

目次

キーワード

第1章 チャンバー壁面のガス放出機能と真空ポンプの排気機能との類似性 …… 1

はじめに 2

1-1 チャンバー壁面のガス放出機能と真空ポンプの排気機能との類似性 2

1-1.1 鋳物の巣 3

1-1.2 陽極酸化アルミニウムの表面 4

1-2 各種表面処理を施したステンレス鋼板の表面性状 (N. Yoshimura *et al.*, 1990, 1991 から) 5

1-3 光輝焼鈍と電解研磨のステンレス鋼表面の観察と分析 (A. Tohyama *et al.*, 1990 から) 9

第1章のおわりに 12

第2章 表面による残留ガスの収着と表面からのガスの脱離 …… 13

はじめに 14

2-1 平衡吸着 (P. A. Redhead *et al.*, 1968 から) 14

2-2 ガス放出特性 16

2-2.1 半経験的な式 (B. B. Dayton, 1959 から) 16

2-2.2 金属の表面酸化層からのガス放出 (B. B. Dayton, 1961 から) 17

2-2.3 考察：直線のように見える圧力上昇曲線 (N. Yoshimura, 2009 から) 18

2-3 ガス放出の過渡現象 21

2-3.1 ガス放出量はガス脱離速度とガス収着速度の差 21

2-3.2 1回目と2回目のポンプダウン (K. W. Rogers, 1963 から) 21

2-3.3 ベーク前後のガス放出 (Dayton, 1962 から) 25

2-3.4 排気弁の開閉を繰り返したときの圧力上昇特性 (N. Yoshimura, 1991 から) 26

2-4 拡散メカニズム 27

2-4.1 真の表面積 (A. Schram, 1963 から) 27

2-4.2 ガス放出における温度効果 (R. Calder and G. Lewin, 1967 から) 28

2-4.3 拡散ガス放出によるガス分圧の見積もり (D. J. Santeler, 1992 から) 30

2-4.4 金属表面からのH₂O放出のモデル (M. Li and H. F. Dylla, 1993 から) 37

2-5 再結合制限ガス放出 (B. C. Moore, 1995 から) 41

2-6 真空材料としてのステンレス鋼表面 (R. O. Adams, 1983 から) 43

第2章のおわりに 44

第3章 ガス放出量の測定方法 47

はじめに 48

3-1 オリフィス法 48

3-1.1 B. B. Dayton (1959) のオリフィス法 48

3-1.2 A. Schram (1963) のオリフィス法 49

3-1.3 A. Berman *et al.*, (1971) の可変コンダクタンス法 503-1.4 K. Terada *et al.* (1989) のコンダクタンスモジュレーション法 543-2 差動的圧力上昇法 (N. Yoshimura *et al.*, 1970, 1985 から) 57

