(a₂)の C モードによって掃出した汚染物の様相を示す．汚染物の付着量を定量的には把握しにくい，600ks 間大気放置後の表面には汚染物がやや増え(Fig. 3(b₁, b₂, b₃))，粒子状の汚染物は大きくしかもその数が多くなっている．また，1200 ks 間大気放置した表面には，汚染物が増えた様相は認められないが，粒子状の汚染物が殆ど消滅し，表面の全体が膜状らし

Fig. 1 Apparatus for ultraviolet-ozone (UV- O_3) treatment.

Fig. 2 Surfaces of SUS304 steel after polishing and ultrasonic cleaning in acetone, respectively observed in the C-mode (a, b₂) and AC-mode (b₁, b₃) of AFM.

Fig. 3 Surfaces of SUS304 steel after polishing, ultrasonic cleaning in acetone and holding in air for 350, 600 and 1200 ks. Surfaces were orderly observed in the AC-mode (a₁, b₁, c₁), C-mode (a₂, b₂, c₂) and AC-mode (a₃, b₃, c₃).

きもので覆われている。こうした膜状の汚染物は長時間大気放置させた純鉄や亜鉛などの表面にも観察されている¹³⁾。これは、表面に付着したミクロな汚染物は、長時間安定な膜状になっていることを示唆している。

3.2 UV-O₃ 処理によるミクロな汚染物の除去

Fig. 4 は、600 ks 間放置後 0.6 ks および 1.2 ks 間 UV-O₃

処理した表面の観察様相である。UV-O₃ 処理前の材料表面には小さな研磨傷は不鮮明で殆ど観察されない(Fig. 3(b)参照)が、0.6 ks 間処理後は、それが鮮明に観察され、しかも粒子状の汚染物そのものが観察視野から消滅した。このことから、UV-O₃ 処理によって表面の汚染物はある程度除去できたことがわかる。一方、Cモードで確認してみると、まだ表面には膜状の汚染物が付着しており、それがほぼ全表面を

Fig. 4 Surfaces of SUS304 steel after polishing, ultrasonic cleaning in acetone, holding in air for 600 ks and further UV- O_3 treatment for 0.6 ks (a_1 , a_2 , a_3) and 1.2 ks (b_1 , b_2 , b_3). Surfaces were orderly observed in the AC-mode (a_1 , b_1), C-mode (a_2 , b_2) and AC-mode (a_3 , b_3).

覆っている Fig. 4(a_2 , a_3). Fig. 4(b_1 , b_2 , b_3)には, SUS304 表面を 1.2 ks 間 UV- O_3 処理した後の様相を示しているが, 処理時間を増加させると, 表面の汚染物はさらに減少していることがわかる. ところが, 依然として薄く安定な膜状のものが材料表面を覆っている. 図は省略しているが, 3.6 ks 間 UV- O_3 処理した後の表面にも, これら Fig. 4(b)と同様な様相が観察されており, 汚染物を完全除去することができなかった.

Fig. 5 は, 試験片表面に付着した汚染物の平均厚さが, あらかじめ超音波洗浄したものまたは UV- O_3 処理したものと比較してどのように異なるかを調査したものである. 汚染物の平均厚さは下記の方法によって測定した. すなわち, 測定領域 “A” の中心部 “B” を C モードによって走査し汚染物を掃出し, そこで AC モードによって観察された領域 “A” で最も深い箇所を高さの基準レベルとし, 測定領域 “A” において, この基準レベルを超えた部分の体積を汚染物の体積とした. この体積を測定領域の平面面積 (“A”) で除し, 汚染物の平均付着厚さとした. これによると, 600 ks 間大気放置した表面に平均厚さ約 19 nm の汚染物が認められるが, 0.6 ks 間 UV- O_3 処理した後はそれがほぼ 1/2 にまで減少した. 1.2 ks 間 UV- O_3 処理すると, 汚染物の厚さは約 1/3 の 6 nm にまで減少し, さらに 3.6 ks 間照射させると, 厚さは約 3 nm になった. この結果より, 材料表面での汚染物は UV- O_3 処理によって除去することが可能で, しかもその除去効果は照射時間の長いほど大きいことがわかる. しかしこの結果は試験片表面の粗さを無視して得られたものであり, 汚染物が少ない程研磨傷による誤差は大きくなる傾向になる. すなわち, 1.2 ks および 3.6 ks 間の UV- O_3 処理後に

Fig. 5 Mean thickness of micro-contaminants on SUSU304 steel after different surface treatments before UV- O_3 treatment (UV (0 s)), after 0.6 ks UV- O_3 treatment (UV (0.6 ks)), after 1.2 ks UV- O_3 treatment (UV (1.2 ks)) and after 3.6 ks UV- O_3 treatment (UV (3.6 ks)).

