

ドライプロセスによる 表面処理・薄膜形成の応用

表面技術協会 編

コロナ社

編集委員会

編集委員長	明石 和夫 (東京大学名誉教授)
編集幹事	亀山 哲也 (産業技術総合研究所)
編集幹事	杉村 博之 (京都大学)
編集幹事	坂本 幸弘 (千葉工業大学)

執筆者一覧 (執筆順)

関口 敦	(工学院大学/元 キヤノンアネルバ株式会社)	(1章, 2章)
杉村 博之	(京都大学)	(3.1節, 10.2節)
小田 昭紀	(千葉工業大学)	(3.2節)
中村 圭二	(中部大学)	(3.3節)
井上 泰志	(千葉工業大学)	(3.4節)
大工原 茂樹	(元 日本真空学会)	(4章)
渡部 修一	(日本工業大学)	(5.1節)
梅村 茂	(元 千葉工業大学)	(5.2節)
坂本 幸弘	(千葉工業大学)	(6章, 11.3節)
川名 淳雄	(日本コーティングセンター株式会社)	(6章)
黒田 聖治	(物質・材料研究機構)	(7章)
尾形 聡	(月島機械株式会社)	(8章)
矢嶋 龍彦	(埼玉工業大学)	(9章)
節原 裕一	(大阪大学)	(10.1節)
光田 好孝	(東京大学)	(11.1節)
馬場 恒明	(長崎県工業技術センター)	(11.2.1項)
國次 真輔	(岡山県工業技術センター)	(11.2.2項)
三浦 健一	(大阪府立産業技術総合研究所)	(11.2.3項)
田中 一平	(千葉工業大学)	(11.3節)
石原 正統	(産業技術総合研究所)	(11.4節)
亀山 哲也	(産業技術総合研究所)	(12.1節)
稲垣 雅彦	(産業技術総合研究所)	(12.1節)
堀 勝	(名古屋大学)	(12.2節)
田中 宏昌	(名古屋大学)	(12.2節)

ま え が き

21世紀を迎え、技術と社会のありようが変わりつつあります。技術について見ますと、省資源・省エネルギー型技術、太陽光など自然エネルギー利用技術、環境調和型技術、安心・安全技術などの開発に対する期待は日本のみならず、世界的なレベルで高まっております。このような技術を実現する要素部品として機械部品、電子部品、光学部品などがあり、ドライプロセスはこれら部品の高性能化、高機能化、軽量化などを図る重要なプロセス技術として活用・発展を遂げてきました。

表面技術協会材料機能ドライプロセス部会は、昭和58～61年にかけて組織されたイオンプレATINGおよびスパッタリング関連の研究分科会をルーツに持ちます。昭和62年に、この二つの研究分科会は、ドライプロセス関連の研究専門部会としてまとめられ、その後、専門部会・技術部会と名称は変遷しましたが、ドライプロセス技術の啓蒙および情報交換の場として着実に継続され、平成10年より現在の名称となりました。ドライプロセスによる材料機能の創製を目標に、ドライプロセスを基盤とする表面技術の発展を支えるための活動を続けています。

本部会では、これからの発展が望まれている前述の産業分野において、ドライプロセスが必要不可欠な貢献を果たし、その成果が迅速かつ有効に浸透するには、若手研究者・技術者の育成および製造現場で活用できる最新の教科書が必要であると考えました。そこで、当該分野で指導的な役割を果たしてこられた明石和夫 東京大学名誉教授を委員長とする編集委員会を立ち上げ、「ドライプロセスによる表面処理・薄膜形成の基礎」を刊行しました。同書は、2013年に出版され好評を博しています。応用編に対する要望も高く、部会では編集委員会を再度組織し、基礎編同様、ドライプロセス分野でリーダーとし

て活躍しておられる産学官の先生方にご執筆をお願いしました。

今回刊行する応用編は、第I編「ドライプロセスの基盤技術」および第II編「ドライプロセスの応用」から構成され、研究現場や製造現場で基礎技術をベースに的確にドライプロセスが実施できるよう、工夫をしております。

以下に本書の内容を簡単にまとめます。1章ではドライプロセス反応場を作り出す真空技術を解説しました。2章では反応場に原料気体を制御・導入する技術について説明をしました。3章では薄膜成長時の膜厚を水晶振動子センサーでその場で計測する手法について解説しました。4章では各種光学薄膜の作製技術について説明しました。高性能反射防止膜、反射膜、フィルターなどの形成に活用されています。5章では航空・宇宙・真空機器で使用される機械部品用固体潤滑膜、および電子デバイスや切削工具保護用硬質膜などの作製とその特徴について概説しました。

