目　　次

序　文

第1章　真空の科学 …… 1

1.1　真空の特徴 …… 1
1.2　気体の考え方 …… 6
1.3　気体分子運動論 …… 8

1.3.1　気体の圧力 …… 8
1.3.2　気体分子速度の分布則 …… 13
1.3.3　平均自由行程 …… 15

1.4　気体分子運動論から導かれる諸関係 …… 19

1.4.1　表面(壁面)をたたく気体分子数 …… 19
1.4.2　清浄な固体表面の吸着分子層の形成時間 …… 22
1.4.3　蒸発 …… 22
1.4.4　熱遷移 …… 23
1.4.5　輸送現象 …… 24

第2章　真空システム …… 29

2.1　コンダクタンス …… 29

2.1.1　粘性流および乱流 …… 30
2.1.2　分子流 …… 31
2.1.3　拡散現象としてパイプ内ガスの流れを考える …… 37
2.1.4　コンダクタンスの合成 …… 38

2.2　実効排気速度と到達圧力 …… 41

2.2.1　到達圧力と実効排気速度 …… 41
2.2.2　各種真空ポンプにおける到達圧力と実効排気速度 …… 43

2.3　排気系設計のポイント …… 46

2.3.1　真空排気系の選定要因 …… 46
2.3.2　真空ポンプの構成と排気特性 …… 47
2.3.3　真空排気系の工業上の注意点 …… 52

2.4　超高真空システムと極高真空システム……56
2.4.1　超高真空・極高真空とは……56
2.4.2　排気と放出ガス速度……58
2.4.3　ガス放出速度の低減……61
2.4.4　超高真空，極高真空用ポンプ……67
2.4.5　超高真空システム……67
2.4.6　極高真空システム……70
2.5　真空部品……73
2.5.1　フランジ……73
2.5.2　真空バルブ……82
2.5.3　真空導入部品……85
2.6　真空材料……89
2.6.1　金属材料……89
2.6.2　非金属材料……105
2.6.3　ガス……121
2.6.4　真空ポンプ油……136
2.7　極高真空装置用の材料とガス放出……159
2.7.1　極高真空技術の現状……159
2.7.2　極高真空装置用の材料……160
2.7.3　ガス放出の評価と制御……163
第3章　真空ポンプ……169
3.1　真空ポンプの現状と開発動向……169
3.1.1　真空ポンプの種類と分類……169
3.1.2　真空ポンプ……169
3.1.3　真空ポンプの将来……184
3.2　油回転ポンプ……186
3.2.1　油回転ポンプとは……186
3.2.2　形式および構造……186
3.2.3　排気速度および到達圧力……193
3.2.4　駆動動力……194
3.2.5　水蒸気対策……195
3.2.6　腐食ガス対策……197
3.2.7　取扱上の注意……198
3.2.8　付属品……199

3.3　ルーツポンプ …… 200
3.3.1　ルーツポンプとは …… 200
3.3.2　構造および原理 …… 200
3.3.3　排気速度および到達圧力 …… 202
3.3.4　駆動動力 …… 204
3.3.5　補助ポンプと温度上昇 …… 204
3.3.6　吸入気体の種類による影響 …… 206
3.3.7　起動方法 …… 206
3.3.8　腐食性ガス対策 …… 207
3.3.9　ポンプの取扱いの注意と試験方法 …… 208
3.4　ドライ真空ポンプ …… 209
3.4.1　ドライ真空ポンプとは …… 209
3.4.2　ニーズと歴史 …… 210
3.4.3　各種の DVP とその特徴 …… 212
3.4.4　スクリューポンプ …… 222
3.5　油拡散ポンプ …… 236
3.5.1　油拡散ポンプとは …… 236
3.5.2　構造および原理 …… 236
3.5.3　排気機構 …… 239
3.5.4　排気特性 …… 240
3.5.5　作動油 …… 245
3.5.6　作動油の逆流 …… 245
3.5.7　バッフル …… 247
3.6　ターボ分子ポンプ …… 249
3.6.1　発展の経過 …… 249
3.6.2　排気作用の基本特性 …… 252
3.6.3　構造 …… 255
3.6.4　性能および機能の特徴 …… 256
3.6.5　最近の開発動向 …… 260
3.7　クライオポンプ …… 268
3.7.1　クライオポンプとは …… 268
3.7.2　小型冷凍機付クライオポンプ(機械式クライオポンプ) …… 268
3.7.3　構造および排気の原理 …… 268
3.7.4　性能 …… 271
3.7.5　交差圧力 …… 275

3.7.6 到達圧力 …… 275
3.7.7 再生 …… 276
3.7.8 再生時間短縮法 …… 277
3.7.9 冷凍機 …… 278
3.7.10 冷凍機の性能 …… 282
3.7.11 クライオポンプへの熱負荷 …… 283
3.7.12 ヘリウム圧縮機 …… 284

3.8 スパッタイオンポンプ …… 285

3.8.1 スパッタイオンポンプとは …… 285
3.8.2 構造と動作原理 …… 285
3.8.3 特性 …… 288
3.8.4 ポンプの寿命と処置 …… 290
3.8.5 超高真空排気 …… 291
3.8.6 最近の使用法 …… 292