3-3 パイプ3—ゲージ法 (D. F. Munro and T. Tom, 1965 から) 59

3-4 新しいパイプ3点圧力法 (H. Hirano and N. Yoshimura, 1986 から) 62

3-5 新しいパイプ3点圧力法によるガス流量の測定 (H. Hirano and N. Yoshimura, 1987 から) 65

3-6 新しいパイプ2点圧力法とパイプ1点圧力法 (N. Yoshimura and H. Hirano, 1986 から) 72

3-7 ゲージ間の相対的感度補正 74

第3章のおわりに 76

第4章 ガス放出量や透過係数などのデータ 77

はじめに 78

4-1 構成材料のガス放出量や透過係数 78

4-1.1 B. B. Dayton (1959) のデータ 78

4-1.2 N. Yoshimura *et al.* (1970) のデータ 87

4-2 超高真空チャンバー構成材料のガス放出量やガス透過量 89

4-2.1 ステンレス鋼, 軟鋼, クロムメッキされた軟鋼のガス放出量
(Y. Ishimori *et al.*, 1971 から) 89

4-2.2 超高真空チャンバー材料のガス放出量 89

4-3 エラストマーシールのガス透過とガス放出 96

4-3.1 ダブルOリングシールによる水の透過の防止
(L. de Csernatony and D. J. Crawley, 1967 から) 96

4-3.2 バイトンOリングシールの水の透過 (N. Yoshimura, 1989 から) 96

4-3.3 エラストマーシールの最近の進歩 (L. de Chernatony, 1977 から) 99

4-4 エラストマーシールの選択 (R. N. Peacock, 1980 から) 99

4-5 バイトンOリングのフロンガス雰囲気中での膨潤 (N. Yoshimura, 2014 から) 104

4-6 元素の蒸気圧 (R. E. Honig, 1957 から) 104

第4章のおわりに 109

第5章 電子励起ガス脱離と光励起ガス脱離 111

はじめに 112

5-1 電子励起ガス脱離 112

5-1.1 M. H. Achard *et al.* (1979) のデータ 112

5-1.2 Gómez-Goñi and A. G. Mathewson (1997) のデータ 112

5-2 光励起ガス脱離 113

5-2.1 S. Ueda *et al.* (1990) のデータ 113

第5章のおわりに 114

第6章 微小電子プローブ照射で起こるコンタミネーションの堆積 125

はじめに 126

6-1 コンタミとなるハイドロカーボン分子の源と移動のプロセス 127

6-1.1 A. E. Ennos (1953) の実験と考察 127

6-1.2 R. W. Christy の実験と理論 136

6-2 微小電子プローブ照射で起こるコンタミ堆積のメカニズム 140

6-2.1 微小電子プローブ照射実験 (N. Yoshimura *et al.* 1983 から) 1406-2.2 実験結果 (N. Yoshimura *et al.* 1983 から) 1436-2.3 討論 (N. Yoshimura *et al.* 1983 から) 146

6-3 電子線プローブ照射で起こるSEM像の暗化 148

6-3.1 C. Le Gressus *et al.* (1979) の実験 148

6-4 電子顕微鏡における炭素系試料のエッチング 149

6-4.1 H. G. Heide (1962) の実験 150

6-5 各種真空用油の汚染源としての評価 151

6-5.1 N. Yoshimura *et al.* (1970) の実験 1516-5.2 Fluorocarbon oxide fluid の評価 (B. K. Ambrose *et al.*, 1972 から) 160

6-6 Perfluoropolyether 162

6-6.1 L. Holland *et al.* (1973) の論文 162

第6章のおわりに 168

第7章 分子流コンダクタンスとガスフローパターン 169

はじめに 170

7-1 導管やオリフィスの分子流コンダクタンス 170

7-2 ガス通過確率 171

7-2.1 D. H. Davis の通過確率 (1960) 171

7-2.2 L. L. Levenson *et al.*, の通過確率 [7-2] 174

7-3 ガスフローパターン 177

7-3.1 B. B. Dayton (1956) のガスフローパターン	177
7-3.2 K. Nanbu (1985) のガスフローパターン	179
7-3.3 Tu Ji-Yuan (1988) のガスフローパターン	179
7-4 W. Steckelmacher (1966) のレビュー論文から	186
第7章のおわりに	187
第8章 分子流ネットワーク解析	189
はじめに	190
8-1 ガス放出源と真空ポンプの機能の類似性 (N. Yoshimura, 1990 から)	190
8-2 ガス放出源の特性値 (N. Yoshimura, 1985 から)	192
8-3 分子流ネットワーク理論の長い歴史	195
8-3.1 B. R. F. Kendall のコメント (B. R. F. Kendall, 1983 から)	195
8-3.2 2つの異種ポンプで並列排気する真空システムの等価ネットワーク (B. R. F. Kendall, 1968 から)	196
8-3.3 J. Aitken (1953) のシミュレータ回路	199
8-3.4 ネットワークシミュレータのさらなる応用 (D. W. Stops, 1953 から)	201
8-4 真空系の一取扱法：排気系の並列運転について (S. Ohta, 1962 から)	203
8-5 電子顕微鏡高真空システムの圧力分布シミュレーション (S. Ohta, N. Yoshimura, and H. Hirano, 1983 から)	205
8-6 分子流領域圧力のコンピュータ解析 (Hirano <i>et al.</i> , 1988 から)	209
第8章のおわりに	215
第9章 スパッタイオンポンプとゲッターポンプの基礎	217
はじめに	218
9-1 スパッタイオンポンプ	218
9-1.1 スパッタイオンポンプの物理 (R. I. Jepsen, 1968 から)	218
9-1.2 超高真空用のスパッタイオンポンプ (S. L. Rutherford, 1964 から)	227
9-1.3 スパッタイオンポンプの開発 (D. Andrew, 1968 から)	230
9-1.4 二極型ゲッターイオンポンプによる、安定した空気排気 (R. L. Jepsen <i>et al.</i> , 1960 から)	232
9-1.5 二極型ベニングポンプの不活性ガス排気のみカニズム (P. N. Baker and L. Laursen, 1972 から)	235
9-1.6 スパッタイオンポンプの希ガス排気性能の向上 (S. Komiya and N. Yagi, 1969 から)	238
9-1.7 スパッタイオンポンプによる He 排気と H ₂ 排気 (K. M. Welch, D. J. Pate, and R. J. Todd, 1993, 1994 から)	238
9-2 チタンサブレーションポンプ	239
9-2.1 レビュー：Ti 膜の付着係数と収容容量 (D. J. Harra, 1976 から)	239
9-2.2 Ti サブレーションポンプからのメタンガス放出 (D. Edwards, Jr, 1980 から)	241