は, 表面の汚染物は少なくなっており, 実際にはここで示す厚さよりもより薄い筈である. また, C モードで数回走査したが, すべての汚染物を四隅に掃出すことができなかった. 従って, Fig. 5 に示す結果は, 参考データに留めるべきで, 汚染物の量的測定は慎重に扱うべきである. 今後, より平坦な表面に同様な測定を行えば, 大気汚染物の平均厚さをより精度良く求めることができると思われる. 勿論, 表面粗さの変化は大気汚染物の吸着挙動にも影響を及ぼす可能性がある.

Fig. 6 は, 1.2 ks 間 UV- O_3 処理した後, 所定時間大気放置した SUS304 表面の時間経過による付着変化である. 汚

Fig. 6 Surface change of SUS304 steel after 1.2 ks UV-O₃ treatment and further holding in air for 350 ks (a: a₁~a₃), 600 ks (b: b₁~b₃) and 1200 ks (c: c₁~c₃). Surfaces were orderly observed in the AC-mode (a₁, b₁), C-mode (a₂, b₂) and AC-mode (c₁, c₂).

染物の再付着が UV-O₃ 処理により大幅に少なくなることはないが, UV-O₃ 処理をしなかったもの (Fig. 3) よりは少ない. これは, 金属表面に存在するベース OH 基が UV-O₃ 処理によって減少したためと考えられる. ベース OH 基は, 一般に有機汚染物の COOH 基に対して吸着サイトであり¹⁴⁾, オゾン処理によって洗浄容易な性状をもつステンレス鋼表面ができるとされている¹⁵⁾.

3.3 X 線光電子分光分析法 (XPS) による表面成分分析

Fig. 7 のうち, (i) は, 大気中に 700 ks 間放置した SUS304 鋼の表面 (UV (0 s)), (ii) は (i) の後超音波洗浄を行った場合 (US (1.2 ks)), (iii) は (i) の後 1.2 ks 間 UV-O₃ 処理した場合 (UV (1.2 ks)), (iv) は (i) の後 0.3 ks 間 Ar⁺ エッチングを施した場合 (Ar⁺ (0.3 ks)) の各表面について, XPS 分析で得られた各元素の相対原子比を示したものである. これによると, アセント中で超音波洗浄したものは, 有機汚染物の構成元素である炭素の量がやや減少するのに対し, UV-O₃ 処理したものの炭素量は大幅に減少し, Ar⁺ エッチングを施した場合の量にはほぼ近づいている. また, UV-O₃ 処理

Fig. 7 Relative atomic concentration (at.%) of elements on surfaces of SUS304 steel after different surface treatments of UV (0 s), ultrasonic cleaning US (1.2 ks), UV (1.2 ks) and Ar⁺ (0.3 ks).

によって金属元素 (Fe, Cr, Ni) は大幅に増加し, 汚染物が除去された材料本来の元素に近い表面が現れている. 一方, UV-O₃ 処理後の表面には酸素含有量が増えている. これは, UV-O₃ 処理によって強酸化力をもつオゾンや活性化酸素原子^{3,6,7)}が空气中に生成し, 材料表面の一部に酸化皮膜が形成

したためと考えられる。

XPS 分析によって得られた UV- O_3 処理した試験片表面の有機物の減少は、前記 3.2 節の AFM 観察によって得られた大気汚染物の減少とほぼ一致している。しかし、AFM 観察は大気中で行ったものであり、試験片表面には有機物や吸着水が汚染物として現れるものと考えられる。一方、XPS による測定は超高真空中 ($<5 \times 10^{-7}$ Pa) で行われ、試験片表面に存在する吸着水の一部は蒸発してしまい、主に有機汚染物のみが検出される。このことは、AFM 観察から計算した汚染物の平均厚さ (約 19 nm) の試験片 (Fig. 5) においても、基材の金属成分が検出されたことに関係している (一般に、XPS 分析で検出する表面層の厚さは数 nm でしかない)。また、このことから、a) 汚染物の分布は不均一であることおよび b) 計算により得られた汚染物厚さは過大であることが考えられる。