3.9 チタンサブリメーションポンプ …… 293

3.9.1 構造と動作原理 …… 293
3.9.2 排気速度特性 …… 294
3.9.3 使用法 …… 295

第4章 真空計測 …… 297

4.1 全圧計・分圧計の種類と利用法 …… 297

4.1.1 全圧計の分類 …… 298
4.1.2 基本となる真空計 …… 299
4.1.3 分圧計 …… 300
4.1.4 真空計の利用法 …… 302
4.1.5 真空計の選定法 …… 303

4.2 熱伝導真空計 …… 306

4.2.1 熱伝導真空計における気体の熱伝導 …… 306
4.2.2 熱電導真空計の特徴 …… 309
4.2.3 ピラニ真空計 …… 311
4.2.4 熱電対真空計 …… 314
4.2.5 その他の熱伝導真空計 …… 315

4.3 電離真空計 …… 316

4.3.1 電離真空計の分類 …… 316
4.3.2 熱陰極電離真空計の動作原理 …… 317

4.3.3　熱陰極電離真空計の感度係数と比感度係数……321
4.3.4　熱陰極電離真空計の特性……324
4.3.5　熱陰極電離真空計の測定誤差要因と使用上の注意……327
4.3.6　その他の熱陰極電離真空計……330
4.3.7　冷陰極電離真空計……333

4.4　スピニングローター真空計……335

4.4.1　スピニングローター真空計とは……335
4.4.2　測定ヘッドの構造と作動機構……335
4.4.3　SRG に係わる温度の問題……337
4.4.4　気体運動論に関連して吟味すること……338
4.4.5　SRG の長所と短所……341

4.5　隔膜真空計……343

4.5.1　キャパシタンス・マノメータの基本構造……343
4.5.2　質量流量計としての応用……347

4.6　全圧計の校正……349

4.6.1　校正の必要性と方法……349
4.6.2　わが国における真空領域の圧力標準……349
4.6.3　これからの圧力標準……354

4.7　極高真空全圧計とその校正……361

4.7.1　極高真空全圧計とは……361
4.7.2　冷陰極放電を利用した真空計……361
4.7.3　感度係数 S の小さな熱陰極電離真空計……363
4.7.4　大きな感度係数 S を持つ極高真空計……369
4.7.5　極高真空計の校正……373

4.8　四極子マスフィルタ……377

4.8.1　四極子マスフィルタとは……377
4.8.2　QMF の原理……377
4.8.3　残留ガス分析の重要性……380
4.8.4　QMF の応用……381
4.8.5　極高真空の分圧測定……386

第 5 章　真空装置の管理……389

5.1　真空装置のトラブルとその対策……389

5.1.1　真空装置取扱い上の一般的注意……389
5.1.2　真空機器の取扱い注意，トラブル対策，保守点検……391

5.1.3 半導体プロセスでの有害ガスによるポンプの故障，対策，取扱い…… 400
5.1.4 真空装置のトラブルと保守点検…… 404
5.2 各種の真空装置における洩れ探し…… 415
5.2.1 洩れ探しとは…… 415
5.2.2 主な漏洩試験方法と適用例…… 415
5.2.3 漏洩試験適用時の留意点…… 418
5.2.4 漏洩の定量化と問題点…… 428
5.2.5 機器設計・製作上の問題点と検討…… 430
5.3 ヘリウムリークデテクタとその使用技術…… 435
5.3.1 ヘリウムリークデテクタおよびその構成…… 435
5.3.2 ヘリウムリークデテクタの原理…… 436
5.3.3 校正リーク…… 437
5.3.4 プローブガスにヘリウムガスを用いる理由…… 438
5.3.5 リークテスト方法…… 438
5.3.6 洩れ量の評価(テスト条件による換算)…… 442
5.3.7 応答時間と感度…… 444
5.3.8 リークテストの実際(ヘリウムリークデテクタを用いて)…… 446
5.3.9 装置設計および製作時の留意点…… 446
5.3.10 CONTRA FLOW 型リークデテクタ…… 447
5.4 真空装置の汚染に関するトラブル…… 450
5.4.1 真空装置の汚染とは…… 450
5.4.2 汚染および欠陥の種類…… 450
5.4.3 真空成膜における汚染の考え方…… 453
5.4.4 真空の質…… 458
5.4.5 各種汚染と対策…… 464
5.4.6 反応性ガス使用装置の汚染…… 473
5.4.7 汚れ対策とチェック方法…… 478
5.4.8 ダストによる汚れ…… 481
5.4.9 メンテナンスおよびクリーニング…… 490
5.4.10 汚染除去の対策…… 493
第6章 真空を利用した薄膜製造装置…… 497
6.1 真空蒸着法…… 497
6.1.1 真空蒸着の原理…… 497
6.1.2 蒸着装置と蒸発法…… 499
6.2 分子線エピタキシー…… 512