9-3 非蒸発型ゲッターポンプ	243
9-3.1 St707 非蒸発型ゲッター (Zr 70 V 24.6-Fe 5.4 wt%) の排気特性 (C. Benvenuti and P. Chiggiato, 1996 から)	243
9-3.2 コンパクトなチタン-バナジウム非蒸発型ゲッターポンプの設計と排気特性 (Y. Li <i>et al.</i> , 1998 から)	244

第9章のおわりに 245

第10章 スパッタイオンポンプの開発 247

はじめに	248
10-1 超高真空スパッタイオンポンプ	248
10-1.1 高磁束密度スパッタイオンポンプの超高真空での排気特性 (K. Ohara <i>et al.</i> , 1992 から)	248
10-2 ノーブル型超高真空スパッタイオンポンプ	254
10-2.1 種々の形状の“Ta/Ti”カソード対をもつスパッタイオンポンプのアルゴン排気特性 (N. Yoshimura <i>et al.</i> , 1992 から)	254
10-3 キセノン(Xe)が排気可能なノーブル型スパッタイオンポンプ	257
10-3.1 “Slotted Ta on flat Ti/“slotted Ta on flat Ti”カソード対のポンプによる Xe の排気 (N. Yoshimura, 2013 から)	257

第10章のおわりに 258

第11章 超高真空ゲージとマススペクトロメータ 259

はじめに	260
11-1 エクストラクタゲージ (EG) と BA ゲージ (BAG)	260
11-1.1 低い残留電流の熱フィラメント電離真空計 (P. A. Readhead, 1966 から)	260
11-1.2 BAG と EG の圧力指示値の比較 (U. Beeck and G. Reich, 1972 から)	263
11-1.3 超高真空の全圧の測定 (G. F. Weston, 1979 から)	265
11-2 UHV スパッタイオンポンプのイオン電流対圧力特性 (N. Yoshimura <i>et al.</i> , 1992 [11-4] から)	266
11-3 残留ガス分析計	267
11-3.1 G. F. Weston (1980) の論文	267
11-4 超高真空ゲージでの諸現象	270
11-4.1 BA ゲージとエクストラクタゲージ (EG, ヌード型) からのガス放出 (N. Yoshimura <i>et al.</i> , 1991 から)	270