3.4 水濡れ性測定

Fig. 2 および 3 に対応し、アセトン洗浄直後およびそれから大気放置した表面において、マクロな水滴 (約 5 μ L) の濡れ接触角を測定したところ、それぞれ 53° (大気放置: 0 ks)、51° (350 ks)、40° (600 ks) および 41° (1200 ks) であった。これより、長時間大気放置することによって、表面は若干親水性になっており、有機物は累積的に増加することなく、表面で起こった汚染物の増減は主に大気中での水分の吸着または蒸発によるものであることがわかる。

Fig. 8(a) は、Fig. 7 に対応した各種の表面処理を施した SUS304 鋼表面において、マクロな水滴の濡れ接触角の違いを示したものである (バラツキが少ないため、エラーバーが示されていない)。これによると、超音波洗浄および UV- O_3 処理によって接触角は小さくなり、とくに 3.6 ks 間の UV- O_3 処理によって、水滴の接触角が処理前の 1/5~1/4 程度にまで小さくなった。これは、UV- O_3 処理によって撥水性の有機汚染物が除去され、親水性の表面になったためと考えられる。前報¹¹⁾で、ミクロな大気汚染物の外層は撥水性の有機物であり、内層は吸着水分であることを提案した。水の濡れ性は、試験片の最表面の成分のみに影響されるので、本研

究では、UV- O_3 処理によって試験片の最表面に存在する有機汚染物が除去されたことは明白である。一方、Fig. 8(b) には、大気中に 350 ks 間放置した試験片を 3.6 ks 間 UV- O_3 処理する前後の表面において、ミクロな水滴 (横半径: 約 65 nm) による濡れ接触角^{11,12)}を示す。UV- O_3 処理を施していない試験片の場合、ミクロな水滴がマクロなそれに比べてかなり小さくなっているが、これは前報^{11,12)}の結果と一致している。しかし、UV- O_3 処理によってミクロな接触角はマクロな接触角のように大きな変化は生じておらず、バラツキが若干大きいものの変化はない。これは、撥水性の有機物が全表面を覆ったためではなく、ミクロな水滴は優先的に撥水性をもつ有機物がない所に留まってしまい、大気汚染物の付着量の違いによる影響を受けにくい¹¹⁾ためと考えられる。また、1.2 ks や 3.6 ks 間の UV- O_3 処理をした表面で測定したマクロな水滴の濡れ接触角は、ミクロなそれとはほぼ同じ程度である。このことは、UV- O_3 処理することによって、表面での有機汚染物が多く除去されていることを示唆している。なお、1.2 ks 間の UV- O_3 処理した表面を再び 3.6, 14.4, 86.4 および 172.8 ks 間大気放置した場合、その表面でのマクロな水滴の濡れ接触角は、それぞれ、19°, 24°, 27° および 40° であった。これより、UV- O_3 処理した表面には大気汚染物が少しずつ再付着するが、完全に処理前の状態に戻るまでの時間は 172 ks より長い。仮に有機汚染物が完全に付着していない所 (基材素地) および完全に有機汚染物で覆われた所での水滴の濡れ接触角をそれぞれ 10° (Fig. 8) および 70°¹²⁾ とし、Cassie-Baxter 式¹⁶⁾を用いて計算すれば、表面を有機汚染物で覆う率は、1.2 ks 間 UV- O_3 処理した直後には 0% であるが、再び 3.6 ks, 14.4 ks, 86.4 ks および 172.8 ks 間大気放置すると 6%, 11%, 15% および 34% になる。

3.5 ミクロな付着物除去のメカニズム

本研究で用いた紫外線ランプからは、主に 185 nm および 254 nm といった 2 種類の紫外線が放出される。波長 185 nm の紫外線はエネルギーが高いので、有機汚染物に含まれる C-C, C-H, C-O などの共有結合を切断する能力を持っており、また大気中の O-O 結合を切り離し活性化酸素原子やオゾンの生成を促進できる³⁾。オゾンの O-O 結合は、254 nm 波長によっても切断され活性化酸素原子になる。オゾンも活性化酸素原子も高い酸化能力を持っているので、波長 185 nm の紫外線によって切断された C-C, C-H 結合中の炭素や水素原子はオゾンや活性化酸素原子と結合して CO₂ や H₂O 気体が生成する。H₂O が表面に再付着するので、このようなプロセスによって試験片表面での有機汚染物が紫外線照射によって除去できるが、汚染物に含まれる水分は除去できない。

XPS 分析やマクロな濡れ測定結果によれば、UV- O_3 処理によって有機汚染物の多くは除去できたが、AFM 観察では、長時間紫外線照射しても表面の汚染物を完全に除去できていない。したがって、このような残留汚染物の主たる成分は水分であると考えられる。また、ミクロな濡れ観察では、ミクロな水滴の付着はあまり多くないこと、および UV- O_3 処理終了から AFM 観察開始・終了までの時間内に大気汚染

Fig. 8 Contact angle of macro- and micro-droplet of pure water on SUS304 steel after ultrasonic cleaning (US) and UV- O_3 treatments.