6章ではPVDにより、Ti, Al, Si, Crなどを原料に用いて窒化膜、炭化膜を形成する技術および膜の特徴について解説しました。省エネルギー型部材への活用が期待されます。7章では溶射技術の特徴および作製した遮熱皮膜、防食皮膜、耐摩耗皮膜の性能について概説しました。遮熱皮膜は航空機エンジン、発電用タービンに、防食皮膜は橋梁に活用されています。8章ではプラスチックフィルムおよびボトルにガスバリア膜を形成する手法である酸化ケイ素を原料に用いるプラズマ蒸着法およびプラズマCVDについて概説しました。食品、医薬品、飲料のみならず、太陽電池などへも利用されつつあります。9章では固体表面の親水性およびはっ水性を支配する化学的因子および物理的因子について解説しました。印刷、自動車、医療のみならず、エレクトロニクス、エネルギー分野でも活用が広がっています。10章では有機材料の表面改質および無機材料薄膜との複合化を可能にするプラズマプロセスの基礎について概説しました。フレキシブルデバイスへの応用が期待できます。11章ではダイヤモンド薄膜、ダイヤモンドライクカーボン、ナノカーボン、グラフェンおよび窒化炭素膜の作製手法について概説しました。切削工具のみならず、電子デバイスへの応用が期待できます。12章では高周波プラズマ溶射を用いて

チタン基材上に生体適合性セラミックを傾斜組成的に形成する手法とその特徴について概説しました。骨粗しょう症が顕著な高齢者の方に有効な人工股関節部材として活用できる可能性があります。また、超高電子密度大気圧プラズマにより生成したプラズマ活性溶液は手術が困難な卵巣がんや胃がんの治療に有効であることを紹介しました。プラズマ活性溶液はさまざまな疾患にも応用できます。

今回の応用編を次世代ものづくり産業の創製・発展に役立てていただければ幸いです。

最後に、本書の刊行にあたり、コロナ社の方々には大変お世話になりました。編集委員会ならびに執筆者一同に代わって御礼申し上げます。

2016年10月

材料機能ドライプロセス部会
代表幹事
亀山哲也

目 次

第 I 編 ドライブプロセスの基盤技術

1. 真 空 技 術

1.1	ドライブプロセスの中の真空技術	1
1.2	絶対圧とゲージ圧	2
1.3	真空下での気体の挙動	4
1.4	プロセス容器の真空排気特性	7
1.5	ドライブプロセスにおける真空の必要性	13
1.6	大気成分の化学的影響を排除する (1) 清浄表面の確保	18
1.7	大気成分の化学的影響を排除する (2) 膜中不純物の管理	22
1.8	平均自由行程を確保する	23
1.9	真空を作る：真空ポンプ	25
1.10	真空を測る：真空計	29

2. ガ ス 制 御

2.1	ドライブプロセスに必要なガス制御技術	35
2.2	バルブの構造と取り付け方向	37
2.3	減 圧 弁	39
2.4	気体の流量制御	40
2.5	液体原料の気化供給系	44

3. プロセスモニター

3.1 膜厚モニター	49
3.2 ガス分析	52
3.2.1 質量分析法および装置の概略	52
3.2.2 イオン化法と質量分析法の種類	53
3.2.3 四重極型質量分析法の特徴	56
3.2.4 四重極型質量分析による測定結果の例	58
3.3 プロープ計測	60
3.3.1 ラングミュアプローブ	61
3.3.2 マイクロ波領域の共振を利用したプローブ	64
3.4 プラズマ発光分光法によるプロセス診断	70
3.4.1 プラズマ発光分光法の概要	70
3.4.2 プラズマ発光分光に必要な装置	71
3.4.3 プラズマ発光分光によるプロセスモニタリング例	76
3.4.4 プラズマ発光スペクトルの解釈	80

第Ⅱ編 ドライブプロセスの応用

4. 光学薄膜

4.1 真空蒸着と光学薄膜	90
4.2 光学薄膜の原理	92
4.3 光学薄膜の種類	95
4.3.1 反射防止膜	95
4.3.2 反射膜	96
4.3.3 フィルター, ミラー	96
4.4 光学薄膜の作製技術	97
4.4.1 真空蒸着	97