第11章のおわりに 274

第 12 章 振動の少ない超高真空油拡散ポンプと関連機器の開発 275

はじめに 276

12-1 振動の少ない超高真空油拡散ポンプと水冷パンプの開発 276

12-1.1 DP 技術の進展 (M. H. Hablanian and J. C. Maliakal, 1973 から) 276

12-1.2 軟鋼肉厚パイプ (3 mm, Ni メッキ) のポンプボディーをもつ超高真空用油拡散ポンプの開発 277

12-1.3 コールドキャップ付きシェブロンパンプの開発 279

12-2 DP 排気系のクリーン排気特性 (S. Norioka and N. Yoshimura, 1991 から) 281

12-3 液体窒素保持時間の長い冷却トラップの開発 (H. Hirano and N. Yoshimura, 1981 から) 283

第 12 章のおわりに 286

第 13 章 スイッチオーバー排気時に耐性を示す、ダイナミックな排気系 287

はじめに 288

13-1 高真空システムにおける過負荷を阻止するには (M. H. Hablanian, 1992 から) 288

13-1.1 体積流れと質量流れ 289

13-1.2 クロスオーバー圧力とは? 291

13-2 高電子顕微鏡のカスケード接続油拡散ポンプ排気系 (N. Yoshimura *et al.*, 1984 から) 295

13-2.1 DP1-DP2 直列系 295

13-2.2 スイッチオーバー時の過大ガス負荷に耐性のある DP 排気系 295

13-2.3 電子顕微鏡のカスケード接続油拡散ポンプ排気系 299

13-2.4 カスケード接続油拡散ポンプ排気系を保護する安全システム 301

13-3 積層積み重ね油拡散ポンプグループの到達真空に及ぼすインレットバルブの影響 (N. T. M. Dennis 1982 から) 303

13-3.1 インレットバルブのガス放出 303

13-3.2 インレットバルブの運転 305

13-4 過大ガス負荷を抑制する先行低速度高真空排気 (N. Yoshimura, 2009 から) 307

13-4.1 ガス放出の過渡現象 309

13-4.2 スイッチオーバー直後の過大ガス負荷 311

13-4.3 過大ガス負荷問題を解決する先行低速度高真空排気 313

13-5 ターボ分子ポンプ排気系 316

第 13 章のおわりに 317

結び 318

各章のキーワード

第 1 章

チャンバー壁面のガス放出機能と真空ポンプの排気機能との類似性

アルミニウムの陽極酸化表面

モレキュラーシーブ

鋳物の巣

圧力発生器

AES スペクトルと AES 深さ方向元素分析

バフ研磨表面

ベルト研磨表面

電解研磨 (EP) 表面

真空炉による高温脱ガス処理された表面

電解研磨や化学研磨

第 2 章

表面による残留ガスの収着と表面からのガスの脱離

ガス分子の拡散移動

ガスの入射と再収着

吸着等温線

拡散の時定数

ガス収着速度

ガス脱離速度

ガス放出速度

スイッチオーバー

2 回目のポンプダウン

ベーク前後のガス放出

排気弁の開閉を繰り返したときの圧力上昇特性

真の表面積

ガスの拡散

ガスの透過

1 次元 (一方向) の拡散式

Fick の法則 (Fick's Law)

双方向の拡散

再結合制限ガス放出

第3章

ガス放出量の測定方法

可変コンダクタンス法
 コンダクタンスモジュレーション法
 差動的圧力上昇法
 パイプ3-ゲージ法
 新しいパイプ3点圧力法
 ゲージの相対感度補正
 新しいパイプ1点圧力法
 新しいパイプ2点圧力法

第4章

ガス放出量や透過係数などのデータ

透過係数
 拡散係数
 ガス放出量
 ガス放出量の特性値
 高温ベーク
 大気中ベークアウト
 バイトンOリングシールの水の透過
 UHV仕様のエラストマー (Kalrez)
 ポリマーシール材の耐薬品性
 ポリマーシール材の機械的特性
 バイトン'O'リングのフロンガス雰囲気中での膨潤
 元素の蒸気圧

第5章

電子励起ガス脱離と光励起ガス脱離

電子励起(誘起)ガス脱離
 光励起ガス脱離
 シンクロトロンラジエーション

第6章

微小電子プローブ照射で起こるコンタミネーションの堆積

重合膜の堆積
 ダークニング現象
 試料汚染のメカニズム
 汚染物質の源
 コンタミ成長速度
 電子線電流密度
 試料電流密度
 表面移動説
 凝結説
 コンタミの温度依存性
 アンチコンタミネーションデバイス (ACD)
 雰囲気から飛来
 潜伏期間
 電子ビームシャワー
 フレオン溶液による試料洗浄効果
 ガス分子の収着と表面拡散
 SEM像の暗化現象
 炭素系試料のエッチング現象
 冷却フィンの温度
 水の蒸気圧
 DC705, DC704
 Polyphenylether
 Fluorocarbon oxide fluid
 RFプラズマ放電
 水素放電
 弗酸蒸気の放出を伴う化学反応