物が再付着することを考慮すると、長時間 UV-O₃ 処理した後の表面を AFM 観察して見られる残留汚染物には、主成分である水分のほか、一部に有機汚染物もあるように思われる。勿論、汚染物の総量は照射前よりは少ない。ところで、長い時間では汚染物の再付着が起こる (Fig. 7) が、短い時間での付着の様相は今のところ不明で、今後さらなる解明が必要である。

4. 結 言

SUS304 ステンレス鋼表面に付着した大気汚染物を原子間力顕微鏡 (AFM) によって観察・確認し、さらにその表面を UV-O₃ 処理することによって汚染物がどのように変化するかを調べた。材料表面の清浄の程度は AFM による直接観察、XPS による成分分析および水濡れ法によって評価した。得られた結果は以下の通りである。

(1) AFM を用いて、SUS304 鋼表面に付着する粒子状や膜状のミクロな大気汚染物が観察できた。最初の段階では、大気放置時間の増加に伴ってミクロな汚染物も増加するが、その後は粒子状なものが減り、全表面のほとんどが膜状なもので安定的に覆われている。

(2) UV-O₃ 処理の時間が長いほど、ミクロな汚染物の除去量は多い。一方、UV-O₃ 処理によって大気汚染物中の水分は部分的にしか除去はできないが、汚染物中の有機汚染物の大部分は除去できる。UV-O₃ 処理した後の表面には、時間経過と共に徐々に大気汚染物の再付着が起こるが、完全に処理前の状態に戻るに要する時間は 172 ks 以上である。

(3) SUS304 鋼表面には UV-O₃ 処理によってマクロな濡れの親水性が見られた。しかし、ミクロな濡れにはほとんど

変化は見られなかった。

本研究の一部は「文部科学省ハイテク・リサーチ・センター整備事業 (平成 16 年度～)」および「科学研究費補助金 (基盤研究 (C), 課題番号 18560093)」の助成を受けて行いました。ここに記して謝意を表します。

文 献

- 1) Materials Science Society of Japan: *Surface Treatment in Materials*, (Shokabo, Co., Tokyo, 1996) pp. 1-234.
- 2) Toray Research Center: *Cleaning Technology for Electronics*, (Toray Research Center, Inc., 2005) pp. 1-22.
- 3) Editing Committee of Seimitsu Senjyou Soutsi to Saishin Ouyou Gijyutsu: *Seimitsu Senjyou Soutsi to Saishin Ouyou Gijyutsu*, (Kou Gyō Siryō Center, Inc., 1991) pp. 447-458.
- 4) S. Suzuki, S. Ichimura, A. Kurokawa, Y. Ishikawa, M. Isshiki and Y. Waseda: *Mater. Trans. JIM* **38** (1997) 451-456.
- 5) M. Yaguchi: *Senjyou Gijyutsu Seihin Hyakka*, (Kogyō Chosakai Publishing, Inc., 1995) pp. 82-89.
- 6) K. A. Almas and D. B. Lund: *Surf. Technol.* **23** (1984) 29-39.
- 7) K. Choi, S. Ghosh, J. Lim and C. M. Lee: *Appl. Surf. Sci.* **206** (2003) 355-364.
- 8) M. Mantel and J. P. Wightman: *Surf. Interface Analysis* **21** (1994) 595-605.
- 9) R. Wang and M. Kido: *Mater. Lett.* **57** (2003) 2360-2365.
- 10) R. Wang, M. Kido and F. Suzumura: *Mater. Sci. Forum* **449-452** (2004) 1025-1028.
- 11) R. Wang, M. Kido and N. Morihiro: *Mater. Trans.* **44** (2003) 389-395.
- 12) R. Wang, L. Cong and M. Kido: *Appl. Surf. Sci.* **191** (2002) 74-84.
- 13) R. Wang and M. Kido: *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* **16** (2006) s753-s758.
- 14) J. D. Filius, T. Hiemstra and W. H. Riemsdijk: *J. Colloid Interface Sci.* **195** (1997) 368-380.
- 15) K. Takahashi and S. Fukuzaki: *J. Surf. Finish Soc. Jpn.* **57** (2006) 290-295.
- 16) M. Chikazawa and K. Tajima: *Kaimen Kagaku*, (Maruzen, Co., 2001) pp. 58-59.