4.4.2	光学薄膜の特徴と作製技術の発展	99
-------	-----------------	----

5. トライボロジー薄膜

5.1	機械部品への応用に適したトライボコーティング	101
5.1.1	摩擦のメカニズム	101
5.1.2	固体潤滑トライボコーティングの機能と特徴	102
5.1.3	硬質トライボコーティングの機能と特徴	104
5.1.4	ナノコンポジット系トライボコーティングの機能と特徴	109
5.2	薄膜のナノトライボロジー	112
5.2.1	薄膜と評価	112
5.2.2	極薄膜のトライボロジー応用	113
5.2.3	走査型プローブ顕微鏡 (SPM) のナノトライボロジー評価への応用	115

6. 表面硬化処理

6.1	ラジカル窒化と複合硬化処理	128
6.1.1	ラジカル窒化	128
6.1.2	複合硬化処理：ラジカル窒化+PVD コーティング	129
6.1.3	複合表面処理の応用例	131
6.2	PVD, CVD	133
6.2.1	PVD	133
6.2.2	CVD	139

7. 耐環境性皮膜

7.1	溶射プロセスによる耐環境性皮膜の特徴	141
7.2	溶射プロセスの概要	142
7.3	遮熱皮膜	145
7.4	防食・耐食皮膜	149
7.5	耐摩耗皮膜	153

8. ガスバリア膜

8.1	ガスバリア	156
8.2	ガスバリア評価技術	157
8.2.1	クローメトリック法	158
8.2.2	カップ法	158
8.3	シート系バリア成膜技術	159
8.3.1	概要	159
8.3.2	ロール to ロールプラズマアシスト蒸着装置	160
8.3.3	プラズマ CVD 装置	163
8.4	ボトル系バリア成膜技術	166
8.4.1	概要	166
8.4.2	PET ボトル内面コーティング装置	167

9. 親水性とはっ水性

9.1	親水性・はっ水性とその応用分野	170
9.2	化学的にみた親水性とはっ水性	171
9.2.1	親水・はっ水の原理	171
9.2.2	凝集力と界面エネルギー	173
9.2.3	固体の表面張力 (表面エネルギー)	178
9.2.4	親水・はっ水現象—水滴の接触角と表面エネルギー	181
9.2.5	臨界表面張力と親水性・はっ水性	182
9.3	表面の物理的構造制御による超親水化・超はっ水化	184
9.3.1	ウェンゼルの表面	184
9.3.2	カッシー-バクスターの表面	185
9.3.3	超親水表面と超はっ水表面	186

10. 高分子材料の表面処理

10.1	プラズマ	189
10.1.1	プラズマ処理の特徴	189
10.1.2	プロセスダメージを低減可能なプラズマの生成と制御	191
10.1.3	プラズマとソフトマテリアルとの相互作用	194
10.1.4	プラズマを用いたソフトマテリアル表面処理の展望	199
10.2	光による高分子表面処理	200
10.2.1	光による高分子表面処理	200
10.2.2	真空紫外光による分子励起と共有結合の解離	200
10.2.3	シクロオレフィンポリマーの酸素増感 VUV 表面改質	203
10.2.4	VUV 表面処理の応用例	208
10.2.5	光プロセスの特徴	210

11. 炭素系薄膜

11.1	ダイヤモンド薄膜	211
11.1.1	工業用ダイヤモンド	211
11.1.2	ダイヤモンドの物性と応用	211
11.1.3	合成の歴史	213
11.1.4	気相合成法	216
11.1.5	気相合成の反応機構	220
11.1.6	ダイヤモンド薄膜の今後の課題	227
11.2	ダイヤモンドライクカーボン (DLC)	228
11.2.1	ダイヤモンドライクカーボンとその作製方法	228
11.2.2	物理的・化学的特性	232
11.2.3	機械的特性	237
11.3	窒化炭素薄膜	243
11.3.1	窒化炭素とは	243
11.3.2	窒化炭素の合成	244
11.3.3	マイクロ波プラズマ CVD による窒化炭素の合成	245
11.3.4	窒化炭素の電界電子放出特性	248

11.3.5	窒化炭素のトライボロジー特性	251
11.3.6	窒化炭素の今後の展望	253
11.4	ナノカーボン	253
11.4.1	カーボンナノチューブ	254
11.4.2	グラフェン	258