第7章

分子流コンダクタンスとガスフローパターン

オリフィスの分子流コンダクタンス
 長いチューブの分子流コンダクタンス
 短いチューブの分子流コンダクタンス
 ガス通過確率
 ガスフローパターン

第8章

分子流ネットワーク解析

分子流ネットワーク
 ガス放出量
 ガス脱離量ガス収着量
 圧力発生器
 ガス源の特性値
 構成要素の特性値から成る真空回路
 電子回路解析ソフト
 リーク探しへの応用
 2つの異種ポンプで並列排気する真空システム
 起電力源や電流源を備えた R-C 電気回路
 長軌道加速管へ適用したシミュレータ電気回路
 電子顕微鏡高真空システムの圧力分布シミュレーション
 回路設計手順
 再変換係数
 コンピュータ解析
 マトリックス解析のアルゴリズム
 パイプに沿っての圧力分布
 圧力源とガス流量源

第9章

スパッタイオンポンプとGetterポンプの基礎

ノーブルポンプ
 放電強度
 エネルギーをもつ中性粒子説
 形状寸法, 電圧, 磁場の組み合わせ
 最大電荷量
 ペニング放電
 アルゴン不安定性
 2 電圧 3 極型ポンプ
 「エネルギーをもつ中性粒子」説
 単一電圧三極型ポンプ
 カットオフ圧力
 I/P の $B \times d$ 積への依存性
 スロットカソード二極型ポンプ
 Ti 膜のはがれ

中心軸の外側をマスクしたポンプ
 中心領域をマスクしたポンプ
 磁場効率
 カソード原子量と入射イオン原子量の比
 $S \propto \log R$
 水素や重水素の飽和収着量
 メタンガス放出
 Ti フラッシュ後の低い温度でのベーク
 再活性化処理

第10章

スパッタイオンポンプの開発

希土類マグネット
 アノードセルの直径
 排気速度特性
 放電強度特性
 圧力低減コースで測定した排気速度
 圧力上昇コースで測定した排気速度
 イオン電流特性
 磁束密度
 ノーブル型ポンプ
 Ar 排気速度特性
 飽和 Ar 排気速度
 積算排気量

第11章

超高真空ゲージとマススペクトロメータ

BAゲージ
 エクストラクタゲージ
 マススペクトロメータ
 スード型エクストラクタゲージ
 X線限界
 電子的脱離
 トリウム酸化物
 ゲージの校正
 感度
 電離断面積

スパッタイオンポンプ
ペニング型電離真空ゲージ
希土類磁石
4重極子スペクトロメータ
校正
クラッキングパターン
フラグメントイオン
一価と二価のイオン
特性スペクトル
フィラメントの温度上昇

第12章

振動の少ない超高真空油拡散ポンプと関連機器の開発

コールドキャップ付き水冷バッフルの開発
Polyphenylether
Edwards社のDPポンプスタック
軟鋼パイプ(肉厚3mm)のポンプ容器
コールドキャップ付きシェブロンバッフル
Santovac-5 (Polyphenylether)
DP1-DP2直列系
入力電圧を変化したときの残留ガススペクトル
液体窒素冷却トラップの開発
液体窒素保持時間
磁気ベアリングターボ分子ポンプ

第13章

スイッチオーバー排気時に耐性を示す、ダイナミックな排気系

ダイナミックな排気系
カスケード接続DP排気系
最大定常ガス負荷
臨界背圧
スイッチオーバー圧力
スロー高真空排気
小口径のバイパス弁
チャンバー空間のガス負荷
チャンバー壁面からのガス放出負荷
拡散ポンプの最大流量容量