6.2.1 分子線エピタキシーとは…… 512
6.2.2 MBE 法と超高真空…… 512
6.2.3 化合物半導体用 MBE 装置…… 519
6.2.4 Si 系 MBE 装置…… 524
6.2.5 今後の動向…… 525

6.3 スパッタ法…… 529

6.3.2 スパッタリングとは…… 529
6.3.2 スパッタ現象とその特徴…… 529
6.3.3 スパッタ方式とその特徴…… 535
6.3.4 特殊なスパッタリング…… 539
6.3.5 スパッタリングの利用と新しい可能性…… 542

6.4 イオンプレーティングとその応用技術…… 544

6.4.1 イオンプレーティングとは…… 544
6.4.2 イオンプレーティング法…… 544
6.4.3 高周波励起イオンプレーティング(RF 法)…… 546
6.4.4 イオンプレーティングの効果…… 547
6.4.5 反応性イオンプレーティング…… 549
6.4.6 デバイスへの応用…… 551
6.4.7 応用技術…… 556

6.5 イオンビームによる薄膜形成…… 562

6.5.1 イオンビームとは…… 562
6.5.2 薄膜形成プロセス…… 564
6.5.3 イオンビームの作用…… 565
6.5.4 種々のイオンビームによる…… 578

6.6 ドライエッチング技術…… 603

6.6.1 エッチング特性…… 603
6.6.2 低温プラズマエッチング…… 603
6.6.3 光励起エッチング…… 613
6.6.4 ガスエッチング…… 614

6.7 CVD 法…… 619

6.7.1 CVD 法とは…… 619
6.7.2 CVD 法の概要…… 620
6.7.3 熱 CVD 法…… 620
6.7.4 プラズマ CVD 法…… 629
6.7.5 光 CVD 法…… 630

6.7.5 最近の動向……631

第7章 真空を利用した薄膜製造技術……635

7.1 薄膜製造における真空技術……635

7.1.1 薄膜製造技術と真空との関わり……635
7.1.2 薄膜製造における真空の必要性……635
7.1.3 MBE装置……638
7.1.4 Wake空間とMBE……639
7.1.5 スパッタリング装置における真空技術……639
7.1.6 放電洗浄……641

7.2 酸化物超伝導体と薄膜化技術……643

7.2.1 酸化物超伝導体とは……643
7.2.2 酸化物超伝導体の結晶構造……646
7.2.3 酸化物超伝導体薄膜の作成……652
7.2.4 基板……656
7.2.5 今後の動向……658

7.3 薄膜センサ……660

7.3.1 センサ開発の現状と薄膜センサの位置付け……660
7.3.2 センサ薄膜化の特徴……662
7.3.3 センサ材料の薄膜作製方法……664
7.3.4 薄膜センサの代表的実例……667
7.3.5 薄膜センサの今後の動向……670

7.4 セラミックス膜……672

7.4.1 セラミックス膜とは……672
7.4.2 各種セラミックス膜……672
7.4.3 機械的特性の応用……696

7.5 ダイヤモンド薄膜……711

7.5.1 ダイヤモンド合成の歴史……711
7.5.2 ダイヤモンド低圧合成の原理……714
7.5.3 ダイヤモンド低圧合成の実際……716
7.5.4 低圧合成ダイヤモンドの評価……723
7.5.5 低圧合成ダイヤモンドの応用例……726
7.5.6 今後の問題……729

第8章　真空利用装置と利用技術……733
8.1　電子顕微鏡における真空技術……733
8.1.1　電子顕微鏡の典型的な真空系……733
8.1.2　電子顕微鏡技術の進展と真空技術……735
8.2　表面分析技術における真空技術……737
8.2.1　表面分析技術と真空技術との関わり……737
8.2.2　組成分析……739
8.2.3　構造解析……743
8.2.4　電子状態……749
8.3　真空断熱技術……755
8.3.1　真空断熱法とは……755
8.3.2　高真空断熱……755
8.3.3　粉末真空断熱と繊維質真空断熱……758
8.3.4　多層真空断熱……764
8.3.5　その他……770
8.4　スペースチャンバ……773
8.4.1　スペースチャンバの目的……773
8.4.2　熱真空試験用スペースチャンバ……774
8.4.3　放射計用スペースチャンバ……777
8.4.4　イオンエンジン用スペースチャンバ……779
8.4.5　その他のスペースチャンバ……782
8.5　大型加速器における真空技術……784
8.5.1　真空システムとしての加速器……784
8.5.2　ビームと残留ガスの相互作用ービーム寿命……787
8.5.3　圧力分布……790
8.5.4　ガス負荷……794
8.5.5　ガス負荷以外のビームによる真空部品への影響……797
8.5.6　その他の注意点……799
8.6　最近の真空利用……805
8.6.1　真空利用の変遷……805
8.6.2　食品と真空……805
8.6.3　金属と真空……809
8.6.4　半導体と真空……811
8.6.5　電気・電子部品と真空……815

第9章　規格等 …… 819
9.1　規格 …… 819
9.2　特許 …… 820
9.3　世界で発行されている雑誌 …… 823
9.4　単位換算 …… 823