12. ドライブプロセスと医療

12.1	ドライブプロセスによる人工股関節部材の高機能化	263
12.1.1	部材界面・表面の高機能化による高度生体親和性付与技術の開発	265
12.1.2	骨質改善用治療薬の活用技術の開発	270
12.1.3	形態・力学適合関節部材の開発	272
12.2	ドライブプロセスと医療	272
12.2.1	大気圧プラズマの医療応用への展開	272
12.2.2	大気圧プラズマによるがん治療の歴史	273
12.2.3	プラズマ活性溶液によるがん治療	276
12.2.4	プラズマと細胞との相互作用	278
12.2.5	プラズマがん治療の作用機序	280

引用・参考文献	283
---------	-----

索引	303
----	-----

第 I 編 ドライブプロセスの基盤技術

***** 1.

真 空 技 術

1.1 ドライブプロセスの中の真空技術

真空技術は、ドライブプロセスを実現するための最も基本となる重要なツールである。所定のプロセスを実施する容器内の雰囲気調整、清浄表面の維持、目的とする素子を構成する界面特性の実現、膜中不純物の管理、および微細加工用プラズマの作製雰囲気など多くの目的で真空技術が用いられる。先に出版された基礎編^{1)†}では、真空に関して気体分子運動論などの真空科学の視点から解説されている。本応用編では、基礎編の知識をベースとし、ドライブプロセスを実現するための手法の視点から真空技術を解説することにする。特に真空技術を応用する場合に誤りやすい概念に重点を置き解説するようにした。

工業的に「真空」は日本工業規格（JIS）の中で明確に定義されている。すなわち、「ドライブプロセス表面処理用語 JIS H 0211：1992」および「真空技術—用語—第 1 部：一般用語 JIS Z 8126-1：1999」の中で「真空」は「通常の大気圧より低い圧力の気体で満たされた空間の状態。」と定義されている。

真空の程度を表す単位は圧力である。図 1.1 に圧力の SI 単位を説明する模式図を示した。圧力の SI 単位は Pa（パスカルと呼ぶ）であり 1 Pa は 1 N/m^2

† 肩付き数字は、巻末の引用・参考文献番号を表す。

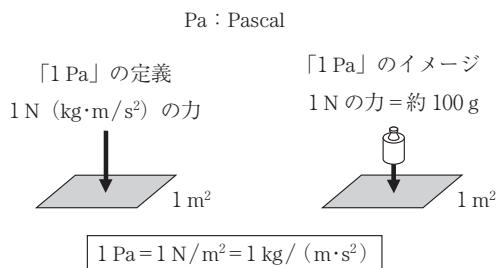


図 1.1 圧力の SI 単位

と定義されている。すなわち 1 m² の面に 1 N の力を加えた圧力が 1 Pa である。1 N の力はおおよそ 100 g 重の力に相当するため、1 Pa の圧力を感覚的に知る意味ではおおよそ 100 g 重 / m² と認識しておくに役に立つ。現在、一般的に使用されている圧力単位の各種換算表は、基礎編¹⁾ の表 2.2 やその他の文献 2), 3) に詳しく記載されている。

1.2 絶対圧とゲージ圧

真空の程度を表す圧力の単位の定義に関して説明したが、ここで圧力に関して実務上誤りの生じやすい概念を説明する。「絶対圧」と「ゲージ圧」の概念である。図 1.2 に絶対圧とゲージ圧に関する模式図を示した。絶対圧の原点「0」点は、真空容器内に気体が何も無い理想的な状態である。この考え方は真

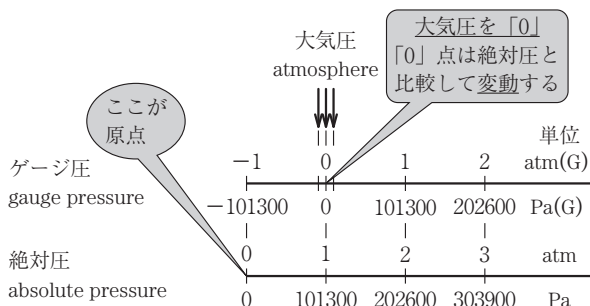


図 1.2 絶対圧とゲージ圧

空容器内の圧力の概念や、一般的な物理法則を適用する場合に取り扱いやすい。当然ながら、ドライプロセスを実施する場合の真空の程度を表現するときには、通常、この絶対圧で表記する。

一方、ゲージ圧は大気圧下を原点「0」点としている。高圧ガスや液圧を取り扱う場合、通常作業場の雰囲気である大気圧を原点とし、そこから加圧されている差圧力分を表記することは実務上大変わかりやすい。この意味から、「ゲージ圧」表記が使用される。真空分野を除く世の中で一般的に使用している圧力表記は、このゲージ圧表記である場合が多く、絶対圧の概念との違いに注意が必要である。ゲージ圧単位の表記は、絶対圧表記と混同を避けるため「Pa(G)」あるいは「PaG」と表記することになっているが、単純に「Pa」と表記されていることも少なくないので必ず意識して確認する必要がある。絶対圧の単位表記は一般的に「Pa」を使用するが、ゲージ圧と意識的に混同を避ける目的でまれに「Pa(A)」または「PaA」を使用することもある。この絶対圧とゲージ圧の概念は下記の4点に関して特に注意しておく必要がある。

〔1〕 **気体導入配管系設置機器と真空容器設置機器の表記の差** 真空容器内への気体導入の際など、ゲージ圧表記と絶対圧表記を混同してしまう。気体導入配管系の減圧弁の圧力表記などは通常「ゲージ圧表記」が一般的である。一方、真空容器に接続されている真空計（圧力計）は「絶対圧表記」となっている。ここの表示値は、図1.2に示したとおり約0.1 MPaの差が生じる。

〔2〕 **ゲージ圧の原点変動** ゲージ圧表記の原点は絶対圧に比較してつねに変動している。大気圧は、気圧の変化に応じてつねに有効数字3桁目が変動していることは一般的に知られている事実である。ゲージ圧の原点はこの大気圧であるため、当然ながらつねに変動していることになる。精密な調整が必要なプロセスは、ここの概念を意識した考察が必要となる。

〔3〕 **物理量は基本的に絶対圧基準** 気体の流量などの物理量は絶対圧をベースに測定あるいは算出されている点である。通常、気体の導入配管系統の圧力表示はゲージ圧表示であることが多いが、この部分の気体の流量は絶対圧ベースの物理量である。この流量を表すSI単位は $\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ である。当然、こ

この Pa 値は絶対圧値となる。気体の流量を慣用的に表す単位として使用されている sccm や slm は、それぞれ $\text{atm}\cdot\text{cc}/\text{min}$ および $\text{atm}\cdot\text{L}/\text{min}$ を簡略表現しているものであるが、ここの圧力値も絶対圧値でなくてはならない。このように気体の流量を設計・運用する際、ゲージ圧を誤って適用してしまうことがないように注意が必要である。

〔4〕 **減圧弁はゲージ圧基準** 気体導入配管系統で供給圧力を一定に保つための機器として一般的に減圧弁を使用するが、この減圧弁はゲージ圧基準として圧力を一定に保つ機器である。すなわち、減圧弁は大気圧からの差圧を一定に保つ機器であるため、絶対圧基準で圧力を一定に保つ機器ではない。

気体の流量を制御する機器として浮き子式テーパ管とニードル弁を使用した気体のコンダクタンスによって流量設定を行う機器では、減圧弁を使用しても一次側の圧力が大気圧変動の影響を受けて実質的な流量変動が生じていることに注意する必要がある。

絶対圧基準で気体導入配管内の圧力を一定に保つことは技術的に難しい。このため、精密な気体の流量制御が必要であれば減圧弁（ゲージ圧基準で圧力を一定化する）＋質量流量制御機器（マスフローコントローラー）の組合せを使用することが有用であり一般的に使用されている。

1.3 真空下での気体の挙動

図 1.3 に真空下での 1 mol の各気体の容積の圧力変化を示した。縦軸の値の有効数字に注意してほしい。ここから、通常の気体は絶対圧で 1 atm 以下の圧力（真空）下では有効数字 3 桁の範囲で理想気体と同じ挙動を示すことがわかる。

一般的に、「通常気体の挙動は理想気体とは異なる性質を示す」と認識されているが、これは大気圧より高い圧力下での性質であって、真空下では幸い理想気体と同等に扱うことが可能である^{4)~6)}。すなわち実務上、理想気体の状態方程式を適用することができる。所定のプロセス容器を使用し真空下でプロセ

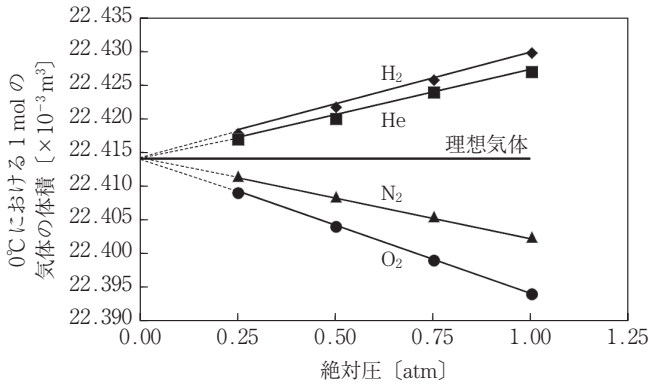


図 1.3 0°Cにおける 1 mol の気体体積の圧力変化

スを設計・検証するための各気体の圧力は理想気体の状態方程式，すなわち

$$pV = nRT \tag{1.1}$$

ここで、 p ：圧力 [Pa]， V ：体積 [m³]， n ：気体のモル数 [mol]， R ：気体定数 [8.314 J·mol⁻¹·K⁻¹]， T ：絶対温度 [K] を用いて算出することができる。

混合気体の場合，ドルトンの分圧の法則を適用して各気体の分圧を算出しても有効数字 3 桁の実務上，実測値と大きな差は生じない。通常のドライプロセスは，10⁻² Pa ~ 1 atm の圧力下で行われるためこの性質は大変に有用である。

「気体定数」と「理想気体の状態方程式」を使用して計算を行う場合，つぎの認識を理解していることが重要である。

「圧力×体積」のディメンションはエネルギーである。

pV の SI 単位は，つぎのように変換される。

$$\text{Pa} \times \text{m}^3 = (\text{N}/\text{m}^2) \times \text{m}^3 = \text{Nm} = \text{J} \tag{1.2}$$

気体定数は科学技術データ委員会 (Committee on Data for Science and Technology) より国際基準で 8.314 J·mol⁻¹·K⁻¹ と表記することが決まっている。このことから，教科書では気体定数の SI 単位は Pa·m³·mol⁻¹·K⁻¹ と表記されていない。古い教科書では気体定数は 0.082 atm·L·mol⁻¹·K⁻¹ を使用しているが，最近では SI 単位系に統一が進み，単位は J·mol⁻¹·K⁻¹ を使用している。このため，エネルギーと圧力，体積の関係を理解していないと有用な理想気体

索 引

<p>【あ】</p> <p>アブレッシブ摩耗 104</p> <p>アモルファス炭素膜 233</p> <p>【い】</p> <p>イオン衝撃 194</p> <p>イオン注入 229</p> <p>イオンビームアシスト蒸着 99</p> <p>イオンプレーティング 135, 231</p> <p>イオン密度 61, 226</p> <p>インデンテーション 115, 237, 244</p> <p>【え】</p> <p>エッチング 198, 207</p> <p>【か】</p> <p>化学気相成長 14</p> <p>拡散硬化法 130, 139</p> <p>ガス透過度試験 157</p> <p>ガスバリア 113, 156</p> <p>硬 さ 105, 154, 237</p> <p>→硬度</p> <p>カーボンナノチューブ 254</p> <p>カーボン薄膜 114</p> <p>カーリングブローブ 64</p> <p>【く】</p> <p>グラファイト 106, 221</p> <p>グラフェン 258</p>	<p>【け】</p> <p>ゲージ圧 2</p> <p>減圧弁 4, 36, 39</p> <p>【こ】</p> <p>光学式膜厚計 98</p> <p>光学薄膜 93</p> <p>硬質膜 105, 129, 140</p> <p>→ハードコーティング膜</p> <p>硬 度 135</p> <p>→硬さ</p> <p>固体潤滑膜 103</p> <p>【さ】</p> <p>酸化グラフェン 259</p> <p>酸素透過率 158</p> <p>【し】</p> <p>四重極形質量分析計 33</p> <p>四重極型質量分析法 55</p> <p>質量分析 33, 52</p> <p>質量流量 40</p> <p>質量流量制御器 36, 41</p> <p>遮熱性 145</p> <p>潤滑性 138, 139</p> <p>蒸 着 159</p> <p>→真空蒸着</p> <p>真空計 29</p> <p>真空紫外 200</p> <p>真空蒸着 24, 90, 97, 135</p> <p>→蒸着</p> <p>真空の質 7</p> <p>真空ポンプ 25</p> <p>人工股関節 264</p>	<p>親水性 171</p> <p>【す】</p> <p>水酸アパタイト 263</p> <p>水蒸気透過率 158</p> <p>水晶振動子センサー 49</p> <p>スクラッチ 115</p> <p>スパッタ 24, 72, 99, 107, 111, 135, 230</p> <p>【せ】</p> <p>清浄表面 18</p> <p>生体親和性 265</p> <p>接触角 181, 204</p> <p>絶対圧 2</p> <p>全圧真空計 29</p> <p>【た】</p> <p>大気圧プラズマ 273</p> <p>耐酸化性 137, 145</p> <p>耐食性 139, 154, 234</p> <p>体積流量 40</p> <p>耐熱性 138, 139, 235</p> <p>耐摩耗 153</p> <p>耐摩耗性 114, 137, 139</p> <p>ダイヤモンド 105, 106, 211</p> <p>ダイヤモンド膜 220</p> <p>【ち】</p> <p>窒化炭素 78, 243</p> <p>→C-N系</p> <p>窒素ラジカル 76</p> <p>超親水 186</p> <p>超親水性 172</p> <p>超はっ水 186</p>
--	--	--

超はっ水性	172	表面エネルギー			
			171, 178, 216		【み】
【て】					
電界電子放出	248	【ふ】		密着強度	266
電子温度	61, 83	フィルター	96	→密着性, 密着力	
電子密度	61, 64, 83, 87	複合被膜	137	密着性	113, 118, 154, 169, 230, 233
【と】		複合表面処理	129	→密着強度, 密着力	
ドライエッチング	72	物理気相成長	23	密着力	130, 139
トライボロジー		プラズマ CVD	72, 77, 86, 111, 140, 163, 229, 245	→密着強度, 密着性	
101, 112, 239, 251		プラズマアシスト蒸着	161	【ゆ】	
【な】		プラズマ活性溶液	276	誘導結合	191
ナノウェア試験	116	プラズマがん治療	275	【よ】	
ナノカーボン	253	プラズマ吸収プローブ	64	溶射	141
ナノコンポジット被膜	135	プラズマ電位	61, 194	容量結合	191
ナノコンポジット膜	110	プラズマ発光分光	70	【ら】	
ナノ積層構造膜	111	プラズマ密度	226	ラジカル窒化	128
ナノ粒子分散構造膜	110	プラズマ溶射	266	ラジカル密度	88
【ぬ】		プロセスダメージ	189	ラングミュアプローブ	61
ぬれ性	170, 204	分圧真空計	29	【り】	
【ね】		【へ】		リーク	11, 34, 77
熱フィラメント CVD	217	平均自由行程	23, 226	立方晶窒化ホウ素	106
【は】		【ほ】		流量計	43
はっ水性	171, 235	防食	150		
ハードコーティング膜	239	【ま】			
→硬質膜		マイクロ波プラズマ CVD	217, 245		
バルブ	37	膜厚モニター	49		
反射防止膜	91, 95	マススペクトル	53		
【ひ】		マスフローコントローラー	36		
光プロセス	200				

	[A]	CVD 14, 44, 139, 228, 256, 260	PVD 23, 129, 133, 231
Al ₂ O ₃	105, 127		[Q]
	[B]	[D]	QCM 50
B ₄ C	108	diamond-like carbon 104, 228	[S]
	[C]	DLC 104, 106, 167, 228, 233	Sauerbrey の式 51
c-BN	105, 106, 107, 226	[H]	[T]
chemical vapor deposition	14	h-BN 105, 106	TiAlN 105, 129, 134, 137
Clausius-Clapeyron の式	15	[P]	TiC 105, 127, 138
C-N 系	107	physical vapor deposition 23	TiCN 129, 134
→窒化炭素			TiN 105, 134, 138
CrN	105, 132, 139		

ドライプロセスによる表面処理・薄膜形成の応用

Advanced Dry Processing for Surface Finishing and Thin Films Coating

© 一般社団法人 表面技術協会 材料機能ドライプロセス部会 2016

2016年12月28日 初版第1刷発行

★

編 者 一般社団法人
表 面 技 術 協 会
発 行 者 株式会社 コロナ社
代 表 者 牛 来 真 也
印 刷 所 新日本印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話 (03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04650-2

(齋藤)

(製本：愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします